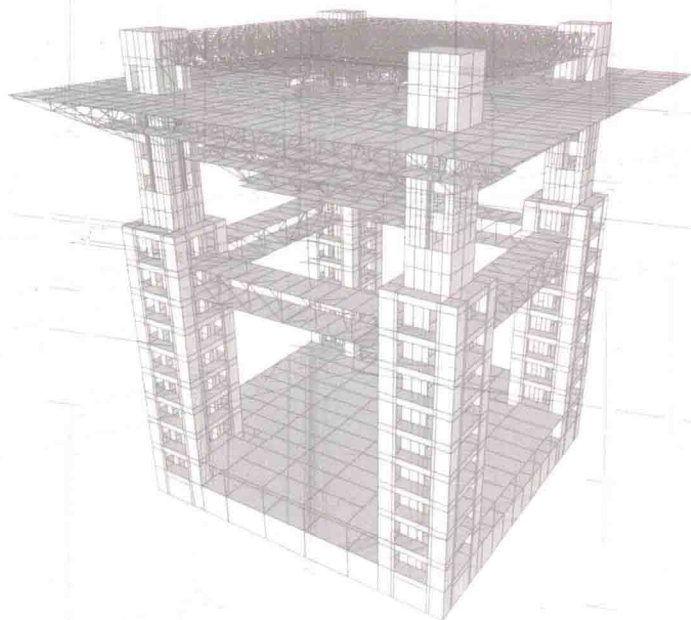


P erform-3D

快速精确建模及实例详解

尚春雨 丰茂东 著



中国建筑工业出版社

Perform - 3D 快速精确 建模及实例详解

尚春雨 丰茂东 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

Perform-3D 快速精确建模及实例详解/尚春雨, 丰茂东著.

北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-112-18221-3

I. ①P… II. ①尚…②丰… III. ①三维-非线性结构分析-软件工具-系统建模-应用-建筑结构-结构分析

IV. ①TU31-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 141890 号

本书主要包括: 空间几何模型的建立; 混凝土和钢材的本构关系; 整体模型的构成; 计算; 后处理数据提取; 钢筋混凝土框架-剪力墙结构前后处理实例详解等六部分。通过钢筋混凝土框架-剪力墙实例, 结合 Perform-3D 前处理程序详细讲解模型建立、非线性参数定义、性能目标的选定及计算结果后处理, 使读者可以快速学会应用 Perform-3D 进行超限高层的动力弹塑性时程分析。

责任编辑: 武晓涛

责任设计: 张虹

责任校对: 李美娜 张颖

Perform-3D 快速精确建模及实例详解

尚春雨 丰茂东 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京楠竹文化发展有限公司制版

北京天来印务有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 9¼ 字数: 243 千字

2015 年 8 月第一版 2015 年 8 月第一次印刷

定价: 28.00 元

ISBN 978-7-112-18221-3

(27467)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

Perform-3D 作为优秀的动力弹塑性时程分析软件,已经被越来越多的结构工程师应用来分析超限高层结构,并逐渐被超限专家所认可。但其构件的非线性属性的定义却是非常复杂和繁琐的,使很多工程师望而却步。

国内有些工程师对 Perform-3D 进行了二次开发,网上也可以下载一些免费的 Perform-3D 前处理小软件,我公司的第一个动力弹塑性分析也是借助一些小软件完成的,在一定程度上提高了工作效率。

为了适应越来越多的超限高层结构的动力弹塑性分析,我公司成立了 Perform-3D 学习研究小组,一方面进一步学习 Perform-3D 的操作方法及其相关的非线性理论知识;另一方面针对定义构件非线性属性复杂繁琐的特点,我们决定通过解读构件的二进制文件的方法,来简化前处理过程。尽管解读过程比较艰辛,幸运的是,我们成功了。

解读了构件的二进制文件格式后,其他的工作就相对简单许多,只需要做一些方便输入结构信息的工作,一个便于输入的 Perform-3D 快速建模辅助程序便完成了。此程序有以下几个特点:

- 1) 输入信息相对准确,配筋及截面可完全按施工图来填写。
- 2) 可多人分开输入,最后合并,提高工作效率。易学上手快。
- 3) 便于对照施工图检查构件信息。
- 4) 计算分析发现薄弱部位后,方便对局部构件截面及配筋进行修改,再进行分析验算。

尽管这个程序可大大减少输入工作量,提高工作效率,但仍需要大量的人工输入工作(将施工图中的构件截面配筋信息转换成数据文件)。因此,如何与设计软件如 PKPM、YJK 等施工图模块直接接口,实现一键输入是我们以后工作的努力方向。

“予人玫瑰,手有余香”,为了能让更多的人受益,我们特编写本书,书中配了一个完整的例题详解,希望把自己的成果分享给更多从事动力弹塑性分析的结构工程师或相关科研人员。哪怕让他们有一点点启迪或收获,也会让我们感到非常快乐。程序可以通过 E-mail: dlidsfz@qq.com 索取(邮箱名是大连都市发展的首字母),免费申请注册使用。若有任何疑问或想法建议,欢迎沟通交流,共同进步。

感谢郑在冬、邱焕龙、鲁建飞、仲文昭、赵秀丽、李京安、薛志恒等同事对本程序及本书做出的贡献,感谢大连都市发展设计有限公司领导对该程序及本书编写工作的大力支持。

目 录

0 绪 论	1
1 空间几何模型的建立	4
1.1 模型转换过程及注意事项	4
1.2 SAP2000 可以导入到 Perform - 3D 的信息	7
2 混凝土和钢材的本构关系	9
2.1 结构和构件的恢复力模型	9
2.2 非约束混凝土的本构关系	10
2.3 约束混凝土的本构关系	12
2.4 钢筋、钢材的本构关系	14
3 整体模型的构成	16
3.1 单元类型的选取	16
3.1.1 纤维单元模型	16
3.1.2 集中塑性铰 (Plastic Hinge) 模型	17
3.1.3 弦转角 (Chord Rotation) 模型	17
3.2 混凝土梁单元模型的组成及前处理操作	18
3.2.1 连梁模型	18
3.2.2 框架梁模型	19
3.2.3 梁构件的变形限值	20
3.2.4 Perform - 3D 数据文件的解读简介	20
3.2.5 Perform - 3D 中的非线性梁的定义	24
3.3 混凝土柱单元模型的组成及前处理操作	31
3.3.1 框架柱模型	31
3.3.2 柱构件的变形限值	32
3.3.3 Perform - 3D 中的纤维柱的定义	32
3.4 混凝土墙单元模型的组成及前处理操作	36
3.4.1 剪力墙模型	36
3.4.2 混凝土墙的变形限值	37
3.4.3 Perform - 3D 中的纤维墙的定义	37
3.5 钢构件单元模型的组成及前处理操作	41
3.5.1 钢构件模型	41
3.5.2 FEMA 钢梁组件的变形限值	43
3.5.3 FEMA 钢柱组件的变形限值	43
3.5.4 弹塑性斜撑的变形限值	44

3.5.5	Perform-3D 中的 FEMA 钢构件及 Inelastic bar 的定义	45
3.6	弹性板壳单元	48
3.7	其他	48
3.8	将非线性属性赋值给空间几何模型	48
3.9	位移和变形定义 (高层结构定义水平位移、大跨结构定义竖向位移)	50
3.10	剖切面定义	51
3.11	结构抗震性能目标	52
3.12	极限状态 (Limit States) 定义	53
4	计算	55
4.1	地震作用与地震波的选取	55
4.2	荷载工况和施加	56
4.3	定义极限状态分组	56
4.4	阻尼	57
4.5	计算	58
5	后处理数据提取	60
5.1	模态周期提取	60
5.2	层间位移角	60
5.3	楼层位移	61
5.4	楼层剪力	62
5.5	基底剪力时程曲线	62
5.6	顶点时程位移	63
5.7	构件的抗震性能评估	64
5.8	结构总体的能量平衡分析	64
5.9	关键构件弹塑性抗震承载力验算	65
6	钢筋混凝土框架—剪力墙结构前后处理实例详解	67
6.1	工程概况	67
6.2	建立基本模型	78
6.2.1	YJK 模型导入 ETABS	78
6.2.2	ETABS 模型导入 SAP2000	79
6.2.3	SAP2000 模型导入 Perform-3D	80
6.3	材料的导入及梁墙柱的整理、导入、赋值	88
6.3.1	材料的导入	88
6.3.2	剪力墙施工图的整理和导入	92
6.3.3	梁施工图的整理和导入	95
6.3.4	柱施工图的整理和导入	101
6.3.5	将非线性属性赋值给空间几何模型	105
6.4	设定底部加强区转角监测 Element Group	107
6.5	定义位移角及变形	109
6.6	定义结构的剖切面	111

6.7	极限状态 (Limit States) 定义	113
6.8	运行分析	115
6.8.1	地震作用与地震波的选取	115
6.8.2	定义荷载工况	116
6.8.3	定义极限状态分组	117
6.8.4	定义分析系列	119
6.9	后处理数据提取	122
6.9.1	模态周期提取, 并与弹性分析模型比较	122
6.9.2	楼层位移角 X 向和 Y 向的最大值最小值	123
6.9.3	楼层位移	124
6.9.4	楼层剪力	125
6.9.5	基底剪力时程曲线	125
6.9.6	顶点时程位移	126
6.9.7	绘制整体指标曲线	127
6.9.8	构件的抗震性能评估	128
6.9.9	结构总体的能量平衡分析	133
6.9.10	组合与包络	134
附 录	钢筋混凝土框架—剪力墙结构实例 施工图	137
参考文献		149

0 绪 论

由于抗震理论研究的深入,计算手段的不断进步以及复杂建筑、超高建筑和计算机软硬件的不断发展,我国《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010(以下简称《抗规》)和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2010(以下简称《高规》)中都对采用非线性分析结构薄弱部位和进行抗震变形验算做了不同程度的规定,线弹性理论及计算已经不能完全满足工程实际的需要。因此,各种非线性分析软件不断涌现出来,整体结构的非线性分析已成为复杂结构设计的迫切要求。

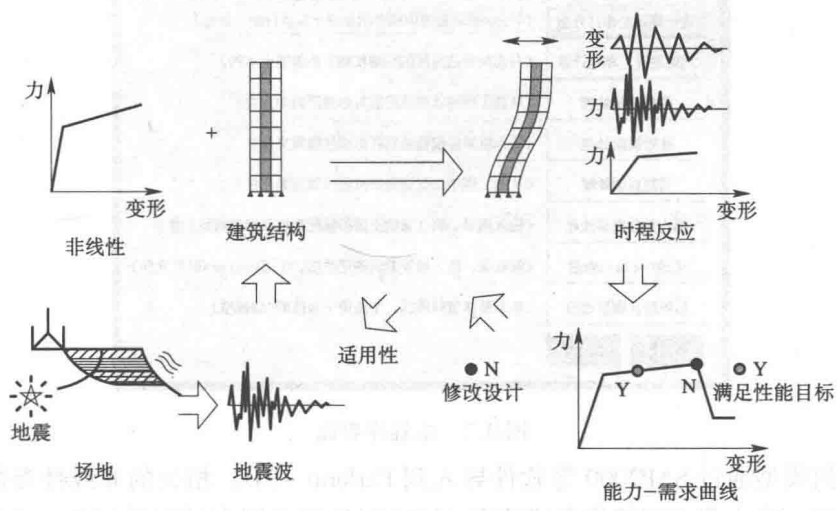


图 0.1 动力弹塑性分析与抗震性能评价流程

动力弹塑性分析方法——在这里指弹塑性时程分析方法,直接将地震波数据输入结构模型,通过逐步积分方法,求得在地面运动加速度的每一时刻结构的弹塑性反应,得到结构构件的内力和变形在地震作用下随时间变化的全过程。该方法可以完整地考虑到地震反应过程中地震波的幅值、频谱特性和持时三要素的影响,同时也完整地考虑了结构的动力特性,是目前的技术手段里在确定的地震波输入时弹塑性地震反应分析领域较精确的方法。图 0.1 显示了动力弹塑性分析与抗震性能评价流程。

Perform-3D (Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structure) 三维结构非线性分析与性能评估软件,其前身为 Drain-2DX 和 Drain-3DX,由美国加州大学伯克利分校的 Powell 教授开发,是一个用于抗震设计的非线性计算软件。其通过基于变形或强度的限制状态对复杂结构进行非线性分析。

Perform-3D 程序具有完善的模型库,稳定可靠的算法,强大的非线性求解器,使大型复杂结构的数值模拟不再受制于计算耗时;丰富的结构非线性性能指标和完善的评估方法,使工程师有条件在短时间内把握结构的抗震性能。在建模方面,Perform-3D 是以结

构工程概念为基础，根据美国现行规范进行基于性能的抗震设计与评估，其中美国规范包括 ATC - 40、ASCE - 41、FEMA - 356 及 FEMA306 等等；Perform - 3D 可以在整体结构、构件、材料等方面上定义目标性能水准，通过地震反应后抗震“能力”与地震目标性能“需求”的比较来判断结构是否满足了我们期望实现的抗震要求，符合工程师对结构性能设计方法的理解，其分析结果易于用结构概念和试验来进行验证。因此，基于其独特的优势，Perform - 3D 在超限高层结构设计分析与校核领域已得到广泛应用与认可。

近几年，我们已对多个超限高层项目采用 Perform - 3D 软件进行动力弹塑性时程分析，并通过超限审查。进行动力弹塑性时程分析，构件的非线性参数的指定对于 Perform - 3D 来说是极其复杂和繁琐的，因此，为了提高 Perform - 3D 模型非线性参数定义的工作效率，通过对动力弹塑性分析技术的学习及以往经验进行总结积累，编制了 Perform - 3D 快速建模辅助程序。主程序界面见图 0.2，各个模块的使用方法将在正文中详细介绍。

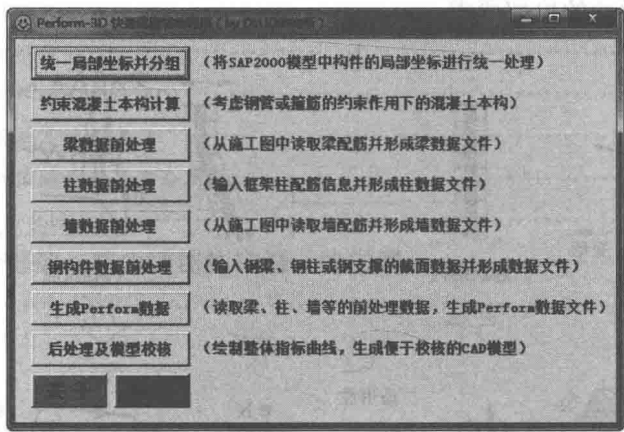


图 0.2 主程序界面

三维几何模型通过 SAP2000 等软件导入到 Perform - 3D，相关的非线性参数则通过编制前处理程序，输入截面配筋信息或读取 AUTOCAD 施工图中的配筋信息，批量转换 Perform - 3D 所需格式的数据文件，并且可根据标准层、轴线号等对模型进行分组，可以方便快捷地将非线性组件赋值到几何模型。Perform - 3D 快速建模辅助程序读取施工图的配筋信息来生成模型的非线性属性，不但提高 Perform - 3D 非线性模型的建模速度及准确性，又可以保证结构计算模型与实际工程的一致性。

本书主要内容包括：空间几何模型的建立；混凝土和钢材的本构关系；整体模型的构成，包含各个常用构件的定义及 Perform - 3D 数据文件的解读方法；计算；后处理数据提取；钢筋混凝土框架 - 剪力墙结构前后处理实例详解等六部分。

通过钢筋混凝土框架剪力墙实例，结合 Perform - 3D 快速建模辅助程序详细讲解了模型建立、非线性参数定义、性能目标的选定及计算结果后处理，使读者可以快速学会应用 Perform - 3D 进行超限高层的动力弹塑性时程分析。

采用 Perform - 3D 软件进行动力弹塑性时程分析及性能评价的主要过程见图 0.3。作者理论水平及工程实践经验有限，本书并不能完全涵盖 Perform - 3D 的所有内容，也难免存在疏漏、不足、偏见或谬误，望不吝指正。读者仍需要参考 Perform - 3D 的软件使用手册、建筑抗震弹塑性分析相关的书籍等进行计算分析。

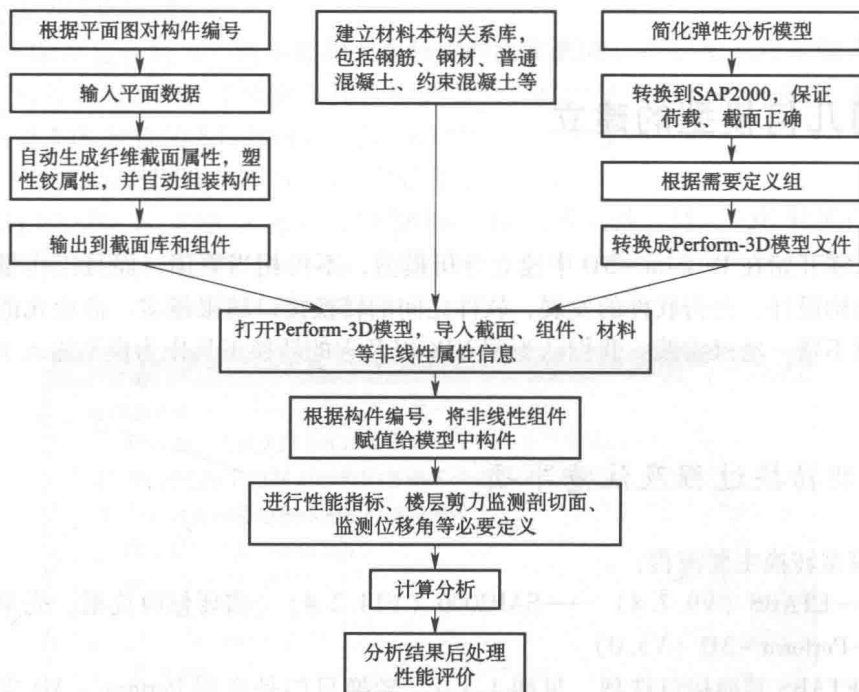


图 0.3 Perform-3D 动力弹塑性时程分析工作流程图

1 空间几何模型的建立

如果从零开始在 Perform - 3D 中建立分析模型, 不仅相当繁琐, 而且工作量巨大。随着国内外结构设计、分析软件的发展, 软件之间的转换接口越来越多, 商业化的接口转换效果也相当不错。经过实践, 我们认为用 YJK 以及它的转换工具作为模型输入工具是不错的选择。

1.1 模型转换过程及注意事项

(1) 模型转换主要流程:

YJK——ETABS (V9.7.4) ——SAP2000 (V14.2.4) (需要修改连梁, 壳单元改为梁单元) ——Perform - 3D (V5.0)。

YJK→ETABS 转换接口选项, 见图 1.1.1。转换目的是得到 Perform - 3D 空间几何模型, 故可不选择地震作用。

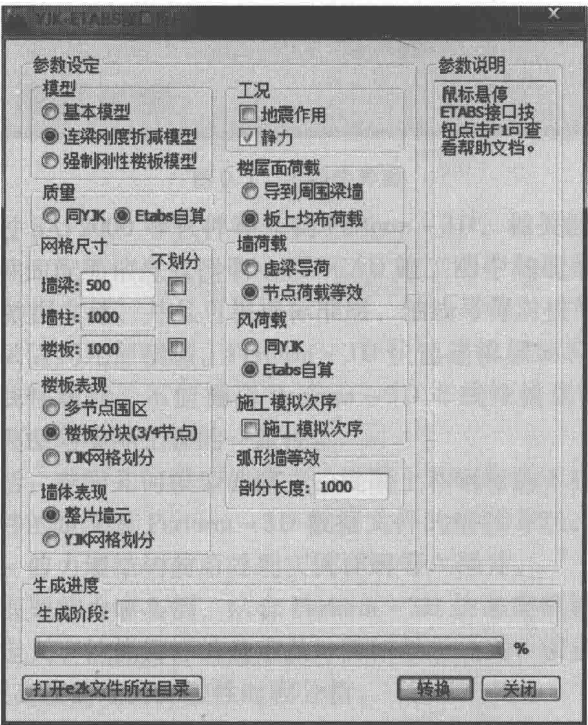


图 1.1.1 YJK→ETABS 转换接口选项

(2) 模型转换主要过程及注意事项:

1) 注意 ETABS 和 SAP2000 的软件版本号, 目前使用发现该版本的 ETABS 和 SAP2000

是可以较完美的转化模型。

2) 在 YJK 中简化模型, 将不影响大震分析的次梁删除, 荷载和梁自重倒算到相关楼板上。一个构件如非必须, 不要保留构件中的节点, 减少导入到 Perform 模型中构件的数量。然后通过 YJK 软件的 ETABS 接口导出 ETABS. E2K 文件。

3) ETABS 和 SAP2000 中用 N - mm 单位制。

4) 运行 ETABS > 文件 > 导入 > ETABS. E2K 文本文件。打开 YJK 转换得到 ETABS 模型, 将楼板截面名称里面的 RIG 删除。ETABS 中, 面对象自动剖分选项检查一下, 选择不自动剖分, 墙、坡道选择无对象细分, 见图 1.1.2。

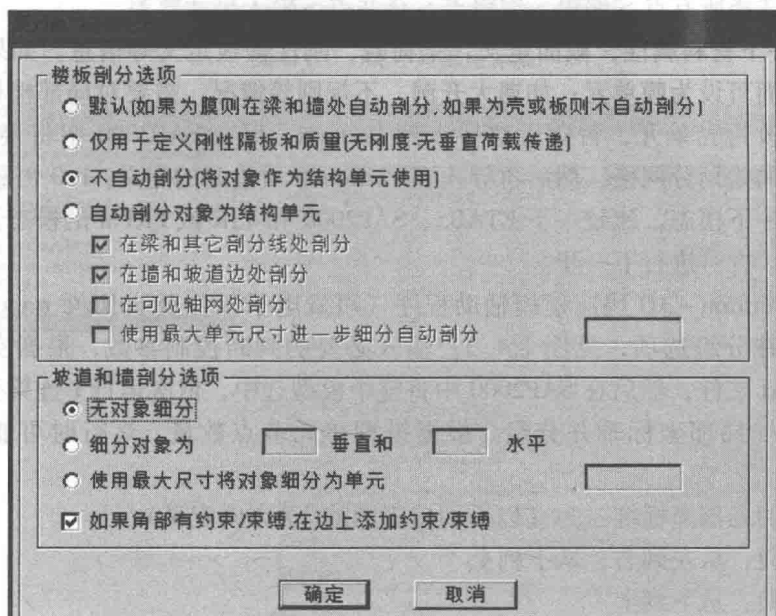


图 1.1.2 ETABS 面对新自动剖分选项

5) 运行 ETABS > 文件 > 导出 > 模型另存为 SAP2000. s2k 文本文件。修改 s2k 文件, 将 s2k 文件中 “PDELTA ITMAX = 1 TOLD = .001 TOLP = .001” 命令行删除, 不删除的话, 导入到 SAP2000 时, 无法保存完整的模型。“Spring” 相关数据段也可删除。

6) 导入到 SAP2000。

SAP2000 可以从 ETABS 中导入模型文件, 可以把 ETABS 建立的模型, 在 SAP2000 中进行编辑分析计算。

ETABS V8 和 V9 版本中导出的 s2k 文件是 SAP2000 V7 版本的文本文件, 需要在 SAP2000 中使用 文件 > 导入 > SAP2000 V6 或 V7. s2k 文件 命令, 弹出导入旧版本文件提示框。

程序提示要运用转化器, 将模型文件由旧版本转换为 V8 版本的模型文件。点击运行转换器按钮, 弹出 SAP2000 Translator 转换器窗口。

在转换器中点击 File > Import SAP2000 V6/V7 Text (. s2k. \$2k) File 命令, 弹出选择框, 选择 ETABS 生成的 s2k 文件。程序自动转换旧版本文件为 V8 版本的模型文件。

点击 File > Save As SAP2000 V8 SDB 命令, 弹出保存对话框, 指定保存路径和文件名

称, 保存 SDB V8 版本文件。转换完毕后, 关闭转换器窗口, 用 SAP2000 打开刚转化的 SDB 文件, 程序会自动转换成当前 SAP2000 版本的模型文件。这样就完成了从 ETABS 中导入模型到 SAP2000 中来的过程。

导入 SAP2000 后, 以模型左下角点为基点, 将结构整体移动到整体坐标原点, 以方便进行组定义。

特别提醒: SAP2000 中如果进行过对齐点/线/边、移动点/线/面等操作, SAP2000 转 Perform - 3D 之前, 要先在 SAP 中将进行过对齐点操作的相关部分进行间距小于 50mm 的节点合并!!!

SAP2000 选择所有点 > 编辑 > 编辑点 > 合并点 > 输入尺寸容差。

7) 检查一下材料属性, 截面定义, 梁荷载, 刚性楼板定义等信息。如果只考虑刚性楼板, 楼板截面可设为膜单元; 如遇大开洞, 不规则等情况, 需要对局部楼板进行重点分析, 楼板截面改为壳单元, 否则无法导入到 Perform, 可在 SAP2000 中将楼板细分网格, 并将与之相连的梁划分网格, 然后再导入到 Perform。质量源的定义: 1.0 恒载 + 0.5 活载。然后可以计算一下模态, 比较一下 ETABS、SAP2000 和 YJK 或 PKPM 的模态及周期, 与其他软件一致后, 方可进行下一步。

8) 运行 Perform - 3D 快速建模辅助程序 (可发电子邮件至 dldsfz@qq.com 索取) 的统一局部坐标并分组选项, 见图 1.1.3。输入必要的判断控制参数, 根据实际模型修改 Model_Group.txt 文件, 然后在 SAP2000 中将整个模型选中, 依次运行 1 连梁壳单元替换为杆单元和 2 统一局部坐标轴并分组。根据模型单元节点数量, 运行时可能要等待一段时间。

转换之后的局部坐标统一为 (以平面施工图的 XY 方向定义):

梁的正方向: 从左到右, 从下到上

柱的正方向: 从下到上

墙的正方向: 从左到右, 从下到上

根据 Model_Group.txt 示例文件, 将要计算项目的楼层, 轴号, 相关信息写到记事本文件。

Number_Floors: 楼层数。对应的为楼层标高 (单位: m), 程序会在前面自动加 “Floor_” 前缀。

Nx_Section: 垂直与 x 轴的剖面数量, 对应的为剖面名称和所在位置的 x 值 (单位: mm), 系统会在前面自动加 “Section_” 前缀。

Ny_Section: 垂直与 y 轴的剖面数量, 对应的为剖面名称和所在位置的 y 值 (单位: mm), 系统会在前面自动加 “Section_” 前缀。

Number_Beams: 梁的标准层数量, 对应的为梁标准层编号和标高区间 (含标高值)。

Number_Columns: 柱的标准层数量, 对应的为柱标准层编号和标高区间 (含标高值)。

Number_Walls: 墙的标准层数量, 对应的为墙标准层编号和标高区间 (含标高值)。

对于复杂的模型, 或有斜交构件的模型, 进行此分组操作并不完美, 需手动定义竖向构件分组, 或其他认为需要的组。

同时, 针对钢构件, 还根据截面定义、钢材标号及钢梁的铰接情况进行分组, 以方便在 Perform 中对几何模型进行非线性属性的指定。

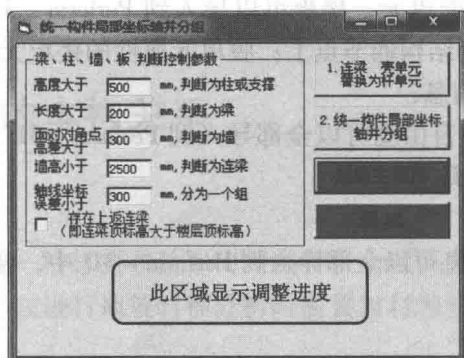


图 1.1.3 统一局部坐标轴

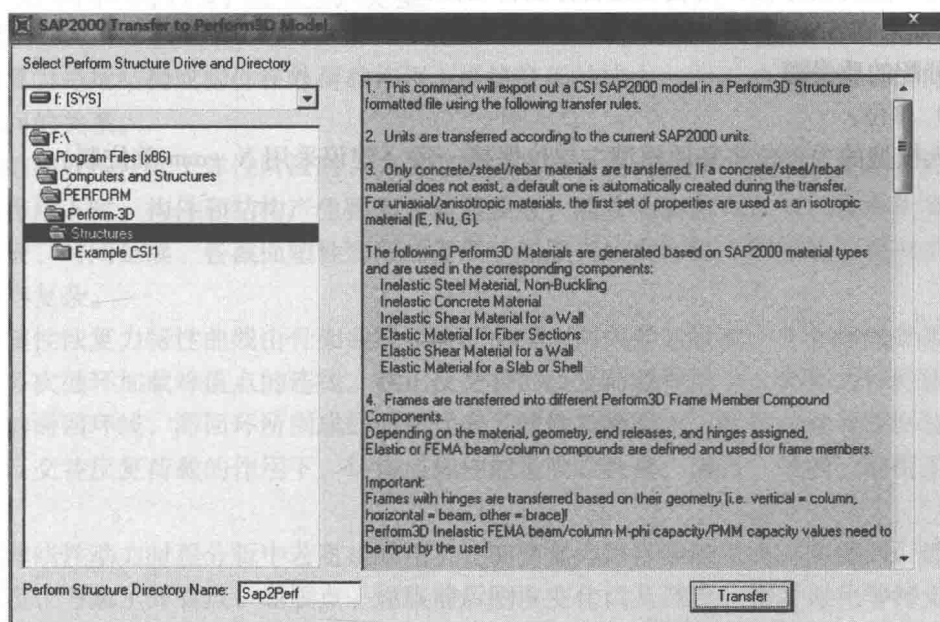


图 1.1.4 SAP2000 to Perform - 3D

对 SAP2000 模型进行模态计算，计算完成后，执行 SAP2000 > 文件 > 导出 > Perform - 3D structure，如图 1.1.4 所示。导出前，检查 SAP2000 的单位制，确定为 N - mm 单位制。

导入到 Perform 之后，注意修改连梁与剪力墙连接的内嵌梁的定义。内嵌梁除了抗弯刚度和弹性模量定义为连梁截面的 20 ~ 100 倍，其他截面面积和抗剪面积等一般定义一个很小的数，如 0.001。

1.2 SAP2000 可以导入到 Perform - 3D 的信息

(1) 质量数据：

1) SAP2000 导入 Perform - 3D 后，框架的质量是以节点质量的形式出现，每个节点凝聚的质量等于与该节点相连接的构件的一半质量的总和。

2) 对于墙单元，单片墙平均分配到四个节点上，分别累计到对应的节点上。

3) 对于楼板,如果是壳单元,楼板可以导入到 Perform - 3D 软件中,并且楼板质量均分到板的节点上,累计到结构的节点上;膜单元属性的楼板无法导入到 Perform - 3D 中。

(2) 支座约束和束缚信息:

SAP2000 中支座约束的自由度可以全部导入到 Perform - 3D 中;束缚信息如刚性隔板完全可以导入到 Perform - 3D 软件中。

(3) 组信息:

SAP2000V14 中的组信息可以全部导入到 Perform - 3D 中,便于在 Perform - 3D 中查看或者修改构件。

(4) 荷载信息:

1) SAP2000 中楼板的面荷载包括附加荷载和活荷载,导入到 Perform - 3D 之后,以平均分配的节点荷载存在,荷载工况名称也自动保留。

2) 如果在 SAP2000 中定义了质量源,导入到 Perform - 3D 中之后,节点的质量就等于平均分配的质量源。

(5) 单位:

导入模型的主单位将和原模型主单位保持一致(建议采用 N - mm 单位制)。

2 混凝土和钢材的本构关系

在 Perform-3D 中,每一种材料和基本构件都有一个或多个力与变形关系,这两者之间的关系称为 F-D 关系。在进行地震时程分析时需要材料或构件设定本构关系和滞回关系曲线。

2.1 结构和构件的恢复力模型

恢复力是指结构或构件在外荷载作用下抵抗变形的能力,这反映了结构或构件受荷与变形之间的关系。

当结构或构件处于弹性阶段时,力与变形关系符合虎克定律,是直线关系。而当在反复地震作用下时,构件和结构产生弹塑性地震反应,随着荷载作用方式、构件类型、构件受力特征、时间延续、各截面塑性变形的发展、屈服先后次序的不同等等,使得力与变形关系相当复杂。

弹塑性恢复力特性曲线由骨架曲线和滞回曲线这两大要素组成。骨架曲线是指滞回环曲线上各次循环加载峰值点的连线。在正反交替的反复荷载作用下,恢复力特性曲线形成了很多的滞回环线,滞回环所围成的面积代表了塑性耗能能力。骨架曲线与滞回特性反映了在正反交替反复荷载的作用下,结构或构件能量吸收耗散,延性,强度、刚度退化等力学特性。

在非线形动力时程分析中若直接采用上述的恢复力特性曲线是难以实现的,通常的恢复力模型,考虑了开裂点、屈服点、屈服前后刚度变化以及强度、刚度退化等特点,用折线段或曲线段来表示滞回曲线。曲线型恢复力模型给出的刚度是连续变化的,与工程实际较为接近,但在刚度的确定和计算方法上不足。目前较为广泛使用的是折线形模型。折线形模型主要分为 7 种,分别是:双线型、三线型、四线型(带负刚度段)、退化二线型、退化三线型、指向原点型和滑移型。

Perform-3D 采用基于多线型的“YULRX”广义力一位移的骨架曲线,如图 2.1.1 和 2.1.3 所示。在 Perform-3D 中可以通过力一位移变形关系曲线的形状以及是否考虑刚度退化和强度退化、材料的上下限强度值、反复加载卸载滞回捏缩现象、变形能力等来详细表达模型的恢复力特性。

在 Perform-3D 中通过能量退化系数来确定滞回环的形状及大小。能量退化系数其实就是 F-D 曲线上退化滞回环跟非退化滞回环面积的比值,如图 2.1.2 所示。Perform-3D 是根据能量退化系数求解滞回关系中的卸载刚度和再加载刚度,程序中的能量退化系数可以通过实验结果或理论分析结果人为指定,软件可以自动调整卸载一再加载刚度来给出所要求的能量退化。

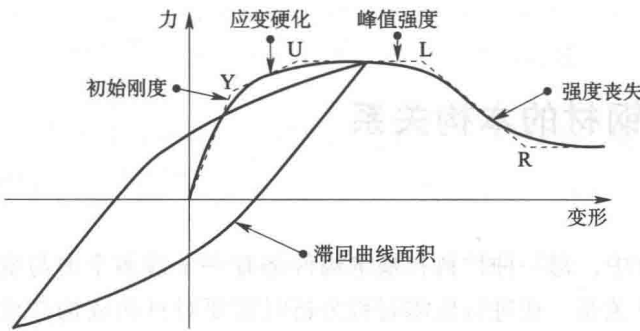


图 2.1.1 Perform - 3D 滞回模式示意图

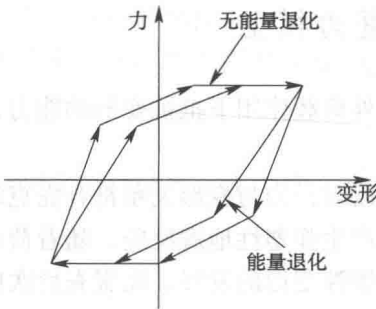


图 2.1.2 能量退化滞回环示意图

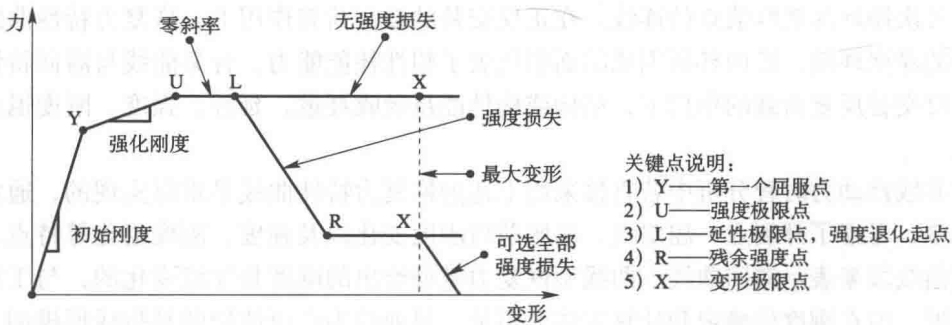


图 2.1.3 Perform - 3D 骨架曲线示意图

2.2 非约束混凝土的本构关系

非约束混凝土本构关系采用《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010（以下简称《混规》）附录 C 中混凝土多轴强度和本构关系中的单轴应力应变关系。动力弹塑性分析中，一般不分析混凝土在大震作用下的开裂状态，因此，本构模型中忽略混凝土的受拉段曲线，即假定受拉全部由钢筋承受。混凝土强度采用标准值。

在 Perform - 3D 中，根据用户的需要，混凝土的应力—应变关系可以选择为 E - P - P（理想弹塑性）形式，也可以选择为 Trilinear（三线性）形式。本文中采用的混凝土本构材料是考虑带强度退化的 Trilinear 模型，不考虑混凝土受拉强度。