

# 1.21 运用 midas Building 进行超限分析基本流程

基准方中建筑设计事务所王明

## 1.21.1 运用 midas 进行超限分析基本流程简介

midas building/Gen 在超限分析流程中应用的主要环节可见如下示意图 1.21.1。

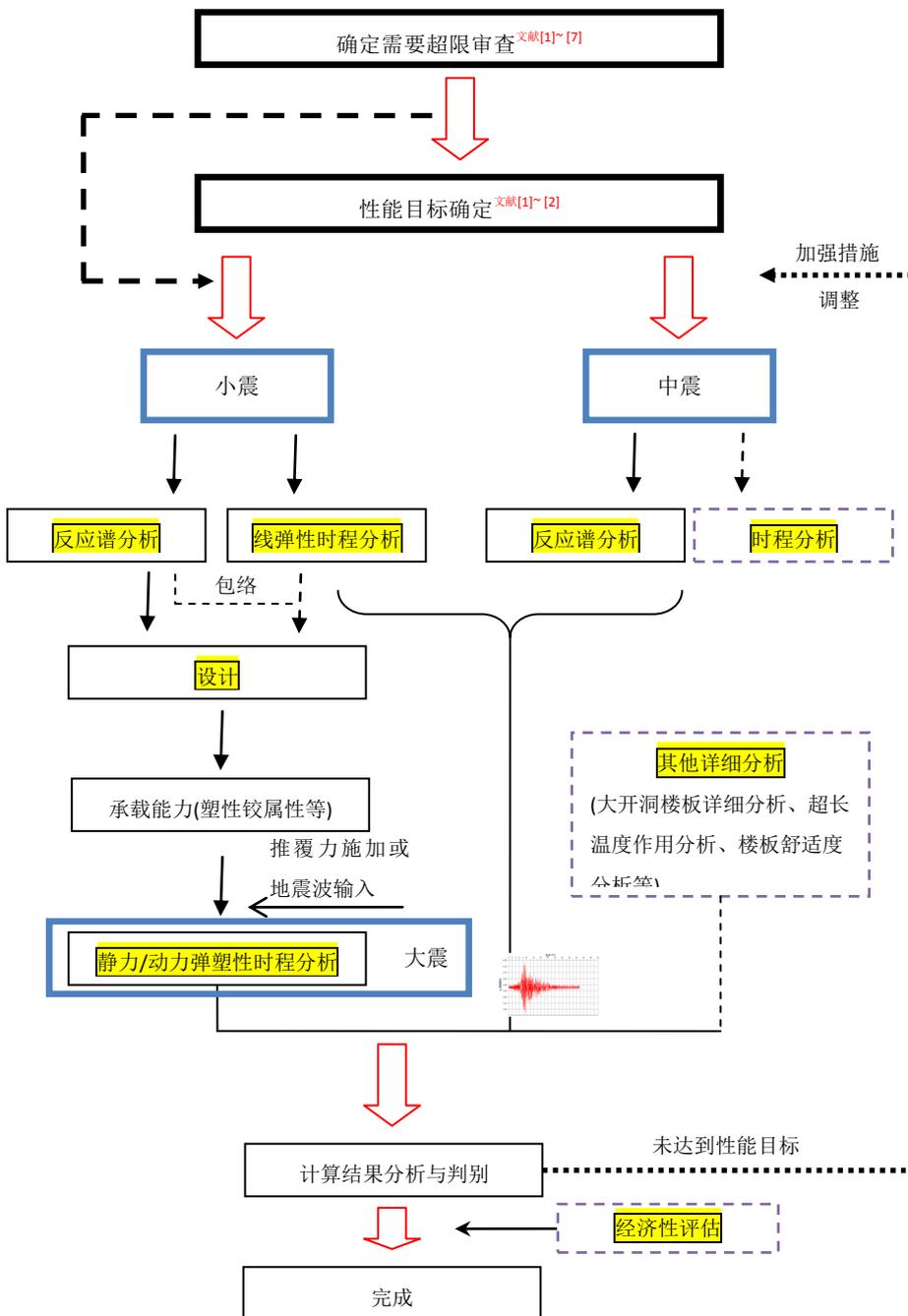


图 1.21.1 超限分析基本流程示意图

## 1.21 运用 midas Building 进行超限分析基本流程

注：1. 图中黄色框选内容为可运用 midas Building/Gen 进行分析主要内容。

### 1.21.2 反应谱分析、设计基本流程及要点

#### 1.21.2.1 概述

反应谱分析是抗震设计中最常用的分析方法，反应谱分析中需要定义设计反应谱、振型组合方法、地震作用方向等数据。设计规范一般考虑地震强度和远近的影响、建筑的重要性等综合因素提供了设计反应谱函数。

#### 1.21.2.2 基本流程（如图 1.21.2 所示）

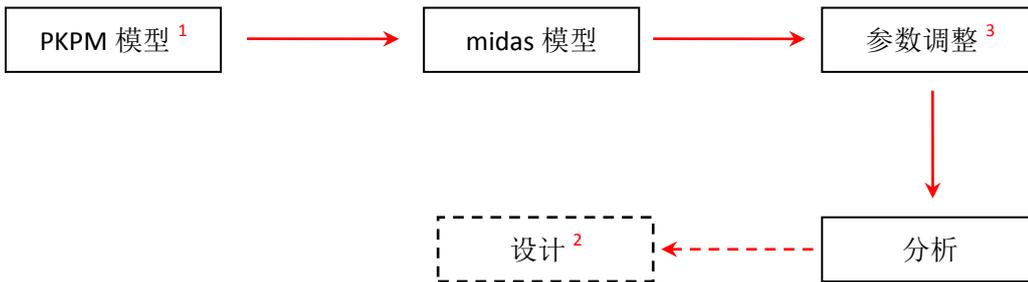


图 1.21.2 运用 midas Building 进行反应谱分析基本流程图

注：

1. 实际工程中基本以 PKPM 导入为主，已进行过的数十个分析显示：模型中构件与荷载能够完全准确导入，但所有参数需要重新定义。若导入 ETABS 模型，出错较多，可尝试通过广厦或盈建科二次转换；

2. 若仅进行反应谱阶段分析，则无需进行设计（浪费时间）；

3. 本过程参数调整阶段基本流程如图 1.21.3 所示。

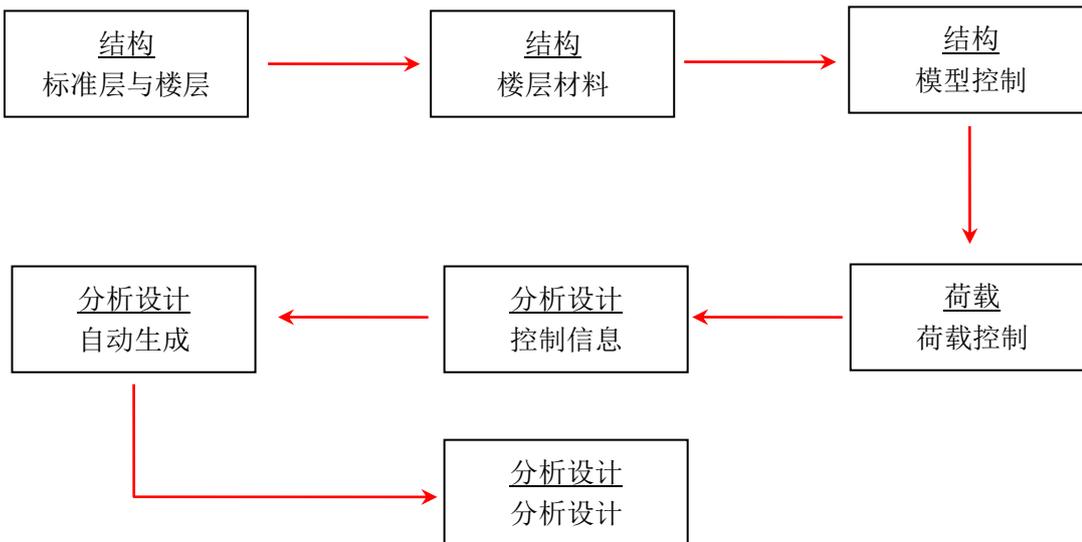


图 1.21.3 参数调整基本流程图

1.21.2.3 反应谱分析要点及注意事项

[1 结构→标准层与楼层]

进行“设计”阶段时，需定义为“弹性板”；进行“楼板详细分析”时，依需要定义为弹性膜或弹性板（主要区别为是否考虑整体计算得出的板边界位移参与分析）。

[1 结构→标准层与楼层→定义材料]

类似于通用有限元软件，可自定义材料属性，程序默认为各材料的标准属性，如图 1.21.4 所示。

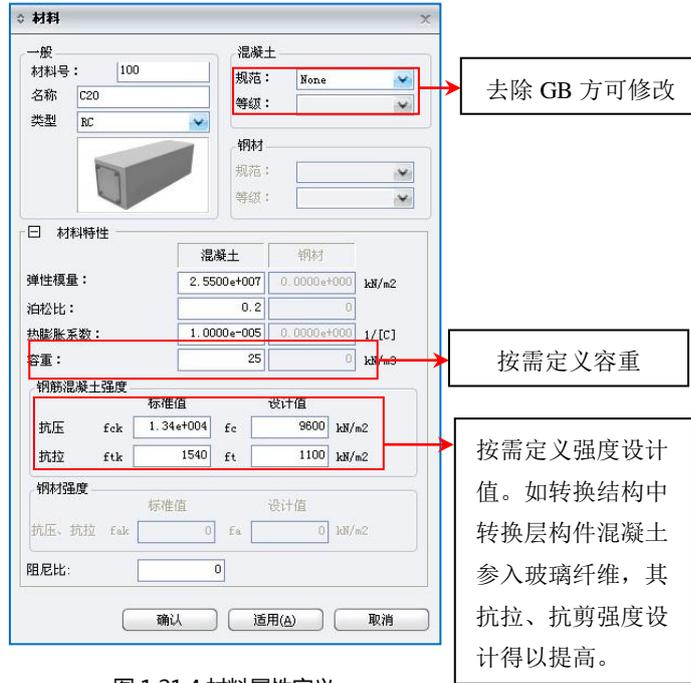


图 1.21.4 材料属性定义

[1 结构→标准层与楼层→地下室信息]（如图 1.21.5 所示）

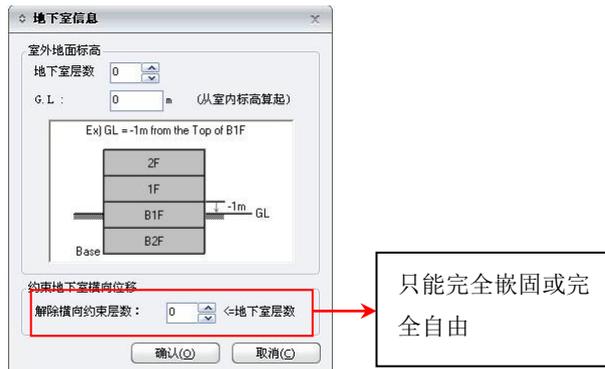


图 1.21.5 地下室信息定义

如需要定义周侧土体对于结构抗侧抗度的影响，可在结构外围设置固定点，并拉以弹簧模拟边界条件。

[1 结构→楼层材料]

若按需定义了各楼层材料等级并“自动生成”信息后，构件强度信息显示并未修改，则可以通过“构件信息列表”手动修改，如图 1.21.6 所示。

## 1.21 运用 midas Building 进行超限分析基本流程



图 1.21.6 获取构件列表方式

### [1 结构→模型主控]

类似于通用有限元软件，各类构件网格划分可自定义，尤其对于转换结构或错层结构，可细化转换梁或其上所抬剪力墙的网格尺寸。弹塑性分析时，需要考察更加明确的损伤情况，也需要在此进行细化（注意区别于墙元纤维划分），如图 1.21.7 所示。



图 1.21.7 网格尺寸定义

### [1 结构→模型主控→对墙洞口连梁的处理]

依据跨高比确定连梁的计算方式（杆单元或墙元）可自定义，一般采用程序默认方式（可参考文献[12]），如图 1.21.8 所示。



图 1.21.8 强弱连梁跨高比界限定义

### [2 构架→楼梯板]

可实现考虑楼梯参与整体结构的分析，在三维视图中分别建立相应梯柱、梯梁并拉设楼梯斜板与休息平台，计算中梯梁与梯柱以杆单元计算，板类构件则以板单元计算（PKPM 中梯板以宽扁梁进行计算，计算结果基本失真超筋）。

### [3 荷载→荷载控制]

荷载控制与 Satwe 参数设置基本一致，个别不同如图 1.21.9 所示。

## 1.21 运用 midas Building 进行超限分析基本流程

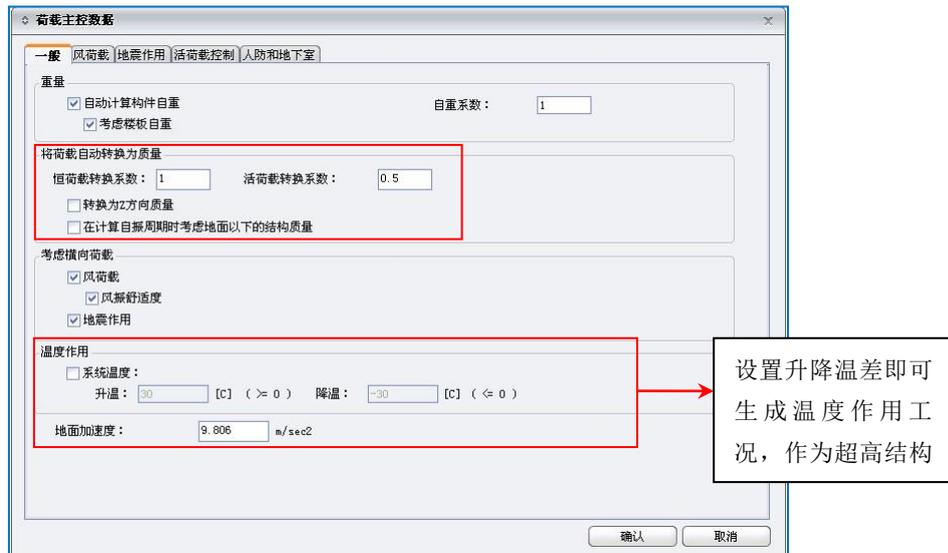


图 1.21.9 荷载控制参数设置

### [2 分析设计→控制信息→特征值分析]

特征值分析是分析结构固有振动特性的分析方法，是反应谱分析和振型分解时程分析的必要前提。其中，兰佐斯法的计算速度快，适合大型工程；子空间迭代计算比较稳定，适合各类工程文献[3]，如图 1.21.10 所示。

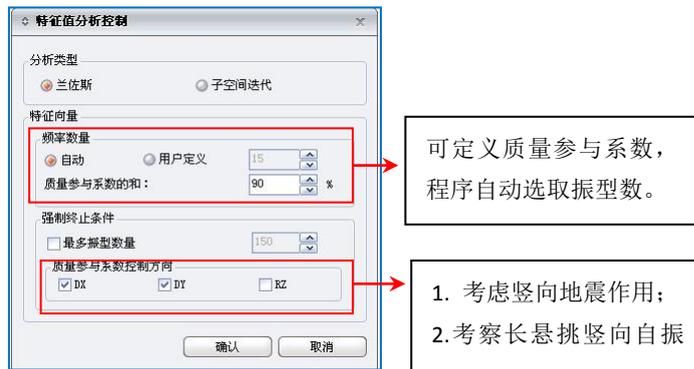


图 1.21.10 特征值分析参数设置

### [2 分析设计→控制信息→调整信息]

可以对结构整体或分类构件设置实配钢筋/计算配筋参数，主要影响，如图 1.21.11 所示：

- 1 计算梁、板构件的挠度和裂缝宽度（文献[15]7.1 节、7.2 节）；
- 2 对于 9 度设防结构及一级框架结构，用于地震作用下框架梁和连梁端部剪力基框架柱端弯矩和剪力的调整系数的计算（文献[1]6.2 节，文献[2]6.2 节）；
- 3 弹塑性分析时，计算塑性铰特性值；
- 4 后续含钢量统计。

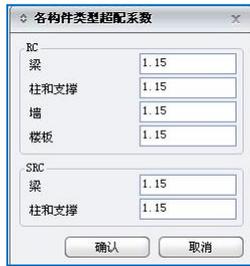


图 1.21.11 超配系数系数设置

### 1.21.3 弹性时程分析基本流程及要点

#### 1.21.3.1 概述

《抗规》5.1.2-3<sup>[1]</sup>: 特别不规则的建筑、甲类建筑和表 5.1.2-1 所列高度范围的高层建筑, 应采用时程分析法进行多遇地震下的补充分析, 地震波选取内容 (略);

《抗规》5.1.2-5<sup>[1]</sup>: (内容略)

《高规》4.3.4-3<sup>[2]</sup>: 7~9 度抗震设防的高层建筑, 下列情况应采用弹性时程分析法进行多遇地震下的补充分析 (是对振型分解反应谱分析的补充):

- 1) 甲类高层建筑结构;
- 2) 表 4.3.4 所列的乙、丙类高层建筑结构 (高度超限均属此类);
- 3) 不满足本规程第 3.5.2~3.5.6 条 (竖向不规则) 规定的高层建筑结构;
- 4) 本规程第 10 章规定的复杂高层建筑结构。

#### 1.3.2 基本操作及要点

弹性时程分析基本流程如图 1.21.12 所示。

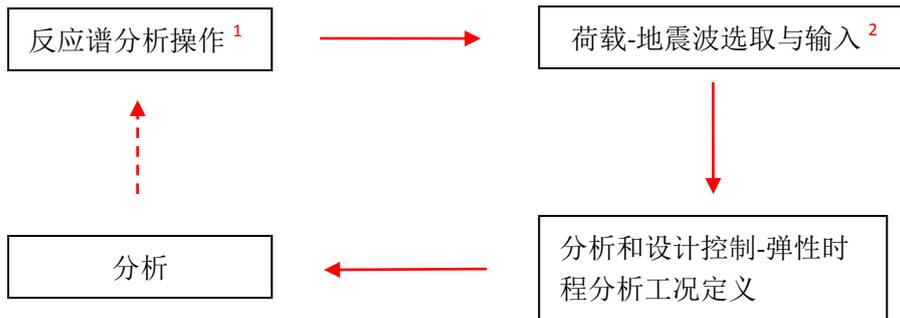


图 1.21.12 弹性时程分析基本流程图

注: 1 详见第二章内容;

2 详见技术要点。

[要点 1-地震波选取]

弹性时程分析作补充计算时, 时程曲线的基本要求见表 1.21.1。此处“补充计算”指对“主要计算”的补充, 着重是对底部剪力、楼层剪力和层间位移角的比较, 当时程分析法的计算结果大于振型分解反应谱法时, 相关部位的构件内力和配筋应进行相应调整 (实际工程中可进行包络设计)<sup>[12]</sup>。

包络设计方法: 目前, 结构设计软件 (Setwe、midas Building 等) 基本不具备弹性时程分析的后续配筋设

## 1.21 运用 midas Building 进行超限分析基本流程

计功能，因此，当按时程分析法计算的结构底部剪力（三条计算结果的包络值或七条时程曲线计算结果的平均值）大于振型分解反应谱法的计算结果（但不大于 120%）时，可将振型分解反应谱法计算乘以相应的放大系数（时程分析包络值/振型分解反应谱值），使两种方法的结构底部剪力大致相当，然后，取振型分解反应谱法的计算结果分析<sup>[12]</sup>。

表 1.21.1 时程曲线的基本要求（弹性时程分析）

序号	项目	具体要求
1	曲线数量要求	实际强震记录的数量不应少于总数的 2/3
2	每条曲线计算结果	结构主方向底部总剪力（注意：不要求结构主、次两个方向的底部剪力同时满足 <sup>[16]</sup> ）不应小于振型分解反应谱法的 65%（也不应大于 135%）
3	多条曲线计算结果	底部剪力平均值不应小于振型分解反应谱法的 80%（也不大于 120%）

规范中“统计意义上相符”指：多组时程波的平均地震影响系数曲线与振型分解反应谱所用的地震影响系数曲线相比，在对应于结构主要振型在周期点上相差不大于 20%。

主要振型：周期最大的振型不一定是主振型，应检查其阵型的参与质量，采用弹性楼板模型计算值，应重新核查，避免由于局部振动造成振型数的不足<sup>[12]</sup>。

利用[荷载→地震波]可以非常方便选择较为适宜的地震波（即满足频谱特性、加速度峰值和持续时间）如图 1.21.13—图 1.21.16 所示。

利用[结构→线弹性时程分析结果→检查地震荷载数据]可以非常方便进行设计谱与规范谱的比较。

注：PKPM 地震波格式转换成 Etabs/midas Building 地震波格式处理、地震波处理小工具详见[附件三]。

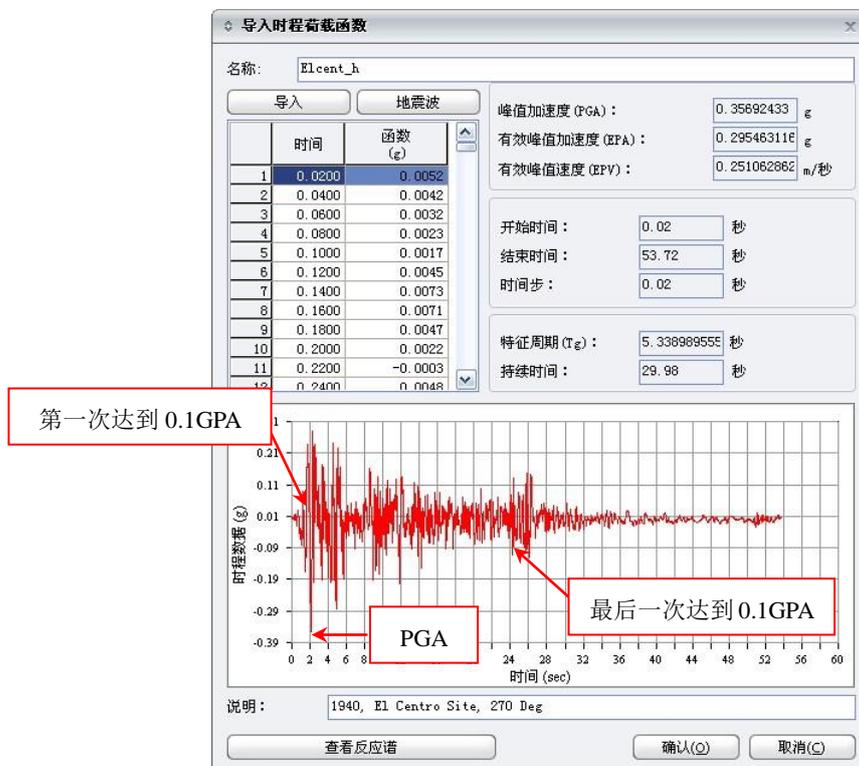


图 1.21.13 地震波选取一

注：PGA 为地震波峰值加速度值，EPA 为有效峰值加速度值，具体等效计算过程详见文献[10]、[17]。

## 1.21 运用 midas Building 进行超限分析基本流程

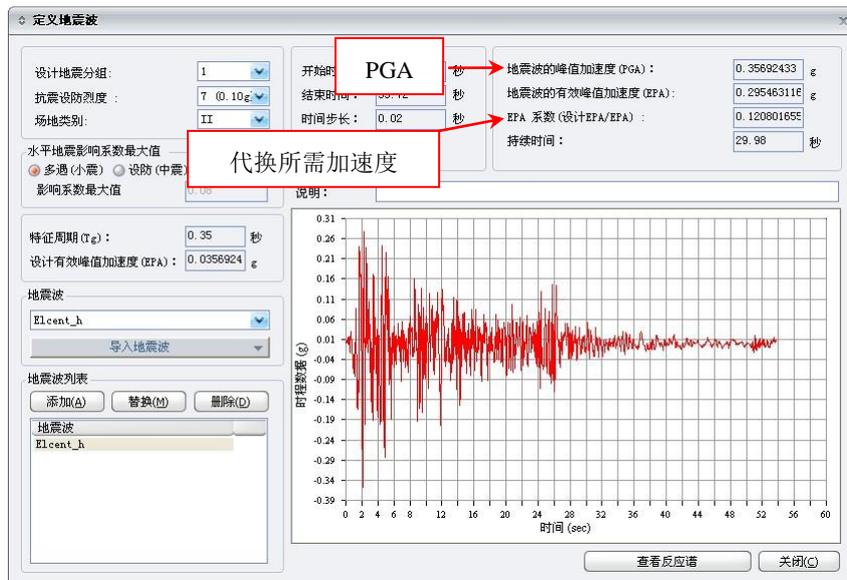


图 1.21.14 地震波选取二

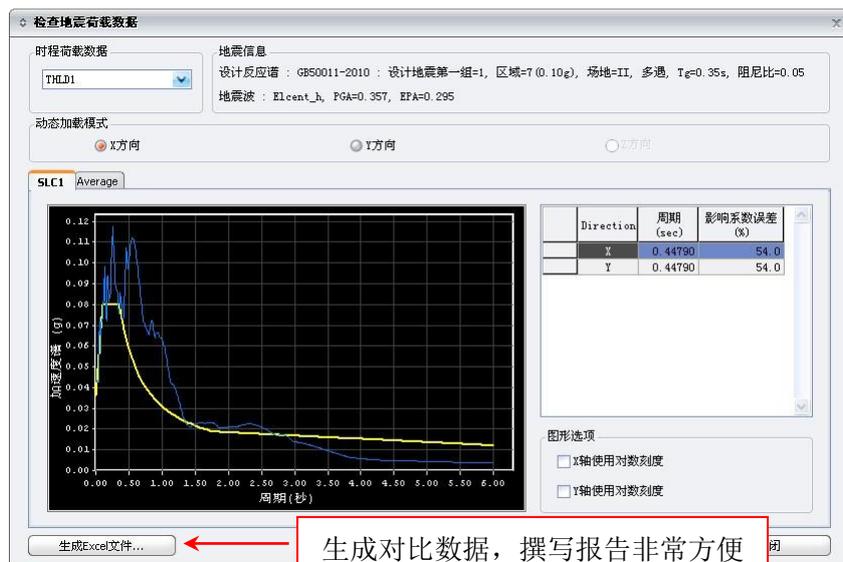


图 1.21.15 设计谱与规范谱对照图

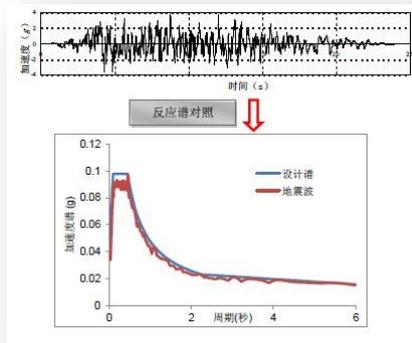


图 1.21.16 世贸项目所选设计波反应谱与规范谱吻合较好

[要点 2-弹性时程分析工况定义] (如图 1.21.17 所示)

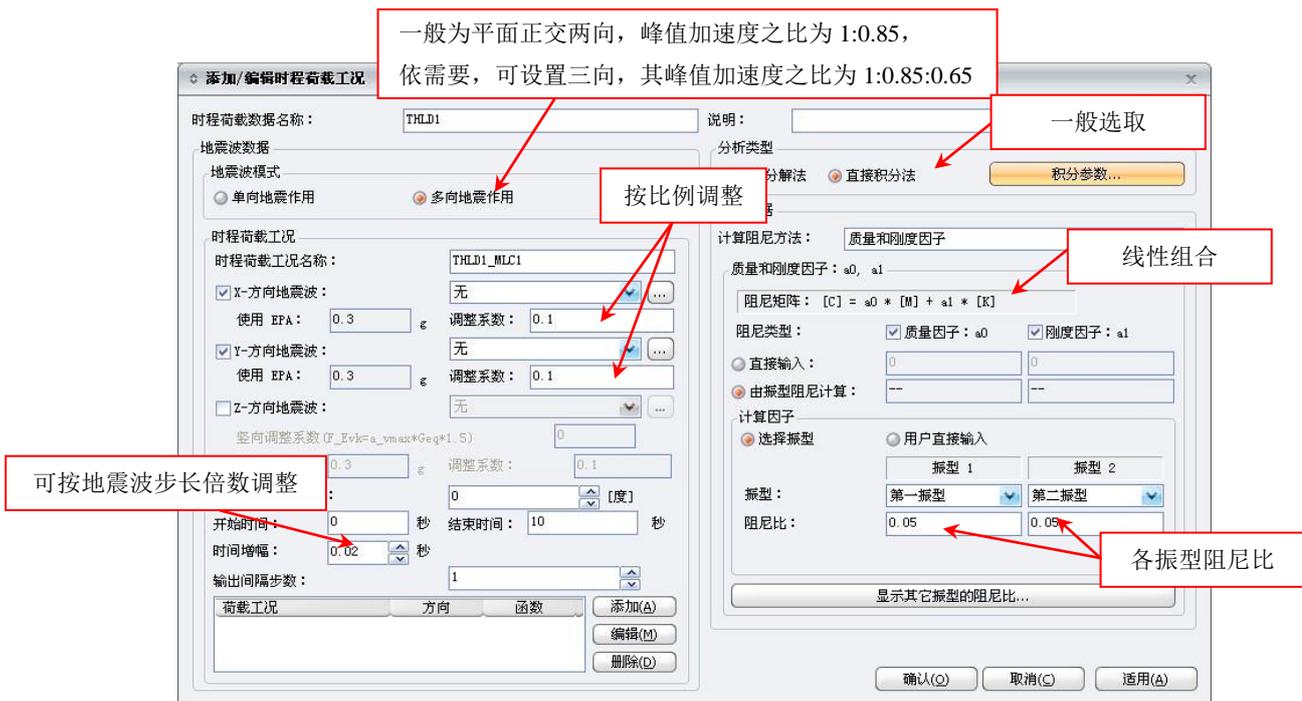


图 1.21.17 弹性时程分析工况定义

分析方法中**振型分解法**和**直接积分法**的选取：振型分解法结果的精度受到振型数量的影响。振型分解法在大型结构的线弹性时程分析中非常高效实用，但是不适用于考虑材料非线性的动力弹塑性和包含消能减震装置的动力问题；直接积分法是将分析时间长度分割为多个微小的时间间隔，用数值积分方法解微小时间间隔的动力平衡方程的动力分析方法。直接积分法可以解刚度和阻尼的非线性问题，但是随着分析步骤的增加，分析时间会较长。

选择直接积分时，程序提供瑞利阻尼（**结构的质量矩阵和刚度矩阵的线性组合**）。而选择质量因子和刚度因子的阻尼时，可自行输入各振型的阻尼比<sup>[3]</sup>。

[要点 3-结果查看]

## 1.21 运用 midas Building 进行超限分析基本流程

计算结果主要考察底部剪力、楼层剪力和层间位移角，生成数据并与反应谱分析结果对比，图 1.21.18 为世贸项目 6 号楼反应谱分析与时程分析（X 向层剪力对照图），吻合较好。

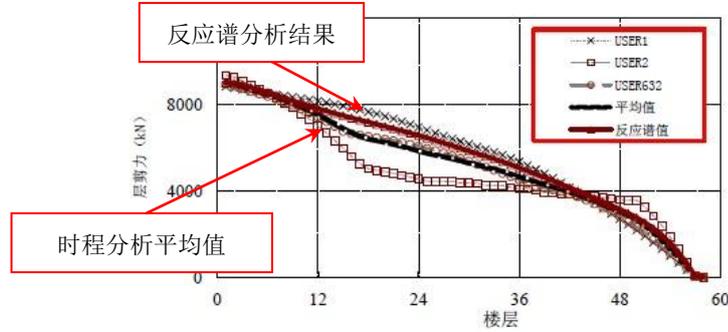


图 1.21.18 X 方向层剪力对照图

### 1.21.4 静力/动力弹塑性时程分析基本流程及要点

#### 1.21.4.1 概述

依据《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3-2010) 第 3.11.4、5.1.13 条应对各类超限高层进行弹塑性分析见表 1.21.2。

表 1.21.2 规范中静力与动力弹塑性分析选取原则<sup>[2]</sup>

序号	高度范围	选取原则
1	高度 ≤ 150m 时	可采用静力弹塑性分析方法
2	高度 > 200m 时	应采用弹塑性时程分析法
3	高度在 150~200m 时	可视结构不规则程度选择
4	高度超过 > 300m 的结构	应由两个独立的计算进行校核
依据	《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3-2010) 第 3.11.4 条	

非线性动力分析方法可以认为是比较准确的方法，但是分析时间较长，分析参数设置理论较多；静力分析方法虽然在反应结构动力特性方面有所不足，但是计算效率较高，操作简单，理论概念清晰。静力与动力弹塑性分析基本区别见表 1.21.3。

表 1.21.3 静力与动力弹塑性分析基本区别

对比内容	静力弹塑性分析	动力弹塑性分析
所施加的荷载	横向静力荷载	地震波
加载方向	单向	单向/双向/三向
加载制度	单向递增	往复加载
材料特性	单折线、双折线、FEMA	滞回模型

进行弹塑性分析的主要目的：

- 1 通过对结构、构件的承载能力和延性的判断进行性能设计(调整线弹性设计结果)；
- 2 通过小震、中震、大震分析结果的比较判断结构、构件的承载能力和延性；
- 3 通过弹塑性层间位移角验算结构大震下的位移是否满足规范要求；

## 1.21 运用 midas Building 进行超限分析基本流程

4 通过出较顺序判断“强柱弱梁”、通过较类型判断“强剪弱弯”。

与大型通用有限元软件（Abaqus 等）相比，midas Gen/Building 省去了大量的建模工作量（三维几何模型的建立、钢筋的等效处理、接触关系的建立等），实配钢筋便于修改（绘图师模块），并且其后处理功能强大（文本数据齐全、图片界面友好等）。

1.21.4.2 弹塑性分析基本流程，如图 1.21.19 所示。

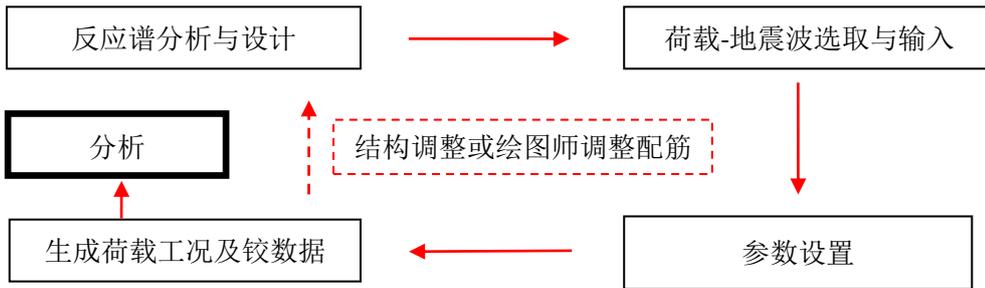


图 1.21.19 弹性时程分析基本流程图

1.21.4.3 静力弹塑性分析要点

(1) 初始荷载施加，如图 1.21.20 所示



图 1.21.20 静力弹塑性荷载施加

[说明 1]: 初始荷载为地震作用时（或前）结构所承受的有效荷载，一般取为  $1DL+0.5LL$ （中国规范中重力荷载代表值），FEMA（美国联邦应急委员会）-273 取为  $1DL+0.25LL$ [9]。《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3-2010）第 3.11.4 条-2：复杂结构应进行施工模拟分析，应以施工全过程完成后的内力作为初始状态。条文说明：对复

## 1.21 运用 midas Building 进行超限分析基本流程

杂结构进行施工模拟分析是十分必要的。弹性分析应以施工全过程完成后的静载内力为初始状态。当施工方案与施工模拟计算不同时，应重新调整响应计算。

[说明 2]:《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3-2010)第 5.5.1 条-5:应考虑几何非线性的影响。条文说明:结构弹塑性变形往往比弹性变形大很多,考虑几何非线性进行计算是必要的,结果的可靠性也会因此有所提高,构架挠曲二阶效应示意图如图 1.21.21 所示。

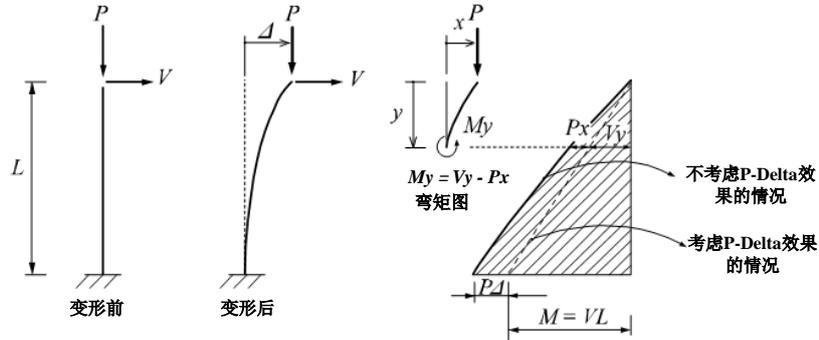


图 1.21.21 构架挠曲二阶效应示意图

[说明 3]: 侧向推覆力的施加方式在整个静力弹塑性分析过程中的不改变,因此,对于推覆力形式的选择至关重要,2012 年之前,程序基本同 CSI 程序(SAP200 等)一般进行振型加载模式(基本以第一振型模式加载),对于以第一振型为主的结构,能够得到较为可靠的计算结果,如图 1.21.22 所示。目前,程序能够进行反应谱计算得到的层剪力模式进行侧向推覆力的施加,能够较为真实反应地震力分布情况。

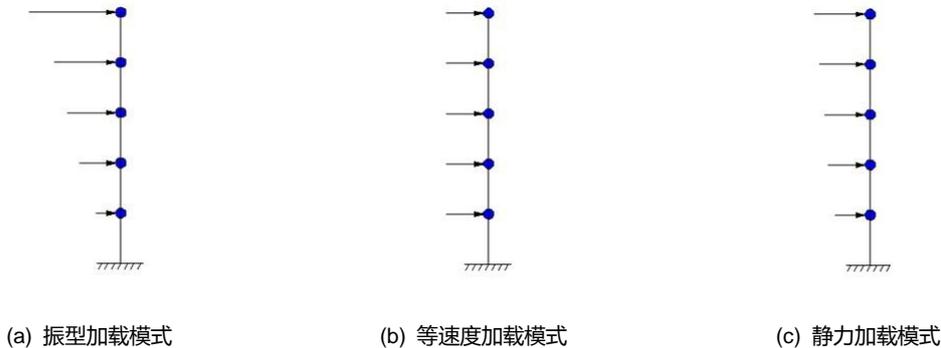


图 1.21.22 传统推覆力加载示意图

(2)分析参数控制，如图 1.21.23 所示。

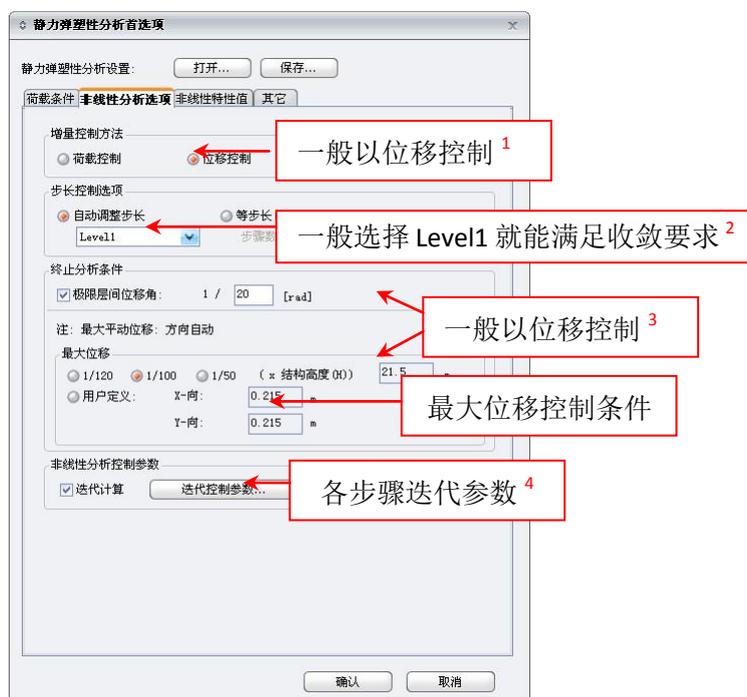


图 1.21.23 分析参数设置

[说明 1]: 程序提供了荷载控制与位移控制。由结构内力-位移曲线知，结构进入极限承载能力（此时，即使不再增加外力，位移也会增加）后，只能通过位移增量进行分析，故一般采用位移控制。

[说明 2]: Level1、Level2、Level3 分别对应的最大总步骤数为 50、100、200。

[说明 3]: 依据《建筑结构抗震设计规范》GB50011-2010 表 5.5.5 可知规范控制各类结构允许弹塑性层间位移角。但输入时应适当增大，一般采用程序默认值 1/20，当分析过程中层间位移角超过输入值时，自动停止计算。

[说明 4]: 塑性铰的出现造成了单元刚度的变化，单元刚度的变化又引起了单元内力的变化，使得外力与内力之间产生了不平衡力（残余力），因为迭代不可能完全消除残余力，所以为了既满足计算结果的精确度又要保证计算效率，需要设置设定的收敛判别条件。有关各类收敛标准范数（位移、内力、能量）相关内容及公式详见文献[3]、[11]、[17]。

(3) 材料与构件属性定义，如图 1.21.24 所示。

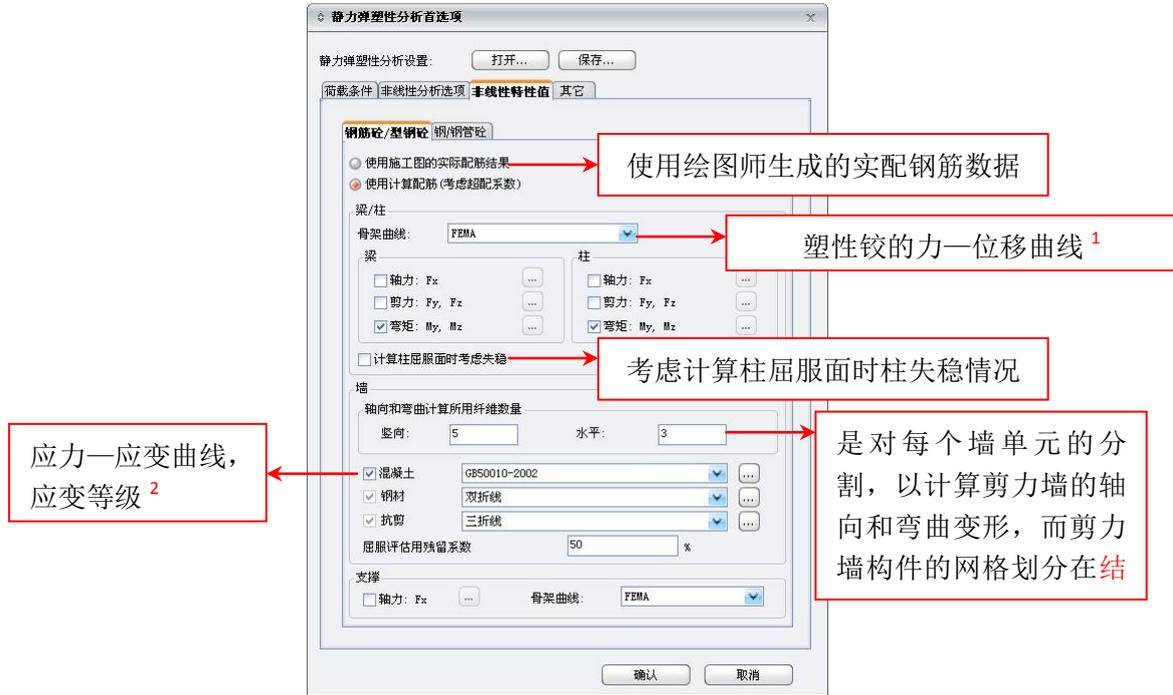


图 1.21.24 分析模型设置

[说明 1]: 对于每一个自由度, 定义一个用来给出屈服值和屈服后塑性变形的力-位移(弯矩-转角)曲线, 一般采用 FEMA, 其采用五个控制点将力-位移(弯矩-转角)曲线分为弹性段、强化段、卸载段、塑性端。详见文献[3]、[11]、[17]。

[说明 2]: 需要定义应变等级, 如图 1.21.25 所示。



图 1.21.25 应变等级设定

#### 1.21.4.4 动力弹塑性分析要点

相关操作事宜详见反应谱分析荷载(地震波选取)及静力弹塑性分析参数设置要点。

注: 程序暂不能生成型钢混凝土构件的塑性铰属性, 可以同在 midas Gen 内生成后, 手动输入。

## 1.21.5 相关补充分析与计算

## 1.21.5.1 温差工况分析

当建筑物房屋高度较高时，由于框架梁约束的存在，不可避免地要对竖向构件所经受的不同温差变化引起的差异变形产生较大的约束内力。此部分内容可参考文献[14]与文献[19]。

## (1) 温差内力影响因素

## a 徐变应力松弛

温差内力来源于温差变形受到约束。对于因变形受到约束产生的应力，对于钢筋混凝土结构考虑了徐变应力松弛特性。按一般混凝土结构浇注 20d 后已经成熟，可产生约束变形。为简化计算，将按弹性计算的温差内力乘以徐变应力松弛系数 0.3，作为实际温差内力标准进行设计。

## b、刚度折减

高层钢筋混凝土结构在垂直、水平荷载及温差效应作用下，考虑构件截面裂缝影响，梁柱构件混凝土截面弹性刚度乘以 0.85 予以折减。

## (2) 温差非荷载组合

参考国外规范，应取温差非荷载效应与重力荷载效应组合如下式：

$$S \leq \gamma_G C_G G_K + \psi_T \gamma_T C_T T_K$$

式中：S —— 温差非荷载效应组合的设计值；

$\gamma_G$ 、 $\gamma_T$  —— 重力荷载、温差效应作用的分项系数，一般情况： $\gamma_G = 1.25$ ， $\gamma_T = 1.2$ ；

$C_G$ 、 $C_T$  —— 重力荷载、温差效应作用的分项系数；

$G_K$ 、 $T_K$  —— 重力荷载、温差效应作用的分项系数；

$\psi_T$  —— 温差效益的组合值系数；取  $\psi_T = 0.8$ 。

该荷载工况下，结构整体及各构件应满足承载力要求。

## (3) 临界条件

高层建筑应有一个相应的判别其不计竖向温差影响的临界条件。从结构安全度观点出发，建议取规范规定的承载力设计值的 10% 作为结构抵抗附加竖向温差内力的潜力（文献[19]）。临界条件一般表达式为：

$$F_T \leq 0.1[F]$$

式中： $F_T$  —— 实际温差内力设计值；

$[F]$  —— 结构构件承载能力设计值。

## (4) 分析程序与参数设置

midas Building 软件中可在各类材料特性中输入材料本身的线膨胀系数，依据《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2010）第 4.1.8 条混凝土线膨胀系数为  $1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ ，《钢结构设计规范》（GB 50017-2003）第 3.4.3 条钢材线膨胀系数为  $1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 。

## 1.21 运用 midas Building 进行超限分析基本流程

根据成都气候条件，整体温差近似的取为：

升温：  $T_{升} = 10^{\circ}\text{C}$

降温：  $T_{降} = 10^{\circ}\text{C}$

温差：  $\Delta T = T_{升} + T_{降} = 20^{\circ}\text{C}$

(5)分析结果举例（世贸项目-2号楼群房与主楼间设缝前温差工况分析）

经计算可得：

a 柱最大附加压力为 1249.66 kN，位于群房外侧两面墙交接处底部（如图 1.21.26 所示）。

考虑应力松弛及刚度折减后的柱最大附加压力为：

$$F_{柱max} = 1249.66 \times 0.3 \times 0.85 = 318.66 \text{ kN}$$

该柱(截面 700mm×700mm)的受压承载力为：  $F_{柱f} = 14978.7 \text{ kN}$

$$\text{则： } F_{柱max} / F_{柱f} = 318.66 / 14978.7 = 2.13\%$$

故可不考虑温度效应下柱底附加轴力的影响。

b 梁最大附加弯矩为 111.735kN，位于群房外侧两面墙交接处（如图 1.21.27 所示）。

考虑应力松弛及刚度折减后的梁端最大附加弯矩为：

$$M_{梁max} = 111.735 \times 0.3 \times 0.85 = 28.49 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

该梁梁端受弯承载力为：  $M_{梁f} = 396.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\text{则： } M_{梁max} / M_{梁f} = 28.49 / 396.00 = 7.19\%$$

由上述计算可知，温度效应下的柱底最大附加轴力约占其最大受压承载力的 2.13%，温度效应下的梁端最大附加弯矩约占其最大受弯承载力的 7.19%，均小于 10%，故可不考虑温度效应下附加作用力的影响。

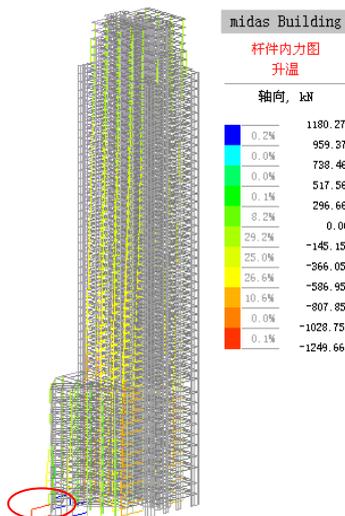


图 1.21.26 升温工况下柱最大轴力

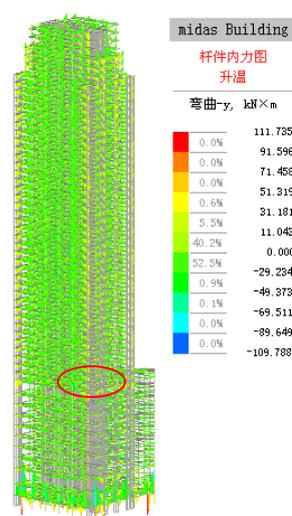


图 1.21.27 升温工况下梁最大弯矩

### 1.21.5.2 楼板详细分析

工程中，常常需要对大开洞楼层楼板、错层楼板、竖向受力较大变换楼层楼板、其他指定需详细分析楼板<sup>[1]</sup>进行详细楼板分析。《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010) 第 3.4.3-1 条（楼板局部不连续）：楼板的尺寸和平面刚度急剧变化，例如，有效楼板宽度小于该楼板典型宽度的 50%，或开洞面积大于该楼层楼面面积的 30%，或较大的楼层错层。

#### (1) 关键操作

A 执行流程：模型建立（常常通过 PKPM 进行模型转换）→参数设置→整体分析（不必设计）→楼板详细分析模块。

B 若需进行温差荷载工况下的楼板响应，则需在“荷载主控信息→一般→温度作用”中设置升温或降温温差。

C 勾选考虑长期挠度。即为考虑开裂后刚度折减计算出的挠度。

D 应力值结果中以单元（高斯点最大值）或节点平均（高斯点平均值）显示含义见下图 1.21.28。

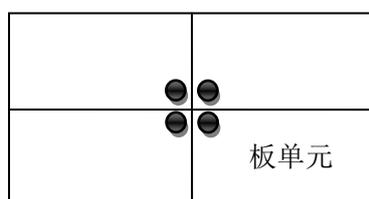


图 1.21.28 网格交点应力值含义

#### (2) 相关分析案例

A 龙湖北城天街项目 32 号楼（转换结构）转换层楼板详细详细分析；

B 世茂集团猛追湾项目 2 号楼（超限项目）群房顶标高处楼板详细分析；

C 龙湖晋阳项目大开间变板厚楼板详细分析；

### 1.21.5.3 转换结构分析

PKPM 利用梁单元来模拟转换梁，用墙单元来模拟转换梁上的剪力墙。这样处理的问题在于实际计算的过程中，剪力墙的下边缘与转换梁的中性轴进行变形协调，导致中性轴以上的截面相当没有参加工作<sup>[14]</sup>。此时通过刚度放大系数来调整转换梁的刚度，再进行分析和设计，但是此时，增大的刚度往往造成所吸收的地震力增大，其相关参数统计（刚度、抗剪承载力等）存在较大误差。midas Building 对转换梁按照板单元进行建模，此时不存在变形协调问题，并且以梁单元的形式予以输出计算结果，较为友好<sup>[3]</sup>。

#### (1) 关键操作

A 模型主控数据→结构体系(复杂高层结构/原结构类型)。依据文献[5]、[7]、[8]判定为一般/局部转换。

B 结构→标准层和楼层→指定转换层楼板为弹性板，并勾选转换层。将转换层楼板设置为弹性板，若为刚性板，则得不到转换梁轴力；指定转换层后，程序则依据《高规》附录 E 计算侧向刚度比。

C 分析设计→修改构件类型→指定转换梁。指定转换梁后，程序则执行【程序执行规范链接，见下文】中规范指定构件内力放大要求。

D 模型主控数据→转换梁分析方法/网格划分。依据工程需要自主确定网格尺寸。

#### (2) 程序执行规范链接

A 《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010) 第 3.4.4-8 条：竖向抗侧力构件不连续时，该构件传递给水平转换构件的地震内力应根据烈度高低和水平转换构件的类型、受力情况、几何尺寸等，乘以 1.25~2.0 的增大系数。

## 1.21 运用 midas Building 进行超限分析基本流程

B 《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3-2010) 第 10.2.16-8 条: 当框支梁承托剪力墙并承托转换次梁及其上剪力墙时, 应进行应力分析, 按应力校核配筋, 并加强构造措施。

C 《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3-2010) 第 10.2.4 条: 转换结构构件可采用转换梁、桁架、空腹桁架、箱型结构、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; 转换结构构件应按本规程第 4.3.2 条规定考虑竖向地震作用。

### (3) 相关工程案例

龙湖北城天街项目 32 号楼分析 (三维数值模型见下图 1.21.29)。

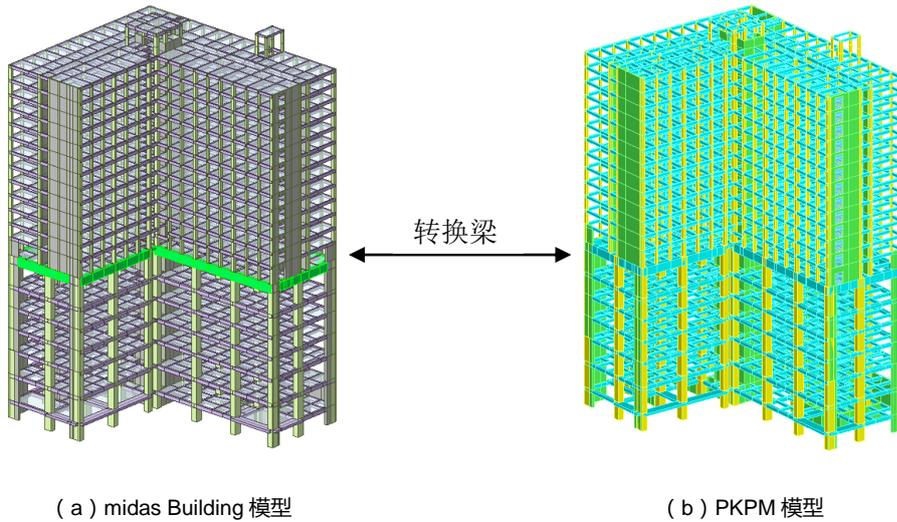


图 1.21.29 三维数值模型

### 1.21.5.4 舒适度分析

依据新规范精神, 随着建筑设计、施工技术的发展以及材料性能的改善, 刚度强、质量轻的材料越来越多地被技术人员使用于建筑结构, 同时, 由于居住者对居住空间的要求更加多样化, 应注意以下舒适度分析, 如图 1.21.30 所示。

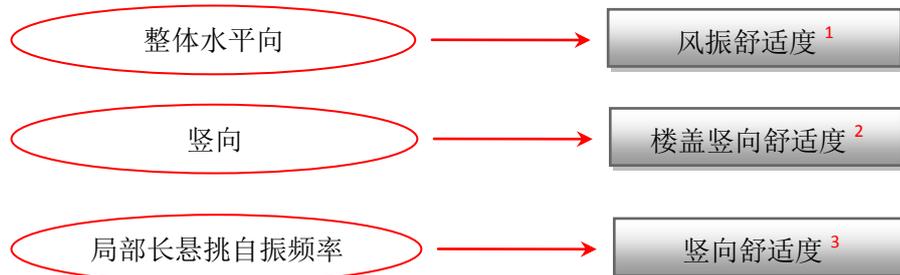


图 1.21.30 舒适度分析示意图

[说明 1]: 当前, 各类软件已提供风振舒适度计算功能, 可利用附件四所提供 Excel 进行计算书统计;

[说明 2]: 若进行大开间楼板的简化计算, 可利用附件四所提供工具箱进行计算 (含主要国家规范的经验公式); 若进行真实情况的详细舒适度分析, 则需要采用通用有限元软件 (如 midas GEN), 通过输入步行荷载包括日本建筑学会钢筋混凝土结构设计规范附录中提供的荷载以及 Allen 和 Rainer 提出的跳动冲击荷载) 进行时程分析。

[说明 3]: 参考《城市人行天桥与地道技术规程》(CJ 69-95) 第 2.5.4 条: 为了避免共振, 较少行人不安全

感，天桥上部结构**竖向**自振频率**不应小于 3Hz**。

### 1.21.5.5 工程量统计

本着经济化、节约化的原则，通过多方案对比（尤其超限高层），选择出经济指标（含钢梁、剪力墙折算厚度等）合理抑或达到开发商允许、满意的方案。

#### (1) 关键操作

A 执行流程：模型建立（常常通过 PKPM 进行模型转换）→参数设置→整体分析（不必设计）→生成绘图师数据(mbn 数据)→绘图师中绘图参数设置→生成施工图并进行统计，可参考附件五。

B 分析设计→控制信息→调整信息→超配系数（实际配筋/计算配筋）。可整体放，但一般可依据构件类型分别放大。

C 正确性可依据所生成施工图予以证明。

D 绘图师计算的面积为楼板净面积，小于实际建筑面积，因此会使计算的每平方米含钢量和混凝土量偏大。

E 由于未考虑楼梯、柱墩，且梁长取净长，混凝土量可能会偏小。

F 梁、板、支撑水平钢筋长度超过 9m 时搭接，柱和墙竖向钢筋一层一搭接。主筋考虑了锚固长度和搭接长度。箍筋考虑了弯钩长度，考虑了加密区和非加密区根数的区别。

#### (2) 降低含钢量的主要方法（如图 1.21.31 所示）

##### A 必选结构楼板体系

当楼板跨度较大时可比较不设置次梁、设置一个次梁、设置两个次梁的方案，对一个单元的配筋进行比较。

##### B 采用轻质隔墙材料

减少梁、柱、基础配筋及混凝土用量效果非常明显，隔墙荷载数值也会下降不少，且在抗震设计时因提高框架周期折减系数也减少框架梁柱配筋。综合比较采用轻质墙体材料更经济。

##### C 梁跨中钢筋

非框架梁上部钢筋在跨度中间 1/3 区段采用较小直径钢筋搭接（或焊接）方法也可降低含钢量（在绘图师中可修改配筋）。对于抗震等级为三、四级的框架梁也可采用同样的方法配筋。

D 程序统计时，设置较小的归并系数，可减少含钢量，一般为 0.1。

E 控制较为适宜的配筋率范围（一般认为 0.7%~1.6%（梁），0.7%~1.0%（竖向构件）较为合理）。

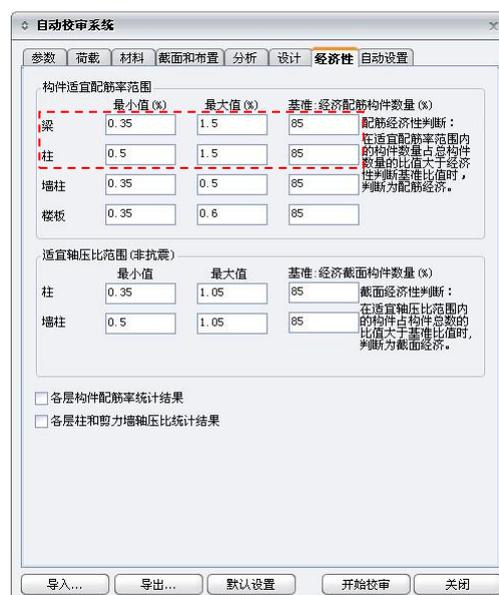


图 1.21.31 配筋率范围控制

## 1.21 运用 midas Building 进行超限分析基本流程

F 选择适宜的周期折减系数，计算适宜的地震作用，得到合理的配筋量。

G 注意设置活荷载折减。

H 考虑梁柱重叠部分为刚域，使得进行配筋设计的弯矩位于两端，而非节点中心。

I 考虑楼板塑性设计或考虑调幅的弹性设计，详见《全国民用建筑工程设计技术措施》（2012 新规范版）

### 3.2.1 节及文献[4]、文献[5]。

J 柱配筋设计方法采用双偏压计算可适当减小柱配筋。

#### (3) 相关工程案例

龙湖东区音乐公园项目钢筋级别比选，见表 1.21.4。

表 1.21.4 选筋方案列表

构件	方案一	方案二
梁主筋	HRB400	HRB500
梁箍筋	HRB400	HRB400
柱主筋	HRB400	HRB500
柱箍筋	HRB400	HRB400
墙竖向钢筋	HRB400	HRB500
墙水平分布筋	HRB400	HRB500
楼板	HPB300	HPB300

注：竖向归并系数取为 0.1

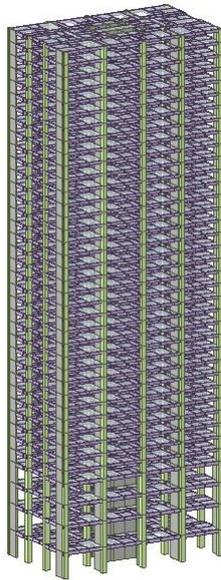


图 1.21.32 三维数值模型

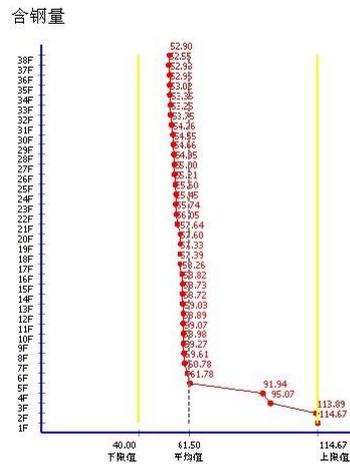


图 1.21.33 方案二含钢量统一

### 1.21.6 主要参考文献

- [1]建筑抗震设计规范 GB50011-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010
- [2] 高层建筑混凝土结构技术规程 JGJ 3-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010
- [3] midas Building 从入门到精通[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010
- [4] 李国胜. 建筑结构设计问答及分析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009
- [5] 朱炳寅. 建筑结构设计问答及分析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009
- [6] 四川省抗震设防超限高层建筑工程界定标准[S]. 成都: 四川省建设厅, 2008
- [7] 广东省实施《高层建筑混凝土结构技术规程 JGJ 3-2002》补充规定[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005
- [8] 江苏省房屋建筑工程抗震设防审查细则[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007
- [9] FEMA-273, (1997)NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA, Washing ton, D. C.
- [10] 陆新征等. 建筑抗震弹塑性分析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007
- [11] 基于三维的结构分析和设计系统非线性分析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010
- [12] 朱炳寅. 建筑抗震设计规范应用于分析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011
- [13] Pushover 分析在建筑工程抗震设计中的应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009
- [14] 陈岱林等. 多层及高层结构 CAD 软件高级应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004
- [15]混凝土结构设计规范 GB50011-2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010
- [16]王亚勇. 国家标准《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010) 疑问解答(三). 北京: 建筑结构 2011, 2
- [17]傅金华. 建筑抗震设计及实例——建筑结构的设计及弹塑性反应分析[M]. 北京: 建筑结构 2008
- [18]爱德华.L.威尔逊. 结构静力与动力分析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006
- [19]傅学怡. 实用高层建筑结构设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010
- [20]全国民用建筑工程设计技术措施(2012 新规范版) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012