结构计算软件 YJK-A

用户手册及技术条件

北京盈建科软件股份有限公司

2022.1

目录

第一章 概述..... 1
一、主要功能.....1
二、相关规范、规程、标准和标准图集.....17
三、和国内外流行软件兼容或提供接口.....18
四、软件功能框图和界面.....18
第二章 计算前处理..... 23
第一节 计算与设计参数.....25
一、结构总体信息.....25
二、计算控制信息.....39
三、风荷载信息.....57
四、地震信息.....62
五、设计信息.....89
六、活荷载信息.....96
七、构件设计信息.....99
八、包络设计.....135
九、材料信息.....140
十、地下室信息.....142
十一、荷载组合.....147
十二、鉴定加固.....161
十三、装配式.....161
十四、高级选项.....162
第二节 荷载简图与校核统计.....167
一、平面导荷.....168
二、竖向导荷.....169
三、楼板荷载厚度查看.....170
四、图形输出.....171
第三节 连续梁编辑.....172
第四节 特殊构件定义.....172
一、特殊梁.....173
二、特殊柱.....189
三、特殊支撑.....192
四、特殊墙.....197
五、板属性.....200
六、节点属性.....205
七、抗震等级.....210
八、材料强度.....212

九、重要性系数.....212
十、性能设计.....213
十一、隔震设计.....214
十二、人防构件.....215
十三、超配系数.....215
十四、本层删除/全楼删除.....215
十五、层间复制.....216
十六、三维状态下进行特殊构件定义.....216
第五节 多塔定义.....217
一、自动生成.....217
二、分塔参数.....218
三、多塔显示的三种方式.....218
四、多塔指定.....219
五、对多塔自动划分修改的几个菜单.....219
六、指定单榀计算.....220
七、遮挡定义及删除.....220
八、划分拆分范围及删除.....220
九、数据清空.....221
第六节 楼层属性.....221
一、楼层属性的修改.....222
二、楼层信息.....222
三、施工次序.....222
四、包络设计楼层、包络设计构件及删除.....225
第七节 风荷载.....225
一、自动生成.....226
二、组号.....226
三、选择横向屋面系数.....226
四、杆荷修改、点荷修改、设备修改.....226
五、门刚风荷载.....226
第八节 柱计算长度.....228
一、操作.....228
二、柱计算长度自动生成技术条件.....228
三、柱长系数.....230
四、支撑系数.....230
五、梁面外长.....230
六、门刚梁柱加劲肋间距与最大腹板高度之比 a/Hw.....230
七、墙柱高度.....230
第九节 温度荷载.....230
一、设置温差.....231

二、防火升温、截面形状系数.....231
三、全楼温差.....231
四、温度梯度、自动温度梯度.....232
五、显示局部坐标系.....232
第十节 活荷折减.....233
第十一节 生成数据及数检.....233
第十二节 结构计算简图.....234
一、数据报告.....234
二、平面简图.....234
三、轴测简图.....234
三、自动分塔示意.....238
四、施工次序示意.....239
五、上部+基础联合模型.....239
第三章 结构整体计算和构件内力配筋计算.....240
第一节 操作步骤.....240
一、计算菜单选项.....240
二、计算过程说明.....242
三、有局部振动模型的提示.....243
第二节 分析结果的图形显示.....244
一、各类简图通用功能.....245
二、编号简图.....246
三、配筋简图.....251
四、轴压比简图.....272
五、剪跨比简图.....273
六、剪压比简图.....274
七、柱冲切验算简图.....274
八、柱长细比简图.....275
九、墙稳定验算简图.....275
十、竖向构件位移角简图.....275
十一、钢构件局部稳定验算.....276
十二、钢构件性能系数.....277
十三、输出等效冲切力.....277
十四、冲切临界系数.....278
十五、梁弹性挠度简图.....278
十六、组合梁裂缝.....279
十七、墙、柱偏拉验算简图.....280
十八、边缘构件简图.....280
十九、鉴定加固简图.....282

二十、防火验算.....284
二十一、标准内力简图.....284
二十二、梁设计内力包络图.....286
二十三、三维内力简图.....287
二十四、三维配筋简图.....287
二十五、三维查询简图.....290
二十六、三维属性简图.....291
二十七、三维位移简图.....291
二十八、振型图.....292
二十九、屈曲图.....292
三十、质心振动简图.....293
三十一、楼层结果简图.....294
三十二、底层柱、墙最大组合内力简图.....294
三十三、吊车荷载预组合内力简图.....295
三十四、模型切换.....295
三十五、等值线.....296
三十六、设计工具.....302
三十七、标准层配筋.....309
三十八、设置.....309
三十九、工程对比.....310
四十、批量导图.....315
四十一、计算书.....317
第三节 分析结果的文本输出.....324
一、结构设计信息（wmass.out）.....324
二、周期、振型与地震作用输出文件（wzq.out）.....333
三、结构位移输出（wdisp.out）.....335
四、标准内力文件（wwnl*.out）.....337
五、配筋文件（wpj*.out）.....341
六、超限信息文件（wgcpj.out）.....357
七、底层最大组合内力（wdcnl.out）.....368
八、薄弱层验算文件（wbrc.out）.....369
九、倾覆弯矩及 0.2Vo 调整（wv02q.out）.....370
十、剪力墙边缘构件输出文件（wbmb*.out）.....374
十一、吊车荷载预组合内力输出文件（wcrane*.out）.....375
十二、简化计算书（mainjss.out）.....377
十三、警告信息（warnning.out）.....377
十四、文本 New.....377
第四章 工具箱.....379

第一节 功能概述.....379
第二节 普通混凝土构件.....380
一、梁截面承载力验算.....380
二、柱截面承载力验算.....381
三、板冲切验算.....382
四、节点核心区验算.....383
五、挠度、裂缝验算.....383
六、楼梯验算.....384
七、地下室外墙验算.....385
八、特殊结构验算.....386
第三节 型钢混凝土构件.....387
一、型钢混凝土梁承载力验算.....387
二、型钢混凝土柱承载力验算.....388
三、型钢混凝土节点核心区验算.....389
第四节 人防构件.....389
第五节 加固工具箱.....390
第六节 钢结构工具箱.....391
第五章 结构设计技术条件..... 394
第一节 建筑模型向计算模型转化.....394
一、计算模型的基本转化.....394
二、荷载转化.....397
三、构件编号规则.....398
四、生成特殊构件定义属性.....398
第二节 荷载和作用.....401
一、恒荷载.....401
二、活荷载.....403
三、地震作用.....408
四、风荷载.....411
五、人防荷载.....415
六、吊车荷载.....417
七、温差效应.....421
八、设置节点的弹簧刚度或者位移.....423
第三节 结构整体性能控制.....426
一、程序将强制刚性板假定的计算与非刚性板假定的计算集成进行.....427
二、剪重比的控制.....429
三、位移比和位移角控制.....430
四、周期比的控制.....431
五、层刚度比.....433

六、楼层抗剪承载力.....435
七、结构薄弱层的验算.....436
八、结构整体抗倾覆验算.....437
九、框架柱、框支框架、墙倾覆弯矩的计算及应用.....438
十、结构稳定和重力二阶效应计算.....439
十一、结构线性屈曲分析.....443
第四节 考虑楼板计算的要点.....443
一、刚性楼板.....444
二、参数“全楼强制刚性楼板假定”.....447
三、弹性楼板.....447
四、楼板和梁、柱的刚度计算.....450
五、楼板错层的计算模型.....452
第五节 错层梁、斜梁、层间梁.....454
一、层间梁与竖向构件柱、墙的连接.....455
二、不同标高梁的连接.....455
三、与其它楼层杆件的连接.....455
四、有局部错层结构建模.....456
五、坡屋面建模应注意的问题.....457
第六节 剪力墙结构.....460
一、剪力墙单元划分.....460
二、墙柱和墙梁的内力计算.....461
三、连梁不同建模方法及软件处理.....462
四、剪力墙底部加强区.....463
五、剪力墙轴压比计算.....464
六、减少连梁内力或配筋的措施.....465
七、带边框柱或型钢柱、型钢混凝土柱剪力墙的配筋设计.....465
八、墙体分布钢筋.....466
九、墙体验算.....467
十、短肢剪力墙结构设计.....469
十一、越层墙.....471
十二、剪力墙边缘构件设计.....471
第七节 多塔结构.....474
一、基本概念.....474
二、规范中的设计要求.....475
三、多塔结构建模.....475
四、多塔定义的必要性.....475
五、自动定义多塔.....477
六、多塔结构的整体计算和分塔计算.....478
七、程序自动进行整体计算和分塔计算.....479

第八节 带转换层结构.....480
一、结构体系的选择.....480
二、转换层所在层号.....481
三、转换梁、框支柱的指定.....481
四、抗震等级的指定.....482
五、剪力墙水平和竖向分布筋的指定.....482
六、弹性楼板的设置.....483
七、薄弱层的指定和判断.....483
八、转换层结构模拟施工次序的定义.....484
九、转换梁的计算及与上层墙的各种连接.....484
第九节 地下室结构.....486
一、地下室和上部结构整体建模共同计算.....486
二、地下室的计算参数.....487
三、水平荷载的作用.....488
四、回填土对地下室侧向约束的计算.....489
五、地下室抗震设计.....489
六、地下室外墙设计.....491
七、人防地下室设计.....493
第十节 次梁.....493
一、按照次梁菜单输入次梁的计算模型.....494
二、两种计算模式的比较.....494
第六章 内力调整和内力组合.....497
第一节 地震作用内力调整.....497
一、薄弱层地震内力调整.....497
二、最小剪重比地震内力调整.....498
三、$0.2V_0$地震内力调整.....500
四、部分框支剪力墙结构中框支柱调整.....503
五、水平转换构件地震内力调整.....504
第二节 考虑抗震要求的设计内力调整.....505
一、梁.....505
二、柱、支撑.....506
三、墙.....507
第三节 荷载效应组合.....508
一、简介.....508
二、基本组合.....509
第七章 钢筋混凝土和钢结构构件设计.....515
第一节 材料.....515
一、混凝土.....515

二、钢筋.....515
三、钢材.....515
四、地震组合材料强度调整.....515
五、人防组合材料强度调整.....516
第二节 混凝土梁配筋.....516
一、设计流程.....516
二、正截面配筋.....517
三、斜截面配筋.....523
第三节 混凝土柱配筋.....525
一、正截面配筋.....526
二、斜截面配筋.....531
三、柱轴压比控制.....533
第四节 梁柱节点抗剪配筋.....534
第五节 剪力墙连梁和墙肢配筋.....535
一、连梁配筋.....535
二、墙肢配筋.....537
第六节 钢管混凝土柱承载力验算.....540
一、承载力验算.....541
二、刚度、局部稳定验算.....541
第七节 钢构件承载力验算.....541
一、承载力验算.....541
二、刚度、局部稳定验算.....543
第八章 有限元分析核心 YJKFEA 概述.....548
第一节 YJKFEA 的体系架构及特点.....548
一、完全面向对象的模块化设计.....548
二、统一的异构模型数据库.....550
三、独立抽象的求解管理.....550
四、死活单元与分组机制.....551
五、影子模型技术.....551
第二节 YJKFEA 的求解路线图.....552
一、基本模型 M0.....553
二、连梁折减模型 MR.....554
三、强制刚性楼板模型 MF.....555
第三节 自由度与多点约束.....555
第九章 YJKFEA 的静力分析模型.....557
第一节 YJKFEA 单元库.....557
一、框架单元概述.....557
二、壳元、板元、膜元等二维平面单元.....560

三、超单元.....565
第二节 单元的转换矩阵.....568
一、坐标变换.....568
二、偏心主从变换.....569
三、刚性楼板的主从变换.....570
第三节 静力求解算法.....570
一、结构总体刚度矩阵.....570
二、细胞稀疏索引存贮方案.....571
三、细胞存贮方案与循环展开技术的稀疏矩阵分解.....572
第四节 结构构件的内力计算.....574
第十章 结构的地震作用计算.....576
第一节 概述.....576
第二节 固有振动分析.....576
一、固有振型与固有频率.....576
二、特征值求解算法.....578
三、振型参与系数.....582
四、有效质量系数.....582
五、最不利地震方向.....583
六、振型的方向.....584
七、振型的平动、扭转系数.....585
八、质量偶然偏心.....585
九、结构不同阻尼比.....588
第三节 振型分解反应谱计算方法.....589
第四节 弹性动力时程分析.....591
一、振型叠加法.....591
二、直接积分法.....593
第五节 弹性时程分析用户交互与计算结果说明.....594
一、用户波导入.....595
二、人工波生成.....598
三、地震波选择.....599
四、工况定义.....606
五、工况组合.....608
六、计算结果.....609
七、反应谱规范谱.....618

第一章 概述

一、主要功能

本软件是为多、高层建筑结构计算分析而研制的空间组合结构有限元分析与设计软件，适用于各种规则或复杂体型的多、高层钢筋混凝土框架、框剪、剪力墙、筒体结构以及钢－混凝土混合结构和高层钢结构等。

软件采用空间框架单元模拟梁、柱及支撑等杆系构件，并采用超单元来模拟剪力墙、弹性楼板和转换梁。墙元专用于模拟多、高层结构中剪力墙，对于尺寸较大或带洞口的剪力墙，按照子结构的基本思想，由软件自动进行细分，然后用静力凝聚原理将内部自由度消去，从而保证墙元的精度和较少的出口自由度。这种墙元对剪力墙的洞口(仅考虑矩形洞)的大小及空间位置无限制，具有较好的适用性，也能较好的模拟工程中剪力墙的实际受力状态。对于弹性楼板和转换梁也采用相似的处理方案，细分后凝聚内部节点、只保留出口节点的做法。

软件采用先进的数据库管理技术，力学计算与专业设计分离管理，并用数据库传递信息。计算前处理中包含了大量的专业性的预处理，中间部分是核心有限元力学计算，然后将得到的计算内力、位移根据规范和设计要求完成一系列专业计算，最终得到以截面配筋为主要内容的设计结果。分离式管理保证了力学计算可采用通用的技术处理方案，并充分跟踪国内外先进技术的发展和改进。

软件广泛使用了多点约束(MPC)机制。刚性楼板假定、偏心刚域、支座位移、节点约束、不协调节点等功能以及短梁短墙的处理，均利用MPC机制统一处理。

偏心刚域应用于梁、柱、墙之间的偏心、上下柱和上下墙之间的偏心以及转换梁上托墙与梁之间的偏心等的处理。有的软件对于偏心采用大截面尺寸模拟的刚性杆连接，常造成计算结果的异常。偏心刚域的合理使用避免了计算异常，保证了计算精度。

建筑模型中不可避免的会出现大量的短墙或短梁，这些短梁、短墙直接用于力学计算可能引起计算异常和加大计算误差。我们采用统一的多点约束机制进行处理，有效改善了计算精度和计算稳定性。

在实际工程中常见在上下层剪力墙之间、上下层墙洞口之间的不同布置造成上下层之间节点的不对应，同层之间的层间梁、错层墙及墙洞口布置的不对应造成墙左右的节点不对应。这些不对应状况在单元划分时可能造成墙计算单元形状异常或出现大量三角形单元，这些单元的出现会降低计算精度。为此，本软件在单元划分时对于距离小于某一定值的节点采用不协调单元，从而保证大多数单元的划分质量，同时在不协调节点之间利用MPC进行约束，保证了结构的合理性。

本软件使用的快速求解器采用了国际领先技术、历经多年研制。该求解器经历了大量计算工程实践，计算结果稳定，且计算速度快，计算容量规模大。

软件主要依据结构2010系列规范编制，在结构设计专业方面的主要功能特点概括说明如下：

1、建模的模型与荷载自动转换为计算所需数据

建模软件是整个软件系统的前处理部分，后续的结构计算、施工图设计、基础设计等都需要使用模型数据。其建模方式按照设计习惯，如按照平面轴线网格布置构件，允许构件对节点、轴线的偏心，允许构件有错层属性，允许斜撑、斜梁跃层连接等。建模步骤具有施工图设计的特点，易于设计人员掌握。

但是这样的模型与有限元计算模型有一定的差距，为此软件自动实现原始模型到计算模型的转化。如要实现各层构件之间在空间上连接和打断、要保持构件的偏心位置、要容错模型误差自动归并、对荷载自动导入和调整等。

转换过程中软件进行一系列自动属性识别，并据此给相关计算参数自动赋值。如把各层楼板自动转换成刚性楼板或弹性板，识别框架或非框架连续梁属性，根据属性确定梁的刚度放大系数、扭矩折减系数、抗震等级，确定是否为弯矩调幅梁等，识别地下室外墙，识别错层柱、层间梁，确定计算柱的计算长度系数等。

对于多塔结构，软件能实现多塔中各个分塔的自动划分，并支持用户手动修改。

2、对剪力墙和弹性楼板自动划分单元

软件对剪力墙计算采用了由壳元凝聚的墙元模型，并自动对剪力墙按照一定的尺寸细分成壳元单元，划分时考虑墙上开洞、洞口上墙梁、上下层错洞口、上下层墙不对齐

等状况，并考虑了剪力墙、墙梁内力配筋的需要。

对剪力墙的单元自动划分是软件的技术优势之一，是针对建筑结构中大量使用的剪力墙的计算特点而采用的专业化处理，它极大地方便了软件的使用。在结构软件的发展过程中，复杂剪力墙模型的网格划分一直是个瓶颈，并经常造成计算误差大，甚至计算结果失常的状况。

本软件在单元划分时为使单元的形状更加合理，优先使用矩形单元，尽量少用三角形单元，且单元大小分布更加均匀。软件把剪力墙与剪力墙之间的上下边界结点和侧向边界结点均作为出口结点，从而实现边界协调，保证了结构的连续性和计算结果的合理性。但对于相距过近的节点（如小于500mm）可以不协调，并通过MPC机制处理这种个别不协调单元。软件适应各种墙的布置情况，如坡屋顶墙、错层墙、长墙等。支持对墙梁自动加密，以便更精确地计算墙梁的内力。

对于弹性楼板也实现自动划分单元，并保持楼板与剪力墙相接处划分的单元连接协调。

3、多种荷载工况的处理

本软件可以计算的荷载类型非常全面，除了恒载、活载、风荷载、地震作用等基本的荷载类型外，还包括人防荷载、吊车荷载、温差效应、指定位移和刚度等，从而使软件可以适应多种结构类型、满足多种建筑功能的设计需要。

（1）恒荷载

建模软件传入的恒载包括三类：第一类是输入到构件上的恒荷载，即梁、柱、墙、节点上的恒载；第二类是程序自动计算的构件自重，即梁、柱、墙、支撑构件的自重恒载；第三类是楼板导算到梁、墙上的荷载。

对于高层建筑，恒载直接的有限元计算结果与实际相比有较大的误差，这是因为在内力计算中，恒载所占比例较高，在竖向恒荷载作用下，结构的变形基本上是在施工过程中逐层形成的，而不是在结构全部建立完成后一次性形成的。

故本软件对恒载提供了 3 种模拟施工计算方式，即一次性加载、模拟施工 1 和模拟施工 3，用户可根据实际情况灵活选用。软件可以自动根据结构特点（如跃层构件、转换层等）生成合理的施工次序，同时用户可以直观方便地进行调整。

软件对施工模拟 3 计算采用高效率算法，对于二三十层的高层的逐层模拟计算只比

全楼整体计算时间多开销 2-3 倍。

（2）活荷载

与恒载类似，活载包括楼板活载导算和人工输入活载两类。

软件根据规范的相关规定考虑活荷载的各种折减。主要通过3种方式：1、通过参数自动实现对柱、墙、基础的考虑楼层数的活荷载折减功能；2、通过参数自动在设计楼面梁时考虑活荷载折减；3、其它类型的活荷载折减可通过对单构件单独指定其活荷载效应的折减系数来实现。

对于活荷载还可以考虑活荷载的不利布置的包络计算，软件自动使用分层模型，计算出梁的活荷载不利布置的内力包络。

（3）风荷载

软件可以根据用户输入的风荷载体型系数、修正后的基本风压等参数自动生成作用于各楼层的风荷载。

软件提供一般计算方式、精细计算方式和按构件挡风面积计算三种算法。

一般计算方式是一种相对简化的算法。它假定迎风面、背风面的受风面积相同，体型系数取用户输入的迎风面与背风面体型系数之和。同时它也假定了每层风荷载作用于各刚性块的质心和所有弹性节点上，楼层所有节点平均分配风荷载。它忽略了侧向风的影响，也不计算屋顶的风吸力和风压力。这种简化算法适用于比较规则的工程。

精细计算方式是一种更准确体现规范要求的算法。精细计算方式将结构的体型系数细分为迎风面体型系数、背风面体型系数、侧风面体型系数，同时还增加了挡风系数。风荷载作用在软件自动找到的每层周边的杆件、节点上。在精细计算方式下，用户输入屋面风荷载参数，软件可自动生成屋面的风荷载并加载到屋面梁上。

（4）地震作用

由地震作用产生的内力往往在内力组合中占主导地位。本软件按照振型分解反应谱法计算地震作用。软件可通过参数选项，考虑影响地震作用的多种因素，如“偶然偏心”、“双向地震作用”、“计算振型个数”、“周期折减系数”、“结构阻尼比”、“特征周期”、“多遇地震影响系数”、“罕遇地震影响系数”、“斜交抗侧力构件附加地震力方向角度”、“自定义地震影响系数曲线”等。

软件对地震偶然偏心计算，除提供常用的等效扭矩法外，还提供瑞利-里兹投影反

射谱法，其内力结果优于等效扭矩法法，并且计算开销更小。

（5）人防荷载

软件按照等效静荷载计算人防荷载，在建模的“荷载输入”菜单下点取人防荷载菜单，并以房间为单位输入作用于楼面的人防荷载，同时可输入作用于地下室外墙的等效静荷载。软件按照《人防规范》的规定考虑人防荷载的效应组合，对有人防组合的构件，在截面配筋时进行材料强度、混凝土强度、钢筋砼构件纵向钢筋的最小配筋率等的调整。

布置了多层人防荷载的结构，软件在计算各人防楼层的梁内力时，选用该楼层人防荷载计算各水平构件内力。在计算各人防楼层的柱、墙内力时，如果该竖向构件承受多于一层传来的人防荷载时，其人防荷载作用下的效应并不是其上各人防楼层效应的累加，而是仅选取其中最大的一层人防荷载的效应来进行构件的设计。同时传给基础的人防荷载作用下的效应，与计算柱、墙人防荷载效应的方法相同，也是仅选取其上各层中最大的一层人防荷载的效应来参与基础的计算。

对于局部人防地下室的结构设计，可以在需要计算人防工程的地方施加人防荷载，在不需要计算人防工程的地方（即不需要计算人防的房间）修改人防荷载为零即可。

（6）吊车荷载

本软件对吊车荷载的处理有两个特点，一是吊车荷载的自动生成，二是吊车荷载的预组合和考虑吊车荷载的组合计算。

由于吊车荷载的计算比较复杂，软件提供了吊车平面布置、自动生成吊车荷载的功能。同时提供吊车资料库，用户选用后可得到该类型吊车的最大、最小轮压和水平刹车力等数据。软件考虑吊车工作的最不利情况，根据吊车的轮压、轮距及吊车梁的支座反力影响线自动计算出吊车荷载计算参数Dmax、Dmin和Tmax。对于端跨、抽柱跨、柱距不等等情况，软件根据实际情况求出不同的影响线形状下支座处的Dmax、Dmin和Tmax。因此，在这些不同情况下软件给出的吊车荷载是不同的。

吊车荷载是移动荷载，计算的荷载工况、组合数量非常多，在多跨布置吊车荷载时，组合会更多更复杂。如果用每一个吊车荷载工况去和其他荷载效应组合，如恒载、活载、风荷载、地震作用等，组合的过程将非常复杂，计算效率也很低。本软件采用了对吊车荷载预组合的计算方式，即首先吊车荷载预组合，然后再和其他荷载进行组合。其基本原理就是在计算每跨吊车荷载作用的过程中即对每一个构件的吊车内力按照某一目标

进行预组合。对于柱，其预组合目标是轴力最大、轴力最小、弯矩最大、弯矩最小、剪力最大。对于梁，其预组合目标是各个截面弯矩最大、弯矩最小。

4、地震作用效应调整

按照规范要求，对于地震作用作一系列的效应调整。主要包括：

（1）薄弱层放大调整。软件计算层刚度比后作薄弱层的判断，软件对薄弱层的所有构件内力按照1.25（用户可修改）的系数进行放大，包括水平地震作用内力、偶然偏心地震作用内力及斜交抗侧力方向的地震作用内力；

（2）剪重比调整。软件按照规范要求作结构的剪重比验算。目前软件用于剪重比调整的地震剪力，是通过地震作用CQC得到的，而不是地震内力效应CQC的结果。由此得到的调整系数，直接用于相应的层和塔内的构件地震作用的内力调整，且用于所有构件，即柱、梁、支撑、墙柱及墙梁，工况包括水平地震作用内力、偶然偏心地震作用内力以及斜交抗侧力方向的地震作用内力；

（3）0.2V0调整；

（4）筒体结构层地震剪力调整；

（5）部分框支剪力墙结构中的框支柱调整；

（6）水平转换构件地震内力调整。

5、结构整体性能控制

结构整体性能控制是结构设计的重要环节。规范对于结构整体性能控制给出了一系列明确的规定。软件对这一系列整体性能控制的内容给出了完整的、全面的解决方案。

周期比：周期比控制是结构整体扭转刚度的控制。软件计算出每个振型的侧振成份和扭振成份，通过平动系数和扭转系数可以明确地区分振型的特征。进行周期比验算应在强制刚性楼板假定下进行。对于多塔楼结构，使用软件提供的“各分塔与整体分别计算，配筋取各分塔与整体结果较大值”功能可查看整体模型及各单塔的周期比。

剪重比：软件计算各楼层剪重比，当计算出的剪重比不满足规范要求时，除地下室不受最小剪重比控制以外，其它楼层软件将自动调整地震作用，以达到设计目标的要求。

位移和位移比：位移比控制是层扭转刚度控制，位移角控制是整体平动刚度控制。软件中对每一层都计算并输出最大水平位移、最大层间位移角、平均水平位移、平均层间位移角，及相应的比值，用户可以一目了然地判断是否满足规范要求。

刚度比：计算刚度比的目的是用来确定结构中的薄弱层，或用于判断地下室结构得刚度是否满足嵌固要求。软件同时提供剪切刚度、层剪力与层间位移的比值两种刚度计算结果，对于转换层在 2 层以上时，软件还提供转换层上下剪弯刚度比计算结果。

结构稳定和重力二阶效应计算：软件按照规范要求计算结构的刚度和重力荷载之比（刚重比），以此进行结构的稳定性验算并在总信息文本中输出。

用户还应根据刚重比的计算结果判断结构是否应作考虑重力二阶效应的计算。软件提供了计算 *P*—△效应的开关，用户可以根据需要选择考虑或者不考虑 *P*—△效应。

结构整体抗倾覆验算：《高规》对不同数值高宽比的高层建筑，给出基础底面零应力区不同比例的要求。软件计算出了水平力作用下的抗倾覆弯矩、倾覆力矩、抗倾覆安全度及零应力区比例等指标。

框架柱、框支框架、短肢剪力墙倾覆弯矩的百分比计算：规范对框剪结构中的框架柱、部分框支剪力墙结构中的框支框架、短肢剪力墙承担的地震倾覆力矩比例有要求，这个比例关系到框架-剪力墙结构中的框架抗震等级的选择、判断结构是否为短肢剪力墙结构。软件计算并输出各层框架柱、剪力墙、短肢剪力墙构件分别承担的地震作用倾覆弯矩。

楼层受剪承载力：楼层受剪承载力是判断薄弱层的依据之一。软件在完成构件的配筋计算后自动计算楼层的受剪承载力和与上层的受剪承载力之比并输出，由设计人员查看结果后自行判定是否存在承载力突变引起的薄弱层。软件还提供“自动对层间受剪承载力突变形成的薄弱层放大调整”参数，勾选该项，软件可自动根据楼层受剪承载力判断出来的薄弱层重新进行一次配筋设计。

规范要求的楼层位移比、结构周期比、层间刚度比等指标计算是在各层楼板刚性假定条件下进行的，而一般的位移、内力、配筋等计算均应在非强制刚性板的楼板实际状况下进行。对于这样的需求软件提供“整体指标计算采用强刚，其它计算非强刚”参数，选择该项，软件将两次计算自动连续进行，并在计算结果文档输出中，对于规范要求的楼层位移比、结构周期比等指标采用“对所有楼层强制采用刚性楼板假定”的结果，对

于其它内容采用“不强制采用刚性楼板假定”的结果。

6、考虑楼板的作用

在工程实践中，楼板本身的设计和上部结构的三维计算是分开进行的。我们的结构软件按照这种模式给出了全面的解决方案。

楼板本身的设计在施工图设计软件中实现。上部结构计算软件的三维计算主要以梁、柱、斜杆等杆件及剪力墙的内力和配筋为设计计算对象。对于楼板，软件考虑了它对于整体计算的刚度贡献，但是并不直接对楼板作内力分析。软件在进行三维计算前，建模部分已经把作用在楼板上的恒、活荷载导算到了房间周围的梁、墙构件上，结构计算时直接读取导算后的梁、墙荷载。这种设计模式符合绝大多数的设计传统。

本软件计算楼板的刚度时，提供了以下几种计算方案：

一般较规则结构的楼板，在自身平面内刚度很大，变形很小，在平面外，楼板抗弯刚度相对较小。因此在结构的整体分析计算中可以假定楼板在平面内刚度无限大，在平面外刚度为零，即刚性楼板假定。目前按照楼层搭建的工程中绝大多数都属于楼板形状比较规则的结构，都可以采用刚性楼板假定来分析。

刚性楼板假定，既符合结构特点又极大地减少了结构整体的自由度，使结构整体分析大大简化，提高了分析效率。

当楼面楼板较少、楼板狭长、楼板板块之间有薄弱的连接部位、楼板有大开洞或屋面为坡屋面等情况时，其平面内刚度不够大，楼板会产生较明显的面内变形，此时可按照弹性楼板进行整体计算。因为这种变形会使某些结构构件的内力和位移加大，按照刚性楼板计算可能得不到正确的结果，偏于不安全。

本软件提供了弹性膜、弹性板6和弹性板3共三种弹性楼板计算模型。

软件自动将坡屋面板和斜板设置为弹性膜。

梁一般为矩形截面，在内力分析和截面设计时，楼板可以作为楼面梁的翼缘起到增强梁刚度的作用，软件中近似地以“中梁刚度放大系数”来间接地考虑楼板面外刚度的作用。对于用户在“刚度系数”中输入的大于 1 的中梁刚度放大系数，软件自动根据中梁和边梁的情况，根据“全房间洞”或“板厚为 0”等情况给出每根梁不同的放大系数，用户在此基础上还可以进一步修改。

对于用户输入的梁扭矩折减系数，软件可以根据楼板的布置情况，自动搜索两边都无楼板的独立梁，将其扭矩折减系数设置为 1.0，其余梁的扭矩折减系数设置为用户输入的值。

软件在自动计算柱的计算长度系数时也考虑楼板的约束影响。

7、杆件截面设计与验算

软件对梁、柱、斜柱支撑的截面设计一般需要以下步骤：

（1）内力调整

软件可以进行薄弱层、最小剪重比、0.2V0 等地震效应的各类调整，对于柱还可以考虑活荷载按楼层折减，对于框架梁还可以考虑弯矩调幅。

（2）荷载效应组合

软件可以考虑恒、活、风、地震、人防、吊车等荷载效应的组合，并输出在配筋文本文件中。

对于活荷载、吊车荷载、地震效应，这些荷载类型可以再次细分，如考虑活荷载不利布置时活荷载可以分为“活1”、“活2”和“活载”，考虑吊车荷载时吊车荷载有多种预组合结果，考虑地震作用时地震效应有正负偶然偏心和多方向地震等情况。软件在荷载组合时会对上述每种荷载细分后结果循环进行荷载组合。

（3）考虑抗震要求的设计内力调整

抗震设计时，软件按照规范的相关规定进行强柱弱梁、强剪弱弯调整。

（4）截面配筋

对每根杆件分别作正截面和斜截面承载力配筋设计；考虑最小、最大配筋率的要求；对斜截面验算最小截面尺寸；对超出最大配筋率或不满足最小截面要求时给出超限信息；对柱可作单向配筋和双向配筋计算和验算；柱的轴压比验算等。

软件还可设计型钢混凝土梁、变截面梁；异形截面混凝土柱、各种类型的型钢混凝土柱、钢管混凝土柱。

（5）钢构件设计

软件可以进行钢梁、钢柱、钢支撑设计，内容主要有：柱构件的截面强度验算、X

方向及 Y 方向稳定性验算、板件局部稳定验算、长细比验算；梁构件的截面抗弯强度、抗剪强度验算、整体稳定性验算、板件局部稳定验算。对于轴力较大的梁，补充按照压弯构件的验算。斜杆支撑的验算与柱构件相同。

8、剪力墙设计与验算

软件根据建筑总高度、地下室层数、转换层所在层号、裙房层数等自动求出剪力墙底部加强区的层数。软件可根据用户要求对框支转换层底部加强区的抗震等级自动提高一级。软件可根据底层墙肢轴压比确定底部加强区及上一层的特一、一、二、三级剪力墙是否设置约束边缘构件，其余剪力墙设置构造边缘构件。

可考虑地震效应的各类调整，可考虑活荷载按楼层折减。

剪力墙构件配筋计算内容主要包括在剪力墙墙肢平面内的正截面、斜截面承载力计算及连梁的正截面、斜截面承载力计算等内容。墙肢正截面承载力计算采用矩形截面沿截面腹部均匀配置纵向钢筋的偏心受力构件及轴心受力构件承载力计算原则进行配筋计算，并将墙体水平钢筋用于斜截面承载力计算，竖向分布钢筋用于正截面承载力计算。

软件可单独指定某个墙肢竖向分布筋配筋率的功能，满足结构优化设计需要，如合理定义竖向分布筋率可以改善长墙肢的暗柱计算配筋超限问题。

软件在进行墙体稳定性验算时对所有墙肢依据《高规》附录 D 的计算方法全部作了验算，对于不满足稳定要求的墙肢，在超限信息文本文件中予以输出。

当剪力墙墙肢的抗震等级为一级或特一级时，软件按规范相关要求进行施工缝抗滑移计算。

软件对于二肢或三肢剪力墙自动按照二肢或三肢组合在一起的截面计算剪力墙的轴压比，从而使轴压比计算结果在各墙肢之间更加均衡。

软件对剪力墙的边缘构件自动生成，并按照规范要求自动分类和命名，对于相距较近的墙肢节点自动归并，综合考虑边缘构件的配筋设计。在底部加强区的约束边缘构件设计时，对于剪力墙轴压比计算结果小的部位自动按照构造边缘构件设计。

型钢混凝土剪力墙，主要指剪力墙的端柱为型钢混凝土柱、在剪力墙内布置型钢柱（暗柱）。软件可以在剪力墙截面配筋计算时按照《组合结构设计规范》（JGJ138-2016）或《钢骨混凝土结构技术规程》YB9082-2006 的公式考虑型钢的影响来计算端部钢骨周

围所需配筋面积及剪力墙腹板内抗剪水平分布筋面积。

对于短肢剪力墙结构，软件可以计算各楼层的短肢剪力墙倾覆弯矩的百分比，用来帮助用户作是否为短肢剪力墙结构类型的判断。

软件对于跨高比小于等于 5（参数设置可调）的按照框架梁布置的剪力墙连梁自动按照墙元计算，对这样的框架梁按照墙的处理方式自动划分单元，用细分的壳单元计算。这样的处理结果更加符合实际情况，并使这样的剪力墙连梁无论是用剪力墙上开洞口输入，还是用框架梁输入方式的计算结果是相同的。

连梁的配筋计算与普通梁类似，主要包括连梁截面尺寸判断、对梁分别进行正截面、斜截面配筋计算，求得连梁纵筋和箍筋计算面积，再与规范构造要求对比取大值。

用户可以选择连梁是否按对称配筋设计。

软件支持连梁分缝，用户可以在特殊构件定义中输入连梁分缝数，软件在计算时自动对连梁分缝并按分缝后的连梁高度进行配筋设计。

软件还支持连梁配置交叉钢筋，用户可以在特殊构件定义中指定交叉钢筋形式，软件根据《混凝土规范》11.7.10 条进行配筋设计。

9、错层、斜梁、层间梁、坡屋面结构

建模中通过调整上节点高及梁顶标高参数，即可在各楼层上简单、准确地完成层间梁、斜梁、错层梁和局部错层结构的几何建模工作。坡屋面、体育场看台、坡道等结构的模型，都是用这种方式建模的。

计算的前处理可将这种模型正确地转化为计算模型，主要工作是：错层梁、斜梁可将相连的柱或墙打断并在断点处连接；斜梁梁端可以与下层或其它层的梁、柱、墙、支撑自动连接。对于建模缺陷问题的容错处理包括：对同一节点上的不同标高梁或上翻梁自动按连接处理；对斜梁梁端的上层没有杆件时自动拉动本层杆件或抬高本身与之相接；本层调整上节点高后与上层相连层柱没有相应调整等的容错处理。

坡屋面楼层外沿的封口梁和其下层楼面的封口梁常处于重合的同一位置，它们同时连接下层楼板和坡屋面层的斜板，并同时承担两层楼板传来的荷载。软件专门设计了对这种上下层同一位置重合梁的荷载合并和删除机制。即把上下两层梁的荷载合并，将它们作用到下层梁上，然后将上层的梁在计算时删除。

在强制楼层刚性板假定下，软件采用计算的主从节点模式将从属于某层的所有节点按照刚体平动和转动，像坡屋面层、错层楼层的复杂楼层也保持一个刚体那样转动和平动，从而得到合理的计算指标。

10、斜柱和支撑

这里所说的斜柱和支撑指的是在建模中按斜杆输入的杆件，简称斜杆，用于模拟斜柱、柱间支撑、屋面支撑、桁架、转换层或加强层的斜撑、拉杆等。

斜杆通过两端节点与其它构件连接；不仅可以在本层，而且可以跨层连接；斜杆可以在楼层的上下节点上实现连接，可以连接本层或其它层的梁端点，斜杆端点还可以把与之相交的柱、墙杆件打断并在断点处实现连接。同时当斜杆的中间部位与其它杆件相交时，软件可以正确处理斜杆与其它杆件的连接关系。

软件对于钢斜杆计算时默认为两端铰接，对混凝土斜杆默认为固接。对斜杆的计算长度系数默认取为 1。

按照其竖向倾斜角度可将斜杆分成两类，小于 20°时按照柱构件处理，如像柱一样作 0.2V0 调整、统计倾覆弯矩、作楼层抗剪承载力计算等。

11、多塔楼结构

多塔结构的建模方式，按各塔各层模型是统一输入至相同的标准层中还是分别输入至独立标准层中，分为共用标准层与广义层两种。无论使用哪一种建模方式，或者两种建模方式混合应用，软件都可以完成对多塔中的各分塔的自动划分。软件中的“多塔定义”即是对多塔模型进行分塔的过程。

软件根据各层梁墙的布置状况，可以自动搜索出由梁墙组成的各个塔单元的最外围轮廓并适当外扩，这个轮廓线就是各个塔划分的边界线。对于布置复杂混乱的平面也可以实现各塔归属的自动划分，如对于跃层柱、跃层支撑，软件根据它们在上下相邻层的关系即可正确判断出它的塔号。软件可对各个分塔按照规范要求实现单塔模型的提取和单独计算。用户可在三维简图上清晰看到软件自动划分多塔及各单塔模型自动提取的结果，并可人工干预修改。自动划分多塔功能省去大量人工定义的工作，效率高、计算准确。

多塔定义后，软件可以对多塔结构各个塔的风荷载分别统计计算，并可作伸缩缝结构处风荷载的遮挡计算，对于各个分塔地震力考虑偏心、0.2V0 调整等计算是分塔分别进行的。另外，各种计算统计指标是按照分塔输出的。

《高规》5.1.14 条规定：“对多塔楼结构，宜按整体模型和各塔楼分开的模型分别计算，并采用较不利的结果进行结构设计。当塔楼周边的裙楼超过两跨时，分塔楼模型宜至少附带两跨的裙楼结构。”

用户可将全部多塔连在一起整体建模，软件可自动实现按整体模型和各塔楼分开的模型分别计算，并采用较不利的结果进行结构设计。对其中的每个塔按照规范的要求自动切分成单个塔，然后连续地分别进行各塔的单塔计算和全部多塔连在一起的整体计算，最终构件配筋设计时采用整体计算和各单塔计算的较大值。

软件将各个单塔的计算结果放置于按照单塔名称分类的子目录，对于截面配筋以外的其它计算结果，用户可方便地从分体模型或整体模型中找到需要的计算结果。

12、带转换层结构

软件可对各种类型的带转换层的结构和带加强层的结构、连体结构给出计算解决方案。转换层结构构件可采用转换梁、桁架、空腹桁架、箱形结构、斜撑、厚板、搭接柱转换、宽扁梁转换等。

转换层结构涉及的主要参数有：

“转换层所在层号”及“转换层指定为薄弱层”；软件可据此确定结构底部加强区位置，进一步确定剪力墙边缘构件的配筋，还可自动将转换层所在层设置为薄弱层。

“墙竖向分布筋配筋率”、“墙水平分布筋间距”、“结构底部需单独指定竖向分布筋配筋率的层数”、“结构底部需单独指定水平分布筋配筋率”。

“框支剪力墙结构底部加强区剪力墙抗震等级自动提高一级”，这是自动实现《高规》的要求的功能。

用户应对框支剪力墙结构的转换梁、框支柱进行人工指定，指定后软件可根据规范相关条文自动对其作调整计算。

如果对转换梁采用梁单元计算，将上部剪力墙和梁的中和轴位置相接，会使梁的计

算刚度大大减少而不能得到正确计算结果。故软件对转换梁自动按照墙单元进行计算，按照墙那样将转换梁细分成壳单元，并使其上皮和上部的托墙连接。这样计算模型与真实模型会更加接近，力学分析也更加合理。同时软件对转换梁仍按照梁的方式输出内力和配筋。

13、地下室结构

一般应将地下室与其上部结构各层共同建立，组成完整的计算模型进行计算分析，本软件可以进行上部结构和地下室的协同的、联合的计算分析。

将地下室建入整体模型后，可以在设计参数中定义地下室层数，同时输入地下室的相关参数。

对于风荷载的计算，软件自动考虑地下室部分的基本风压为零，在地上部分的风荷载计算中自动扣除地下室部分的高度，地下室顶板作为风压高度变化系数的起算点。

软件可作回填土对地下室侧向约束的计算。按照考虑土层侧向约束随埋深增加而变大的方法，即输入“土层的水平抗力系数的比例系数”，按《建筑桩基技术规范》（JGJ94-2008）表 5.7.5 中灌注桩类型的 m 取值。而新的 m 法只与回填土的性质有关，模拟较为合理。

软件对于地下室各层的抗震等级自动设置，软件将嵌固端所在层号当做地下一层，并对嵌固端所在层号的抗震等级不降低。如果嵌固端层以下还设置了地下室，则软件对于嵌固端所在层号以下的各层的抗震等级和抗震构造措施的抗震等级分别自动设置：对于抗震等级自动设置为四级抗震等级，对于抗震构造措施的抗震等级逐层降低一级，但不低于四级。

软件可对地下室外墙作考虑水土压力和人防荷载的计算。软件自动搜索地下室外墙，用户也可进行指定地下室外墙或取消地下室外墙的定义。

14、钢结构

除了多高层民用建筑外，钢结构在工业厂房上应用更多。钢结构常采用大跨结构、门式刚架等形式，支撑用得多，次梁一般与主梁铰接连接。

结构分析时，需要用户根据实际情况指定特殊构件，如端部铰接、角柱、组合梁、

门式刚架梁、门式刚架柱、中心支撑与偏心支撑等。

计算参数中阻尼比、考虑风振影响、重力二阶效应、柱、梁、支撑计算长度系数的修改是钢结构应该特别注意的参数。

整体分析完成后，软件输出了依据相关规范应控制的指标。

对于钢结构构件的验算，采用现行相关规范，验算了构件的强度、稳定性、长细比、板件局部稳定，梁构件一般按照受弯构件计算，但是对于轴压力较大的钢梁，自动按照压弯构件补充计算。

自动对柱进行了强柱弱梁的验算，输出节点处 X、Y 向梁、柱全塑性承载力之比。同时根据规范要求，对于轴压比不超过 0.4 的柱、有节点与支撑相连的柱不进行验算。

15、底框抗震墙结构和砌体结构

底部框架-抗震墙房屋由上部砌体结构和底部框架-抗震墙结构两部分组成，在砌体设计模块中，首先完成整体结构的计算，包括地震作用和上部砌体结构的抗震等验算，接着完成底部框架-抗震墙结构计算，包括梁、柱、墙的内力分析与配筋计算。上部砌体结构的计算，与一般的砌体房屋相同。底部框架-抗震墙结构计算，把房屋在底框顶层楼板处水平切开，将上部砌体的外荷载和结构自重作用在底框顶部，不考虑上部砌体的刚度贡献，把底框结构作为独立结构进行分析。

对于地震作用，通过底部剪力法得到各层水平地震作用，将其中上部各层水平地震作用，按照规范对底框结构要求的调整放大，将它们转化为底框顶部的水平集中力与倾覆弯矩，再加上底框各层受到的水平地震作用，共同作为外加荷载作用在底框结构上，上部各层累计的水平地震集中力假定作用于底框顶层的质心，底框其它各层受到的水平地震力假定作用于本层的质心。进行内力分析时，同样不考虑上部砌体的刚度影响。

风荷载的计算与地震作用类似，软件将上部砌体各层的风荷载转化为底框顶部的水平集中力与倾覆弯矩，再加上底框各层自身受到的水平风荷载，共同作为外加荷载作用在底框结构上，上部水平集中风荷载假定作用于底框顶层的刚心。进行内力分析时，同样不考虑上部砌体的刚度影响。

结构计算时，还要依据规范要求调整墙、柱之间分配的地震内力比例。对满足框支墙梁要求的底框托梁，软件会根据《砌体规范》第 7.3.6 条计算跨中拉力，在托梁跨中

正截面配筋时，会自动根据墙梁方法计算的跨中拉力，按偏拉构件计算配筋。

在砌体设计模块中，砌体计算、砌体中的混凝土梁柱构件的计算、底部框架-抗震墙结构计算是集成在一起连续自动进行的，用户一次点取“计算”菜单即完成全部计算内容。

16、与基础设计软件的接口

（1）传基础上部结构刚度

目前的传统做法在上部结构计算时，将基础顶点看做上部结构的嵌固节点对上部结构进行计算分析，不考虑基础刚度及基础不均匀沉降对上部结构的影响.但对基础的分析如忽略上部结构刚度的影响，则可能会使得基础的变形与实际情况存在很大差异，尤其是对含剪力墙的结构。因此应该考虑上部刚度的影响，但其困难是如果做整体计算，由于地基刚度计算的特殊性，会使得计算规模增加很多，因此软件采用的做法是在做上部刚度计算时同时将上部刚度凝聚到嵌固点。

（2）传基础上部结构荷载

上部结构输出了所有工况的内力结果，包括吊车荷载的内力结果。对于杆件输出了杆件的轴力、弯矩和剪力，对于墙则只输出平面内的内力结果，即墙的平面外弯矩和剪力不予输出，同样在基础设计中也忽略这部分内力。

传给基础的内力是软件计算得到的标准内力。

17、次梁计算与结构整体计算集成

软件对次梁采用各层交叉梁系分别计算的简单计算模型，但它和结构整体计算连在一起自动进行，在各层结果输出中次梁计算结果也和其他构件一起表达，省去用户单独执行次梁计算的操作。

18、弹性动力时程分析

弹性动力时程分析方法是与反应谱法并列的地震作用分析方法，它是对反应谱方法的补充和完善，规范中对这种方法的使用有明确的规定。

该模块的计算模式为弹性，适用于小震作用。软件根据输入的地震波对高层建筑结

构进行任意方向的弹性动力时程分析，并输出楼层位移、楼层剪力等动力分析结果，供用户进行二阶段抗震补充设计。

软件为用户提供丰富的各类场地上的地震波，也可由用户导入自定义地震波。

19、接力计算结果的梁、柱、剪力墙施工图绘制

施工图设计模块可以接力上部结构计算软件的计算结果进行混凝土梁、柱、剪力墙配筋结果的施工图绘制。

二、相关规范、规程、标准和标准图集

软件在设计时主要以下列规范、规程、标准作为编制依据：

（1）《工程结构通用规范》（GB 55001-2021）；

（2）《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB 55002-2021）；

（3）《建筑与市政地基基础通用规范》（GB 55003-2021）；

（4）《组合结构通用规范》（GB 55004-2021）；

（5）《钢结构通用规范》（GB 55006-2021）；

（6）《砌体结构通用规范》（GB 55007-2021）；

（7）《混凝土结构通用规范》（GB 55008-2021）；

（8）《既有建筑鉴定与加固通用规范》（GB 55021-2021）；

（9）《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2010）（2015 年版），书中简称《砼规范》或《混凝土规范》；

（10）《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010）（2016 年版），书中简称《抗震规范》；

（11）《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3-2010），书中简称《高规》；

（12）《建筑桩基技术规范》(JGJ94-2008)，书中简称《桩基规范》；

（13）《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)，书中简称《地基规范》；

（14）《人民防空地下室设计规范》(GB50038-2005)，书中简称《人防规范》；

（15）《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012)，书中简称《荷载规范》；

（16）《钢结构设计规范》(GB 50017-2003)，书中简称《钢结构规范》；

（17）《钢结构设计标准》(GB 50017-2017)，书中简称《钢结构标准》；

（18）《砌体结构设计规范》(GB50003-2011)，书中简称《砌体规范》；

（19）《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99-2015)，书中简称《高钢规》；

（20）《组合结构设计规范》(JGJ 138-2016)，书中简称《组合规范》；

（21）《钢骨混凝土结构技术规程》(YB9082-2006)，书中简称《钢骨规程》；

（22）《混凝土异形柱结构技术规程》(JGJ 149-2017)，书中简称《异形柱规程》；

（23）《门式刚架轻型房屋钢结构设计规范》（GB51022-2015）；

（24）《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018-2002)；

（25）《矩形钢管混凝土结构技术规程》(CECS 159:2004)；

（26）《钢管混凝土结构设计与施工规程》（CECS 28:90）。

三、和国内外流行软件兼容或提供接口

本软件和国内外流行的各种软件兼容或提供接口，如 Revit、PKPM、SAP2000、ETABS、MIDAS、探索者、Abaqus 等等。

四、软件功能框图和界面

上部结构计算软件由两大部分组成，第一部分是前处理及计算，第二部分是设计结果显示输出，两部分分别由两组菜单驱动。

1、前处理及计算

从“模型荷载输入”菜单点取“上部结构计算”菜单进入到上部结构计算软件时，软件首先进入到计算前处理部分。

计算前处理包括的菜单有：计算参数、荷载校核、连续梁编辑、特殊构件定义、多塔定义、楼层属性查看修改、风荷载查看修改、柱计算长度查看修改、生成结构计算数据、数据检查报告、计算简图等等。这些内容是在模型荷载输入完成后，对结构计算信息的重要补充。

图 1.4.1 前处理及计算菜单

计算参数是控制结构计算必须正确填写的部分，在第一次执行计算前必须要执行计算参数菜单。参数的分类标题列于左侧，点开每项得到右侧不同的参数对话框，参数分类和传统软件相同，每页的内容有较多区别，出现了很多体现新功能特点的参数。

对于不熟悉的参数，用户可以使用这里的帮助功能，按 F1 键，则可以立即显示帮助功能，说明书和技术报告中的相关内容可以马上展现在这里。也可以将鼠标悬停在想要了解的参数上面，在参数说明框中会对该参数进行简单说明。

图 1.4.2 计算参数

2、设计结果显示输出

结构计算完成后自动进入设计结果菜单。

在这里软件提供两种方式输出计算结果，一是各种文本文件，二是各种计算结果图形。

图 1.4.3 设计结果菜单

设计结果部分的菜单有：文本结果、构件编号图、配筋简图、轴压比图、梁挠度图、边缘构件图、标准内力图、三维内力图、梁内力包络图、地震振型和各工况下的变形动画，吊车荷载预组合内力图等。

打开文本文件显示菜单即出现各类计算结果文本文件的列表框，双击某一项即可打开该文本文件。有些项目前带有+号，这是分层输出的文本文件，点开后即展开各楼层的文本文件列表。计算结果文件统一带有后缀.out。

图 1.4.4 分析结果文本显示菜单

全部计算结果文本文件都是软件自动生成的，图形文件是根据用户操作相应菜单生成的。计算结果的文本文件和图形文件都存放在工程目录下的“设计结果”子目录中。

结构计算过程中产生大量中间数据，它们是各个计算阶段互相联系的文件，这些文件体量较大，存放到工程目录下的“中间数据”子目录中。

3、和其它功能模块的关系

1）和模型荷载输入菜单的关系

结构计算前，必须现在“模型荷载输入”菜单下完成整个建筑模型、各种荷载的输

入。“模型荷载输入”菜单是本系统的一级菜单，用蓝色字体显示。该菜单完成后可以直接点取“上部结构计算”菜单，随后软件关闭模型荷载输入菜单、启动上部结构计算软件菜单，并进入到前处理菜单下。此时软件会提示用户是否保存模型，如果保存，软件弹出建模退出的一系列选项，由用户选择执行。

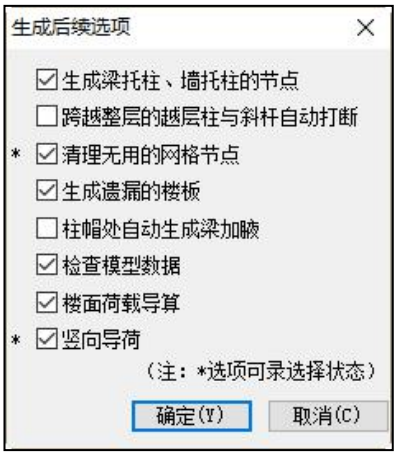


图 1.4.5 建模退出选项

软件隐含打勾的这些选项，都是保证结构计算信息正确、完整的必要步骤，建模完成后第一次退出时对隐含打勾的这些选项都应该执行，只有在模型修改不多，确认对计算模型不会有影响，并为了节省退出时间时，可以对有些选项不执行。

在结构计算反复调整、反复计算中，如果从计算返回到模型荷载输入菜单，分为两种情况：

一种是用户对模型或荷载做了修改，这种情况下再退出建模，进入计算菜单时，软件给出是否保存的提示，如果选择保存，软件就像初始的建模退出一样，弹出建模退出的一系列选项，由用户选择执行。

一种是用户只是查看建筑模型或荷载，没有做任何修改，这种情况下再退出建模，进入计算菜单时，软件不作任何提示，直接切换到计算前处理菜单下。

经过建模修改保存状态之后，如果用户没有重新生成数据和计算而直接到设计结果菜单时，由于计算结果是根据修改前的模型完成的，与现有模型可能不匹配，有时甚至造成结果显示错误。为此，软件将给出提示：

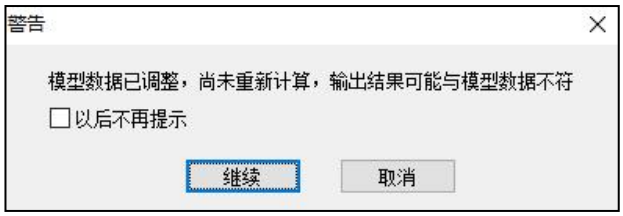


图 1.4.6 输出结果与模型数据不符警告

2）与基础设计模块和施工图设计模块的关系

基础设计软件使用的“上部结构荷载”，将主要来自上部结构计算软件的计算结果；基础有限元计算时使用的上部结构刚度，也来自于上部结构计算软件的计算结果，在上部结构计算时，要在计算参数中选择计算“生成传给基础的刚度”。

施工图设计模块使用的梁、柱、剪力墙的内力和配筋，来自上部结构计算软件的计算结果，必须有上部结构计算软件的计算结果才能执行施工图设计的相关菜单。

第二章 计算前处理

从“模型与荷载输入”菜单点取“上部结构计算”菜单进入到上部结构计算程序时，程序首先进入到计算前处理部分。

图 2.1 前处理及计算菜单

计算前处理包括的菜单有：计算参数、特殊构件定义、多塔定义、楼层属性查看修改、风荷载查看修改、柱计算长度查看修改、温度荷载设置、活荷折减、生成结构计算数据、数据检查报告、计算简图。这些内容是在模型荷载输入完成后，对结构计算信息的重要补充。

第一次结构计算前，计算参数菜单是必须要执行的。在反复计算调整中，如回到建模菜单修改模型与荷载输入，或者调整前处理的其它菜单时，如果没有对设计计算参数内容的修改，可以不用再执行计算参数菜单。

特殊构件定义、多塔定义、楼层属性查看修改、风荷载查看修改、柱计算长度查看修改等菜单是根据需要执行的，不是必须执行的菜单。在反复计算调整中，如果没有新的修改，这些菜单也不必重新运行。

结构计算前必须要生成结构计算数据，没有这一步也不能查看结构计算简图。但是生成计算数据的操作可以和计算连续进行，在结构计算菜单的选项中，第一项是“生成数据+全部计算”，该菜单可以将生成结构计算数据和结构计算的操作一步完成。

荷载校核菜单用来显示各类荷载简图，输出用户输入的各种荷载、楼板导算结果的荷载，以及结构自重等，这些荷载简图可作为用户前处理的重要保存内容。

连续梁编辑菜单用来显示所有梁的两端约束情况、连续梁跨数、梁属性等。当两根梁相交时，软件根据它们的相对截面大小、状态等来判断主梁和次梁。这些属性也会影响到刚度系数的计算。用户可以在这个菜单中手动对这些判定进行修改。

特殊构件定义是计算前处理的重要的、用户操作最多的工作，它不但内容多，包含的菜单层级也多。我们用 Ribbon 风格的菜单把它们集中地、紧凑地放置在这里。

特殊构件的定义，有特殊梁的定义。例如：定义不调幅梁、连梁、转换梁、连梁分缝、交叉配筋、杆端约束、刚度系数、扭矩折减等。特殊柱的定义，特殊支撑、特殊墙、板属性、节点属性、抗震等级、材料强度等。

这里采用了四级菜单是带绿色三角形的，特点是点取某一个菜单后，整批四级菜单的内容不退出，仍保留在原位置。这是因为这里的菜单内容多，切换的也多，它们整体保持在原处，便于用户随时点取操作。

图 2.2　特殊构件定义菜单

用户点取关闭可以关闭这批菜单，或者用户点取其它三级菜单也会自动关闭当前的菜单显示。

软件对楼层属性的查看、编辑修改提供一种三维的直观方式，软件用各层拉伸体组成的三维模型表现建筑整体模型，用于多塔定义、楼层属性修改、风荷载定义修改等。它的主要特征是：1）Tip 提示显示各楼层名称、层高、楼层属性、所属塔号等；2）多塔的不同分塔用不同颜色显示；3）用不同的颜色表现楼层的不同属性。

新规范中关于楼层属性的内容越来越多，软件提供浮动菜单项来修改楼层属性。

如果是多塔结构，则应作多塔结构定义，多塔定义是多塔结构前处理的重要内容。软件可对多塔结构实现自动划分多塔，对划分多塔的结果用三维模型直观地展示，不同塔使用不同颜色，并提供多种人工调整多塔划分的方法。

前处理菜单还提供对软件自动生成的风荷载和柱的计算长度的显示修改功能。

生成结构计算数据后，软件提供平面简图和三维轴测图来表现计算模型，计算简图中可展示各层平面、各层之间的构件相连关系，展示剪力墙和弹性楼板的有限元自动划分结果。

最右一项菜单是计算，是整个模块最核心的功能。软件可以从生成数据到结构计算再到配筋设计一个按钮全部实现，也可以单独选择只生成数据或只计算，或者只设计。

除此之外，还允许用户自定义所要计算的项目：例如可以自己选择计算模型、选择所要计算的荷载类型、计算时是否考虑偶然偏心、是否考虑 P-△效应等。

第一节 计算与设计参数

设计人员在运行结构分析与计算前，需根据工程实际情况正确设置计算与设计参数。参数修改后，软件会自动存于参数文件（spara.par），用户可以直接将该文件拷贝到其它工程中作为默认设置。设计参数共有如下选项卡：结构总体信息、计算控制信息、风荷载信息、地震信息、设计信息、活荷载信息、构件设计信息、包络设计、材料信息、地下室信息、荷载组合、鉴定加固、装配式。

每页选项卡的标题排列于左侧，分别点击即打开各个卡的参数页。

一、结构总体信息

图 2.1.1 结构总体信息

参数含义及取值方法如下：

1、结构体系

软件提供的选项是根据现行规范的相关规定整理的。该参数直接影响整体指标统计、构件内力调整、构件设计等内容。

图 2.1.2　结构体系

（1）框架结构

影响刚重比计算，按《高规》5.4 节框架结构计算；

影响层刚度比计算方法，按《高规》3.5.2-1 框架结构计算；

影响强柱弱梁、强剪弱弯调整系数，按框架结构取；

影响轴压比限值取值，按框架结构取；

影响柱纵筋最小配筋率，IV类场地高度大于 40m 时要提高最小配筋率。

（2）框剪结构

影响刚重比计算，按《高规》5.4 节非框架结构计算；

影响层刚度比计算方法，按《高规》3.5.2-2 非框架结构计算；

影响强柱弱梁、强剪弱弯调整系数，按非框架结构取；

影响轴压比限值取值，按框剪结构取；

影响柱纵筋最小配筋率，IV类场地高度大于 60m 时要提高最小配筋率。

设置相关参数后，按《高规》8.1.4 进行 0.2V0 调整。

（3）框筒结构

影响刚重比计算，按《高规》5.4 节非框架结构计算；

影响层刚度比计算方法，按《高规》3.5.2-2 非框架结构计算；

影响强柱弱梁、强剪弱弯调整系数，按非框架结构取；

影响轴压比限值取值，按框筒结构取；

影响柱纵筋最小配筋率，IV类场地高度大于 60m 时要提高最小配筋率；

自动按《高规》9.1.11 进行层地震剪力调整。

（4）筒中筒结构

影响刚重比计算，按《高规》5.4 节非框架结构计算；

影响层刚度比计算方法，按《高规》3.5.2-2 非框架结构计算；

影响强柱弱梁、强剪弱弯调整系数，按非框架结构取；

影响轴压比限值取值，按筒中筒结构取；

影响柱纵筋最小配筋率，IV类场地高度大于 60m 时要提高最小配筋率；

自动按《高规》9.1.11 进行层地震剪力调整。

（5）剪力墙结构

影响刚重比计算，按《高规》5.4 节非框架结构计算；

影响层刚度比计算方法，按《高规》3.5.2-2 非框架结构计算。

（6）部分框支剪力墙结构

抗震设计时，落地剪力墙弯矩取底层墙底内力，并进行弯矩调整；

转换层上下刚度比按照《高规》附录 E 计算；

当转换层在 3 层及 3 层以上时，框支柱、剪力墙底部加强部位的抗震等级自动提高一级；

框支柱地震内力自动按《高规》10.2.17 调整；

自动统计框支框架倾覆弯矩。

（7）板柱-剪力墙结构

影响轴压比限值取值；

风荷载、地震作用层剪力自动按《高规》8.1.10 调整。

（8）异形柱框架结构

按异形柱规程进行强柱弱梁、强剪弱弯调整；

如果是IV类场地、高度超过 28m，对最小配筋率提高 0.1%；

影响轴压比限值取值。

（9）异形柱框剪结构

按异形柱规程进行强柱弱梁、强剪弱弯调整；

影响轴压比限值取值，异形柱框架与框剪结构有不同的取值。

（10）配筋砌块砌体结构

底部加强区高度取值；

轴压比限值取值；

最大配筋率按配筋砌体确定。

（11）砌体结构

执行砌体结构相关规范的规定。

（12）底框结构

执行底框结构的相关规定。

（13）钢框架-中心支撑

执行《抗震规范》关于钢框架-中心支撑的相关规定；

按 0.25V0 调整。

（14）钢框架-偏心支撑

执行《抗震规范》关于钢框架-偏心支撑的相关规定；

按 0.25V0 调整。

（15）单层工业厂房

执行《抗震规范》关于单层工业厂房的相关规定。

（16）多层钢结构厂房

《抗规》附录 H.2 多层钢结构厂房：

H.2.8 多层钢结构厂房的基本抗震构造措施，尚应符合下列规定：

1 框架柱的长细比不宜大于 150；当轴压比大于 0.2 时，不宜大于 125（1-0.8N/Af）√（235/fy）

2 厂房框架柱、梁的板件宽厚比，应符合下列要求：

1）单层部分和总高度不大于 40m 的多层部分，可按本规范第 9.2 节规定执行；

2）多层部分总高度大于 40m 时，可按本规范第 8.3 节规定执行。

……

4 柱间支撑构件宜符合下列要求：

1）多层框架部分的柱间支撑，宜与框架横梁组成 X 形或其他有利于抗震的形式，其长细比不宜

大于 150；

2）支撑杆件的板件宽厚比应符合本规范第 9.2 节的要求。

（17）竖向框排架

《抗规》附录 H 《抗震规范》关于多层工业厂房抗震设计要求：

H.1.6 竖向框排架厂房的地震作用调整和抗震验算，应符合下列规定：

……

2 竖向框排架结构与排架柱相连的顶层框架节点处，柱端组合的弯矩设计值应按第 6.2.2 条进行调整，其他顶层框架节点处的梁端、柱端弯矩设计值可不调整。

3 顶层框排架设置纵向柱间支撑时，与柱间支撑相连排架柱的下部框架柱，一、二级框架柱由地震引起的附加轴力应分别乘以调整系数 1.5、1.2；计算轴压比时，附加轴力可不乘以调整系数。

H.1.7 竖向框排架厂房的基本抗震构造措施尚应符合下列要求：

……

3 竖向框排架结构顶层排架设置纵向柱间支撑时，与柱间支撑相连排架柱的下部框架柱纵向钢筋配筋率、箍筋的配置应满足本规范 6.3.7 条中对于框支柱的要求；箍筋加密区取柱全高。

4 框架柱的剪跨比不大于 1.5 时，应符合下列规定：1）箍筋应按提高一级抗震等级配置。

……

对于定义了竖向框排架的结构，软件自动执行：

1）对处于最上一层的所有柱的上节点，对其柱端组合的弯矩设计值按《抗规》第 6.2.2 条进行调整（强柱弱梁调整）；

2）对所有与柱间支撑相连的柱的下部框架柱，一、二级框架柱由地震引起的附加轴力应分别乘以调整系数 1.5、1.2；计算轴压比时，附加轴力不乘以调整系数；

3）对所有与柱间支撑相连的柱的下部框架柱，其纵向钢筋配筋率、箍筋的配置满足《抗规》6.3.7 条中对于框支柱的要求；箍筋加密区取柱全高；

4）框架柱的剪跨比不大于 1.5 时，对箍筋按提高一级抗震等级配置。

2、结构材料

图 2.1.3 结构材料

目前，该参数主要应用于如下几个方面：

1）风振舒适度计算：按《高钢规》计算顺风向风振加速度时，使用该参数计算脉动增大系数；

2）《高规》11.4.18-1 条规定：“抗震设计时，钢框架-钢筋混凝土核心筒结构的筒体底部加强部位分布钢筋的最小配筋率不宜小于 0.35%，筒体其他部位的分布筋不宜小于 0.3%。”当结构体系为框筒结构且结构材料为钢与混凝土混合结构时，执行该条。

3、结构所在地区

图 2.1.4 所在地区

全国：按国家规范、规程进行结构设计；

广东高规 DBJ15-92-2013：整体计算与构件设计时，对于广东规程有规定的，按广东高规（DBJ 15 – 92 - 2013）执行；

上海：整体计算与构件设计时，对于上海规程有规定的，按上海规程执行；

广东高规（2021）：整体计算与构件设计时，对于广东规程有规定的，按广东高规（DBJ/T 15 – 92 - 2021）执行。

4、地下室层数

指与上部结构同时进行内力分析的地下室部分的层数。该参数对结构整体分析与设计有重要影响，如：

1）地下室侧向约束的施加；

2）地下室外墙平面外设计；

3）风荷载计算时，起算位置为地下室顶板；

4）剪力墙底部加强区起算位置为地下室顶板；

5）人防荷载必须加载在地下室楼层；

6）框架结构底层地震组合下设计内力调整；

7）各项楼层指标判断及调整对地下室楼层的过滤等内容。

5、嵌固端所在层号

嵌固端所在层号主要用于设计，如按《抗震规范》6.1.14.3.2 条对梁、柱钢筋进行调整；按《高规》3.5.5.2 条确定刚度比限值；地震组合下的设计内力调整；底部加强区起始位置等方面。

软件默认嵌固层号=地下室层数，如果在基础顶嵌固，则该参数填 0，如果修改了地下室层号，应注意确认嵌固端所在层号是否需要修改。

如果嵌固层以下设置了地下室，则按《抗规》6.1.3 条，将嵌固端所在层号当做地下一层，并对嵌固端所在层号的抗震等级不降低；对于嵌固端层以下的各层的抗震等级和抗震构造措施的抗震等级分别自动设置：对于抗震等级自动设置为四级抗震等级，对于抗震构造措施的抗震等级逐层降低一级，但不低于四级。

注意，该参数指的是设计时对嵌固层的构造加强，而不是计算模型的嵌固。

6、与基础相连构件最大底标高（m）

用来确定柱、支撑、墙柱等构件底部节点是否生成支座信息，如果某层柱或支撑或墙柱底节点以下无竖向构件连接，且该节点标高位于“与基础相连构件最大底标高”以下，则该节点处生成支座。

7、裙房层数

《抗震规范》6.1.10 条文说明指出：有裙房时，加强部位的高度也可以延伸至裙房以上一层。

软件在确定剪力墙底部加强区高度时，对于有裙房的结构，取底部加强区高度不小于裙房层+1 层。

另外，该参数还用于多塔结构自动分塔计算时的构件设计结果取大。拆分单塔时，

裙房及以下层构件可能被拆分后的多个单塔共有，而这些构件很可能属于拆分后各单塔的边缘部位，受力状态与实际相差较大，因此软件在进行整体模型与单塔模型构件设计结果取大时，将不包括裙房及以下楼层的构件。

裙房层数在填写时注意要包含地下室层数。

8、转换层号

《高规》10.2 节指出带转换层结构主要有两种：带托墙转换层的剪力墙结构（部分框支剪力墙结构）和带托柱转换层的筒体结构。规范对这两种结构作出了规定，有共性的规定，也有各自不同的规定。

共性的规定主要有:《高规》10.2.2 条，剪力墙底部加强区高度不小于转换层+2 层；《高规》10.2.4 条，转换构件在水平地震作用下的标准内力放大；《高规》10.2.3 条，计算转换层上下层刚度比等；

对于部分框支剪力墙结构，规范作出了特殊规定，如:《高规》10.2.6 条，对部分框支剪力墙结构，当转换层的位置设置在 3 层及 3 层以上时，其框支柱、剪力墙底部加强部位的抗震等级宜按本规程表 3.9.3 和表 3.9.4 的规定提高一级采用，已为特一级时可不提高；《高规》10.2.16.7 条，框支框架承担的地震倾覆力矩应小于结构总地震倾覆力矩的 50%；《高规》10.2.17 条，部分框支剪力墙结构框支柱的水平地震剪力标准值的调整；《高规》10.2.18 条，部分框支剪力墙结构中落地剪力墙底部加强部位的弯矩设计值调整。

如果设置了转换层层号，软件将执行共性的规定；如果设计人员将结构体系设置为“部分框支剪力墙结构”，则软件还将执行部分框支剪力墙结构的相关规定。

需要注意的是，转换构件（如转换梁、转换柱）软件没有自动识别，需要设计人员手工指定。

转换层号在填写时注意要包含地下室层数。

9、加强层所在层号

该参数对于筒体结构层地震剪力调整、加强层构件设计等方面有影响。如果设置了加强层，软件将按规范要求进行设计，如:《高规》9.1.11.1 条规定，筒体结构楼层地震剪力调整要去除加强层及其上、下层；《高规》10.3.1 条，加强层及其相邻层的框架

柱、核心筒剪力墙的抗震等级应提高一级；《高规》10.3.2 条，加强层及其相邻层框架柱的轴压比应按其它楼层框架柱的数值减小 0.05 采用；《高规》10.3.3 条，加强层及其相邻层核心筒剪力墙应设置约束边缘构件等。

该参数除了在设计参数中设置外，还可在多塔定义中手工指定。

10、恒活荷载计算信息

图 2.1.5　恒活荷载计算信息

该参数主要控制恒活荷载计算。

不计算恒活荷载：不计算恒活荷载。

一次性加载：一次施加全部恒载，结构整体刚度一次形成。

施工模拟 1：结构整体刚度一次形成，恒载分层施加。这种计算模型主要应用于各种类型的下传荷载的结构。

施工模拟 3：采用分层刚度分层加载模型。第 n 层加载时，按只有 1~n 层模型生成结构刚度并计算，与施工模拟 1 相比更接近于施工过程。

11、风荷载计算信息

图 2.1.6　风荷载计算信息

不计算风荷载：不计算风荷载。

一般计算方式：一般计算方式计算风荷载是一种相对简化的算法。它假定迎风面、背风面的受风面积相同，由用户分别输入迎风面与背风面体型系数。程序自动根据每层的层顶标高计算本层的风荷载。它假定每层风荷载作用于各刚性块质心和所有弹性节点上。程序首先把楼层风荷载总值按节点个数平均分配到每个节点，然后将属于同一块刚性板的所有节点上分配的风荷载集中到该刚性板块的质心上。对于独立的弹性节点，分

配的风荷载直接作用在相应节点上。

在自动计算风荷载时，只考虑顺风向，不考虑横向风的影响。不能计算屋顶的风吸力和风压力。

在计算风荷载作用效应时，仅做正向风（如+X 向）的内力计算，对于负向风（如-X 向）不再做内力计算，直接取正向风的内力计算结果，再取反号后作为负向风的计算结果。

精细计算方式：精细计算方式计算风荷载时，根据迎风面体型系数、背风面体型系数、侧风面体型系数及挡风系数计算出该层的风荷载。程序自动搜索出每个楼层的外围封闭多边形，将算出的风荷载分配到楼层外围的布置有柱、梁、墙杆件的节点上。

参数中的挡风系数是为了考虑楼层外侧轮廓并非全部为受风面积，存在部分镂空的情况。当该系数为 1.0 时，表示外侧轮廓全部为受风面积，小于 1.0 时表示有效受风面积占全部外轮廓的比例，程序计算风荷载时按有效受风面积生成风荷载，可用于无填充墙的敞开式结构。

在精细方法风荷载中还可以输入屋面风荷载体型系数等参数，可以考虑并自动生成作用于屋面的风压力和风吸力的荷载。程序将屋面风荷载自动加载到相应方向的梁上，形成梁上的均布风荷载。

程序将对各自然层自动生成 4 组特殊风荷载，分别在 X、Y 向各加 2 组。程序默认第 1 组为 Wx、第 2 组为-Wx、第 3 组为 Wy、第 4 组为-Wy。

可以看出，精细方法计算风荷载其实是按照更加符合规范的方法自动生成风荷载。

按构件挡风面积计算：软件根据风荷载方向计算出柱、梁、支撑等构件在该方向的投影面积，进而计算出风荷载，并作为分布荷载施加在该构件上。

12、地震作用计算信息

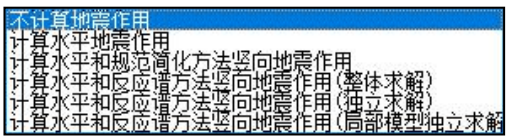


图 2.1.7　地震作用计算信息

《抗震规范》3.1.2 条规定：“抗震设防烈度为 6 度时，除本规范有具体规定外，对乙、丙、丁类的建筑可不进行地震作用计算。”

《抗震规范》5.1.6.1 条规定：“6 度时的建筑（不规则建筑及建造于IV类场地上较高的高层建筑除外），以及生土房屋和木结构房屋等，应符合有关的抗震措施要求，但应允许不进行截面抗震验算。”

如果选择“不计算地震作用”，则软件不进行地震作用计算。

如果选择“计算水平地震作用”，则软件只计算水平地震作用，分 X、Y 方向；如果设置了“水平力与整体坐标夹角”Ang，则 X 正向指与整体坐标系逆时针转动 Ang 后方向；如果设置了“斜交抗侧力构件方向角度”，则除了沿整体坐标系的 X、Y 方向计算地震作用外，再沿斜交抗侧力构件方向计算地震作用。

如果选择“计算水平和规范简化方法竖向地震作用”或“计算水平和反应谱方法竖向地震作用”，则软件同时计算水平和竖向地震作用，并且在荷载组合时分别考虑只有水平地震参与的组合、只有竖向地震参与的组合、水平地震为主的组合、竖向地震为主的组合。其中规范简化方法按照《抗规》5.3.1 进行计算。

“计算水平和竖向地震作用（局部模型独立求解）”，这种算法是在竖向地震和水平地震分别独立求解的基础上进行的，由用户在“特殊梁”菜单下运行“竖向地震”命令在各层指定需要考虑竖向地震影响的构件，如大跨度或悬挑部分，软件在考虑整体结构刚度的基础上，仅考虑局部模型范围的质量进行竖向地震作用计算。这样竖向地震的参与质量系数以对应局部模型为考量，从而可以评估这些局部构件的竖向地震效应是否达标。根据规范按底限值控制的放大系数可以正常处理，从而保证了竖向地震的正常计算结果。

13、计算吊车荷载

该参数用来控制是否计算吊车荷载。如果设计人员在建模中输入了吊车荷载，则软件会自动勾选该项。如果工程中输入了吊车荷载而又不想在结构计算中考虑，可不勾选该项。

该选项同时影响荷载组合，勾选该项，则荷载组合中将考虑吊车荷载。

14、计算人防荷载

该参数用来控制是否计算人防荷载。如果设计人员在建模中输入了人防荷载，则软件会自动勾选该项。如果工程中输入了人防荷载而又不想在结构计算中考虑，可不勾选该项。

该选项同时影响荷载组合，勾选该项，则荷载组合中将考虑人防荷载。

15、考虑预应力等效荷载工况

该功能主要用于非预应力构件考虑预应力影响，必须在预应力梁设计完成后才能执行。

16、生成传给基础的刚度

该参数用来控制上部结构计算时是否生成传给基础的凝聚刚度，勾选该项，则基础计算时可考虑上部结构刚度的影响。

17、上部结构计算考虑基础结构

该参数用来控制上部结构计算时是否考虑已经在基础模块中生成的基础计算模型。该参数的使用要求先进行基础计算。

18、生成绘等值线用节点应力数据

选中该参数之后，后处理中的“等值线”才有数据，用来绘制墙、弹性楼板、转换梁以及框架梁转连梁的应力等值线。

19、计算温度荷载

该参数用来控制是否计算温度荷载。如果设计人员在前处理中输入了温度荷载，则软件会自动勾选该项。如果工程中输入了温度荷载而又不想在结构计算中考虑，可不勾选该项。

该选项同时影响荷载组合，勾选该项，则荷载组合中将考虑温度荷载。

20、考虑收缩徐变的砼构件温度效应折减系数

温差内力来源于温差变形受到的约束。对于钢筋混凝土构件，要考虑混凝土的徐变应力松弛特性。该参数用来控制混凝土构件的温差内力考虑徐变应力松弛特性而进行折减。

对于钢构件，该参数不起作用。

21、竖向荷载下对混凝土剪力墙轴向刚度考虑徐变收缩的折减

《广东高规》5.2.6 条：“计算长期荷载作用下钢管混凝土柱框架-混凝土核心筒结构的变形和内力时，考虑混凝土徐变、收缩的影响，混凝土核心筒的轴向刚度可乘以 0.5-0.6 的折减系数。”

软件设置参数：竖向荷载下砼墙轴向刚度考虑徐变收缩影响，勾选此项后将显示“墙刚度折减系数”参数框，默认值为 0.6。

勾选此项参数后软件将自动对全楼的剪力墙在恒载和活载计算时的轴向刚度进行折减，同时在计算前处理的特殊墙下增加了“徐变折减系数”菜单，可以对各层不需要考虑折减的剪力墙修改折减系数为 1。

22、施工模拟加载层步长

对于一般的单塔工程，可能一个自然层为一个施工工段。但对于一些传力复杂的结构，可能需要指定某些楼层为一个施工工段，如带转换层结构、外挑结构等。另外对于按广义层方式建模的结构，也应根据上下层的连接关系指定施工次序。

软件自动生成各楼层施工次序时属于同一施工工段的连续楼层数，比如一个 4 层结构，如果参数填 2，表示 1、2 层属于同一施工工段，3、4 层属于同一施工工段。

软件默认为一个楼层一次施工，设计人员可根据工程实际进行修改。

自动生成的加载顺序可在前处理的“楼层属性”-“表式施工次序”中修改。

23、考虑填充墙刚度

填充墙刚度对结构的影响分为计算和构造，计算方面可影响结构的周期、位移、内力分布等，构造方面可影响结构的刚度比、刚重比、楼层偏心率等。

实际工程中常采用周期折减系数的方法来考虑填充墙对结构内力的影响，此方法并不是通过准确的刚度施加来反映填充墙对结构的影响，因此不能准确反映填充墙在地震、风内力分配中的作用，而且对于刚度比等也只能大致的进行估计。故软件提供结构计算中考虑填充墙抗剪刚度的功能，通过定义填充墙的材料属性来准确考虑填充墙在结构计算中的影响。

考虑填充墙刚度的流程如下：

（1）建模中定义填充墙材料属性

在“隔墙填充墙”菜单中定义填充墙的属性，可定义填充墙的厚度、容重、材料、功能及弹性模量和泊松比。然后在模型中布置定义好的填充墙。

（2）前处理参数“结构总信息”中勾选“考虑填充墙刚度”

前处理目前支持按网格建模的填充墙在计算模型中考虑刚度，软件自动计算出填充墙的抗剪刚度（可考虑填充墙上布置的洞口），并对填充墙两端的结构竖向构件刚度进行相应的调整。当连续填充墙两端均无柱或同轴剪力墙与其相连时，不考虑该组填充墙的刚度贡献。

软件对填充墙只考虑其抗剪刚度，不考虑竖向刚度等其他刚度。

（3）结构计算及设计

前处理中对填充墙刚度处理完成后即可进行计算，此时会根据考虑填充墙后的实际刚度进行分析。

24、采用通用规范

勾选该选项后，软件将自动执行《工程结构通用规范》（GB 55001-2021）、《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB 55002-2021）、《建筑与市政地基基础通用规范》（GB 55003-2021）、《组合结构通用规范》（GB 55004-2021）、《钢结构通用规范》（GB 55006-2021）、《砌体结构通用规范》（GB 55007-2021）、《混凝土结构通用规范》（GB 55008-2021）和《既有建筑鉴定与加固通用规范》（GB 55021-2021）等新增的通用规范。

二、计算控制信息

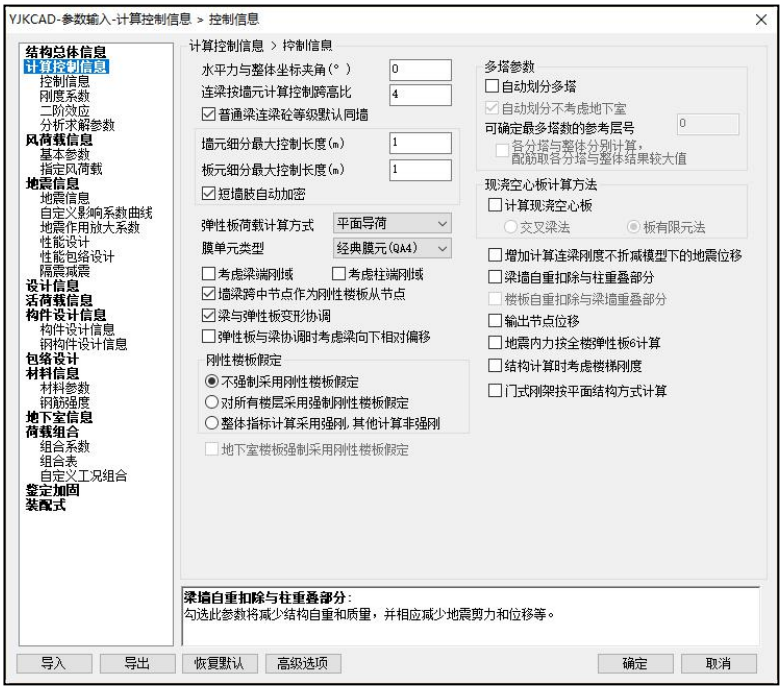


图 2.1.8 计算控制信息

该选项中的参数主要与结构计算相关。

1、水平力与整体坐标夹角

该参数为地震作用、风荷载计算时的 X 正向与结构整体坐标系下 X 轴的夹角，逆时针方向为正，单位为度。

改变该参数时，地震作用和风荷载计算时的 X 正向将发生改变，进而影响与坐标系方向有关的统计结果，如风荷载计算时的迎风面宽度，风荷载及地震作用计算时的层外力、层间剪力、层间位移、层刚度等指标。如果只想计算最不利方向地震作用，可在参数“斜交抗侧力构件附加方向角度”中增加相应角度来考虑。

如果结构存在抗侧力构件方向和 X、Y 方向一致，则沿着 X、Y 方向计算的地震作用是不可少的。因此，如果仅仅为了改变风荷载的方向而在此处输入不等于 0 的角度时，宜将结构原 X、Y 主轴方向同时输入到“斜交抗侧力构件附加方向角度”参数中，以考虑结构原有 X、Y 方向地震作用效应。

2、连梁按墙元计算控制跨高比

目前软件支持两种建模方式输入连梁，一种是先输入连梁左右墙肢，再将连梁按普通梁输入；另一种是先输入一片墙，再在墙上开洞生成墙梁。两种建模方式生成的连梁的计算模型是不同的，一种是按杆单元计算，一种是按壳元计算。

连梁建模时，不同设计人员有不同的建模习惯，有的习惯于按开洞方式建模，也有的习惯于按框架梁建模。而当连梁跨高比很小时，按杆单元的计算结果误差较大。为此软件增加了“连梁按墙元计算控制跨高比”参数，对于按框架梁建模的连梁，当跨高比小于输入的数值时，软件自动将该梁转换为壳元模型计算，并进行更细的网格划分。

3、连梁材料强度默认同墙

该参数用来控制按框架梁方式输入的连梁材料强度取值，默认同墙。

4、墙元细分最大控制长度（m）

该参数用来控制剪力墙网格划分时的最大长度，软件在网格划分时，确保划分后的小壳元的边长不大于给定限值。该参数对分析精度略有影响，对于一般工程可取0.5~1.0m。

5、板元细分最大控制长度（m）

该参数用来控制弹性楼板网格划分时的最大长度，软件在网格划分时，确保划分后的单元边长不大于给定限值。

6、短墙肢自动加密

有限元计算时，对于水平向只有 1 个单元的较短墙肢计算误差较大，故程序可对长度超过 0.6 倍的网格细分尺度并且只有一个单元的较短墙肢自动增加剖分到 2 个单元，以提高墙肢内力计算的准确性。

7、弹性板荷载计算方式

该参数用来控制指定为弹性板属性的楼板，其板上荷载的导荷方式，分两种方式：

（1）平面导荷：传统方式，作用在各房间楼板上恒活面荷载被导算到了房间周边的梁或者墙上，在上部结构的考虑弹性板的计算中，弹性板上已经没有作用竖向荷载，起作用的仅是弹性板的面内刚度和面外刚度。

（2）有限元计算：在上部结构计算时，恒活面荷载直接作用在弹性楼板上，不被导算到周边的梁墙上。

有限元方式适用于无梁楼盖、厚板转换层等结构，可在上部结构计算结果中同时得出板的配筋，在等值线菜单下查看弹性板的各种内力和配筋结果。注意为了查看等值线结果，在计算参数的结构总体信息中还应勾选“生成绘等值线用数据”。

有限元方式仅适用于定义为弹性板 3 或者弹性板 6 的楼板，不适合弹性膜或者刚性板的计算。

8、膜单元类型

在计算控制参数下设置对膜单元的选项：经典膜单元（QA4）和改进型膜单元（NQ6Star）。

软件一直以来采用的膜单元为经典膜单元，它的特点是带旋转自由度的精华非协调平面四边形等参，QA4，Allman 插值这种单元的详细力学模型说明可见陈万吉、龙驭球相关文章。

改进型膜元（又称为二次完备精化非协调单元，NQ6Star），单元合成位移为：$u(=u_q+u_\lambda)\in P(x,y)$，其中协调部分位移采用通用的双线性位移差值函数，而非协调部分内位移采用了耦合型非协调函数，基函数为$[\xi^2 \quad \eta^2 \quad \xi^2\eta \quad \xi\eta^2 \quad \xi^2\eta^2]$，为满足 PTC 的单元位移要求，又进一步运用了非协调函数一般公式修正了非协调部分位移，$u_\lambda^*=(N_\lambda-N^*P_*^{-1}P_\lambda)\lambda=N_\lambda^*$。

NQ6Star 单元特点是对于非规则四边形单元也可得到较合理的应力分布，在受弯矩作用情况下，可明显减少经典膜单元计算转角位移结果与理论值存在的较大误差，对温度荷载的计算可以达到 Etabs 的精度，对边框柱与剪力墙的协调性好等。因此在计算温度荷载时，或者边框柱结果不正常时可选用改进型膜单元计算。

9、考虑梁、柱端刚域

选择该项，软件在计算时梁、柱重叠部分作为刚域计算，梁、柱计算长度及端截面位置均取到刚域边，否则计算长度及端截面均取到端节点，梁、柱端刚域可以分别控制。

刚域尺寸按《高规》5.3.4 条计算。

10、墙梁跨中节点作为刚性楼板从节点

对于墙梁，当与之相连的楼板按刚性楼板计算时，网格划分后与楼板相连节点将作为刚性楼板的从节点。由于受到刚性楼板约束，水平荷载作用下的梁端剪力一般较不受刚性楼板约束时大。

软件增加该选项，默认勾选。不勾选时，墙梁跨中与楼板相连节点为弹性节点，梁端剪力一般较勾选时小。

11、梁与弹性板变形协调

该参数用来控制与弹性板相连的梁，在弹性板中间出口节点处是否变形协调，勾选，则与梁相连的所有出口节点均与梁变形协调；不勾选，则只有梁两端节点连接。

12、弹性板与梁协调时考虑梁向下相对偏移

以前弹性板与梁变形协调时，计算模型是以梁的中和轴和板的中和轴相连的方式计算的，由于一般梁与楼板在梁顶部平齐，实际上梁的中和轴和板中和轴存在竖向的偏差，勾选此参数后软件将在计算中考虑到这种实际的偏差，将在板和梁之间设置一个竖向的偏心刚域，该偏心刚域的长度就是梁的中和轴和板中和轴的实际距离。

在生成数据后的计算简图中可以看到用粉色表示的弹性板和梁之间的竖向短线，就是它们之间的偏心刚域。这种计算模型比按照中和轴互相连接的模型得出的梁的负弯矩更小，正弯矩加大并承受一定的拉力，这些因素在梁的配筋计算中都会考虑。

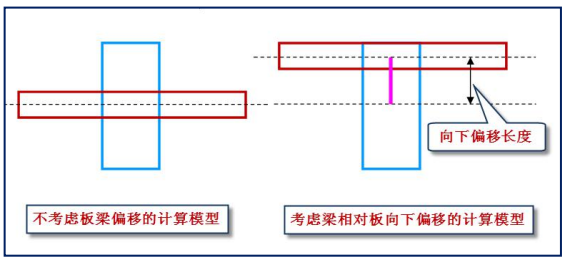


图 2.1.9 梁、板相对位置

13、刚性楼板假定

软件提供三个选项：

（1）不强制采用刚性楼板假定：结构基本模型，按设计人员的建模和特殊构件定

义确定；

（2）对所有楼层采用强制刚性楼板假定：软件按层、塔分块，每块采用强制刚性楼板假定；

（3）整体指标计算采用强刚，其它计算非强刚：根据规范要求，某些整体指标的统计需要在刚性楼板假定前提下进行。如果设计人员选择该项，则软件只在计算相应结构指标时采用强制刚性楼板假定的计算结果，在计算其它指标及构件设计时采用非强制刚性楼板假定的结果。这样，设计人员只计算一次即可完成整体指标统计与构件设计。

软件采用刚性楼板假定模型进行计算的内容主要有：“规定水平力”计算的位移角和位移比、周期比、层间剪力与层间位移之比方式计算的层刚度、结构整体稳定验算时求 EJd。

13、地下室楼板强制采用刚性楼板假定

对于带地下室工程，软件以弹簧模拟地下室侧土约束并施加在地下室楼板上。对于有分块刚性板的地下室结构，勾选该项，将按一整块刚性板处理；否则将弹簧施加在各块刚性板上。

14、自动划分多塔

该参数主要用来控制多塔楼工程是否自动划分多塔，勾选该项，软件自动划分多塔。

15、自动划分不考虑地下室

该参数主要用来控制多塔楼工程自动划分多塔时，地下室部分是否也划分多塔，勾选该项则地下室及以下部分不划分多塔。

16、可确定最多塔数的参考层号

该参数与“各分塔与整体分别计算，配筋取分塔与整体结果较大值”配合使用，软件在对多塔楼工程自动分塔时，以该层自动划分的塔数作为该结构最终划分的塔数。如果该层以上的某层中又出现了某个塔分离成多个塔的情况，程序仍将这些分离部分当做一个塔来对待。

软件隐含取裙房或者地下室的上一层为自动划分多塔的起算层号，该层号可由用户修改。

17、各分塔与整体分别计算，配筋取分塔与整体结果较大值

《高规》5.1.14 条规定：“对多塔结构，宜按整体模型和各塔楼分开的模型分别计算，并采用较不利的结果进行结构设计。”

《高规》10.6.3.4 条规定：“大底盘多塔结构，可按本规程第 5.1.14 条规定的整体和分塔楼计算模型分别验算整体结构和各塔楼结构扭转为主的第一周期与平动为主的第一周期的比值，并应符合本规程第 3.4.5 条的有关要求。”

设计人员将整体模型建好后，软件自动按规范要求划分多塔，并分别计算划分后各单塔模型，然后与整体模型计算结果比较取大，同时在设计结果中提供分别查看各单塔计算结果与整体模型计算结果功能。这样，设计人员只需一次将整体模型建好，一次计算就能得到整体模型和分塔的计算结果。

18、计算现浇空心板

该参数用来控制是否计算现浇空心板，勾选则计算，并进行配筋设计；否则将不进行计算与设计。

19、现浇空心板计算方法

对于现浇空心板，软件提供两种计算方法，交叉梁法和有限元法。

交叉梁法：根据空心板定义及布置信息确定肋梁位置及顶、底翼缘宽度，然后将柱、墙等竖向构件作为固定支座进行交叉梁计算，主梁刚度也将计入。

有限元法：根据空心板定义及布置信息计算出单位宽度抗弯刚度，然后进行网格划分，按有限元方法进行计算。

20、增加计算连梁刚度不折减模型下的地震位移

《抗震规范》5.5.1 条文说明中指出：“第一阶段设计，变形验算以弹性层间位移角表示。不同结构类型给出弹性层间位移角限值范围，主要依据国内外大量的试验研究和有限元分析的结果，以钢筋混凝土构件（框架柱、抗震墙等）开裂时的层间位移角作为多遇地震下结构弹性层间位移角限值。”

软件提供该参数，勾选该项，则软件同时输出连梁刚度不折减模型下的地震位移统计结果，供设计人员参考。

21、梁墙自重扣除与柱重叠部分

勾选此参数将减少结构自重和质量，并相应减少地震剪力和位移等。

22、楼板自重扣除与梁墙重叠部分

当无梁楼盖中的梁按暗梁输入时，或对于现浇空心板布置在暗梁上时，或者其它比较厚的楼板情况时，应在计算时选择楼板自重扣除与梁的重叠部分，以避免计算的荷载过大造成浪费，并减少柱墙的轴压比。此处参数只做显示，修改该参数需要在“建模模块”-“楼层组装”-“必要参数”中。

23、输出节点位移

该参数用来控制是否输出各工况下节点详细位移。如果勾选该项，则软件在wdisp.out 文本文件中除了输出各层位移指标外，还将输出各工况下节点位移。

24、地震内力按全楼弹性板 6 计算

该参数用来控制构件设计时，地震工况的内力取值是否来自于全楼弹性板 6 模型计算结果。勾选该项，则软件内部自动增加全楼弹性板 6 计算模型，该模型只用于地震工况的内力计算，且只应用于构件设计。

25、结构计算时考虑楼梯刚度

如果在建模时布置了楼梯，可在这里勾选“结构计算时考虑楼梯的刚度”。程序对楼梯跑和中间休息平台板按照有限单元的板元计算，采用弹性板 6 的计算模型，中间休息平台板为平板，梯跑为斜板或折板。程序自动对各个楼梯跑和中间休息平台划分单元，单元尺寸隐含为 0.5 米。

可在生成结构计算数据以后计算简图菜单的“轴测简图”下看到各个楼梯跑和中间休息平台划分单元的效果。

如果没有勾选此项，尽管布置了楼梯，程序在结构计算时将忽略楼梯的存在，不会考虑楼梯的刚度。

在“高级选项”-“前处理（续）”中，有“考虑楼梯本身计算”参数，默认为勾选，此时梯梁梯柱考虑自重且承担节点质量。如果改为不勾选则不考虑自重且不承担节

点质量，将影响到结构的振型等等。只有当计算参数中勾选“结构计算时考虑楼梯的刚度”，该参数才起作用。

26、门式刚架按平面结构方式计算

勾选该选项，软件将对 X 向各轴线和 Y 向各轴线上的各榀门式刚架分别生成单榀门式刚架结构，并自动对各榀门式刚架按照平面杆系结构连续进行计算。

27、刚度系数

（1）竖向荷载

梁刚度放大系数按 10《砼规》取值：《混凝土规范》5.2.4 条规定：“对现浇楼盖和装配整体式楼盖，宜考虑楼板作为翼缘对梁刚度和承载力的影响。梁受压区有效翼缘计算宽度b_f'可按表 5.2.4 所列情况中的最小值使用；也可采用梁刚度增大系数法近似考虑，刚度增大系数应根据梁有效翼缘尺寸与梁截面尺寸的相对比例确定。”

勾选该项，软件自动按《混凝土规范》表 5.2.4 所列情况计算梁有效翼缘宽度，并根据考虑翼缘后 T 形截面和原矩形截面抗弯刚度比值计算刚度放大系数。这样，平面中不同位置的梁的刚度放大系数均可能不同。

勾选该项，则“中梁刚度放大系数”将不起作用。

梁刚度放大系数上限：该参数与“梁刚度放大系数按 10《砼规》取值”配套使用，主要是考虑到选择按“梁刚度放大系数按 10《砼规》取值”时，有时因为平面布置的问题，使得刚度放大系数计算值较大，因此软件提供了“刚度放大系数上限”参数，使得计算值不大于该值。

中梁刚度放大系数：软件在计算梁抗弯刚度时，只按照建模时输入的梁的截面尺寸及材料信息计算。而实际情况是，对于现浇楼板，在采用刚性楼板假定时，楼板作为梁的翼缘，是梁的一部分，因此软件采用此系数来考虑楼板对梁刚度的贡献。

该值填 1 表示不放大，如果填大于 1 的值，比如 Bk，则所有中梁刚度放大系数均为 Bk，一侧与楼板相连的边梁，刚度放大系数取(1+Bk)/2。软件自动搜索中梁和边梁，按以上原则进行刚度放大，其他情况的梁刚度不放大。

设计人员可在特殊梁定义中对每根梁的刚度放大系数进行修改。

边梁刚度放大系数上限：边梁刚度放大系数由中梁刚度放大系数计算而来，软件提

供该参数，使得计算值不大于参数设置的数值。

注意：该选项控制除地震作用、风荷载以外所有工况计算时的梁刚度系数。当地震作用、风荷载的中梁、边梁刚度放大系数选项不勾选时，该选项也控制地震作用和风荷载下的梁刚度放大系数。

（2）地震作用

中梁刚度放大系数：对程序判断为中梁的梁，其抗震状态下的刚度放大系数按该参数设置，该刚度系数影响模型的模态计算、地震下的位移、内力等(注：主要为适应广东高规 2021 版按设防烈度计算的原则，以考虑梁板在中震下开裂后，楼板无法继续为梁提供弹性计算时的刚度放大系数的情况)。

边梁刚度放大系数：对程序判断为边梁的梁，其抗震状态下的刚度放大系数按该参数设置，该刚度系数影响模型的模态计算、地震下的位移、内力等(注：主要为适应广东高规 2021 版)。

连梁刚度折减系数：《高规》5.2.1 条规定：“高层建筑结构地震作用效应计算时，可对剪力墙连梁刚度予以折减，折减系数不宜小于 0.5。”，条文说明中指出：抗震设计的框架-剪力墙或剪力墙结构的连梁刚度相对墙体较小，而承受的弯矩和剪力很大，配筋设计困难。因此，可考虑在不影响承受竖向荷载能力的前提下，允许其适当开裂（降低刚度）而把内力转移到墙体上。

软件根据该参数对连梁刚度进行折减，并且对按框架梁输入或墙开洞方式生成的连梁均有效。

根据规范的规定，连梁刚度折减是在地震作用计算时的要求，连梁刚度折减会影响结构固有属性。因此，软件在计算时，对于不同的计算要求采用不同模型的计算结果，对于地震作用的计算结果，软件采用折减模型的计算结果；对于非地震作用的荷载情况，软件采用不折减模型的计算结果。这样，设计人员只需操作一次即可得到所有的计算结果。

（3）风荷载

中梁刚度放大系数：对程序判断为中梁的梁，其风荷载计算时的刚度放大系数按该参数设置，该刚度系数影响模型风荷载下的位移、内力等(注：主要为适应广东高规 2021

版)。

边梁刚度放大系数：对程序判断为边梁的梁，其风荷载计算时的刚度放大系数按该参数设置，该刚度系数影响模型风荷载下的位移、内力等(注：主要为适应广东高规 2021 版)。

连梁刚度折减系数：《广东高规》5.2.1 条规定：“高层建筑结构计算时，框架-剪力墙、剪力墙结构中的连梁刚度可予以折减，抗风设计控制时，折减系数不宜小于 0.8，不应小于 0.7；设防烈度地震作用下结构承载力校核时可取 0.2~0.3，位移计算时可取 0.5。” 软件根据该参数对风荷载计算时的连梁刚度进行折减，并且对按框架梁输出的连梁和墙开洞方式生成的连梁均有效。参数默认为 1.0。

28、二阶效应

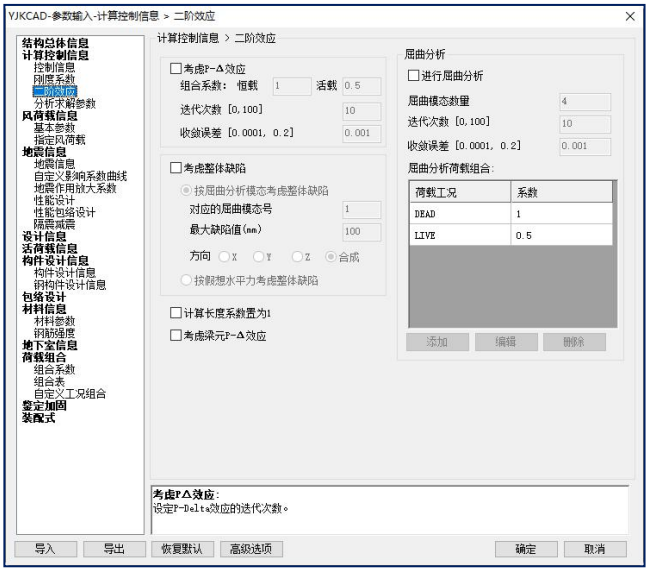


图 2.1.10 二阶效应菜单

（1）考虑 P-△效应

这里的 P-△效应指结构整体计算时是否考虑的重力二阶效应，不包括构件设计时的 p-δ效应。选择该项，则软件在结构计算时考虑重力二阶效应，否则不考虑。软件在设计结果文件中输出了结构是否应该考虑重力二阶效应的判断结果，设计人员可以参考软件输出结果进行设置。

为扩大 P-Delta 分析的适用范围，增加了迭代求解算法，可以支持空间结构等复杂

结构形式。对于常规的房屋建筑，其侧向移动期间结构重量是固定的，可以认为的重力二阶效应是一个线性问题，不需要进行迭代计算，这时可将迭代次数设为 0 来加快计算速度。

对于钢结构，勾选了“考虑 P-△效应”，则程序在进行整体计算时按照《钢结构设计标准》GB50017-2017 第 5 章“结构分析与稳定性设计”考虑二阶效应。

1）二阶效应系数

《钢结构设计标准》第 5.1.6 条：“结构内力分析可采用一阶弹性分析、二阶 P-Δ弹性分析或直接分析，应根据下列公式计算的最大二阶效应系数$\theta_{i,max}^{II}$选用适当的结构分析方法。当$\theta_{i,max}^{II}$≤0.1 时，可采用一阶弹性分析；当 0.1≤$\theta_{i,max}^{II}$≤0.25 时，宜采用二阶 P-Δ弹性分析或采用直接分析；当$\theta_{i,max}^{II}$>0.25 时，应增大结构的侧移刚度或采用直接分析。”

1、一般结构的二阶效应系数

一般结构的二阶效应系数可按下式计算：

$$\theta_i^{II}=\frac{1}{\eta_{cr}} \quad (5.1.6\text{-}2)$$

软件可进行屈曲分析并计算出二阶效应系数，在计算参数中打开“二阶效应”页，勾选“进行屈曲分析”项，软件即可进行结构的屈曲分析计算，

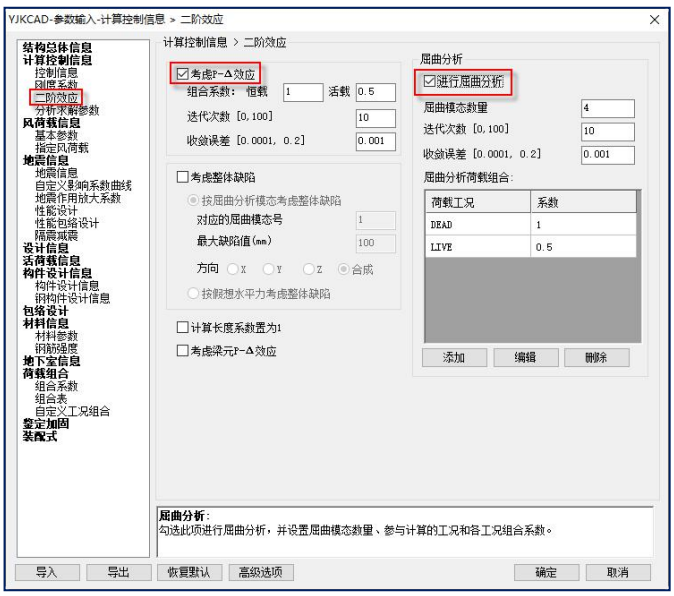


图 2. 1.11 屈曲分析信息

计算后在 wmass.out 文件中输出屈曲因子，屈曲因子是二阶效应系数的倒数，形式如下：

屈曲分析

屈曲模态号	屈曲因子
1	21.366
2	22.586
3	26.618
4	32.857

图 2.1.12 屈曲因子信息

建议钢结构设计时，先进行屈曲分析计算，确定最低阶整体屈曲模态，然后根据该模态屈曲因子大小确定分析方法（屈曲因子小于 4 时表明结构抗侧刚度太小）。

这里的计算原理是：结构失稳（屈曲）是指在外力作用下结构的平衡状态开始丧失，稍有扰动变形便迅速增大，最后使结构发生破坏，数学上归结为广义特征值问题。软件通过对特征值方程进行求解，来确定结构屈曲时的屈曲荷载和破坏形态，根据特征值和对应的特征值向量，用以确定屈曲荷载和对应的变形形态。每一组“特征值-特征向量”为结构的一个屈曲模式。特征值λ称为屈曲因子，它乘以结构中的荷载就会引起结构屈曲，即为屈曲荷载。二阶效应系数即为屈曲因子的倒数。

2、规则框架结构的二阶效应系数

新标准 5.1.6-1 条:规则框架结构的二阶效应系数可按下式计算：

$$\theta_i^{II}=\frac{\sum N_i}{\sum Hk_i}\cdot\frac{\Delta U_i}{h_i} \quad (5.1.6\text{-}1)$$

钢框架结构由于层间相互作用较弱，根据公式 5.1.6-1，可采用重力与层剪力比值计算二阶效应系数。

软件对于钢框架结构，只要勾选了“进行屈曲分析”，将同时根据公式 5.1.6-1 计算二阶效应系数，在 wmass.out 输出如下：

二阶效应系数(仅针对于钢框架结构)

层号	塔号	层高(m)	X向刚度(kN/m)	Y向刚度(kN/m)	上部重量(kN)	X系数	Y系数
15	1	3.950	4.7982E+005	1.3238E+005	9017.3	0.005	0.017
14	1	2.550	1.2519E+006	4.4723E+005	17990.7	0.006	0.016
13	1	5.000	2.4891E+005	1.8196E+005	32349.6	0.026	0.036
12	1	4.200	3.5806E+005	2.6179E+005	49121.9	0.033	0.045
11	1	4.200	3.9003E+005	2.9271E+005	65896.6	0.040	0.054
10	1	4.200	4.3288E+005	3.2441E+005	82753.6	0.046	0.061
9	1	4.200	4.7076E+005	3.5345E+005	99611.6	0.050	0.067
8	1	4.200	5.8972E+005	3.9714E+005	116633.1	0.047	0.070
7	1	4.200	6.1609E+005	4.2298E+005	135784.1	0.052	0.076
6	1	4.200	6.8025E+005	4.7358E+005	155083.2	0.054	0.078
5	1	4.200	7.2018E+005	5.0885E+005	174383.8	0.058	0.082
4	1	4.200	7.8256E+005	5.6908E+005	201710.6	0.061	0.084
3	1	5.000	6.2833E+005	4.9539E+005	219309.7	0.070	0.089
2	1	5.000	7.2519E+005	5.9241E+005	236908.7	0.065	0.080
1	1	5.000	2.0711E+006	2.1401E+006	254507.8	0.025	0.024

图 2.1.13 二阶效应系数

2）二阶弹性分析

按《钢结构设计标准》的 5.4 节的 5.4.1 条：“采用仅考虑 P-Δ效应的二阶弹性分析时，应按本标准第 5.2.1 条考虑结构的整体初始缺陷，计算结构在各种荷载或作用设计值下的内力和标准值下位移，并应按本标准第 6 章～第 8 章的有关规定进行各结构构件的设计。计算构件轴心受压承载力时，构件计算长度系数μ可取 1.0 或其他认可的值。”

软件进行二阶弹性分析的操作是，在计算参数中打开“二阶效应”页，勾选“进行屈曲分析”项，并勾选“钢结构按屈曲分析模态考虑整体缺陷”项，勾选“计算长度系数置为 1”项。

图 2.1.14 屈曲分析模态考虑整体缺陷

这里应注意 2 点：

1、规范说应按最低阶整体屈曲模态考虑整体缺陷，为此用户可在软件设计结果中查看屈曲振型，注意这低阶整体屈曲模态不应是薄弱杆件的屈曲模态，如果是则选择其他模态。

2、新规范 5.2.1 条：“结构整体初始几何缺陷模式可按最低阶整体屈曲模态采用。框架及支撑结构整体初始几何缺陷代表值的最大值Δ_0（图 5.2.1-1）可取为 H／250，H

为结构总高度。”

因此，在如上的二阶效应参数页的“最大缺陷值”栏目，用户需填写结构总高度的1/250。

除了按照整体屈曲模态考虑整体缺陷外，《钢结构设计标准》第 5.2.1 条框架和支撑结构整体初始几何缺陷代表值也可通过在每层柱顶施加假想水平力 Hni 等效考虑，假想水平力可按式（5.2.1-2）计算，施加方向应考虑荷载的最不利组合（图 5.2.1-2）。

软件提供了假想水平力方式考虑钢结构整体缺陷算法如下：

图 2.1.15 假想水平力方式考虑整体缺陷

规则为：

（1）按照《钢规》5.2.1-2 公式计算每层水平力，按节点质量进行分配，对于刚性板，相当于施加在楼板质心；

（2）为了能考虑不同组合下不同分项系数及组合系数及水平力方向的影响，软件将水平力分解为恒载与活载两种情况，每种荷载再考虑+X、-X、+Y、-Y 四个方向，共 8 个工况。荷载组合时，对于无水平力的组合，软件分别进行+X、-X、+Y、-Y 方向包络组

合，相当于组合数量变为原来的 4 倍；对于有水平力的组合，软件根据水平力方向确定哪种缺陷工况参与组合，如+X 风下，仅有+X 缺陷恒载和+X 缺陷活载参与组合，这样就能精确考虑不同组合及不同水平力工况及方向的影响，且不增加组合数量；

（3）在 wv02q 文件中输出每层的假想水平力数值；

（4）在设计结果的二维、三维标准内力简图、三维位移图、构件信息等查看缺陷工况的内力、位移；可以在单构件信息中查看缺陷工况参与组合的情况。

详细描述如下：

自动生成 Hni 的 8 个荷载标准值工况，+恒 X、-恒 X、+恒 Y、-恒 Y、+活 X、-活 X、+活 Y、-活 Y：

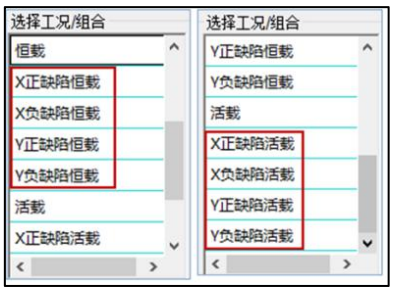


图 2.1.16 选择工况组合

在 wv02q 文件中输出每层的假想水平力数值：

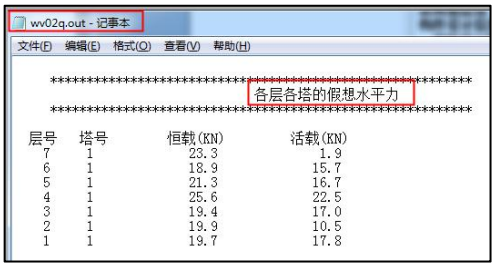


图 2.1.17 假想水平力输出

构件信息输出各工况内力及组合系数：

柱标准内力输出
iCase : 工况名称
Shear-X, Shear-Y: X, Y 方向的底部剪力
Axial : 轴力
Mx-Btm, My-Btm : X, Y 方向的底部弯矩
Mx-Top, My-Top : X, Y 方向的顶部弯矩
N-C : 柱编号
Node-i, Node-j : 上, 下节点号
DL, Angle : 柱长度, 布置角度

(iCase)	Shear-X	Shear-Y	Axial	Mx-Btm	My-Btm	Mx-Top	My-Top
*(EX)	1.9	0.6	890.0	0.0	0.0	3.3	-10.4
(EX)	1.9	0.6	890.0	0.0	0.0	3.3	-10.4
*(EY)	-1.0	-1.3	-100.2	0.0	0.0	-7.3	5.7
(EY)	-1.0	-1.3	-100.2	0.0	0.0	-7.3	5.7
*(+WX)	1.7	1.2	1858.1	0.0	0.0	6.8	-9.5
(+WX)	1.7	1.2	1858.1	0.0	0.0	6.8	-9.5
*(-WX)	-1.7	-1.2	-1858.1	-0.0	-0.0	-6.8	9.5
(-WX)	-1.7	-1.2	-1858.1	-0.0	-0.0	-6.8	9.5
*(+WY)	-1.5	-1.5	-151.3	-0.0	-0.0	-8.4	8.1
(+WY)	-1.5	-1.5	-151.3	-0.0	-0.0	-8.4	8.1
*(-WY)	1.5	1.5	151.3	0.0	0.0	8.4	-8.1
(-WY)	1.5	1.5	151.3	0.0	0.0	8.4	-8.1
*(DL)	-1.1	47.7	-2854.9	0.0	-0.0	262.4	6.2
(DL)	-1.1	47.7	-2854.9	0.0	-0.0	262.4	6.2
*(DLQXX+)	0.1	0.0	46.9	-0.0	0.0	0.2	-0.7
(DLQXX+)	0.1	0.0	46.9	-0.0	0.0	0.2	-0.7
*(DLQXX-)	-0.1	-0.0	-47.0	0.0	-0.0	-0.2	0.7
(DLQXX-)	-0.1	-0.0	-47.0	0.0	-0.0	-0.2	0.7
*(DLQXY+)	-0.1	-0.0	-5.4	-0.0	-0.0	-0.2	0.4
(DLQXY+)	-0.1	-0.0	-5.4	-0.0	-0.0	-0.2	0.4
*(DLQXY-)	0.1	0.0	5.4	0.0	0.0	0.2	-0.4
(DLQXY-)	0.1	0.0	5.4	0.0	0.0	0.2	-0.4
*(LL)	0.1	36.6	343.0	0.0	0.0	201.3	-0.4
(LL)	0.1	36.6	343.0	0.0	0.0	201.3	-0.4
*(LLQXX+)	0.1	0.0	28.7	0.0	0.0	0.1	-0.6
(LLQXX+)	0.1	0.0	28.7	0.0	0.0	0.1	-0.6
*(LLQXX-)	-0.1	-0.0	-28.7	-0.0	-0.0	-0.1	0.6
(LLQXX-)	-0.1	-0.0	-28.7	-0.0	-0.0	-0.1	0.6
*(LLQXY+)	-0.1	-0.0	-1.2	-0.0	-0.0	-0.0	0.3
(LLQXY+)	-0.1	-0.0	-1.2	-0.0	-0.0	-0.0	0.3
*(LLQXY-)	0.1	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	-0.3
(LLQXY-)	0.1	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	-0.3

图 2.1.18 各工况内力

35 2 -0.0 0.0 0.4 67.8 -2547.1 -0.4

六、各组合分项系数

组合号	DL	DLQXX+	DLQXX-	DLQXY+	DLQXY-	LL	LLQXX+	LLQXX-	LLQXY+	LLQXY-	+WX	-WX	+WY	-WY	EX	EY
1	1.35	1.35	--	--	--	0.98	0.98	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1	1.35	--	1.35	--	--	0.98	--	0.98	--	--	--	--	--	--	--	--
1	1.35	--	--	1.35	--	0.98	--	--	0.98	--	--	--	--	--	--	--
1	1.35	--	--	--	1.35	0.98	--	--	--	0.98	--	--	--	--	--	--
2	1.20	1.20	--	--	--	1.40	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	1.20	--	1.20	--	--	1.40	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--
2	1.20	--	--	1.20	--	1.40	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--
2	1.20	--	--	--	1.20	1.40	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--
3	1.00	1.00	--	--	--	1.40	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	1.00	--	1.00	--	--	1.40	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--
3	1.00	--	--	1.00	--	1.40	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--
3	1.00	--	--	--	1.00	1.40	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--
4	1.20	1.20	--	--	--	--	--	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--
5	1.20	--	1.20	--	--	--	--	--	--	--	--	1.40	--	--	--	--
6	1.20	--	--	1.20	--	--	--	--	--	--	--	--	1.40	--	--	--
7	1.20	--	--	--	1.20	--	--	--	--	--	--	--	--	1.40	--	--
8	1.20	1.20	--	--	--	1.40	1.40	--	--	--	0.84	--	--	--	--	--
9	1.20	--	1.20	--	--	1.40	--	1.40	--	--	--	0.84	--	--	--	--
10	1.20	--	--	1.20	--	1.40	--	--	1.40	--	--	--	0.84	--	--	--
11	1.20	--	--	--	1.20	1.40	--	--	--	1.40	--	--	--	0.84	--	--
12	1.20	1.20	--	--	--	0.98	0.98	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--
13	1.20	--	1.20	--	--	0.98	--	0.98	--	--	--	1.40	--	--	--	--
14	1.20	--	--	1.20	--	0.98	--	--	0.98	--	--	--	1.40	--	--	--
15	1.20	--	--	--	1.20	0.98	--	--	--	0.98	--	--	--	1.40	--	--
16	1.00	1.00	--	--	--	--	--	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--
17	1.00	--	1.00	--	--	--	--	--	--	--	--	1.40	--	--	--	--
18	1.00	--	--	1.00	--	--	--	--	--	--	--	--	1.40	--	--	--
19	1.00	--	--	--	1.00	--	--	--	--	--	--	--	--	1.40	--	--
20	1.00	1.00	--	--	--	1.40	1.40	--	--	--	0.84	--	--	--	--	--
21	1.00	--	1.00	--	--	1.40	--	1.40	--	--	--	0.84	--	--	--	--
22	1.00	--	--	1.00	--	1.40	--	--	1.40	--	--	--	0.84	--	--	--
23	1.00	--	--	--	1.00	1.40	--	--	--	1.40	--	--	--	0.84	--	--
24	1.00	1.00	--	--	--	0.98	0.98	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--
25	1.00	--	1.00	--	--	0.98	--	0.98	--	--	--	1.40	--	--	--	--
26	1.00	--	--	1.00	--	0.98	--	--	0.98	--	--	--	1.40	--	--	--
27	1.00	--	--	--	1.00	0.98	--	--	--	0.98	--	--	--	1.40	--	--
28	1.20	1.20	--	--	--	0.60	0.60	--	--	--	--	--	--	--	1.30	--
29	1.20	--	1.20	--	--	0.60	--	0.60	--	--	--	--	--	--	-1.30	--
30	1.20	--	--	1.20	--	0.60	--	--	0.60	--	--	--	--	--	--	1.30
31	1.20	--	--	--	1.20	0.60	--	--	--	0.60	--	--	--	--	--	-1.30
32	1.00	1.00	--	--	--	0.50	0.50	--	--	--	--	--	--	--	1.30	--
33	1.00	--	1.00	--	--	0.50	--	0.50	--	--	--	--	--	--	-1.30	--
34	1.00	--	--	1.00	--	0.50	--	--	0.50	--	--	--	--	--	--	1.30
35	1.00	--	--	--	1.00	0.50	--	--	--	0.50	--	--	--	--	--	-1.30

图 2.1.19 各工况组合系数

（2）屈曲分析

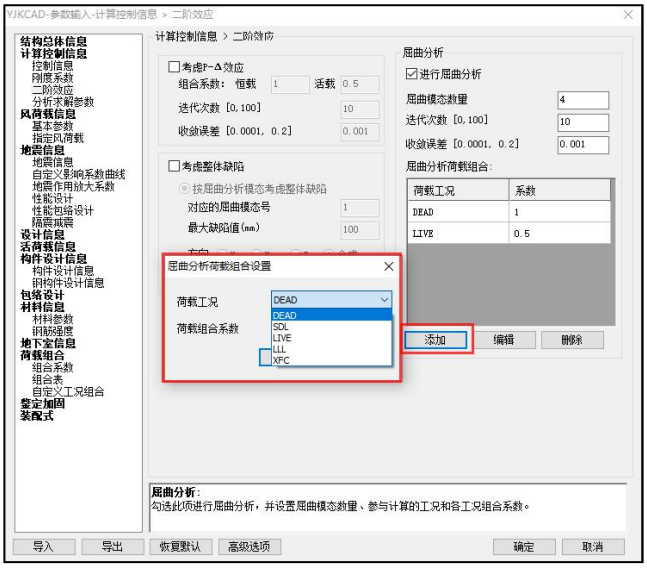


图 2.1.20 屈曲分析添加工况

需要进行屈曲分析时需勾选“进行屈曲分析”，并设置屈曲模态数量、参与计算的工况和各工况组合系数。

在 wmass.out 文件中的结构稳定计算结果之后增加屈曲计算结果的内容，输出各模态的屈曲特征值和屈曲因子。在设计结果的变形图下设置新的菜单“屈曲动画”，可以查看各个模态下的屈曲变形动画。

屈曲分析原理：

结构失稳（屈曲）是指在外力作用下结构的平衡状态开始丧失，稍有扰动变形便迅速增大，最后使结构发生破坏。稳定问题一般分为两类，第一类是理想化的情况，即达到某种荷载时，除结构原来的平衡状态存在外，还可能出现第二个平衡状态，又称为平衡分岔失稳，在数学处理上为求解特征值问题，成为特征值屈曲。此类结构失稳时响应的荷载称为屈曲荷载。第二类是结构失稳时，变形迅速增大，不会出现新的变形形式，即平衡状态不发生质变，称为极值点失稳。结构失稳时响应的荷载为极限荷载。在软件中的屈曲分析是解决线性屈曲问题，属于第一类失稳。

结构的第一类稳定问题，在数学上统一归结为广义特征值问题。软件通过对特征值方程进行求解，来确定结构屈曲时的屈曲荷载和破坏形态。屈曲特征方程为：

$$[K-\lambda G(r)]\Psi=0$$

其中：K—刚度矩阵；

G(r) –荷载向量 r 作用下的几何刚度；

λ—特征值对角矩阵；

Ψ—对应的特征值向量矩阵。

求解特征值方程，得到特征值和对应的特征值向量，用以确定屈曲荷载和对应的变形态。每一组“特征值-特征向量”为结构的一个屈曲模式。特征值λ称为屈曲因子，在定的荷载模式下，它乘以 r 中的荷载就会引起结构屈曲，即屈曲荷载为屈曲因子与给定荷载的乘积。如果λ为负值，说明当荷载反向时会发生屈曲。

29、分析求解参数

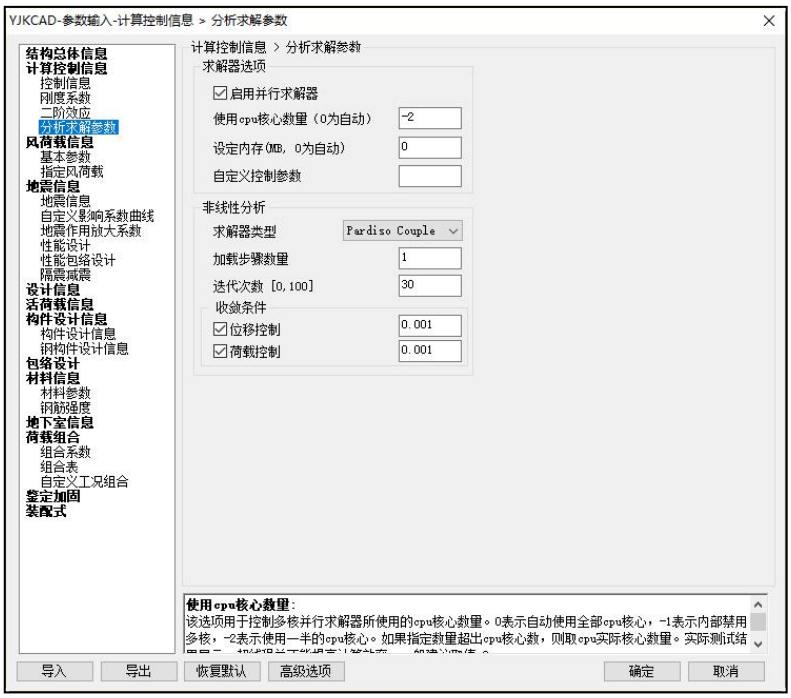


图 2.1.21 分析求解参数菜单

（1）求解器选项

启用并行求解器:勾选该选项将启用多核并行版本求解器，此时“使用 cpu 核心数量”选项将激活。

使用 CPU 核心数量:该参数用于控制多核并行求解器所使用的 cpu 核心数量。0 表

示自动使用全部 cpu 核心，-1 表示内部禁用多核，-2 表示使用一半的 cpu 核心。如果指定数量超出 cpu 核心数，则取 cpu 实际核心数量。实际测试结果显示，超线程并不能提高计算效率，一般建议取值-2。

设定内存大小(GB):此参数用于有限元分析，缺省为“自动分配”。软件根据模型大小自动分配内存，但也有一些规模较大、含非线性组合的模型，自动分配的内存不足，导致计算失败。将“自动分配”修改为固定值，可解决上述问题。应注意，指定内存大小不要超过硬件内存。

（2）非线性分析

（1）统一支持上部结构及基础结构中的单拉、单压单元、基底弹簧、锚杆等各种非线性单元。

（2）采用多核并行求解器，显著提高计算效率。

（3）默认使用 Newton-Raphson（牛顿-拉裴森）迭代方法，算法通用稳定。

（4）增加荷载分步加载功能，高度非线性模型的收敛性显著提高。

（5）完善迭代收敛条件判断，支持荷载控制、位移控制同时作为收敛条件。

三、风荷载信息

图 2.1.22 风荷载信息

该选项卡主要提供与风荷载计算相关的参数设置。

1、执行规范

可以选择 GB50009-2001 和 GB50009-2012。

2、地面粗糙度类别

分 A、B、C、D 四类。

3、修正后的基本风压

这里所说的修正后的基本风压，是指沿海、强风地区及规范特殊规定等可能在基本风压基础上，对基本风压进行修正后的风压。对于一般工程，可按照《荷载规范》的规定采用。

《高规》4.2.2 条规定：“对风荷载比较敏感的高层建筑，承载力设计时应按基本风压的 1.1 倍采用。”对于该条规定，软件通过“荷载组合”选项卡的“承载力设计时风荷载效用放大系数”来考虑，不需且不能在修正后的基本风压上乘以放大系数。

4、风荷载计算用阻尼比

该参数主要用于风荷载计算时的脉动增大系数计算。参见《荷载规范》7.4.3 条。

5、结构 X 向、Y 向基本周期

该参数主要用于风荷载计算时的脉动增大系数计算。由于 X 向、Y 向风荷载对应的结构基本周期值可能不同，因此这里输入的基本周期区分 X、Y 方向。软件按《荷载规范》简化公式计算基本周期并作为默认值，设计人员可将计算后结构基本周期填入重新计算以得到更准确的风荷载计算结果。

6、读取计算结果周期值

若程序已经进行过上部结构整体计算，点击“读取计算结果周期值”，程序可自动将计算后 wzq.out 中结构基本周期填入，重新计算可得到更准确的风荷载计算结果。

7、承载力设计时风荷载效应放大系数

《高规》4.2.2 条规定：“对风荷载比较敏感的高层建筑，承载力设计时应按基本风压的 1.1 倍采用。”软件提供该参数，设计人员可在此输入，软件只在承载力设计时才应用该参数。

8、用于舒适度验算的风压

风振舒适度验算用的风压，可参考《高钢规》相关规定。

9、用于舒适度验算的结构阻尼比

风振舒适度验算用的阻尼比，《高规》3.7.6 条建议取 0.01~0.02。

10、精细计算方式下对柱按柱间均布风荷加载

该参数用来控制风荷载施加方式，勾选则根据柱左右受风面承受的风荷载以均布荷载形式施加在柱间。该参数只在风荷载计算方式为“精细计算方式”下有效。

11、考虑顺风向风振

该参数用来控制风荷载计算时是否计算风振系数。

12、体型分段数

该参数用来确定风荷载计算时沿高度的体型分段数，目前最多为 3 段。

13、最高层号

该参数用来确定当前分段所对应的最高结构层号，起始层号为前一段最高层号+1。

14、挡风系数

软件在计算迎风面宽度时，按该方向最大宽度计算，未考虑中通、独立柱等情况，使得计算风荷载偏大，因此软件提供挡风系数。设计人员可根据通风部分的面积占总迎风面面积的比例，设置小于 1 的挡风系数，对风荷载进行折减来近似考虑。

15、迎风面系数、背风面系数

该参数用来设置沿风荷载作用方向的迎风面、背风面系数。

16、侧风面系数

该参数用来设置侧风面体型系数。

17、其他风向角度

若需要考虑+X，-X，+Y，-Y 之外的其他方向风工况，可在该参数中指定。此处设置后，设计时将增加相应的一组风工况效应并自动组合。

支持精细风、一般风、指定风荷载的计算。对于精细风计算，目前暂不支持指定各面上的体型系数。指定风荷载计算需要在“指定风荷载”对话框内主动运行一次“导入其他风向”按钮。

与“斜交抗侧力构件方向角度”类似，该角度不叠加“水平力与整体坐标夹角”参数。

在前处理的风荷载菜单中，可支持对自定义风向上的节点风荷载交互修改。

多方向风目前不支持的功能：横向风振，扭转风振，屋面精细风（梁上风吸压力），体型系数交互修改。

18、结构宽深

根据《荷载规范》计算横风向风振等效风荷载及扭转风振等效风荷载时，需要确定结构截面的统一高度和宽度。

软件默认按照所有楼层平面尺寸的平均值计算结构高宽，对于软件默认处理误差较大，比如底盘尺寸较大的结构，可手工输入高宽值，使计算结果更符合规范规定。

19、考虑横向风振

该选项用来控制风荷载计算时是否按《荷载规范》8.5 节考虑横风向风振影响。

20、矩形截面、圆形截面

计算横风向风振时，需指定结构截面形状为矩形或圆形。程序未作自动判断。

圆形截面结构横风向风振等效风荷载根据《荷载规范》附录 H.1 计算。

矩形截面结构横风向风振等效风荷载根据《荷载规范》附录 H.2 计算。

21、凹角矩形、削角矩形

该参数用来计算矩形截面角沿修正系数，详见《荷载规范》附录 H.2.5。

22、考虑扭转风振

该选项用来控制风荷载计算时是否按《荷载规范》8.5 节考虑扭转风振影响。

23、结构一阶扭转周期

该参数用来计算扭矩谱能量因子，详见《荷载规范》附录 H.3.4。

24、指定风荷载

软件提供自定义风荷载功能，并可以导入外部文件。

图 2.1.23 指定风荷载

该参数界面直接输入各楼层 X，Y 方向的风荷载外力值（若指定了其他风向，也可以设置相应风向的荷载值）。

FXX、FXY、TX 分别为 X 向风产生的 X 向风力、Y 向风力、扭转风力。

FYX、FYY、TY 分别为 Y 向风产生的 X 向风力、Y 向风力、扭转风力。

软件也支持从纯文本文件中直接导入指定风荷载数据（文件名后缀任意），其定义格式如下（单位为 kN，kN.m）：

层号

塔号 FXX FXY FXT FYX FYY FYT

塔号 FXX FXY FXT FYX FYY FYT

层号

…

当指定多方向风后，若使用指定风荷载计算，需要在此处点一次“导入其他风向”，则表格中会进行相应更新。文本导入方式同样支持多方向风，但需要首先运行“导入其他风向”。

四、地震信息

该选项卡主要提供与地震作用计算相关的参数设置。

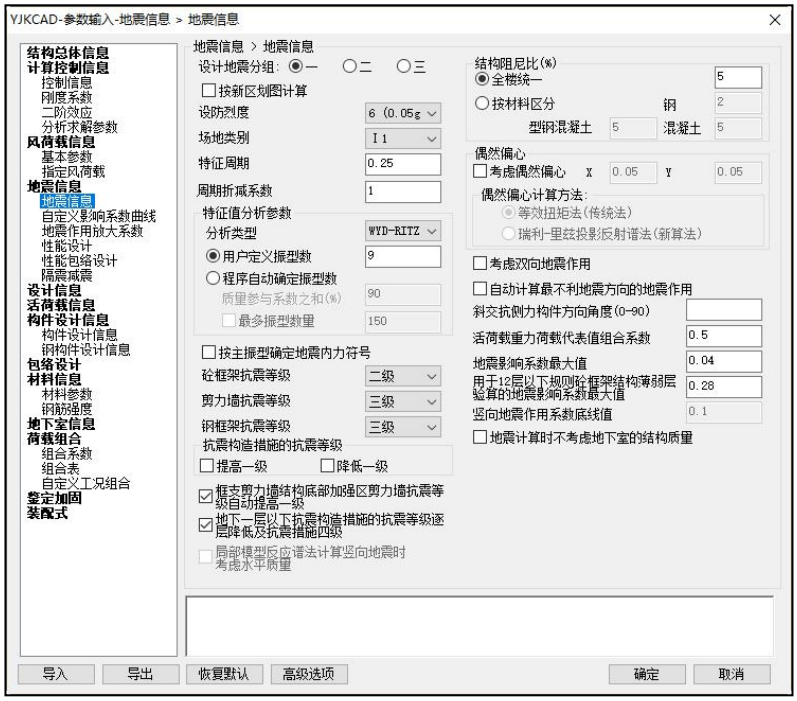


图 2.1.24 地震信息

1、设计地震分组

根据《抗震规范》附录 A 及地方相关标准的规定选择。

2、按新区划图计算

新编的《中国地震动参数区划图 GB18306-2015》在 2016 年 6 月正式实施，其特点是地震动参数依靠两图一表、以 II 类场地土为基准推导而出。如勾选该项，则地震影响系数最大值α_{max}自动根据设防烈度、场地类别，按照新的规则计算。不勾选该项，仍按照以前的算法计算地震影响系数最大值α_{max}。

3、设防烈度

依据《抗震规范》及地方相关标准的规定指定设防烈度，如下图所示。

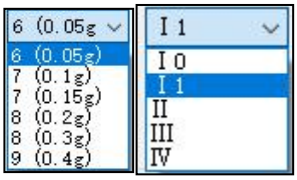


图 2.1.25 设防烈度、场地类别

4、场地类别

依据工程实际情况选择，《抗震规范》增加了 I_0 类场地，如图 2.4.2 所示。

5、特征周期

根据场地类别和设计地震分组取值。

6、周期折减系数

高层建筑结构整体计算分析时，只考虑了主要结构构件（梁、柱、剪力墙和筒体等）的刚度，没有考虑非承重结构构件的刚度，因而计算的自振周期较实际的偏长，按这一周期计算的地震作用偏小。因此，在计算地震作用时，对周期进行折减。

《高规》4.3.17 条规定：“当非承重墙体为砌体墙时，高层建筑结构的计算自振周期折减系数可按下列规定取值：框架结构可取 0.6~0.7；框架-剪力墙结构可取 0.7~0.8；框架-核心筒结构可取 0.8~0.9；剪力墙结构可取 0.8~1.0。”

该参数只影响地震效应计算，不影响结构固有属性分析。

7、特征值分析参数

在这里设置了多个参数控制计算地震特征值及地震力计算。

图 2.1.26 特征值分析参数

（1）分析类型

软件提供 3 种特征值计算方法由用户选择，常用的为 WYD-RITZ 法。

LANCZOS

本软件采用一个带重正交的迭代块 Lanczos 方法，向量生成步骤与迭代 Ritz 向量法一致，其差别是 Lanczos 方法利用了 Ritz 向量生成过程中的正交归一化系数。迭代 Lanczos 方法的前两步与迭代 Ritz 向量法完全一致。YJKFea 计算软件是在较小的 Krylov 空间上完成 Lanczos 过程，然后用最好的 q 个近似特征向量作为下一次 Lanczos 过程的初始向量。这样的方案是一个子空间迭代与 Krylov 空间结合的算法，具有与子空间迭代法同样的可靠性。

WYD-RITZ 法

WYD-RITZ 法是由 Wilson，Yuan（袁明武）和 Dickens 在 1982 年提出，并称为 WYD-Ritz 向量法，它最初用来求解地震的动力响应问题。由于它的基向量是由地震作用生成的，这一方法又广泛地被称为“载荷相关的 Ritz 向量法（load dependent Ritz vector approach）”。后来，袁明武等将这一方法用于大型特征值问题的计算，使 Ritz 向量法成为一种极为有效的特征值算法。在 2002 年我们将迭代引入 Ritz 向量法来改善其特征值与特征向量的精度，使其成为一种高效的精确特征值算法。

RITZ 向量法

RITZ 向量法考虑了荷载的空间分布，并且可以忽略不参与动态响应的振型，从而原系统方程的部分近似特征解。与精确特征值算法相比，该方法可以用更少的计算量达到更精确的结果，使用计算不多的振型个数就可达到要求的质量参与系数。但是其结果在一些情况下会偏于保守，而且由于这种方法计算的质量参与系数并不是精确结果，故要求其参与质量达到 90%未必合理。在使用传统算法计算大规模多塔、大跨、竖向地震遇到困难时，用户可以考虑选择 Ritz 向量法计算地震作用。

（2）计算振型个数

软件提供两种计算振型个数的方法，一是用户直接输入计算振型数，二是软件自动计算需要的振型个数。

（一）用户定义振型数

《抗震规范》5.2.2 条文说明中指出：“振型个数一般可以取振型参与质量达到总质量 90%所需的振型数。”

《高规》5.1.13 条规定：“抗震设计时，B 级高度的高层建筑结构、混合结构和本规程第 10 章规定的复杂高层建筑结构，宜考虑平扭耦联计算结构的扭转效应，振型数不应小于 15，对多塔楼结构的振型数不应小于塔楼数的 9 倍，且计算振型个数应使振型参与质量不小于总质量的 90%。”

计算振型个数可根据刚性板数和弹性节点数估算，比如说，一个规则的两层结构，采用刚性楼板假定，由于每块刚性楼板只有三个有效动力自由度，整个结构共有 6 个有效动力自由度。可通过 wzq.out 文件中输出的有效质量系数确认计算振型数是否够用。

软件在计算时会判断填写的振型个数是否超过了结构固有振型数，如果超出，则软件按结构固有振型数进行计算，不会引起计算错误。

（二）程序自动确定振型数

勾选此项后，要求同时填入参数“质量参与系数之和（%）”，软件隐含取值为 90%。

在此选项下，软件将根据振型累积参与质量系数达到“质量参与系数之和”的条件，自动确定计算的振型数。

这里还设置了一个参数“最多振型数量”，即对软件计算的振型个数设置最多的限制。如果在达到“最多振型数量”限值时，振型累积参与质量依然不满足“质量参与系数之和”条件，程序也不再继续自动增加振型数。

如果用户没有指定“最多振型数量”，则软件根据结构特点自动选取一个振型数上限值。

8、按主振型确定地震内力符号

该参数用来控制是否按照主振型确定地震内力符号，由于 CQC 振型组合需要开方，数值均为正数，因此需要按照一定规则确定 CQC 组合后的数值符号。勾选该项，则按主振型确定地震内力符号，否则按照该数值绝对值最大对应的振型确定符号。

9、（型钢）混凝土框架抗震等级、钢框架抗震等级、剪力墙抗震等级

（型钢）混凝土框架抗震等级：应用于建模时按框架梁、柱、支撑方式输入的混凝土、型钢混凝土、钢管混凝土构件。

钢框架抗震等级：应用于建模时按框架梁、柱、支撑方式输入的钢构件。

剪力墙抗震等级：应用于建模时输入的混凝土、钢板混凝土、配筋砌块砌体墙。

10、抗震构造措施的抗震等级提高（或降低）一级

该参数用来设置抗震构造措施的抗震等级相对抗震措施的抗震等级的提高（或降低），主要用于抗震构造措施的抗震等级与抗震措施的抗震等级不同的情况，如：

（1）《抗震规范》3.3.2 条：“建筑场地为 I 类时，对甲、乙类的建筑应允许仍按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施；对丙类的建筑应允许按本地区抗震设防烈度降低一度的要求采取抗震构造措施，但抗震设防烈度为 6 度时仍应按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施。”

（2）《抗震规范》3.3.3 条：“建筑场地为 III、IV 类时，对设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区，除本规范另有规定外，宜分别按抗震设防烈度 8 度(0.20g)和 9 度(0.40g)时各抗震设防类别建筑的要求采取抗震构造措施。”

如果场地类别和设防烈度满足条件（1），软件会自动勾选抗震构造措施的“降低一级”；如果场地类别和设防烈度满足条件（2），软件会自动勾选抗震构造措施的“提高一级”。

在 wpj*.out 文本文件中会分别输出抗震措施的抗震等级和抗震构造措施的抗震等级。

11、框支剪力墙结构底部加强区剪力墙抗震等级自动提高一级

根据《高规》表 3.9.3、表 3.9.4，框支剪力墙结构底部加强区和非底部加强区的剪力墙抗震等级一般情况下相差一级。选取此项时，框支剪力墙结构底部加强区剪力墙抗震等级将自动提高一级，省去设计人员手工指定的步骤。

12、地下一层以下抗震构造措施的抗震等级逐层降低及抗震措施四级

《抗规》第 6.1.3-3：“当地下室顶板作为上部结构的嵌固部位时，地下一层的抗震等级应与上部结构相同，地下一层以下抗震构造措施的抗震等级可逐层降低一级，但不应低于四级。”

勾选此参数，软件对地下 1 层的抗震措施和抗震构造措施不变，对地下 2 层起抗震构造措施的抗震等级逐层降低一级，但不低于四级。对地下 2 层起的抗震措施取为四级。

13、局部模型反应谱法计算竖向地震时考虑水平质量

当“结构总体信息”-“地震作用计算信息”中选择“计算水平和反应谱方法竖向地震作用（局部模型独立求解）”时，该参数才可以被勾选。勾选后在计算竖向地震时考虑水平质量。

14、结构阻尼比

这里的阻尼比只用于地震作用计算。

《抗震规范》5.1.5 条规定：“除有专门规定外，建筑结构的阻尼比应取 0.05。”

《抗震规范》8.2.2 条对钢结构抗震计算的阻尼比做出了规定。

《高规》11.3.5 条规定：“混合结构在多遇地震作用下的阻尼比可取为 0.04。”

其他情况根据相关规范规定取值。

软件提供两种设置阻尼比的方法：

图 2.1.27 结构阻尼比设置

（1）全楼统一

即设置全楼统一的阻尼比值；

（2）按材料区分

如果结构由不同材料组成可勾选此项，此时可设置不同材料的阻尼比值，据此软件准确计算地震作用。

15、考虑偶然偏心

《高规》4.3.3 条规定：“计算单向地震作用时应考虑偶然偏心的影响。”

如果设计人员勾选该选项，则软件在计算地震作用时，分别对 X、Y 方向增加正偏、负偏两种工况，偏心值依据“偶然偏心值（相对）”参数的设置，并且在整体指标统计与构件设计时给出相应计算结果。

对于偶然偏心工况的计算结果，软件不进行双向地震作用计算。

16、X 向、Y 向偶然偏心值（相对）

在此设置 X 向、Y 向的偶然偏心值。

17、偶然偏心的计算方法

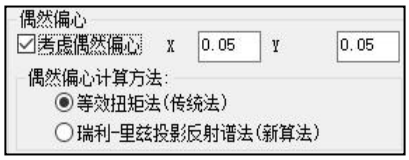


图 2.1.28 偶然偏心设置

（1）等效扭矩法

首先按无偏心的初始质量分布计算结构的振动特性和地震作用；然后计算各偏心方式质点的附加扭矩，与无偏心的地震作用叠加作为外荷载施加到结构上，进行静力计算。这种模态等效静力法比标准振型分解反应谱法 ST-MRSA 计算量小，但在复杂情况下会低估扭矩作用。

（2）瑞利-利兹反应谱法

根据质量偏心对原始的质量矩阵做一个变换，求解过程中利用了这种关联关系对原始求得的振型进行变换得到新的振型向量，而不需要重新进行特征值计算。瑞利-利兹反应谱法比等效扭矩法计算精度高，比标准振型分解反应谱法 ST-MRSA 效率高。

18、考虑双向地震作用

《抗震规范》5.1.1.3 条规定：“质量和刚度分布明显不对称的结构，应计入双向水平地震作用下的扭转影响；”

勾选该项，则 X、Y 向地震作用计算结果均为考虑双向地震后的结果；如果有斜交抗侧力方向，则沿斜交抗侧力方向的地震作用计算结果也将考虑双向地震作用。

19、自动计算最不利地震方向的地震作用

软件自动计算最不利地震作用方向，并在 wzq.out 文件中输出该方向，并提供“自动计算最不利地震方向的地震作用”参数。勾选该项，则软件自动计算该方向地震作用。相当于在参数“斜交抗侧力方向角度”中自动增加了一个角度方向的地震作用计算。

20、斜交抗侧力构件方向角度

《抗震规范》5.1.1.2 条规定：“有斜交抗侧力构件的结构，当相交角度大于 15°时，应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用。”

如果工程中存在斜交抗侧力构件与 X、Y 方向的夹角均大于 15°，可在此输入该角度进行补充计算。

21、活荷载重力荷载代表值组合系数

指的是计算重力荷载代表值时的活荷载组合值系数。

22、地震影响系数最大值

地震影响系数最大值由“设防烈度”参数控制，软件会根据该参数的变化自动更新地震影响系数最大值。当选择广东高规(2021)时，按照广高规表 4.3.8-1~4.3.8-3 取值。

23、用于 12 层规则砼框架结构薄弱层验算的地震影响系数最大值

该参数仅用于按《抗震规范》5.5.4 条简化方法对 12 层及以下纯框架结构的弹塑性薄弱层位移计算。

24、竖向地震作用系数底线值

《高规》4.3.15 条规定：“高层建筑中，大跨度结构、悬挑结构、转换结构、连体结构的连接体的竖向地震作用标准值，不宜小于结构或构件承受的重力荷载代表值与表 4.3.15 所规定的竖向地震作用系数的乘积。”

如果竖向地震计算方法为振型分解反应谱法，则软件将判断计算结果是否小于该底线值，如果小于该底线值，则对竖向地震计算结果进行放大。

25、地震计算时不考虑地下室的结构质量

勾选此参数后，软件在计算地震作用时，将不考虑地下室各层的质量。

26、自定义影响系数曲线

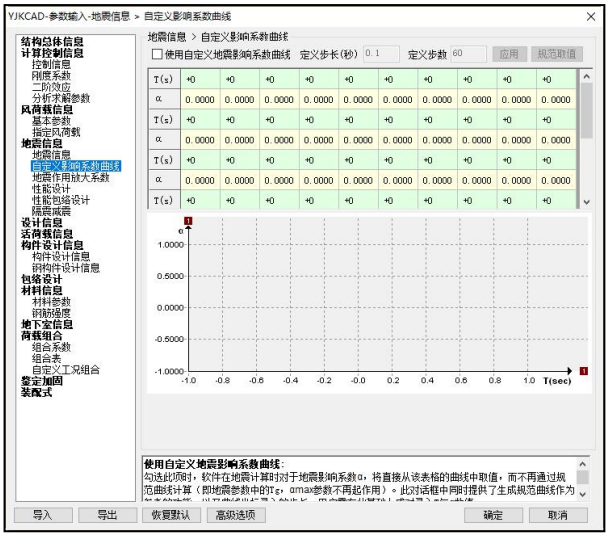


图 2.1.29 自定义影响系数曲线

软件提供了自定义影响系数曲线功能。选中“使用自定义地震影响系数曲线”后，表格及相应按钮变为可编辑状态，设计人员可以自行定义地震影响系数曲线，也可点击“规范取值”按钮来查看规范规定的影响系数曲线。

27、地震作用放大系数

图 2.1.30 地震作用放大系数

软件提供两种地震作用放大方法：全楼统一和分层设置，对于分层设置方法，可以导入时程分析的放大系数，也可以导入自定义放大系数文本，还可以将设置好的放大系数导出。

图 2.1.31 导入地震作用放大系数

28、性能设计—混凝土结构

可支持按照《抗规》、《高规》和《广东高规》进行性能设计。参数页如下图：

图 2.1.32 性能设计

进行性能设计时，用户除在这里勾选性能设计相关参数外，还需到地震参数中按地震烈度确认“地震影响系数最大值”和与性能水准对应的抗震构造措施的抗震等级，以便软件采取与性能水准相适应的构造措施，软件自动实现“地震影响系数最大值”与地震水准的联动。另外，无论按《抗规》、《高规》还是按《广东高规》进行性能设计，均

不考虑地震效应和风效应的组合，不考虑与抗震等级有关的内力调整系数。

选择“性能设计(抗规)”时，软件按照抗震规范附录 M 作为设计依据。用户可以选择“不屈服”和“弹性”性能水准，软件具体实现如下：

中震不屈服：荷载效应采用标准组合，材料强度取标准值；

中震弹性：荷载效应采用基本组合，材料强度取设计值；

大震不屈服：荷载效应采用标准组合，材料强度取极限值；

大震弹性：荷载效应采用基本组合，材料强度取设计值。

选择“性能设计（广东规程）”时，软件按照《广东高规》3.9 节作为设计依据，可选择不同的抗震性能水准。在选择“广东高规（2021）”后，软件会自动激活“性能设计”菜单下的“考虑性能设计”，并勾选“性能设计（广东规程）”，默认地震水准为“中震”，性能水准为“性能水准 3”，构件重要性系数为“关键构件系数 1.1”、“一般竖向构件系数 1.0”、“水平耗能构件系数 0.9/0.6”，见图 2.1.33：

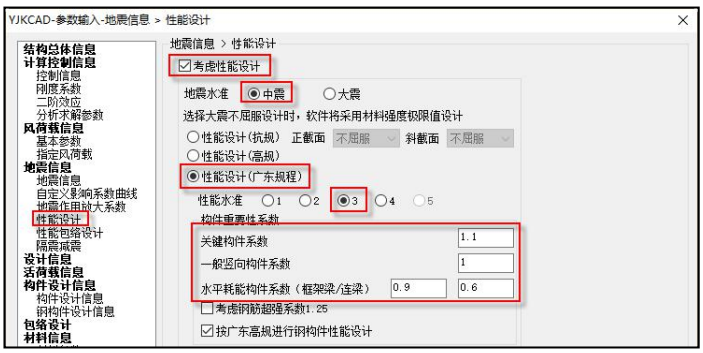


图 2.1.33 性能设计（广东规程）

新规程将结构抗震性能目标分为 A、B、C、D 四个等级，结构抗震性能分为 1、2、3、4、5 五个水准。根据新规程，一般的丙类结构在不同的设防地震烈度，可取性能水准 3 或 4，见规程第 3.9.3 条：“丙类建筑结构的抗震性能目标和设防烈度地震作用下结构构件的性能水准应不低于表 3.9.3 的要求：”

表 3.9.3 设防烈度地震作用下的抗震性能目标和性能水准

设防地震烈度	6	7	8	9
性能目标等级	C	C	D	D
结构构件性能水准	3	3	4	4

用户可以根据当前工程的“性能目标等级”选择合适的“性能水准”，见规程表 3.9.1 和表 3.9.2。

表 3.9.1 结构抗震性能目标

性能目标 / 地震水准 / 性能水准	A	B	C	D
设防烈度地震	1	2	3	4
预估的罕遇地震	2	3	4	5

表 3.9.2 各性能水准结构预期的震后性能状况

结构抗震性能水准	宏观损坏程度	损坏部位			继续使用的可能性
		关键构件	普通竖向构件	耗能构件	
1	完好、无损坏	无损坏	无损坏	无损坏	不需修理即可继续使用
2	基本完好、轻微损坏	无损坏	无损坏	轻微损坏	稍加修理即可继续使用
3	轻度损坏	轻微损坏	轻微损坏	轻度损坏、部分中度损坏	一般修理后才可继续使用
4	中度损坏	轻度损坏	部分构件中度损坏	中度损坏、部分比较严重损坏	修复或加固后才可继续使用
5	比较严重损坏	中度损坏	部分构件比较严重损坏	比较严重损坏	需排险大修

注：“关键构件”是指该构件的失效可能引起结构的连续破坏或危及生命安全的严重破坏；“普通竖向构件”是指“关键构件”之外的竖向构件；“耗能构件”包括框架梁、剪力墙连梁等。

在第 3.9.5 条，新规程给出了进行构件承载力验算的具体规定，各性能水准下验算的基本公式均基于公式 3.9.5-1：“结构构件的承载力应符合本规程的有关规定。不同抗震性能水准的结构在设防烈度地震作用下的承载力校核和罕遇地震作用下的承载力、受剪截面验算按下列规定进行：

1 第 1 性能水准的结构在设防烈度地震作用下，全部结构构件的抗震承载力应符合下式要求：

$$S_k = S_{GEk} + \eta c\left(S^*_{Ehk} + 0.4S^*_{Evk}\right) \le \xi R_k \qquad (3.9.5\text{-}1)\text{”}$$

各性能水准之间的主要区别在于地震折减系数 c 和承载力利用系数ξ的取值。软件会根据当前选择的“性能水准”在设计中自动考虑地震折减系数 c 和承载力利用系数ξ，目前不支持用户修改。

在第 3.9.5 条，新规程也给出了大震下竖向构件的受剪截面验算的具体规定，各性

能水准下验算的基本公式均基于公式 3.9.5-3：“大震作用下，竖向构件的受剪截面宜满足式（3.9.5-3）的要求。

$$V_{GEk}+\eta c V_{Ek}^{**}\le \varsigma f_{ck} b h_0 \qquad （3.9.5\text{-}3）”$$

具体的取值整理如下：

表1 设防烈度地震作用下c和ξ的取值

性能水准	c	ξ	
		压、剪	拉、弯
1	1.0	0.6	0.69
2	1.0	0.67	0.77
3	0.85	0.74	0.87
4	0.7	0.83	1.0

表2 预估的罕遇地震作用下c、ξ和ς的取值

性能水准	c	ξ		ς
		压、剪	拉、弯	
2	1.0	0.83	1.0	-
3	0.85	-	-	0.15
4	0.7	-	-	0.165
5	0.55	-	-	0.18

表中“-”意为规程中没有规定，不进行验算。比如大震性能 2 时，ς 没有说明，故软件不按照公式 3.9.5-3 验算竖向截面的剪压比，而是按照规程第 6.2.3 条计算。又如大震性能 3~5 时，ξ没有说明，故软件不对构件进行地震作用下的配筋设计。

构件重要性系数η针对各个单构件，与其重要程度相关，见表 3.9.2 注：““关键构件”

是指该构件的失效可能引起结构的连续破坏或危及生命安全的严重破坏；“普通竖向构件”是指“关键构件”之外的竖向构件；“耗能构件”包括框架梁、剪力墙连梁等。”

软件给出“关键构件”、“一般构件”及“耗能构件”的默认重要性系数，该系数在“特殊构件定义”-“性能设计”-“重要性系数《DBJ 15-92-2021》”菜单中可以对单构件进行修改，见图 2.1.34：

图 2.1.34 重要性系数

由于需要对单构件进行重要性系数的修改，而重要性系数会影响到地震工况的分项系数，故地震作用下荷载组合都以各构件的构件信息中的荷载组合为准。对于承载力 R_k 和ξ，程序在构件抗震设计时自动采用材料的标准值，并考虑承载力利用系数ξ。

软件提供参数“考虑钢筋超强系数 1.25”，根据广东规程第 3.9.5、3.9.6 条条文说明：“校核设防烈度地震作用下构件的受弯、压弯承载力时，7 度（0.15g）及以上的结构必要时可考虑钢筋的超强系数 1.25，低烈度区结构的地震力较小，不考虑此有利因素。”由于在节点出现较大扭转时，钢筋会出现较明显的应变硬化，故在中高延性时，对受弯、压弯状态下的纵筋，规程建议考虑钢筋的超强系数 1.25，以此来更好的实现梁、柱的“强剪弱弯”。

构件，柱选择“性能设计（高规）”时，须按性能水准选择，其中，中震时可选 1、2、3、4，大震时可选 2、3、4、5。定义好构件的关键构件、一般竖向构件、水平耗能

构件属性后，软件自动按照《高规》3.11.3 关于某一性能水准下按构件属性分类的正、斜截面的相关公式和规定执行。和《广东高规》流程类似，软件默认剪力墙、转换柱、转换梁为关键、支撑为一般竖向构件，梁为水平耗能构件，如果实际设计的构件属性与默认不符，用户可在“前处理及计算”-“性能设计”中的“构件类型”菜单中修改构件的性能设计属性。

29、性能设计—钢结构

钢结构性能设计：

当勾选性能设计（高规），对于钢构件按照《高钢规》JGJ99-2015 第 3.8 节抗震性能化设计执行。

图 2.1.35 钢结构性能设计

当勾选性能设计（广东规程）中的按广东高规进行钢构件性能设计时，对于钢构件按照规范 12.4.20-12.4.23 条，对钢构件进行性能设计。

当勾选性能设计《钢结构设计标准》（GB50017-2017）时，软件按照《钢结构设计标准》第 17 章进行中震性能设计。

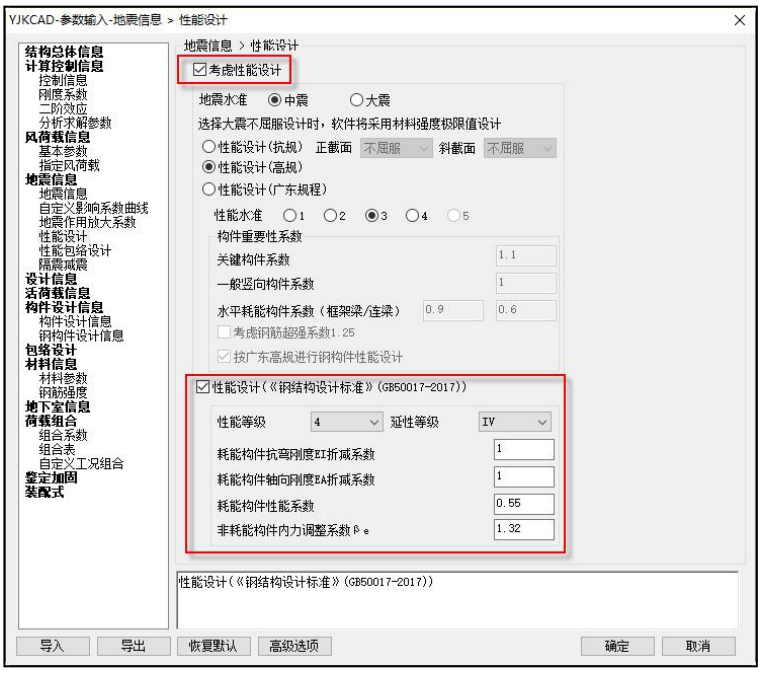


图 2.1.36 钢结构性能设计

（1）抗震承载性能等级和延性等级

《钢结构设计标准》17.1.3 条：“钢结构构件的抗震性能化设计应根据建筑的抗震设防类别、设防烈度、场地条件、结构类型和不规则性，结构构件在整个结构中的作用、使用功能和附属设施功能的要求、投资大小、震后损失和修复难易程度等，经综合分析比较选定其抗震性能目标。构件塑性耗能区的抗震承载性能等级及其在不同地震动水准下的性能目标可按表 17.1.3 划分。”

表 17.1.3 构件塑性耗能区的抗震承载性能等级和目标

承载性能等级	地震动水准		
	多遇地震	设防地震	罕遇地震
性能 1	完好	完好	基本完好
性能 2	完好	基本完好	基本完好～轻微变形
性能 3	完好	实际承载力满足高性能系数的要求	轻微变形
性能 4	完好	实际承载力满足较高性能系数的要求	轻微变形～中等变形
性能 5	完好	实际承载力满足中性能系数的要求	中等变形

承载性能等级	地震动水准		
	多遇地震	设防地震	罕遇地震
性能 6	基本完好	实际承载力满足低性能系数的要求	中等变形～显著变形
性能 7	基本完好	实际承载力满足最低性能系数的要求	显著变形

《钢结构设计标准》17.1.4-4 条：“构件和节点的延性等级应根据设防类别及塑性耗能区最低承载性能等级按表 17.1.4-2 确定，并按本标准第 17.3 节的规定对不同延性等级的相应要求采取抗震措施。”

延性等级分 5 级，承载力性能等级与延性等级的对应如下：

表 17.1.4-2 结构构件最低延性等级

设防类别	塑性耗能区最低承载性能等级						
	性能 1	性能 2	性能 3	性能 4	性能 5	性能 6	性能 7
适度设防类（丁类）	—	—	—	Ⅴ级	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅱ级
标准设防类（丙类）	—	—	Ⅴ级	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级
重点设防类（乙类）	—	Ⅴ级	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级	—
特殊设防类（甲类）	Ⅴ级	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级	—	—

注：Ⅰ级至Ⅴ级，结构构件延性等级依次降低。

从以上各表的要求可见，进行中震性能设计时，通过承载力性能等级和延性等级两个参数关联地震作用大小和延性强弱，实现“高承载力、低延性”和“低承载力、高延性”两种抗震设计思路。性能 7 地震作用最小，延性最好，属于典型的“低承载力、高延性”；性能 1 地震作用最大，延性最差，属于典型的“高承载力、低延性”。

在软件中，钢结构性能设计参数设置如下：

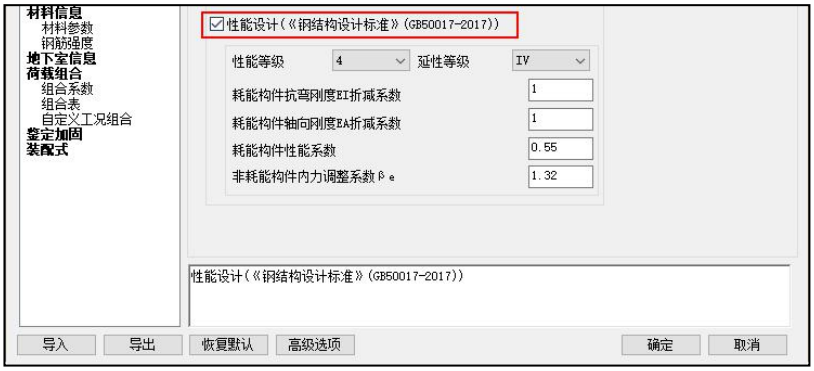


图 2.1.37 钢结构性能设计

用户可根据如上规范的相应要求确定项目的性能等级和延性等级，并在此填入。并应注意下面 4 个参数的正确输入，其中延性等级、非耗能构件内力调整系数可在特殊构件定义中按构件单独指定修改。

（2）耗能构件与非耗能构件

软件对框架结构中的梁、框架-中心支撑结构中的支撑、框架-偏心支撑结构中的消能梁自动指定为耗能构件，这是为体现承载力设计(capacity design)理念，不同种类构件的性能系数有差异。耗能构件在地震作用下首先形成塑性铰耗能，性能系数取值小；为保证非耗能构件在耗能构件屈服时还处于理弹性状态，非耗能构件性能系数取值大(通过内力调整系数 β_e 体现)。

在特殊构件定义的“性能设计”菜单下，增加钢结构《GB50017-2017》相关的内容，有耗能构件、延性等级、宽厚比等级、非耗能 β_e 系数的按照构件的指定菜单。

图 2.1.38 钢结构性能设计-构件

指定进行性能设计后，软件自动指定相应的耗能构件，耗能构件菜单可对构件是否为耗能构件在这里人工修改。

非耗能构件的 β_e 系数默认取“性能设计”页 β_e 数值，对于需要特殊指定的杆件的 β_e，可在这里修改。

在设防地震下，结构可部分进入塑性，地震作用可折减。不同性能等级确定的地震作用大小通过性能系数 Ω_i 体现。

新标准第 17.2.2 条：“钢结构构件的性能系数应符合下列规定：

1 钢结构构件的性能系数应按下式计算：

$$\Omega_i \geqslant \beta_e \Omega^a_{i,\ min} \quad (17.2.2\text{-}1)$$

2 塑性耗能区的性能系数应符合下列规定：

1）对框架结构、中心支撑结构、框架-支撑结构，规则结构塑性耗能区不同承载力性能等级对应的性能系数最小值宜符合表 17.2.2-1 的规定：”

表 17. 2. 2-1 规则结构塑性耗能区不同承载性能等级对应的性能系数最小值

承载性能等级	性能 1	性能 2	性能 3	性能 4	性能 5	性能 6	性能 7
性能系数最小值	1. 10	0. 9	0. 70	0. 55	0. 45	0. 35	0. 28

根据第 17.2.2-3 注释，β_e ——水平地震作用非塑性耗能区内力调整系数，塑性耗能区构件应取 1.0，其余构件不宜小于 $1.1\eta_y$，支撑系统应按式（17.2.2-9）计算确定。

另外，非耗能构件亦应按相对强弱依次发展塑性。

按新标准第 17.1.5 条：

“1 整个结构中不同部位的构件、同一部位的水平构件和竖向构件，可有不同的性能系数；塑性耗能区及其连接的承载力应符合强节点弱杆件的要求；

2 对框架结构，同层框架柱的性能系数宜高于框架梁；

3 对支撑结构和框架-中心支撑结构，同层框架柱的性能系数宜高于框架梁，框架梁的性能系数宜高于支撑；

4 框架-偏心支撑结构的支撑系统，同层框架柱的性能系数宜高于支撑，支撑的性能

系数宜高于框架梁，框架梁的性能系数应高于消能梁段；

5 关键构件的性能系数不能低于一般构件。”

在软件中，不同耗能构件的相对强弱可通过人工修改各构件的系数 β_e 大小来表征。

（3）中震下的地震作用组合及承载力计算

中震下的地震作用组合及承载力计算按规范 17.2.3 条确定，如下

$$S_{E2} = S_{GE} + \Omega_i S_{Ehk2} + 0.4 S_{Evk2}$$
$$S_{E2} \leqslant R_k$$

采用“高承载力、低延性”方案时，地震作用取值大，但截面宽厚比限值比抗震规范有所放松。

需要指出的是，为保证耗能构件先屈服，其实际性能系数与设定的性能系数应接近，即耗能构件的承载力要用足，使效应抗力比接近 1.0。

（4）性能设计抗震措施

软件根据 17.2.5 条进行强柱弱梁验算，与抗规 8.2.5 类似，细节有变化；

柱截面板件宽厚比等级为 S1、S2 时：

$$\Sigma W_{Ec}(f_{yc} - N_p/A_c) \geqslant \eta_y \Sigma W_{Eb} f_{yb} \quad (17.2.5\text{-}1)$$

柱截面板件宽厚比等级为 S3、S4 时：

$$\Sigma W_{Ec}(f_{yc} - N_p/A_c) \geqslant 1.1\eta_y \Sigma W_{Eb} f_{yb} \quad (17.2.5\text{-}2)$$

软件根据 17.3.4 条确定框架梁轴力限值、剪力限值及正则化长细比限值：

表 17.3.4-1 结构构件延性等级对应的塑性耗能区（梁端）截面板件宽厚比等级和轴力、剪力限值

结构构件延性等级	Ⅴ级	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅰ级
截面板件宽厚比最低等级	S5	S4	S3	S2	S1
N_{E2}	—	$\leqslant 0.15Af$		$\leqslant 0.15Af_y$	
V_{pb}（未设置纵向加劲肋）	—	$\leqslant 0.5h_w t_w f_v$		$\leqslant 0.5h_w t_w f_{vy}$	

表 17.3.4-2 工字形梁受弯正则化长细比 $\lambda_{n,b}$ 限值

结构构件延性等级	Ⅰ级、Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅴ级
上翼缘有楼板	0.25	0.40	0.55	0.80

软件根据 17.3.5 条控制框架柱长细比限值：

表 17.3.5 框架柱长细比要求

结构构件延性等级	Ⅴ级	Ⅳ级	Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级
$N_p/(Af_y) \leqslant 0.15$	180	150	$120\varepsilon_k$
$N_p/(Af_y) > 0.15$	$125[1-N_p/(Af_y)]\varepsilon_k$		

软件根据规范 17.3.12 条控制支撑长细比及消能梁板件宽厚比：

表 17.3.12 支撑长细比、截面板件宽厚比等级

抗侧力构件	结构构件延性等级			支撑长细比	支撑截面板件宽厚比最低等级	备注
	支撑结构	框架-中心支撑结构	框架-偏心支撑结构			
交叉中心支撑或对称设置的单斜杆支撑	Ⅴ级	Ⅴ级	—	符合本标准第 7.4.6 条的规定，当内力计算时不计入压杆作用按只受拉斜杆计算时，符合本标准第 7.4.7 条的规定	符合本标准第 7.3.1 条的规定	—
	Ⅳ级	Ⅲ级	—	$65\varepsilon_k < \lambda \leqslant 130$	BS3	—
	Ⅲ级	Ⅱ级	—	$33\varepsilon_k < \lambda \leqslant 65\varepsilon_k$	BS2	—
				$130 < \lambda \leqslant 180$	BS2	—
	Ⅱ级	Ⅰ级	—	$\lambda \leqslant 33\varepsilon_k$	BS1	—
人字形或Ⅴ形中心支撑	Ⅴ级	Ⅴ级	—	符合本标准第 7.4.6 条的规定	符合本标准第 7.3.1 条的规定	—
	Ⅳ级	Ⅲ级	—	$65\varepsilon_k < \lambda \leqslant 130$	BS3	与支撑相连的梁截面板件宽厚比等级不低于 S3 级
	Ⅲ级	Ⅱ级	—	$33\varepsilon_k < \lambda \leqslant 65\varepsilon_k$	BS2	与支撑相连的梁截面板件宽厚比等级不低于 S2 级

续表 17.3.12

抗侧力构件	结构构件延性等级			支撑长细比	支撑截面板件宽厚比最低等级	备注
	支撑结构	框架-中心支撑结构	框架-偏心支撑结构			
人字形或V形中心支撑	Ⅲ级	Ⅱ级	—	$130<\lambda\leqslant180$	BS2	框架承担50%以上总水平地震剪力；与支撑相连的梁截面板件宽厚比等级不低于S1级
	Ⅱ级	Ⅰ级	—	$\lambda\leqslant33\varepsilon_k$	BS1	与支撑相连的梁截面板件宽厚比等级不低于S1级
				采用屈曲约束支撑	—	—
偏心支撑	—	—	Ⅰ级	$\lambda\leqslant120\varepsilon_k$	符合本标准第7.3.1条的规定	消能梁段截面板件宽厚比要求应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定

对于 II 级延性的钢框架-中心支撑结构，软件中按 $65\varepsilon_k$ 控制中心支撑长细比。

（5）性能设计结果输出

性能设计时，软件调整输出如下：

```
------------------------------------------------------------
N-B=8 (I=1000004, J=1000007)(26)I30c
Lbin=4.50(m) Lbout=4.50(m) Nfb=3 Nfh gz=3 Rsb=345
钢梁 框架梁 工字形 宽厚比等级S3 延性等级4
livec=1.000
Ω min=0.550  β e=1.320
                -I-      -1-      -2-      -3-      -4-      -5-      -6-      -7-      -J-
-M(kNm)      -235     -102        0        0        0        0        0      -76     -199
LoadCase   (  9)    (  9)    (  0)    (  0)    (  0)    (  0)    (  0)    (  8)    (  8)
+M(kNm)         0        0       17       99      133      108       35        0        0
LoadCase   (  0)    (  0)    (  8)    (  8)    (  9)    (  9)    (  9)    (  0)    (  0)
Shear        241      226      183      110        9      -94     -167     -210     -225
LoadCase   (  9)    (  9)    (  9)    (  9)    (  9)    (  8)    (  8)    (  8)    (  8)
**(9)Mx=     -234.9 F1=    681.333 > f=    305.000              《钢规》6.1.1
(9)V=       241.0 F3=     68.363 < f=    175.000
宽厚比：b/tf=3.30 < b/tf_max=10.73
高厚比：hw/tw=19.17 < hw/tw_max=76.76
```

图 2.1.39 性能设计-构件信息

Ncm	V-D	V-L	+X-W	-X-W	+Y-W	-Y-W	X-E	Y-E	Z-E	R-F	TEM	CRN
1	1.35	0.98	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	1.20	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	1.00	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4	1.20	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5	1.20	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--
6	1.20	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--
7	1.20	--	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--
8	1.20	1.40	0.84	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9	1.20	1.40	--	0.84	--	--	--	--	--	--	--	--
10	1.20	1.40	--	--	0.84	--	--	--	--	--	--	--
11	1.20	1.40	--	--	--	0.84	--	--	--	--	--	--
12	1.20	0.98	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13	1.20	0.98	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--
14	1.20	0.98	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--
15	1.20	0.98	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--
16	1.00	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--	--
17	1.00	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--
18	1.00	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--
19	1.00	--	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--
20	1.00	1.40	0.84	--	--	--	--	--	--	--	--	--
21	1.00	1.40	--	0.84	--	--	--	--	--	--	--	--
22	1.00	1.40	--	--	0.84	--	--	--	--	--	--	--
23	1.00	1.40	--	--	--	0.84	--	--	--	--	--	--
24	1.00	0.98	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--	--
25	1.00	0.98	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--
26	1.00	0.98	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--
27	1.00	0.98	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--
28	1.00	0.50	--	--	--	--	0.73	--	--	--	--	--
29	1.00	0.50	--	--	--	--	-0.73	--	--	--	--	--
30	1.00	0.50	--	--	--	--	--	0.73	--	--	--	--
31	1.00	0.50	--	--	--	--	--	-0.73	--	--	--	--

图 2.1.40 性能设计-组合系数

30、性能包络设计

“性能包络设计”是对构件的多遇地震配筋结果和中震（或大震）弹性或中震（或大震）不屈服配筋结果取大值的设计，该功能目前仅支持按照《抗规》方法进行性能设计的包络。

通过“计算参数”-“性能包络设计”菜单，可以选择参与计算的性能水准，还可以对周期折减系数、结构阻尼比、连梁刚度折减系数、中梁刚度放大系数和考虑双向地震作用等计算参数进行单独设置。参数未提供“边梁刚度放大系数”的设置，假定“中梁刚度放大系数”用户输入值为 Bk，对于一侧与楼板相连的边梁，其刚度放大系数取(1+Bk)/2。注意，这里所勾选的性能水准决定程序是否对整个模型进行该水准的设计。而最终设计结果中每个构件参与包络的性能水准则需要到“特殊构件定义”-“性能设计”-“抗震性能水准”菜单中做相应设定。

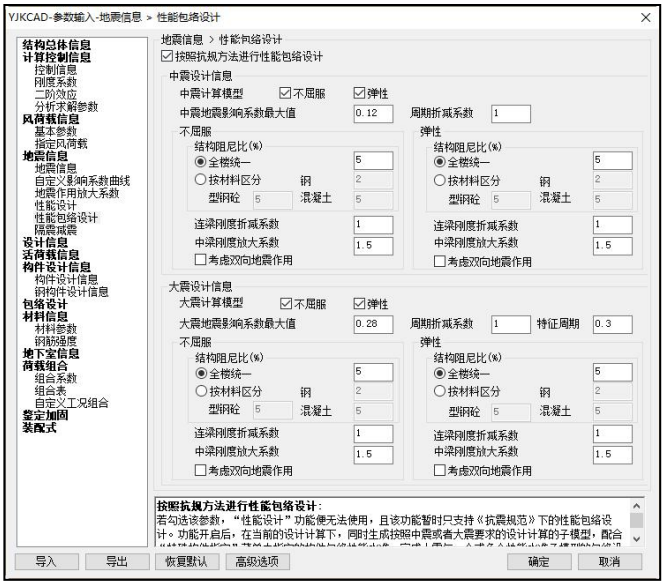


图 2.1.41 性能包络设计菜单

即“计算参数”中的“不屈服”和“弹性”是为后续包络设计做准备，“特殊构件定义”中对构件指定的“不屈服”和“弹性”才是最终进行包络设计所选取的性能水准。比如，“计算参数”中没有勾选“不屈服”选项，则“特殊构件定义”中对构件指定了“不屈服”也没有作用，因为模型中没有“不屈服”的结果。

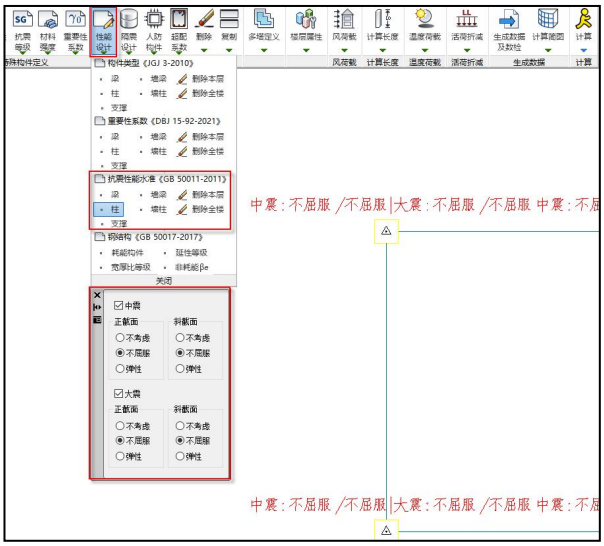


图 2.1.42 单构件性能水准指定菜单

包络后的构件配筋结果会在“配筋简图”和“构件信息”中显示。参与计算的性能设计子模型配筋结果可以在“设计结果”-“性能设计”中查看，其中“整体”代表包络后配筋简图。

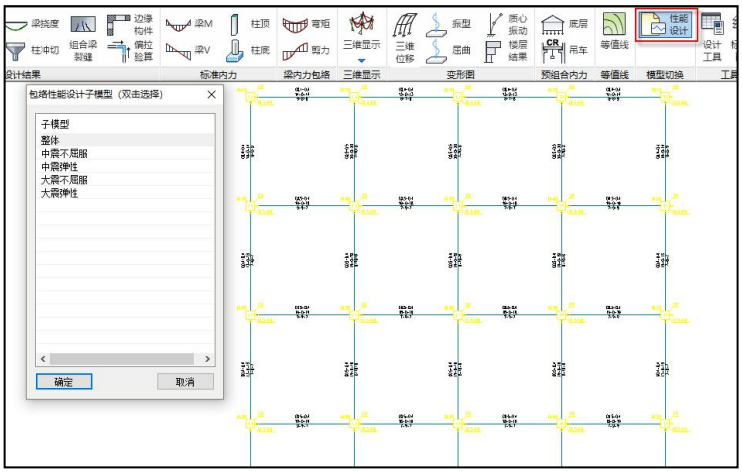


图 2.1.43 性能包络设计结果查看

31、隔震减震

图 2.1.44 隔震减震菜单

（1）隔震

隔震层数：输入结构中的隔震层个数。

隔震层层号：输入隔震层所在层号，此层号为隔震支座所在的自然层号，有多个隔震层时，以空格或逗号分隔。

隔震结构设计方法：该选项控制多项内容，当选择“直接设计法”时，软件将按照隔震标准进行隔震结构的计算和设计，包括：上部结构反应谱计算、弹性时程均采用隔震标准设计反应谱；地震信息中的地震影响系数最大值按照中震取值；地震组合的构件设计按照隔震标准 4.4.6 条进行设防地震下的性能化设计；当选择“分部设计法”时，不执行隔震标准，仍然按照抗规等进行隔震结构的设计。

调整后水平向减震系数：选择“分部设计法”时有效，该参数由用户求出后，在对非隔震模型的反应谱法地震计算和上部结构的截面设计时填入。

考虑钢筋超强系数：选择“直接设计法”时有效，按照隔震标准 4.4.6 条 3 款，对普通水平构件的承载力验算考虑钢筋的超强系数 1.25。

（2）减震

最大附加阻尼比：根据抗震规范 12.3.4 条 6 款的要求对减震结构附加阻尼比设置了默认的 0.25 限值，选择强行解耦法时有效(0, 100)，默认值为 0.25。对隔震结构，该值控制计算得到的减隔震元件附加阻尼比的最大值。由于规范中没有对隔震结构设限，建议用户设置一个较大的值。

（3）反应谱计算方法

实振型分解反应谱法：采用实振型分解反应谱法进行地震作用计算，对于减隔震结构的非比例阻尼问题，可选择强制解耦或者能量法。

复振型分解反应谱法：按照隔震标准 2021 4.3.2 条的复振型分解反应谱法计算地震作用。

减震隔震附加阻尼比算法：根据《抗规》12.3.4 中提供的附加阻尼比计算方法和限制，软件采用等效线性化方法提供了两种附加阻尼比的计算方法，**能量法与强行解耦法**，可在这里选择。

同类软件 ETABS 仅提供了强行解耦法计算附加阻尼比。按《抗规》12.3.4-2 要求，

强行解耦法仅适用于消能部件在结构上分布均匀，且附加阻尼比小于 20%情况。能量法没有这样的条件限制。

消能器附加给结构的有效阻尼比和有效刚度按《抗规》12.3.4 相关公式计算。

可计算速度线性相关型消能器，非线性粘滞消能器（广东高规提供），位移相关型与速度非线性相关型消能器。

（4）减隔震元件有效刚度和有效阻尼

采用输入的等效线性属性：采用用户在减隔震元件定义中输入的有效刚度和有效阻尼。

迭代确定：依据隔震标准 4.3.2 条，隔震层的非线性可按等效线性化的迭代方式考虑，选择该项，软件按照用户输入的非线性参数进行反应谱迭代计算，得到隔震元件的等效刚度和等效阻尼；软件只对隔震元件进行迭代，不对减震元件进行迭代。

自动采用弹性时程计算结果：软件在弹性时程模块提供了按照时程分析结果自动计算减隔震元件有效刚度和阻尼的功能，反应谱计算可自动读取弹性时程计算的有效刚度和阻尼结果，接力反应谱进行地震作用计算。选择该项，需要先完成弹性时程的计算。

（5）包络设计

选择“直接设计法”后，包络设计下的菜单变成可选状态。可以选择大震不屈服计算模型和大震弹性计算模型。

不屈服：按照隔震标准 4.7.2，支墩及相连构件应进行大震包络设计，大震计算模型不屈服时，软件按照隔震标准附录 A.0.3 作为依据，不考虑地震效应和风效应的组合，不考虑与抗震等级有关的内力调整系数。

弹性：按照隔震标准 4.7.2，支墩及相连构件应进行大震包络设计，大震计算模型弹性时，软件按照隔震标准附录 A.0.3 作为依据，不考虑地震效应和风效应的组合，不考虑与抗震等级有关的内力调整系数。

大震地震影响系数最大值：按照隔震标准表 4.2.1 取值。

五、设计信息

图 2.1.45 设计信息

该选项卡主要提供与设计调整相关的参数设置。

1、最小剪重比地震内力调整

《抗震规范》5.2.5 条条文说明中指出：“由于地震影响系数在长周期段下降较快，对于基本周期大于 3.5s 的结构，由此计算所得的水平地震作用下的结构效应可能太小。而对于长周期结构，地震动态作用中的地面运动速度和位移可能对结构的破坏具有更大影响，但是规范所采用的振型分解反应谱法尚无法对此作出估计。出于结构安全的考虑，提出了对结构总水平地震剪力及各楼层水平地震剪力最小值的要求，规定了不同烈度下的剪力系数，当不满足时，需改变结构布置或调整结构总剪力和各楼层的水平地震剪力使之满足要求。例如，当结构底部的总地震剪力略小于本条规定而中、上部楼层均满足最小值时，可采用下列方法调整：若结构基本周期位于设计反应谱的加速度控制段时，则各楼层均需乘以同样大小的增大系数；若结构基本周期位于反应谱的位移控制段时，则各楼层 i 均需按底部的剪力系数的差值$\triangle\lambda_0$增加该层的地震剪力——$\triangle F_{Eki}=\triangle\lambda_0 G_{Ei}$；若结构基本周期位于反应谱的速度控制段时，则增加值应大于$\triangle\lambda_0 G_{Ei}$，顶部增加值可取

动位移作用和加速度作用二者的平均值，中间各层的增加值可近似按线性分布。”

《抗震规范》不仅规定了最小剪重比调整系数，同时也规定了调整方法。软件按照上述方法调整层地震剪力，当底部总剪力相差较多时，结构的选型和总体布置需重新调整，不能仅采用乘以增大系数方法处理。

《抗震规范》条文说明中指出：“满足最小地震剪力是结构后续抗震计算的前提，只有调整到符合最小剪力要求才能进行相应的地震倾覆力矩、构件内力、位移等等的计算分析；即意味着，当各层的地震剪力需要调整时，原先计算的倾覆力矩、内力和位移均需要相应调整。软件根据最小剪重比调整结果对后续的倾覆力矩统计、内力、位移计算等均进行相应调整。”

2、扭转效应明显

该参数与“最小剪重比地震内力调整”参数配合使用，用来处理《抗震规范》表 5.2.5 中规定的扭转效应明显的情况。

对于如何判断扭转效应明显，规范有如下解释：

《抗震规范》5.2.5 条文说明中指出：“扭转效应明显与否一般可由考虑耦联的振型分解反应谱法分析结果判断，例如前三个振型中，二个水平方向的振型参与系数为同一个量级，即存在明显的扭转效应。”

《高规》4.3.12 条文说明中指出：“表 4.3.12 中所说的扭转效应明显的结构，是指楼层最大水平位移（或层间位移）大于楼层水平位移（或层间位移）1.2 倍的结构。”

3、自定义调整系数

软件提供自定义剪重比调整系数功能，设计人员可按软件规定的格式输入。

4、自动计算动位移比例

软件自动取结构两方向平动第一周期进行判断，当周期在反应谱速度段时自动计算动位移比例系数。

5、第一、第二平动周期方向位移比例（0~1）

《抗震规范》5.2.5 条条文说明中指出：“若结构基本周期位于反应谱的速度控制段时，则增加值应大于$\triangle\lambda_0 G_{Ei}$，顶部增加值可取动位移作用和加速度作用二者的平均值，中间各层的增加值可近似按线性分布。”

软件提供该参数，当 X 或 Y 方向结构基本周期位于速度控制段时，软件按该系数计算调整系数，填 0 按加速度控制段的方法取值，填 1 按位移控制段的方法取值，填 0~1 之间的数，则插值求调整系数。

当 X 或 Y 方向结构基本周期不位于速度控制段时，该参数不起作用。

6、0.2V_0分段调整

《抗震规范》6.2.13 条、《高规》8.1.4 条对框剪结构框架剪力调整做出了相关规定。

软件在执行上述规定时，要求设计人员手工指定 0.2V_0分段调整的相关信息，并按该信息进行调整。

0.2V_0调整分段数：设置分段调整时的分段数。

0.2V_0调整起止层号：设置某分段的起止楼层号，用逗号或空格分隔。

如果将结构材料指定为“钢结构”或将结构体系设为“钢框架-中心支撑结构”或“钢框架-偏心支撑结构”，需要手工设置按 0.25V_0调整框架部分的地震剪力。

对于筒体结构的地震剪力调整，在将结构体系设为“框筒结构”或“筒中筒结构”后，软件自动按《高规》9.1.11 条判断并调整框架部分及剪力墙部分地震剪力，并在 wv02q.out 文件中输出调整系数。

7、0.2 V_0调整上限

该参数指的是 0.2V_0调整时放大系数的上限，默认为 2；如果输入负数，则无上限限制。

8、与柱相连的梁端 M、V 不调整

旧《广东高规》8.1.4-2 条规定：“各层框架所承担的地震总剪力按本条第 1 款调整后，应按调整前、后总剪力的比值调整每根框架柱的剪力及端部弯矩，框架柱的轴力及与之相连的框架梁端弯矩、剪力可不调整。”

软件提供该选项来控制梁端内力是否调整。

9、自定义 0.2V_0调整系数

软件提供自定义 0.2V_0调整系数功能，设计人员可按软件规定的格式输入。

10、考虑双向地震时内力调整方式

程序提供两种考虑双向地震时内力调整方式，分别为“先考虑双向地震再调整”和“先调整再考虑双向地震”。如果先调整再考虑双向地震，计算结果仅对单构件内力有影响，对抗倾覆力矩、剪重比、$0.2V_0$等整体指标均无影响。

11、剪力墙端柱的面外剪力统计到框架部分

该参数用来控制端柱的面外剪力是否统计到框架。不勾选时端柱剪力均统计到剪力墙中，否则与墙同向的剪力统计到剪力墙中，面外剪力统计到框架部分。该参数将影响$0.2V_0$文件中的框架柱剪力、规定水平力下倾覆弯矩等统计内容。

12、实配钢筋超配系数

对于9度设防烈度的各类框架和一级抗震等级的框架结构，框架梁和连梁端部剪力、框架柱端部弯矩、剪力调整应按实配钢筋和材料强度标准值来计算，但在计算时因得不到实际配筋面积，目前通过调整计算设计内力的方法进行设计。该参数就是考虑材料、配筋因素的一个放大系数。

另外，在计算混凝土柱、支撑、墙受剪承载力时也要使用该参数估算实配钢筋面积。

13、框支柱调整上限

该参数指的是框支柱调整时放大系数的上限，默认为 5；如果输入负数，则无上限限制。

框支柱地震剪力调整不需要指定起止楼层号，但需要在特殊构件定义中指定框支柱。

14、零应力区验算时底面尺寸确定方式

计算零应力区面积时不再按照有/无裙房判断基底宽度取法，由用户指定。默认设置为“质心到最近边距离的 2 倍”。

15、按层刚度比判断薄弱层方法

《抗震规范》表 3.4.3-2 中对侧向刚度不规则的判断条件为：该层的侧向刚度小于相邻上一层的 70%，或小于其上相邻三个楼层侧向刚度平均值的 80%。

《高规》3.5.2 条对侧向刚度比的规定区分框架和非框架结构，其中对框架结构的规定与《抗震规范》的规定一致，而框剪结构的规定有区分。

为了适应规范的不同规定，软件提供了 4 个选项：高规和抗规从严、仅按抗规、仅按高规、不自动判断，供设计人员选择。

16、底部嵌固楼层刚度比执行《高规》3.5.2-2

《高规》3.5.2-2 规定：“…对于底部嵌固楼层，该比值不宜小于 1.5”。该参数用来控制底部嵌固楼层是否执行 1.5 规定。

17、自动对层间受剪承载力突变形成的薄弱层放大调整

《抗震规范》3.4.3 条和《高规》3.5.8 条均对由于层间受剪承载力突变形成的薄弱层做出了地震作用放大的规定。由于计算受剪承载力需要配筋结果，因此需先进行一次全楼配筋设计，然后根据楼层受剪承载力判断后的薄弱层再次进行全楼配筋，这样会对计算效率有影响。因此软件提供该参数，勾选该项，则软件自动根据受剪承载力判断出来的薄弱层再次进行全楼配筋设计，如果没有判断出薄弱层则不会再次进行配筋设计。

18、自动根据层间受剪承载力比值调整钢筋到非薄弱

可对受剪承载力薄弱层自动增加柱、墙配筋到非薄弱。

勾选此参数后，软件对层间受剪承载力比值小于 0.8 的楼层，将自动增加柱墙构件的计算钢筋直到层间受剪承载力比值大于 0.8，使该层不再是薄弱层。

软件增加的是柱的纵向钢筋和剪力墙的水平分布钢筋。

每次增加的钢筋量及增加的次数在“高级选项”-“整体指标”-“受剪承载力”中可以进行查看和修改。

如果用户同时还勾选了参数“自动对受剪承载力突变形成的薄弱层放大调整”，则软件优先进行增加柱、墙钢筋的调整，如果可以调整到非薄弱层的水平，则不会再把该层判定为受剪承载力薄弱层，也就不会再进行楼层内力放大 1.25 的调整。

如果根据刚度或手工指定了薄弱层，则软件将不进行配筋调整。

19、转换层指定为薄弱层

带转换层结构属于竖向抗侧力构件不连续结构，一般宜将转换层指定为薄弱层。软件提供该选项，由设计人员控制是否需要将转换层指定为薄弱层。

20、指定薄弱层层号

软件根据上下层刚度比判断薄弱层，并自动进行地震作用调整，但对于竖向不规则的楼层不能自动判断为薄弱层，需要设计人员手工指定。

可用逗号或空格分隔楼层号。

21、薄弱层地震力放大系数

该参数用于薄弱层的地震力放大。

《抗震规范》3.4.4.2 条规定：“平面规则而竖向不规则的建筑，应采用空间结构计算模型，刚度小的楼层的地震剪力应乘以不小于 1.15 的增大系数。”

《高规》3.5.8 条规定：“侧向刚度变化、承载力变化、竖向抗侧力构件连续性不符合本规程第 3.5.2、3.5.3、3.5.4 条要求的楼层，其对应于地震作用标准值的剪力应乘以 1.25 的增大系数。”

默认值为 1.25。

22、梁端负弯矩调幅系数

在竖向荷载作用下，可考虑框架梁端塑性变形内力重分布对梁端负弯矩乘以调幅系数进行调幅。现浇框架梁端负弯矩调幅系数可为 0.8~0.9。

软件自动搜索框架梁并给出默认值，非框架梁、挑梁不调幅。软件可对恒载、活载、活荷不利布置、人防荷载的计算结果进行调幅。

调幅梁、调幅系数可在特殊构件补充定义中手工修改。

23、框架梁调幅后不小于简支梁跨中弯矩倍数

《高规》5.2.3-4 规定：“截面设计时，框架梁跨中截面正弯矩设计值不应小于竖向荷载作用下按简支梁计算的跨中弯矩设计值的 50%。”

该参数用来控制框架梁系数，默认 0.5。

24、非框架梁调幅后不小于简支梁跨中弯矩倍数

《钢筋混凝土连续梁和框架考虑内力重分布设计规程》CECS51：93 第 3.0.3-3 条规定：“弯矩调幅后…；各控制截面的弯矩值不宜小于简支梁弯矩值的 1/3。”

该参数用来控制非框架梁系数，默认 0.33。

25、梁扭矩折减系数

建筑结构楼面梁受扭计算时应考虑现浇楼盖对梁的约束作用。当计算中未考虑现浇楼盖对梁扭转的约束作用时，可对梁的计算扭矩予以折减。梁扭矩折减系数应根据梁周围楼盖的约束情况确定。

软件自动搜索梁左右楼板信息，并给出默认值。设计人员可在特殊构件补充定义中手工修改。

26、转换结构构件（三、四级）的水平地震作用效应放大系数

《高规》10.2.4 条规定：“特一、一、二级转换结构构件的水平地震作用计算内力应分别乘以增大系数 1.9、1.6、1.3；”，当抗震等级为三、四级时，规范未给出调整做法。为了满足用户需求，新版程序增加了对三、四级抗震的水平转换构件（包括转换梁、定义水平转换的斜撑）的水平地震作用效应调整，用户可填入放大系数进行调整，该参数默认值为 1。

27、支撑按柱算临界角度

当支撑与竖轴的夹角小于此角度时，软件对该支撑按照柱来进行设计。

28、按竖向构件内力统计层地震剪力

该参数用来控制层地震剪力统计方式。勾选该项，则按每层竖向构件底截面内力投影并叠加后的结果统计层地震剪力，否则按照各层地震外力由上至下累加的方式统计层地震剪力。

按竖向构件内力统计层地震剪力的好处是不必考虑连体结构的剪力分配问题、地下室部分扣除侧土弹簧反力问题、不等高嵌固问题等；缺点是，如果有越层构件，则统计结果可能有误差。

29、位移角较小时位移比置 1

《高规》3.4.5 条规定，当楼层的最大层间位移角不大于本规程第 3.7.3 条规定的限值的 40%时，该楼层竖向构件的最大水平位移和层间位移与该楼层平均值的比值可适当放松。从规范的出发点来看，当位移角很小时，位移比可以适当放松。

该参数用来控制位移角很小时，是否不计算最大层间位移比，即直接设置位移比为 1。

30、剪力墙承担全部地震剪力

该参数用来控制 X、Y 方向剪力墙在设计时，是否承担全部地震剪力。如果是，则剪力墙在配筋设计时，调整地震剪力至不小于本层总地震剪力。

该参数主要用于旧《广东高规》10.2.1-1 条对巨型框架-核心筒结构关于核心筒承担全部地震剪力的规定，及某些情况下需要控制剪力墙承担全部地震剪力的情况。对于板柱-剪力墙结构，及满足《高规》9.1.11-2 的情况，软件自动调整，与是否勾选该参数无关。

六、活荷载信息

图 2.1.46 活荷载信息

该选项卡主要提供与活载计算相关的参数设置。

1、按建模菜单“房间属性计算”

“建模及荷载输入”中已经增加了布置“房间属性”的功能，用户可按照房间的设计功能属性来进行定义，程序自动布置上相应的活荷载。

程序支持建模中指定房间类型后，依据《建筑结构荷载规范》GB50009-2012 5.1.2

条，自动生成该房间周边构件的活荷载折减系数及重力荷载代表值系数默认值。

另外，对于定义了“汽车通道及客车停车库”类型的单向板、双向板，荷载折减时采用与自定义消防车荷载折减同样的规则。即程序自动识别主次梁以及是否为单向板房间，对于单向板房间的主梁默认取 0.6，其余情况则取 0.8。

当构件相关房间的用途不同而导致其折减方式不同时，软件对该杆件的折减系数自动取较大值。

下面以布置了第八项“房间属性”的单向板、双向板房间为例：

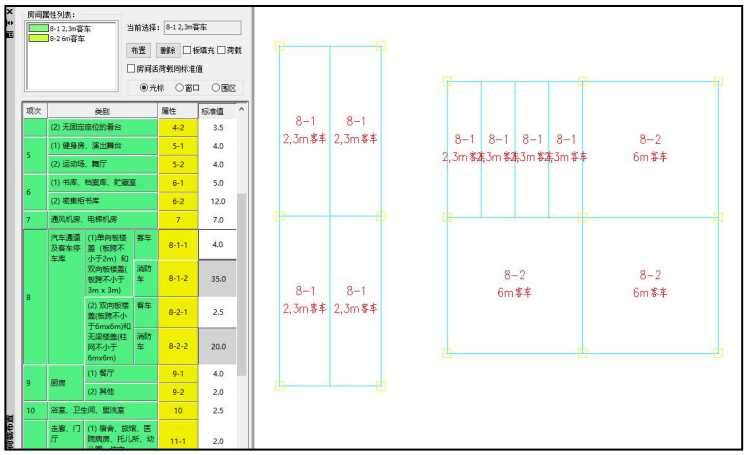


图 2.1.47 定义“汽车通道及客车停车库”类型

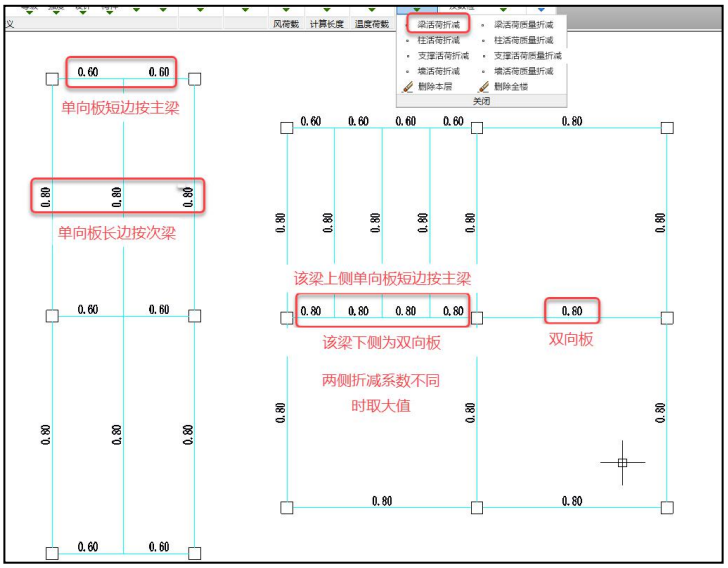


图 2.1.48 活荷载折减系数

2、设计时折减柱、墙活荷载

该参数用来控制在设计时是否折减柱、墙活荷载。

3、折减系数

该参数用来设置相应楼层数时的折减系数，软件提供的选项及参数默认值与《荷载规范》的规定相一致。

4、楼面梁活荷载折减设置

软件允许梁活荷载折减与柱、墙活荷载折减同时设置，并在计算与设计时避免重复折减。

5、活荷不利布置最高层号

该参数主要控制梁考虑活荷载不利布置时的最高楼层号，小于等于该楼层号的各层均考虑梁的活荷载不利布置，高于该楼层号的楼层不考虑梁的活荷载不利布置。如果不想考虑梁的活荷载不利布置，则可以将该参数填 0。

需要注意的是，该参数只控制梁的活荷载不利布置。

6、梁活荷载内力放大系数

《高规》5.1.8 条规定：“高层建筑结构内力计算中，当楼面活荷载大于 4kN/m2 时，应考虑楼面活荷载不利布置引起的结构内力的增大；当整体计算中未考虑楼面活荷载不利布置时，应适当增大楼面梁的计算弯矩。”该放大系数通常可取为 1.1~1.3，活载大时选用较大数值。

输入梁活荷载内力放大系数是考虑活荷载不利布置的一种近似算法，如果用户选择了活荷载不利作用计算，则本系数填 1 即可。

软件只对一次性加载的活载计算结果考虑该放大系数。

如果设计人员在计算时同时考虑了活荷载不利布置和活荷载内力放大系数，则软件只放大一次性加载的活载计算结果。

七、构件设计信息

（一）、构件设计信息

图 2.1.49 构件设计信息

该选项卡主要提供与构件设计相关的参数设置。

1、柱配筋计算方法

对于混凝土柱的配筋设计，目前软件提供了两种方法：单偏压和双偏压。单偏压指按照《混凝土规范》6.2 节的相关规定计算；双偏压指按照《混凝土规范》附录 E 的相关规定计算。

对于角柱、异形柱，软件自动采用双偏压方式配筋。

按照双偏压计算时，柱角筋最大直径为 32mm。

2、柱剪跨比计算方法

软件提供两种算法：简化方法（$H_n/2h_0$）和通用方法（M/Vh_0），并将剪跨比输出到 wpj 文件中。

3、连梁按对称配筋设计

选择该项，则连梁正截面设计时按《混凝土规范》11.7.7 条对称配筋公式计算配筋，否则按普通框架梁设计。

4、框架梁梁端配筋考虑受压钢筋影响

《抗震规范》6.3.3.1 条规定：“梁端计入受压钢筋的混凝土受压区高度和有效高度之比，一级不应大于 0.25，二、三级不应大于 0.35。”

《抗震规范》6.3.3.2 条规定：“梁端截面的底面和顶面纵向钢筋配筋量的比值，除按计算确定外，一级不应小于 0.5，二、三级不应小于 0.3。”

如果勾选该项，则软件在框架梁端配筋时确保受压钢筋与受拉钢筋的比例满足规范要求，且使得受压区高度也满足规范要求；不勾选该项，则软件在配筋时与跨中截面的配筋方式一致，即先按单筋截面设计，不满足才按双筋截面设计，不考虑上述规定。

5、矩形混凝土梁按 T 形梁配筋

《混凝土规范》5.2.4 条规定：“对现浇楼盖和装配整体式楼盖，宜考虑楼板作为翼缘对梁刚度和承载力的影响。”

勾选该项，软件自动按《混凝土规范》表 5.2.4 所列情况计算梁有效翼缘宽度，并按考虑翼缘后 T 形截面进行配筋设计。

软件只考虑受压翼缘的影响。

6、墙柱配筋设计考虑端柱

对于带边框柱剪力墙，最终边缘构件配筋是先几部分构件单独计算，然后叠加配筋结果，一部分为与边框柱相连的剪力墙暗柱计算配筋量，另一部分为边框柱的计算配筋量，两者相加后再与规范构造要求比较取大值。这样的配筋方式常使配筋量偏大。

勾选该项，则软件对带边框柱剪力墙按照柱和剪力墙组合在一起的方式配筋，即自动将边框柱作为剪力墙的翼缘，按照工形截面或 T 形截面配筋，这样的计算方式更加合理。

详细计算方法见第四章第六节剪力墙部分内容。

7、墙柱配筋设计考虑翼缘墙

即是否按照组合墙方式配筋。

《混凝土规范》第 9.4.3 条规定：“…在承载力计算中，剪力墙的翼缘计算宽度可取剪力墙的间距、门窗洞间翼墙的宽度、剪力墙厚度加两侧各 6 倍翼墙厚度、剪力墙墙肢总高度的 1/10 四者中的最小值。”

《抗规》第 6.2.13-3 条规定：“抗震墙结构、部分框支抗震墙结构、框架－抗震墙结构、框架－核心筒结构、筒中筒结构、板柱－抗震墙结构计算内力和变形时，其抗震墙应计入端部翼墙的共同工作。”

不勾选此项（以往的设计）时，软件在剪力墙墙柱配筋计算时对每一个墙肢单独按照矩形截面计算，不考虑翼缘作用。

软件处理：

勾选此项，则软件对剪力墙的每一个墙肢计算配筋时，考虑其两端节点相连的部分墙段作为翼缘，按照组合墙方式计算配筋。软件考虑的每一端翼缘将不大于墙肢本身的一半，如果两端的翼缘都是完整的墙肢，则软件自动对整个组合墙按照双偏压配筋计算，一次得出整个组合墙配筋；如果某一端翼缘只包含翼缘所在墙的一部分，则软件对该分离的组合墙按照不对称配筋计算，得出的是本墙肢配筋结果。

同时，勾选此项后，软件给出了组合墙按双偏压计算的限值，当组合截面的腹板轴线长度≤2400mm 且腹板截面高宽比≤12，且截面本身满足双偏压验算条件时，软件才按双偏压对组合墙柱截面进行设计。

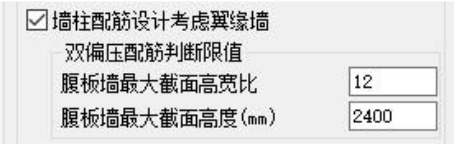


图 2.1.50 双偏压配筋判断限值

组合墙的计算内力是将各段内力向组合截面形心换算得到的组合内力，如果端节点布置了边框柱，则组合内力将包含该柱内力。

在配筋简图的右侧菜单中设置了【墙柱轮廓】菜单，点取该菜单后，鼠标悬停在任一剪力墙的墙肢上时，可以显示该墙肢配筋计算时采用的截面形状。不考虑翼缘时为矩形的单墙肢，考虑翼缘时为组合墙的形状。由于软件对于长厚比小于 4 的墙肢按照柱来

配筋设计，因此当该墙肢不满足双偏压配筋条件时，将显示为矩形的单墙肢。

对于单独的矩形墙肢，是否勾选此项软件都按照单墙肢的对称配筋计算。

剪力墙墙柱的配筋简图的两端配筋结果，是否勾选此项的表示方式不同。不考虑翼缘墙时，给出一个配筋数值，表示按照对称配筋的纵筋值；考虑翼缘墙时，给出两个配筋数值，因为软件按照不对称配筋得出的墙肢两端可能是不同的纵筋计算结果。

8、与剪力墙面外相连的梁按框架梁设计

该参数用来控制两端均与剪力墙面外相连梁是否按框架梁设计，勾选该项，则抗震等级同框架梁；否则按非框架梁设计。

9、验算一级抗震墙施工缝

该参数用来控制一级抗震时抗震墙是否按《高规》7.2.12 条验算水平施工缝。

10、梁压弯设计控制轴压比

对于存在轴压力的梁，如独立梁、坡屋面梁等，软件可自动按压弯构件进行配筋设计。由于在大偏压状态下，轴压力对承载力起有利作用，因此软件通过该参数控制何时轴压力，当某种组合下梁由设计轴压力计算得到的轴压比大于该参数值，则按压弯构件设计，否则按纯弯构件设计。

注意，该参数只用来控制轴压力，对混凝土梁和墙面外设计有效。

11、梁端内力取值位置

该参数用来控制梁配筋时的端部内力取值位置，0 表示取到节点，1 表示取到柱边。可以输入 0~1 之间的数。

如果计算时考虑了刚域，则 0 表示取到刚域边。

12、框架柱的轴压比限值按框架结构采用

《高规》8.1.3.3 条规定：“当框架部分承受的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆的 50%但不大于 80%时…，框架部分的抗震等级和轴压比限值宜按框架结构的规定采用。”

《高规》8.1.3.4 条规定：“当框架部分承受的地震倾覆力矩大于结构总地震倾覆力矩的 80%时…，框架部分的抗震等级和轴压比限值应按框架结构的规定采用。”

软件提供该参数，由设计人员确定框架柱的轴压比限值是否按框架结构采用。

13、不计算地震作用时，按重力荷载代表值计算轴压比

《抗规》6.3.6 注 1 中指出：：“对本规范规定不进行地震作用计算的结构，可取无地震作用组合的轴力设计值计算。”

当不计算地震作用时，软件默认取无地震作用组合下的轴力设计值计算轴压比。鉴于部分工程师提出想按照重力荷载代表值计算，因此软件提供该参数，默认不勾选。

14、梁、柱保护层厚度

《混凝土规范》8.2.1 条条文说明中指出：“从混凝土碳化、脱钝和钢筋锈蚀的耐久性角度考虑，不再以纵向受力钢筋的外缘，而以最外层钢筋（包括箍筋、构造筋、分布筋等）的外缘计算混凝土保护层厚度。因此本次修订后的保护层实际厚度比原规范实际厚度普遍加大。”

设计人员在设计该参数时要注意参数含义的变化。

15、剪力墙构造边缘构件的设计执行《高规》7.2.16-4

《高规》7.2.16-4 条对抗震设计时，连体结构、错层结构及 B 级高度高层建筑结构中剪力墙（筒体）构造边缘构件的最小配筋做出了规定。该选项用来控制剪力墙构造边缘构件是否按照《高规》7.2.16-4 条执行。执行该选项将使构造边缘构件配筋量提高。

16、约束边缘构件层全部设为约束边缘构件

勾选此选项时，所有在约束边缘构件层的边缘构件均按约束边缘构件的构造处理，不进行底截面轴压比的判断。此选项略为保守，但方便设计和施工。02 版高规有与此类似的规定。出于设计简便和旧规范延续性的考虑，软件中设置此选项。此选项默认不勾选。

17、约束边缘构件判定采用底部加强区底层轴压比

规范规定，根据底部加强区底层底截面的轴压比判断是否需要设置约束边缘构件。然而也有设计意见认为应该取整个底部加强区范围内最大的轴压比作为判断依据。一般情况下，底层底截面就是轴压比最大的位置，规范说法便于实施，此选项默认勾选。特殊情况下（如加强区范围内截面厚度有变化），按底部加强区范围内最大轴压比判断更偏安全，此时可取消勾选此选项。按照最大轴压比判断约束边缘构件需要更多计算量，将延长边缘构件设计时间。

18、归入阴影区的λ\2 区最大长度

约束边缘构件的范围包括阴影区与λ/2 区两部分。作为边缘构件与墙身的过渡区，λ/2 区的构造设计需要考虑的因素较多，图面表达也较复杂。

设计过程中，经常会遇到λ\2 区域的长度特别小的情况，比如 100~200mm，针对这种情况，增加了“归入阴影区的λ\2 区最大长度”参数，如果填“200”，则小于 200 的λ\2 区会自动归入阴影区，从而使配筋更为简便。

19、面外梁下生成暗柱边缘构件

软件给出三个选项，“全不生成”、“全都生成”及“铰接梁不生成”。选择“全都生成”，软件在剪力墙面外梁下的位置设置暗柱。暗柱的尺寸及配筋构造均按《高规》7.1.6 的规定执行。选择“铰接梁不生成”，当面外梁与墙铰接时，不生成暗柱。

20、边缘构件合并距离

如果相邻边缘构件阴影区距离小于该参数，则软件将相邻边缘构件合并。

21、短肢墙边缘构件合并距离

由于规范对短肢剪力墙的最小配筋率的要求要高得多，短肢墙边缘构件配筋很大常放不下。将距离较近的边缘构件合并可使配筋分布更加合理。为此设此参数，软件隐含设置值比普通墙高一倍，为 600mm。

22、边缘构件尺寸取整模数

边缘构件尺寸按该参数四舍五入取整。

23、构造边缘构件尺寸设计依据

《高规》、《抗规》、《混凝土规范》关于构造边缘构件尺寸规定略有差异，软件提供该选项，供设计人员选择。

24、约束边缘构件尺寸依据《广东高规》设计

勾选该项，则约束边缘构件尺寸按《广东高规》取。

25、型钢混凝土构件设计依据

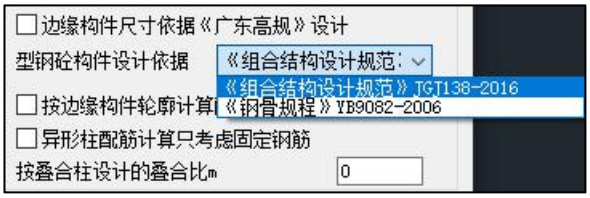


图 2.1.51 型钢混凝土构件设计依据

现在针对型钢混凝土构件设计的主要依据有：《组合结构设计规范》JGJ138-2016、《高层建筑钢-混凝土混合结构设计规程》CECS230：2008、《钢骨混凝土结构技术规程》YB9082-2006。目前软件提供了《组合结构设计规范》JGJ138-2016、《钢骨混凝土结构技术规程》YB9082-2006 两个选项，供设计人员选择。

选择相应规程后，软件对型钢混凝土梁、型钢混凝土柱、型钢混凝土剪力墙均按照该规程公式计算配筋，并验算截面尺寸。

26、按边缘构件轮廓计算配筋

该参数提供了一种新的计算边缘构件配筋方式，即先生成边缘构件轮廓，然后根据边缘构件实际轮廓计算内力，进而计算配筋。配筋计算时，按照边缘构件实际轮廓，采用平截面假定，按双偏压配筋方式计算。

勾选该参数，可以在“设计结果”的“边缘构件”菜单下查看配筋结果，软件同时保留传统的按墙柱配筋方式与该选项计算，可以切换查看。

27、异形柱配筋计算只考虑固定钢筋

该参数决定是否将分布钢筋考虑为非受力钢筋；当勾选后，异形柱的计算配筋及配筋率只考虑折角处及柱端部的纵向钢筋，而不考虑此外其他部位的纵向钢筋。

28、按叠合柱设计的叠合比 m

叠合比用来控制叠合柱内外混凝土不同期施工时的情况，对于同期施工的情况，叠合比填 0。

（二）、钢构件设计信息

图 2.1.52 钢构件设计信息

该选项卡主要提供与钢构件设计相关的参数设置。

1、执行《高钢规》JGJ99-2015

（1）按照 4.2 节要求调整钢材材料强度指标，与 2003 版钢结构规范相比，对各种型号钢材细化了厚度分组，材料分项系数也因厚度分组不同而有所差异；增加了 Q345GJ 钢材；

与《钢结构设计标准》GB50017-2017 强度指标一致。而且该取值规则用于所有钢结构构件，还包括型钢混凝土、劲性混凝土、钢管混凝土中的钢的材料取值；

（2）按照 3.8 节增加了钢构件的性能设计计算；

（3）按照 6.1.7 条要求验算刚重比，其中，对于钢框架结构，需要将结构材料设置为钢；对于非框架结构，需要将结构材料设置为钢或钢-砼混合；

（4）按照 7.1.6 条对钢转换梁的地震作用产生的内力乘以增大系数 1.5，按 7.3.10 条对钢转换柱的地震作用产生的内力也乘以增大系数 1.5；

（5）按照 7.3.4 条对筒体结构、框筒结构、筒中筒结构中的钢柱验算柱轴压比；

（6）按照 7.3.9 条调整框架柱最大长细比，考虑到钢结构高度加大时轴力增加，该

条规定比现行抗震规范规定严格；

（7）7.4.1 条调整梁柱局部稳定计算，规定了梁柱板件宽厚比限值，非抗震设计时的限值与四级抗震一致；另外增加了抗震设计时圆管截面的径厚比限值；

（8）按照 7.5.2 条调整中心支撑最大长细比，规定中心支撑拉杆非抗震设计时的最大长细比 180；

（9）按照 7.5.3 条调整中心支撑局部稳定，规定了中心支撑的板件宽厚比限值，非抗震设计时的限值与四级抗震一致；

（10）7.6.4 条调整耗能梁受弯承载力验算。

2、钢构件截面净毛面积比

钢构件截面净面积与毛面积的比值，该参数主要用于钢梁、钢柱、钢支撑等钢构件的强度验算。

3、梁按压弯设计控制轴压比

钢梁存在轴力时，软件新增“钢梁按压弯设计控制轴压比”参数。

参照国外规范，该参数默认值为 0.1。当轴压比(N/fA)小于设定值时，软件忽略轴力，按纯弯构件进行承载力验算及局部稳定控制；大于设定值时，不忽略轴力，按压弯构件进行承载力验算及局部稳定控制。

4、冷弯薄壁构件考虑冷弯效应

此参数针对冷弯薄壁型钢截面，当勾选时，程序对于冷弯薄壁构件强度设计值按照《冷弯薄壁型钢结构技术规范》（GB 50018-2002）附录 C 考虑冷弯效应，当不勾选此选项时，程序对于冷弯薄壁构件强度设计值不考虑冷弯效应计算。

5、钢柱计算长度系数按有无侧移计算

按《钢结构设计标准》附录 E，钢柱计算长度系数取值分有侧移和无侧移两种，选择该项，则软件按有侧移计算；否则按无侧移计算。

6、《按钢规》自动判断强弱支撑

《按钢规》自动判断强弱支撑，框架分为无支撑的纯框架和有支撑框架，其中有支撑框架根据抗侧移刚度的大小，分为强支撑框架和弱支撑框架。

当勾选执行《钢结构设计标准》（GB50017-2017）时，按《钢结构设计标准》第8.3.1-2 条公式 8.3.1-6 判断强弱支撑，为强支撑框架，框架柱的计算长度系数μ可按本规范附录 E 表 E-1 无侧移框架柱的计算长度系数确定，也可按式（8.3.1-7）计算。

当不勾选执行《钢结构设计标准》（GB50017-2017）时，强弱支撑的判断按照《钢结构设计规范》GB50017-2003 第 5.3.3 条规定：“框架分为无支撑的纯框架和有支撑框架，其中有支撑框架根据抗侧移刚度的大小，分为强支撑框架和弱支撑框架。”，5.3.3-2 条给出了强弱支撑判断条件。对于弱支撑，软件自动根据公式 5.3.3-2 计算轴压杆稳定系数。

强弱支撑的判断软件根据规范规定计算层侧移刚度和框架柱的轴压稳定承载力，并判断强、弱支撑类型。

该参数在不选择“钢柱计算长度系数按有侧移计算”时有效。

强弱支撑判断结果输出在 wmass.out 文本中。

7、门刚规范

（1）执行门规 GB51022-2015

程序按新的门式刚架规范(GB 51022-2015)的修改如下内容：

1）承载力抗震调整系数有所调整。考虑到门刚构件延性一般，根据表 3.1.5 适当提高承载力抗震调整系数，如下表：

表 3.1.5 承载力抗震调整系数 γ_{RE}

构件或连接	受力状态	γ_{RE}
梁、柱、支撑、螺栓、节点、焊缝	强度	0.85
柱、支撑	稳定	0.90

2）局部稳定及刚度分地震和非地震组合分开控制。根据规范 3.4.3 条，当地震组合控制结构设计时，受压翼缘宽厚比限值为 $13\sqrt{235/f_y}$；腹板高厚比限值为 160；柱长细比限值为 150。

3）腹板高度变化不再限制每米不超过 60mm，腹板抗剪屈曲后强度利用(考虑张力

场作用)通过楔率折减系数χ_{tap}考虑腹板高度变化。

4) 考虑腹板受弯屈曲后的有效宽度系数ρ由原来的分段式改为连续公式如下：

$$\rho = \frac{1}{(0.243 + \lambda_p^{1.25})^{0.9}} \le 1 \qquad (7.1.1\text{-}2)$$

5) 如利用腹板抗剪屈曲后强度，需设置中间横向加劲肋，且其板幅区格宽高比($^{a}/_{h_{w1}}$)不应超过 3，加劲肋设置界面如下图：

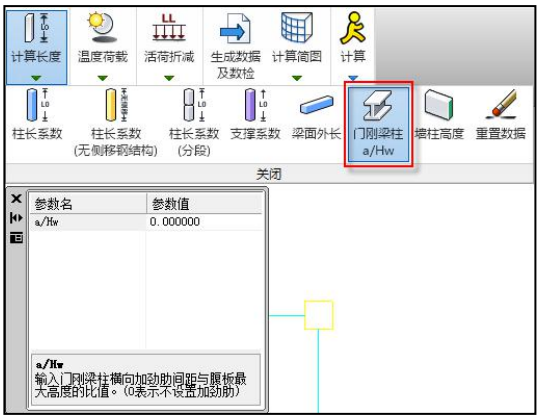


图 2.1.53 门刚梁柱

6) 利用腹板抗剪屈曲后强度时，剪切屈曲稳定系数ϕ_{ps}有原来的分段式改为连续公式如下：

$$\varphi_{ps} = \frac{1}{(0.51 + \lambda_s^{3.2})^{1/2.6}} \le 1 \qquad (7.1.1\text{-}11)$$

7) 如未设置中间横向加劲肋或板幅区格宽高比大于 3，则不利用腹板抗剪屈曲后强度，其剪切屈曲稳定系数

$$\varphi_s = \frac{1}{\sqrt[3]{0.738 + \lambda_s^{6}}} \le 1 \qquad (7.1.2\text{-}9)$$

8) 门刚梁考虑面外稳定验算，其受弯稳定系数ϕ_b考虑通用长细比λ_b (如下)。详见规范 7.1.4 条、7.1.6 条。

$$\frac{M_1}{\gamma_x \varphi_b W_{x1}} \le f \qquad (7.1.4\text{-}1)$$

$$\varphi_b = \frac{1}{(1-\lambda_{b0}{}^{2n}+\lambda_b{}^{2n})^{1/n}} \qquad (7.1.4\text{-}2)$$

9) 门刚柱面内稳定验算按大端截面确定有效截面A_e及受压稳定系数ϕ_x，并考虑截面高度变化，详见规范 7.1.3 条，如下：

$$\frac{N_1}{\eta_t \varphi_x A_{e1}} + \frac{\beta_{mx} M_1}{(1-N_1/N_{cr})W_{e1}} \le f \qquad (7.1.3\text{-}1)$$

10) 门刚柱面外稳定验算按大端截面确定有效截面A_e及受压稳定系数ϕ_y，并考虑截面高度变化，且弯矩的指数项按端截面受弯应力比k_σ确定(端截面弯矩以同曲率为正，指数变化范围为 1.0-1.6)。详见规范 7.1.5 条，如下：

$$\frac{N_1}{\eta_{ty} \varphi_y A_{e1} f} + \left(\frac{M_1}{\varphi_b \gamma_x W_{e1} f}\right)^{1.3-0.3k_\sigma} \le 1 \qquad (7.1.5\text{-}1)$$

（2）门刚柱计算长度系数

勾选执行门规 GB51022 附录 A，程序对于平面内计算长度按照《门刚规范》GB51022-2015 附录 A 实现。

按 A.0.1~A.0.6 条，确定单跨、单阶、双阶柱及存在摇摆柱时的门刚柱的计算长度系数。

按 A.0.7 条当采用二阶分析时确定柱的计算长度系数；

当勾选执行门规 GB51022 附录 A 时，程序按照新门刚规范确定门刚柱计算长度系数，此时计算长度系数显示在“轴压比”菜单结果输出上，或者构件信息中输出计算长度系数：

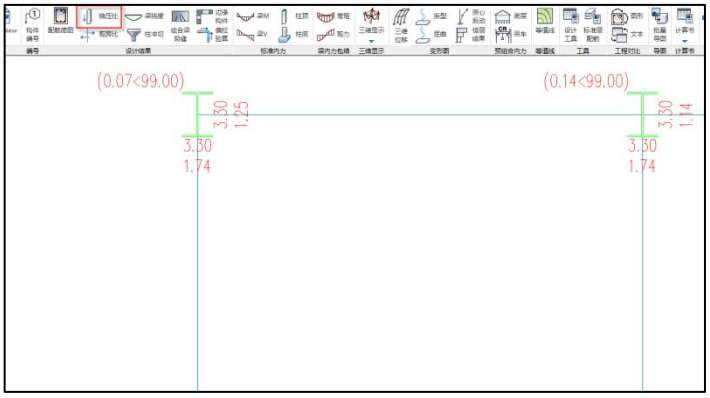


图 2.1.54 长度系数查看

```
--------------------------------------------------------------------
N-C=5   (I=1000005, J=5)(2)B*H*U*T*D*F(mm)=20*600*400*20*400*20
Cx=1.74 Cy=1.25 Lcx=3.30(m) Lcy=3.30(m) Nfc=3 Nfc_gz=3 Rsc=235
钢柱 Q235 工字形 宽厚比等级S3
1ivec=1.000
( 29)Nu=     -398.7 Uc= 0.07
(0)Nu=        0.0 Px=       0.00
(0)Nu=        0.0 Py=       0.00
(8)Mx=       42.6 My=       28.7 N=     -462.0 F1=     55.070 < f=    205.000
(8)Mx=       42.6 My=       28.7 N=     -462.0 F2=     37.306 < f=    205.000
(8)Mx=       42.6 My=       28.7 N=     -462.0 F3=     48.004 < f=    205.000
长细比：Rmdx=23.5 Rmdy=46.6 Rmd_max=80.0
宽厚比：b/tf=9.50 < b/tf_max=13.00
高厚比：hw/tw=28.00 < hw/tw_max=40.11

抗剪承载力：CB_XF=    225.82  CB_YF=    846.55
```

图 2.1.55 构件信息中长度系数

当勾选执行门规 GB51022 附录 A 同时勾选了执行门刚 GB51022 附录 A.0.8，此时程序对于单层多跨房屋按照附录 A.0.8 公式 A.0.8-2 确定门刚柱计算长度系数。

当不勾选执行门规 GB51022 附录 A 时，程序按照《门刚规程》CECS102：2002 中的 6.1.3.2.(1)表 6.1.3 和 6.1.3.2.(2)确定门刚柱计算长度系数，此时计算长度系数显示在前处理-“计算长度”菜单下的“柱长系数”上。如果在前处理-“计算长度”菜单下的“柱长系数”修改了柱长系数数值，程序将按照修改后的柱长系数计算柱的计算长度。

8、门刚构件按宽厚比等级控制局部稳定

程序提供 4 种截面宽厚比等级：S1、S2、S3、S4 来控制局部稳定。默认为 S3。

9、执行《钢结构设计标准》(GB50017-2017)

(1) 执行《钢结构设计标准》(GB50017-2017)

勾选执行《钢结构设计标准》(GB50017-2017)，程序按照新钢标第 6 章受弯构件、第 7 章轴心受力构件、第 8 章拉弯、压弯构件进行钢构件的强度、稳定和抗剪验算。

1）受弯构件

对于普通钢梁，软件根据《钢结构设计标准》6.1.1 条、6.1.3 条、6.2.2 条受弯构件进行强度及稳定性验算。

钢标 6.1.2 条：截面塑性发展系数应按下列规定取值：

1 对工字型和箱型截面，当截面板件宽厚比等级为 S4 或 S5 等级时，截面塑性发展系数应取为 1.0，当截面板件宽厚比等级为 S1 级、S2 级及 S3 级时，截面塑性发展系数应按下列规定取值：

1）工字型截面（x 轴为强轴，y 轴为弱轴）：γ_x=1.05，γ_y=1.20；

2）箱型截面：γ_x=γ_y=1.05。

2 其他截面的塑性发展系数可按本标准表 8.1.1 采用。

根据以上条文，截面宽厚比等级为 S1 级、S2 级及 S3 级时，截面可发展塑性。即使用户不选择按宽厚比等级控制局部稳定，软件也比较板件计算宽厚比与 S3 级宽厚比限值。当计算宽厚比小于 S3 级宽厚比限值时，截面考虑塑性发展系数；当计算宽厚比大于 S3 级宽厚比限值时，截面不考虑塑性发展系数。

钢梁抗剪验算，钢标 6.1.3 条：受剪强度验算应按下式验算：

$$\tau = \frac{VS}{It_w} \leqslant f_v$$

应用上式时应保证腹板不提前发生抗剪失稳。钢结构标准表 3.5.1 中，各级宽厚比等级下的受弯杆件腹板高厚比限值，仅保证腹板不提前发生受弯失稳，并不能保证腹板不提前发生受剪失稳。当腹板高厚比 $h_0 / t_w > 80\varepsilon_k$ 时，腹板可能提前发生受剪失稳，此时应根据规范公式(6.3.3-8)-(6.3.3-10)确定腹板受剪失稳临界应力 τ_{cr}，并按该应力计算腹板抗剪承载力。

τ_{cr} 应按下列公式计算：

当 $\lambda_{n,s} \leqslant 0.8$ 时：

$$\tau_{cr} = f_v \tag{6.3.3-8}$$

当 $0.8 < \lambda_{n,s} \leqslant 1.2$ 时：

$$\tau_{cr} = [1 - 0.59(\lambda_{n,s} - 0.8)]f_v \tag{6.3.3-9}$$

当 $\lambda_{n,s} > 1.2$ 时：

$$\tau_{cr} = 1.1 f_v / \lambda_{n,s}^2 \tag{6.3.3-10}$$

当 $a/h_0 \leqslant 1.0$ 时：

$$\lambda_{n,s} = \frac{h_0/t_w}{37\eta\sqrt{4 + 5.34(h_0/a)^2}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_k} \tag{6.3.3-11}$$

当 $a/h_0 > 1.0$ 时：

$$\lambda_{n,s} = \frac{h_0/t_w}{37\eta\sqrt{5.34 + 4(h_0/a)^2}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_k} \tag{6.3.3-12}$$

按照钢标 6.2.7 条进行钢梁畸变失稳验算，支座承担负弯矩且梁顶有楼板时，下翼缘为受压翼缘，其失稳模式为畸变失稳。

1 当 $\lambda_{n,b} \leqslant 0.45$ 时，可不计算框架梁下翼缘的稳定性。

2 当不满足本条第 1 款时，框架梁下翼缘的稳定性应按下列公式计算：

$$\frac{M_x}{\varphi_d W_{1x} f} \leqslant 1.0 \tag{6.2.7-1}$$

$$\lambda_e = \pi\lambda_{n,b}\sqrt{\frac{E}{f_y}} \tag{6.2.7-2}$$

$$\lambda_{n,b} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} \tag{6.2.7-3}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{3.46 b_1 t_1^3 + h_w t_w^3 (7.27\gamma + 3.3)\varphi_1}{h_w^2 (12 b_1 t_1 + 1.78 h_w t_w)} E \tag{6.2.7-4}$$

$$\gamma = \frac{b_1}{t_w}\sqrt{\frac{b_1 t_1}{h_w t_w}} \tag{6.2.7-5}$$

$$\varphi_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{5.436\gamma h_w^2}{l^2} + \frac{l^2}{5.436\gamma h_w^2}\right) \tag{6.2.7-6}$$

对于畸变失稳情况，软件先计算正则化长细比 $\lambda_{n,b}$，当 $\lambda_{n,b} > 0.45$ 时，软件验算畸变失稳并进行输出。

2）轴心受力构件

轴心受拉构件的双控：

轴心受拉构件根据规范 7.1.1 条进行双控：

毛截面屈服：

$$\sigma = \frac{N}{A} \leqslant f \tag{7.1.1-1}$$

净截面断裂：

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leqslant 0.7 f_u \tag{7.1.1-2}$$

轴心受压杆件的强度验算：

轴心受压杆件根据 7.1.2 条按毛截面进行强度验算。

第 7.1.2 条：轴心受压构件，当端部连接及中部拼接处组成截面的各板件都由连接

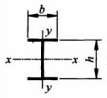
件直接传力时，截面强度应按本标准式（7.1.1-1）计算。

轴心受压构件的截面分类：

根据规范 7.2.1 条调整轴压分类号。

主要的改变是：对于 $b/h>0.8$ 的 H 型钢及等边角钢，其残余应力的不利影响随钢材强度的提高而减弱，其轴压分类号可根据钢材标号调整。

表 7.2.1-1 轴心受压构件的截面分类（板厚 $t<40$mm）

截面形式		对 x 轴	对 y 轴
轧制		a 类	a 类
 轧制	$b/h\leqslant 0.8$	a 类	b 类
	$b/h>0.8$	a* 类	b* 类
轧制等边角钢		a* 类	a* 类

十字形截面扭转失稳：

根据规范 7.2.2 条验算十字形截面扭转失稳。

十字形截面易发生扭转失稳，根据 7.2.2 条，当十字形截面板件宽厚比超过 $15\varepsilon_k$ 时，软件验算扭转失稳，绕纵轴换算长细比

$$\lambda_z=\sqrt{\frac{I_0}{I_t/25.7+I_\omega/l_\omega^2}} \qquad (7.2.2\text{-}3)$$

双角钢并 T 形截面换算长细比：

根据规范 7.2.2 条计算双角钢并 T 形截面换算长细比。

对于双角钢并 T 形截面，换算长细比的表达形式较 03 规范有所变化。

等边双角钢［图 7.2.2-1（a）］：

当 $\lambda_y\geqslant\lambda_z$ 时：

$$\lambda_{yz}=\lambda_y\left[1+0.16\left(\frac{\lambda_z}{\lambda_y}\right)^2\right] \qquad (7.2.2\text{-}5)$$

当 $\lambda_y<\lambda_z$ 时：

$$\lambda_{yz}=\lambda_z\left[1+0.16\left(\frac{\lambda_y}{\lambda_z}\right)^2\right] \qquad (7.2.2\text{-}6)$$

$$\lambda_z=3.9\frac{b}{t} \qquad (7.2.2\text{-}7)$$

长肢相并的不等边双角钢［图 7.2.2-1（b)]：

当 $\lambda_y \geqslant \lambda_z$ 时：

$$\lambda_{yz} = \lambda_y\left[1+0.25\left(\frac{\lambda_z}{\lambda_y}\right)^2\right] \quad (7.2.2\text{-}8)$$

当 $\lambda_y < \lambda_z$ 时：

$$\lambda_{yz} = \lambda_z\left[1+0.25\left(\frac{\lambda_y}{\lambda_z}\right)^2\right] \quad (7.2.2\text{-}9)$$

$$\lambda_z = 5.1\frac{b_2}{t} \quad (7.2.2\text{-}10)$$

短肢相并的不等边双角钢［图 7.2.2-1（c)]：

当 $\lambda_y \geqslant \lambda_z$ 时：

$$\lambda_{yz} = \lambda_y\left[1+0.06\left(\frac{\lambda_z}{\lambda_y}\right)^2\right] \quad (7.2.2\text{-}11)$$

61

当 $\lambda_y < \lambda_z$ 时：

$$\lambda_{yz} = \lambda_z\left[1+0.06\left(\frac{\lambda_y}{\lambda_z}\right)^2\right] \quad (7.2.2\text{-}12)$$

$$\lambda_z = 3.7\frac{b_1}{t} \quad (7.2.2\text{-}13)$$

轴压构件板件宽厚比限值：

根据规范 7.3.1 条确定轴压构件板件宽厚比限值。

放松轴压构件板件宽厚比限值：

根据规范 7.3.2 条放松轴压构件板件宽厚比限值

第 7.3.2 条：当轴心受压构件的压力小于稳定承载力ψAf 时，可将其板件宽厚比限值由本标准第 7.3.1 条相关公式算得后乘以放大系数 $\alpha = \sqrt{\varphi f A / N}$ 确定。

受压单角钢稳定承载力折减：

根据规范 7.6.3 条考虑受压单角钢稳定承载力折减

根据 7.6.3 条，当单角钢板件宽厚比 ω / t 大于 $14\varepsilon_k$ 时，局部失稳提前发生，其稳定承载力考虑折减

$$\rho_e = 1.3 - \frac{0.3w}{14t\varepsilon_k}$$

3）拉弯、压弯构件

等效弯矩系数 β_{mx}

根据规范 8.2.1 条计算等效弯矩系数 β_{mx}，公式较 03 规范有所变化。

无侧移结构：

$$\beta_{mx} = 0.6 + 0.4\frac{M_2}{M_1}$$

有侧移结构：

$$\beta_{mx} = 1 - 0.36N/N_{cr}$$

圆管截面强度及稳定验算：

圆管截面根据 8.1.1 条考虑强度验算，根据规范 8.2.4 条考虑稳定验算，新增条文。

圆管强度：

$$\frac{N}{A_n} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\gamma_m W_n} \leqslant f$$

圆管稳定：

$$\frac{N}{\varphi A f} + \frac{\beta M}{\gamma_m W\left(1 - 0.8\frac{N}{N'_{Ex}}\right)f} \leqslant 1.0 \qquad (8.2.4\text{-}1)$$

$$M = \max\left(\sqrt{M_{xA}^2 + M_{yA}^2}, \sqrt{M_{xB}^2 + M_{yB}^2}\right) \qquad (8.2.4\text{-}2)$$

$$\beta = \beta_x \beta_y \qquad (8.2.4\text{-}3)$$

$$\beta_x = 1 - 0.35\sqrt{N/N_E} + 0.35\sqrt{N/N_E}(M_{2x}/M_{1x}) \qquad (8.2.4\text{-}4)$$

$$\beta_y = 1 - 0.35\sqrt{N/N_E} + 0.35\sqrt{N/N_E}(M_{2y}/M_{1y}) \qquad (8.2.4\text{-}5)$$

$$N_E = \frac{\pi^2 EA}{\lambda^2} \qquad (8.2.4\text{-}6)$$

格构柱绕虚轴稳定验算：

根据规范 8.2.2 条、8.2.6 条验算格构柱绕虚轴稳定，公式较 03 规范有变化。

单向压弯：

$$\frac{N}{\varphi_x A f} + \frac{\beta_{mx} M_x}{W_{1x}\left(1 - \frac{N}{N'_{Ex}}\right)f} \leqslant 1.0 \qquad (8.2.2\text{-}1)$$

$$W_{1x} = I_x / y_0 \qquad (8.2.2\text{-}2)$$

双向压弯：

$$\frac{N}{\varphi_x A f}+\frac{\beta_{mx}M_x}{W_{1x}\left(1-\frac{N}{N'_{Ex}}\right)f}+\frac{\beta_{ty}M_y}{W_{1y}f}\leqslant 1.0 \quad (8.2.6\text{-}1)$$

（2）按宽厚比等级控制局部稳定

新标准 3.5 节给出了截面板件宽厚比等级的相关规定，第 3.5.1 条：进行受弯和压弯构件计算时，截面板件宽厚比等级及限值应符合表 3.5.1 的规定。

表 3.5.1 压弯和受弯构件的截面板件宽厚比等级及限值

构件	截面板件宽厚比等级		S1 级	S2 级	S3 级	S4 级	S5 级
压弯构件（框架柱）	H 形截面	翼缘 b/t	$9\varepsilon_k$	$11\varepsilon_k$	$13\varepsilon_k$	$15\varepsilon_k$	20
		腹板 h_0/t_w	$(33+13\alpha_0^{1.3})\varepsilon_k$	$(38+13\alpha_0^{1.39})\varepsilon_k$	$(40+18\alpha_0^{1.5})\varepsilon_k$	$(45+25\alpha_0^{1.66})\varepsilon_k$	250
	箱形截面	壁板（腹板）间翼缘 b_0/t	$30\varepsilon_k$	$35\varepsilon_k$	$40\varepsilon_k$	$45\varepsilon_k$	—
	圆钢管截面	径厚比 D/t	$50\varepsilon_k^2$	$70\varepsilon_k^2$	$90\varepsilon_k^2$	$100\varepsilon_k^2$	—
受弯构件（梁）	工字形截面	翼缘 b/t	$9\varepsilon_k$	$11\varepsilon_k$	$13\varepsilon_k$	$15\varepsilon_k$	20
		腹板 h_0/t_w	$65\varepsilon_k$	$72\varepsilon_k$	$93\varepsilon_k$	$124\varepsilon_k$	250
	箱形截面	壁板（腹板）间翼缘 b_0/t	$25\varepsilon_k$	$32\varepsilon_k$	$37\varepsilon_k$	$42\varepsilon_k$	—

第 3.5.2 条：当按本标准第 17 章进行抗震性能化设计时，支撑截面板件宽厚比等级及限值应符合表 3.5.2 的规定。

表 3.5.2 支撑截面板件宽厚比等级及限值

截面板件宽厚比等级		BS1 级	BS2 级	BS3 级
H 形截面	翼缘 b/t	$8\varepsilon_k$	$9\varepsilon_k$	$10\varepsilon_k$
	腹板 h_0/t_w	$30\varepsilon_k$	$35\varepsilon_k$	$42\varepsilon_k$
箱形截面	壁板间翼缘 b_0/t	$25\varepsilon_k$	$28\varepsilon_k$	$32\varepsilon_k$
角钢	角钢肢宽厚比 w/t	$8\varepsilon_k$	$9\varepsilon_k$	$10\varepsilon_k$
圆钢管截面	径厚比 D/t	$40\varepsilon_k^2$	$56\varepsilon_k^2$	$72\varepsilon_k^2$

根据新标准，软件新增局部稳定控制界面如下：

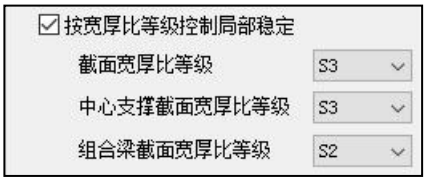


图 2.1.56 截面宽厚比等级选择

规范新增的宽厚比等级，不仅适用于非抗震设计，也适用于抗震设计。进行小震设

计时，由于按抗震等级控制的局部稳定限值与宽厚比等级控制限值并不一致，用户可根据需要选择按抗震等级或按宽厚比等级进行局部稳定控制。另外，规范新增了中震性能设计，当选择“高承载力、低延性”进行中震性能设计时，板件宽厚比限值可放松，用户应按宽厚比等级控制局部稳定。

对于承载力未满足的轴心受压构件，局稳临界应力不小于设计组合最大压应力即可，软件根据规范 7.3.2 条放松杆件宽厚比限值，但放松后的限值不大于 S5 级宽厚比等级限值。

对于受压单角钢杆件，软件按单边连接的单角钢处理，当其宽厚比 ω/t 大于 $14\varepsilon_k$ 时，局稳临界应力小于钢材屈服强度，软件根据 7.6.3 条通过考虑强度折减方式确定局稳临界应力。

钢梁存在轴力时，软件新增“钢梁按压弯设计控制轴压比”参数(见上图)参照国外规范，该参数默认值为 0.1。当轴压比(N/fA)小于设定值时，软件忽略轴力，按纯弯构件进行承载力验算及局部稳定控制；大于设定值时，不忽略轴力，按压弯构件进行承载力验算及局部稳定控制。

需要指出的是，冷弯薄壁及门刚杆件允许局部失稳并利用屈曲后强度(即 S5 级截面)，其有效截面确定方法与钢结构标准有所差异。当杆件为冷弯薄壁及门刚杆件时，软件按冷弯薄壁规范或门刚规范确定有效截面，未按钢结构标准执行。

（3）按钢规 6.2.7 验算下翼缘稳定

按照《钢结构设计标准》第 6.2.7 条进行钢梁畸变失稳验算。并给出钢梁畸变失稳验算的交互参数，以便适应在侧向未受约束的受压翼缘区段内设置了隅撑或横向加劲肋来保证钢梁下翼缘稳定。

图 2.1.57 按钢规 6.2.7 验算梁下翼缘稳定选项

10、防火验算

（1）钢结构防火验算

软件按照《防火规范》GB51249-2017 第 3 章的承载力法进行钢结构构件的防火验算：在设计耐火极限时间内，火灾下钢结构构件的承载力设计值不应小于其最不利的荷载（作用）组合效应设计值，并应按下式进行计算。

$$R_d \geqslant s_m \quad (3.2.6\text{-}2)$$

用户需勾选计算参数下，钢结构参数页中的钢结构防火验算下的“进行承载力法防火验算”。

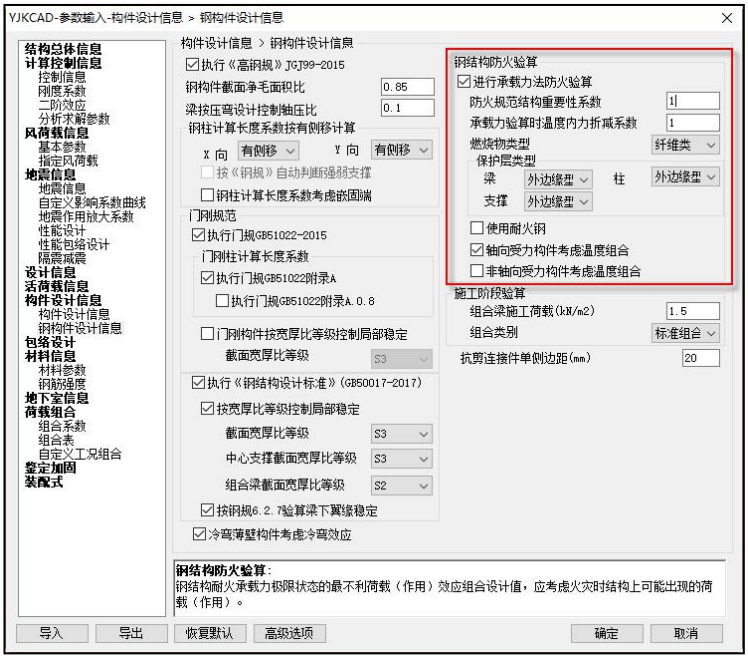


图 2.1.58 防火验算

软件的计算过程如下：

1、软件可以自动计算钢结构构件的钢材最高温度，用户须在前处理计算参数中选择燃烧物类型、保护层类型然后在温度荷载下的“防火升温”菜单下进行梁、柱、支撑的设计耐火极限和轻质保护层类型的定义，相关参数项如下图所示。

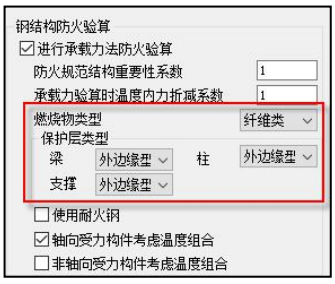


图 2.1.59 燃烧物类型

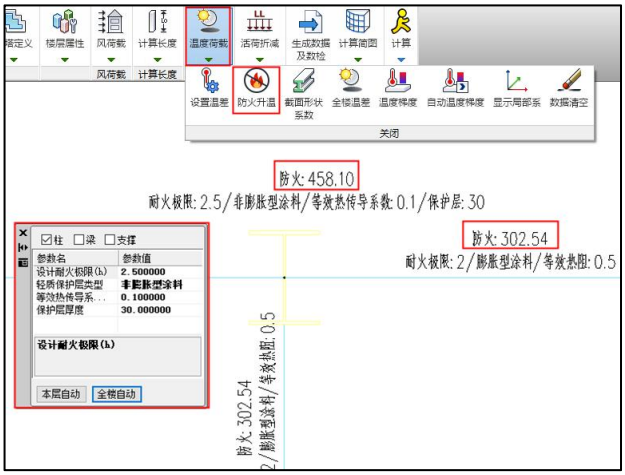


图 2.1.60 防火升温设置

2、软件计算出各构件高温下钢材的强度和弹模折减；

3、进行火灾荷载效应组合；

4、承载力验算。

1）最不利荷载效应组合

钢结构耐火承载力极限状态的最不利荷载（作用）效应组合设计值，应考虑火灾时结构上可能出现的荷载（作用），且应按下列组合值中的最不利值确定：

$$S_m = \gamma_{oT}（\gamma_G S_{GT} + S_{TK} + \emptyset_r S_{QK}） \qquad 3.2.2\text{-}1$$

$$S_m = \gamma_{oT}（\gamma_G S_{GT} + S_{TK} + \emptyset_q S_{QK} + \emptyset_w S_{wK}） \qquad 3.2.2\text{-}2$$

下图为程序在构件信息中输出的按照规范要求自动进行的防火设计组合，标注了“频域组合系数（防火验算用）”。

频域组合系数（防火验算用）

组合号	DL	LL	+WX	-WX	+WY	-WY	+TEMFH
1	1.00	0.60	--	--	--	--	1.00
2	0.90	0.60	--	--	--	--	1.00
3	1.00	0.50	0.40	--	--	--	1.00
4	1.00	0.50	--	0.40	--	--	1.00
5	1.00	0.50	--	--	0.40	--	1.00
6	1.00	0.50	--	--	--	0.40	1.00
7	0.90	0.50	0.40	--	--	--	1.00
8	0.90	0.50	--	0.40	--	--	1.00
9	0.90	0.50	--	--	0.40	--	1.00
10	0.90	0.50	--	--	--	0.40	1.00

图 2.1.61 防火验算组合系数

其中γ_{oT}为结构重要性系数，程序给出参数交互项如下：

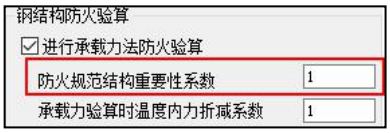


图 2.1.62 防火验算参数

《建筑钢结构防火技术规范》第 3.2.5 条文说明，对于受弯构件、拉弯构件和压弯构件等以弯曲变形为主的构件，当构件两端的连接承载力不低于构件截面的承载力时，可通过构件的塑性变形、大扰度变形来抵消其热膨胀变形，因此可不考虑温度内力的影响。对于以轴向变形为主的构件，应考虑热膨胀效应对内力的影响。

为此程序提供参数选项，“轴向受力构件考虑温度组合”及“非轴向受力构件考虑温度组合”。默认“非轴向受力构件考虑温度组合”为不勾选。

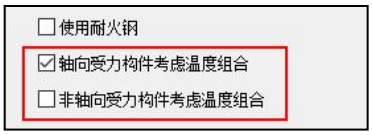


图 2.1.63 防火验算参数

2）材料特性

规范第 5.1.1 条，高温下钢材的物理参数应按表 5.1.1 确定。

表 5.1.1 高温下钢材的物理参数

参数	符号	数值	单位
热膨胀系数	α_s	1.4×10^{-5}	m/(m·℃)
热传导系数	λ_s	45	W/(m·℃)
比热容	c_s	600	J/(kg·℃)
密度	ρ_s	7850	kg/m³

第 5.1.2 条，高温下结构钢的强度设计值应按下列公式计算。

$$f_T = \eta_{sT} f \qquad (5.1.2\text{-}1)$$

$$\eta_{sT} = \begin{cases} 1.0 & 20℃ \leqslant T_s \leqslant 300℃ \\ 1.24\times10^{-8}T_s^3 - 2.096\times10^{-5}T_s^2 & \\ \quad +9.228\times10^{-3}T_s - 0.2168 & 300℃ < T_s < 800℃ \\ 0.5 - T_s/2000 & 800℃ \leqslant T_s \leqslant 1000℃ \end{cases} \qquad (5.1.2\text{-}2)$$

第 5.1.3 条，高温下结构钢的弹性模量应按下列公式计算。

$$E_{sT} = \chi_{sT} E_s \qquad (5.1.3\text{-}1)$$

$$\chi_{sT} = \begin{cases} \dfrac{7T_s - 4780}{6T_s - 4760} & 20℃ \leqslant T_s < 600℃ \\ \dfrac{1000 - T_s}{6T_s - 2800} & 600℃ \leqslant T_s \leqslant 1000℃ \end{cases} \qquad (5.1.3\text{-}2)$$

程序自动按照上述公式对高温下结构钢的强度和弹性模量进行计算。

第 5.1.4 条，高温下耐火钢的强度可按本规范第 5.1.2 条式（5.1.2-1）确定。其中，屈服强度折减系数η_{sT}应按下式计算。

$$\eta_{sT}=\begin{cases}\dfrac{6(T_s-768)}{5(T_s-918)} & 20℃\leqslant T_s<700℃\\ \dfrac{1000-T_s}{8(T_s-600)} & 700℃\leqslant T_s\leqslant 1000℃\end{cases} \quad (5.1.4)$$

第 5.1.5 条，高温下耐火钢的弹性模量可按本规范第 5.1.3 条式（5.1.3-1）确定。其中，弹性模量折减系X_{sT}应按下式计算。

$$\chi_{sT}=\begin{cases}1-\dfrac{T_s-20}{2520} & 20℃\leqslant T_s<650℃\\ 0.75-\dfrac{7(T_s-650)}{2500} & 650℃\leqslant T_s<900℃\\ 0.5-0.0005T_s & 900℃\leqslant T_s\leqslant 1000℃\end{cases} \quad (5.1.5)$$

针对第 5.1.4 和第 5.1.5 条高温下耐火钢的强度和弹性模量的折减，程序给出耐火钢材料的选项，如下图。当选择耐火钢材料时，程序自动按照第 5.1.4 和第 5.1.5 条进行耐火钢的强度和弹性模量的折减计算。

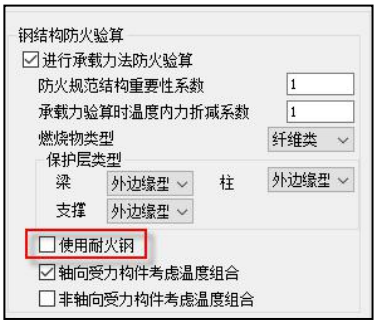


图 2.1.64 防火验算参数

3）火灾升温曲线

本规范给出两条火灾升温曲线，一是对于以纤维类物质为主的火灾，可按下式计算：

$$T_g-T_{g0}=345\log_{10}(8t+1)$$

二是对于以烃类物质为主的火灾，可按下式计算：

$$T_g-T_{g0}=1080\times(1-0.325e^{-t/6}-0.675e^{-0.25t})$$

程序提供两种火灾物质的类型选项，如下图。后续程序还会提供用户自定义火灾升温曲线，以便计算出相应的等效爆火时间。

图 2.1.65 燃烧物类型

4）钢构件升温计算

火灾下有防火保护钢构件的温度可按下式计算。

$$\Delta T_s = \alpha \cdot \frac{1}{\rho_s c_s} \cdot \frac{F_i}{V} \cdot (T_g - T_s)\Delta t \qquad (6.2.2\text{-}1)$$

当防火保护层为轻质防火保护层，即 $2\rho_i c_i d_i F_i \le \rho_s c_s V$ 时：

对于膨胀性防火涂料防火保护层：

$$\alpha = \frac{1}{R_i} \qquad 6.2.2\text{-}3$$

对于非膨胀型防火涂料、防火板等防火保护层：

$$\alpha = \frac{\lambda_i}{d_i} \qquad 6.2.2\text{-}4$$

式中：R_i为防火保护层的等效热阻；

λ_i为防火保护材料的等效热传导系数；

d_i为防火保护层的厚度。

F_i/V为有防火保护钢构件的截面形状系数（m^{-1}）。

按照上述公式，程序给出轻质保护层类型选项，同时放开膨胀型涂料和非膨胀性涂料对应的参数信息的交互数值，程序可以自动生成本层或全楼防火温度，如下图。

图 2.1.66 防火验算-防火温度

参数中，用户须按《防火规范》表 1 分别填写柱、梁和支撑的设计耐火极限的时间。

表 1　构件的设计耐火极限(h)

构件类型	建筑耐火等级					
	一级	二级	三级		四级	
柱、柱间支撑	3.00	2.50	2.00		0.50	
楼面梁、楼面桁架、楼盖支撑	2.00	1.50	1.00		0.50	
楼板	1.50	1.00	厂房、仓库	民用建筑	厂房、仓库	民用建筑
			0.75	0.50	0.50	不要求
屋顶承重构件、屋盖支撑、系杆	1.50	1.00	厂房、仓库	民用建筑	不要求	
			0.50	不要求		
上人平屋面板	1.50	1.00	不要求		不要求	

F_i/V为有防火保护钢构件的截面形状系数（m^{-1}），程序提供规范中给出两种保护层的布置方式分别是外边缘型保护和非外边缘型保护供选择。不同构件的计算公式可参考本规范的相应条文说明。

自动计算升温时，程序根据两种保护层的布置方式自动按照规范计算截面形状系数，参数框中的截面形状系数可不填。软件可在“截面形状系数”菜单下标注自动算出的各个构件的截面形状系数。

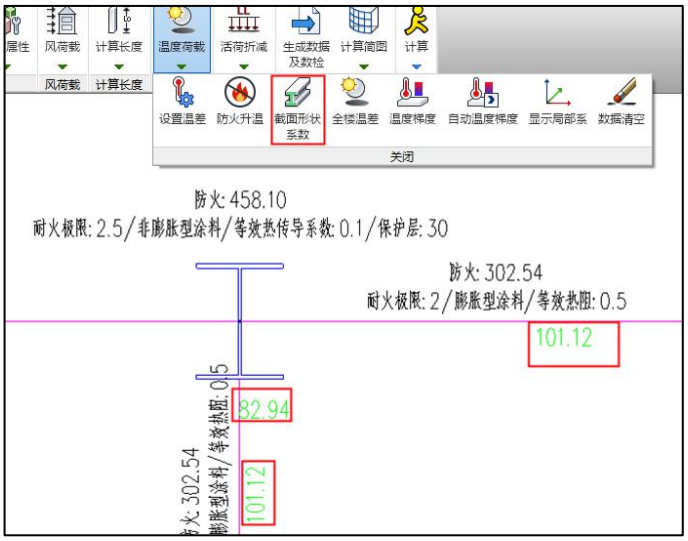


图 2.1.67 截面形状系数

程序根据规范第 6.2.2 条自动计算防火温度，自动布置在构件上。

当采用自动生成本层或全楼防火温度时，此时需要选择的参数有燃烧物类型、轻质保护型类型、等效热阻、等效热传导系数、保护层厚度、保护层类型和设计耐火极限。

5）承载力法验算钢结构耐火验算

承载力法，在设计耐火极限时间内，火灾下钢结构构件的承载力设计值不应小于其最不利的荷载（作用）组合效应设计值，并应按下式进行验算。

$$R_D \geq S_m$$

第 7.1.1 条，火灾下轴心受拉钢构件或轴心受压钢构件的强度应按下式验算：

$$\frac{N}{A_n} \leq f_T$$

第 7.1.2 条火灾下轴心受压钢构件的稳定性应按下列公式验算：

$$\frac{N}{\varphi_T A} \leq f_T$$

第 7.1.3 条火灾下单轴受弯钢构件的强度应按下式验算：

$$\frac{M}{\gamma W_n} \leq f_T$$

第 7.1.7 条火灾下受楼板侧向约束的钢框架梁的承载力可按下式验算：

$$M \leq f_T W_p$$

第 7.1.4 条火灾下单轴受弯钢构件的稳定性应按下式验算：

$$\frac{M}{\varphi_{bT} W} \leq f_T$$

第 7.1.5 条火灾下拉弯或压弯钢构件的强度应按下式验算：

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_X}{\gamma_x W_{nx}} \pm \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq f_T$$

第 7.1.6 条火灾下压弯钢构件绕强轴 X 轴弯曲和绕弱轴 Y 轴弯曲时的稳定性应分别按下列公式验算：

$$\frac{N}{\varphi_{xT} A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\Upsilon_x W_x (1 - 0.8\, {}^{N}\!/_{N'_{ExT}})} + \eta \frac{\beta_{ty} M_y}{\varphi_{by} W_y} \leq f_T$$

$$\frac{N}{\varphi_{yT}A}+\eta\frac{\beta_{tx}M_x}{\varphi_{bxT}W_x}+\frac{\beta_{mx}M_x}{\Upsilon_y W_y(1-0.8\,{}^{N}/_{N'_{EyT}})}\le f_T$$

程序根据以上公式进行钢构件防火验算，输出每个构件的最高温度。在设计结果模块增加“防火验算”菜单，点击“防火验算”菜单可查看防火验算承载力比值的结果简图，上面还标注了该构件的火灾升温温度值，同时在简图构件信息文本中输出对应的防火验算结果，如下图所示。

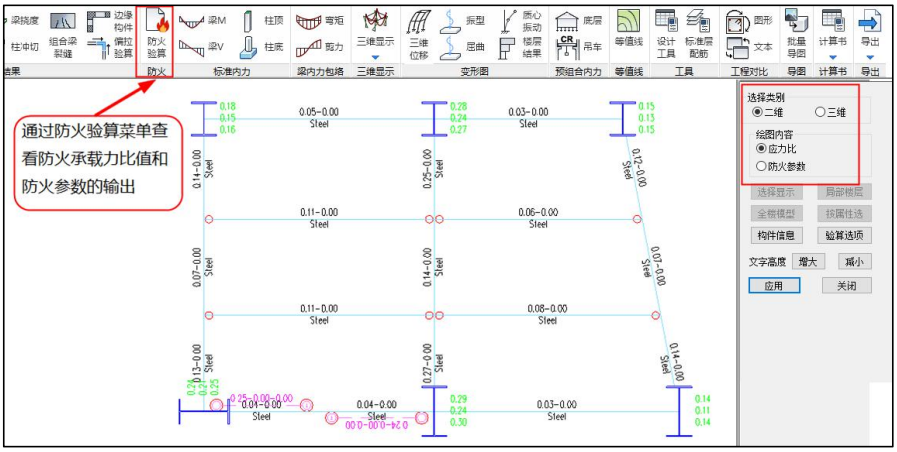


图 2.1.68 防火验算-应力比

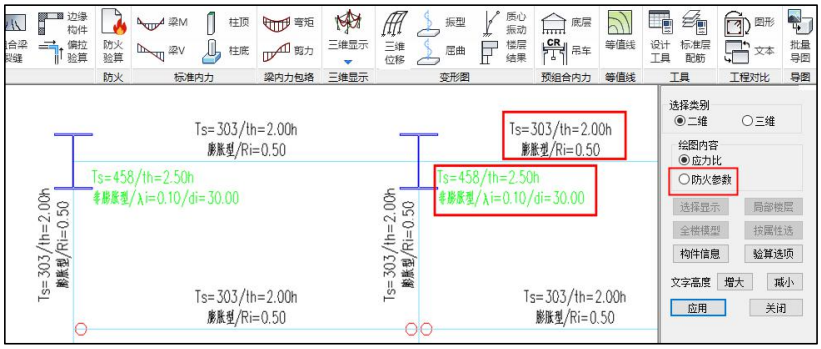


图 2.1.69 防火验算-防火参数

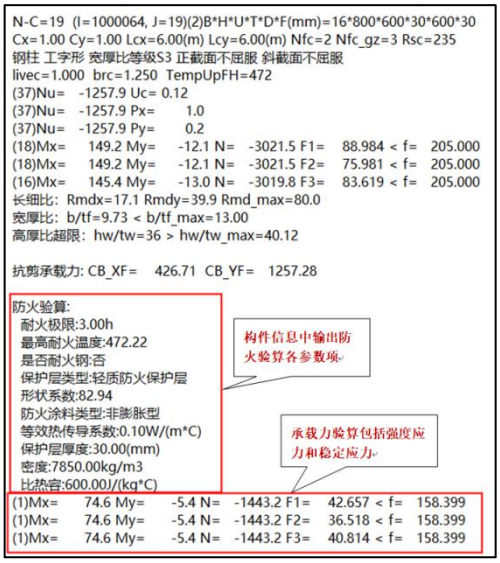


图 2.1.70 防火验算-构件信息

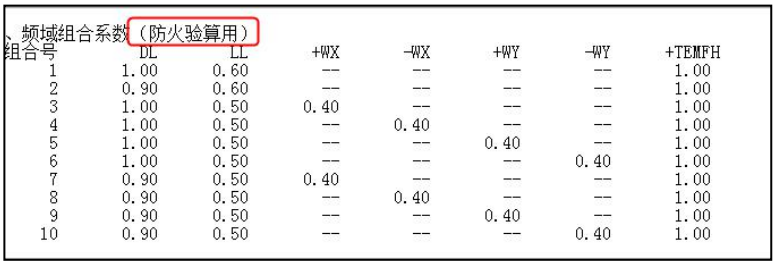


图 2.1.71 防火验算组合系数

设计结果的计算书中输出防火验算简图如下：

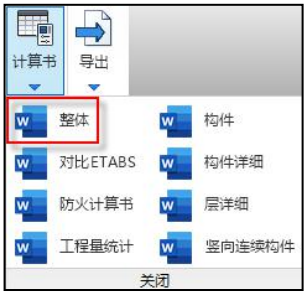


图 2.1.72 防火验算-计算书

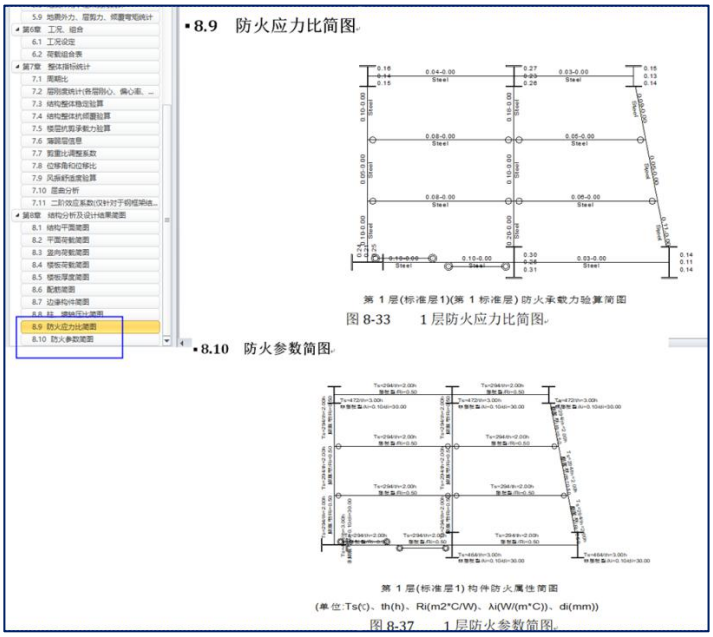


图 2.1.73 防火验算-计算书

（2）组合结构防火验算

程序对组合钢结构防火的验算，支持的构件类型包括圆钢管砼柱、矩形钢管砼柱以及钢与混凝土组合梁。

圆钢管砼柱和矩形钢管砼柱按照《建筑钢结构防火设计规范》GB51249-2017 第 8 章进行防火保护层验算，验算圆钢管砼柱和矩形钢管砼柱是否需要保护层及保护层厚度是否满足要求。

程序对钢与混凝土组合梁进行防火验算时，规则与钢梁类似，也是承载力法。

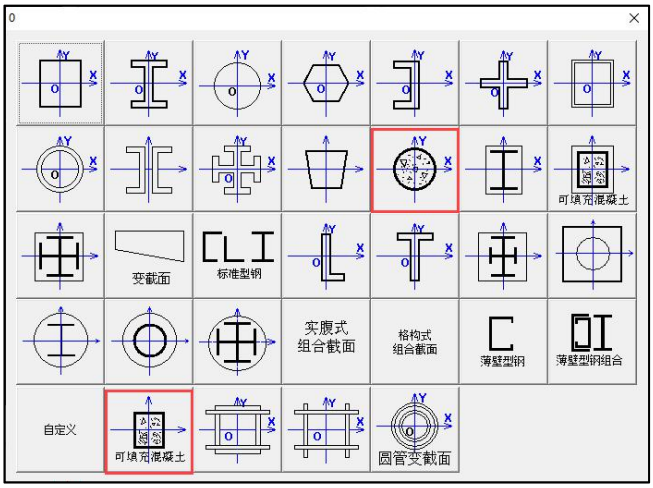


图 2.1.74 圆钢管砼柱、矩形钢管砼柱截面

1）圆钢管砼柱和矩形钢管砼柱

对于布置了圆钢管砼柱和矩形钢管砼柱的模型，前处理计算参数钢结构设计信息中勾选了“进行承载力防火验算”，且前处理温度荷载防火升温菜单中定义了防火保护层的相关信息，则程序可对圆钢管砼柱和矩形钢管砼柱进行防火保护层的验算。

依据《建筑钢结构防火设计规范》GB51249-2017，圆钢管砼柱和矩形钢管砼柱仅支持金属网抹 M5 水泥砂浆和非膨胀型钢结构防火涂料保护层的定义。

《建筑钢结构防火设计规范》GB51249-2017 8.1.1 条规定：

8.1 钢管混凝土柱

8.1.1 符合下列条件的实心矩形和圆形钢管混凝土柱，可按本规范第 8.1.2 条～第 8.1.9 条进行耐火验算与防火保护设计。

1 钢管采用 Q235、Q345、Q390 和 Q420 钢，混凝土强度等级为 C30～C80，且含钢率 A_s/A_c 为 0.04～0.20；

2 柱长细比 λ 为 10～60；

3 圆钢管混凝土柱的截面外直径为 200mm～1400mm，荷载偏心率 e/r 为 0～3.0（e 为荷载偏心距，r 为钢管截面外半径）；矩形钢管混凝土柱的截面短边长度为 200mm ～1400mm，荷载偏心率 e/r 为 0～3.0（e 为荷载偏心距，r 为荷载偏心方向边长的一半）。

图 2.1.75 钢结构防火技术规范 8.1.1

目前程序未对 8.1.1 中内容进行判断，程序是否对圆钢管砼柱和矩形钢管砼柱进行防火保护层进行验算，仅与前处理温度荷载防火升温菜单中是否定义了防火保护层信息有关。

圆钢管砼柱防火保护层厚度按照下图中公式进行验算，防火保护层的类型包含金属网抹 M5 水泥砂浆和非膨胀型钢结构防火涂料：

8．1．8 标准火灾下受火时间小于或等于3．0h的圆钢管混凝土柱，其防火保护层的设计厚度可按下列公式计算，也可按本规范附录C查表确定；对于非标准火灾，公式中的受火时间t应取等效曝火时间。

1 当防火保护层采用金属网抹M5水泥砂浆时，防火保护层的设计厚度应按下列公式计算：

$$d_i = k_{LR}(135-1.12\lambda)(1.85t-0.5t^2+0.07t^3)C^{0.0045\lambda-0.396} \quad (8.1.8\text{-}1)$$

$$k_{LR}=\begin{cases}\dfrac{R-k_T}{0.77-k_T} & R<0.77\\ \dfrac{1}{3.618-0.15t-(3.4-0.2t)R} & R\geqslant 0.77 \text{ 且 } k_T<0.77\\ (2.5t+2.3)\dfrac{R-k_T}{1-k_T} & k_T\geqslant 0.77\end{cases} \quad (8.1.8\text{-}2)$$

图 2.1.76 采用金属网抹 M5 水泥砂浆

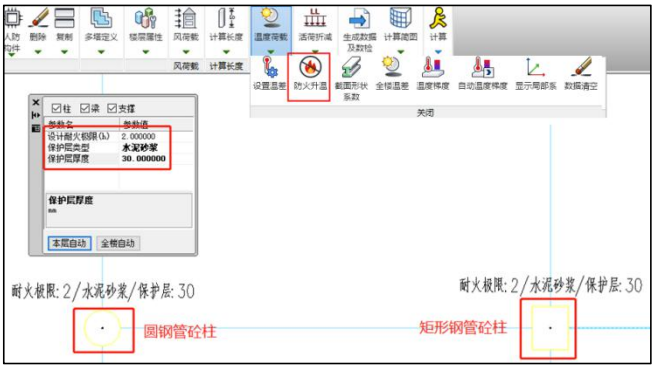


图 2.1.77 水泥砂浆防火保护层信息定义

2 当防火保护层采用非膨胀型钢结构防火涂料时，防火保护层的设计厚度可按下列公式计算：

$$d_i = k_{LR}(149.6t+22)C^{2\times10^{-5}\lambda^2-0.0017\lambda-0.42} \quad (8.1.9\text{-}3)$$

$$k_{LR}=\begin{cases}\dfrac{R-k_T}{0.77-k_T} & R<0.77\\ \dfrac{1}{3.695-3.5R} & R\geqslant 0.77 \text{ 且 } k_T<0.77\\ 10t\dfrac{R-k_T}{1-k_T} & k_T\geqslant 0.77\end{cases} \quad (8.1.9\text{-}4)$$

式中符号含义与本规范式（8．1．8）相同。

图 2.1.78 采用非膨胀型钢结构防火涂料时

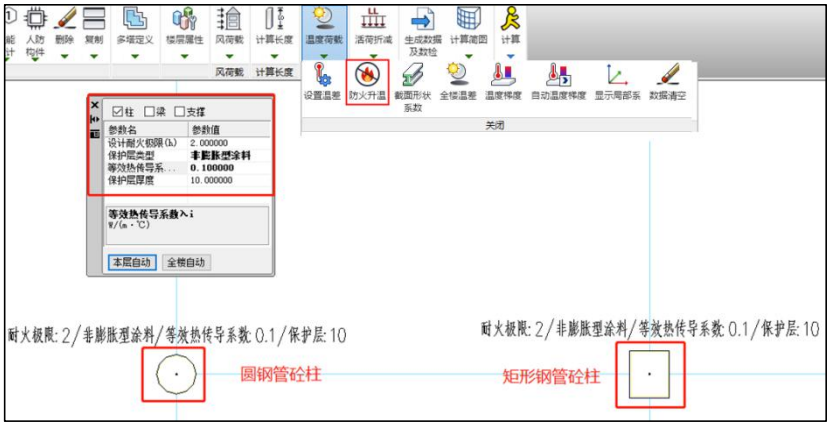


图 2.1.79 采用非膨胀型防火保护层信息定义

矩形钢管砼柱防火保护层厚度按照下图中公式进行验算，防火保护层的类型包含金属网抹 M5 水泥砂浆和非膨胀型钢结构防火涂料：

8.1.9 标准火灾下受火时间小于或等于 3.0h 的矩形钢管混凝土柱，其防火保护层的设计厚度可按下列公式计算，也可按本规范附录 C 查表确定；对于非标准火灾，公式中的受火时间 t 应取等效曝火时间。

1 当防火保护层采用金属网抹 M5 水泥砂浆时，防火保护层的设计厚度可按下列公式计算：

$$d_i = k_{LR}(220.8t + 123.8)C^{3.25\times10^{-4}\lambda - 0.3075} \quad (8.1.9\text{-}1)$$

$$k_{LR} = \begin{cases} \dfrac{R - k_T}{0.77 - k_T} & R < 0.77 \\ \dfrac{1}{3.464 - 0.15t - (3.2 - 0.2t)R} & R \geqslant 0.77 \text{ 且 } k_T < 0.77 \\ 5.7t\dfrac{R - k_T}{1 - k_T} & k_T \geqslant 0.77 \end{cases} \quad (8.1.9\text{-}2)$$

图 2.1.80 采用金属网抹 M5 水泥砂浆时

2 当防火保护层采用非膨胀型钢结构防火涂料时，防火保护层的设计厚度可按下列公式计算：

$$d_i = k_{LR}(149.6t + 22)C^{2\times10^{-5}\lambda^2 - 0.0017\lambda - 0.42} \quad (8.1.9\text{-}3)$$

$$k_{LR} = \begin{cases} \dfrac{R - k_T}{0.77 - k_T} & R < 0.77 \\ \dfrac{1}{3.695 - 3.5R} & R \geqslant 0.77 \text{ 且 } k_T < 0.77 \\ 10t\dfrac{R - k_T}{1 - k_T} & k_T \geqslant 0.77 \end{cases} \quad (8.1.9\text{-}4)$$

图 2.1.81 采用非膨胀型钢结构防火涂料时

2）钢与混凝土组合梁

组合梁支持膨胀型和非膨胀型钢结构防火涂料的定义。

对于定义了组合梁的模型，前处理计算参数钢结构设计信息中勾选了“进行承载力发防火验算”，且前处理温度荷载防火升温菜单中定义了防火保护层的相关信息，则程序可对组合梁进行防火承载力的验算，验算公式见下图：

8.3 钢与混凝土组合梁

Ⅰ 承 载 力 法

8.3.1 火灾下钢与混凝土组合梁的承载力验算，两端铰接时，应按式(8.3.1-1)进行；两端刚接时，应按式(8.3.1-2)进行。

$$M \leqslant M_{\mathrm{T}}^{+} \qquad (8.3.1\text{-}1)$$

$$M \leqslant M_{\mathrm{T}}^{+} + M_{\mathrm{T}}^{-} \qquad (8.3.1\text{-}2)$$

式中：M ——火灾下组合梁的正弯矩设计值；

M_{T}^{+} ——火灾下组合梁的正弯矩承载力；

M_{T}^{-} ——火灾下组合梁的负弯矩承载力。

图 2.1.82 组合梁承载力验算公式

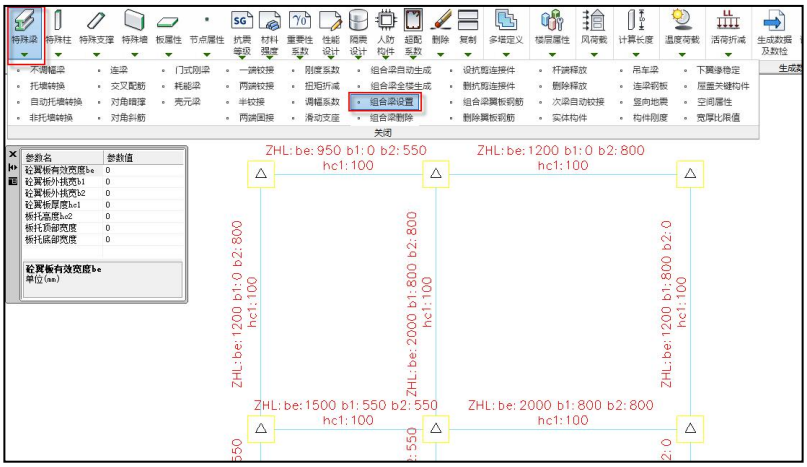


图 2.1.83 定义组合梁

3）圆钢管砼柱、矩形钢管砼柱、组合梁防火验算结果

计算完成后，可在设计结果防火验算简图中查看应力比、防火参数信息：

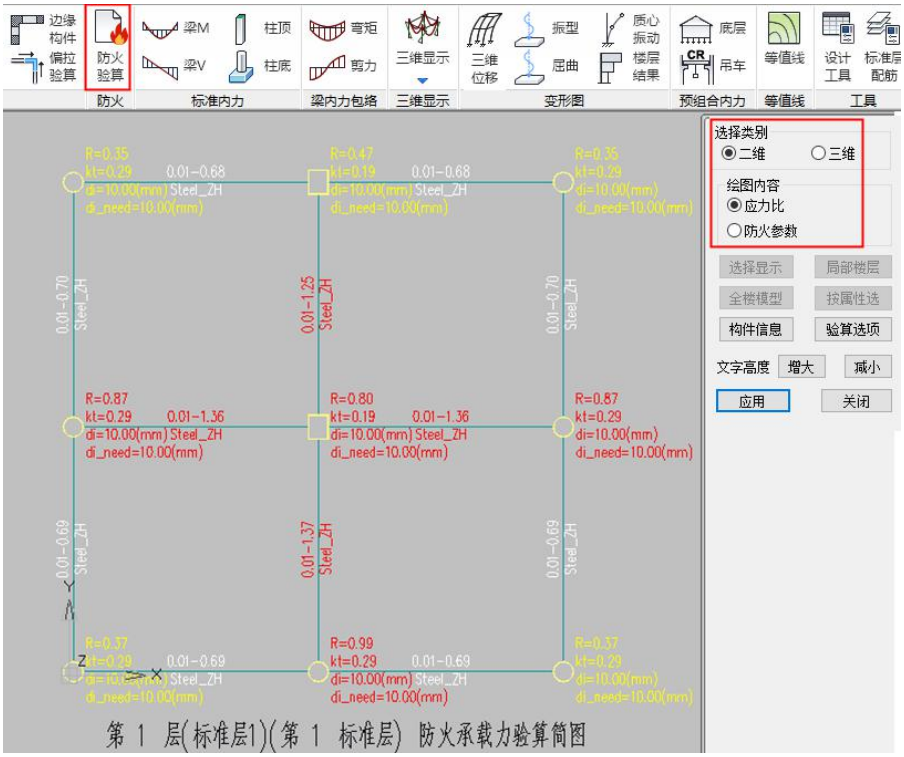


图 2.1.84 应力比

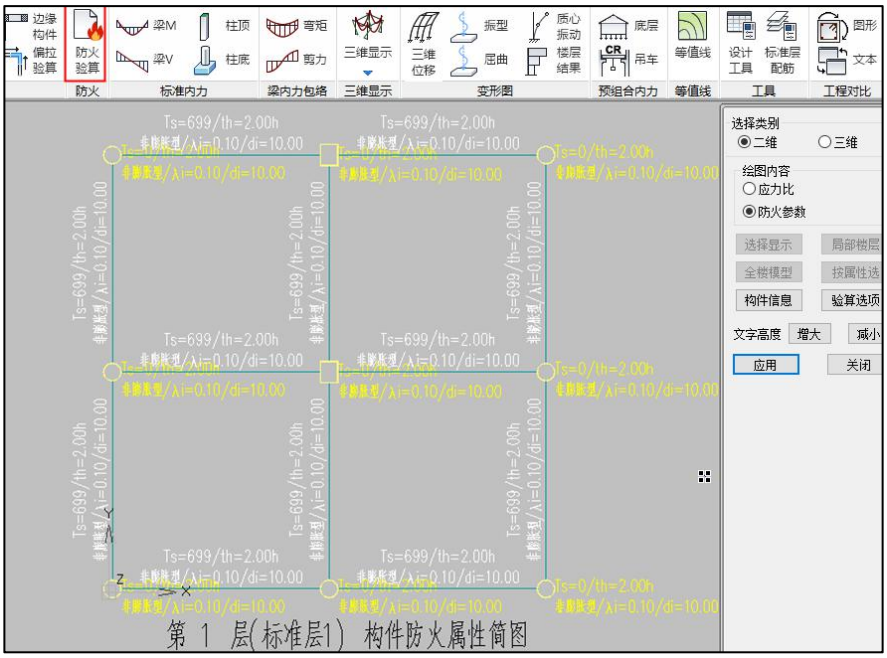


图 2.1.85 防火参数

程序也会在构件信息中输出该构件防火验算的内容：

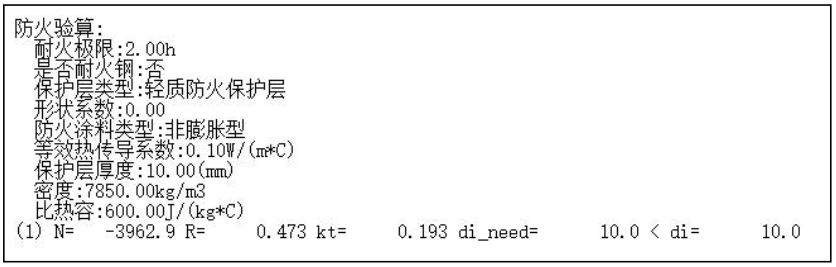


图 2.1.86 矩形钢管砼柱构件信息

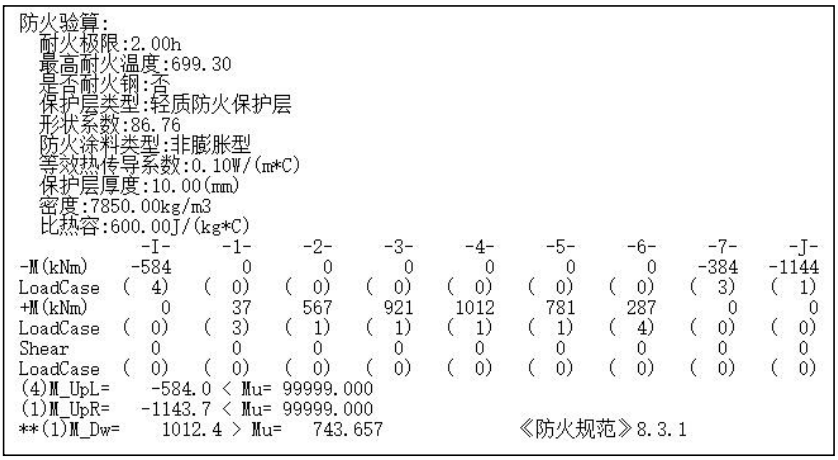


图 2.1.87 组合梁构件信息

9、组合梁施工荷载

组合梁进行施工荷载验算时，软件默认按照 1.5kN/m2 的施工荷载计算，该数值作为参数放开，可由用户修改。

10、抗剪连接件单侧边距

用于自动根据钢梁上翼缘生成抗剪连接件的外缘距，外缘距计算为钢梁宽度减去抗剪件单侧边距的 2 倍。

八、包络设计

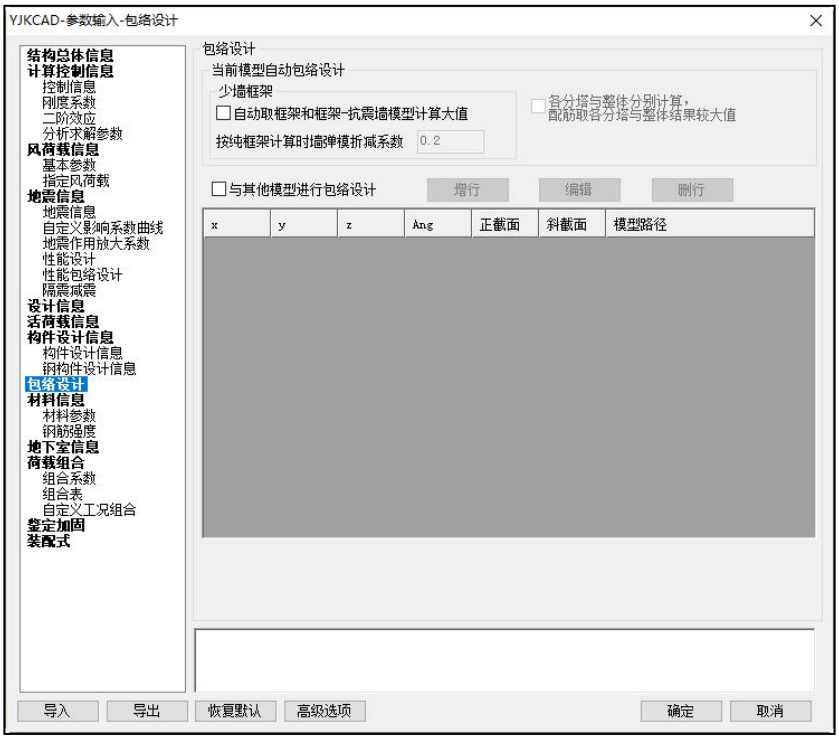


图 2.1.88 包络设计

包络设计在这里指的是构件配筋的包络设计，即构件配筋时需要在两个或者多种计算模型中取大值的设计。如下是若干规范要求的取包络设计的例子：

多塔结构按照合塔与分塔状况分别计算并结果选大；

少墙框架结构中框架部分的地震剪力取框架、框剪两种结构计算较大值；

考虑楼梯的计算：其整体内力分析的计算模型应考虑楼梯构件的影响，并宜与不计楼梯构件影响的计算模型进行比较，按最不利内力进行配筋；

抗震性能设计：多遇地震计算和中震（或大震）弹性或中震（或大震）不屈服设计结果取大值设计；

刚性连接的上连体结构，当连接体楼板较弱时，进行带连体的完整模型和不带连体的分塔模型分别计算，然后包络取大。

由此可以看出，完整的结构设计，需要进行多种计算模型的计算，不同杆件在不同计算模型下的反应不同、设计结果不同，包络设计就是结构中的所有杆件在所有可能的

计算条件下都应是安全的，因此必须取所有可能的计算条件下的最大值，即取包络的结果。这里讲的多种计算模型，可能是模型拆分的计算，或者考虑某些因素的计算，或者取用不同计算参数或者计算方法的计算等。在实际设计中需要考虑包络设计的情况还远不止这些。

包络设计的过程是个工作量很大的、非常繁琐的过程，靠人工做包络设计需要耗费大量工时。在实际的设计实践中，很多规范要求的包络设计，由于人工实现困难而不能得到落实，由此极可能造成安全隐患。即便人工勉强做的包络设计，也需要大量的校对工作，否则将不可避免的出现差错。

软件依靠全新的编程技术，完成了可解决以上各种包络设计问题的解决方案，同时，根据不同包络设计的特点，可以给用户提供两种包络设计模式：自动包络设计模式和半自动包络设计模式，半自动包络设计模式又可称为手动包络设计模式。

1、自动包络设计

软件可对多塔结构和少墙框架结构提供自动包络设计方式。

少墙框架包络设计参数有 2 个：

（1）自动取框架和框架-抗震墙模型计算大值

《抗震规范》6.2.13.4 条规定：“设置少量抗震墙的框架结构，其框架部分的地震剪力值，宜采用框架结构模型和框架-抗震墙结构模型二者计算结果的较大值。”

选择该项，软件自动生成不考虑抗震墙的框架模型，生成方法为在原模型基础上对墙弹性模量乘以“按纯框架计算时墙弹模折减系数”，降低墙对整体刚度的贡献来近似考虑纯框架模型，如果填 0 则相当于不考虑墙。

勾选该项，则软件自动取两个计算模型设计结果较大值作为最终设计结果。

（2）按纯框架计算时墙弹模折减系数

该参数与“自动取框架和框架-抗震墙模型计算大值”配合使用，用来在少量抗震墙的框架结构模型基础上生成框架模型。

2、半自动包络设计

这里包络设计的思路是对两个不同子目录下工程的配筋计算结果取大设计，用户可在其中一个子目录下进行包络设计的操作，可以对全楼所有构件按包络设计，也可仅对

某些层或者某些构件进行包络设计。

包络设计操作步骤如下：

（1）在两个或多个子目录下完成不同情况的计算

两个工程应是互相可以关联的的工程，即可以实现各个构件自动进行对比的工程，如同样的工程采用不同的计算方法计算时，可以先进行第一种方法的计算，然后拷贝整个工程到另一个子目录，再在新的目录下进行另一个计算方法的计算，最后在其中一个子目录下进行包络设计。

（2）包络设计总参数

需要做半自动包络设计时首先在本页勾选“包络设计”，并输入另一个或几个作为包络设计对象的子目录。

两个对比子目录的工程可以允许平面位置和转角的偏差，如果存在这种偏差可以在“包络工程相对当前工程位置”下输入相对 X、Y、Z 坐标的偏差和转角。

两个目录中的工程，其中一个可以和另一个的一部分对应，比如第一个是多塔的合塔模型，而第二个是其中某一个单塔的模型。

（3）前处理中可设置需做包络设计的楼层

如果只需对个别楼层做包络设计，可在计算前处理的楼层属性菜单下补充定义，在楼层属性菜单下设置了“包络设计楼层”菜单，点取后弹出如下楼层列表，从中勾选需要作包络设计的楼层即可。

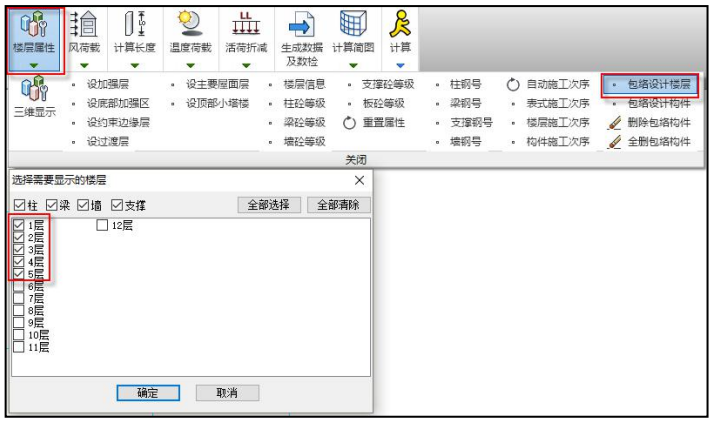


图 2.1.89 包络设计楼层

在这里还可对作包络设计的构件分类选择，如在柱、梁、墙、支撑中按照类别指定。

（4）前处理中可设置需做包络设计的构件

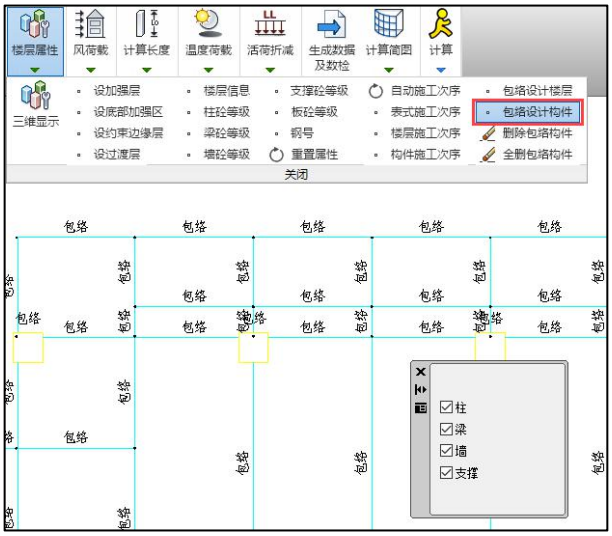


图 2.1.90 包络设计构件

可在需做包络设计的楼层上进一步指定需做包络设计的构件，比如结构性能设计中，只需对关键构件按照中震（或大震）不屈服设计。在楼层属性菜单下设置了“包络设计构件”菜单，此时可点开该菜单，鼠标选择需做包络设计的构件即可。

（5）结构计算的操作

如果本工程需要重新进行结构计算，则执行生成数据+全部计算，软件在完成通常的结构计算之后，再进行包络设计。

如果以前进行过上部结构计算，仅需要进行包络设计计算，则可直接点取计算菜单下的“只包络设计”菜单即可，生成数据这一步也不用执行。

图 2.1.91 包络设计

如果需要重新得到非包络设计的结果，可在计算参数中把包络设计参数中原来的勾

选包络设计取消，再直接执行如上计算选项中的“只设计”即可。

（6）包络设计结果查看

采用包络设计后主要体现在配筋计算结果发生了增大的变化，即某些构件采用的是另一项子目录中的对应构件的配筋计算结果。

执行配筋简图菜单时，点取右侧的菜单中“显示取大”菜单，当前层的配筋简图中凡是采用了取大的包络设计结果的构件会自动粉色加亮，即粉色加亮的构件说明该构件的配筋是采用的是另一项子目录中的对应构件的较大的配筋计算结果。

如果没有进行包络设计，显示取大菜单将会变灰。

图 2.1.92 包络设计结果查看

当两个子目录中的构件不能一一对应时，点取右侧菜单的“显示无对应”菜单可以加亮显示与另一子目录没有找到对应构件的构件。

（7）同时在多个模型间进行包络设计

包络设计可同时在多个模型间进行包络设计，计算参数的包络设计部分的设置如下，通过每次“增行”按钮的操作增加设置一个包络设计对象，设置多个对象时，软件对每个构件自动在多个模型间寻找配筋的最大值。

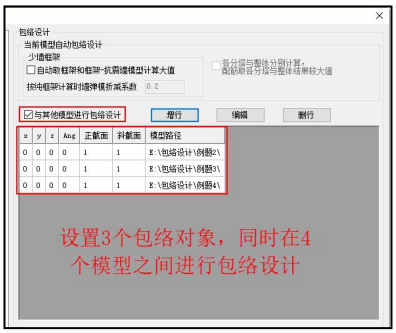


图 2.1.93 包络设计

可选择仅对构件的正截面或者斜截面进行包络设计，框中数字为 1 时为进行包络设计，为 0 时不进行包络设计。

九、材料信息

图 2.1.94 材料信息

1、混凝土容重（kN/m^3）

一般情况下，钢筋混凝土结构的容重为 25kN/m^3，若要考虑装修层的影响，砼容重可填入适当值。

2、砌体容重（kN/m^3）

砌体结构的容重。

3、钢材容重（kN/m^3）

一般情况下，钢材容重为 78kN/m^3，若要考虑钢构件表面装修层重时，钢材的容重可填入适当值。

4、轻骨料混凝土容重（kN/m^3）

轻骨料混凝土的容重。

5、轻骨料混凝土密度等级

主要用来确定轻骨料混凝土的弹性模量，依据《轻骨料混凝土规程》填写。

6、梁、柱箍筋间距，墙水平分布筋间距

该参数在进行混凝土构件斜截面配筋设计时使用，且输出的抗剪钢筋面积一般为单位间距内的钢筋面积。例如梁，如果施工图设计时加密区箍筋间距为 100mm，非加密区箍筋间距为 200mm，计算时输入的箍筋间距也为 100mm，则软件计算结果中，梁加密区箍筋面积可直接使用，非加密区箍筋面积需乘以换算系数 200/100=2。

7、墙竖向分布筋配筋率

剪力墙在进行正截面配筋设计时，需要考虑分布钢筋的贡献。软件要求设计人员先输入墙竖向分布筋配筋率，然后才可确定墙端部钢筋面积。该参数作为特殊构件补充定义中墙竖向分布筋配筋率的默认值，设计人员可在特殊构件补充定义中手工指定某个墙的竖向分布筋配筋率。

8、墙最小水平分布筋配筋率

剪力墙最小水平分布筋配筋率。该参数作为特殊构件补充定义中墙水平分布筋配筋率的默认值，设计人员可在特殊构件补充定义中手工指定某个墙的水平分布筋配筋率。

9、结构底部需单独指定墙竖向分布筋配筋率的层数、配筋率

设计人员可使用这两个参数对剪力墙结构设定不同的竖向分布筋配筋率，如加强区和非加强区定义不同的竖向分布筋配筋率。

10、材料强度

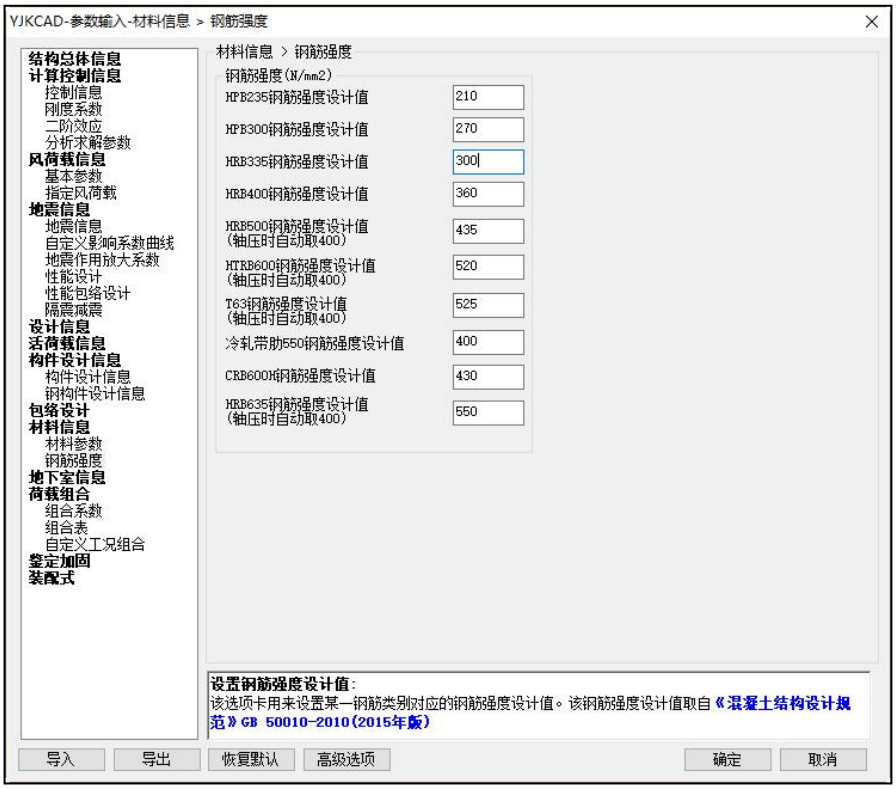


图 2.1.95 钢筋强度设计值

该选项卡用来设置某一钢筋类别对应的钢筋强度设计值。

十、地下室信息

该选项卡主要提供与地下室侧向约束、地下室外墙设计相关的参数设置。如果该工程无地下室，则该选项卡不可编辑。

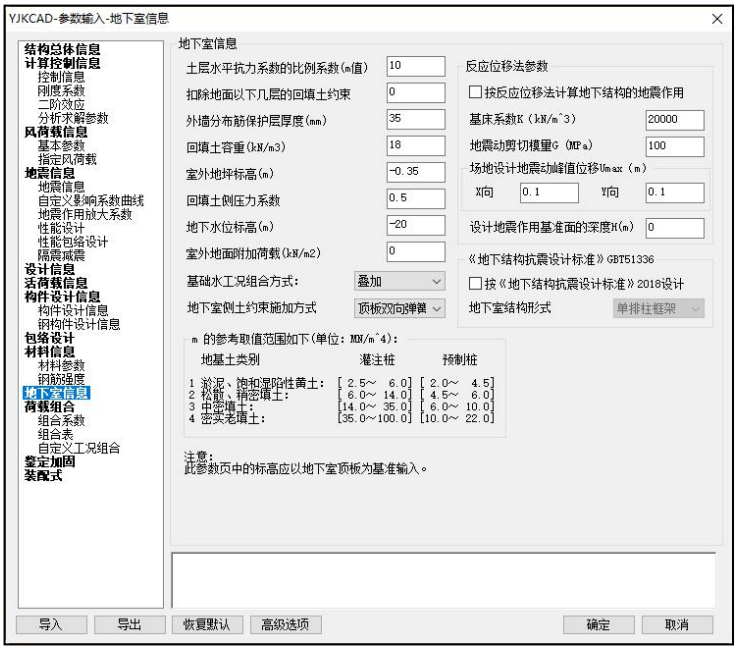


图 2.1.96 地下室信息

1、土层水平抗力系数的比例系数（m 值）

该参数可以参照《建筑桩基技术规范》JGJ94-94 表 5.4.5 的灌注桩项来取值。其计算方法即是基础设计中常用的 m 法，可参阅基础设计相关的书籍或规范。

软件给出了常见地基土类别的 m 值取值范围。

2、扣除地面以下几层的回填土约束

该参数用来设置地下室若干层不考虑回填土约束。

3、外墙分布筋保护层厚度（mm）

该参数只在在地下室外墙平面外配筋设计时用到。

4、回填土容重（kN/m^3）

设置回填土容重。

5、室外地坪标高（m）

该参数用来计算地下室外墙土压力，为相对于地下一层顶板的标高值。

另外，“高级选项”-“前处理”-“地下室”中参数“地下室侧土约束计算考虑室外地坪标高”可以考虑室外地坪实际标高对侧土约束刚度的影响，不勾选时，与室外地坪标高无关，算至地下室顶；勾选时，与室外地坪标高有关（此时需要准确输入自然层底

标高），当地下建筑埋深较深时，可通过此参数控制侧土约束计算的起算位置。

6、回填土侧压力系数

该参数用来计算地下室外墙土压力。

7、地下水位标高（m）

该参数用来计算地下室外墙水压力，为相对于地下一层顶板的标高值。

8、室外地面附加荷载（kN/m^2）

对于室外地面附加荷载，应考虑地面恒载和活载。活载应包括地面上可能的临时荷载。对于室外地面附加荷载分布不均的情况，取最大的附加荷载计算。

9、基础水工况组合方式

该参数用来控制基础水工况组合方式，当勾选“上部结构计算考虑基础结构”时有效。

10、地下室测土约束施加方式

1）地下室侧土对结构的约束，力学上相当于只受压不受拉的单压弹簧。长期以来，对于地下室侧土约束在弹性计算中的模拟，国内计算软件，均简化为地下室各楼层顶板位置的普通弹簧参与计算，相当于假设地下结构任一对侧的土约束刚度是大小相等，方向相反的。对于常见的四面均有侧土约束的地下室结构，该方式的近似效果较好，但对于地下室存在临空面（靠山建筑），或者地下室楼层有较大面积的楼板不连续或跃层结构等特殊情况，传统方式的模拟则有一定的局限性。

显然，对于地下室侧土，使用地下外墙面外的单压弹簧进行模拟才是更接近实际的计算模型。上部结构计算软件将单压单元应用于地下室侧土约束的模拟，提供了下图所示的“地下室侧土约束施加方式”选项。其中“顶板双向弹簧”选项对应于传统方式，“外墙单压弹簧”选项对应于上述新增的方式。

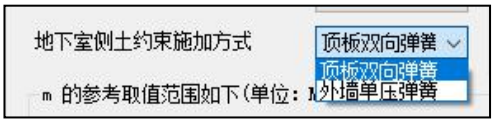


图 2.1.97 地下室侧土约束施加方式

2）对于地下室外墙，程序对每面墙单独计算所有墙元节点的弹簧刚度，弹簧方向垂直墙面。

3）在计算简图中勾选约束开关可打开地下室外墙弹簧的显示。

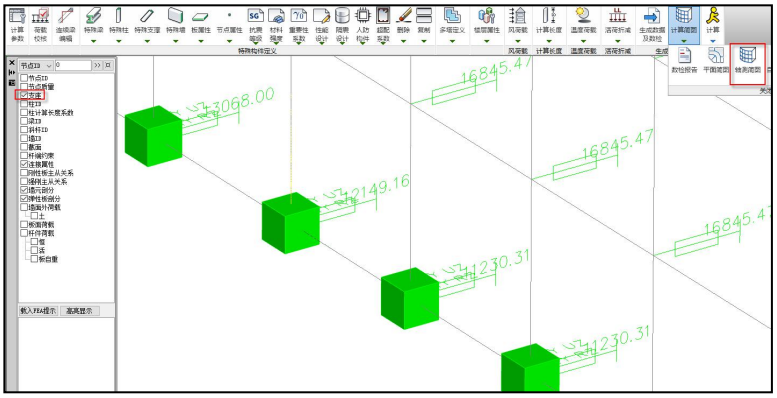


图 2.1.98 外墙单压弹簧刚度显示

4）按单压构件进行非线性分析

图 2.1.99 按单压构件进行非线性分析

11、反应位移法参数

按《城市轨道交通结构抗震设计规范》(GB50909-2014)中反应位移法相关条款对地下结构的地震作用进行计算。

勾选该项后，软件对于地下室部分，将通过输入的地震位移参数（x,y 两方向的 U_{max}）计算得到的等效荷载加在模型上，按静力工况进行计算。反应位移法的地震作用工况，是独立于反应谱以及自定义地震工况。

目前等效荷载分为两组。第一组荷载为各工况下土对地下结构外墙的侧向推力，按墙面外荷载方式加载在超单元内的各单元上；第二组荷载为地下结构顶部受土的剪应力。目前剪应力的加载方式，也是按弹性板内部单元的单元荷载加载，因此要将结构顶板均设置为弹性板 6 或弹性膜。

参数“设计地震作用基准面的深度 H(m)”填 0 时软件按 H=ZB 自动计算，否则取用户输入数值计算。

12、按《地下结构抗震设计标准》2018 设计

（1）地下室选项卡中增加：是否按照《地下抗震设计标准》进行设计选项、地下室结构形式选项。

（2）当选择按《地下抗震设计标准》设计时，软件根据所选的地下室结构形式确定相关构造要求，如果选择单榀框架或其它框架，则地下室梁、柱按框架结构进行强柱弱梁、强剪弱弯调整，按框架结构取相关构造，并按《地下结构抗震设计标准》执行柱轴压比限值、最小配筋率等要求；当选择同地上结构类型时，构造与地上结构一致，不按《地下抗震设计标准》执行。

图 2.1.100 按《地下结构抗震设计标准》2018 设计

十一、荷载组合

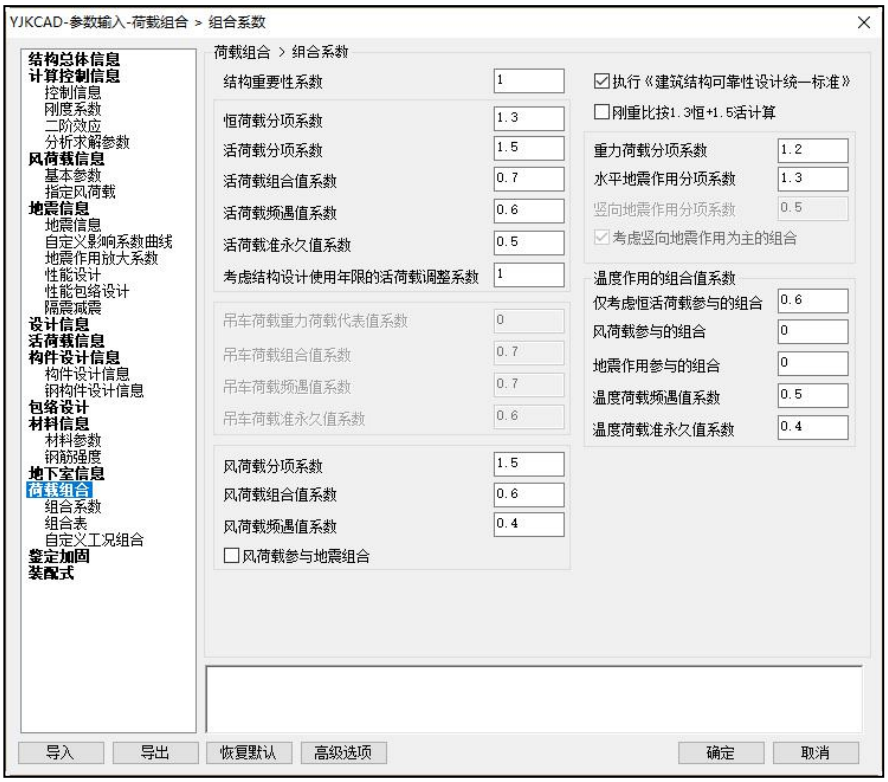


图 2.1.101 荷载组合

1、结构重要性系数

在持久设计状况和短暂设计状况下，对安全等级为一级的结构构件不应小于 1.1，对安全等级为二级的结构构件不应小于 1.0，对安全等级为三级的结构构件不应小于 0.9。

2、各分项系数、组合值系数、频遇值系数及准永久值系数

软件按规范规定给出默认值，设计人员根据工程实际情况填写。

3、执行《建筑结构可靠性设计统一标准》 GB50068-2018

前处理计算参数中的“荷载组合”下的“组合系数”页中增加“执行《建筑结构可靠性设计统一标准》GB50068-2018”的选项，程序默认勾选，勾选后程序自动按照新标准中的要求形成对应的分项系数与组合，且不再考虑永久荷载为主时的分项系数 1.35。恒载分项系数取 1.3，活载分项系数取 1.5，风荷载分项系数取 1.5（按照活荷载考虑）。

4、刚重比按 1.3 恒+1.5 活计算

由于规范中未提及刚重比计算时的要求，所以程序提供一个选项“刚重比按 1.3 恒+1.5 活计算”由用户决定是否按照新规范调整，程序默认不勾选，即刚重比仍然按照 1.2 恒+1.4 活来计算。

对于地震设计状况，新标准明确要求采用地震作用的地震组合，地震组合的效应设计值应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定。按照该规范，重力荷载分项系数的默认取值为 1.2。

5、考虑结构设计使用年限的活荷载调整系数

《高规》5.6.1 条做出了相关规定，当设计使用年限为 50 年时取 1.0，设计使用年限为 100 年时取 1.1。

6、吊车荷载重力荷载代表值系数

《抗震规范》表 5.1.3 列举了计算建筑的重力荷载代表值时各可变荷载的组合值系数。其中，对于吊车考虑两种情况，硬钩吊车和软钩吊车，对于硬钩吊车需要考虑 0.3 的组合值系数。

软件提供“吊车荷载重力荷载代表值系数”，由设计人员确定带吊车结构在地震组合时的吊车荷载组合值系数。

该参数只在构件设计时起作用，在结构整体计算时不起作用。

7、风荷载参与地震组合

《高规》表 5.6.4 给出了有地震作用组合时荷载和作用的分项系数，也做出了风荷载参与组合的相关规定，软件提供该选项，由设计人员确定风荷载是否参与地震组合。

8、考虑竖向地震为主的组合

《高规》表 5.6.4 给出了竖向地震为主的组合的系数取值和适用情况，软件提供该选项，由设计人员确定是否考虑竖向地震为主的组合。

9、自定义荷载组合

图 2.1.102 自定义荷载组合

软件提供自定义荷载组合功能，并根据参数设置自动生成荷载组合默认值，设计人员可以在此手工修改荷载组合分项系数及增、删组合。

设计人员修改荷载组合后，需要勾选“采用自定义组合及工况”，软件才使用自定义的荷载组合。

如果设计人员想恢复软件默认生成的荷载组合，可以点击“自动生成数据”恢复软件默认生成的荷载组合。

10、非线性组合

详见特殊支撑—单拉/压杆中非线性组合内容。

11、自定义工况组合

图 2.1.103 自定义工况组合

软件增加了自定义荷载工况和组合功能，可以把用户输入的一组荷载按照用户自定义的工况组合进行设计。

（一）建模中增加自定义工况菜单

在建模的主菜单中增加“自定义工况”菜单，用来输入用户自定义的荷载工况，这样建模的一级菜单为轴线网格、构件布置、楼板布置、荷载输入、自定义工况、楼层组装、空间结构共七项。

图 2.1.104 自定义工况组合

自定义荷载工况的荷载类型包括恒载、活载、消防车荷载、地震、风荷载、人防荷载，普通的恒载和活载在前面的“荷载输入”菜单下进行，这里输入恒载、活载或者其他荷载工况可以在后面自定义它的组合状况。

自定义工况下的第一个菜单为“工况设置”，其余菜单布置该工况的荷载，内容与

前面恒载、活载相同，包括楼板荷载及梁墙、柱、板间、次梁、墙洞、节点荷载的输入和编辑，也就是说，按照通常的输入荷载的方式输入自定义工况的荷载。

首先必须进行工况设置，图示为已经添加的自定义荷载工况的列表，假设本项目用户自定义了 3 个荷载工况：

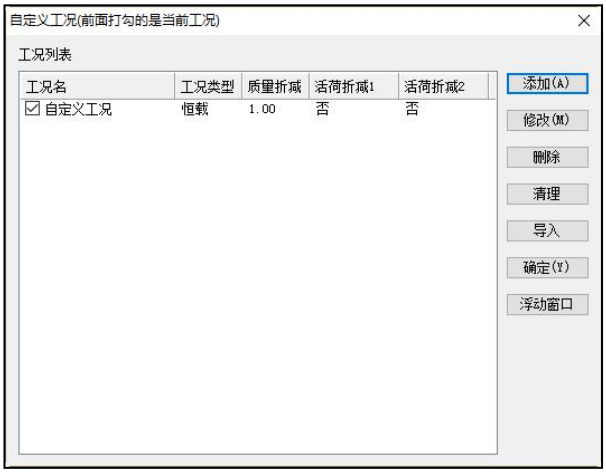


图 2.1.105 自定义工况组合

每次添加一个自定义荷载工况时弹出如下对话框：

图 2.1.106 自定义工况

用户若是自定义了恒载、活载工况类型，软件会根据恒载、活载类型选择设计时的荷载分项系数和组合系数。

还需输入该项自定义荷载的名称和地震计算分析时的重力荷载代表值系数，定义名称为的是便于后边的识别。如果是活荷载类型还可勾选是否考虑上部楼层的折减。

在某个荷载布置或者修改前，必须在“工况设置”弹出的列表中勾选该自定义荷载工况，随后的荷载布置和修改都将计入该工况之下。

（二）自定义工况模板导入

软件提供“自定义工况模板”功能，进入“自定义工况”主菜单打开子菜单“工况设置”，点击“导入”命令，软件弹出“自定义工况模板”对话框，内容包括：模板设置、工况设置、工况各分项系数和组合系数设置、组合类型和组合方式设置等。

软件依照石化设备荷载表及变电构架设计手册自动完成石化设备模板和变电构架荷载模板。设计师可以根据需要新增模板并进行各工况内容的编辑。

导入“自定义工况模板”后进行荷载输入，然后进入前处理计算参数，在荷载组合的“自定义工况组合”菜单中勾选“使用建模荷载组合”，最后进行生成数据+全部计算完成操作，则荷载工况组合将采用“自定义模板”导入的工况组合。

各菜单内容如下图所示：

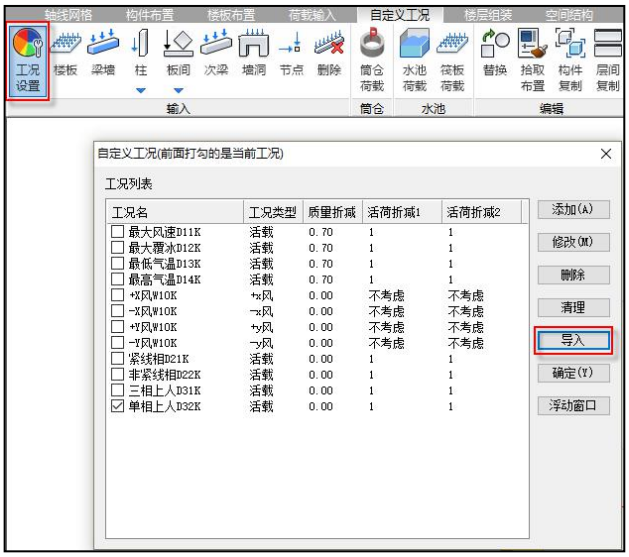


图 2.1.107 自定义工况导入

图 2.1.108 自定义工况导入菜单

图 2.1.109 勾选“使用建模荷载组合”

（三）自定义荷载工况适应多种类型活荷载折减

自定义荷载工况选择活荷载时，增加墙柱构件和梁构件活荷载折减系数参数，可对自定义的活荷载指定单独的墙柱构件活荷载折减系数和梁构件的活荷载折减系数，从而适应荷载规范中多种活荷载类型的折减。

1、荷载规范表 5.1.1 第 1（2）-7 项设计墙、柱和基础的活荷折减

原来的软件在进行设计墙、柱和基础的活荷载折减时，仅能根据荷载规范表 5.1.2 作按楼层的折减系数折减，这种折减仅适用于荷载规范表 5.1.1 第 1（1）项的活荷载类型。第 1（1）项对应的房屋类别是住宅、宿舍、办公室、医院等。

根据荷载规范 5.1.2 条的 2-2)：设计墙、柱和基础时的折减系数，对第 1（2）-7 项应采用与其楼面梁相同的折减系数。

第 1（2）-7 项对应的房屋类别包括，教室、试验室、阅览室、会议室、食堂、餐厅、礼堂、剧场、商店、车站、机场大厅、舞台、书库、通风机房等。

第 1（2）-7 项的活荷载，不应采用住宅、办公室等的考虑楼层的折减方式，但把它当做一般的活荷载输入，软件将自动按照考虑楼层的折减方式计算，这显然与规范不符、偏于不安全。

软件的解决方案是把第 1（2）-7 项的活荷载按照自定义荷载工况输入，并在自定义工况的属性中人工填入墙柱的活荷载折减系数和梁的活荷载折减系数。

图 2.1.110 自定义活荷载

这里的“采用计算参数中的折减”即为在上部结构计算参数中设定的按照一般的活

荷载输入的活荷载折减。

如果某建筑下面几层是商场，上面高层为住宅，用户可对下面的商场活荷载按照自定义活荷载输入，并在属性框中填入柱、墙的折减系数。软件在设计底层的柱、墙时，对一般的活荷载产生的内力自动按照考虑其上楼层数的折减，但对于这里定义的商场荷载产生的内力则按照这里指定的折减系数计算。

2、对消防车荷载的组合与折减

1）消防车荷载的组合

自定义荷载工况如下：

a1：自定义普通活荷载；xf1：消防车荷载；xf2：消防车荷载。

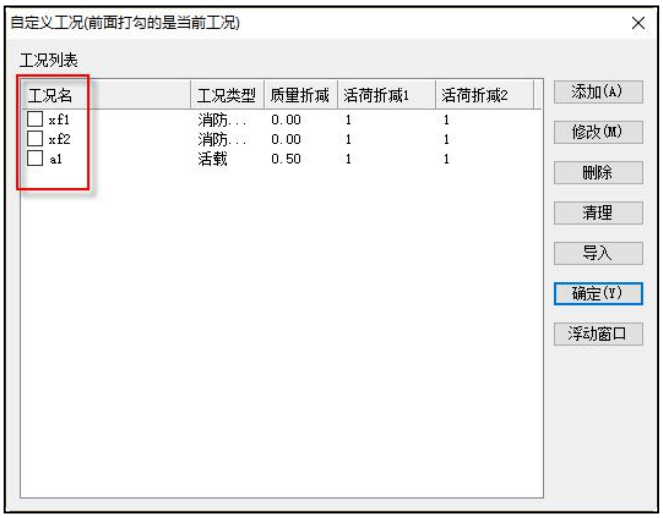


图 2.1.111 自定义活载与消防车荷载

查看荷载组合中自定义工况组合，程序默认的组合规则为：活荷载组合值系数中（也包括工况组合类型菜单中的活载准永久值、活载标准值、活载频遇值），消防车荷载与普通活荷载都按照相同叠加或包络的规则组合。

如下图所示，默认荷载组合为叠加，则所有活荷载和消防车荷载都叠加。

图 2.1.112 默认活载组合方式与系数

2）消防车荷载的折减

消防车荷载数值很大，设计时应考虑可能的折减。

荷载规范 5.1.2 条：设计楼面梁时，对单向板楼盖的次梁和槽型板的纵筋应取 0.8，对单向板楼盖的主梁应取 0.6，对双向板楼盖的梁应取 0.8；

设计墙、柱时，对单向板楼盖应取 0.5，对双向板楼盖和无梁楼盖应取 0.8；设计基础时可不考虑消防车荷载。

图 2.1.113 自定义消防车荷载

软件的解决方案是把消防车荷载按照自定义荷载工况输入，并在自定义工况的荷载类型中专门设置“消防车”荷载类型，以进行专项处理。用户根据情况填入次梁、主梁和墙柱的折减系数。软件将自动识别主梁、次梁，同时自动识别布置了次梁的主梁，对这种布置了次梁的主梁识别为“单向板楼盖的主梁”并取活荷载折减系数 0.6 进行折减。

在基础设计时对各种自定义荷载是由用户选择导入的，用户对于消防车荷载不应选择导入基础计算。

（四）计算前处理的计算参数菜单下设置荷载组合

如果用户在建模中输入了若干组自定义荷载，则必须在计算前处理的“计算参数”中设置它们的组合状况，否则这几类荷载只进行了计算分析，却不能参与各个构件的截面设计。

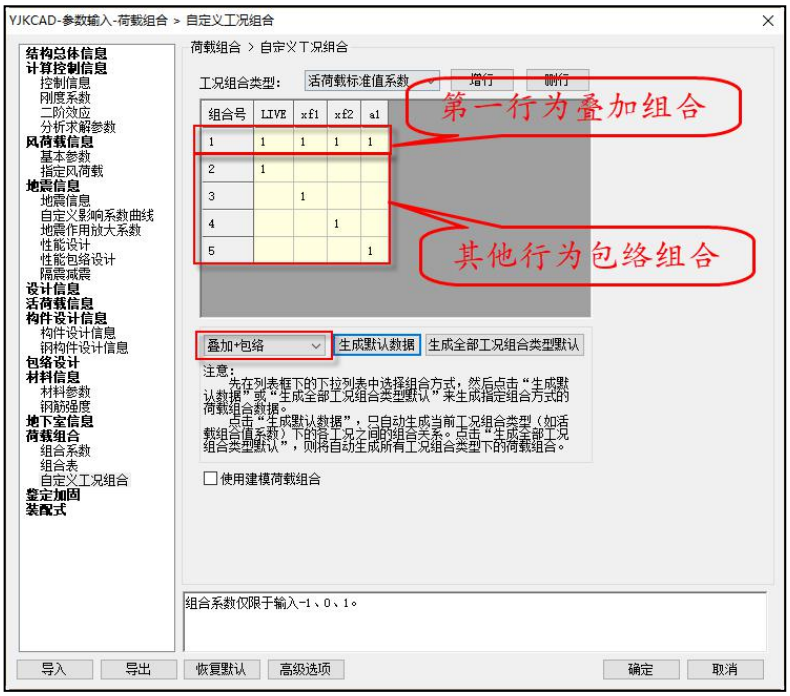


图 2.1.114 自定义工况组合

在计算参数的“荷载组合”项下新增了“自定义工况组合”页，用来进行自定义荷载工况的组合设置。

下面的3个按钮可用来自动生成各工况的叠加或包络组合。从第一个按钮中选叠加、包络或者叠加+包络，再点中间按钮“生成默认数据”，即可自动生成当前各工况之间的

组合关系。

自定义荷载工况之间以及它们与普通荷载工况之间，可以自动定义的有四种组合，分别是包络组合、叠加组合、叠加+包络和全组合，用户选择其中一种，再点“生成默认数据”按钮，就可以自动生成相关的组合。

以本工程的 3 组自定义活荷载工况和原有的活荷载工况之间的各种选项为例说明：叠加就是各工况同时作用；

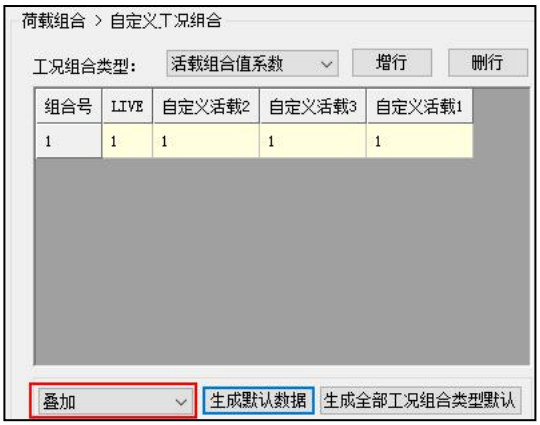


图 2.1.115 自定义工况组合

包络就是各工况分别单独作用，设计时取包络值，本工程自动生成 4 种组合；

图 2.1.116 自定义工况组合

叠加+包络就是既有各工况同时作用，又有单独作用并取包络的过程，本工程自动生成 5 种组合；

图 2.1.117 自定义工况组合

全组合就是各自定义工况的任意两两之间所能发生的所有组合，本工程自动生成 15 种组合；

图 2.1.118 自定义工况组合

每一行将指示软件作一种组合，各行可以人工填写，也可自动生成。在荷载工况下填 1 表示在该种组合中考虑该荷载工况。

以该项目取叠加+包络为例，第 1 行表示的组合是普通活荷载和 3 个自定义活荷载同时作用在结构上，构件设计时将取各工况的叠加值进行设计。第 2-5 行表示的组合是：普通活荷载和 3 个自定义活荷载将分别单独作用在结构上，构件设计时将取各组合的最大包络值进行设计。

（五）自定义荷载工况组合时的荷载分项系数和组合系数

图 2.1.119 自定义工况组合

软件进行荷载组合时，对自定义工况的恒载和活载，仍采用和普通的恒载、活载相同的分项系数和组合系数，在自定义工况组合参数框中列出的系数隐含均为 1，就表示它们参与组合时与普通恒载、活载相同，而不是表示它们在各种荷载组合中的组合系数或分项系数为 1。

如果自定义工况恒载或活载的组合值与普通恒载或活载不同，则须在这里的相应表中填入非 1 的差异系数。如普通活荷载组合时分项系数为 1.4，自定义活荷分项系数为 1.2，则应在这里填入 0.86（1.2/1.4=0.86）。

荷载规范 3.2.5 规定，可变荷载的分项系数，一般情况下应取 1.4，对标准值大于 4kN/m2 的工业房屋楼面结构的活荷载应取 1.3。

可将标准值大于 4kN/m2 的工业房屋楼面结构的活荷载按照自定义活荷载工况输入，取该工况与其它活荷载工况为叠加或叠加+包络组合关系，并在这里填入 0.93（1.3/1.4=0.93）。

如果需要对自定义荷载工况增加许多新的组合内容，建议采用包络设计方式进行，即复制该工程到另外子目录，在那里进行新组合内容的设置和定义，再在两个工程目录间进行包络设计。

（六）自定义荷载工况的设计结果查看

可在设计结果的标准内力菜单下查看各自定义荷载工况下的杆件内力，如本例计算结果增加了 3 个自定义活荷载的工况，选择某一个即可单独显示该工况下各杆件的内力。

图 2.1.120 自定义工况内力查看

所有构件的配筋设计中都是按照前面用户设置好的自定义工况组合来进行的，用户可使用“构件信息”菜单查看每一根构件的设计过程，如下图是某根梁构件信息中的各种组合状况及其相应的分项系数。

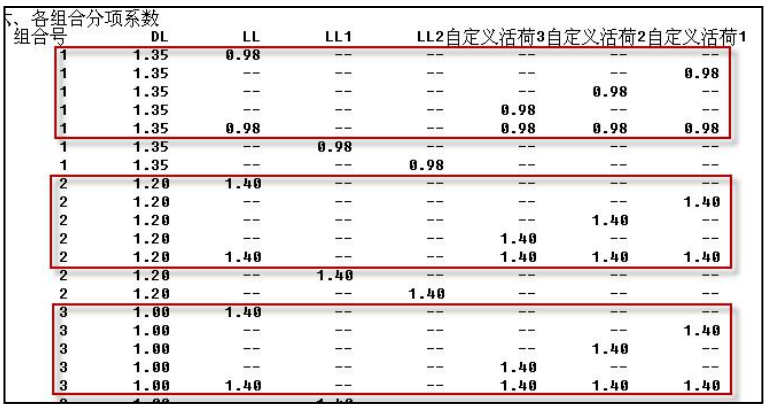


图 2.1.121 自定义工况组合

十二、鉴定加固

详见《YJK-JDJG 建筑抗震鉴定和加固设计软件用户手册及技术条件》

十三、装配式

详见《YJK-AMCS 装配式结构设计软件用户手册及技术条件》

十四、高级选项

“高级选项”中参数包括“通用”、“梁”、“柱”、“墙”、“整体指标”、“其它”、“计算相关”、“前处理”、“前处理（续）”九个菜单，每个参数的默认值都是在充分考虑规范要求与工程经验的基础上进行取值的，可适用于大部分工程项目，一般情况下不需要修改，若有特殊需求需要进行修改时，请谨慎修改，对参数不熟悉或不确定如何取值时，可咨询盈建科技术支持。

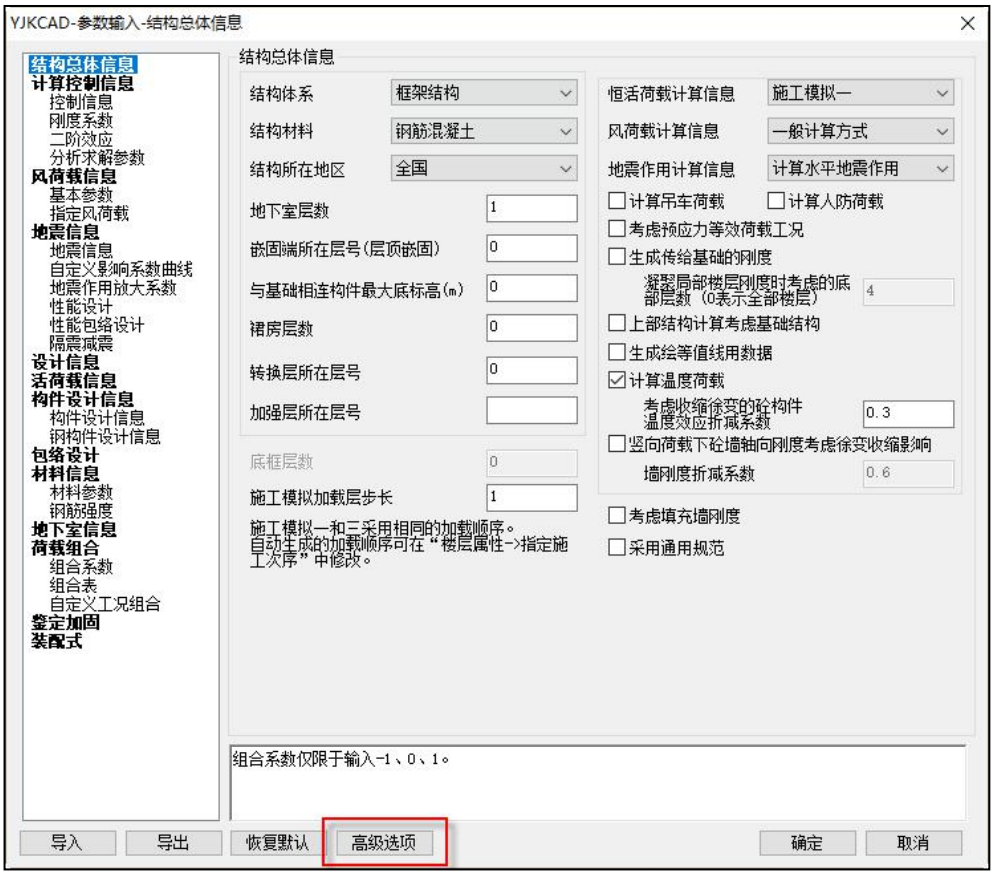


图 2.1.122 高级选项

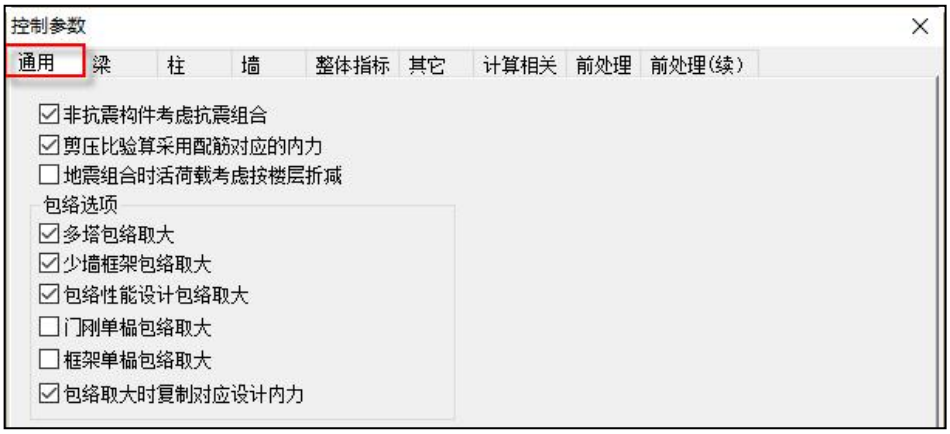


图 2.1.123 通用

图 2.1.124 梁

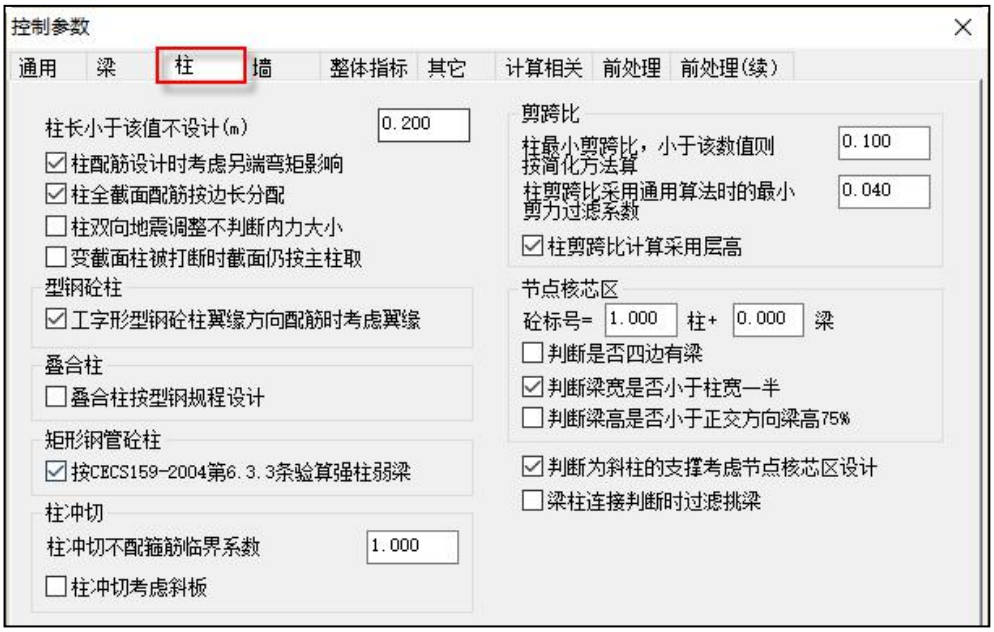


图 2.1.125 柱

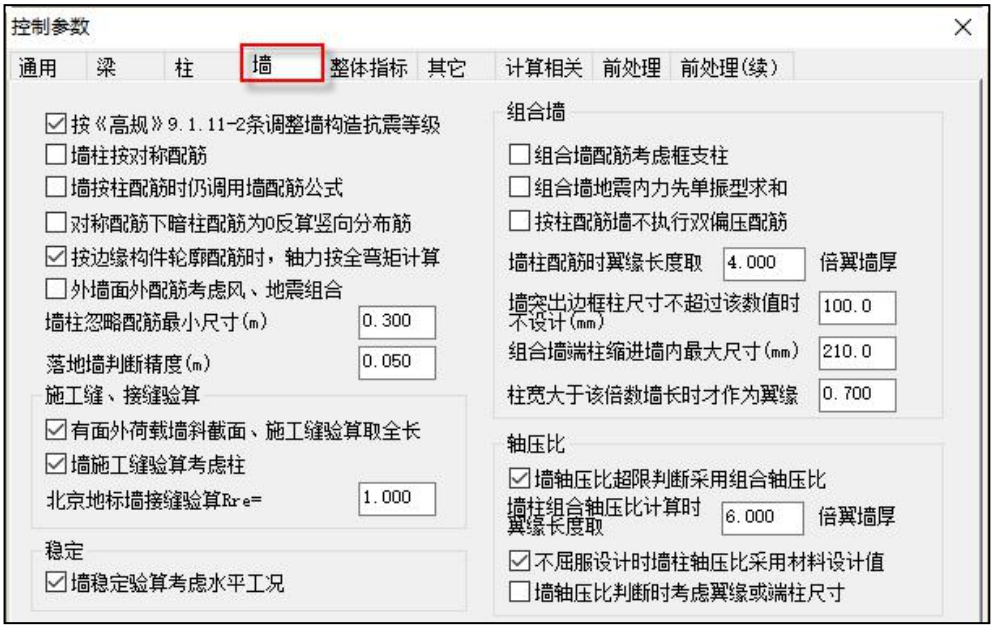


图 2.1.126 墙

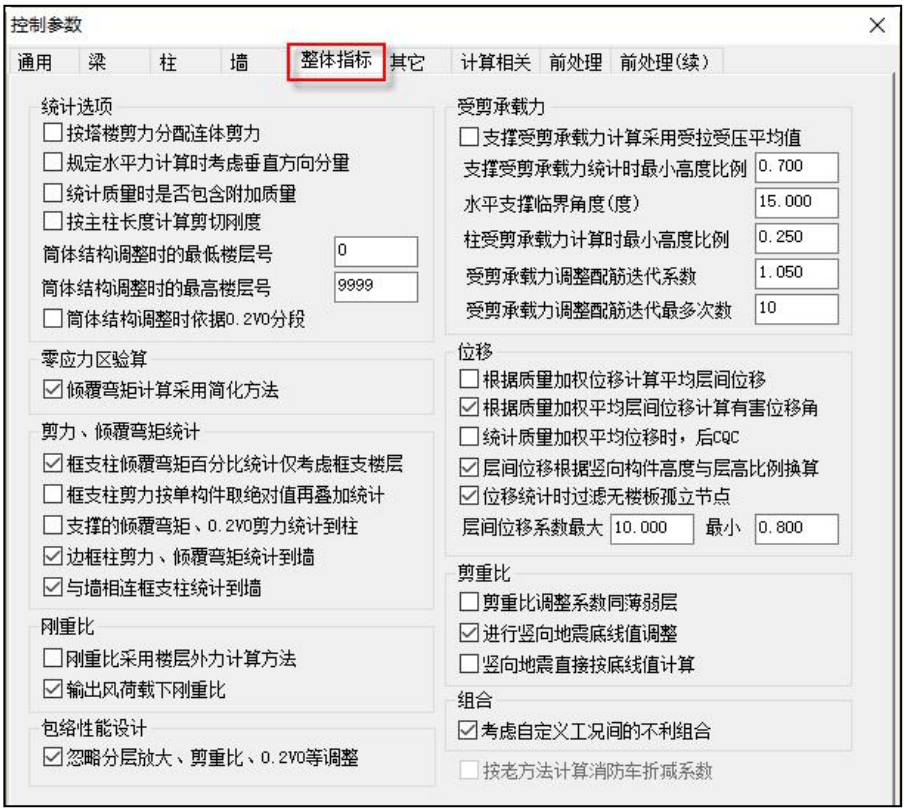


图 2.1.127 整体指标

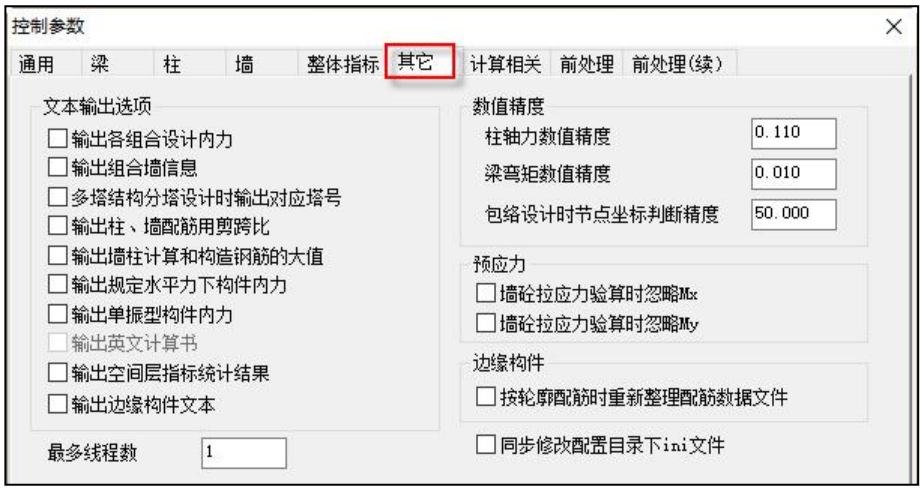


图 2.1.128 其它

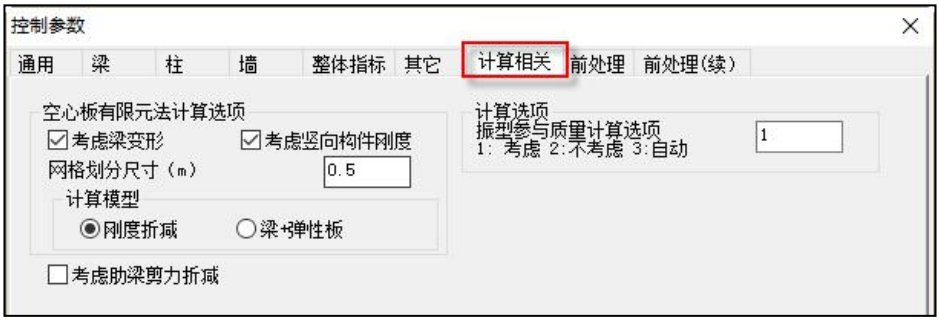


图 2.1.129 计算相关

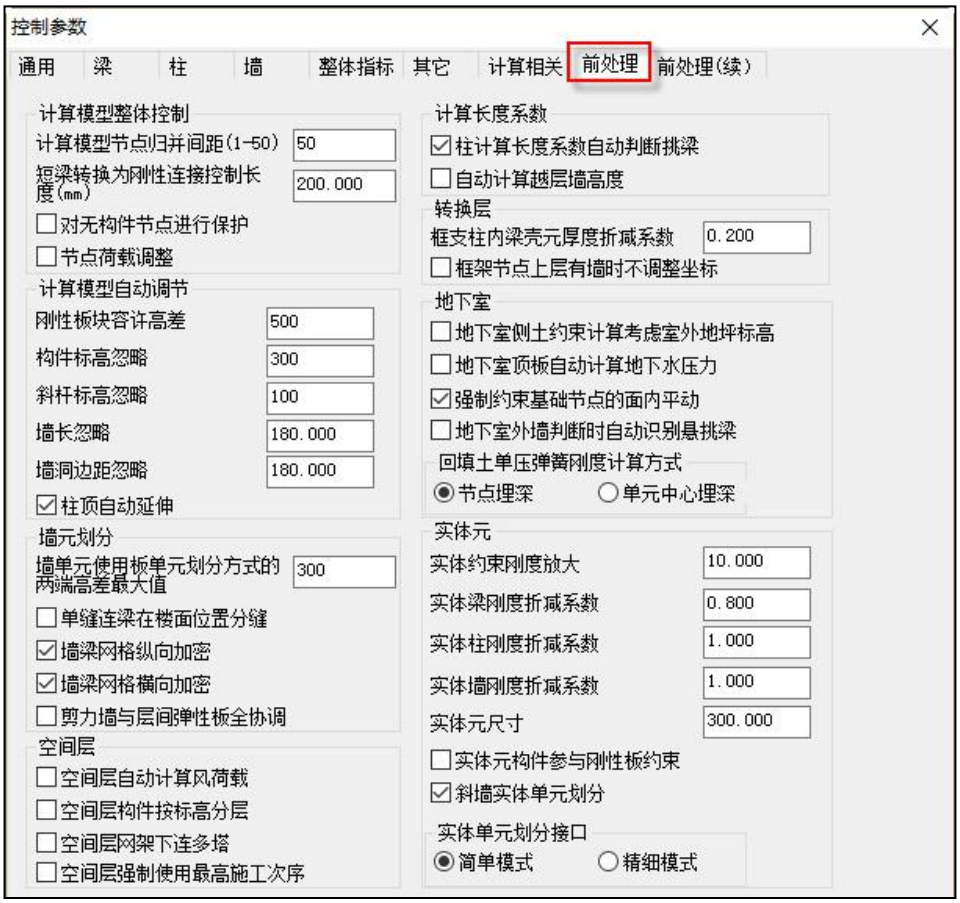


图 2.1.130 前处理

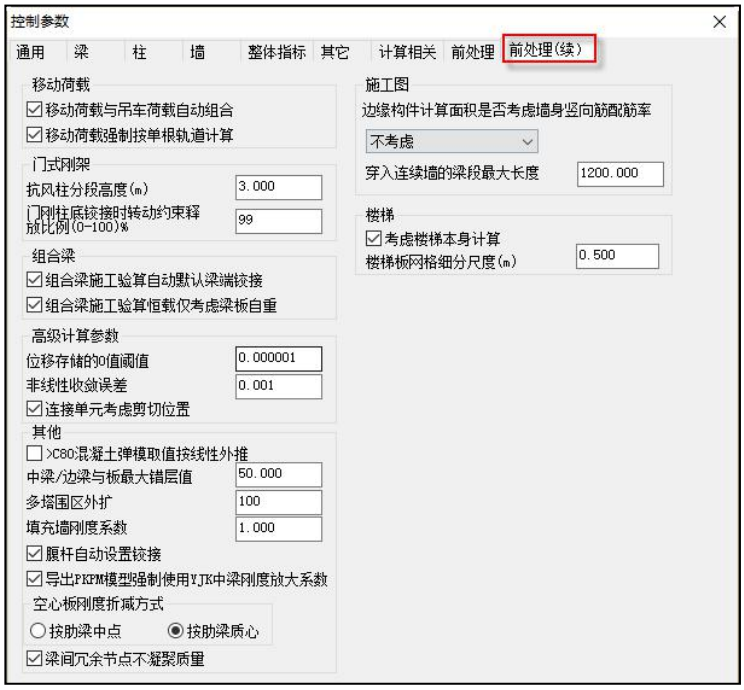


图 2.1.131 前处理（续）

第二节 荷载简图与校核统计

本菜单是荷载简图、校核统计菜单，用于提供各层荷载简图，并对荷载做各种统计输出，便于用户校核。荷载简图可用于结构计算的重要存档内容。

主要用于恒载、活载、自定义工况、人防荷载的内容，风荷载可在前处理的风荷载部分或计算结果文件中查看，地震作用在计算结果文件中查看。

在荷载简图上程序隐含将恒载、活载放在一起显示出来，表达方式简洁、内容紧凑。

荷载分为两大部分，用户在模型荷载输入菜单中输入的内容和楼板上的面荷载导算到房间周边梁、墙上的部分。

提供各种荷载统计功能，如各层的人工输入荷载总值、楼面荷载导算总值、竖向荷载总值、水平荷载总值等。

提供竖向荷载导算结果显示功能，给出每层的柱、墙、支撑构件承受的的本层和以上各层荷载值，并给出从上至下传导到本层的荷载总值。竖向荷载导算是在模型荷载输

入菜单退出时的一个功能选项，该选项必须执行过才能在这里提供竖向荷载统计结果。

作用在梁、墙、柱、节点上的荷载，均以数值的形式标在杆件上，数值的格式就是荷载输入时的数据格式，如梁墙荷载是荷载类别、荷载值、荷载参数等。

进入本菜单后先显示第一层的荷载简图，并弹出显示内容控制菜单在屏幕右侧：

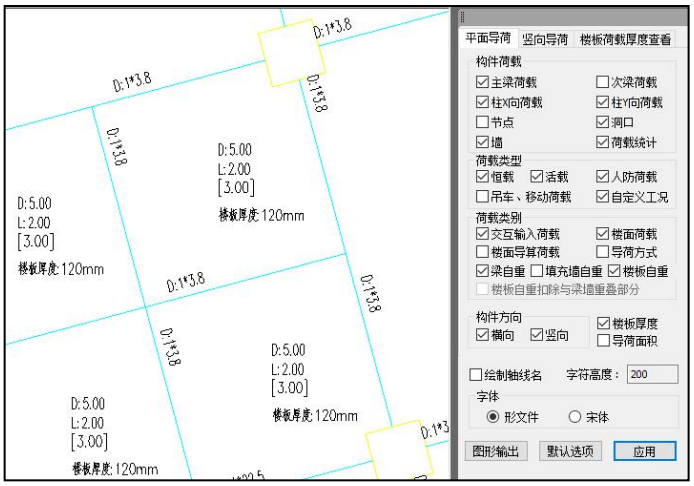


图 2.2.1　荷载简图

右侧的显示控制菜单分为平面导荷、竖向导荷和楼板荷载厚度查看。

一、平面导荷

平面导荷部分可以控制平面荷载简图上输出的内容。可从四个方面控制：

1、构件类别

分为主梁、次梁、柱 X 向、柱 Y 向、节点、洞口、墙，可选择只输出某些构件上的荷载。

荷载统计项是可以在平面简图上输出本层荷载统计汇总结果，如下图。

	竖向(Z)恒载	竖向(Z)活载
楼面荷载:	1296.00	648.00
次梁:	0.00	0.00
分项荷载:		
梁:	1638.01	504.00
墙:	468.00	144.00
柱:	0.00	0.00
节点:	0.00	0.00
分项合计:	2106.01	648.00

图 2.2.2　荷载统计文本输出

2、荷载类型

分为恒载、活载、自定义工况、人防荷载。

3、荷载类别

分为人工交互输入荷载、楼面导算荷载、楼面荷载、楼板自重、梁自重。

4、构件方向

分为横向和竖向。当荷载显示较为拥挤时，可以选择将横向构件和竖向构件分开显示。

二、竖向导荷

竖向导荷控制选项如图 2.2.3 所示。

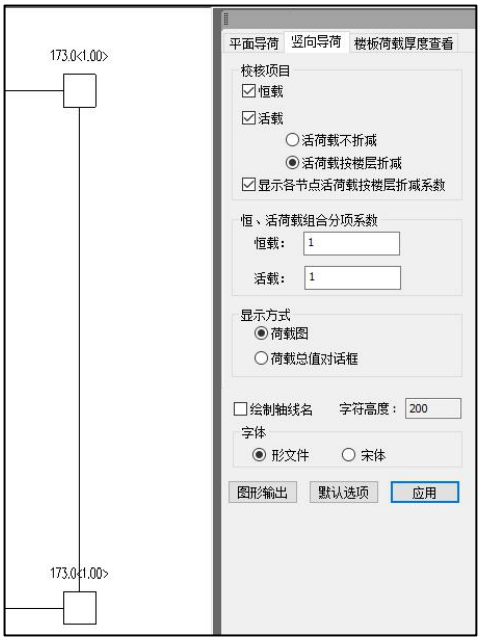


图 2.2.3　竖向导荷控制选项

可以在竖向导荷时对活荷载按照考虑楼层的折减系数计算统计。

可以输入恒、活荷载分项系数，按照设计组合值进行统计。

可以按照各层平面图输出竖向导荷结果，也可以按照“荷载总值对话框”方式输出，如图所示。

图 2.2.4 荷载导算结果

三、楼板荷载厚度查看

方便查看校核楼板荷载和厚度。

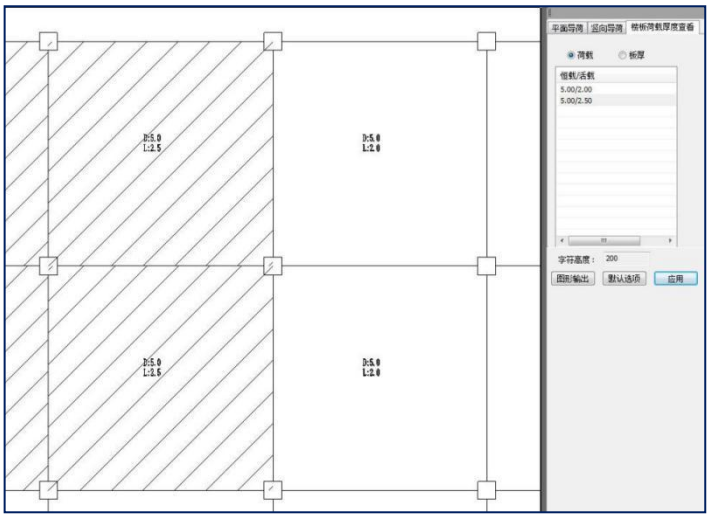


图 2.2.5 楼板荷载

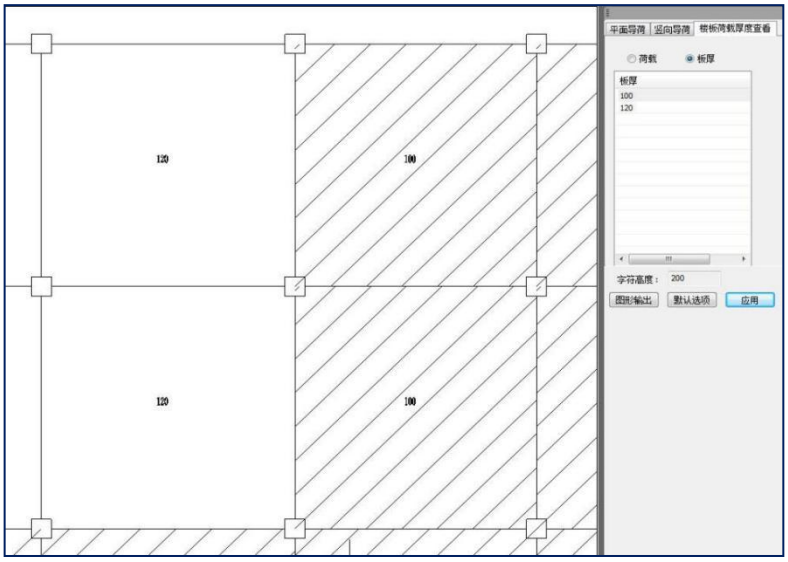


图 2.2.6 楼板厚度

四、图形输出

荷载校核菜单下，点取右侧菜单中的图形输出，可根据需要批量输出各层荷载简图文件，同时可输出 DWG 图形文件，并将当前输出的所有图形可同时打包在一个 PDF 格式文件中。

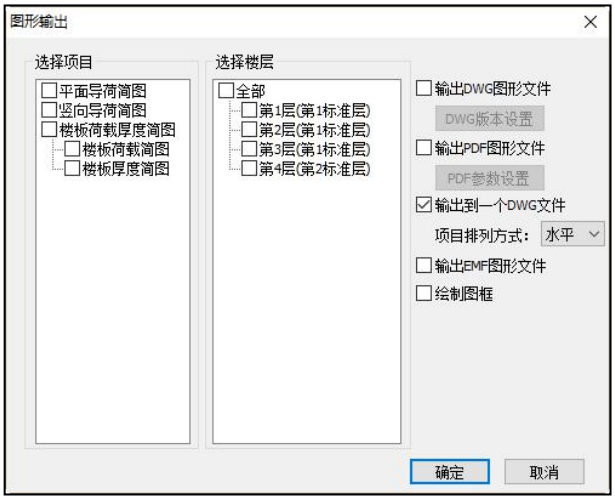


图 2.2.7 图形输出

PDF 文件方便批量打印和保存荷载简图。可通过“PDF 参数设置”菜单进行各页的打印排版设置。

第三节 连续梁编辑

前处理及计算增加“连续梁编辑”菜单，用户可通过该菜单查看梁截面、梁支座，可对连续梁进行梁跨拆分和合并，并且可以对梁支座进行修改。修改完成后，程序对梁进行设计时，可以考虑“连续梁编辑”菜单中的修改内容。还需要注意的是在前处理中完成的连续梁编辑可以在施工图中读取，但是施工图中编辑修改的内容不能传到前处理。

图 2.3.1 连续梁编辑菜单

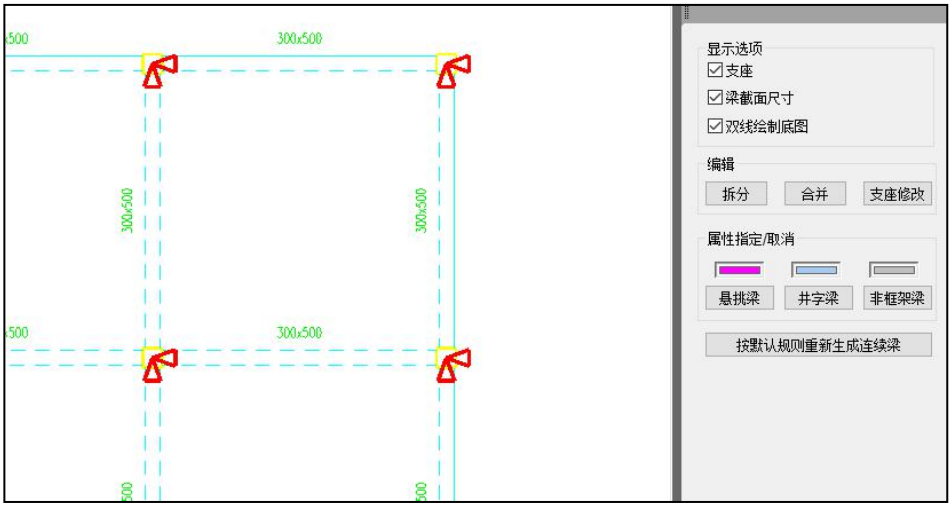


图 2.3.2 连续梁编辑

第四节 特殊构件定义

这是为结构计算作补充输入的菜单，如下图所示，是前处理重要内容。通过这项菜单，可补充定义特殊柱、特殊梁、特殊墙、弹性楼板单元、节点属性、抗震等级和材料强度信息等八个方面。它们属于计算必须的若干属性，且大多是程序自动生成了隐含的数值，用户可在这里检查修改。

图 2.4.1 前处理及计算菜单

特殊构件定义信息的缺省值主要受前处理第一项菜单“计算参数”中相关定义的参数的影响，如抗震等级、材料强度、梁刚度放大系数、梁扭矩折减系数、梁弯矩调幅系数等，还有转换层号、地下室层数、框支剪力墙底部加强区抗震等级自动提高一级等参数。程序先用缺省值对所有的构件赋值，用颜色区分显示缺省值和用户指定值，缺省值以白色显示，用户指定值以红色显示。

程序将用户修改过的特殊构件定义信息保存在建模数据中，每次前处理重新生成计算数据时只对未人工修改过的构件重生成，而保留用户修改过的内容。如果用户在前面的“计算参数”中修改了相关的参数后，在“特殊构件定义”中显示各种属性时，没有被人工修改过的构件、即原来显示白色的构件的数值会跟着修改后的参数联动修改，但是人工修改过的构件依然保留人工定义的结果并以红色显示。

特殊构件定义的八个菜单下都有很多子菜单，菜单下的绿色箭头表示该菜单包含下级菜单，鼠标在每个菜单稍作停靠后其下级菜单就会出现。

绿色箭头表示子菜单常驻屏幕，因为子菜单很多，且这些子菜单内容相近，当用户选取某一项子菜单后，其余子菜单仍停留在屏幕上，除非用户点取其它菜单才会消失。这样管理是为了用户便于在众多的子菜单中寻找。

一个工程经建模菜单或上部结构计算的设计参数定义菜单后，若需补充定义特殊柱、特殊梁、弹性楼板单元、材料强度和抗震等级等，可执行本项菜单，否则，可跳过这项菜单，因此这不是个必须要执行的菜单项。

这里对各类特殊构件的定义是以模型的标准层为单元进行，而不是自然层。切换标准层的操作在右上角，和“模型荷载输入”时一样。

一、特殊梁

特殊梁包括不调幅梁、连梁、转换梁（托墙转换梁、非托墙转换梁）、交叉配筋、斜撑配筋、刚度系数、扭矩折减、调幅系数、一端铰接、两端铰接、滑动支座、门式刚

梁、耗能梁、组合梁设置和修改等 38 项子菜单。

图 2.4.2　特殊梁定义菜单

各种特殊梁的含义及定义方法如下：

1、不调幅梁

“不调幅梁”是指在配筋计算时不作弯矩调幅的梁，程序对全楼的所有梁都自动进行判断，首先把各层所有的梁以轴线关系为依据连接起来，形成连续梁，然后，以墙或柱为支座，把在两端都有支座的梁作为框架梁，以暗青色显示，在配筋计算时，对其支座弯矩及跨中弯矩进行调幅计算，把两端都没有支座或仅有一端有支座的梁（包括次梁、悬臂梁等）隐含定义为不调幅梁，以亮青色显示。用户可按自己的意愿进行修改定义，如想要把框架梁定义为不调幅梁，可用光标在该梁上点一下，则该梁的颜色变为亮青色，表明该梁已被定义为不调幅梁了，反过来，若想把隐含的不调幅梁改为调幅梁或想把定义错的不调幅梁改为调幅梁，只需用光标在该梁上点一下即可，则该梁的颜色变为暗青色，表明该梁已被改为调幅梁了。

2、转换梁

程序对定义转换梁设置了三个菜单：托墙转换、自动托墙转换和非托墙转换。

托墙转换梁是指框支转换大梁，非托墙转换梁一般指的是托柱梁。程序将对托墙转换梁自动转化为壳单元计算，而对非托墙转换梁不做这样的转换，因此这里要分别定义。自动托墙转换，是程序自动分析该楼层梁是否为托墙转换梁并自动设置托墙转换梁属性的功能，其结果可以作为定义转换梁时的参考，提高定义效率。

程序没有隐含定义转换梁，需用户自定义，转换梁的定义及修改方法与“不调幅梁”相同，托墙转换梁和非托墙转换梁均以亮白色显示。在设计计算时，程序对转换梁自动按照壳元计算、自动按抗震等级放大转换梁的地震作用内力、自动执行规范对转换梁要求的一系列调整。

3、连梁

“连梁”是指与剪力墙相连，允许开裂，可作刚度折减的梁。这里定义的连梁是指按照普通梁方式输入的剪力墙上的连梁。程序对全楼所有的梁都自动进行了判断，把两端都与剪力墙相连、且至少在一端与剪力墙轴线的夹角不大于 30°、跨高比小于 5 的混凝土梁隐含定义为连梁，以亮黄色显示，但当梁由于建模的原因被分成多段时，程序不自动判断为连梁，此时可进行交互指定。“连梁”的定义及修改方法与“不调幅梁”一样。

4、交叉配筋、对角暗撑、对角斜筋

这里对按照普通梁输入的连梁采用交叉配筋、对角暗撑、对角斜筋的配筋方式。详细内容可见下面“特殊墙”的对按照剪力墙上开洞形成的连梁的说明。

5、门式刚梁

用光标点取需定义的梁，则该梁以暗白色显示，表示该梁为门式刚架梁。门式刚架梁在验算时，按照轻钢规程进行。

6、耗能梁

用光标点取需定义的梁，则该梁以亮绿色显示，表示该梁为耗能梁。

7、壳元梁

梁在计算模型中按照杆件单元计算，被指定为壳元梁后，将在梁高及全跨范围内划分为壳单元，壳元厚度同梁宽。这种状况类似托墙转换梁、普通梁建模的剪力墙连梁的计算模型的处理，壳单元的单元尺寸一般控制在 0.5 米以内。

程序不支持对斜梁、弧梁、加腋梁按壳元梁处理，对变截面梁按平均高度处理。

壳元梁的最大作用是壳元梁底部的单元如果与其他构件相接，一般可实现自动协调，通过计算模型轴测简图可观察

8、一端铰接、两端铰接、半铰接、两端固接、滑动支座

在这里设置铰接梁，可设置梁为一端铰接、两端铰接或滑动支座。采用定义切换方式，即对固接梁的操作是定义铰接，对已经定义铰接端的再次操作是取消铰接定义。

一端铰接：用光标点取需定义的梁，则该梁在靠近光标的一端出现一红色圆圈，表

示梁的该端为铰接，若一根梁的两端都为铰接，需在这根梁上靠近其两端用光标各点一次，则该梁的两端各出现一个红色圆圈；

两端铰接：用光标点取需定义的梁，则该梁成为两端铰接梁；

半铰接：可设置梁端约束释放的比例，100%为完全释放，相当于铰接，0 则相当于刚接；

两端固接：将一端铰接或两端铰接梁定义为两端固接梁；

滑动支座梁：用光标点取需定义的梁，则该梁在靠近光标的一端出现一白色圆圈，表示梁的该端为滑动支座。

9、刚度系数

梁刚度系数与“中梁刚度放大系数”和“连梁刚度折减系数”两个参数相关，程序自动判断中梁、边梁、连梁，相应取不同的缺省刚度系数。

中梁和边梁的搜索基于房间楼板信息，当两侧均有楼板时，默认为中梁，仅一侧有楼板时，默认为边梁。程序对中梁的刚度放大系数取为 B_k，边梁的刚度放大系数取为 $(B_k+1.0)/2$。如果两侧均无楼板相连，则不进行刚度放大。

连梁刚度系数取“连梁刚度折减系数”。一根梁的刚度系数是唯一的，如某根普通梁为连梁，则取连梁的刚度系数，不再与梁的刚度系数连乘。

在计算参数中如勾选“梁刚度放大系数按 10《混规》取值”，则在此处可以查看程序按照 2010《混规》5.2.4 条表格自动计算出的刚度放大系数。

10、扭矩折减

扭矩折减系数的缺省值为“梁扭矩折减系数”，但对于弧梁和不与楼板相连的梁，不进行扭矩折减，缺省值为 1。

11、调幅系数

调幅系数的缺省值为“梁端负弯矩调幅系数”，程序自动搜索调幅梁，并赋予缺省的调幅系数。

钢梁在计算程序中强制为不调幅梁。

12、组合梁

钢结构组合梁，是指由混凝土翼板和钢梁通过抗剪连接件组成的组合梁，组合梁的翼板可用现浇混凝土板，也可用压型钢板混凝土组合板。

混凝土翼板的有效宽度 be=b0+b1+b2。

b0：板托顶部的宽度，当无板托时取钢梁上翼缘的宽度；

b1、b2：梁外侧和内侧的翼板计算宽度，各取梁等效跨度的 1/6。且组合梁计算宽度不超过相邻钢梁上翼缘或板托净距的 1/2 的限值。

软件根据《钢结构设计标准》第 14.2 节进行组合梁的抗弯承载力设计，组合梁截面上的全部剪力，由钢梁的腹板承担。

组合梁自动生成：对于本层所有的钢梁根据如上条件自动生成组合梁，然后在计算简图上每根组合梁上标注 ZHL 标示，以及 be 和混凝土翼板厚度值，此时没有考虑组合梁上有托板的情况；

组合梁全楼生成：对所有标准层执行“组合梁自动生成”；

组合梁设置：人工设置或修改组合梁的参数，可以设置托板相关数据；

组合梁删除：删除组合梁的设置。

对于组合梁，在计算结果的配筋文件中作如下补充标注：

M_UpL，M_UpR——梁左右负弯矩设计值(kN-m)

M_Dw——梁正弯矩设计值(kN-m)

V ——剪力设计值(kN)

Mu ——梁全塑性受弯承载力(kN-m)

F3 ——剪应力强度验算

当组合梁没有设置抗剪连接件时，程序获取不到栓钉的数量，此时没办法区分组合梁为完全抗剪还是部分抗剪，这种情况组合梁按照完全抗剪验算。

当组合梁设置了抗剪连接件，程序按照《组合规范》第 12.2.3 条根据抗剪连接栓钉的数量自动判断采用完全抗剪或者部分抗剪连接设计。

1 完全抗剪连接

$$n \geqslant V_s / N_v^c \qquad (12.2.3\text{-}1)$$

2 部分抗剪连接

$$n \geqslant 0.5 V_s / N_v^c \qquad (12.2.3\text{-}2)$$

组合梁根据抗剪连接栓钉的数量可分为完全抗剪连接和部分抗剪连接，用户在“特殊梁”菜单下首先需要进行组合梁的定义，组合梁可以自动生成也可以点击“组合梁设置”定义或修改组合梁信息，然后点击“设抗剪连接件”进行完全抗剪或部分抗剪栓钉信息的设置，界面如下：

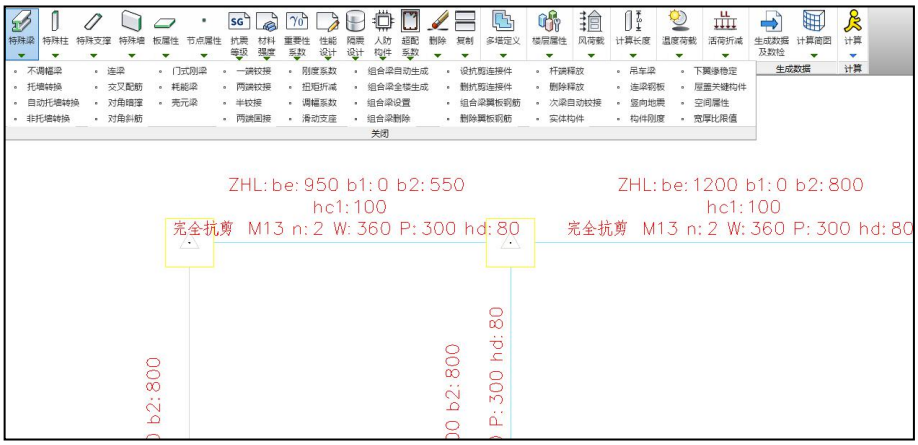


图 2.4.3 抗剪连接件设置

程序根据用户设置的抗剪连接件信息，按照《钢结构设计标准》GB50017-2017 第 14 章节和《组合结构设计规范》JGJ138-2016 第 12 章节进行完全抗剪连接或部分抗剪连接组合梁验算及抗剪栓钉的计算；

组合梁的混凝土翼板可以是现浇的混凝土板也可以是压型钢板混凝土组合板，对于压型钢板混凝土组合板做翼板的组合梁，其栓钉连接件的抗剪承载力设计值根据《钢结构设计标准》第 14.3.2 条和《组合结构设计规范》JGJ138-2016 第 12.2.8 条要求分为压型钢板肋平行于钢梁布置或压型钢板肋垂直于钢梁布置两种情况进行折减，此时程序读取楼板布置中压型钢板捕设方向自动对栓钉抗剪承载力设计值进行折减计算。

软件对于组合梁连接验算结果输出如下：

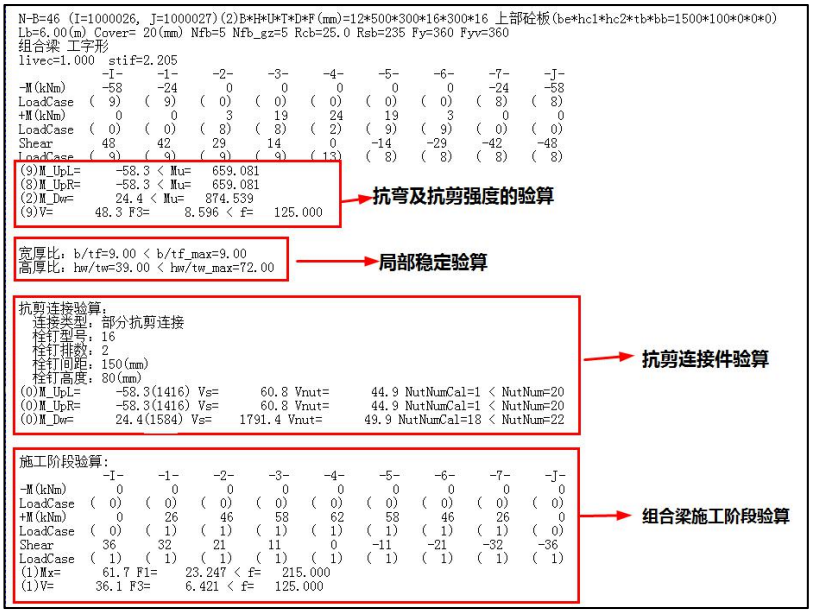


图 2.4.4 组合梁设计结果

其中抗剪连接件验算结果说明如下：

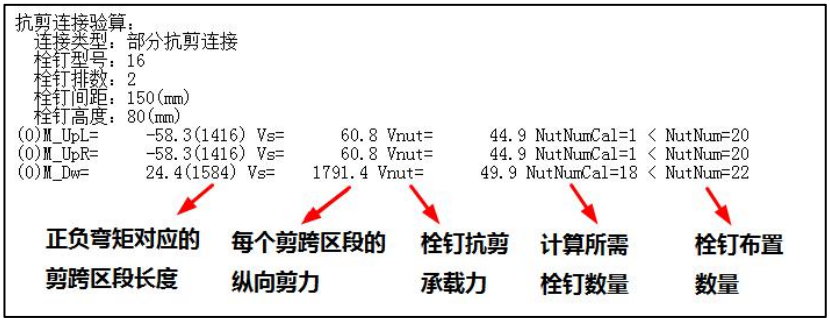


图 2.4.5 抗剪连接验算结果

13、设/删抗剪连接件

详见组合梁。

14、设/删组合梁翼板钢筋

在计算负弯矩区段的组合梁承载力时需要用到翼板内的钢筋面积，程序自动读取此处布置的板顶钢筋和板底钢筋，当不指定或删除翼板钢筋时程序按最小配筋率计算。

15、杆端释放/删除释放

该功能用于自定义杆端 6 个自由度上的刚度，支持输入绝对刚度和相对刚度。

16、次梁自动铰接

该功能支持依据程序自动判断的次梁，在次梁端设置铰接，可分别按混凝土梁和钢梁设置。需注意，程序自动判断的次梁也许与实际不符，仍需进行确认。

17、实体构件

实体构件功能改进后可全面支持梁、柱、剪力墙、楼板设置为按实体单元计算。

实体单元就是六面体单元，是对结构更准确模拟的更高水平的结构计算单元。程序对实体单元默认按照 300mm 边长自动划分，该尺寸可在“高级选项”-“前处理”-“实体元”中修改。

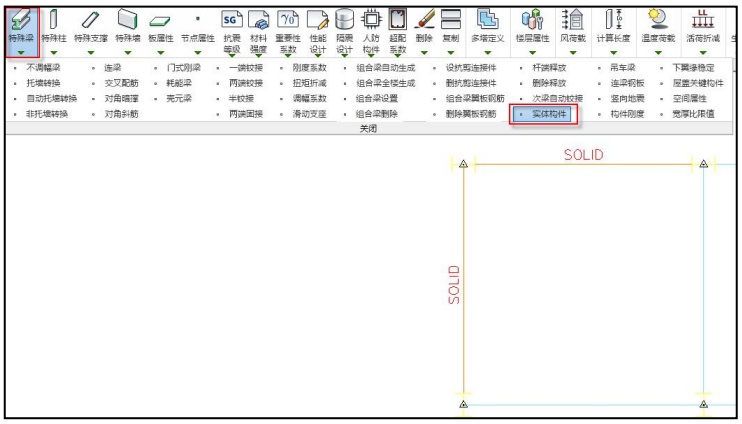


图 2.4.6 实体构件

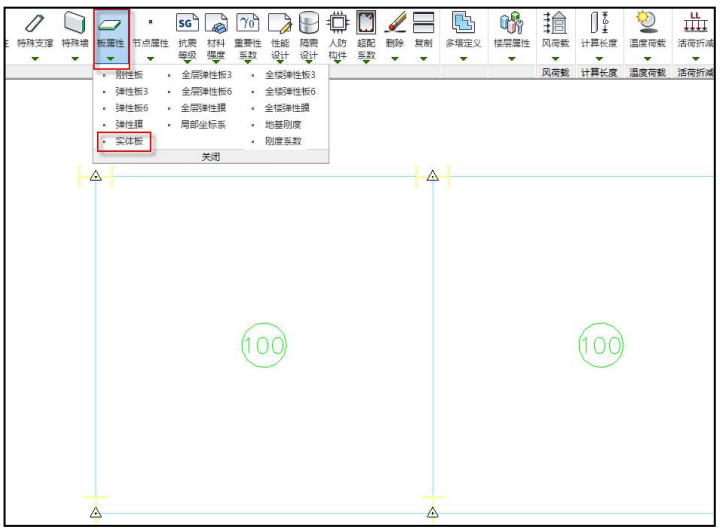


图 2.4.7 实体板

程序可以支持复杂的工程全部按照实体单元进行，下图为实体构件及实体板定义成功后的轴测简图及计算结果等值线结果中的整体云图三维形变简图：

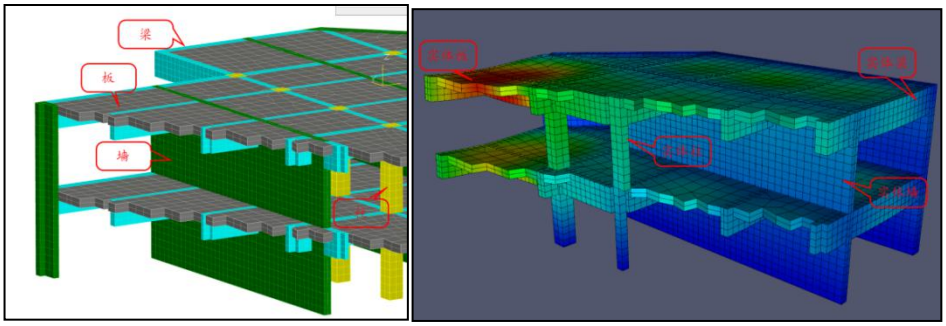


图 2.4.8 实体单元

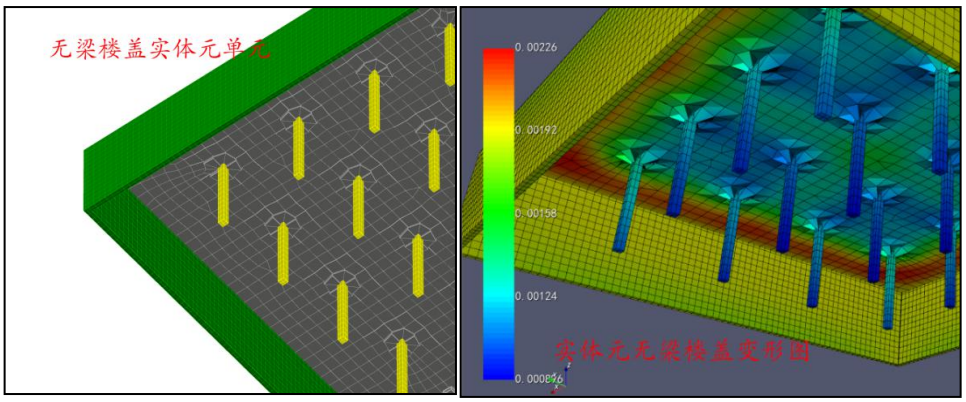


图 2.4.9 实体单元

实体单元目前可应用于一些典型大体积构件工程，如下为若干应用实例：

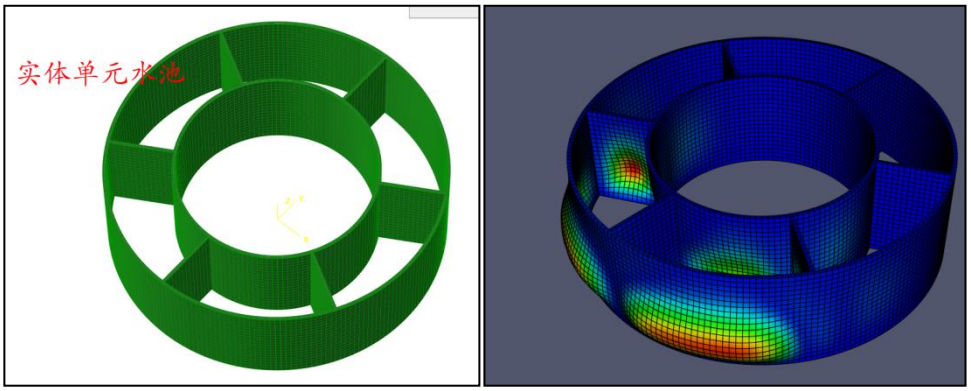


图 2.4.10 水池

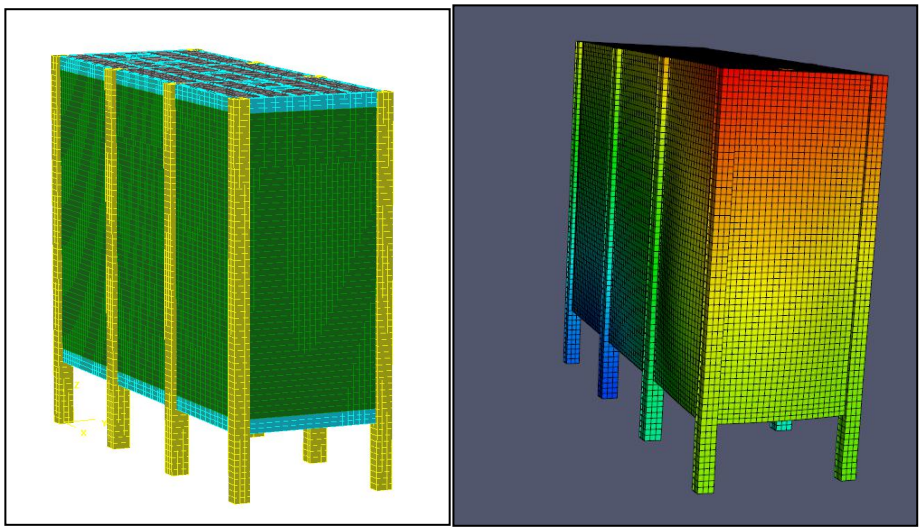


图 2.4.11 筒仓

实体梁、柱、墙之间，均按实际情况划分至其净跨端部，若梁定义为实体，则该梁梁端柱或剪力墙也应同时定义为实体构件。另外按实体单元计算将使计算量大幅增加，为了更有针对性的解决问题，用户可以只对局部构件按照实体单元计算。工程中的转换层、错层结构、带边框柱剪力墙等位置，目前按照杆件单元和壳单元计算常误差较大，可对这些局部部位的杆件设置为体单元计算以改善计算效果。

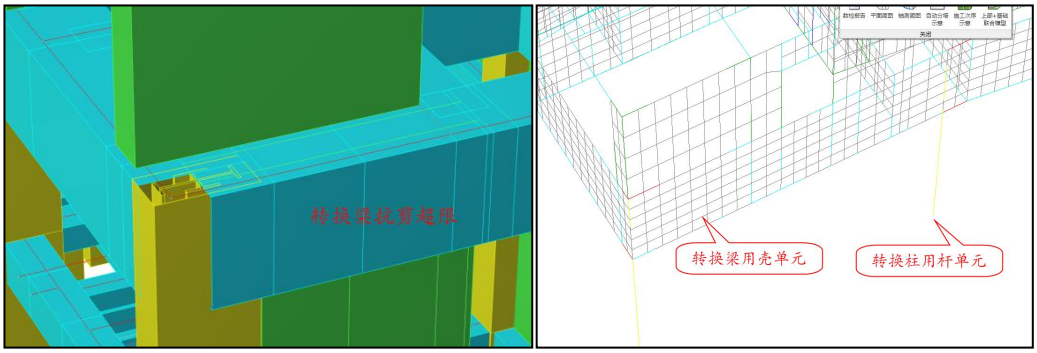


图 2.4.12 框支转换

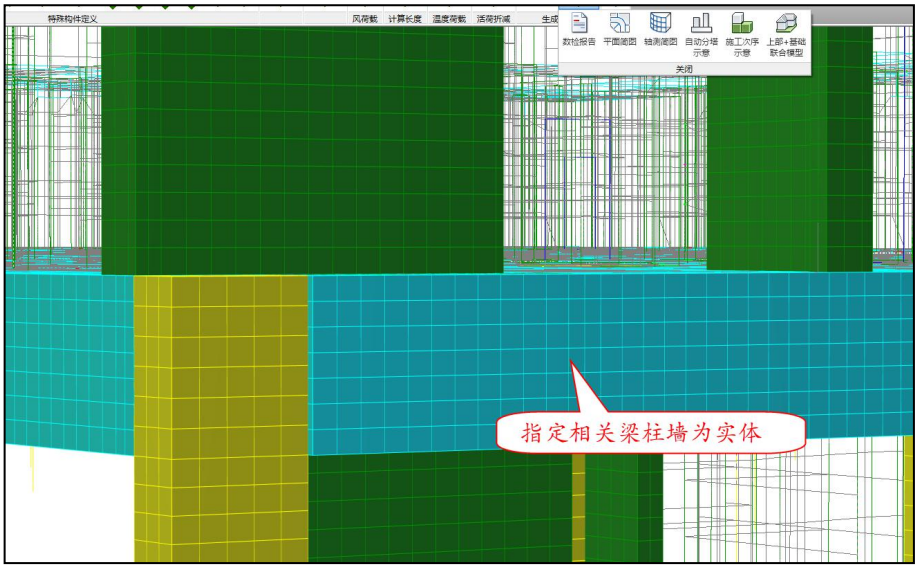


图 2.4.13 框支转换局部指定为实体

程序可处理转换梁与上面承托墙轴线不一致的情况。以往以杆元和壳元为主的计算模型，为了确保上下层构件之间的协调关系，在建模中应尽量遵循楼层之间轴线网格对位的原则。对于转换层工程，其转换大梁与上层的竖向构件往往不是中到中对齐，因此在建模时为了一般按上层轴线位置定位转换梁，再设置较大的偏心，以反映梁的实际位置。实际工程中的转换层情况往往比较复杂，大量的偏心会导致计算模型中产生较明显的构件变形、归并，并且对于转换梁上托双墙、拐角墙等情况，需要设置大量的刚性杆（虚梁），也进一步增加了建模和计算模型处理的复杂性。可以说，长久以来，利用软件计算转换层工程，是设计工作的一个难点。

针对上述情况，软件扩展了实体元计算模型的应用方式，对于设置为转换层的楼层，其实体元构件可支持与上层非同轴实体构件相连，因此当计算模型中使用实体元计算转换层及关联楼层时，建模中可不需刻意将转换框架的轴线与上层剪力墙部分的轴线对位，也无需人为添加刚性杆相连。如下图所示转换结构，剪力墙与下层转换梁分别按各自轴线布置，计算结果中可确认其变形协调：

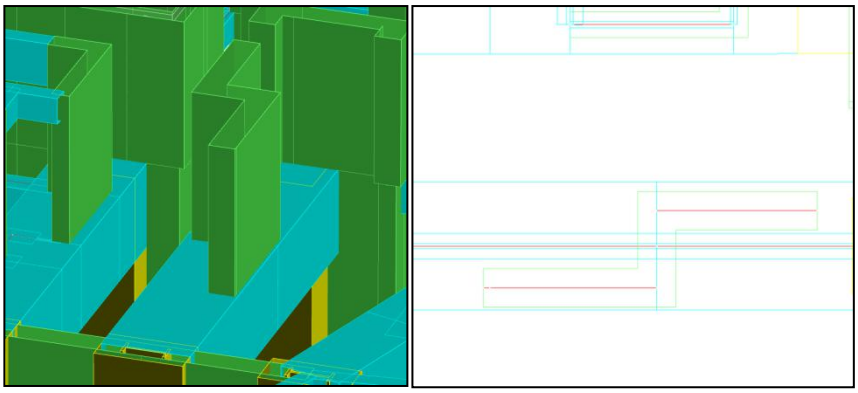


图 2.4.14 转换梁与剪力墙轴线不对应

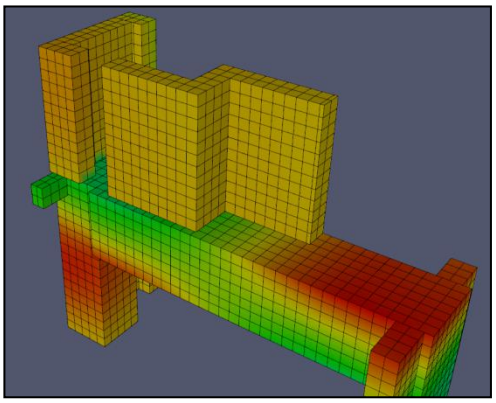


图 2.4.15 转换梁与剪力墙轴线不对应

另外，需注意的是，由于该处理仅为计算模型中的处理，因此在建模竖向导荷、数检等过程中，仍将上下不同轴的情况视为未连接或悬空，此时选择忽略即可。但是对于基础设计，建模中竖向导荷的结果是不能使用的，基础设计的导荷结果应为整体计算后的有限元计算结果。

18、吊车梁

软件对布置了吊车荷载位置的梁自动认定为吊车梁，用户可在特殊梁菜单下对吊车梁的定义补充和修改。

19、连梁钢板

为剪力墙连梁中布置钢板，以按照《高层建筑钢-混凝土混合结构设计规程》CECS 230:2008 规定的方法进行钢板连梁设计可以有效地解决连梁抗剪超限的问题，为了可对剪力墙连梁按照钢板连梁进行设计，在特殊梁和剪力墙菜单下增加了“钢板连梁”菜

单，可对剪力墙连梁补充进行钢板连梁的定义。

钢板连梁输入的内容是钢板的厚度和钢板的高度，然后用鼠标布置在需要设置为钢板连梁的剪力墙连梁上。

连梁上加钢板的方式可立竿见影地增加连梁的抗剪承载力，且施工方便，不像其他提高抗剪能力的措施限制条件多，如设置交叉斜筋的连梁截面宽度需不小于 250mm，设置对角斜筋配筋或对角暗撑配筋的连梁截面宽度需不小于 400mm 等。

20、竖向地震

根据《高规》4.3.13、4.3.14 条规定及相关条文说明，大跨结构、悬挑结构、转换结构及连体结构的连接体等宜采用时程分析方法或者振型分解反应谱法计算竖向地震作用，并且应考虑其支承结构刚度。

对于上述结构体若采用单独建模方式计算，不易模拟其支承结构的刚度；而对整体模型进行反应谱法竖向地震作用计算，由于振型参与质量系数以整体模型计算，难以达到 90%的规范要求，很难判断振型数量是否足够。即便在地震作用信息中选择了“计算水平和竖向地震作用（独立求解）”仍有这种状况。由于有效质量系数不能达标，造成按《高规》4.3.15 最低限值控制的放大系数很大，这种异常大的放大系数使考虑竖向地震计算的设计结果异常不能用。

故程序设置了“计算水平和竖向地震作用（局部模型独立求解）”选项，这种算法是在竖向地震和水平地震分别独立求解的基础上进行的，由用户指定需要考虑竖向地震的局部模型范围，如大跨度或悬挑部分，软件在考虑整体结构刚度的基础上，仅考虑局部模型范围的质量进行竖向地震作用计算。这样竖向地震的参与质量系数以对应局部模型为考量，从而可以评估这些局部构件的竖向地震效应是否达标。根据规范按底限值控制的放大系数可以正常处理，从而保证了竖向地震的正常计算结果。

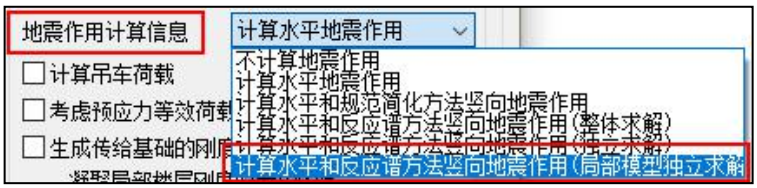


图 2.4.16 竖向地震作用

在计算参数中选择了“计算水平和反应谱方法竖向地震作用（局部模型独立求解）”

后，用户需在本菜单下运行“竖向地震”菜单，在各层指定需要考虑竖向地震影响的构件。

可在构件信息中查看竖向地震内力的放大系数 jzz 的数值，大于 1 时输出。按照该算法计算后，wzq.out 文件不再输出各楼层竖向地震作用系数调整情况。

21、构件刚度（梁、柱、撑）

图 2.4.17 构件刚度

该功能用于独立指定杆件（梁、柱、撑）的 6 组刚度系数，用于实现特殊模型的精细力学分析。

通过特殊梁、特殊柱、特殊支撑下的构件刚度菜单调用此功能。

该刚度系数在输入过程中不与软件已有的刚度系数参数产生联动，其与参数或其他特殊构件定义中设置的刚度系数，以及软件自动生成的刚度系数的关系如下：

各种定义的优先级为：“构件刚度”>“刚度系数”>“梁刚度放大系数”，他们的关系是替换的关系。

①梁：

a) 对于普通梁构件，其 2、3 轴抗弯刚度系数读取计算参数中的“梁刚度放大系数”；

b) 对于连梁构件，其 2、3 轴抗弯刚度系数读取计算参数中的“连梁刚度折减系数”；

c) 对于组合梁构件，当点击“特殊梁”中的“组合梁自动生成”后，其刚度系数自动生成，但仅生成 3 轴抗弯刚度系数；

d) 当使用“特殊梁”中“刚度系数”对梁进行修改时，对于普通梁及连梁，修改其 2、3 轴抗弯刚度系数；对于组合梁，修改其 3 轴抗弯刚度系数；

e) 当使用“特殊梁”中“构件刚度”对梁进行修改时，对于普通梁及组合梁，修

改其所有被指定的轴向、剪切、扭转、弯曲刚度系数；对于连梁，同样修改其所有被指定的轴向、剪切、扭转、弯曲刚度系数，但 2、3 轴抗弯刚度系数还要与之前定义的连梁刚度折减系数连乘；

f) 若构件设置了外包角钢加固法，则在上述刚度上连乘外包角钢后的截面刚度放大系数；

g) 当交互指定了构件刚度后，以上 6 组系数将在后处理构件信息中输出，未交互指定则不输出。

②柱：

a) 当使用“特殊柱”中“构件刚度”对柱进行修改时，修改其所有被指定的轴向、剪切、扭转、弯曲刚度系数；

b）若构件设置了外包角钢加固法，则在上述刚度上连乘外包角钢后的截面刚度放大系数；

c) 当交互指定了构件刚度后，以上 6 组系数将在后处理构件信息中输出，未交互指定则不输出。

③支撑：

与柱原则相同。

注意：该功能中交互输入数值均应为相对值。

22、下翼缘稳定

此功能用于框架梁下翼缘稳定性验算的指定，程序首先读取参数“按钢规 6.2.7 验算梁下翼缘稳定”，根据《钢结构设计标准》第 6.2.7 条规定，支座承担负弯矩且梁顶有混凝土楼板，当正则化长细比大于 0.45 时，计算框架梁下翼缘稳定性并以 F2 输出。当特殊梁取消“下翼缘稳定”属性时，程序只计算框架梁正则化长细比不进行框架梁下翼缘稳定性验算。

23、屋盖关键构件

此功能用于大跨屋盖结构，当构件指定“屋盖关键构件”时，针对关键杆件的地震组合内力设计值程序执行《抗规》第 10.2.13-1 条乘以增大系数取值，7、8、9 度分别按 1.1、1.15、1.2 采用。

24、空间属性

梁、斜杆在不同结构中常表现为不同的属性，但以前软件对钢结构的梁、非柱属性的斜杆，默认都设置为钢框架的中心支撑属性，抗震设计时将按照《抗震规范》8.4 节关于中心支撑的长细比、杆件宽厚比、高厚比的规定进行计算。

但是，对于非钢框架中心支撑属性的梁、斜杆来说，由于《抗震规范》8.4 节的规定比一般钢结构杆件严格得多，这样的计算很容易被判断为超限。

该选项用来指定梁、支撑为除了钢框架中心支撑以外的其他属性：

图 2.4.18 空间属性的结构类型

对于一般桁架结构、网架、双层网壳、立体桁架等结构类型，软件提供杆件类型供用户选择：

图 2.4.19 空间属性的杆件类型

对于不同属性梁、斜杆的局部稳定及刚度控制，软件具体实现如下：

钢框架-中心支撑：非抗震按《钢结构规范》控制，抗震按《抗震规范》8.4.1 控制；

钢框架-偏心支撑：非抗震按《钢结构规范》控制，抗震按《抗震规范》8.5.2 控制；

一般桁架杆件：局部稳定按《钢结构规范》5.4.1 条、5.4.2 条控制，长细比按《钢结构规范》5.3.8 条、5.3.9 条控制(长细比限值：压杆 150，拉杆 300)；

网架、双层网壳、立体桁架：局部稳定按《钢结构规范》5.4.1 条、5.4.2 条控制，长细比按《空间网格结构技术规程》5.1.3 条控制(长细比限值：压杆 180，拉杆 250)；

单层网壳：局部稳定按《钢结构规范》5.4.1 条、5.4.2 条控制，长细比按《空间网格结构技术规程》5.1.3 条控制(长细比限值：压杆 150，拉杆 250)；

门刚支撑：局部稳定按《钢结构规范》5.4.1 条、5.4.2 条控制，长细比按《门刚规程》3.5.2 条控制(长细比限值：压杆 220，拉杆 400)。

25、宽厚比限值

程序默认为“0”，即限值自动执行“钢构件设计信息”中勾选的钢构件宽厚比、高厚比规范自动控制，当交互修改限值后，程序按修改的限值数值进行控制。

二、特殊柱

特殊柱包括 16 项子菜单，如下图所示：

图 2.4.20 特殊柱定义菜单

1、角柱

需用户用光标依次点取需定义成角柱的柱，则该柱旁显示“JZ”，柱变为暗黄色，表示该柱已被定义成角柱，若想把定义错的角柱改为普通柱，只需用光标在该柱上点一下即可，“JZ”标识消失，表明该柱已被定义为普通柱了。

2、自动角柱

点击该菜单后，软件可将本层或全楼结构平面最外圈轮廓拐角处的柱自动设置为角柱。需要注意，角柱的自动判断目前尚不能考虑有悬挑梁或者跃层柱等情况，其结果仅作为参考，需用户进一步确认。

3、转换柱

转换柱由用户自己定义。定义方法与“角柱”相同，框支柱标识为“KZZ”，颜色为亮白色，同转换梁。

4、门式刚柱

门式刚柱由用户自己定义。定义方法与“角柱”相同，门式刚柱标识为“MSGZ”，颜色为暗灰色，同门式刚梁。门式刚架柱在验算时，将按照轻钢规程。

5、上端铰接、下端铰接、两端铰接、两端固接

这里设置铰接柱，可以设置上端铰接柱、下端铰接柱、两端铰接、两端固接柱。

用户点取需定义为铰接柱的柱，上端铰接时柱节点位置绘出一个较大的红色圆圈，下端铰接则绘出一个较小的红色圆圈。

6、剪力系数

可以指定柱两个方向的地震剪力系数。这是针对广东规程提供的系数。

7、水平转换

《高规》10.1.4 条规定：“转换结构构件可采用转换梁、桁架、空腹桁架、箱形结构、斜撑等，非抗震设计和 6 度抗震设计时可采用厚板，7、8 度抗震设计时地下室的转换结构可采用厚板。特一、一、二级转换结构构件的水平地震作用计算内力应分别乘以增大系数 1.9、1.6、1.3。”

对于桁架、空腹桁架、斜撑转换等形式，柱、支撑等构件都可能是转换结构的一部分。用户可在此指定某构件为水平转换构件，软件将对指定为水平转换构件属性的构件调整其水平地震作用计算内力。

8、轴压比限值增减量

《高规》10.3.3-2 条规定：“加强层及其相邻层的框架柱，箍筋应全柱段加密配置，轴压比限值应按其他楼层框架柱的数值减小 0.05 采用。”

《高规》10.5.6-2 条规定：“与连接体相连的框架柱在连接体高度范围及其上、下层，箍筋应全柱段加密配置，轴压比限值应按其他楼层框架柱的数值减小 0.05 采用。”

对于上述规定，软件没有自动执行，主要考虑自动判断的结果可能不符合工程实际，

因此提供该功能。对于上述规定范围内的柱，用户可手工指定轴压比限值增减量，如填-0.05 表示限值减小 0.05。

对于其他情况的框架柱、框支柱，软件可自动根据规范相关规定确定轴压比限值。

9、贮仓支柱

《抗规》附录 H 多层工业厂房抗震设计要求：

“H.1.6 竖向框排架厂房的地震作用调整和抗震验算，应符合下列规定：

1 一、二、三、四级支承贮仓壁的框架柱，按本规范第 6.2.2、6.2.3、6.2.5 条调整后的组合弯矩设计值、剪力设计值尚应乘以增大系数，增大系数不应小于 1.1。

……

H.1.7 竖向框排架厂房的基本抗震构造措施尚应符合下列要求：

1 支承贮仓的框架柱轴压比不宜超过本规范表 6.3.6 中框架结构的规定数值减少 0.05。

2 支承贮仓的框架柱纵向钢筋最小总配筋率应不小于本规范表 6.3.7 条中对角柱的要求。

……”

对于用户定义了贮仓支柱的柱，软件自动执行以下：

1）一、二、三、四级支承贮仓壁的框架柱，按《抗规》第 6.2.2、6.2.3、6.2.5 条调整后的组合弯矩设计值、剪力设计值乘以增大系数 1.1；

2）支承贮仓的框架柱轴压比按《抗规》表 6.3.6 中框架结构的规定数值减少 0.05 控制是否超限；

3）支承贮仓的框架柱纵向钢筋最小总配筋率按照《抗规》表 6.3.7 条中对角柱的要求。

10、杆端释放/删除释放

该功能用于自定义杆端 6 个自由度上的刚度，支持输入绝对刚度和相对刚度。

11、桁架腹杆

对于钢结构桁架模型，其腹杆按柱输入时，可在此指定其腹杆属性，用于钢结构节

点设计。

12、门刚抗风柱

对于门式刚架的抗风柱，当屋面荷载全部由刚架承受，抗风柱不承受上部刚架传递的竖向荷载，只承受自身的重量和风荷载时，可通过本菜单指定其抗风柱属性。此时定义的抗风柱的局部稳定限值按《钢结构规范》5.4.1 条、5.4.2 条控制，长细比限值按《钢结构规范》5.3.8 条、5.3.9 条控制。

13、构件刚度

见“特殊梁”中“构件刚度”的说明。

14、屋盖关键构件

见“特殊梁”中“屋盖关键构件”的说明。

15、钢柱限值

程序默认为“0”，即限值自动执行“钢构件设计信息”中勾选的钢构件宽厚比、高厚比、长细比规范自动控制，当交互修改限值后，程序按修改的限值数值进行控制。

三、特殊支撑

图 2.4.21 特殊支撑定义菜单

1、水平转换

《高规》10.1.4 条规定：“转换结构构件可采用转换梁、桁架、空腹桁架、箱形结构、斜撑等，非抗震设计和 6 度抗震设计时可采用厚板，7、8 度抗震设计时地下室的转换结构可采用厚板。特一、一、二级转换结构构件的水平地震作用计算内力应分别乘以增大系数 1.9、1.6、1.3。”

对于桁架、空腹桁架、斜撑转换等形式，柱、支撑等构件都可能是转换结构的一部

分。用户可在此指定某构件为水平转换构件，软件将对指定为水平转换构件属性的构件调整其水平地震作用计算内力。

2、转换柱

柱按斜杆输入时，可在此指定其为转换柱。

3、单拉/压杆

程序对于单拉、单压杆件的设计须在计算前处理操作两步：第一步，使用特殊支撑下的“单拉杆”、“单压杆”菜单指定相关的杆件为单拉或者单压；第二步，在计算参数的荷载组合页面，在“组合表”选项页中把相关的组合设置为非线性属性。

（1）特殊支撑菜单下设置单拉杆或单压杆

在特殊支撑菜单下使用 “单拉杆”和“单压杆”菜单对斜杆进行设置。

图 2.4.22 指定单拉/压杆

（2）非线性组合计算

软件对于静力工况的组合，支持先组合后分析功能，这样可以支持部分非线性计算功能，比如单拉杆。只需要在前处理计算参数中进行相应设置，软件即可完成非线性组合的分析功能。

在“计算参数”-“组合表”选项页中勾选“采用自定义组合”，并在下面的非线性选项下点取“全选”，这样软件将自动把相关的组合设置为非线性属性。

注意：按“全选”功能键也不会把地震、人防、吊车等软件不支持非线性分析的组合选上。

软件对这些非线性组合采用先组合后分析的计算方式，后续设计可以接力计算结果进行后续处理。

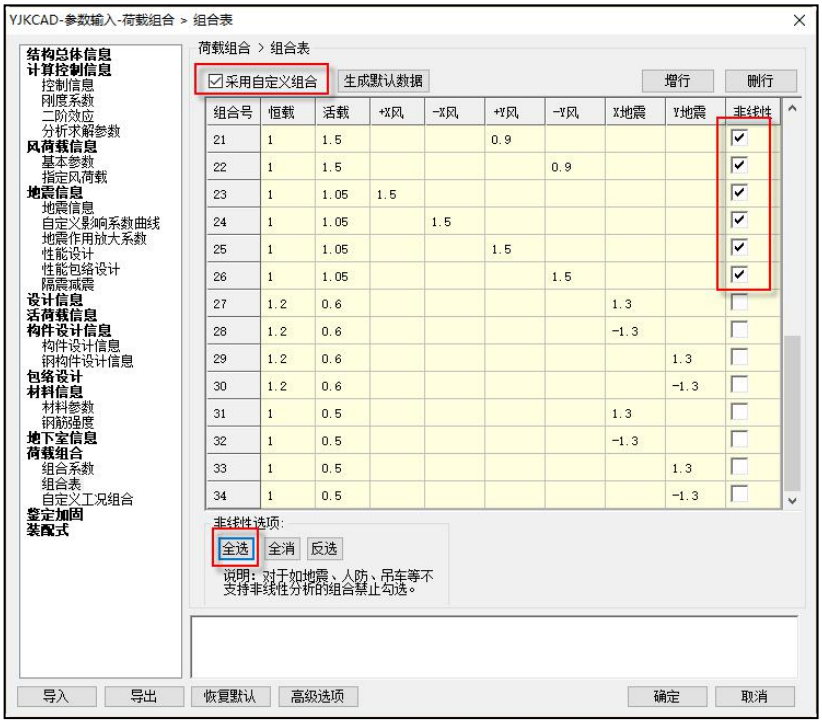


图 2.4.23 组合表中非线性组合

对于设置成非线性的组合，在后续结果查看中采用工况的管理方式，也就是作为一种特殊的单工况，在单工况中查看计算结果。

在荷载组合时，如果是非线性组合，则直接读取计算结果，不再重新组合。

由于非线性组合只能处理一次性加载的工况，因此对于如下情况，将不予支持：

1）对于恒载，不支持施工模拟过程；

2）对于活载，不支持梁的不利布置、活荷折减；

3）对于人防组合，由于人防内力是采用仅有地下室的局部模型，因此不支持；

4）对于含有吊车荷载的组合，由于计算结果是预组合后的，且柱、梁的预组合目标不同，因此不支持；

5）对于组合梁施工阶段验算，由于是单层模型，因此不支持；

6）对于空心板，由于采用局部模型计算，因此不支持；

7）对于含有地震的组合，由于采用振型分解反应谱法，因此不支持；

8）目前仅支持基本组合，尚不支持标准组合、频遇组合、准永久组合等。

另外，软件对于前处理设置了单拉、单压属性的支撑，在设计时强制将反向轴力置0（主要针对未考虑非线性组合的情况，及目前不能考虑非线性组合的情况），同时输出单拉、单压设计属性。

4、角柱

柱按斜杆输入时，可在此指定其为角柱。

5、两端铰接、上端铰接、下端铰接、两端固接、本层固接、全楼固接

这里可以对斜柱支撑杆件设置铰接，可设置为上端铰接、下端铰接或两端铰接。铰接支撑的定义方法与“铰接梁”相同，铰接支撑的颜色为亮紫色，并在铰接端显示一红色圆圈。

对定义为混凝土材料的斜柱支撑，程序隐含设置成两端固接；但对于钢材料的支撑，当其截面最长边小于 700mm，且与垂直方向角度大于 20 度时，程序将其隐含定义为两端铰接。如与实际情况不符，用户需进行修改。或通过全层固接、全楼固接菜单重新定义。

6、定义/设置/修改/删除连接属性、显示连接参数

这里可将建模中输入的斜撑杆件定义为消能减震单元，并输入消能减震单元的线性特性（有效刚度，有效阻尼）或非线性特性（刚度，阻尼，阻尼指数）。

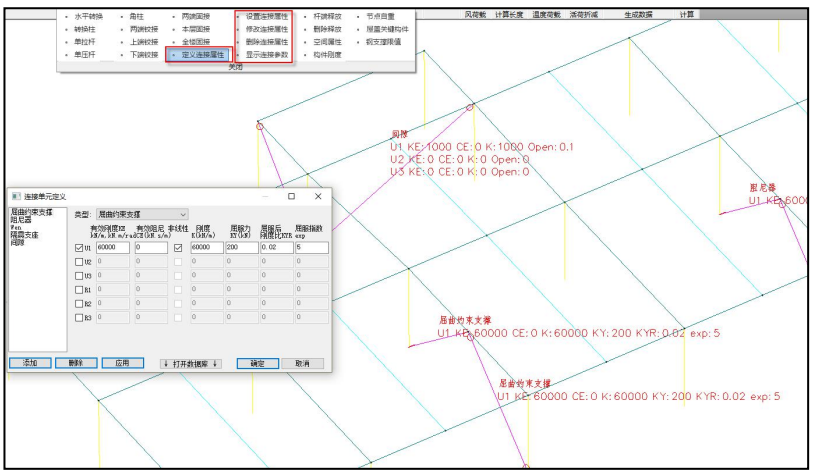


图 2.4.24 消能减震单元菜单

还可在前处理的节点属性菜单下设置消能器，在那里通过两点约束、单点约束、设置支座等方式来设置任两节点之间的消能减震属性。

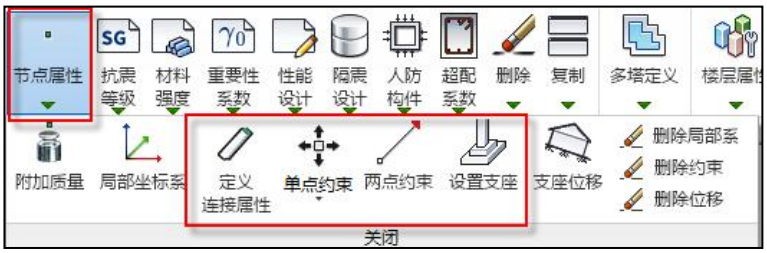


图 2.4.25 设置支座菜单

7、杆端释放/删除释放

该功能用于自定义杆端 6 个自由度上的刚度，支持输入绝对刚度和相对刚度。

8、空间属性

见“特殊梁”中“空间属性”的说明。

9、构件刚度

见“特殊梁”中“构件刚度”的说明。

10、节点自重

节点自重，用于空间结构施加荷载下的“球节点自重”，输入节点自重占杆件重的比例，在内力分析时用于考虑节点自重的影响。定义中可以框选全部杆件或按不同区域来定义不同的节点自重。

11、屋盖关键构件

见“特殊梁”中“屋盖关键构件”的说明。

12、钢支撑限值

程序默认为“0”，即限值自动执行“钢构件设计信息”中勾选的钢构件宽厚比、高厚比、长细比规范自动控制，当交互修改限值后，程序按修改的限值数值进行控制。相对钢柱，增加了长细比限值（受拉）。

四、特殊墙

图 2.4.26 特殊墙定义菜单

1、地下外墙

程序自动搜索地下室外墙，并以白色标识，由于程序的搜索具有一定的局限性，用户可在此基础上进行人工干预。

当地下室层数改变时，仅地下室的外墙信息予以保留，对于非地下室楼层，程序不允许定义地下室外墙。

2、临空墙

点取这项菜单可定义地下室人防设计中的临空墙，这里临空墙为紫色线绘制。只有在人防地下室层，才允许定义临空墙。

3、临空墙荷载

此项菜单可单独指定临空墙的等效静荷载，缺省值为：6 级及以上时为 110，其余为 210，单位 kN/m^2。

4、连梁分缝

《抗震规范》6.4.7 条：“跨高比较小的高连梁，可设水平缝形成双连梁、多连梁或采取其它加强受剪承载力的构造。”

分缝连梁就是对连梁中部全长设置 1 道或几道水平缝，点取本菜单后要求用户输入连梁分缝数量，如 1 或 2，然后点取需设缝的连梁。

分缝连梁抗弯刚度及受力大大减少，可有效避免连梁超筋或大大减少连梁配筋。

5、交叉配筋

《砼规》11.7.10 条：“对于一、二级抗震等级的连梁，当跨高比不大于 2.5 时，除普通箍筋外，宜另配置斜向交叉钢筋……”

按照混凝土规范提供的配置交叉斜筋的方式计算连梁钢筋，可比普通方式大大提高连梁的抗剪能力，从而大大减少超筋现象。用户可在本菜单下，将某些连梁设置成按照这种方式配筋。

6、对角暗撑

类似交叉斜筋，这里设置另一种连梁配筋方式，即按照对角暗撑的斜筋配筋方式。

7、对角斜筋

设置连梁配筋方式为对角斜筋。

以上三种措施对于按照墙洞口和按照普通梁输入的连梁都起作用。

8、连梁折减

可单独指定剪力墙洞口上方连梁的刚度折减系数，缺省值为“计算参数”中计算控制信息页的“连梁刚度折减系数”。

9、竖向配筋率

可以在此处指定与统一定义的剪力墙竖向分布筋配筋率数值不同的剪力墙的竖向分布筋配筋率。如当某边缘构件纵筋计算值过大时，可以在这里增加所在墙段的竖向分布筋配筋率。

10、水平配筋率

可以在此处指定与统一定义的剪力墙最小水平分布筋配筋率数值不同的剪力墙的水平分布筋配筋率。

11、徐变折减系数

《广东高规》5.2.6 条：“计算长期荷载作用下钢（钢管混凝土）框架-混凝土核心筒结构的变形和内力时，考虑混凝土徐变、收缩的影响，混凝土核心筒的轴向刚度可乘以 0.5-0.6 的折减系数。”

软件在上部结构计算参数中的“结构总体信息”中设置参数：竖向荷载下砼墙轴向

刚度考虑徐变收缩影响，勾选此项后将弹出“墙轴向刚度折减系数”参数框，隐含值设为 0.6。勾选此项参数后软件将自动对全楼的剪力墙在恒载和活载计算时的轴向刚度进行折减。

这里的“徐变折减系数”菜单，可以对各层不需要考虑折减的剪力墙修改折减系数为 1。

12、短肢剪力墙

设置墙柱的短肢剪力墙属性，可在程序自动识别的基础上进行修改。

软件自动识别的原则是：对于单肢剪力墙，或 L、T、十字形剪力墙，所有墙肢截面厚度不大于 300mm，且高度与厚度之比均为 hw/bw<=8 时，为短肢剪力墙。墙肢长度的取值，对于 L 型，T 型节点，直接取到正交墙的墙边。

对于三个及以上墙肢相连的剪力墙，如折线型墙、 Z 型墙的腹板墙肢等，软件不自动判断为短肢剪力墙。

短肢剪力墙在图形中以淡红色表示。

13、双肢墙

这里可由用户指定某一对墙为双肢墙，屏幕上对双肢墙用淡紫色显示。

对于双肢墙，当其中一面墙受拉时，软件根据《高规》7.2.4 条，配筋计算时对另外一面墙的弯矩设计值和剪力设计值乘以增大系数 1.25。

14、连梁钢板

见“特殊梁”中“连梁钢板”的说明。

15、防屈曲钢板墙

指定防屈曲钢板墙后，软件按照《钢板剪力墙技术规程》（JGJ/T 380-2015）进行防屈曲钢板剪力墙设计。

16、刚度系数

优化墙的面内、面外和横向剪切 8 个方向的刚度系数，将之前墙的面内刚度调整（钢板砼墙刚度系数）细分为 F11、F22、F12 三个方向，面外刚度调整（墙面外刚度系数）细分为 M11、M22、M12 三个方向，并且增加 V13、V23 两个方向的横向剪切刚度系数。

比如规范建议，钢板剪力墙宜按不承受竖向荷载设计计算，此时可以通过修改面内轴向刚度来实现。

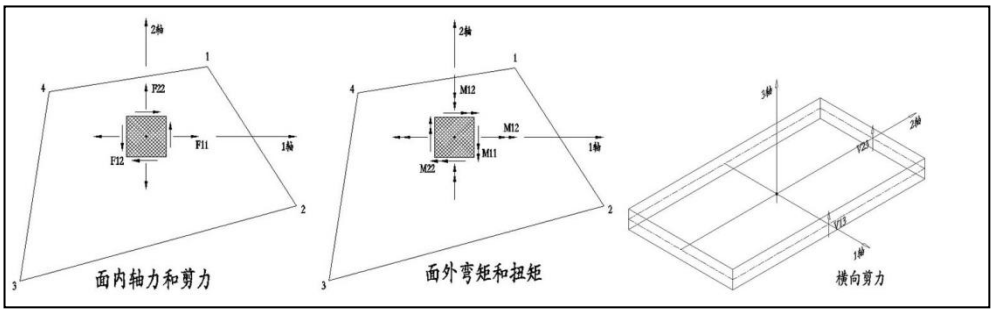


图 2.4.27 墙刚度系数的方向

17、面外设计

指定面外设计后，软件可对剪力墙进行面外设计，面外设计结果见剪力墙构件信息。

五、板属性

图 2.4.28 板属性定义菜单

1、刚性板

本菜单可以查看楼层的刚性板信息。

程序默认将同平面的相连的有厚度平板合并成刚性板块，同一层中允许存在多个刚性板块，但刚性板块之间不可有公共节点相连，因此，即使两房间楼板之间仅有一个公共节点，程序也会将两房间楼板归为一个刚性板块。

选择“强制刚性楼板假定”时，同一塔内楼面标高处所有的房间（包括开洞和板厚为零的情况）均从属同一刚性板，非楼面标高处的楼板，按照非强制刚性楼板假定的原则

进行搜索，形成其余刚性楼板。

2、弹性板

弹性楼板是以房间为单元进行定义的，一个房间为一个弹性楼板单元，定义时，只需用光标在某个房间内点一下，则在该房间的形心处出现一个内带数字的小圆环，圆环内的数字为板厚(单位 mm)，表示该房间已被定义为弹性楼板，在内力分析时将考虑该房间楼板的弹性变形影响；修改时，仅需在该房间内再点一下，则小圆环消失，说明该房的楼板已不是弹性楼板单元。在平面简图上，小圆环内为 0 表示该房间无楼板或板厚为零，（洞口面积大于房间面积一半时，则认为该房间没有楼板）。

弹性楼板单元分三种，分别为“弹性楼板 6”，“弹性楼板 3”和“弹性膜”，其中：

弹性楼板 6：程序真实地计算楼板平面内和平面外的刚度；

弹性楼板 3：假定楼板平面内无限刚，程序仅真实地计算楼板平面外刚度。

弹性膜：程序真实地计算楼板平面内刚度，楼板平面外刚度不考虑（取为零）。

弹性板由用户人工指定，但对于斜屋面，如果没有指定，程序会缺省为弹性膜，用户可以指定为弹性板 6 或者弹性膜，不允许指定为刚性板或弹性板 3。

3、局部坐标系

板单元计算结果的内力、配筋方向是按照该板局部坐标系指定的方向输出的。在整体模型有限元分析时，软件对弹性板计算的局部坐标系的取用是：平楼板时按照整体坐标系的 X、Y、Z 方向；斜楼板时取斜板的局部坐标系，按照随机取到的斜板的第一条斜边设定为该斜板 X 坐标的方向。由于这种随机性导致相邻斜板、甚至相同斜度的斜板局部坐标系不同，导致计算结果给出的 X、Y 方向结果和用户预期不同。

下图为一个景观造型，外径 16m，圆环内部放水景，上面设置一平台可以走人，三根柱子支撑。除了柱间和圆环底部设置大梁之外，其余位置均采用虚梁建模搭成与实际相近的空间造型。全楼弹性板 6 计算，并可在计算结果中查看弹性板的等值线配筋结果。

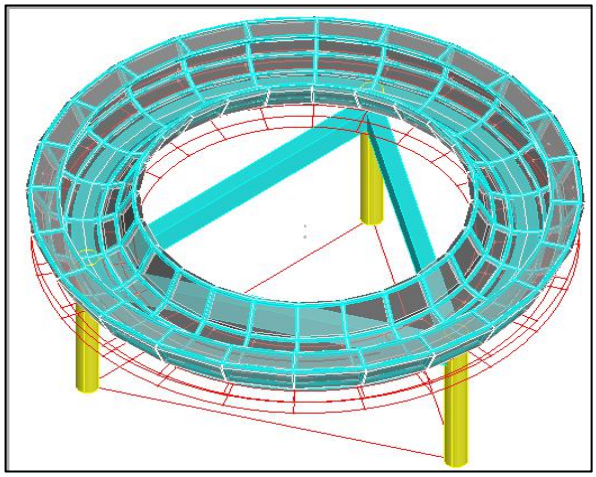


图 2.4.29 弹性板的等值线配筋结果

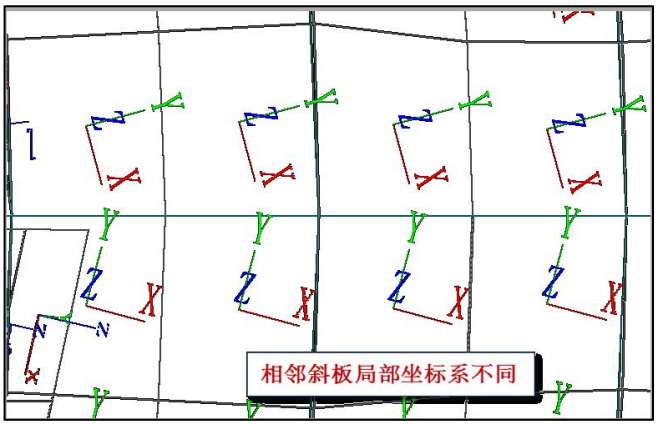


图 2.4.30 弹性板的等值线配筋结果

用户问题是：如果用户不去修改软件设置的局部坐标，则在板单元计算结果显示中，三个内力相同的支座处和三个跨中处，每个单元的 X、Y 两向板配筋显示不同。

在【前处理及计算】-【板属性】菜单下，设置了【局部坐标系】菜单，可由用户修改软件默认设置的局部坐标系。X’、Y’即为局部坐标的方向，一般可通过对话框上的“拾取”按钮，用鼠标点取图形中的两点来拾取坐标系方向。对于斜板，软件支持切换成三维显示进行操作。其中 Y’轴在拾取过程中不要求一定与 X’轴垂直，软件会自动进行正交化处理，并根据 X’，Y’轴按右手系确定 Z’（板法向）方向。

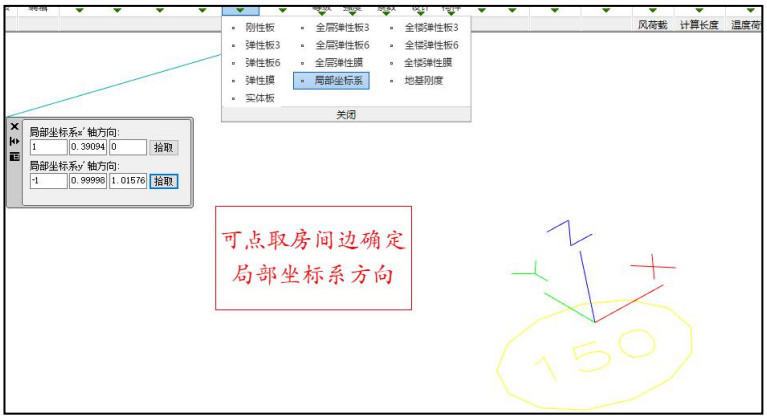


图 2.4.31 局部坐标系

4、地基刚度

“前处理及计算”下设置“地基刚度”菜单，可对弹性板设置地基刚度。地基刚度是向上作用的基础弹簧刚度，以楼板房间为单元输入。

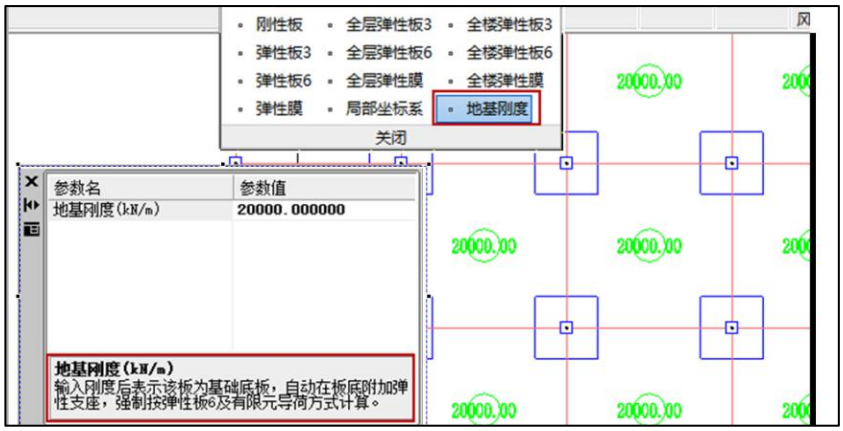


图 2.4.32 地基刚度

地基刚度输入对话框上的说明：输入刚度后表示该板为基础底板，自动在板底附加弹性支座，强制按弹性板 6 及有限元导荷方式计算。

有些情况下，用户可将基础筏板当做厚度同筏板的普通楼板输入，筏板上承受的恒、活荷载当做楼板荷载输入，在计算前处理对筏板楼板输入地基刚度，这样就相当于在上部结构模型下直接输入基础模型，使上部结构和基础合在一起分析计算，同时得到上部结构和基础结构的计算结果。这种方法特别适用于水池、隧道等结构的设计。

对于基床反力系数局部有差异情况，可用虚梁将底板分割为不同板块，设置不同的

地基刚度；如需模拟桩基，可用柱建模进行模拟，承台、柱墩等构件可按柱帽建模模拟。

注意对这样建立的模型上不应出现底层柱下、墙下的支座。为了不出现支座，可将参数“与基础相连构件的最大底标高”填写为比柱底标高低很多的数值，并不要理会软件给出的“楼层悬空”的警告。

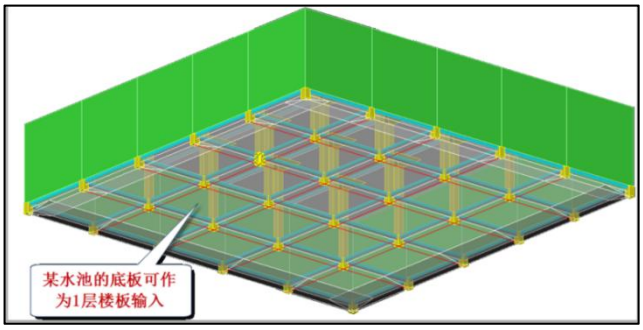


图 2.4.33 楼板图

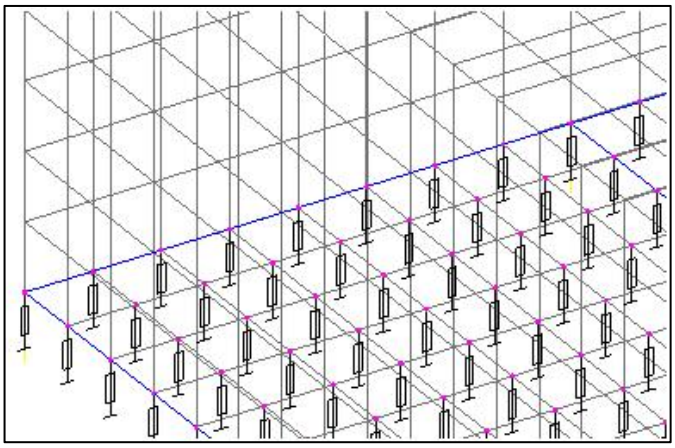


图 2.4.34 地基刚度图

如某水池底板，原来只能当做基础筏板输入，整个水池的设计分为两部分进行，上部结构软件完成池顶池壁的计算，基础软件完成水池池底的设计。

现在可把水池池底当做 1 层楼板输入（1 层的柱只要不作为支座就不会起作用），将 1 层楼板设置为弹性板 6 并输入地基刚度，计算完成后在“等值线”菜单下用查看一般弹性板有限元结果的方法查看筏板楼板的各项计算结果。

5、刚度系数

见“特殊墙”中“刚度系数”的说明。

六、节点属性

图 2.4.35 节点属性定义菜单

杆件之间的连接节点有 6 个自由度，程序隐含将它们设置为刚性连接。铰接设置是释放杆端节点 6 个自由度中的 2 个弯曲自由度。

用户可在节点上设置指定的弹簧刚度或者位移，即可对节点 6 个自由度中的任何一个释放为 0，或者设置为指定的弹簧刚度，或者指定它的位移。比如设置 X 平动刚度为 0，就是释放了 X 向约束，就可以实现杆件在该节点的 X 向滑动。还可在这里设置杆件的阻尼特性或者隔震支座。

下面的局部坐标系、单点约束、两点约束、设置支座、支座位移，以及删除局部坐标系、约束、位移是在节点上设置指定的弹簧刚度、位移、阻尼及隔震的操作。

1、附加质量

可指定节点的附加质量。附加质量是指不包含在恒载、活载中，但规范中规定的地震作用计算应考虑的质量，比如吊车桥架重量、自承重墙等。用户可用本菜单在层的节点上布置附加质量。这里输入的附加节点质量只影响结构地震作用计算时的质量统计。

2、局部坐标系

指定节点局部坐标系的 X 轴，Y 轴的方向。一旦指定了局部坐标系，则该节点自由度的释放/约束，相应方向上施加的弹簧，或者支座节点的强制位移，均按局部坐标系处理。

3、定义连接属性

在两点约束、单点约束和设置支座菜单下除了可以在节点之间设置弹簧刚度外，还可以设置阻尼和隔震，它们都设置了 7 种选项：线性、屈曲约束支撑、阻尼器麦克斯韦、阻尼器开尔文、塑性单元（Wen）、隔震支座、间隙，选择线性时即为弹性约束。

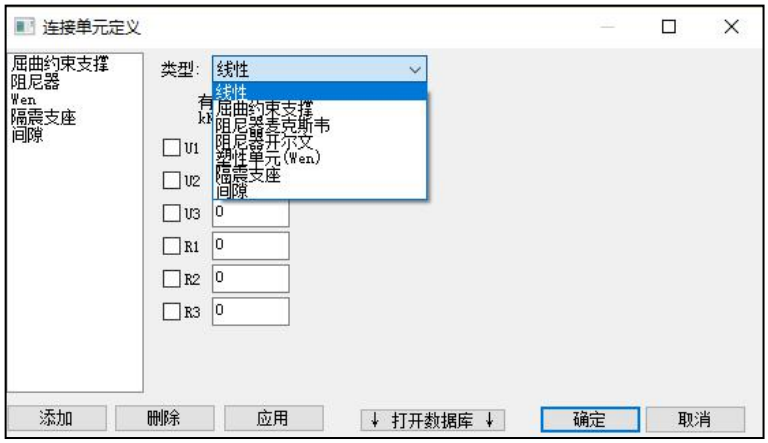


图 2.4.36 连接单元定义

选择“阻尼器麦克斯韦”时弹出对话框如下，是为设置减震装置的相关参数，相当于可在节点之间设置减震装置，以便让程序计算出附加阻尼。

图 2.4.37 阻尼器麦克斯韦参数

软件对消能器附加给结构的有效阻尼比和有效刚度按《抗规》12.3.4 相关公式计算。

选择“阻尼器开尔文”时弹出对话框如下：

图 2.4.38 阻尼器开尔文参数

Kelvin 模型阻尼器，其阻尼系数和阻尼指数含义同 Maxwell 模型，Maxwell 模型中阻尼单元与“弹簧单元”串联，当模拟黏滞阻尼器时将弹簧单元刚度设成一个大值，则模型中只有阻尼单元发挥作用；Kelvin 模型是由一个线性弹簧单元和一个阻尼单元并联组成，当模拟黏滞阻尼器时将弹簧刚度设成 0，参数中的刚度项即为并联的弹簧刚度，数值刚度参数的作用是保证采用 FNA 法时的收敛性，等同 Maxwell 模型中的串联刚度。数值刚度对直接积分法不起作用。

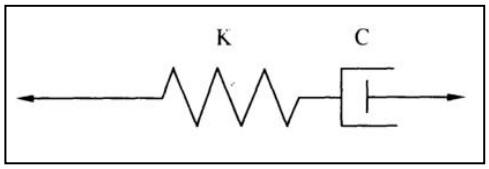


图 2.4.39 Maxwell 模型

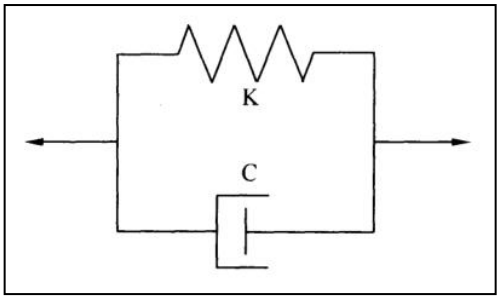


图 2.4.40 Kelvin 模型

选择“塑性单元（Wen）”时弹出对话框如下：

图 2.4.41 塑性单元（Wen）参数

选择“隔震支座”时弹出对话框如下，是为设置隔震装置的相关参数。

图 2.4.42 隔震支座参数

在底层支座处设置隔震装置时，可在“设置支座”菜单下设置，在结构中间楼层设置隔震装置时，应采用“单点约束”菜单设置。

4、单点约束

用于设置支座节点、上下楼层之间连接节点的弹性连接。楼层之间的连接节点一般是柱下、斜撑下与下一楼层连接的节点，楼层之间的弹性连接只能通过单点约束实现。对于设置为支座的节点，指定其约束/释放的自由度，并可在任一自由度上指定弹簧刚度，对于隔震支座，尚可设置其隔震计算所需的线性和非线性参数。除此之外，还可以设置与斜杆消能部件同样的计算参数，也可用于消能减震的计算。

对于中间楼层的节点，若指定了单点约束，则程序自动将该节点与下层对应构件的顶节点之间增加指定的约束，并可在任意自由度上指定弹簧刚度。相当于上下两层之间的两点约束。界面如下图所示。

特殊构件定义中单点约束节点颜色为绿色。

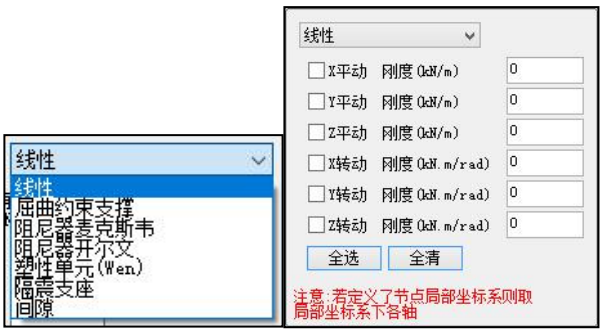


图 2.4.43 单点约束（弹性参数）

图 2.4.44 单点约束（隔震参数）

5、两点约束

常用的约束设置方式，指定同标准层平面内两点间的约束关系，并可在任一自由度上指定弹簧刚度。由于必须是两个节点，因此对于工程中有节点上设置了滑动支座等情况，需要对于支座连接的两部分构件进行人为的拆分，建立距离相近的节点并分别布置构件，然后再指定该两点间的约束关系。两点约束所支持的各种连接类型与单点约束一致，可用于弹性支座、滑动支座、消能部件、隔震支座等的模拟计算。

特殊构件定义和计算简图中均以绿色表示被约束节点，红色表示约束的主节点，绿线表示两节点间存在约束关系，并且附有文字标注。

6、设置支座

可在杆件端部设置支座，杆件端部是指没有和其它构件相连的柱端、斜杆端、梁端，不能在墙端设置支座。

设置的支座，可对该杆端处的 6 个约束设置成全部约束、部分约束或弹性约束，其支持的约束类型与单点约束一致，但此处仅支持对地的支座设置。设置支座的对话框：

图 2.4.45 设置支座

7、支座位移

对于设置为支座的节点，指定其各自由度方向的强制位移。（仅对嵌固的柱、墙、斜杆底部节点有效）。

8、删除局部系、约束、位移

单个删除已定义的局部系、约束、位移。也可以通过自定义删除中的相关选项实现指定楼层的统一删除。

需注意的是，节点属性各项功能交互过程中，均需选中相关的节点。

七、抗震等级

图 2.4.46 抗震等级定义菜单

1、抗震等级

抗震等级缺省值从“计算参数”的“地震信息”页获得，并根据构件性质进行调整：

程序自动搜索主梁和次梁，主梁取框架抗震等级，次梁默认抗震等级为 5 级，即不抗震。主次梁搜索的原则：搜索连续的梁段，判断两端支座，如果有一端存在竖向构件作为支座，即按主梁取抗震等级，这里竖向构件包括柱、墙，竖向支撑。其余为次梁。

对于仅一端有支座的梁，即悬挑梁按照次梁取抗震等级。

转换梁无论主梁转换还是次梁转换，均按主梁取抗震等级。

对于按梁单元建模的剪力墙连梁，软件默认取剪力墙抗震等级。

转换层位置在 3 层及以上时，框支柱的抗震等级按高规表 3.9.3 和 3.9.4 的规定提高一级（高规 10.2.5），此项调整是程序强制执行的。

剪力墙抗震等级缺省值从“地震信息”页“剪力墙抗震等级（非底部加强部位）”参数获得，但有时作些自动的调整，包括：

a) 在“地震信息”页中如选择“框支剪力墙结构底部加强区剪力墙抗震等级自动提高一级(高规表 3.9.3、表 3.9.4)”，则程序对处于底部加强区的剪力墙的抗震等级自动提高一级，并在这里显示提高后的抗震等级；

b)转换层位置在 3 层及以上时，剪力墙底部加强部位的抗震等级按高规表 3.9.3 和 3.9.4 的规定提高一级（高规 10.2.5），此项调整是程序强制执行的，并在这里显示提高后的抗震等级。

对于位于嵌固层以下的各楼层，其抗震等级均取为 4 级（高规 3.9.5 条文说明）。

2、抗震构造措施的抗震等级

程序支持手工指定构件抗震构造措施的抗震等级。

其默认值以构件抗震措施的抗震等级为基础，若在参数中设置了“抗震构造措施的抗震等级提高/降低一级”，则程序自动进行相应修正（但若构件为非抗震，则抗震构造措施抗震等级不作提高，若构件抗震等级为 4 级，则抗震构造措施抗震等级不作降低）。

对于位于嵌固层以下的各楼层，其抗震构造措施的抗震等级默认逐层递减一级，直至 4 级（高规 3.9.5 条文说明）。

八、材料强度

图 2.4.47 材料强度定义菜单

特殊构件定义里修改材料强度的功能与模型荷载输入菜单中的功能一致，两处对同一数据进行操作，因此在任一处修改均可。

对于混凝土构件，程序只显示混凝土标号，钢构件仅显示钢号，型钢混凝土或钢管混凝土等复合截面，则同时显示混凝土标号和钢号，叠合柱则同时显示钢号和内外层混凝土标号，程序会自动按照截面类型进行判断。

缺省值为模型荷载输入菜单中层信息中的各层梁、柱、墙混凝土标号、钢构件钢号。

九、重要性系数

图 2.4.48 重要性系数定义菜单

程序取“计算参数”-“荷载组合”-“组合系数”页中的“结构重要性系数”为构件的默认值。可以通过本菜单对单个构件进行修改。

十、性能设计

图 2.4.49 性能设计定义菜单

该菜单用于分别按《高规》、《广东高规》、《抗规》及《钢结构设计标准》进行性能设计时对单个构件进行性能设计类型的指定。

按《高规》设计时，软件对构件自动默认为关键构件、普通属性构件、耗能构件。如果实际设计的构件与默认不符，用户可在这里修改单构件的性能设计类型。

按《广东规规》设计时，根据关键构件、一般竖向构件和水平耗能构件的区分来指定构件的重要性系数。软件默认剪力墙、转换梁、转换柱为关键构件，柱、支撑为一般竖向构件，梁为水平耗能构件。如果实际设计的构件与默认不符，用户可在这里修改单构件的重要性系数。

按《抗规》设计时，软件根据“计算参数”-“地震信息”“性能设计”页中正截面、斜截面设置的不屈服及弹性对构件自动默认指定。如果实际设计的构件与默认不符，用户可在这里修改单构件正截面、斜截面的性能设计类型为不屈服、弹性或不考虑。

按《钢结构设计标准》设计时，软件根据“计算参数”-“地震信息”“性能设计”页中“性能设计（《钢结构设计标准》(GB50017-2017)）”的设置对构件自动默认指定。如果实际设计的构件与默认不符，用户可在这里修改。

十一、隔震设计

图 2.4.50 隔震设计定义菜单

1、支墩及相连构件

隔标 4.7.2 条规定隔震层支墩、支柱及相连构件应进行大震性能包络设计，此参数用于对构件进行“支墩及相连构件”属性的设置，设置了支墩及相连构件属性的构件才会进行包络设计。

2、构件类型

隔标规定构件设计采用中震下的性能设计，隔震结构构件根据性能要求分为关键构件、普通竖向构件、重要水平构件和普通水平构件，对不同类型的构件按照隔震标准 4.4.6 分别采用弹性和不屈服的设计方法。

用户可在这里设置构件所属的构件类别，软件会自动根据构件所属类别按照规范进行构件验算，构件默认所属类型见下表：

构件类型	所属默认构件	备注
关键构件	支墩、支柱及相连构件， 支撑隔震支座的下部结构， 底部加强部位的剪力墙， 转换梁、转换柱	1.隔震标准 4.7.3 条条文说明中， 底盘中直接支撑隔震塔楼的结构及其相邻一跨的相关构件应为关键构件；
普通竖向构件	除关键构件外的框架柱， 非底部加强部位的剪力墙	
普通水平构件	除关键构件外的框架梁、连梁	

3、性能设计

性能设计可更加灵活的指定罕遇地震下的构件性能，可分别对正截面及斜截面指定弹性或者不屈服。当用户对某个构件设置了支墩及相连构件属性后，软件会自动将其大震性能设置为抗剪弹性，抗弯不屈服。

十二、人防构件

图 2.4.51 人防构件定义菜单

在本菜单中，用户可人工指定需要按照人防设计要求设计的构件。软件首先对自动判断为人防构件的在其上标注符号“AD”，并最终以人工指定的人防构件为准。

十三、超配系数

图 2.4.52 超配系数定义菜单

超配系数一般用于9度设防烈度的各类框架和一级抗震等级的框架结构的强剪弱弯、强柱弱梁计算，以及竖向构件受剪承载力的计算；“计算参数”-“设计信息”中的“实配钢筋超配系数”指定是针对全楼的，“楼层属性”-“材料表”中的“实配钢筋超配系数”指定是针对楼层的，除此之外，可在本菜单中对单构件的实配钢筋超配系数进行指定。

十四、本层删除/全楼删除

点取这项菜单后，如下图所示，可清除当前标准层或全楼的特殊构件定义信息，使所有构件都恢复其隐含假定。另外，程序提供了自定义删除功能，可以指定删除某些楼

层某些构件的指定属性，对于不必一次性删除某类构件所有属性的情况进行了适应。

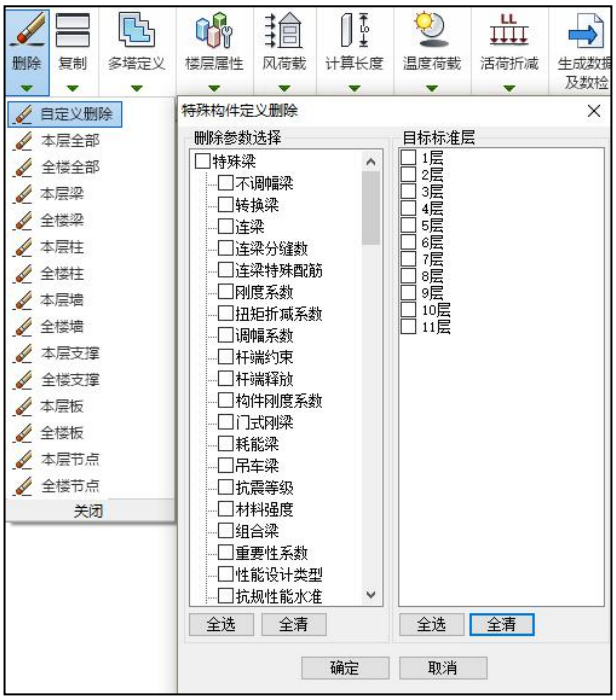


图 2.4.53 特殊构件定义删除

十五、层间复制

点取这项菜单可把在某一标准层中定义的框支柱、抗震等级等按坐标对应关系复制到当前标准层，以达到减少重复操作的目的。

十六、三维状态下进行特殊构件定义

在特殊构件定义的各菜单下，点击界面右下方工具区的图标，见下图。可将模型显示切换到三维线框状态，可在三维状态下进行特殊构件定义的交互设置。再点击该图标一次，则恢复到平面状态。

除特殊构件定义模块外，风荷载交互定义、柱计算长度系数定义、温度荷载定义等均支持在三维线框状态下交互。

图 2.4.54 三维单线图菜单

第五节 多塔定义

在计算参数的计算控制信息页中设置了“是否自动划分多塔”选项和相关的多塔定义参数，如果选择了自动划分多塔，则程序可以实现自动划分多塔。

本菜单用来查看审核多塔的划分情况，或者当自动划分多塔不能正常进行时，进行人工划分多塔。对于由于伸缩缝等情况造成的多塔，可以为风荷载的计算设置塔和塔之间的遮挡关系。

多塔定义的菜单如下图：

图 2.5.1 多塔定义菜单

一、自动生成

图 2.5.2 自动分塔菜单

点取该菜单将进行多塔自动划分。如果本菜单没有执行，在生成数据文件时也会按照参数自动完成多塔划分。

程序找出每层的外轮廓，当存在多个闭合的外轮廓时，就将其作为多塔划分的依据，并考虑上下层之间的关联。对于伸缩缝分割的多塔程序也可以准确划分。

多塔划分完成后进入多塔的三维模型状态，程序将每层各塔的外轮廓沿层高拉伸并组装，各塔用不同的颜色分开。在此状态下，可以对程序划分的状况查看和修改。

1、自动划分多塔

程序有很强的自动划分多塔功能，对多塔结果应在多塔参数中勾选“自动划分多塔”，这样程序在计算生成数据将按照多塔划分的结果。

如果在“多塔定义”菜单下执行“自动生成”菜单，该命令和本参数将联动起作用。

2、自动划分时不考虑地下室

一般地下室是一个整体，不必按照多塔模型计算。而且，地下室常出现错层跃层、孤立的天井等容易导致自动划分异常的情况。程序隐含对地下室不划分多塔。

3、可确定最多塔数的参考层号

这个层的划分的塔数决定结构最高部分最终的塔的数量，对于多变体型的多塔结构，该参数可以影响多塔划分的效果。

比如，当塔楼顶部有多个突出的楼梯间、水箱间时，不应再将它们划分多塔。因此本参数的层号只要在该突出层以下，多个突出的小间仍被当做一个塔计算。

也不能将该层号填的太低，至少常设在群房上一层。如果裙房和各塔无伸缩缝，该层号填在裙房层时，可造成划分的结果只有一个塔。

4、各分塔与整体分别计算，配筋取各分塔与整体较大值

选择执行本参数，程序将各分塔与整体分别计算，程序将进行各个塔的离散化处理，程序可对其中的每个塔按照规范的要求自动切分成单个塔，每个分塔各包含底部模型，切分底部模型的范围是塔下 45 度范围。并对每一根构件的配筋选取本身所在的分塔计算结果和整体计算结果的较大值。计算将耗时很多。

选择本参数后，在生成计算数据后，可在计算简图下的计算分塔示意中看到每一个塔分开计算的三维模型。

二、分塔参数

对于多塔工程，软件支持指定分塔的部分参数，包括结构体系、风荷载体型系数等。其塔号以分塔结果中显示的塔号为准，在多塔平面、多塔三维中均可查看塔号。

三、多塔显示的三种方式

程序提供了多塔划分结果的三种显示方式，分别由“三维显示”、“平面显示”、“立面显示”三个菜单实现。

1、三维显示

这里用三维模型显示多塔的划分状态，程序将每层各塔的外轮廓沿层高拉伸并组装，各塔用不同的颜色分开。在此状态下，可以对程序划分的状况查看和修改。

2、平面显示

用平面简图方式显示各个塔的划分结果，逐层显示，对各个塔号部分标注不同的塔号。

3、立面显示

用类似糖葫芦串方式的简图显示多塔划分。对于比较复杂的多塔结构，或者在计算后发现剪力或其他指标异常情况，可以在此先检查一下塔的连接关系是否正确。

四、多塔指定

本菜单用来人工逐层划分多塔，操作逐层进行，也可连续几个楼层进行。

人工划分多塔是在平面视图下，用户用鼠标画的多边形勾画出一个个塔的范围，可将各塔的划分在各层拷贝。

需要注意的是，对于运行过第三项交互修改过塔号、或第四项交互指定过多塔数据的模型，程序将完全保留交互修改后的结果，无论模型如何变动都不再进行刷新，因此若之后模型经过了较大的修改后，多塔信息可能需要重新生成或定义，此时即需要用到下述第八项—数据清空功能。

五、对多塔自动划分修改的几个菜单

把多塔的参数填写得当，一般可以得出理想的自动划分效果。需要人工干预时，可以用程序提供的三个菜单。

1、修改塔号

用于对自动划分结果的合并处理，即把塔号分开的层合并到某一个塔号中。操作在三维彩色模型中进行，程序给出由各层拉伸体组成的全楼模型，不同塔号用不同颜色区分。用户先看好归并的塔号，在该塔模型上鼠标稍作停留，屏幕上即出现 Tip 条显示塔号。在对话框上填入塔号，然后用鼠标逐层选取要归并的层。

2、修改塔高

对于多塔工程，可在自然层高不便修改的情况下，单独对划分好的单塔进行修改，该修改对于整体分析、配筋设计等均可起作用。目前施工图各模块暂未支持此功能。

3、围区增加

在某一楼层上作塔号合并的操作，鼠标围区框住几个需要合并的区域即可。

六、指定单榀计算

单榀计算可以指定某条轴线或轴线上两个节点之间为一榀，程序为该榀生成一个单榀模型进行计算和设计。结果查看在“设计结果”模块的“模型切换”中。

七、遮挡定义及删除

通过这项菜单，可指定设缝多塔结构的背风面，从而在风荷载计算中自动考虑背风面的影响。

遮挡定义的操作是：首先指定起始和终止层号以及遮挡面总数，然后用闭合折线围区的方法依次指定各遮挡面的范围，每个塔可以同时有几个遮挡面，但是一个节点只能属于一个遮挡面。在伸缩缝处可对相邻的两个塔同时指定遮挡面。

八、划分拆分范围及删除

对于多塔工程，当在多塔参数中勾选了“各分塔与整体分别计算，配筋取分塔与整体较大值”选项，软件会自动按照 45 度切出裙房范围内相关构件。但是，对于一些塔楼斜放，平面复杂情况，软件在单塔模型中自动生成的裙房部分模型，可能出现不合理的情况，比如独立构件，悬臂构件等，该情况可以在“计算简图”→“自动分塔示意”中查看。若出现此类情况时，即可用本功能指定该塔相关的裙房范围，替换软件自动生成结果。

使用时，首先指定相关的楼层号，以及相关的塔号，然后在平面中勾勒出所需的裙房范围即可。

另外，除了上述的应用外，对于连体结构，也可以使用该功能，实现有连体多塔的分塔整体包络设计功能。在连体及其上部所有楼层，均围出主塔部分范围（忽略连体部分），即可实现此效果。

九、数据清空

该菜单将清空多塔划分和楼层属性中的人工干预的部分，包括对自动划分结果的人工修改部分、用“多塔指定”菜单人工划分多塔的结果、遮挡定义、交互设置的楼层属性、材料强度等。

第六节 楼层属性

计算前处理的楼层属性菜单，可用来查看和修改楼层属性。屏幕上出现楼层的三维模型，它是用每个楼层的外围轮廓的在层高范围的拉伸体组成的。如果定义了多塔，则对每一层按照分塔的范围显示。鼠标停靠在某个楼层上会即时 Tip 显示该楼层的层号、所属的塔号、层高以及楼层的其它属性，楼层的属性主要有地下室、嵌固层、底部加强区、转换层、裙房、薄弱层、加强层等，不同的楼层属性可用不同的颜色显示。

图 2.6.1 楼层属性菜单

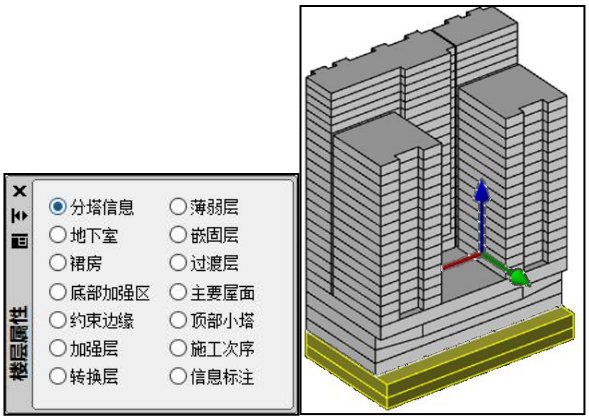


图 2.6.2 楼层属性选项

在三维模型旁出现楼层属性选项框，点取某一种属性，三维模型上就会用该属性的特殊颜色把相关的楼层标注出来。

一、楼层属性的修改

用户可以在三维模型上修改楼层的属性。目前支持加强层、底部加强区、过渡层、约束边缘构件层、主要屋面层及顶部小塔楼的指定。

其中主要屋面层和顶部小塔楼的指定分别针对《广东高规》3.7.3 条和 5.1.21 条。需要先在“计算参数”-“结果所在地区”选择“广东高规 2021”才起作用。设置了主要屋面层后，软件会在 wdisp 文件中输出风荷载下该层质心位移和该层到地面高度之比。设置了顶部小塔楼后，软件会在 wzq 文件中输出该层的质量参与系数。

二、楼层信息

该菜单指定各层（塔）中各类构件的材料强度、构件抗震等级、钢筋标号、实配钢筋超配系数、指标统计选项信息。此处输入的信息优先级仅次于在特殊构件内逐个构件定义的信息。

材料强度默认值取自“模型荷载输入”中定义的标准层的材料强度，但若此处进行了修改，则实际计算模型中已此处设置为准（但是，若特殊构件定义中单独指定的构件材料，则最终以特殊构件定义设置为准）。

对于楼层信息中的交互设置数据，在模型反复改动，但分塔数据未受干扰的情况下，软件会尽可能保留，但一旦模型信息更改较大（比如楼层组装变动等），引起了分塔数据失效，则此处设置需要注意校对一次，确保其仍然正确。另外需注意，多塔定义中的数据清空功能，将清空交互设置的楼层信息。

三、施工次序

对于设置了恒荷载加载考虑施工模拟的情况，其加载次序在此处查看和修改，各功能说明如下：

1、自动施工次序

当工程选用了施工模拟一或三方式进行模拟施工计算时，"生成数据"过程中自动生成施工次序，但程序并不是简单的按照一层一步的方式进行施工模拟，而是依据了一定原则，其目的是为了确保施工模拟中各步骤的模型的合理性，避免出现模型提取的不合理而引起的内力不合理。此处的"自动施工次序"功能，即可单独运行该功能并查看结果。

自动施工次序的原则如下：

①对于程序设置为转换层、或者该层中设置了转换梁、转换柱、水平转换构件的楼层，程序默认与其上两层同时加载；

②对于楼层中存在梁托柱、梁托斜杆情况的楼层，程序默认与其上一层同时加载；

③对于广义层多塔的情况，程序会自动按各塔同时向上施工的原则设定各层的施工次序；

④施工加载的步长取参数设置中的相应设置。

2、表式施工次序

表式施工次序功能是通过表格方式列出各层的施工次序，可直接指定表格中的次序号进行施工次序的设定。

指定施工次序和表式施工次序的结果是联动的。另外，为了保留交互结果，一旦使用了"指定施工次序"或"表式施工次序"功能对施工次序进行过更改,则程序在"生成数据"过程中不再自动刷新施工次序。若需要程序恢复自动施工次序的默认值，只需再主动运行一次"自动施工次序"菜单即可（但是需注意，如果模型的自然层数、转换层号、参数中的施工模拟加载步长这三者之一发生变化时，"生成数据"功能会认为已有的次序可能失效，会对施工次序进行强制刷新）。

3、楼层施工次序

楼层施工次序提供了手工合并/拆分各层施工次序的功能，选中按同一施工步骤进行施工的楼层即可实现调整，程序会自动进行相应的次序拆分和次序号调整。

4、构件施工次序

可以指定任意构件的特定施工次序。

图 2.6.3　构件施工次序

软件自动进行的施工次序是按照楼层顺序指定的，这里可将某些构件设置为不按照楼层顺序施工，而按照用户设定的次序施工。用户需输入施工次序号，然后鼠标点取指定采用该顺序号的构件。

以下例说明指定构件施工次序的应用：

某工程指定斜撑在所有楼层主体完工后安装，示例为某带斜撑楼层，如果用户为了减少斜撑的截面尺寸，只让它承担抵抗水平力、减少楼层侧移的作用，则可以指定所有斜撑在全楼主体完工后安装。

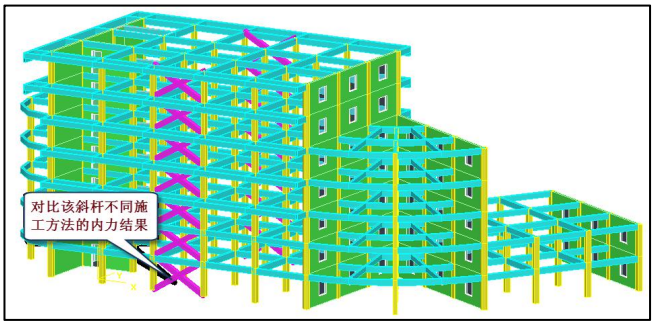


图 2.6.4 构件施工次序

因为全楼共 7 层，软件自动生成的楼层施工次序是逐层向上施工，每个楼层上所有构件的施工次序就是它所在的楼层号。因为斜撑需要在 7 层施工完成后才安装，我们可以将所有斜撑构件的施工次序改为 8。在“楼层属性”菜单下，用“构件施工次序”菜单完成操作。设置完施工次序后，可在计算简图菜单下的“施工次序示意”下查看。

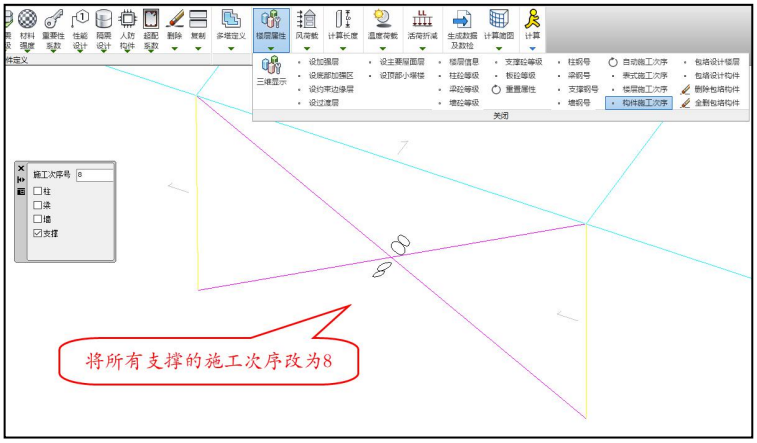
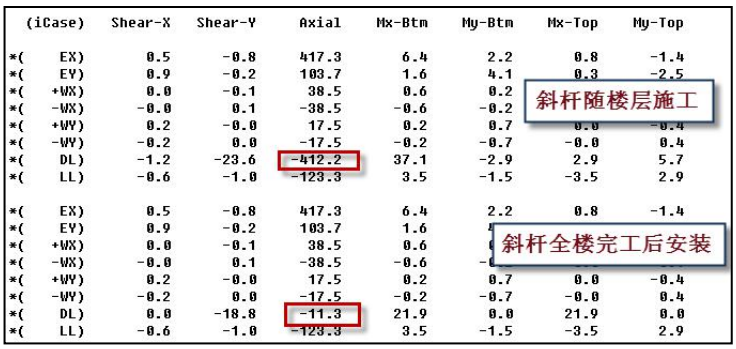


图 2.6.5 构件施工次序

我们分别按照指定斜撑施工次序和不指定斜撑施工次序计算，并对比两者的计算结果。我们用 1 层的斜撑构件，对比两种算法的内力如下图。



(iCase)	Shear-X	Shear-Y	Axial	Mx-Btm	My-Btm	Mx-Top	My-Top
*(EX)	0.5	-0.8	417.3	6.4	2.2	0.8	-1.4
*(EY)	0.9	-0.2	103.7	1.6	4.1	0.3	-2.5
*(+WX)	0.0	-0.1	38.5	0.6	0.2	0.1	-0.4
*(-WX)	-0.0	0.1	-38.5	-0.6	-0.2	-0.1	0.4
*(+WY)	0.2	-0.0	17.5	0.2	0.7	0.0	-0.4
*(-WY)	-0.2	0.0	-17.5	-0.2	-0.7	-0.0	0.4
*(DL)	-1.2	-23.6	-412.2	37.1	-2.9	2.9	5.7
*(LL)	-0.6	-1.0	-123.3	3.5	-1.5	-3.5	2.9
*(EX)	0.5	-0.8	417.3	6.4	2.2	0.8	-1.4
*(EY)	0.9	-0.2	103.7	1.6	4.1	0.3	-2.5
*(+WX)	0.0	-0.1	38.5	0.6	0.2	0.1	-0.4
*(-WX)	-0.0	0.1	-38.5	-0.6	-0.2	-0.1	0.4
*(+WY)	0.2	-0.0	17.5	0.2	0.7	0.0	-0.4
*(-WY)	-0.2	0.0	-17.5	-0.2	-0.7	-0.0	0.4
*(DL)	0.0	-18.8	-11.3	21.9	0.0	21.9	0.0
*(LL)	-0.6	-1.0	-123.3	3.5	-1.5	-3.5	2.9

图 2.6.6 计算结果对比

对斜杆指定施工次序 8 的概念，就是指定斜杆在全楼的 7 层都完工后再安装斜杆。对比斜杆随着楼层同时施工的计算结果，在恒载下斜杆的轴力从-412 降到-11，-11 表明该斜杆只承担自重，不再承担上部结构传来的恒荷载，因为当斜杆安装时，恒载的整体变形已经完成，后安装的斜杆不再受力。

但是，从结果看出，两种施工次序下其它荷载工况的计算结果相同，说明虽然该斜杆不承受恒荷载，但不影响它在地震、风、活等荷载工况下的作用。

四、包络设计楼层、包络设计构件及删除

进行包络设计时，软件默认是对全楼所有构件进行包络设计，用户可在这里设定仅对部分楼层和部分构件进行包络设计。

一旦用户在这里设定了包络设计的楼层（哪怕只设置了 1 个楼层），软件将仅对设置的楼层进行包络设计，而对未被指定为包络设计的楼层不再进行包络设计。

第七节 风荷载

风荷载菜单主要功能是对程序自动生成的风荷载进行校对、修改，也可指定屋面体型系数，从而考虑风对屋面梁的作用。其菜单如下图所示：

图 2.7.1 风荷载菜单

一、自动生成

根据“计算参数”-“结构总体信息”设置的风荷载计算方式，即一般计算方式或精细计算方式，自动计算结构的风荷载。

二、组号

此处的组即表示风荷载作用工况，包括+X，-X，+Y，-Y 四组，选择其中一组，即可显示和修改此工况下节点或梁上的风荷载信息。同样，在当前组号下运行“删除本组”命令，则会清空相应风荷载工况下的所有荷载值。

三、选择横向屋面系数

精细计算方式时，可以根据输入的屋面体型系数自动计算屋面梁风荷载。选择横向是选择考虑风吸力的风荷载作用方向，按整体坐标系取。选择横向为 X 时，考虑 X 向风作用下，屋面上 X 方向的梁上的风吸力；横向为 Y 时类似。

四、杆荷修改、点荷修改、设备修改

交互修改当前组号下的梁上风荷载、节点风荷载、以及输入了石化设备框架时的设备风荷载。节点、石化设备上的风荷载按全局坐标系取值，梁荷载为正时表示向下的压力。

对于以上各处交互输入的数据，程序会做优先考虑，自动计算结果不再将其覆盖。直至运行过“杆荷、点荷、设备删除/全部删除”命令。

五、门刚风荷载

对于刚架结构可利用该功能进行门刚结构杆件风荷载的自动计算，其执行《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范（GB 51022－2015)》中相关规定。

图 2.7.2 门刚风荷载参数设置

用户首先需在风荷载菜单下，将楼层切换至门刚结构所在楼层，然后运行“风荷载”-“自动生成”-“门刚规范”菜单，指定必要参数（如上图所示），包括模型中结构的横向对应的整体坐标系方向（X 或 Y），以及结构的封闭类型（包括封闭式，部分封闭式，敞开式），点击确定后软件自动按门刚规范计算出本层门刚构件各工况下的风荷载值。计算结果为导算至门刚梁、柱上的均布线荷载。

多层门刚生成门刚风荷载可以填写“与下方几层整体计算”参数实现多层门刚风荷载的自动生成。

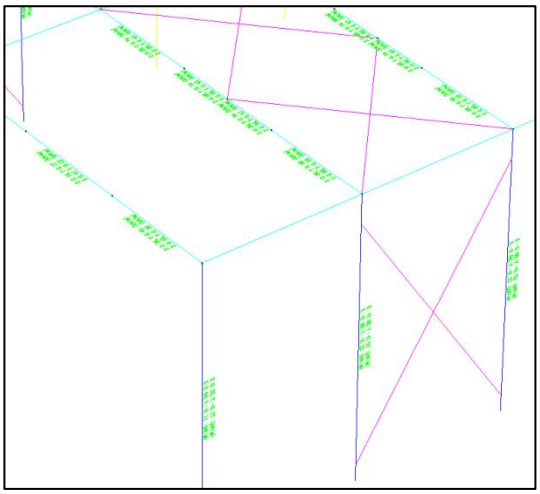


图 2.7.3 门刚风荷载查看

第八节 柱计算长度

一、操作

柱计算长度修改模块提供柱、支撑计算长度系数、梁面外长、墙柱高度的修改，其菜单如下：

图 2.8.1 计算长度系数菜单

柱的计算长度系数可以由程序自动生成，这里显示程序自动生成的柱的计算长度系数，并可人工修改。

在平面简图上，每根柱、支撑旁标注两个数字，分别为柱（或支撑）X 方向和 Y 方向的计算长度系数，X、Y 方向为柱布置时的柱宽、柱高的方向。

需要修改时，可在屏幕对话框上分别填入 X、Y 向的计算长度系数，再点取需要修改的柱即可。

墙柱计算高度：软件对于墙体稳定验算及轴压承载力计算，默认使用墙在本层内的高度，但对于越层墙模型，这种取值是不准确的。软件在此提供交互指定越层墙计算高度功能，以解决此问题。

二、柱计算长度自动生成技术条件

柱计算长度分 X、Y 两个方向分别计算。X、Y 方向指的是柱布置时确定的局部坐标系,与柱布置时的转角有关系。柱子局部坐标系 X 方向弯矩对应 X 向计算长度，Y 向弯矩对应 Y 向计算长度。

柱计算长度等于柱段原始长度乘以计算长度系数。柱段原始长度由柱子的穿串方法和分段方法确定。

1、柱子的穿串和分段

柱的穿串：上下层同一节点有柱子时，才会穿成一串。目前不考虑上下层节点位置不一致但柱截面布置有重叠的情况。

柱的分段：串成柱串后，根据柱子周边构件情况及柱顶柱底设铰情况进行分段。分段工作在柱布置截面的 X 向和 Y 向分别进行，X 向段数、分段位置都有可能与 Y 向不同。程序以下列原则确定柱串上的分界点：

柱顶或柱底设了铰接，则铰接点一定是分界点；

柱边有墙，在墙顶和墙底各生成一个分界点；

柱边有梁的情况，软件会根据一定的判断准则判断梁是否对柱有约束作用。有约束作用的梁会在梁上皮标高位置生成柱分界点，没有约束作用的梁自动被忽略。虚梁等情况不会作为约束梁。

2、计算长度系数

混凝土柱计算长度系数：

混凝土柱计算长度系数按《砼规》表 6.2.20-2 的现浇楼盖部分计算，即底层柱为 1.0，其他为 1.25。不考虑吊车柱和装配式楼盖等情况；

如果柱底无其他构件连接，则认为是底层柱；

与墙相连的柱段计算长度系数统一取 0.75。

钢柱计算长度系数：

柱边有墙的柱段计算长度系数统一取 0.75；

其他情况钢柱计算长度系数按《钢规》附录 D-1 或 D-2 计算。算出结果大于 6.0 时，按 6.0 处理；

程序根据预定义的参数区分有无侧移，不考虑《钢规》5.3.3 的相关判断准则；

柱顶或柱底铰接时，K1 或 K2 取 0；

如果柱顶或柱底与墙相连且未设铰接，则认为是刚接，K1 或 K2 取 10；

底层柱柱底未设铰接，则取 K2 为 10；

梁线刚度和按标高相近的一组梁的线刚度之和考虑；

计算梁线刚度时，考虑了梁刚度调整系数。

三、柱长系数

柱长系数菜单分为“柱长系数”、“柱长系数（无侧移钢结构）”、“柱长系数（分段）”，其中“柱长系数”按照结构为有侧移来计算柱长系数，“柱长系数（无侧移钢结构）”按照结构为无侧移来计算柱长系数，“柱长系数（分段）”针对连接层间梁的柱，可按分段修改系数值。有无侧移选项与钢构件设计信息中柱长系数计算联动。

四、支撑系数

用于指定按照斜杆建模的杆件的计算长度系数。默认值为 1.0。

五、梁面外长

用于指定梁的平面外长度，单位为 m。

六、门刚梁柱加劲肋间距与最大腹板高度之比 A/Hw

执行《门刚规范 GB51022－2015》第 7.1.1-4 和 7.1.1-5 条的规定，工字形截面构件腹板的受剪板幅，考虑屈曲后强度时，应设置横向加劲肋，板幅的长度与板幅范围内的大端截面高度相比不应大于 3。

七、墙柱高度

可以修改墙柱的计算高度，在墙柱的配筋设计和稳定验算中起作用。软件对剪力墙默认的计算高度为所属层高，对于跃层剪力墙等情况，可以人工确定它的计算高度并在这里输入。

第九节 温度荷载

温度荷载菜单下，按自然层定义各层节点上、单根构件、构件表面的温差，目前支持如下工况的定义：

图 2.9.1 温度荷载定义菜单

一、设置温差

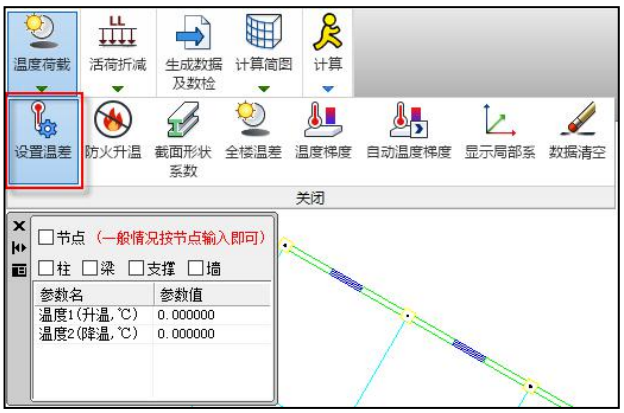


图 2.9.2 设置温差

设置温差菜单可以交互指定节点的温差（默认为当前层构件的顶部节点），也可以交互指定单根构件的升温、降温。

二、防火升温、截面形状系数

详见计算参数—构件设计信息—钢构件设计信息中防火验算部分内容。

三、全楼温差

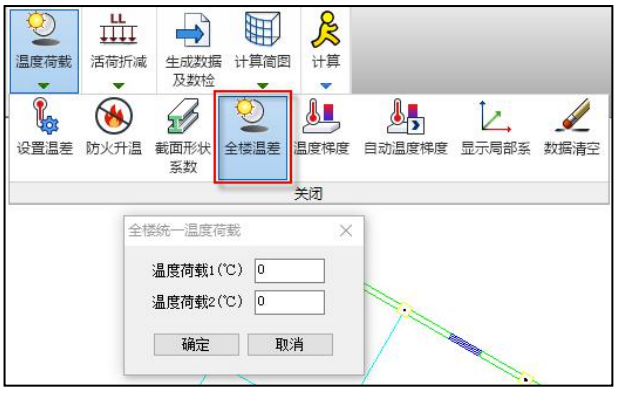


图 2.9.3 全楼温差

全楼温差则统一指定所有节点的温差。正值表示升温，负值表示降温。

四、温度梯度、自动温度梯度

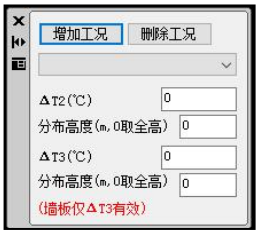


图 2.9.4 温度梯度

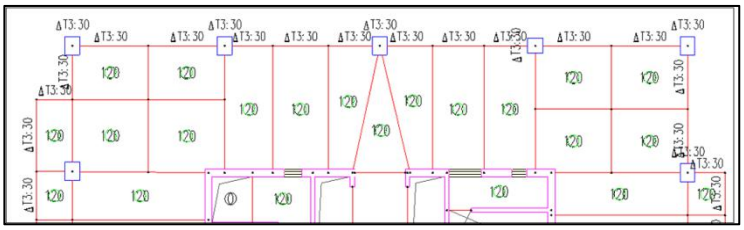


图 2.9.5 温度梯度

温度梯度工况指用户可在梁、柱的 2、3 轴及墙、板的 3 轴方向分别施加温度梯度进行计算（实体元暂时不支持温度梯度），正值表示升温，负值表示降温。软件目前仅支持一种温度梯度参与荷载组合。

五、显示局部坐标系

同菜单下提供了显示构件局部坐标系功能，用于温度梯度输入时进行参照。以梁为例，1 轴为轴向，2 轴为面内，3 轴为面外。

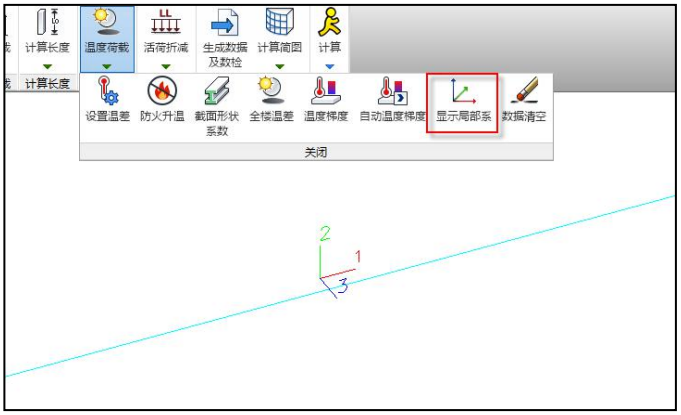


图 2.9.6 梁局部坐标系

第十节 活荷折减

见第五章结构设计技术条件第二节活荷载部分。

第十一节 生成数据及数检

生成结构计算数据是计算前处理的最终工作，它把用户输入的建筑模型与荷载转化成计算模型，并加入计算前处理菜单的补充内容，在此过程中还对结构计算模型进行了的又一次数据检查过程，如有缺陷或错误则生成数据检查文件 Check.out。

这一步是结构计算的前提条件，是计算前的必要一步。这步完成后可以查看计算简图。

在结构计算菜单中有若干选项，第一项是“生成数据+全部计算”，如果不查看计算简图，生成结构计算数据可以和计算菜单一并执行，从而简化操作。

生成计算数据的过程需要一定的时间，程序弹出进度框，即时显示每一步的内容进展状况。

结构计算是一个反复调试、反复进行的过程，如果修改了建筑模型，或者修改了计算前处理菜单中的内容，如修改了计算参数、修改了特殊构件定义的内容、修改了多塔划分的内容等，则应重新生成结构计算数据，否则前面的修改内容不能传到结构计算。

如果建筑模型或者计算前处理的内容做了修改，而用户没有重新生成数据和计算，又要进入计算结果菜单时，由于计算结果是根据修改前的模型完成的，与现有模型可能不匹配，有时甚至造成结果显示错误。为此，程序将给出提示：

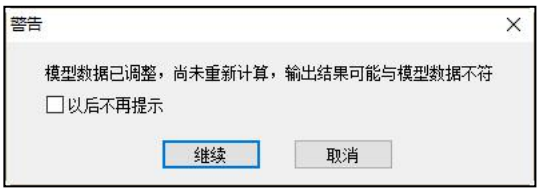


图 2.11.1 输出结果与数据不符警告

第十二节 结构计算简图

结构计算简图有六项菜单，分别为：数检报告、平面简图、轴测简图、自动分塔示意、施工次序示意及上部+基础联合模型。

一、数据报告

在生成结构计算数据文件过程中，如果检查出缺陷或错误，程序将在屏幕上弹出提示框，告诉用户有多少警告性信息，有多少错误信息。同时程序将这些信息写入数据检查文件 Check.out。该文件放在“计算设计结果”目录中。

点取“数检报告”菜单可以打开数据检查文件。

错误信息以“Err”标示，如节点周围杆件全部铰接等，这些错误可能导致计算中断或出错。

警告信息以“Warn”标示，如悬挑梁，长度过短的杆件等，用来提示用户，看这些问题是否可能导致计算异常。

计算模型数检完成后，部分构件相关的提示，可以返回建模菜单，使用“楼层组装”-“计算数检”功能弹出提示框，其中的列表可以在图形上定位到提示的构件，方便查改模型。

二、平面简图

以平面图方式表现计算模型，是二维图。对梁按单线画，对柱、墙按照截面尺寸画。着重标示杆件节点和墙单元划分后的出口节点。柱、墙节点都在其形心位置，梁按照其形心画单线，如果梁和柱、墙有偏心，可在图上看出它们之间的位置关系。

三、轴测简图

以三维图方式表现计算模型，对梁、柱、斜杆、墙都按照单线画，对剪力墙画出单元划分状况，对于斜板或者用户设置的弹性板，也画出板的单元划分状况。

对墙、梁都按照它的形心位置画出，如果梁与柱或梁与墙之间有偏心，则在梁端用玫红色线段和柱或墙相连，标示出梁的偏心刚域。

如果上下层墙之间有偏心，则在上层墙下和下层墙上的每个出口节点之间画出红色的短线，标示上下墙的偏心刚域。

如果上下层柱之间有偏心，则在上层柱下画出红色的短线，标示上下柱之间的偏心刚域。

对于柱，如果柱是独立柱，则按照柱的形心位置画出。如果该柱在墙端节点上，则将柱画在墙的形心位置，如果柱与墙有偏心，则没有表现这种偏心相连。没有表现柱和墙的偏心分离是为了避免误解，但实际的计算模型里是考虑了这种柱和墙之间的偏心状况的。

对于轴测简图，可以逐层显示，用右上的菜单逐层向上或向下切换楼层，或直接选择某一楼层。可以使用右上的全楼显示菜单全楼一起显示，也可以用右上的局部楼层菜单只显示局部的几个楼层。

使用右下的“裁剪显示”菜单，可以从模型中选择需要查看的某一部分，使用“裁剪恢复”菜单恢复显示原有模型。

另外，轴测简图中可以详细显示部分计算模型的编号等信息，通过弹出的列表可进行显示开关。在此也可以根据节点构件的计算模型编号，进行相应查询功能，主要用于在计算中止，提示某处错误时的模型检验。界面如下图所示：

图 2.12.1　轴测简图显示开关

1、是否为支座的判别

软件根据斜杆底部是否位于“与基础相连最大底标高”之下，自动在斜杆底部添加支座。

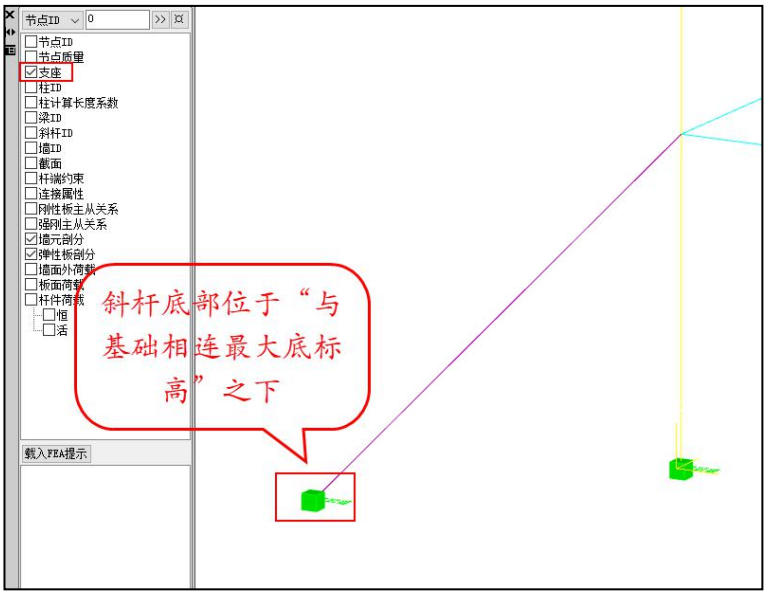


图 2.12.2 形成支座

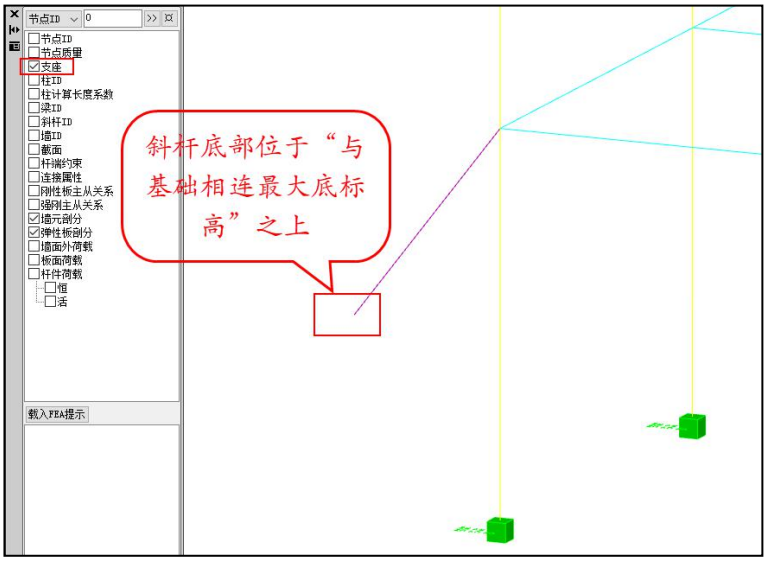


图 2.12.3 未形成支座

2、墙面外荷载和弹性板荷载按单工况显示

在生成上部结构计算数据后，计算简图上可对墙上面外荷载、基础筏板荷载和板面荷载按各单工况分别显示，浮动菜单的“墙面外荷载”项下列出当前工程墙上承受的各个荷载工况，勾选某个工况后，计算简图上随后画出该工况的面外荷载数值。

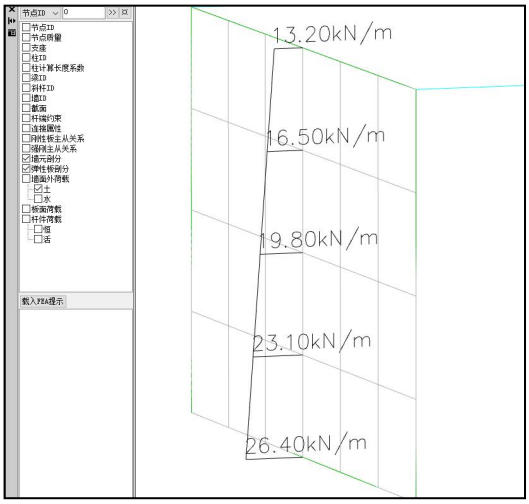


图 2.12.4 挡土墙土压力

3、弹性连接的显示

计算简图中对各类弹性连接的显示更加明确，对设置了单点约束的节点用较大的粉红色圆点标识，对两点约束的两个节点分别用绿色和粉色圆圈标识并在两节点之间连接绿色线条，对设置为弹性连接的斜杆也按照斜杆两端节点两点约束的方式显示。

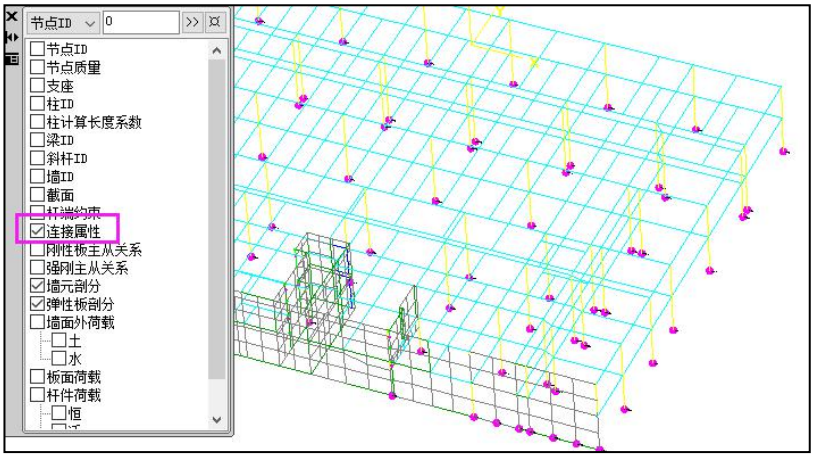


图 2.12.5 弹性连接显示

4、画荷载简图

轴测简图菜单显示计算模型时，左侧浮动菜单增加画荷载简图按钮，用来画任一剖面的荷载简图，操作是点该按钮后，在计算模型上鼠标点取需画剖面的两个点，随后弹出窗口显示当前荷载工况下的荷载剖面图。

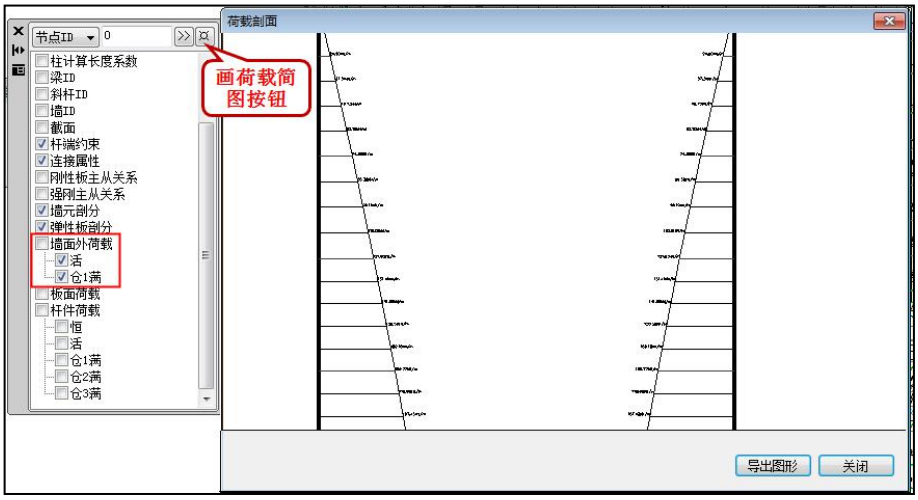


图 2.12.6 荷载剖面简图

5、杆件荷载显示

用户在轴侧简图中可以查看杆单元上的分布荷载（包含楼板导荷后的结果）

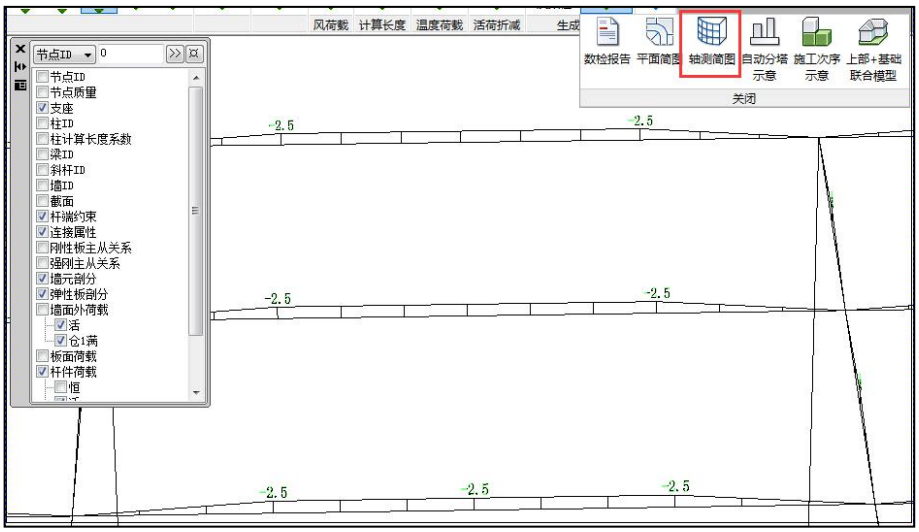


图 2.12.7 杆件荷载显示

三、自动分塔示意

当需要定义多塔结构，且在计算参数选择了“各分塔与整体分别计算，配筋取分塔与整体结果较大值”，生成结构计算数据之后，可在这里看到程序自动剖分的各个分塔的三维图。在全楼的三维线框图上，用户选择某一个塔号，程序对该塔加亮显示。

四、施工次序示意

施工次序示意可以更清楚的显示施工次序。在楼层属性里面可以人为的修改或者指定施工次序，然后在这里进行查看。点击施工次序后，点右上角的上一层按钮，可以形象的查看楼层的施工过程。

五、上部+基础联合模型

当上部结构计算考虑基础刚度时，可在该菜单查询整体的计算模型简图。

第三章 结构整体计算和构件内力配筋计算

第一节 操作步骤

一、计算菜单选项

经过模型与荷载输入菜单的建模与荷载定义，并经过前处理若干菜单的信息补充后，设计人员启动前处理菜单的最右边一项结构计算菜单进行计算。

这里的计算是上部结构计算软件的核心部分，按内容主要分为两大部分。第一部分是结构基本有限元计算、地震作用计算、构件内力计算等，这部分在菜单中简称为“计算”；另一部分为规范要求的各种整体指标统计、设计指标计算、设计内力的各项调整、荷载效应组合和构件截面配筋的设计计算，这部分在菜单中简称为“设计”。

用户可以有选择地进行结构整体分析与构件设计。软件提供如下几种计算选项：

图 3.1.1 计算选项菜单

1、生成数据+全部计算

执行该项，软件自动执行前处理的生成数据菜单，然后接力“全部计算”，全部计算包括了“计算”和“设计”两部分内容。

2、全部计算

执行该项，软件自动进行计算和设计两部分内容的计算。执行该选项之前，设计人员需要已经完成了“生成数据及数检”的操作。

3、只计算（不设计）

执行该项，软件只进行“计算”部分的处理，包括结构基本有限元计算、地震作用计算、位移和内力的计算等并输出构件标准内力，而不进行整体指标统计和构件设计等“设计”内容。

4、只设计（不计算）

执行该项，软件只执行结构整体指标统计与构件设计，包括规范要求的各种整体指标统计、设计指标计算、设计内力的各项调整、荷载效应组合和构件截面配筋的设计计算，而不再重新进行有限元结构整体计算。该选项必须在已经完成“计算”部分的内容后才能执行。该选项主要适用于设计人员只修改了与设计相关的参数（如只修改与设计相关的设计参数、构件属性等）后重新进行设计。

5、 只包络设计

如果以前进行过上部结构计算，仅需要进行包络设计计算，则可直接点取计算菜单下的“只包络设计”菜单即可，生成数据这一步也不用执行。

如果需要重新得到非包络设计的结果，可在计算参数中把包络设计参数中原来的勾选包络设计取消，再直接执行如上计算选项中的“只设计”即可。

6、自定义计算

执行该项，软件只进行参数选项中勾选选中内容的计算，其它内容均不计算。该选项主要适用于设计人员只关注部分计算结果的情况。需要注意的是，这里的参数主要用于排除某些计算内容。如果在结构整体参数中没有选择相关的计算，这里即使勾选也不会进行相关计算。

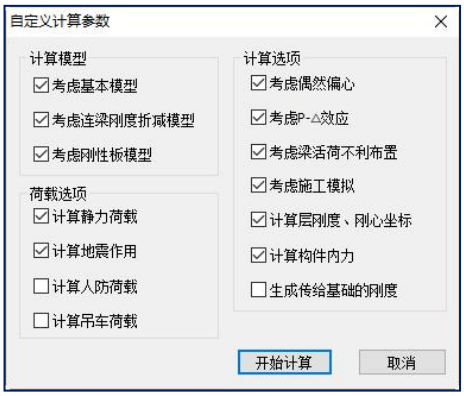


图 3.1.2 自定义计算选项

7、自定义设计

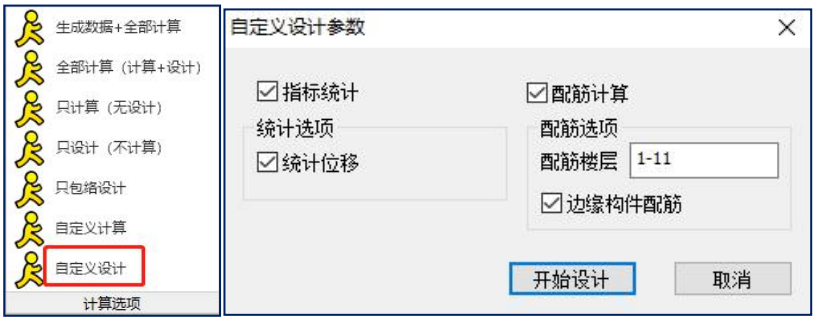


图 3.1.3 自定义设计选项

执行该项，软件只对“自定义设计”菜单中勾选项进行设计，包括规范要求的各项指标统计、位移统计、构件配筋计算、边缘构件配筋，而不再重新进行有限元结构整体计算；执行该项后，设计结果文本仅对勾选项进行输出。该选项必须在已经完成“计算”部分的内容后才能执行。

二、计算过程说明

在“计算”部分，软件考虑多模型机制，即对于同一结构模型，在软件内部会根据计算内容和选项自动生成不同的有限元模型进行计算，这是适应 2010 规范的计算流程的主要变化。

一般工程的计算离不开三个部分：基本模型、剪力墙连梁刚度折减模型和规定水平力计算模型。

基本模型：主要用于恒、活、风以及吊车荷载、施工模拟分析和给基础的上部结构刚度凝聚的计算；

连梁折减模型：进行地震反应谱分析和地震相关的计算：例如：地震力、地震工况位移、偶然偏心；

规定水平力计算：该模型考虑连梁折减并采用强制刚性楼板假定，用于进行 2010 规范要求的规定水平力计算，生成位移比等结构整体性能指标，同时进行楼层刚度中心和刚度比的计算。

如果用户选择采用强制刚性楼板假定模型进行计算，则连梁折减模型与“规定水平力计算模型”为同一模型，程序会自动在“连梁折减模型”中增加相关整体指标的计算。

计算过程中，程序弹出进度框显示计算的各个阶段和使用的时间。

图 3.1.4 进度处理对话框

在“设计”部分，程序要进行结构各种整体控制指标的统计计算、进行各层的构件配筋设计计算和进行边缘构件的设计计算。

三、有局部振动模型的提示

局部振动经常是由于结构模型不合理、有缺陷而造成的。程序在计算中可以对结构中可能存在局部振动情况的振型与楼层做出判断，当程序查出局部振动现象时，将在计算完成后在屏幕上给出提示框，告知用户局部振动发生的位置、层号以及局部振动的振

型号以供参考。

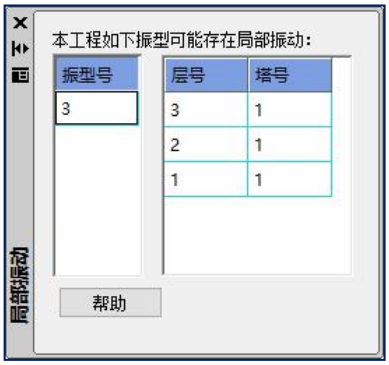


图 3.1.5 局部振动提示

根据提示，用户可以直接双击振型号查看对应的振型动画，从动画显示上常可以直接看到模型出现的问题。

通过局部振动查看的常见问题有：

未能正常连接的杆件，如梁构件没有能够搭接在支座上造成梁悬空，支撑构件和其它构件未能连接上造成一端连接的摇摆。这是结构建模发生的错误，对于这种情况必须修改模型，重新计算。

局部结构的刚度太弱，造成局部结构的振动消耗了很多的计算振型，造成地震计算的 X 向或 Y 向的有效质量系数达不到 90%甚至很低。可以修改模型增加对于局部结构的约束，实在不行就增加计算振型数量，直到有效质量系数达到 90%以上。

因此，通过局部振动的提示可以查到大量结构的缺陷和错误，是一种保证计算结果正确性的有效手段。

当然，局部振动提示是一种警告性提示，有时的局部振动不会对计算结果的正确性有影响，用户应酌情处理。

第二节 分析结果的图形显示

本章说明的全部计算结果文本文件都是程序自动生成的，图形文件是根据用户操作相应菜单生成的。计算结果的文本文件和图形文件都存放在工程目录下的“设计结果”

子目录中。

结构计算完成后程序自动转到“设计结果”菜单下，并首先打开第一层的配筋平面图。

图 3.2.1 设计结果菜单

在这里程序提供两种方式输出计算结果，一是各种文本文件，二是各种计算结果图形。

设计结果部分的菜单有：文本结果、构件编号图、配筋简图、轴压比图、梁挠度图、边缘构件图、标准内力图、三维内力图、梁内力包络图、地震振型和各工况下的变形动画，吊车荷载预组合内力图等。

图形显示方式可以使设计人员更直观地查看计算与设计结果，如内力图、配筋图、变形图等。

一、各类简图通用功能

1、tip 提示

在设计结果菜单下的二维、三维简图中都可以使用 tip 提示查看构件信息，方便的了解构件的几何信息、设计信息等基本信息。

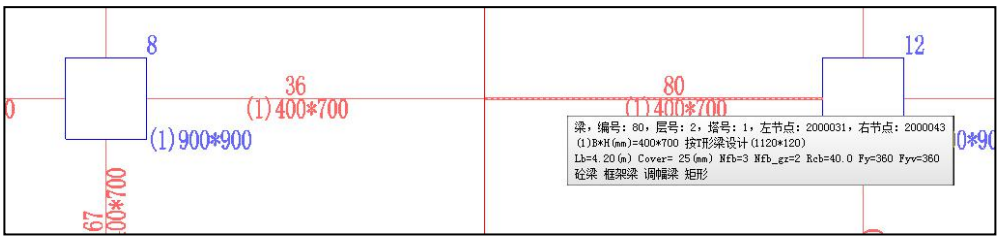


图 3.2.2 tip 提示

2、简图上文字的及时缩放

在各种计算结果图上，可通过屏幕右下的两个键方便地即时缩放图上的文字大小，快速达到理想的效果。

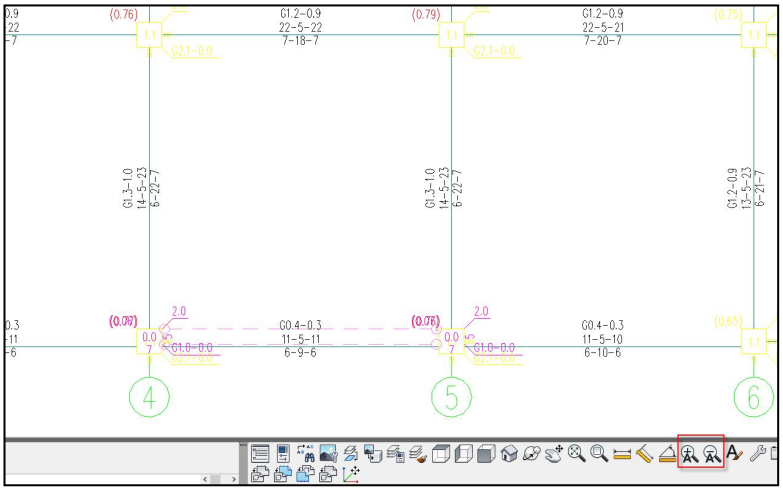


图 3.2.3 文字缩放

3、随时查询构件信息

各简图右侧都配置了“构件查询”菜单，点取任意构件输出该构件的详细计算结果文本。

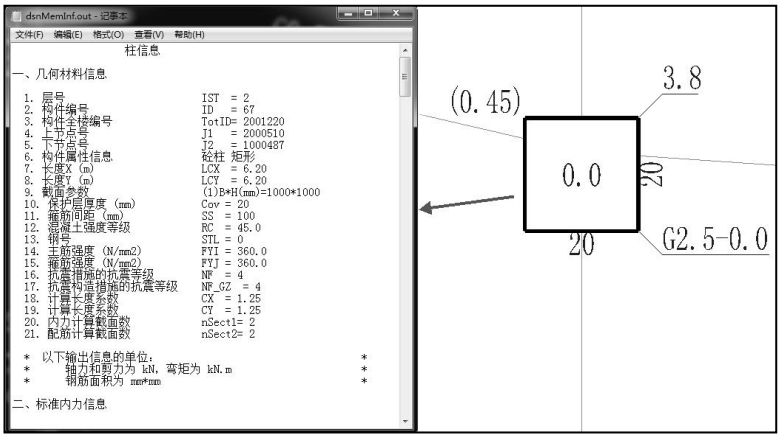


图 3.2.4 构件信息查询

二、编号简图

编号简图用来查看各类型构件的计算编号，以便于对照文本文件的输出结果。软件提供了基本构件的编号，如框架梁、框架柱、支撑、墙梁、墙柱，也提供了节点编号简图、主梁编号简图等供设计人员使用。

对于有层间梁的模型，软件按标高从下至上的顺序依次标注各梁编号。

1、构件编号简图

可以通过“显示选项”控制输出哪类构件。

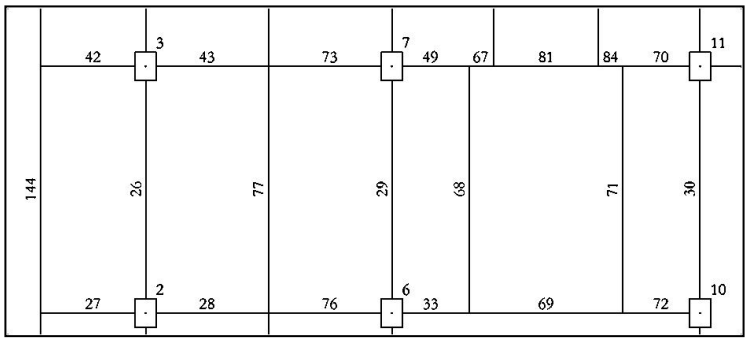


图 3.2.5 构件编号简图

考虑到很多设计人员使用该简图显示构件截面尺寸，软件在右侧对话框上提供了“显示编号”选项，用来控制是否显示构件编号。

图 3.2.6 显示编号

《高规》10.6.3-1 条规定：“上部塔楼结构的综合质心与底盘结构质心的距离不宜大于底盘相应边长的 20%”。在该简图中，软件同时输出质心、刚心坐标，还在右侧对话框上提供了显示上部相连楼层综合质心功能，如下图所示：

图 3.2.7 显示上部相连塔楼综合质心

2、主梁编号简图

软件在进行梁弯矩调幅时，会用到主梁信息。软件自动根据梁端支座信息生成连续梁，并对两端均有竖向支座的梁跨进行梁弯矩调幅。为了便于设计人员查看，软件输出了主梁编号，并在括号内标注各梁段编号，如下图所示。

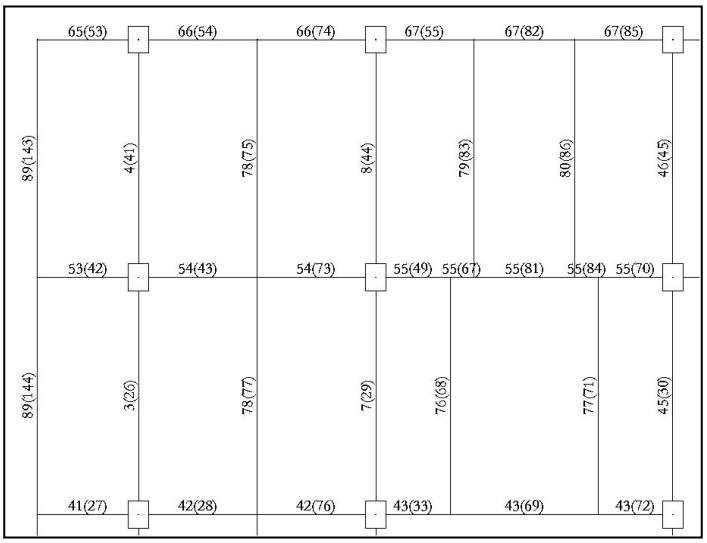


图 3.2.8 主梁编号简图

3、节点编号简图

节点是基本定位单元，梁、柱、墙等构件均依赖节点定位。为了便于设计人员查看，软件给出了节点编号图，如下图所示。

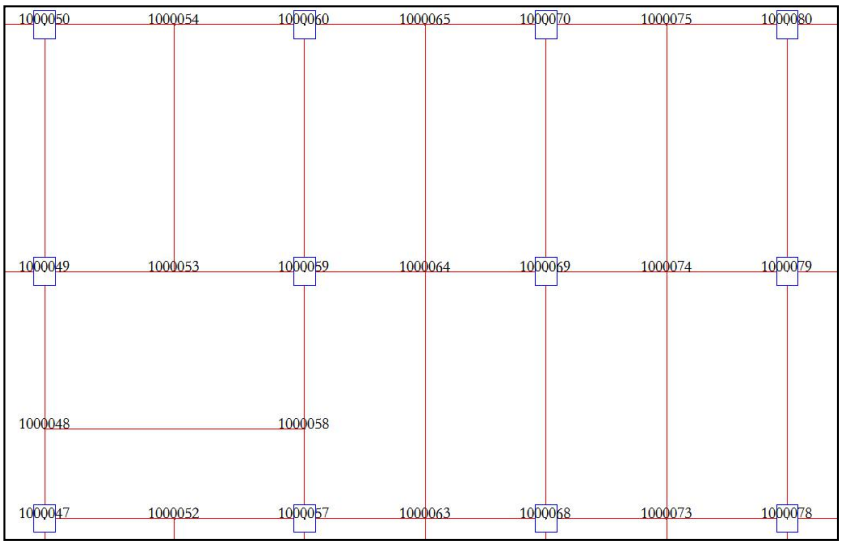


图 3.2.9 节点编号简图

4、构件属性简图

构件属性简图可以显示各类构件的设计属性，便于设计人员查询，如下图所示。可以通过“显示选项”控制输出哪类构件。

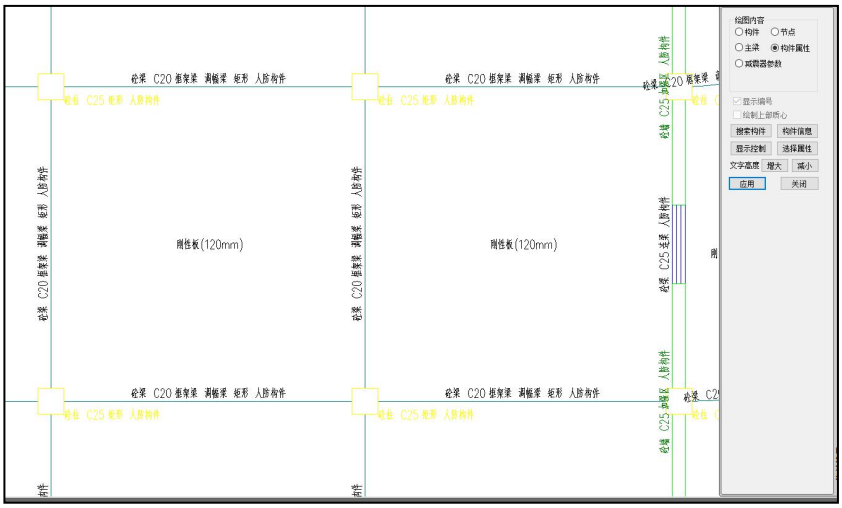


图 3.2.10 构件属性简图

软件同时提供按构件编号定位构件位置功能，便于设计人员快速定位某构件在平面中的位置。

图 3.2.11 构件查询菜单

5、有效刚度与有效阻尼简图

有效刚度与有效阻尼简图可以显示如塑性单元等存在非线性参数的连接单元的有效刚度与阻尼，便于设计人员校核，在软件右侧对话框中叫“减震器参数”。

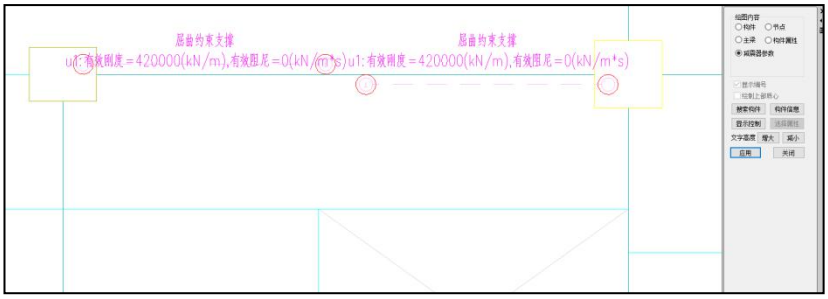


图 3.2.12 有效刚度与有效阻尼简图

6、选择属性

软件在计算结果的构件属性简图中支持显示属性过滤功能，用户可通过设置只输出关心的构件属性。

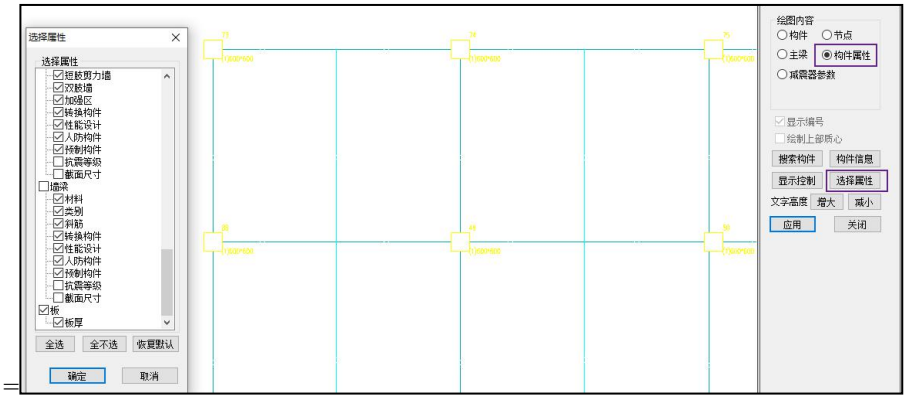


图 3.2.13 选择属性菜单

三、配筋简图

配筋简图用图形方式显示构件的配筋结果，图形名称是 WPJ*.DWY。如果是钢构件，则显示钢构件的应力验算结果。

右侧对话框功能说明：

（1）构件信息

构件信息菜单是通用操作菜单，用来查看某个构件的详细信息，包括几何信息、材料信息、内力信息、设计结果等。该菜单在多种简图中都提供，方便设计人员查看。

构件信息文本文件的格式如下所示：

柱信息

一、几何材料信息

1. 层号	IST = 1
2. 构件编号	ID = 15
3. 构件全楼编号	TotID= 1000098
4. 上节点号	J1 = 1000041
5. 下节点号	J2 = 15
6. 构件属性信息	砼柱 角柱 矩形
7. 长度X (m)	LCX = 3.30
8. 长度Y (m)	LCY = 3.30
9. 截面参数	(1)B*H(mm)=500*500
10. 保护层厚度 (mm)	Cov = 20
11. 箍筋间距 (mm)	SS = 100
12. 混凝土强度等级	RC = 30.0
13. 钢号	STL =
14. 主筋强度 (N/mm2)	FYI = 360.0
15. 箍筋强度 (N/mm2)	FYJ = 360.0
16. 抗震措施的抗震等级	NF = 4
17. 抗震构造措施的抗震等级	NF_GZ = 4
18. 计算长度系数	CX = 1.00
19. 计算长度系数	CY = 1.00
20. 内力计算截面数	nSect1= 2
21. 配筋计算截面数	nSect2= 2

图 3.2.14 构件信息文本中的几何信息

水平力工况（地震力和风荷载）

(iCase)	M-I	M-J	Vmax	Nmax	Tmax	Myi	Myj	Vymax		
竖向力工况										
(iCase)	M-I	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-J	Nmax
	V-i	V-1	V-2	V-3	V-4	V-5	V-6	V-7	V-j	Tmax
*(EX)	7.8	-24.5	-6.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0		
(EX)	8.1	-24.7	-6.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0		
*(EY)	-2.5	3.9	1.2	0.0	-0.7	0.0	0.0	0.0		
(EY)	-7.1	21.2	5.2	0.0	-0.3	0.0	0.0	0.0		
*(EXMAX)	-7.8	24.5	6.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0		
(EXMAX)	-8.1	24.7	6.1	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0		
*(EYMAX)	2.5	-3.9	-1.2	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0		
(EYMAX)	7.1	-21.2	-5.2	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0		
*(+WX)	0.3	-1.1	-0.3	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0		
(+WX)	0.3	-1.1	-0.3	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0		
*(-WX)	-0.3	1.1	0.3	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0		
(-WX)	-0.3	1.1	0.3	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0		
*(+WY)	-0.2	0.3	0.1	0.0	-0.1	-0.0	0.0	0.0		
(+WY)	-0.2	0.3	0.1	0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0		
*(-WY)	0.2	-0.3	-0.1	0.0	0.1	0.0	-0.0	-0.0		
(-WY)	0.2	-0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0		
*(DL)	-17.5	2.9	17.3	22.8	19.1	6.2	-15.9	-47.1	-85.0	0.0
(DL)	-14.9	6.8	22.5	29.2	26.8	15.2	-5.7	-35.6	-72.3	0.0
*(DL)	32.5	26.9	14.9	1.3	-12.3	-25.9	-39.5	-52.3	-59.1	-2.4
(DL)	32.5	26.9	14.9	1.3	-12.3	-25.9	-39.5	-52.3	-59.1	-0.9
*(LL)	-4.4	0.5	4.0	5.5	4.8	1.9	-3.1	-10.3	-18.9	0.0
(LL)	-3.7	1.4	5.2	7.0	6.5	3.9	-0.8	-7.7	-16.1	0.0
*(LL)	7.5	6.5	3.8	0.6	-2.6	-5.8	-9.1	-12.0	-13.3	-0.5
(LL)	7.5	6.5	3.8	0.6	-2.6	-5.8	-9.1	-12.0	-13.3	-0.2

行首带*号为调整前内力

图 3.2.15 构件信息文本中的标准内力信息

```
N-C=67 (1)B*H(mm)=1000*1000
Cover= 20(mm) Cx=1.25 Cy=1.25 Lcx=6.20(m) Lcy=6.20(m) Nfc=4 Nfc_gz=4 Rcc=45.0 Fy=360 Fyv=360
砼柱 矩形
livec=1.000
ηmu=1.200  ηvu=1.320  ηmd=1.200  ηvd=1.320
λc=3.238
(  3)Nu=   -9440.6  Uc= 0.45  Rs= 0.65(%)  Rsv= 0.53(%)  Asc=   380
(  1)N=    -8133.3 Mx=    1083.4 My=    -222.3 Asxt=      2005 Asxt0=         0
(  1)N=    -8133.3 Mx=    1083.4 My=    -222.3 Asyt=      2005 Asyt0=         0
(  1)N=    -8133.3 Mx=    -271.6 My=     165.5 Asxb=      2005 Asxb0=         0
(  1)N=    -8133.3 Mx=    -271.6 My=     165.5 Asyb=      2005 Asyb0=         0
( 24)N=    -8544.8 Vx=     105.2 Vy=     302.9 Ts=       -1.0 Asvx=       247 Asvx0=         0
( 22)N=    -9004.7 Vx=      61.7 Vy=     413.4 Ts=       -1.2 Asvy=       247 Asvy0=         0

抗剪承载力: CB_XF=   1400.70  CB_YF=   1346.82
```

图 3.2.16 构件信息文本中的设计信息

四、荷载组合分项系数说明

荷载组合分项系数说明，其中：
Ncm --- 组合号
V-D,V-L --- 分别为恒载、活载分项系数
+X-W,-X-W --- 分别为X正负方向水平风荷载分项系数
+Y-W,-Y-W --- 分别为Y正负方向水平风荷载分项系数
X-E,Y-E --- 分别为X向、Y向水平地震荷载分项系数
Z-E --- 竖向地震荷载分项系数
R-F --- 人防荷载分项系数
TEM --- 温度荷载分项系数
CRN --- 吊车荷载分项系数

Ncm	V-D	V-L	+X-W	-X-W	+Y-W	-Y-W	X-E	Y-E	Z-E	R-F	TEM	CRN
1	1.30	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	1.00	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	1.30	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4	1.30	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--
5	1.30	--	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--
6	1.30	--	--	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--
7	1.30	1.50	0.90	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8	1.30	1.50	--	0.90	--	--	--	--	--	--	--	--
9	1.30	1.50	--	--	0.90	--	--	--	--	--	--	--
10	1.30	1.50	--	--	--	0.90	--	--	--	--	--	--
11	1.30	1.05	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--	--
12	1.30	1.05	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--
13	1.30	1.05	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--
14	1.30	1.05	--	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--
15	1.00	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--	--
16	1.00	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--
17	1.00	--	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--
18	1.00	--	--	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--
19	1.00	1.50	0.90	--	--	--	--	--	--	--	--	--
20	1.00	1.50	--	0.90	--	--	--	--	--	--	--	--
21	1.00	1.50	--	--	0.90	--	--	--	--	--	--	--
22	1.00	1.50	--	--	--	0.90	--	--	--	--	--	--
23	1.00	1.05	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--	--
24	1.00	1.05	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--	--
25	1.00	1.05	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--	--
26	1.00	1.05	--	--	--	1.50	--	--	--	--	--	--
27	1.20	0.60	--	--	--	--	1.30	--	--	--	--	--
28	1.20	0.60	--	--	--	--	-1.30	--	--	--	--	--
29	1.20	0.60	--	--	--	--	--	1.30	--	--	--	--
30	1.20	0.60	--	--	--	--	--	-1.30	--	--	--	--
31	1.00	0.50	--	--	--	--	1.30	--	--	--	--	--
32	1.00	0.50	--	--	--	--	-1.30	--	--	--	--	--
33	1.00	0.50	--	--	--	--	--	1.30	--	--	--	--
34	1.00	0.50	--	--	--	--	--	-1.30	--	--	--	--

图 3.2.17 构件信息文本中的荷载组合信息

五、各组合设计内力

组合号	截面	Mx	My	Vx	Vy	N	T
1	1	24.4	-25.9	11.1	11.7	-1292.8	0.0
1	2	-14.0	10.7	11.1	11.7	-1292.8	0.0
2	1	24.0	-25.4	10.9	11.4	-1238.2	0.0
2	2	-13.7	10.5	10.9	11.4	-1238.2	0.0
3	1	21.0	-22.2	9.5	10.0	-1071.1	0.0
3	2	-12.0	9.2	9.5	10.0	-1071.1	0.0
4	1	24.7	-31.7	27.0	4.2	-1181.5	-1.9
4	2	2.9	57.4	27.0	4.2	-1181.5	-1.9
5	1	16.4	-11.8	-8.3	15.5	-1025.6	2.0
5	2	-26.5	-39.3	-8.3	15.5	-1025.6	2.0
6	1	25.7	-29.6	19.9	17.5	-1200.4	-2.1
6	2	-32.3	36.2	19.9	17.5	-1200.4	-2.1
7	1	15.5	-14.0	-1.2	2.1	-1006.8	2.2
7	2	8.7	-18.1	-1.2	2.1	-1006.8	2.2
8	1	21.3	-28.1	25.4	2.5	-997.6	-2.0
8	2	4.8	55.9	25.4	2.5	-997.6	-2.0
9	1	13.0	-8.2	-9.8	13.8	-841.7	2.0
9	2	-24.5	-40.8	-9.8	13.8	-841.7	2.0
10	1	22.2	-25.9	18.4	15.9	-1016.4	-2.1
10	2	-30.3	34.7	18.4	15.9	-1016.4	-2.1
11	1	12.1	-10.3	-2.8	0.5	-822.8	2.2

图 3.2.18 构件信息文本中的各组合内力信息

（2）配筋率查询

可以查询各类构件主筋、箍筋（分布筋）配筋率，软件自动按从大到小顺序排序，双击表格可定位该构件在平面图中的位置，按住 shift 键选择起止行可以高亮显示该范围的构件。

图 3.2.19 配筋率查询对话框

（3）墙柱轮廓

该按钮用来查询墙柱配筋时的外轮廓，当配筋时选择考虑端柱或翼缘墙时，可通过该功能来查看实际配筋时的墙柱轮廓。

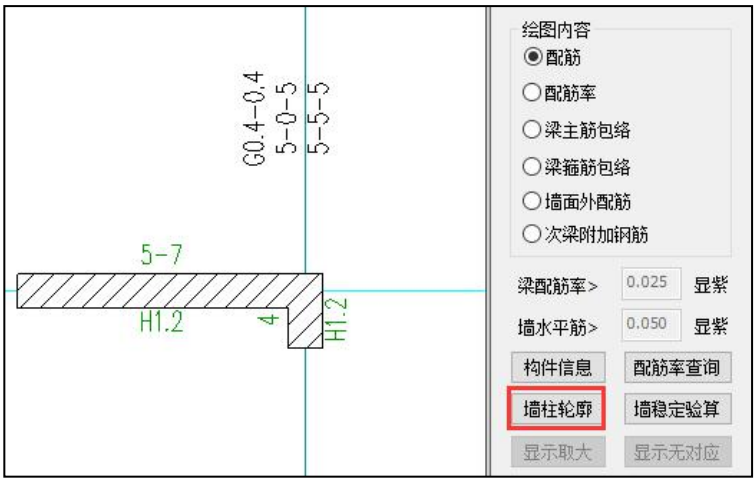


图 3.2.20 组合墙轮廓查询

（4）墙稳定验算

用来查看墙稳定验算结果，分单墙肢和整体稳定验算两方面，并可查看整体稳定验算时的墙轮廓。整体稳定验算时，可考虑边框柱。

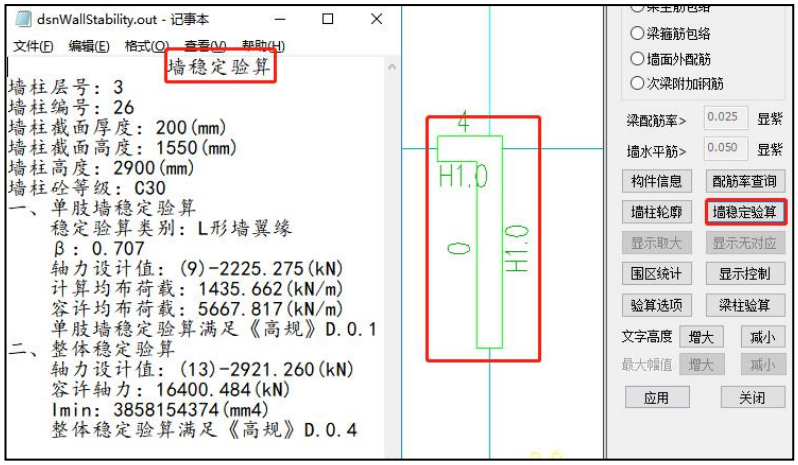


图 3.2.21 墙稳定验算

（5）显示取大

用来查看多塔自动分塔计算时，哪些构件分塔设计结果较大，并以紫色显示。该按钮在选择了包络设计、多塔取大、少墙框架取大参数后可用。

显示无对应：用来显示未找到对应关系的构件。

（6）围区统计

对于位移比、层刚度、各层抗剪承载力、各层框架柱承担的剪力、柱墙及短肢墙承担的倾覆力矩的比例等结构整体指标的计算，以前都是由软件自动统计输出，统计依据的模型只能是全楼模型。

配筋简图及各种三维图中增加围区统计菜单，用来人工选择全楼模型中的某一部分进行这些整体指标的统计，从而方便用户根据实际工程得到更合理的统计结果。

用来统计用户交互围区内的整体指标结果，如统计错层、开大洞等分块刚性板模型的位移比、剪切刚度、受剪承载力、倾覆弯矩等，在三维图下可统计多楼层指标。

在三维显示菜单（包括三维内力和三维配筋菜单）下可以进行全楼模型的显示，使用“选择显示”菜单，可人工用鼠标框选全楼模型的某一部分，当屏幕上只剩下用户选择的局部模型后，使用“统计当前”菜单，软件将按照当前的局部模型进行各层位移及位移比、各层剪切刚度、各层抗剪承载力、各层框架柱承担的剪力、柱墙及短肢墙承担的倾覆力矩的比例的统计计算及输出，输出的文本格式和 wmass.out 相同。

图 3.2.22 围区统计功能键

（7）显示控制

可通过该按钮按构件类型显示设计结果。

（8）梁、柱、墙配筋率显红

该参数用来控制梁、柱、墙配筋率大于多少时显红，设计人员可以根据经验填入最大配筋率，大于该输入值的配筋率将显红。

图 3.2.23 最大配筋率设置

（9）验算选项

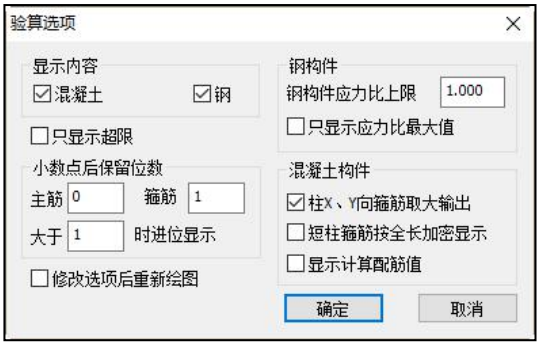


图 3.2.24 验算选项

1）显示内容

根据勾选的材料类别来进行显示。

2）只显示超限

为了方便用户快速查询超限构件，设计结果二维、三维配筋简图增加“只显示超限”功能，勾选“只显示超限”，则二维、三维简图中仅显示超限构件。

3）小数点后保留位数

可以设置主筋、箍筋的小数点后保留位数。

4）修改选项后重绘新图

勾选后点击确定即可按照“验算选项”中设置重新绘图

5）钢构件应力比上限

用来控制钢构件最大应力比，很多设计人员从经济、安全角度出发，不想按照是否大于 1 作为应力比超限的依据，可以使用该参数控制最大应力比，大于该输入值的构件应力比将显红。

6）只显示应力比最大值

“只显示应力比最大值”功能在“配筋简图”下和“三维配筋简图”下均可使用，用来查看钢构件的应力比最大值。

7）柱 X、Y 向箍筋取大输出

默认勾选，柱 X、Y 向箍筋取大输出，不勾选时，两个方向同时输出。

8）短柱箍筋按全长加密显示

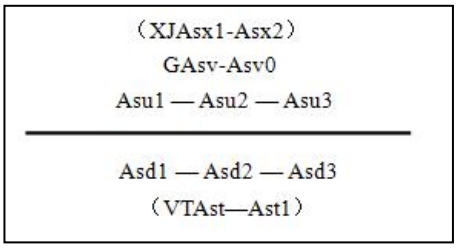
勾选后，短柱的箍筋显示按全长加密来输出。

9）显示计算配筋值

计算结果不与构造值取包络，直接输出计算值。

简图表达方式如下：

1、混凝土梁、型钢混凝土梁、钢板混凝土连梁



其中：

Asu1、Asu2、Asu3 ——为梁上部左端、跨中、右端最大配筋面积（cm2）；

Asd1、Asd2、Asd3 ——为梁下部左端、跨中、右端最大配筋面积（cm2）；

Asv ——为梁加密区抗剪箍筋面积和剪扭箍筋面积的较大值（cm2）；

Asv0 ——为梁非加密区抗剪箍筋面积和剪扭箍筋面积的较大值（cm2）；

Ast、Ast1 ——为梁剪扭配筋时的受扭纵筋面积和抗扭箍筋沿周边布置的单肢箍筋

面积（cm2），只针对于混凝土梁，若 Ast 和 Ast1 都为零，则不输出这一行；

Asx1、Asx2 ——分别为梁左、右端单股斜筋面积（cm2），只针对于混凝土梁，若 Asx1 和 Asx2 都为零，则不输出这一行；

G、VT ——为箍筋和剪扭配筋标志；

XJ ——为斜筋配筋标志，对混凝土连梁有效。

软件输出的加密区和非加密区箍筋都是按参数设置中的箍筋间距计算的，并按沿梁全长箍筋的面积配箍率要求控制。

实际工程中，梁箍筋加密区和非加密区的箍筋间距一般是不同的，而软件是按照一种箍筋间距计算的，因此，如果加密区和非加密区的箍筋间距不同，设计人员需要对软件输出的箍筋面积进行换算，比如输入的箍筋间距为加密区间距，则加密区的箍筋计算结果可直接参考使用，非加密区的箍筋面积需要换算。

对于同时受拉及受弯的梁，软件按照偏拉构件进行验算，并区分梁的受拉是小偏拉还是大偏拉，给出相应的提示“XPL(小偏拉)”或“DPL(大偏拉)”。

对于钢板砼连梁，需要在前处理手工定义并输入钢板砼连梁的相关参数，主要是钢板厚度和钢板高度，支持按杆单元输入及开洞方式形成的连梁。按照《高层建筑钢-混凝土混合结构设计规程》CECS 230:2008 的相关规定，钢板高度不宜超过连梁高度的 0.7 倍，软件在定义时不做判断，需要用户自行确定所输入的钢板高度的合理性。

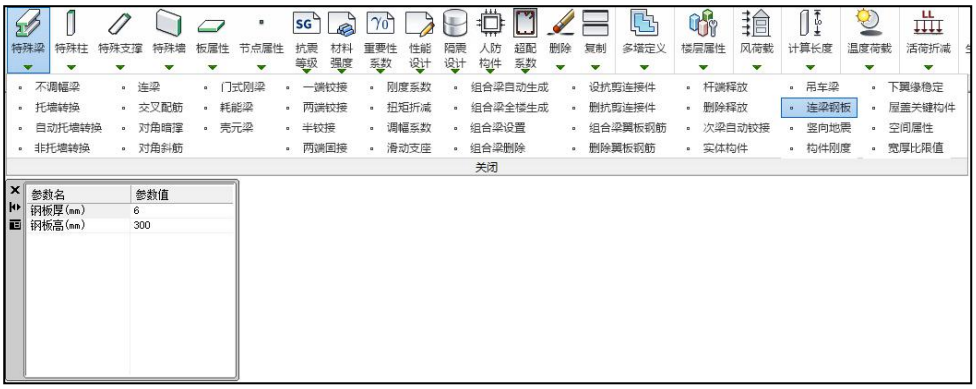
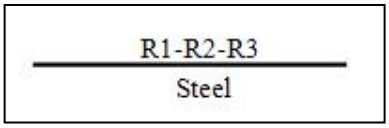


图 3.2.25 钢板砼连梁定义

对于定义成钢板砼连梁的梁，软件按《高层建筑钢-混凝土混合结构设计规程》CECS 230:2008 第 6.5 节的相关规定进行设计，并在构件属性中提示“钢板砼连梁”。

2、钢梁

输出格式如下：



其中：

R1 ——表示钢梁正应力强度与抗拉、抗压强度设计值的比值 F1/f；

R2 ——表示钢梁整体稳定应力与抗拉、抗压强度设计值的比值 F2/f；

R3——表示钢梁剪应力强度与抗拉、抗压强度设计值的比值 F3/fv。

对于组合梁：

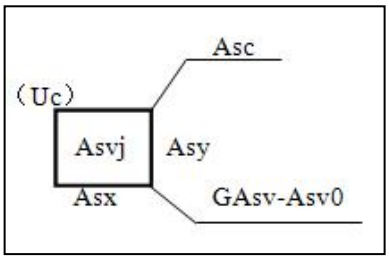
R1 ——表示组合梁左、右端支座弯矩设计值与受弯承载力的比值；

R2 ——表示组合梁跨中弯矩设计值与受弯承载力的比值；

R3 ——表示组合梁剪力设计值与受剪承载力的比值。

3、矩形混凝土柱和型钢混凝土柱

输出格式如下：



其中：

Asc ——单根角筋的面积。采用双偏压计算时，角筋面积不应小于此值；采用单偏压计算时，角筋面积可不受此值控制（cm2），但要确保单边配筋面积和全截面配筋面积满足要求；

Asx、Asy ——分别为该柱 B 边和 H 边的单边配筋面积，包括两根角筋（cm2）；

Asv、Asv0 ——分别为加密区斜截面抗剪箍筋面积、非加密区斜截面抗剪箍筋面积，箍筋间距均在 Sc 范围内。其中：Asv 取计算的 Asvx 和 Asvy 的大值，Asv0 取计算的

Asvx0 和 Asvy0 的大值（cm2）；

Asvj ——柱节点域抗剪箍筋面积，取计算的 Asvjx 和 Asvjy 的大值（cm2）；

Uc ——柱的轴压比；

G ——箍筋标志。

对于矩形柱，可以选择单偏压与双偏压配筋方式。对于角柱或异形柱，一定按双偏压配筋。

矩形柱配筋结果的使用：

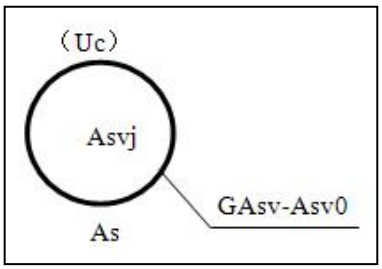
1）单偏压：施工图需要满足单边配筋面积计算结果，同时还要验算一次全截面配筋面积（计算公式：2*（asx+asy）-4*asc）是否满足最小配筋率要求，防止角筋较大时，全截面配筋面积不足；如果计算配筋面积为 0，则不要求对边配筋面积满足配筋简图结果，只需满足全截面最小配筋要求；

2）双偏压：计算结果是多解的，配筋简图给出的仅是满足要求的一种配筋结果，该配筋结果综合考虑构造要求与全截面配筋面积最小目标。施工图的实配钢筋如果与配筋简图不一致，只要通过了双偏压验算且满足全截面最小配筋要求即可，不要求必须大于配筋简图结果。

3）对于配筋简图给出的角筋面积，软件是根据截面尺寸，从工程经验角度确定的一个数值，施工图只要满足了（1）、（2），都不要求角筋面积不小于配筋简图结果。

4）对于混凝土边框柱，如果在计算参数填写了“墙柱配筋设计考虑端柱”，即选择按照墙与边框柱的组合截面配筋时，该柱配筋合并到此处的边缘构件中，不再单独输出该柱的配筋，可在边缘构件配筋简图中查看该处的配筋。

4、圆形混凝土柱



其中：

As ——为圆柱全截面配筋面积（cm2）；

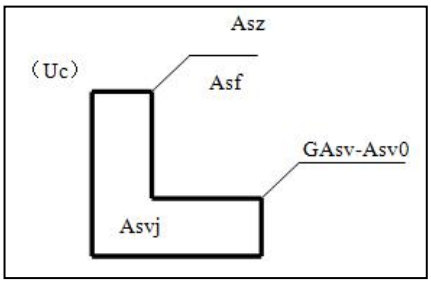
Asv、Asv0 ——分别为加密区斜截面抗剪箍筋面积、非加密区斜截面抗剪箍筋面积，箍筋间距均在 Sc 范围内。其中：Asv 取计算的 Asvx 和 Asvy 的大值，Asv0 取计算的 Asvx0 和 Asvy0 的大值（cm2）；

Asvj ——柱节点域抗剪箍筋面积，取计算的 Asvjx 和 Asvjy 的大值（cm2）；

Uc ——柱的轴压比；

G ——箍筋标志。

5、异形混凝土柱



其中：

Asz ——异形柱固定钢筋位置的配筋面积，即位于直线柱肢端部和相交处的配筋面积之和（cm2）；

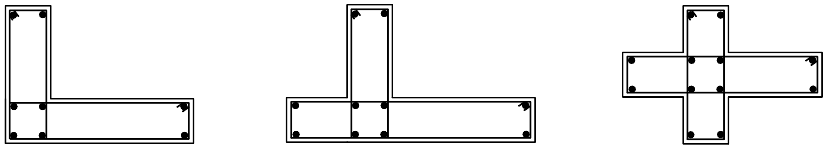
Asf ——异形柱分布钢筋的配筋面积，即除 Asz 之外的钢筋面积（cm2），当柱肢外伸长度大于 250mm 时按间距 250mm 布置；

Asv、Asv0 ——分别为加密区斜截面抗剪箍筋面积、非加密区斜截面抗剪箍筋面积，箍筋间距均在 Sc 范围内。Asv 取计算的 Asvx 和 Asvy 的大值，Asv0 取计算的 Asvx0 和 Asvy0 的大值（cm2）；

Asvj ——柱节点域抗剪箍筋面积，取计算的 Asvjx 和 Asvjy 的大值（cm2）；

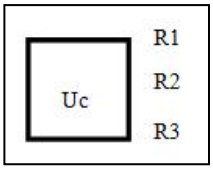
Uc——柱的轴压比。

对于 L 形、T 形、十字形的异形柱，固定钢筋位置的配筋如下图所示：



异形柱的斜截面设计时，分别求出两个相互垂直肢的箍筋面积 Asv1 和 Asv2，并取 Asv1、Asv2 的大值输出。

6、钢柱



其中：

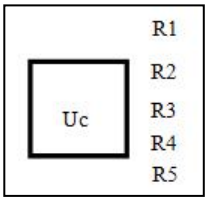
Uc ——柱的轴压比；

R1 ——表示钢柱正应力强度与抗拉、抗压强度设计值的比值 F1/f；

R2 ——表示钢柱 X 向稳定应力与抗拉、抗压强度设计值的比值 F2/f；

R3——表示钢柱 Y 向稳定应力与抗拉、抗压强度设计值的比值 F3/f。

7、方钢管混凝土柱



其中：

Uc ——柱的轴压比；

R1 ——表示钢柱正应力强度与抗拉、抗压强度设计值的比值 F1/f；

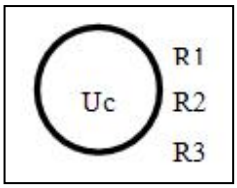
R2 ——表示钢柱 X 向稳定应力与抗拉、抗压强度设计值的比值 F2/f；

R3——表示钢柱 Y 向稳定应力与抗拉、抗压强度设计值的比值 F3/f；

R4——表示钢柱 X 向抗剪应力与抗剪强度设计值的比值 F4/f；

R5——表示钢柱 Y 向抗剪应力与抗剪强度设计值的比值 F5/f。

8、圆钢管混凝土柱



其中：

Uc ——柱的轴压比；

R1 ——表示圆钢管混凝土柱轴压力与轴心受压承载力的比值 F1/f；

R2 ——表示圆钢管混凝土柱拉弯受力时外力与承载力的比值 F2/f；

R3——表示圆钢管混凝土柱设计剪力与受剪承载力的比值 F3/f。

9、钢管混凝土叠合柱

钢管混凝土叠合柱就是由截面中部钢管混凝土和钢管外钢筋混凝土叠合而成的柱，并在柱截面定义中输入钢管内和钢管不同的混凝土强度等级，由于钢管的三维约束作用(套箍效应)，钢管内混凝土强度、弹性模量有很大提高。在承载力配筋计算中，钢管混凝土和和钢管外混凝土通过轴向刚度分配轴力，这样，叠合柱中钢筋混凝土部分承担的轴压力小，轴压比低，通过配置适量的纵筋和箍筋，实现具有延性的大偏压破坏。这种柱常用于轴压比不满足要求而不能采用更大的截面尺寸时。

在 2013 年发布的上海市《建筑抗震设计规程》（2013）提到：当轴压比不满足表 6.3.6 的规定而不能采用更大截面尺寸的柱时，可采用钢管与混凝土双重组合柱，其轴压比按公式α=（N-N 钢管混凝土）/Acfc 计算，N 钢管混凝土按钢管混凝土规范计算。

（1）叠合柱输入

目前软件可支持两类截面进行叠合柱设计(如下图)。

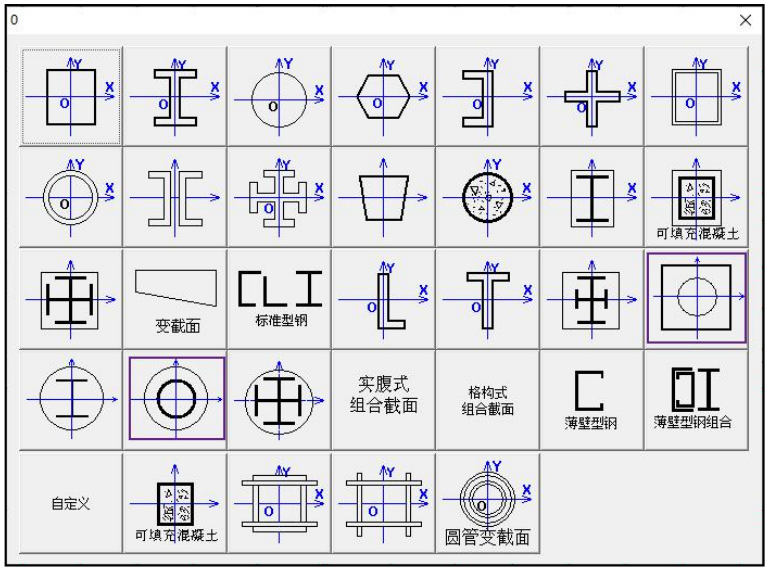


图 3.2.26 叠合柱截面

建模时对叠合柱按如上两种柱类型定义后，还需在“构件布置”→“材料强度”菜单中补充输入 2 种混凝土强度等级，在构件材料修改对话框中特别增加了提示“对于叠合柱，以/分隔内外混凝土标号，/前为外侧混凝土”。

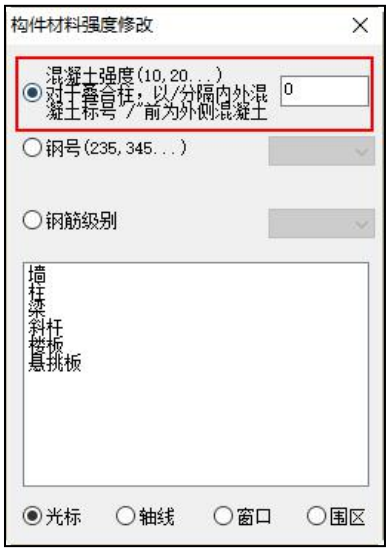


图 3.2.27 材料强度

还需输入钢管的钢材牌号。

（2）叠合柱刚度

软件根据《钢管混凝土叠合柱设计规程》编制。

软件根据叠合柱规程 5.2.3 条采用刚度简单叠合法计算叠合柱的内力和位移

轴向刚度	$EA=E_{co}A_{co}+E_{cc}A_{cc}+E_aA_a$
弯曲刚度	$EI=E_{co}I_{co}+E_{cc}I_{cc}+E_aI_a$
剪切刚度	$GA=G_{co}A_{co}+G_{cc}A_{cc}+G_aA_a$

（3）叠合柱轴力分配

根据叠合柱规程 6.2.3 条，软件按照钢管内外混凝土轴向刚度分配叠合柱轴力。

叠合柱中钢管混凝土承受的轴压力设计值：

$Ncc=NEccAcc（1+1.8\theta）/[EcoAco+EccAcc（1+1.8\theta）]$

叠合柱中钢管外混凝土承受的轴压力设计值：

$Nco=N-Ncc$

钢管外钢筋混凝土的轴压比限值：

$n=Nco/（fcoAco）$

（4）钢管混凝土承载力计算

确定出钢管混凝土分配的轴力 N_{cc} 后，软件根据叠合柱规程 6.2.4 条、6.2.5 条确定钢管混凝土承载力并进行验算。

6.2.4 叠合柱中钢管混凝土承受的轴压力设计值应符合下列规定：

$$N_{cc}\leqslant 0.9N_u \qquad (6.2.4)$$

式中 N_u——钢管混凝土柱的轴心受压承载力，可按本规程第6.2.5条式(6.2.5-1)计算，式中 φ_l 可取 1.0。

6.2.5 钢管混凝土柱的轴心受压承载力可按下式计算：

$$N_u=\varphi_l f_{cc}A_{cc}(1+1.8\theta) \qquad (6.2.5\text{-}1)$$

$$\theta=f_aA_a/(f_{cc}A_{cc}) \qquad (6.2.5\text{-}2)$$

软件中输出如下：

(1) 钢管混凝土承载力验算 N= -1481.5 Ncc= -1181.3 R_F1= 0.025 < 1/γ = 1.000

其中 $R_F1=N_{cc}/0.9N_u$ (对于地震组合，γ=0.8)。

对于钢管混凝土柱，根据叠合柱规程 6.2.12 条，还需控制含管率、径厚比、套箍指标等参数，软件具体输出如下：

套箍指标： θ=0.51，θ_min=0.40，θ_max=2.50
含管率：Roa=6.48% > RoaMin=2.00%
径厚比：D/tw=34.00 < D/tw_max=100.00

（5）钢筋混凝土承载力计算

根据叠合柱规程 6.2.9 条，钢管外混凝土除承担分配轴力 N_{co} 外，还需承担叠合柱全部弯矩(钢管混凝土柱不承担弯矩)，并采用叠合柱的截面尺寸和钢管外混凝土强度等级按照普通混凝土构件进行承载力验算。

另外，在计算轴压比(轴力采用钢管外混凝土分配轴力 N_{co})、纵筋配筋率、箍筋体积配箍率时，均按钢管外钢筋混凝土的面积采用，软件显示如下：

(31) Nco= -1292.4 Uco= 0.26 Rs= 0.90(%) Rsv= 0.50(%) Asc= 0

（6）叠合柱抗剪计算

软件根据叠合柱规程 6.2.10 条、6.2.11 条确定叠合柱抗剪承载力并进行验算。

（7）节点核芯区计算

抗震等级特一级、一级、二级、三级时，软件根据《叠合柱规程》附录 A 进行梁柱节点抗剪验算（按照钢管贯通连接确定节点抗剪箍筋）。

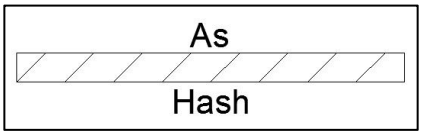
10、混凝土支撑

采用与混凝土柱相同的显示方式，在支撑端部绘制截面的正投影，然后进行标注。

11、钢支撑

采用与钢柱相同的显示方式，在支撑端部绘制截面的正投影，然后进行标注。

12、墙柱



其中：

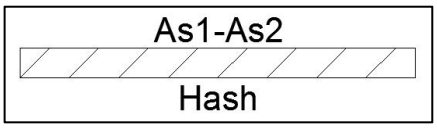
As ——墙柱一端的暗柱计算配筋面积（cm2），如计算不需要配筋时输出 0。当墙柱截面高厚比小于 4 或一字形墙截面高度<=800mm 时，按柱配筋，这时 As 为按柱对

称配筋时的单边钢筋面积；

Ash ——为在水平分布筋间距内的水平分布筋面积（cm2）；

H ——为分布筋标志。

如果设计参数中选择墙柱配筋时考虑翼缘墙或端柱，则：



其中：

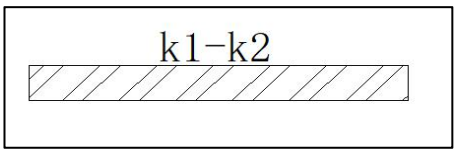
As1、As2 ——分别为墙柱左、右端暗柱配筋面积。

13、墙梁

墙梁配筋输出格式与框架梁相同。

14、钢板墙

此处钢板墙包括双层钢板混凝土墙、端柱带肋钢板墙。



其中：

k1 ——为设计弯矩与受弯承载力的比值 M/Mu；

k2——为设计剪力与受剪承载力的比值 V/Vu。

15、墙面外配筋简图

由于地下室外墙、水池墙、筒仓墙等受水压力和土压力这样的墙的面外荷载，设计的重点是墙的横向和竖向分布钢筋。软件在配筋结果菜单下设置了“墙面外钢筋”菜单，对承受面外荷载的墙输出分布钢筋的 12 个数值，适应墙分布筋内外侧不同、上下左右加密的布置状况。

目前实体墙也支持面外配筋。

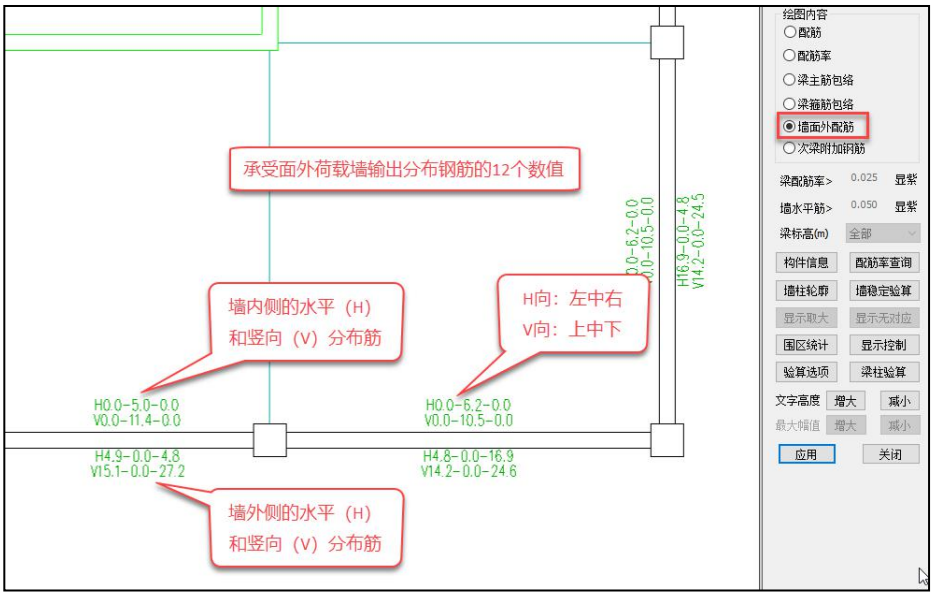


图 3.2.28 墙面外配筋简图

对每片墙的两侧分别输出分布钢筋，H 代表水平分布钢筋，给出左、中、右三个数值；V 代表竖向分布钢筋，给出上、中、下三个数值；

配筋结果文件给出这 12 个数值的详细计算过程。

```
N-WC=1 (I=9000010 J=9000011) B*H*Lwc(m)=0.20*6.30*3.30
Cover= 15(mm) aa=315(mm) Nfw=3 Nfw_gz=3 Rcw=30.0 Fy=360 Fyv=270 Fyw=300 Rwv=0.30
砼墙 C30
1ivec=1.000  jzx=1.015, jzy=1.030
ηmu=1.000  ηvu=1.000  ηmd=1.000  ηvd=1.000
( 14)M=    -343.0 V=     -81.0 λw= 0.708
     Nu=   -1052.2 Uc=0.04
(  1)M=    -355.4 N=    -895.1 As=       0.0
( 10)V=    -111.4 N=   -1351.3 Ash=      75.0 AshCal=       0.0 Rsh= 0.25
Rvx=0.44%<30%
Rvy=12.65%<30%
面外设计结果(每延米单侧计算配筋面积):
Left-H-Left:   (  0)M=       0.0 N=       0.0 As=0(mm2)
Left-H-Mid:    ( 12)M=      -0.3 N=      -0.0 As=7(mm2)
Left-H-Right:  (  0)M=       0.0 N=       0.0 As=0(mm2)
Left-V-Up:     (  4)M=      -0.4 N=      -0.0 As=8(mm2)
Left-V-Mid:    (  0)M=      -0.3 N=      -0.0 As=0(mm2)
Left-V-Dw:     (  8)M=      -1.8 N=      -0.0 As=37(mm2)
Right-H-Left:  ( 14)M=       0.8 N=      -0.0 As=16(mm2)
Right-H-Mid:   (  0)M=       0.0 N=       0.0 As=0(mm2)
Right-H-Right:(  5)M=        1.2 N=      -0.0 As=26(mm2)
Right-V-Up:    (  7)M=       1.7 N=      -0.0 As=33(mm2)
Right-V-Mid:   (  3)M=       0.0 N=       0.0 As=20(mm2)
Right-V-Dw:    ( 15)M=       0.1 N=      -0.0 As=2(mm2)
抗剪承载力: WS_XF=      0.00  WS_YF=    1326.29
```

图 3.2.29 墙面外配筋结果文本输出

16、次梁附加钢筋

配筋简图右侧菜单增加“次梁附加钢筋”简图，标注每个梁梁相交处的附加钢筋计

算面积，文字方向与主梁方向一致。

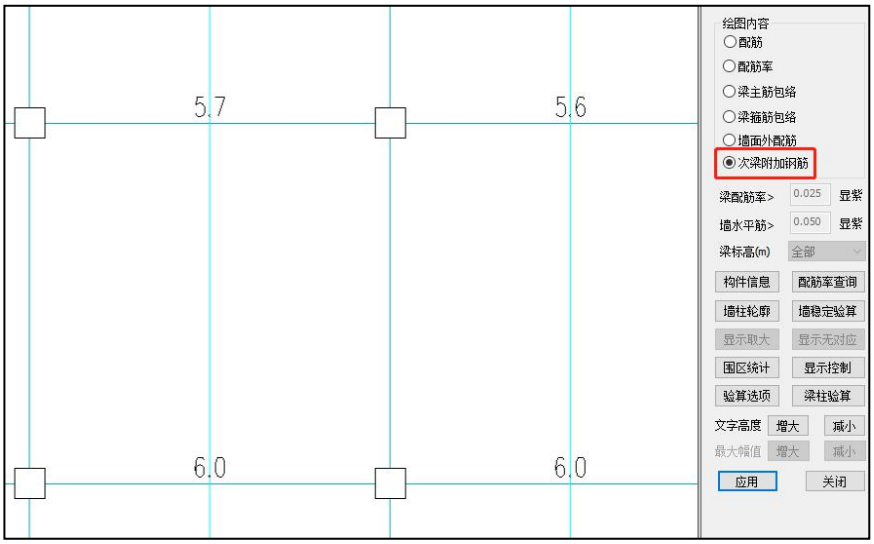


图 3.2.30 次梁附加钢筋

17、梁标高

“梁标高”选项可按标高对配筋简图进行查询，当前层默认梁标高为“0.00”，模型中输入了层间梁时，可按层间梁标高标高查询简图。

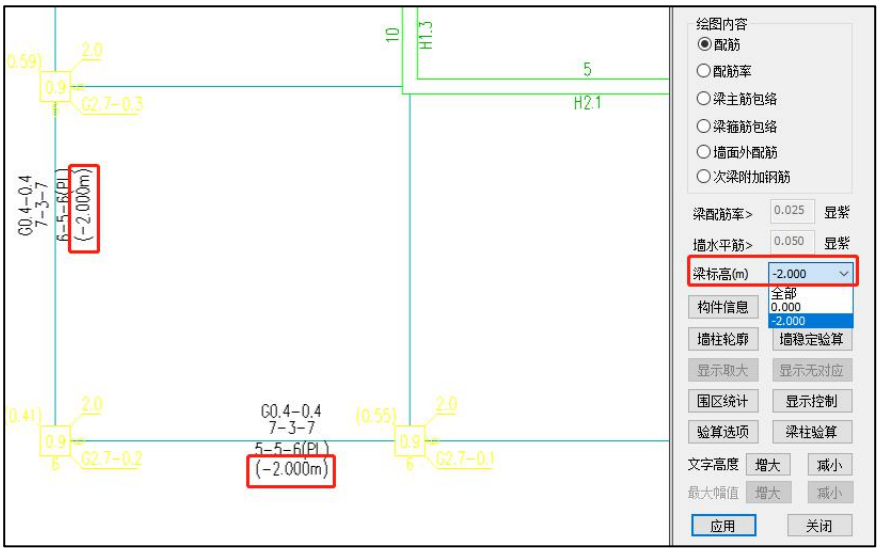


图 3.2.31 梁标高

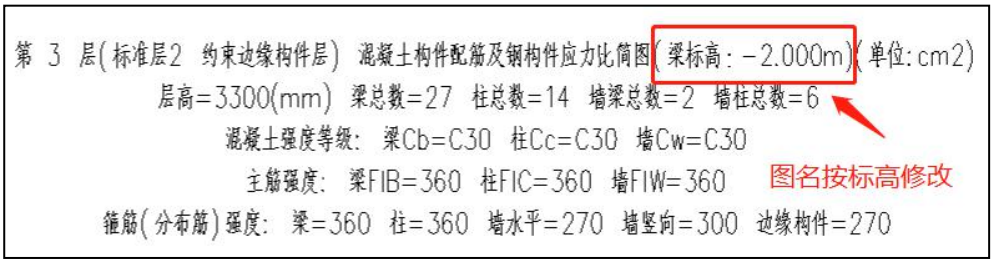


图 3.2.32 梁标高-配筋简图名称

18、梁柱验算

配筋简图的右侧设置了“梁柱验算”菜单，用于对当前任一构件的试算验算。例如选择某根梁后，选择正截面的顶截面验算，弹出所选构件的参数对话框，列出计算所需的所有参数，用户修改后即给出结果。

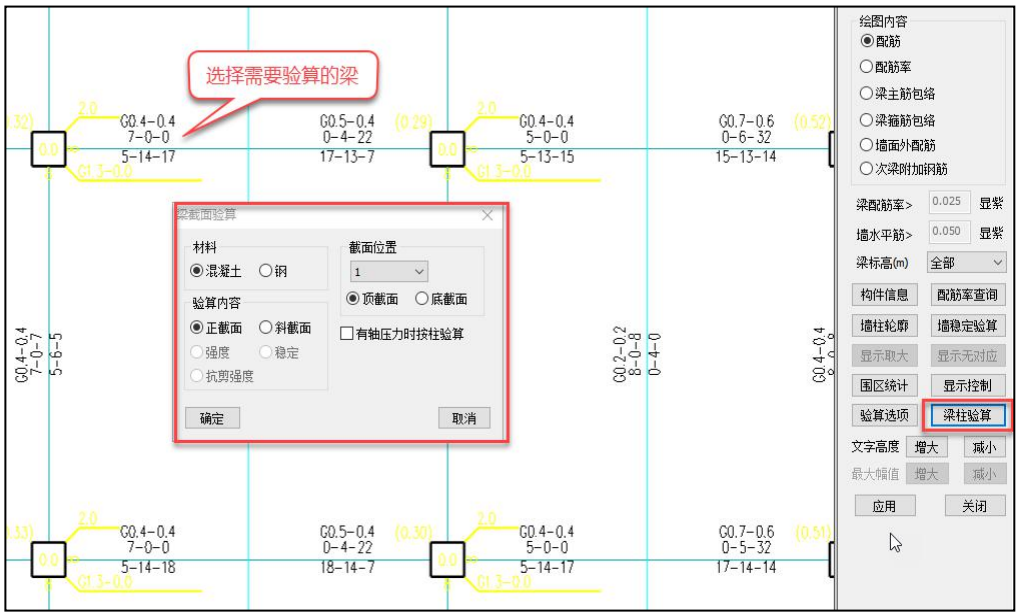


图 3.2.33 梁柱验算

图 3.2.34 梁柱验算菜单

梁柱验算菜单相当于一个单构件验算工具箱，它的特点是：(1) 所有的截面信息、内力信息都是自动读取的所选构件的当前实际信息；(2) 所有的截面信息、内力信息参数可由用户修改。因此本菜单为用户进行构件修改提供了方便的即时计算工具。

19、简图示意

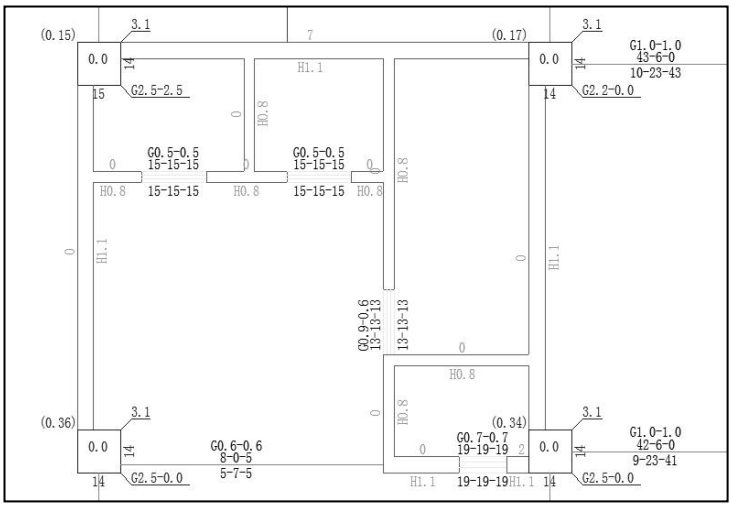


图 3.2.35 混凝土构件配筋简图

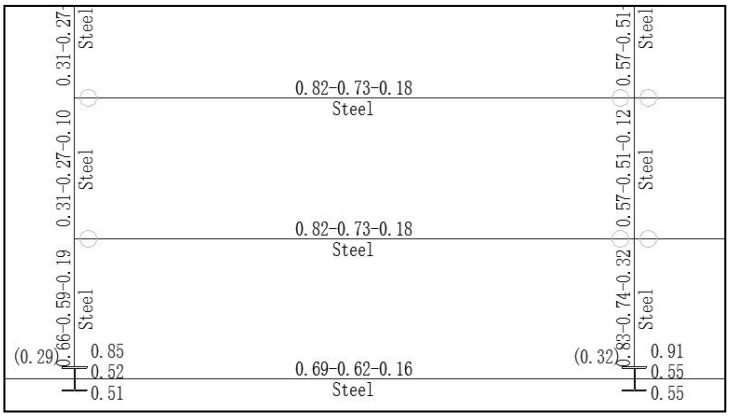


图 3.2.36 钢构件验算简图

对于有层间梁的模型，软件将标注全部梁配筋，同时标注各层间梁标高，以示区分。

四、轴压比简图

轴压比简图用来查看柱、墙轴压比计算结果及超限检查结果，对于墙柱采用组合轴压比验算是否超限，如果不符合组合轴压比计算条件，则采用单个墙柱轴压比验算是否超限。

墙组合轴压比计算时翼墙长度默认取 6 倍翼墙厚度，该值可以在“计算参数”-“高级选项”-“墙”中进行修改。墙组合轴压比主要用于以下方面：（1）判断墙柱轴压比是否超限；（2）确定底部加强部位的边缘构件类型（约束或构造边缘构件）。

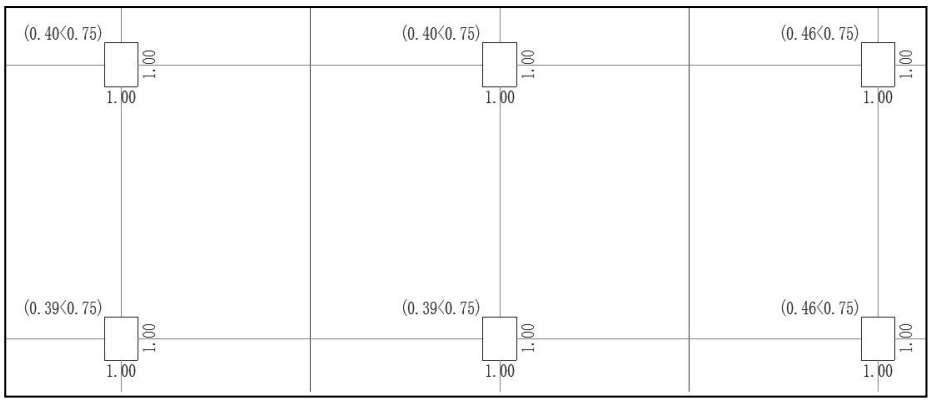


图 3.2.37 柱轴压比简图

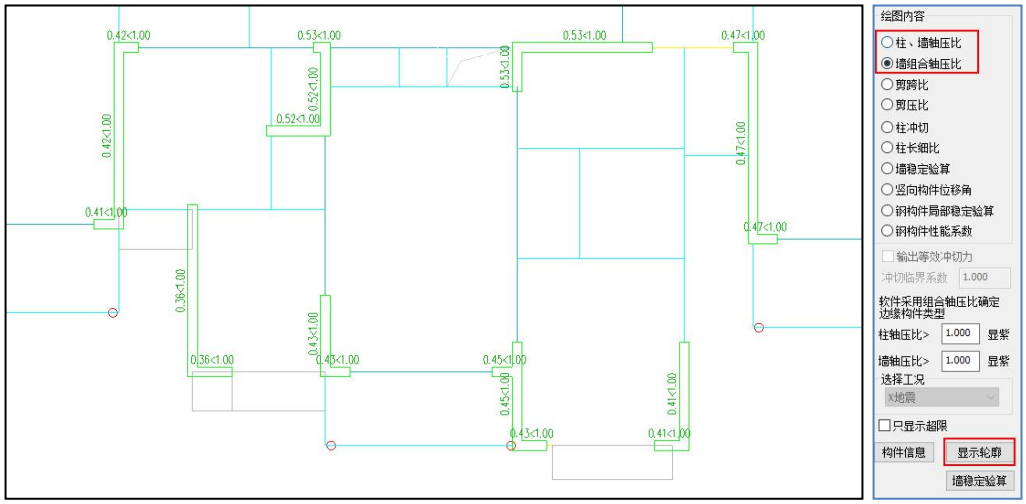


图 3.2.38 墙组合轴压比简图

右侧菜单中的“显示轮廓”可用来查看墙的组合轴压比计算时选用的组合墙的状况，鼠标停靠在某一墙柱时，该墙柱自动加亮，与该墙柱相连的其它墙的局部翼缘也同时加亮，加亮的翼墙长度为高级选项中所设置，但不超过腹墙长度的一半。软件将按照所有加亮部分的面积和轴力计算出的轴压比作为该墙柱的轴压比。

五、剪跨比简图

剪跨比简图用来查看柱剪跨比，剪跨比是柱设计时的重要参数，斜截面设计、轴压比限值取值均与其有关。

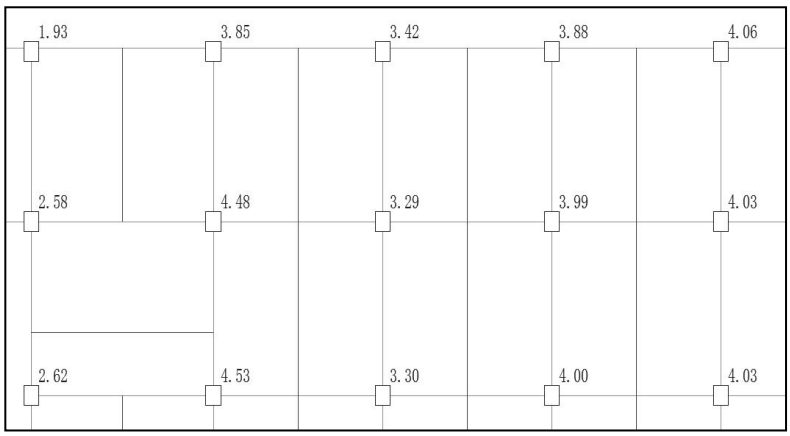


图 3.2.39 柱剪跨比简图

六、剪压比简图

剪压比简图用来查看构件剪压比。

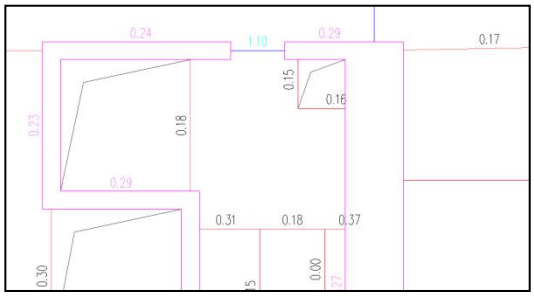


图 3.2.40 构件剪压比简图

七、柱冲切验算简图

柱冲切验算简图用来查看无梁楼盖结构柱冲切验算结果，如果模型中布置了柱帽，或建模时按虚梁建模或梁高与板厚相同，则软件自动验算柱冲切。冲切验算内容最多有三项：（1）柱根对柱帽的冲切；（2）柱帽对托板的冲切；（3）托板对楼板的冲切，如果没有柱帽或托板，则该项验算结果输出为 0。验算柱帽或托板冲切时，软件将扣除柱帽及托板范围楼板荷载。

软件的计算规则为：先按不配置抗冲切钢筋公式验算；不满足，则按配置抗冲切钢筋公式验算，同时简图中输出抗冲切箍筋面积。

输出的抗冲切箍筋面积为单边一个间距的箍筋总面积，间距同梁。

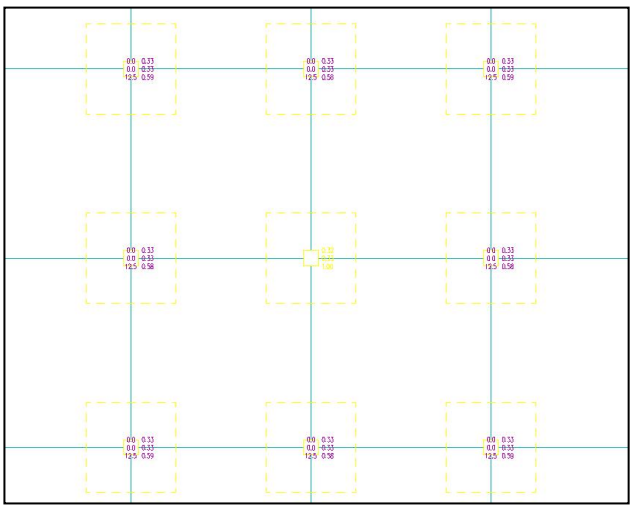


图 3.2.41 柱冲切验算简图

八、柱长细比简图

柱长细比简图用来查看柱两个方向的长细比，一般用于钢柱。

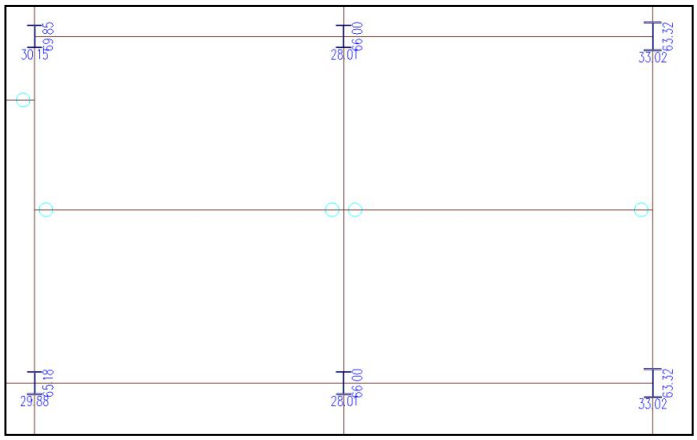


图 3.2.42 柱长细比简图

九、墙稳定验算简图

墙稳定验算简图用来查看墙计算轴力与稳定验算允许轴力之比，大于 1 超限。

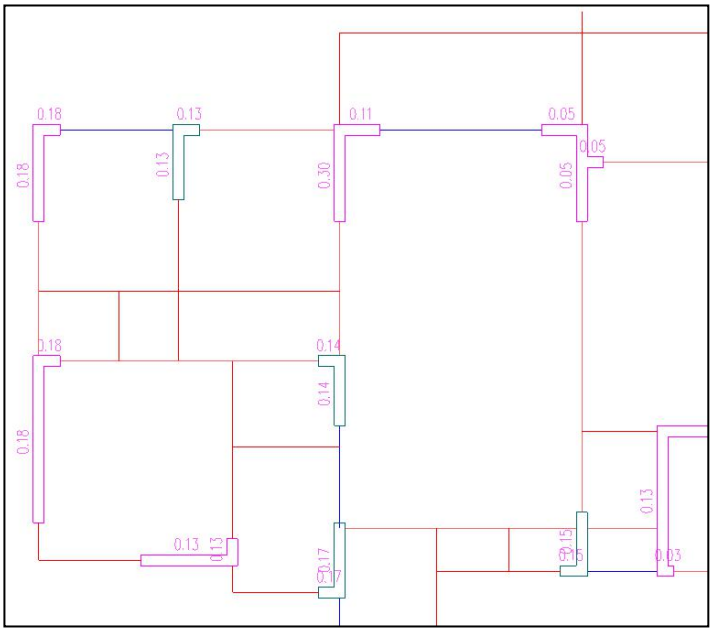


图 3.2.43 墙稳定验算简图

十、竖向构件位移角简图

竖向构件位移角简图用来查看柱、墙等竖向构件节点位移角。

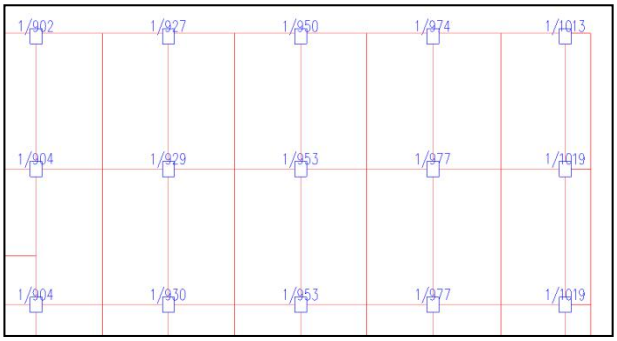


图 3.2.44 竖向构件位移角简图

可通过右侧对话框的工况列表选择对应的工况。

图 3.2.45 选择工况

十一、钢构件局部稳定验算

该功能主要通过简图方式快速查看钢构件的宽厚比、高厚比、正则化长细比具体数值，以及高厚比、宽厚比是否超过限值，如果超限，文字会显红提示。

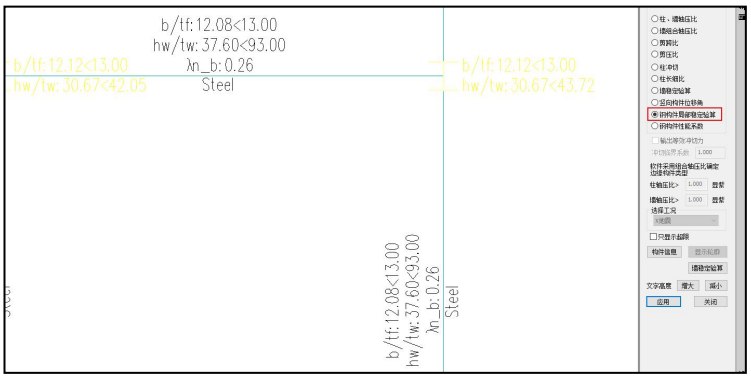


图 3.2.46 钢构件局部稳定验算结果

十二、钢构件性能系数

《钢结构设计标准》GB50017-2017 第 17.2.2 条给出了耗能构件的实际性能系数的计算。当勾选性能设计按《钢结构设计标准》（GB50017-2017）时，程序按照第 17.2.2 条公式分别计算框架结构、支撑结构、偏心支撑结构的耗能构件的实际性能系数，并在此输出。

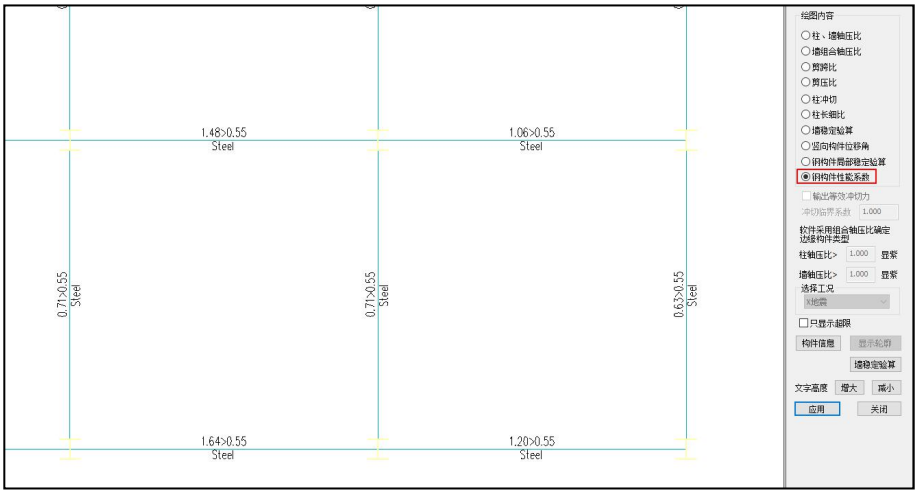


图 3.2.47 输出钢构件性能系数

十三、输出等效冲切力

软件在柱冲切简图中新增了“输出等效冲切力”选项，可以输出计算时对应的等效冲切力。

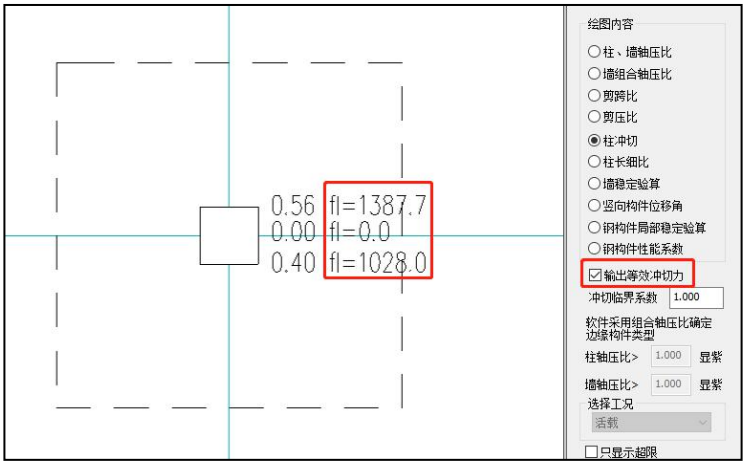


图 3.2.48 输出等效冲切力

十四、冲切临界系数

用户可以自定义冲切临界系数，当柱根、柱帽、托板冲切力与抗力之比中任意一项大于等于该自定义冲切临界参数时显红。

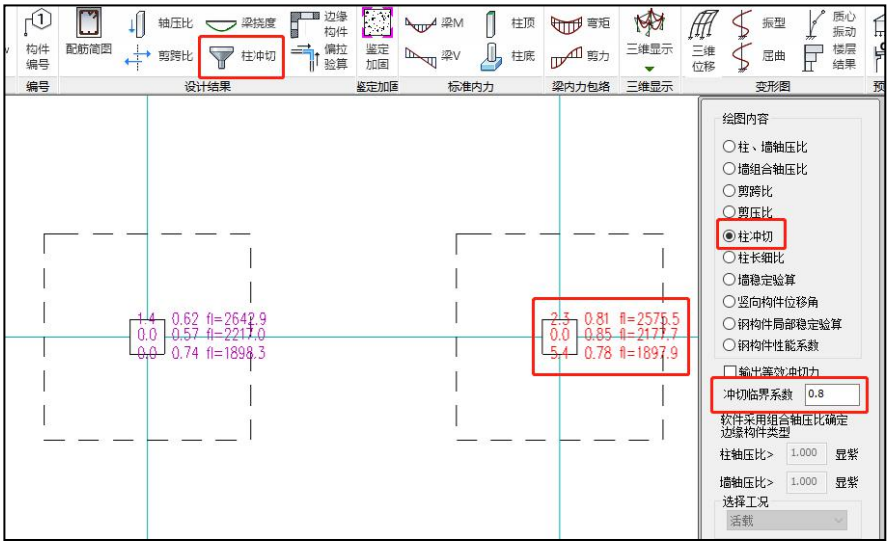


图 3.2.49 冲切临界系数

十五、梁弹性挠度简图

该挠度值是采用梁的弹性刚度和荷载准永久组合计算得到的，没有考虑荷载长期作用的影响。对于混凝土梁，查看弹性挠度的默认组合是准永久组合，活荷载准永久值系数默认为 0.5；对于钢梁、组合梁，查看弹性挠度的默认组合是标准组合。组合梁挠度计算执行《组合结构设计规范》第 12.3.2 和 12.3.3 条考虑滑移效应的折减刚度。目前“挠度计算书”只针对组合梁输出详细的 word 版挠度计算书。

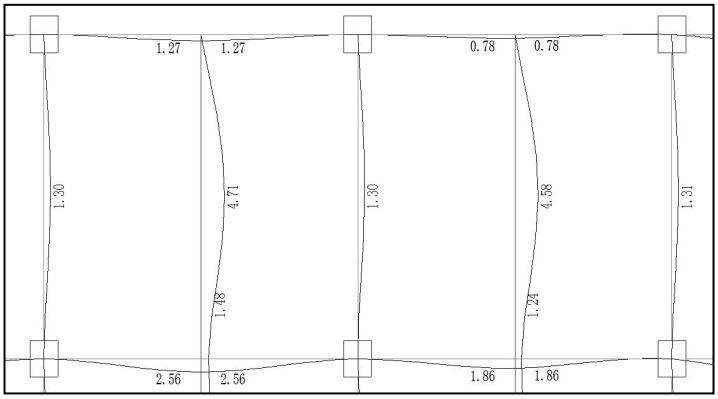


图 3.2.50 梁弹性挠度简图

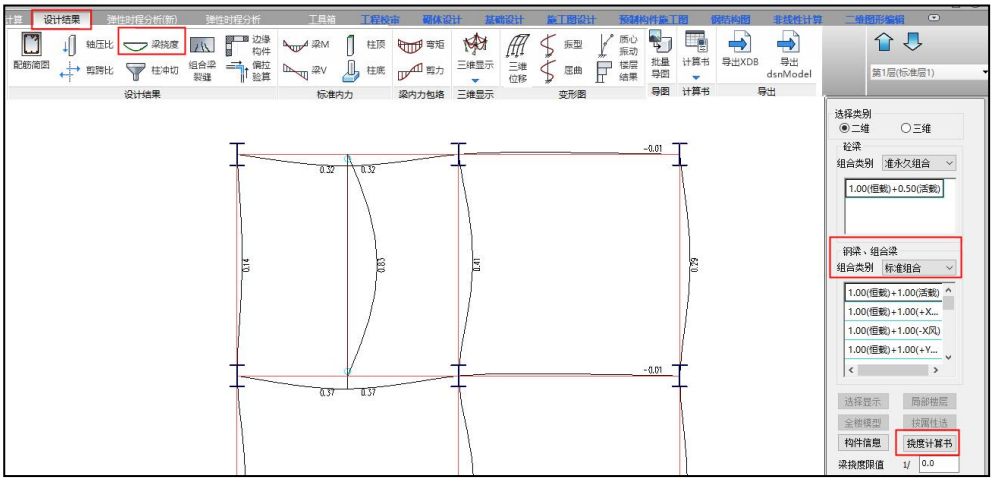


图 3.2.51 组合梁弹性挠度

十六、组合梁裂缝

程序依据《组合结构设计规范》第 12.3.5 条和《混凝土结构设计规范》第 7.1.2 条按荷载标准组合或准永久组合并考虑长期作用的影响进行最大裂缝宽度计算。计算结果包括图形简图及详细计算书输出两部分。图形简图通过“组合梁裂缝”菜单分别查看标准组合或准永久组合裂缝图，详细计算书输出通过“裂缝计算书”选择组合梁弹出详细的 word 版组合梁裂缝计算书。

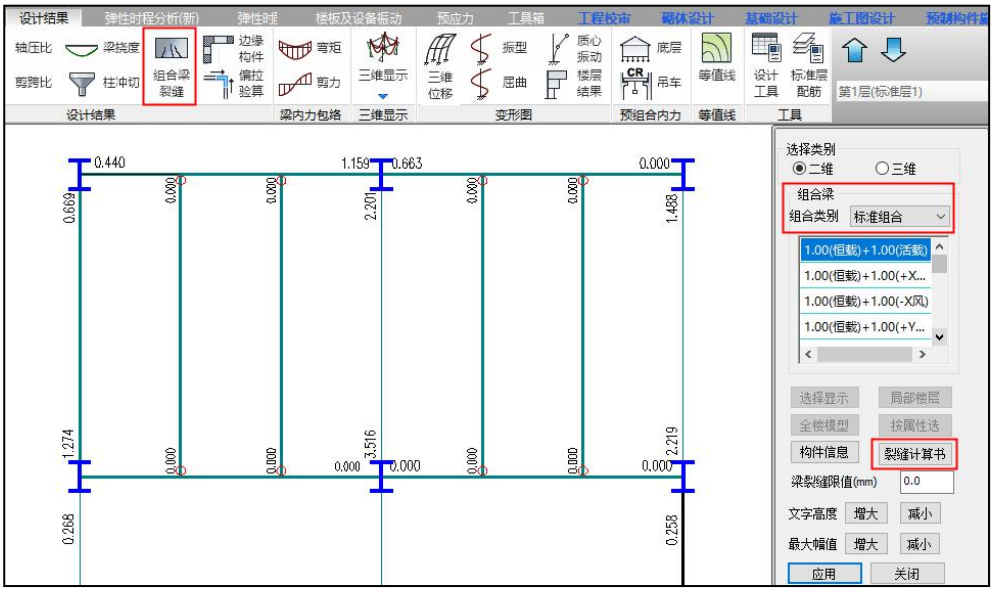


图 3.2.52 组合梁裂缝简图

十七、墙、柱偏拉验算简图

该菜单用来校核特定情况下墙、柱的受拉状态，规则如下：

（1）支持基本组合、标准组合；

（2）可以选择一般恒活组合、风荷载组合、地震组合；

（3）按与砼受拉强度比值判断是否超限，可以输入比值系数；

（4）只验算受拉情况，所有组合均受压时不输出；

软件会输出最终比值（大于 1 超限）及对应的轴力、组合号。

偏拉验算支持按单墙肢或组合墙（仅当参数中勾选组合墙配筋相关选项）方式验算，并与混凝土受拉强度标准值 ftk 的倍数（默认 2.0）比较。

对于墙中含有型钢、钢板等情况，会根据钢、混凝土弹模比值进行换算。

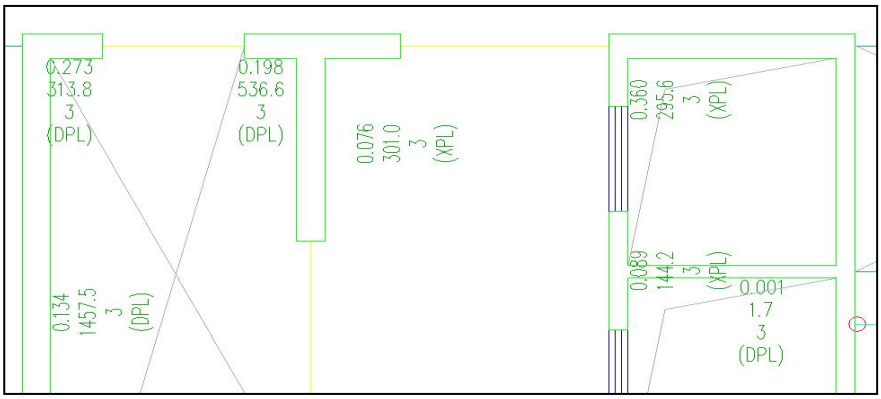


图 3.2.53 偏拉验算简图

十八、边缘构件简图

边缘构件简图用来查看剪力墙边缘构件的设计结果。软件根据 10 版新规范的相关规定进行边缘构件设计，按墙组合轴压比确定底部加强部位边缘构件类型，可以考虑临近边缘构件的合并。

边缘构件的结果通过引出线来标注：

（1）横线上方为标准构件类型与编号；

（2）横线下方分别为：全部纵筋面积（配筋率）、箍筋体积配箍率（或实配钢筋）；

（3）如果该边缘构件配筋由计算决定，则以黄色显示。

软件提供边缘构件搜索功能，输入边缘构件编号，软件可定位到该边缘构件。

软件还提供边缘构件交互修改功能，软件根据修改后的边缘构件类型自动重新进行边缘构件设计。

图 3.2.54 修改边缘构件类型

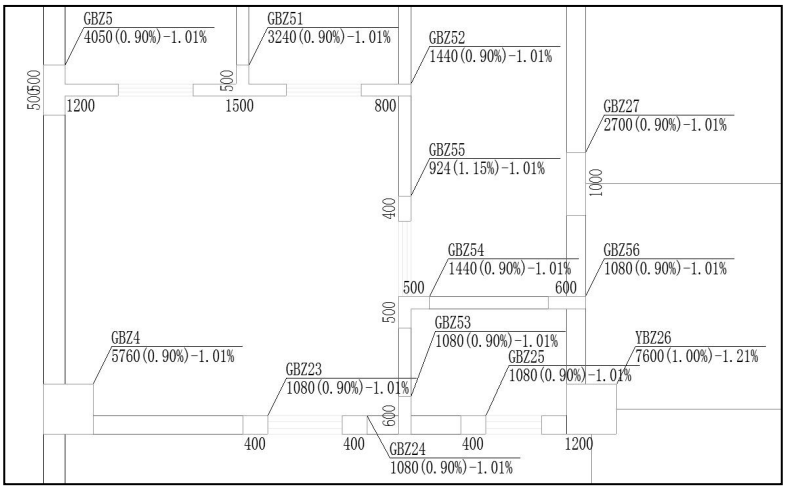


图 3.2.55 边缘构件配筋简图

边缘构件简图右侧对话框同时提供了若干查询选项，如下图所示。

图 3.2.56 边缘构件对话框

按实际轮廓配筋结果：用来显示按边缘构件轮廓计算得到的配筋结果，与计算参数的“按边缘构件轮廓计算配筋”对应。

显示墙身：用来显示墙身范围，以阴影区显示。

构造控制时显示详细配筋：勾选时，显示纵筋配筋根数直径，不勾选时，显示配筋面积。

配筋边构：用来显示可以按照边缘构件轮廓计算配筋的边缘构件，考虑到边缘构件实际的轮廓形状比较复杂，目前软件主要支持一字形、L 形、T 形等常见边缘构件形状。

配筋轮廓：用来显示配筋计算时的边缘构件外轮廓，以阴影区显示，主要起到校核作用。

配筋墙身：用来显示配筋计算时的墙身范围，以阴影区显示，主要起到校核作用。

构件信息：在边缘构件简图中，可以查看边缘构件、墙身的单构件信息、如单工况内力、组合内力等。

十九、鉴定加固简图

鉴定加固简图用来查看与鉴定、加固设计相关的简图信息，包括原有钢筋配筋简图、柱承载力简图、加固做法简图等。

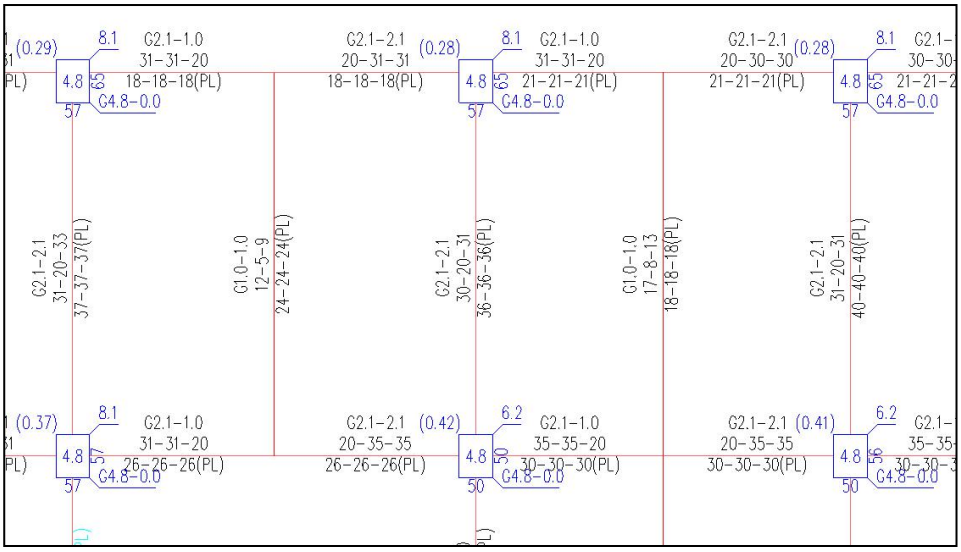


图 3.2.57 原有实配钢筋简图

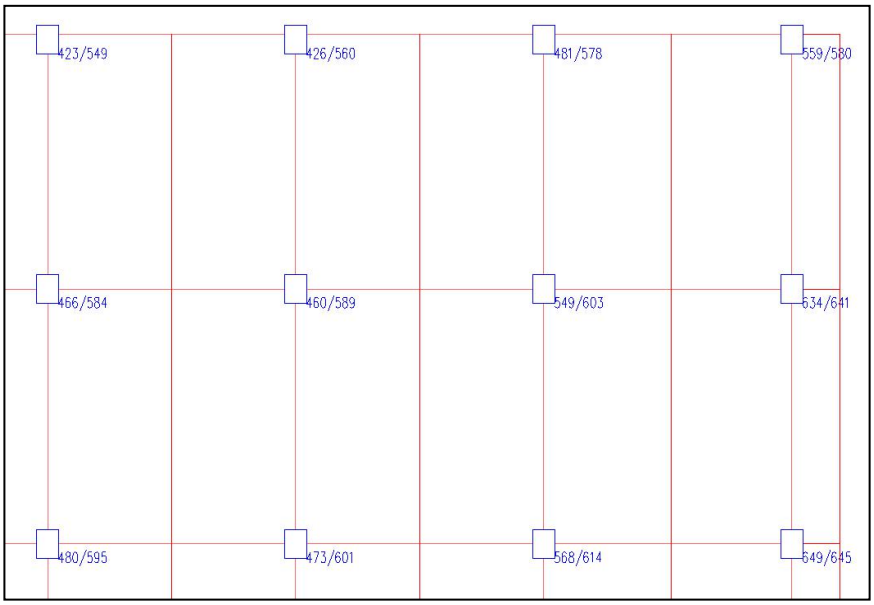


图 3.2.58 柱受剪承载力简图

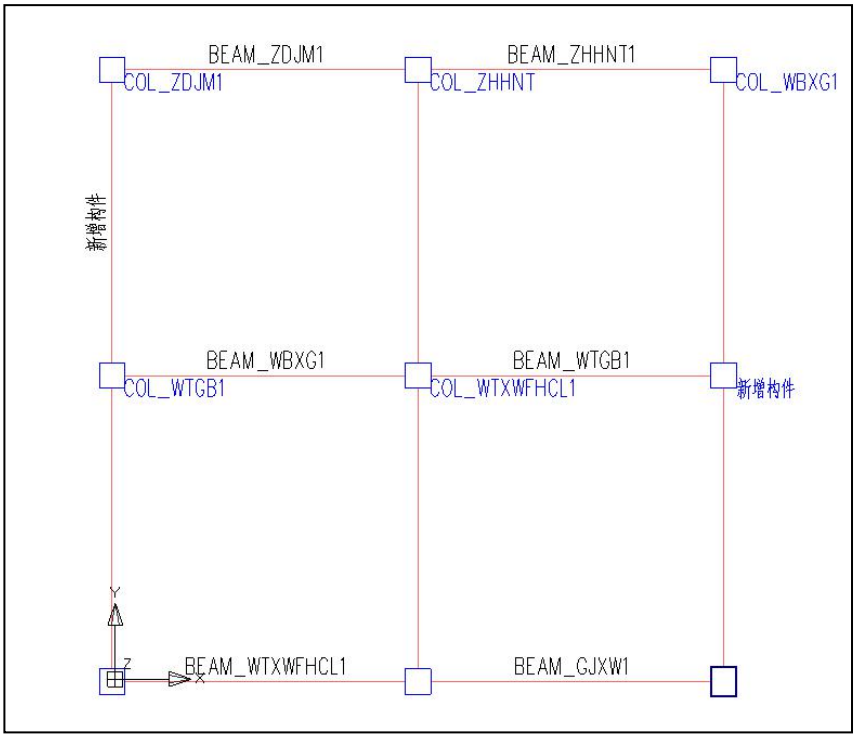


图 3.2.59 加固做法简图

二十、防火验算

对于进行防火验算的钢构件，此菜单给出防火验算结果，可以显示应力比结果及前处理输入的防火参数，可以以二维或者三维视图显示结果；三维结果查看时可通过“选择显示”“局部楼层”等分别选择需要查看的杆件防火验算结果。

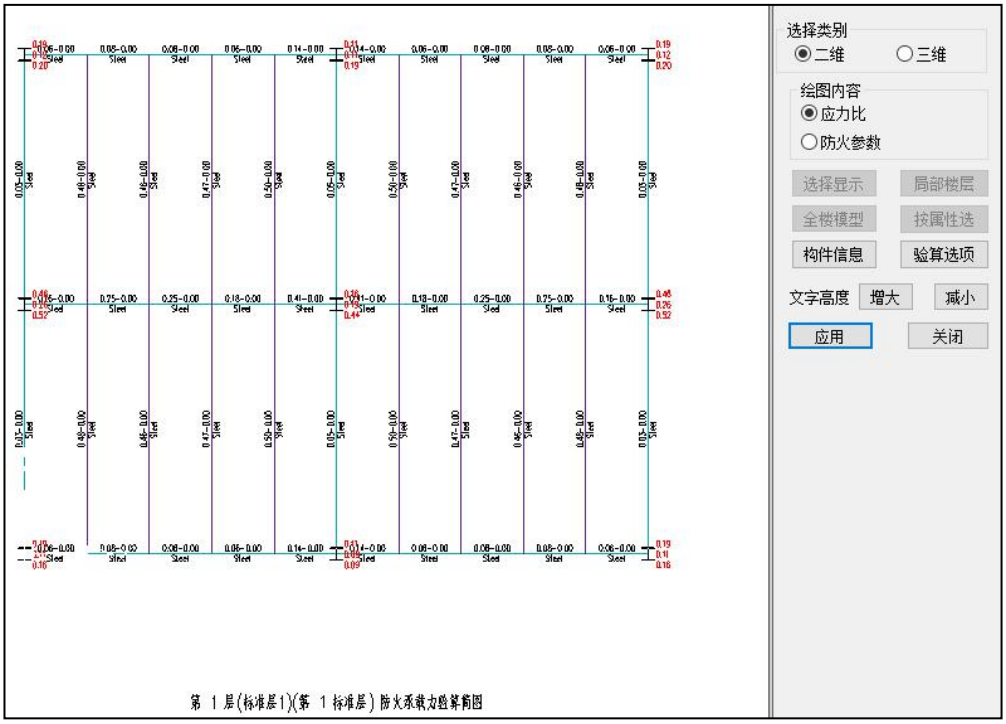


图 3.2.60 防火验算简图

二十一、标准内力简图

标准内力简图分二维内力简图和三维内力简图两种，对于梁、墙梁，提供内力线图画法，对于柱、支撑、墙柱，提供标准内力文字标注画法。

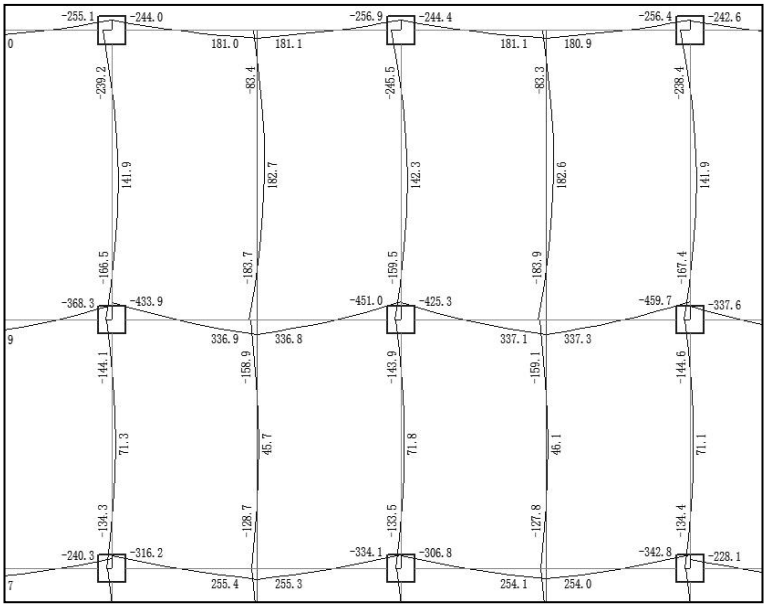


图 3.2.61 梁弯矩图

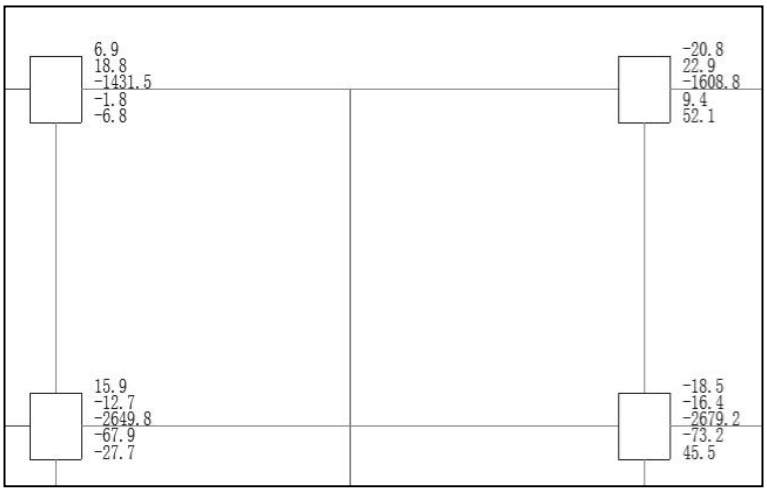


图 3.2.62 柱底内力图

软件可以分别显示调整前和调整后的标准内力，便于设计人员核对标准内力调整结果，并提供“文字高度”、“设置幅值”等辅助菜单。

在二维、三维单工况简图和等值线图下增加了基本组合、标准组合、目标组合等组合内力查看功能。

图 3.2.63 各组合类别

二十二、梁设计内力包络图

设计内力图中标注的内力是指配筋最大所对应的设计内力，而不一定是数值上的内力最大，绘图结果如下图所示。

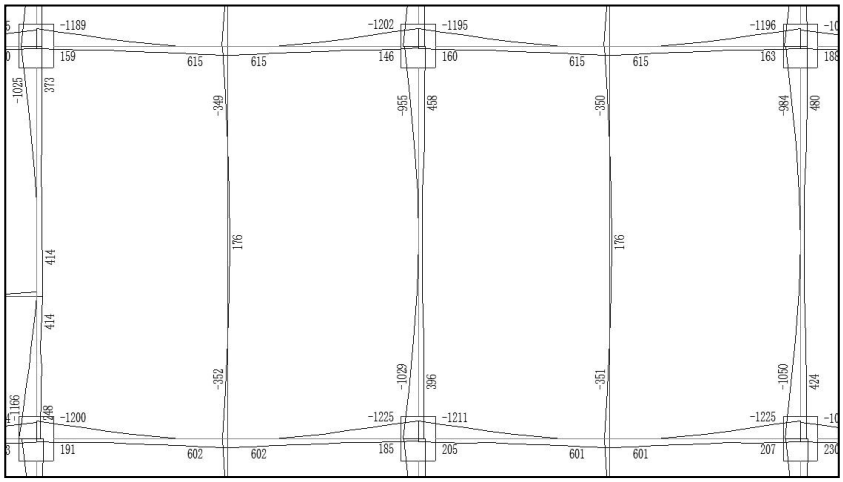


图 3.2.64 梁弯矩包络图

对于有层间梁的模型，软件只标注标高最高的梁。

二十三、三维内力简图

可使用该菜单查看三维显示下各工况构件标准内力，软件采用内力线图画法，并提供调整前和调整后的内力查看功能。

选择工况及内力分量后，点击“应用”按钮即可查看某类构件的三维内力结果；也可以直接在工况列表或内力分量列表中双击相应项目来查看内力结果。

选择显示：可使用该功能交互选择局部范围的构件，软件只显示选中范围内各构件类型的内力结果。

局部楼层：输入起止楼层号后，软件只绘制这些楼层的构件。

全楼模型：基本的全楼构件，在进行如选择显示、局部楼层等交互显示操作后，可使用该按钮来恢复初始的全楼构件。

节点编号：显示选中构件的节点编号。

二十四、三维配筋简图

三维配筋简图可以方便的表达平立面不规则结构的设计结果，如层间梁、桁架、网架等。

右侧对话框主要功能说明：

（1）选择显示

在各种三维简图下，软件提供了几种选择显示功能，可以快速的实现全楼显示、按单个或多个楼层显示、局部显示、按属性选等功能，还支持楼层切换。

图 3.2.65 选择显示功能键

（2）按属性选

软件在所有三维结果查询菜单（三维内力、三维配筋、三维查询、三维属性，振型、位移等）均增加“按属性选择”，方便用户快速查看指定属性构件的计算结果。

软件在“显示当前”的基础上将匹配同时满足勾选条件的构件进行选择。例如下图中想过滤出柱子，则要正确勾选材料、属性、位置这 3 个属性，缺一不可。

图 3.2.66 支持按属性选功能的菜单

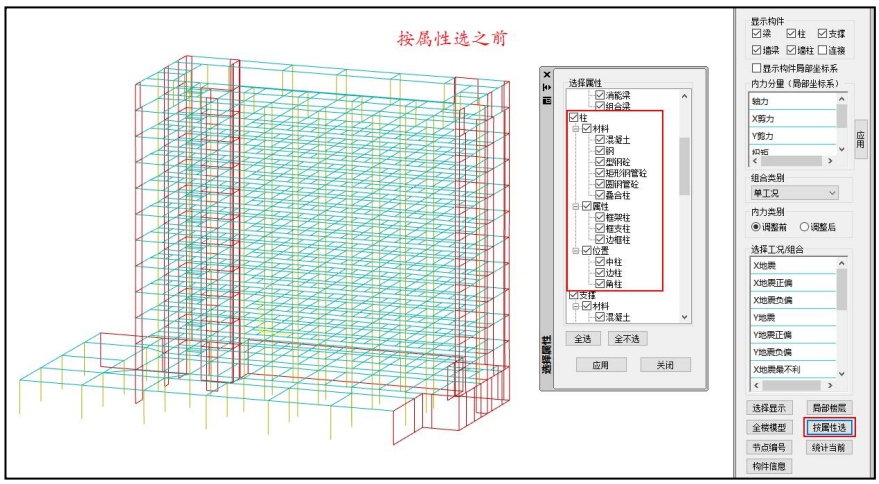


图 3.2.67 按属性选之前

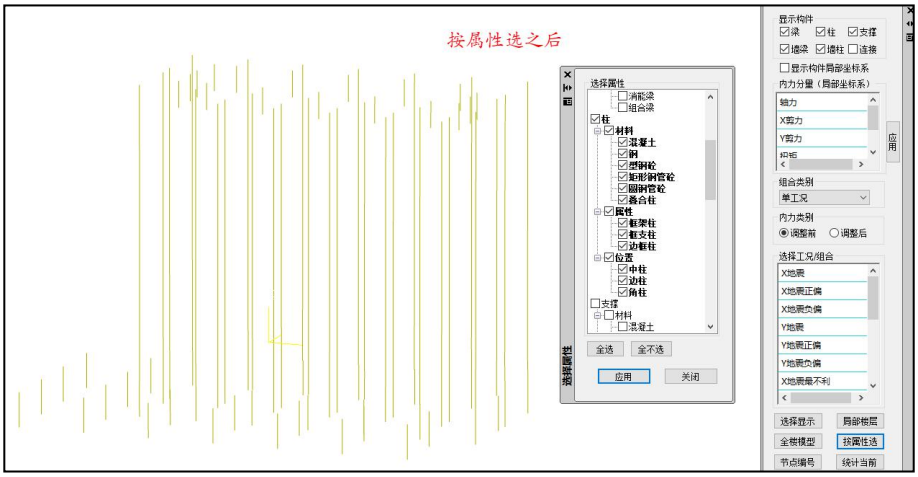


图 3.2.68 按属性选之后

（3）统计当前

用来统计当所显示图形的位移比和位移角、剪切刚度、框架地震剪力、规定水平力下倾覆弯矩比例、受剪承载力等。

比如想统计局部模型的指标，可以通过“选择显示”功能选出局部模型，然后再点击本按钮，则软件所统计的内容仅为当前图形显示的模型。

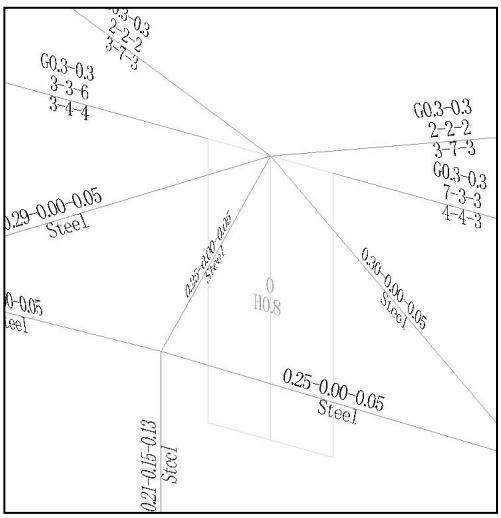


图 3.2.69 三维配筋简图

梁、墙的设计结果表达方式与二维配筋简图相同。

柱、支撑的表达方式稍有差异，如下：

混凝土矩形柱：上排分别为 X、Y 向纵筋面积、角筋面积；下排分别为加密区、非加密区箍筋面积、核芯区抗剪箍筋面积；

混凝土圆形柱：上排为全截面面积；下排分别为加密区、非加密区箍筋面积、核芯区抗剪箍筋面积；

混凝土异形柱：上排分别为固定钢筋面积、分布钢筋面积；下排分别为加密区、非加密区箍筋面积、核芯区抗剪箍筋面积；

钢柱：分别为强度、X、Y 向稳定验算应力比；

方钢管砼柱：分别为强度、X、Y 向稳定、X、Y 向抗剪验算应力比；

圆钢管砼柱：分别为轴压、拉弯、抗剪的外力与承载力之比。

二十五、三维查询简图

三维查询功能可查看前面所述构件的各类设计结果指标三维简图，目前包含应力比、轴压比、剪压比。显示的方式与类别选择均与三维配筋简图相同。

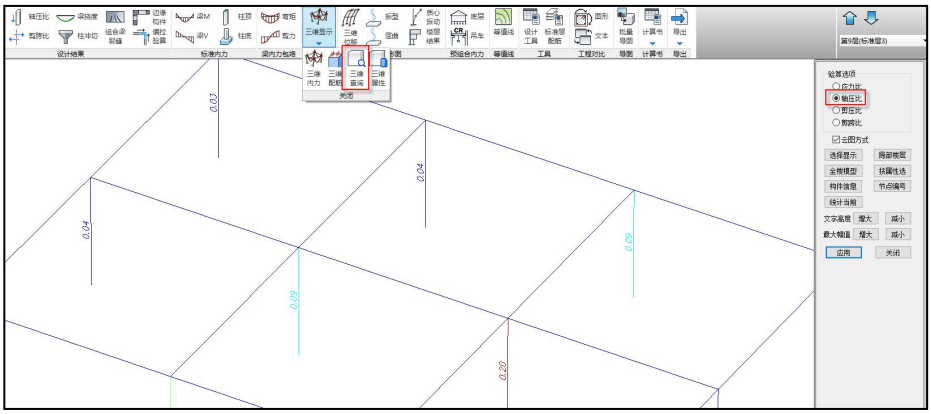


图 3.2.70 三维查询

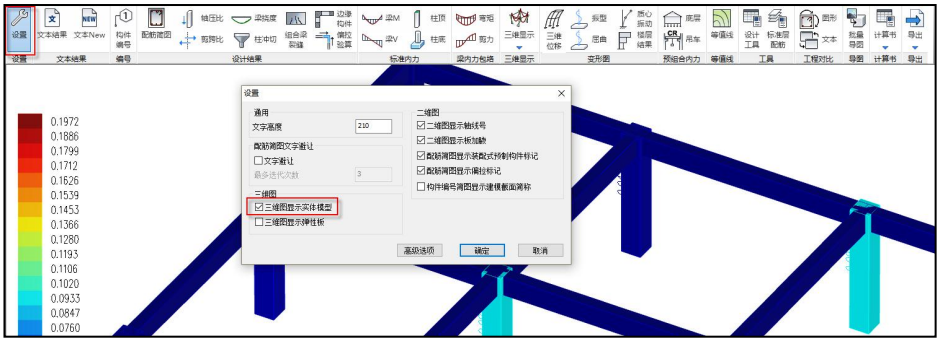


图 3.2.71 三维查询-实体模型

二十六、三维属性简图

通过“三维属性”菜单可查询构件的三维属性简图，目前可供查询属性的构件包括梁、柱、支撑、墙、墙梁、楼板等。

图 3.2.72 三维属性

二十七、三维位移简图

三维位移简图主要用来查看单工况及各组合下各节点位移，并可以查看单工况三维变形图。软件提供按楼层显示、选择显示等功能。

右侧对话框主要功能说明：

（1）选择显示

用来显示局部模型。

（2）统计当前

用来统计当所显示图形的位移比和位移角、剪切刚度、框架地震剪力、规定水平力下倾覆弯矩比例、受剪承载力等。

比如想统计局部模型的指标，可以通过“选择显示”功能选出局部模型，然后再点击本按钮，则软件所统计的内容仅为当前图形显示的模型。

在动画过程中，可随时用鼠标缩放及切换视角而播放的动画不会中断，这样设计人员可以方便地通过动画方式查找结构模型的特点及问题。

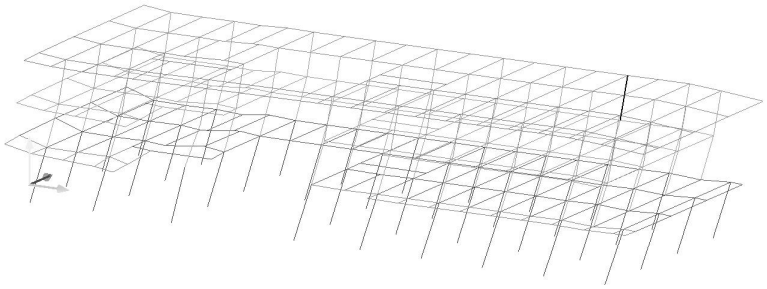


图 3.2.73 单工况三维变形图

二十八、振型图

振型图用来动态显示各振型下结构的变形形态，设计人员可通过振型图来确认是否存在局部振动、平动、扭转等情形。

在动画过程中，可随时用鼠标缩放及切换视角而播放的动画不会中断，这样设计人员可以方便地通过动画方式查找结构模型的特点及问题。

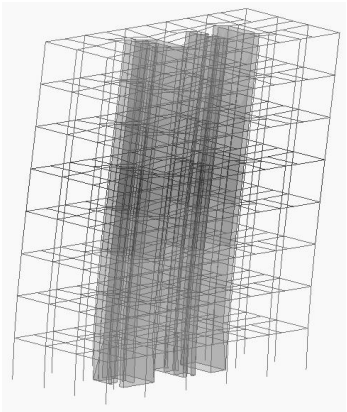


图 3.2.74 振型图

选择振型后，点击“应用”按钮即可查看该振型的变形图；也可以直接在工况列表或内力分量列表中双击某振型号来查看变形图。

变形幅值：绘制变形图时，最大变形在变形图中的相对变形值，其它节点变形均以该数值为基础进行换算。

二十九、屈曲图

该菜单可以查看各个模态下的屈曲变形动画。

在动画过程中，可随时用鼠标缩放及切换视角而播放的动画不会中断，这样设计人

员可以方便地通过动画方式查找结构模型的特点及问题。

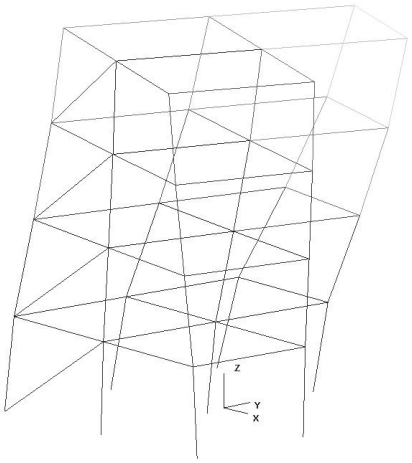


图 3.2.75 屈曲图

结构失稳（屈曲）是指在外力作用下结构的平衡状态开始丧失，稍有**扰动**变形便迅速增大，最后使结构发生破坏。稳定问题一般分为两类，第一类是理想化的情况，即达到某种荷载时，除结构原来的平衡状态存在外，还可能出现第二个平衡状态，又称为平衡分岔失稳，在数学处理上为求解特征值问题，成为特征值屈曲。此类结构失稳时响应的荷载称为屈曲荷载。第二类是结构失稳时，变形迅速增大，不会出现新的变形形式，即平衡状态不发生质变，称为极值点失稳。结构失稳时响应的荷载为极限荷载。

在 YJK 软件中的屈曲分析是解决线性屈曲问题，属于第一类失稳.

结构的第一类稳定问题，在数学上统一归结为广义特征值问题。YJK 软件通过对特征值方程进行求解，来确定结构屈曲时的屈曲荷载和破坏形态。

求解特征值方程，得到特征值和对应的特征值向量，用以确定屈曲荷载和对应的变形形态。每一组“特征值-特征向量”为结构的一个屈曲模式。特征值λ称为屈曲因子，在给定的荷载模式下，它乘以 r 中的荷载就会引起结构屈曲，即屈曲荷载为屈曲因子与给定荷载的乘积。如果λ为负值，说明当荷载反向时会发生屈曲。

三十、质心振动简图

软件可以绘制单振型下各楼层质心振动简图，并且多个振型下的楼层质心振动简图可以叠加绘制。

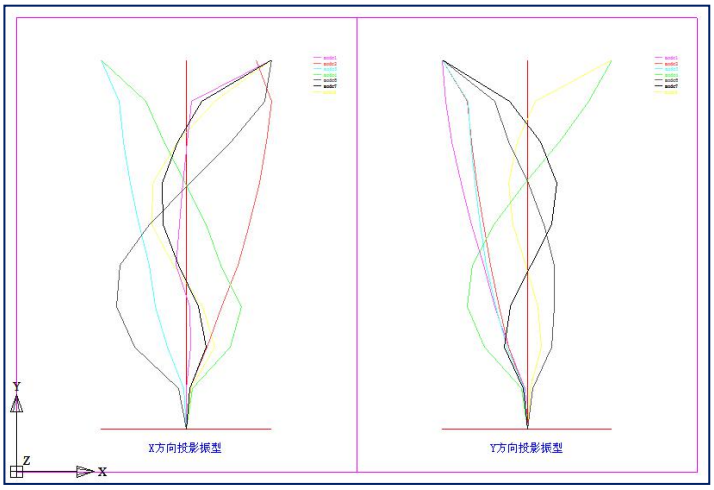


图 3.2.76 各层质心振动简图

三十一、楼层结果简图

该简图用来查看结构在风荷载或地震作用下楼层反应，包括内力和变形，如层外力、层剪力、层底弯矩、层间位移、层间位移角、框架剪力、倾覆弯矩百分比等，还可以显示剪重比、层刚度比、层受剪承载力之比简图。

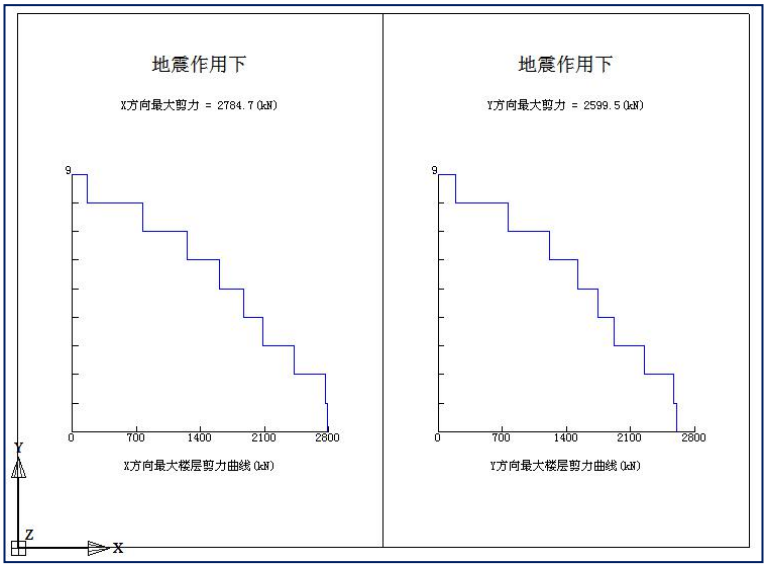


图 3.2.77 各层地震剪力简图

三十二、底层柱、墙最大组合内力简图

该简图用来查看底层柱、墙在基本组合下以某些内力最大为预定目标得到的设计内

力，这些设计内力在计算时未考虑基础设计的相关要求，结果仅供参考。更准确的计算结果应参考基础设计软件。

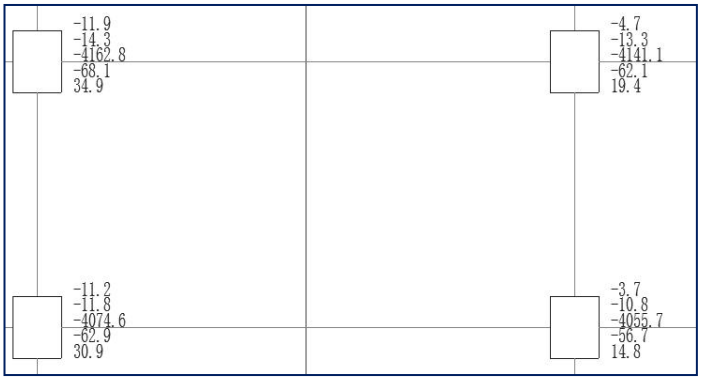


图 3.2.78 底层柱、墙最大组合内力简图

三十三、吊车荷载预组合内力简图

该简图用来查看梁、柱在吊车荷载作用下的预组合内力。

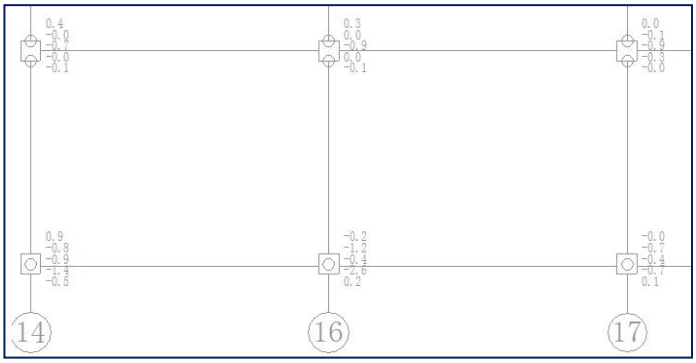


图 3.2.79 吊车荷载预内力简图

三十四、模型切换

模型切换主要包括两方面内容：（1）多塔自动分塔并设计结果取大设计；（2）少墙框架设计。只有当设计人员在设计参数中选择考虑（1）或（2）时，模型切换菜单才显示，如下图所示：

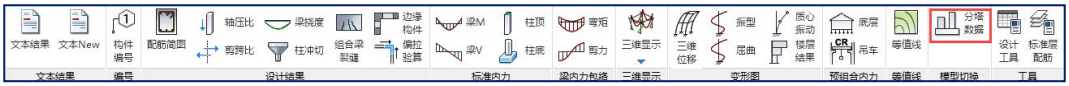


图 3.2.80 模型切换菜单

双击相应编号，软件自动切换到相应模型中，图形和文本显示结果也对应于该模型。对于整体模型，软件输出的是整体模型与分塔模型设计结果较不利值。

图 3.2.81 模型切换对话框

三十五、等值线

软件提供空心板、弹性板、三维墙、参与整体计算的楼梯的等值线绘图功能，包括转壳后的转换梁、连梁等。

输出结果包含内力、应力，对于弹性板、空心板还可以输出配筋等值线。

软件提供按层显示、选择显示等功能，便于查看局部等值线。

由于绘制等值线需要保存很多计算结果数据，会占用一定存储空间，因此软件提供了“生成绘等值线用节点数据”参数，勾选该参数才能查看应力等值线图。

绘制等值线时，软件支持手工指定等值线区间，还支持云图功能。

对于空心板，需要在建模中布置空心板，且采用有限元方法才能绘制空心板应力等值线图。

对于弹性板，需要指定成弹性板（弹性板 6、弹性板 3、弹性膜）才能绘制弹性板等值线图。

转壳的转换梁、连梁、参与整体计算的楼梯均可在三维墙中查看等值线图。

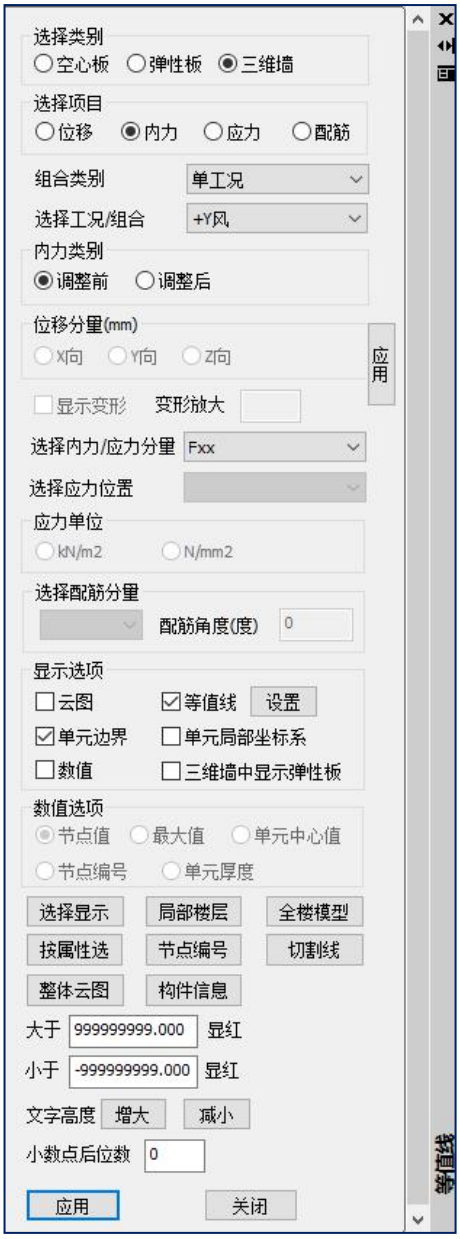


图 3.2.82 等值线设置对话框

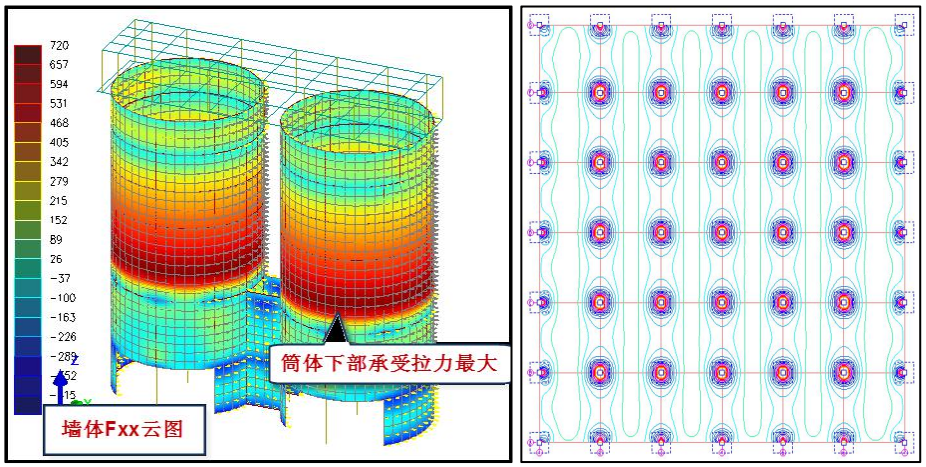


图 3.2.83 等值线图效果

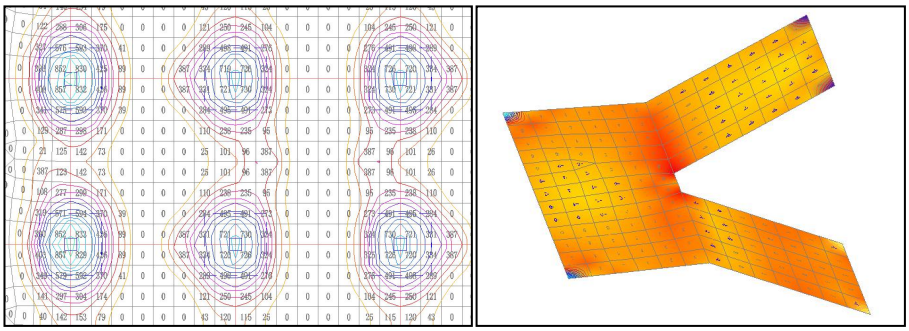


图 3.2.84 等值线图效果

功能说明：

选择显示：可使用该功能交互选择局部范围的构件，软件只显示选中范围内各构件类型的内力结果。

局部楼层：输入起止楼层号后，软件只绘制这些楼层的构件。

全楼模型：基本的全楼构件，在进行如选择显示、局部楼层等交互显示操作后，可使用该按钮来恢复初始的全楼构件。

内力类别，调整前/后：主要控制显示结果为调整前内力，还是调整后内力，该参数仅对单工况内力有效。

显示变形：该参数用来控制位移显示时，是否显示变形后模型。

配筋角度：用来控制配筋时，需要得到与整体坐标系 X 轴有一定夹角下的配筋结果，

比如斜向布置的结构。该参数仅对空心板、弹性板有效。

切割线：该按钮用来交互查看某一竖向平面切割模型后，与模型相交处的单元内力结果。如下图所示。其中，“转换到割线坐标系”用来控制显示的内力是否投影到割线所在的局部坐标系。

图 3.2.85 切割线对话框

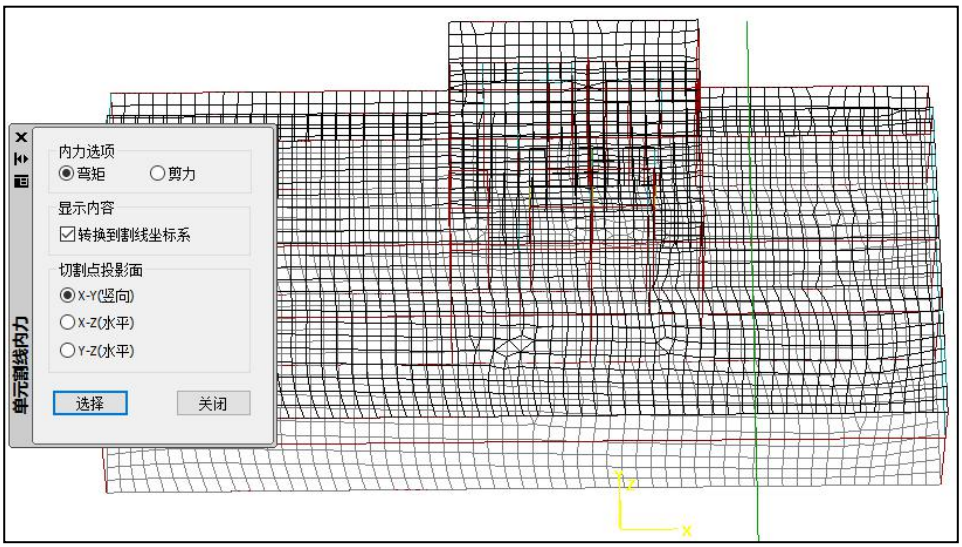


图 3.2.86 切割线效果图

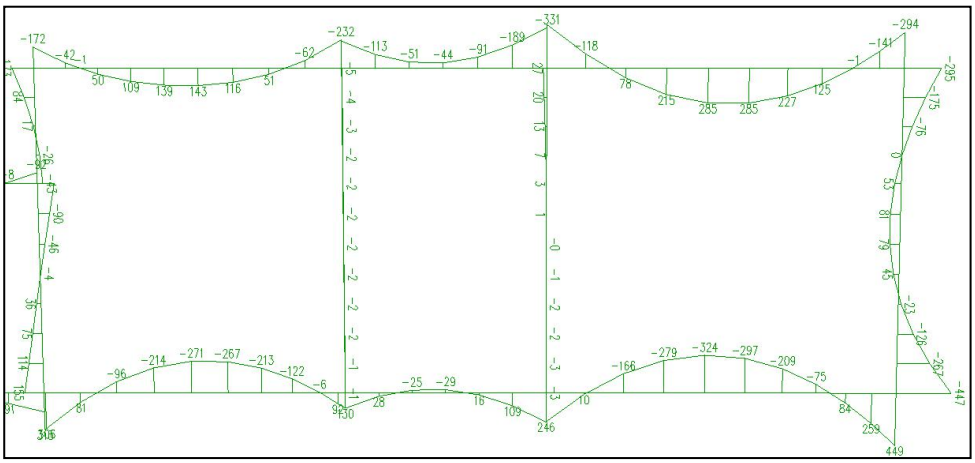


图 3.2.87 切割线效果图

整体云图：软件提供的另一种图形显示方式，目前主要用于面单元及体单元的显示，如下图所示。

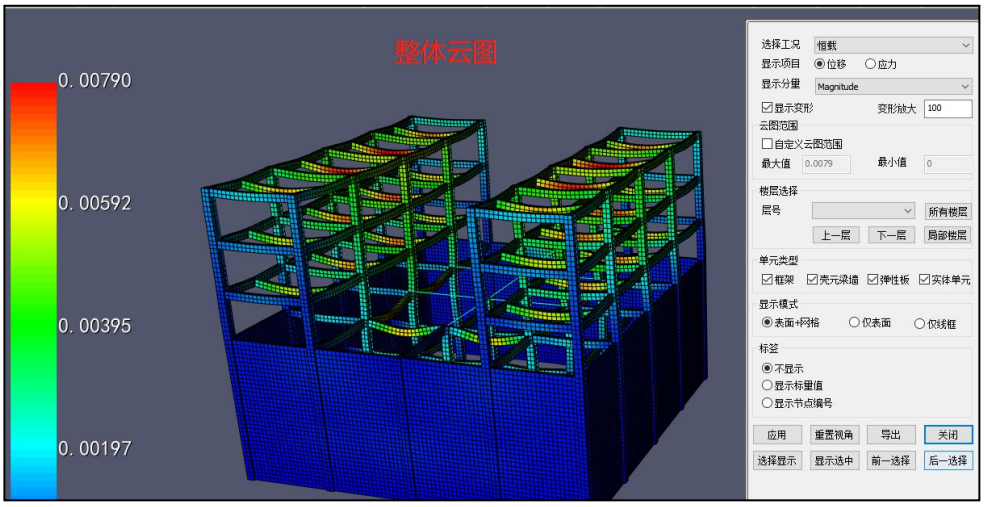


图 3.2.88 整体云图

应力分量解释：

Sig-xx：单元坐标系 x 轴方向轴向应力；

Sig-yy：单元坐标系 y 轴方向轴向应力；

Sig-zz：单元坐标系 z 轴方向轴向应力；

Sig-xy：单元坐标系 x-y 平面上的剪应力；

Sig-yz：单元坐标系 y-z 平面上的剪应力；

Sig-xz：单元坐标系 x-z 平面上的剪应力；

Sig-max：单元坐标系 x-y 平面上的最大主应力；

Sig-min：单元坐标系 x-y 平面上的最小主应力；

Sig-eff：von-Mises 应力，$=\sqrt{\frac{1}{2}\left[\left(\sigma_1-\sigma_2\right)^2-\left(\sigma_2-\sigma_3\right)^2-\left(\sigma_3-\sigma_1\right)^2\right]}$；

Max-shear：单元坐标系的 x-y 平面上的最大剪应力；

软件提供板顶、板底两个位置的应力结果，应力单位可以在右侧对话框选择。

内力分量解释：

Fxx：作用在与局部坐标系 x 轴垂直平面内，单元局部坐标系 x 轴方向上单位宽度轴力（kN/m）；

Fyy：作用在与局部坐标系 y 轴垂直平面内，单元局部坐标系 y 轴方向上单位宽度轴力（kN/m）；

Fxy：单元局部坐标系 x-y 平面内(平面内受剪)单位宽度剪力(Fxy=Fyx)（kN/m）；

Fmax：单位宽度最大主轴力（kN/m）；

Fmin：单位宽度最小主轴力（kN/m）；

Mxx：作用在与局部坐标系 x 轴垂直平面内，绕 y 轴旋转的单位宽度弯矩(绕局部坐标系 y 轴的平面外弯矩)（kN*m/m）；

Myy：作用在与局部坐标系 y 轴垂直平面内，绕 x 轴旋转的单位宽度弯矩(绕局部坐标系 x 轴的平面外弯矩)（kN*m/m）；

Mxy：作用在与局部坐标系 x 轴垂直平面内，绕 x 轴旋转的单位宽度扭矩(Mxy=Myx)（kN*m/m）；

Mmax：单位宽度的最大主弯矩（kN*m/m）；

Mmin：单位宽度的最大小弯矩（kN*m/m）；

Vxx：作用在与局部坐标系 x 轴垂直平面内，沿单元局部坐标系 z 轴(厚度)方向上单位宽度的剪力（kN/m）；

Vyy：作用在与局部坐标系 y 轴垂直平面内，沿单元局部坐标系 z 轴(厚度)方向上单位宽度的剪力（kN/m）；

配筋分量解释：

X、Y 顶：局部坐标系 X、Y 方向板顶计算受拉钢筋面积，钢筋强度采用建模中的标

准层设置（mm2/m）；

X、Y 底：局部坐标系 X、Y 方向板底计算受拉钢筋面积，钢筋强度采用建模中的标准层设置（mm2/m）。

三十六、设计工具

设计工具菜单用来提供部分设计结果统计功能，目前主要是钢构件应力比分布图、柱 N-M 曲线图。

1、钢构件应力比分布图

点击右侧对话框的“钢构件应力比分布图”，软件弹出如下对话框。

设计人员可以选择构件类型、验算内容、显示方式等。

网格线用来控制是否显示坐标线。

截面列表中列举了当前工程中所使用的全部截面。

图 3.2.89 钢构件应力比查询

显示方式：

（1）折线图：软件以曲线方式显示某一类截面所对应的全部构件应力比简图，并按照从大到小的顺序排序，这样设计人员可以查看到该截面的利用率，进而进行设计优化。

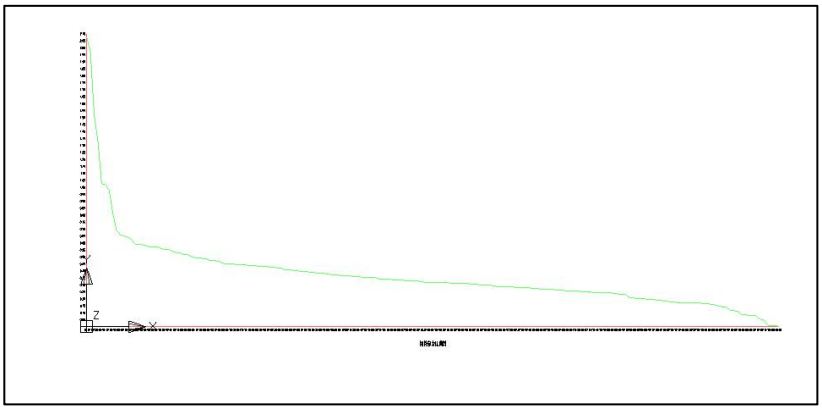


图 3.2.90 钢构件应力比分布图-折线图

（2）柱状图：软件以柱状图方式显示某一类截面所对应的全部构件应力比简图，并按照从大到小的顺序排序。

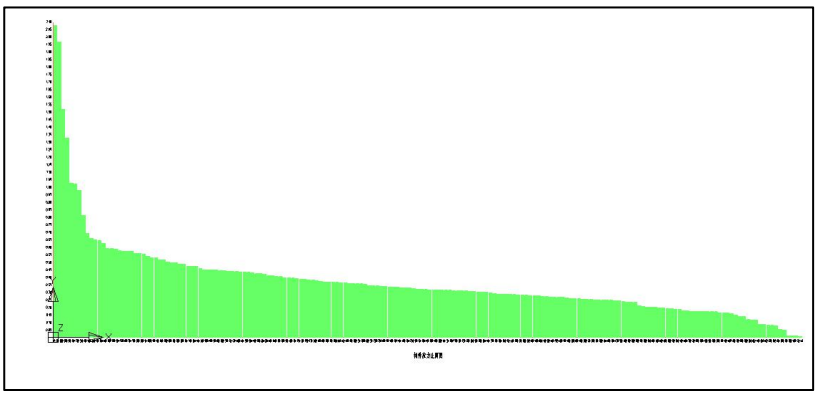


图 3.2.91 钢构件应力比分布图-柱状图

2、钢构件优化设计

软件提供了钢构件优化设计功能，可以对各种钢截面类型进行优化设计。该功能配合前面钢构件应力比分布图使用，可以进一步提高优化效果。

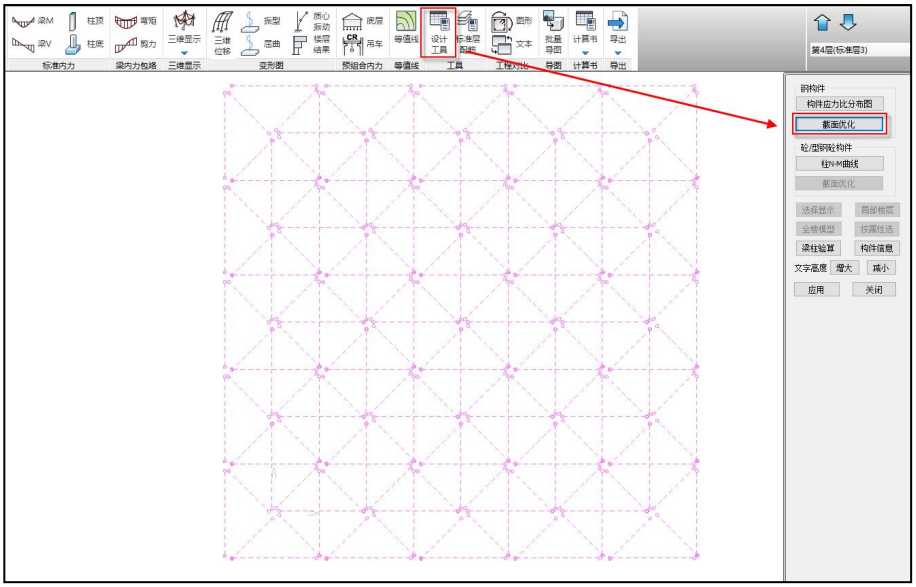


图 3.2.92 钢构件优化设计

优化设计流程如下：

（1）针对建模已有构件，定义一组对应的备选优化截面，目前要求备选截面类型要与原始截面类型一致，备选截面列表生成方式有：1）从建模截面库导入；2）从型钢库或薄壁型钢库批量导入；3）采用自动生成工具，生成截面序列（目前仅支持圆环、工字形、箱形截面）；

图 3.2.93 设置备选截面

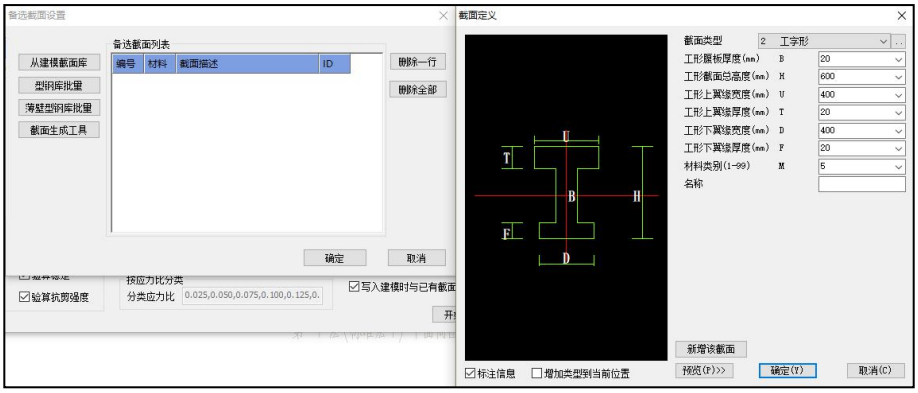
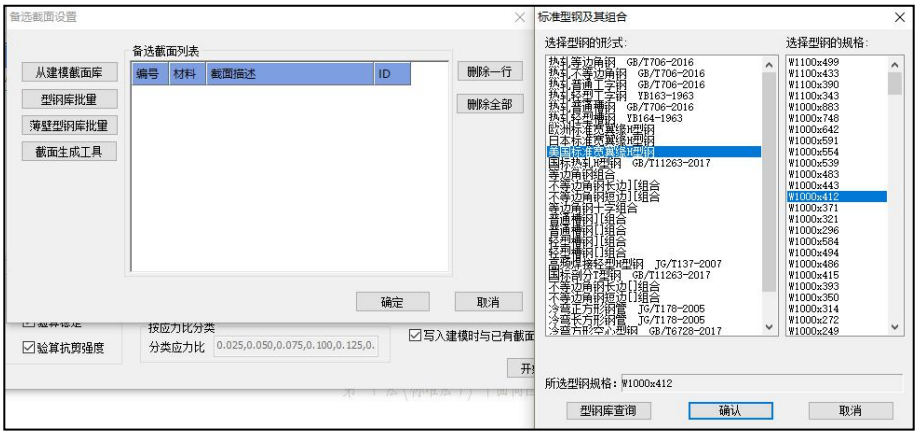


图 3.2.94 设置备选截面-从建模截面库导入



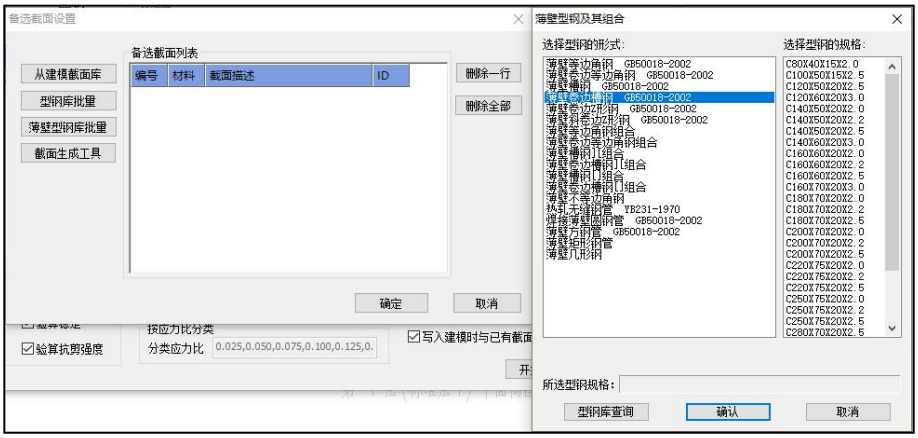


图 3.2.95 设置备选截面-从型钢库或薄壁型钢库导入

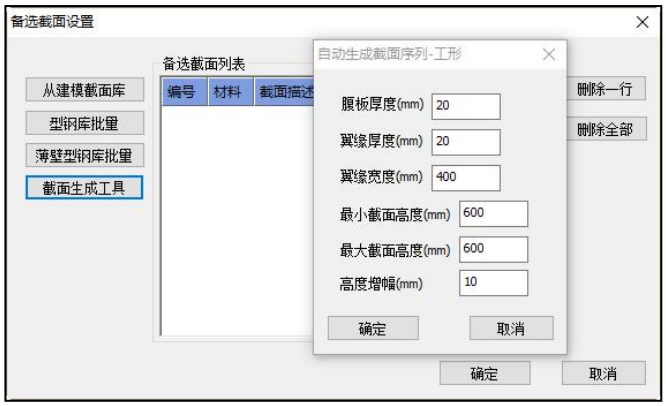


图 3.2.96 设置备选截面-截面生成工具

（2）软件对属于同一建模截面的所有构件按应力比进行分组，每一组构件对应同一备选截面，不同组构件可以对应不同的备选截面；

（3）程序按照截面面积从小到大顺序排序，按照已有构件内力，依次对备选截面进行验算，直到所有验算选项通过；

（4）将该截面特性写入计算文件并重新计算；

（5）再将备选截面代入验算，通过，则标记作为备选截面；不通过，则继续从备选截面中选取其它截面，重复（1）~（5）步骤；

（6）如果每次迭代时没有新截面选出，或者都验算通过，或者达到最大迭代次数，则终止，将目前选出截面标记，并询问是否写入建模数据；

（7）同意写入建模，则写入建模，同时自动切换到建模菜单，并根据参数设置确认写入建模时是否与已有相同截面合并；

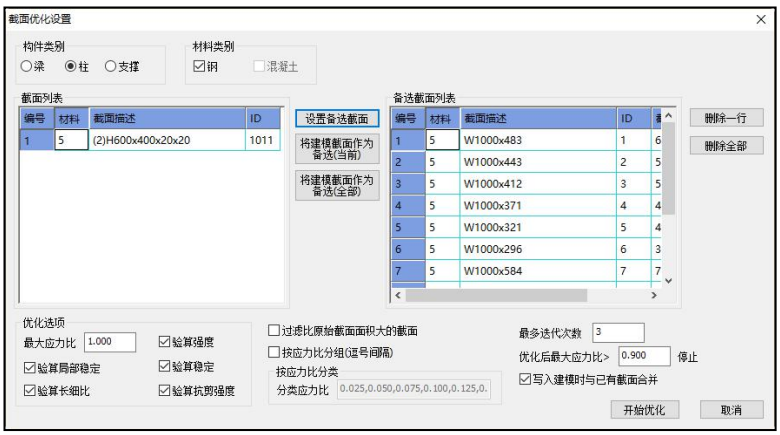


图 3.2.97 优化设计对话框

技术条件如下：

（1）优化设计验算选项有 6 个，最大应力比及 5 个控制选项，建议最大应力比填写数值要比 1 稍小点，这样代入建模后，更容易通过后续验算；

（2）程序提供是否过滤比原始截面大的截面选项，这样选出来的截面一定比原始截面小，缺点是不通过概率会提高；如果不过滤，程序可以将原来验算不通过的截面选出一个验算通过的截面（备选截面有的话）；

（3）分组数据一般不建议修改；

（4）迭代次数不宜太多，否则计算时间较长；

由于优化设计时的计算不能考虑自重的变化，以及构件截面变化对相关设计参数的影响，如柱长度系数等，因此优化设计中的计算结果，与代入建模后重新计算的结果会稍有出入；

优化设计效果的好坏，与初始截面定义与构件分布、应力比分布梯度等关系很大，可以在优化设计前，查看下构件应力比分布图，按照应力分布情况确定备选截面。

3、柱 N-M 曲线图

点击右侧对话框的“柱 N-M 曲线”，软件弹出如下对话框。

图 3.2.98 柱 N-M 曲线图

计算选项：分单偏压、双偏压两种，目前仅支持单偏压方式。

截面位置：柱有顶、底两个控制截面，可仅验算顶、底一个截面，也可同时验算两个截面。

组合类别：分非地震、地震、人防，主要是考虑地震组合有承载力抗震调整系数问题，人防有材料强度提高问题。

输出方式：

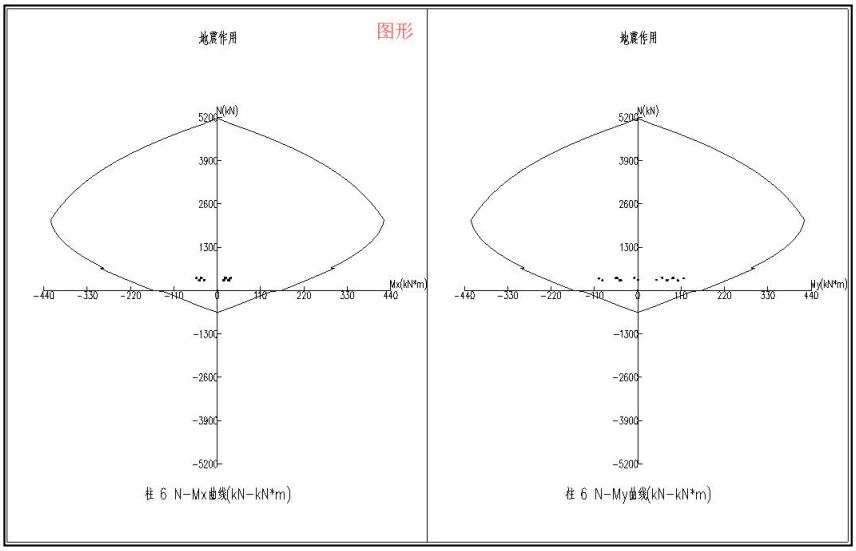


图 3.2.99 柱 N-M 曲线图

dsnNMGraphData.out - 记事本

文本

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)

N-M曲线绘图数据

序号	Nx	Mx	Ny	My
1	5171.76	0.00	5171.76	0.00
2	5171.76	0.00	5171.76	0.00
3	5171.76	0.00	5171.76	0.00
4	5171.76	0.00	5171.76	0.00
5	5164.83	1.44	5164.83	1.44
6	5157.90	2.88	5157.90	2.88
7	5150.97	4.32	5150.97	4.32
8	5144.04	5.75	5144.04	5.75
9	5137.10	7.19	5137.10	7.19
10	5130.17	8.63	5130.17	8.63
11	5123.24	10.07	5123.24	10.07
12	5116.31	11.51	5116.31	11.51
13	5109.38	12.95	5109.38	12.95
14	5102.44	14.38	5102.44	14.38
15	5095.51	15.82	5095.51	15.82
16	5088.58	17.26	5088.58	17.26

图 3.2.100 柱 N-M 曲线图

显示内力点：是否绘制设计内力点，这样可以看到曲线与内力点的关系及内力点的分布。

4、梁柱验算

同配筋简图中梁柱验算。

三十七、标准层配筋

设计结果增加“标准层配筋”菜单，可人工设置合并楼层的输出，弹出如下对话框，和在施工图菜单下设置钢筋标准层的操作方式相同。

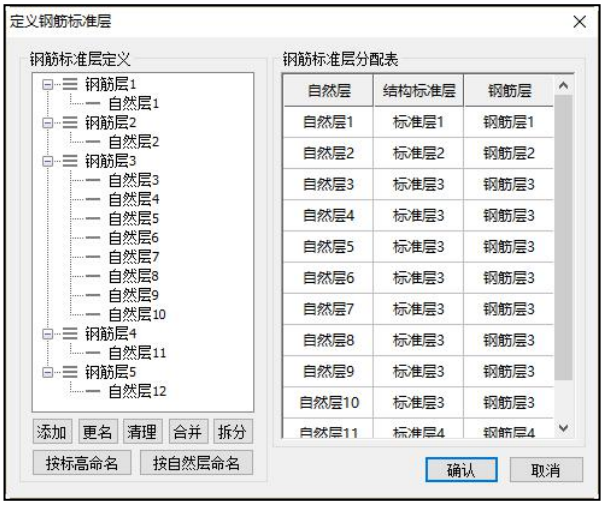


图 3.2.101 定义钢筋标准层

在本菜单中进行的钢筋标准层配筋取大操作不影响原配筋结果，取大后的配筋简图只能在本菜单下查看，切换到其它菜单后，显示的是原计算结果。

三十八、设置

设置菜单用来控制与整体绘图相关的参数，如下图所示。

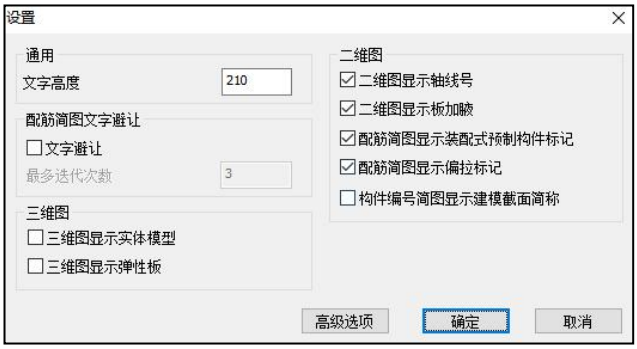


图 3.2.102 设置对话框

文字高度：控制所有简图中的文字高度；

文字避让：默认不勾选，当结果简图中存在文字重叠情况时，可勾选该选项；

三维图显示实体模型：用来控制基本的三维图是否显示实体模型，目前仅支持静态图，变形图和等值线中的三维图暂不支持；

三维图显示弹性板：用来控制基本的三维图是否显示弹性板，由于弹性板网格划分较多，会影响显示效率，因此默认不勾选。如果需要显示弹性板结果，比如等值线下使用“切割线”功能，则可以勾选该项；

二维图显示轴线号：默认勾选；

二维图显示板加腋：默认勾选；

配筋图显示装配式预制构件标记：用来控制预制构件显示，默认勾选；

配筋简图显示偏拉标记：默认勾选；

构件编号简图显示建模截面简称：用来控制编号简图是否显示建模截面简称，默认不勾选。

三十九、工程对比

设计结果的工程对比菜单可以进行两个不同计算的工程的各种计算结果的自动对比，包括文本文件对比和设计结果(配筋、轴压比等)简图对比。

1、文本对比

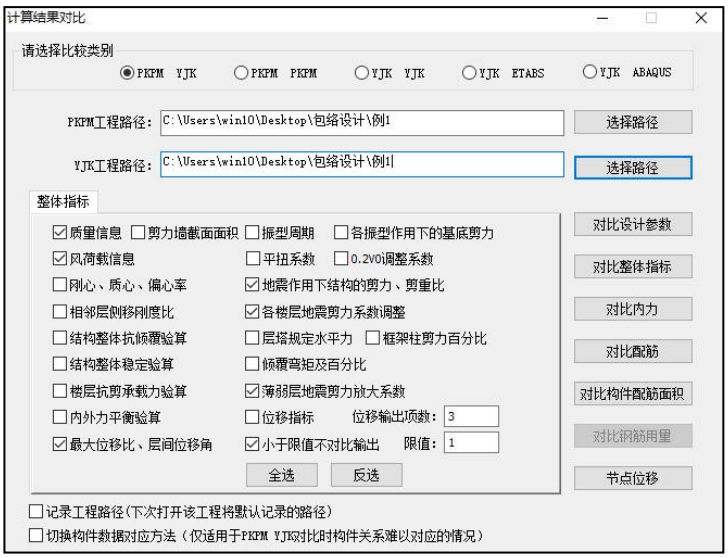


图 3.2.103 文本对比界面

在比较类别里可以选择五种比较方式： PKPM 与 YJK、PKPM 与 PKPM、YJK 与 YJK、YJK 与 ETABS、YJK 与 ABAQUS。其中 YJK 与 ETABS、YJK 与 ABAQUS 对比暂时仅限于结构总质量、周期等整体指标的比较。此处对比的 ETABS 是 9.X.X 版本，201X 版本的 ETABS 不在此处对比。

工程路径是指定计算结果所在的工程路径，即分别给出两个对比对象的计算结果所在的子目录。

对比内容差异适宜用百分比表示时，相对误差值算法为：（后值—前值）/前值；不适于用百分比表示时，用空格或√表示相同，用数字或 X 表示不同。

主要对比项目如下：

（1）计算参数

主要为对比 WMASS 文件输出的控制参数设置是否一致。

（2）整体指标

主要为对比计算结果的整体指标的差别，主要包括以下内容：

1)质量信息

2)风荷载信息

3)刚心、质心、偏心率

4)相邻层侧移刚度比

5)薄弱层地震剪力放大系数

6)结构整体抗倾覆验算信息

7)结构整体稳定验算

8)楼层抗剪承载力验算

9)内外力平衡验算（仅对 YJK 输出）

10)振型周期、平扭系数

11)各振型作用下的基底剪力

12)地震作用下结构的剪力、剪重比

13)各楼层地震剪力系数调整

14)各层各塔的规定水平力

15)框架柱地震剪力百分比

16) 0.2V0 调整系数

17)位移指标、最大位移比层间位移角

（3）构件内力

主要为对比柱、梁、支撑、墙梁、墙柱在各荷载工况下的内力差别。

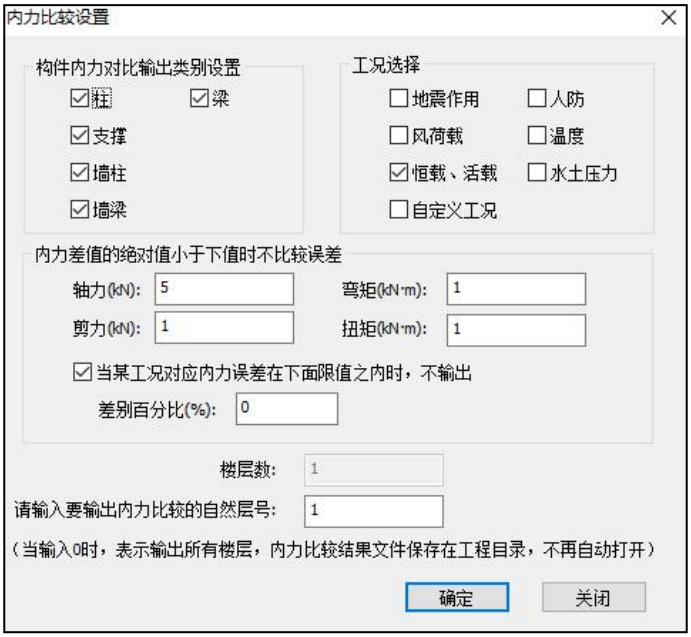


图 3.2.104 内力比较设置

内力差值的绝对值不小于下面数值时不比较误差：此时误差对应项为空，不输出百分比，过滤输出两个较小值的相差百分比很大的情况。

当某工况对应内力误差在限制之内时不输出：此时若对应的构件各内力均在控制误差范围内，该工况内力比较不输出，方便浏览差别较大部分。

（4）构件配筋

主要为对比柱、梁、支撑、墙梁、墙柱 wpj 文件输出的配筋差别。

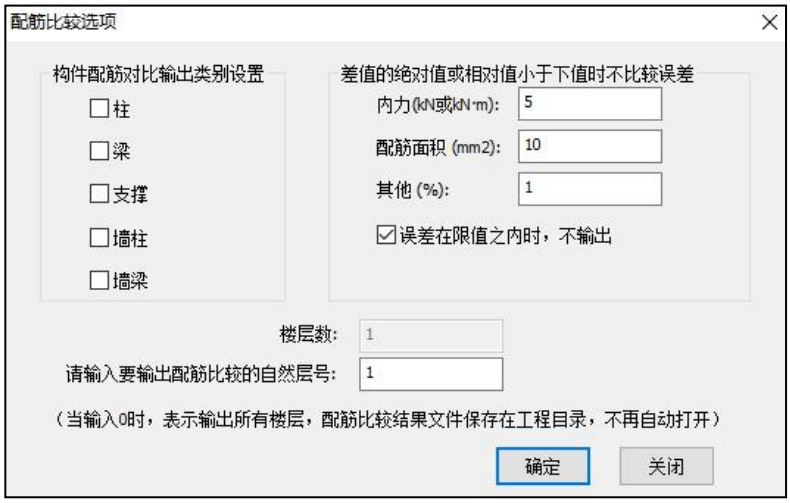


图 3.2.105 配筋比较选项

（5）配筋面积

主要为对比混凝土构件（柱、梁、支撑、墙梁、墙柱、边缘构件）截面计算配筋面积的差别。

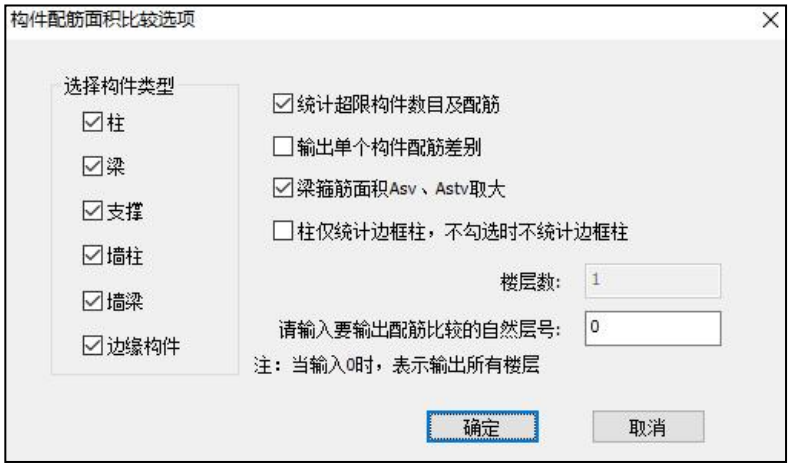


图 3.2.106 构件配筋面积比较选项

（6）钢筋用量

仅限于 YJK 与 YJK 对比，在完成工程施工图设计并在施工图模块进行了钢筋用量统计，则可以比较不同方案各类构件钢筋用量的差异。

（7）节点位移

主要为对比各荷载工况下节点位移的差别。当计算结果中为输出节点详细位移时，输出警告信息：工程中节点详细位移未输出。

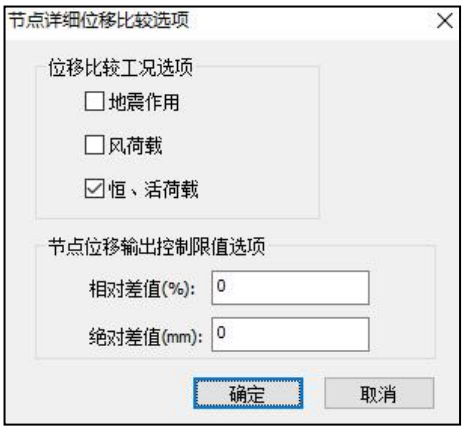


图 3.2.107 节点详细位移比较选项

2、图形对比

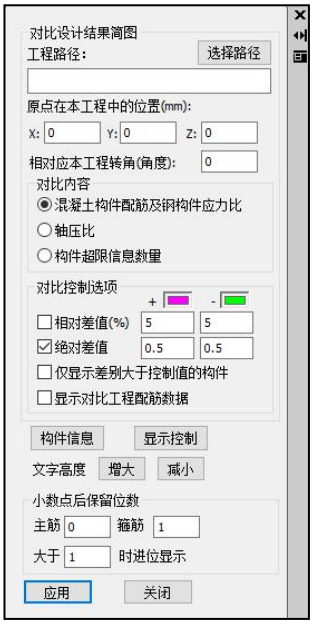


图 3.2.108 工程对比

首先需设定对比对象工程所在的子目录，如果对比工程和本工程之间存在平面位置和转角的偏差，可以在“原点在本工程中的位置”下输入相对 X、Y、Z 坐标的偏差和转

角，例如本例与对比对象有 X 向 3000mm 的偏差。

对比内容可以选择 3 种：

1、混凝土构件配筋和钢构件应力比

2、轴压比

3、超限信息

对比结果可以两种方式显示

第一是软件采用不同颜色显示对比的差别，假如选择的颜色正值为粉红，负值为绿色，如在对比控制选项中输入“绝对差值”为 2，即 2cm^2，则当比对比工程大 2 以上时，该构件粉红色加亮，当比对比工程小 2 以上时，该构件绿色加亮。

第二是直接把对应构件的配筋量标注在旁边，即每根构件既标注本工程计算结果，又同时标注对比工程的计算结果。如上图中的某根梁构件，括号中数值是对比工程对应构件的计算值。由于它们之间的差别大于 2（比对比工程大于 2 以上），数值以粉红色显示。

四十、批量导图

软件在设计结果菜单右上角以及屏幕下方的常用工具栏中提供了导图功能按钮，可以将一张或多张结果简图导出成 dwg 格式或 pdf 格式文件。

图 3.2.109 批量导图菜单

图 3.2.110 批量导图工具

如果只想转换当前显示的图形，则可以点击工具栏的“保存当前图”按钮或输入命令“_save”，会打开图形转换对话框，这时可以选择生成的图形文件格式。

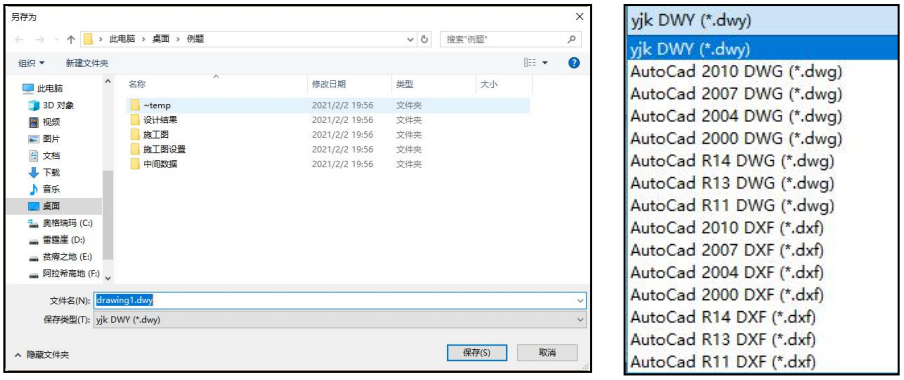


图 3.2.111 批量导图格式

如果想批量转换结果简图，则可以点击“批量导图”按钮，软件提供常用的设计结果简图选择供选择。

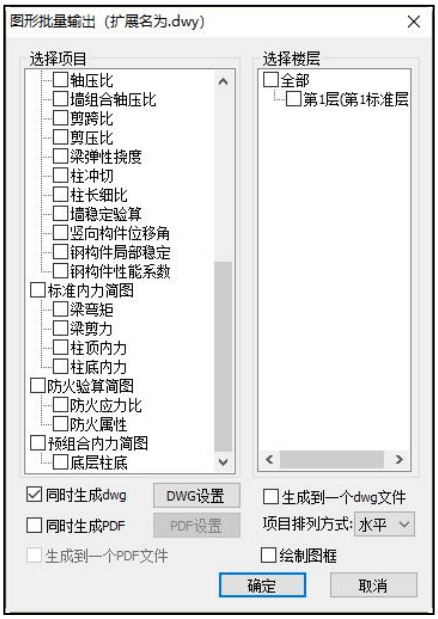


图 3.2.112 批量导图对话框

目前批量转换的图形文件默认为一张平面图对应一个 dwg 文件，如果想把多张平面图导出成一张 dwg 图，则可以使用屏幕下方工具栏的“导出图形文件”按钮实现：

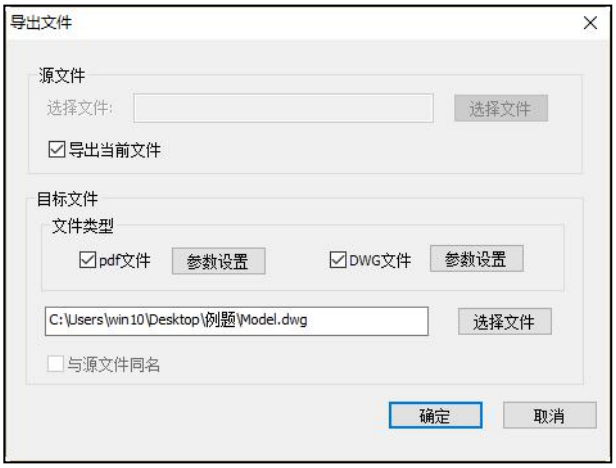


图 3.2.113 通用导图对话框

在上述对话框中使用“选择文件”，选中多张 dwy 文件，然后导出。

四十一、计算书

1、“整体”计算书

为使结构工程师能够更快捷有效的整理设计结果，软件同时提供了另一种计算书输出格式，点击“计算书”菜单的“整体”菜单，如下图所示：

图 3.2.114“整体”计算书

点击“计算书”按钮，软件首先弹出生成“计算书”所需计算简图设置对话框，如下图所示：

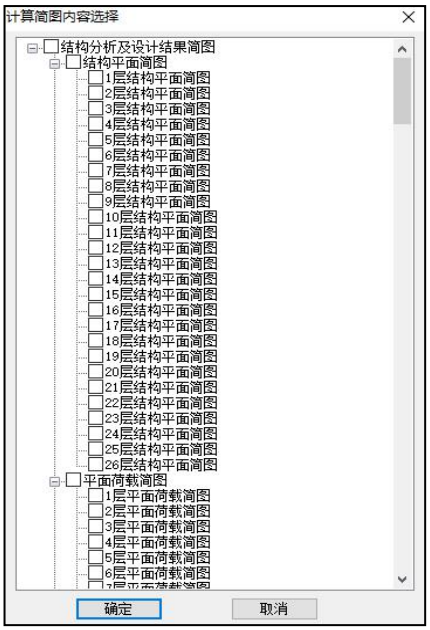


图 3.2.115 计算简图内容选择

由于生成各类简图需要一定时间，因此在生成计算书前，先确定要生成哪些简图。选择后，点击确定，软件自动生成 word 版本计算书，并弹出计算书通用设置对话框。

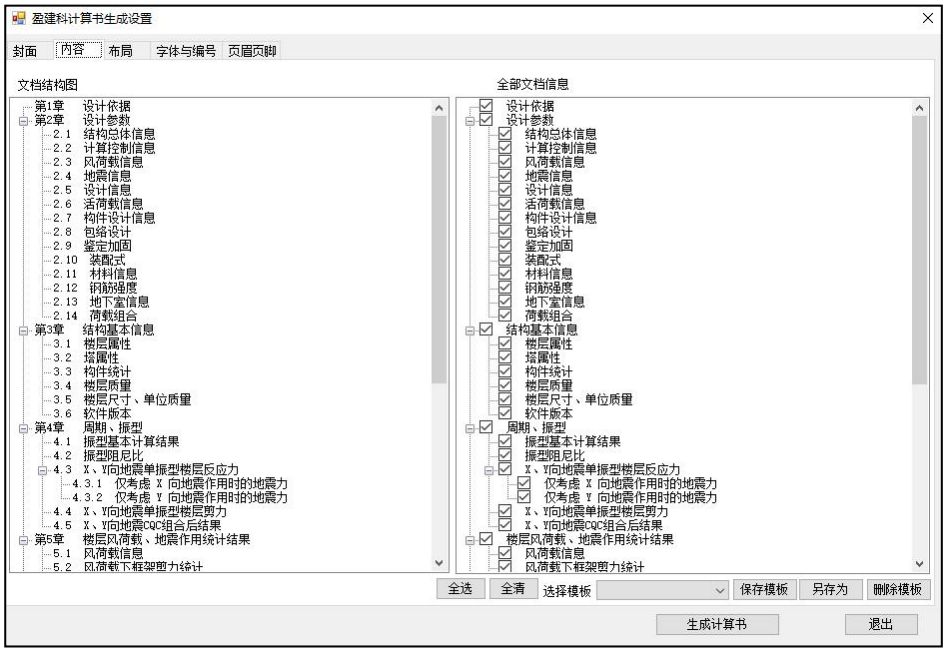


图 3.2.116 计算书-内容

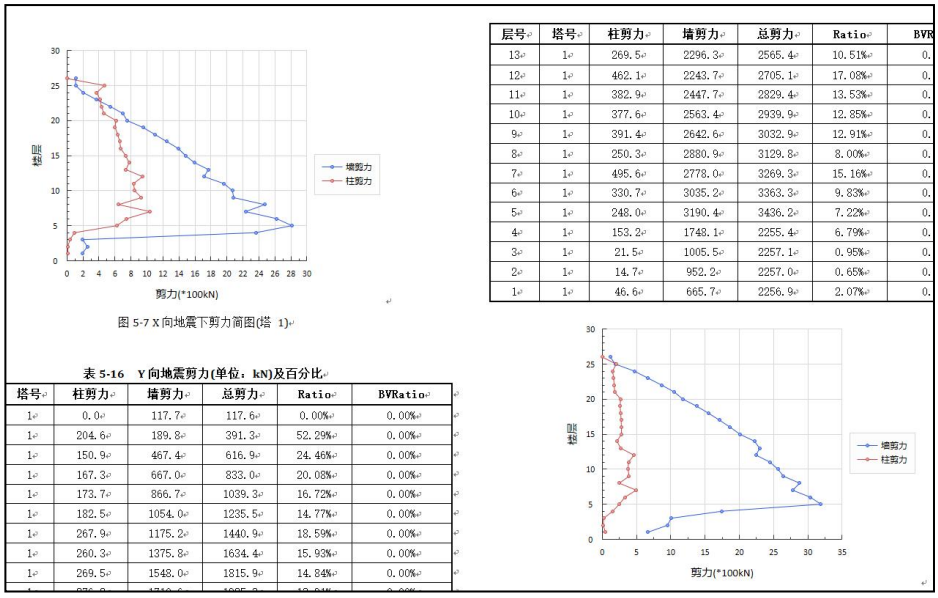


图 3.2.117 计算书-内容

2、“构件”、“构件详细”、“层详细”计算书

图 3.2.118“构件”、“构件详细”计算书

程序在设计结果中提供了构件级别的计算书输出方式，包括构件、层详细、构件详细。用户点击需要生成计算书的菜单，程序会自动生成一个 Word 版的计算书。

程序支持的构件类型包括：梁、柱、支撑、连梁、墙。

程序支持单构件计算书的材料类型包括砼、钢、钢骨砼、矩形钢管砼、圆形钢管砼、叠合柱、组合梁。

“构件”指单构件计算书，计算书给出了单构件的较完整设计信息。

“构件详细”指单构件的截面验算计算书，包括正截面、斜截面详细的计算过程。

“层详细”指某一层或某几层的构件截面验算（即构件详细）计算书输出到一个 Word 中。

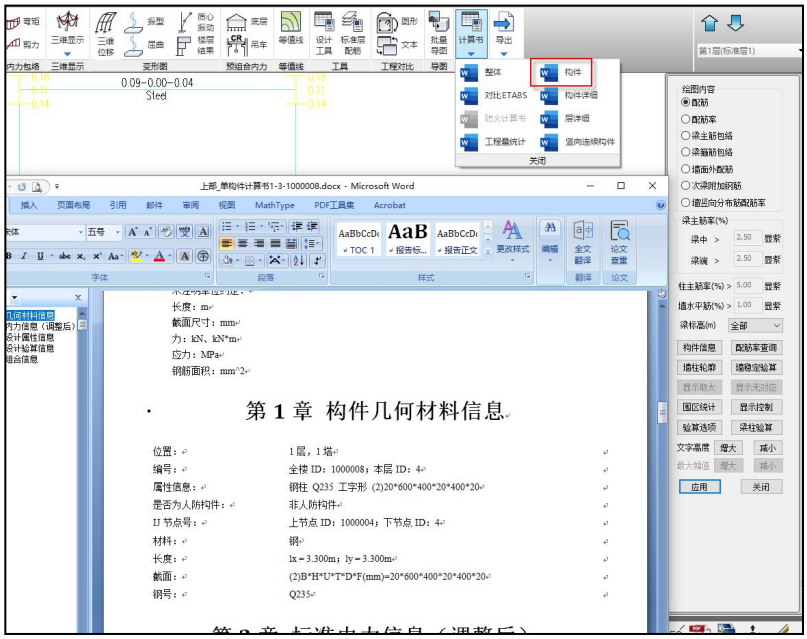


图 3.2.119“构件”计算书

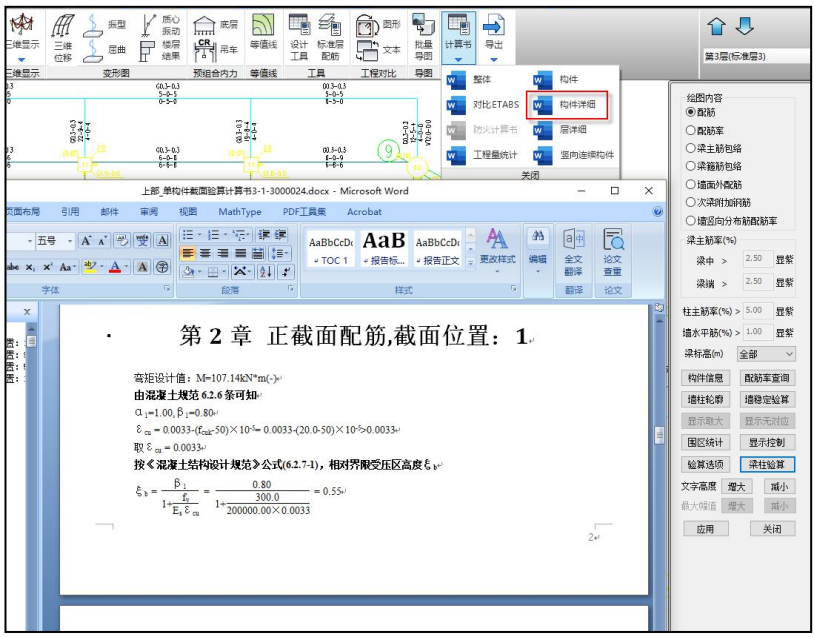


图 3.2.120“构件详细”计算书

3、对比 ETABS

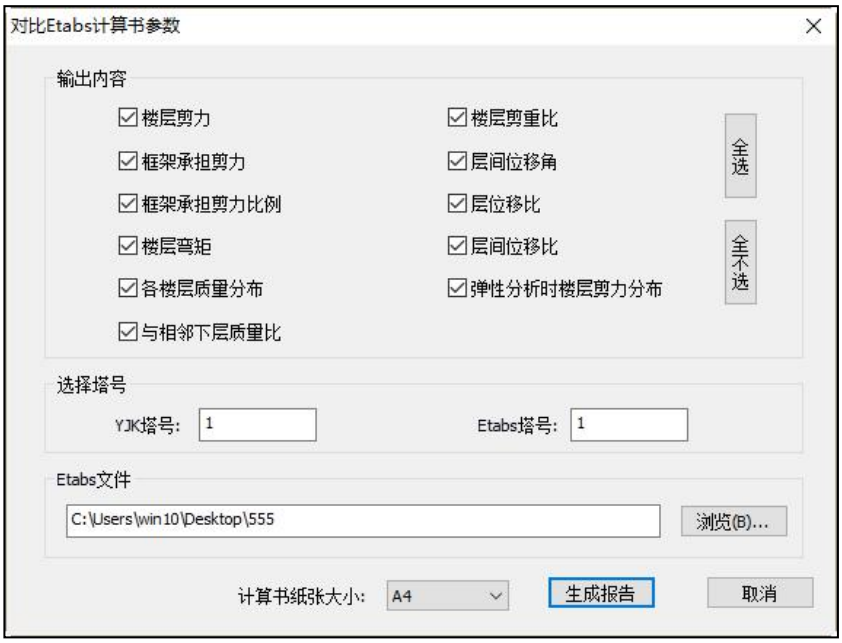


图 3.2.121 对比 ETABS

（1）可读取 Etabs 导出的 Access 数据库内容，输出内容见上图。

（2）自动出 YJK 与 Etabs 对比结果，包含表格与对比图，为 Word 格式。

4、竖向连续构件

图 3.2.122 竖向连续构件

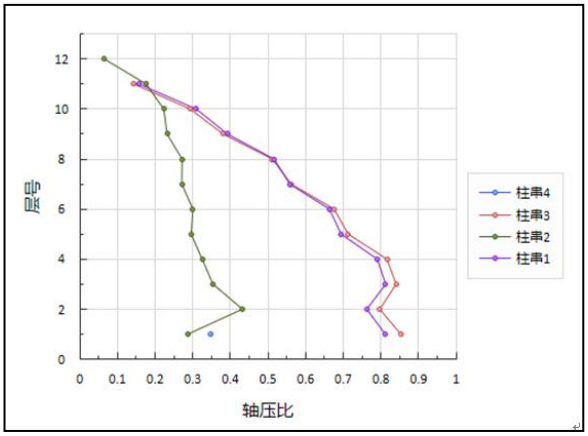


图 3.2.123 竖向连续构件-轴压比

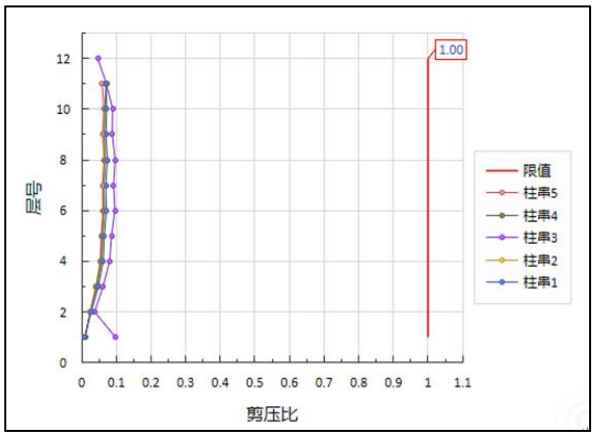


图 3.2.124 竖向连续构件-剪压比

“竖向连续构件”功能用来将柱、墙、按斜杆布置的斜柱的轴压比、剪压比从下到上分层提取出来汇总成图表，方便设计师从全局角度查看这两项指标的变化。

5、“防火”计算书

图 3.2.125“防火”计算书

用于钢结构防火验算整体计算书输出。内容包括防火设计依据、各层钢构件统计、钢构件防火设计、防火涂料技术要求，点取生成计算书，程序生成 word 版防火验算计算书。

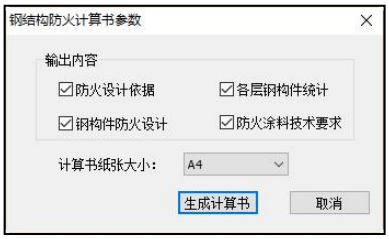


图 3.2.126 防火计算书参数设置

6、工程量统计

图 3.2.127 工程量统计

统计内容包括工程中混凝土用量、上部结构的钢材(钢结构及型钢)用量、钢筋用量三部分。其中，混凝土用量包括上部结构混凝土用量和基础混凝土用量；钢筋用量包括楼板、梁、柱、墙、基础的钢筋用量。该统计建立在各模块将上述内容分别统计输出的基础上，在执行该统计前需要在以下模块完成相应的操作：

（1）上部结构混凝土用量及钢材用量：模型荷载输入->楼层组装->工程量统计（文本）；

（2）基础混凝土用量：基础设计->基础建模->辅助工具->工程量统计；

（3）基础的钢筋用量：基础设计->基础施工图->钢筋统计；

（4）楼板钢筋用量：施工图设计->板施工图->钢筋统计->全楼楼板钢筋用量（excel 格式）；

（5）梁钢筋用量：施工图设计->梁施工图->钢筋统计->全楼梁钢筋用量（按钢筋规

格与类别)；

(6) 柱钢筋用量：施工图设计->柱施工图->钢筋统计->全楼钢筋统计 (excel 格式)；

(7) 墙钢筋用量：施工图设计->墙施工图->钢筋统计->全楼墙钢筋用量 (excel 格式)。

第三节 分析结果的文本输出

本章说明的全部计算结果文本文件都是程序自动生成的。计算结果的文本文件和图形文件都存放在工程目录下的“设计结果”子目录中。

点击工具条上的“文本结果”按钮，窗口左侧会显示出文本结果选择菜单，如下图所示：

图 3.3.1 主要输出文本

一、结构设计信息（wmass.out）

结构分析控制参数、楼层质量和质心坐标、风荷载、层刚度、楼层承载力、抗震验算等有关信息，都记录在 wmass.out 文件中，以便设计人员核对。

该文件输出格式如下：

1、计算参数

输出了计算与设计参数设置信息。

2、楼层属性输出

格式如下：

层号，塔号，属性

属性主要包括：地下室、剪力墙加强区、加强层、转换层等。

3、人防信息输出

格式如下：

层号，塔号，人防设计等级，顶板人防等效荷载(kN/m²)，外墙人防等效荷载(kN/m²)

人防设计等级、顶板人防等效荷载、外墙人防等效荷载均为建模中输入的信息。

该项内容只有在建模中输入了人防荷载信息后才输出。

4、各层质量、质心信息

格式如下：

层号，塔号，质心坐标 X、Y、Z，恒载质量，活载质量，附加质量，质量比

活载总质量（t）

恒载总质量（t）

附加总质量（t）

结构总质量（t）

恒载质量包括结构自重和外加恒载的重力方向分量；

活载质量分两列输出，前面的是活荷载重力荷载代表值系数与活载等效质量的乘积，后面是不考虑活荷载重力荷载代表值系数折减的总的活荷质量。这是考虑当全楼的活荷载重力荷载代表值系数并不统一时，用户无法从折减的活荷质量算出活荷总的质量；

结构总质量是恒载质量、活载质量和附加质量之和，质量比为本层总质量与下层总质量的比值，软件按照《高规》3.5.6 条判断质量比，如果质量比大于 1.5，则软件会给出提示“质量比>1.5 不满足《高规》3.5.6”。

5、各层构件数量、构件材料和层高

格式如下：

层号，塔号，梁数，柱数，斜杆数，墙数，层高，累计高度

如果有混凝土构件，则输出：

层号，塔号，梁数，柱数，支撑数，墙数

(混凝土/主筋) (混凝土/主筋) (混凝土/主筋) (混凝土/主筋)

如果有型钢砼构件，则输出：

层号，塔号，梁数，柱数，支撑数

(钢号/混凝土) (钢号/混凝土) (钢号/混凝土)

如果有钢构件，则输出：

层号，塔号，梁数，柱数，支撑数

(钢号) (钢号) (钢号)

其中：高度单位为（m）。

构件数量按混凝土强度等级和钢筋强度分别统计，对于钢构件按钢号统计，对于型钢砼构件按钢号和混凝土等级统计。

6、X、Y 方向剪力墙截面面积

格式如下：

层号，塔号，X 向墙截面积(m2)，Y 向墙截面积(m2)

其中：X、Y 向墙均按墙柱面积统计，根据墙肢方向与 X 轴夹角是否小于 45 度来判断该墙肢为 X 向或 Y 向。

7、风荷载信息

格式如下：

层号，塔号，风荷载 X，剪力 X，倾覆弯矩 X，风荷载 Y，剪力 Y，倾覆弯矩 Y

其中：剪力单位为（kN），弯矩单位为（kN·m），高度单位为（m）。

倾覆弯矩统计到该层层底。

8、各楼层等效尺寸

格式如下：

层号，塔号，面积，形心 X，形心 Y，等效宽 B，等效高 H，最大宽 Bmax，最小宽 Bmin

这部分内容是根据《广东省实施〈高层建筑混凝土结构技术规程〉（JGJ3-2002）补充规定》DBJ/T15-46-2005 中 2.3.3 条和 3.2.2 条要求输出的。

9、各楼层质量、单位面积质量分布

格式如下：

层号，塔号，楼层质量，单位面积质量，单位面积质量比

这部分信息是根据《广东省实施〈高层建筑混凝土结构技术规程〉（JGJ3-2002）补充规定》DBJ/T15-46-2005 中 2.3.6 条要求输出的，用来判断结构的属性规则性。

10、各层刚心、偏心率、相邻层侧移刚度比等计算信息

格式如下：

Floor，Tower

Xstif，Ystif，Alf

Xmass，Ymass，Gmass

Eex，Eey

Ratx，Raty

薄弱层地震剪力放大系数

Ratx1，Raty1

Ratx2，Raty2

Rjx1，Rjy1，Rjz1

Rjx3，Rjy3，Rjz3

X 方向最小刚度比：刚度比（层号、塔号）

Y 方向最小刚度比：刚度比（层号、塔号）

其中：

Floor ——表示层号；

Tower ——表示塔号；

Xstif、Ystif——为该层该塔刚心的 X、Y 坐标值（m）；

Alf ——为该层该塔刚性主轴的方向（度）；

Xmass、Ymass——为该层该塔质心的 X、Y 坐标值（m）；

Gmass——为该层该塔的总质量（t）；

Eex、Eey——分别为 X、Y 方向的偏心率；

Ratx、Raty——分别为 X、Y 方向本层该塔抗侧移刚度与下一层相应塔的抗侧移刚度之比值；

Ratx1、Raty1 —— X、Y 方向本层塔侧移刚度与上一层相应塔侧移刚度 70%的比值或上三层平均侧移刚度 80%的比值中之较小者；

Ratx2、Raty2 —— X、Y 方向本层塔侧移刚度与上一层相应塔侧移刚度 90%、110%或者 150%比值。110%指当本层层高大于相邻上层层高 1.5 倍时，150%指嵌固层；当选择广东高规(2021)时，输出 X，Y 方向考虑层高修正后本层塔侧移刚度与上一层相应塔侧移刚度 70%的比值或上三层平均侧移刚度 80%的比值中之较小者；

Rjx1、Rjy1、Rjz1 ——分别为结构总体坐标系中塔的侧移刚度和扭转刚度(剪切刚度)（kN/m^2）；

Rjx3、Rjy3、Rjz3 ——分别为结构总体坐标系中塔的侧移刚度和扭转刚度(地震剪力与地震层间位移的比) （kN/m^2）。

11、高位转换时转换层上部与下部结构的等效侧向刚度比

格式如下：

转换层：所在层号、塔号

转换层下部：起始层号、终止层号、高度

转换层上部：起始层号、终止层号、高度

X 方向下部刚度、X 方向上部刚度、X 方向刚度比

Y 方向下部刚度、Y 方向上部刚度、Y 方向刚度比

如果转换层所在层号在 2 层以上时，软件再按层间剪力与层间位移之比方式验算侧向刚度比：

按层间剪力与层间位移之比方式验算侧向刚度比：X 方向刚度比，Y 方向刚度比

该项目只针对有转换层结构，且满足《高规》附录 E.0.2 条规定时才输出。

12、地下室下、上楼层侧向刚度比验算（剪切刚度）

格式如下：

X 方向地下一层剪切刚度，X 方向地上一层剪切刚度，X 方向刚度比

Y 方向地下一层剪切刚度，Y 方向地上一层剪切刚度，Y 方向刚度比

该项目只有在有地下室时才输出。

13、结构整体抗倾覆验算

格式如下：

层号，塔号，抗倾覆力矩 Mr，倾覆力矩 Mov，比值 Mr/Mov，零应力区(%)

《高规》12.1.7 条规定：“在重力荷载与水平荷载或多遇水平地震标准值共同作用下，高宽比大于 4 的高层建筑，基础底面不宜出现零应力区；高宽比不大于 4 的高层建筑，基础底面与地基之间零应力区面积不应超过基础底面面积的 15%。质量偏心较大的裙楼与主楼可分别计算基底应力。”

软件输出结构在风荷载、地震作用下的抗倾覆、倾覆力矩，并给出比值，供设计人员查看。

14、结构整体稳定验算

格式如下：

（1）对于剪力墙结构、框架－剪力墙结构、筒体结构等结构：

X 向刚重比 EJd/GH2

Y 向刚重比 EJd/GH2

对于以上验算，软件给出验算结果，如：

该结构刚重比 EJd/GH2 大于 1.4，能够通过《高规》5.4.4 条的整体稳定验算。

该结构刚重比 EJd/GH2 大于 2.7，可以不考虑重力二阶效应。

（2）对于框架结构：

层号，塔号，X 向刚度，Y 向刚度，层高，上部重量，X 刚重比，Y 刚重比

对于以上验算，软件给出验算结果，如：

该结构刚重比 Di*Hi/Gi 大于 10，能够通过高规（5.4.4）的整体稳定验算。

该结构刚重比 Di*Hi/Gi 大于 20，可以不考虑重力二阶效应。

注意：软件的整体稳定验算考虑的是嵌固层以上的结构部分，因为此时不易估算地下室周边约束的影响。当选择广东高规时，采用重力荷载代表值计算整体稳定。

15、屈曲分析

格式如下：

屈曲模态号屈曲因子

结构失稳（屈曲）是指在外力作用下结构的平衡状态开始丧失，稍有**扰动**变形便迅速增大，最后使结构发生破坏。稳定问题一般分为两类，第一类稳定问题是理想化的情况，即达到某种荷载时，除结构原来的平衡状态存在外，还可能出现第二个平衡状态，又称为平衡分岔失稳，在数学处理上成为求解特征值问题，成为特征值屈曲。此类结构失稳时响应的荷载称为屈曲荷载。第二类稳定问题是结构失稳时，变形迅速增大，不会出现新的变形形式，即平衡状态不发生质变，称为极值点失稳。结构失稳时响应的荷载为极限荷载。

在软件中的屈曲分析是解决线性屈曲问题，属于第一类失稳。

16、二阶效应系数

格式如下：

层号塔号层高(m) X 向刚度(kN/m) Y 向刚度(kN/m) 上部重量(kN) X 系数 Y 系数

程序提供是否考虑二阶效应及钢结构二阶效应计算时按屈曲模态作为初始缺陷计算依据算法，如果勾选考虑二阶效应，则程序在 wmass 中输出钢框架结构按简化算法得到的二阶效应系数，供参考。

17、结构抗震验算

该项主要输出如薄弱层、最小剪重比调整、$0.2V_0$ 调整等与抗震设计相关的验算结果，并且只输出进行了调整的楼层，使设计人员在总体上对工程抗震性能有一定了解。

格式如下：

（1）对于薄弱层调整：

本工程如下楼层进行了薄弱层调整：

层号，塔号，X 向调整系数，Y 向调整系数

（2）对于最小剪重比调整：

本工程如下楼层进行了最小剪重比调整：

层号，塔号，X 向调整系数，Y 向调整系数

如果调整系数过大，则软件给出如下提示：

**本工程最小剪重比调整系数偏大，表明结构整体刚度偏弱（或结构太重），建议调整结构体系，增强结构刚度（或减小结构重量）

（3）对于 0.2 V_0 调整：

本工程如下楼层进行了 0.2 V_0 调整：

层号，塔号，X 向调整系数，Y 向调整系数

如果调整系数过大，则软件给出如下提示：

**本工程 0.2V_0 调整系数偏大，请确认模型中框架部分能否起到二道防线的作用

18、风振舒适度验算

格式如下：

塔号

按《高钢规》计算

X 向顺风向顶点最大加速度(m/s2)

X 向横风向顶点最大加速度(m/s2)

Y 向顺风向顶点最大加速度(m/s2)

Y 向横风向顶点最大加速度(m/s2)

按《荷载规范》附录 J 计算

X 向顺风向顶点最大加速度(m/s2)

X 向横风向顶点最大加速度(m/s2)

Y 向顺风向顶点最大加速度(m/s2)

Y 向横风向顶点最大加速度(m/s2)

19、内外力平衡验算

格式如下：

1、恒、活荷载作用下轴力平衡验算(kN)

层号，塔号，恒载，恒载下轴力，活载，活载下轴力

2、风荷载作用下剪力平衡验算(kN)

层号，塔号，X 向风荷载，X 向楼层剪力，Y 向风荷载，Y 向楼层剪力

需要注意的是，软件在统计上述内容时，以构件所属楼层号统计该构件内力，对于

地下室及以下部分、存在越层柱、多层构件接地等情况，可能出现内外力统计结果不平衡现象，对其它设计内容无影响。

20、楼层抗剪承载力验算

格式如下：

层号，塔号，X 向承载力，Y 向承载力，Ratio_X，Ratio_Y

Ratio_X、Ratio_Y——本层与上一层的承载力之比。

如果本层与上一层楼层受剪承载力之比小于 0.8(选择广东高规 2021 时限值为 0.75)，软件会给出提示“受剪承载力之比小于 0.8(0.75)”。

21、有支撑钢结构强、弱支撑验算结果

格式如下：

层号，塔号，X 向侧移刚度，X 向轴压承载力，Ratio_X，Y 向侧移刚度，Y 向轴压承载力，Ratio_Y

轴压承载力: 3（1.2ΣNbi-ΣN0i）（《钢结构规范》5.3.3）；

Ratio_X、Ratio_Y: 表示 X、Y 向侧移刚度与钢柱轴压承载力之比（《钢结构规范》5.3.3）。

22、楼层抗震能力指数

仅在鉴定加固工程中输出，格式如下：

层号，塔号，Fat1_X，Fat2_X，Sflr_X，Bflr_X，Ratio_BSX，Beita_X

层号，塔号，Fat1_Y，Fat2_Y，Sflr_Y，Bflr_Y，Ratio_BSY，Beita_Y

其中：

Fat1_X、Fat1_Y ——表示 X、Y 向体系影响系数；

Sflr_X、Sflr _Y ——表示 X、Y 向局部影响系数；

Bflr_X、Bflr _Y ——表示 X、Y 向楼层受剪承载力；

Ratio_BSX、Ratio_BSY——表示 X、Y 向楼层屈服强度系数；

Beita_X、Beita _Y ——表示 X、Y 向楼层综合抗震能力指数。

二、周期、振型与地震作用输出文件（wzq.out）

本文件主要输出结构周期、各振型计算结果、地震作用计算结果等信息。

1、各振型特征参数

格式如下：

振型号，周期，转角，平动系数（X+Y），扭转系数

振型号，X 向平动质量系数，Y 向平动质量系数，Z 向扭转质量系数

X 向平动振型参与质量系数总计

Y 向平动振型参与质量系数总计

Z 向扭转振型参与质量系数总计

第 1 扭转周期/第 1 平动周期 = Ratio_T

地震作用最大的方向 = Ang_Max

如果存在局部振动，则输出：

本工程以下振型存在局部振动：

振型号，层号，塔号

其中：

周期单位为（s），转角单位为度；

Ratio_T——第 1 扭转周期与第 1 平动周期之比；

Ang_Max——地震作用最大方向。

当计算时选择“整体指标计算采用强刚，其它计算时非强刚”，则软件同时输出强制刚性板模型和非强制刚性板模型的周期计算结果，计算周期比时采用强制刚性板模型的周期计算结果。

软件输出 X、Y 平动、Z 扭转的振型参与质量系数总计，供设计人员判断总质量系数是否满足要求。

《高规》3.4.5 条规定：“结构扭转为主的第一自振周期与平动为主的第一自振周期之比，A 级高度建筑不应大于 0.9，B 级高度高层建筑、超过 A 级高度的混合结构及本规程第 10 章所指的复杂高层建筑不应大于 0.85。”

软件给出各振型下的平动系数与扭转系数，供设计人员查看。

软件自动检查各振型下，各层、塔是否存在局部振动，并输出存在局部振动的振型

号，对应的层号、塔号。

2、各振型地震作用计算结果输出

格式如下：

振型*的地震作用

对于 X 向地震作用为：

Floor，Tower，F-x-x，F-x-y，F-x-t

对于 Y 向地震作用为：

Floor，Tower，F-y-x，F-y-y，F-y-t

其中：

* ——表示振型号。

Floor ——表示层号。

Tower ——表示塔号。

F-x-x —— X 方向的耦联地震作用在 X 方向的分量（kN）。

F-x-y —— X 方向的耦联地震作用在 Y 方向的分量（kN）。

F-x-t —— X 方向的耦联地震作用的扭矩（kN·m）。

F-y-x —— Y 方向的耦联地震作用在 X 方向的分量（kN）。

F-y-y —— Y 方向的耦联地震作用在 Y 方向的分量（kN）。

F-y-t —— Y 方向的耦联地震作用的扭矩（kN·m）。

3、各振型基底剪力

格式如下：

层号，塔号，振型号，剪力(kN)

输出层号、塔号是为了提示设计人员基底剪力的输出位置。输出各振型基底剪力有助于设计人员判断主振型。

4、地震作用外力、层剪力、倾覆弯矩统计

格式如下：

对于 X 向地震作用：

Floor，Tower，Fx，Vx (分塔剪重比)，Mx

对于 Y 向地震作用：

Floor，Tower，Fy，Vy(分塔剪重比)，My

其中：

Floor ——表示层号；

Tower ——表示塔号；

Fx、Vx、Mx —— X 向地震时，结构的地震作用、楼层剪力和弯矩 (kN，kN，kN·m)；

Fy、Vy、My —— Y 向地震时，结构的地震作用、楼层剪力和弯矩 (kN，kN，kN·m)；

分塔剪重比—— X、Y 向地震力作用下结构的各层各塔剪重比（%)。

5、最小剪重比系数

格式如下：

抗震规范(5.2.5)条要求的 X 向楼层最小剪重比

当选择广东高规(2021)时，水平地震剪力系数根据广东高规 4.3.12 条表 4.3.12-1~4.3.12-3 取值；

6、最小剪重比地震作用调整

格式如下：

层号，塔号，X 向调整系数，Y 向调整系数调整后 X 向剪力调整后 Y 向剪力

如果调整系数大于 1.0，说明该楼层的地震剪力不满足《抗震规范》5.2.5 条要求。如果在参数定义中设定由软件自动调整地震层剪力，则在内力、位移计算时，软件将计算结果乘以该调整系数。

注意，该调整不宜过大，过大则应调整设计方案。

三、结构位移输出（wdisp.out）

本文件主要输出楼层位移指标，包括层间最大、最小位移、平均位移、位移比、位移角、有害位移角等信息。如果在计算参数中选择了“输出节点位移”，则 wdisp.out 文件中不仅输出各工况下每层的最大位移、位移比等信息，还输出各工况下的各层各节点三个线位移。

统计时考虑的位移为竖向构件两端的位移，竖向构件包括柱、墙柱、当做柱处理的斜柱。

对于跃层或者小于层高的柱或斜柱，软件按其实际高度与层高的比例进行换算，同时不统计小于 80%层高的构件的位移结果。

格式如下：

=== 工况* === *（某工况）作用下的楼层最大位移**

对于 X 向水平荷载：

Floor，Tower，Jmax，Max-(X)，Ave-(X)，Ratio-(X)，h

JmaxD，Max-Dx，Ave-Dx，Ratio-Dx，Max-Dx/h，DxR/Dx，Ratio_AX

对于 Y 向水平荷载：

Floor，Tower，Jmax，Max-(Y)，Ave-(Y)，Ratio-(Y)，h

JmaxD，Max-Dy，Ave-Dy，Ratio-Dy，Max-Dy/h，DyR/Dx，Ratio_AY

对于竖向荷载：

Floor，Tower，Jmax，Max-(Z)

对于节点位移：

Floor，Node，X-Disp，Y-Disp，Z-Disp，X-Rot，Y- Rot，Z- Rot

其中：

Floor ——层号；

Tower ——塔号；

Jmax——最大位移对应的节点号；

JmaxD——最大层间位移对应的节点号；

Max-(Z) ——节点的最大竖向位移；

h ——层高；

Max-(X)、Max-(Y) —— X、Y 方向的节点最大位移；

Ave-(X)、Ave-(Y) —— X、Y 方向的层平均位移；

Max-Dx、Max-Dy ——X、Y 方向的最大层间位移；

Ave-Dx、Ave-Dy ——X、Y 方向的平均层间位移；

Ratio-(X)、Ratio-(Y) ——最大位移与层平均位移的比值；

Ratio-Dx、Ratio-Dy ——最大层间位移与平均层间位移的比值；

Max-Dx/h、Max-Dy/h ——X、Y 方向的最大层间位移角；

DxR/Dx、DyR/Dy ——X、Y 方向的有害位移角占总位移角的百分比；

Ratio_AX、Ratio_AY——本层位移角与上层位移角的 1.3 倍及上三层平均位移角的 1.2 倍的比值的大者，该条主要依据《广东规程》要求输出；

X-Disp、Y-Disp、Z-Disp——节点 X、Y、Z 方向的位移；

X-Rot、Y- Rot、Z- Rot——节点绕 X、Y、Z 轴转角，单位为 Rad。

四、标准内力文件（wwnl*.out）

该文件主要输出单构件单工况调整前和调整后的标准内力。

工况符号表示如下：

DL ——恒载作用下的标准内力；

LL ——活载作用下的标准内力；

LL1 ——考虑活载随机作用时梁负弯矩包络的标准内力；

LL2 ——考虑活载随机作用时梁正弯矩包络的标准内力；

+WX ——+X 方向风荷载作用下的标准内力；

-WX ——-X 方向风荷载作用下的标准内力；

+WY ——+Y 方向风荷载作用下的标准内力；

-WY ——-Y 方向风荷载作用下的标准内力；

EX ——X 方向地震作用下的标准内力；

EX+ ——X 方向(+5%偏心)地震作用下的标准内力；

EX- ——X 方向(-5%偏心)地震作用下的标准内力；

EY ——Y 方向地震作用下的标准内力；

EY+ ——Y 方向(+5%偏心)地震作用下的标准内力；

EY- ——Y 方向(-5%偏心)地震作用下的标准内力；

EV ——竖向地震作用下的标准内力；

AD ——人防荷载作用下的标准内力；

+TEM ——升温作用下的标准内力；

-TEM ——降温作用下的标准内力；

EXA —— X 方向规定水平力作用下的标准内力；

EXA+ —— X 方向规定水平力(+5%偏心)作用下的标准内力；

EXA- —— X 方向规定水平力(-5%偏心)作用下的标准内力；

EYA —— Y 方向规定水平力作用下的标准内力；

EYA+ —— Y 方向规定水平力(+5%偏心)作用下的标准内力；

EYA- —— Y 方向规定水平力(-5%偏心)作用下的标准内力；

EXM*、EYM* ——在地震方向*作用下的标准内力。

1、梁内力（局部坐标系）

格式如下：

N-B，Node-I，Node-J，DL

对于水平力工况（水平地震和风荷载工况）

iCase，M-I，M-J，Vmax，Tmax，Nmax，Myi，Myj，Vymax

对于竖向力工况

iCase，M-I，M-1，M-2，M-3，M-4，M-5，M-6，M-7，M-J，Nmax

V-I， V-1， V-2，V-3， V-4，V-5， V-6，V-7， V-J，Tmax

其中:

N-B ——梁编号；

Node-I、Node-j ——梁左、右端节点号；

DL ——梁长（m）；

iCase——内力工况；

M-I、M-J ——主平面内梁左 I，右 J 端的弯矩（kN·m）；

M-1、M-2、M-3、M-4、M-5、M-6、M-7 ——主平面内梁从左到右除端截面外的中部 7 个截面的弯矩（kN·m）；

V-I、V-J ——主平面内梁左 I，右 J 端的剪力（kN）；

V-1、V-2、V-3、V-4、V-5、V-6、V-7 ——主平面内梁从左到右除端截面外的中部 7 个截面的剪力（kN）；

Nmax——梁主平面内各截面上的轴力最大值（kN）；

Tmax——梁主平面内各截面上的扭矩最大值（kN·m）；

Vmax ——梁主平面内各截面上的剪力最大值（kN）；

Myi、Myj、Vymax——梁平面外 I，J 两端的弯矩和最大剪力（kN，kN·m）。

2、墙梁标准内力（局部坐标系）

格式如下：

N-Wb，Node-I，Node-J，DL

ICase，Axial-I，Shear-I，Moment-I，Axial-J，Shear-J，Moment-J

其中：

N-Wb ——墙梁编号；

Node-i、Node-j ——墙梁两端节点号；

DL ——墙梁长度（m）；

iCase——内力工况；

Axial-i、Shear-i、Moment-i——墙梁 I 端的轴力、剪力和弯矩（kN，kN·m）；

Axial-j、Shear-j、Moment-j ——墙梁 J 端的轴力、剪力和弯矩（kN，kN·m）。

对于恒载和活载作用下，还输出墙梁跨中 7 个截面的弯矩、剪力。输出格式如下：

M-I，M-1，M-2，M-3，M-4，M-5，M-6，M-7，M-J

V-I， V-1，V-2， V-3， V-4，V-5， V-6，V-7， V-J

其中：

M-I、M-J ——墙梁主平面内 I 端，J 端的弯矩（kN·m）；

M-1、M-2、M-3、M-4、M-5、M-6、M-7 ——墙梁主平面内从左到右跨中 7 等分截面上的弯矩（kN·m）；

V-I、V-J ——墙梁主平面内 I 端，J 端的剪力（kN）；

V-1、V-2、V-3、V-4、V-5、V-6、V-7 ——墙梁主平面内从左到右跨中 7 等分截面上的剪力（kN）。

3、柱、支撑标准内力（局部坐标系）

格式如下：

N-C/N-G，Node-I，Node-J，DL，Angle

ICase，Shear-X，Shear-Y，Axial，Mx-Btm，My-Btm，Mx-Top，My-Top

其中：

N-C、N-G ——柱、支撑编号；

Node-i、Node-j ——柱、支撑的上、下节点号；

DL ——柱、支撑长度（m）；

Angle ——柱、支撑向 Z 轴投影时，主轴与整体坐标的角度（度）；

iCase——内力工况；

Shear-X、Shear-Y ——柱、支撑底部 X、Y 方向的剪力（kN）；

Axial ——柱、支撑的轴力（负值表示受压）（kN）；

Mx-Btm、My-Btm——柱、支撑底部 X、Y 方向的弯矩（kN·m）；

Mx-Top、My-Top ——柱、支撑顶部 X、Y 方向的弯矩（kN·m）。

4、墙柱标准内力（局部坐标系）

格式如下：

N-Wc，Node-I，Node-J，DL，Angle

ICase，Shear-X，Shear-Y，Axial，Mx-Btm，My-Btm，Mx-Top，My-Top

其中：

N-Wc——墙柱编号；

Node-i、Node-j ——墙柱上部两端的节点号；

DL、Angle ——墙柱长度（m）和方向角度（度）；

iCase——内力工况；

Shear-X、Shear-Y ——墙柱底部 X、Y 方向的剪力（kN）；

Axial ——墙柱底部的轴力（负值表示受压）（kN）；

Mx-Btm、My-Btm——墙柱底部 X、Y 方向的弯矩（kN·m）；

Mx-Top、My-Top ——墙柱顶部 X、Y 方向的弯矩（kN·m）。

5、竖向荷载作用下，竖向构件底部反力和统计

格式如下：

调整前内力：

柱、墙、支撑在竖向力作用下的轴力之和 (kN):

柱、墙、支撑在恒荷载作用下的轴力之和 (kN):

柱、墙、支撑在活荷载作用下的轴力之和 (kN):

调整后内力:

柱、墙、支撑在竖向力作用下的轴力之和 (kN):

柱、墙、支撑在恒荷载作用下的轴力之和 (kN):

柱、墙、支撑在活荷载作用下的轴力之和 (kN):

其中调整前内力指结构计算后未经调整的柱、墙、支撑轴力的统计结果；调整后内力指可能进行了如活荷载按楼层折减等调整后的柱、墙、支撑轴力的统计结果。

五、配筋文件（wpj*.out）

该文件主要输出单构件设计结果，构件类型有梁、柱、支撑、墙柱、墙梁，根据构件材料、截面类型的不同，输出内容也不同。

开头注明本层主要属性：层名称；位置属性：如<=地下室层数时为地下室层，<=裙房层数时为裙房层等；结构属性：如嵌固端层，转换层，加强层，底部加强区等。

1、荷载组合与各工况荷载分项系数

格式如下：

Ncm，V-D，V-L，+X-W，-X-W，+Y-W，-Y-W，X-E，Y-E，Z-E，R-F，TEM，CRN

其中：

Ncm——组合号；

V-D、V-L ——分别为恒载、活载分项系数；

+X-W、- X-W、+Y-W、- Y-W ——分别为 X 正向、X 逆向、Y 正向、Y 逆向水平风荷载分项系数；

X-E、Y-E ——分别为 X 向、Y 向水平地震荷载分项系数；

Z-E ——为竖向地震荷载分项系数；

R-F ——为人防荷载分项系数；

TEM ——为温度荷载分项系数；

CRN ——为吊车荷载分项系数。

2、混凝土、型钢混凝土矩形截面梁、墙梁配筋

格式如下：

N－B，(isec) B*H，Lb，(I，J)，Cover，Nfb，Nfb_gz，Rcb，(Rsb)，Fy，Fyv

构件属性

（标准内力调整系数）

（考虑抗震要求的设计内力调整系数）

-M(kN-m)　I，1，2，…，7，J

（N(kN) I，1，2，…，7，J）

(Loadcase) I，1，2，…，7，J

Top Ast I，1，2，…，7，J

% Steel I，1，2，…，7，J

+M(kN-m)　I，1，2，…，7，J

（N(kN) I，1，2，…，7，J）

(LoadCase) I，1，2，…，7，J

BtmAst I，1，2，…，7，J

% Steel I，1，2，…，7，J

V(kN)　I，1，2，…，7，J

（N(kN) I，1，2，…，7，J）

（T(kN-m)　I，1，2，…，7，J）

(LoadCase) I，1，2，…，7，J

Asv I，1，2，…，7，J

Ast I，1，2，…，7，J

Rsv I，1，2，…，7，J

如果是连梁、且配置了斜筋，则输出：

VXJ (kN) I，1，2，…，7，J

(LoadCase)　I，1，2，…，7，J

AsXJ　　I，1，2，…，7，J

如果计算结果需要配置抗扭钢筋，则输出：

剪扭验算: (LoadCase)V，　T，N，ast，ast1

其中：

N-B ——梁编号；

isec——梁截面类型；

B*H ——梁截面尺寸参数（mm）；

Lb——梁长度（m）；

Cover——保护层厚度（mm）；

Nfb——梁抗震等级；

Nfb_gz——梁抗震构造措施采用的抗震等级；

Rcb——梁混凝土强度等级；

Rsb——梁型钢钢号，当为型钢混凝土截面时才输出；

Fy——梁主筋强度；

Fyv——梁箍筋强度；

构件属性——先注明调幅系数、扭矩折减系数、中梁刚度放大系数等若干计算调整参数，再注明计算类型属性，如框架梁、非框架梁、转换梁、连梁；注明调幅梁或非调幅梁；注明材料，如砼梁、型钢砼梁、钢梁；注明铰接信息，如一端固定一端铰接、两端铰接。

标准内力调整系数：

如果某项标准内力调整系数大于 1，则软件输出该调整系数。主要考虑的内容如下：

Jzx、jzy—— X、Y 方向最小剪重比调整系数，不调整则不输出；

brc——薄弱层地震剪力调整系数，不调整则不输出；

02vx、02vy —— X、Y 方向 0.2V0 调整系数，不调整则不输出；

zh——水平转换构件地震作用调整系数，不调整则不输出；

tf——水平转换构件地震作用调整系数，不调整则不输出；

nj——水平转换构件地震作用调整系数，不调整则不输出。

考虑抗震要求的设计内力调整系数：

ηv——梁强剪弱弯调整系数；

LoadCase——计算配筋控制组合内力的内力组合号；

-M、N、Ast、%Steel ——分别为各截面的最大负弯矩（kN·m）、轴力、相应的配筋面积（mm2）、配筋率，其中轴力项只有在不能忽略时才输出；

+M、N、Ast、%Steel ——分别为各截面的最大正弯矩（kN·m）、轴力、相应的配筋面积（mm2）、配筋率，其中轴力项只有在不能忽略时才输出；

V、T、N、Asv、Ast、Rsv——分别为各截面的最大剪力（kN）、扭矩、轴力、相应的配箍面积（mm2）、受扭纵筋面积、配箍率，其中扭矩、轴力项只有在不能忽略

时才输出；

VXJ、AsXJ——连梁斜筋计算时对应的剪力、斜筋面积，只有采用对称配筋且配置斜筋的连梁才输出。

剪扭验算：

V、T、N ——各截面剪扭配筋时，抗扭钢筋最大截面对应的剪力、扭矩、轴力；

ast——抗扭纵筋面积；

ast1 ——抗扭单肢箍筋面积。

只有在梁按计算需要配置抗扭钢筋时才输出；

3、钢梁、门式钢梁

格式如下：

N－B，（isec）B*H*U*T*D*F，Lbin，Lbout，（I，J），Nfb，Rsb

-M(kNm)	I，1，2，…，7，J
(LoadCase)	I，1，2，…，7，J
+M(kNm)	I，1，2，…，7，J
(LoadCase)	I，1，2，…，7，J
Vmax	I，1，2，…，7，J
(Loadcase)	I，1，2，…，7，J

正应力（LoadCase）M， F1＜（＞）f （抗弯强度验算）

稳定（LoadCase）M， F2＜（＞）f （整体稳定验算）

剪应力（LoadCase）V， F3＜（＞）fv（抗剪强度验算）

宽厚比：b/hf＜（＞） b/hf_max

高厚比：h/tw＜（＞） h/tw_max

其中：

Lbin、Lbout——梁平面内计算长度（m）、梁平面外计算长度（m）；

Nfb——梁抗震等级；

Rsb——梁钢号；

-M ——上截面计算拉应力与容许拉应力之比最大时对应的负弯矩（kN·m）；

+M ——下截面计算拉应力与容许拉应力之比最大时对应的正弯矩（kN·m）；

Shear ——各截面计算剪应力与容许剪应力之比最大时对应的剪力（kN）；

f——钢梁抗拉、抗压强度设计值（N/mm2）；

fv——钢梁抗剪强度设计值（N/mm2）；

LoadCase——控制内力的组合号；

N、M——控制内力，梁的轴力和弯矩（kN，kN·m）；

F1、F2、F3——分别为截面强度应力，稳定应力、剪应力与容许应力之比；

b/hf、b/hf_max——截面翼缘外伸长度与厚度之比；

h/tw、h/tw_max——截面腹板高度与厚度之比。

4、混凝土、型钢混凝土矩形截面柱配筋

格式如下：

N－C，（isec）B*H，Cover，Cx，Cy，Lcx，Lcy，Nfc，Nfc_gz，Rcc，（Rsc），Fy，Fyv

柱属性

（标准内力调整系数）

（考虑抗震要求的设计内力调整系数）

（Nuc）Nu，Uc，Rs，Rsv，Asc

（Nasxt）N，Mx，My，Asxt，Asxt0

（Nasyt）N，Mx，My，Asyt，Asyt0

（Nasxb）N，Mx，My，Asxb，Asxb0

（Nasyb）N，Mx，My，Asyb，Asyb0

（Nasvx）N，Vx，Vy，Ts，Asvx，Asvx0

（Nasvy）N，Vx，Vy，Ts，Asvy，Asvy0

当计算地震作用，且抗震等级为特一、一、二、三级抗震设防时，还输出梁柱节点核心区计算结果：

（Nasvjx）N，Vjx，Asvjx

（Nasvjy）N，Vjy，Asvjy

（长细比：Rmdx，Rmdy，Rmd_max）

（宽厚比：b/hf＜（＞） b/hf_max）

（高厚比：h/tw＜（＞） h/tw_max）

CB_XF，CB_YF

其中：

N－C——柱编号；

Isec——截面类型号；

B、H——矩形截面宽、高（mm）；

Cover——保护层厚度（mm）；

Cx、Cy——局部坐标系下绕柱截面 X、Y 方向的计算长度系数；

Lcx、Lcy——局部坐标系下绕柱截面 X、Y 方向的计算长度（m）；

Nfc——柱抗震等级；

Nfc_gz——柱抗震构造措施对应的抗震等级；

Rcc——柱混凝土强度等级；

Rsc——柱型钢钢号，当截面是型钢混凝土时才输出；

Fy——柱主筋强度值；

Fyv——柱箍筋强度值；

柱属性——注明计算类型属性，如普通柱、边框柱、角柱、框支柱等；注明材料，如混凝土、钢、型钢混凝土、钢管混凝土等；注明截面形状，如矩形、圆形、L 形、十字形、自定义截面等；注明铰接信息，如一端固定一端铰接，两端铰接等。

当需验算柱冲切时，软件将输出冲切验算结果：

柱冲切结果

柱根

（Nascq）N，Mx，My，Fl，Asv，Asvcal

柱帽(L*B*H)

（Nascq）N，Mx，My，Fl，Asv，Asvcal

托板(L*B*H)

（Nascq）N，Mx，My，Fl，Asv，Asvcal

其中：

Nascq——组合号；

N、Mx、My——分别为冲切验算时对应的轴力、X、Y 向弯矩设计值（kN，kN·m）；

Fl——为考虑不平衡弯矩后的等效集中力设计值（kN）；

Asv、Asvcal——分别为抗冲切箍筋面积、计算箍筋面积（mm^2）。

如果模型中无柱帽或托板，则不输出该项。

标准内力调整系数：

如果某项标准内力调整系数大于 1，则软件输出该调整系数。主要考虑的内容如下：

Livec——活荷载按楼层折减系数；

Jzx、jzy—— X、Y 方向最小剪重比调整系数，不调整则不输出；

brc——薄弱层地震剪力调整系数，不调整则不输出；

02vx、02vy —— X、Y 方向 0.2Vo 调整系数，不调整则不输出；

zh——水平转换构件地震作用调整系数，不调整则不输出。该项目不同于框支柱调整；

kzzx、kzzy—— X、Y 方向框支柱调整系数，非框支柱不输出；

kzzn——框支柱轴力调整系数，不调整则不输出。

考虑抗震要求的设计内力调整系数：

η_{mu}——柱上截面强柱弱梁调整系数；

η_{vu}——柱上截面强剪弱弯调整系数；

η_{md}——柱下截面强柱弱梁调整系数；

η_{vd}——柱下截面强剪弱弯调整系数。

设计结果：

Nuc——轴压比控制内力的组合号；

Nu ——轴压比的控制轴力（kN）；

Uc——轴压比；

Rs ——柱全截面主筋配筋率（%）；

Rsv——柱箍筋体积配筋率（%）；

Asc——柱一根角筋面积，当按双偏压、拉计算配筋时实配的角筋面积不应小于该值（mm^2）；

Asxt、Asxb——截面 B 边柱上端和下端的配筋面积，取计算配筋面积和构造配筋面积的大值，包含两根角筋（mm^2）；

Asxt0、Asxb0 ——截面 B 边柱上端和下端按计算得出的配筋面积，包含两根角筋（mm^2）；

Asyt、Asyb——截面 H 边柱上端和下端的配筋面积，取计算配筋面积和构造配筋面积的大值，包含两根角筋（mm^2）；

Asyt0、Asyb0 ——截面 H 边柱上端和下端按计算得出的配筋面积，包含两根角筋（mm^2）；

Nasxt、Nasxb—— Asxt0、Asxb0 控制内力的组合号；

Nasyt、Nasyb—— Asyt0、Asyb0 控制内力的组合号；

N、Mx、My —— Asxt0、Asxb0、Asyt0、Asyb0 的控制内力，轴力和弯矩（kN，kN·m）。

注意，矩形柱全截面的配筋面积为：As=2*(Asx+Asy)-4*Asc；

Asvx、Asvx0 ——沿柱局部坐标系 X 方向（沿 B 边方向）在箍筋间距 Sc 范围内的箍筋加密区的箍筋面积和箍筋非加密区的箍筋面积（mm^2）；

Asvy、Asvy0 ——沿柱局部坐标系 Y 方向（沿 H 边方向）在箍筋间距 Sc 范围内的箍筋加密区的箍筋面积和非加密区的箍筋面积（mm^2）；

Nasvx—— Asvx0 控制内力的组合号；

Nasvy—— Asvy0 控制内力的组合号；

N、Vx、Vy、Ts —— Asvx0、Asvy0 的控制内力，轴力、剪力（kN）和扭矩（kN·m），Ts 仅当截面为矩形混凝土截面时才输出。

对框架节点进行验算：

Asvjx——沿柱局部坐标系 X 方向（沿 B 边方向）在箍筋间距 Sc 范围内的箍筋面积（mm^2）；

Asvjy——沿柱局部坐标系 Y 方向（沿 H 边方向）在箍筋间距 Sc 范围内的箍筋面积（mm^2）；

Nasvjx、Nasvjy——控制内力的组合号；

N ——Asvjx、Asvjy 的控制轴力（kN）；

Vjx、Vjy——Asvjx、Asvjy 的控制剪力（kN）；

Rmdx、Rmdy、Rmd_max—— X、Y 方向长细比、限值，型钢混凝土柱才输出；

b/hf、b/hf_max——型钢翼缘外伸长度与厚度之比，型钢混凝土柱才输出；

h/tw、h/tw_max——型钢腹板高度与厚度之比，型钢混凝土柱才输出；

CB_XF、CB_YF ——柱沿整体坐标系 X、Y 方向的抗剪承载力。

对于变截面柱，在配筋时，柱上下端截面分别按不同截面高度进行配筋。

5、混凝土圆形、正多边形柱配筋

格式如下：

N－C，（isec）Dr，Cover，Cx，Cy，Lcx，Lcy，Nfc，Nfc_gz，Rcc，（Rsc），Fy，Fyv

柱属性

（标准内力调整系数）

（考虑抗震要求的设计内力调整系数）

（Nuc）Nu，Uc，Rs，Rsv

（Nast）N，Mx，My，Ast，Ast0

（Nasb）N，Mx，My，Asb，Asb0

（Nasv）N，Vx，Vy，Asv，Asv0

当计算地震作用，且抗震等级为特一、一、二、三级抗震设防时，还输出梁柱节点核心区计算结果：

（Nasvjx）N，Vjx，Asvjx

（Nasvjy）N，Vjy，Asvjy

CB_XF，CB_YF

其中：

isec——截面类型号；

Dr ——圆柱直径（m）；

Ast，Asb——圆柱全截面上端和下端主筋配筋面积（mm^2），为计算配筋面积和按最小配筋率算出的配筋面积的大值；

Ast0，Asb0 ——圆柱全截面上端和下端按计算得到的配筋面积（mm^2）；

Nast、Nasb—— Ast0、Asb0 控制内力的组合号；

N、Mx、My —— Ast0、Asb0 对应的轴力和弯矩，配筋时取 Mx、My 的合力值（kN·m）；

Asv、Asv0 ——圆柱全截面在箍筋间距 Sc 范围内的箍筋加密区的箍筋面积和非加密区的箍筋面积（mm^2）；

Nasv—— Asv0 控制内力的组合号；

N、Vx、Vy—— Asv0 对应的轴力和剪力，配筋时取 Vx、Vy 的合力值（kN）。

其余解释同混凝土矩形柱。

对于正多边形柱，软件按内切圆进行配筋设计，输出格式与圆柱相同。

6、混凝土异形柱配筋

格式如下：

N－C，（isec）B*H*U*T*D*F，Cover，Cx，Cy，Lcx，Lcy，Nfc，Nfc_gz，Rcc，Fy，Fyv

柱属性

（标准内力调整系数）

（考虑抗震要求的设计内力调整系数）

（NUc）Nu，Uc，Rs

（Nast）N，Mx，My，Aszt，Asft

（Nasb）N，Mx，My，Aszb，Asfb

（Nasv）N，Vx，Vy，Asv，Asv0

梁柱节点核心区计算结果：

（Nasvjx）N，Vjx，Asvjx

（Nasvjy）N，Vjy，Asvjy

CB_XF，CB_YF

其中：

B、H、U、T、D、F ——截面参数，参见建模中的截面定义；

Nast、Nasb——Aszt，Asft，Aszb，Asfb 控制内力的组合号；

Aszt、Aszb——异形柱上、下截面固定钢筋面积（mm^2），即位于直线柱肢端部和相交处的配筋面积之和；

Asft、Asfb——异形柱上、下截面分布钢筋的配筋面积（mm^2）；

Nast、Nasb——Aszt、Asft、Aszb、Asfb 控制内力的组合号；

N、Mx、My ——Aszt、Asft、Aszb、Asfb 对应的轴力和弯矩（kN，kN·m）；

Asv——异形柱柱肢在箍筋间距 Sc 范围内的箍筋配筋面积，为计算箍筋面积和按构造要求得出的箍筋面积的大值，并取两个柱肢方向配筋面积的大值；

Asv0 ——异形柱柱肢在箍筋间距 Sc 范围内按计算得出的箍筋配筋面积（mm^2），取两个方向计算结果的大值；

Nasv——Asv、Asv0 控制内力的组合号；

N、Vx、Vy——Asv、Asv0 对应的轴力和剪力（kN）。

对框架节点进行验算：

Asvjx、Asvjy——验算方向柱肢在箍筋间距 Sc 范围内的箍筋面积（mm2），为计算箍筋面积和按构造要求得出的箍筋面积的大值；

Nasvjx、Nasvjy——控制内力的组合号；

N、Vjx、Vjy——Asvjx、Asvjy 对应的轴力和剪力（kN）。

其余解释同混凝土矩形柱。

7、混凝土、型钢混凝土支撑配筋

对于混凝土、型钢混凝土支撑，其配筋输出方式与柱类似，输出时将 N－C 变为 N－G，Lc 变为 Lg，Nfc 变为 Nfg，Rcc 变为 Rcg，Rsc 变为 Rsg，含义同柱。

8、钢柱、门式钢柱

格式如下：

N－C，（isec）B*H*U*T*D*F，Cx，Cy，Lcx，Lcy，Nfc，Nfc_gz，Rsc

柱属性

（标准内力调整系数）

（考虑抗震要求的设计内力调整系数）

强度（NF1）Mx，My，N， F1＜（>）f

稳定（NF2）Mx，My，N， F2＜（>）f

稳定（NF3）Mx，My，N， F3＜（>）f

当为门式钢柱时还输出：

抗剪强度（NF4）Vy，N，Fv＜（>）f

长细比：Rmdx、Rmdy

工字形、箱形等：

宽厚比：b/hf＜（>） b/hf_max

高厚比：h/tw＜（>） h/tw_max

圆环形：

径厚比：D/t＜（>）D/t_max

CB_XF，CB_YF

其中：

N－C ——钢柱编号；

B、H、U、T、D、F ——截面参数；

Cx、Cy ——局部坐标柱截面 X、Y 方向的长度系数；

Lcx、Lcy——局部坐标系下柱截面 X、Y 方向的计算长度（m）；

Nfc——抗震等级；

Nfc_gz——柱抗震构造措施对应的抗震等级；

Rsc——钢号；

f ——钢柱抗拉、抗压强度设计值，对于抗震组合考虑承载力抗震调整系数（N/mm^2）；

NF1、NF2、NF3、NF4 ——分别为 F1、F2、F3、F4 控制内力的组合号；

N 、Mx、My、Vy——分别为 F1、F2、F3、F4 控制内力的轴力、X 向弯矩，Y 向弯矩、剪力（kN，kN-m）；

F1、F2、F3、F4 ——分别为截面强度应力，构件局部坐标系 X 向稳定计算应力和 Y 向稳定计算应力、抗剪强度应力（N/mm^2）；

b/hf、b/hf_max——截面翼缘外伸长度与厚度之比；

h/tw、h/tw_max——截面腹板高度与厚度之比；

D/t、D/t_max——外径与壁厚之比，圆环形截面时才输出；

Rmdx、Rmdy——分别为局部坐标系下柱截面 X、Y 方向的长细比。

9、方钢管混凝土柱

格式如下：

N－C，（isec）B*H*U*T*D*F，Cx，Cy，Lcx，Lcy，Nfc，Nfc_gz，Rsc

柱属性

（标准内力调整系数）

（考虑抗震要求的设计内力调整系数）

强度（NF1）Mx，My，N， R_F1＜（＞）1/γ

稳定（NF2）Mx，My，N， R_F2＜（＞）1/γ

稳定（NF3）Mx，My，N， R_F3＜（＞）1/γ

抗剪强度（NF4）Vx， R_F4＜（＞）1/γ

抗剪强度（NF5）Vy， R_F5＜（＞）1/γ

长细比：Rmdx、Rmdy

管壁宽厚比：b/hf＜（＞） b/hf_max

管壁高厚比：h/tw＜（＞） h/tw_max

混凝土工作承担系数：α_c＜（＞）>α_c _max

CB_XF，CB_YF

其中：

N－C ——钢柱编号；

B、H、U、T、D、F ——截面参数；

Cx、Cy ——局部坐标柱截面 X、Y 方向的长度系数；

Lcx、Lcy——局部坐标系下柱截面 X、Y 方向的计算长度（m）；

Nfc——抗震等级；

Nfc_gz——柱抗震构造措施对应的抗震等级；

Rsc——钢号；

NF1、NF2、NF3 ——分别为 F1、F2、F3 控制内力的组合号；

N、Mx、My ——分别为 F1、F2、F3 控制内力的轴力、X 向弯矩，Y 向弯矩（kN，kN·m）；

R_F1、R_F2、R_F3 ——分别为截面强度计算应力、构件局部坐标系 X 向稳定计算应力和 Y 向稳定计算应力与设计强度之比；

NF4、NF5 ——分别为 F4、F5 控制内力的组合号；

R_F4、R_F5 ——分别为 X、Y 方向计算剪应力与抗剪强度之比；

γ——系数，非地震组合时取结构重要性系数，地震组合时取承载力抗震调整系数；

Rmdx、Rmdy——分别为局部坐标系下柱截面 X、Y 方向的长细比；

b/hf、b/hf_max——管壁宽度与厚度之比、限值；

h/tw、h/tw_max——管壁高度高度与厚度之比、限值；

α_c、α_c _max ——混凝土工作承担系数、限值。

10、圆钢管混凝土柱

格式如下：

N－C，（isec）B*H*U*T*D*F，Cx，Cy，Lcx，Lcy，Nfc，Nfc_gz，Rsc

柱属性

（标准内力调整系数）

（考虑抗震要求的设计内力调整系数）

（NF1）轴压承载力验算 Mx，My，N， R_F1＜（＞）1/γ

（NF2）拉弯承载力验算 Mx，My，N， R_F2＜（＞）1/γ

（NF3）抗剪强度验算 Mx，My，N， R_F3＜（＞）1/γ

长径比：Rmd＜（＞）Rmd_max

套箍指标：θ,θ_min,θ_max

径厚比：D/t＜（＞）D/t_max

CB_XF，CB_YF

其中：

N－C ——钢柱编号；

B、H、U、T、D、F ——截面参数；

Cx、Cy ——局部坐标柱截面 X、Y 方向的长度系数；

Lcx、Lcy——局部坐标系下柱截面 X、Y 方向的计算长度（m）；

Nfc——抗震等级；

Nfc_gz——柱抗震构造措施对应的抗震等级；

Rsc——钢号；

NF1、NF2、NF3 ——分别为 F1、F2、F3 控制内力的组合号；

N 、Mx、My ——分别为 F1、F2、F3 控制内力的轴力、X 向弯矩，Y 向弯矩（kN，kN·m）；

R_F1 ——按轴压验算得到强度计算应力与设计强度之比；

R_F2 ——按拉弯验算得到强度计算应力与设计强度之比，只有存在拉弯受力状态时才输出；

R_F3 ——计算剪应力与抗剪强度之比；

γ——系数，非地震组合时取结构重要性系数，地震组合时取承载力抗震调整系数；

Rmd、Rmd_max——长径比、限值；

θ、θ_min、θ_max——分别为套箍指标、最小值、最大值；

D/t、D/t_max——外径与壁厚之比。

11、墙柱配筋

格式如下：

N-WC，（I，J），B*H*Lwc，aa，Nfw，Nfw_gz，Rcw，Fy，Fyv，Rwv

墙柱属性

（标准内力调整系数）

（考虑抗震要求的设计内力调整系数）

（Nrmd）M，V，Rmd

Nu，Uc

（Nas）N，M，As

（Nash）N，V，Ash，Rsh

CB_XF，CB_YF

其中：

N-WC ——墙柱编号；

I、J ——墙柱上边两端节点号；

B*H*Lwc——墙柱的厚度、截面高度和墙柱高度。如果设计时考虑端柱，则输出时按工字形截面表示（m）；

aa ——墙柱一端暗柱钢筋合力点到墙边的距离（mm）；

Nfw——墙柱抗震等级；

Nfw_gz——墙柱抗震构造措施的抗震等级；

Rcw——墙柱混凝土强度等级；

Fy——墙柱主筋强度；

Fyv——墙柱分布筋强度；

Rwv——墙柱竖向分布筋配筋率；

墙柱属性——注明加强区墙或非加强区墙；注明地下室外墙、临空墙；注明墙材料，如砼墙、砌体墙、配筋砌体墙等。

如果墙柱配筋时考虑了翼缘墙或端柱，则纵筋结果输出格式如下：

（Nas）N，Mx，My，AsSTop

（Nas）N，Mx，My，AsETop

（(Nas）N，Mx，My，AsFTop）

（Nas）N，Mx，My，AsSBtm

（Nas）N，Mx，My，AsEBtm

（(Nas）N，Mx，My，AsFBtm）

其中：

AsSTop、AsETop——分别为墙柱顶截面左、右端暗柱配筋面积（mm2）；

AsSBtm、AsEBtm——分别为墙柱底截面左、右端暗柱配筋面积（mm2）；

AsFTop、AsFBtm——分别为墙柱顶、底截面分布筋配筋面积（mm2），仅当组合墙按双偏压配筋时输出。

标准内力调整系数：

如果某项标准内力调整为 1，则软件不输出该项。主要考虑的内容如下：

Livec——活荷载按楼层折减系数；

Jzx、jzy—— X、Y 方向最小剪重比调整系数，不调整则不输出；

brc——薄弱层地震剪力调整系数，不调整则不输出；

wvx、wvy—— X、Y 方向墙剪力调整系数，主要针对筒体结构、板柱-剪力墙、底框-抗震墙结构中的剪力墙，不调整则不输出；

+windx、-windx、+windy、-windy —— X、Y 方向板柱-剪力墙结构风荷载调整系数，不调整则不输出。

考虑抗震要求的设计内力调整系数：

ηmu——墙柱上截面弯矩调整系数；

ηvu——墙柱上截面剪力调整系数；

ηmd——墙柱下截面弯矩调整系数；

ηvd——墙柱下截面剪力调整系数；

Nrmd——剪跨比计算时的控制组合号；

M、V ——剪跨比计算时的控制内力，弯矩和剪力（kN·m，kN）；

Rmd——剪跨比；

Uc——墙柱按重力荷载代表值计算得到的轴压比；

Nu ——控制轴压比的轴力（kN）；

As ——表示对称配筋时墙柱一端暗柱的配筋面积（mm2）。若为构造配筋控制，取As=0；

N、M ——As 的控制轴力和弯矩（kN，kN·m）；

Nas——As 控制内力组合号；

Ash ——表示墙在指定间距内（水平分布筋间距内）水平分布钢筋面积（mm2）；

N、V ——Ash 的控制轴力和剪力（kN）；

Nash ——Ash 控制内力的组合号。

六、超限信息文件（wgcpj.out）

超限信息指构件设计完成后，对设计结果按规范要求进行验算时，不满足要求而输出的信息，超限信息既在 wgcpj.out 中输出，也在 wpj*.out 中输出。

主要超限信息如下：

1、混凝土梁超限验算

（1）混凝土受压区高度超限

格式如下：

****位置: Pos，混凝土受压区高度超限ξ>ξb**

其中：

Pos ——梁截面序号 1～9；

ξ——混凝土计算受压全区高度；

ξb——混凝土界限受压区高度。

（2）最大配筋率超限验算

格式如下：

****上截面（或下截面），位置:Pos，最大配筋率超限，Rs＞Rsmax**

其中：

Pos ——梁截面序号 1～9；

Rs ——截面单边受拉配筋率；

Rsmax——规范允许的最大配筋率。

（3）斜截面抗剪超限验算

格式如下：

**位置: Pos，(LCase)截面不满足抗剪要求，V/b/h0>（1/γ_{re}）*Cv*βc*fc

其中：

Pos ——梁截面序号 1～9；

LCase——控制剪力的内力组合号；

V ——控制剪力（kN）；

B、Ho ——截面宽度和有效高度；

γre——承载力抗震调整系数，地震组合才输出；

Cv——计算系数，按规范要求取值；

βc——混凝土强度影响系数；

fc ——混凝土抗压强度。

（4）斜截面剪扭超限验算

格式如下：

**位置: Pos，(LCase)截面不满足剪扭要求，V/b/h0+T/0.8/Wt>（1/γre）* Cv *βc*fc

其中：

Lcase——控制内力的内力组合号；

V、T ——控制验算的剪力和扭矩（kN、kN·m）；

B、Ho ——截面宽度和有效高度；

Wt——截面受扭塑性抵抗矩；

γre——承载力抗震调整系数，地震组合才输出；

Cv——计算系数，按规范要求取值；

βc——混凝土强度影响系数；

fc ——混凝土抗压强度。

2、型钢混凝土梁超限验算

（1）最大配筋率超限验算

输出格式同混凝土梁。

（2）斜截面抗剪超限验算

除与混凝土梁有类似的截面验算公式外，还有下述超限验算：

如果设计时选择按“《组合结构设计规范》JGJ138-2016”设计，则输出：

****型钢截面不满足要求（《组合规范》JGJ 138-2016 5.2.3） fa*tw*hw/βc/fc/b/h0<0.10**

如果设计时选择按“《钢骨混凝土结构技术规程》YB 9082-2006”设计，则输出：

****型钢截面不满足要求（《钢骨混凝土规程》YB 9082-2006 6.3.11） fav*tw*hw/βc/fc/b/h0<0.10**

（3）板件宽厚比、高厚比超限验算

格式如下：

****型钢宽厚比超限：b/hf > b/hf_max**

****型钢腹板高厚比超限：h/tw> h/tw_max**

其中：

b/hf、h/tw——型钢宽厚比、腹板高厚比；

b/hf_max、h/tw_max——板件允许宽厚比、腹板允许高厚比。

宽厚比、高厚比限值按设计参数中选择的设计规范取值。

3、钢梁超限验算

（1）强度超限验算

****（Lcase）M， F1＞f 正应力超限**

****（Lcase）V， F3＞fv 剪应力超限**

其中：

Lcase——控制内力的内力组合号；

M、V ——控制内力的弯矩、剪力（kN·m、kN）；

F1 ——计算正应力；

F3 ——计算剪应力；

f ——钢的抗拉、抗压强度；

f v ——钢的抗剪强度。

（2）整体稳定超限验算

**（Lcase）M，F2＞f　　整体稳定应力超限

其中：

Lcase——控制内力的内力组合号；

M ——控制内力的弯矩（kN·m）；

F2——整体稳定计算应力；

f——钢的抗拉、抗压强度。

只有需要进行整体稳定验算时才输出。

（3）宽厚比和高厚比超限验算

**宽厚比超限：b/hf > b/hf_max

**高厚比超限：h/tw> h/tw_max

其中：

b/hf、h/tw——截面宽厚比、腹板高厚比；

b/hf_max、h/tw_max——截面允许宽厚比、腹板允许高厚比。

4、混凝土矩形柱超限信息

（1）轴压比超限验算

格式如下：

**（Lcase）N，Uc=N/(fc*Ac)＞Ucmax 轴压比超限

其中：

Lcase——内力组合号；

N——控制轴压比的轴力（kN），计算地震作用时，取地震组合下的最大轴压力；

不计算地震作用时，取非地震组合下的最大轴压力；

Uc——计算轴压比；

Ac——截面面积；

fc——混凝土抗压强度；

Ucmax——允许轴压比。

（2）最大配筋率超限验算

格式如下：

**** Rs＞Rsmax 全截面配筋率超限**

其中：

Rs——柱全截面配筋率；

Rsmax——柱全截面允许的最大配筋率。

（3）单边最大配筋率超限验算

格式如下：

**** Rsx（或 Rsy）＞1.2%　　矩形截面单边配筋率超限**

其中：

Rsx，Rsy——分别为矩形截面柱单边（B 边和 H 边）的配筋率，仅当抗震等级为特一、一级且剪跨比不大于 2 时的矩形混凝土柱才验算。

（4）斜截面抗剪超限验算

格式如下：

**** （Lcase）截面不满足抗剪要求 Vx/h/b_0＞（1/γ_{re}）*Cx*βc*fc抗剪截面超限**

**** （Lcase）截面不满足抗剪要求 Vy/b/h_0＞（1/γ_{re}）*Cy*βc*fc 抗剪截面超限**

其中：

Lcase——内力组合号；

Vx、Vy——分别为控制验算的 X、Y 向剪力（kN）；

Cx、Cy——计算系数，按规范要求取值；

βc——混凝土强度影响系数；

fc——混凝土抗压强度；

γre——承载力抗震调整系数，地震组合才输出。

（5）节点域抗剪承载力超限验算

格式如下：

**（Lcase）Vjx＞（1/γ_{re}）*Cx*η_j *βc *fc*b_j* h_j　节点域抗剪截面超限

**（Lcase）Vjy＞（1/γ_{re}）*Cy*η_j *βc *fc*b_j* h_j　节点域抗剪截面超限

其中：

LCase——内力组合号；

Vjx、Vjy——分别为控制节点域验算的 X、Y 向剪力（kN）；

γre——承载力抗震调整系数，地震组合才输出；

Cx、Cy——计算系数，按规范要求取值；

ηj——强节点系数；

βc——混凝土强度影响系数；

fc——混凝土抗压强度；

bj、hj——节点核心区截面宽度、高度。

（6）柱冲切超限验算

格式如下：

**（Lcase）Fl/um/h0＞（1/γ_{re}）*Cq*ft*η　冲切截面超限

其中：

LCase——内力组合号；

Fl——考虑不平衡弯矩影响后的等效冲切力（kN）；

um——冲切周长（mm）；

γre——承载力抗震调整系数，地震组合才输出；

Cq——计算系数，按规范要求取值；

η——系数，按《混凝土规范》6.5 节采用。

5、型钢混凝土柱

（1）轴压比超限验算

计算轴压比时考虑型钢贡献，输出格式同混凝土柱。

（2）最大配筋率超限验算

无单边配筋率验算，其它同混凝土柱。

（3）斜截面抗剪超限验算

除与混凝土柱有类似的截面验算公式外，还有下述超限验算：

如果设计时选择按“《组合结构设计规范》JGJ138-2016”设计，则输出：

**** 型 钢 截 面 不 满 足 要 求 （《 组 合 规 范 》 JGJ 138-2016 5.2.3 ） fa*tw*hw/fc/b/h0<0.10**

如果设计时选择按“《钢骨混凝土结构技术规程》YB 9082-2006”设计，则输出：

**** 型 钢 截 面 不 满 足 要 求 （《 钢 骨 混 凝 土 规 程 》 YB 9082-2006 6.3.11 ） fav*tw*hw/fc/b/h0<0.10**

（4）节点域抗剪承载力超限验算

输出格式同混凝土柱。

（5）长细比超限验算

格式如下：

****长细比超限：Rmdx，Rmdy，Rmd_max**

（6）型钢截面超限验算

格式如下：

****型钢宽厚比超限： b/hf > b/hf_max**

****型钢腹板高厚比超限：h/tw> h/tw_max**

其中：

b/hf、h/tw——型钢宽厚比、腹板高厚比；

b/hf_max、h/tw_max——板件允许宽厚比、腹板允许高厚比。

宽厚比、高厚比限值按设计参数中选择的设计规范取值。

6、混凝土异形柱

（1）轴压比超限验算

输出格式同混凝土柱。

（2）最大配筋率超限验算

无单边配筋率验算，其它同混凝土柱。

（3）斜截面抗剪超限验算

输出格式同混凝土柱。

（4）节点域抗剪承载力超限验算

格式如下：

****（Lcase）Vjx＞（1/γ_{re}）*Cx*（ζ_n）*ζ_f *ζ_h *βc *fc*b_j* h_j 节点域抗剪截面超限**

****（Lcase）Vjy＞（1/γ_{re}）*Cy*（ζ_n）*ζ_f *ζ_h *βc *fc*b_j* h_j 节点域抗剪截面超限**

其中：

LCase——内力组合号；

Vjx、Vjy——分别为控制节点域验算的 X、Y 向剪力（kN）；

γre——承载力抗震调整系数，地震组合才输出；

Cx、Cy ——计算系数，按规范要求取值；

ζn——轴压比影响系数，地震组合才输出；

ζf——翼缘影响系数；

ζh——截面高度影响系数；

βc ——混凝土强度影响系数；

fc ——混凝土抗压强度；

bj、hj——节点核心区截面宽度、高度。

7、混凝土、型钢混凝土支撑

除无节点域抗剪承载力超限验算外，其余与相应的混凝土柱、型钢混凝土柱一致。

8、钢柱

（1）强度超限验算

格式如下：

****（Lcase）Mx，My，N，F1＞f　　正应力超限**

其中：

Lcase——内力组合号；

N、Mx、My ——控制轴力、X 向弯矩、Y 向弯矩（kN、kN·m）。

其它参数的具体含义见 4.6.6 小节。

（2）稳定超限验算

格式如下：

****（Lcase）Mx，My，N，F2＞f　　X 向稳定应力超限**

****（Lcase）Mx，My，N，F3＞f　　Y 向稳定应力超限**

其中：

Lcase——内力组合号；

N、Mx、My ——控制轴力、X 向弯矩、Y 向弯矩（kN、kN·m）。

（3）强柱弱梁超限验算

格式如下：

**** Px=Σ(Wpbx*fyb)/ΣWpcx*(fyc-N/Ac)＞1.0　　X 向强柱弱梁验算超限**

**** Py=Σ(Wpby*fyb)/ΣWpcy*(fyc-N/Ac)＞1.0　　Y 向强柱弱梁验算超限**

其中：

Wpbx、Wpby——钢梁 X、Y 向塑性截面模量；

Wpcx、Wpcy——钢柱 X、Y 向塑性截面模量；

fyb、fyc——分别为梁和柱的钢材屈服强度；

N ——柱轴力设计值；

Ac ——柱截面面积；

Px、Py——X、Y 向钢梁与钢柱全塑性抵抗矩的比值。

（4）长细比超限验算

格式如下：

**长细比超限：Rmdx，Rmdy，Rmd_max

其中：

Rmdx，Rmdy——X、Y 方向长细比；

Rmd_max——长细比限值。

（5）截面宽厚比、高厚比超限验算

格式如下：

**宽厚比超限：b/hf > b/hf_max

**高厚比超限：h/tw> h/tw_max

其中：

b/hf，h/tw——翼缘宽厚比、腹板高厚比；

b/hf_max，h/tw_max——翼缘宽厚比、腹板高厚比限值。

9、墙柱超限验算

（1）轴压比超限验算

格式如下：

**N，Uw=N/(fc * Aw)＞Uwmax 轴压比超限

其中：

N——重力荷载代表值下的轴力（kN）；

Uw——计算轴压比；

Aw——截面面积；

fc——混凝土抗压强度；

Uwmax——允许轴压比。

（2）最大配筋率超限验算

格式如下：

**** Rs＞Rsmax 暗柱配筋率超限**

其中：

Rs——墙柱一端暗柱的配筋率或按柱配筋时的全截面配筋率；

Rsmax——按框架柱最大配筋率取值。

该项验算主要是提示设计人员暗柱配筋面积较多，需要校对设计结果的合理性。

（3）斜截面抗剪超限验算

格式如下：

（Lcase）截面不满足抗剪要求 V/b/h0＞（1/γ_{re}）*Cv*βc*fc 抗剪截面超限

其中：

LCase——控制剪力的内力组合号；

V——控制剪力（kN）；

γre——承载力抗震调整系数，地震组合才输出；

Cv——计算系数，按规范要求取值；

βc——混凝土强度影响系数；

fc——混凝土抗压强度。

（4）稳定超限验算

格式如下：

（墙支承条件）稳定验算超限(LCase)q>Ec*t^3/L_0^2/10，N，Beta

其中：

墙支承条件——稳定验算时的支承条件，如：按一字形墙、按 T 形墙腹板、按工字形(或槽型)墙翼缘等；

LCase——内力组合号；

N、q——控制轴力（kN）、等效竖向均布荷载（kN/m）；

Beta——墙肢计算长度系数；

Ec——混凝土弹性模量；

t、L0——墙肢厚度、高度。

（5）施工缝超限验算

格式如下：

**** 施工缝验算超限(LCase)V > (0.6*fy*Ast+0.8*N)/ γ_{re}，N=，Ast**

其中：

LCase——内力组合号；

V、N——控制剪力、轴力（kN）；

fy——钢筋强度；

Ast——墙肢截面中竖向钢筋的总面积，包括竖向分布筋与暗柱纵筋；

γre——承载力抗震调整系数。

七、底层最大组合内力（wdcnl.out）

该文件主要输出上部结构的底层柱、墙底根据基础设计要求的各种组合内力，供基础设计时参考。需要注意的是，本文件输出结果不适用于不等高嵌固、地下室分塔等情况。

1、柱、支撑输出格式

N-C，Node-i，Node-j，DL，Angle
（LoadCase），Shear-X，Shear-Y，Axial，Mx-Btm，My-Btm，Target

其中：

N-C——柱编号；

LoadCase——组合号；

Node-i，Node-j——柱上、下节点编号；

DL——柱长度（m）；

Angle——柱布置角度；

Shear-X，Shear-Y——柱局部坐标系下 X、Y 方向剪力（kN）；

Axial——柱底轴力（kN）；

Mx-Btm，My-Btm——柱底 X、Y 方向的弯矩（kN-m）；

Target——组合目标。

2、墙输出格式

N-WC，Node-i，Node-j，DL，Angle

（LoadCase），Shear-X，Shear-Y，Axial，Mx-Btm，My-Btm，Target

其中：

N-WC——墙柱编号；

LoadCase——组合号；

Node-i，Node-j——墙柱左上、右上节点编号；

DL——墙柱长度（m）；

Angle——墙柱布置角度；

Shear-X，Shear-Y——墙柱局部坐标系下面外、面内方向剪力（kN）；

Axial——墙柱底轴力（kN）；

Mx-Btm，My-Btm——墙柱底面内、面外方向的弯矩（kN-m）；

Target——组合目标。

八、薄弱层验算文件（wbrc.out）

对于 12 层以下的纯框架结构，软件将按照《抗震规范》简化算法计算弹塑性层间位移、位移角。

1、计算罕遇地震作用下层剪力

格式如下：

Floor，Tower，Vx，Vy，VxV，VyV

其中：

Floor——层号；

Tower——塔号；

Vx、Vy——分别为 X、Y 方向罕遇地震计算得到的框架楼层弹性剪力（kN）；

VxV、VyV——分别为 X、Y 方向楼层抗剪承载力（kN）。

2、计算楼层屈服强度系数

格式如下：

Floor，Tower，Gsx，Gsy

其中：

Gsx、Gsy——分别为 X、Y 方向各层的屈服系数。

3、X 向、Y 向地震作用下弹塑性位移计算结果

格式如下：

对于 X 向地震：

Floor，Tower，Dx，Dxs，Atpx，Dxsp，Dxsp/h，h

对于 Y 向地震：

Floor，Tower，Dy，Dys，Atpy，Dysp，Dysp/h，h

其中：

Floor——层号；

Tower——塔号；

Dx、Dy——分别表示 X、Y 方向罕遇地震作用下弹性平均楼层位移（mm）；

Dxs、Dys——分别表示 X、Y 方向罕遇地震作用下弹性平均层间位移（mm）；

Atpx、Atpy——分别表示 X、Y 方向弹塑性层间位移增大系数；

Dxsp、Dysp——分别表示 X、Y 方向罕遇地震下的弹塑性层间位移（mm）；

Dxsp/h、Dysp/h——分别表示 X、Y 方向罕遇地震下的弹塑性层间位移角；

h——楼层层高（m）；

九、倾覆弯矩及 0.2Vo 调整（wv02q.out）

该文件主要输出框剪、框筒等结构中框架柱、框支柱、短肢剪力墙等构件在地震或风荷载作用下的剪力、倾覆弯矩所占比例。

1、各层、各塔的规定水平力

格式如下：

层号，塔号，X 向，Y 向

其中：

X 向水平力、Y 向水平力——指 X 向、Y 向计算用的规定水平力数值（kN）。

2、规定水平力下框架柱、短肢墙地震倾覆弯矩

格式如下：

层号，塔号，框架柱，短肢墙，普通墙，斜撑，合计

如果结构类型为部分框支剪力墙结构，则增加框支框架倾覆弯矩统计：

层号，塔号，框架柱，框支框架，短肢墙，普通墙，斜撑，合计

其中：

框架柱——在规定水平力作用下得到的框架柱倾覆弯矩，按斜杆建模但计算时判断为斜柱的斜杆也统计到该项目中；

框支框架——在规定水平力作用下得到的框支框架倾覆弯矩；

短肢墙——在规定水平力作用下得到的短肢剪力墙倾覆弯矩；

合计——在规定水平力作用下得到的全部构件倾覆弯矩。

3、规定水平力下框架柱、短肢墙地震倾覆弯矩百分比

格式如下：

层号，塔号，框架柱，短肢墙

如果结构类型为部分框支剪力墙结构，则增加框支框架倾覆弯矩百分比统计：

层号，塔号，框架柱，框支框架，短肢墙

另外，还单独输出 X、Y 方向墙身、边缘构件承担的倾覆弯矩，格式如下：

层号，塔号，X 墙 X 弯矩，Y 墙 X 弯矩，边缘构件 X 弯矩，X 总弯矩，X 墙 X 弯矩百分比，Y 墙 X 弯矩百分比，边缘构件 X 弯矩百分比

其中：

框架柱——在规定水平力作用下得到的框架柱倾覆弯矩百分比；

框支框架——在规定水平力作用下得到的框支框架倾覆弯矩百分比；

短肢墙——在规定水平力作用下得到的短肢剪力墙倾覆弯矩百分比。

软件同时输出轴力方式统计得到的倾覆弯矩百分比，规则为：按照竖向构件轴力向合力点求矩，再叠加竖向构件底部局部弯矩，作为倾覆弯矩统计结果。

4、框架柱地震剪力百分比

格式如下：

层号，塔号，柱剪力，总剪力，柱剪力百分比

其中：

柱剪力——X、Y 向地震作用计算得到的框架柱剪力，按斜杆建模但计算时判断为斜柱的斜杆也统计到该项目中；

总剪力——X、Y 向地震作用计算得到的总剪力。

5、板柱-剪力墙风剪力百分比

格式如下：

层号，塔号，墙剪力，总剪力，墙剪力百分比

其中：

墙剪力——X、Y 向风荷载计算得到的剪力墙剪力，包含边框柱；

总剪力——X、Y 向风荷载计算得到的总剪力。

6、风荷载、地震外力、层剪力、倾覆弯矩统计

格式如下：

层号，塔号，层外力 F，层剪力 V，倾覆弯矩 M

7、单片墙底部水平剪力验算

格式如下：

层号塔号墙柱编号在 LD 工况下沿整体坐标系 X（Y）向底部剪力>基底剪力不满足《高规》8.1.7-4

其中：

LD——工况名称

《高规》8.1.7.2 条规定：“单片剪力墙底部承担的水平剪力不应超过结构底部总水平剪力的 30%。”，软件自动按该条规定验算结构中各片剪力墙底部承担的水平剪力是否超过结构底部总水平剪力的 30%，超限则给出上述提示。

8、0.2Vo（0.25Vo）调整

格式如下：

Floor，Tower

对框剪、框筒、混合结构：

0.2 V_{0x}，1.5Vxmax，0.2 V_{0y}，1.5Vymax

对钢框架-支撑结构：

0.25 V_{0x}，1.8Vxmax，0.25 V_{0y}，1.8Vymax

调整系数：

Coef_x(Col) Coef_y(Col) Vx(Col) Vy(Col)

如果是筒体结构，且进行了调整：

Coef_x(Col) Coef_y(Col) Vx(Col) Vy(Col) Coef_x(Wall) Coef_y(Wall)

其中：

Floor——楼层号；

Tower——塔号；

0.2 V_{0x}、0.2 V_{0y}——X、Y 方向 20%的基底剪力，即 0.2V0；

1.5Vxmax、1.5Vymax——框架所承担地震剪力的 1.5 倍；

0.25Vox、0.25Voy——X、Y 方向 25%的基底剪力即 0.25 V0；

1.8Vxmax、1.8Vymax——框架所承担地震剪力的 1.8 倍；

Coef_x(Col)、Coef_y(Col)——分别表示 X、Y 方向框架柱放大系数；

Vx、Vy——分别表示该层 X、Y 方向柱所承受的地震剪力；

Coef_x(Wall)、Coef_y(Wall)——分别表示 X、Y 方向剪力墙放大系数，只有结构类型为筒体且进行了调整时才输出。

在调整时，取 0.2Vo（0.25Vo）和 1.5Vmax（1.8Vmax）中的小值。

十、剪力墙边缘构件输出文件（wbmb*.out）

该文件主要输出边缘构件设计结果，包括边缘构件类型、名称、编号、坐标、面积、配筋等信息。

格式如下：

Name

Uc

X、Y

LCB*、LS* (X1,Y1)-(X2,Y2)、LCE*

COL*

AREA_S

As_Cal

As

Rsv

（Dia、S）

其中：

Name——边缘构件名称，第一个字母 Y、G 分别表示约束或构造边缘构件，数字为编号；

Uc——边缘构件平均轴压比；

X、Y——边缘构件定位点坐标(m)；

LCB*、LS* (X1,Y1)-(X2,Y2)、LCE*——各肢起始端λ/2 阴影区长度、阴影区坐标、终止端λ/2 阴影区长度，使用相对于定位点的坐标表示(mm)；

COL*——包含的边框柱建模编号、截面面积(cm2)；

AREA_S——边缘构件阴影区面积(cm2)；

As_Cal——阴影区计算纵筋面积(mm2)；

As——阴影区构造纵筋面积(mm2)；

Rsv——边缘构件箍筋体积配箍率(%)，对于构件边缘构件且不执行《高规》7.2.16-4 条时，不输出该项；

Dia、S——构造边缘构件箍筋直径、间距(mm)，对于构件边缘构件且不执行《高规》7.2.16-4 条时才输出该项。

十一、吊车荷载预组合内力输出文件（wcrane*.out）

该文件主要输出梁、柱的吊车荷载预组合内力，包含两种预组合情况：（1）轮压；（2）轮压+刹车。其中，（1）用于地震组合，（2）用于非地震组合。

对于梁，包含 4 项预组合：

（1） $-M_{max}$、T—最大负弯矩与扭矩；

（2） $-V_{max}$、N—最大负剪力与轴力；

（3） $+M_{max}$、T—最大正弯矩与扭矩；

（4） $+V_{max}$、N—最大正剪力与轴力。

对于柱，包含 14 项预组合：

（1） V_{xmax}—X 方向剪力最大时对应的柱内力；

（2） V_{ymax}—Y 方向剪力最大时对应的柱内力；

（3） $+M_{xmax}$—X 方向弯矩最大时对应的柱内力；

（4） $-M_{xmax}$—X 方向弯矩最小时对应的柱内力；

（5） $+M_{ymax}$—Y 方向弯矩最大时对应的柱内力；

（6） $-M_{ymax}$—Y 方向弯矩最小时对应的柱内力；

（7） N_{max}、$+M_{xmax}$—最大轴力及相应 X 方向弯矩最大时对应的柱内力；

（8） N_{max}、$-M_{xmax}$—最大轴力及相应 X 方向弯矩最小时对应的柱内力；

（9） N_{max}、+ M_{ymax}—最大轴力及相应 Y 方向弯矩最大时对应的柱内力；

（10） N_{max}、- M_{ymax}—最大轴力及相应 Y 方向弯矩最小时对应的柱内力；

（11） N_{min}、+ M_{xmax}—最小轴力及相应 X 方向弯矩最大时对应的柱内力；

（12） N_{min}、- M_{xmax}—最小轴力及相应 X 方向弯矩最小时对应的柱内力；

（13） N_{min}、+ M_{ymax}—最小轴力及相应 Y 方向弯矩最大时对应的柱内力；

（14） N_{min}、- M_{ymax}—最小轴力及相应 Y 方向弯矩最小时对应的柱内力。

对于柱，包含 14 项预组合：

1、柱、支撑输出格式

N-C，Node-i，Node-j，DL，Angle

轮压+刹车

Axial，Shear-X，Shear-Y，Mx-Btm，My-Btm，Mx-Top，My- Top，Target 轮压

Axial，Shear-X，Shear-Y，Mx-Btm，My-Btm，Mx-Top，My- Top，Target

其中：

N-C——柱编号；

Node-i，Node-j——柱上、下节点编号；

DL——柱长度（m）；

Angle——柱布置角度；

Axial——柱底轴力（kN）；

Shear-X，Shear-Y——柱局部坐标系下 X、Y 方向剪力（kN）；

Mx-Btm，My-Btm——柱底 X、Y 方向的弯矩（kN-m）；

Mx-Top，My- Top——柱顶 X、Y 方向的弯矩（kN-m）；

Target——组合目标。

2、梁输出格式

N-B，Node-i，Node-j，DL

1，2，3，4，5，6，7，8，9，Target

其中：

N-B——梁编号；

Node-i，Node-j——梁左、右节点编号；

DL——梁长度（m）；

1~9——沿梁长方向 9 个截面内力；

Target——组合目标。

十二、简化计算书（mainjss.out）

简化计算书是为了方便送审时计算书打印，把文本结果中结构设计信息（wmass.out）、周期、振型与地震作用（wzq.out）、结构位移（wdisp.out）、倾覆弯矩及 0.2Vo 调整（wv02q.out）4 项汇总到一个文件输出。

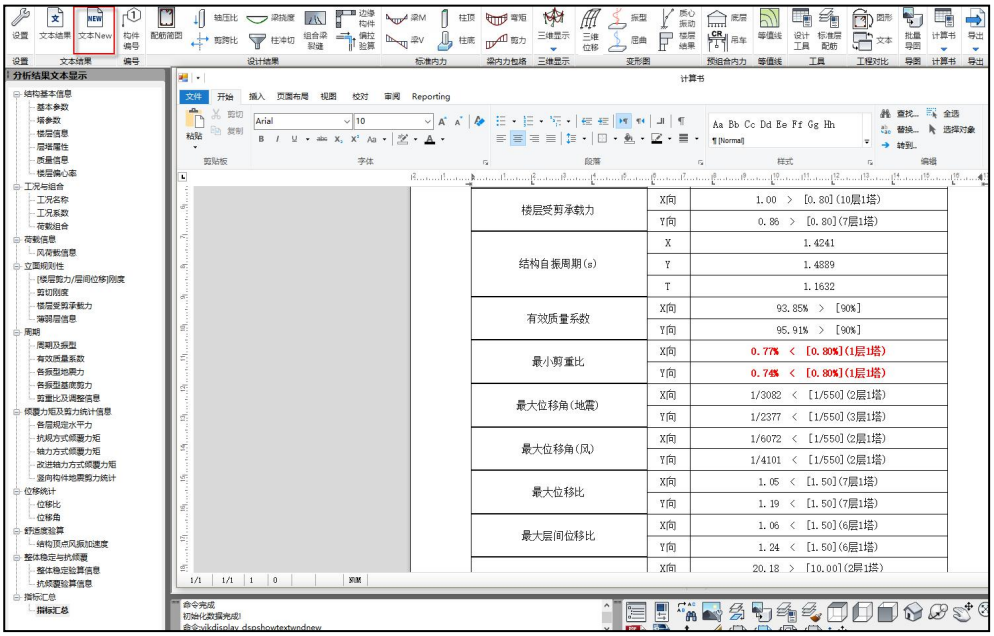
十三、警告信息（warnning.out）

计算完成后，结果中可能会出现某些异常情况，如局部振动，该项用来提示用户。

十四、文本 New

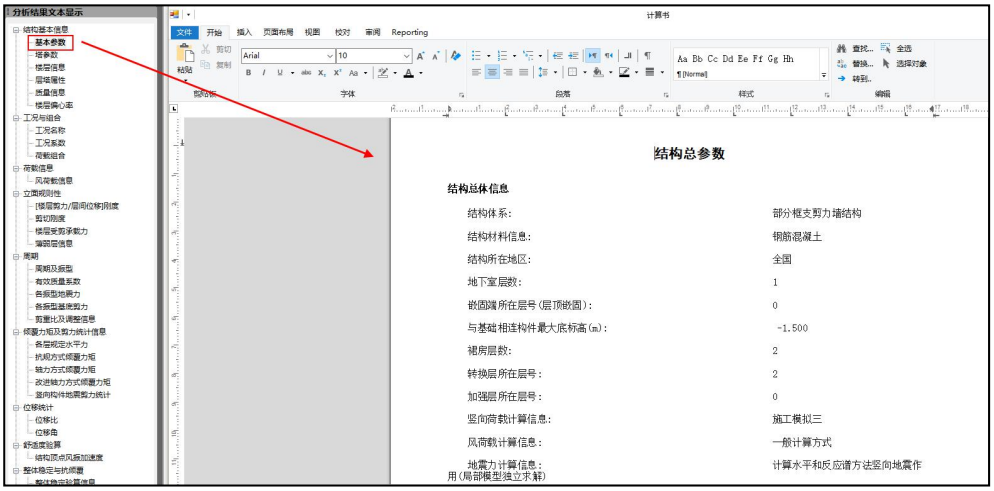
为了进一步方便工程师查看并整理计算与设计结果，软件把文本结果中的内容重新提取、整理，形成更直观的表格汇总，汇总项包括结构基本信息、工况组合信息、荷载信息、周期地震信息、倾覆力矩与剪力统计信息等，整合后在“文本 New”中输出。文本 New 还提供了指标汇总表，使得指标结果查看更有针对性。

如下图所示。用户可在编辑器中进行编辑、排版、打印等各种常规操作，并可以导出为 word、pdf 等格式。



楼层受剪承载力	X向	1.00 > [0.80](10层1塔)
	Y向	0.86 > [0.80](7层1塔)
结构自振周期(s)	X	1.4241
	Y	1.4889
	T	1.1632
有效质量系数	X向	93.85% > [90%]
	Y向	95.91% > [90%]
最小剪重比	X向	0.77% < [0.80%](1层1塔)
	Y向	0.74% < [0.80%](1层1塔)
最大位移角(地震)	X向	1/3082 < [1/550](2层1塔)
	Y向	1/2377 < [1/550](3层1塔)
最大位移角(风)	X向	1/6072 < [1/550](2层1塔)
	Y向	1/4101 < [1/550](2层1塔)
最大位移比	X向	1.05 < [1.50](7层1塔)
	Y向	1.19 < [1.50](7层1塔)
最大层间位移比	X向	1.06 < [1.50](6层1塔)
	Y向	1.24 < [1.50](6层1塔)
	X向	20.18 > [10.00](2层1塔)

图 3.3.2 文本 New-内容



结构总参数

结构总体信息

结构体系:	部分框支剪力墙结构
结构材料信息:	钢筋混凝土
结构所在地区:	全国
地下室层数:	1
嵌固端所在层号(层顶嵌固):	0
与基础相连构件最大底标高(m):	-1.500
裙房层数:	2
转换层所在层号:	2
加强层所在层号:	0
竖向荷载计算信息:	施工模拟三
风荷载计算信息:	一般计算方式
地震力计算信息:	计算水平和反应谱方法竖向地震作用(局部模型独立求解)

图 3.3.3 文本 New-内容

第四章 工具箱

第一节 功能概述

盈建科软件工具箱由普通混凝土构件、型钢混凝土构件、人防构件、加固工具箱和钢结构工具箱五部分组成，可进行多种构件截面形式的设计与计算。工具箱通过 Ribbon 界面的方式呈现，功能易于发现与使用。

图 4.1.1 工具箱界面

工具箱交互界面功能分区明确，提供参数输入、构件图形联动展示、简化结果输出，并可输出 Word 版本详细计算书。

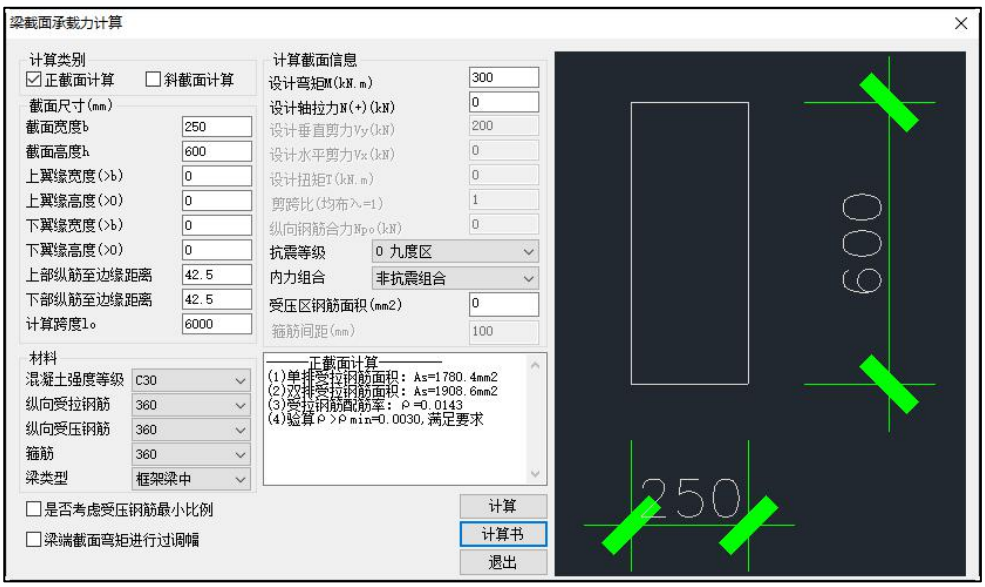


图 4.1.2 工具箱交互界面

第二节 普通混凝土构件

一、梁截面承载力验算

编制依据：

《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2010）；

《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010）（2016 版）；

《高层建筑混凝土结构设计规程》（JGJ3-2010）。

使用范围：

构件类型：框架梁、框支梁、连梁；

截面形式：矩形、T 形、工字形；

计算内容：抗弯计算、抗剪计算、抗扭计算。

根据内力组合不同，可按照非抗震组合、抗震组合、人防组合、中震不屈服组合、弹性竖向地震组合、大震不屈服组合进行设计。其中抗震设计时，考虑承载力抗震调整系数。人防组合时，考虑材料强度综合调整系数。性能设计时，按照《抗规》或《高规》公式进行设计。

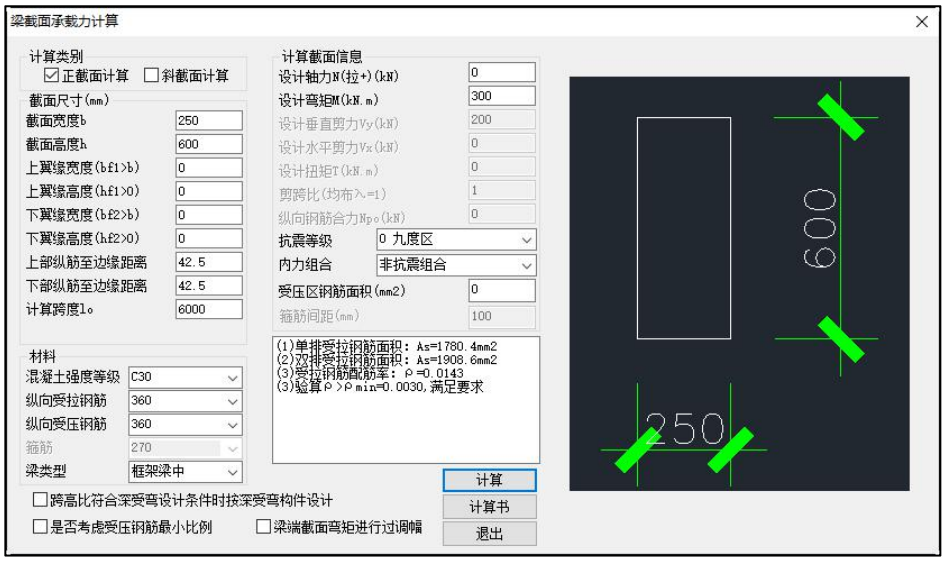
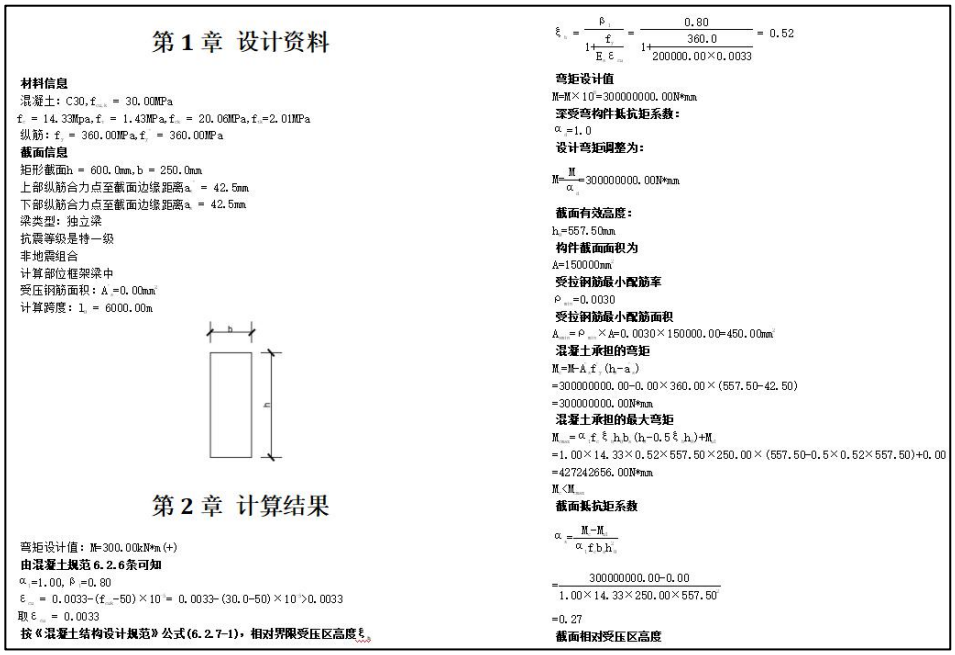


图 4.2.1 梁截面承载力计算界面



第 1 章 设计资料

材料信息

混凝土：C30, $f_{cu,k}$ = 30.00MPa

f_c = 14.33Mpa, f_t = 1.43MPa, f_{ck} = 20.06MPa, f_{tk}=2.01MPa

纵筋：f_y = 360.00MPa, f_y' = 360.00MPa

截面信息

矩形截面h = 600.0mm, b = 250.0mm

上部纵筋合力点至截面边缘距离 a_s = 42.5mm

下部纵筋合力点至截面边缘距离 a_s' = 42.5mm

梁类型：独立梁

抗震等级是特一级

非地震组合

计算部位框架梁中

受压钢筋面积：A_s' =0.00mm²

计算跨度：l_0 = 6000.00m

第 2 章 计算结果

弯矩设计值：M=300.00kN*m(+)

由混凝土规范 6.2.6条可知

α_1=1.00, β_1=0.80

ε_{cu} = 0.0033-($f_{cu,k}$-50)×10⁻³ = 0.0033-(30.0-50)×10⁻³>0.0033

取ε_{cu} = 0.0033

按《混凝土结构设计规范》公式(6.2.7-1)，相对界限受压区高度ξ_b

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1+\frac{f_y}{E_s \varepsilon_{cu}}} = \frac{0.80}{1+\frac{360.0}{200000.00\times0.0033}} = 0.52$$

弯矩设计值

M=M×10³=300000000.00N*mm

梁受弯构件抵抗矩系数：

α_s=1.0

设计弯矩调整为：

$M=\frac{M}{\alpha_s}$=300000000.00N*mm

截面有效高度：

h_0=557.50mm

构件截面面积为

A=150000mm²

受拉钢筋最小配筋率

ρ_{min}=0.0030

受拉钢筋最小配筋面积

$A_{s,min}=\rho_{min}\times A$=0.0030×150000.00=450.00mm²

混凝土承担的弯矩

$M=M-A_s' f_y' (h_0-a_s')$

=300000000.00-0.00×360.00×(557.50-42.50)

=300000000.00N*mm

混凝土承担的最大弯矩

$M_{cu}=\alpha_1 f_c \xi_b b h_0 (h_0-0.5\xi_b h_0)+M_s'$

=1.00×14.33×0.52×557.50×250.00×(557.50-0.5×0.52×557.50)+0.00

=427242656.00N*mm

M<M_{cu}

截面抵抗矩系数

$$\alpha_s=\frac{M-M_s'}{\alpha_1 f_c b h_0^2}$$

$$=\frac{300000000.00-0.00}{1.00\times14.33\times250.00\times557.50^2}$$

=0.27

截面相对受压区高度

图 4.2.2 梁截面计算书输出

二、柱截面承载力验算

编制依据：

《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2010）；

《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010）（2016 版）；

《高层建筑混凝土结构设计规程》（JGJ3-2010）。

使用范围：

构件类型：框架柱、框支柱；

截面形式：矩形、圆形；

计算内容：轴压计算、轴拉计算、偏拉计算、偏压计算、拉剪计算、压剪计算。

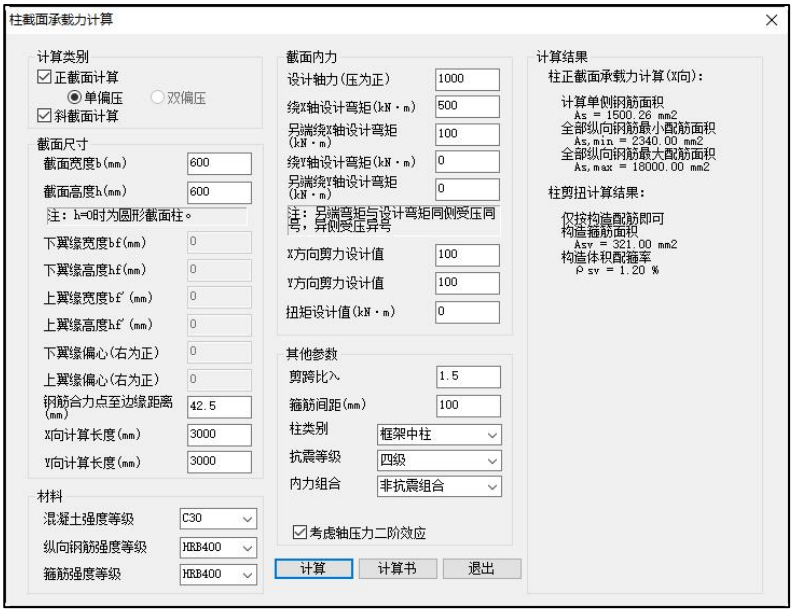


图 4.2.3 柱截面承载力计算界面

三、板冲切验算

编制依据：

《混凝土结构设计规范》GB50010-2010 第 6.5 节。

使用范围：

钢筋混凝土无梁楼盖受柱冲切，验算冲切承载力。

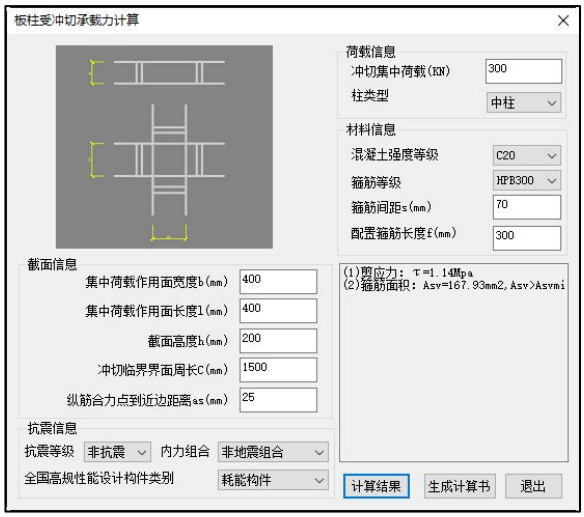


图 4.2.4 板冲切计算界面

四、节点核心区验算

编制依据：

《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2010）；

《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010）（2016 版）；

《高层建筑混凝土结构设计规程》（JGJ3-2010）。

使用范围：

截面形式：矩形、圆形；

计算内容：梁柱节点核心区受剪承载力计算。

图 4.2.5 节点核心区计算界面

五、挠度、裂缝验算

编制依据：

《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2010）；

使用范围：

截面形式：矩形、T 型和工字型；

计算内容：裂缝和挠度计算。

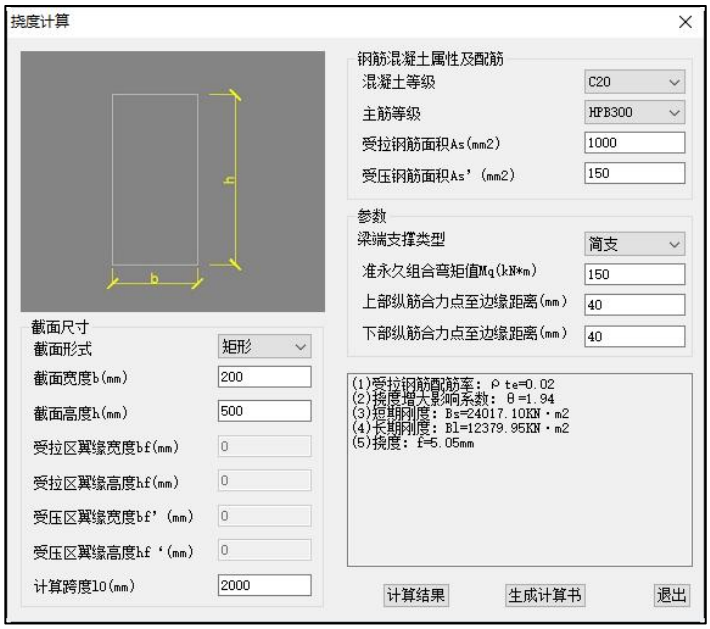


图 4.2.6 挠度计算界面

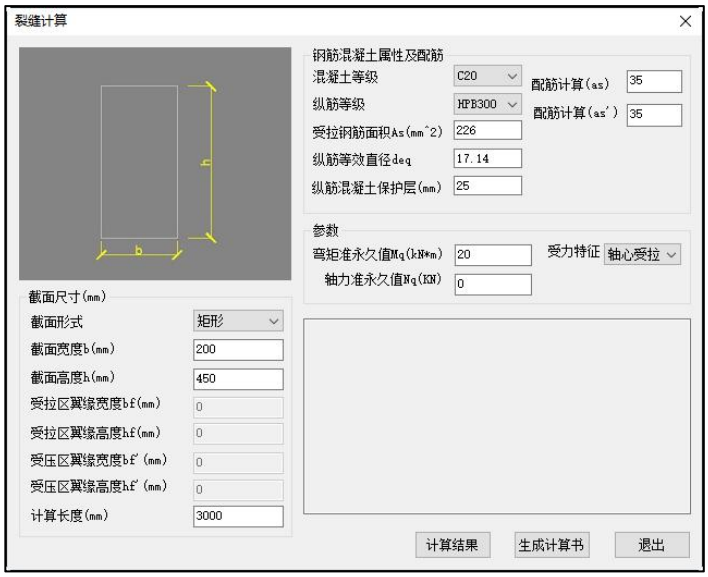


图 4.2.7 裂缝计算界面

六、楼梯验算

编制依据：

《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2010）；

《建筑结构荷载规范》（GB 50009-2012）。

使用范围：

楼梯正截面抗弯承载力计算、裂缝和挠度计算。支持 AT、BT、CT、DT 四种现浇混凝土板式楼梯的计算。

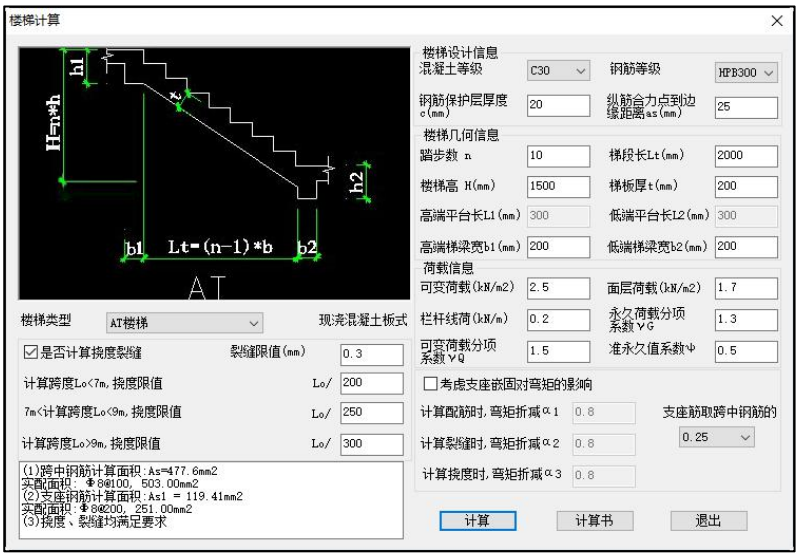


图 4.2.8 楼梯计算界面

七、地下室外墙验算

编制依据：

《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2010）；

《建筑结构荷载规范》（GB 50009-2012）；

《人民防空地下室设计规范》（GB 50038-2005）；

《建筑结构静力计算手册（第二版）》。

使用范围：

适用类型：单层或多层地下室和半地下室外墙；

顶板支撑方式：自由、简支、固定。

软件支持 4 层以内的地下室外墙计算。在荷载组合分项系数表中输入分项系数后，软件根据上述输入值将荷载进行组合。组合后的侧压荷载会被分解为均布荷载和三角荷载用于内力计算，程序按照连续梁计算竖向弯矩。

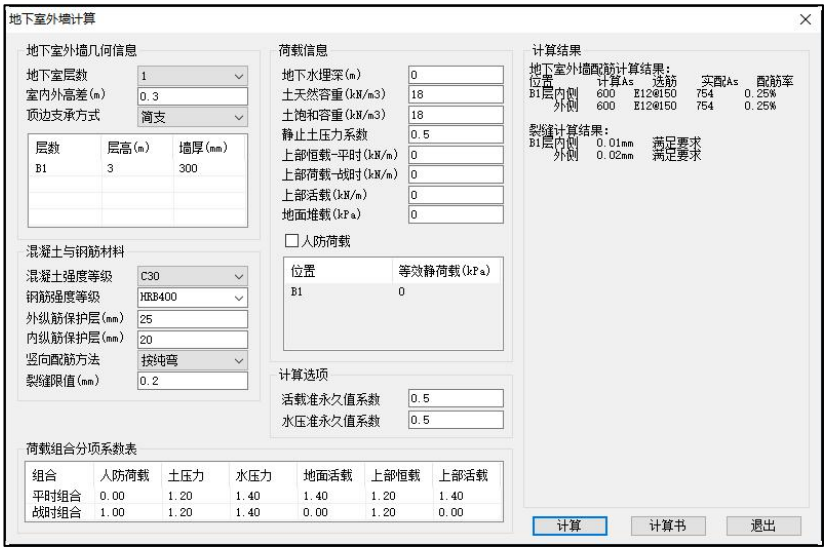


图 4.2.9 地下室外墙计算界面

八、特殊结构验算

特殊结构功能包括矩形水池池壁裂缝计算、圆环柱计算。

矩形水池裂缝计算内容包括：受拉钢筋有效配筋率、受拉钢筋应力、应变不均匀系数和裂缝宽度。

圆环柱根据《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2010）附录E计算。

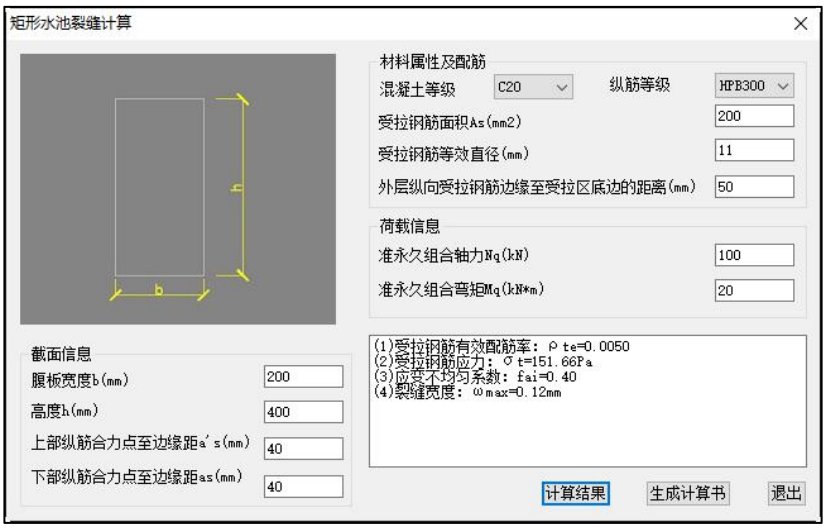


图 4.2.10 矩形水池裂缝计算界面

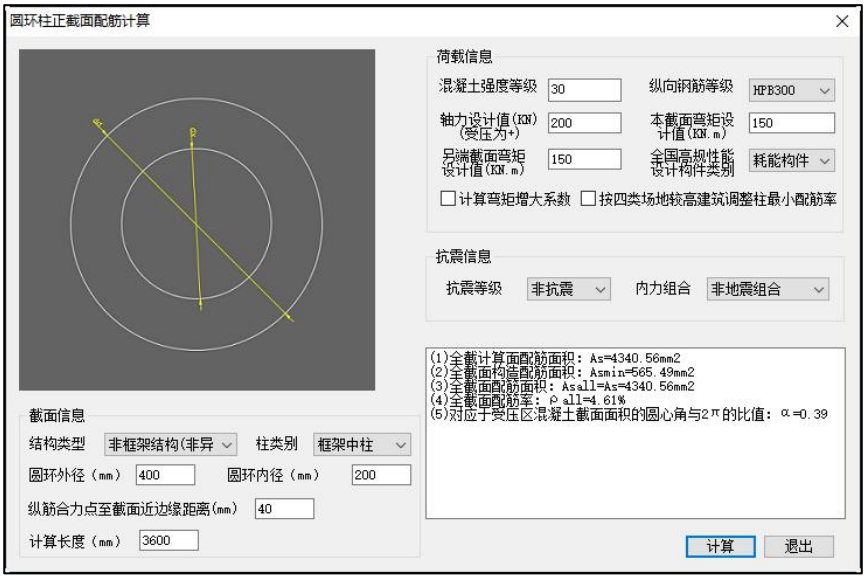


图 4.2.11 圆环柱正截面配筋计算界面

第三节 型钢混凝土构件

一、型钢混凝土梁承载力验算

编制依据：

《组合结构设计规范》。

使用范围：

构件类型：型钢砼梁、钢板连梁；

截面形式：梁截面支持矩形截面，型钢支持工字形截面，钢板类型支持单层和双侧钢板；

计算内容：抗弯计算、抗剪计算。

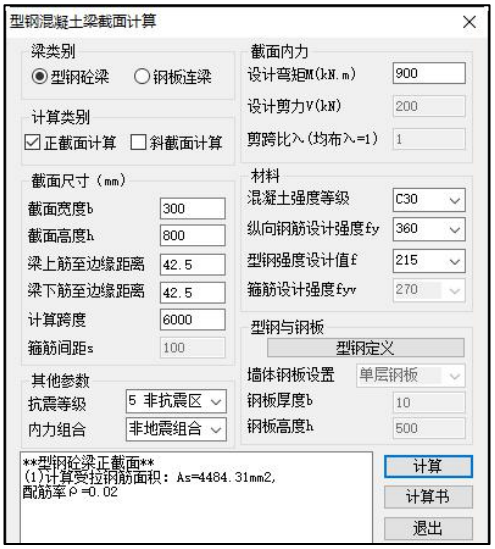


图 4.3.1 型钢混凝土梁承载力计算界面

二、型钢混凝土柱承载力验算

编制依据：

《组合结构设计规范》。

使用范围：

构件类型：型钢砼柱；

截面形式：柱截面支持矩形截面，型钢支持工字形截面；

计算内容：轴压计算、轴拉计算、偏拉计算、偏压计算、拉剪计算、压剪计算。

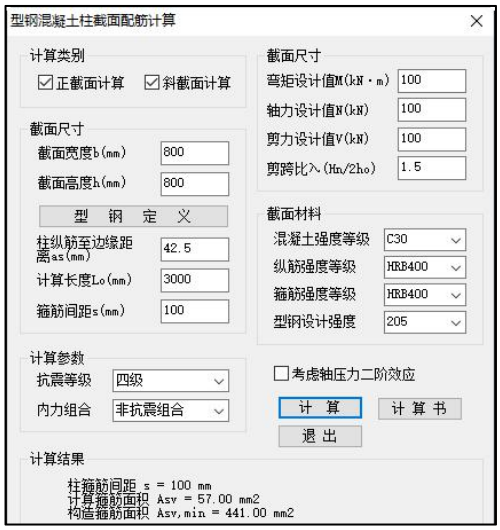


图 4.3.2 型钢混凝土柱承载力计算界面

三、型钢混凝土节点核心区验算

编制依据：

《组合结构设计规范》。

使用范围：

构件类型：型钢砼柱+钢筋砼梁节点、型钢砼柱+型钢砼梁节点、型钢砼柱+钢梁节点；

截面形式：柱截面支持矩形截面，型钢支持工字形截面；

计算内容：型钢混凝土节点核心区受剪承载力计算。

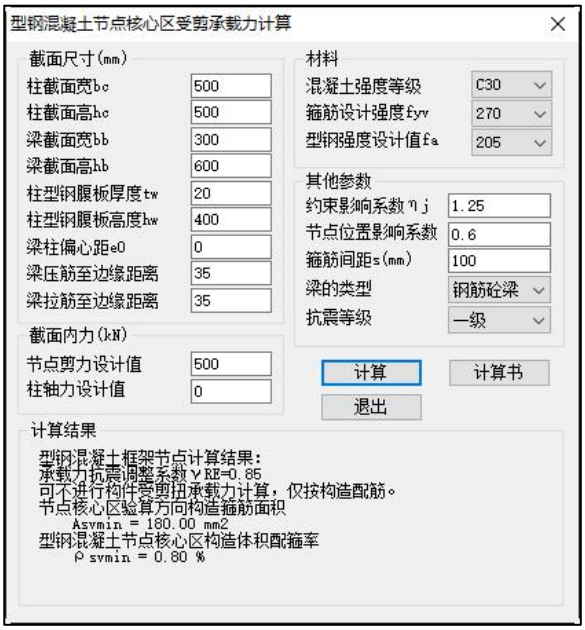


图 4.3.3 型钢混凝土节点核心区计算界面

第四节 人防构件

人防结构验算包括临空墙和门框墙计算。

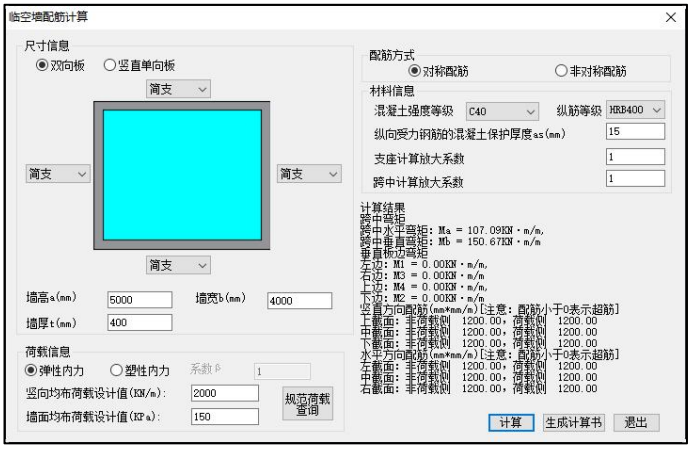


图 4.4.1 临空墙计算界面

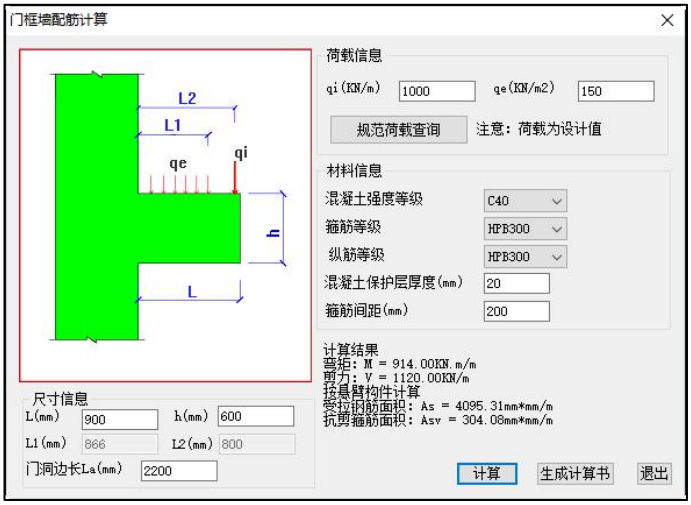


图 4.4.2 门框墙计算界面

第五节 加固工具箱

加固工具箱由梁加固、柱加固和 89 规范鉴定组成。

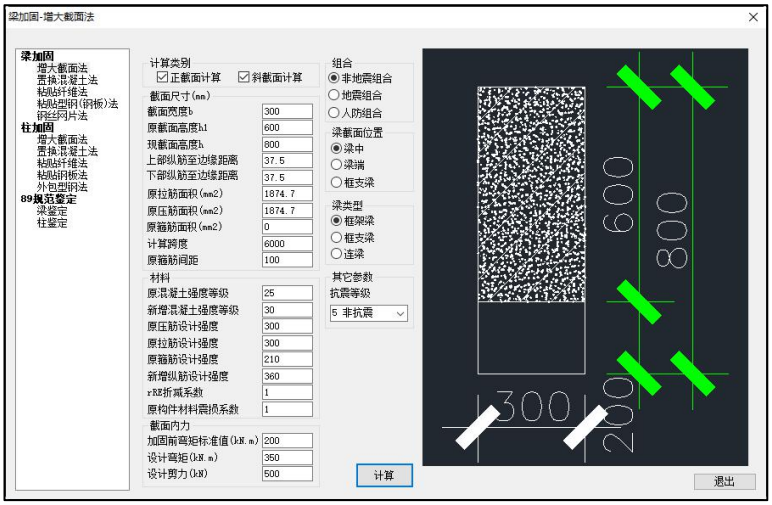


图 4.5.1 加固工具箱界面

第六节 钢结构工具箱

钢结构工具箱包括钢构件计算和围护构件计算。

钢构件计算包括受弯构件计算和拉弯压弯构件计算。

围护构件计算包括隅撑、简支檩条、屋面连续檩条、墙面连续檩条计算。

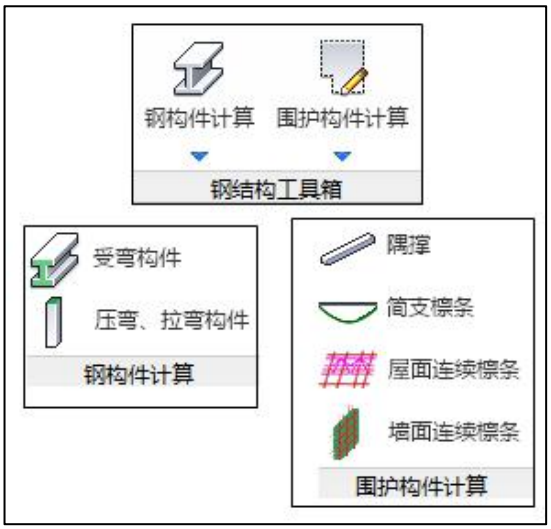


图 4.6.1 钢结构工具箱

钢构件计算：

受弯构件计算包括截面类型、设计参数、钢号、内力、组合类别、下翼缘畸变失稳、防火验算、性能设计及宽厚比等级、计算结果和 word 计算书生成等内容。

拉弯压弯构件计算包括截面类型、设计参数、结构类型、钢号、内力、组合类别、防火验算、性能设计及宽厚比等级、有无侧移、计算结果和 word 计算书生成等内容。

组合类别包括非地震组合、地震组合、仅竖向地震组合、中震不屈服组合、大震不屈服组合、17 钢结构标准中震性能 1、17 钢结构标准中震性能 2、17 钢结构标准大震性能 1、17 钢结构标准其它性能、全国中震性能 1、全国中震性能 2、全国中震性能 3、全国中震性能 4、全国大震性能 2、全国大震性能 3、全国大震性能 4、全国大震性能 5、火灾组合、人防组合。

其中震不屈服组合、大震不屈服组合为按照《建筑抗震设计规范》执行的性能设计。17 钢结构标准中震性能 1、17 钢结构标准中震性能 2、17 钢结构标准大震性能 1、17 钢结构标准其它性能为按《钢结构设计标准》第 17 章内容执行的性能化设计。选择 17 钢结构标准性能设计后程序勾选按宽厚比等级控制局部稳定。

全国中震性能 1、全国中震性能 2、全国中震性能 3、全国中震性能 4、全国大震性能 2、全国大震性能 3、全国大震性能 4、全国大震性能 5 为按《高层民用建筑钢结构技术规程》第 3 章内容执行的性能化设计。

组合类别选择火灾组合时，程序按照《建筑钢结构防火技术规范》进行钢构件的防火验算。

Word 计算书输出包括设计资料、截面特性、内力、详细计算公式、规范条文和结果输出。

围护结构：

隅撑计算包括隅撑节点形式、隅撑截面、隅撑布置方式、檩条截面、与隅撑连接的梁柱截面、钢号等参数内容。隅撑按轴心受压构件设计，软件依据《门刚规范》进行隅撑的轴心压力计算；按《钢结构设计标准》进行稳定应力计算；同时进行螺栓承载力计算；结果以 word 版详细计算书输出。

简支檩条计算包括檩条类型、檩条截面、尺寸信息、荷载信息、钢号、拉条信息等。

程序按照《门刚规范》计算檩条强度、稳定性、挠度及长细比验算。

屋面连续檩条计算功能，计算对话框包括连续檩条定义和作用荷载与分析参数两项。

连续檩条定义包括连续檩条跨数、檩条钢号、拉条布置信息、檩条几何信息、檩条截面信息等。连续檩条跨数可以选择的跨数有 2~5 跨，当超过 5 跨的时候，可以近似按 5 跨计算。檩条截面选择为斜卷边 Z 形檩条和卷边 C 形檩条。

作用荷载与分析参数包括分析参数、檩条验算规范选取、屋面作用荷载等信息。

分析参数包括上、下翼缘受压稳定性验算控制选项，活荷载不利布置选项和考虑冷弯效应。

强度稳定验算，规范可以选择《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018-2002)和《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(GB 51022-2015)。当双檩条搭接位置，截面模量按照门刚规范取两檩条有效净截面模量之和乘以折减系数 0.9 执行。

点取“计算”，程序弹出屋面连续檩条 word 版详细计算书，计算书内容包括设计信息、设计依据、檩条作用与验算，验算内容主要包括强度、稳定、挠度和板件宽厚比计算内容。

墙面连续檩条计算功能，计算对话框包括连续墙梁定义和作用荷载与分析参数两项。

连续墙梁定义包括连续檩条跨数、檩条钢号、檩条布置朝向、拉条布置信息、檩条几何信息、檩条截面信息等。连续檩条跨数可以选择的跨数有 2~5 跨，当超过 5 跨的时候，可以近似按 5 跨计算。檩条截面选择为斜卷边 Z 形檩条和卷边 C 形檩条。

作用荷载与分析参数包括分析参数、檩条验算规范选取、墙梁作用荷载等信息。

分析参数包括上、下翼缘受压稳定性验算控制选项，活荷载不利布置选项和考虑冷弯效应。

强度稳定验算，规范可以选择《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018-2002)和《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(GB 51022-2015)。当双檩条搭接位置，截面模量按照门刚规范取两檩条有效净截面模量之和乘以折减系数 0.9 执行。

点取“计算”，程序弹出墙梁连续檩条 word 版详细计算书，计算书内容包括设计信息、设计依据、檩条作用与验算，验算内容主要包括强度、稳定、挠度和板件宽厚比计算内容。

第五章 结构设计技术条件

第一节 建筑模型向计算模型转化

一、计算模型的基本转化

运行前处理的“生成数据及数检”菜单后所形成的模型即为计算模型，前处理程序会在该模型基础上进行水平风荷载导算、自动生成构件计算长度系数、剪力墙单元划分等工作。计算模型可在前处理图形检查中观察，程序提供了平面简图、立面简图、结构轴测图、恒活荷载简图等多种图形对计算模型进行查看。

模型转化时，程序首先读入建模的分层模型数据，生成空间轴网并将各层杆件在空间中定位；然后对模型上下层交界处自动衔接，形成有机的整体结构三维模型；在此基础上，程序再对空间模型进行一定的修正和调整，使模型尽量满足计算软件对模型数据的要求。以下主要介绍模型转化中的处理要点。

1、计算模型的单元

模型中对于梁、柱、斜杆，使用杆单元（即框架单元）计算；剪力墙、弹性板（蒙皮）或壳元梁（包括跨高比小于参数值的连梁、转换梁及设置为壳元的普通框架梁）使用壳元凝聚的超单元计算；刚性楼板使用主从节点在楼板平面内自由度的刚性约束进行模拟；上部结构中的基础底板使用板单元进行计算；另外，软件支持将梁、柱、墙设置为实体单元进行计算，并支持与其他类型单元的连接。

关于单元计算的详细介绍，可参见第八章相关章节。

2、楼板处理

建模中的楼板转为计算模型主要有以下几点规则：

①忽略建模中对各房间楼板上的除了全房间洞以外的局部开洞；

②楼板由主梁或墙围合而成的封闭多边形定位。但对于计算模型中的楼板而言，围

成楼板的构件应尽量共面。若因为错层梁、斜坡梁、错层墙、山墙等情况造成板周围的构件不共面，则该楼板转为计算模型后有可能丢失；

③程序默认将同平面的有厚度平板合并成一个刚性板块，同一层中允许存在多个刚性板块，但刚性板块之间不可有公共节点相连，因此，即使两房间楼板之间仅有一个公共节点，程序也会将两房间楼板归为一个刚性板块；

④对于转换成刚性板的楼板在计算简图中默认不显示，可以通过勾选“刚性板主从关系”或“强刚主从关系”，查看刚性板从节点与主节点的约束。另外，如果楼板被指定为弹性板或弹性膜，则计算简图中可显示其网格划分的结果；

⑤对于斜板，程序默认为弹性膜，其在“特殊构件定义”中无法设置为刚性板；

⑥房间板厚为 0 的情况，除非在参数中勾选了“对所有楼层强制采用刚性楼板假定”，否则转为计算模型时将不考虑该房间的楼板信息；

⑦对于开了全房间洞的房间，程序也认为该房间没有楼板。

3、偏心模型的转化

偏心杆件的重定位是在模型基本信息转化基础上的一个重要处理。

在结构模型输入时，为了反映实际结构中构件的位置关系，各种构件都可以具有相对于其定位轴网的偏心属性。而由于偏心的存在，使定位梁、墙等构件的定位网格长度即梁、墙所在网格的两端节点之间的距离并不一定能准确的反映该构件的实际长度。

为了使计算模型能较准确的确定构件的计算长度，前处理在模型转化的过程中，将用各构件中心线的交点生成一套新的节点坐标，作为构件长度和定位的依据。

节点上若偏心布置了不同类型的构件时，如节点上布置了墙和柱，但柱相对于墙中心线交点存在偏心，程序在偏心处自动增加刚域相连。

考虑到不同种类构件对结构影响的程度不同，计算节点的定位优先按照墙体的形心，其次是柱，再次是梁。比如当柱与梁相交且两者形心不一致时，节点位于柱形心，并形成梁相对于柱节点的偏心。

4、构件标高调整和连接处理

（1）对于有错层等情况时，用户常输入各类构件的顶、底标高，常见问题是输入的标高在各层之间不协调，造成构件悬空、悬挑或者重叠布置。为此程序自动做了大量容错处理。

当梁端与上节点高的高差不超过默认值 500mm 时，将忽略该高差。

梁相交处高差不一致但梁截面有重合时上下两梁在端部使用竖直的刚性杆相连。

对于柱梁相交节点，当柱顶与梁顶标高不同时，若梁高于柱顶，则将柱向上延伸与梁相交；若梁在柱间，则不调整梁柱标高，由梁将柱打断。

若柱与下层同一平面位置的柱标高不吻合，则调整本层柱底与下层柱相接。

若墙与下层同轴墙标高不吻合，则调整本层墙底与下层墙相接。

（2）打断层间柱墙情况

层间梁、错层梁：层间梁、错层梁转为计算模型后梁会将相接的柱、墙网格打断。对于打断的墙上会设置单元的出口节点，对于被打断的柱，其计算和设计均按多段柱进行。

层间支撑、越层支撑：层间支撑或者越层支撑，若其端部落在柱间时，将会在柱间相交位置生成节点把柱打断，从而使柱与支撑相接。同样，若支撑端部落在梁上，也会在相交部位生成新节点将梁打断。但需注意，对于支撑与柱、梁交错（即支撑两端跨越杆件两侧）的情况，相交部位无法生成节点，此时支撑与其跨越的柱、梁没有连接关系。

但如果出现被打断的柱墙小于 500mm，由于可能造成过短的柱墙构件，程序将忽略 500mm 之内高差而将其归并。

（3）封口梁的归并处理

对于坡屋面、体育场看台等斜坡结构，其上层斜板与下层楼板平面常相交、造成端部重合，上层斜板与下层楼板在相接部位共用一根梁。结构模型输入过程中，一般应分层建模。虽然上层斜板与下层楼板在相接部位共用一根梁，但该梁在每一层的同一位置都要输入，该梁称为封口梁。因为没有封口梁则该处不能形成房间、不能生成楼板，也不能输入和导算该房间上的恒活荷载。

对于模型中的封口梁模型，转为计算模型后，空间上位置重合的两条网格线会被归并成为一条，两根封口梁也随之被归并为一根梁，程序处理的一般原则是保留下层梁的属性，从上层模型中删除封口梁信息，并将上层封口梁的荷载叠加至下层梁上。

应注意在实际建模中，尽量做到上下两层封口梁之间的节点一一对应，可以避免一些封口梁楼层归属的问题。

5、短墙归并

在计算模型中，每片墙体由其周边所有网格线定位，并单独进行单元划分。当其长度远小于高度时将产生狭长单元，这对于结构计算的准确度有很大影响。为此程序在模型转化过程中对短墙做了归并：对于计算模型中所有长度不超过 180mm 的墙段数据，或者墙周边不超过 180mm 的网格，进行归并处理，即自动删除此短墙段或网格，其两侧相连的构件直接相接。同样，在一片墙体中，若洞口距离墙端的长度不超过 180mm 时，也同样会忽略该部分，即洞口直接开通至墙端。

二、荷载转化

当梁杆件有偏心时，它们之间按照形心相交的长度和它们所在网格的长度是不同的，我们称考虑偏心后按照形心计算的长度为杆件的实际长度，把其所在网格长度称为网格长度。另外，梁支承在柱和墙上时，在转化成计算模型时，梁的长度按照柱形心之间的长度，我们称这个长度为计算长度。梁的计算长度、实际长度、网格长度三者常不相同。

荷载导算时程序按照梁实际长度围成的房间计算，楼板荷载导算的结果在荷载显示校核菜单下可以看到。但是在计算模型中，梁以计算长度存在，程序要将实际长度的荷载换算成计算长度的荷载。这个换算结果只在程序内部文件中存在，换算的原则是荷载总值不变。

对于用户交互输入到梁上的恒、活荷载，因为在荷载输入时，程序只显示无偏心的单线模型，输入的荷载以梁的网格长度存在，当荷载参数超出网格长度时，程序做了保护不允许输入。这样的荷载转换到计算模型时，程序将按照计算长度计算荷载总值。对于集中荷载，当其集中荷载作用位置超出计算长度时，程序调整为计算长度，保持集中荷载不丢失。对于梁间局部荷载，如果它的局部荷载范围超出计算长度，程序将超出部分丢弃。

三、构件编号规则

在建模模型中，柱、梁、墙、支撑等各类构件没有显式的编号信息，但转为计算模型后，为了计算结果的查看、核对等工作的方便，将所有构件进行了统一编号，并可显示于前处理的平面简图以及后处理的相关图形文件中。

其中，对于梁和柱两类构件，为了校核的方便，程序自动编号时遵循按构件平面位置从左到右、从下到上的规律排列。

按此规律，可以较方便的定位出指定编号的梁、柱。例如，在计算结果文本文件中查出某构件信息中的编号，需要在图形中定位时，只要遵循此规律，则能大致判断出构件所在位置。利用分析结果图形查看各菜单中的构件查询功能，结合柱、梁编号的排序规律，则可方便的定位出指定编号的构件，提高效率。

四、生成特殊构件定义属性

软件可自动根据结构和构件特征生成一套特殊构件属性信息，包括特殊梁、柱、支撑信息，特殊墙属性，楼板属性，构件抗震等级等信息。

特殊构件定义信息是对建模信息的重要补充，如果用户不进行特殊的指定，程序会自动采用缺省值，在进入特殊构件定义界面时，程序也会首先显示缺省值，用户可在此基础上进行修改。

程序以前处理第一项菜单“计算参数”中相关定义的参数作为特殊构件定义中的缺省值，如抗震等级、材料强度、梁的刚度放大系数、梁的扭矩折减系数、梁的弯矩调幅系数等，程序先用缺省值对所有的构件赋值，用颜色区分显示缺省值和用户指定值，缺省值以白色显示，用户指定值以红色显示。缺省值会随着前面相关参数定义菜单中的参数改变而改变。

程序总是以“特殊构件定义”中手工修改设置的数据为优先。一旦用户在特殊构件定义菜单进行了指定，平面上从白色变为以红色显示的值，则程序总是予以保留。当前面模型变化或“计算参数”中相关的参数被修改后，在“特殊构件定义”中显示各种属性时，没有被人工修改过的构件的数值会跟着修改后的参数联动修改，但是人工修改过的构件依然保留原来人工定义的结果。

以下主要陈述程序自动生成上述数据的规则。

1、部分特殊构件信息的自动生成规则

不调幅梁：调幅或不调幅梁的生成和框架连续梁、次梁连续梁的生成有关。

程序把各层所有梁以轴线关系为依据连接起来，形成连续梁。把连续梁各跨中有以墙或柱为支座情况的作为框架连续梁，把连续梁各跨中没有以墙或柱为支座情况、而都是以梁梁相交为支座的情况的作为次梁连续梁。程序对于框架连续梁和次梁连续梁的设计和计算有很多不同。

程序把框架连续梁中的墙或柱为支座中间的单根或多根梁隐含定义为调幅梁，图形中以暗青色表示，在配筋计算时，对其支座弯矩及跨中弯矩进行调幅计算。调幅系数即是“计算参数定义”中用户定义的值。

程序把框架连续梁中的仅一端有墙或柱为支座的梁（悬臂梁）或次梁连续梁中的各跨梁隐含定义为不调幅梁，以亮青色表示。

连梁：程序对两端均与剪力墙相连，且至少在一端与剪力墙轴线的夹角不大于 30°的梁默认定义为连梁，图形中以亮黄色表示。

刚度系数：即对应计算参数中的“连梁刚度折减系数”及“中梁刚度放大系数”。对于程序自动识别或者手工指定的连梁取“连梁刚度折减系数”；对于框架梁，程序自动搜索边梁和中梁，两侧均与刚性楼板相连的中梁刚度放大系数取“中梁刚度增大系数”BK，只有一侧与刚性楼板相连的中梁（另一侧为全房间洞或楼板厚设为 0）或边梁的刚度放大系数取 $(B_K+1.0)/2$，其他情况梁刚度不放大。

扭矩折减：即对应计算参数中的“梁扭矩折减系数”。程序对所有与板相连的梁默认取总参数统一值作为其扭矩折减系数，对于两侧均无楼板的梁默认不考虑扭矩折减。

调幅系数：即对应计算参数中的“梁端负弯矩调幅系数”。对于不调幅梁，该系数取 1。其余情况程序自动取总参数设置值作为默认值。

支撑的支座条件：对于混凝土支撑，程序默认为两端固接。对于截面尺寸小于 700mm 且与垂直方向角度大于 20 度的钢支撑，程序默认为两端铰接，其余钢支撑为两端固结。

地下室外墙：对于指定为地下室的楼层，程序自动判断其外围墙体，并设置为地下室外墙，图形中以白色显示。

短肢剪力墙：软件自动识别的原则是：对于单肢剪力墙，或 L、T、十字形剪力墙，所有墙肢截面厚度不大于 300mm，且高度与厚度之比均在 hw/bw<=8 时，为短肢剪力墙。

对于“结构所在地区”参数设置为广东时，则不按高厚比控制，直接按墙肢截面厚度不大于 300mm，墙肢长度不大于 1600mm 进行控制。

在以上判断中，墙肢长度的取值，对于 L 型，T 型节点，直接取到正交墙的墙边。对于三个及以上墙肢相连的剪力墙，如折线型墙、 Z 型墙的腹板墙肢等，软件不自动判断为短肢剪力墙。短肢剪力墙在图形中以淡红色表示。

人防构件：当地下室楼层的顶板设置了人防荷载时，软件自动将周边构件设置为人防构件，考虑人防设计，对于柱墙，则会自动将人防构件的属性传递至下层对应构件上。

除上述属性外，软件尚提供了次梁铰接、角柱、托墙转换梁的自动设置功能，但均需要主动运行相应菜单选项。其余的特殊梁、柱、支撑、墙信息均无默认信息，可进入“特殊构件定义”菜单交互设置。

2、楼板属性的自动生成原则

建模模型中的楼板是以房间为单位的，而计算模型则默认将连续的多个房间的平板设置成一块刚性板，若房间不连续（例如有全房间洞或者板厚为 0 的房间将刚性板分割开）或者楼板有错层，则会生成多块刚性板，并将其分别编号。另外，当计算参数中设置了“对所有楼层强制采用刚性楼板假定”时，即使房间被设置为全房间洞，或者平板的板厚已经在建模中设置为 0，程序也仍会将该楼板归入刚性板块。

对于坡屋面等结构的斜板，程序默认将其设置为弹性膜，也可手工指定为弹性板 6。但斜板不可设置为刚性板，即使手工删除了斜板的弹性板定义信息，斜板也不会划入刚性板块。

3、构件的材料强度

对于构件的材料强度，默认保留建模中的输入值。“特殊构件定义”菜单中还可进一步交互设置指定构件的材料强度，效果与建模中的输入一致。

4、构件的抗震等级

构件抗震等级默认取计算参数中“框架抗震等级”、“钢框架抗震等级”及“剪力墙

抗震等级”。此外程序会自动识别模型中的次梁，并将其抗震等级设置为 5 级。构件的抗震等级可进入“特殊构件定义”菜单交互修改。

第二节 荷载和作用

一、恒荷载

软件中的恒荷载包括三类：第一类是输入到构件上的恒荷载，即输入在梁、柱、墙、节点上的恒载；第二类是程序自动计算的构件自重，包括梁、柱、墙、支撑构件的自重恒载；第三类是楼板导算到梁、墙上的荷载。

在计算软件中，对于楼板只考虑其刚度，不计算楼板自身，因此楼面荷载会在生成计算模型时自动导算到房间周边的构件上。如果有特殊的附加荷载，如楼梯荷载，设备自重，填充墙自重等，则需在建模程序中以人机交互的方式直接布置到相关构件上。

程序处理恒载计算的主要特点是提供了 3 种恒载的算法：一次性加载、施工模拟 1、施工模拟 3。

1、模拟施工 1

模拟施工 1 采用一次集成整体刚度、分步加恒载的模型，只计入加载施工步及以下的节点位移量和构件内力，来近似模拟考虑施工过程的结构受力。

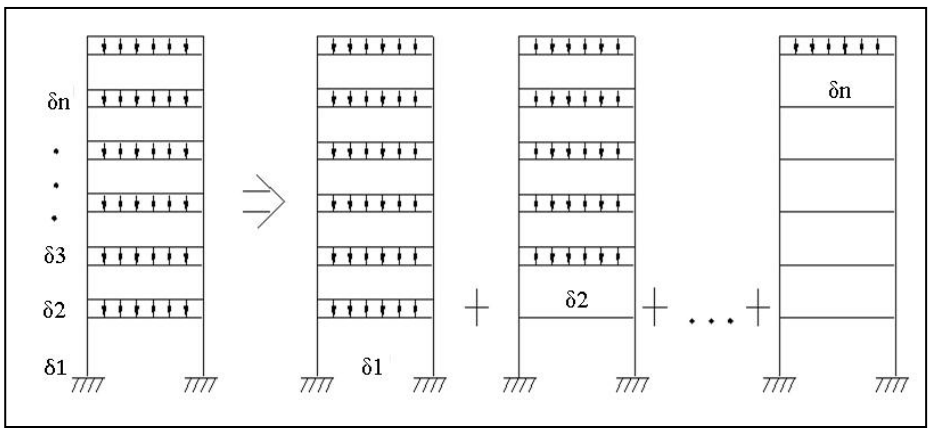


图 5.2.1　模拟施工 1 的模型和加载模式

可以看出，模拟施工 1 是一种近似的处理方式，是对效率和精度的折衷。由于只需

形成一次结构刚度矩阵，在计算机解题能力受限时，既能在一定程度上模拟施工加载的变形效果，同时又不会对计算效率造成太大影响。

2、模拟施工 3

模拟施工 3 采用了分层刚度分层加载的模型，不再做近似处理。用这种方式进行结构分析需要形成最多 N（总施工步数）个不同结构的刚度阵，解 N 次方程，计算量相应增加。但模拟施工 3 能更好的模拟施工加载。对于特殊结构如吊柱结构等，还应正确考虑施工次序。

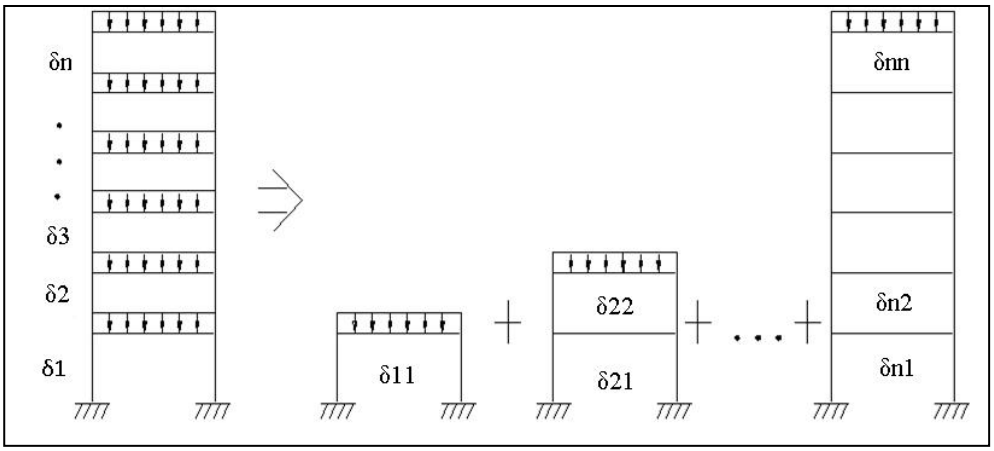


图 5.2.2　模拟施工 3 的刚度和加载模式

3、用户指定楼层施工次序

施工次序定义，就是告诉程序每隔几个楼层生成刚度和加载，它们按照自下至上的顺序进行。

用户在参数定义中可设置每隔几层作一次刚度生成和加载。

在以下几种情况下，程序可以自动判定连续加载的层数和次序。

转换层结构，根据用户指定的转换层所在层号，程序转换层和它上面的 3 层共同作为一个施工次序。这样做是根据转换层结构施工、拆模特点和保证转换梁的正确受力计算。

对于设置了跃层柱和跃层支撑的结构，程序自动将跃层柱或跃层支撑连接的几个楼层共同作为一个施工次序。

对于按照广义层建模的结构，考虑楼层的连接关系来指定施工次序，避免出现下层还未建造，上层反倒先进入施工行列的情况发生。

对于出现抽柱、悬挑的楼层，要将该层和它下面紧邻的楼层一起施工。

对于程序自动设置的加载次序，用户还可以在施工次序对话框中修改。

4、用户指定构件施工次序

前处理设置了构件施工次序菜单，可以由用户指定任意构件的特定施工次序。

软件自动进行的施工次序是按照楼层顺序指定的，这里可将某些构件设置为不按照楼层顺序施工，而按照用户设定的次序施工。用户需输入施工次序号，然后鼠标点取指定采用该顺序号的构件。

常有项目需要考虑特定的施工次序，如混凝土核心筒外的钢框架，其钢框架施工次序常滞后于核心筒；又比如在设置加强层结构中，其伸臂桁架常在上面多个楼层完工之后才安装。在恒载计算中，考虑这种结构特定施工次序可使它们避免突变的、异常大的计算结果，与实际更相符合。

二、活荷载

1、活荷载不利布置

活荷作用的特点在于其时间及空间上分布的随机性，因此，在结构设计中通过活荷载不利布置分析，找出受力构件最不利的受力状态是十分必要的。

理论上每一次独立的活荷加载方式都应进行结构的整体分析，并进行构件内力的累加形成最大受力包络，但因计算工作量的巨大而使得这种活荷不利作用的计算方法难以应用于实际工程。在计算模块中，考虑到梁的活荷不利布置主要对本层影响大，而层与层之间的影响较小，软件借鉴结构力学中的“分层模型”的计算方法，采用分层刚度模型，在每次加载时，只考虑本层刚度，该刚度由本层所有梁和相连的上下层的柱、支撑、墙等竖向构件的刚度贡献而成。经此简化，一次求解内力时间大大缩短，解决了活荷不利布置的计算速度问题，增强了实用性，但活荷不利布置的影响仅限于本层，且仅对梁进行活荷不利布置计算，而没有考虑竖向构件的活荷不利影响。

在考虑活荷不利布置计算中是按房间进行加载计算的，即对每一个房间加活荷载作

用时，保持其它房间空载，加载房间的周边各梁得到由楼板或次梁传来的荷载，经分析得出本层各梁的内力，并对每根梁的内力进行迭加计算，形成正负弯矩包络。除每个房间楼面传来的活荷外，对于梁上的外加活荷载，程序还按梁循环，每个有外加活荷载的梁都作一次独立的加载计算。

为了能同时考虑层间影响，软件在活荷满布状态下，再用整体刚度求解一次内力作为活荷作用工况之一，称之为“活载”，将分层活荷不利布置形成的梁正负弯矩包络作为两种活荷作用工况，分别记为“活 1”和“活 2”，以这三种活荷作用工况参与荷载组合计算。即：

活载：整个结构活荷一次性满布作用工况。

活 1：各层活荷不利布置作用的负弯矩包络工况。

活 2：各层活荷不利布置作用的正弯矩包络工况。

另外，对于计算软件参数中的“梁活荷内力放大系数”，如果没有考虑活荷载不利布置，则可设置为 1.1~1.3，否则建议取 1.0 不再进行放大。

由于在建模中，活荷载的输入和导算都十分方便，用户应将恒、活荷载分开输入，并在程序中作考虑活荷载的不利布置计算，使分析结果更符合荷载规范的要求。

2、柱、墙及基础的活荷作用折减

该参数是根据《荷载规范》5.1.2 条活荷载按楼层数的折减系数。当房屋类别为《荷载规范》表 5.1.1 条项次 1 所列时，柱墙等竖向构件的活荷载及传给基础的活荷载可以选择按楼层数的折减。当为其他房屋类别时，用户可根据《荷载规范》5.1.2 条 2 款的规定的房屋类别对表列系数进行修改后折减，或选择不折减。程序给出了两个控制开关，来分别控制柱墙和基础的折减。

在同一层中不同位置的柱、墙上方的楼层数可能不同，比如塔楼下的多、裙房下的少，因此对不同位置的杆件应采取不同的折减系数。程序可以判断出每个柱、墙计算截面上方的楼层数，根据该值取得正确的活荷载折减系数。在配筋计算文件中输出每根柱、墙构件的折减系数。

3、可以考虑多种类型活荷载的折减

以前软件考虑活荷载折减有一定局限性，比如以前软件的活荷载折减仅能考虑两种情况：

（1）柱、墙、基础“考虑楼层的折减系数”的情况，这个只适用于第一类活荷载（宿舍、办公等），而其余 11 类荷载不适应，且这种折减仅针对柱、墙、基础。

（2）设计楼面梁时考虑梁从属面积的折减。

而且，以前软件要求用户不能对这两种活荷载的折减同时考虑。因为如果考虑了梁从属面积的活荷载折减，软件是在楼面荷载导荷时进行这种折减，在以后的各种计算中，梁上的活荷载是已经被折减了的活荷载。如果用户同时选择了柱、墙、基础“考虑楼层的折减系数”，由于柱墙、基础的活荷折减是根据梁传来的荷载进行的。这样就造成了柱墙和基础活荷载的两次折减，折减过多而偏于不安全。

为了不造成重复折减，用户只能做两次不同的折减设置，并分别计算。

以前软件只能进行全楼统一的一种类型活荷载折减，如果局部的建筑用途不是荷载规范柱墙的活荷载折减规定的那种，就没有办法进行，导致用户要进行多次不同的计算，补充大量的工作。

软件在计算前处理中设置“活荷折减”菜单，可按单个构件设定不同的值，即可按自然层分别对梁、柱、墙、斜杆的某一杆件设置不同的值。

可设置两类折减：第一类是对构件的活荷载效应的折减。另一类是对构件的重力荷载代表值时的活荷折减系数（以及地震活荷组合系数）的设置。

4、软件可对构件设置不同的活荷载效应折减系数

程序第一类的折减系数是对构件的活荷载效应折减。

图 5.2.3 构件的活荷载折减效应

用户按照完整的活荷载在整体结构上输入，然后可对不同活荷载类别的构件设置不同的折减系数，比如对主梁和次梁设置不同的折减系数等。当同一结构中存在多种类型的活荷载时，可通过对不同构件设置不同的活荷载折减系数，从而适应了对不同构件上布置多种活荷载类型的需要。

特别是工业厂房建筑活荷载数值大，必须考虑折减，但活荷类型多，且不同类型活荷折减相差很大，软件通过对不同构件设置不同的活荷载折减系数才能解决这个问题。

程序初始给出的活荷折减系数是柱墙考虑楼层数的折减和梁考虑房间面积的折减，用户在此图上修改。

梁的折减以前在建模的荷载输入时勾选相关参数。但以前软件对梁的折减和柱墙考虑楼层的折减不能同时考虑，因为楼面导荷时考虑了这种折减，其结果仅适用于梁的设计，柱墙考虑楼层的折减本应依据原始的楼面荷载，由于原来程序的柱墙荷载是从梁荷载汇总而来，这样两次折减造成折减过多。

软件在楼面荷载导算时不作折减，改为对梁的活荷载内力折减。柱墙内力是由初始活荷得出的，不会再造成两次折减。这样就可以同时进行柱墙考虑楼层的折减和梁的考虑从属面积的折减。

软件把梁的活荷载折减参数也放在计算参数中的活荷载相关参数中，和柱墙考虑楼层的折减等活荷载的设置放在一起。

图 5.2.4 荷载折减参数

5、软件可对构件设置不同的活荷载重力荷载代表值系数

这里说的是根据《抗规》5.1.3 条，计算建筑的重力荷载代表值时的可变荷载组合值系数。

以前的重力荷载代表值时的活荷折减系数（也是地震活荷组合系数）为全楼统一值，隐含为 0.5。

在活荷折减菜单下右侧列的部分就是对不同构件设置不同的重力荷载代表值时的活荷折减系数（也是地震活荷组合系数）。

图 5.2.5 构件活荷载质量折减系数

例如结构大部分为办公，但是部分结构中存在藏书库等折减系数为 0.8 的活荷载时，软件可仅对藏书库相关构件设置不同的折减系数。

软件在 wmass 结果文件中补充输出了活荷载未折减的质量。

以前的软件在计算结果文件 wmass 中输出的活荷载质量是计算地震作用下重力荷载代表值时考虑活荷载质量的折减值。由于以前全楼的活荷载质量重力荷载代表值折减

为统一的一个值（比如 0.5），通过该折减后的值很容易推算到未折减的活荷载总值。

由于现在用户可能对不同层的不同构件设置不同的活荷载重力荷载代表值折减系数，已不再可能推算出未折减的活荷载总值，为此在 wmass 中补充输出了活荷载未折减之前的质量值。

三、地震作用

由地震作用产生的内力往往在高层建筑内力组合中占控制地位。

1、与地震力有关的主要参数

这里介绍前处理中的若干地震相关的参数。

1.1 水平力与整体坐标夹角

这个参数设置的目的主要是针对风荷载计算的，但是它同样对地震力起作用。

如果不需要改变风荷载方向，只需考虑其它角度的地震作用时，不必改变本参数设置，只增加“附加地震作用方向”即可。

1.2 结构所在地区

上海地区的“设计地震分组”和“场地类别”由地方规程规定；当选择广东地区时，程序在计算偶然偏心的偏心距时采用的是结构的等效尺寸，该等效尺寸可在 wmass.out 文件中查看。

1.3 偶然偏心

《高规》4.3.3 规定：“计算单向地震作用时应考虑偶然偏心的影响”。采用该选项时，软件会增加 4 个工况，即 X 向的正负两个偏心和 Y 向的正负两个偏心，工况分别记作：EXP、EXM、EYP、EYM。

程序提供两种考虑偶然偏心的计算方法：

1）等效扭矩法

首先按无偏心的初始质量分布计算结构的振动特性和地震作用；然后计算各偏心方式质点的附加扭矩，与无偏心的地震作用叠加作为外荷载施加到结构上，进行静力计算。这种模态等效静力法比标准振型分解反应谱法 ST-MRSA 计算量小，但在复杂情况下会低估扭矩作用。

2）瑞利-利兹投影反应谱法

根据质量偏心对原始的质量矩阵做一个变换，求解过程中利用了这种关联关系对原始求得的振型进行变换得到新的振型向量，而不需要重新特征值计算。瑞利-利兹反应谱法比等效扭矩法计算精度高，比标准振型分解反应谱法 ST-MRSA 效率高。

考虑了偶然偏心地震后，共有三组地震作用效应：无偏心地震作用效应（EX、EY），左偏心地震作用效应（EXM、EYM），右偏心地震作用效应（EXP、EYP）。在内力组合时，对于任一个有 EX 参与的组合，将 EX 分别代以 EXM 和 EXP，将增加成三个组合；任一个有 EY 参与的组合，将 EY 分别代以 EYM 和 EYP，也将增加成三个组合。简言之，地震组合数将增加到原来的三倍。

1.4 双向地震作用

《抗规》5.1.1 条中规定：“质量与刚度分布明显不对称、不均匀的结构，应计算双向水平地震作用下的扭转影响。”

设在 X 和 Y 单向地震作用下的效应分别为 Sx 和 Sy，那么在考虑双向地震扭转效应后，新的内力按如下公式组合得到：

$$S_x' = \sqrt{S_x^2 + (0.85S_y)^2} \qquad S_y' = \sqrt{S_y^2 + (0.85S_x)^2}$$

由此可见，考虑双向地震作用会使得两个方向的地震力都变大。

用户还应明了：

（1）程序允许同时考虑偶然偏心和双向地震作用，此时仅对无偏心地震作用效应（EX、EY）进行双向地震作用计算，而对有偏心地震作用效应不考虑双向地震作用；

（2）考虑双向地震作用，并不改变内力组合数。

1.5 计算振型个数

一般来说振型选取个数可以简单按照总层数乘以 3 来选取，但是对于高层结构可能不需要这么多。根据选项，程序可以根据参与质量达标来自动计算振型个数。程序在 wzq.out 中输出了有效质量系数，用户可据此判断振型数是否够用。另外，用户还应该考察主要振型是否存在局部振动。

1.6 周期折减系数

wzq.out 中给出结构的固有周期，当指定周期折减系数时，计算每个振型的地震影响系数α时，先对周期乘以折减系数，再在地震影响系数曲线上查找。采用周期折减系数时，小于 0.1 秒的振型α变小，地震力变小，周期从 0.1 秒到特征周期 Tg 之间的振型地震力不变，周期超过 Tg 时该振型的地震力会放大，因此对于绝大多数结构来说，周期折减会放大地震力。

1.7 斜交抗侧力构件附加地震力方向数

《抗震规范》5.1.1 规定：“有斜交抗侧力构件的结构，当相交角大于 15 度时，应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用。”

程序提供了计算多方向地震作用的功能。最多可计算 5 对地震方向，分别叫记为 EX1、EY1；EX2、EY2…等等。这些新增的地震工况可以各自对应不同的作用方向，但每一对之间是正交的，正如 EX、EY 之间一样。

程序将计算每一对新增地震作用下的构件内力，并在构件设计时考虑进内力组合中。每多一对地震方向，抗震组合数就增加一倍。

1.8 自定义地震影响系数曲线

程序允许用户根据地区安评报告以离散点的形式自定义地震影响系数曲线，在计算每个周期的影响系数时完全按照线性插值的方法取值。

1.9 地震作用放大系数

该放大系数直接对地震作用计算结果进行放大，可以结合程序的弹性动力时程分析程序使用。当结构要求进行弹性动力时程分析时，且采用振型分解反应谱法得到的地震力小于弹性动力时程分析结果时，应对地震作用进行放大。

2、水平地震作用的计算方法

鉴于民用工程的特点，程序以计算水平地震作用为主，为了突出结构的水平振动，在计算结构的质量矩阵的时候，只计算结构的平动质量，即在刚性结点上有 X、Y 两个方向的平动质量自由度和一个绕 Z 轴的质量矩，在弹性结点上只有 X、Y 两个方向的平动质量自由度。

地震作用分析最重要的是特征值分析，软件提供了三种方法，第一种是带重正交的

迭代块 Lanczos 方法，第二种是精确的 WYD-RITZ 法，第三种是荷载相关(LDR)的 RITZ 向量法。

经过特征值分析得到结构的周期和振型后，根据振型分解反应谱法即可以求出地震力，计算基本公式为《抗震规范》中的式 5.2.2-1。

3、竖向地震的计算

程序将竖向地震作用作为一个单独的工况计算，可由设计人员选择是否计算、以及选择计算方法。程序提供两种竖向地震计算的方法：

1）简化计算方法。

2）振型分解反应谱方法。

4、质量的处理方式

软件在计算时对节点质量的处理方式如下：对于梁和支撑是在两端，对柱则是在柱的上端，对墙是在墙的两个顶角点。

5、地震作用的结果输出(wzq.out)

wzq.out 是地震作用的输出文件，与 wv02q.out 文件不同，后者输出的是地震效应的结果。在 wzq.out 文件中提供了很多可以用于用户定性或者定量分析结构的结果，将这些数据与振型相结合可以考察结构的属性。

除了上面的文本文件中的结果外，地震力与地震剪力还可以在图形结果中“水平力作用下结构各层平均侧移简图”中查看。

四、风荷载

1、提供三种风荷载计算方法

计算软件提供两种计算风荷载的方法：一般方法，精细方法和按构件挡风面积计算。

1.1 一般方法计算风荷载

一般方法计算风荷载是一种相对简化的算法。

它假定迎风面、背风面的受风面积相同，让用户输入迎风面与背风面的体型系数，计算时自动取两者绝对值的和作为风荷载计算的依据。

程序自动根据每层的层顶标高计算本层的风荷载，它假定了每层风荷载作用于各刚性块质心和所有弹性节点上。程序首先把楼层风荷载总值按节点个数平均分配到各个节点，然后将属于同一块刚性板的所有节点上分配的风荷载再集中到该刚性板块的质心上。对于独立的弹性节点，分配的风荷载直接作用在相应节点上。

在自动计算风荷载时，只考虑顺风向，不考虑横风向的影响。一般方法不能计算屋顶的风吸力和风压力。

生成数据并计算风荷载以后，可在前处理菜单“风荷载”中进行水平风荷载的查看。对于刚性板，在刚性板块质心处标示刚性板块包含的所有节点风荷之和，对于弹性节点则标示该弹性点上分配到的风荷载。

关于普通风的统计结果输出在 wmass.out 中，包括每层的风荷载，剪力以及倾覆力矩。

程序采用这种简化算法对于比较规则的工程，即楼板刚度较大情况时，其计算结果是能够满足设计要求的。但对于平、立面变化比较复杂，或者对风荷载有特殊要求的结构或某些部位，例如空旷结构、体育场馆、有大悬挑结构的广告牌、候车站、收费站等，则计算方式就显得有些简单。

1.2 精细方法计算风荷载

当选择“精细方法”时，程序自动搜索出每个楼层的外围封闭多边形，将该层自动算出的风荷载分配到楼层外围的布置有柱、梁、墙杆件的节点上。另外，精细方法还可以考虑侧风系数，加荷方式与顺风向相同。

使用精细方法计算风荷载时，用户还可以输入屋面风荷载体型系数等参数，可以考虑并自动生成作用于屋面的风压力和风吸力的荷载。程序将屋面风荷载自动加载到相应方向的梁上，形成梁上的均布风荷载。

1.3 按构件挡风面积计算风荷载

考虑到有些工业厂房框架需要框架构件的挡风面积计算风荷载，而不是按照一般的框架外围的迎风面计算风载。比如软件已经对框架上的设备计算了风荷载后，再按照框架外围作为迎风面计算风荷载就将造成风荷载的重复计算。

为此软件在风荷载计算信息中增加了“按构件挡风面积计算”的新的风荷载计算方式。这种方式下软件对迎风方向上的每根构件按照它的截面尺寸计算风荷载，生成每

根构件上的均布风荷载，不区分构件的前后遮挡关系。

2、多塔结构风荷载的计算

2.1 独立多塔

多塔结构在风荷载的生成时，具有以下几个特点：

每个塔都拥有独立的迎风面、背风面，在计算风荷载时，不考虑各塔的相互影响；

各塔拥有相同的体型系数，如沿高度方向体型系数要分段，各塔分段也相同；

在风荷载导算中，程序根据多塔信息搜索每个塔楼的 X、Y 向迎风面，对每个塔楼分别计算其相应的风荷载。

对于有地下室的多塔结构，程序计算风荷载时自动扣除地下室高度。

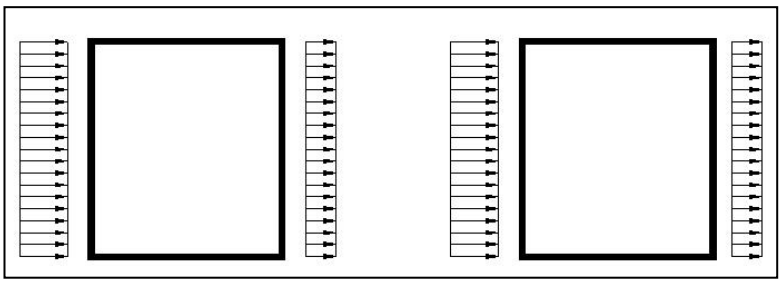


图 5.2.6 独立多塔风荷载

2.2 设缝多塔

这里所说的“缝”主要指伸缩缝、沉降缝和防震缝。仅就上部结构而言，“缝”将结构划分成几个较为规则的抗侧力结构单元，各结构单元之间完全分开。带缝结构是多塔结构塔与塔之间相邻很近的特例，上部结构通过“缝”划分为几个独立的结构单元。

由于缝的宽度不是很大，在风荷载作用下，各结构单元的迎风面与多塔的迎风面不同，缝隙面不是迎风面，因此带缝结构应定义风荷载遮挡边。程序在计算遮挡边的风荷载时，自动读取参数中的“背风面系数”。

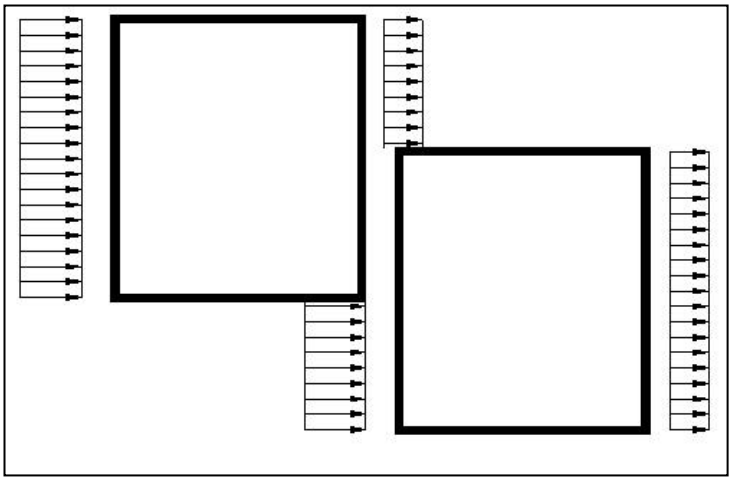


图 5.2.7 设缝多塔风荷载

3、板柱结构的风荷载调整

《高规》8.1.10 中增加了板柱结构的风荷载调整，“抗风设计时，板柱-剪力墙结构中各层筒体或剪力墙应能承担不小于 80%相应方向该层承担的风荷载作用下的剪力”，程序在 wv02q.out 中输出调整信息，在 wwnl*.out 文件中输出的内力及图形结果显示中可分别查看调整前或调整后的结果。

4、门刚风荷载

（1）、与荷载规范自动计算相同，程序自动计算+X，-X，+Y，-Y 四个工况下的风荷载。每个工况均考虑迎风面、背风面、侧封面、屋面的计算（即 1E-4E 区及 1-6 区）。

（2）、根据屋面坡度和封闭形式，每个工况下会自动考虑+i/-i，或平衡/不平衡等子工况。

（3）、柱、梁的受荷面积按左右各取一半柱（梁）间距计算。端面（山墙面）按端部所有梁、柱总长平均分配。

（4）、计算中间主要参数输出在工程目录下的文本文件 yjkwindforce_gf_*.txt 中，其中*为层号。

需注意：

（1）、目前版本可支持单层建模及多层建模的门刚结构。

（2）、目前不支持多方向风下的门刚规范风荷载计算。

（3）、门刚荷载自动计算功能，需主动运行才能生效。对于反复修改过的模型，应清除掉本层已有门刚荷载并重新运行自动生成。

五、人防荷载

对于用户输入了人防等效静荷载的地下室楼层，程序可对该楼层及其以下楼层的梁、柱、墙完成人防设计。

在建模中，用户可输入作用于楼板的等效静荷载和地下室外墙的等效静荷载，作用于楼板的人防荷载按照楼层各房间输入，方式和楼板恒、活面荷载类似，程序自动将楼板的人防荷载导算到每个房间周边的梁、墙杆件上，作为结构计算的人防荷载。

程序仅对地下室结构中布置了人防荷载的楼层作考虑人防荷载作用的设计计算，其地下室以上的各楼层构件，均不考虑人防荷载效应。换句话说，没有定义地下室不能做人防计算。

程序可以做多层人防计算，还可以只考虑楼层上局部人防的计算。人防荷载的计算结果可以传到基础设计软件，作为基础设计时考虑人防荷载的依据。

1、人防等效静荷载

根据《人防规范》的相关规定对于甲类防空地下室，人防荷载主要包括常规武器爆炸动荷载和核武器爆炸动荷载，对于乙类防空地下室，人防荷载主要包括常规武器爆炸动荷载。对于常规和核爆炸两种武器产生的动荷载的确定，《人防规范》提供了两种方法，一是按照动荷载的相关公式计算，另一种是按照等效静荷载计算。

在建模里输入的人防荷载是按照等效静荷载输入的。人防荷载的输入是以房间为单位，在有人防要求的楼面输入人防荷载。

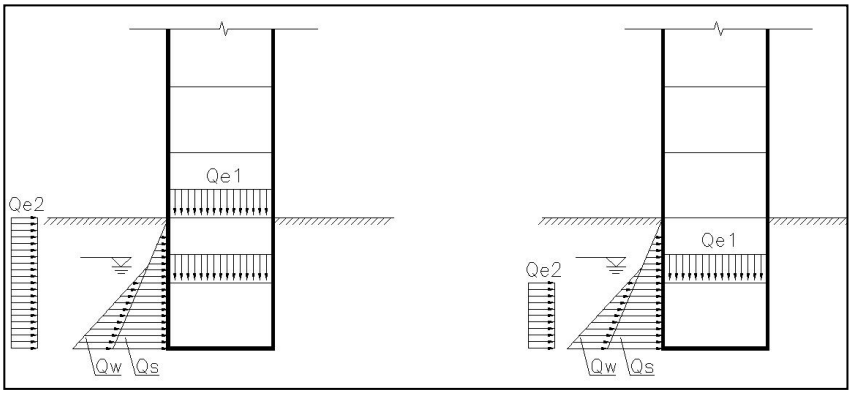
在选择人防设计等级后，程序会默认按《人防规范》4.3.4 条之规定，考虑上部建筑对常规武器地面爆炸空气冲击波超压作用的影响，且覆土厚度按不大于 0.5 米考虑。对于常规武器即按《人防规范》表 4.7.2 第一行括号内所提供数值平均值作为顶板人防等效静荷载的默认值；对于核武器即按《人防规范》表 4.8.2 第一行括号内所提供数值作为顶板人防等效静荷载的默认值。对于地下室外墙的等效静荷载，程序默认其大小为 0，并未与人防设计等级联动，具体数值需要由用户手工输入。

在建模时对某地下室楼层定义了人防荷载以后，程序默认在本层所有房间均布置人

防荷载，且各房间的人防荷载均相同。对于局部范围内人防荷载与默认设置不同，或局部范围不考虑人防的情况，可以在局部范围交互修改人防荷载。交互修改后的人防荷载优先于程序默认设置。但是，对地下室外墙承受的侧向人防荷载，程序没提供交互修改功能，如果在人防荷载定义中指定了外墙的等效静荷载，则对于需要考虑人防作用的楼层，所有的地下室外墙计算时均考虑相同的侧向人防荷载。

2、人防荷载工况的计算简图

地下室人防设计计算考虑的荷载，除常规考虑的恒载、活载、风荷、地震作用等外，还有地下室顶板的竖向等效均布静荷载 Q_{e1}、外墙的水平等效均布静荷载 Q_{e2} 和临空墙的水平等效均布静荷载 Q_c，对于一个二层地下室的结构，若二层地下室都考虑人防荷载作用，相应的人防荷载加载简图如下图 a 所示，若只有最下面的一层考虑人防荷载作用，则相应的加载简图如下图 b 所示（图中 Q_w 为地下水对地下室外墙的侧压力，Q_s 为回填土对地下室外墙的侧压力）。



（a）（b）

图 5.2.8 人防荷载工况计算简图

3、多层人防荷载的计算

布置了多层人防荷载的结构，程序在计算各人防楼层梁内力时，选用该楼层人防荷载作用下计算各水平构件内力。在计算各人防楼层的柱、墙内力时，如果该竖向构件承受多于一层传来的人防荷载时，其人防荷载作用下的效应并不是其上各人防楼层效应的累加，而是仅选取其中最大的一层人防荷载的效应来作自身构件的设计。同时传给基础的人防荷载作用下的效应，与计算柱墙人防荷载效应的方法相同，也是仅选取上边各层

中最大的一层人防荷载的效应来作为基础的人防荷载。

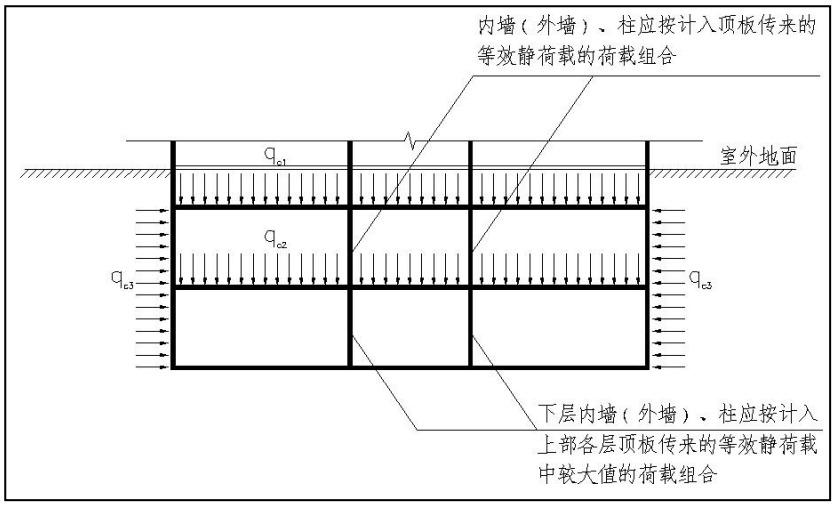


图 5.2.9 多层人防计算简图

4、局部人防地下室的计算

对于局部人防地下室的结构设计，设计人员可以通过在有人防设计的房间施加人防荷载，不需要计算人防工程的地方（即不需要计算人防的房间）修改人防荷载为零来实现。特殊构件定义模块提供了专门的人防构件菜单，用于对局部人防时参与人防设计的构件进行指定。

5、临空墙的计算

软件可以进行人防地下室的临空墙的计算，前处理的“特殊墙”菜单中有“临空墙”及“临空墙荷载”子菜单，可通过这两项菜单交互定义临空墙以及作用在临空墙上的荷载。

六、吊车荷载

吊车荷载是在建模中布置和自动生成的，自动生成的吊车荷载沿着吊车布置的跨度成对布置在各个柱顶节点，可以根据边跨、抽柱、柱距不等等情况生成不同的吊车荷载。计算程序根据这些布置的吊车荷载做吊车荷载计算。

1、吊车荷载的合理计算模型和计算过程

吊车荷载作用在吊车柱的牛腿上，牛腿顶面将排架柱分为下柱和上柱，柱的上下端两个截面内力控制柱的配筋，所以需要在牛腿顶面处设置一个单独的结构标准层。

由于吊车纵向刹车力需要由吊车梁或者纵向系杆传递，因此需要在该标准层吊车轨道位置布置吊车梁。吊车梁在截面定义时，按照实际的截面面积等效为工字形梁定义即可（不可将其定义为刚性梁），对于中柱两侧都有吊车梁时，可以把两侧吊车梁按照面积等效为一个工字形梁。一般将吊车梁定义为两端铰接梁。

由于布置了吊车荷载的计算模型中存在大量的弹性节点和弹性板，在地震力计算中需要相应的增加振型数的数量，从而保证振型参与质量系数满足规范要求。

《抗震规范》5.1.3 条规定硬钩吊车的吊重较大时，组合值系数应按实际情况采用。

需要时，在荷载组合选项中，用户可以通过自定义组合分项系数，来确定吊车荷载组合对象及组合分项系数，用户需按实际情况取硬钩吊车的组合值系数，在自定义组合中填写合适的组合值。除此，也可选用程序默认荷载组合，程序对吊车荷载分项系数及组合值系数按《荷载规范》的有关规定取值。

在计算软件中，选择“吊车荷载计算”后，程序对吊车荷载按如下步骤计算：

（1）对每组吊车，程序沿吊车移动轨迹求出该跨上的每一对加载节点，每对节点一般是每一对有柱的节点，但在有抽柱的排架部位有一个节点下没有柱。

程序自动对每一对加载节点加载吊车作用。

（2）对每对节点作用 4 组外力，分别为左点最大轮压、右点最小轮压；右点最大轮压，左点最小轮压；左、右正横向水平荷载（左、右节点各作用一半横向水平荷载）；左、右正纵向水平荷载（左、右节点各作用一半纵向水平荷载）。

对于负方向的横向水平荷载，程序自动取正横向水平荷载计算结果的负值，从而省去了该种工况的计算。同样，对于负方向的纵向水平荷载，程序自动取正纵向水平荷载计算结果的负值。

（3）程序对每组吊车的每一次加载下的 4 次吊车作用，都分别作为一种荷载工况。在每一组荷载工况下，求出每根杆件的内力。因此，吊车荷载下计算的的荷载工况数量是非常多的。

（4）按照《荷载规范》规定，在多跨上作用的吊车荷载时，应考虑最多两跨吊车荷载的组合。对于程序来说就是布置了多组吊车荷载时，应考虑最多两组吊车荷载之间的不利组合。

因此在多跨布置吊车情况下吊车荷载的组合数将更多更复杂。

（5）吊车荷载对于地震作用计算的影响：

在地震作用计算中，质量中应包括吊车桥架重量，或硬钩吊车悬吊物重力的 0.3 倍。目前程序的信息中不包含吊车桥架重量或硬钩吊车信息，并且吊车桥架重和吊重是移动荷载，因此，自动计算的地震作用质量不包含吊车桥架重量或硬钩吊车悬吊物重力。

用户可以利用前处理‘节点属性’菜单中提供的“附加质量”菜单将吊车桥架重及硬钩吊车的吊重输入到相应的节点处，程序在计算地震作用时可以考虑这部分质量对地震作用的影响。如果用户需要考虑桥架位于多个位置时对整体结构的影响，可以建立几个模型，分别在几个位置布置桥架的附加质量，然后进行对比计算，得到一个合理的设计结果。

由于计算地震作用时采用的质量只是根据恒载和活载统计，“附加质量”菜单用来给用户输入不包含在恒载、活载中、但规范中规定的地震作用计算应考虑的质量，比如吊车桥架重量、自承重墙等。

2、吊车荷载作用效应预组合及设计组合

吊车荷载是移动荷载，从上面的分析可以看出，吊车荷载下计算的的荷载工况数量是非常多的，在多跨布置吊车荷载时的组合更多更复杂。如果用每一个吊车荷载工况去和其他荷载效应组合，如和恒载、活载、风载、地震作用荷载等去组合，则组合的过程将非常复杂，计算效率也很低。

上部结构计算软件采用了对吊车荷载预组合的计算方式，吊车荷载预组合以后，再和其他荷载如恒载、活载、风载、地震作用荷载等进行组合。

吊车荷载的预组合的基本原理就是在计算每跨吊车荷载作用的过程中即对每一个构件的吊车内力按照某一目标进行预组合。

对于柱，其预组合目标是轴力最大，轴力最小，弯矩最大，弯矩最小，剪力最大。对于梁，其预组合目标是各个截面弯矩最大，弯矩最小。详细的预组合说明如下。

对于柱作如下 14 项预组合：

（1）Vxmax——x 方向剪力最大时对应的柱内力；

（2）Vvmax——y 方向剪力最大时对应的柱内力；

（3）+Mxmax——x方向弯矩最大时对应的柱内力；

（4）-Mxmax—x方向弯矩最小时对应的柱内力；

（5）+Mvmax—y方向弯矩最大时对应的柱内力；

（6）-Mvmax—y方向弯矩最小时对应的柱内力；

（7）Nmax、+Mxmax—最大轴力及相应x方向弯矩最大时对应的柱内力；

（8）Nmax、-Mxmax—最大轴力及相应x方向弯矩最小时对应的柱内力；

（9）Nmax、+Mvmax—最大轴力及相应y方向弯矩最大时对应的柱内力；

（10）Nmax、-Mvmax—最大轴力及相应y方向弯矩最小时对应的柱内力；

（11）Nmin、+Mxmax—最小轴力及相应x方向弯矩最大时对应的柱内力；

（12）Nmin、-Mxmax—最小轴力及相应x方向弯矩最小时对应的柱内力；

（13）Nmin、+Mvmax—最小轴力及相应y方向弯矩最大时对应的柱内力；

（14）Nmin、-Mvmax—最小轴力及相应方向弯矩最小时对应的柱内力。

对于梁作如下 4 项预组合：

（1）-Mmax、T—最大负弯矩与扭矩；

（2）- Vmax、N—最大负剪力与轴力；

（3）+Mmax、T—最大正弯矩与扭矩；

（4）+ Vmax、N—最大正剪力与轴力。

根据《抗震规范》，在考虑了地震作用的组合中不用考虑吊车的水平荷载，因此，程序自动计算出了两种预组合，预组合 1 和预组合 2：

预组合 1——吊车的“轮压+刹车力”内力组合，用于无地震作用效应参与的内力组合；

预组合 2——吊车的“轮压”内力组合，用于有地震作用效应参与的内力组合。

3、多跨上作用吊车荷载的预组合

根据荷载规范规定，考虑多台吊车竖向荷载，最多考虑 4 台组合，考虑多台水平荷载时，最多为 2 台组合。因此软件对于布置了多跨吊车的厂房，竖向荷载仅考虑两跨之间组合（相当于考虑了 4 台组合）；水平荷载只考虑一跨作用（相当于考虑了 2 台组合）。

在考虑多台吊车组合时，应乘以荷载规范表 5.2.2 规定的折减系数。折减系数由用户在吊车平面布置时输入，一个为“2 台吊车组合时”的折减系数 Z2，另一个为“4 台吊车组合时”的折减系数 Z4。软件对于一跨吊车荷载计算的内力乘以折减系数 Z2，两跨之间的组合内力乘以折减系数 Z4。

4、移动荷载

建模的荷载输入菜单下设置“移动荷载”输入菜单，可处理类似适应悬挂吊车、楼面铲车等类移动荷载。

移动荷载的定义是输入竖向集中力值、水平刹车力值、轮数、轮距，水平刹车力是指沿着移动方向的水平力。

布置移动荷载是用鼠标输入一条该层平面上的移动轨迹线，线的端点必须落在梁、墙、柱杆件上。输入的移动轨迹相交于梁、墙时，软件按影响线生成作用于梁、墙的移动荷载。

上部结构计算时，必须在计算参数中勾选“计算吊车荷载”。软件按照与计算吊车荷载类似的框图（以预组合内力参与组合）计算移动荷载，移动荷载预组合内力图可以在计算结果菜单的“吊车预组合内力”菜单下查看，预组合内力的文本文件是 wcrane*.out，可在文本文件输出菜单下调出。

移动荷载的竖向力和吊车荷载同样，不参与地震作用质量的计算，即地震作用的质量中不包含移动荷载的竖向力。如果需要考虑，可人工在计算前处理中输入节点附加质量。

5、吊车梁

对于指定了吊车荷载的部分，软件会自动将相关梁设置为吊车梁，并同时在特殊构件定义中提供了吊车梁菜单，用于进行确认及修正。对于指定为吊车梁的构件，则会进行吊车梁相关的设计。

七、温差效应

用户通过指定节点处温差来定义温度荷载，程序在有限元分析过程中统一计算温度荷载对结构的影响。

1、对温度荷载的简化和定义

温度荷载引起的构件变形分为两类，一类是构件内外表面温差造成的弯曲，一类是构件均匀升温或降温造成的伸长或缩短。

由于高层建筑结构出现的温度荷载主要是均匀的普遍升温或降温作用，所以目前程序采用杆件截面均匀受温、均匀伸缩的温度荷载加载方式。不考虑杆件内外表面有温差时的弯曲。

对于梁、柱等杆件，用户在其两端节点上分别定义节点温差，从而定义了一根杆件的温度升高或降低。温差指结构某部位的当前温度值与该部位处于无温度应力时的温度值的差值。程序中可以输入“最高升温”和“最低降温”两组温差，分别用以考虑结构的膨胀和收缩两组温度荷载工况。

用户在建模荷载输入下的“温度荷载定义”中通过输入节点温差来定义温度荷载。用户首先应指定标准层号，点取“指定温差”菜单，在对话框中输入“最高升温”和“最低降温”两组工况，其中“最高升温”应填正值，“最低降温”应填负值，填零表示该节点无温度变化。输入温差后，选择“捕捉节点”菜单来定义节点温差。

2、温度荷载的计算

软件采用通用有限元法计算温度效应，将节点温差转化为“等效荷载”，结构位移和内力的计算与其他荷载的分析的完全一致。在软件中，“最高升温”和“最低降温”作为两个独立的工况与恒、活、地震、风等作用一样进行计算。

注意在进行温度荷载下的分析时，应该将温度荷载影响范围内的楼板定义为弹性膜。这是因为如果没有定义弹性膜，程序默认设置楼板为刚性楼板，在刚性楼板假定条件下，梁的膨胀或收缩变形受到平面内“无限刚”的楼板的约束，柱内不会内产生剪力和弯矩，相应地，梁也不会产生弯矩和剪力，梁中仅有轴力作用。

经过对比测试，对于存在剪力墙构件的建筑结构，本软件与 ETABS、MIDAS 等国外同类软件计算结果差异较小，与国内同类软件计算结果可能存在较大差异。主要原因有两个，分别是不同软件所采用的膜单元力学性质上存在的缺陷以及节点等效荷载计算方法。由于温度荷载是应变效应，对膜单元的力学性质较为敏感，国内有些软件在单元性质上的缺陷在温度荷载计算过程中会凸显。另外在等效荷载计算方面，本软件和国外软件均采用准确的有限元等效荷载计算方法，而国内软件采用了不同的计算方法，使得

节点“等效集中荷载”结果不同，最终造成了温度荷载结果可能差异较大。

3、温度荷载的组合

温度荷载的分项系数与竖向活荷载默认一致。用户可以在设计参数的“荷载组合”分页中，勾选“采用自定义组合及工况”。程序已经给出了默认的组合和分项系数，用户可以在这里人工调整、修改程序默认的组合。设计人员可以按照需要来设定组合方式、分项系数。

目前程序是按照线弹性理论计算结构的温度效应，对于混凝土结构，考虑到徐变应力松弛特性等非线性因素，实际的温度应力并没有弹性计算的结果那么大。因此用户可以视情况在组合系数的基础上乘以徐变应力松弛系数 0.3。对钢结构不应考虑此项折减。

八、设置节点的弹簧刚度或者位移

1、节点约束的概念

杆件之间的连接节点有 6 个自由度，程序隐含将它们设置为刚性连接。铰接设置是释放杆端节点 6 个自由度中的 3 个弯曲自由度。

在计算前处理的特殊构件定义时，用户可在节点上设置指定的弹簧刚度或者位移，即可对节点 6 个自由度中的任何一个释放为 0，或者设置为指定的弹簧刚度，或者指定它的位移。比如设置 X 平动刚度为 0，就是释放了 X 向约束，就可以实现杆件在该节点的 X 向滑动。

下面的局部坐标系、单点约束、两点约束、设置支座、支座位移，以及删除局部坐标系、约束、位移是在节点上设置指定的弹簧刚度或者位移的操作。

图 5.2.10 节点属性

对柱下节点与下层之间的弹性约束可以用“单点约束”菜单实现，对于连接了多根杆件的节点需要设置约束时，必须在建模中对该节点处增加一个相近的节点，将多根杆

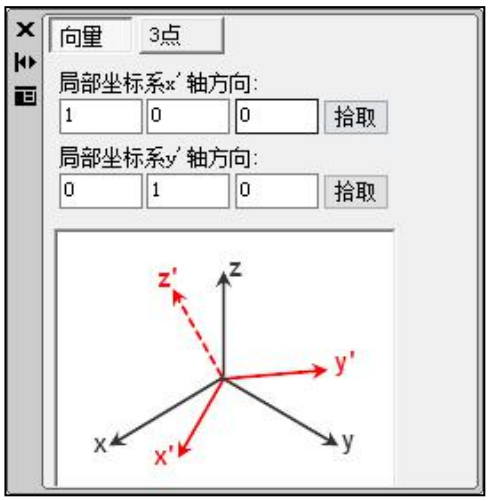
件分成两部分分别与两个节点相连，并在这里使用“两点约束”连接两个节点，这样才能实现两部分杆件之间的滑动连接等效果。

2、局部坐标系

指定节点局部坐标系的 X 轴，Y 轴的方向。一旦指定了局部坐标系，则该节点自由度的释放/约束，相应方向上施加的弹簧，或者支座节点的强制位移，均按局部坐标系处理。

如果需要设置的约束方向不是整体坐标系下的方向就需要单独设置该节点的局部坐标系 x’、y’。

点取该菜单后出现对话框，在框内填入描述 x’、y’向的两个互相垂直的矢量向量。



5.2.11 局部坐标系

查找 x’、y’向矢量向量的方法可以用在 x’、y’方向各画出任意长线段（可操作测量两点之间距离的菜单，测量简图上 x’、y’方向的任意线条），将它们的 X 向、Y 向、Z 向增量分别填入对话框中的上下两行即可。

3、单点约束

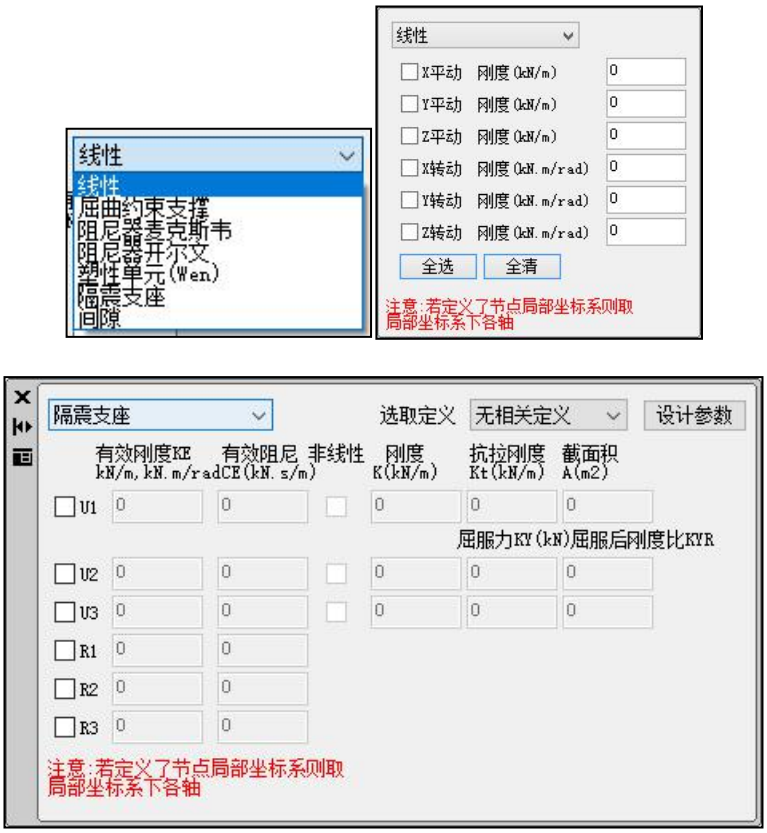
用于设置支座节点、上下楼层之间连接节点或者任意两个杆件之间的连接。楼层之间的连接节点一般是柱下、斜撑下与下一楼层连接的节点，楼层之间的弹性连接只能通过单点约束实现。

对于设置为支座的节点，指定其约束/释放的自由度，并可在任一自由度上指定弹

簧刚度，对于隔震支座，尚可设置其隔震计算所需的线性和非线性参数。除此之外，还可以设置与斜杆消能部件同样的计算参数，也可用于消能减震的计算。

对于中间楼层的节点，若指定了单点约束，则程序自动将该节点与下层对应构件的顶节点之间增加指定的约束，并可在任意自由度上指定弹簧刚度。相当于上下两层之间的两点约束。界面如下图所示。

特殊构件定义中单点约束节点颜色为绿色。



5.2.12 单点约束

4、两点约束

常用的约束设置方式，指定同标准层平面内两点间的约束关系，并可在任一自由度上指定弹簧刚度。由于必须是两个节点，因此对于工程中有节点上设置了滑动支座等情况，需要对于支座连接的两部分构件进行人为的拆分，建立距离相近的节点并分别布置

构件，然后再指定该两点间的约束关系。两点约束所支持的各种连接类型与单点约束一致，可用于弹性支座、滑动支座、消能部件、隔震支座等的模拟计算。

特殊构件定义和计算简图中均以绿色表示被约束节点，红色表示约束的主节点，绿线表示两节点间存在约束关系，并且附有文字标注。

5、设置支座

可在杆件端部设置支座，杆件端部是指没有和其它构件相连的柱端、斜杆端、梁端，不能在墙端设置支座。设置的支座，可对该杆端处的 6 个约束设置成全部约束、部分约束或弹性约束，其支持的约束类型与单点约束一致，但此处仅支持对地的支座设置。

6、支座位移

对于设置为支座的节点，指定其各自由度方向的强制位移。（仅对嵌固的柱、墙、斜杆底部节点有效）。

7、删除局部系、约束、位移

单个删除已定义的局部系、约束、位移。也可以通过自定义删除中的相关选项实现指定楼层的统一删除。

需注意的是，节点属性各项功能交互过程中，均需选中相关的节点。

第三节 结构整体性能控制

结构整体性能控制是结构设计的重要环节。规范对于结构整体性能控制给出了一系列明确规定。软件对这一系列整体性能控制的规定给出了完整的、全面的解决方案。

周期比：周期比用来控制结构整体扭转刚度。程序计算出每个振型的侧振成份和扭振成份，通过平动系数和扭转系数可以明确地区分振型的特征，并给出第 1 扭转周期与第 1 平动周期的比值。

剪重比：程序计算各楼层剪重比，当计算出的剪重比不满足规范要求且调整系数偏大时，程序将给出明确提示：“本工程最小剪重比调整系数偏大，表明结构整体刚度偏弱（或结构太重），建议调整结构体系，增强结构刚度（或减小结构重量）”。程序给出提示，同时调整地震作用，除地下室不受最小剪重比控制以外，其它楼层程序将自动调

整地震作用，并给出调整系数。

位移和位移比：位移比控制是层扭转刚度控制，位移角控制是整体平动刚度控制。程序在规范要求的“规定水平地震力下”给出位移比计算结果。程序中对每一层都计算并输出最大水平位移、最大层间位移角、平均水平位移、平均层间位移角及相应的比值，用户可以一目了然地判断是否满足规范要求。

刚度比：刚度比用来确定结构中的薄弱层，或用于判断地下室结构刚度是否满足嵌固要求。程序通过楼层刚度比的计算，依据规范要求自动判断薄弱层，并对薄弱层的地震作用标准值乘以放大系数。程序自动计算剪切刚度、层剪力与层间位移的比值两种刚度计算方法的计算结果，当结构中设置了转换层且转换层设置在第 2 层以上时，程序自动按《高规》附录 E 计算剪弯刚度，并给出刚度比。

结构稳定和重力二阶效应计算：程序按照规范要求计算结构的刚度和重力荷载之比（刚重比），以此进行结构的稳定性验算并在总信息文本文件中输出。

用户可根据刚重比的计算结果判断结构是否还需作重力二阶效应的计算。程序提供了计算 *P*-△效应的开关，用户可以根据需要选择考虑或者不考虑 *P*-△效应。

结构整体抗倾覆验算：《高规》对高宽比不同数值的高层建筑，给出基础底面零应力区不同比例的要求。程序计算出了水平力作用下的抗倾覆弯矩 MR，倾覆力矩 Mov，抗倾覆安全度及零应力区比例等指标。

柱、框支框架、墙倾覆弯矩的百分比计算：规范对框架-剪力墙结构的框架、框支框架、短肢剪力墙的地震倾覆力矩比例有要求，这个比例会影响框架-剪力墙结构中的框架抗震等级取值、框支框架倾覆弯矩的限值、是否为较多短肢剪力墙的剪力墙结构的判断等方面。程序计算并输出各层框架柱、框支框架、短肢剪力墙构件分别承担的倾覆弯矩。

楼层受剪承载力：楼层受剪承载力是判断薄弱层的依据之一。程序在完成构件的配筋计算后自动计算楼层的受剪承载力和承载力之比，并提供选项控制是否根据承载力之比判断出来的薄弱层自动重新进行构件设计。

一、程序将强制刚性板假定的计算与非刚性板假定的计算集成进行

程序将强制刚性板假定的计算与非刚性板假定的计算集成进行，同时完成规范指标

统计和内力配筋计算

由于规范要求的结构楼层位移比、结构周期比、层间刚度比等指标计算一般是在各层楼板刚性假定条件下进行的，而内力、配筋等计算均在非强制刚性板的楼板实际状况下进行。对于这样的需求，一般程序要求用户计算两次：第一次计算时，在计算参数中选择“对所有楼层强制采用刚性楼板假定”，只取出楼层位移比、刚度比等在刚性楼板假定下的指标结果；第二次计算时，在计算参数中取消选择“对所有楼层强制采用刚性楼板假定”，计算结果用于其余设计。

实际应用中，常有用户搞不清楚哪些指标应在强制刚性板假定下进行，哪些不能在强制刚性板假定下进行，有的用户甚至采用全楼强制刚性板下的计算结果作为内力配筋的依据。

本程序将这样的两次计算自动连续进行，对于楼层位移比、结构周期比等指标采用“对所有楼层强制采用刚性楼板假定”下的结果，对于其它内容采用非“对所有楼层强制采用刚性楼板假定”下的结果。

由于规范规定地震作用计算时，可对连梁刚度进行折减，因此程序在上述两种模型的基础上，再考虑：恒、活、风等非地震工况，剪力墙连梁不折减；地震工况计算时，剪力墙连梁刚度折减两种情况。

具体操作：

1、计算参数的填写

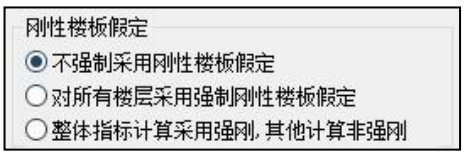


图 5.3.1　刚性楼板假定选项

选择计算总体信息下的“整体指标计算采用强刚，算其它时非强刚”，程序将分别考虑强制刚性楼板和非刚性楼板两种计算模型。

2、强制刚性楼板模型计算结果的应用

在计算结果中，程序对于以下指标采用刚性板模型下的计算结果。

1）位移角和位移比；

2）周期比；

3）层刚度：层间剪力与层间位移的比、剪弯刚度。

程序可以自动生成强制刚性楼板模型进行计算指标计算。程序利用多点约束机制变换得到刚性楼板模型，能够适应坡屋面层、错层楼层等多种复杂楼层形式。

3、非强制刚性楼板模型计算结果的应用

各荷载工况内力、内力包络、截面配筋设计等都采用非强制刚性楼板模型的计算结果。

二、剪重比的控制

《抗震规范》5.2.5 条、《高规》4.3.12 条明确规定了抗震验算时楼层剪重比不应小于规范给出的剪力系数λ。

程序提供选项，由用户控制是否需要进行最小剪重比验算及调整。

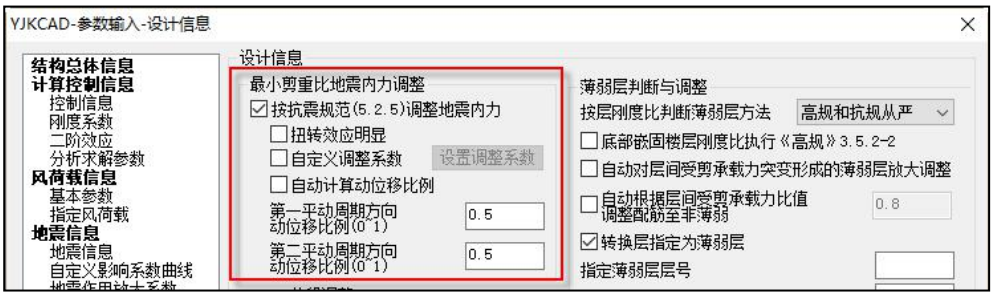


图 5.3.2　最小剪重比地震内力调整选项

如果勾选该项，则程序自动按《抗震规范》5.2.5 条进行各楼层剪重比验算，对于不满足要求的楼层地震剪力进行调整。对于竖向不规则结构的薄弱层，剪力系数乘以 1.15 的增大系数。

对于调整系数的计算，《抗震规范》5.2.5 条文说明做出了规定：若结构基本周期位于设计反应谱的加速度控制段时，则各楼层均需乘以同样大小的增大系数；若结构基本周期位于反应谱的位移控制段时，则各楼层 i 均需按底部的剪力系数的差值$\triangle\lambda_0$增加该层的地震剪力—$\triangle F_{Eki}=\triangle\lambda_0 G_{Ei}$；若结构基本周期位于反应谱的速度控制段时，则增加值应大于$\triangle\lambda_0 G_{Ei}$，顶部增加值可取动位移作用和加速度作用二者的平均值，中间各层的增加值可近似按线性分布。

程序按照《抗震规范》5.2.5 条文说明的规定计算调整系数，若结构基本周期位于反应谱的速度控制段，程序按计算参数中输入的动位移比例计算调整系数，并不小于

$\lambda_0 G_{Ei}$。

程序在计算结果文件 wzq.out 文件中，给出各层剪重比的计算结果和相应的调整系数。

《建筑抗震设计规范（GB 50011-2010）统一培训教材》中指出：按楼层最小地震剪力系数对结构水平地震作用效应进行调整时应该注意，如果较多楼层的剪力系数不满足最小剪力系数要求（例如 15%以上的楼层）、或底部楼层剪力系数小于最小剪力系数要求太多（例如小于 85%），说明结构整体刚度偏弱（或结构太重），应调整结构体系，增强结构刚度（或减小结构重量），而不能简单采用放大楼层剪力系数的方法。

程序自动判断剪力调整系数是否大于 1/0.85，如果超过，则程序在 wmass.out 文件中给出提示：“**本工程最小剪重比调整系数偏大，表明结构整体刚度偏弱（或结构太重），建议调整结构体系，增强结构刚度（或减小结构重量）”，提示用户应重新调整结构布置。

三、位移比和位移角控制

位移比控制是层扭转效应控制，限制结构平面布置的不规则性，避免产生过大的偏心而导致结构产生较大的扭转效应；位移角控制是整体平动刚度控制。

《高规》3.4.5 条规定：“在考虑偶然偏心影响的规定水平地震力作用下，楼层竖向构件的最大水平位移和层间位移，A、B 级高度高层建筑均不宜大于该楼层平均值的 1.2 倍；且 A 级高度高层建筑不应大于该楼层平均值的 1.5 倍，B 级高度高层建筑、混合结构高层建筑及复杂高层建筑，不应大于该楼层平均值的 1.4 倍。”

《高规》9.2.5 条规定：“对内筒偏置的框架-筒体结构，应控制结构在考虑偶然偏心影响的规定地震力作用下，最大楼层水平位移和层间位移不应大于该楼层平均值的 1.4 倍。”

《高规》3.7.3 条对风荷载和多遇地震标准值作用下的楼层层间最大水平位移与层高之比做出了规定。

位移比和位移角计算采用的计算模型依赖于用户的参数输入，如果计算时选择“对所有楼层采用强制刚性楼板假定”或“整体指标计算采用强刚，其它计算时非强刚”，则位移比和位移角计算时采用刚性板模型的计算结果。对于地震工况，还输出规定水平力下的计算结果，并考虑偶然偏心的影响。

程序中对每一层都计算并输出楼层竖向构件最大水平位移、平均水平位移及二者的比值，楼层竖向构件最大层间位移、平均层间位移及二者的比值，以及最大层间位移角、平均层间位移角及相应的比值，用户可以一目了然地判断是否满足规范要求。

最大水平位移：本层墙顶、柱顶节点的最大水平位移；

平均水平位移：本层墙顶、柱顶节点的最大水平位移与最小水平位移之和的一半；

最大层间位移：本层墙、柱水平层间位移的最大值；

平均层间位移：本层墙、柱水平层间位移的最大值与最小值之和的一半。

计算位移时某些情况的说明：

当本楼层没有柱和墙，而仅布置有支撑时，位移的计算取支撑的两端节点的水平位移。位移角的计算取支撑的两端节点的水平位移差与竖向高差之比。

当本层存在越层构件时，采用本层层高与该构件两端节点竖向高差的比值乘以该构件上下节点的相对位移来计算本层层间位移。

高层建筑验算位移比时需要考虑偶然偏心的影响，但验算层间位移角则不需要考虑偶然偏心。对于质量与刚度分布明显不对称的结构，根据《抗震规范》5.1.1 条及《高规》4.3.2.2 条，在进行位移比验算时需要考虑双向地震作用。

四、周期比的控制

《高规》3.4.5 条规定：“结构扭转为主的第一自振周期 Tt 与平动为主的第一自振周期 T1 之比，A 级高度高层建筑不应大于 0.9，B 级高度高层建筑、混合结构高层建筑及复杂高层建筑不应大于 0.85。”

对内筒偏置的框架-筒体结构，《高规》9.2.5 条规定：“对内筒偏置的框架-筒体结构，应控制结构在考虑偶然偏心影响的规定地震力作用下，最大楼层水平位移和层间位移不应大于该楼层平均值的 1.4 倍，结构扭转为主的第一自振周期 Tt 与平动为主的第一自振周期 T1 之比不应大于 0.85，且 T1 的扭转成分不宜大于 30%。”

《高规》10.6.3-4 条规定：“大底盘多塔楼结构，可按本规程第 5.1.14 条规定的整体和分塔楼计算模型分别验算整体结构和各塔楼结构扭转为主的第一周期与平动为主的第一周期的比值，并应符合本规程第 3.4.5 条的有关要求。”

周期比用来限制结构的抗扭刚度不能太弱。

对于平动和扭转振型的判断，《高规》3.4.5 条文说明中指出：“扭转耦联振动的主

振型，可通过计算振型方向因子来判断。在两个平动和一个扭转方向因子中，当扭转方向因子大于 0.5 时，则该振型可认为是扭转为主的振型。”

程序计算出每个振型的平动系数和扭转系数，通过平动系数和扭转系数可以明确地区分振型的特征。周期最长的扭振振型对应的就是第一扭振周期 T_t，周期最长的侧振振型对应的就是第一侧振周期 T_1（注意：在某些情况下，还要结合主振型信息来进行判断）。知道了 T_t 和 T_1，即可验证其比值是否满足规范要求。

由于结构沿两个正交方向各有一个平动为主的第一振型周期，如何确定第一平动周期就是用户比较关心的问题。《高规》3.4.5 条文说明中指出：“高层结构沿两个正交方向各有一个平动为主的第一振型周期，本条规定的 T_1 是指刚度较弱方向的平动为主的第一振型周期，对刚度较强方向的平动为主的第一振型周期与扭转为主的第一振型周期 T_t 的比值，本条未规定限值，主要考虑对抗扭刚度的控制不致过于严格。有的工程如两个方向的第一振型周期与 T_t 的比值均能满足限值要求，其抗扭刚度更为理想。”

程序自动按刚度较弱方向的平动为主的第一振型周期来计算周期比，供用户参考。

对于多塔楼结构，如果计算时勾选了“各分塔与整体分别计算，配筋取各分塔与整体结果较大值”，则用户可在整体模型里查看整体周期比，在各分塔模型里查看分塔周期比。

图 5.3.3　分塔与整体分别计算选项

程序在 wzq.out 文件中输出各振型参与质量系数，并给出 X、Y 及 Z 向扭转方向的总振型参与质量系数，用户可查看该数值来确定振型数是否够用。

程序自动检查各振型下是否存在局部振型，如果存在则输出该振型及存在局部振动的层号、塔号。

对于容易产生局部振动的结构，要注意过滤掉局部振动产生的周期。对于体育场馆、空旷结构和特殊的工业建筑结构，若没有特殊要求的，一般不需要控制周期比。

五、层刚度比

层刚度比用来确定结构中的薄弱层（控制结构竖向布置不规则），或用于判断地下室结构刚度是否满足嵌固要求。

《高规》3.5.2 条规定，抗震设计时，高层建筑相邻楼层的侧向刚度变化应符合下列规定：

（1）对框架结构，楼层与其相邻上层的侧向刚度比γ1 可按式（3.5.2-1）计算，且本层与相邻上层的比值不宜小于 0.7，与相邻上部三层刚度平均值的比值不宜小于 0.8。

$$\gamma_1 = \frac{V_i \Delta_{i+1}}{V_{i+1} \Delta_i}$$

（2）对框架-剪力墙、板柱-剪力墙结构、剪力墙结构、框架-核心筒结构、筒中筒结构，楼层与其相邻上层的侧向刚度比γ_2可按式（3.5.2-2）计算，且本层与相邻上层的比值不宜小于 0.9；当本层层高大于相邻上层层高的 1.5 倍时，该比值不宜小于 1.1；对结构底部嵌固层，该比值不宜小于 1.5。

$$\gamma_2 = \frac{V_i \Delta_{i+1}}{V_{i+1} \Delta_i} \frac{h_i}{h_{i+1}}$$

《高规》5.3.7 条规定：“高层建筑结构整体计算中，当地下室顶板作为上部结构嵌固部位时，地下一层与首层侧向刚度比不宜小于 2。”

《抗震规范》附录 E.2.1 规定：“筒体结构转换层上下层的侧向刚度比不宜大于 2。”

《高规》10.2.3 条规定：“转换层上部结构与下部结构的侧向刚度变化应符合本规程附录 E 的规定。”

E.0.1 当转换层设置在 1、2 层时，可近似采用转换层与其相邻上层结构等效刚度比γ_{e1}表示转换层上、下层结构刚度的变化，γ_{e1}宜接近 1，非抗震设计时γ_{e1}不应小于 0.4，抗震设计时不应小于 0.5。

E.0.2 当转换层设计在第 2 层以上时，按本规程式(3.5.2-1)计算的转换层与其相邻上层的侧向刚度比不应小于 0.6。

E.0.3 当转换层设置在 2 层以上时，尚宜采用图 E 所示的计算模型按公式（E.0.3）计算转换层下部结构与上部结构的等效侧向刚度比γ_{e2}。γ_{e2}宜接近 1，非抗震设计时不应小于 0.5，抗震设计时不应小于 0.8。

规范给出层刚度的三种计算方法：

1、剪切刚度

《高规》附录 E.0.1 中给出了相应的计算公式：

$$\gamma_{e1}=\frac{G_1A_1}{G_2A_2}\times\frac{h_2}{h_1}$$

2、剪弯刚度

《高规》附录 E.0.3 中建议的方法：

$$\gamma_{e1}=\frac{\Delta_2H_1}{\Delta_1H_2}$$

3. 地震作用下层剪力与层间位移的比值

《抗震规范》3.4.3 条文说明建议的方法：

$$K_i=\frac{V_i}{\delta_i}$$

软件自动给出剪切刚度和层剪力与层间位移之比算法得到的各楼层刚度，并按照《高规》3.5.2 条，根据地震作用下层剪力与层间位移之比判断薄弱层。在总信息文件 wmass.out 中同时输出两种算法得出的层刚度。

当某层被判断为薄弱层时，自动将该楼层地震作用标准值的地震剪力乘以用户指定的增大系数(该增大系数默认取 1.25)。

如果工程中含有地下室，则程序自动按剪切刚度验算地下一层顶板能否作为上部结构的嵌固端。

当工程中存在转换层且转换层位于 2 层以上时，程序自动按剪弯刚度算法验算转换层上下刚度比。对于剪弯刚度计算，程序严格按照《高规》附录 E.0.3 条，即分别取出转换层上、下若干楼层作为独立模型，求出顶部在单位水平力作用下的侧向位移。

验算层刚度比的结构必须要有层的概念。对于某些复杂结构，如坡屋顶层、体育馆、看台、工业建筑等，结构或者柱、墙不在同一标高、或者本层根本没有楼板等，可以不考虑这类结构所计算的层刚度特性。

对于错层结构或带有夹层的结构，层刚度的有时得不到合理的计算，原因是层的概念被广义化了。此时，需要适当简化模型才能计算出层刚度比。

按整体模型计算大底盘多塔楼结构，或上联多塔楼结构时，大底盘顶层与上面一层塔楼的刚度比、楼层抗剪承载力比通常会比较大，对结构设计没有实际指导意义。但软件仍会输出该计算值，设计人员可依据工程具体情况酌情处理。

六、楼层抗剪承载力

《高规》3.5.3 条规定：“A 级高度高层建筑的楼层抗侧力结构的层间受剪承载力不宜小于其相邻上一层受剪承载力的 80%，不应小于其相邻上一层受剪承载力的 65%；B 级高度高层建筑的楼层抗侧力结构的层间受剪承载力不应小于其相邻上一层受剪承载力的 75%。”

楼层的实际承载力（而非承载力设计值）是判断薄弱层的依据之一，抗震规范 3.4.2、3.4.3 与高规 3.5.8 条指出抗侧力结构的层间受剪承载力小于上一楼层的 80%时形成承载力突变薄弱层，其地震剪力应乘以 1.25 的增大系数(用户可修改)，适当加强薄弱层，使其既有足够的变形能力，又不使薄弱层位置发生转移，是提高结构总体抗震性能的有效手段。

程序自动根据配筋结果计算楼层受剪承载力，并将结果输出到 wmass.out 文件中。当本层与上层受剪承载力之比小于 0.8 时，程序会给出“薄弱层”提示，表示 X(Y)向承载力之比不满足规范要求。

程序提供“自动对层间受剪承载力突变形成的薄弱层放大调整”参数，勾选该项，则程序自动根据楼层受剪承载力判断出来的薄弱层再进行一次配筋设计。

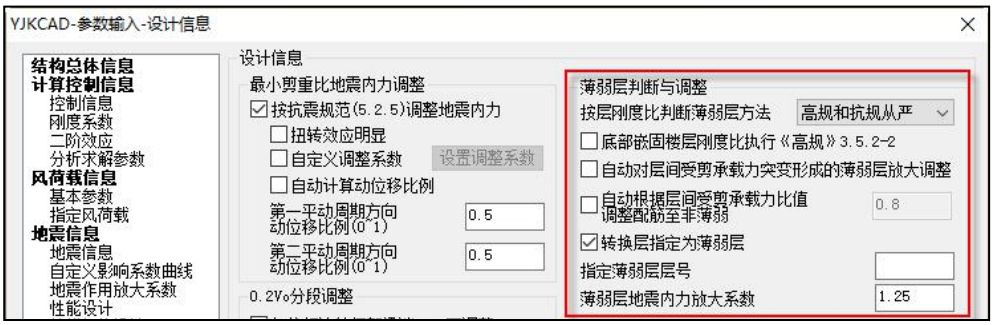


图 5.3.4　薄弱层放大调整选项

《高规》3.5.3 条文说明指出：“柱的受剪承载力可根据柱梁端实配的受弯承载力按两端同时屈服的假定失效模式反算；剪力墙可根据实配钢筋按抗剪设计公式反算；斜撑的受剪承载力可计及轴力的贡献，应考虑受压屈服的影响。”

对于混凝土柱、剪力墙受剪承载力的计算方法及楼层受剪承载力的统计方法，程序依据《建筑抗震鉴定标准》附录 C 执行；对于钢柱，程序采用材料的屈服强度来计算各种截面形式构件的上下两端的全塑性抵抗弯矩，进而计算其抗剪承载力。

对于支撑，程序按照其与 Z 轴的夹角大小，采用了三种方式来考虑其受剪承载力贡献，即按柱考虑、按斜杆考虑和不考虑其承载力贡献：

1、混凝土（型钢混凝土）构件，（1）当其与 Z 轴的夹角小于 20°时，按普通柱的方式计算抗剪承载力；（2）大于 20°且小于 70°时，只考虑混凝土截面内的钢筋、型钢或钢管的受拉承载力，再向平面相应方向（x 或 y）投影；（3）大于 70°时，此时其受力性能与梁类似，不考虑其受剪承载力贡献；

2、钢构件，（1）当其与 Z 轴的夹角小于 20°时，按钢柱的计算方法计算抗剪承载力；（2）大于 20°且小于 70°时，取欧拉临界力向平面相应方向（x 或 y）投影，且考虑拉压的成对作用，承载力再减半。（3）大于 70°时，不考虑其受剪承载力贡献。

七、结构薄弱层的验算

程序可以按照下面几个方面确定薄弱层并调整薄弱层地震作用：

1、楼层侧向刚度沿竖向突变产生的薄弱层

如果计算的层刚度不满足规范要求而被程序判断为薄弱层，程序将自动对该层的地震作用标准值乘以 1.25 的增大系数(用户可修改)，用户可在 wmass.out 看到相应的调整信息。

```
Floor No. 2     Tower No. 1
Xstif=     0.0000(m)     Ystif=     0.0000(m)     Alf  =     0.0000(Degree)
Xmass=    18.1427(m)     Ymass=    11.6525(m)     Gmass(活荷折减)=   413.4006
Eex  =     0.0000        Eey  =     0.0000
Ratx =     0.6018        Raty =     0.5949
薄弱层地震剪力放大系数= 1.25
Ratx1=     0.7729        Raty1=     0.7772
Ratx2=     0.9094        Raty2=     0.9127
RJX1 = 9.6943E+005(kN/m)  RJY1 = 9.6943E+005(kN/m)  RJZ1 = 0.0000E+000(kN/m)
RJX3 = 2.3537E+005(kN/m)  RJY3 = 2.2579E+005(kN/m)  RJZ3 = 0.0000E+000(kN/m)
```

图 5.3.5　wmass.out 调整信息

2、结构楼层抗剪承载力沿竖向突变产生的薄弱层

程序在 wmass.out 中输出各楼层的抗剪承载力及与上层的承载力之比，当本层与上层受剪承载力之比小于 0.8 时，程序给出“薄弱层”提示。

3、竖向抗侧力构件不连续

如果结构存在转换层，则用户可通过“转换层指定为薄弱层”参数将转换层指定为薄弱层。

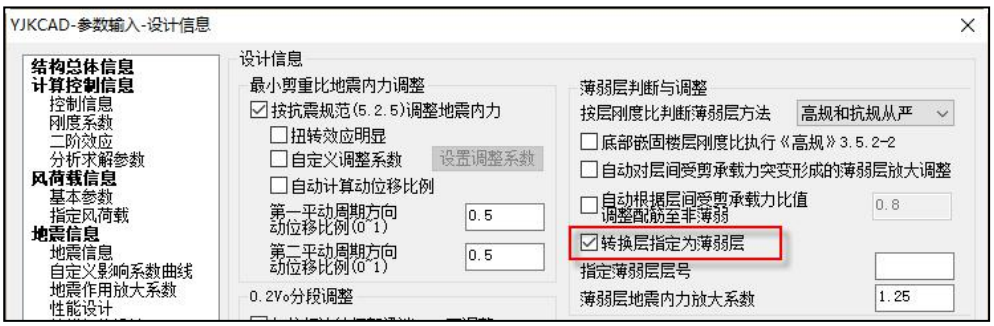


图 5.3.6　转换层指定为薄弱层选项

4、人工指定薄弱层

在计算前处理的参数设置中可以人工指定薄弱层。

薄弱层是可以人工调整、控制的，由于层刚度产生的薄弱层，可以通过调整结构布置、材料强度来改变；由楼层承载力产生的薄弱层，可通过调整配筋来解决。

八、结构整体抗倾覆验算

《高规》12.1.7 条规定：“在重力荷载与水平荷载标准值或重力荷载代表值与多遇水平地震标准值共同作用下，高宽比大于 4 的高层建筑，基础底面不宜出现零应力区；高宽比不大于 4 的高层建筑，基础底面与地基之间零应力区面积不应超过基础底面面积的 15%。质量偏心较大的裙楼与主楼可分别计算基底应力。”

为使高层建筑结构在水平力和竖向荷载作用下，其地基压应力不致过于集中，规范对基础底面压应力较小一端的应力状态作了限制。程序给出了风荷载及地震作用下的倾覆及抗倾覆力矩，还给出零应力区比例，供用户参考。

当高层、超高层建筑高宽比较大，水平风、地震作用较大，地基刚度较弱时，结构整体抗倾覆验算很重要，它直接关系到结构安全度的控制。

九、框架柱、框支框架、墙倾覆弯矩的计算及应用

《高规》7.1.8.1 条规定：“在规定的水平地震作用下，短肢剪力墙承担的底部地震倾覆力矩不宜大于结构总底部地震倾覆力矩的 50%。”

《高规》7.1.8.2 条规定：“具有较多短肢剪力墙的剪力墙结构是指，在规定的水平地震作用下，短肢剪力墙承担的底部倾覆力矩不小于结构底部总地震倾覆力矩的 30%的剪力墙结构。”

《高规》8.1.3 条规定：“抗震设计的框架-剪力墙结构，应根据规定的水平力作用下结构底层框架部分承受的地震倾覆力矩与结构总地震倾覆力矩的比值，确定相应的设计方法”。

《高规》10.2.16-7 条规定：“框支框架承担的地震倾覆力矩应小于结构总地震倾覆力矩的 50%。”

程序统计并在 wv02q.out 文件中输出了框架柱、框支框架、墙倾覆弯矩及所占比例，其中，框支框架、短肢墙等只有结构中含有该类构件时才输出。

规定水平力下框架柱、短肢墙地震倾覆弯矩

层号	塔号		框架柱	短肢墙	其它	合计
12	1	X	0.0	0.0	511.5	511.5
12	1	Y	0.0	0.0	574.5	574.5
12	2	X	0.0	0.0	517.3	517.3
12	2	Y	0.0	0.0	596.6	596.6
11	1	X	5731.3	250.6	5103.9	11085.7
11	1	Y	3460.1	892.4	8516.4	12868.9
10	1	X	10820.6	650.2	15186.8	26657.5
10	1	Y	6458.2	1526.1	23066.2	31050.5
9	1	X	16591.3	1135.8	30050.4	47777.6
9	1	Y	9789.0	2342.6	43544.3	55676.0
8	1	X	22828.0	1709.1	49146.8	73683.9
8	1	Y	13315.4	3321.2	69122.3	85758.9
7	1	X	29482.8	2365.4	71888.3	103736.4
7	1	Y	16988.6	4441.6	99053.5	120483.7
6	1	X	36349.9	3073.2	97919.0	137342.1
6	1	Y	20716.7	5667.4	132747.5	159131.6
5	1	X	43286.6	3826.5	126807.0	173920.0
5	1	Y	24388.4	6956.0	169702.1	201046.5
4	1	X	49870.9	4569.9	158447.2	212887.9
4	1	Y	27835.0	8265.3	209480.3	245580.7
3	1	X	56539.9	5344.5	191745.0	253629.3
3	1	Y	31111.2	9566.2	251402.9	292080.3
2	1	X	60888.0	20307.4	242870.7	324066.1
2	1	Y	33166.9	11356.8	327952.3	372475.9
1	1	X	60546.1	20307.4	285607.8	366461.4
1	1	Y	33569.1	11356.8	376163.1	421089.0

图 5.3.7　倾覆力矩统计

如果框支框架承担的倾覆力矩大于 50%、短肢剪力墙承担的倾覆力矩大于 30%或 50%时，程序会给出如“框支框架倾覆力矩超限”、“该结构已属于“具有较多短肢剪力墙结构的剪力墙结构”、“该结构短肢剪力墙承担的的底部倾覆力矩已经大于结构底部总

倾覆力矩的 50%，结构布置不合理”等提示。

需要注意的是，《高规》中关于框架-剪力墙结构中框架部分承受的地震倾覆力矩、短肢剪力墙倾覆力矩的统计均针对结构底部，所以一般以首层的柱倾覆弯矩百分比为依据即可，上部楼层的倾覆弯矩计算结果只是作为参考。另外，程序给出的柱、墙倾覆弯矩是在“规定水平力”下的计算结果。

十、结构稳定和重力二阶效应计算

1、相关规范规定

《高层混凝土结构技术规程》（JGJ3-2010）第 5.4 节对结构整体稳定验算和计算分析中是否考虑重力二阶效应提出了明确要求。如：

第 5.4.1 条规定：当高层建筑结构满足以下规定时，弹性计算分析时可不考虑重力二阶效应的不利影响。

1.剪力墙结构、框架—剪力墙结构、板柱剪力墙结构、筒体结构：

$$EJ_d \geq 2.7H^2\sum_{i=1}^{n}G_i$$

2.框架结构：

$$D_i \geq 20\sum_{j=i}^{n}G_j / h_i \qquad (i=1,2,\cdots,n)$$

第 5.4.4 条规定：高层建筑结构的整体稳定应符合下列规定：

1.剪力墙结构、框架—剪力墙结构，筒体结构应符合下式要求：

$$EJ_d \geq 1.4H^2\sum_{i=1}^{n}G_i$$

2.框架结构应符合下式要求：

$$D_i \geq 10\sum_{j=i}^{n}G_j / h_i \qquad (i=1,2,\cdots,n)$$

《高规》中规定的上述限值即通常所说的“刚重比”。

2、软件中重力二阶效应计算和结构稳定验算实现

本软件按照《高规》5.4 节规定方法验算是否满足整体稳定性要求和是否需要考虑重力二阶效应的影响。在结果文件 wmass.out 中输出验算结果。

如果 wmass.out 中的“刚重比”验算结果不满足第 5.4.4 条高层建筑结构的整体稳

定性要求，设计人员则需要修改设计方案。

软件默认的计算控制选项是不考虑重力二阶效应的。如果“刚重比”验算结果满足整体稳定性要求但不满足第 5.4.1 条规定，则在计算分析中需要考虑重力二阶效应的影响。

《高规》第 5.4.3 条指出了有限元方法和近似的增大系数法两种考虑重力二阶效应的方法。本软件中提供的是能精细考虑竖向力工况应力效应影响的有限元方法。

如果需要考虑重力二阶效应的影响，用户在建模退出时，勾选“竖向导荷”选项；并且在计算参数中勾选考虑 P-Δ效应，如图所示：。

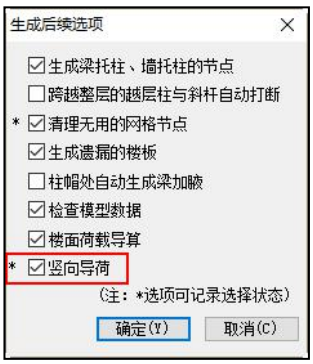


图 5.3.8 建模退出菜单

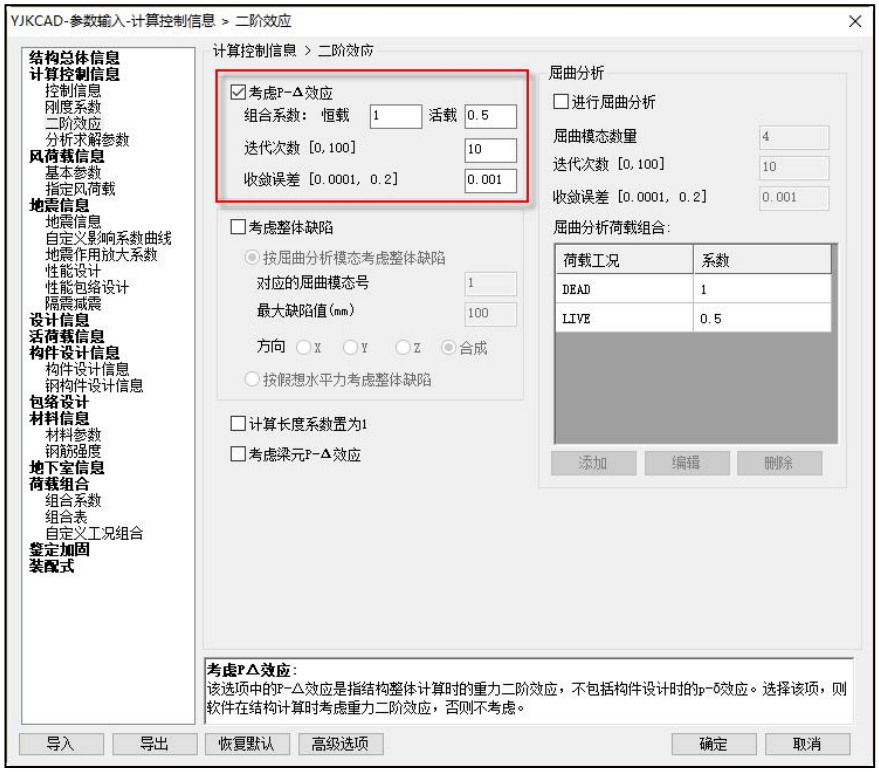


图 5.3.9 二阶效应选项

3、本软件中的重力二阶效应计算方法

重力二阶效应的计算方法包括有限元方法和近似系数方法。

在缺乏精细计算手段的情况下，可以采用近似系数方法。如《砼规》附录 B 中提出的“构件内力增大系数法”和《高规》第 5.4.3 条及条文说明中提出的“构件抗弯刚度折减法”。

随着计算技术的发展，几乎所有建筑结构设计软件都已经采用了有限元方法来考虑重力二阶效应。有限元方法考虑重力二阶效应本质上是在常规的结构刚度基础上增加一个几何刚度（又称应力刚度）修正项，采用直接求解或者迭代求解。对于建筑结构设计来说，特别是混凝土结构，直接求解方法与迭代求解精度相当。所以重力二阶效应计算精度主要取决于这个修正项的精度。

实际上不同软件考虑重力二阶效应的几何刚度修正项差异较大。比如：

计算模型上，有些软件不考虑剪力墙的重力二阶效应或者用杆的几何刚度近似考虑；

梁单元也多采用杆单元的几何刚度近似考虑；甚至采用总刚直接修正方法。

竖向工况构件应力取值上，有些软件按本楼层的重力荷载设计总值按近似方法分配到本层构件；或者直接取构件上的质量代表值。

本软件中的重力二阶效应计算中采用了多项新技术，主要特点是：

①采用基于构件单元刚度修正的非迭代方法，该方法几乎不增加计算量，且计算结果与迭代算法比较接近。

②柱等一维竖向构件单元的几何刚度矩阵采用了空间梁单元的几何刚度矩阵计算方法，即考虑梁弯曲和杆轴向变形的几何刚度，并且能考虑构件偏心影响。

③剪力墙的墙元几何刚度计算中，首先计算壳元（包括板元和膜元）的几何刚度矩阵，然后通过静力凝聚得到墙元几何刚度。实际工程中的剪力墙、框架剪力墙等结构形式，剪力墙通常会沿结构的主轴方向双向布置。无论在哪个方向的荷载作用下，剪力墙的面内刚度都将起主要抵抗作用，膜部分的几何刚度计算准确性对结构影响是比较明显的。有些书籍提到可将整层墙近似为杆件后进行面内几何刚度计算，误差较大。

④计算构件的应力值时，通过竖向导荷程序计算得到竖向构件上的力，比较真实地反映构件的竖向力工况应力状态，本软件默认采用的是 1.0 恒+0.5 活的竖向工况组合。用户也可以在参数中直接指定恒活的组合值系数。

由于构件计算模型上，采用了梁、壳等实际单元的几何刚度；并且通过竖向导荷得到了比较准确的构件应力状态，计算结果比较接近精确解；同时，由于采用的是直接求解方法，几乎不增加计算时间。

4、考虑重力二阶效应对计算结果的影响

由于采用了基于构件单元刚度修正的非迭代方法，结构受压时，考虑重力二阶效应后相当于在原始刚度矩阵的基础上减去几何刚度矩阵；当构件受拉时，则正好相反。因此，考虑重力二阶效应后的结构通常会表现出变柔的特点。

本软件中所有工况均采用了修正后的刚度矩阵。所以，考虑重力二阶效应会影响到包括结构的周期在内的整体指标及所有工况的位移、内力、配筋等计算结果。

十一、结构线性屈曲分析

结构失稳（屈曲）是指在外力作用下结构的平衡状态开始丧失，稍有扰度变形便迅速增大，最后使结构发生破坏。稳定问题一般分为两类，第一类是理想化的情况，即达到某种荷载时，除结构原来的平衡状态存在外，还可能出现第二个平衡状态，又称为平衡分岔失稳，在数学处理上为求解特征值问题，成为特征值屈曲。此类结构失稳时响应的荷载称为屈曲荷载。第二类是结构失稳时，变形迅速增大，不会出现新的变形形式，即平衡状态不发生质变，称为极值点失稳。结构失稳时响应的荷载为极限荷载。

在软件中的屈曲分析是解决线性屈曲问题，属于第一类失稳。

结构的第一类稳定问题，在数学上统一归结为广义特征值问题。软件通过对特征值方程进行求解，来确定结构屈曲是的屈曲荷载和破坏形态。屈曲特征方程为：

$$[K-\lambda G(r)]\Psi=0$$

其中：

K——刚度矩阵；

G(r)——荷载向量 r 作用下的几何刚度；

λ——特征值对角矩阵；

Ψ——对应的特征值向量矩阵。

求解特征值方程，得到特征值和对应的特征值向量，用以确定屈曲荷载和对应的变形形态。每一组“特征值-特征向量”为结构的一个屈曲模式。特征值λ称为屈曲因子，在给定的荷载模式下，它乘以 r 中的荷载就会引起结构屈曲，即屈曲荷载为屈曲因子与给定荷载的成绩。如果λ为负值，说明当荷载反向时会发生屈曲。

第四节 考虑楼板计算的要点

上部结构计算程序的三维计算主要以梁、柱、斜杆等杆件及剪力墙的内力和配筋为设计对象，对于楼板考虑了它对于整体计算的刚度贡献，但是并不直接对楼板作内力分析。这是因为在工程实践中，楼板本身的设计和上部结构的三维计算是分开进行的，楼板本身的设计采用专用的楼板计算配筋程序实现。上部结构计算程序在进行三维计算前

的前处理中，已经把作用在楼板上的恒、活荷载导算到了房间周围的梁、墙构件上，上部结构计算时直接读取导算后的梁、墙荷载。这种设计模式符合绝大多数工程的设计习惯。

计算程序在计算楼板的刚度时，提供了以下几种计算方案：

（1）程序自动将同平面的、有厚度的（厚度可以不同）、连续的水平平板合并成刚性板块，并采用刚性楼板假定来计算。同一层可以有多个刚性楼板板块。

（2）程序提供了弹性膜、弹性板 6 和弹性板 3 共三种弹性楼板计算模型。

对于本层楼板较少、其平面内刚度不够大，如楼板狭长、楼板板块之间有薄弱的连接部位、或楼板开了大的洞口等其他楼板情况时，楼板会产生较明显的面内变形，用户可将相关部分的楼板设置成弹性楼板计算。

程序对于斜板、坡屋面板自动设置成弹性膜计算。

（3）在用户设置的“强制刚性楼板假定”下，整个楼层连接成只有平动和转动的平面刚性体。

一、刚性楼板

1、刚性板计算原理

建筑的楼屋面大多数为现浇钢筋混凝土楼板或有现浇面层的预制装配式楼板，它们具有很大的面内刚度，可近似认为楼板在其自身平面内为无限刚。《高规》5.1.5 条规定：“进行高层建筑内力与位移计算时，可假定楼板在其自身平面内为无限刚性，相应地设计时应采取必要措施保证楼板平面内的整体刚度。”

“刚性楼板”模型假定楼板平面内刚度无限大，平面外刚度为零。

在采用刚性楼板假定进行整体分析时，每块刚性楼板在水平面内做刚体运动。除刚性板主节点外，其余每个节点的独立自由度只剩下 3 个，即绕 X、Y 方向的转角、和 Z 方向位移，而 X、Y 方向平动以及绕 Z 方向的转动由主节点自由度确定。

采用上述假设后，结构分析的自由度数目大大减少，可能减少由于庞大自由度系统而带来的计算误差，使计算过程和计算结果的分析大为简化。并在大多数工程分析中具有足够的工程精度。

但是，由于假定楼板内的节点没有相对水平位移，也即楼板内的梁等杆件的轴向变

形为零，因此有限元计算无法得出这些构件的轴力。在楼板的面内刚度无限大的情况下，这些轴力被楼板吸收。

2、刚性楼板的生成和修改

在计算软件的前处理部分，对于用户在建模中定义的水平放置的楼板，程序将自动地默认为刚性楼板。用户可以在“特殊构件补充定义”菜单下，点击“刚性板号”来查看默认生成的刚性板情况。

建模中的楼板是以房间为单元的，而计算模型则默认将连续的多个房间的平板设置成一块刚性板。即程序默认将同平面的、有厚度的（厚度可以不同）、连续的水平平板合并成一个刚性板块。

若房间不连续（例如有全房间洞或者板厚为 0 的房间分隔开）或者楼板有错层，则会生成多块刚性板，并将其分别编号。

同一层中允许存在多个刚性板块，但刚性板块之间不可有公共节点相连，即使两房间楼板之间仅有一个公共节点，程序也会将两房间楼板归为一个刚性板块，如下图所示。类似图中情况的处理方式与工程实际不符，此时用户可在“特殊构件补充定义”中将相关楼板定义为弹性楼板。

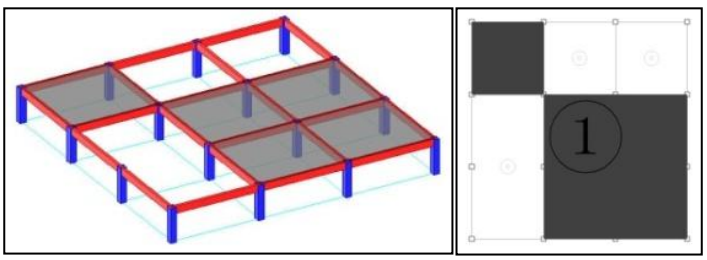


图 5.4.1　刚性板块之间不可有公共节点相连

对于工程中常见的若干情况处理方式如下：

1. 程序自动将斜板设为弹性膜，如图 5.4.2 所示。

2. 全房间洞和板厚为零的楼板均不参与生成刚性楼板。但程序将忽略在建模中输入的房间内的楼板开洞，如图 5.4.3 所示。

3. 通过“楼板错层”命令生成的错层板在形成刚性板块时，将忽略错层的影响，与周围的楼板形成一块刚性板块。工程中楼板错层的高度一般较小，因此这样的处理方式是符合实际的。

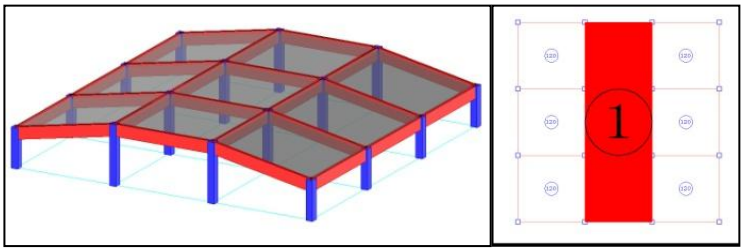


图 5.4.2　斜板的模型及其刚性板块生成

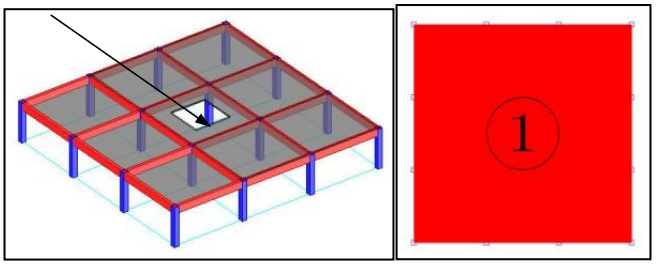


图 5.4.3　开洞、楼板错层的模型及刚性板块生成

4. “错层结构”将在不同的标高处各自生成刚性板块。程序可以自动搜索到不同标高处的楼板，各自形成刚性板块。如图 5.4.4 所示。

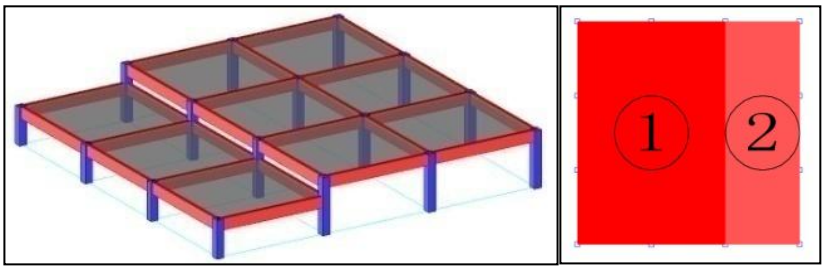


图 5.4.4　错层结构楼板透视模型及其刚性楼板生成

在“特殊构件定义”中的“板属性”菜单下，用户可以修改程序默认生成的刚性楼或弹性楼板。

“全房间洞”和“板厚为 0”是工程设计中常遇的两种情况。两者的相同点是均不参与生成刚性楼板，两者的区别主要是通过“全房间洞”删除某一房间的楼板时，其上布置的各种楼面荷载也将相应删除，而且不能再布置楼面荷载。当将板厚设置为 0 时，该房间仍可布置楼面恒活荷载，并可以正常导算至周边梁墙。

鉴于上述特点，工程设计中一般将楼梯间定义为板厚为 0，这样可在其上布置楼面荷载，避免手工导算荷载的工作；而电梯间一般定义为全房间洞，电梯机房楼板可定义

为板厚为 0。

二、参数“全楼强制刚性楼板假定”

在结构的整体性能控制方面，规范规定了若干控制指标，其中周期比、位移比、层间刚度比是重要的控制指标。在这些指标计算时，一般都应该采用“全楼强制刚性楼板假定”。因为计算目标是规范规定的整体性能指标，这些整体指标计算的前提是结构的楼层和楼板布置比较规则，对于局部的不规则适当忽略它的影响。

比如：高层建筑结构的设计中，通过“位移比”来限制结构平面布置的不规则性。其中《抗震规范》条文说明第 3.4.3 及 3.4.4 条指出：“对于结构扭转不规则，按刚性楼盖计算，当最大层间位移与其平均值的比值为 1.2 时，相当于一端为 1.0，另一端为 1.45；当比值为 1.5 时，相当于一端为 1.0，另一端为 3。”

上述条文说明表明，验算高层建筑的“位移比”时，要求在刚性楼板假定的条件下进行，因此程序提供了“对所有楼层强制采用刚性楼板假定”的选项。

又比如：“周期比”是结构的宏观控制指标，计算时应忽略局部震动影响。在强制刚性楼板假定下计算的“周期比”，可以约束局部的较大变形、过滤局部振动产生的周期。

每一楼层中，可能存在一块或多块 “刚性板”，也可能有用户定义或自动生成的弹性楼板、“板厚为 0”、“全房间洞”等情况，在跃层柱情况下还可能存在孤立节点，在 “强制刚性楼板”下，所有弹性部分、局部变形都被约束，只能按照统一的刚体位移模式计算处理，即只能平动和转动。

通常，进行位移、内力、配筋计算时不应采用强制刚性楼板假定。

对于个别结构复杂、空间性很强、明显不符合刚性楼板假定的情况，控制“位移比”、“周期比”等比值已没有多大意义。

对于工程中常见的大部分楼板较规则结构，是否采用强制刚性楼板假定计算对于该部分的设计结果影响不大。

三、弹性楼板

1、弹性楼板的应用

虽然刚性楼板假定的分析效率高，但一般适用于楼板形状比较规则的普通工程。

《高规》3.4.6 条规定：“当楼板平面比较狭长、有较大的凹入和开洞而使楼板有较大削弱时，应在设计中考虑楼板削弱产生的不利影响”。第 5.1.5 条进一步规定：“当楼板会产生较明显的面内变形时，计算时应考虑楼板的面内变形或对采用楼板面内无限刚性假定计算方法的计算结果进行适当调整。”

对于复杂楼板形状的结构工程，如楼板有效宽度较窄的环形楼面或其他有大开洞楼面、有狭长外伸段楼面、局部变窄产生薄弱连接的楼面、连体结构的狭长连接体楼面等场合，楼板面内刚度有较大削弱且不均匀，楼板的面内变形可能会使楼层内抗侧刚度较小的构件的位移和内力加大(相对刚性楼板假定而言)，计算时应考虑楼板面内变形的影响。

对于坡屋面和斜板，刚性楼板假定也不再适用。

有时在梁的设计中需要考虑梁的轴力，当梁的周围都是刚性板时计算将得不出梁的实际轴力，这种情况下这些梁的周围必须设置成弹性楼板。

对于转换层中的梁，在设计中应考虑梁的受拉力的情况，为此，用户一般应将转换层全层设置成弹性膜。

《高规》第 5.3.3 条规定：“对平板无梁楼盖，在计算中应考虑板的平面外刚度影响，其面外刚度可按有限元方法计算或近似将柱上板带等效为框架梁计算。平板无梁楼盖的面外刚度由楼板提供，一般在计算时应该考虑。”

为此，计算程序提供了弹性膜、弹性板 6、弹性板 3 共三种弹性楼板假定。其中弹性膜假定由于忽略楼板平面外刚度，应用比较广泛。上述各情况中，除板柱结构、厚板转换体系外均可采用弹性膜进行计算。

如用户在特殊构件补充定义中定义了弹性楼板，则弹性楼板将与梁、柱、墙一样参与到整体分析中，作为整体结构的构件贡献刚度。因此，对于楼板开了大洞口，或有弱连接、或平面狭长等结构定义了弹性楼板后，结构的基本周期、位移等指标参数和按照刚性楼板计算的结果将有所变化，同时，梁、柱、墙等构件的内力和配筋也会相应变化。

2、三种弹性楼板的基本假定、计算单元和适用范围。

（1）弹性膜假定楼板平面内具有膜元的刚度，但忽略了楼板平面外刚度，即假定楼板平面外刚度为零。程序采用平面应力膜单元计算楼板的平面内刚度。

对于大多数弹性楼板结构如楼板平面较长或有较大凹入以及平面弱连接结构等的情况，应采用弹性膜假定模型计算，因为这种模型忽略了板的面外刚度，梁的内力配筋

计算与刚性板情况差不多，又能够考虑楼板的面内实际刚度。

（2）弹性楼板 6 假定楼板平面内刚度和平面外刚度均为有限值。程序采用壳单元计算楼板的面内刚度和面外刚度。

从力学模型的角度看，弹性楼板 6 相对最符合楼板的真实受力情况，可以应用于任何工程。从工程设计的角度看，在采用弹性楼板 6 假定时，部分竖向楼面荷载将通过楼板的面外刚度直接传递给竖向构件，导致梁的弯矩减少，相应的配筋也会减少，这样可以起到优化设计的作用。当楼板厚度较大时，一般应考虑楼板和梁的共同作用，使二者共同承担荷载，减少梁在各个荷载工况下的弯矩和配筋，经济合理，更是符合强柱弱梁的设计要求，对抗震有利。

如嵌固层、转换层的楼板一般厚度较大，这样的位置应设置为弹性板 6，可以有效减少嵌固层或转换层中梁的配筋。

必须注意：设置弹性板 6 时，应勾选“计算参数”—“计算控制信息”下的参数：梁和弹性板变形协调。勾选此参数后，对于用户设置的弹性板，将在计算中和与其相连的梁的中间节点变形协调，只有这样梁和板才能协同工作。

不勾选此参数，对于用户设置的弹性板，将在计算中仅和与其相连的梁的端节点变形协调，这样可以节省计算量，但是起不到减少梁的弯矩和配筋的作用。

对于弹性膜，一般可设置为不勾选此项。但是对于弹性板 3 或者弹性板 6，则应勾选此项。因为设置弹性板 3 或弹性板 6 的目的是使梁与板共同工作，发挥板的面外刚度的作用，减少梁的受力和配筋，此时必须使弹性板中间节点和梁的中间节点变形协调才能实现这种作用。

（3）弹性楼板 3 假定楼板平面内刚度无限大，平面外刚度为有限值。程序采用中厚板弯曲单元计算楼板平面外刚度。

弹性板 3 考虑了楼板的面外刚度，因此也是梁柱协同工作的计算模型，同样可以减少梁的弯矩和配筋，起到设计优化的作用。弹性板 3 假定楼板平面内刚度无限大，因此计算不出梁的轴力。它比与弹性板 6 的区别是计算自由度数较少，节省内存，计算速度更快。

同样，设置弹性板 3 时，也应勾选“计算参数”—“计算控制信息”下的参数：梁和弹性板变形协调。

指定弹性板是以房间为单元进行的。程序对弹性板也自动划分单元。

程序对弹性板的有限单元划分的尺寸也设置了一个参数，隐含设置为 1m，这是考虑到大多数板的弹性膜的受力特点，并为减少计算量。用户可以根据需要修改。

3、计算程序自动将斜板和坡屋面楼板设置为弹性膜计算。

对于不共面的斜板，程序不能生成弹性膜。实际中常见用户的坡屋面等斜板的多边形不共面，但在力学模型中不允许不共面的板单元，在计算中这部分将不会出现，用户在空间计算模型中可以看到这部分为空。因此在建模中用户对于斜板的多边形必须使其共面，否则这部分在计算中不起作用。

对于斜板和坡屋面楼板，用户可以将程序设置的弹性膜改为弹性板 6，但不能设为弹性板 3 或刚性板。

四、楼板和梁、柱的刚度计算

1、梁刚度放大系数

在结构整体分析计算时，由于采用刚性楼板假定或弹性膜假定，忽略了楼板的平面外刚度，而实际上楼板可以作为楼面梁的翼缘起到增强梁的刚度的作用，因此如不考虑这一增大作用，将使结构的总刚度偏小。《高规》中近似地以“中梁刚度放大系数”来间接地考虑楼板面外刚度的作用。

《高规》第 5.2.2 条规定：“在结构内力与位移计算中，现浇楼盖和装配整体式楼盖中，梁的刚度可考虑翼缘的作用予以增大。近似考虑时，楼面梁刚度增大系数可根据翼缘情况取为 1.3～2.0。对于无现浇面层的装配式楼盖，不宜考虑楼面梁刚度的放大。”

用户首先应在计算参数的“计算控制信息”中修改中梁刚度放大系数（程序默认值为 2.0），用户输入的这一数值是针对两侧均有楼板梁（中梁）的情况。而实际上梁有中梁和边梁之分，且可能存在“全房间洞”或“楼板开洞”或“板厚为 0”等情况，所以应该根据梁的不同位置设定不同的刚度放大系数。

计算程序可以自动判断梁和楼板的关系，对不同位置的梁指定不同的刚度放大系数，具体原则如下：

(1) 两侧与楼板相连的中梁，取用户输入的值；

(2) 一侧与楼板相连的边梁，设用户输入值为 Bk，则边梁刚度放大系数取$(1+B_k)/2$；

(3) 两侧都未与楼板相连的独立梁，梁刚度不放大，取值为 1.0；

(4) 可以考虑“全房间洞”或“板厚为 0”形成的边梁和独立梁，程序将“全房间洞”或“板厚为 0”的房间视为没有楼板。但是，程序不能考虑“楼板开洞”形成的洞口的影响，也没有考虑建模中楼板输入菜单下的“楼板错层”菜单输入的板错层值的影响；

(5) 可以自动考虑不同标高处的楼板，即对于错层结构的错层处的梁，梁两侧楼板标高不同，程序也会按实际情况设定刚度放大系数；

(6) 对于布置层间梁的情况，如果同一轴线上布置两根以上的梁，程序也会按实际情况设定刚度放大系数，如错层结构中的层间梁，当周边无楼板时，刚度放大系数为 1.0，当一侧有楼板时，刚度放大系数为(1+Bk)/2。

如果程序自动给出的刚度放大系数仍需改动，则用户可以在前处理的“特殊梁”菜单下交互式输入新的刚度系数。

对于定义了弹性膜的楼板，由于忽略了楼板的面外刚度，所以仍需要输入楼板对梁的刚度放大作用。

对于用户定义的连梁，由于指定了“连梁刚度折减系数”，程序不再考虑“中梁刚度放大系数”。对于用户定义的其他特殊梁，如转换梁、铰接梁、耗能梁、组合梁等，程序仍默认指定刚度放大系数，用户可根据工程实际予以修改。

2、梁扭矩折减系数

高层建筑结构的楼面梁受到楼板的约束作用，无约束的独立梁很少。

《高规》第 5.2.4 规定：“高层建筑结构楼面梁受扭计算中应考虑楼盖对梁的约束作用。当计算中未考虑搂盖对梁扭转的约束作用时，可对梁的计算扭矩乘以折减系数予以折减。梁扭矩折减系数应根据梁周围楼盖的情况确定。”

当结构计算中未考虑楼盖对梁扭转的约束作用时，梁的扭转变形和扭矩计算值过大，抗扭设计比较困难。但楼板对梁的扭转作用与楼板的跨度、刚度、传力形态有关，要想具体计算十分复杂。因此程序在计算时按照规范的要求通过对梁的计算扭矩予以适当折减的做法来考虑楼板的约束作用。

用户首先应在设计参数的“构件设计信息”中输入折减系数，这个系数是针对全楼所有梁的。程序会自动搜索两边都无楼板的独立梁，将其扭矩折减系数设置为 1.0。对

于弧形梁，由于扭矩对梁的影响较大，对扭矩折减是不安全的，因此扭矩折减系数无论是否有楼板都给定为 1。其余梁的扭矩折减系数设置为用户输入的值。

梁扭矩折减系数不区分中梁和边梁，也不区分弹性楼板和刚性楼板。但可以考虑“全房间洞”或“板厚为 0”形成的独立梁，忽略了“楼板开洞”形成的洞口的影响，忽略了“楼板错层”的影响。对于采用预制板的情况，由于预制板板之间灌缝并形成有效连接，有时还在板缝之间配筋做成暗梁，因此可以采用刚性楼板假定，也可以做扭矩折减。

如果程序自动给出的扭矩折减系数仍需改动，则用户可以在前处理的“特殊梁”菜单下交互式输入新的折减系数。

3、楼板对越层柱计算长度的影响

越层柱可以分为“全越层柱”与“单边越层柱”，全越层柱在本层内完全没有梁与之连接，单边越层柱仅在一个方向上有梁与之连接。对于单边越层柱，在与之相连的梁所在平面内的计算长度按普通柱情形计算；而在无梁与之相连的平面内的计算长度的计算方法同全越层柱。

程序自动搜索所有“全越层柱”和“单边越层柱”，并计算输出两个方向的计算长度。在前处理菜单中可以查看并修改这些数值。

程序在搜索时也会考虑楼板对柱的约束作用。对于单边越层柱，由于考虑了楼板的约束作用，尽管该柱在水平方向没有梁与之连接，其第一层柱的计算长度系数两个方向将相同。但若该柱周围没有楼板只一个方向有梁与之相连，则该柱两个方向的计算长度将不同。

另外，是否对全楼强制刚性楼板假定，对越层柱的计算长度系数会有影响。在“对所有楼层强制采用刚性楼板假定”的条件下，全房间洞的区域也会生成刚性板块，相关的单边越层柱的计算长度系数也会变化。这也说明，在进行内力和配筋计算时不应采用强制刚性楼板假定。对于全越层柱，是否选择全楼强制刚性楼板假定，柱的计算长度也会相应变化。

五、楼板错层的计算模型

考虑一个如下图所示的简单错层结构。

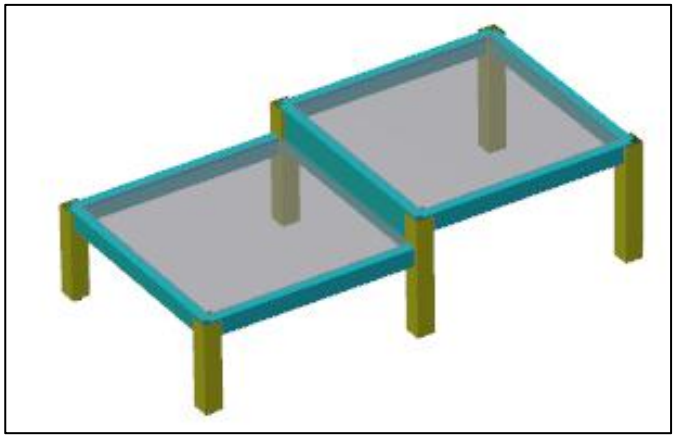


图 5.4.5 错层模型

当楼板按刚性板计算时，高低两块板分别生成平面内的约束。因此其计算模型如下图所示。图中楼板上的线条，表示构件节点的平面内自由度被约束至质心位置。

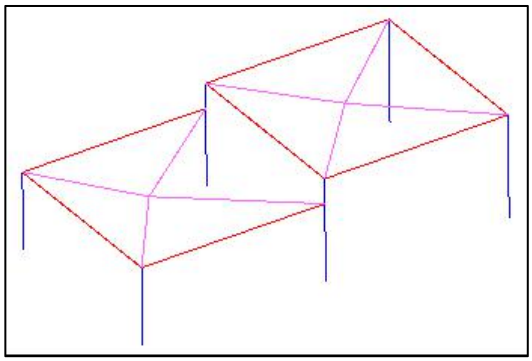


图 5.4.6 错层模型的刚性板计算模型

当楼板按弹性板计算时，则上下分别对弹性板进行单元划分。上下两板块的共同边界，即高低跨的大梁位置，上下弹性板的出口节点之间会自动增加刚性杆相连。如下图所示。

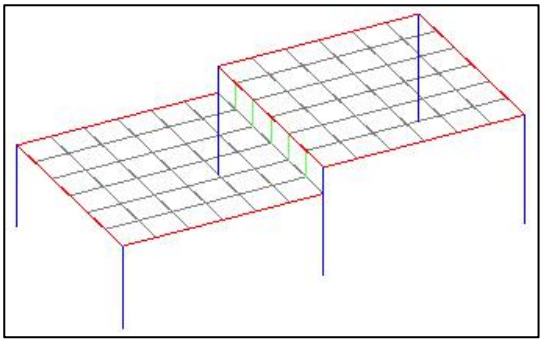


图 5.4.7 错层模型的弹性板计算模型

第五节 错层梁、斜梁、层间梁

梁一般布置在本层顶部楼面标高平面上，梁顶与楼面顶齐平。错层梁、斜梁、层间梁都是不与本层楼面顶齐平的梁。

输入错层梁、斜梁的方式有两种，第一种是修改本楼层的上节点高方式，简称方式一；第二种是输入梁两端的高差方式，简称方式二。

节点的上节点高可以拉动所有与该节点相连的构件，包括梁、柱、墙和支撑，形成联动。因此这种方式常用于坡屋顶的建模，比如坡屋顶的檐口处的节点通过输入上节点高降低，所有与之相连的边梁、坡梁及短柱、斜梁等都自动生成。又如错层平面结构，某楼层的一部分须整体抬高，把整体抬高的错层部分的节点输入上节点高，则可方便地实现错层输入。

输入梁两端高差的方式一般用于个别定义的错层梁、斜梁和层间梁。层间梁不在楼层上节点高处，但也随上节点高变化，一般用输入梁两端高差的方式输入。对于连接错层结构高低跨处的梁一般也须用输入梁两端高差的方式输入。

输入梁两端高差方式的错层梁、斜梁和层间梁，在计算模型中可以打断与之相连的柱或墙杆件。

除坡屋面外，在普通楼层中也会出现错层梁、斜梁和层间梁。当斜梁的两端标高相等时就变成了错层梁，当斜梁两端的标高相差较大，倾斜角较大时又变成了斜撑。斜梁、斜撑两类构件在配筋计算时不同。

一、层间梁与竖向构件柱、墙的连接

输入梁两端高差方式的错层梁、斜梁和层间梁，在计算模型中将打断与之相连的柱或墙杆件。输到上层的层间梁也将打断上层柱。但对于在顶层这样输的斜梁，程序可自动抬高与它同节点的柱。

对于高差小于 500mm 的错层，程序将忽略而将其拉平。

上翻梁与墙相连时，牵涉到墙的单元划分，程序将自动把这样的梁拉回到楼层高度。

一般不应将位于非本层高度范围内的的层间梁，如上层的层间梁放到本层输入，因为程序按楼层处理构件，与其它层的交叉一方面造成程序处理困难，另一方面在上层的结果显示中柱被打断，但打断柱的层间梁没有显示，造成结果显示的不对应。

二、不同标高梁的连接

在实际工程中，有时会出现截面高度较小的梁与截面高度较大的梁相连的情况。程序默认的情况是梁顶标高位于楼层标高处，如果两个截面高度不同的梁相连的话，默认它们是梁顶对齐的。

当截面高度较小的梁与截面高度较大的梁有高差，如果两梁在截面高度范围内有一定的重叠时，程序就会判断它们有连接关系，并在端部使用数值的刚性杆相连；但当两梁没有重叠时，程序判断为悬臂梁或悬空梁。

三、与其它楼层杆件的连接

程序可将斜梁与其它楼层杆件自动连接，从而大大方便了坡屋顶、体育场看台等类型结构的建模和计算。

梁两端节点有高差时，程序可以根据它的空间坐标，自动计算出它和其它楼层相应杆件的连接关系。如下图所示体育场看台模型：

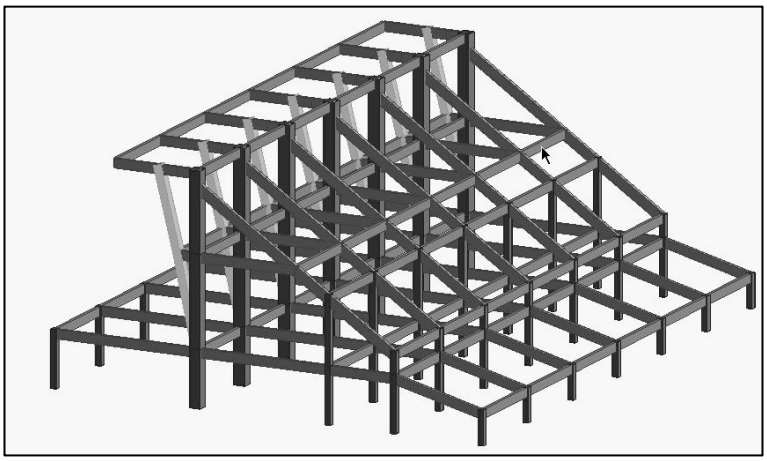


图 5.5.1　体育看台模型

其实际楼层布置如下图所示。可见 3 层的斜梁直接与 2 层梁相接，2 层斜梁直接与 1 层柱相接（1 层的柱顶设置了抬高）。

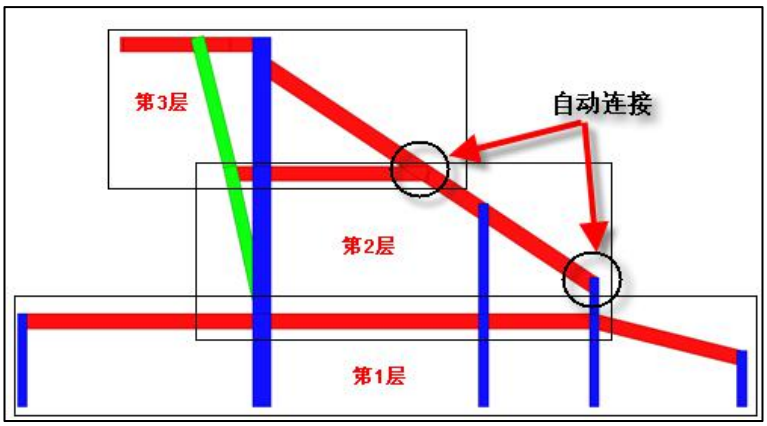


图 5.5.2　实际楼层布置

斜梁两端节点的高差还可以上下跨越本层到其它不同楼层。斜梁往下延伸时，既可以延伸到下面的相邻层，也可以往下跨越几层和下面不相邻的任意楼层相连。

注意程序只能做斜梁与其它楼层杆件端部的自动连接，这些杆件包括梁端、柱端、墙端、支撑端。但是不能与这些杆件的中间部位相连，也就是说，程序不可能打断这些杆件后再与它们连接。

四、有局部错层结构建模

局部错层平面结构，楼层的一部分需要整体抬高或降低，如下图所示为某局部错层

结构的三维透视。对于这种结构，可把局部错层部分的节点输入统一的上节点高，则可方便地实现局部错层的输入。但对于错层结构的高低跨处，由于存在有两根梁，故需要按层间多道梁的方式输入。

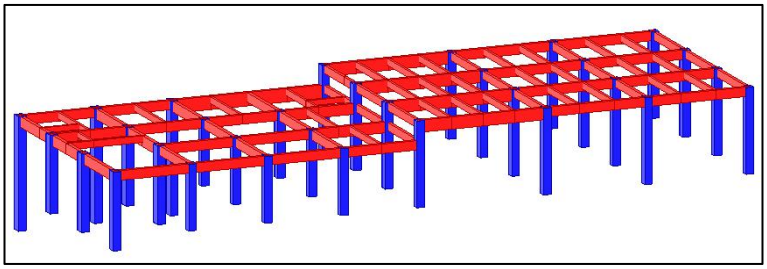


图 5.5.3　局部错层结构模型

对于这种结构，有错层楼层的上一层的柱子如果不做柱底标高调整的话，可能会造成柱子高度有部分的重叠或脱节。对于柱段有重叠的情况，在计算程序中，程序自动做了处理，忽略了柱段之间的重叠，包括柱自重的计算等。对于上下柱段脱节的情况，需要将上层柱的柱底标高做调整，以使上下柱段连接正确。

五、坡屋面建模应注意的问题

坡屋面的建模应注意的要点如下：

1、采用调整上节点高的方式，形成坡屋面。

用户应将坡屋面屋脊处的最高的高度设为层高，坡屋面下的其它节点的上节点高一般为负值。不宜将坡屋面较低处设为层高，对其它节点的上节点高输入正值。因为层高过小将引起很多有关层指标计算不正常。

2、坡屋面的下檐布置封口梁。

为了生成坡屋面的楼板，坡屋面的下檐应设置封口梁。

有时，坡屋面楼层外沿的封口梁和其下层楼面的封口梁处于同一位置，两者是重合的，它们同时连接下层楼板和坡屋面层的斜板，并同时承担两层楼板传来的荷载。在两层同样位置输入同样的梁，程序如果不作特殊处理，它们只分别承担各自楼层的荷载，这与实际受力情况不相符合。而且同一位置输两根梁将造成结构刚度的重复输入，计算也不准。

但是，如果只在某一层输梁，另一层不输，则缺梁的楼层不能生成楼面檐口处的楼

板，传导不了楼面荷载。

为此，结构计算程序专门设计了对这种上下层同一位置重合梁的荷载合并和删除机制。即把上下两层梁的荷载合并，将它们作用到下层梁上。然后将上层的梁在计算时删除。这种荷载合并和删除机制将保证坡屋面檐口梁结构的正确计算和设计。

对这种坡屋面结构的封口梁处分层输入时，可在下层输入实际尺寸的梁，在坡屋面层输入尺寸为 100*100 的虚梁。坡屋面层封口梁的作用是为了生成坡屋面的屋面板和楼板导荷，由于在封口梁的位置同时存在下层的楼层梁，程序在计算时将仅保留一根梁，所以会自动将上层虚梁上的荷载加到下层楼层梁上。

类似于这种坡屋面上层斜楼板和下层平楼板通过封口梁连接的结构还有体育场看台等。

封口虚梁本身没有设计意义，在设计阶段可忽略。

3、围成斜板的杆件应该共面。

由于建模中房间楼板由梁、墙围成而自动生成，板周边构件共面是指板周的梁、墙顶节点均位于同一空间平面内。

在楼板配筋时对于不共面的斜板仍当做投影在平面上的楼板计算，是否共面对楼板配筋影响不大。但是对于上部结构计算有影响。

上部结构计算程序自动把斜板按照弹性膜计算，但是程序要求板的边界节点尽量共面，对于不共面的斜板，程序有可能无法正确划分单元，从而忽略它的存在，因为不共面的斜板可能导致计算异常。计算模型中斜板的缺失可能达不到设计预想的效果。

在建模过程中建议通过以下几点做法尽量控制斜板顶点的共面：

1）通过上节点高统一调整与节点相连的构件标高。

设置上节点高的对话框中有选择三点确定一个空间平面，从而成批设置上节点高在一个平面内的功能

2）对于一般的矩形斜板，注意同侧节点的标高一致，否则将造成斜板端点不共面而无法正确形成斜板。

3）对于类似坡屋面转角处的复杂情况，如果板周边杆件确实无法共面建模，则可考虑增加虚梁将斜板分成几块共面板分别建模。

4）围成斜板的柱、梁、墙构件的偏心不宜过大。由于在生成计算模型的过程中，对于节点相连的构件存在偏心的情况，节点将遵照一定的规则根据构件偏心进行坐标的调整，使节点尽量位于构件的中心线交点处。对于平板情况，调整顶点的 x，y 坐标并不会影响到板顶点的共面，但对于斜板，则顶点坐标的调整可能造成原先共面的顶点变为不共面，从而造成斜板的丢失。

判断斜板不共面或斜板丢失的方法。

用户在使用软件的过程中，可以通过以下二种方式判断坡屋面或斜坡结构的斜板是否正确生成。

在建模的楼板输入菜单下，通过三维轴测显示方式可以直观的看到楼板的生成效果，共面的斜板可以达到满意的设计效果，但是不共面的斜板则被显示为在楼层标高处的平板。如下图所示，对于斜板不能正常生成的情况一目了然。

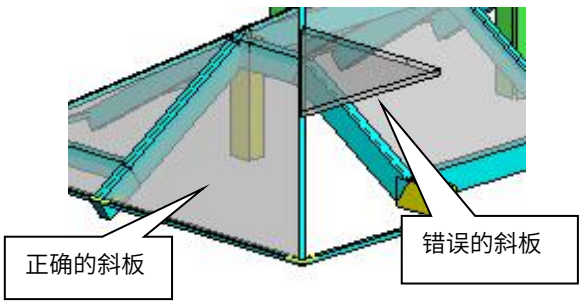


图 5.5.4　正确和错误生成的情况

但由于前文所述的偏心等原因，即使建模中能正常显示的斜板，在计算模型中也可能被判断为不共面而过滤。因此，最直接的方式还是直接在前处理的轴侧简图中观察是否显示出斜板的单元划分结果。

4、在一个楼层内一个房间仅能生成一块对应楼板。

有的模型的分层模型中，出现一个房间上对应了上下两层斜板的情况。例如同一标准层中局部通过增加层间梁建立了两层坡道，但程序仅能生成一个坡道上的斜板，即此建模方式将造成局部斜板的丢失。

当需要在平面内同一位置布置多块板，例如存在夹层等情况时，可使用空间结构的蒙皮功能进行布置，并注意为蒙皮指定其荷载和材料属性。

第六节 剪力墙结构

剪力墙是利用建筑外墙和内墙隔墙位置布置的钢筋混凝土结构墙，竖向荷载在墙体内主要产生向下的压力，侧向力在墙体中产生水平剪力和弯矩，因为这类墙体具有较大的承受水平力（水平剪力）的能力，故被称为剪力墙。高层建筑结构中，剪力墙几乎是必不可少的抗侧力构件。

剪力墙结构的设计包括墙体截面选择和平面布置、承载力计算、边缘构件设计等方面。本部分主要介绍与剪力墙相关的软件处理，如网格划分、内力计算、承载力计算、墙体验算、边缘构件设计等。本部分介绍的内容对框剪结构、框筒结构等各类含有剪力墙构件的结构体系均适用。

一、剪力墙单元划分

1、基本概念

剪力墙在建模时按网格布置，一道网格上只能布置一片墙，可以在墙上布置门洞或窗洞。从几何方面讲，剪力墙有开洞剪力墙和不开洞剪力墙两种，如下图所示。

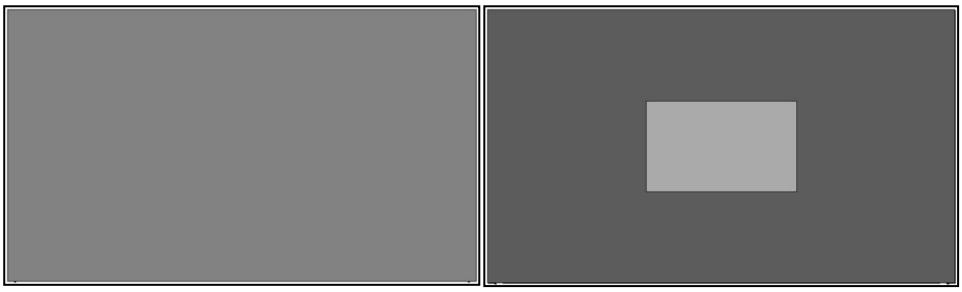


图 5.6.1　典型单片墙的形式

软件对剪力墙自动划分单元，细分成若干小壳元，然后用静力凝聚原理将由于墙元细分而增加的内部自由度相应的刚度凝聚到周边边界各节点上，使用这种方法，既保证了墙元的精度，又减少了出口自由度。

软件用壳元模拟剪力墙的受力状态，壳元既具有平面内刚度，又具有平面外刚度，可以较好地反映墙的实际受力状态。

2、剪力墙单元划分质量

软件对剪力墙自动划分单元，单元划分质量对剪力墙计算结果的精度与准确性影响较大，比较理想的单元状况是：

（1）形状比较丰满，且相邻单元之间尺寸相差不大，形状狭长的矩形效果较差；

（2）三角形单元出现的少，全部或绝大多数为四边形单元较好；

（3）单元尺寸小比大好，将剪力墙单元划分尺寸设置为 1m 左右较好；

软件在自动划分单元时，尽量使上下层之间、左右之间剪力墙边界节点对应相连，即保持变形协调。对于不能协调的节点，采用施加约束方程的方式近似模拟。

3、对剪力墙洞口某些情况的近似处理

（1）忽略小洞

若 B2≤300mm 或 H2≤300mm 或洞口面积小于 0.27m2，则忽略洞口。

（2）修整洞边

若 B1＜180mm 或 B3＜180mm，则相应取 B1＝0 或 B3＝0；

若 H1＜180mm 或 H3＜180mm，则相应取 H1＝0 或 H3＝0。

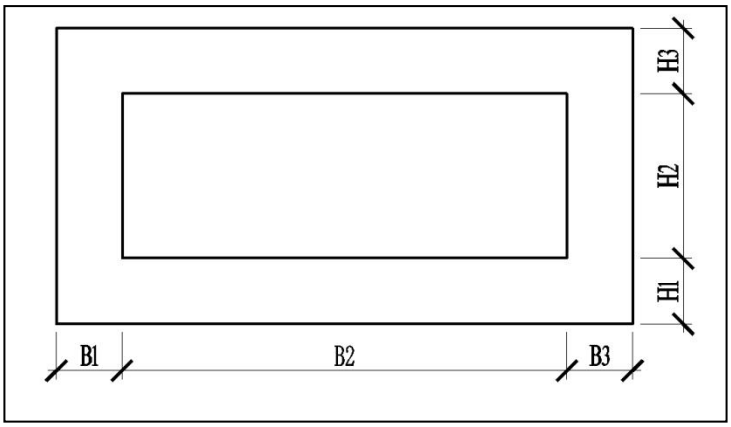


图 5.6.2　剪力墙洞口形式

二、墙柱和墙梁的内力计算

1、墙柱

建模中墙按网格输入，且计算中对每片墙进行网格划分，但是软件对剪力墙的内力和配筋却是以墙柱和墙梁为单位进行的。软件以墙端和洞口边为界，将处于同一直线上的连续墙段作为一个墙柱，例如两片墙或多片墙洞口之间直墙段就是一个墙柱。可通过计算简图查看生成后的墙柱。

对于地下室外墙，多数为挡土墙，无洞口长度较长，软件以网格划分墙柱。

软件取墙柱顶底两个截面作为控制截面，供设计使用。

2、墙梁

墙梁是由上下层洞口间墙形成的受力构件，由于受到洞口及楼板的影响，受力相对复杂。由于墙梁可能由上下两片墙的部分墙元组成，计算内力时，软件自动搜索墙梁边界并进行内力积分，并且在网格划分时自动加密墙梁网格，以得到更精确的计算结果。

墙梁的内力控制截面与梁相同，包含端部截面在内共 9 个控制截面。

三、连梁不同建模方法及软件处理

剪力墙由墙肢和连梁组成。对于连梁用户常采用两种模型输入方式：1、墙上开洞口方式；2、在两墙之间输入普通梁方式。习惯两种建模方式的用户都很多，但是如果程序不加处理两种方式计算差距大，且按普通梁方式有时并不合理，特别是在跨高比较小时。

程序对墙开洞产生的连梁采用壳元计算，对其划分单元并加密处理。这种采用壳单元模型的连梁，与两端的剪力墙协调性较好，计算较符合实际受力。

对于用普通梁输入的连梁，程序根据其两端与墙连接的特点当做连梁处理。但是梁刚度采用一维杆元模型，杆元模型与两端剪力墙通过梁端节点实现变形协调，在杆单元与壳元连接处，如果没有附加约束条件，则杆单元在该节点处转角过大而接近于铰接。因此，程序在处理杆单元与壳元的连接时，通过增加罚单元来近似模拟沿梁高方向的梁、墙之间的协调变形。

由于连梁两种输入方式的计算模型不同，计算结果常有较大差异，为此，程序采用了如下处理方法。

对于用户按照普通梁输入的连梁，程序将跨高比小于等于 5 的梁自动按照壳元计算。

由于高规把跨高比小于等于 5 的连梁定义为连梁，考虑到用壳单元计算连梁更加合理，程序设置了参数：按普通梁输入连梁按墙元计算控制跨高比，隐含为 5。如果用户选择了该参数，程序将自动对该连梁划分单元并按照墙元计算，这样它的计算结果和设计结果和按照墙洞口方式输入的连梁完全相同。

这种处理方式保证了两种输入方式计算的一致性。

同时，程序改进按照普通梁输入的连梁的罚刚度计算，使其与理论解接近。这种处

理是面向跨高比大于 5 的连梁的计算，同样可使两种建模方式结果接近。

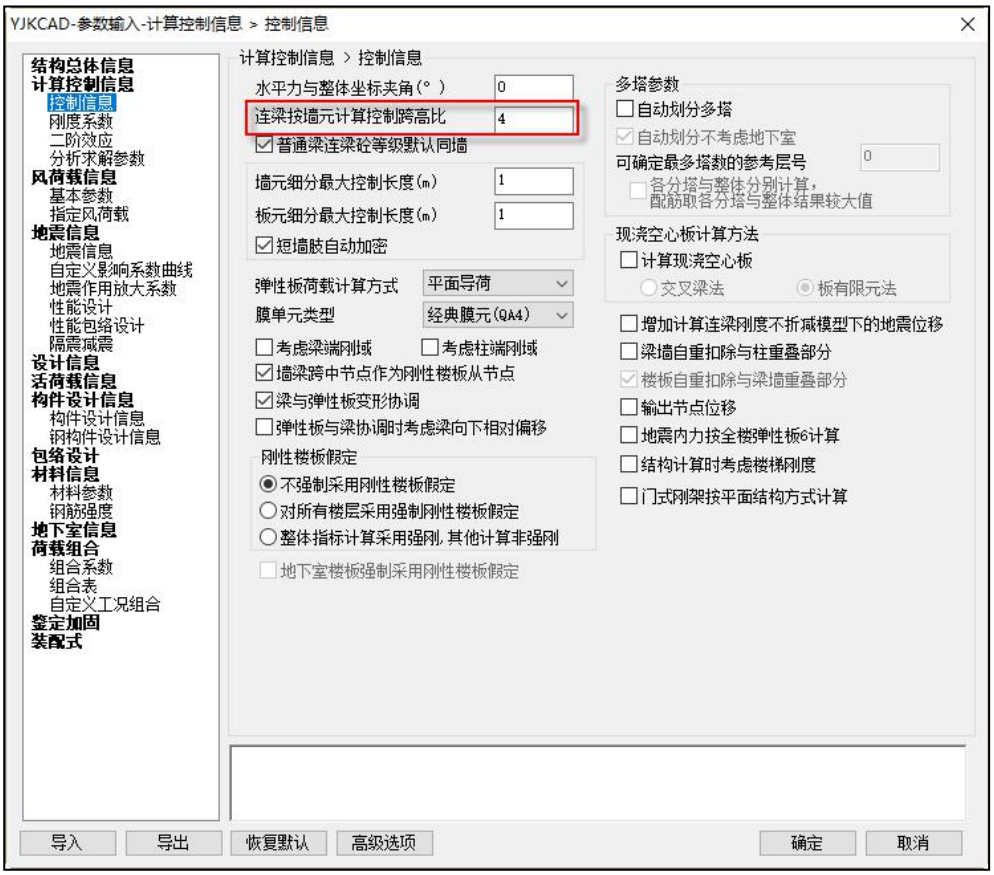


图 5.6.3　连梁按墙元计算控制跨高比

四、剪力墙底部加强区

《抗震规范》6.1.10 条规定：“抗震墙底部加强部位的范围，应符合下列规定：

1、底部加强部位的高度，应从地下室顶板算起。

2、部分框支抗震墙结构的抗震墙，其底部加强部位的高度，可取框支层加框支层以上两层的高度及落地抗震墙总高度的 1/10 二者的较大值。其它结构的抗震墙，房屋高度大于 24m 时，底部加强部位的高度可取底部两层和墙体总高度的 1/10 二者的较大值；房屋高度不大于 24m 时，底部加强部位可取底部一层。

3、当结构计算嵌固端位于地下一层的底板或以下时，底部加强部位尚宜向下延伸到计算嵌固端。”

《高规》10.2.2 条规定：“层的高层建筑结构，其剪力墙底部加强部位的高度应从

地下室顶板算起，宜取至转换层以上两层且不宜小于房屋高度的 1/10。”

《抗震规范》6.1.10 条文说明指出：“有裙房时，按本规范 6.1.3 条的要求，主楼与裙房顶对应的相邻上下层需要加强。此时，加强部位的高度也可以延伸至裙房以上一层。”

软件按照软件规范的相关规定自动确定剪力墙底部加强区的层数，并可以在多塔定义中手工指定底部加强区楼层号：

（1）扣除地下室高度后的总高度的 1/10；

（2）高度>24m 时不小于底部 2 层，否则取 1 层；

（3）有转换层时，取不小于转换层所在层号+2；

（4）有裙房时，取不小于裙房层数+1。

软件设有“剪力墙加强区起算层号”参数，用来控制加强区向下延伸部位用。

对于多塔楼结构，软件自动对各塔进行上述判断并确定各塔的底部加强区层数。

剪力墙底部加强区将影响到抗震等级、剪力墙的控制轴压比、设计内力调整及约束边缘构件的设置等。

五、剪力墙轴压比计算

《高规》7.2.13 对一、二、三级抗震等级剪力墙墙肢轴压比限值做出了规定。

表 7.2.13 剪力墙墙肢轴压比限值

抗震等级	一级（9 度）	一级（6、7、8 度）	二、三级
轴压比限值	0.4	0.5	0.6

《高规》7.2.2-2 条规定：“一、二、三级短肢剪力墙的轴压比、分别不宜大于 0.45、0.50、0.55，一字形截面短肢剪力墙的轴压比限值应相应减少 0.1。”

软件计算墙柱轴压比，并按规范规定验算墙柱轴压比是否超限，超限则给出提示在，轴压比简图中以红色标示。

当结构不计算地震作用时，软件不计算墙肢轴压比。

程序对每根墙柱分别做轴压比计算，即对连续的直线墙肢作为一个墙肢计算其轴压比。对于长宽之比小于等于 5 的墙柱，程序将其并入同节点的其他墙柱合并计算轴压比，

为的是轴力在各墙柱间均匀分布。对于边框柱构件，程序将其轴力和截面积均分到同节点的其他墙柱上，也是共同计算轴压比。对于边框柱含型钢暗柱构件的有利因素也可以考虑。

选择广东高规 2021 时，剪力墙的轴压比采用重力荷载代表值的设计值计算，轴压比限值按表 7.2.9 取值。

六、减少连梁内力或配筋的措施

剪力墙连梁是容易超筋的构件，为此软件根据规范推荐的措施提供如下处理方案：

1、按照分缝连梁设计

《抗震规范》6.4.7 条：“跨高比较小的高连梁，可设水平缝形成双连梁、多连梁或采取其它加强受剪承载力的构造。”

分缝连梁就是对连梁中部全长设置 1 道或几道水平缝，设计人员可在前处理特殊构件定义的连梁菜单下，将某些连梁设置成分缝连梁，并设置为一道缝或多道缝。

分缝连梁抗弯刚度及受力大大减少，可有效避免连梁超筋或截面超限。

2、按照配置斜向交叉钢筋的方式计算连梁钢筋

《砼规》11.7.10 条：“对于一、二级抗震等级的连梁，当跨高比不大于 2.5 时，除普通箍筋外，宜另配置斜向交叉钢筋。”

按照混凝土规范提供的配置交叉斜筋的方式计算连梁钢筋，可比普通方式大大提高连梁的抗剪能力，从而大大减少超筋现象。用户可在前处理特殊构件定义的连梁菜单下，将某些连梁设置成按照这种方式配筋。目前软件支持交叉斜筋、对角斜筋、对角暗撑三种斜筋配筋方式，供设计人员选择。

以上两种措施对于按照墙洞口和按照普通梁输入的连梁都起作用。

七、带边框柱或型钢柱、型钢混凝土柱剪力墙的配筋设计

对于带边框柱剪力墙，有的软件将其边缘构件配筋分两部分计算再叠加，一部分为与边框柱相连的剪力墙暗柱计算配筋量，另一部分为边框柱的计算配筋量，两者相加后再与规范构造要求比较取大值。这样的配筋方式常使配筋量偏大。

本软件对带边框柱剪力墙按照柱和剪力墙组合在一起的方式配筋，即自动将边框柱作为剪力墙的翼缘，按照工形截面或 T 形截面配筋，这样的计算方式更加合理，并可使

边缘构件配筋量大大减少。

程序设计方法如下：

（1）搜索端部是否有边框柱，并记录；

（2）将边框柱单工况内力换算到柱、墙组合后的截面形心上，并与原墙柱内力叠加；

（3）对叠加后的标准内力进行荷载组合，设计内力调整，并按带翼缘墙进行配筋设计。

对带边框柱的剪力墙按带翼缘墙进行设计，更符合柱、墙的实际受力情况，配筋结果也更合理。

由于实际工程中柱的类别、柱与墙的位置关系较复杂，目前软件针对部分特殊情况的考虑如下：

（1）软件只处理墙柱端部有边框柱的情况；

（2）如果墙柱一端有柱、按 T 形截面设计；如果两端有柱、按工字形截面设计；

（3）如果边框柱为钢柱，则必须是墙柱两端均有钢柱才考虑，按型钢混凝土剪力墙的相关公式计算配筋；如果仅一端有钢柱，则按无端柱剪力墙配筋；

（4）如果仅一端有柱，且该柱为型钢混凝土柱，则忽略型钢贡献，按无型钢的混凝土柱处理；

（5）如果两端均为型钢混凝土柱，则按型钢混凝土剪力墙的相关公式计算配筋；

（6）对于型钢混凝土剪力墙的配筋计算，目前软件支持两种选择：《组合结构设计规范》JGJ138-2016、《钢骨混凝土结构技术规程》YB9082-2006。

八、墙体分布钢筋

前处理的参数设置中可定义全楼墙肢的分布筋最小配筋率，还可以提高底部若干层墙肢的最小分布筋配筋率。

规范对于墙体分布筋的最小配筋率要求复杂多样，软件的统一化处理不能完全满足设计要求，为此软件增加单独指定某个墙肢水平最小配筋率及竖向分布筋配筋率的功能，可以满足结构优化设计的需要。

由于剪力墙正截面承载力计算时需要考虑墙肢腹板部分的竖向分布筋，调整墙肢的竖向分布筋配筋率会引起这些墙肢暗柱计算配筋量的变化，合理定义竖向分布筋率可以改善长墙肢的暗柱计算配筋超限问题。

九、墙体验算

1、剪力墙墙体稳定验算

《高规》7.2.1 条规定了剪力墙均应进行稳定验算。《高规》附录 D 对墙体稳定验算做出了具体规定。

D.0.1 剪力墙墙肢截面厚度应满足下式的稳定要求：

$$t_w \geq \sqrt[3]{\frac{10ql_0^2}{E_c}}$$

式中：

q——作用于墙顶组合的等效竖向均布荷载设计值，软件简化取恒+活组合最大的墙顶轴压力设计值与墙肢长度的比值；

Ec——剪力墙混凝土弹性模量；

tw——剪力墙墙肢截面厚度；

l0——剪力墙墙肢计算长度，应按本附录第 D.0.2 条确定。

D.0.2 剪力墙墙肢计算长度应按下式采用：

$$l_0 = \beta h$$

式中：

β——墙肢计算长度系数，按本附录 D.0.3 条确定；

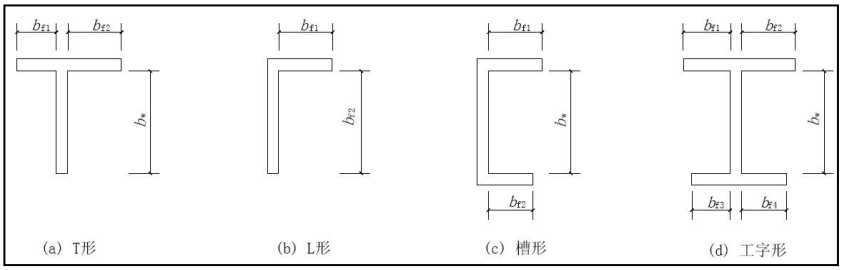
h——墙肢所在楼层的层高，软件取墙肢上下端点的最大高差。

D.0.3 墙肢计算长度系数β应根据墙肢的支承条件按下列规定采用：

1）单片独立墙按两边支承板计算，取β等于 1.0；

2） T 形、L 形、槽形和工字形剪力墙翼缘采用三边支承板计算，当β小于 0.25 时，取 0.25。

$$\beta = \frac{1}{1+\left(\frac{h}{2b_f}\right)^2} \qquad （D.0.3\text{-}1）$$



（a）T 形（b）L 形（c）槽型（d）工字形

图 5.6.4 剪力墙截面显示

3）T 形剪力墙的腹板也按三边支承板计算，但应将公式（D.0.3-1）中的 b_f 代以 b_w。

4）槽形和工字形剪力墙的腹板，采用四边支承板按（D.0.3-2）式计算；当β计算值小于 0.20 时，取 0.20。

$$\beta = \frac{1}{1+\left(\frac{3h}{2b_w}\right)^2} \qquad \text{（D.0.3-2）}$$

D.0.4 当 T 形、L 形、槽形、工字形剪力墙的单侧翼缘截面高度或 T 形剪力墙的腹板截面高度小于截面厚度的 2 倍和 800mm 时，尚宜按下式验算剪力墙的整体稳定：

$$N \le \frac{1.2E_cI}{h^2} \qquad \text{（D.0.4）}$$

软件对所有墙肢依据《高规》附录 D.0.1～D.0.3 的计算方法作了验算，并能区分翼缘与腹板。对于翼缘，软件取单侧翼缘截面高度的大值进行验算。对于不满足稳定要求的墙肢，在超限信息文本文件中予以输出。

对于 D.0.4 条，由于实际工程中墙肢相交形式比较复杂，软件自动判断结果不一定能满足要求。因此，软件不自动进行墙整体稳定验算，而是提供了墙整体稳定验算交互工具，由设计人员选择需要需要进行整体稳定验算的墙肢，软件将对选出的墙肢进行整体稳定验算。

2、剪力墙墙体施工缝抗滑移计算

《高规》7.2.12 对一级抗震设计的剪力墙，给出了进行水平施工缝处的抗滑移验算的规定：

$$V_{wj} \le \frac{1}{\gamma_{RE}}\left(0.6 f_y A_s + 0.8N\right)$$

式中：

Vwj——水平施工缝处考虑地震作用组合的剪力设计值；

As——水平施工缝处剪力墙腹板内竖向分布钢筋和边缘构件中的竖向钢筋总面积（不包括两侧翼墙），以及在墙体中有足够锚固长度的附加竖向插筋面积；

fv——竖向钢筋抗拉强度设计值；

N ——水平施工缝处考虑地震作用组合的不利轴向力设计值，压力取正值，拉力取负值。

当剪力墙墙肢的抗震等级为一级或特一级时，软件自动进行施工缝抗滑移计算，对所有地震组合循环求出同一组合下的 V 和 N，按上述要求进行验算，如果超限则给出超限提示。在计算竖向分布筋面积时，软件估算墙肢暗柱长度，按扣除两端暗柱长度后的范围计算分布筋面积，然后根据暗柱纵筋强度换算分布筋面积进行验算。

如果工程在计算时存在偶然偏心、双向地震和斜交抗侧力附加角度地震作用等其他工况，软件也将考虑这些地震工况组合下的内力，并取大进行验算。

另外根据《高规》10.2.22 条 4 款，程序对托墙转换梁上的墙也自动验算施工缝抗滑移。

十、短肢剪力墙结构设计

1、短肢剪力墙的软件判定

《高规》7.1.8 条规定：“短肢剪力墙是指截面厚度不大于 300mm、各肢截面高度与厚度之比大于 4 但不大于 8 的剪力墙。”

软件可对短肢剪力墙自动判断，判断的方法是：对于 L、T、十字形剪力墙，两个方向的墙肢截面厚度不大于 300mm，且高度与厚度之比均在 4<hw/bw<=8 时，为短肢剪力墙。对于一字形以及 L、T、十字形剪力墙只有一肢在 4<hw/bw<=8，另一肢 4>hw/bw，软件也将他们判断为短肢剪力墙。在以上判断中，墙肢长度的取值，对于 L 型，T 型节点，直接取到正交墙的墙边。

对于三个及以上墙肢相连的剪力墙，如折线型墙、 Z 型墙的腹板墙肢等，软件不自动判断为短肢剪力墙。

对于软件判断得出的短肢剪力墙，可在前处理的特殊墙定义中查看并修改。

2、短肢剪力墙所占比例的判断

《高规》7.1.8 条规定：“抗震设计时，高层建筑结构不应全部采用短肢剪力墙；B 级高度建筑以及抗震设防烈度为 9 度的 A 级高度高层建筑，不宜布置短肢剪力墙，不应采用具有较多短肢剪力墙的剪力墙结构。当采用具有较多短肢剪力墙结构的剪力墙结构时，应符合下列要求：

1 在规定的水平力作用下，短肢剪力墙承担的的底部倾覆力矩不宜大于结构底部总倾覆力矩的 50%。

2 房屋适用高度要降低……”

该条文注说明，具有较多短肢剪力墙结构的剪力墙结构是指，在规定的水平力作用下，短肢剪力墙承担的的底部倾覆力矩不小于结构底部总倾覆力矩的 30%。

为此，软件在计算结果的 wv02q.out 文件中，会给出短肢剪力墙承担的底部倾覆力矩占结构底部总倾覆力矩的百分比。并且当该百分比大于 30%时给出提示：该结构已属于“具有较多短肢剪力墙结构的剪力墙结构”；当该百分比大于 50%时给出提示：该结构“短肢剪力墙承担的的底部倾覆力矩已经大于结构底部总倾覆力矩的 50%，结构布置不合理”。

3、短肢剪力墙轴压比计算

《高规》7.2.2 规定：“一、二、三级短肢剪力墙的轴压比，分别不宜大于 0.45、0.50、0.55，一字形截面短肢剪力墙的轴压比限值应相应减少 0.1；”

软件将对短肢剪力墙按照这条的要求计算轴压比限值，超过限制值在轴压比图中以红色显示。

4、短肢剪力墙的剪力设计值调整

按照《高规》7.2.2 条，软件对短肢剪力墙的底部加强部位按高规 7.2.6 条调整剪力设计值，其它各层一、二、三级时剪力设计值分别乘以增大系数 1.4、1.2 和 1.1。

5、短肢剪力墙全部竖向钢筋的配筋率

《高规》7.2.2 条规定：“短肢剪力墙的全部竖向钢筋的配筋率，底部加强部位一、二级不宜小于 1.2%，三、四级不宜小于 1.0%；其它部位不宜一、二级不宜小于 1.0%，三、四级不宜小于 0.8%。”

软件按照此条控制短肢剪力墙全部竖向钢筋的配筋率。

十一、越层墙

由于结构局部越层或错层形成的越层墙，软件可以进行正确的单元划分和计算。上下两层墙体其变形可以实现连续协调，内力差异也不大。

对于分层建模形成的越层墙，软件一般可以自动判断出该剪力墙的实际高度，在作剪力墙墙体稳定验算时是按墙肢跃层后的实际高度计算的。

十二、剪力墙边缘构件设计

1、边缘构件生成规则

边缘构件实际是墙柱端部的配筋加强部位。当多个墙柱相交时，一个边缘构件可能是由多个墙柱的端部加强部位组合而成。程序按上述思路生成边缘构件：首先确定每个墙柱端部的加强区长度（程序将墙肢端部的加强部位称为边缘构件主肢），然后将这些加强区组合起来生成边缘构件。边缘构件生成的具体过程如下：

读入计算模型墙柱布置信息及各墙柱的轴压比，如果选择了按组合轴压比计算，则此处读入的是组合轴压比。

在每个墙柱端部生成一个边缘构件主肢，并在必要的地方形成边缘构件副肢，各边缘构件柱肢的生成规则如下：

1）首先由墙柱位置、抗震等级及读入的底层墙柱轴压比确定应该在端部生成构造边缘构件主肢还是约束边缘构件主肢。位于底部加强区及其上一层的墙肢，如果对应的底层底截面墙肢轴压比大于《抗规》表 6.4.5-1 的墙肢，其端部生成约束边缘构件主肢；其他情况，墙肢端部生成构造边缘构件主肢；当选择广东高规 2021 时，可不设约束边缘构件最大轴压比限值按 2021 广东高规表 7.2.10 确定。

2）对于构造边缘构件主肢，按《砼规》图 11.7.19 的规定确定主肢长度。对于非正交的墙肢，程序根据规范的要求做了扩展。如果两墙肢端部相交且夹角在 45 度到 135 度之间，则按转角墙（《砼规》图 11.7.19.d）处理。如果一个墙肢端部两侧均有夹角在 45 度到 135 度之间的其他剪力墙，则按翼墙（《砼规》图 11.7.19.c）处理。

3）对于约束边缘构件主肢，按照《砼规》图 11.7.8 及表 11.7.8 确定主肢长度。边缘构件柱肢长度 Lc 由墙肢长度 hw 决定。有翼墙或端柱的情况下，hw 与 Lc 均从翼墙

或端柱的外皮起算。Lc 还与墙肢轴压比有关，此处的轴压比使用边缘构件柱肢所在墙肢的轴压比，位于同一边缘构件的不同主肢，此处使用的轴压比可能不同。

4）约束边缘构件柱肢如果有翼墙或转角墙与之相连，还需按《砼规》图 11.7.18(c)或(d)的要求在翼墙墙肢上补充生成边缘构件副肢。与构造边缘构件类似，程序也对非正交的情况进行了扩展。如果在约束边缘构件柱肢的端部有相交角度在 45 度到 135 度之间的剪力墙，则认为此处是翼墙或转角墙，

5）根据《高规》7.1.6 的规定，如果梁与剪力墙面外相交，则程序会在墙与梁相交的部位生成暗柱柱肢，此暗柱柱肢的长度取墙与梁的边线交点再向左右各延伸一个墙宽。墙与梁的夹角在 45 度到 135 度之间时，认为是面外相交。

所有边缘构件柱肢生成后，将符合柱肢合并条件的柱肢合并起来生成边缘构件。柱肢合并条件为两柱肢阴影区有重叠部分或阴影区距离小于 300mm（此数值可在参数对话框中修改）。对于两个约束边缘构件柱肢，如果λ/2 区有重叠，但是阴影区距离较远不能合并，则程序会将重叠的λ/2 区合并成一个，合并后的λ/2 区的配箍特征值取数值较大的一个。

边缘构件生成之后，将按照平法图集 11G101-1 的相关要求进行命名和编号。边缘构件名称的首字母代表边缘构件的性质，Y 为约束边缘构件，G 为构造边缘构件。边缘构件中只要有一个主肢是约束，则整个边缘构件就是约束边缘构件；否则是构造边缘构件。其后的两个字母统一为 BZ，不再根据形状区分 YZ（翼柱）、JZ（角柱）、AZ（暗柱）或 DZ（端柱）。边缘构件的简称之后跟着此边缘构件的编号，软件对同一自然层的全部边缘构件统一进行编号，不区分边缘构件的性质和形状。

2、边缘构件配筋设计

边缘构件配筋包括纵向钢筋和水平筋两个部分。纵筋应按计算面积和构造面积取大进行设计，水平筋则主要由构造控制。

纵筋计算面积：对于剪力墙墙柱，程序按偏心受压构件计算端部需要的纵向钢筋面积。程序认为纵向分布钢筋沿墙长方向均匀布置，且截面两端对称配筋，按《砼规》6.2.19 提供的公式计算两端的计算面积。边缘构件的纵向钢筋计算面积为属于此边缘构件的全部边缘构件主肢的计算配筋面积之和。边缘构件中包含有边框柱时，计算面积中还要加上边框柱的计算纵筋面积。

纵筋构造面积：对于普通构造边缘构件，构造纵筋面积按《抗规》表 6.4.5-2 获得。对于普通约束边缘构件，构造纵筋面积按《抗规》表 6.4.5-3 获得。根据高规 3.10.5-3，特一级抗震的约束边缘构件纵筋最小构造配筋率为 1.4%，特一级抗震的构造边缘构件最小构造配筋率为 1.2%。这些由程序自动执行。

根据高规 7.2.16-4，对于连体结构、错层结构、以及 B 级高度建筑中的剪力墙，其构造边缘构件的构造配筋率应比普通构造边缘构件提高 0.1%。为此，程序设置了参数：剪力墙构造边缘构件的设计执行《高规》7.2.16-4，由用户控制是否执行。执行该选项将使构造边缘构件配筋量提高。

箍筋构造：按《抗规》表 6.4.5-2，普通构造边缘构件的箍筋构造由最小直径和最大间距控制。特一级的构造边缘构件箍筋构造同一级。约束边缘构件的箍筋构造由配箍特征值控制，具体请参见《抗规》表 6.4.5-3。计算配箍特征值λv 时需要用到轴压比，程序中此轴压比为约束边缘构件中各墙肢轴压比的面积加权平均（λ=Σ（λiAi）/ΣAi，其中λi 为墙柱轴压比，Ai 为墙柱面积）。根据《高规》3.10.5-3，特一级约束边缘构件配箍特征值按一级抗震增大 20%取用，即轴压比≤0.2 时取 0.144，＞0.2 时取 0.24。

根据高规 7.2.16-4，对于连体结构、错层结构、以及 B 级高度建筑中的剪力墙，其构造边缘构件的箍筋除需满足上述构造要求外，还需保证配箍特征值不小于 0.1。和上面的纵筋构造一样，此条由用户选择执行。

《高规》7.2.14-3 规定：“B 级高度建筑的剪力墙宜在约束边缘构件层与构造边缘构件层间设置 1~2 层过渡层，过渡层边缘构件的箍筋配置可低于约束边缘构件的要求，但应高于构造边缘构件的要求”。过渡层由用户指定，程序实现是采用底部加强区的构造边缘构件基本箍筋构造作为过渡层的构造。

当选择广东高规 2021 时，软件按 2021 广东高规表 7.2.11 确定约束边缘构件沿墙肢的长度 lc 及其配箍特征值λv。

3、边缘构件结果输出

软件使用图形方式输出边缘构件的配筋结果。输出的内容包括边缘构件名称、尺寸、纵筋的计算配筋面积、纵筋的构造配筋面积、箍筋的最小体积配箍率、箍筋最小直径和最大间距。

1）构件名称按照平法标准图 11G101-1 给定的规则命名，它由边缘构件类型代号

和边缘构件序号组成。

对于边缘构件代号：用若干字符标示该边缘构件属性，第一个字母用“Y”表示约束边缘构件，用“G”表示构造边缘构件；第二、第三个字符统一为 BZ，后跟边缘构件在自然层中的编号。

2）对边缘构件的尺寸，给出从墙肢外皮到阴影区边界的长度。如果约束边缘构件存在λ/2 区，还会标出λ/2 区的长度。

第七节 多塔结构

一、基本概念

多栋高层通过底部几层体量较大的底盘连接形成的整体结构，称之为“多塔结构”，也可称之为“大底盘多塔结构”。

工程中多塔结构常见的形式有以下三种：

1、由地下室、裙房、塔楼三部分组成，是最为常见的一种多塔结构形式。

2、由地下室、塔楼组成，多个塔楼只通过地下室连成一体，没有裙房。

3、带缝多塔结构，是多塔结构中上部塔楼相隔很近的一种情况，底盘和裙房都不太明显。如上部结构由一条通高伸缩缝分成两部分，通过完整地下室相连，一起组成了带缝多塔结构。

从体型特点看，多塔结构大体上又可分为紧凑型和分散型两种形式：

紧凑型多塔结构，即各塔楼之间距离比较近，或是裙房层数相对较多、裙房部分比较高等。此时如在各塔下采用“45°线分割法”对各塔分割时，各塔剖出的底盘部分会存在相交部分。紧凑型的多塔结构中的各塔的受力状态受其它塔楼影响比较大。

相反，当各个塔楼之间相隔比较远，各塔楼之间相互影响会比较小，此类形式的多塔结构叫做分散型多塔结构。

相比单塔结构，在水平风荷载及地震作用下，由于塔楼的相互干扰及结构本身特殊性，多塔结构计算与分析要复杂得多。

二、规范中的设计要求

《高规》5.1.14 条规定：“对多塔楼结构，宜按整体模型和各塔楼分开的模型分别计算，并采用较不利的结果进行结构设计。当塔楼周边的裙楼超过两跨时，分塔楼模型宜至少附带两跨的裙楼结构。”

三、多塔结构建模

多塔结构的建模方式，按各塔楼是在同一标准层中建成还是在分在若干个标准层中建成，分为共用标准层与广义层两种。

共用标准层方式的多塔结构建模，所有的塔楼平面都在同一标准层中布置完成，且楼层组装顺序是：从下而上逐层组装，直至最高自然层组装完毕；下一层的楼顶标高即是上一层的层底标高，任何楼层都只和层号紧邻的上下层相接。在这种建模约定下所建模型楼层关系比较简单，但是每个标准层内构件众多，要考虑的各塔构件上下连接关系也相应更复杂。

广义层建模主要的特点是：楼层不再限于从下到上的顺序组装，而可以在不同塔号之间任意跳跃组装。每个楼层可能不再仅仅和唯一的上层或唯一的下层相连，而可能上接多层或者下接多层。应用于多塔结构建模时，可以方便的处理各塔之间差异较大的情况。尤其是对各塔层高、体型不一致的多塔结构，采用广义层建模与分析会比较方便。

四、多塔定义的必要性

多塔结构的各个塔在结构上互相分开，即便不在前处理定义为多塔结构，结构有限元计算是完全按照实际各塔分离的模型计算的，仅从周期、位移、恒活内力等方面，是否定义多塔其结果是相同的。但是从规范要求的指标计算、风荷载计算等方面要求是需要定义多塔结构的。

多塔定义就把多塔结构的分开的部分明确划分出一个个塔，并顺序编号，在计算与设计时将区分各塔的属性特征进行。

多塔定义的必要性：多塔结构在整体计算时，必须首先进行多塔定义的操作。这是因为，对于多塔结构风荷载的自动计算、分塔考虑地震作用的偶然偏心等都必须在多塔定义后才能正确进行。另外，各种计算统计指标是需要按照分塔输出的。

当各塔楼是在同一层中布置的方式建模，即共用标准层建模方式建立的多塔结构时，

多塔不划分与划分的差别主要有：

1）风荷载，不划分多塔时把全层范围当做迎风面计算风荷载计算。程序把两个塔中间的分离空间也当做了迎风面，造成风荷载计算偏大；但是当两个塔排列的方向和风荷载相同时，只能计算其中一个塔的迎风面，又造成计算的风力偏小。

划分多塔后各塔分别作为迎风面计算风荷载。

另外，有伸缩缝结构需要作风荷载的遮挡计算，遮挡计算只有在多塔划分后才能进行。

2）强制刚性板假定下的处理不同

如果不做多塔划分，则同一层中的多个塔楼被按照同一个刚性板计算；如果进行了多塔划分，则对各个塔楼分别采用刚性楼板假定计算。

3）地震力偶然偏心的计算，划分后程序分别对各分塔做偶然偏心计算。

4）层统计参数的分塔分层输出，定义多塔以后，分塔分层输出的层统计参数有：

①位移比；

②剪重比；

③刚度比；

④楼层抗剪承载力比；

⑤塔楼为框剪结构时，框架部分柱剪力；框架柱部分的倾覆弯矩所占比例（依据该输出结果按《抗震规范》6.1.3 条第 1 款确定框架部分的抗震等级）；

⑥当结构体系选择短肢剪力墙结构时，每塔楼内柱及短肢墙所承受的倾覆弯矩百分比。

5）程序可自动实现按整体模型和各塔楼分开的模型分别计算

用户可将全部多塔连在一起整体建模，程序可自动实现按整体模型和各塔楼分开的模型分别计算，并采用较不利的结果进行结构设计。这步工作的前提是要完成多塔定义。

程序可对其中的每个塔按照规范的要求自动切分成单个塔，每个分塔各包含底部模型，切分底部模型的范围是塔下 45°范围。然后连续地分别进行各塔的单塔计算和全部多塔连在一起的整体计算，最终对各个单塔配筋设计时采用整体计算和个单塔计算的较

大值。

五、自动定义多塔

人工定义多塔是比较繁琐的工作，特别是对于带缝的多塔结构，由于塔之间相隔很近，很容易出现定义错误。定义多塔后如果又进行了模型调整，这一过程又要重复执行。

多塔定义的自动生成，可以大大提高了用户操作的效率。无论使用共用标准层或广义层的哪一种建模方式，程序都可以完成对多塔中的各分塔的自动划分。在程序计算前处理的参数定义对话框中设置了如下的自动划分多塔参数，可用来对多塔中的各分塔的自动划分。

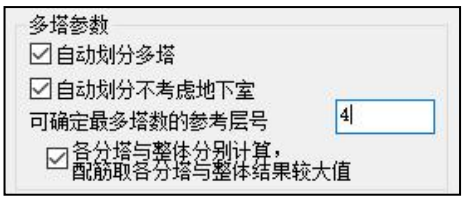


图 5.7.1　多塔参数选项

1、自动定义多塔的原理

对于独立多塔和设缝多塔的上部结构，每层的各塔是一个平面多边形，在塔和塔之间完全分开。每个塔的多边形外围由梁或墙围成，而各塔之间没有墙或梁相连。利用这个特点，软件根据各层梁墙的布置状况，可以自动搜索出由梁墙组成的各个塔单元的最外围轮廓，这个轮廓线就是各个塔的边界线。为了能够将轮廓线上的杆件明确地包含到塔内，软件将轮廓线进行了适当的外扩，目前外扩了 100mm。通过这种机制就实现了多塔的快速自动划分。

由于在一个塔平面内，可能包含着另外一个或多个与周围杆件不相连的闭合多边形区域，如回字形的平面。对于这种情况，在多塔自动生成时将忽略掉内部闭合多边形，并且将这些内部的封闭区域划分到包含它的区域中，整体作为一个塔。

多塔自动生成时，对于延伸出多塔平面的孤立的由墙、梁，只要这些墙、梁与某个塔直接或间接相连，就将它们归入相应的塔内。

平面上常存在未与梁相连，又没有被任何封闭区域包围的孤立柱或孤立的墙，这样的孤立柱或孤立墙通常是结构中的跃层构件。程序可根据与之相临的上下层的杆件信息，

找出它们应归属的塔号。

无论是多塔自动生成还是人工定义，都需要注意：软件通过围区的方法定义每个塔的范围，构件属于某个塔是以其定位节点为准的，所有定位节点都必须属于某一个塔，即不能存在孤立的不属于任何塔的节点，并且每一个节点不能同时属于多个塔，否则，计算会出错。当结构平面构件布置复杂时，可以使用软件提供的“多塔检查”功能对定义的多塔进行检查，以确保多塔定义准确性。如果模型进行了修改，多塔生成必须重新执行，否则会导致多塔信息错误。

2、自动定义多塔的控制

多塔自动定义是根据平面上分离的多边形的数量。实际工程中常见某个塔的上部楼层又分离出 2 个或多个多边形，如顶部设置了多个分离的水箱间、电梯间等。这样的情况不应再按照多塔结构计算。

为此，程序设置了“可确定最多塔数的参考层号”参数。隐含取裙房或者地下室的上一层为自动确定最多塔数的参考层号，该层号可由用户修改。

程序以该层自动划分的塔数作为该结构最终划分的塔数。如果该层以上的某层中又出现了某个塔分离成多个塔的情况，程序仍将这些分离部分当做一个塔来对待。

上面所讲的多塔定义多针对多塔结构按共用标准层方式建模情形。对于按照广义层方式建模的多塔结构，也可以进行多塔的自动定义，但是计算要简单得多。

3、多塔定义的查看和修改

用户可在三维简图上清晰看到程序自动划分多塔或自动分离各分塔的结果，并可人工干预修改。

六、多塔结构的整体计算和分塔计算

《高规》5.1.14 条规定：“对多塔楼结构，宜按整体模型和各塔楼分开的模型分别计算，并采用较不利的结果进行结构设计。”

我们将各塔楼离散开、分别计算称之为“分塔模型”计算。将各个塔楼连同底盘建模成一个整体模型计算称之为“整体模型”计算。这两种计算方式都要采用，缺一不可，因为分塔模型与整体模型有着不同的计算目标或内容，且它们之间互相补充。

对于各个塔的周期比、位移比、剪重比、层间刚度比、层抗剪承载力比等采用分塔

模型计算的结果；

对于处于底盘的地下室、裙房部分应采用整体模型的计算结果；

对于各个塔楼的构件配筋设计，应采用整体模型和分塔模型两者中较大的结果进行设计。

七、程序自动进行整体计算和分塔计算

用户可将全部多塔连在一起整体建模，程序可自动实现按整体模型和各塔楼分开的模型分别计算，并采用较不利的结果进行结构设计。程序可对其中的每个塔按照规范的要求自动切分成单个塔，然后连续地分别进行各塔的单塔计算和全部多塔连在一起的整体计算，最终对各个单塔配筋设计时采用整体计算和个单塔计算的较大值。

具体操作步骤如下：

1、在计算参数中作如下选择

选择自动划分多塔，划分多塔即定义多塔，这是分塔计算的前提。如果结构复杂不易实现多塔定义的自动进行，也可以在多塔菜单中人工划分多塔。

选择自动划分多塔后应继续填写参数“自动划分多塔的起算层号”。程序隐含取裙房或者地下室的上一层为自动划分多塔的起算层号，该层号可由用户修改。程序以该层自动划分的塔数作为该结构最终划分的塔数。如果该层以上的某层中又出现了某个塔分离成多个塔的情况，程序仍将这些分离部分当做一个塔来对待。

选择“各分塔与整体分别计算，配筋取各分塔与整体计算结果较大值”。这样程序将进行各个塔的离散化处理，程序可对其中的每个塔按照规范的要求自动切分成单个塔，每个分塔各包含底部模型，切分底部模型的范围是塔下 45 度范围。

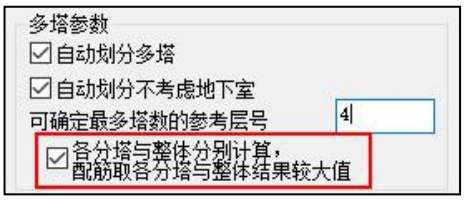


图 5.7.2　分塔与整体分别计算选项

如果不选择该项，则程序只进行整体模型的计算，不作各塔的拆分，也不做各分塔的分别计算。

2、生成数据结束后，可在计算简图菜单下，通过“自动分塔示意”菜单查看软件

自动拆分的多塔模型。

当软件自动拆分出现不合理的情况时，可以回答多塔定义菜单，使用“划分拆分范围”功能指定该塔相关的裙房范围，替换软件自动生成结果。使用时，首先指定相关的楼层号，以及相关的塔号，然后在平面中勾勒出所需的裙房范围即可。

图 5.7.3 划分拆分范围选项

对于连体结构，软件无法正确的自动拆分，该情况亦可以使用此功能，实现有连体多塔的分塔整体包络设计功能。在连体及其上部所有楼层，均围出主塔部分范围（忽略连体部分），即可实现此效果。

3、点取“计算”菜单。此后程序逐个进行各个分塔模型的计算，再进行整体模型的计算，最后对各个塔楼部分的每个构件选取分塔模型和整体模型计算结果的较大值。

程序计算的时间较长，屏幕随时提示正在计算的内容等。

4、查看计算结果

整体计算结果存放在该工程主目录下，各分塔的计算结果存放在该目录的各个分塔的子目录下。程序提供菜单选择查看整体计算结果或者各个分塔的计算结果。

对于各个塔的周期比、位移比、剪重比、层间刚度比、层抗剪承载力比等应查看各分塔模型计算的结果；

对于处于底盘的地下室、裙房部分应查看整体模型的计算结果；

对于各个塔楼的构件配筋设计，既可在整体模型上查看，又可在分塔模型上查看，因为程序对于划分了塔的部分都采用整体模型和分塔模型两者中较大的配筋计算结果，并同时写在整体模型和分塔模型的子目录中。

第八节 带转换层结构

一、结构体系的选择

计算软件的“结构体系”选项中没有专门的转换层结构，在参数设置时，结构体系

应选择“框支剪力墙结构”，此时程序执行《高规》10.2.18 条：“特一、一、二、三级落地剪力墙底部加强部位的弯矩设计值应按墙底截面有地震作用组合的弯矩值乘以增大系数 1.8、1.5、1.3、1.1 采用；”选择该体系与转换梁、框支柱的内力调整无关。

二、转换层所在层号

计算软件中要求输入转换层所在层号，该层号指从结构最底层起算的自然层号（包括地下室），程序没有提供自动识别转换层所在楼层的功能。这里输入转换层层号有以下三个作用：

（1）确定结构底部加强区位置，进一步确定剪力墙边缘构件的配筋。《高规》10.2.2 条规定：“带转换层的高层建筑结构，其剪力墙底部加强部位的高度应从地下室顶板算起，宜取至转换层以上两层且不宜小于房屋高度的 1/10”。输入转换层号，程序可自动判断加强区层数。

（2）根据《高规》附录 E 的规定，转换层在 1、2 层时，其上、下层要满足剪切刚度比的要求；转换层在 2 层以上时，要满足剪弯刚度比的要求。当用户输入的转换层号在 2 层以上时，计算程序将按照剪弯刚度比的算法，计算并输出出转换层上下楼层的刚度比。程序在计算 2 层以上转换的剪弯刚度比时会自动扣除地下室。

（3）自动设置为薄弱层

计算参数中有是否将转换层号自动识别为薄弱层选项，如勾选，则不需在“调整信息”的薄弱层中再输入转换层号。要注意的是对于桁架转换结构，其竖向构件不连续常发生在转换桁架的上、下层，此时应手工输入该层号作为薄弱层。

三、转换梁、框支柱的指定

程序不会根据用户输入的转换层号来自动判断哪根梁是转换梁或者哪根柱是框支柱，转换梁或框支柱是要设计人员自行指定的。指定转换梁、框支柱的内力调整较多，指定后程序可根据规范相关条文自动对其调整，不需用户干预，具体调整系数可见本书相关章节。对于承托墙、柱的梁，包括主次梁转换的主梁和次梁，桁架转换的弦杆都应指定为转换梁。支撑转换梁、桁架、厚板的柱都要指定为框支柱，如转换层在第 3 层，则 1—3 层都要指定框支柱。要说明的是框支柱指定后，程序可按《高规》10.2.17 条根据框支柱根数及所在层数，自动对其进行剪力调整。对框支柱的弯矩及柱端梁（不包括

转换梁）的剪力、弯矩的调整，有时调整系数很大，程序给出控制开关，用户决定是否调整。

四、抗震等级的指定

带转换层的高层建筑结构，其加强区与非加强区剪力墙的抗震等级往往不同，程序中设置了“框支剪力墙结构底部加强区剪力墙抗震等级自动提高一级”选项。使用时，只需在通用的抗震等级定义中输入非加强区的抗震等级，并在此处勾选该项，则程序自动对加强区抗震等级提高一级，无需用户手工修改。

《高规》10.2.6 条规定：“当转换层的位置设置在 3 层及以上时，其框支柱、剪力墙底部加强部位的抗震等级尚宜按本规程表 3.9.3 和表 3.9.4 的规定提高一级采用，已经为特一级时可不再提高。”

当转换层在 3 层及以上时，程序自动对实行了上述操作的加强区剪力墙抗震等级再提高一级。如某 3 层转换的模型按《高规》表 3.9.3 查得非加强区为三级，加强区为二级，又为高位转换，实际加强区应采用一级。此时只要在通用的抗震等级定义中输入非加强区为三级，同时勾选右图选项，则程序自动判断加强区为一级。

《高规》10.2.6 条条文说明中指出，对于底部带有转换层的框架—核心筒结构和外围为密柱框架的筒中筒结构，因其受力情况和抗震性能比部分框支剪力墙结构有利，抗震等级不必提高。目前软件没有执行该条款，即对于转换在 3 层及以上的的框架—核心筒和筒中筒结构，程序仍对其自动提高一级。

以上所述方法均指用户没有手工修改“特殊构件补充定义”中的抗震等级，如用户进行了人工定义，则计算时程序以用户修改为准，不再做任何调整。

五、剪力墙水平和竖向分布筋的指定

规范中对剪力墙竖向和水平分布筋配筋率的规定有以下几条：

《高规》7.2.17 条：“一般剪力墙竖向和水平分布筋的配筋率，一、二、三级抗震设计时均不应小于 0.25%，四级抗震设计和非抗震设计时均不应小于 0.20%；”

《高规》10.2.19 条：“部分框支剪力墙结构，剪力墙底部加强部位墙体的水平和竖向分布钢筋最小配筋率，抗震设计时不应小于 0.3%，非抗震设计时不应小于 0.25%；”

《高规》3.10.5 条：“当剪力墙为特一级时，一般部位的水平和竖向分布钢筋最小

配筋率应取为 0.35%，底部加强部位的水平和竖向分布钢筋的最小配筋率应取为 0.4%；”

可见，水平和竖向分布筋配筋率要满足规范的要求。同时竖向分布筋配筋率还会影响暗柱的配筋。为方便实现上述条文，程序中完善了分布筋配筋率的指定功能，即在设计参数中设置了四个选项，分别是“墙竖向分布筋配筋率”、“墙水平分布筋最小配筋率”，“结构底部需单独指定竖向分布筋配筋率及层数”和“结构底部需单独指定水平分布筋配筋率及层数”。前两参数用于一般剪力墙结构或者结构上下配筋率不一致时非加强区配筋率的指定；后两参数用于上下配筋率不一致时单独指定加强区的配筋率。

同时在“特殊墙”中加入单独指定某片墙的竖向分布筋配筋率的功能，方便用户对墙的单独修改。

另外，《广东规程》10.2.4 规定：“混合结构的筒体加强部位剪力墙分布筋最小配筋率不小于 0.6%，一般部位不小于 0.3%”。也可通过上述命令实现。

六、弹性楼板的设置

用户一般应将指定为转换层的楼层全层设置为弹性膜或者弹性板 6。弹性膜即楼板平面内按真实刚度考虑，平面外不考虑其刚度（刚度为 0），弹性板 6 是既考虑面内刚度，又考虑面外刚度。

设置为弹性膜或弹性板 6 的主要目的是：可以计算出转换梁的轴力。一般转换梁除承受弯矩外，还承受较大的拉力，如未设置弹性楼板（即默认的刚性楼板），无法计算出转换梁(包括普通梁)的轴力，无法按照偏拉构件配筋，可能导致转换梁配筋不足。设置弹性板时，程序仍然会自动考虑中梁和边梁的刚度放大系数。

设置弹性板 6 的作用是可以考虑楼板的面外刚度，使梁与板协同工作，从而减少梁的弯矩和配筋，起到优化设计的效果。

七、薄弱层的指定和判断

规范规定，有三种情况可以认为该楼层为薄弱层，即相邻楼层的层刚度比过小、抗剪承载力比过小和楼层竖向抗侧力构件不连续。转换层一般属于竖向抗侧力构件不连续，为薄弱层，地震剪力应乘以 1.25 的增大系数(用户可修改该参数)。

楼层受剪承载力不满足产生的薄弱层需人工指定。对层刚度比产生的薄弱层程序会

自动判断，即只要程序判定该层为相邻层刚度比不满足要求，就会对该层地震剪力标准值放大。如果某层既被人工指定为薄弱层，又被程序自动判断为刚度比不满足要求的薄弱层，则程序对该层地震剪力标准值只放大一次，而不会重复放大。

八、转换层结构模拟施工次序的定义

对于转换层结构，通常其转换层与其上几层同时施工、同时拆除模板。当用户选择了施工模拟 3 时，程序隐含设置的楼层施工次序，将把转换层与其上 2 层设置为同一施工次序。如某 3 层为转换层的结构，程序自动将 3 至 5 层设置为同一个施工次序。

九、转换梁的计算及与上层墙的各种连接

1、采用细分壳元计算转换梁

如果使用梁单元计算转换梁，计算模型将把转换梁的中性轴与剪力墙的下边缘变形协调；而实际的情况是转换梁的上表面与剪力墙的下边缘变形协调。因此用梁单元计算转换梁不能真实反映转换梁的刚度，将使转换梁的计算刚度偏小很多。

有的程序为了弥补这样的缺陷，让用户输入托墙梁刚度放大系数，但是这个放大系数取多少很难把握。

本程序对转换梁按照和剪力墙同样的壳元计算，程序对转换梁也自动划分单元，并使细分的单元和上部承托的剪力墙单元保持协调。对于转换梁这种受力复杂的构件采用细分的有限元方法应该更合理，同时保证了转换梁的上表面与剪力墙的下边缘变形协调。

用户在前处理的有限单元划分图上，可以看到程序把转换梁当做一段墙处理，该墙的长、高、厚度同梁的长度、梁高和梁宽，该部分单元划分的密度比剪力墙大些，与转换梁相连的转换柱被划分的单元细分，以便协调。

2、转换梁与上层同一轴线的偏心剪力墙的处理

转换梁上承托的剪力墙常与转换梁之间存在较大的偏心。

对于转换梁上托的偏心墙，最常用的方法是使用偏心命令建模，即上部几层或几十层剪力墙偏心于转换梁，两者共用一根轴线。轴线位于转换梁中线而上层墙有偏心，或者是转换梁偏心于轴线，上层剪力墙不偏心。

由于转换梁被当做墙元计算，程序对转换梁与上层墙之间的偏心的处理与上下层墙有偏心时的处理相同，即上下层墙各自位于自己的中和轴位置并保持垂直，在上下细分

墙元之间设置偏心刚域，用偏心刚域准确计算上下之间的偏心状况。

用户在前处理的有限单元划分图上，可以看到上下的偏心通过各个细分单元下红色的偏心刚域传递连接的情况。

3、转换梁与上层不同轴线剪力墙的处理

如果上部剪力墙偏心较多，或者梁墙共用一根轴线不方便，此时转换梁与墙均有各自独立的轴线。

这种情况下要求用户将上层墙的轴线拷贝到本层，并在墙轴线和转换梁轴线之间，隔一段距离（2 米左右即可）增加刚性梁的连接。刚性梁设置在建模中完成，截面尺寸定义为 100mm×100mm 或其他大小均可，关键是材料类别要选择“刚性杆”。它的轴线一般垂直于转换梁，且应沿梁轴线方向均匀布置。计算程序对这种刚性梁并不按照刚性梁计算，而是自动按照刚性连接计算，保证上层墙的力传到转换梁上。

同时为了避免提示上层墙的悬空，在上层墙下的本层位置输入一段托墙梁，该梁尺寸 100mm×100mm 或者任意，但不要是刚性梁，因为程序要计算转换梁的拉力，如果在梁的长度方向有刚性梁不仅求不出拉力，还可能导致计算出错。

用户在前处理的有限单元划分图上，可以看到与梁不在同一轴线布置、但在梁宽范围内的上层墙通过各个细分单元下红色的偏心刚域传递连接的情况。

4、托两片偏心墙的建模

工程中常见转换梁上托两片剪力墙的情况，如处在伸缩缝处的剪力墙，两片墙一般平行放置。此时，可以使其中一片墙和转换梁同轴线，另一片墙另设一根轴线布置；或者上面的两片墙都有自己独立的轴线，与转换梁都不同轴。

按照上文所述，不管上层墙是否与转换梁同轴线，上层剪力墙都可以通过偏心刚域与下面的转换梁连接，转换梁上托两片剪力墙时，就是有两片墙同时通过偏心刚域与下层梁连接，程序都可以正确计算处理。

5、转换梁上层墙的布置方向与转换梁垂直或相交的情况

将这样的墙的轴线拷贝到本层，并在轴线上布置 100mm×100mm 的刚性梁或虚梁即可。程序遇到这种情况会自动将上层墙与转换梁按照刚性连接计算。

6、转换梁建模和计算前处理中的常见问题

转换梁截面尺寸大，由于要适应上层灵活的住宅布置被本层其它梁或上层墙打断成几段。支撑转换梁的柱截面尺寸也很大，经常出现多节点柱。在垂直转换梁轴线方向上常为支撑上部短墙而布置短梁。

1）特殊构件定义转换梁时，对于两柱之间形成多段的转换梁的每一段都应设置为转换梁，不能遗漏，对于部分进入大截面柱内的短的梁段也不能遗漏，否则转换梁转换的墙元不能连续地跨越柱间的整个跨度。

对于搭接到转换梁的次梁转换梁，也应保持连续。

总之转换梁必须两端和柱或其它转换梁相连，不能形成悬挑的状态。

应注意在计算简图的轴测简图上审核转换梁转化成壳元的状况。

2）不应把 100mm×100mm 的虚梁定义为转换梁。

3）对于转换梁轴线垂直方向或其它方向上为支撑上部短墙而布置的短梁，可设置成 100mm×100mm 的刚性梁，但是在转换梁轴线方向上托墙梁不应设置为刚性梁，否则算不出转换梁的轴向力。

4）对于转换梁的全部进入大截面柱内的梁段，如果没能定义成转换梁，程序在梁顶、底设置两根刚性杆与柱相接。

5）当转换梁轴线下同时布置剪力墙时，该剪力墙段上的转换梁不应再定义为转换梁，此时转换梁将直接支撑在剪力墙上。否则转化成壳元的转换梁和其下的剪力墙将难以协调。

第九节 地下室结构

一、地下室和上部结构整体建模共同计算

一般应将地下室和其上的上部结构各层共同建立完整的计算模型进行计算分析。上部结构和地下室组成一个承力体系，具有共同的位移场，相互协调变形。共同作用分析可以较准确地得到上部结构对地下室变形的影响，同样也可以较准确地反映地下室结构的变形对上部结构的影响。一般情况下地下室结构的位移对上部结构的水平位移以及受

力状态都有影响，因此需要考虑地下室回填土的侧向约束对整体结构水平位移的影响；地下室楼层刚度通常都比较大。另外，规范对于地下室的很多要求、地下室本身的计算等常需要在整体模型中得到体现。

二、地下室的计算参数

将地下室建入整体模型后，需要在计算参数的几处设置地下室相关的参数：一是在结构总体信息页中设置地下室层数、嵌固端所在层号；二是在计算控制信息页中填写地下室是否按照刚性楼板假定计算；三是在地下室信息页填写地下室回填土的侧向约束、侧向水土压力等地下室相关参数。

1、结构总体信息页

嵌固端所在层号一般和地下室层数相同，但是当地下室的刚度不够大、不能起到嵌固作用时，可能比地下室层数小。嵌固端所在层号影响底层柱截面调整、地下室顶梁调整、刚度比控制等。

在楼层组装时，应正确输入地下室各层的底标高，对于顶层地下室顶板处应设置为 0 标高。程序可根据用户输入的地下室层数，给出每层的层名称，如地下 1 层、地下 2 层等，以及地上 1 层、地上 2 层等。这些信息的输入还有助于基础部分的设计。

2、计算控制信息页

这里设置有选项：地下室是否按照刚性楼板假定计算，程序隐含将地下室部分的各层按照强制刚性板假定计算。

有的地下室结构不适合按照强制刚性板假定计算的地下室层，如板柱结构的地下室层，刚性板假定计算时不能考虑楼板的面外刚度，将使柱承受的力大很多，这与实际不符。此时可将这样的楼层设置为弹性楼板 3，并在此处的选项中取消对地下室按照强制刚性板假定计算。

3、地下室信息页

这是有关地下室计算的重要参数，主要填写“土层水平抗力系数的比例系数（m 值）。

m 值可按《建筑桩基技术规范》（JGJ94-2008）表 5.7.5 中取值。同时在对话框中程序给出 m 值的常见取值范围。

地下室部分特殊的荷载就是地下室外墙的侧向土水压力。程序假定侧土压力沿地下室外墙高度方向线性分布。在计算参数的地下室部分输入土、水压力参数。

地下室外墙由程序自动判断，并可由用户补充修改，程序根据定义的侧土水压力计算地下室外墙的平面外弯矩。

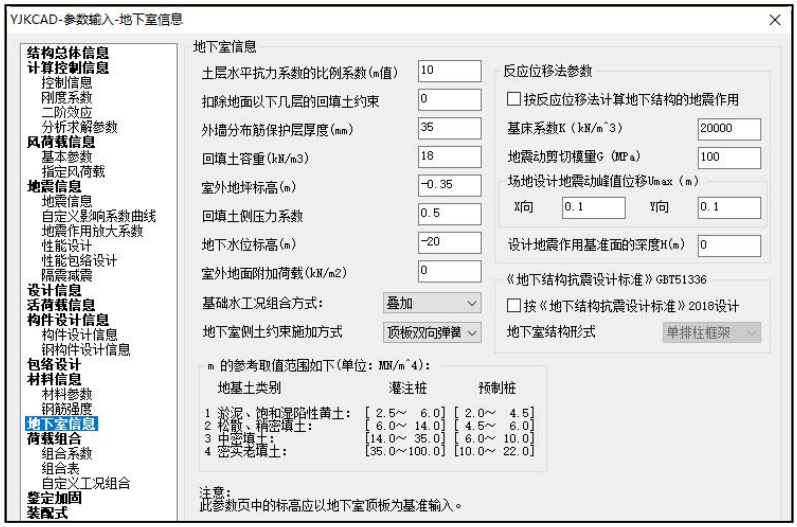
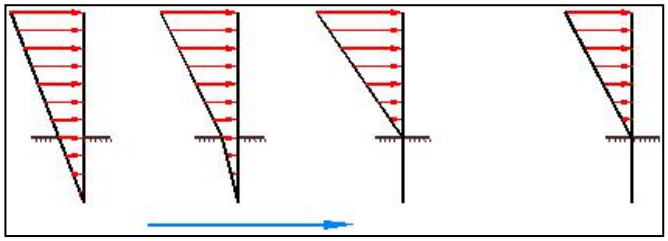


图 5.9.1　地下室信息

三、水平荷载的作用

计算软件假定地震加速度作用位置在模型最底部，根据振型分解反应谱法，将地震加速度的作用等效成作用在包括地下室结构的各层楼面处的地震力。

地下室各层地震反应力的大小与地下室的侧向约束相关。当地下室侧向约束越大，地下室结构的水平位移变小，因此地震反应力也会越小。



地震力随地下室侧向约束增大变化风荷载的作用（与侧向约束无关）

图 5.9.2　地下室侧向约束对地震力的影响

对于风荷载的计算，程序自动考虑：1、地下室部分的基本风压为零；2、在地上部分的风荷载计算中，自动扣除地下室部分的高度，地下室顶板作为风压高度变化系数的

起算点。结构在风荷载作用下的反应（位移、内力），也受地下室回填土侧向约束大小的影响。

四、回填土对地下室侧向约束的计算

回填土对地下室侧向约束的大小与基坑开挖方式、地下室外侧土质、室外地坪上的荷载等因素相关。

程序采用“土层水平抗力系数的比例系数（m 值）”来考虑回填土对地下室的侧向约束，m 值可按《建筑桩基技术规范》（JGJ94-2008）表 5.7.5 中灌注桩类型的 m 取值。m 的取值范围一般在 2.5——100 之间，在少数情况的中密、密实的沙砾、碎石类土取值可达 100-300。该附加刚度与地下室结构刚度无关，而与土的性质有关，便于用户填写掌握。

用 m 值求出的地下室侧向刚度约束呈三角形分布，在地下室顶层处为 0，并随深度增加而增加。

当用户认为回填土对地下室完全嵌固时，可填入一个负数“-m”，（m 小于或等于地下室层数 Mbase），如某模型有 3 层地下室，且填入-3，则 3 层地下室的水平向位移和绕竖轴转角为零，达到侧向嵌固的目的

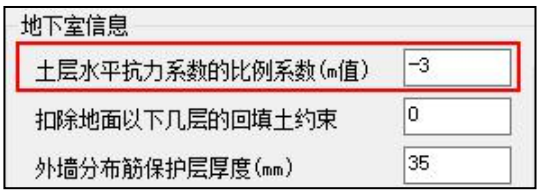


图 5.9.3 土层水平抗力系数的比例系数（M 值）

要区分的是，这里的嵌固只限制地下室的水平自由度和绕竖轴的扭转自由度，对其他三个自由度没有限制。

对侧向非完全嵌固的情况，可输入一个正的 m 值。程序对回填土的侧向约束用附加在地下室的侧向刚度来表示。当约束越大，附加的刚度也越大，反映在结构上的变形越小。

五、地下室抗震设计

1、地下室抗震等级

《抗规》6.1.3 条：“当地下室顶板作为上部结构的嵌固部位时，地下一层的抗震等

级应与上部结构相同，地下一层以下抗震构造措施的抗震等级可逐层降低一级，但不应低于四级。地下室中无上部结构的部分，抗震构造措施的抗震等级可根据具体情况采用三级或四级。”

在《抗规》6.1.3 条的条文说明中写道：“关于地下室的抗震等级。。。。地面以下地震响应逐渐减小，规定地下一层的抗震等级不能降低；而地下一层以下不要求计算地震作用，规定其抗震构造措施的抗震等级可逐层降低。”

程序对于该条文自动处理。程序将嵌固端所在层号当做地下一层，并对嵌固端所在层号的抗震等级不降低。

如果嵌固端层以下还设置了地下室，则程序对于嵌固端所在层号以下的各层的抗震等级和抗震构造措施的抗震等级分别自动设置：对于抗震等级自动设置为四级抗震等级，对于抗震构造措施的抗震等级逐层降低一级，但不低于四级。

2、抗震构造要求

按照《抗规》6.1.14 条和《高规》12.2.1 条，自动将嵌固端层的柱纵向钢筋增大 10%，梁端顶底截面钢筋增大 10%。

3、底层内力调整和剪力墙加强区判断

《抗规》6.2.3 条：“一、二、三、四级框架结构的底层，柱下端截面组合的弯矩设计值，应分别乘以增大系数 1.7、1.5、1.3 和 1.2。底层柱纵向钢筋应按上下端的不利情况配置。”

程序对嵌固端所在层号以上的首层柱底及地下室底层柱底截面弯矩设计值，均按规范的“底层柱下端截面组合的弯矩设计值”的要求，进行调整。

在进行最小剪重比调整时，程序把地下室部分扣除，即从地上一层开始自动放大地震作用。

4、反应位移法的计算

软件在地下室参数中提供反应位移法的计算选项，可按《城市轨道交通结构抗震设计规范》(GB50909-2014)中反应位移法相关条款对地下结构的地震作用进行计算。

勾选选项后，软件对于地下室部分，将通过输入的地震位移参数（x,y 两方向的 Umax）计算得到的等效荷载加在模型上，按静力工况进行计算。反应位移法的地震作用工况，独立于反应谱以及自定义地震工况。

目前等效荷载分为两组。第一组荷载为各工况下土对地下结构外墙的侧向推力，按墙面外荷载方式加载在超单元内的各单元上；第二组荷载为地下结构顶部受土的剪应力。目前剪应力的加载方式，也是按弹性板内部单元的单元荷载加载，因此要将结构顶板均设置为弹性板 6 或弹性膜。

六、地下室外墙设计

1、地下室外墙的定义

程序自动搜索地下室外墙，用户也可在特殊构件定义菜单下指定地下室外墙或取消地下室外墙定义。程序对没有定义为地下室外墙的剪力墙不进行土水侧压力作用的计算。

《高规》JGJ3-201012.2.5 条：“高层建筑地下室外墙设计应满足土压力及地面荷载侧压作用下承载力要求，其竖向和水平分布钢筋应双层双向布置，间距不宜大于 150mm，配筋率不宜小于 0.3%。”

程序对于定义了地下室外墙的的墙段自动按照下节所述的计算方法；并自动将其竖向分布钢筋的配筋率设置为不小于 0.3%；同时在配筋计算时控制其水平分布筋配筋率不小于 0.3%；在剪力墙施工图绘制中，对于地下室外墙控制其水平和竖向分布筋的间距不大于 150mm。

2、将剪力墙承受的面外荷载直接加到上部结构整体计算模型计算

下图为水土压力的计算简图，水土压力沿楼层高度为梯形（或三角形）分布。

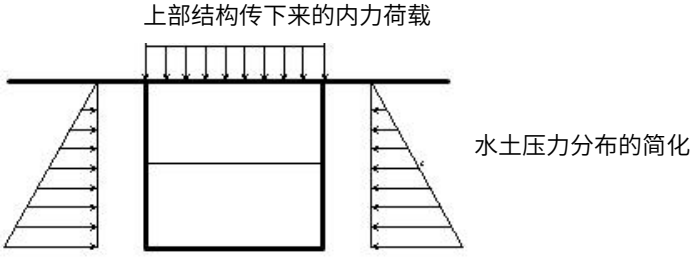


图 5.9.4 水土压力的计算简图

软件的有限元计算可以计算剪力墙承受面外荷载，因此程序将剪力墙承受的面外荷载直接加到上部结构整体计算模型计算。这样，在上部结构计算中既能考虑这些墙的面外荷载对于整体计算的影响，又能在墙的有限元分析中得出墙的面外弯矩。

在计算简图中，可以表示墙的面外荷载的情况，从图中可以看出，墙的面外荷载是直接施加到墙面内的各个单元节点上的。

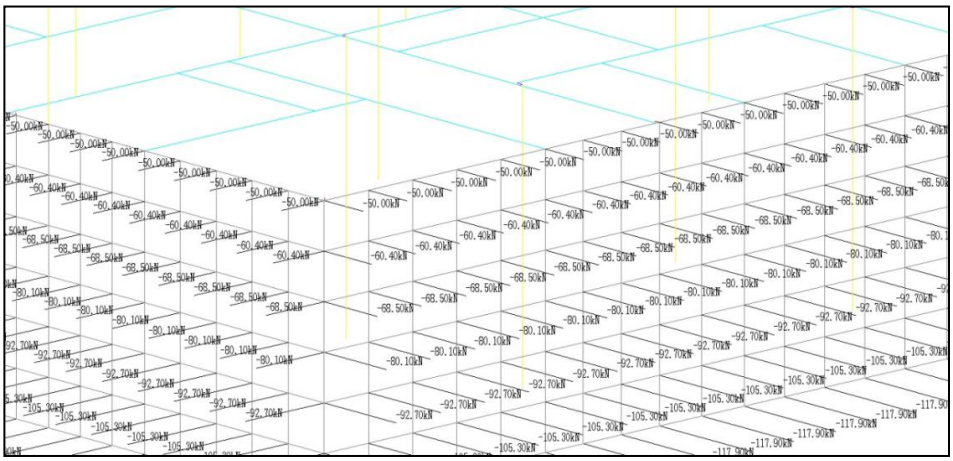


图 5.9.5 面外荷载的计算简图

如果在计算参数中勾选了“生成绘等值线用节点应力数据”，则可在计算结果的“等值线”菜单下查看每一片剪力墙在各个荷载工况下的内力等值线图。下图即是地下室外墙在水土压力下的面外弯矩等值线图，在它的各个单元节点上可标出弯矩的数值。

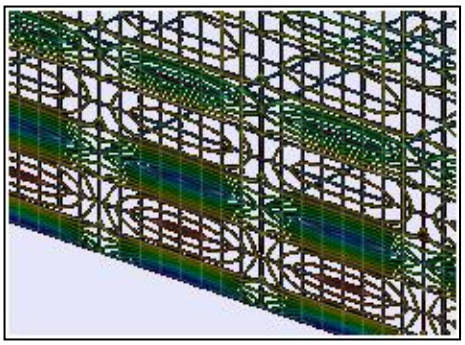


图 5.9.6 地下室外墙弯矩等值线图

3、在配筋结果文件中对地下室外墙补充输出竖向及水平分布筋的计算结果

在各层配筋结果文件中，如果某墙柱是承受了水土压力或人防荷载的地下室外墙，则在原有内容之外补充“面外设计结果”，输出了墙的竖向分布钢筋和水平分布钢筋的双侧最大配筋面积，同时给出控制的面外弯矩、轴力和组合号。

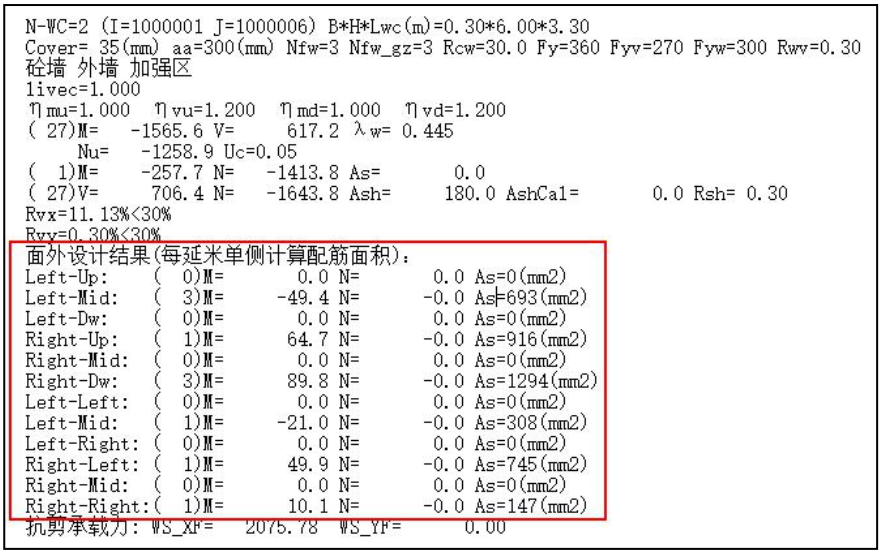


图 5.9.7 面外设计结果

七、人防地下室设计

地下室常布置有人防荷载工况，人防荷载的计算技术条件详见“荷载”一节。

第十节 次梁

次梁是在房间内的梁，它不和框架柱连接，一般以其它梁或墙作为支座。在本程序中，提供两种次梁的输入方式：方式 1 按“梁”菜单输入和方式 2 按“次梁”菜单输入。

程序提供方式 2 按“次梁”菜单输入次梁，是为了适应某些地方的设计习惯，特别是工业建筑的设计习惯。这样的次梁建模可以有效地减少梁的根数，减少网格、节点的数量，减少房间的数量，有效避开程序容量方面的限制，同时大大提高程序的运行速度和效率。次梁建模的设计结果同样可以满足要求。

我们把支承次梁搭接的梁称为主梁。

次梁计算的作用之一是在各层荷载导算中将支座反力作为支撑次梁的主梁的外荷载，由于次梁本身的计算和次梁荷载导算采用同一个计算过程和模型，避免了次梁导算荷载和次梁本身内力不一致的矛盾现象。

一、按照次梁菜单输入次梁的计算模型

程序对于按照次梁输入梁，不再设置单独的次梁计算菜单。

程序对这样的次梁只作恒载、活载下的内力配筋计算。

次梁的计算模型是：各层分别计算，采用以主梁或墙为竖向不动的支座的次梁交叉梁系计算模型，这样的计算模型比传统上的按照一根根次梁连续梁计算的模型更加合理。

主梁或墙是次梁的竖向不动支座，次梁在两支座之间形成一跨。同一直线上的各跨次梁连接形成次梁连续梁。

单跨次梁两端按照铰接计算，多跨次梁的端跨也按照铰接计算。

多跨连续梁的中间跨，对于混凝土结构次梁按照与其它跨刚性连接计算，但对于钢结构次梁按照两端铰接计算。

在房间内，次梁与其它次梁之间按照刚接连接计算。

次梁计算是在建模结束时的平面荷载导算时进行的。对于设置了次梁的房间，楼面荷载的导算先在次梁围成的房间进行；导算后得到各跨次梁上的荷载分布，接着把全层次梁统一组织成平面交叉梁系，它们以以主梁或墙为竖向不动的支座，程序按照这样的模型进行次梁计算和截面配筋设计。

次梁计算后，还得到作用于主梁或墙的支座反力，该反力将成为主梁或墙上的外荷载，参与上部结构的整体计算。

次梁的计算结果和其它梁一起显示输出，都在上部结构计算的计算结果简图中显示。

二、两种计算模式的比较

方式 1 按“梁”菜单输入和方式 2 按“次梁”菜单输入，程序在建模、计算、施工图设计等方面都有不同的处理规则，主要表现在以下几方面：

1、网格划分不同

方式 1 按“梁”菜单输入：

程序会在所有次梁相交处形成节点，这样就会在模型中形成大量的无柱节点，原本为一根整梁的主梁会被分割成许多小梁段，整个结构的节点数与梁个数会增加很多；另外如果主梁被打断太多，可能形成局部短梁，造成梁的内力计算产生误差。

结构模型中房间的划分是按梁和墙围成的封闭单元进行的，按方式 1 按“梁”菜单

输入也会造成房间的数量过多。房间过多对以后按房间布置的杆件的输入可能不方便，如布置预制楼板、洞口、楼面荷载、楼板配筋等，梁的数量多计算耗时将比方式 2 按“次梁”菜单输入多很多。

方式 2 按“次梁”菜单输入：

次梁与次梁相交处不会形成节点，次梁在主次梁相交处被分割，主梁不被分割，主梁成为次梁的支座；另外，次梁也不参与房间的划分。这样，模型的杆件、节点与房间数量会大大减少。

2、荷载布置不同

方式 1 按“梁”菜单输入：在“梁间荷载”菜单中进行梁荷布置。

方式 2 按“次梁”菜单输入：在“次梁荷载”菜单中进行梁荷布置，荷载类型与主梁相同。

3、楼面荷载导算方式不同

作用于楼板上的恒活荷载是以房间为单元传导的。

方式 1 按“梁”菜单输入：主梁作为划分房间的构件，楼板荷载将直接传导到周边梁上。

方式 2 按“次梁”菜单输入：该房间楼板荷载被次梁分隔成若干板块，楼板荷载先传导到次梁上，再以主梁为支座，通过对全层次梁交叉梁系分析，把计算结果中各个次梁的支座反力加到主梁，由此主梁将得到由次梁围成区块传来的线荷载和次梁集中力。

两种导荷方式的结构总荷载相同，只是荷载分布会稍有差异。

4、计算模型不同

方式 1 按“梁”菜单输入：

在空间整体计算时，次梁和主梁一起完成结构整体分析与内力计算，其主要特征是次梁交在主梁的支座是弹性支座，有竖向位移和转角，主梁和次梁之间是互为支座的关系。

由于方式 1 按“梁”菜单输入的次梁与主梁为刚接连接，主次梁之间不仅传递竖向力，还传递弯矩和扭矩，特别是端跨处的次梁和主梁间这种固端连接对内力的影响更大。设计人员可对这种程序隐含的连接方式人工指定为铰接。

这样输入的次梁参与水平荷载（包括水平地震作用和风载作用）作用下的结构计算，

参与考虑水平荷载作用的内力组合。

方式 2 按“次梁”菜单输入：

程序对次梁采用各层交叉梁系分别计算的简单计算模型，它们以主梁为竖向不动的支座。在各层结果输出中次梁计算结果也和其他构件一起表达。

按“次梁”菜单输入时，主次梁相交节点只传递竖向力，不传递弯矩和扭矩，对于其端跨支座计算弯矩一定为 0.0，且这样输入的次梁不能修改支座条件。由于现浇混凝土结构不存在真正意义上的铰，因此，平法施工图程序对于端跨支座处次梁梁端上部配置了构造纵筋，配筋量不小于 25%梁跨中计算配筋量。

此时程序只对次梁作恒载和活载作用下的计算，不作其它荷载计算。

程序中，次梁的交叉梁系计算在前处理中进行，它的支座反力形成主梁的外荷载。次梁计算结果和主梁一起在后处理相关菜单输出。

第六章 内力调整和内力组合

第一节 地震作用内力调整

一、薄弱层地震内力调整

《抗震规范》3.4.4-2 条规定：“平面规则而竖向不规则的建筑，应采用空间结构计算模型，刚度小的楼层的地震剪力应乘以不小于 1.15 的增大系数。”

《高规》3.5.8 条规定：“侧向刚度变化、承载力变化、竖向抗侧力构件连续性不符合本规程第 3.5.2、3.5.3、3.5.4 条要求的楼层，其对应于地震作用标准值的剪力应乘以 1.25 的增大系数。”

软件提供“薄弱层地震内力放大系数”，由设计人员确定放大系数，默认为 1.25。

对于薄弱层的判断，软件按照《高规》3.5.2 条执行，区分框架结构和非框架结构。

```
   ************************************************************
          各层刚心、偏心率、相邻层侧移刚度比等计算信息
Floor No      : 层号
Tower No      : 塔号
Xstif, Ystif : 刚心的 X, Y 坐标值
Alf           : 层刚性主轴的方向
Xmass, Ymass : 质心的 X, Y 坐标值
Gmass         : 总质量
Eex, Eey      : X, Y 方向的偏心率
Ratx, Raty    : X, Y 方向本层塔侧移刚度与下一层相应塔侧移刚度的比值
Ratx1, Raty1 : X, Y 方向本层塔侧移刚度与上一层相应塔侧移刚度70%的比值或上三层平均侧移刚度80%的比值中之较小者
Ratx2, Raty2 : X, Y 方向本层塔侧移刚度与上一层相应塔侧移刚度90%、110%或者150%比值。110%指当本层层高大于相邻上层层高1.5倍时，150%指嵌固层
RJX1, RJY1, RJZ1: 结构总体坐标系中塔的侧移刚度和扭转刚度(剪切刚度)
RJX3, RJY3, RJZ3: 结构总体坐标系中塔的侧移刚度和扭转刚度(地震剪力与地震层间位移的比)
   ************************************************************
Floor No. 1     Tower No. 1
Xstif=      0.0000(m)      Ystif=      0.0000(m)      Alf  =      0.0000(Degree)
Xmass=     24.0012(m)      Ymass=      3.0047(m)      Gmass(活荷折减)=    455.4708(  455.4708)(t)
Eex  =      0.0000         Eey  =      0.0000
Ratx =      0.0000         Raty =      0.0000
薄弱层地震剪力放大系数= 1.00
Ratx1=      6.8855         Raty1=      8.3375
Ratx2=      2.9352         Raty2=      3.2632
RJX1 = 1.7534E+007(kN/m)  RJY1 = 1.7589E+007(kN/m)  RJZ1 = 0.0000E+000(kN/m)
RJX3 = 2.7494E+006(kN/m)  RJY3 = 2.6624E+006(kN/m)  RJZ3 = 0.0000E+000(kN/m)
   ------------------------------------------------------------
Floor No. 2     Tower No. 1
Xstif=      0.0000(m)      Ystif=      0.0000(m)      Alf  =      0.0000(Degree)
Xmass=     24.1654(m)      Ymass=      2.8126(m)      Gmass(活荷折减)=    568.5703(  568.5703)(t)
Eex  =      0.0000         Eey  =      0.0000
Ratx =      0.1585         Raty =      0.1425
薄弱层地震剪力放大系数= 1.25
Ratx1=      1.0606         Raty1=      1.2071
Ratx2=      0.9632         Raty2=      1.3000
RJX1 = 1.2862E+006(kN/m)  RJY1 = 1.2902E+006(kN/m)  RJZ1 = 0.0000E+000(kN/m)
RJX3 = 4.3568E+005(kN/m)  RJY3 = 3.7948E+005(kN/m)  RJZ3 = 0.0000E+000(kN/m)
```

图 6.1.1　wmass.out 中薄弱层输出

另外，软件还提供手工指定薄弱层层号功能，由设计人员附加指定薄弱层层号。对于带转换层的结构，软件提供“转换层指定为薄弱层”选项，由设计人员确定转换层是否为薄弱层。

对于根据楼层受剪承载力判断的薄弱层，由于受剪承载力计算需要配筋结果，因此需先进行一次全楼配筋，然后根据楼层受剪承载力判断后的薄弱层再次进行全楼配筋，对计算效率有影响，因此软件提供“自动对层间受剪承载力突变形成的薄弱层放大调整”参数，勾选该项，则软件自动根据受剪承载力判断出来的薄弱层再次进行全楼配筋设计，如果没有判断出薄弱层则不会再次进行配筋设计。

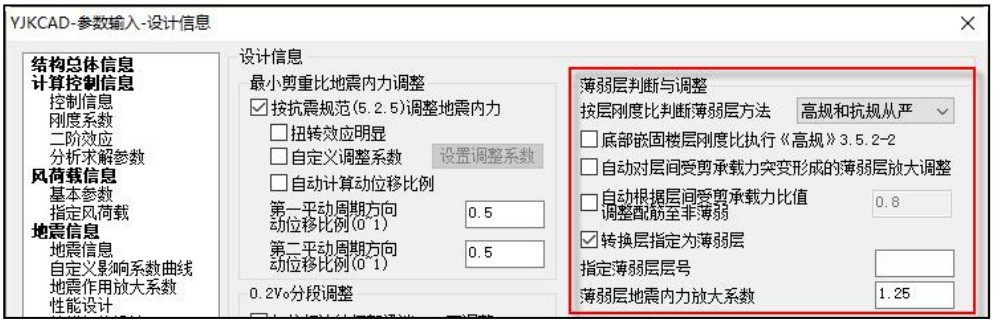


图 6.1.2 参数设置

无论以何种方式确定的薄弱层，软件均按照“薄弱层地震内力放大系数”对地震作用下的标准内力进行放大。

(iCase)	Shear-X	Shear-Y	Axial	Mx-Btm	My-Btm	Mx-Top	My-Top
N-C =1 Node-i=2000001,Node-j=1000001,DL= 4.300(m),Angle= 0.000							
*(DL)	-3.6	-12.9	-197.7	-26.6	7.5	29.0	-7.9
(DL)	-3.6	-12.9	-197.7	-26.6	7.5	29.0	-7.9
*(LL)	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0
(LL)	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0
*(+WX)	2.4	-0.0	4.6	0.1	-5.7	0.1	4.7
(+WX)	2.4	-0.0	4.6	0.1	-5.7	0.1	4.7
*(-WX)	-2.4	0.0	-4.6	-0.1	5.7	-0.1	-4.7
(-WX)	-2.4	0.0	-4.6	-0.1	5.7	-0.1	-4.7
*(+WY)	-0.0	6.9	10.3	18.9	0.1	-10.6	-0.0
(+WY)	-0.0	6.9	10.3	18.9	0.1	-10.6	-0.0
*(-WY)	0.0	-6.9	-10.3	-18.9	-0.1	10.6	0.0
(-WY)	0.0	-6.9	-10.3	-18.9	-0.1	10.6	0.0
*(EX)	26.1	9.6	51.5	25.3	-62.6	-16.5	50.0
(EX)	32.7	12.0	64.4	31.6	-78.2	-20.6	62.5
*(EY)	-2.8	26.0	38.2	71.8	6.7	-41.0	-5.5
(EY)	-3.5	32.6	47.8	89.8	8.4	-51.2	-6.9
*(EXM 45)	19.7	21.1	54.9	59.4	-47.2	-31.9	37.6
(EXM 45)	24.6	26.4	68.6	74.3	-59.0	-39.8	47.0
*(EYM 45)	-17.4	18.0	33.2	47.7	41.7	-30.6	-33.4
(EYM 45)	-21.8	22.5	41.5	59.6	52.1	-38.2	-41.8

图 6.1.3 地震内力按薄弱层调整

二、最小剪重比地震内力调整

《抗震规范》5.2.5 条规定：“抗震验算时，结构任一楼层的水平地震剪力应符合下式要求：

$$V_{Eki} > \lambda \sum_{j=i}^{n} G_j$$

其中：λ为剪力系数，对竖向不规则结构的薄弱层，尚应乘以 1.15 的增大系数。”

软件称之为“最小剪重比地震内力调整”，可在“设计相关要求”选项卡中设置。

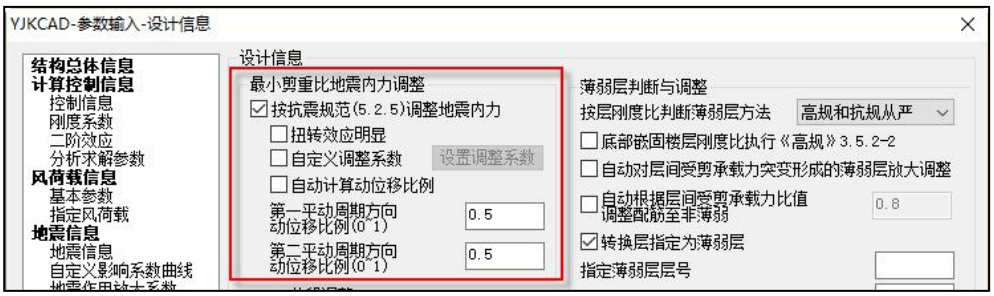


图 6.1.4 参数设置

《抗震规范》5.2.5 条文说明中给出了调整方法：“若结构基本周期位于设计反应谱的加速度控制段时，则各楼层均需乘以同样大小的增大系数；若结构基本周期位于反应谱的位移控制段时，则各楼层 i 均需按底部的剪力系数的差值$\triangle\lambda_0$增加该层的地震剪力—$\triangle F_{Eki}=\triangle\lambda_0 G_{Ei}$；若结构基本周期位于反应谱的速度控制段时，则增加值应大于$\triangle\lambda_0 G_{Ei}$，顶部增加值可取动位移作用和加速度作用二者的平均值，中间各层的增加值可近似按线性分布。”

软件进行最小剪重比地震内力调整时，区分 X、Y 方向，并分别取 X、Y 方向的第一周期作为该方向调整时的基本周期。当基本周期位于加速度或位移控制段时，软件按照规范规定执行；当基本周期位于位移控制段时，软件取位移和加速度作用的平均值，并不小于$\triangle\lambda_0 G_{Ei}$。

对于多塔楼结构，软件可以自动识别各塔楼信息，对各塔分别进行最小剪重比调整；对于连体结构，软件在分配连体处楼层地震剪力和上方楼层重力荷载代表值时，按与连体相邻下层各塔楼重力荷载代表值所占比例分配。

各楼层调整结果可以在 wzq.out 文件中查看。

==========各楼层地震剪力系数调整情况 [抗震规范(5.2.5)验算]==========

层号	塔号	X向调整系数	Y向调整系数	调整后X向剪力	调整后Y向剪力
1	1	1.159	1.325	3611.2	3611.2
2	1	1.122	1.250	3487.7	3398.5
3	1	1.148	1.304	3514.1	3476.6
4	1	1.145	1.298	3433.9	3377.4
5	1	1.141	1.293	3343.9	3267.6
6	1	1.138	1.289	3249.2	3149.0
7	1	1.135	1.285	3153.4	3024.2
8	1	1.131	1.281	3057.5	2896.2
9	1	1.128	1.277	2960.4	2768.0
10	1	1.124	1.272	2859.7	2642.7
11	1	1.121	1.265	2752.3	2522.7
12	1	1.117	1.258	2636.4	2409.2
13	1	1.114	1.249	2511.6	2302.4
14	1	1.111	1.238	2379.2	2200.8
15	1	1.107	1.226	2241.7	2101.9
16	1	1.104	1.214	2101.3	2001.6
17	1	1.100	1.201	1959.2	1895.4
18	1	1.095	1.189	1814.4	1778.5
19	1	1.091	1.176	1663.0	1645.8
20	1	1.086	1.165	1499.4	1493.2
21	1	1.081	1.155	1317.1	1316.7
22	1	1.077	1.145	1110.6	1113.4
23	1	1.072	1.136	876.0	881.2
24	1	1.069	1.129	611.9	618.6
25	1	1.066	1.122	319.1	324.8

图 6.1.5 最小剪重比调整系数

构件内力调整结果可以在“wwnl*.out”文件中查看。

(iCase)	Shear-X	Shear-Y	Axial	Mx-Btm	My-Btm	Mx-Top	My-Top
N-C =1 Node-i=1000001,Node-j=1,DL= 3.300(m),Angle= 0.000							
*(DL)	-1.1	-2.7	-641.7	-3.4	1.2	5.5	-2.5
(DL)	-1.1	-2.7	-641.7	-3.4	1.2	5.5	-2.5
*(LL)	-0.4	-0.9	-196.5	-1.1	0.4	1.8	-0.8
(LL)	-0.4	-0.9	-196.5	-1.1	0.4	1.8	-0.8
*(+WX)	22.1	-2.9	185.0	-18.2	-38.2	-8.7	34.6
(+WX)	22.1	-2.9	185.0	-18.2	-38.2	-8.7	34.6
*(-WX)	-22.1	2.9	-185.0	18.2	38.2	8.7	-34.6
(-WX)	-22.1	2.9	-185.0	18.2	38.2	8.7	-34.6
*(+WY)	-1.3	68.4	485.8	170.8	3.7	-55.0	-0.6
(+WY)	-1.3	68.4	485.8	170.8	3.7	-55.0	-0.6
*(-WY)	1.3	-68.4	-485.8	-170.8	-3.7	55.0	0.6
(-WY)	1.3	-68.4	-485.8	-170.8	-3.7	55.0	0.6
*(EX)	19.1	-12.0	139.2	-37.4	-33.2	-7.9	29.9
(EX)	21.0	-13.2	152.7	-41.0	-36.4	-8.7	32.8
*(EY)	6.4	34.6	297.6	83.7	10.5	-30.6	10.5
(EY)	6.4	34.6	297.6	83.7	10.5	-30.6	10.5

图 6.1.6 柱最小剪重比调整

三、0.2V_0地震内力调整

《高规》8.1.4 条对框剪结构的框架部分承担的地震剪力最小值做出了规定，《高规》9.1.11 条对筒体结构框架部分地震剪力做出了规定，11.1.6 条对混合结构层地震剪力做

出了规定；《抗震规范》8.2.3-3 条对钢框架-支撑结构的 0.25V_0 调整做出了规定。

软件提供了 0.2V_0 调整参数设置，如下图所示：

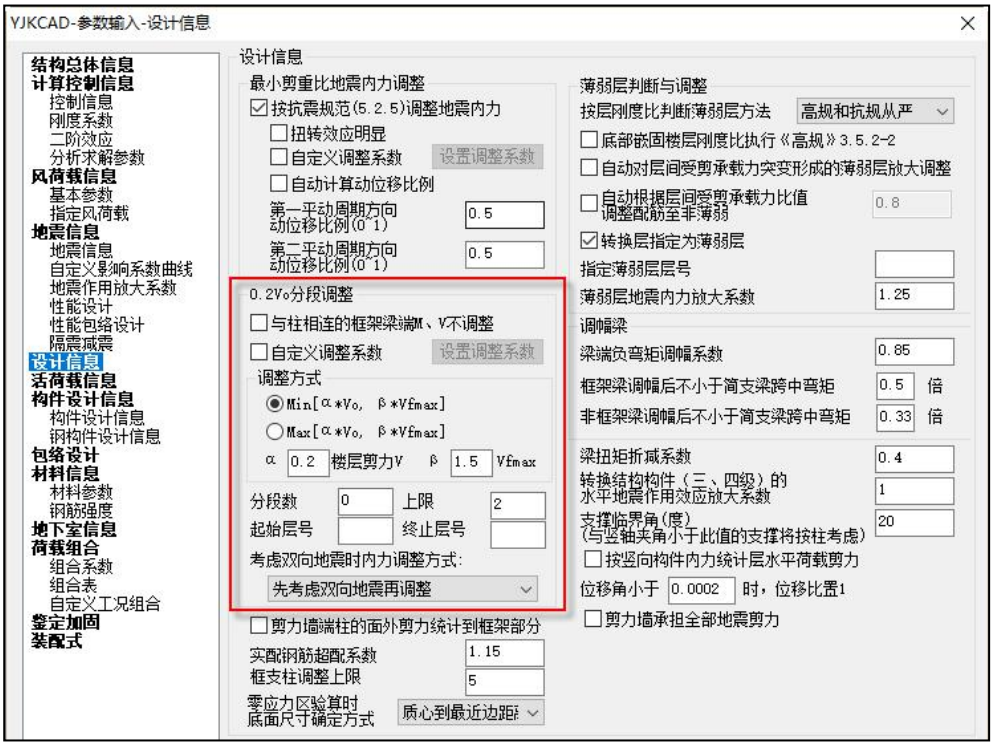
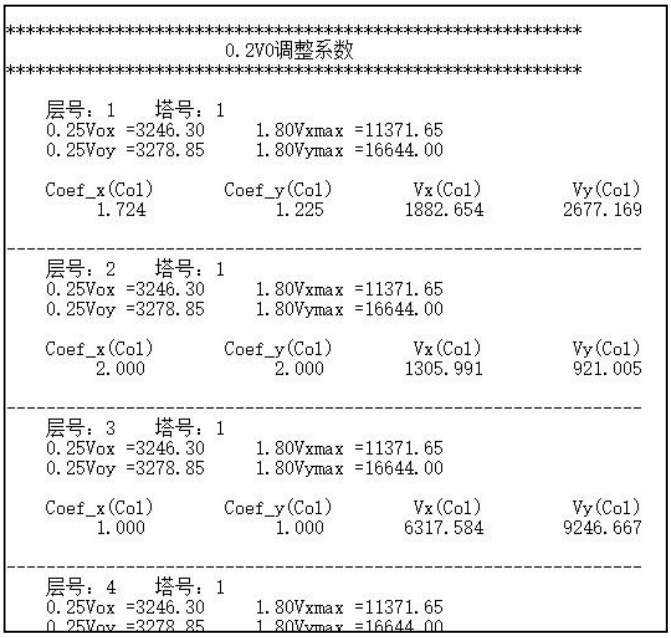


图 6.1.7　0.2V_0 调整参数设置

如果结构体系为“钢框架-中心支撑结构”或“钢框架-偏心支撑结构”，或结构材料信息设为“钢结构”，则软件自动按 0.25 V_0 调整；如果结构体系为“框筒结构”或“筒中筒结构”，则软件自动执行《高规》9.1.11 条筒体结构的相关规定。

软件进行 0.2 V_0 调整时，区分 X、Y 方向，在统计框架部分承担的地震剪力时，软件将按支撑输入，但与 Z 轴夹角小于 20°的支撑（斜柱）地震剪力也统计到框架中；对于与剪力墙相连的边框柱，软件其地震剪力统计到剪力墙中。

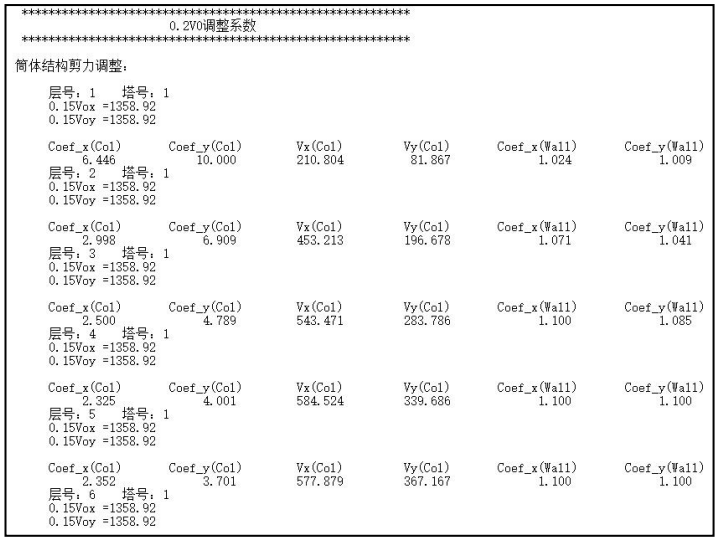
在计算框架部分承担的地震剪力时，软件先求出单振型下框架部分承担的地震剪力，然后 CQC 组合，底部剪力采用各分段起始层号的层地震剪力，调整结果输出到 wv02q.out 文件中，如下图所示。



```
************************************************************
                    0.2V0调整系数
************************************************************

    层号：1    塔号：1
    0.25Vox =3246.30      1.80Vxmax =11371.65
    0.25Voy =3278.85      1.80Vymax =16644.00

    Coef_x(Col)        Coef_y(Col)         Vx(Col)          Vy(Col)
         1.724              1.225         1882.654         2677.169

------------------------------------------------------------
    层号：2    塔号：1
    0.25Vox =3246.30      1.80Vxmax =11371.65
    0.25Voy =3278.85      1.80Vymax =16644.00

    Coef_x(Col)        Coef_y(Col)         Vx(Col)          Vy(Col)
         2.000              2.000         1305.991          921.005

------------------------------------------------------------
    层号：3    塔号：1
    0.25Vox =3246.30      1.80Vxmax =11371.65
    0.25Voy =3278.85      1.80Vymax =16644.00

    Coef_x(Col)        Coef_y(Col)         Vx(Col)          Vy(Col)
         1.000              1.000         6317.584         9246.667

------------------------------------------------------------
    层号：4    塔号：1
    0.25Vox =3246.30      1.80Vxmax =11371.65
    0.25Voy =3278.85      1.80Vymax =16644.00
```

图 6.1.8　框架柱 $0.2V_0$ 调整系数输出

如果是筒体结构，并且按照《高规》9.1.11 条调整了剪力墙地震剪力，则软件同时输出墙剪力调整系数，如下图所示。



```
************************************************************
                    0.2V0调整系数
************************************************************

筒体结构剪力调整：

    层号：1    塔号：1
    0.15Vox =1358.92
    0.15Voy =1358.92

    Coef_x(Col)        Coef_y(Col)         Vx(Col)          Vy(Col)        Coef_x(Wall)       Coef_y(Wall)
         6.446             10.000          210.804           81.867              1.024              1.009
    层号：2    塔号：1
    0.15Vox =1358.92
    0.15Voy =1358.92

    Coef_x(Col)        Coef_y(Col)         Vx(Col)          Vy(Col)        Coef_x(Wall)       Coef_y(Wall)
         2.998              6.909          453.213          196.678              1.071              1.041
    层号：3    塔号：1
    0.15Vox =1358.92
    0.15Voy =1358.92

    Coef_x(Col)        Coef_y(Col)         Vx(Col)          Vy(Col)        Coef_x(Wall)       Coef_y(Wall)
         2.500              4.789          543.471          283.786              1.100              1.085
    层号：4    塔号：1
    0.15Vox =1358.92
    0.15Voy =1358.92

    Coef_x(Col)        Coef_y(Col)         Vx(Col)          Vy(Col)        Coef_x(Wall)       Coef_y(Wall)
         2.325              4.001          584.524          339.686              1.100              1.100
    层号：5    塔号：1
    0.15Vox =1358.92
    0.15Voy =1358.92

    Coef_x(Col)        Coef_y(Col)         Vx(Col)          Vy(Col)        Coef_x(Wall)       Coef_y(Wall)
         2.352              3.701          577.879          367.167              1.100              1.100
    层号：6    塔号：1
    0.15Vox =1358.92
    0.15Voy =1358.92
```

图 6.1.9　筒体结构地震剪力调整系数输出

当结构中框架较少时，调整系数会很大，软件给出了“0.2 V_0 调整上限”参数，作为调整系数最大值。如果设计人员不想控制上限值，可以在该参数前面加负号或填写一

个很大的数。如果调整较大，设计人员需要确定结构方案是否合理，框架部分是否还能成为第二道防线。

广东高规对板柱剪力墙的内力调整为，抗风时，剪力墙承担 90%以上层剪力，抗震时，剪力墙承担 100%层剪力，且取消了板-柱部分承担 20%的层剪力的要求。当选择广东高规且结构形式为板柱剪力墙时，程序中，可对计算参数-设计信息中的 0.2V0 分段调整的起始、终止层号不做修改，此时程序自动按照规范要求进行剪力墙内力的调整，不过需注意此时调整系数上限会起作用。而如果用户手动对 0.2V0 分段调整进行了设置，则执行用户的操作。

四、部分框支剪力墙结构中框支柱调整

《高规》10.2.17 条对部分框支剪力墙结构框支柱承受的水平地震剪力标准值做出了如下规定：

“1、每层框支柱的数目不多于 10 根时，当底部框支层为 1～2 层时，每根柱所受的剪力应至少取结构基底剪力的 2%；当底部框支层为 3 层及 3 层以上时，每根柱所受的剪力应至少取结构基底剪力的 3%；

2、每层框支柱的数目多于 10 根时，当底部框支层为 1～2 层时，每层框支柱承受剪力之和应取结构基底剪力的 20%；当底部框支层为 3 层及 3 层以上时，每层框支柱承受剪力之和应取结构基底剪力的 30%。”

如果结构体系为“部分框支剪力墙结构”，且在特殊构件定义中指定了框支柱（包括边框柱属性的框支柱），则软件自动根据转换层层号和每层框支柱数量调整框支柱地震剪力。

《抗震规范》6.2.10 条文说明中指出：“本次修订，将本层地震剪力改为底层地震剪力即基底剪力，但主楼与裙房相连时，不含裙房部分的地震剪力，框支柱也不含裙房的框架柱。”对于主楼与裙房相连的结构，软件在计算基底剪力时，自动根据裙房上单塔外轮廓确定裙房对应上方塔楼的范围，并只统计范围内的基底剪力。

软件设有“框支柱调整上限”参数，如下图所示，用来控制调整系数最大值，如果设计人员不想控制上限值，可以在该参数前面加负号或填写一个很大的数。

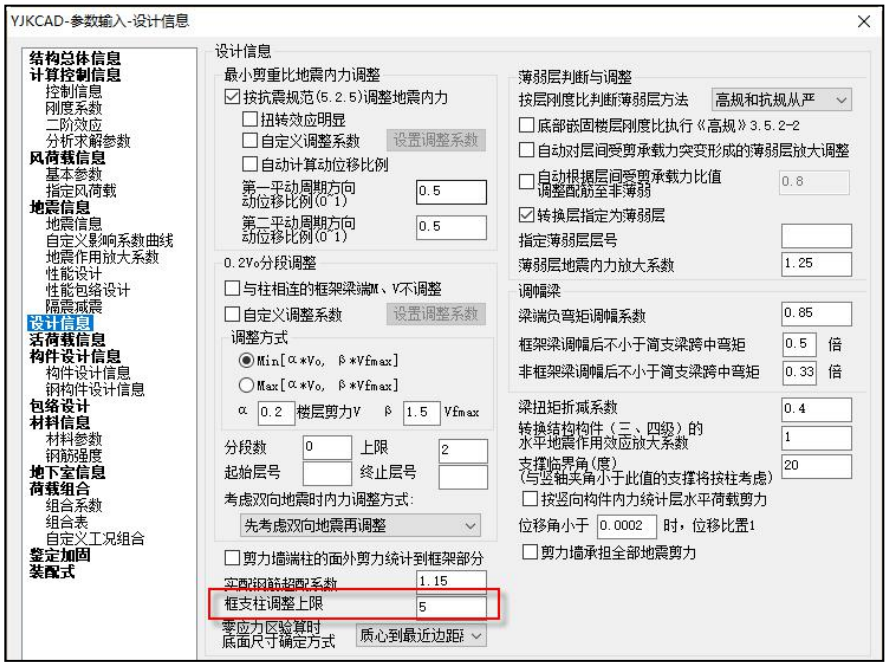


图 6.1.10 参数设置

软件会在 wpj*.out 文件中输出框支柱调整系数。

```
---------------------------------------------------------
N-C=24  (I=1000024, J=24)(1)B*H(mm)=500*500
Cover= 20(mm) Cx=1.00 Cy=1.00 Lcx=3.30(m) Lcy=3.30(m) Nfc=2 Nfc_gz=2 Rcc=30.0 Fy=360 Fyv=360
砼柱 转换柱 矩形
livec=1.000  kzzx=1.08, kzzy=1.06  kzzn=1.200
ηmu=1.500  ηvu=1.950  ηmd=1.500  ηvd=1.950
λc=3.607
( 27)Nu=    -792.6  Uc= 0.22  Rs= 0.95(%)  Rsv= 1.50(%)  Asc=   201
(  1)N=    -937.0 Mx=       3.1 My=     -67.1 Asxt=       795 Asxt0=         0
(  1)N=    -937.0 Mx=       3.1 My=     -67.1 Asyt=       795 Asyt0=         0
(  1)N=    -937.0 Mx=      -6.1 My=      37.2 Asxb=       795 Asxb0=         0
(  1)N=    -937.0 Mx=      -6.1 My=      37.2 Asyb=       795 Asyb0=         0
( 27)N=    -795.9 Vx=      64.0 Vy=      -7.4 Ts=      -0.2 Asvx=       326 Asvx0=         0
( 29)N=    -759.0 Vx=      41.3 Vy=      23.3 Ts=       0.2 Asvy=       326 Asvy0=         0
节点核芯区设计结果:
( 27) N=    -535.8  Vjx=     299.5  Asvjx=       109  Asvjxca1=         0
( 29) N=    -500.4  Vjy=      47.7  Asvjy=       109  Asvjyca1=         0

抗剪承载力: CB_XF=    210.31  CB_YF=    210.31
```

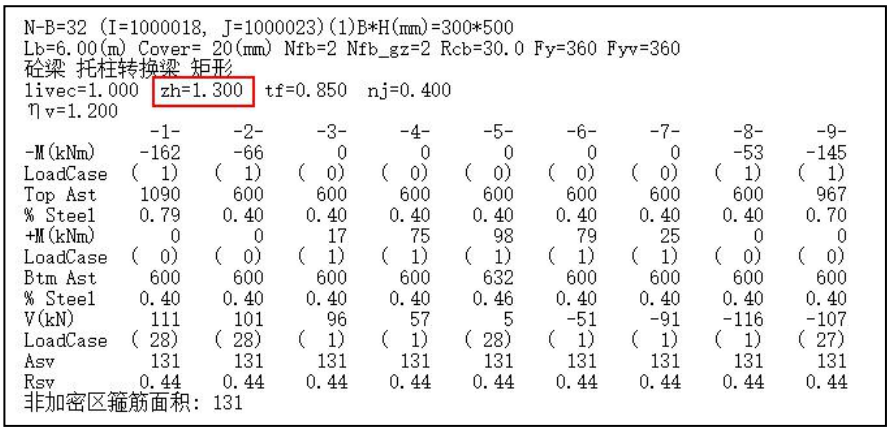
图 6.1.11 wpj 中单构件输出

五、水平转换构件地震内力调整

《高规》10.2.4 条规定：“转换结构构件可采用转换梁、桁架、空腹桁架、箱形结构、斜撑等，非抗震设计和 6 度抗震设计时可采用厚板，7、8 度抗震设计时地下室的转换构件可采用厚板。特一、一、二级转换构件的水平地震作用计算内力应分别乘以增大系数 1.9、1.6、1.3；转换构件应按本规程第 4.3.2 条的规定考虑竖向地震作用。”

由于转换构件并不局限于转换梁，如桁架转换时，构成转换桁架的各构件均是转换

构件，因此，软件在特殊构件定义中增加了定义“水平转换构件”功能，由设计人员指定转换构件，软件对所定义的转换构件均按《高规》10.2.4 条进行地震内力调整。调整系数会在 wpj*.out 文件中按构件输出。



```
N-B=32 (I=1000018, J=1000023)(1)B*H(mm)=300*500
Lb=6.00(m) Cover= 20(mm) Nfb=2 Nfb_gz=2 Rcb=30.0 Fy=360 Fyv=360
砼梁 托柱转换梁 矩形
livec=1.000  zh=1.300  tf=0.850  nj=0.400
ηv=1.200
              -1-      -2-      -3-      -4-      -5-      -6-      -7-      -8-      -9-
-M(kNm)      -162      -66        0        0        0        0        0      -53     -145
LoadCase   (  1)    (  1)    (  0)    (  0)    (  0)    (  0)    (  0)    (  1)    (  1)
Top Ast      1090      600      600      600      600      600      600      600      967
% Steel      0.79     0.40     0.40     0.40     0.40     0.40     0.40     0.40     0.70
+M(kNm)         0        0       17       75       98       79       25        0        0
LoadCase   (  0)    (  0)    (  1)    (  1)    (  1)    (  1)    (  1)    (  0)    (  0)
Btm Ast       600      600      600      600      632      600      600      600      600
% Steel      0.40     0.40     0.40     0.40     0.46     0.40     0.40     0.40     0.40
V(kN)         111      101       96       57        5      -51      -91     -116     -107
LoadCase   ( 28)    ( 28)    (  1)    (  1)    ( 28)    (  1)    (  1)    (  1)    ( 27)
Asv           131      131      131      131      131      131      131      131      131
Rsv          0.44     0.44     0.44     0.44     0.44     0.44     0.44     0.44     0.44
非加密区箍筋面积: 131
```

图 6.1.12　wpj 中单构件输出

第二节 考虑抗震要求的设计内力调整

一、梁

《抗震规范》和《高规》对抗震设计的梁有强剪弱弯的要求，软件执行规范的相关规定，执行方法是对水平荷载计算得到的剪力乘以放大系数，再与竖向荷载计算得到的剪力进行组合。内力调整系数取值如下：

表格 1 框架梁、连梁剪力调整系数

		9 度		6、7、8 度				
		特一级	一级	特一级	一级	二级	三级	四级
框架梁	框架结构	1.2× C1	C1	1.2× C1	C1	1.2	1.1	1.0
	非框架结构	1.2× C1	C1	1.2×1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
连梁		C1	C1	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0

其中：C_1=max（1.1×1.1×超配系数，1.3）

“超配系数”是指在设计参数中输入的“实配钢筋超配系数”。

地下室顶板作为上部结构嵌固端时，《抗震规范》6.1.14-3 条对地下室顶板对应于地上框架柱的梁柱节点做出了规定，并提供了 2 种方案，软件自动按《抗震规范》6.1.14-3 中 2)条执行。

型钢混凝土梁的设计内力调整系数取值与混凝土梁相同，钢梁不调整。

二、柱、支撑

表格 2 框架柱、框支柱弯矩调整系数

		9 度		6、7、8 度				
		特一级	一级	特一级	一级	二级	三级	四级
框架结构	普通部位	1.2×C_1	C_1	1.2×C_1	C_1	1.5	1.3	1.2
	底层柱底	1.2×1.7	1.7	1.2×1.7	1.7	1.5	1.3	1.2
非框架结构	普通柱	1.2×C_2	C_2	1.4×1.2	1.4	1.2	1.1	1.1
框支柱	弯矩	1.8	1.5	1.8	1.5	1.3	1.1	1.1
	轴力	1.8	1.5	1.8	1.5	1.2	1.0	1.0

其中：C_1=max（1.2×1.1×超配系数，1.7）

C_2=max（1.2×1.1×超配系数，1.4）

当结构类型为异形柱框架或异形柱框剪时，软件按《异形柱规程》取值，二级时取 1.3，三级时取 1.1；对于异形柱框架结构的底层柱底，二级时取 1.4，三级时取 1.2，其它情况取值与普通柱一致。

表格 3 框架柱、框支柱剪力调整系数

		9 度		6、7、8 度				
		特一级	一级	特一级	一级	二级	三级	四级
框架结构	普通部位	1.2× C_3	C_3	1.2× C_3	C_3	1.3	1.2	1.1
	底层柱底	1.2× C_3	C_3	1.2× C_3	C_3	1.3	1.2	1.1
非框架结构	普通柱	1.2× C_4	C_4	1.4×1.2	1.4	1.2	1.1	1.1
	框支柱	1.2× C_4	C_4	1.4×1.2	1.4	1.2	1.1	1.1

其中：C3=max（1.2×1.1×超配系数，1.5）

C4=max（1.2×1.1×超配系数，1.4）

最终的剪力调整系数为表格 3 与表格 2 中数值的乘积。

角柱在弯矩、剪力调整系数基础上再乘以 1.1。

三、墙

表格 4 剪力墙弯矩调整系数

		9 度		6、7、8 度				
		特一级	一级	特一级	一级	二级	三级	四级
底部加强部位	普通墙	1.1	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	部分框支剪力墙结构中的落地墙	1.8	1.5	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0

非底部加强部位	普通墙	1.3	1.2	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0
	短肢剪力墙	1.3	1.2	1.3	1.2	1.0	1.0	1.0

表格 5 剪力墙剪力调整系数

		9 度		6、7、8 度				
		特一级	一级	特一级	一级	二级	三级	四级
底部加强部位	普通墙	1.9	1.6	1.9	1.6	1.4	1.2	1.0
	部分框支剪力墙结构中的落地墙	1.9	1.6	1.9	1.6	1.4	1.2	1.0
非底部加强部位	普通墙	1.4	1.3	1.4	1.3	1.0	1.0	1.0
	短肢剪力墙	1.4	1.4	1.4	1.4	1.2	1.1	1.0

第三节 荷载效应组合

一、简介

软件在进行构件设计时，主要使用的是基本组合，在计算梁弹性挠度时会采用标准组合。

对于基本组合中的非地震组合，软件主要依据《荷载规范》3.2.3 条执行，分别考虑恒载控制的组合、活载控制的组合。程序提供选项“执行《建筑结构可靠性设计统一标准》”，默认为勾选，此时恒载分项系数取 1.3，活载分项系数取 1.5，风荷载分项系数取 1.5（按照活荷载考虑），且不再考虑永久荷载为主时的分项系数 1.35。如果不勾

选该选项，则执行《荷载规范》3.2.4，恒载的分项系数当起控制时取 1.35，不利时取 1.2，有利时取 1.0；活荷载和风荷载的分项系数取 1.4。活荷载和风荷载的组合系数分别取 0.7 和 0.6。其它可变荷载的分项系数和组合值系数与活荷载相同。

对于基本组合中的地震组合，软件按照《抗震规范》5.4.1 条执行，当计算竖向地震作用时，软件分别考虑只有水平地震参与的组合、只有竖向地震参与的组合、水平地震为主的组合、竖向地震为主的组合。

对于标准组合，软件按照《荷载规范》3.2.8 条执行。

二、基本组合

荷载组合结果会在 wpj*.out 文件中输出，如下图所示：

Ncm	V-D	V-L	+X-W	-X-W	+Y-W	-Y-W	X-E	Y-E	Z-E	R-F	TEM	CRN
1	1.35	0.98	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2	1.20	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	1.00	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4	1.20	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5	1.20	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--
6	1.20	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--
7	1.20	--	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--
8	1.20	1.40	0.84	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9	1.20	1.40	--	0.84	--	--	--	--	--	--	--	--
10	1.20	1.40	--	--	0.84	--	--	--	--	--	--	--
11	1.20	1.40	--	--	--	0.84	--	--	--	--	--	--
12	1.20	0.98	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--	--
13	1.20	0.98	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--
14	1.20	0.98	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--
15	1.20	0.98	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--
16	1.00	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--	--
17	1.00	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--
18	1.00	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--
19	1.00	--	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--
20	1.00	1.40	0.84	--	--	--	--	--	--	--	--	--
21	1.00	1.40	--	0.84	--	--	--	--	--	--	--	--
22	1.00	1.40	--	--	0.84	--	--	--	--	--	--	--
23	1.00	1.40	--	--	--	0.84	--	--	--	--	--	--
24	1.00	0.98	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--	--
25	1.00	0.98	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--	--
26	1.00	0.98	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--	--
27	1.00	0.98	--	--	--	1.40	--	--	--	--	--	--
28	1.20	0.60	--	--	--	--	1.30	--	--	--	--	--
29	1.20	0.60	--	--	--	--	-1.30	--	--	--	--	--
30	1.20	0.60	--	--	--	--	--	1.30	--	--	--	--
31	1.20	0.60	--	--	--	--	--	-1.30	--	--	--	--
32	1.00	0.50	--	--	--	--	1.30	--	--	--	--	--
33	1.00	0.50	--	--	--	--	-1.30	--	--	--	--	--
34	1.00	0.50	--	--	--	--	--	1.30	--	--	--	--
35	1.00	0.50	--	--	--	--	--	-1.30	--	--	--	--

图 6.3.1 荷载组合

其第一行是各种荷载工况的简写字母，如：

Ncm V-D V-L +X-W -X-W +Y-W -Y-W X-E Y-E Z-E R-F TEM CRN

其中：

Ncm：组合号；

V-D：恒载分项系数；

V-L：活载分项系数；

+X-W、-X-W：分别为 X 正向、负向水平风荷载分项系数；

+Y-W、-Y-W：分别为 Y 正向、负向水平风荷载分项系数；

X-E：X 向水平地震分项系数；

Y-E：Y 向水平地震分项系数；

Z-E：竖向地震分项系数；

R-F：人防荷载分项系数；

TEM：温度荷载分项系数；

CRN：吊车荷载分项系数。

每一行对应一种组合，前面的组合号就是配筋文件中构件控制设计内力所对应的组合号；每一种组合都输出了各荷载工况的分项系数。

对于可变荷载，软件输出的是分项系数与组合值系数相乘后的结果。

下面具体介绍软件自动生成的组合项目，如果用户选择采用自定义组合，则软件直接采用自定义组合项，不再自行进行荷载组合。

1、恒＋活

对于仅有恒活荷载参与的组合，软件分别考虑恒载起控制作用、不起控制作用、有利 3 种情况，考虑下面 3 种组合方式：

1.35 恒载 + γLψQγQ 活载（勾选“执行《建筑结构可靠性设计统一标准》”则没有）

γG 恒载 + γLγQ 活载

1.0 恒载 + γLγQ 活载

其中：

γG、γQ：为恒、活荷载分项系数，隐含为规范取值，可由用户输入；

γL：为活荷载考虑设计使用年限的荷载调整系数，可由用户输入；

ψQ：为活荷载组合值系数，隐含为规范取值，可由用户输入。

这 3 种组合是软件所必须考虑的组合。

2、考虑风荷载的组合

对于风荷载，软件分别考虑下述组合：

γG 恒载 +γW 正向风

γG 恒载 +γW 负向风

1.0 恒载 +γW 正向风

1.0 恒载 +γW 负向风

γG 恒载 + γLγQ 活载 + ψWγW 正向风

γG 恒载 + γLγQ 活载 + ψWγW 负向风

1.0 恒载 + γLγQ 活载 + ψWγW 正向风

1.0 恒载 + γLγQ 活载 + ψWγW 负向风

γG 恒载 + γLψQγQ 活载 + γW 正向风

γG 恒载 + γLψQγQ 活载 + γW 负向风

1.0 恒载 + γLψQγQ 活载 + γW 正向风

1.0 恒载 + γLψQγQ 活载 + γW 负向风

其中：

γW：为风荷载的分项系数，隐含为规范取值，可由用户输入；

ψW：为风荷载的组合值系数，隐含为规范取值，可由用户输入。

软件分别对 X、Y 向风荷载考虑上述组合，并考虑恒载的有利与不利作用。

3、考虑地震作用的组合

对于地震组合，软件根据地震作用计算信息确定组合内容，如果考虑了竖向地震作用，则软件分别考虑只有水平地震参与的组合，只有竖向地震参与的组合、水平地震为主的组合，如果勾选了“考虑竖向地震为主的组合”，则软件将增加竖向地震为主的组合。如果勾选了“风荷载参与地震组合”，则地震组合中同时考虑风荷载作用。

风荷载不参与组合时：

（1）只有水平地震参与的组合

1.2（恒载 +γEG 活载）±γEh 水平地震作用

1.0（恒载 +γEG 活载）±γEh 水平地震作用

（2）只有竖向地震参与的组合

1.2（恒载 + γEG 活载）±γEh 竖向地震作用

1.0（恒载 +γEG 活载）±γEh 竖向地震作用

（3）水平地震为主的组合

1.2（恒载 + γEG 活载）±γEh 水平地震作用±γEV 竖向地震作用

1.0（恒载 +γEG 活载）±γEh 水平地震作用±γEV 竖向地震作用

（4）竖向地震为主的组合（根据参数设置确定）

1.2（恒载 + γEG 活载）±γEV 水平地震作用±γEh 竖向地震作用

1.0（恒载 +γEG 活载）±γEV 水平地震作用±γEh 竖向地震作用

风荷载参与组合时：

（1）只有水平地震参与的组合

1.2（恒载 + γEG 活载） + 0.2γW 正向风±γEh 水平地震作用

1.2（恒载 + γEG 活载） + 0.2γW 负向风±γEh 水平地震作用

1.0（恒载 +γEG 活载） + 0.2γW 正向风±γEh 水平地震作用

1.0（恒载 + γEG 活载） + 0.2γW 负向风±γEh 水平地震作用

（2）只有竖向地震参与的组合

1.2（恒载 + γEG 活载）±γEh 竖向地震作用

1.0（恒载 +γEG 活载）±γEh 竖向地震作用

（3）水平地震为主的组合

1.2（恒载+γEG 活载）+ 0.2γW 正向风±γEh 水平地震作用±γEV 竖向地震作用

1.2（恒载+γEG 活载）+0.2γW 负向风±γEh 水平地震作用±γEV 竖向地震作用

1.0（恒载+γEG 活载）+0.2γW 正向风±γEh 水平地震作用±γEV 竖向地震作用

1.0（恒载+γEG 活载）+0.2γW 负向风±γEh 水平地震作用±γEV 竖向地震作用

（4）竖向地震为主的组合（根据参数设置确定）

1.2（恒载 +γEG 活载） +0.2γW 正向风±γEV 水平地震作用±γEh 竖向地震作用

1.2（恒载 +γEG 活载） +0.2γW 负向风±γEV 水平地震作用±γEh 竖向地震作用

1.0（恒载 +γEG 活载） +0.2γW 正向风±γEV 水平地震作用±γEh 竖向地震作用

1.0（恒载 +γEG 活载） +0.2γW 负向风±γEV 水平地震作用±γEh 竖向地震作用

软件分别对 X、Y 向地震考虑上述组合。

4、考虑吊车荷载的组合

（1）吊车荷载预组合

吊车荷载预组合的基本思路就是在计算每跨吊车荷载作用的过程中，对吊车荷载产生内力按照某种目标进行预组合。对于柱，其预组合目标是轴力最大、轴力最小、弯矩最大、弯矩最小等；对于梁，其预组合目标是各个截面弯矩最大、弯矩最小等。通过各跨吊车荷载的分别作用和组合，把吊车荷载对于柱、梁构件的最不利作用通过内力预组合的方式记录下来，再与其它荷载组合。

（2）吊车荷载参与的组合

吊车荷载参与组合的方式与活荷载一致，吊车荷载的分项系数及组合值系数均与活荷载一致，软件对所有活荷载参与的组合均做一遍吊车荷载组合，当进行可变荷载为主的组合时，软件分别考虑活荷载起控制及吊车荷载起控制两种情况。

对于有地震作用组合，软件计算重力荷载代表值时，取设计参数中吊车荷载的质量参与系数，如果为 0，表示不参与组合。

5、考虑温度荷载的组合

对于温度荷载，软件考虑升温与降温两种工况，分别对每种工况循环进行荷载组合。

温度荷载参与组合的方式与活荷载一致，软件对所有活荷载参与的组合均做一遍温度荷载组合，并且温度荷载的分项系数及组合值系数均与活荷载一致。

对于有地震作用组合，软件不考虑温度荷载参与组合。

6、考虑人防荷载的组合

对于人防荷载，软件考虑 2 种组合：

1.2 恒载 +1.0 人防荷载

1.0 恒载 +1.0 人防荷载

7、其它组合

除了上述组合，软件对于其它工况参与的组合没有直接在组合中反映，而是在根据荷载组合计算设计内力时，对基本组合进行细分组合，这样既考虑了其它类型荷载参与组合，又使得基本组合内容简单、清晰。细分组合主要考虑如下几方面：

（1）活荷载不利布置

软件在考虑活荷载不利布置时，把一次性加载方式的活载作为工况“LL”，将分层活荷不利布置形成的梁正负弯矩包络作为工况“LL1”和“LL2”。当组合中有“LL”工况时，软件再分别使用“LL1”和“LL2”参与组合，使得有“LL”参与的组合数变为原来的 3 倍。

如果用户在计算时考虑了活荷载不利布置，并且也输出了“梁活荷载内力放大系数”，则软件只对“LL”乘以放大系数，对于“LL1”和“LL2”不乘以放大系数。

目前软件只考虑了梁的活荷载不利布置，对于柱、墙等未考虑活荷载不利布置，也不乘以活荷载内力放大系数。

（2）偶然偏心

如果在计算时考虑了偶然偏心的影响，软件将对所有地震作用组合再进行正偏心和负偏心地震内力的组合，地震作用组合数变为原来的 3 倍。

（3）多方向地震

如果用户输入了“斜交抗侧力构件附加地震方向角度”，软件会根据用户输入的方向计算地震作用。在荷载组合时，软件再分别对多方向地震作用循环进行荷载组合，求出最不利内力组合。

8、中震不屈服设计

如果计算时选择了中震不屈服设计，则软件在荷载组合时将各荷载分项系数设为 1.0，并且不考虑风荷载参与地震组合。

第七章 钢筋混凝土和钢结构构件设计

第一节 材料

一、混凝土

混凝土强度标准值及设计值按《混凝土规范》4.1.3、第 4.1.4 条确定，其弹性模量按 4.1.5 条条文说明确定，即

$$E_{\mathrm{c}}=\frac{10^{5}}{2.2+\dfrac{34.7}{f_{\mathrm{cu,k}}}}\quad(\mathrm{N/mm^{2}})$$

混凝土受压的应力与应变曲线按《混凝土规范》6.2.1 条确定，受压区混凝土应力等效矩形分布系数 α_1 、 β_1 按 6.2.6 条确定。

二、钢筋

钢筋强度标准值及设计值按《混凝土规范》4.2.2 条及 4.2.3 条确定，弹性模量按 4.2.5 条确定。当用户选择的箍筋强度超过 360MPa 时，软件按 360MPa 进行承载力配筋计算，但构造配筋仍按箍筋实际强度确定。

钢筋混凝土构件正截面承载力配筋计算时的界限相对受压区高度 ξ_{b} 按《混凝土规范》6.2.7 条确定，型钢混凝土构件按《组合结构设计规范》设计时 ξ_{b} 按该规程 5.2.1 条确定。钢筋应力按《混凝土规范》6.2.1 条及 6.2.8 条确定。

三、钢材

钢材强度标准值及设计值按《钢结构设计标准》第 4.4.1 和 4.4.2 条确定，弹性模量按该钢标表 4.4.8 确定。

对于按《组合结构设计规范》设计的型钢混凝土构件，其型钢应力按该规程的第 6.2.2 条确定。

四、地震组合材料强度调整

对于小震弹性及中震弹性地震组合，考虑承载力抗震调整系数γRE（以下简称γRE）。

钢筋混凝土构件根据《混凝土规范》表 11.1.6 考虑；按《组合结构设计规范》设计的型钢混凝土构件按该规程的表 4.3.3 考虑；按《钢骨混凝土结构技术规程》设计的型钢混凝土构件按该规程的第 5.0.5 条考虑；钢构件按《抗震规范》表 5.4.2 考虑。

对于中震不屈服的地震组合，软件不考虑γRE 并采用材料强度标准值进行配筋计算。

当地震组合中仅考虑竖向地震时，根据《混凝土规范》11.1.6 条规定，软件中取γRE=1.0。

五、人防组合材料强度调整

当荷载效应为人防组合时，软件根据《人防规范》第 4.2.3 条、4.10.5 条(混凝土柱、墙正截面配筋)及 4.10.6 条(混凝土梁、柱斜截面配筋)调整材料强度。

第二节 混凝土梁配筋

软件将梁构件 8 等分(9 个截面)进行承载力配筋计算，可考虑地震（小震弹性、中震不屈服、中震弹性)组合、非地震组合及人防组合。

一、设计流程

软件根据梁的受力状态来确定是先求出各截面最大设计内力，再进行承载力设计（简称内力包络设计)；还是对截面的每个组合下设计内力均进行承载力设计（简称全组合设计)。设计方法如下：

1、正截面设计

（1）内力包络设计：对于与现浇或装配整体式楼板相连的普通混凝土梁，设计人员在进行整体计算时通常会采用刚性板假定，这样梁的计算轴力为 0，受力状态为纯弯，那么软件只需求出各组合下设计弯矩的大值，并根据该值进行承载力设计即可。考虑到规范中对于地震组合、非地震组合、人防组合下的承载力公式是不同的，软件先分别计算出地震组合、非地震组合、人防组合下各截面设计弯矩的最大值，分别进行承载力设计，最后取设计结果大值作为最终设计结果。

这种方法由于先求出内力包络，再进行承载力设计，因此可以提高计算效率。

软件自动判断梁计算轴力是否可忽略，方法为按轴力计算得到的截面拉应力是否大于混凝土拉应力的 2%，如果大于不能忽略，按全组合方式设计，否则按内力包络设计方法进行设计。

（2）全组合设计：对于转换梁、不与楼板相连的梁等计算结果中存在轴力的梁，软件将对每个截面的每种组合下的设计内力先进行承载力设计，再取设计结果的大值作为最终设计结果。

这种方法的优点是，在承载力设计时的设计弯矩、轴力是同一组合下的，缺点是计算效率稍低。

当轴力不可忽略时，软件自动采用全组合设计方法。

2、斜截面设计

（1）内力包络设计：与正截面设计类似，当计算结果无轴力时，软件按内力包络设计。由于斜截面设计时可能存在的内力除轴力外还有剪力、扭矩，因此软件在考虑地震组合、非地震组合、人防组合等组合类别时，分别考虑最大剪力、对应的扭矩和最大扭矩、对应的剪力两种情况，然后进行承载力设计并对设计结果取大。

（2）全组合设计：与正截面设计类似，当计算结果中轴力不可忽略时，软件按全组合设计，即对每个截面的每种组合下的设计内力先进行承载力设计，再取设计结果的大值作为最终设计结果。

二、正截面配筋

1、受弯承载力计算

当未考虑楼板影响时，软件根据《混凝土规范》6.2.10 条进行配筋计算；当考虑楼板作为梁的翼缘时，软件根据《混凝土规范》6.2.11 条进行配筋计算.

当取截面相对受压区高度 $\xi = \xi_b$ 时确定的混凝土抗弯承载力大于设计弯矩 M ，则不需要配置受压钢筋；否则取 $\xi = \xi_b$ 并需配置受压钢筋。

2、拉弯承载力计算

未采用刚性楼板假定或梁两端不在同一标高时，梁中可能存在轴力，考虑到楼板和梁共同受力且混凝土抗压强度远远大于抗拉强度(约 10 倍左右)，所以软件仅考虑轴力为拉力的情况。

软件根据《混凝土规范》6.2.23 条按照非对称配筋进行拉弯配筋计算。

由于大偏拉截面存在受压区，与纯弯承载力计算一致，当 $\xi = \xi_b$ 时截面混凝土不能满足承载力要求时需要配置受压钢筋。

3、单排和双排受拉钢筋

当受拉钢筋计算配筋率不大于 1%时软件按照单排钢筋进行承载力配筋计算，此时截面计算高度 $h_0 = h - \text{cov} - 22.5(mm)$；若算出的受拉钢筋配筋率大于 1%，则按照考虑双排受拉钢筋重新进行计算，此时取截面计算高度 $h_0 = h - \text{cov} - 47.5(mm)$ (其中 cov 为保护层厚度)来进行承载力配筋计算。

4、框架梁端配筋

当用户打开“设计信息”交互“梁端负弯矩调幅系数”参数时(图 7.2.1)，可根据《混凝土规范》5.4.3 条：“钢筋混凝土梁支座或节点边缘截面的负弯矩调幅幅度不宜大于 25%；弯矩调整后的梁端截面相对受压区高度不应超过 0.35，且不宜小于 0.10。”

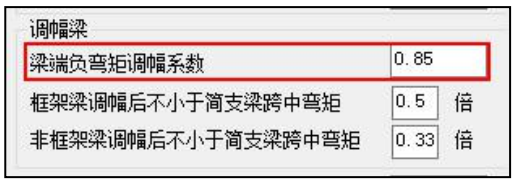


图 7.2.1　梁端弯矩调幅提示

软件对于所有组合调整截面相对界限受压区高度 $\xi_b = 0.35$ 来进行纯弯、拉弯承载力配筋计算。

当效应组合为地震作用组合时，根据《混凝土规范》11.3.1 条：“计入纵向受压钢筋的梁端混凝土受压区高度应符合下列要求，

一级抗震等级： $x \le 0.25h_0$

二、三级抗震等级： $x \le 0.35h_0$ ”

根据《混凝土规范》11.3.6 条第 2 款：“框架梁梁端截面的底部和顶部纵向受力钢筋截面面积的比值，除按计算确定外，一级抗震等级不应小于 0.5；二、三级抗震等级不应小于 0.3。”

另外根据《高规》6.3.3 条第 1 款：“抗震设计时，梁端受拉钢筋的配筋率不应大于 2.75%，当梁端受拉钢筋的配筋率大于 2.5%，受压钢筋的配筋率不应小于受拉钢筋

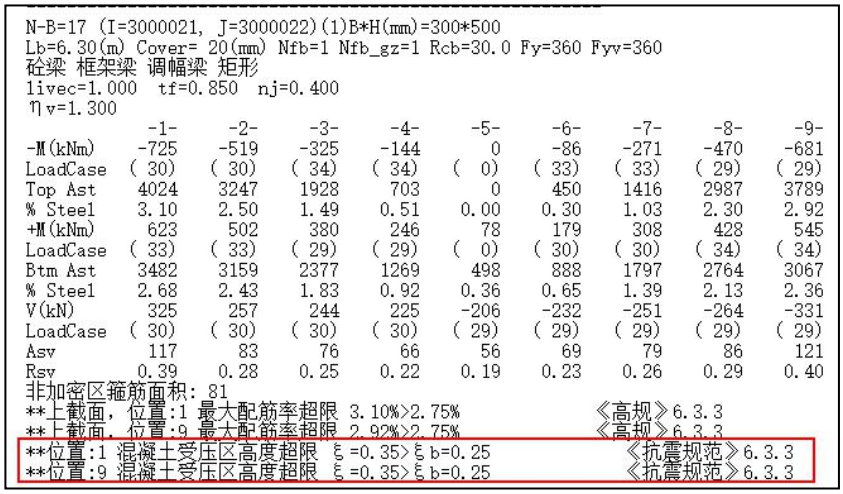
的一半。”

软件综合考虑以上条文规定进行地震组合梁端承载力配筋计算。在不同的组合下，梁端弯矩可能为正，也可能为负，当用户选择“框架梁梁端配筋考虑受压钢筋影响”时，如图 7.2.2 所示，软件考虑了 ξ_b 的调整及最小受压钢筋面积的规定，这样就不会出现截面受压区高度超限的问题，而且计算的受拉钢筋面积也比未考虑受压钢筋影响的情况偏小，这样能在一定程度上解决梁端钢筋过于拥挤的问题，所以建议用户点选此项。

图 7.2.2　考虑梁端最小受压钢筋提示

当用户未选择“框架梁梁端配筋考虑受压钢筋影响”时,软件在确定配筋时未考虑 ξ_b 的调整。按负弯矩计算梁上部钢筋时并不知道作为其受压钢筋的下部钢筋面积，软件取梁上部计算配筋的 50%或 30%作为受压配筋进行《混凝土规范》11.3.1 条规定的受压高度限值验算。当受压区高度超出规范规定的限值时，软件给出提示，如图 7.2.3 所示，对于该提示，用户可查看梁端输出的实际上下配筋结果，如果梁下部配筋大于梁上部配筋的 50%或 30%，用户可按实际输出配筋进行截面受压区高度校核，如果满足规范要求就不需处理该提示；如果下部钢筋面积不满足规范规定的最小要求或虽下部钢筋面积

满足最小要求但校核的受压高度超出规范限值，用户需增加下部钢筋面积直至满足受压区高度限值要求。



N-B=17 (I=3000021, J=3000022)(1)B*H(mm)=300*500
Lb=6.30(m) Cover= 20(mm) Nfb=1 Nfb_gz=1 Rcb=30.0 Fy=360 Fyv=360
砼梁 框架梁 调幅梁 矩形
livec=1.000 tf=0.850 nj=0.400
ηv=1.300

	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-	-9-
-M(kNm)	-725	-519	-325	-144	0	-86	-271	-470	-681
LoadCase	(30)	(30)	(34)	(34)	(0)	(33)	(33)	(29)	(29)
Top Ast	4024	3247	1928	703	0	450	1416	2987	3789
% Steel	3.10	2.50	1.49	0.51	0.00	0.30	1.03	2.30	2.92
+M(kNm)	623	502	380	246	78	179	308	428	545
LoadCase	(33)	(33)	(29)	(29)	(0)	(30)	(30)	(34)	(34)
Btm Ast	3482	3159	2377	1269	498	888	1797	2764	3067
% Steel	2.68	2.43	1.83	0.92	0.36	0.65	1.39	2.13	2.36
V(kN)	325	257	244	225	-206	-232	-251	-264	-331
LoadCase	(30)	(30)	(30)	(30)	(29)	(29)	(29)	(29)	(29)
Asv	117	83	76	66	56	69	79	86	121
Rsv	0.39	0.28	0.25	0.22	0.19	0.23	0.26	0.29	0.40

非加密区箍筋面积: 81
**上截面，位置:1 最大配筋率超限 3.10%>2.75% 《高规》6.3.3
**上截面，位置:9 最大配筋率超限 2.92%>2.75% 《高规》6.3.3
**位置:1 混凝土受压区高度超限 ξ=0.35>ξb=0.25 《抗震规范》6.3.3
**位置:9 混凝土受压区高度超限 ξ=0.35>ξb=0.25 《抗震规范》6.3.3

图 7.2.3 梁端受压区高度超限提示

5、人防组合延性要求

根据《人防规范》4.10.3 条的要求，当受拉钢筋配筋率大于 1.5%时，要求允许延性比$[\beta] \le 0.5/\xi$。软件在执行此项规定时取$[\beta]=3$，即通过调整$\xi_b=0.5/3$=0.167 来进行截面承载力配筋计算。

6、构造配筋

6.1 最小配筋

根据《混凝土规范》表 8.5.1、表 11.3.6-1 及《高规》3.10.3 条，软件中框架梁受拉钢筋最小配筋率按表 7.2.1 取值。

表 7.2.1 框架梁受拉钢筋的最小配筋百分率(%)

抗震等级	梁中位置	
	支座	跨中
特一级、一级	0.4 和 80f_t/f_y中的较大值	0.3 和 65f_t/f_y中的较大值
二级	0.3 和 65f_t/f_y中的较大值	0.25 和 55f_t/f_y中的较大值
三、四级	0.25 和 55f_t/f_y中的较大值	0.2 和 45f_t/f_y中的较大值
非抗震	0.2 和 45f_t/f_y中的较大值	

当梁处于大偏心受拉状态时，根据《混凝土规范》表 8.5.1 注 3，软件取受压钢筋最小配筋率为 0.2%；当梁处于小偏心受拉状态时，梁两侧钢筋均按受拉钢筋考虑构造钢筋。

根据《高规》10.2.7 条，软件中框支梁上、下部纵向钢筋的最小配筋率按表 7.2.2 取值。

表 7.2.2　框支梁单侧纵筋最小配筋百分率(%)

抗震等级	梁中位置	
	支座	跨中
特一级	0.6	
一级级	0.5	
二级级	0.4	
三、四级	0.35	
非抗震	0.3	

根据《人防规范》表 4.11.7，人防梁的受拉钢筋最小配筋除符合上述规定外，尚不小于表 7.2.3 所列数值。

表 7.2.3　人防梁受拉钢筋的最小配筋百分率(%)

混凝土强度等级			
C20	C25～C35	C40～C55	C60～C80
0.2	0.25	0.3	0.35

6.2 最大配筋

根据《高规》6.3.3 条，框架梁受拉钢筋的最大配筋率按表 7.2.4 取值。

表 7.2.4 框架梁受拉钢筋最大配筋百分率(%)

抗震等级	梁中位置	
	支座	跨中
抗震	2.75	4
非抗震	4	

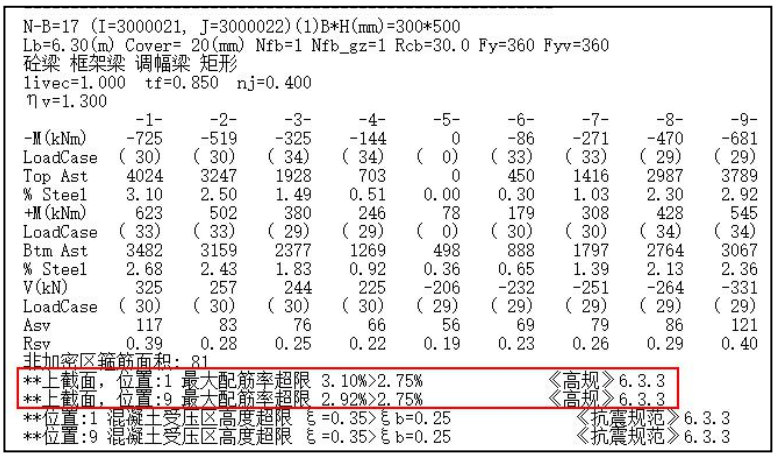
框支梁受拉钢筋最大配筋率取 4%

根据《人防规范》表 4.11.8，人防梁的受拉钢筋最大配筋除符合上述规定外，尚不大于表 7.2.5 所列数值。

表 7.2.5 人防梁纵向受拉钢筋的最大配筋百分率(%)

混凝土强度等级	C20～C25	C25～C80
HRB335 钢筋	2.2	2.5
HRB400 钢筋 HRB500 钢筋	2.0	2.4

当梁中某一截面受拉钢筋配筋超出最大配筋率后，软件就会给出提示，如图 7.2.4 所示。



N-B=17 (I=3000021, J=3000022)(1)B*H(mm)=300*500
Lb=6.30(m) Cover= 20(mm) Nfb=1 Nfb_gz=1 Rcb=30.0 Fy=360 Fyv=360
砼梁 框架梁 调幅梁 矩形
livec=1.000 tf=0.850 nj=0.400
ηv=1.300

	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-	-9-
-M(kNm)	-725	-519	-325	-144	0	-86	-271	-470	-681
LoadCase	(30)	(30)	(34)	(34)	(0)	(33)	(33)	(29)	(29)
Top Ast	4024	3247	1928	703	0	450	1416	2987	3789
% Steel	3.10	2.50	1.49	0.51	0.00	0.30	1.03	2.30	2.92
+M(kNm)	623	502	380	246	78	179	308	428	545
LoadCase	(33)	(33)	(29)	(29)	(0)	(30)	(30)	(34)	(34)
Btm Ast	3482	3159	2377	1269	498	888	1797	2764	3067
% Steel	2.68	2.43	1.83	0.92	0.36	0.65	1.39	2.13	2.36
V(kN)	325	257	244	225	-206	-232	-251	-264	-331
LoadCase	(30)	(30)	(30)	(30)	(29)	(29)	(29)	(29)	(29)
Asv	117	83	76	66	56	69	79	86	121
Rsv	0.39	0.28	0.25	0.22	0.19	0.23	0.26	0.29	0.40

非加密区箍筋面积: 81
**上截面，位置:1 最大配筋率超限 3.10%>2.75% 《高规》6.3.3
**上截面，位置:9 最大配筋率超限 2.92%>2.75% 《高规》6.3.3
**位置:1 混凝土受压区高度超限 ξ=0.35>ξb=0.25 《抗震规范》6.3.3
**位置:9 混凝土受压区高度超限 ξ=0.35>ξb=0.25 《抗震规范》6.3.3

图 7.2.4 受拉钢筋配筋率超限提示

7、型钢混凝土梁

目前软件可按《组合结构设计规范》（JGJ138-2016）及《钢骨混凝土结构技术规程》（YB 9082-2006）进行型钢混凝土构件承载力配筋计算，用户可根据需要选择，如图 7.2.5 所示。

需要指出的是，由于两种规程基本假定有所不同，所以计算的配筋面积也有所差异。

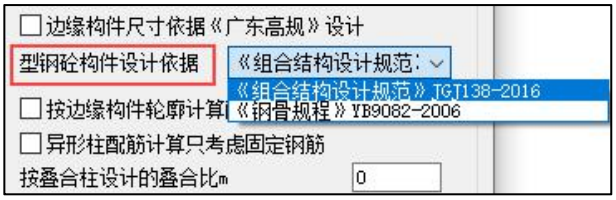


图 7.2.5 型钢混凝土构件规范选择

当采用《组合结构设计规范》时，软件根据该规程 5.1.2 条进行承载力配筋计算；当采用《钢骨混凝土结构技术规程》时，软件根据该规程 6.2.1 条、6.2.2 条及 6.2.3 条确定型钢抗弯承载力后再根据《混凝土规范》确定配筋面积。

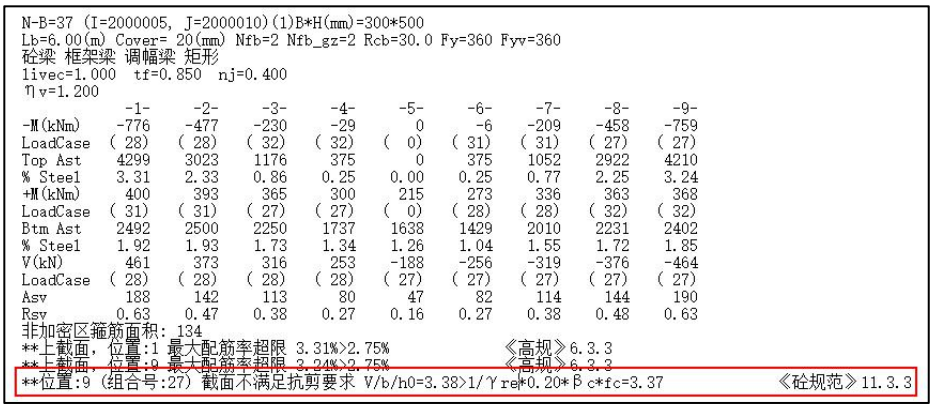
根据《高层建筑混凝土结构技术规程》11.4.2 条第 2 款、《组合结构设计规范》5.5.2 条及《钢骨混凝土结构技术规程》6.1.5 条第 2 款，软件取受拉钢筋最小配筋率为 0.3%，最小受拉钢筋面积为 402mm^2(2 根直径 16 钢筋)；受拉钢筋最大配筋率取 4%，当配筋率超限时，软件会给出提示。另外，当效应组合为人防组合时，软件还考虑了按《人防规范》确定构造钢筋面积。

三、斜截面配筋

1、最小截面尺寸

软件根据《混凝土规范》6.3.1 条、11.3.3 条确定框架梁受剪最小截面尺寸，根据《高规》10.2.8 条第 2 款确定框支梁受剪最小截面尺寸。当梁中存在扭矩时，软件根据《混凝土规范》6.4.1 条确定受剪扭最小截面尺寸。

当受剪或受剪扭截面尺寸超出限值时，软件就会给予提示，如图 7.2.6 所示。


N-B=37 (I=2000005, J=2000010)(1)B*H(mm)=300*500
Lb=6.00(m) Cover= 20(mm) Nfb=2 Nfb_gz=2 Rcb=30.0 Fy=360 Fyv=360
砼梁 框架梁 调幅梁 矩形
livec=1.000 tf=0.850 nj=0.400
ηv=1.200

	-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-	-9-
-M(kNm)	-776	-477	-230	-29	0	-6	-209	-458	-759
LoadCase	(28)	(28)	(32)	(32)	(0)	(31)	(31)	(27)	(27)
Top Ast	4299	3023	1176	375	0	375	1052	2922	4210
% Steel	3.31	2.33	0.86	0.25	0.00	0.25	0.77	2.25	3.24
+M(kNm)	400	393	365	300	215	273	336	363	368
LoadCase	(31)	(31)	(27)	(27)	(0)	(28)	(28)	(32)	(32)
Btm Ast	2492	2500	2250	1737	1638	1429	2010	2231	2402
% Steel	1.92	1.93	1.73	1.34	1.26	1.04	1.55	1.72	1.85
V(kN)	461	373	316	253	-188	-256	-319	-376	-464
LoadCase	(28)	(28)	(28)	(28)	(27)	(27)	(27)	(27)	(27)
Asv	188	142	113	80	47	82	114	144	190
Rsv	0.63	0.47	0.38	0.27	0.16	0.27	0.38	0.48	0.63

非加密区箍筋面积: 134
**上截面，位置:1 最大配筋率超限 3.31%>2.75% 《高规》6.3.3
**上截面，位置:9 最大配筋率超限 3.24%>2.75% 《高规》6.3.3
**位置:9 (组合号:27) 截面不满足抗剪要求 V/b/h0=3.38>1/γre*0.20*βc*fc=3.37 《砼规范》11.3.3

图 7.2.6 受剪截面尺寸超限提示

2、承载力计算

2.1 纯剪

软件根据《混凝土规范》6.3.4 条、11.3.4 条进行框架梁、框支梁受剪配筋计算。

2.2 拉剪

软件根据《混凝土规范》6.3.14 条、11.3.4 条进行框架梁、框支梁拉剪配筋计算。

从承载力公式可以看出，规范实际是对拉剪构件的箍筋最小配筋率作出了规定，且该最小配筋率比单纯受剪或剪扭受力状态时的最小配筋率要大。为了避免拉力很小时与不存在拉力时箍筋差异太大，当拉力$N \le \frac{1}{50} f_t A$时，软件忽略拉力影响，按照纯剪进行承载力配筋计算。

2.3 剪扭、纯扭

对于非地震作用组合及人防组合，当梁中存在扭矩时，软件根据《混凝土规范》6.4.3 条、6.4.4 条、6.4.8 条、6.4.11 条及 6.4.12 条进行剪扭或纯扭承载力配筋计算，如梁中存在拉力，软件还根据《混凝土规范》6.4.17 条、6.4.18 条进行拉剪扭配筋计算。需要指出的是，进行受扭计算时软件取受扭纵筋与受扭箍筋的配筋强度比$\zeta = 1.2$。

2.4 人防组合混凝土抗剪承载力调整

当荷载效应为人防组合时，软件根据《人防规范》4.10.7 条考虑跨高比对混凝土抗剪承载力的影响。

2.5 不需承载力计算的条件

根据《混凝土规范》6.4.2 条规定，梁为剪扭受力状态时，软件控制当

$$\frac{V}{bh_0} + \frac{T}{W_t} \le 0.7 f_t - 0.2 \frac{N}{bh_0}$$

时，不进行受剪扭承载力配筋计算，仅进行构造配筋。

3、构造配筋

根据《混凝土规范》9.2.9 条第 3 款、11.3.9 条及《高规》3.10.3 条、10.2.7 条第 2 款，软件中框架梁、框支梁箍筋最小配筋率按表 7.2.6 取值。

表 7.2.6 框架梁、框支梁箍筋最小配筋率

	特一级	一级	二级	三、四级	非抗震
框架梁	$0.33\frac{f_t}{f_{yv}}$	$0.3\frac{f_t}{f_{yv}}$	$0.28\frac{f_t}{f_{yv}}$	$0.26\frac{f_t}{f_{yv}}$	$0.24\frac{f_t}{f_{yv}}$
框支梁	$1.3\frac{f_t}{f_{yv}}$	$1.2\frac{f_t}{f_{yv}}$	$1.1\frac{f_t}{f_{yv}}$	$1.0\frac{f_t}{f_{yv}}$	$0.9\frac{f_t}{f_{yv}}$

另外，当非地震组合存在扭矩时，箍筋的最小配筋率尚不小于 0.28ft / fw，受扭纵筋的最小配筋率

$$\rho_{tl,\min}=0.6\sqrt{\frac{T}{Vb}}\frac{f_t}{f_y}$$

当 T/（Vb）＞2.0 时，取 T/（Vb）=2.0。

4、型钢混凝土梁

当用户选择《组合结构设计规范》时，软件按照该规程 5.2.3 条进行型钢混凝土梁受剪最小截面尺寸验算；当用户选择《钢骨混凝土结构技术规程》时，软件按照该规程 6.2.8 条、6.2.7 条第 3 款分别按照型钢混凝土梁和钢筋混凝土梁进行受剪最小截面尺寸验算。当截面抗剪超出规程限制时，软件会给出相应提示。

对于承载力配筋计算，软件按照《组合结构设计规范》5.2.5 条或《钢骨混凝土结构技术规程》6.2.4 条、6.2.6 条及 6.2.7 条(箍筋承载力项系数取 1.0)确定箍筋面积。

型钢混凝土梁的箍筋最小配筋率除符合钢筋混凝土梁的规定外，根据《高规》11.4.3 条第 1 款，尚不小于 0.15%。

第三节 混凝土柱配筋

软件对每根柱取顶、底两个截面进行承载力配筋计算，可考虑地震组合(小震弹性、

中震不屈服、中震弹性)、非地震组合和人防组合。

一、正截面配筋

1、轴心受压

当柱中轴力为压力时，软件按照轴心受压状态根据《混凝土规范》6.2.15 确定配筋。如截面还存在弯矩(偏心受压)，则与偏压配筋结果两者取大作为计算配筋。

2、偏心受压

在大多数情况下，柱中不但存在轴力，还存在绕截面两个主轴方向的弯矩。软件对柱提供了“单偏压”和“双偏压”两种配筋模式(图 7.3.1)。

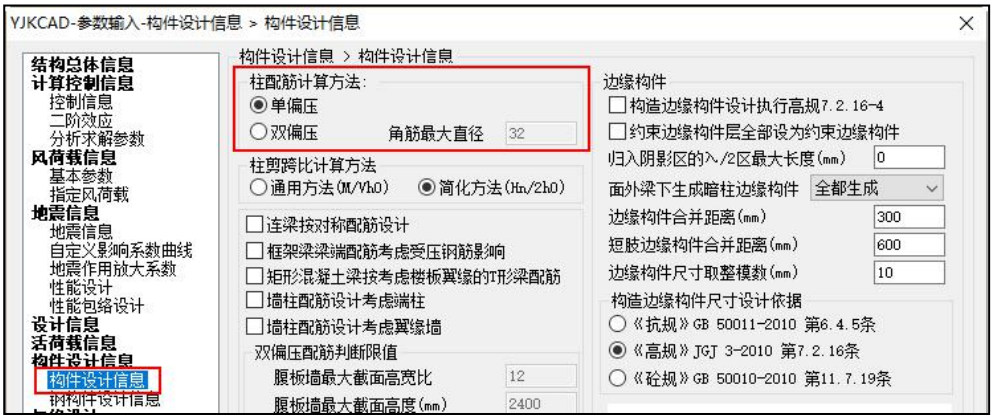


图 7.3.1　柱配筋模式选择

“单偏压”配筋模式是指在在确定绕截面一个主轴的配筋时，忽略绕另一个主轴实际存在的弯矩；“双偏压”配筋模式是指在确定截面配筋时，同时考虑绕截面两个主轴的弯矩。需要指出的是，对于角柱(需用户指定)、异形柱(T 形、L 形、十字形)、圆形柱，该选项不起作用(角柱、异形柱按照“双偏压”模式配筋；圆形按照“单偏压”模式配筋)。

3、单偏压计算

3.1 弯矩增大系数和附加偏心距

软件根据《混凝土规范》6.2.3 条、6.2.4 条确定由于 P-δ引起的弯矩增大系数，根据 6.2.5 条确定附加偏心距 e_a。

3.2 承载力计算

对于矩形截面柱，软件采用对称配筋方式根据《混凝土规范》6.2.17 条进行承载力

计算；对于圆形截面柱，软件根据《混凝土规范》附录 E.0.4 条进行承载力计算。

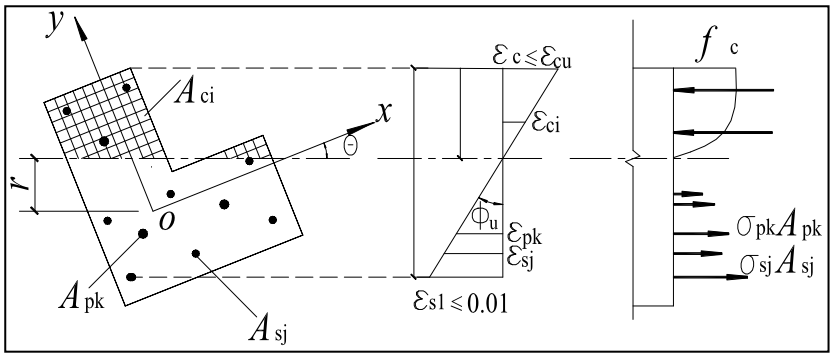
4、双偏压计算

4.1 弯矩增大系数和附加偏心距

对于矩形截面柱，软件在截面两个主轴方向分别按照与单偏压一致的方法考虑本方向的弯矩增大系数和附加偏心距；对于异形截面柱，软件根据《混凝土异形柱结构技术规程》(JGJ 149-201)5.1.2 条第 4 款、5.1.4 条确定偏心距增大系数和附加偏心距。

4.2 承载力计算

软件根据《混凝土规范》附录 E.0.1 条进行双偏压承载力计算，如图 7.3.2 所示。



(a) 截面、配筋及其单元划分(b) 应变分布　　(c) 应力分布

图 7.3.2　双偏压承载力计算简图

从上图可以看出，钢筋距中和轴距离不同，其应力也各不相同，距中和轴越远钢筋应力越大，距中和轴越近钢筋应力越小。比较理想的方式是将钢筋布置在远离中和轴的位置，以便更大程度的发挥钢筋的作用。但是，由于不同组合的设计内力不同，中和轴的位置也各有差异，软件在综合考虑各种受力情况和规范构造要求的基础上确定了较为合理的布筋原则。

对于矩形截面柱，软件按照对称布筋的方式将钢筋分为角部钢筋 A_{sc}、上下侧面钢筋 A_{sx0} 和左右两侧钢筋 A_{sy0} 三部分，如图 7.3.3 所示，软件在文件中输出的单侧钢筋面积：

$$A_{sx} = A_{sx0} + 2A_{sc}$$

$$A_{sy} = A_{sy0} + 2A_{sc}$$

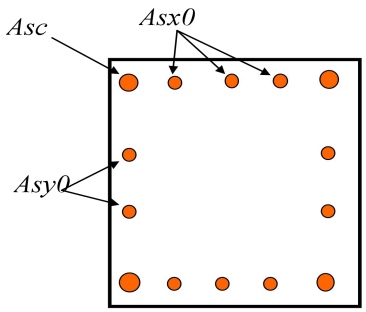


图 7.3.3 矩形截面柱钢筋布置简图

对于异形截面柱，软件将钢筋分为固定钢筋 A_{sz} 和分布钢筋 A_{sd}，如图 7.3.4 所示。固定钢筋是指布置在截面各个肢的交叉点和肢端的钢筋，分布钢筋是指布置在肢长超过某一限值(软件取 250mm)后布置在肢的中间部位的钢筋。

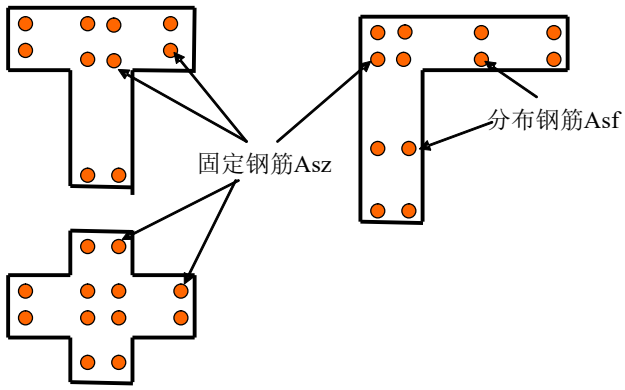


图 7.3.4 异形截面柱钢筋布置简图

5、矩形截面柱角筋

对于矩形截面柱，软件在文件中输出了单根角筋面积 A_{sc}。当选择双偏压配筋模式时，该面积由程序计算确定；当选择单偏压配筋模式时，软件按照截面长边尺寸 h 确定角筋面积。具体如下：

$h \leqslant 410\text{mm}$时 $A_{sc}=153\text{mm}^2$(直径为14mm)

$410\text{mm} \leqslant h \leqslant 560\text{mm}$时 $A_{sc}=201\text{mm}^2$(直径为16mm)

$560\text{mm} \leqslant h \leqslant 710\text{mm}$时 $A_{sc}=254\text{mm}^2$(直径为18mm)

$710\text{mm} \leqslant h \leqslant 860\text{mm}$时 $A_{sc}=314\text{mm}^2$(直径为20mm)

860mm≤h≤1010mm时 A_{sc}=380mm²(直径为22mm)

h>1010mm时 A_{sc}=490mm²(直径为25mm)

按上述截面尺寸确定的角筋面积还应满足

$$A_{sc} \leq 0.1\% bh$$

6、构造配筋

6.1 矩形、圆形截面柱

根据《混凝土规范》11.4.12 条、《高规》3.10.2 条、3.10.4 条及 6.4.3 条，软件中柱全部纵向钢筋最小配筋率按表 7.3.1 取值。

表 7.3.1 柱全部纵向钢筋最小配筋百分率(%)

柱类型	抗震等级					
	特一级	一级	二级	三级	四级	非抗震
中柱、边柱	1.3(1.4)	0.9(1.0)	0.7(0.8)	0.6 (0.7)	0.5(0.6)	0.5
角柱	1.5	1.1	0.9	0.8	0.7	0.5
框支柱	1.5	1.1	0.9	0.8	0.7	0.7

注:

1. 表中括号内数值用于框架结构的柱；
2. 采用 335MPa 级、400MPa 级纵向受力钢筋时，应分别按表中数值增加 0.1 和 0.05 采用；
3. 当混凝土强度等级为 C60 以上时，应按表中数值加 0.1 采用；
4. 对Ⅳ类场地上较高的高层建筑(框架结构 40m，其它结构 60m)，表中数值增加 0.1 采用。

对于按柱设计的短肢剪力墙，除应符合上述规定外，根据《高规》7.2.2 条，其全部纵筋最小配筋率尚不小于表 7.3.2 所列数值。

表 7.3.2 按柱设计的短肢剪力墙全部纵向钢筋最小配筋百分率(%)

抗震等级	加强部位	一般部位
特一级、一级、二级	1.2	1.0
三级、四级	1.0	0.8

根据《高规》6.4.4 条、10.2.11 条，软件中柱全部纵向钢筋最大配筋率按表 7.3.3 取值。

表 7.3.3 柱全部纵向钢筋最大配筋百分率(%)

抗震等级	框架柱	框支柱
抗震	5	4
非抗震	6	5

6.2 异形截面柱

根据《混凝土异形柱结构技术规程》6.2.5 条，软件中异形柱全部纵向钢筋最小配筋率按表 7.3.4 取值。

表 7.3.4 异形柱全部纵向受力钢筋最小配筋百分率(%)

柱类型	抗震等级				
	一级	二级	三级	四级	非抗震
中柱、边柱	1.0	0.8(0.9)	0.8 (0.8)	0.8(0.8)	0.6
角柱	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8

注:

1. 表中括号内数值用于框架结构的柱；
2. 采用 400MPa 级纵向受力钢筋时，应分别按表中数值减小 0.05 采用。

根据《混凝土异形柱结构技术规程》6.2.6 条，软件中异形柱全部纵向钢筋最大配筋率非抗震设计取 4%，抗震设计取 3%。

当柱全部纵向钢筋配筋率超出最大配筋率限值时，软件会给出相应提示，如图 7.3.5 所示，

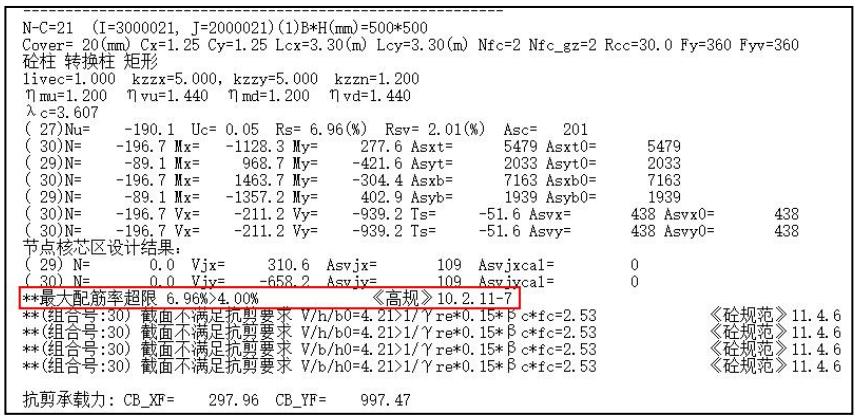


图 7.3.5 柱配筋率超限提示

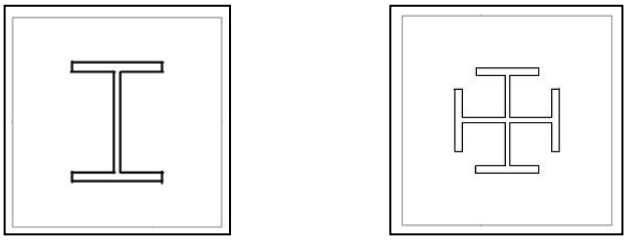
另外，根据《抗震规范》6.3.8 条要求，对于一级且剪跨比小于 2 的矩形截面柱，当单侧纵向钢筋配筋率大于 1.2%时，软件会给予相应提示。

7、型钢混凝土柱

用户选用《组合结构设计规范》时，软件根据该规程 6.2.2 条条进行承载力计算；当用户选用《钢骨混凝土结构技术规程》时，软件根据该规程 6.3.2 条、6.3.3 条及 6.3.7 条进行承载力计算。目前软件对型钢混凝土柱只支持单偏压配筋模式。

需要指出的是，当型钢混凝土柱只配置单面工字钢时，如图 7.3.6a 所示，如选用《组合结构设计规范》，软件在与型钢腹板平行方向按型钢混凝土柱进行配筋计算，在与型钢腹板垂直方向忽略型钢作用，按普通混凝土柱进行配筋计算(构造仍按型钢混凝土柱采用)；如选用《钢骨混凝土结构技术规程》计算，软件在两个方向均能考虑型钢作用，按型钢混凝土柱进行配筋计算。

当型钢混凝土柱配置垂直交叉工字钢时，如图 7.3.6b 所示，两种规程在两个方向都按型钢混凝土柱进行配筋计算，但是选用《组合结构设计规范》时只考虑本方向工型钢的作用，而忽略另一个方向工型钢；采用《钢骨混凝土结构技术规程》时在每个方向都考虑交叉工型钢的作用。



(a)单面工字钢　　(b)垂直交叉工字钢

图 7.3.6　型钢混凝土柱截面简图

根据《高规》11.4.5 条，软件取型钢混凝土柱全部纵向钢筋最小配筋率为 0.8%，最大配筋率取值与普通混凝土柱一致。当配筋率超出最大限值时，软件就会给出相应提示。

二、斜截面配筋

1、最小截面尺寸

软件根据《混凝土规范》6.3.16 条、11.4.9 条确定框架柱受剪最小截面尺寸，根据《高规》10.2.11 条确定框支柱受剪截面尺寸要求。当柱为圆形截面柱时，根据《混凝

土规范》6.3.15 条，软件将其化为矩形截面柱处理。

当柱受剪截面尺寸超限时，软件会给出相应提示。

2、承载力计算

软件根据《混凝土规范》6.3.12 条、6.3.14 条、6.3.17 条、11.4.7 条、11.4.8 条及 11.4.10 条进行拉剪、压剪承载力配筋计算，对于非地震组合和人防组合，当柱中存在扭矩时，软件还根据规范有关条款进行拉剪扭、压剪扭配筋计算。

3、异形柱

对于异形截面柱，软件根据两个垂直柱肢的面积比将轴向力 N 分配为 N_x、N_y，根据两个柱肢的受扭塑性抵抗矩比将扭矩 T 分配为 T_x、T_y，并将 N_x、T_x 与相应肢平行的剪力(假定为 Vx)，N_y、T_y 与相应肢平行的剪力(假定为 V_y)分别按照矩形截面单向受剪进行配筋计算，单肢受剪最小截面尺寸要求与矩形截面柱单向受剪要求一致。

4、构造配筋

对于矩形、圆形截面柱，软件根据《混凝土规范》11.4.17 条、《高规》3.10.2 条及 3.10.4 条确定框架柱、框支柱箍筋最小体积配箍率；对于异形截面柱，除符合上述规定外，尚不小于按《混凝土异形柱结构技术规程》6.2.9 条确定的体积配箍率。需要指出的是，在按轴压比确定最小配箍特征值时，软件一般采用地震作用组合的轴压比，但是对于不计算地震作用但采取抗震构造措施的结构，软件采用非地震作用组合的轴压比确定最小配箍特征值。

5、型钢混凝土柱

当用户选择《组合结构设计规范》时，软件按照该规程 6.2.14 条进行型钢混凝土柱受剪最小截面尺寸验算；当用户选择《钢骨混凝土结构技术规程》时，软件按照该规程 6.3.11 条、6.3.10 条第 3 款分别按照型钢混凝土柱和钢筋混凝土柱进行受剪最小截面尺寸验算。

当截面抗剪超出规程限制时，软件会给出相应提示。

对于承载力配筋计算，软件按照《组合结构设计规范》6.2.16、6.2.17、6.2.18 条或《钢骨混凝土结构技术规程》6.3.8 条及 6.3.10 条确定箍筋面积。

软件根据《高规》11.4.6 条确定型钢混凝土柱的箍筋最小配筋率。

三、柱轴压比控制

根据《混凝土规范》11.4.16 条，软件中矩形、圆形截面柱的轴压表限值按表 7.3.5 取值。

表 7.3.5 矩形、圆形截面柱轴压比限值

结构体系	抗震等级			
	一级	二级	三级	四级
框架结构	0.65	0.75	0.85	0.90
框架-剪力墙结构、筒体结构 板柱-剪力墙结构	0.75	0.85	0.90	0.95
部分框支剪力墙结构	0.60	0.70	—	

注:

1. 轴压比指柱地震作用组合的轴压力设计值与柱的全截面面积和混凝土轴心抗压强度设计值乘积之比值；不进行地震作用计算但取抗震构造措施的结构，取无地震作用组合的轴力设计值计算；
2. 当混凝土强度等级为 C65~ C70 时，轴压比限值按表中数值减小 0.05；混凝土强度等级为 C75~ C80 时，轴压比限值宜按表中数值减小 0.10；
3. 剪跨比不大于 2 的框架柱轴压比限值应降低 0.05；剪跨比小于 1.5 的框架柱，轴压比限值应降低 0.1；
4. 柱经采用上述加强措施后，其最终的轴压比限值不应大于 1.05。

根据《混凝土异形柱结构技术规程》6.2.2 条，软件中异形截面柱轴压比限值按表 7.3.6 取值。

表 7.3.6 异形截面柱轴压比限值

结构体系	截面形式	抗震等级			
		一级	二级	三级	四级
框架结构	L 形、Z 形	—	0.50	0.60	0.70
	T 形	—	0.55	0.65	0.75
	十字形	—	0.60	0.70	0.80
框剪结构	L 形、Z 形	0.40	0.55	0.65	0.75
	T 形	0.45	0.60	0.70	0.80
	十字形	0.50	0.65	0.75	0.85

注：

1. 剪跨比不大于 2 的异形柱，轴压比限值应按表内相应数值减小 0.05；
2. 肢端设暗柱时，L 形、Z 形柱按表内相应数值增大 0.05,；十字形、T 形柱一、二级抗震等级按表内相应数值增大 0.1，三、四级抗震等级按表内相应数值增大 0.05；
3. 纵向受力钢筋采用 500Mpa 级钢筋时，轴压比限值应按表内相应数值减小 0.05。

根据《高规》11.4.4 条，软件中型钢混凝土柱轴压比限值按表 7.3.7 取值。

表 7.3.7 型钢混凝土柱轴压比限值

抗震等级	一级	一级	二级
轴压比限值	0.7	0.8	0.9

注：

1. 框支层柱的轴压比按表中数值减少 0.1；
2. 剪跨比不大于 2 的柱，轴压比按表中数值降低 0.05；
3. 采用 C60 以上混凝土时，轴压比按表中数值减少 0.05。

选择广东高规 2021 时，柱的轴压比采用重力荷载代表值的设计值计算；框架柱轴压比限值按表 6.4.2 取值，型钢混凝土柱轴压比限值按表 12.4.4 取值，矩形钢管混凝土柱轴压比限值按表 12.4.10 取值。

当计算最大轴压比超出轴压比限值时，软件会给予相应提示。

第四节 梁柱节点抗剪配筋

根据《混凝土规范》11.6.1 条规定，软件对一、二、三级抗震等级的框架进行节点核心区抗震受剪承载力验算，对于异形柱框架梁柱节点，软件还增加四级抗震等级和非抗震设计的受剪承载力验算，

对于矩形柱、圆形柱框架的梁柱节点，软件按照《混凝土规范》11.6.3 条及 11.6.5 条确定节点核心区受剪最小截面尺寸，对于异形柱框架的梁柱节点，软件按照《混凝土异形柱结构技术规程》5.3.2 条确定节点核心区受剪最小截面尺寸，对于型钢混凝土柱梁柱节点，软件按照《组合结构设计规范》6.6.2 条确定节点核心区受剪最小截面尺寸。

当节点核心区尺寸不满足抗剪要求时，软件会给出相应提示。

对于矩形柱、圆形柱框架的梁柱节点，软件按照《混凝土规范》11.6.4 条及 11.6.6 条确定计算箍筋，按照该规范 11.6.8 条确定构造箍筋；对于异形柱框架的梁柱节点，软件按照《混凝土异形柱结构技术规程》5.3.3 条确定计算箍筋，按照该规程 6.3.6 条确定构造箍筋；对于型钢混凝土柱梁柱节点，软件按照《组合结构设计规范》6.6.4 条或《钢

骨混凝土结构技术规程》7.1.4 条确定计算箍筋，按照《组合结构设计规范》6.6.14 条确定构造箍筋。

第五节 剪力墙连梁和墙肢配筋

一、连梁配筋

与框架梁处理一致，软件也将连梁 8 等分(9 个截面)进行承载力配筋计算，目前软件可设计普通箍筋连梁、交叉斜筋连梁、对角斜筋连梁及对角暗撑连梁。

1、正截面配筋

根据《高规》7.1.3 条，软件将跨高比不小于 5 的连梁按框架梁进行正截面受弯承载力计算并确定构造钢筋，对于此类连梁配筋用户可参照框架梁设计内容。

1.1 承载力计算

软件对连梁可按非对称配筋和对称配筋两种方式进行正截面受弯承载力计算，非对称配筋计算与框架梁一致；对于对称配筋计算，软件根据《混凝土规范》11.7.7 条进行配筋计算。

1.2 构造配筋

根据《高规》7.2.24 条，软件中对跨高比 l / hb≤1.5 的连梁受拉钢筋最小配筋率按表 7.5.1 取值。

表 7.5.1　跨高比不大于 1.5 的连梁受拉钢筋最小配筋百分率(%)

抗震等级	跨高比 l / hb	
	$l / h_b \leqslant 0.5$	$0.5 < l / h_b \leqslant 1.5$
抗震	0.2 和 45ft / fy 中的较大值	0.25 和 55ft / fy 中的较大值
非抗震	0.2	

对于跨高比 $l / h_b > 1.5$ 的连梁，其受拉钢筋最小配筋率根据《混凝土规范》表 11.3.6-1 按支座确定。

根据《高规》7.2.25 条，软件中连梁受拉钢筋最大配筋率按表 7.5.2 取值。

表 7.5.2 连梁受拉钢筋最大配筋百分率(%)

抗震等级	跨高比 l/h_b			
	$l/h_b \leqslant 1.0$	$1.0 < l/h_b \leqslant 2.0$	$2.0 < l/h_b \leqslant 2.5$	$2.5 < l/h_b < 5$
抗震	0.6	1.2	1.5	2.5
非抗震	2.5			

2、斜截面配筋

2.1 最小截面尺寸

根据《高规》7.2.22 条及《混凝土规范》11.7.10 条，软件中连梁受剪最小截面尺寸要求如下：

非地震组合、人防组合

$$V \leq 0.25\beta_c f_c b h_0$$

地震组合

普通箍筋连梁

跨高比大于 2.5 时 $V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}}(0.2\beta_c f_c b h_0)$

跨高比不大于 2.5 时 $V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}}(0.15\beta_c f_c b h_0)$

交叉斜筋连梁、对角斜筋连梁、对角暗撑连梁

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}}(0.25\beta_c f_c b h_0)$$

当受剪截面尺寸超出限值时，软件就会给予相应提示。

2.2 承载力计算

对于普通箍筋连梁，软件根据《高规》7.2.23 条进行承载力计算。

对于交叉斜筋连梁，软件根据《混凝土规范》11.7.10 条第 1 款确定的受剪承载力如下：

$$V=\frac{1}{\gamma_{RE}}\left[0.4f_t bh_0+(2.0\sin\alpha+0.6\eta)f_{yd}A_{sd}\right]$$

$$\eta=(f_{yv}A_{sv}h_0)/(sf_{yd}A_{sd})$$

式中：

η——箍筋与对角斜筋的配筋强度比，软件取 1.0；

α——对角斜筋与梁纵轴的夹角；

fyd——对角斜筋的抗拉强度设计值；

Asd——单向对角斜筋的截面面积；

Asv——同一截面内箍筋各肢的全部截面面积。

对于对角斜筋及对角暗撑连梁，软件根据《混凝土规范》11.7.10 条第 2 款确定的受剪承载力如下：

$$V=\frac{2}{\gamma_{RE}}f_{yd}A_{sd}\sin\alpha$$

2.3 构造配筋

软件中连梁箍筋最小配筋率按表 7.5.3 取值。

表 7.5.3　连梁支梁箍筋最小配筋率

抗震等级	特一级	一级	二级	三、四级	非抗震
配筋率	$0.3\frac{f_t}{f_{yv}}$	$0.3\frac{f_t}{f_{yv}}$	$0.28\frac{f_t}{f_{yv}}$	$0.26\frac{f_t}{f_{yv}}$	$0.24\frac{f_t}{f_{yv}}$

二、墙肢配筋

软件对每个墙肢取顶、底两个截面进行承载力配筋计算，可考虑地震组合(小震弹性、中震不屈服、中震弹性)、非地震组合和人防组合。

1、正截面配筋

1.1 承载力计算

软件在对墙肢进行配筋时忽略墙肢的平面外弯矩，按照单向偏心受力构件根据《混凝土规范》6.2.9 条进行承载力配筋计算，其 P-δ效应的考虑方法与混凝土柱一致。当墙肢的截面高度与厚度之比不大于 4 时，软件按照柱进行配筋计算；当用户选择“墙柱配筋设计考虑端柱”时，软件将边框柱和墙肢组合为带边框柱剪力墙进行配筋计算，如图 7.5.1 所示。

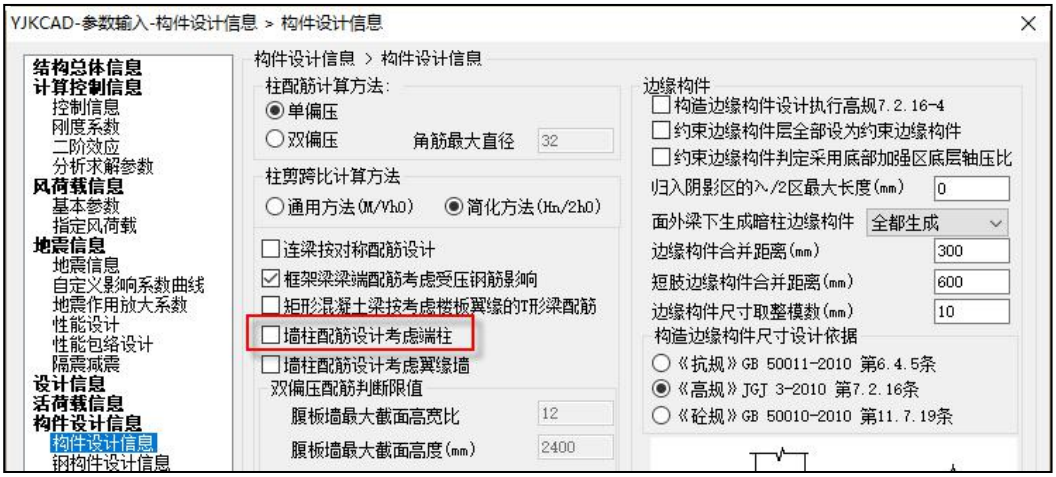


图 7.5.1 按带边框柱剪力墙设计提示

1.2 构造配筋

软件根据《混凝土规范》11.7.18 条及《高规》3.10.5 条确定的剪力墙约束边缘构件阴影范围纵筋最小配筋率按表 7.5.4 取值。

表 7.5.4 约束边缘构件阴影范围纵筋最小配筋百分率(%)

抗震等级	特一级	一级	二级	三级
配筋百分率	1.4	1.2	1.0	1.0

软件根据《混凝土规范》11.7.19 条及《高规》3.10.5 条确定的剪力墙构造边缘构件阴影范围纵筋最小配筋量按表 7.5.5 取值。

表 7.5.5 构造边缘构件阴影范围纵筋最小配筋量

抗震等级	底部加强部位	其他部位
特一级	0.012 Ac，6ϕ16	0.012 Ac，6ϕ14
一级	0.01 Ac，6ϕ16	0.008 Ac，6ϕ14
二级	0.008 Ac，6ϕ14	0.006 Ac，6ϕ12
三级	0.006 Ac，6ϕ12	0.005 Ac，4ϕ12
四级	0.005 Ac，4ϕ12	0.004 Ac，4ϕ12
非抗震	4ϕ12	4ϕ12

当墙肢为短肢剪力墙时，软件将《高规》7.2.2 条规定的墙肢全部纵向钢筋最小配筋率等效为边缘构件纵筋最小配筋率。

对于边缘构件阴影范围纵筋最大配筋率，软件取值与框架柱一致，及非抗震取 6%，抗震取 5%。当边缘构件阴影范围纵筋配筋率超限时，软件也会给出相应提示。

1.3 端部配置型钢的墙肢

选用《组合结构设计规范》时，软件根据该规程 9.1.1 条进行承载力计算；选用《钢骨混凝土结构技术规程》时，软件根据该规程 6.4.9 条进行承载力计算。

端部配置型钢墙肢的边缘构件阴影范围纵筋构造配筋与普通混凝土墙肢取值一致。

2、斜截面配筋

2.1 最小截面尺寸

软件根据《混凝土规范》6.3.20 条、11.7.3 条确定墙肢受剪最小截面尺寸，当受剪截面尺寸超出限值时，软件就会给予相应提示。

2.2 承载力计算

软件根据《混凝土规范》6.3.21 条、6.3.22 条、11.7.4 条及 11.7.5 条进行拉剪、压剪承载力配筋计算，对于特一级、一级抗震等级的剪力墙，软件还根据《混凝土规范》11.7.6 条验算施工缝处的受剪承载力，当承载力不满足受剪要求时，软件也会给予相应提示。

2.3 构造配筋

根据《混凝土规范》9.4.4 条、11.7.14 条及《高规》3.10.5 条，软件中墙肢水平分布钢筋最小配筋率按表 7.5.6 取值。

当选择广东高规时，对受拉剪作用的剪力墙的水平分布筋最小配筋率按 0.5ft/fy 取值；

表 7.5.6 剪力墙水平分布钢筋最小配筋百分率(%)

抗震等级	加强部位	一般部位
特一级	0.4	0.35
一级	0.25(框支剪力墙、框架核心筒：0.3)	0.25
二级	0.25(框支剪力墙、框架核心筒：0.3)	0.25
三级	0.25(框支剪力墙、框架核心筒：0.3)	0.25
四级	0.2(框架剪力墙、板柱剪力墙：0.25) (框支剪力墙、框架核心筒：0.3)	0.2(框架剪力墙、板柱剪力墙：0.25)
非抗震	0.2(框支剪力墙：0.25)	0.2

2.4 端部配置型钢的墙肢

选用《组合结构设计规范》时，软件按照该规程 9.1.5 条进行墙肢受剪最小截面尺寸验算；选用《钢骨混凝土结构技术规程》时，软件按照该规程 6.4.12 条进行墙肢受剪最小截面尺寸验算。

当截面抗剪超出规程限制时，软件会给出相应提示。

软件按照《组合结构设计规范》9.1.6 条、9.1.10 条或《钢骨混凝土结构技术规程》6.4.10 条、6.4.12 条及 6.4.13 条进行承载力配筋计算。

端部配置型钢墙肢的水平分布钢筋最小配筋率与普通混凝土墙肢取值一致。

第六节 钢管混凝土柱承载力验算

目前软件可设计矩形钢管混凝土和圆形钢管混凝土构件。

一、承载力验算

对于矩形钢管混凝土柱，软件按照《矩形钢管混凝土结构技术规程》(CECS 159:2004)第 6 章进行强度及稳定性验算；对于圆形钢管混凝土柱，软件按照《高规》附录 F 进行强度及稳定性验算。

当强度或稳定性验算不满足规范要求时，软件会给予相应提示。

二、刚度、局部稳定验算

根据《高规》11.4.9 及 11.4.10 条，软件取矩形钢管混凝土柱长细比限值为 80，圆形钢管混凝土柱长径比限值为 20。当计算长细比或长径比超出限值要求时，软件会给予相应提示。

对于矩形钢管混凝土柱，软件根据《矩形钢管混凝土结构技术规程》表 6.3.2 确定混凝土工作承担系数限值$[\alpha_c]$，当按规程 4.4.2 条计算的混凝土工作承担系数$\alpha_c > [\alpha_c]$时，软件会给予相应提示；当计算的钢管管壁板件宽厚比 b/t、h/t超出按规程表 4.4.3 确定的宽厚比限值时，软件也会给予相应提示。

对于圆形钢管混凝土柱，当按《高规》附录 F.1.2 条确定的套箍指标θ超出规程 11.4.9 条规定的套箍指标限值时，软件会给予相应提示；当计算的钢管径厚比超出规程 11.4.9 条规定的径厚比限值时，软件也会给予相应提示。

第七节 钢构件承载力验算

软件按照《钢结构设计标准》、《门式刚架规范》及《抗震规范》进行钢构件承载力验算，可考虑地震 (小震弹性、中震不屈服、中震弹性)组合、非地震组合及人防组合。当效应为小震弹性及中震弹性地震组合时，软件按照《抗震规范》表 5.4.2 在承载力验算公式中考虑承载力抗震调整系数γ_{RE} (以下简称γ_{RE})的影响；当效应为中震不屈服地震组合时，软件不考虑γ_{RE}并采用材料强度标准值进行配筋计算；当效应为人防组合时，软件根据《人防规范》4.2.3 条考虑材料强度的调整。

一、承载力验算

1、钢梁

对于普通钢梁，软件根据《钢结构规范》4.1.1 条、5.2.1 条、4.1.2 条、4.2.2 条及

附录 B 按照单向受弯构件进行强度及稳定性验算。

对于腹板高度变化不超过 60mm/m 的工形截面门式钢梁，软件考虑腹板屈曲并根据《门式刚架规程》6.1.1 条、6.1.2 条、6.1.4 条按照单向受弯构件进行强度及稳定性验算；对于其它类型截面及腹板高度变化超过 60mm/m 的工形截面门式钢梁，软件不考虑腹板屈曲，按照普通钢梁进行强度及稳定性验算。

对于勾选按照《钢结构设计标准》的钢梁按照《钢结构设计标准》6.1.1 条、6.1.3、6.2.2 条及附录 C 按照单向受弯构件进行强度及稳定性验算。

对于勾选《门刚规范》的门刚梁按照《门刚规范》7.1.1 条、7.1.2 条、7.1.4 条按照单向受弯构件进行强度及稳定性验算；

2、钢柱

对于普通钢柱，软件根据《钢结构规范》5.1.1 条、5.1.2 条、5.2.1 条、5.2.2 条、5.2.5 条及附录 C 按照双向弯曲构件进行强度及稳定性验算。

对于腹板高度变化不超过 60mm/m 的工形截面门式钢柱，软件考虑腹板屈曲并根据《门式刚架规程》6.1.1 条、6.1.2 条、6.1.3 条、6.1.4 条按照双向受弯构件进行强度及稳定性验算;对于其它类型截面及腹板高度变化超过 60mm/m 的工形截面门式钢柱，软件不考虑腹板屈曲，按照普通钢柱进行强度及稳定性验算。

对于勾选执行《钢结构设计标准》的钢柱按照《钢结构设计标准》8.2.1 条、8.2.2 条、8.2.4 条、8.2.5 条、8.2.6 条及附录 D 按照双向弯曲构件进行强度及稳定性验算。

对于勾选执行《门刚规范》的门刚柱按照《门刚规范》7.1.1 条、7.1.2 条、7.1.3 条、7.1.5 条按照双向受弯构件进行强度及稳定性验算；

3、钢支撑

软件根据《钢结构规范》5.1.1 条、5.1.2 条、附录 C 及《抗震规范》8.2.6 条按照轴心受力构件进行强度及整体稳定验算，当支撑存在弯矩时，软件还另外按照压弯或拉弯构件进行验算。

对于勾选执行《钢结构设计标准》的钢支撑按照《钢结构设计标准》7.1.1 条、7.1.2 条、7.2.1 条按照轴心受力构件进行强度及整体稳定验算，当支撑存在弯矩时，软件还另外按照压弯或拉弯构件进行验算。

二、刚度、局部稳定验算

1、钢梁

工形截面梁受压翼缘宽厚比、腹板高厚比限值分别按表 7.7.1 取值。

表 7.7.1　工形截面梁受压翼缘宽厚比、腹板高厚比限值

抗震等级	受压翼缘宽厚比限值	腹板高厚比限值
特一级	9	$72-120N_b/(Af)\leqslant 60$
一级	9	$72-120N_b/(Af)\leqslant 60$
二级	9	$72-100N_b/(Af)\leqslant 65$
三级	10	$80-110N_b/(Af)\leqslant 70$
四级	11	$85-120N_b/(Af)\leqslant 75$
非抗震	15	250

注：除非抗震设计腹板高厚比限值外，表中所列数值适用于 Q235 钢，当采用其他牌号钢材时，应乘以 $\sqrt{235/f_{ay}}$。

对于考虑腹板屈曲的门式钢梁，受压翼缘宽厚比限值为 $15\sqrt{235/f_{ay}}$，腹板高厚比限值为 $250\sqrt{235/f_{ay}}$。

箱形截面梁受压翼缘宽厚限值按表 7.7.2 取值，其腹板高厚比限值与工形梁取值一致。

表 7.7.2　箱形截面梁受压翼缘宽厚比限值

抗震等级	受压翼缘宽厚比限值
特一级	30
一级	30
二级	30
三级	32
四级	36
非抗震	40

注：表中所列数值适用于 Q235 钢，当采用其他牌号钢材时，应乘以 $\sqrt{235 / f_{ay}}$ 。

当勾选执行《钢结构设计标准》按宽厚比等级控制局部稳定时，钢梁和钢柱按照钢标表 3.5.1 限值控制。

表 3.5.1 压弯和受弯构件的截面板件宽厚比等级及限值

构件	截面板件宽厚比等级		S1 级	S2 级	S3 级	S4 级	S5 级
压弯构件（框架柱）	H 形截面	翼缘 b/t	$9\varepsilon_k$	$11\varepsilon_k$	$13\varepsilon_k$	$15\varepsilon_k$	20
		腹板 h_0/t_w	$(33+13a_0^{1.3})\varepsilon_k$	$(38+13a_0^{1.39})\varepsilon_k$	$(40+18a_0^{1.5})\varepsilon_k$	$(45+25a_0^{1.66})\varepsilon_k$	250
	箱形截面	壁板（腹板）间翼缘 b_0/t	$30\varepsilon_k$	$35\varepsilon_k$	$40\varepsilon_k$	$45\varepsilon_k$	—
	圆钢管截面	径厚比 D/t	$50\varepsilon_k^2$	$70\varepsilon_k^2$	$90\varepsilon_k^2$	$100\varepsilon_k^2$	—
受弯构件（梁）	工字形截面	翼缘 b/t	$9\varepsilon_k$	$11\varepsilon_k$	$13\varepsilon_k$	$15\varepsilon_k$	20
		腹板 h_0/t_w	$65\varepsilon_k$	$72\varepsilon_k$	$93\varepsilon_k$	$124\varepsilon_k$	250
	箱形截面	壁板（腹板）间翼缘 b_0/t	$25\varepsilon_k$	$32\varepsilon_k$	$37\varepsilon_k$	$42\varepsilon_k$	—

2、钢柱

工形截面柱受压翼缘宽厚比、腹板高厚比限值按表 7.7.3 取值。

表 7.7.3 工形截面柱受压翼缘宽厚比、腹板高厚比限值

抗震等级	受压翼缘宽厚比限值	腹板高厚比限值
特一级	10	43
一级	10	43
二级	11	45
三级	12	48
四级	13	52
非抗震	按《钢结构规范》5.4.1 条确定	按《钢结构规范》5.4.2 条确定

注：除非抗震设计外，表中所列数值适用于 Q235 钢，当采用其他牌号钢材时，应乘以 $\sqrt{235 / f_{ay}}$ 。

对于考虑腹板屈曲的门式钢柱，受压翼缘宽厚比限值为 $15\sqrt{235 / f_{ay}}$ ，腹板高厚比

限值为 $250\sqrt{235/f_{ay}}$。

箱形截面柱受压翼缘宽厚比、腹板高厚比限值按表 7.7.4 取值。

表 7.7.4 箱形截面柱受压翼缘宽厚比、腹板高厚比限值

抗震等级	受压翼缘宽厚比限值	腹板高厚比限值
特一级	33	33
一级	33	33
二级	36	36
三级	38	38
四级	40	40
非抗震	40	按《钢结构规范》5.4.2 条确定

注：除非抗震设计腹板高厚比限值外，表中所列数值适用于 Q235 钢，当采用其他牌号钢材时，应乘以 $\sqrt{235/f_{ay}}$。

钢柱长细比限值按表 7.7.5 取值。

表 7.7.5 钢柱长细比限值

抗震等级	框架	单层厂房	多层厂房
特一级	60	150(ρ>0.2 时取 120)	150(ρ>0.2 时取 125(1-0.8ρ))
一级	60	150(ρ>0.2 时取 120)	150(ρ>0.2 时取 125(1-0.8ρ))
二级	80	150(ρ>0.2 时取 120)	150(ρ>0.2 时取 125(1-0.8ρ))
三级	100	150(ρ>0.2 时取 120)	150(ρ>0.2 时取 125(1-0.8ρ)
四级	120	150(ρ>0.2 时取 120)	150(ρ>0.2 时取 125(1-0.8ρ)
非抗震	150	150	150

注：ρ为轴压比，当限值不等于 150 时，表中所列数值适用于 Q235 钢，当采用其他牌号钢材时，应乘以 $\sqrt{235/f_{ay}}$。

当勾选执行《钢结构设计标准》按宽厚比等级控制局部稳定时，钢梁和钢柱按照钢标表 3.5.1 限值控制。

3、钢支撑

工形截面中心支撑受压翼缘宽厚比、腹板高厚比限值按表 7.7.6 取值。

表 7.7.6　工形截面中心支撑受压翼缘宽厚比、腹板高厚比限值

抗震等级	受压翼缘宽厚比限值	腹板高厚比限值
特一级	8	25
一级	8	25
二级	9	26
三级	10	27
四级	13	33
非抗震	按《钢结构规范》5.4.1 条确定	按《钢结构规范》5.4.2 条确定

注：除非抗震设计外，表中所列数值适用于 Q235 钢，当采用其他牌号钢材时，应乘以 $\sqrt{235/f_{ay}}$ 。

箱形截面中心支撑受压翼缘宽厚比、腹板高厚比限值按表 7.7.7 取值。

表 7.7.7　箱形截面中心支撑受压翼缘宽厚比、腹板高厚比限值

抗震等级	受压翼缘宽厚比限值	腹板高厚比限值
特一级	18	18
一级	18	18
二级	20	20
三级	25	25
四级	30	30
非抗震	40	40

注：表中所列数值适用于 Q235 钢，当采用其他牌号钢材时，应乘以 $\sqrt{235/f_{ay}}$ 。

圆管截面中心支撑径厚比限值按表 7.7.8 取值。

表 7.7.8　圆管截面中心支撑径厚比限值

抗震等级	径厚比限值
特一级	38
一级	38
二级	40
三级	40
四级	42
非抗震	100

注：表中所列数值适用于 Q235 钢，当采用其他牌号钢材时，应乘以 $235/f_{ay}$。

偏心支撑构件的受压翼缘宽厚比、腹板高厚比限值取值与中心支撑构件非抗震设计一致。

支撑构件的长细比限值按表 7.7.9 取值。

表 7.7.9　支撑长细比限值

抗震等级	框架	单层厂房	多层厂房
特一级	120	150	150
一级	120	150	150
二级	120	150	150
三级	120	150	150
四级	120	150	150
非抗震	150	150	150

注：表中所列数值适用于 Q235 钢，当采用其他牌号钢材时，应乘以 $\sqrt{235 / f_{ay}}$。

当勾选执行《钢结构设计标准》轴压构件板件宽厚比限值：根据钢标 7.3.1 条确定轴压构件板件宽厚比限值。根据规范 7.3.2 条放松轴压构件板件宽厚比限值。

第 7.3.2 条：当轴心受压构件的压力小于稳定承载力 φAf 时，可将其板件宽厚比限值由本标准第 7.3.1 条相关公式算得后乘以放大系数 $\alpha = \sqrt{\varphi fA / N}$ 确定。

第八章 有限元分析核心 YJKFea 概述

第一节 YJKFea 的体系架构及特点

YJKFea 作为有限元分析核心，为盈建科建筑结构设计系列软件提供统一的结构分析全过程求解功能。

YJKFea 完全采用面向对象的思想进行模块化设计，利用高效的异构模型数据库对数据进行统一管理；并充分考虑建筑结构计算的特点，运用死活单元以及影子模型机制自动处理多专业、多需求、多目标的计算模型。YJKFea 前后处理接口灵活、统一、高效，适应复杂的荷载与求解条件，满足了各专业与各类结构设计计算的要求。

YJKFea 具有以下特点：

一、完全面向对象的模块化设计

为了提高核心分析软件的可靠性、可维护性、可移植性和扩展性，YJKFea 完全摈弃了传统的面向过程的软件结构，采用更灵活的面向对象的架构进行设计，并使用 C++ 语言进行开发。

YJKFea 采用模块化设计，对各种有限单元、节点、约束关系、荷载工况、工况组合、求解策略等均作为模块化组件。在不同的求解过程中，对软件功能进行积木式的配置组合，提高软件的可靠性和求解的一致性。

YJKFea 充分发挥面向对象设计的优势，对有限元的各类元素进行封装，统一接口。元素内部实现细节对外部接口隐藏，数据层次之间解除了耦合关系。在 YJKFea 中，无论是增加单元类型、约束关系还是新的专项分析，系统都是柔性扩展、自动适应，从而大幅度减少了开发和维护的工作量。

在 YJKFea 中，所有的分析元素均以抽象的有限元组件(YJKComponent)的形式存在。各种元素遵循清晰的逻辑层次关系，底层对象的实现细节以及替换修改对上层对象透明。有限元组件包括了材料、截面、质量、荷载、节点、约束关系、单元（桁架、弹簧、等截面框架、变截面框架、膜、板、壳、墙等）、分析（如静力、反应谱、时程等），逻辑关系如下图所示：

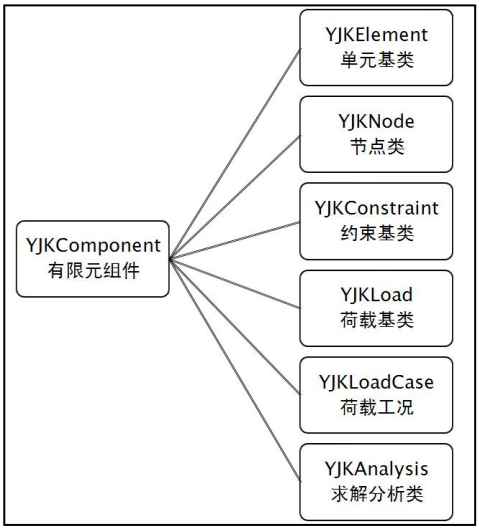


图 8.1.1　逻辑关系图

YJKFea 中内置了丰富的结构工程单元库，可适用于各种复杂的结构形式，并可应用于砌体、基础等结构分析中。YJKFea 中提供了子结构的概念，在软件中子结构是以超级单元的形式存在，子结构内部对超单元刚度与荷载进行凝聚，对外则遵循统一的单元接口。子结构可以任意嵌套叠加，没有任何限制，目前主要应用于墙元、楼板单元和转换梁单元。

各主要单元的类型体系如下图所示：

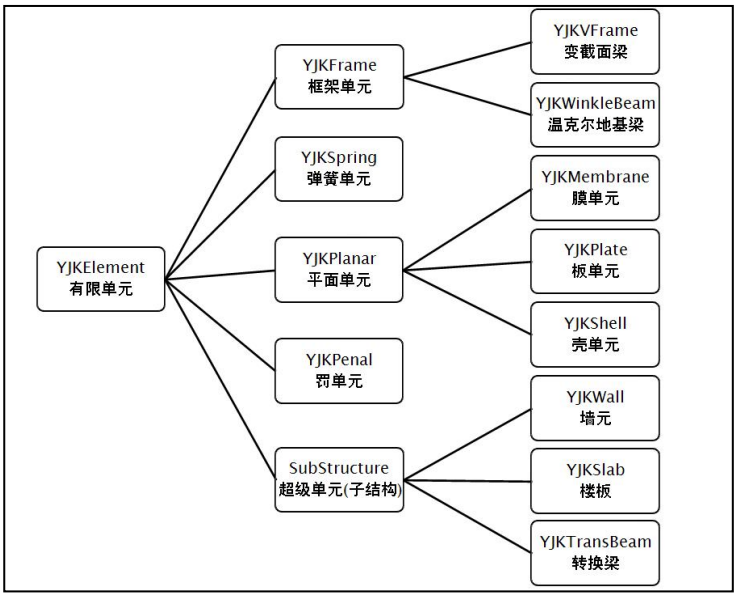


图 8.1.2 各主要单元的类型体系图

二、统一的异构模型数据库

YJKFea 使用了集中的异构模型数据库来对所有数据进行统一的管理。不同于结构化数据库，异构模型数据库能够自适应复杂的数据结构以及数据组织形式，提供高效简洁的读取查询接口，满足只读、只写、或者读写要求。集中式的数据管理机制也便于不同数据使用者之间的协作与交流。

相比传统的文件式管理，异构模型数据库的方式分离了数据的使用者与存储管理者，使得数据使用者不必关心存储的细节，而数据管理者不需要了解数据的内容与细节。异构模型数据库同时具有加密以及数据压缩等功能，而这些过程对接口调用者是透明的。

计算的结果同样通过异构模型数据库进行统一管理。各专业的后处理模块通过统一的数据接口提取计算结果。

三、独立抽象的求解管理

与通用有限元软件中处理思路类似，在 YJKFea 中对各类求解进行了抽象管理，静力求解、反应谱求解、时程分析以及各类专项求解（施工模拟、层刚度计算、随机活荷载分析、人防分析、吊车分析、质量偶然偏心计算等）均遵循统一的 YJKAnalysis 接口，在计算过程中可以任意取舍组装与合并。

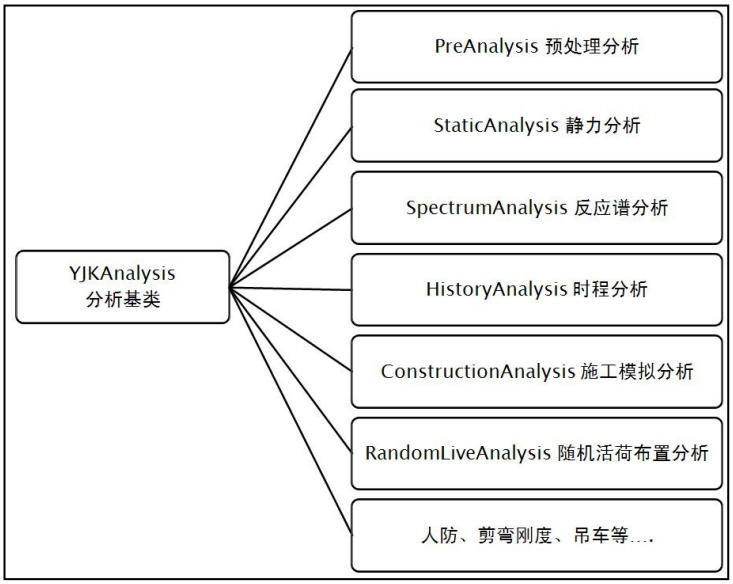


图 8.1.3 独立抽象的求解管理图

四、死活单元与分组机制

借鉴其他有限元软件的优点，在 YJKFea 中引入了死活单元机制。通过控制单元的“生死”，可以在结构模型中激活或者取消某些单元，而不需要重新构建整个模型。

“分组”是 YJKFea 中的一个核心概念。它包括了荷载分组、单元分组以及边界条件分组等几种类型。在求解过程中，通过分组来控制实际参与计算的单元、荷载以及边界条件，实现了一个结构模型，多种计算的目的。结合建筑结构的特点，YJKFea 通过分组管理的机制，实现了精细地、自动化地死活单元控制。

在计算过程中，死活单元技术大量应用于分塔模型、施工模拟模型、随机活荷载模型、层模型、人防计算模型等多个方面。

五、影子模型技术

YJKFea 完善了结构工程中同一结构与不同的计算模型的关联关系，实现了同一“建筑结构模型”向不同“有限元模型”的转换。YJKFea 软件根据前处理数据生成基本结构模型（Base Model，M0），然后利用单元分组以及死活单元技术，根据选项自动构建各种影子模型（Shadow Domain）。各种模型之间数据共享，影子模型仅仅拥有各类单元分组以及死活单元信息，不再维护重复的单元、荷载、约束等实际元素定义，但是其外在行为表现与基本模型完全一致。

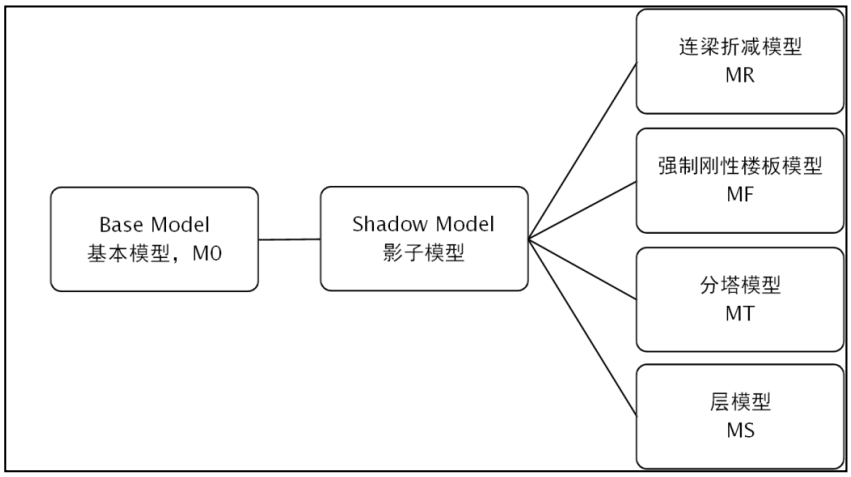


图 8.1.4 影子模型技术图

对于各类求解（YJKAnalysis）来说，不需要区分是基本模式还是影子模型，从而在一个基本模型下实现了规范中各种复杂求解条件。求解的抽象独立与“影子模型”的

完美配合，实现了基于一个建筑结构模型，自动完成各专项分析模型与相关求解的组合。具体求解过程详见第二节 YJKFea 求解路线图。

第二节 YJKFea 的求解路线图

按照一般意义来说，有限元计算主要包括 Fea 前处理、单元分析、求解器、后求解分析以及单元后分析几个步骤，这些步骤分属不同阶段，如下图所示：

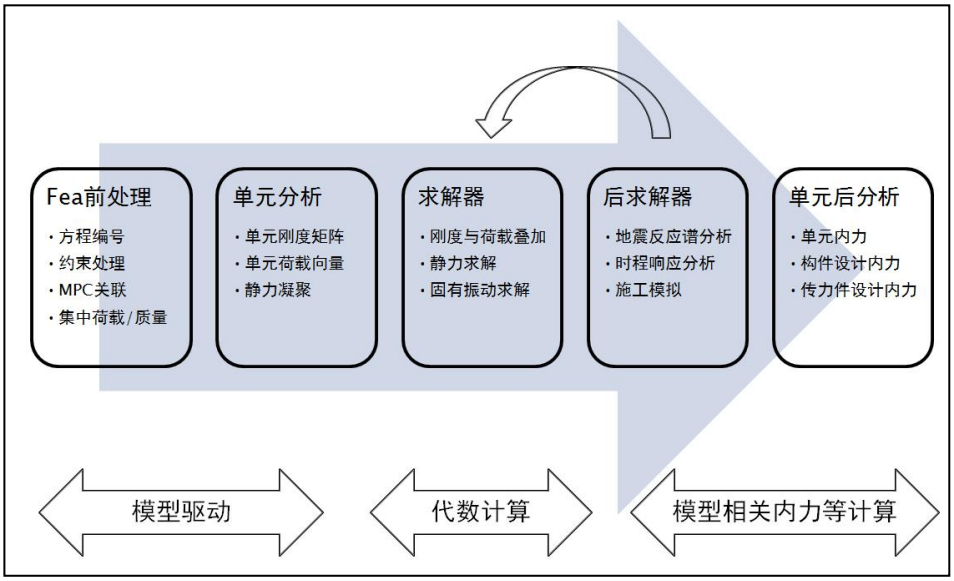


图 8.2.1 有限元计算步骤

对建筑结构来说，按照现有规范要求，求解内容包括以下方面：

（1）静力求解（恒、活、风）

（2）动力学求解

特征值求解

地震反应谱分析

偶然偏心求解

（3）特殊求解

活荷载不利布置

吊车荷载

人防荷载

施工模拟

层刚度计算

上部结构刚度凝聚

规定水平力求解

对于不同的求解内容，适用的计算模型也不尽相同，其中包括了刚性楼板假定模型、局部模型、连梁刚度折减模型等多种模型。YJKFea 对上述的求解内容以及适用的计算模型进行了自动化处理。实现机理基于前一节中提到的影子模型技术以及死活单元机制。

在 YJKFea 中，主要模型包含基本模型（M0）和两个影子模型：连梁折减模型（MR）和强制刚性板模型（MF）。它们分别用于静力分析、地震分析以及整体指标分析。特殊求解（如人防计算、施工模拟、随机活荷载不利布置、层剪弯刚度等）所需要的局部模型从前面模型利用死活单元技术构造。

在实际结构中，M0、MR、MF 是逻辑上的概念，根据结构的特点，三个逻辑模型可能会进行整合与合并。比如没有连梁折减的结构，MR 与 M0 模型是合二为一的。

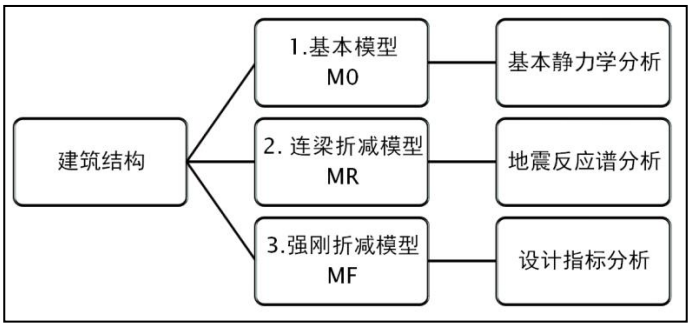


图 8.2.2 三个逻辑模型

根据前处理的指令，YJKFea 可以自动化地应用不同的模型和求解进行计算，计算结果利用异构模型数据库统一封装。由于采用异构模型数据库管理数据，YJKFea 可以透明地与前后处理进行数据交换。

一、基本模型 M0

基本模型 M0 是所有模型的基础，它包括了所有的节点、单元、荷载、约束等所有元素。M0 模型首先用于静力工况分析、吊车分析、施工模拟 1 分析以及上部结构刚度凝聚。

在 M0 的基础上，应用单元分组与死活单元机制，形成随机梁活荷载分析模型、施工模拟 3 逐步刚度叠加模型以及人防分析中的局部模型。

对于施工模拟 1（整体刚度，逐步加荷），YJKFea 利用结构重分析功能进行二次计算。

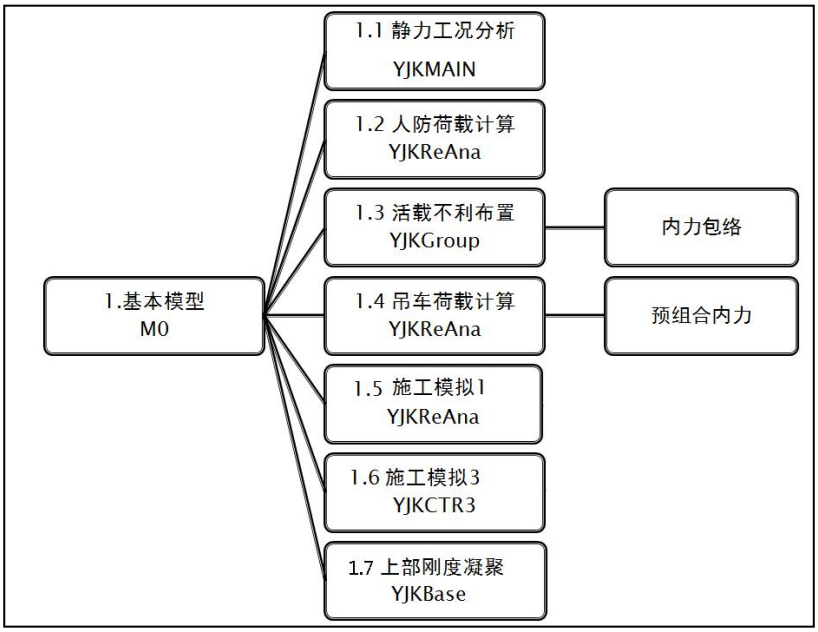


图 8.2.3 基本模型 M0

二、连梁折减模型 MR

连梁折减模型 MR 是对墙中连梁部分的刚度进行折减后的模型。如果数据中不存在需折减的单元，则 MR 模型与 M0 模型合并处理。

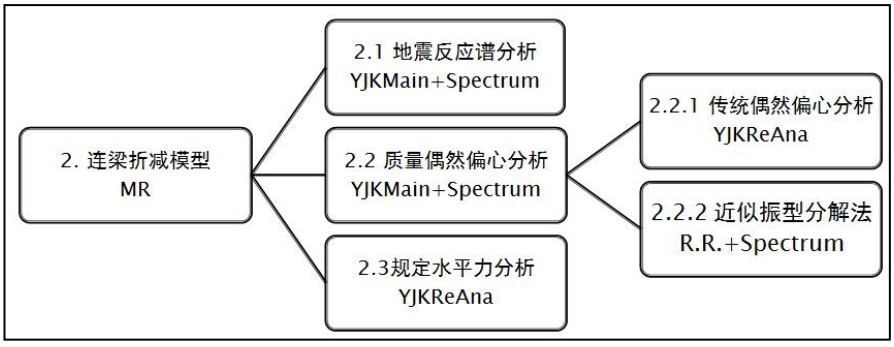


图 8.2.4 连梁这件模型 MR

三、强制刚性楼板模型 MF

强制刚性楼板模型 MF 是在 MR 模型基础上通过修改 MPC(Multi-point constraints，即多点约束）关系得到。如果 MR 模型中对各层均为单一刚性楼板的情况，MF 与 MR 相同，软件对两者进行合并处理。

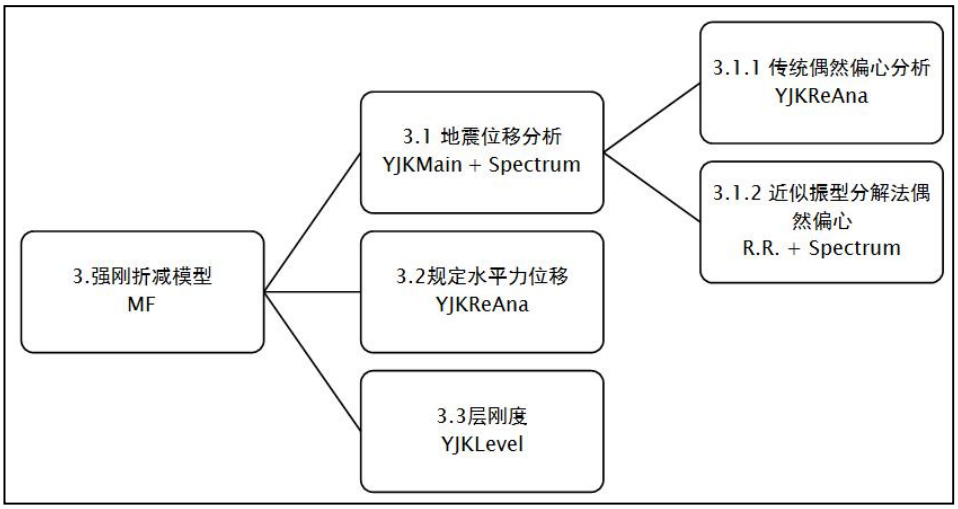


图 8.2.1　强制刚性楼板模型 MF

第三节 自由度与多点约束

在 YJKFea 中，每个计算节点均有 6 个自由度，分别是平动自由度（ux、uy、uz）和转动自由度（rx、ry、rz)。在 YJKFea 中，自由度按照性质不同分为四类：

（1）主位移自由度 neqMain；

（2）从自由度 neqSlave；

（3）指定位移自由度 neqDisp；

（4）基础自由度 neqBase。

单元的定位向量一般按照节点在总体直角坐标系下的自由度编号，在特殊情况下，也可以在局部直角坐标系下进行编号，从而实现局部坐标方向自由度放松、特殊连接关系等功能。它们可能是主位移自由度 neqMain、从自由度 neqSlave、指定位移自由度

neqDisp、或基础自由度 neqBase。

在单元层级上不考虑 MPC 关系，也不考虑指定位移。

在 YJKFea 中大量应用 MPC(Multi-point constraints，即多点约束)。MPC 在有限元计算中应用很广泛，它允许在计算模型不同的自由度之间强加约束。在 YJKFea 中，MPC 显式地（explicit）在一个从自由度和一个或者多个主自由度之间创立。

在 YJKFea 中，刚性楼板假定、刚性连接、梁墙约束、墙墙约束等均通过 MPC 方式来实现，而且在 YJKFea 中，不在单元层面上进行 MPC 变化，所有约束方程都在叠加整体刚度矩阵时进行处理。MPC 技术的应用避免了大量使用罚函数所带来的刚度矩阵病态等问题。

第九章 YJKFea 的静力分析模型

第一节 YJKFea 单元库

一、框架单元概述

YJKFea 中的框架单元实际上包含等截面框架单元、变截面框架单元和弹性地基梁单元。框架单元的理论模型是 Timoshenko 梁与拉压杆的组合。它允许有轴向拉压变形、轴向扭转变形和具有剪切作用的弯曲变形，每个端点可以有 6 个自由度。当在数据输入中加以某些限制时，框架单元可变成工程结构中常见的桁架、刚架及交叉梁单元。框架单元两端允许有刚域。布置荷载时，除了可以在节点上施加集中力和集中力矩以外，在框架单元上还可以施加均布荷载、集中力、集中力矩、折线分布荷载、温度荷载以及预应力荷载等。

如下图所示的一个典型的框架单元，两端的节点是 I 和 J。以单元的中性轴线作为局部坐标系的 1 轴，原点在 I 端的形心，单元横截面内两个互相垂直的方向分别取作 2 轴和 3 轴，且使 1、2、3 轴构成右手系。由 1、2、3 轴构成的坐标系是单元本身的几何特性所决定的，称为局部坐标系。

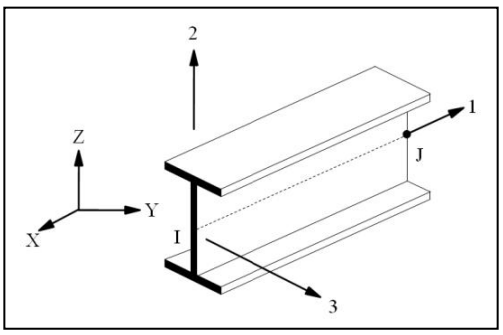


图 9.1.1 框架单元局部坐标系

由于梁、柱等杆系构件在自由度、荷载及单元刚度矩阵上的近似性，YJKFea 采用梁单元作为计算梁、柱等杆系构件的基本单元，在实际计算中再对不同类型构件进行分别处理。

在计算单元刚度矩阵时，YJKFea 通过先分别计算 1-2、1-3 平面内梁单元刚度矩阵，再通过位置转换矩阵将平面刚阵中元素添加到单元刚度矩阵对应位置，用这种方法生成空间局部坐标系的单元刚度矩阵。

由平面内的考虑剪切变形的铁木辛柯梁的应变能公式，可以得到 1-2、1-3 平面内的梁刚度矩阵。

1-2 平面的刚度矩阵：

$$k^{1-2}=\begin{bmatrix} Y_1 & Y_2 & -Y_1 & Y_2 \\ Y_2 & Y_3 & -Y_2 & Y_4 \\ -Y_1 & -Y_2 & Y_1 & -Y_2 \\ Y_2 & Y_4 & -Y_2 & Y_3 \end{bmatrix}\begin{matrix} v_I \\ \theta_{3,I} \\ v_J \\ \theta_{3,J} \end{matrix}$$

式中：

$$Y_1=\frac{12EI_{1-2}}{(1+\phi_2)L^3},\quad Y_2=\frac{6EI_{1-2}}{(1+\phi_2)L^2},\quad Y_3=\frac{(4+\phi_2)EI_{1-2}}{(1+\phi_2)L},\quad Y_4=\frac{(2-\phi_2)EI_{1-2}}{(1+\phi_2)L}$$

$$\phi_2=\frac{12EI_{1-2}\mu_2}{AGL^2}。$$

1-3 平面的刚度矩阵：

$$k^{1-3}=\begin{bmatrix} Z_1 & -Z_2 & -Z_1 & -Z_2 \\ -Z_2 & Z_3 & Z_2 & Z_4 \\ -Z_1 & Z_2 & Z_1 & Z_2 \\ -Z_2 & Z_4 & Z_2 & Z_3 \end{bmatrix}\begin{matrix} w_I \\ \theta_{2,I} \\ w_J \\ \theta_{2,J} \end{matrix}$$

式中：

$$Z_1=\frac{12EI_{1-3}}{(1+\phi_3)L^3},\quad Z_2=\frac{6EI_{1-3}}{(1+\phi_3)L^2},\quad Z_3=\frac{(4+\phi_3)EI_{1-3}}{(1+\phi_3)L},\quad Z_4=\frac{(2-\phi_3)EI_{1-3}}{(1+\phi_3)L}$$

$$\phi_3=\frac{12EI_{1-3}\mu_3}{AGL^2}$$

A/ μ2，A/ μ3 是 2、3 轴方向的剪切变形的有效剪切面积。通常采用的因子μ2，μ3

为剪切不均匀系数，对于实心的矩形横截面，μ2=1.2，对于薄壁管的环形截面，μ2=2.0，等等。随着单元变得越来越细，ϕ_2 接近于 0，因此柔度系数 Yi 减小到了无剪切变形的形式。

1 轴轴向变形与扭转的刚度矩阵：

$$k^1=\begin{bmatrix} X & -X \\ -X & X \end{bmatrix}\begin{matrix} u_I \\ u_J \end{matrix}$$

$$k^t=\begin{bmatrix} S & -S \\ -S & S \end{bmatrix}\begin{matrix} \theta_{1,I} \\ \theta_{1,J} \end{matrix}$$

式中：

$$X=\frac{EA}{L},\quad S=\frac{GJ}{L}$$

合并后的局部坐标系下的梁单元刚度矩阵：

$$k=\begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & Y_1 & 0 & 0 & 0 & Y_2 & 0 & -Y_1 & 0 & 0 & 0 & Y_2 \\ & & Z_1 & 0 & -Z_2 & 0 & 0 & 0 & -Z_1 & 0 & -Z_2 & 0 \\ & & & S & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -S & 0 & 0 \\ & & & & Z_3 & 0 & 0 & 0 & Z_2 & 0 & Z_4 & 0 \\ & & & & & Y_3 & 0 & -Y_2 & 0 & 0 & 0 & Y_4 \\ & & & & & & X & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & Y_1 & 0 & 0 & 0 & -Y_2 \\ & & & & & & & & Z_1 & 0 & Z_2 & 0 \\ & & & & & & & & & S & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & & Z_3 & 0 \\ & & & & & & & & & & & Y_3 \end{bmatrix}\begin{matrix} u_I \\ v_I \\ w_I \\ \theta_{1I} \\ \theta_{2I} \\ \theta_{3I} \\ u_J \\ v_J \\ w_J \\ \theta_{1J} \\ \theta_{2J} \\ \theta_{3J} \end{matrix}$$

局部坐标系下的载荷向量与位移向量：

$$f=\begin{bmatrix} f_{1I} & f_{2I} & f_{3I} & m_{1I} & m_{2I} & m_{3I} & f_{1J} & f_{2J} & f_{3J} & m_{1I} & m_{2I} & m_{3J} \end{bmatrix}^T$$

$$q=\begin{bmatrix} u_I & v_I & w_I & \theta_{1I} & \theta_{2I} & \theta_{3I} & u_J & v_J & w_J & \theta_{1J} & \theta_{2J} & \theta_{3J} \end{bmatrix}^T$$

则单元的平衡方程为：

$$kq = f$$

二、壳元、板元、膜元等二维平面单元

1、三节点壳单元

三节点壳单元是三节点膜单元和三节点板单元的叠加，板单元为厚薄板通用单元，当板厚趋近零时，不会出现剪切闭锁现象。

2、三节点膜单元 GT9M8

三节点膜单元采用了具有旋转自由度并含低阶附加位移的三角形膜元 GT9M8，该单元不但计算精度高，而且单元性态也大为改善。具体内容参见文献（龙志飞，岑松编著. 有限元法新论-原理、程序、进展[B]. 北京：中国水利水电出版社，2001）中第四章第二节有关具有旋转自由度的三角形膜元内容（P69-P70）。

$$K^e = K_{aa} - \frac{1}{k_{\lambda\lambda}} K_{\lambda a}^T K_{\lambda a}$$

$$K_{aa} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix}$$

$$K_{ij} = t\iint_{\Omega e} B_i^T D B_j dA \qquad (i,j = 1,2,3)$$

$$B_i = \frac{1}{4A}\begin{bmatrix} 2b_i & 0 & b_i(b_m L_j - b_j L_m) \\ 0 & 2_{ci} & c_i(c_m L_j - c_j L_m) \\ 2c_i & 2b_i & (c_i b_m + b_i c_m)L_j - (c_i b_j + b_i c_{j)} L_m \end{bmatrix} (i,j,m = 1,\vec{2},3)$$

$$K_{\lambda a} = t\iint_{\Omega e} B_\lambda^T D B dA$$

$$k_{\lambda\lambda} = t\iint_{\Omega e} B_\lambda^T D B_\lambda dA$$

$$B = \begin{bmatrix} B_1 & B_2 & B_3 \end{bmatrix}$$

$$B_\lambda = \frac{1}{A}\sum_{i=1}^{3}\begin{Bmatrix} b_m^2 - b_j^2 \\ c_m^2 - c_j^2 \\ 2(b_m c_m - b_j c_j) \end{Bmatrix} L_m L_j (i,j,m = 1,\overrightarrow{2},3)$$

$$b_i = y_j - y_m$$

$$c_i = -x_j + x_m$$

3、三节点板单元 TMT

三节点板单元采用了三角形厚薄通用单元 TMT，三节点板单元单刚的推导过程参见文献（龙志飞，岑松编著. 有限元法新论[B]. 北京：中国水利水电出版社，2001）的第七章第三节中有关三角形厚薄板元内容（P143-147）。

其单元刚度矩阵 K^e 由两部分组成：

$$K^e = K_b^e + K_s^e$$

其中，K_b^e 为弯曲刚度矩阵：

$$K_b^e = \iint_{\Omega_e} B_b^T D_b B_b dA$$

.K_s^e 为剪切刚度矩阵：

$$K_s^e = \iint_{\Omega_e} B_s^T D_s B_s dA$$

$$B_b = B_b^0 + F\Delta G$$

$$B_b^0 = -\frac{1}{2A}\begin{bmatrix} 0 & b_1 & 0 & 0 & b_2 & 0 & 0 & b_3 & 0 \\ 0 & 0 & c_1 & 0 & 0 & c_2 & 0 & 0 & c_3 \\ 0 & c_1 & b_1 & 0 & c_2 & b_2 & 0 & c_3 & b_3 \end{bmatrix}$$

$$F = \frac{-3}{2A}\begin{bmatrix} \frac{c_1}{l_1^2}(b_2 L_3 + b_3 L_2) & \frac{c_2}{l_2^2}(b_3 L_1 + b_1 L_3) & \frac{c_3}{l_3^2}(b_1 L_2 + b_2 L_1) \\ -\frac{b_1}{l_1^2}(c_2 L_3 + c_3 L_2) & -\frac{b_2}{l_2^2}(c_3 L_1 + c_1 L_3) & -\frac{b_3}{l_3^2}(c_1 L_2 + c_2 L_1) \\ M_1 & M_2 & M_3 \end{bmatrix}$$

$$M_1=\frac{1}{l_1^2}\left[(c_1c_2-b_1b_2)L_3+(c_3c_1-b_3b_1)L_2\right]$$

$$M_2=\frac{1}{l_2^2}\left[(c_2c_3-b_2b_3)L_1+(c_1c_2-b_1b_2)L_3\right]$$

$$M_3=\frac{1}{l_3^2}\left[(c_3c_1-b_3b_1)L_2+(c_2c_3-b_2b_3)L_1\right]$$

L_1、L_2、L_3为面积坐标。

$$\Delta=\begin{bmatrix}1-2\delta_1 & 0 & 0\\ 0 & 1-2\delta_2 & 0\\ 0 & 0 & 1-2\delta_3\end{bmatrix}$$

$$G=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & -2 & -c_1 & b_1 & 2 & -c_1 & b_1\\ 2 & -c_2 & b_2 & 0 & 0 & 0 & -2 & -c_2 & b_2\\ -2 & -c_3 & b_3 & 2 & -c_3 & b_3 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

$$B_S=\begin{bmatrix}B_{S1} & B_{S2} & B_{S3}\end{bmatrix}$$

其中：

$$B_{Si}=\frac{1}{2A}\begin{bmatrix}2\delta_i(b_iL_m-b_mL_i)-2\delta_m(b_jL_i-b_iL_j) & -c_jd_j(b_iL_m-b_mL_i)-c_m\delta_m(b_jL_i-b_iL_j)\\ 2\delta_j(c_iL_m-c_mL_i)-2\delta_m(c_jL_i-c_iL_j) & -c_j\delta_j(c_iL_m-c_mL_i)-c_m\delta_m(c_jL_i-c_iL_j)\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}b_j\delta_j(b_iL_m-b_mL_i)+b_m\delta_m(b_jL_i-b_iL_j)\\ b_j\delta_j(c_iL_m-c_mL_i)+b_m\delta_m(c_jL_i-c_iL_j)\end{bmatrix}(\overleftarrow{i},\overrightarrow{j},m=1,\overleftarrow{2},\overrightarrow{3})$$

$$b_1=y_2-y_3\quad b_2=y_3-y_1\quad b_3=y_1-y_2$$
$$c_1=x_3-x_2\quad c_2=x_1-x_3\quad c_3=x_2-x_1$$

$$\delta_i=\frac{\left(\frac{t}{l_i}\right)^2}{\frac{5}{6}(1-v)+2\left(\frac{t}{l_i}\right)^2}\quad(i=1,2,3)$$

其中，t为板厚；υ为泊松比。

4、四节点壳单元

四节点壳单元是四节点膜单元和四节点板单元的叠加，板单元为厚薄板通用单元，当板厚趋近零时，不会出现剪切闭锁现象。

5、四节点膜单元 QA4

四节点膜单元采用了带旋转自由度的精化非协调平面四边形等参元 QA4，通过精化刚度在单元之间建立了一种耦合的弱连续条件。协调部分采用 Allman 插值函数，非协调部分为四个内部自由度。具体推导过程参见文献（陈万吉，李勇东. 带旋转自由度的精化非协调平面四边形等参元. 计算结构力学及其应用. 1993, 10(1): 22-29）。

$$u_c=\begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_8\delta y_4-N_5\delta y_1 & N_2 & 0 & N_5\delta y_1-N_6\delta y_2 & N_3 & 0 & N_6\delta y_2-N_7\delta y_3 & N_4 & 0 & N_7\delta y_3-N_8\delta y_4 \\ 0 & N_1 & N_5\delta x_1-N_8\delta x_4 & 0 & N_2 & N_6\delta x_2-N_5\delta x_1 & 0 & N_3 & N_7\delta x_3-N_6\delta x_2 & 0 & N_4 & N_8\delta x_4-N_7\delta x_3 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{Bmatrix}$$

$$N_i=\frac{1}{4}(1+\xi_i\xi)(1+\eta_i\eta)(i=1,2,3,4)$$

$$\begin{bmatrix} N_5 & N_6 & N_7 & N_8 \end{bmatrix}=\frac{1}{16}\begin{bmatrix} \left(1-\xi^2\right)(1-\eta) & (1+\xi)(1-\eta^2) & \left(1-\xi^2\right)(1+\eta) & (1-\xi)(1-\eta^2) \end{bmatrix}$$

$$\delta x_i=x_j-x_i \quad \delta y_i=y_j-y_i\ (j=(i+1)\%4)$$

$$q_i=\begin{bmatrix} u_i & v_i & \omega_i \end{bmatrix}^T\ (i=1,2,3,4)$$

$$u_\lambda=\begin{bmatrix} \xi^2(1+\eta^2) & \eta^2(1+\xi^2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \xi^2(1+\eta^2) & \eta^2(1+\xi^2) \end{bmatrix}$$

$$B_{\lambda 0}^*=\frac{8}{3\Delta}\begin{bmatrix} b_2 & -b_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -a_2 & a_2 \\ -a_2 & a_2 & b_2 & -b_2 \end{bmatrix}$$

$$a_2=\frac{1}{4}(x_1-x_2+x_3-x_4)\ b_2=\frac{1}{4}(y_1-y_2+y_3-y_4)$$

$$B=\begin{bmatrix} B_C & B_\lambda \end{bmatrix}$$

$$B^* = [B_C \ B_\lambda^*] \quad B_\lambda^* = B_\lambda - B_{\lambda 0}^*$$

$$K^* = \iint B^{*T} D B^* |J| d\xi d\eta$$

6、四节点板单元 TMQ

四节点板单元采用了对转角场和剪应变长进行合理插值的厚薄板通用四边形单元。具体参见文献（龙志飞，岑松编著. 有限元法新论[B]. 北京：中国水利水电出版社，2001）的第七章第三节中有关四边形厚薄通用板元内容（P147-154）和文献（岑松，龙志飞. 对转角场和剪应变长进行合理插值的厚薄板通用四边形单元. 1999, 16(4): 1-15）。

单元刚度矩阵 K^e 由两部分组成：

$$K^e = K_b^e + K_s^e$$

其中，K_b^e 是弯曲刚度矩阵：

$$K_b^e = \iint_{\Omega_e} B_b^T D_b B_b dA = \int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1} B_b^T D_b B_b |J| d\xi d\eta$$

K_s^e 是剪切刚度矩阵：

$$K_s^e = \iint_{\Omega_e} B_s^T D_s B_s dA = \int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1} B_s^T D_s B_s |J| d\xi d\eta$$

$$B_b = -(H_0 + H_1 \alpha + H_2 \beta)$$

$$H_0 = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial N_2}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial N_3}{\partial x} & 0 & 0 & \frac{\partial N_4}{\partial x} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & 0 & 0 & \frac{\partial N_2}{\partial y} & 0 & 0 & \frac{\partial N_3}{\partial y} & 0 & 0 & \frac{\partial N_4}{\partial y} \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 & \frac{\partial N_2}{\partial y} & \frac{\partial N_2}{\partial x} & 0 & \frac{\partial N_3}{\partial y} & \frac{\partial N_3}{\partial x} & 0 & \frac{\partial N_4}{\partial y} & \frac{\partial N_4}{\partial x} \end{bmatrix}$$

$$H_1 = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_5}{\partial x} & \frac{\partial N_6}{\partial x} & \frac{\partial N_7}{\partial x} & \frac{\partial N_8}{\partial x} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\partial N_5}{\partial y} & \frac{\partial N_6}{\partial y} & \frac{\partial N_7}{\partial y} & \frac{\partial N_8}{\partial y} \end{bmatrix}, \quad H_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\partial N_5}{\partial y} & \frac{\partial N_6}{\partial y} & \frac{\partial N_7}{\partial y} & \frac{\partial N_8}{\partial y} \\ \frac{\partial N_5}{\partial x} & \frac{\partial N_6}{\partial x} & \frac{\partial N_7}{\partial x} & \frac{\partial N_8}{\partial x} \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} N_1=-\dfrac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta)(1+\xi+\eta) & N_5=\dfrac{1}{2}(1-\eta^2)(1+\xi) \\ N_2=-\dfrac{1}{4}(1+\xi)(1-\eta)(1-\xi+\eta) & N_6=\dfrac{1}{2}(1-\xi^2)(1+\eta) \\ N_3=-\dfrac{1}{4}(1+\xi)(1+\eta)(1-\xi-\eta) & N_7=\dfrac{1}{2}(1-\eta^2)(1-\xi) \\ N_4=-\dfrac{1}{4}(1-\xi)(1+\eta)(1+\xi-\eta) & N_8=\dfrac{1}{2}(1-\xi^2)(1-\eta) \end{cases}$$

其中ξ 和η 为单元等参坐标。

$$B_s=\begin{bmatrix} N_s^0 X_s \Gamma^* \\ N_s^0 Y_s \Gamma^* \end{bmatrix}$$

$N_s^0=[N_1^0 N_2^0 N_3^0 N_4^0]$

$$\begin{cases} N_1^0=\dfrac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta) \\ N_2^0=\dfrac{1}{4}(1+\xi)(1-\eta) \\ N_3^0=\dfrac{1}{4}(1+\xi)(1+\eta) \\ N_4^0=\dfrac{1}{4}(1-\xi)(1+\eta) \end{cases}$$

$$\Gamma^*=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -2\delta_1 & -c_1\delta_1 & b_1\delta_1 & 2\delta_1 & -c_1\delta_1 & b_1\delta_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2\delta_2 & -c_2\delta_2 & b_2\delta_2 & 2\delta_2 & -c_2\delta_2 & b_2\delta_2 \\ 2\delta_3 & -c_3\delta_3 & b_3\delta_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2\delta_3 & -c_3\delta_3 & b_3\delta_3 \\ -2\delta_4 & -c_4\delta_4 & b_4\delta_4 & 2\delta_4 & -c_4\delta_4 & b_4\delta_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$b_1=y_2-y_3$，$b_2=y_3-y_4$，$b_3=y_4-y_1$，$b_4=y_1-y_2$

$c_1=x_3-x_2$，$c_2=x_4-x_3$，$c_3=x_1-x_4$，$c_4=x_2-x_1$

$$\delta_i=\frac{\left(\dfrac{t}{l_i}\right)^2}{\dfrac{5}{6}(1-\nu)+2\left(\dfrac{t}{l_i}\right)^2} \quad (i=1，2，3，4)$$

三、超单元

在土木建筑实际工程中，有时利用子结构法（王勖成编著. 有限单元法[B].北京：清华大学出版社，2003，P186-192）进行分析是很有效的。

在 YJKFea 中子结构以超单元的形式存在。在 YJKFea 中，任何类型和数目的单元都可以组成一个超单元。如墙元一般就是由多个三节点壳单元和多个四节点壳组成的超单元。另外在 YJKFea 中超单元可以任意嵌套而没有限制。目前在软件中，超单元主要应用于墙元、楼板单元、转换梁单元等。

1、墙元

剪力墙是高层建筑结构中最常见的一种结构构件，目前的建筑结构设计和分析软件都采用壳元来模拟剪力墙。并且为了提高计算效率和突出墙的特点，通常都利用子结构法构造出所谓的墙元。

YJKFea 对剪力墙计算采用由多个三节点壳和四节点壳单元组成的超单元，即墙元。

具体包括以下几个步骤：1）利用自动网格划分软件，将整体结构的剪力墙剖分为三角形和四边形，其分别用三节点壳和四节点壳来计算小单刚；2）将用户建模输入的每一片墙视为一个墙元，将边界的节点作为出口节点，将非边界节点作为内部节点；3）利用静力凝聚原理，将内部自由度凝聚掉，得到墙元的刚度矩阵；4）用墙元的刚度矩阵进行整体结构的静力和动力求解；5）得到出口节点位移解后，进行回代得到所有节点位移并进行应力和内力求解。

2、楼板超单元

YJKFea 的楼板超单元由多个三节点或四节点平面单元组成。组成超单元的平面单元根据楼板类型可以是壳元、板元或者膜元等类型。软件根据用户设定的弹性板类型自动选择对应的平面单元类型。

软件自动对任意多边形板（可包含多个洞口、剖分点和线）采用网格剖分成三节点和四节点单元。有的结构设计软件把整块甚至整个楼层的弹性楼板作为一个超单元进行凝聚求解，势必会造成软件整体计算效率降低和动力计算失真等问题。为避免该问题，YJKFea 软件自动把楼层的大块弹性楼板分为大小适中的小块作为一个超单元，这种处理方案提升了计算效率，还避免了动力特性计算失真等问题。

3、超单元的内部自由度凝聚

YJKFea 在进行超单元的节点内部编号时，采用了内部自由度在前、外部自由度在后的分块方案，见下图：

$$\begin{bmatrix} K_{NIN,NIN} & K_{NIN,NOUT} \\ K_{NOUT,NIN} & K_{NOUT,NOUT} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{NIN} \\ \delta_{NOUT} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{NIN} \\ P_{NOUT} \end{bmatrix} \quad (1\text{-}1)$$

其中，KNIN,NIN 是内部自由度刚度阵，是 NIN 阶方阵；

KNIN,NOUT 是内外部自由度相关刚度阵，是 NIN*NOUT 阶矩阵；

KNOUT,NOUT 是外部自由度刚度阵，是 NOUT 阶方阵；

由上式（1-1）的第一行可以得到：

$$\delta_{NIN} = K_{NIN,NIN}^{-1} * (P_{NIN} - K_{NIN,NOUT} * \delta_{NOUT})$$

把该式代入（1-1）的第二行，得到凝聚后的方程为：

$$(K_{NOUT,NOUT} - K_{NOUT,NIN} * K_{NIN,NIN}^{-1} * K_{NIN,NOUT}) * \delta_{NOUT} = P_{NOUT} - K_{NOUT,NIN} * K_{NIN,NIN}^{-1} * P_{NIN}$$

凝聚后的超单元的平衡方程简化为：

$$K_{NOUT,NOUT}^{*} * \delta_{NOUT} = P_{NOUT}^{*}$$

其中，$K_{NOUT,NOUT}^{*}$ 为凝聚后的超单元单刚，其计算表达为：

$$K_{NOUT,NOUT}^{*} = K_{NOUT,NOUT} - K_{NOUT,NIN} * K_{NIN,NIN}^{-1} * K_{NIN,NOUT}$$

其中，P_{NOUT}^{*} 为凝聚后的超单元等效节点荷载，其计算表达为：

$$P_{NOUT}^{*} = P_{NOUT} - K_{NOUT,NIN} * K_{NIN,NIN}^{-1} * P_{NIN}$$

YJKFea 在上述求解过程后采用了一维变带宽存储 LDLT 分解法进行超单元内部自由度凝聚，算法设计避免了对内部自由度刚度块 $K_{NN,\ NN}$ 的求逆计算，并将超单元单刚求解和超单元等效节点荷载过程集成，内部自由度凝聚的计算效率得到较大提升。

内部自由度凝聚的原理和推导过程参见文献（王勖成编著. 有限单元法[B].北京：清华大学出版社，2003，P188-190）。

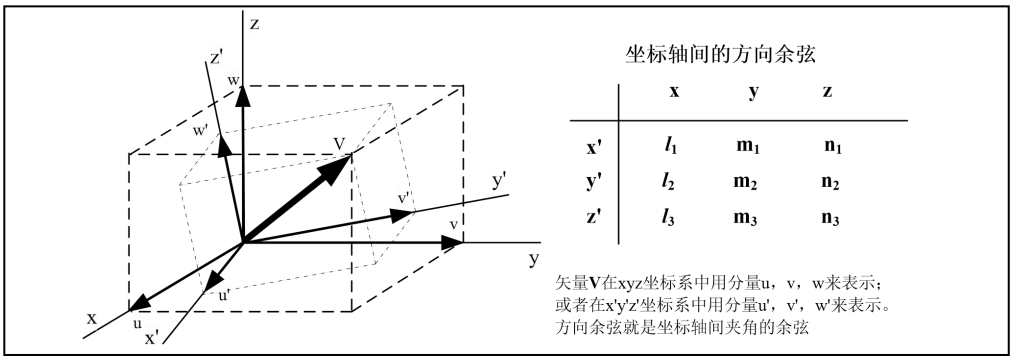
第二节 单元的转换矩阵

一、坐标变换

在有限元分析中，许多物理矢量包括位置（坐标）、位移、内力和力等均存在从一个坐标系到另一个坐标的转换问题。另外，单刚也有从局部坐标系到整体坐标系的转换问题。

1、三维空间坐标系的坐标变换矩阵一般表达式

设 V 为一矢量（图）。该矢量可以是表示位置的坐标、位移或者应力内力等。V 在平行于标有撇号的坐标轴的分量为(u'，v'，w')；平行于没有标撇号的坐标轴上的分量分别为(u，v，w)。 (u'，v'，w')可以用(u，v，w)和方向余弦来表示。



坐标轴间的方向余弦

	x	y	z
x'	l_1	m_1	n_1
y'	l_2	m_2	n_2
z'	l_3	m_3	n_3

矢量V在xyz坐标系中用分量u，v，w来表示；
或者在x'y'z'坐标系中用分量u'，v'，w'来表示。
方向余弦就是坐标轴间夹角的余弦

分量 u'可以看做(u，v，w)投影到 x'坐标轴上的分量之和。也就是，$u'=l_1u+m_1v+n_1w$。分量 v'、w'可以类似表示。用矩阵形式来表示这些关系式为：

$$\begin{Bmatrix} u' \\ v' \\ w' \end{Bmatrix} = \boldsymbol{T} \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix}，\ 其中\ \boldsymbol{T} = \begin{bmatrix} \ell_1 & m_1 & n_1 \\ \ell_2 & m_2 & n_2 \\ \ell_3 & m_3 & n_3 \end{bmatrix}$$

矩阵 $\boldsymbol{T}$通常称为旋转矩阵，是一个正交矩阵，即 $\boldsymbol{T}^{-1}=\boldsymbol{T}^{T}$。因此，上式变换的可逆形式为：

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \boldsymbol{T}^{T} \begin{Bmatrix} u' \\ v' \\ w' \end{Bmatrix}$$

2、三维空间坐标系的坐标变换矩阵具体形式

对于具体的物理量，其坐标变换关系为：

1）对于坐标、位移、内力、荷载等物理量，坐标变换关系为：$V \leftarrow TV$；$V=T^{T}V'$。

2）对于刚度矩阵，坐标变换关系为：$K=T^{T}K'T$。

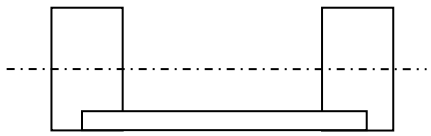
3、二维平面坐标系中的坐标变换矩阵的简化形式

对于平面问题，坐标变换矩阵常常可以简化，如整体坐标系与局部坐标系的 Z 轴一致时，可以简化为：

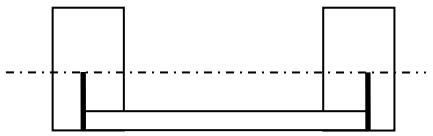
$$\boldsymbol{T}_e=\begin{bmatrix}\cos a & \sin a & \\ -\sin a & \cos a & \\ & & 1\end{bmatrix}$$

二、偏心主从变换

在结构计算中，由于建筑物使用功能上的要求，梁、柱等构件经常存在偏离计算中心线的情况。该情况通常称为偏心。这时就需要对构件端节点和计算用节点间的位移、节点力进行刚性变换。



a、偏心刚域



b、刚性杆件

有限元计算中通常有两种方法处理该问题，一种是在两节点间加无自重的刚性杆件；另一种是通过主从约束方程实现。YJKFea 采用了第二种方案。

记 a_i、b_i、c_i 和 a_j、b_j、c_j 分别为杆端在 x、y、z 三个轴方向的偏心，则偏心的主从转换矩阵 $\boldsymbol{T}$ 为：

$$\boldsymbol{T}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{T}_i & \\ & \boldsymbol{T}_j\end{bmatrix}$$

其中：

$$\boldsymbol{T}_i=\begin{bmatrix} 1 & & & & c_i & -b_i \\ & 1 & & -c_i & & a_i \\ & & 1 & b_i & -a_i & \\ & & & 1 & & \\ & & & & 1 & \\ & & & & & 1 \end{bmatrix},\quad \boldsymbol{T}_j=\begin{bmatrix} 1 & & & & c_j & -b_j \\ & 1 & & -c_j & & a_j \\ & & 1 & b_j & -a_j & \\ & & & 1 & & \\ & & & & 1 & \\ & & & & & 1 \end{bmatrix}$$

三、刚性楼板的主从变换

引入楼板平面内无限刚假定，可大大减少结构的自由度总数，提高结构分析效率。由于楼板平面内无限刚，平面内各节点具有相同的平动位移，考虑扭转位移的协调，当采用以楼板质心为位移参考点的刚片层模型时，楼板平面内的任一点 i 的位移与楼板质心 O_i 的位移关系如下：

$$\left.\begin{aligned} u_i &= u_{oi}-(y_i-y_{oi})\theta_i \\ v_i &= v_{oi}+(x_i-x_{oi})\theta_i \end{aligned}\right\}$$

对于两端节点为 i、j 的构件，由上式可得到考虑楼板平内无限刚的位移转换矩阵 $\boldsymbol{T}$，

$$\boldsymbol{T}=\begin{bmatrix} \boldsymbol{T}_i & \\ & \boldsymbol{T}_j \end{bmatrix}$$

其中：

$$\boldsymbol{T}_i=\begin{bmatrix} 1 & & & & & -(y_i-y_{oi}) \\ & 1 & & & & (x_i-x_{oi}) \\ & & 1 & & & \\ & & & 1 & & \\ & & & & 1 & \\ & & & & & 1 \end{bmatrix}\quad \boldsymbol{T}_j=\begin{bmatrix} 1 & & & & & -(y_j-y_{oj}) \\ & 1 & & & & (x_j-x_{oj}) \\ & & 1 & & & \\ & & & 1 & & \\ & & & & 1 & \\ & & & & & 1 \end{bmatrix}$$

第三节 静力求解算法

一、结构总体刚度矩阵

局部坐标系下的单元刚度矩阵经转换矩阵组集成总体刚度矩阵后，结构的整体平衡方程为：

$$KQ = F$$

其中 K 即总体刚度矩阵，F 和 Q 分别是结构的荷载向量和待求的位移向量。

YJKFea 为求解结构的整体平衡方程采用了有限元快速解法，该解法首先采用细胞稀疏存贮方案，对于三维有限元分析这一存贮方案的总体刚度矩阵大小比一般传统的稀疏存贮方案减少了约 30%。其次，在细胞稀疏存贮的数据结构基础上，采用了近些年来刚刚发展起来的矩阵运算的循环展开(unrolling)技术，该技术已广泛地用于并行和串行计算中，它可以有效地减少寄存器（register）和随机存储器（RAM）之间不必要的数据传送，从而提高计算效率。细胞稀疏存贮方案为在稀疏存贮下采用循环展开技术提供了良好的数据结构。而有限元快速解法首先在细胞稀疏存贮的条件下引入了双向循环展开。它同时考虑已完成消元部分和被消元部分的循环展开，具有很高的运算效率。

二、细胞稀疏索引存贮方案

假定刚度矩阵已经使用了修正最小度算法（modified minimum degree）或多重剖分法（nested di-section）对矩阵进行了优化。为了更清楚地讨论问题，取一个 6×6 的总体刚度矩阵如下:

$$\mathbf{A}=\begin{bmatrix} 11 & & a & b & & c \\ & 22 & & & d & \\ & & 33 & e & f & \\ & & & 44 & g & \\ & SYM & & & 55 & h \\ & & & & & 66 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} (11) & & \begin{pmatrix} a & b \end{pmatrix} & & (c) \\ & (22) & & & (d) & \\ & & \begin{pmatrix} 33 & e \\ & 44 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} f \\ g \end{pmatrix} & \\ & SYM & & (55) & (h) \\ & & & & (66) \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 a，b，…，h 是非零实数。由于矩阵是对称的，仅需考虑它的上三角部分。

在矩阵的三角分解过程中将产生许多新的非零元，一般称之为填充元(fill-in’s)。许多文献注意到，填充元的产生将使得 U/L^T 中的不少相邻的行的对角块是满上三角矩阵，其余的部分具有完全相同的列指标集，或者说这些行具有相同的稀疏性(sparsity)。这些相邻行所对应的方程被定义为超方程。

文献等定义的超方程是从一般的稀疏矩阵出发的，没有考虑结构有限元分析中一个节点具有多个自由度这一特征（注意每个节点的自由度是连续编号的）。这个特征使有

限元总体刚度矩阵 A 可以按节点形成分块矩阵。为方便起见，我们重新定义超方程为同一节点所对应的全体方程，与超方程划分相应的子矩阵为细胞。式（1）中 A 的第 2 个表达式就是按细胞方式写的。在这一表示法之下，有限元的总体刚度矩阵被视作超行向量的顺序组合。根据超方程的定义，式(1)中有 5 个超方程。记 mneq 为超方程数，我们用 5 个数组来描述式(1)中的第 2 个矩阵。

超方程	1			2		3		4		5
SUPER	1			2		4		5		6
IA	3			5		7		9		10
JA	1	3	5	2	4	3	4	5	6	6
LA	4			6		11		13		14
PA	11	$(a \quad b)$		22		$\begin{pmatrix} 33 & e \\ & 44 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} f \\ g \end{pmatrix}$	55	h	66

数组 SUPER (1:mneq=5)是超方程编号到原方程编号的映射。数组 IA 是非零细胞的超列指标（或称细胞指标） JA 的索引，LA 是非零细胞数值数组 PA 的索引。

一般的稀疏存贮方案与本文建议的存贮方案之间的差异在于列指标的数量。本文建议的存贮方案的列指标比传统存贮方案大大减少。对于有许多 3×3 细胞的三维实体分析，采用本文建议的存贮方案，细胞指标数仅仅是传统方案列指标数的约 1/9。以 4 字节整数和 8 字节实数计，总体刚度矩阵的大小可缩减约 1/3。除此之外，对三维实体分析数组 IA，LA 和 SUPER 的长度之和大致也等于 ICN 的长度。对于有许多 6×6 细胞的三维壳体分析，则指标数相对更少。

三、细胞存贮方案与循环展开技术的稀疏矩阵分解

稀疏矩阵的三角分解可以分为两步：符号分解与数值分解。其中，符号分解用于确定填充元的位置以及因子 U/L^T的非零元分布。正定矩阵的符号分解一般先于数值分解进行。稀疏矩阵的符号分解可以在细胞意义下进行，它比通常意义下的符号分解方式节省了时间和存贮空间，对不超过 20 万自由度的三维有限元模型，细胞意义下的符号分解可以在 10MB 的内存里完成。

正定矩阵的三角分解 LDL^{T}的绝大部分工作量在于三重循环：

$$A_{ji} = A_{ji} - L_{ik} L_{jk} D_{kk} \qquad (2)$$

与上三角行存贮方案相适应的分解是所谓 JKI 分解。根据矩阵代数的理论，按细胞分块矩阵的 JKI 分解与普通矩阵的 JKI 分解可以写成相似的形式[16]：

算法 1:行 LDL^T分解	算法 2:超行 LDL^T分解
DO J = 1, neq	DO MJ = 1, mneq
DO K = 1, J-1	DO MK = 1, MJ-1
RowTask(K,J)	SuperRowTask(MK,MJ)
END DO	END DO
RowTask(J,J)	SupeRowTask(MJ,MJ)
END DO	END DO

这里 RowTask(K,J)中包含的 I-循环消去第 J 行第 K 列的矩阵元素，而 SuperRowTask(MK,MJ)中的 I-循环包含了数个 RowTask 的内容，它消去第 MJ 超行第 MK 超列的细胞。当然，稀疏算法使用了链接技巧，限于篇幅不作叙述。算法 1 与算法 2 的差异在于最内层关于 I 的循环。算法 1 中 RowTask(K,J) 的 I-循环仅包含式(2)一个语句。而 SuperRowTask 被写成了双向循环展开的形式，它的 I-循环包含多个如下的语句：

$$A_{ji} = A_{ji} - L_{i,mk}L_{j,mk}D_{mk,mk} - \ldots - L_{i,mk+n-1}L_{j,mk+n-1}D_{mk+n-1,mk+n-1} \qquad (3)$$

其中 n 是超方程 mk 的子方程个数。假定一个超方程包含的最大方程个数为 3，那么为了实现各种细胞尺度的 SuperRowTask（MK,MJ），一共需要 9 种不同的具体消元格式，每种格式都对应于一个子软件。考虑到自消元 SuperRowTask（MJ,MJ）的 3 个子软件，为了实施带循环展开技术的三角分解方程总共需要 12 个子软件。如果对多个右端项的处理也用循环展开，那么还要增加 18 个子软件。如果事先确定一个超方程包含的最大方程个数为 6，子软件的总数则为 78。经过测定，这些子软件在求解过程可以使运算加快 3 至 5 倍。在带有强大的编译软件的计算机上，例如 HP 工作站，可以不使用子软件而代之以嵌入式代码，其加速比可能更大。

细胞稀疏方案的编程不仅比一维变列高方案复杂，而且也比传统稀疏矩阵复杂，整个解法（包括总刚叠加，优化，细胞三角分解，向前消元与回代的 78 个子软件）共约 22,000 条 Fortran 源软件，其中的 19,000 条是各类 SuperRowTask 的编码。

在之前某些方案中采用了传统的稀疏存贮方案，超方程是在 U/L^{T}意义下定义的，只对已完成分解的因子 U/L^{T}才能使用，即只能对循环 K 使用超方程。所以，尽管也用了循环展开，但它是算法 1 与算法 2 的杂交，即 J-循环不展开，但 K-循环展开，我们称之为单向循环展开，它的 I-循环仅包含一个式(3)那样的语句。数值实验表明，无论是满矩阵还是稀疏矩阵，我们采用的双向循环展开比单向循环展开效率更高。

由于总体刚度矩阵的大小往往超过内存的限度，与一维变列高存贮方案一样，细胞稀疏存贮方案可以采用分块外存技术。按细胞存贮的稀疏矩阵的分块原则与一维活动列存贮没有太大的差别，只是要注意在考虑稀疏矩阵时，矩阵 A 和其因子 U/L^{T}的分块不一样，并且 U/L^{T}也不覆盖 A，因为它们的非零元个数大不相同。另外，还要考虑符号矩阵的分块。

有限元快速解法采用以上两项主要的算法改进基础上通过大量实际工程的测试。以求解时间与磁盘占用衡量，建议的稀疏技术和循环展开技术结合在一起达到了非常高的效率。与广泛采用的一维变列高方案比较，求解速度提高了数倍到数十倍。与传统的稀疏存贮方案比，求解速度也提高了四、五倍。与只采用单向 K-循环展开的算法相比，求解速度提高了约两倍。

求解速度的显著提高来源于以下几个方面：1）采用了稀疏存贮方案的三角分解的计算量大大小于一维变列高方案的计算量；2）循环展开减少了 RAM 与 Cache 之间的通讯，提高了数据的中靶率，即调入 Cache 的数据的使用次数；3）细胞存贮方案减少了索引的数目，也减少了索引操作的数量；4）细胞存贮方案下矩阵的文件较小，使得 I/O 减少。

第四节 结构构件的内力计算

在求出各主自由度位移向量（或振型向量）后，YJKFea 转换得到各节点在整体坐标系下的位移向量。

对于框架单元，根据单元定位向量提取单元节点位移 δ_i，可以按照下式计算单元 I 端内力，并根据内力平衡原则，推进计算中间截面以及 J 端内力。

$$F_i^e = K_i^e T \delta_i - P_i^e$$

对于超级单元，根据外部节点位移 δ_{NOUT} ，根据下式计算得到超级单元内部节点的位移：

$$\delta_{NIN} = K_{NIN,NIN}^{-1} \left(P_{NIN} - K_{NIN,NOUT} \delta_{NOUT} \right)$$

在子结构内部的内力计算同单元一致。

墙梁、墙柱的内力则由墙元内部壳元的应力进行积分得到。

第十章 结构的地震作用计算

第一节 概述

YJKFea 结构计算部分提供两种地震作用计算方法：

（1）利用抗震设计反应谱计算地震作用的振型分解反应谱法；

（2）采用振型叠加法或直接积分法的弹性动力时程分析方法。

振型分解反应谱法是以单自由度体系在实际地震作用下的反应为基础，对线性结构的反应进行分析的一种理论。它的基本原理是首先通过求解广义特征值问题得到结构的前 N 阶振型和频率，再通过振型参与系数及反应谱计算得到各振型所对应的地震响应，通过 CQC 组合方法得到结构的组合地震响应。

弹性动力时程分析方法是利用地震波时程曲线，通过直接求解结构的二阶动力常微分方程来得到结构在确定地震波作用下的地震响应。求解结构的二阶动力常微分方程通常有振型叠加法和直接积分法两种方法。振型叠加法将原始运动方程组转化为模态方程组，对解耦的模态方程采用 Duhamel 积分方法进行求解。直接积分法则是采用 Newmark 数值积分方法对原始动力方程组直接求解。

第二节 固有振动分析

一、固有振型与固有频率

地震作用计算的前提是对结构的周期和振型的分析，周期和振型是结构的固有属性，只与结构的质量和刚度有关。无论振型分解反应谱法还是动力时程积分法均需要对结构进行固有振动分析，得到结构的固有振型和周期。

对于无阻尼体系，自由振动方程如公式(10.1)所示：

$$MX''(t)+KX(t)=0 \tag{10.1}$$

式中：

M、K —— 分别为结构的质量和刚度矩阵；

$X(t)$、$X''(t)$ —— 分别为位移、加速度向量。

在求解之前，对原结构的自由振动方程(10.1)进行一次坐标变换：

$$X(t)=\Phi U(t) \tag{10.2}$$

其中 $q(t)$为广义位移向量，因为 $qi(t)$是 $Xi(t)$在振型向量Φ_i上的投影，所以 $qi(t)$也被称为振型坐标。通过(10.2)式的变换，就把有限元的节点位移 X(t)转换为广义位移 $q(t)$，用振型坐标基代替原来的有限元节点坐标基，这一坐标变换有两个目的：其一是以大为减少的坐标数目求较好的近似解，其二是用解除耦合的办法简化运动方程的计算。

将(10.2)式代入(10.1)式，即可得出下式：

$$K\Phi=M\Phi\Omega^2 \tag{10.3}$$

这个代数方程称为矩阵特征值问题。为说明方程(10.3)的形式解，可将其重写为：

$$(K-\Omega^2 M)\Phi=0 \tag{10.4}$$

该特征方程的 N 个根 ω_n^2 决定了振动的 N 个固有频率 $\omega_n(n=1,2,\cdots,N)$,也称为特征方程的特征值，N 个特征值 ω_n^2 组成了对角阵 Ω^2 ，也称为特征值问题的谱矩阵。

$$\Omega^2=\begin{bmatrix}\omega_1^2 & & & \\ & \omega_2^3 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \omega_N^2\end{bmatrix}$$

相应 N 个固有振动频率 ω_n ，存在 N 个线性无关的向量 $\Phi_n(n=1,2,\cdots,N)$ ，称为固有振动模态（或固有振型），这些向量也称为特征向量。Φ 即是由特征向量 $\Phi_n(n=1,2,\cdots,N)$ 所组成的矩阵。

特征向量具有同时正交于质量矩阵和刚度矩阵的特性，即：

$$\Phi_i^T M\Phi_j=0 \text{ 若 } i\neq j$$

$$\Phi_i^T K \Phi_j = 0 \text{若} i \neq j$$

如果向量 Φ_n 是一个固有振型，那么任何与 Φ_n 成正比的向量都是相同固有频率的固有振型，因为它也满足式(10.4)，有时将比例因子应用于固有振型，使其与各个自由度相关的元素标准化，这一过程称为归一化。

M 归一化，即有：

$$\Phi^T M \Phi = I$$

同时有：

$$\Phi^{\mathrm{T}} \mathrm{K} \Phi = \Omega^2 \begin{bmatrix} \omega_1^2 & & & \\ & \omega_2^3 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \omega_N^2 \end{bmatrix}$$

从前面推导的过程可以看出，分析结构动力特性的核心是求解广义特征值问题(10.3)式。YJKFea 结构分析软件根据求解情况的不同，提供了一种求解小型固有振动特征值的算法和三种求解大型固有振动特征值问题的算法。具体算法描述见下节详述。

二、特征值求解算法

在工程有限元分析中常常要求解广义代数特征值问题的部分低阶特征值与特征向量。传统上，低阶特征值问题求解过程极度依赖于谱变换的线性方程组的解法，下式所示：

$$(K - \mu M)x = LDL^T x = My$$

移轴矩阵 $K-\mu M$ 的 LDL^{T} 三角分解是计算量最大的主要步骤。在以变带宽解法为核心步骤的特征值解法中，它常常占到特征值问题计算时间的 70%到 90%。YJK 结构分析软件采用了一个效率非常高的有限元解法–细胞稀疏直接快速解法（简称细胞解法）–替换变带宽解法，极大地提高了三角分解的效率。

对于矩阵阶数超过 1000 的大型问题，子空间迭代法、Ritz 向量法和 Lanczos 法被公认为求解部分低阶极端特征值和特征向量的有效方法。YJK 结构分析软件在细胞解法

的基础上充分考虑了多、高层建筑结构的特点，并从实际角度出发，对上述三种方法又做大量优化工作，使求解效率取得了极大的提升。

1、子空间迭代法

子空间迭代法最初是由 Clint 和 Jennings 提出，是反幂法的推广。稍后，Bathe 和 Wilson 在其中加入了子空间上的 Rayleigh-Ritz 过程。它可以明显地改善收敛速度。以下是一个子空间迭代算法的主要步骤：

（1）初始化

①确定子空间的维数 q

②选取初始向量矩阵 $X \in R^{N\times q}$

③设定每次移轴的最大迭代次数 Imax

（2）移轴与 Sturm 序列校核

①计算移轴μ，应设法保证它不是特征值

②分解移轴刚度矩阵 $K-\mu M=LDL^T$

③Sturm 序列校核

（3）迭代 Imax 次，完成后转向 I

①将 X 进行 M-正交归一化

②解试向量矩阵 $X_1=(LDL^T)^{-1}MX$

③计算 K 和 M 在 X1 上的投影，$K^*=X_1^TKX_1$，$M^*=X_1^TMX_1$

④求解 q 阶广义特征值问题 $K^*\Phi^*=M^*\Phi^*\Lambda^*$

⑤形成新的近似特征向量 $X=Y_1\Phi^*$

⑥按模态误差判断特征值和特征向量的收敛，移出已收敛的特征向量,并在 X 中加入随机向量或减缩子空间的大小

子空间迭代法假设 q 个初始向量同时进行迭代，求得前 p 个特征值和特征向量。传统上，q=min(2p, p+8) ，但模态数需求较多时，这种取法显然是不现实的。经验表明，子空间维数可取 $q=\max(\sqrt{s},4)$，其中 s 为 L 中一行的平均非零元个数，由第 II 与 III 步计算量之比确定。

2、迭代 Ritz 向量法

Ritz 向量法由 Wilson，Yuan（袁明武）和 Dickens 在 1982 年提出的，也称为 WYD-Ritz 向量法，最初用来求解地震的动力响应问题。后来，袁明武等将其用于大型特征值问题的计算，使它成为一种极为有效的特征值算法。

引入迭代可以改善特征值与特征向量的精度，具体步骤如下：

（1）初始化

①确定块 Ritz 向量法块宽 q 与生成步数 r

②选取初始向量矩阵 $Q_0 \in R^{N\times q}$

③设定每次移轴的最大迭代次数 Imax

（2）移轴

①计算移轴μ，应设法保证它不是特征值

②分解移轴刚度矩阵 $K-\mu M=LDL^T$

③Sturm 序列校核

（3）迭代 Imax 次，完成后转向 II

①对 k=0,1,..,r　1 解 $LDL^T\widetilde{Q}_{k+1}=MQ_k$，然后用将 $\widetilde{Q}_{k+1}$ 对已收敛的特征向量以及 Q1, Q2,…,Qk 作 M-正交归一化，并形成 Q_{k+1}

②计算 K 在 Q=(Q1, Q2,…,Qr)上的投影，$K^*=Q^TKQ$

③求解 qxr 阶标准特征值问题 $K^*\Phi^*=\Phi^*\Lambda^*$

④形成新的近似特征向量 $X=Q\Phi^*$

⑤按模态误差判断特征值和特征向量的收敛，移出已收敛的特征向量

⑥如果达到了预期的特征值个数，退出；否则将未收敛的前 q 个近似向量作为初始向量进行下一次迭代

3、迭代 Lanczos 方法

Lanczos 方法是在五十年代初提出的，它用正交向量组约化对称矩阵为三对角矩阵。七十年代以前它被认为不稳定，用于实际计算不多。1972 年 Paige 证明了失去了正交性的充分必要条件是其投影矩阵的特征值收敛到原矩阵的特征值。此后，Wilkinson 等

建议了重正交化方案，Golub, Cullum 和 Donath, Underwood 等建议了块 Lanczos 方法，Underwood 建议了迭代 Lanczos 方法。

本文采用一个带重正交的迭代块 Lanczos 方法，向量生成步骤与上面的迭代 Ritz 向量法一致，其差别是 Lanczos 方法利用了 Ritz 向量生成过程中的正交归一化系数。迭代 Lanczos 方法的前两步与迭代 Ritz 向量法完全一致。

文献上一般都将 Krylov 空间 Span(Q_1, Q_2,…,Q_n)的维数取得较大，例如待求特征值个数的 2 倍，以期一次完整的 Lanczos 过程得到全部想要的模态。YJKFea 计算软件是在较小的 Krylov 空间上完成 Lanczos 过程，然后用最好的 q 个近似特征向量作为下一次 Lanczos 过程的初始向量。这样的方案是一个子空间迭代与 Krylov 空间结合的算法，具有与子空间迭代法同样的可靠性。

4、荷载相关的 Ritz 向量法

基于荷载相关向量的动力分析，可以忽略与荷载向量正交的不参与动态响应的振型，从而比使用相同数量的精确振型算法可能产生更精确的结果。这种算法对解决大型结构的动态响应问题的效率提高已经得到了很多工程的验证[Bayo 和 Wilson,1984；Wilson、Yuan 和 Dickens，1982]。使用这种方法进行动力响应计算，如果振型数目过少，则会得到一个过于保守的结果。

另外，使用荷载相关的 Ritz 向量法计算的质量参与系数在误差计算上是不精确的。

5、软件优化与加速措施

在软件实现中，移轴三角分解，向前消元和向后回代采用了细胞解法[1]，它的综合效率是变带宽解法的数倍至数百倍。在其它方面，循环展开也广泛地应用于各种计算加速中，例如正交归一化等。

如果在正交化过程中，一个向量正交化以前的模与正交化以后的模之比超过了某一阈值，将对此向量实施双正交化，即对已正交化的向量再实施正交化。

为节省计算量，Ritz 向量法与 Lanczos 法的 III.4 在形成新的特征向量时，未计算全部 Rayleigh-Ritz 特征值相对应的近似特征向量。

在子空间迭代法中，投影特征值问题的解法选用了广义 Jacobi 方法，允许误差取为 2^{-24}。在 Lanczos 方法和 Ritz 向量法中，求解投影特征值问题采用了 Householder

变换与 QL 方法的组合。

根据经验，子空间迭代法中与一次移轴三角分解相应的最大迭代次数取为：

$$I_{\max}=\max(0.5Ns^2/(3Nq^2+2Nq+10q^3),6)$$

迭代 Ritz 向量法与迭代 Lanczos 法块的大小一般取为 q=4，步数为 r=6，这相当于 Krylov 子空间的维数是 24。类比于子空间迭代法，与一次移轴三角分解相应的最大迭代次数取为：

$$I_{\max}=\max(0.5Ns^2/(3Nq^2r^2+2Nqr+10q^3r^3),4)$$

三个算法的 Sturm 校核均取后验方式，移轴的首选为下两个待收敛特征值之中点，即：

$$\mu=0.5(\tilde{\lambda}_{k+1}+\tilde{\lambda}_{k+2})$$

若失败，则选为：

$$\mu=\lambda_k+0.98(\tilde{\lambda}_{k+1}-\lambda_k)$$

其中，λ_k是最后一个已收敛的特征值；$\tilde{\lambda}_{k+1}$、$\tilde{\lambda}_{k+2}$是下两个待收敛的特征值。

YJKFea 的上述的三项优化改进：细胞解法的引入改变了特征值解法中三角分解与迭代的计算量之比，多次移轴在大中型实用计算上成为可能；模态误差收敛判据使固有振动特征模态计算的过程变得平稳。

三、振型参与系数

振型参与系数是地面加速度荷载与特征向量的乘积。对于振型，三个坐标方向 X、Y、Z 的单位加速度荷载 m_x、m_y和 m_z的振型参与系数可以写为：

$$f_{xn}=\phi_n^T\mathbf{m}_x,\quad f_{yn}=\phi_n^T\mathbf{m}_y,\quad f_{zn}=\phi_n^T\mathbf{m}_z$$

振型参与系数的大小表示了每个振型被加速度荷载激发的力度。

四、有效质量系数

Berkeley 大学的 EDWARD L. WILSON 教授曾经提出振型有效质量系数的概念用

于判断参与振型数足够与否，并将其用于 ETABS 软件，他的方法是基于刚性楼板假定的。现在不少结构因其复杂性需要考虑楼板的弹性变形，不但能够适用于刚性楼板，也应该能够适用于弹性楼板。

有效质量系数提供了计算加速度响应时模态的相对重要性，可以用来确定响应的精度。对于第 n 阶振型，加速度荷载的质量参与系数定义为

$$p_{xn}=\frac{(f_{xn})^2}{M_x},\ p_{yn}=\frac{(f_{yn})^2}{M_y},\ p_{zn}=\frac{(f_{zn})^2}{M_z}$$

其中，Mx、My 和 Mz 是作用在三个坐标方向 X、Y、Z 的质量和。在没有转动质量的情形下，如考虑全部 N 个模态，则：

$$\sum_{n=1}^{N}p_{xn}=\sum_{n=1}^{N}p_{yn}=\sum_{n=1}^{N}p_{zn}=1$$

对于只计算前 p 个固有振动模态的截断情形，$\sum_{n=1}^{p<N}p_{xn}$，$\sum_{n=1}^{p<N}p_{yn}$，$\sum_{n=1}^{p<N}p_{zn}$ 给出了地面加速度响应的相对精度。

五、最不利地震方向

地震沿着不同的方向作用，结构地震反应的大小一般也不同，可以用结构变形能来衡量地震反应的剧烈程度。结构变形能是随着地震作用方向角变化的，是地震作用方向的函数。其中存在某个角度使得结构变形能取极大，那么这个方向就称为最不利地震作用方向。

YJKFea 从应变能角度推算出的公式计算最不利方向角，如下：

设参与振型取 m 个，则结构变形能可表示如下：

$$\Pi=\sum_{j=1}^{m}\Pi_j=\sum_{j=1}^{m}q_j\gamma_j^2=\sum_{j=1}^{m}q_j(\Phi_j^TMB)^2$$

如果地震作用方向与 X 轴的夹角为α，则地震方向向量 B 可以表示为：

$$B=B_x\cos\alpha+B_y\sin\alpha$$

代入前式则：

$$\Pi = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{m} q_j (\Phi_j^T MB_x \cos\alpha + \Phi_j^T MB_y \sin\alpha)^2$$

$$\overset{def}{=} \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{m} q_j (x_j \cos\alpha + y_j \sin\alpha)^2$$

其中，

$$q_j = \frac{S_a(T_j, \xi_j)}{\lambda_j}$$

令其导数为零：

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \alpha} = \cos 2\alpha \sum_{j=1}^{m} q_j x_j y_j$$

$$-\frac{1}{2}\sin 2\alpha \sum_{j=1}^{m} q_j (x_j^2 - y_j^2) = 0$$

得到：

$$\tan 2\alpha = \frac{2\sum_{j=1}^{m} q_j x_j y_j}{\sum_{j=1}^{m} q_j (x_j^2 - y_j^2)}$$

由此可以确定最不利地震作用方向角 α 和 $\alpha + \frac{\pi}{2}$，并且对任意 α 有：

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial \alpha^2}(\alpha) \frac{\partial^2 \Pi}{\partial \alpha^2}(\alpha + \frac{\pi}{2}) < 0$$

即 α 和 $\alpha + \frac{\pi}{2}$ 中肯定有一个使变形能取极大，另一个使变形能取极小。

六、振型的方向

对一个建筑结构而言，如果沿着角度 α 作用的地震使得建筑结构在振型 Φ 上有最

大的反应，即应变能，则称该方向角α为振型Φ的方向角。在此定义下，可以从应变能的角度确定角α。

$$\Pi(\Phi,\alpha)=q\left(\Phi^T MB\right)^2=q(\Phi^T MB_x\cos\alpha+\Phi^T MB_y\sin\alpha)^2$$
$$\overset{def}{=}q(x\cos\alpha+y\sin\alpha)^2$$

令Π对α的偏导数为零：

$$\frac{\partial\Pi}{\partial\alpha}=2q(x\cos\alpha+y\sin\alpha)$$
$$(-x\sin\alpha+y\cos\alpha)=0$$

得到，

$$\tan 2\alpha=\frac{2xy}{x^2-y^2}$$

由此可以确定振型Φ的方向角。

振型的方向角与周期值一起输出，0 度角指的是 X 方向，90 度角指的是 Y 方向，以此类推。振型方向角能够明确的得出结构刚度的薄弱方向。对建筑结构来说，两个第一侧移振型的方向角就代表了水平地震的两个近似的最不利方向，另外，这个方向也可以代表水平力或者风荷载的最不利方向。

七、振型的平动、扭转系数

一个振型的反应能量可以分成平动能量和转动能量两部分，它们各自占总能量的比例称为平动系数和扭转系数，还可以进一步把平动成份分为 X 方向和 Y 方向平动系数。这里借鉴了 ETABS 软件振型方向因子的概念。如果某个振型的平动成份大于 50%，就把这个振型叫做侧振振型，反之如果某个振型的扭转成份大于 50%，就把这个振型叫做扭振振型。

通过振型成份的输出，可以使用户方便地了解各个振型的性态，同时，也可以据此计算第一扭转周期与第一侧振周期的比值，以验算周期比是否符合高规的条文要求。

八、质量偶然偏心

偶然偏心的含义指的是：由偶然因素引起的结构质量分布的变化，会导致结构固有振动特性的变化，因而结构在相同地震作用下的反应也将发生变化。考虑偶然偏心的影

响即是考虑由偶然偏心引起的可能的最不利的地震作用。

YJKFea 根据前处理提供的各层偶然偏心的偏移量进行计算。如要准确计算的偶然偏心问题，标准振型分解反应谱法是目前抗震设计的首选计算方法。然而该方法需要分别计算如下图所示的结构的 X、Y 向的偏移量共计四种偶然偏心情形。由于质量矩阵发生改变，必须重新求解四次广义特征值问题，这大大增加了抗震分析的计算量，时间与消耗会成倍增加，因此一般采用合适的近似方法。

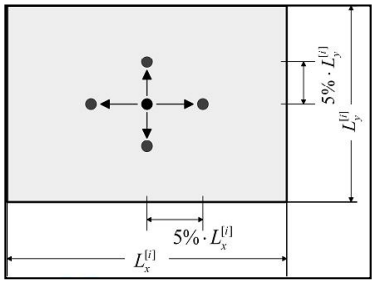


图 10.2.1 四种偶然偏心情况

(1) X 向地震，各楼层的质心沿 Y 轴正向偏移 5%；

(2) X 向地震，各楼层的质心沿 Y 轴负向偏移 5%；

(3) Y 向地震，各楼层的质心沿 X 轴正向偏移 5%；

(4) Y 向地震，各楼层的质心沿 X 轴负向偏移 5%。

程序在求解偶然偏心问题时提供了 2 种方法求解，分别是传统的等效扭矩法和效率更高、计算更为准确的瑞利-里兹投影反应谱法。

1、等效扭矩法

为了减少计算时间并保证一定的计算精度，传统的等效扭矩法是按照如下步骤进行简化计算：

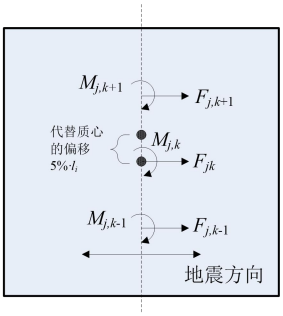


图 10.2.2 等效扭矩方法

(1)先按无偏心的初始质量分布计算结构的振动特性和地震作用；

(2)不重新计算各偶然偏心情况下固有振型与频率，按照前面的四种偏心方式计算各质点的附加扭矩；

(3)四种偏心方式下的附加扭矩与无偏心的地震作用叠加，形成了相应于四种偏心方式的地震作用。

这种方法的本质是用地震力作用点的偏移代替结构质心的偏移，从而不再求解偏心结构的特征方程，大大减少了计算量。这一类方法本质上是各模态的静力等效方法。

2、瑞利-里兹投影反应谱法

由于等效扭矩法在复杂情况下会低估扭矩作用，降低构件内力值，为此 YJK 软件中增加了瑞利-里兹投影反应谱法。实际测试证明这种方法能更加准确分析偶然偏心的影响。

结构未偏心时的刚度和质量矩阵分别记为 $\mathbf{K}_0$ 和 $\mathbf{M}_0$，其前 m 个特征值 $\lambda_{10},\cdots,\lambda_{m0}$ 和特征向量 $\boldsymbol{\varphi}_{10},\cdots,\boldsymbol{\varphi}_{m0}$ 已经求出；结构偏心后，刚度矩阵不变，质量矩阵变为 $\mathbf{M}_0+\Delta\mathbf{M}$。在 5%偶然偏心情形下，$\Delta\mathbf{M}$ 为小改变。根据推导，可通过求解如下降阶的结构特征值问题来得到实际结构的特征值。

$$\boldsymbol{\Psi}_0^{\mathrm{T}}\left[\mathbf{K}_0-\mu\left(\mathbf{M}_0+\Delta\mathbf{M}\right)\right]\boldsymbol{\Psi}_0\boldsymbol{\alpha}_{j0}=0$$

$$\boldsymbol{\alpha}_{j0}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{\Psi}_0^{\mathrm{T}}\left(\mathbf{M}_0+\Delta\mathbf{M}\right)\boldsymbol{\Psi}_0\boldsymbol{\alpha}_{j0}=1$$

从上述方程可以得出偏心结构特征值 λ_j 和特征向量 $\boldsymbol{\varphi}_j$ 的近似值 μ_j 和 $\boldsymbol{\Psi}_0\boldsymbol{\alpha}_{j0}$，其中 $\boldsymbol{\Psi}_0=\left\lfloor\boldsymbol{\varphi}_{10},\cdots,\boldsymbol{\varphi}_{m0}\right\rfloor$。然后，可按振型分解反应谱法的计算流程，用近似值 μ_j 和 $\boldsymbol{\Psi}_0\boldsymbol{\alpha}_{j0}$ 构造偏心结构的模态地震力并完成抗震计算。

与等效扭矩法相比，瑞利-里兹投影反应谱法具有以下优点：

（1）等效扭矩法是一种静力等效的方法，没有考虑振型耦合作用。而瑞利-里兹投影反应谱法近似地进行了振型重新分析，比较精确地求解了偏心后结构的特征值，其计算结果更接近完全重新分析。

（2）等效扭矩法需要对各偏心情况下的各模态进行静力分析和内力计算，与振型数量成倍数关系。瑞利-里兹投影反应谱法通过对原有结构的振型进行变换得到新的振型以及内力，内存占用以及计算时间大幅度减少。

九、结构不同阻尼比

在结构中使用不同的材料时，各单元的阻尼特性可能会不一样，并且阻尼矩阵为非古典阻尼矩阵，不能按常规方法分离各模态，需要使用基于应变能的阻尼比计算方法。

具有粘性阻尼特性的单自由度振动体系的阻尼比，可以定义为谐振动(harmonic motion)中的消散能(dissipated energy)和结构中储藏的应变能(strain energy)的比值。

$$\xi = \frac{E_D}{4\pi E_S}$$

式中：

ED：消散能；

ES：应变能。

在多自由度体系中，计算某单元的消散能和应变能时使用两个假定。

首先假定结构的变形与振型形状成比例。第 i 个振型的单元节点的位移和速度向量如下：

$$\mathbf{u}_{i,n} = \quad \boldsymbol{\varphi}_{i,n} \sin\left(\omega_i t + \theta_i\right)$$
$$\dot{\mathbf{u}}_{i,n} = \omega_i \boldsymbol{\varphi}_{i,n} \cos\left(\omega_i t + \theta_i\right)$$

式中：

$\mathbf{u}_{i,n}$：第 i 振型中第 n 个单元的位移；

$\dot{\mathbf{u}}_{i,n}$ ：第 i 振型中第 n 个单元的速度；

φi,n：第 n 个单元的相应自由度的第 i 振型形状；

ωi ：第 i 振型的固有圆频率；

θi ：第 i 振型的位相角(phase angle)。

其次，假定单元的阻尼与单元的刚度成比例，

$$\mathbf{C}_n = \frac{2h_n}{\omega_i}\mathbf{K}_n$$

式中：

Cn：第 n 个单元的阻尼矩阵；

Kn：第 n 个单元的刚度矩阵；

hn：第 n 个单元的阻尼比。

基于上述假定，单元的消散能和应变能的计算如下：

$$E_D(i,n)=\pi\mathbf{u}_{i,n}^T\mathbf{C}_n\dot{\mathbf{u}}_{i,n}=2\pi h_n\boldsymbol{\varphi}_{i,n}^T\mathbf{K}_n\boldsymbol{\varphi}_{i,n}$$

$$E_S(i,n)=\frac{1}{2}\mathbf{u}_{i,n}^T\mathbf{K}_n\mathbf{u}_{i,n}=\frac{1}{2}\boldsymbol{\varphi}_{i,n}^T\mathbf{K}_n\boldsymbol{\varphi}_{i,n}$$

式中：

ED (i, n)：第 i 振型的第 n 个单元的消散能；

ES (i, n)：第 i 振型的第 n 个单元的应变能。

全体结构的第 *i* 振型的阻尼比可以使用所有单元的第 *i* 振型的能量的和来计算。

$$\xi_i=\frac{\sum_{n=1}^{N}E_D(i,n)}{4\pi\cdot\sum_{n=1}^{N}E_S(i,n)}=\frac{\sum_{n=1}^{N}h_n\boldsymbol{\varphi}_{n,i}^T\mathbf{K}_n\boldsymbol{\varphi}_{n,i}}{\sum_{n=1}^{N}\boldsymbol{\varphi}_{n,i}^T\mathbf{K}_n\boldsymbol{\varphi}_{n,i}}$$

在 YJKFea 的反应谱分析中，基于应变能的各振型阻尼比的计算方法考虑不同材料的阻尼比，程序内部根据在“按材料区分阻尼比”中输入的各材料的阻尼计算各振型的阻尼比，然后构建整个结构的阻尼矩阵。

第三节 振型分解反应谱计算方法

YJKFea 可采用振型分解反应谱法计算地震作用。振型分解反应谱法基于地震反应谱理论，它目的是求地震反应的最大值，而不是求解动力学方程，在工程上是一个行之有效的近似和简化。它体现了所计算结构最本质的特征量，即固有周期和场地特征，避免了以结构所在地的强震记录作为输入的要求和繁杂的计算，而又不失去最重要的实质性特征，是一种实用的工程方法。

YJKFea 中按下列振型分解法公式计算地震作用和作用效应：

第 j 振型 i 弹性节点或刚性楼板的水平地震作用标准值，按下列公式确定：

$$F_{xji} = \alpha_j \gamma_{tj} X_{ji} G_i$$

$$F_{yji} = \alpha_j \gamma_{tj} Y_{ji} G_i \quad (\text{i}=1, 2, \ldots \text{n}, \text{j}=1, 2 \ldots \text{m}) \tag{10.5}$$

$$F_{tji} = \alpha_j \gamma_{tj} r_i^2 \varphi_{ji} G_i$$

式中：

F_{xji}、F_{yji}、F_{tji} —— 分别为 j 振型 i 弹性节点的 x 方向、y 方向和转角方向的地震作用；

α_j —— 相应于 j 振型自振周期的地震影响系数，YJK 结构分析软件允许按α_j照《建筑抗震设计规范》指定的α~T曲线或由用户输入的α~T曲线或地基加速度历程曲线进行地震反应谱分析；

X_{ji}、Y_{ji} —— 分别为 j 振型 i 弹性节点在 x，y 方向的水平相对位移；

r_i —— i 块刚性楼板转动半径，可取 i 块刚性楼板绕质心的转动惯量除以该块刚性楼板质心的质量的商的正二次方根；

γ_{tj} —— 考虑扭转的 j 振型参与系数，可按下列公式确定：

当仅考虑 x 方向地震时：

$$\gamma_{tj} = \sum_{i=1}^{n} X_{ji} G_i / \sum_{i=1}^{n} (X_{ji}^2 + Y_{ji}^2 + \varphi_{ji}^2 \gamma_i^2) G_i \tag{10.6}$$

当仅考虑 y 方向地震时：

$$\gamma_{tj} = \sum_{i=1}^{n} Y_{ji} G_i / \sum_{i=1}^{n} (X_{ji}^2 + Y_{ji}^2 + \varphi_{ji}^2 \gamma_i^2) G_i \tag{10.7}$$

当取与 x 方向斜交的地震作用时：

$$\gamma_{tj} = \gamma_{xj} \cos\theta + \gamma_{yj} \sin\theta$$

式中：

γ_{xj}、γ_{yj} —— 分别由(10.6)、 (10.7)求得的参与系数；

θ —— 地震作用方向与 x 方向的夹角。

单向水平地震作用下的扭转耦联效应，可按下列公式计算：

$$S_{Ek}=\sqrt{\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{m}\rho_{jk}S_jS_k} \tag{10.8}$$

$$\rho_{jk}=\frac{8\sqrt{\zeta_j\zeta_k}(\zeta_j+\lambda_T\zeta_k)\lambda_T^{1.5}}{(1-\lambda_T^2)^2+4\zeta_j\zeta_k(1+\lambda_T^2)\lambda_T+4(\zeta_j^2+\zeta_k^2)\lambda_T^2} \tag{10.9}$$

式中：

S_{Ek} —— 地震作用标准值的扭转效应；

S_j、S_k —— 分别为 j、k 振型地震作用产生的作用效应，可取前 9～15 个振型；

ζ_j、ζ_k —— 分别为就 j、k 振型的阻尼比；

ρ_{jk} —— j 振型与 k 振型的耦联系数；

γ_T —— k 振型与 j 振型的自振周期比。

第四节 弹性动力时程分析

一、振型叠加法

YJKFea 可以使用振型叠加法进行弹性动力时程分析。在结构的弹性动力时程分析中，结构的系统平衡方程一般可表达为：

$$MX''(t)+CX'(t)+KX(t)=-MZ''(t) \tag{10.10}$$

式中：

M、C、K —— 分别为结构的质量、阻尼和刚度矩阵；

$X(t)$、$X'(t)$ 、$X''(t)$ —— 分别为位移、速度、加速度；

$Z''(t)$ —— 为地面运动加速度。

从数学上看，方程(10.10)代表的是一组常系数的二阶线性微分方程，求解(10.10)方程的方法较多，基于工程中高层结构分析与设计的实际需要，YJK 结构分析软件提供了振型叠加法来求解动力微分方程。

首先可以引入变换：

$$X(t)=\Phi U(t) \tag{10.11}$$

其中 Φ 是振型特征向量 $\Phi_i(i=1,\cdots n)$ 所组成的矩阵，$U(t)$ 为广义位移向量。将(10.11)式代入(10.10)式，则方程(10.10)式变换为：

$$U''(t)+\Phi^T C\Phi U'(t)+\Omega^2 U(t)=-\Phi^T MZ''(t) \tag{10.12}$$

$$\Omega^2=\begin{bmatrix}\omega_1^{\,2} & & & 0\\ & \omega_2^{\,2} & & \\ & & \cdots & \\ 0 & & & \omega_n^{\,2}\end{bmatrix} \tag{10.13}$$

$$\Phi^T C\Phi=\begin{bmatrix}2\omega_1\xi_1 & & & 0\\ & 2\omega_2\xi_2 & & \\ & & \cdots & \\ 0 & & & 2\omega_n\xi_n\end{bmatrix} \tag{10.14}$$

方程(10.12)相当于 n 个互不耦联的单自由度运动方程，如下：

$$\ddot{u}(t)+2\xi\omega\dot{u}(t)+\omega^2 u(t)=p(t)$$

弹性时程分析即是对该方程进行数值积分。在求解方程的数值积分中，标准的有 Newmark 方法和 Wilson-θ方法。YJKFea 在对多种数值积分分析比较的基础上，采用了振动理论中普遍用到的 Duhamel 积分求解含阻尼的二阶运动方程。算法概要描述如下：

一般地，可以得到如下形式的位移响应：

$$u(t)=u(0)a(t)+\dot{u}(0)b(t)+\int_0^t p(\tau)h(t-\tau)d\tau$$

其中，$u(t)$ 是位移响应，$p(t)$ 是随时间变化的荷载，$h(t-\tau)$ 是 τ 时刻的单位脉冲荷载的响应。

引入 $v(t)=\dfrac{\dot{u}(t)+\xi\omega u(t)}{}$，当 $\xi<1$ 时，有

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \frac{1}{\omega_D}\int_0^t p(\tau)e^{-\xi\omega(t-\tau)}\begin{pmatrix} \sin[\omega_D(t-\tau)] \\ \cos[\omega_D(t-\tau)] \end{pmatrix}d\tau + e^{-\xi\omega t}\begin{pmatrix} \cos\omega_D t & \sin\omega_D t \\ -\sin\omega_D t & \cos\omega_D t \end{pmatrix}\begin{pmatrix} u_0 \\ v_0 \end{pmatrix}$$

它可以进一步写成步进的形式：

$$\begin{pmatrix} u_{t+\Delta t} \\ v_{t+\Delta t} \end{pmatrix} = \frac{1}{\omega_D}\int_0^{\Delta t} p(t+\tau)e^{-\xi\omega(\Delta t-\tau)}\begin{pmatrix} \sin[\omega_D(\Delta t-\tau)] \\ \cos[\omega_D(\Delta t-\tau)] \end{pmatrix}d\tau + e^{-\xi\omega\Delta t}\begin{pmatrix} \cos\omega_D\Delta t & \sin\omega_D\Delta t \\ -\sin\omega_D\Delta t & \cos\omega_D\Delta t \end{pmatrix}\begin{pmatrix} u_t \\ v_t \end{pmatrix}$$

这一形式适合进行数值积分。与 Newmark 方法和 Wilson-θ方法相比，所采用的该数值积分的优点是可以精确地反映模态的自由振动，没有所谓的数值阻尼与周期伸长，可以进行长程的积分。最后在求解出各个振型响应后按照方程(10.11)式叠加起来，就得到了系统的弹性时程响应。

二、直接积分法

YJKFea 可以使用直接积分法进行弹性动力时程分析。直接积分法采用一定的数值方法直接求解（10.10）式的常系数的二阶线性微分方程。YJKFea 采用 Newmark 法对方程进行求解。

Newmark 法假设采用(10.15)公式可由 t 时刻的加速度、速度和位移推算 t+Δt 时刻的速度和加速度：

$$\dot{u}_{t+\Delta t} = \dot{u}_t + (1-\gamma)\Delta t\ddot{u}_t + \gamma\Delta t\ddot{u}_{t+\Delta t} \quad （10.15\text{-a}）$$

$$u_{t+\Delta t} = u_t + \Delta t\dot{u}_t + (0.5-\beta)\Delta t^2\ddot{u}_t + \beta\Delta t^2\ddot{u}_{t+\Delta t} \quad （10.15\text{-b}）$$

整理(10.15)式可得：

$$\dot{u}_{t+\Delta t} = \frac{\gamma}{\beta\Delta t}(u_{t+\Delta t} - u_t) + (1-\frac{\gamma}{\beta})\dot{u}_t + \Delta t(1-\frac{\gamma}{2\beta})\ddot{u}_t$$

（10.16-a）

$$\ddot{u}_{t+\Delta t} = \frac{1}{\beta\Delta t^2}(u_{t+\Delta t} - u_t) - \frac{1}{\beta\Delta t}\dot{u}_t - (\frac{1}{2\beta}-1)\ddot{u}_t$$

（10.16-b）

将(10.16)式上式待入平衡方程(10.10)中，可得：

$$u_{t+\Delta t} = \frac{\hat{p}_{t+\Delta t}}{\hat{k}} \quad (10.17)$$

其中：

$$\hat{k} = k + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} c + \frac{1}{\beta \Delta t^2} m \quad (10.18\text{-a})$$

$$\hat{p}_{t+\Delta t} = \hat{p}_{t+\Delta t} + (\frac{1}{\beta \Delta t^2} m + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} c) u_t + (\frac{1}{\beta \Delta t} m + (\frac{\gamma}{\beta} - 1) c) \dot{u}_t + ((\frac{1}{2\beta} - 1) m + \Delta t (\frac{\gamma}{2\beta} - 1) c) \ddot{u}_t \quad (10.18\text{-b})$$

由(10.17)式和(10.18)式，可知：对于线性系统(系统刚度 k 不会改变)，由已知的体系特征 m、k、c，算法参数β和γ，即可由每一步的速度、加速度、位移递推出下一步的位移，代入(10.16)式即可得下一步的速度、加速度，从而获得系统的时程响应。

对于包含非线性单元（YJKFea 支持阻尼器、屈曲约束支撑和隔震支座等非线性单元）需要考虑非线性效应（(10.18-a）中的刚度系数 k 是随加载变化的)。将 Newmark 法运用到包含非线性单元的结构的时程分析中时，需要在每个增量步计算中进行 Newton-Raphson 迭代计算。迭代过程可描述为：每个迭代子步中，按照非线性单元的两端的运动状态和单元本构更新非线性单元的切线刚度，用更新后的刚度重新计算系统残余力，对残余力进行判断：若残余力大于容许值，进行下一次迭代计算（由残余力和刚度反算位移增量，更新非线性单元两端运动状态和切线刚度，重新计算残余力)；若残余力不大于容许值，则完成当前时间增量步的迭代过程，进入下一个时间增量步的计算。

第五节 弹性时程分析用户交互与计算结果说明

上部结构计算软件弹性时程分析菜单如下图：

图 10.5.1 弹性时程分析菜单

一、用户波导入

图 10.5.2 自定义地震波数据导入对话框

软件的时程分析提供两种导入自定义地震波方式，一种是直接导入用户按照 YJK 格式写好的地震波数据，另一种是用户自定义格式的数据。

YJK 格式地震波：选择对话框左上角**“添加文件”**按钮，点击“浏览文件”，选择一个或多个 YJK 格式地震波数据文件，点击**“导入”**按钮后，程序会导入用户定义的 YJK 格式地震波数据，在点击**“退出”**按钮后，新加入的地震波即会显示在“地震波选择”菜单的“用户自定义波”列表中。**“打开导入目录”**可以找到成功导入的地震波文件。

实例如下：

$wavename

C: NW

D: 0.005

PW:

8.955100e-005

-8.381950e-005

-2.350330e-004

-7.782120e-004

-7.265580e-004

-4.008440e-004

.
.
.

SW:

1.855060e-004

9.636760e-005

2.856650e-004

2.530350e-004

4.269670e-004

3.687970e-004

5.499770e-004

.
.
.

VW:

0.1953134e-04

1.186596e-005

1.182352e-004

2.193937e-004

1.207903e-004

2.215314e-004

2.221608e-004

.
.
.

地震波标示符说明

开头字符	注释意义
$:	地震波说明行，（该行可省略）
C:	地震波类型，NW：天然波；AW：人工波，（该行可省略）
D:	地震波步长，（该行不可省略）
PW:	主波数据起始标志，（如有主波数据，该行必须有）
SW:	次波数据起始标志，（如有次波数据，该行必须有）
VW:	垂向波数据起始标志，（如有垂向波数据，该行必须有）

地震波总持续时间将由程序自动计算得出。在只有主波无其他波数据，或有次波无其他波数据等等情况时，可以省略开头字符与相关的所有数据，主波、次波及垂向波数据点数最好相同或者接近。

YJK 格式地震波实例文件 ExampleWave.txt 请见地震波存储目录。

C:\YJKS\2.0.3(当前版本名称)\WaveData\UserWaves

自由数据格式：程序默认用户导入的每个数据文件中只有一条地震波数据，需分别导入主波、次波及垂向波文件合并成 YJK 数据格式文件。点击**“自由数据格式”**按钮，用户需根据要导入的地震波文件中的数据排列方式设置对话框中的相关参数，选择需要导入与合并的各向地震波文件后，点击**“导入与合并”**按钮后，程序即会合并各向地震波文件中的数据。合并后文件名称为“主波文件名_次波文件名_垂向波文件名”，导入后点击**“打开导入目录”**即可切换到文件生成目录。

实例如下：

$ LOMA PRIETA HISTORY AT ANGLE 90 IN G UNITS

$ GIVEN IN EQUAL TIME STEPS OF 0.02 SECONDS

$ USED IN ETABS EXAMPLES EX13, EX14 AND EXAMPLE

$ ACCACCACCACCACC

-0.00100 -0.00200 -0.00200 -0.00100 -0.00100

-0.00100 -0.00100 -0.00100 -0.00100 -0.00100

0.00000 -0.00100 0.00000 0.00000 -0.00100

-0.00100 -0.00100 -0.00100 -0.00100 -0.00100

-0.00100 -0.00100 -0.00100 -0.00100 0.00000

0.00200 0.00200 0.00100 0.00000 -0.00100

……

……

……

说明：实例文件前四行为文字说明行。对话框中参数设置：步长设置：0.02；数据起始行号：5；一行数据个数：5。

二、人工波生成

为增加人工波的数目，提供更多的备选地震波，YJK 软件提供了自动生成人工波的计算程序。点击人工波生成按钮，用户交互对话框如下：

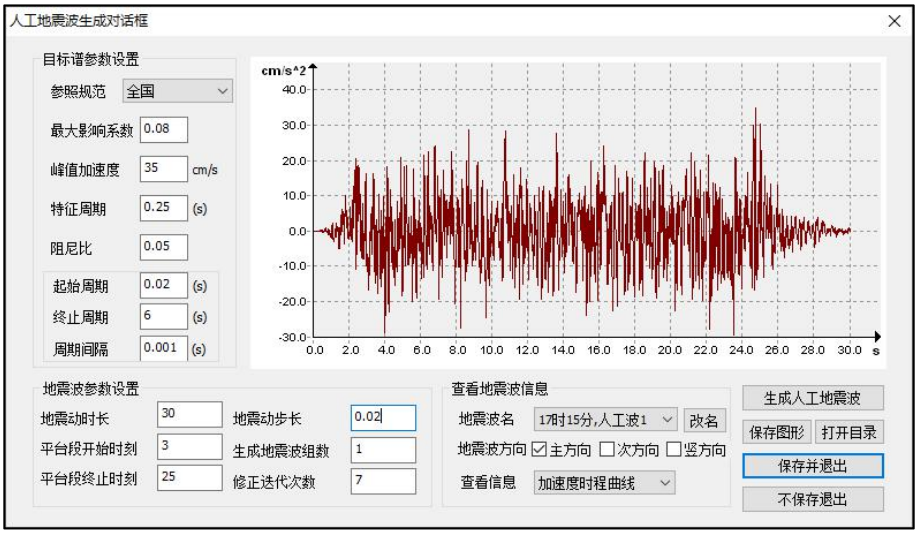


图 10.5.3 人工地震波生成交互界面

（1）点击生成人工地震波按钮程序即开始计算，YJK 人工地震波生成程序提供了同时**生成多条地震波**的功能，地震波生成时间随着修正迭代次数的增加而增加，对应反应谱线型则随之愈加贴近目标谱。生成的人工波文件存储位置同地震波库位置，点击**“打开目录”**即可切换。

（2）计算原理:

软件采用谐波叠加法生成人工地震波。对于给定的功率谱密度函数 $S_x(\omega)$，按照下面的公式可以方便的生成以 $S_x(\omega)$ 为功率谱密度函数、均值为零的高斯平稳过程 $a(t)$。

$$a(t)=\sum_{k=1}^{N} C_k \cos(\omega_k t+\varphi_k) \tag{1}$$

式中：

$$\left.\begin{aligned} C_k &= [4S_x(\omega_k)\bullet\Delta\omega]^{\frac{1}{2}} \\ \Delta\omega &= (\omega_u-\omega_l)/N \\ \omega_k &= \omega_l+(k-\frac{1}{2})\Delta\omega \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

φ_k 为 $(0,2\pi)$ 内均匀分布的随机相角；ω_u，ω_l 分别为正 ω 域内的上、下限值，即认为 $S_x(\omega)$ 的有效功率在 (ω_u,ω_l) 范围内，而范围外的 $S_x(\omega)$ 值可视为零。

为了反映地面运动的非平稳性，采用包络函数 $f(t)$ 乘以平稳过程 $a(t)$，

$$x(t)=f(t)\bullet a(t) \tag{3}$$

(3)式即为人工地震波模型。

$f(t)$ 可根据下式确定：

$$f(t)=\begin{cases} t^2/t_1^2 & 0\le t<t_1 \\ 1 & t_1\le t<t_2 \\ e^{-c(t-t_2)} & t_2\le t<t_3 \\ 0 & t_3<t\le T \end{cases} \tag{4}$$

式中：c 为衰减系数，通常取值范围为 0.1~1.0，本程序取 0.15；t_1，t_2 和 t_3 根据不同实际情况取值，T 为地震波持时。

软件采用《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)中的反应谱作为目标谱，通过 Kaul 提出的平稳过程反应谱与功率谱的近似关系，

$$S_x(\omega_k)=\frac{2\xi}{\pi\omega_k}[S_a^T(\omega_k)]^2/[-2\ln(-\frac{\pi}{\omega_k T_d}\ln p)] \tag{5}$$

式中：$S_a^T(\omega_k)$ 为规范反应谱；ξ 为阻尼比；T_d 为地震动持时；p 为反应不超过反应谱值的概率，程序取 0.85。通过(3)式和(5)式即可生成人工地震波。

三、地震波选择

地震波的选取,一般通过三级菜单进行操作。一级菜单是选波时的积分参数及反应谱分析参数的设置；二级菜单是地震波库中天然波及人工波的详情查看、波长裁剪及选取应用；三级菜单是根据默认的规范要求或者用户自定义的筛选波条件自动对地震波库中的地震波进行筛选，选择 N 组满足规范或用户自定义要求的地震波，并且提供选波的计算数据。

一级菜单中参数的设置，“**只计算主方向地震效应**”参数会影响到弹性时程是否按双向地震计算，其他参数都只影响到反应谱的计算。

点击“**地震波选择**”菜单后，首先弹出的对话框如下图：

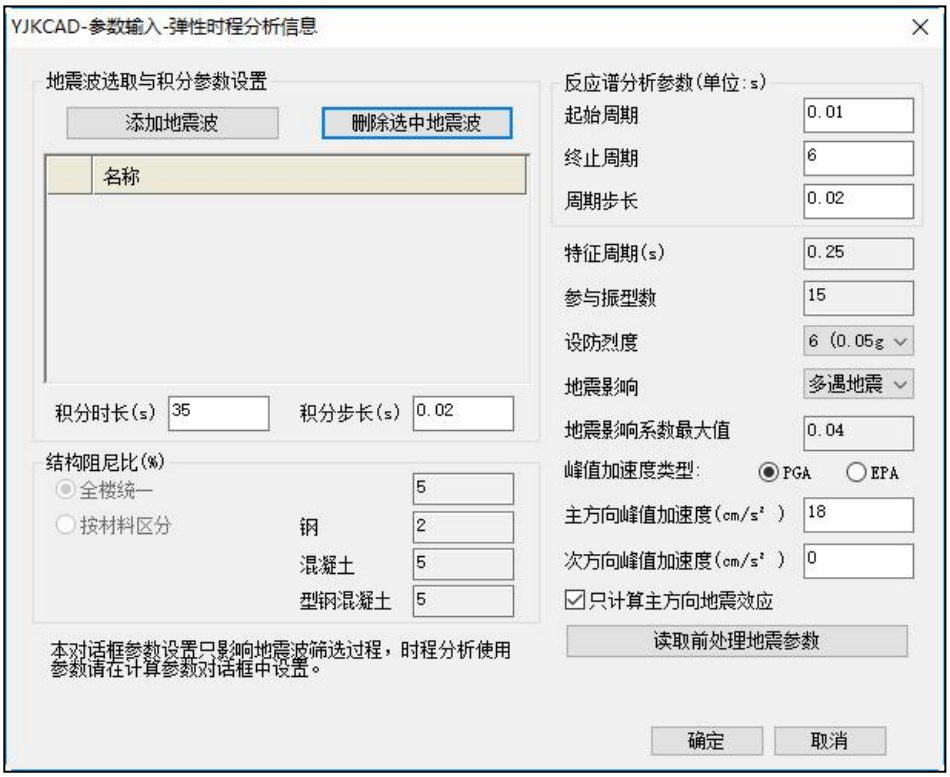


图 10.5.4 地震波选波菜单

对话框中各参数意义如下：

添加地震波：点击该按钮将弹出地震波选择对话框，具体说明将在后节中介绍。

删除选中地震波：删除在按钮下方的地震波列表中已选中的地震波。

积分时长：指程序用于计算地震波反应谱的时间总长度，起始积分时刻默认为 0 秒。不同的地震波持续时间不同，程序根据地震波库中大部分地震波的持续时间，默认了 35 秒的积分时长，用户可根据不同长度的地震波自行设置。本参数同样会影响到后续反应谱曲线的计算，多条波时建议用户修改为持时最长地震波的时长。

积分步长：数值积分时的积分步长，默认设为 0.02 秒，上下限：0.001~3 秒。

结构阻尼比：同前处理地震信息对话框的参数设置，由于地震波的计算结果需要同 CQC 法计算结果进行对比，所以这里阻尼比与前处理设置一致。该处显示只起提示作用，如需修改，可在前处理中进行。

反应谱分析参数：选波中计算每条地震波的加速度反应谱以同《建筑抗震设计规范》

中的规范谱做比较，用于判断选取的地震波与规范谱是否“在统计意义上相符”。因此，这里用的参数应该和上部结构中保持一致。

起始周期：对地震波进行反应谱分析的最小周期值，默认 0.01 秒。

终止周期：对地震波进行反应谱分析的终止周期值，默认同《建筑抗震设计规范》中的地震影响系数曲线的横坐标最大值 6 秒。注意：当结构周期大于 6 秒时，程序在分析计算时将自动延长终止周期至结构实际周期，规范谱的谱值将取 6 秒时刻所对应的谱值。

周期步长：反应谱分析时前后两周期之间的差值，默认为 0.02 秒。

读取前处理计算参数：为了保证选波计算与 CQC 法计算结果具有可比性，当第一次进入本程序，或者点取对话框上的“**读取前处理计算参数**”按钮时，以下选波计算参数将从上部结构计算前处理模块的地震信息中读取或者根据规范进行联动处理：

特征周期、参与振型数：同前处理地震部分对话框的参数设置，只起提示作用，可在前处理中统一修改；

设防烈度：同抗震规范中的分类，可供选择的取值有 6（0.05g）、7（0.10g）、7（0.15g）、8（0.2g）、8（0.3g）、9（0.4g）；

地震影响：分多遇地震和罕遇地震两选项。多遇地震对应于 50 年设计基准期内超越概率 63%的地震烈度，一般指小震。罕遇地震对应于 50 年设计基准期内超越概率为 2~3%的地震烈度，一般指大震；

地震影响系数最大值：程序根据对话框中的建筑设防烈度与地震影响类型自动按照《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）表 5.1.4-1 设定。注意：当修改“**地震影响**”后，此处影响系数最大值会根据规范随之修改，其值会影响到选波时的振型分解法下的地震剪力。

峰值加速度类型：选项分为 PGA(最大峰值加速度)和 EPA(有效峰值加速度)。PGA 将实际记录的地震波峰值与《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）表 5.1.2-2 要求的相应设防烈度的最大值做比较，求出比例系数，然后所有地震激励输入点的数值按该比例系数做相应缩放。EPA 参照王亚勇《结构时程分析输入地震动准则和输出结果解读》文献中的做法，取地震波加速度谱 0.2s 时刻的值（软件为避免数据的离散性过大，采用 0.15s 到 0.25s 之间数据的平均值作为 0.2s 时刻的值）除以 2.25 得到。获取有效峰值加速度后，与《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）表 5.1.2-2 要求的相应设防烈

度的最大值做比较，求出比例系数，缩放地震波所有激励点数值，以使这条波的有效峰值加速度达到规范表 5.1.2-2 要求。目前只在选波中支持 EPA。后续将在计算中也支持 EPA。

主（次）方向峰值加速度：建筑所处地区的设计有效峰值加速度。根据选择的地震作用类型和设防烈度取值。程序会根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010) 表 5.1.2-2 自动对主次方向的峰值加速度取值。注意：由于弹性时程地震波峰值与同烈度的 CQC 法计算所得结果存在可比关系，如未按照表 5.1.2-2 的峰值设置，计算出的时程结果可能与 CQC 法的计算结果差距较大，无法选择出正确的地震波组合。

只计算主方向地震效应:程序对结构地震波效应的计算结果分为 0°与 90°两种情况，每种情况又各自有主次两个方向分量的效应。如果勾选该选项，在后续的工况定义中，次方向的峰值加速度将为 0，且无法被修改。如果想同时考虑次方向及竖向效应，则不勾选该选项。

进入二级菜单，点击“**添加地震波**”菜单后，弹出的对话框如下图：

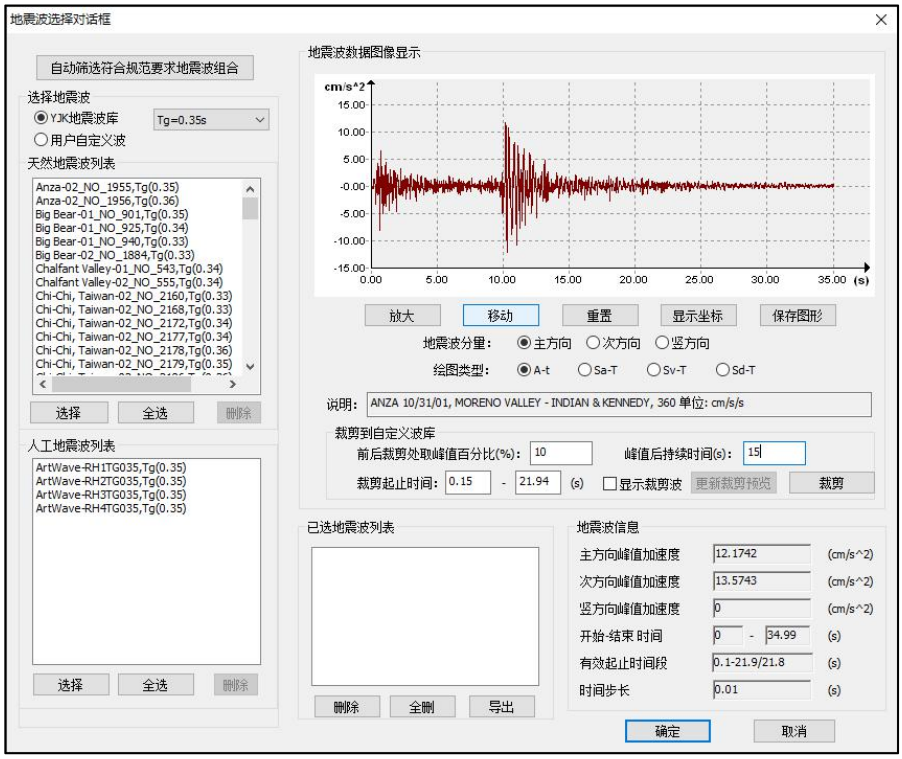


图 10.5.5 地震波选择对话框

在这里可以选取“**YJK 地震波库**”中的地震波或者之前导入的“**用户自定义波**”。

软件为用户提供了 1200 条左右（官网额外提供近万条地震波记录的下载）实际强震的地震波记录并根据规范和时程计算需要进行了整理，将地震波根据特征周期进行了分组便于用户直接选取。每个特征周期均包含了 80~200 多条的地震波信息。选取不同的特征周期，就会在列表框中列出地震波库中相应的天然波和人工波。

选择（或双击地震波）：选择单条地震波加入到中下方的“**已选地震波列表**”中。**单击地震波：**侧边图示框中会实时显示该地震波曲线。

全选：选中对应列表中全部的地震波，添加到“**已选地震波列表**”中。

删除：删除“**用户自定义波**”或“**已选地震波列表**”中选中的单条地震波。

全删：删除对应列表中全部的地震波。

自动筛选符合规范要求地震波组合：由于程序提供了大量的地震波供选择，在对实际工程进行弹性时程分析时，如何选取合适的地震波组合以满足规范的要求经常成为关注的问题。软件提供自动筛选人工波与天然波最优组合的功能以辅助设计人员对地震波进行选取，详细介绍见第三级菜单的介绍。

放大：放大当前地震波数据图像，该功能一般配合“**移动**”、“**显示坐标**”一起使用，以准确查看某个周期点时对应的地震波加速度、反应谱加速度、反应谱速度及反应谱位移的值。

移动：移动当前地震波数据图像。具体作用如前所述。

重置：重置当前地震波数据图像为初始状态。

显示坐标：显示当前所在位置的横、竖坐标。具体作用如前所述。

保存图形：软件提供保存当前数据图像的功能，存储格式包括：*.emf，*.bmp。

地震波分量：分别显示当前选择地震波的主方向、次方向及竖方向地震波数据图像。

绘图类型：分别显示当前选择 A-t（地震波记录）、Sa-T（加速度-周期谱）、Sv-T（速度-周期谱）或 Sd-T（位移-周期谱）。

裁剪到自定义波库：程序根据“**前后裁剪处取峰值百分比(%)**”及“**峰值后持续时间(s)**”来进行地震波的裁剪，以使地震波满足用户的需要。默认数值为 10%和 15s，可自行修改。程序根据“**前后裁剪处取峰值百分比(%)**”及“**峰值后持续时间(s)**”的数值

自动算出裁剪后当前波的“**裁剪起止时间**”，且随时联动。用户也可以自己手动输入“**裁剪起止时间**”。完成后点击“**裁剪**”，则程序弹出确认对话框，可以进行裁剪后地震波名称的修改。裁剪后的地震波将存入“**用户自定义波**”中。该功能主要用于规范谱与反应谱对比，当自动选波无法选出波时，用户可以选择一条接近满足限值的波，选入“**已选地震波列表**”，然后绘图类型选择“**Sa-T**”，通过修改“**裁剪起止时间**”来裁剪处满足要求的地震波。

进入三级菜单，点击“**自动筛选符合规范要求地震波组合**”菜单后，弹出的对话框如下图：

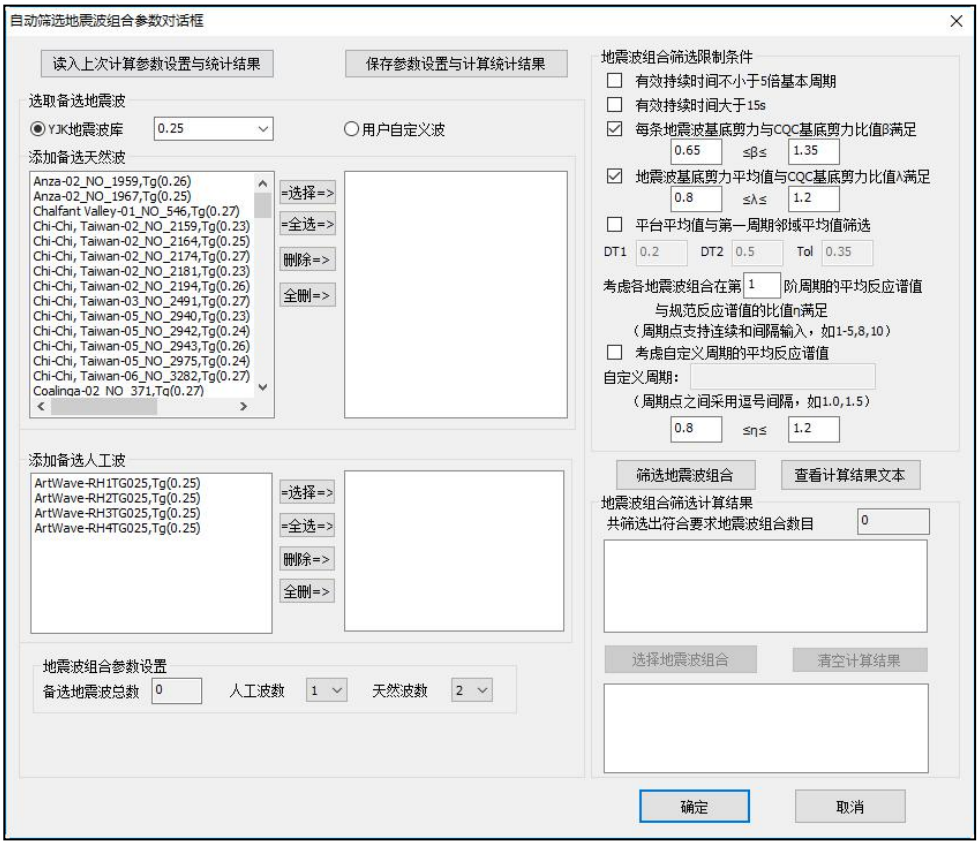


图 10.5.6 自动筛选符合规范要求地震波组合对话框

保存参数设置与计算统计结果：“**筛选地震波组合**”后，可以用该参数将当前的“**地震波组合筛选限值条件**”及“**地震波组合筛选计算结果**”保存下来，该参数一般与“**读入上次计算参数设置与统计结果**”配合使用，在下一次打开该对话框后，直接点击“**读入上次计算参数设置与统计结果**”即可恢复之前的筛选条件设置及筛选结果。

读入上次计算参数设置与统计结果：如前所述，恢复之前的筛选条件设置及筛选结果。

对话框左侧的“**选取备选地震波**”中包括程序根据特征周期归类后的“**YJK 地震波库**”中的天然波、人工波以及“**用户自定义波**”，和上级对话框中类似，用户可从中选择参与筛选的备选地震波到中间列表框。如全选，筛选出的地震波组合可能多一些，但计算时间稍长。

对话框右侧的“**地震波组合筛选限值条件**”提供筛选限值条件的设置项，主要根据规范要求的“有效持时”、“时程波底部剪力与振型分解反应谱法底部剪力之比”及“时程波平均地震影响系数曲线与振型分解反应谱法地震影响系数曲线之比”（除规范要求的在结构周期处比较外，还增加了自定义周期的比较）等进行筛选，筛选条件的默认值均取规范要求。同时根据文献《结构时程分析法输入地震波的选择控制指标》（《土木工程学报》第 33 卷第 6 期）增加了反应谱的两个频段控制原则，具体解释可见 F1 帮助，该选项默认不勾选。

筛选地震波组合：根据设置好的限制条件，程序计算每条地震波的基地剪力和所设置周期点上对应的反应谱值，根据“**地震波组合参数设置**”中设置的人工波、天然波数量自动进行组合，将满足要求的所有组合结果在下方的“**地震波组合筛选计算结果**”中按最优至次优的顺序显示。

选择地震波组合：选择当前选中的组合，添加到最下方列表框中。点击“**确定**”后，该组地震波会自动添加到二级菜单中的“**已选地震波列表**”中。

清空计算结果：清空当前列表框中所有筛选出来的地震组合。

查看计算结果文本：程序输出筛选地震波的计算结果文本，内容包括筛选地震波组合时计算的地震波基底剪力、各条波有效持时、周期点谱值、平台谱与第一周期邻域谱平均值及地震波组合的统计结果。用户可根据该统计结果适当改变地震波组合方案。

根据《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 中的规定，程序遵循的地震波组合筛选原则如下：

1.单条地震波满足限制条件：

每条地震波输入的计算结果不会小于 65%，不大于 135%。

2.多条地震波组合满足限制条件：

（1）“在统计意义上相符”，即多组时程波的平均地震影响系数曲线与振型分解反

应谱法所用的地震影响系数曲线相比，在对应于结构主要振型的周期点上相差不大于20%，即：大于 80%并小于 120%；

（2）多条地震波计算结果在结构主方向的平均底部剪力一般不小于振型分解反应谱计算结果的 80%且不大于 120%。

3.按照时程平均底部剪力与振型分解反应谱法底部剪力偏差最小的原则对已经满足上述限制的组合再进行排序，默认选出偏差最小的组合作为最优组合。

注：对于未筛选出满足要求的地震波组合的工程，用户可尝试从以下几方面检查参数设置或者进行适度调整。

（1）主次波峰值加速度对应地震烈度是否与前处理中地震烈度设置一致；

（2）软件安装盘自带的地震波库数量有限，可到官网下载更多的地震波；

（3）如因人工波满足要求的地震波过少，可以采用软件的人工波生成功能生成需要的人工波；

（4）在选取不到恰当地震波组合情况下，可选取相邻特征周期地震波以满足剪力及谱值的要求。

四、工况定义

图 10.5.7 工况列表对话框

进入**“工况列表”**后，程序自动导入之前选取的地震波。默认每条波计算 0 度和 90 度，分析方法为直接积分法。

增加：增加一个地震波下的工况。

修改：修改当前选择的地震波工况。

删除：删除当前选择的地震波工况。

重置：程序将“地震波选择”菜单中的地震波组合重新导入，替换当前工况列表，并且当前工况列表中的修改不会被保存。

点击“**增加**”或“**修改**”后，程序弹出“**工况信息**”菜单，针对当前的地震波进行“**地震作用**”、“**时程分析**”、“**HHT 积分参数**”及“**瑞利阻尼**”等参数的设置。

地震作用：选择当前工况所使用的地震波。也可以修改“**主方向与 X 轴正向夹角（度）**”，改变地震作用方向。

时程分析：目前提供“**振型叠加法**”和“**直接积分法**”。具体计算原理见本章第四节。

起始时间：计算取地震波的起始时间。

结束时间：计算取地震波的结束时间。

时间步长：数值积分时的积分步长。

输出间隔步数：只针对位移结果数据，输出的位移数据间隔按照指定的数值，间隔中间的数据不存储于文件中，能够明显减小计算结果文件大小且对计算结果影响不大。建议用户根据积分步长合理取值。

输出间隔：“**时间步长**”乘以“**输出间隔步数**”，得到当前位移数据输出的间隔时间。

图 10.5.8 工况信息对话框

迭代控制参数：只针对直接积分法。Newton-Raphson 迭代的控制参数。

HHT 积分参数：Newmark 法的积分参数。

瑞利阻尼：自动读取上部结构的周期及阻尼比数据，计算出“**质量系数α**”及“**刚度系数β**”，用于直接积分计算。

五、工况组合

图 10.5.9 工况列表对话框

进入**“工况组合”**后，程序自动生成 1 号组合即 0 恒载 0 活载 0 竖方向峰值加速度的组合，该组合只能指定主方向和次方向加速度，用于与上部结构 CQC 结果进行对比。该组合不能被删除。

增加组合：增加新的工况组合，用户可以指定恒载系数、活载系数、峰值加速度类型、主、次、竖向峰值加速度。

删除组合：删除当前选中的工况组合。

恒载系数、活载系数：指定系数后，在时程 0s 时刻，考虑初始的恒、活荷载产生的初始位移，注意：对于振型叠加法，由于弹性时程计算是读取上部结构的振型进行后续计算（虽然恒活是静力，但在弹性时程中是按照动力加载的），所以必须在上部结构前处理模块“计算参数”-“结构总体信息”-“地震作用计算信息”中选择“**计算水平和反应谱方法竖向地震作用（整体求解）**”后初始荷载才会起作用。并且要注意竖向地震的振型数及质量参与系数。对于直接积分法，在不勾选“**计算水平和反应谱方法竖向地震作用（整体求解）**”选项时，模型节点没有竖向质量。竖向恒活荷载以力的形式施加到节点上，可以正常计算。但对于竖向地震，由于没有竖向质量，地震竖向加速度不能给模型施加惯性力，所以当需要考虑竖向地震时，在直接积分法时也应该选择“**计算**

水平和反应谱方法竖向地震作用（整体求解）”。

峰值加速度类型：详见本节第三段的解释。

峰值加速度：指定当前地震波的“**主方向的峰值加速度**”、“**次方向的峰值加速度**”以及“**竖方向的峰值加速度**”。

六、计算结果

1、节点变形

输出各个“**时程工况**”下的节点“**位移**”、“**速度**”、“**加速度**”数据。既可以以“**变形云图**”方式输出，也可以以“**时程曲线**”方式输出。其中变形云图方式还分为“**单帧显示**”和“**动画播放**”。

图 10.5.10 节点变形对话框

2、楼层结果

楼层结果输出分为“**图形表格**”和“**文本输出**”。“**图形表格**”以图形表格或时程曲线形式输出楼层在各时程工况在不同方向下的“**楼层位移**”、“**层间位移角**”、“**楼层剪力**”、“**楼层弯矩**”及“**垂向轴力**”。对于多塔情况，用户可选择需要显示的塔的塔号。

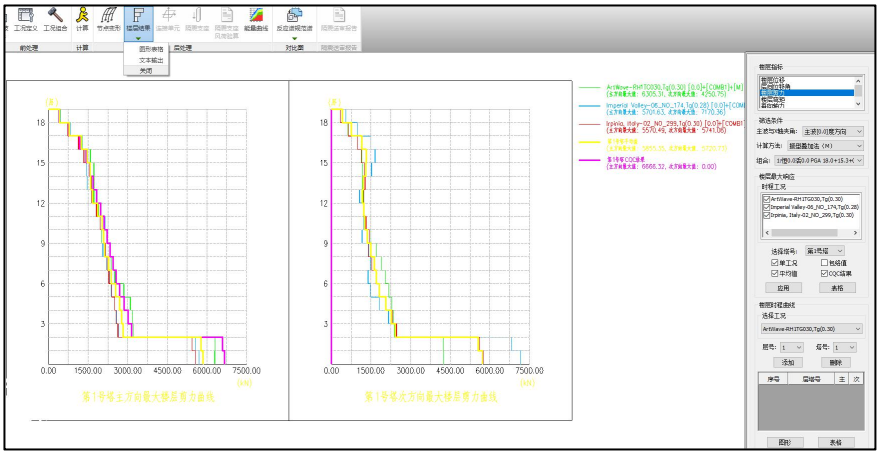


图 10.5.11 图形表格显示状态

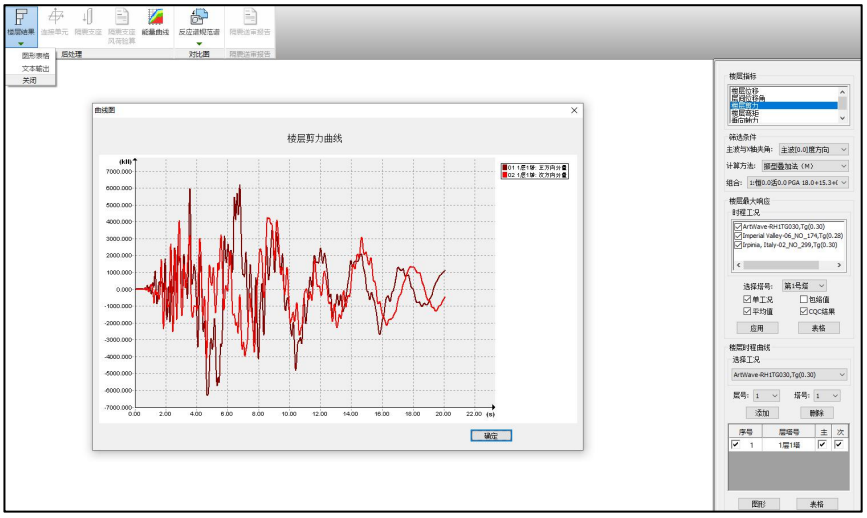


图 10.5.12 时程曲线显示状态

注：“**垂向轴力**”结果的输出需要在上部结构中选择“计算水平和反应谱方法竖向地震作用（整体求解）”，具体解释见之前“**考虑初始荷载**”。

点击“**文本输出**”后，程序将弹出计算结果文件，wdyna.out，弹性时程计算结果文件分为三部分：

（1）各条地震波的时程效应，分为 0°，90°情况下，主次方向。各项符号意义如下：

Jmax：最大位移对应的节点号;

Max-(X)：节点最大位移;

Ave-(X)：层平均位移；

Max-Dx/h：最大层间位移角;

JmaxD：最大层间位移对应的节点号;

Max-Dx：最大层间位移;

Ave-Dx：平均层间位移;

Ave-Dx/h：平均层间位移角。

（2）地震波产生基底(地上首层)剪力与 CQC 法基底剪力比较。判断每条地震波及多条地震波结果是否符合抗震规范要求。

（3）弹性时程计算层间剪力与 CQC 法计算结果比较，给出各层的放大系数。通过全楼统计，得出全楼放大系数建议值。

注：对于双向地震情况，wdyna.out 文件中的 CQC 法结果是考虑了主次波组合情况下的计算结果。上部结构 wzq 中 CQC 法的计算结果始终是单向地震下结果。

3、连接单元

图 10.5.13 连接单元对话框

连接单元输出模型中所有连接单元的“**平动自由度**”或“**转动自由度**”下的时程曲线，曲线类型包括“**F-D**”（内力-位移滞回曲线）、“**F-V**”（内力-速度滞回曲线）、“**D-T**”（连接单元位移曲线）、“**V-T**”（连接单元速度曲线）、“**F-T**”（连接单元内力曲线）。曲线的格式包括图形和表格。程序提供“**显示连接单元局部坐标系**”的功能。

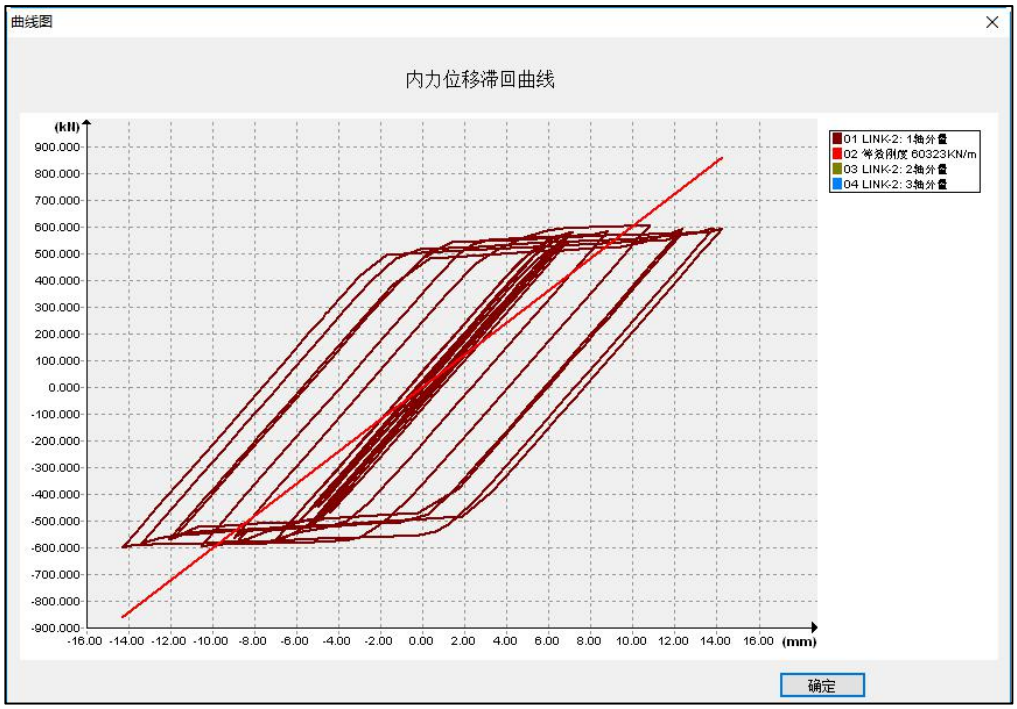


图 10.5.14 滞回曲线图

在“内力-位移滞回曲线”中，软件会同时绘制出程序计算得到的等效刚度；在“内力-速度滞回曲线”中，软件会同时绘制出程序计算得到的等效阻尼。当在上部结构前处理模块“计算参数”-“地震信息”中勾选“**连接单元的有效刚度和阻尼自动采用弹性时程计算结果**”选项后，软件会自动使用弹性时程中计算得到的等效刚度等效阻尼进行整体结构计算。

4、能量曲线

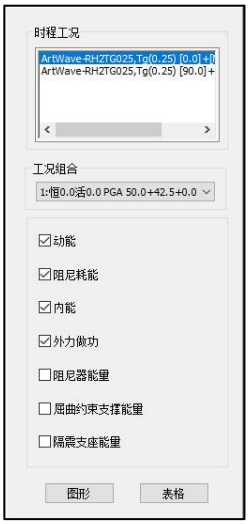


图 10.5.15 能量曲线对话框

程序输出各时程工况下的能量曲线。能量包括“**动能**”、“**阻尼耗能**”、“**内能**”、“**外力做功**”、“**阻尼器能量**”、“**屈曲约束支撑能量**”及“**隔震支座能量**”。“图**形**”按键输出图形格式的能量曲线，“**表格**”输出表格格式的能量曲线，表格可以生成 EXCEL。

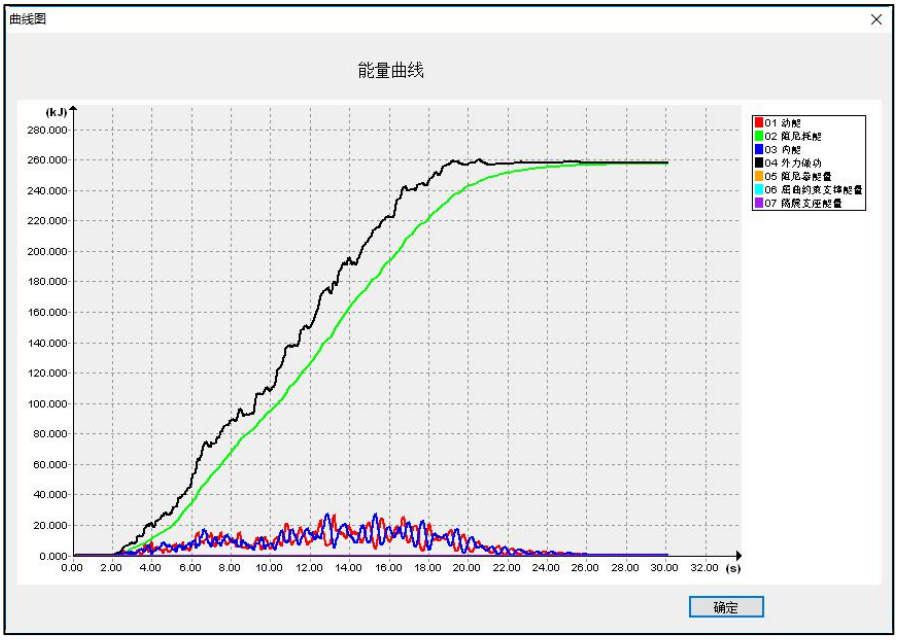


图 10.5.16 能量曲线图

5、隔震验算

图 10.5.17 隔震支座对话框

弹性时程支持以弹性时程分析结果进行罕遇地震下隔震层的各项指标验算，如隔震支座最大压应力、最大拉应力、支座水平位移、抗倾覆及恢复力验算；时程分析可采用 FNA 法或直接积分法。

隔震支座：

点击隔震支座，右侧显示对话框，如图 10.5.18：

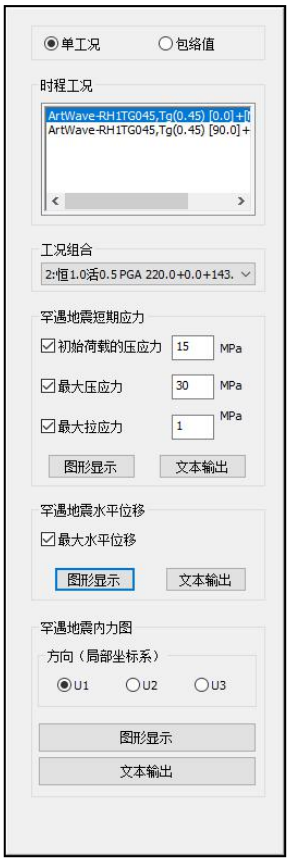


图 10.5.18 隔震支座对话框

支座初始应力、最大压应力、最大拉应力限值有用户输入，软件自动按照限值验算。

最大水平位移验算，软件自动读取前处理隔震支座定义的有效直径和橡胶总厚度参数自动计算位移限值，并验算应力结果是否满足限值要求，不满足的红色显示。

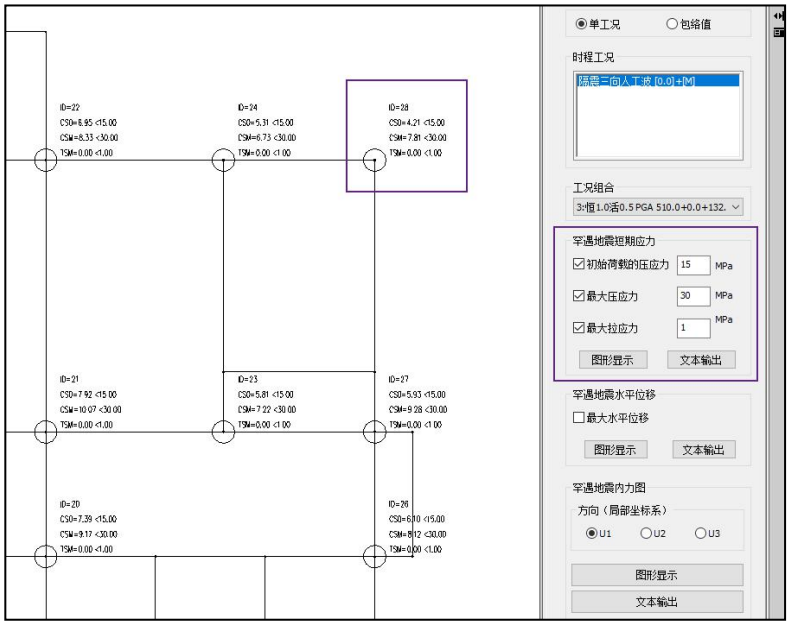


图 10.5.19 支座初始应力、最大压应力、最大拉应力验算结果

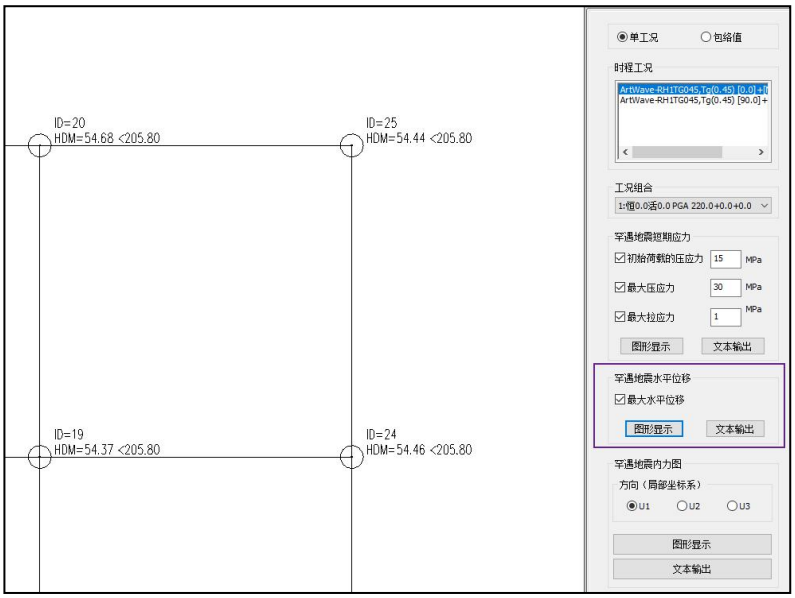


图 10.5.20 支座最大水平位移验算结果

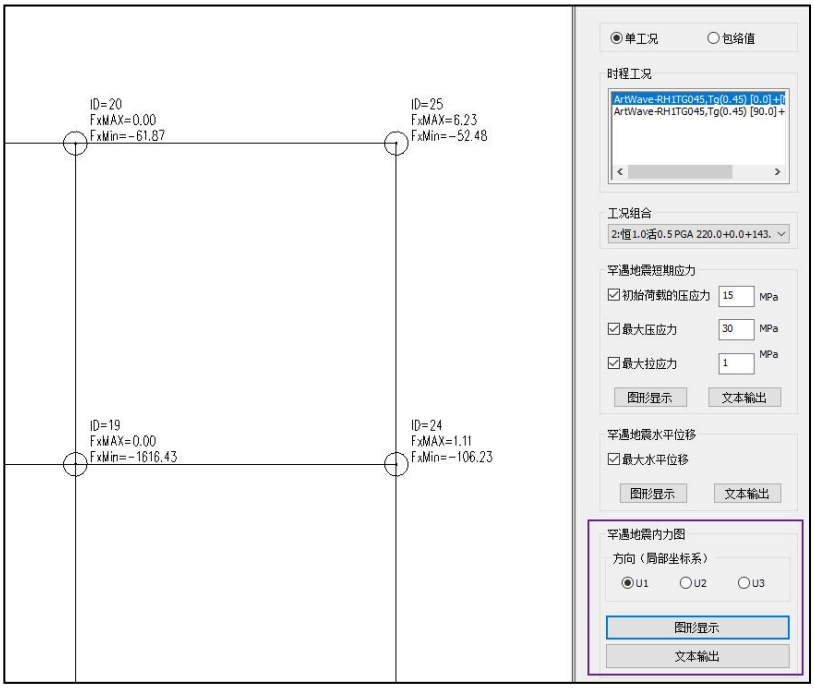
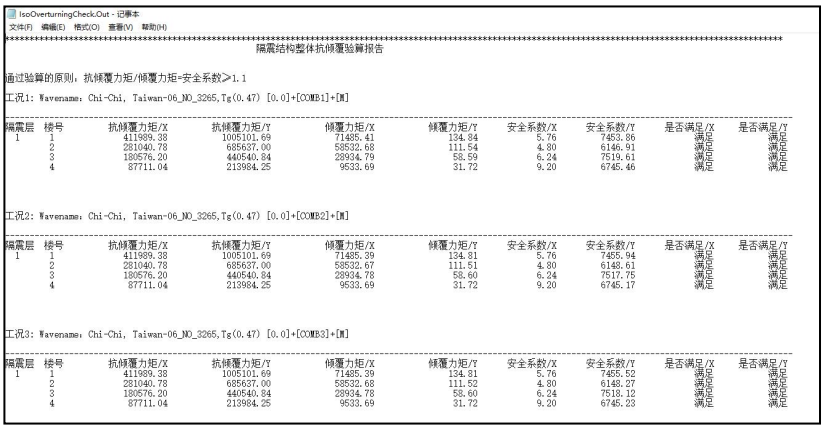


图 10.5.21 支座内力显示结果

隔震层：

隔震标准 4.6.9 条规定隔震建筑需要进行整体抗倾覆验算，抗倾覆验算应按罕遇地震作用计算倾覆力矩，并应按上部结构重力荷载代表值计算抗倾覆力矩，抗倾覆力矩与倾覆力矩之比不应小于 1.1，软件采用弹性时程方法进行验算的结果以文本形式输出如下：



IsoOverturningCheckOut - 记事本

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)

隔震结构整体抗倾覆验算报告

通过验算的原则：抗倾覆力矩/倾覆力矩=安全系数>=1.1

工况1：Wavename：Chi-Chi, Taiwan-06_NO_3265,Tg(0.47) [0.0]+[COMB1]+[M]

隔震层	楼号	抗倾覆力矩/X	抗倾覆力矩/Y	倾覆力矩/X	倾覆力矩/Y	安全系数/X	安全系数/Y	是否满足/X	是否满足/Y
1	1	411989.38	1005101.69	71485.41	134.84	5.76	7453.86	满足	满足
	2	281040.78	685637.00	58532.68	111.54	4.80	6146.91	满足	满足
	3	180576.20	440540.84	28934.79	58.59	6.24	7519.61	满足	满足
	4	87711.04	213984.25	9533.69	31.72	9.20	6745.46	满足	满足

工况2：Wavename：Chi-Chi, Taiwan-06_NO_3265,Tg(0.47) [0.0]+[COMB2]+[M]

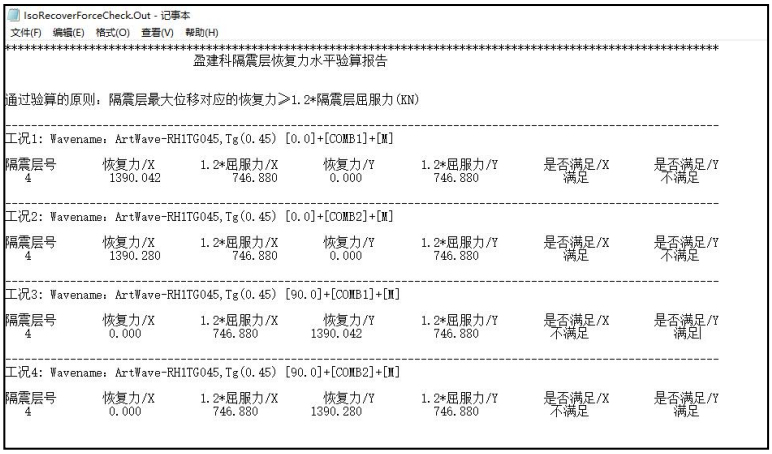
隔震层	楼号	抗倾覆力矩/X	抗倾覆力矩/Y	倾覆力矩/X	倾覆力矩/Y	安全系数/X	安全系数/Y	是否满足/X	是否满足/Y
1	1	411989.38	1005101.69	71485.39	134.81	5.76	7455.94	满足	满足
	2	281040.78	685637.00	58532.67	111.51	4.80	6148.61	满足	满足
	3	180576.20	440540.84	28934.78	58.60	6.24	7517.75	满足	满足
	4	87711.04	213984.25	9533.69	31.72	9.20	6745.17	满足	满足

工况3：Wavename：Chi-Chi, Taiwan-06_NO_3265,Tg(0.47) [0.0]+[COMB3]+[M]

隔震层	楼号	抗倾覆力矩/X	抗倾覆力矩/Y	倾覆力矩/X	倾覆力矩/Y	安全系数/X	安全系数/Y	是否满足/X	是否满足/Y
1	1	411989.38	1005101.69	71485.39	134.81	5.76	7455.52	满足	满足
	2	281040.78	685637.00	58532.68	111.52	4.80	6148.27	满足	满足
	3	180576.20	440540.84	28934.78	58.60	6.24	7518.12	满足	满足
	4	87711.04	213984.25	9533.69	31.72	9.20	6745.23	满足	满足

图 10.5.22 整体抗倾覆验算报告

隔震标准 4.6.1 条第 4 款规定，隔震层应进行恢复力验算，隔震层在罕遇地震作用下的水平最大位移所对应的恢复力，不宜小于隔震层屈服力与摩阻力之和的 1.2 倍；软件采用弹性时程方法进行验算的结果以文本形式输出如下：


IsoRecoverForceCheck.Out - 记事本

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)

盈建科隔震层恢复力水平验算报告

通过验算的原则：隔震层最大位移对应的恢复力≥1.2*隔震层屈服力(KN)

工况1: Wavename：ArtWave-RH1TG045,Tg(0.45) [0.0]+[COMB1]+[M]

隔震层号	恢复力/X	1.2*屈服力/X	恢复力/Y	1.2*屈服力/Y	是否满足/X	是否满足/Y
4	1390.042	746.880	0.000	746.880	满足	不满足

工况2: Wavename：ArtWave-RH1TG045,Tg(0.45) [0.0]+[COMB2]+[M]

隔震层号	恢复力/X	1.2*屈服力/X	恢复力/Y	1.2*屈服力/Y	是否满足/X	是否满足/Y
4	1390.280	746.880	0.000	746.880	满足	不满足

工况3: Wavename：ArtWave-RH1TG045,Tg(0.45) [90.0]+[COMB1]+[M]

隔震层号	恢复力/X	1.2*屈服力/X	恢复力/Y	1.2*屈服力/Y	是否满足/X	是否满足/Y
4	0.000	746.880	1390.042	746.880	不满足	满足

工况4: Wavename：ArtWave-RH1TG045,Tg(0.45) [90.0]+[COMB2]+[M]

隔震层号	恢复力/X	1.2*屈服力/X	恢复力/Y	1.2*屈服力/Y	是否满足/X	是否满足/Y
4	0.000	746.880	1390.280	746.880	不满足	满足

图 10.5.23 恢复力水平验算报告

隔震送审报告：

自动生成隔震送审报告，可以输出设防地震及罕遇地震下的各种数据，如“偏心率计算”、“隔震支座压应力验算”、“设防地震（中震）分析”、“罕遇地震（大震）分析”等等。

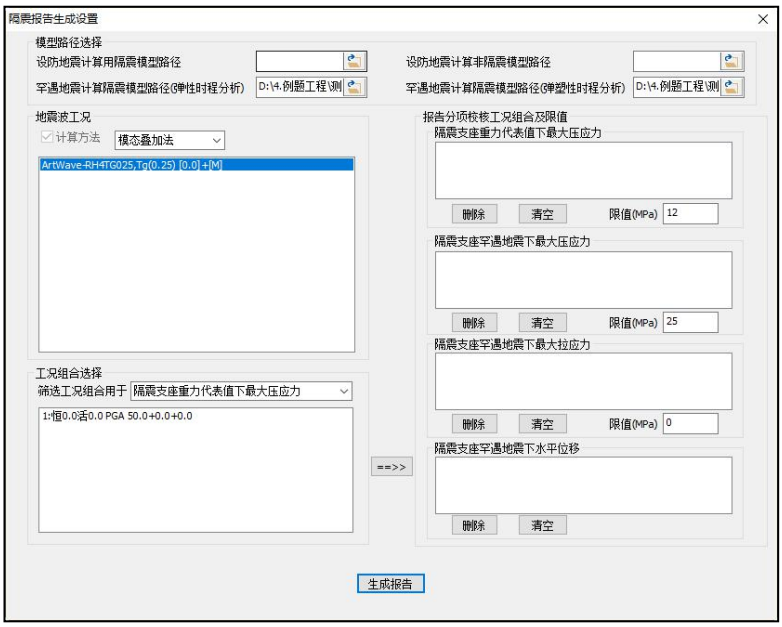


图 10.5.24 隔震报告生成设置

七、反应谱规范谱

为方便用户验证所选地震波是否符合规范中规定的地震波“在统计意义上相符”的要求，软件提供了“**平均谱对比图**”和“**多波对比图**”，在结构各周期点上对比规范谱与平均谱、规范谱与各地震波反应谱。所谓“在统计意义上相符”指的是，多组时程波的平均地震影响系数曲线与振型分解反应谱法所用的地震影响系数曲线相比，在对应于结构主要振型的周期点上相差不大于 20%。在右侧对话框中“**选择查看周期**”，选择要查看的周期，双击或点击下面的“**选择**”，所选的周期会添加到下面的列表中，点击“**应用**”，则主窗口即会显示谱线对比结果。

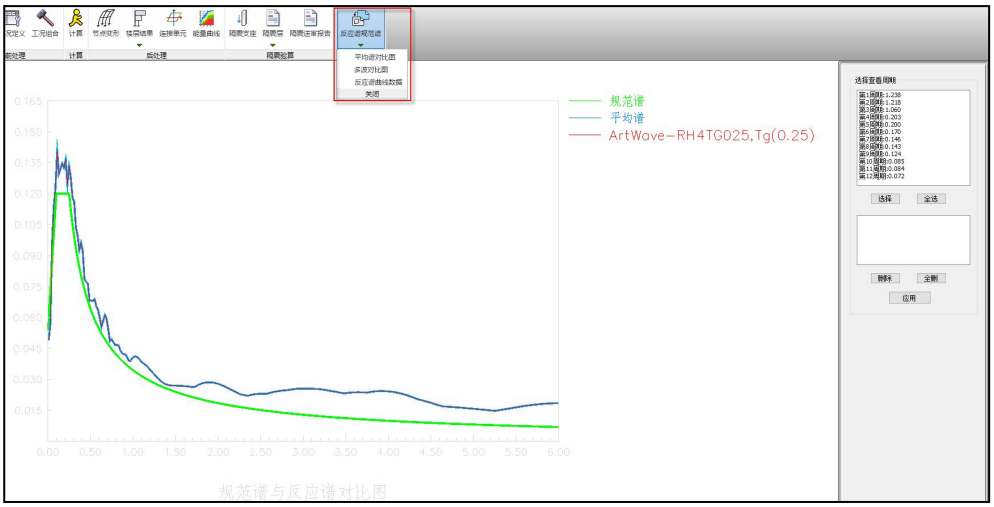


图 10.5.25 规范谱与反应谱对比图

在右上角处，显示每个所选周期点上地震波反应谱与规范谱值的偏差百分比，供用户参考。

注：程序还提供了将图形结果保存为 dwy、dwg 格式功能，见右下角图标 。