


# SAP2000

## 结构工程

## 案例分析

主编 陈昌宏

 冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

# SAP2000 结构工程案例分析

主 编 陈昌宏

副主编 吴乃森 黄 莺

北 京

冶金工业出版社

2010

## 内 容 提 要

本书对 SAP2000 软件的建模、分析设置及其他功能进行了详细阐述, 列举了大量案例, 如钢筋混凝土结构设计案例, 反应谱分析案例, 时程分析案例, 门式框架结构设计案例等, 以使读者尽快掌握本软件的各种功能, 并学会解决实际操作过程中遇到的常见问题。

本书可供高等学校结构工程专业的本科生、研究生以及从事结构设计的工程师、科研人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

SAP2000 结构工程案例分析 / 陈昌宏主编. —北京: 冶金工业出版社, 2010.6

ISBN 978-7-5024-5276-6

I. ①S… II. ①陈… III. ①结构工程—结构分析—应用软件, SAP2000 IV. ①TU3-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 085056 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街高祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 杨 敏 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5276-6

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2010 年 6 月第 1 版, 2010 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 10.25 印张; 244 千字; 154 页

25.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010) 65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

# 前 言

SAP2000 来源于 SAP，是一款功能强大、久负盛名的结构分析软件。SAP 软件最早起源于加州大学 Berkeley 分校的 Wilson 教授的研究开发工作，经过近 40 年的发展，已经成为结构分析软件的代名词。

SAP2000 功能强大，使用方便，但要熟练地掌握软件的各种功能，做到融会贯通，需要花费很多的时间。因此，编者对使用 SAP2000 软件过程中遇到的各种问题及处理方法进行分析总结，主要内容涵盖了 SAP2000 高级建模功能，钢筋混凝土框架结构设计，结构模态与反应谱分析，结构线性与非线性动力时程分析，门式框架结构设计，起重机结构设计以及工程结构常见问题分析等，以期对高等学校结构工程专业的本科生、研究生以及从事结构设计的工程师、科研人员有所帮助。

本书由西北工业大学陈昌宏担任主编，西北工业大学吴乃森和西安建筑科技大学黄莺担任副主编。陈昌宏参与了第 1 章~第 4 章、第 6 章、第 7 章的编写，吴乃森参与了第 3 章~第 6 章的编写，黄莺参与了第 3 章、第 4 章、第 7 章的编写，西北工业大学张询安参与了第 4 章的编写，西北工业大学艾兵参与了第 2 章的编写，西安建筑科技大学曹继涛参与了第 5 章的编写。全书由陈昌宏统稿。

在编写过程中，编者参考了有关文献，在此向文献作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处恳请读者批评指正。编者的电子邮箱是：[changhong.chen@nwpu.edu.cn](mailto:changhong.chen@nwpu.edu.cn)。

编 者  
2010 年 3 月  
于西北工业大学

# 目 录

<b>1</b>	<b>SAP2000 高级建模功能</b>	<b>1</b>
1.1	初始化模板利用	1
1.1.1	模板利用	1
1.1.2	模板利用要点说明	1
1.2	AutoCAD 模型导入与导出	6
1.2.1	导入与导出方法	6
1.2.2	AutoCAD 模型导入与导出要点说明	6
1.3	模型的交互式编辑	9
1.3.1	Excel 格式文件输入与输出	9
1.3.2	模型的交互式编辑要点说明	9
1.4	软件数据接口	15
1.4.1	导入/导出其他软件模型	15
1.4.2	软件数据接口要点说明	15
1.5	工程报告编制	15
1.5.1	报告编制方法	15
1.5.2	报告编制要点说明	15
1.6	特殊功能要点	15
1.6.1	端部(弯矩、扭矩)释放	15
1.6.2	端部偏移(刚域)	17
<b>2</b>	<b>钢筋混凝土框架结构设计</b>	<b>18</b>
2.1	工程概况	18
2.1.1	工程基本概况	18
2.1.2	设计依据及条件	20
2.1.3	荷载及荷载效应规范组合	21
2.2	SAP2000 模型建立	21
2.2.1	三维几何模型	21
2.2.2	材性指标	23
2.2.3	截面参数	25
2.2.4	截面指定	28
2.2.5	荷载传导	29
2.3	计算结果	32

2.3.1	内力分析结果 .....	32
2.3.2	结构配筋结果 .....	33
<b>3</b>	<b>结构模态与反应谱分析 .....</b>	<b>35</b>
3.1	基本理论 .....	35
3.1.1	模态分析 .....	35
3.1.2	反应谱分析 .....	35
3.2	SAP2000 模态操作 .....	36
3.2.1	质量矩阵定义 .....	36
3.2.2	模态分析工况定义 .....	38
3.2.3	模态操作要点说明 .....	38
3.3	SAP2000 地震反应谱操作 .....	43
3.3.1	反应谱定义 .....	43
3.3.2	反应谱分析工况定义 .....	44
3.3.3	地震反应谱操作要点说明 .....	45
3.4	反应谱案例 .....	47
3.4.1	平面钢框架反应谱分析 .....	47
3.4.2	三维混凝土框架结构反应谱分析 .....	54
<b>4</b>	<b>结构线性与非线性动力时程分析 .....</b>	<b>57</b>
4.1	基本理论 .....	57
4.1.1	线性时程分析理论 .....	57
4.1.2	非线性时程分析理论 .....	60
4.2	SAP2000 地震波 .....	61
4.2.1	地震波函数建立 .....	61
4.2.2	地震波分析要点说明 .....	63
4.3	SAP2000 时程工况 .....	68
4.3.1	时程工况建立 .....	68
4.3.2	时程工况分析要点说明 .....	70
4.4	时程分析案例 .....	75
4.4.1	平面钢框架时程分析 .....	75
4.4.2	三维混凝土框架结构 .....	80
<b>5</b>	<b>门式刚架设计 .....</b>	<b>82</b>
5.1	基本理论 .....	82
5.1.1	刚架设计特点 .....	82
5.1.2	内力与侧移计算 .....	82
5.2	设计案例 .....	82
5.2.1	工程概况 .....	82

5.2.2 模型建立 .....	84
5.2.3 内力与位移计算 .....	87
<b>6 起重机结构设计 .....</b>	<b>93</b>
6.1 基本理论 .....	93
6.1.1 起重机械整体分级 .....	93
6.1.2 结构设计荷载 .....	94
6.1.3 荷载工况组合 .....	95
6.1.4 地震荷载影响 .....	96
6.2 案例分析 .....	96
6.2.1 模型建立 .....	96
6.2.2 内力与位移结果处理 .....	105
6.2.3 FEM 标准下应力计算 .....	108
6.2.4 FEM 标准下疲劳结果 .....	111
6.3 移动载荷下起重机应力计算处理 .....	115
<b>7 工程常见问题分析 .....</b>	<b>124</b>
7.1 模型处理 .....	124
7.1.1 网架模型建立及网架建模时螺栓球节点的自重处理问题 .....	124
7.1.2 拉索与预应力拉索的模拟方法 .....	126
7.1.3 预应力拉索案例对比 .....	128
7.1.4 钢管混凝土的处理方法 .....	130
7.1.5 简单构件应力快速计算 .....	132
7.1.6 自定义材料特性 .....	133
7.1.7 自定义异型截面 .....	135
7.1.8 节点与单元重新编号的处理 .....	136
7.1.9 荷载施加的 Excel 技巧 .....	136
7.2 计算结果处理 .....	146
7.2.1 分析与设计的区别 .....	146
7.2.2 计算结果列表处理的过滤 .....	147
7.2.3 高级报告书写器的定制 .....	150
<b>参考文献 .....</b>	<b>154</b>

# 1 SAP2000高级建模功能

## 1.1 初始化模板利用

### 1.1.1 模板利用

SAP2000 提供了一系列的结构类型的快速建模模板。对于较规则模型的建立，可以从快速建模开始，然后再根据需要对模型进行修改。

具体操作方法为：在 SAP2000 主界面中点击【文件】>【新模型】命令，弹出如图 1-1 所示的对话框，对话框的下面部分是“选择模板”区域，其列出了程序提供的初始化模板，点击某个模板，弹出该模板结构的具体参数定义对话框，以定义各类结构模型。

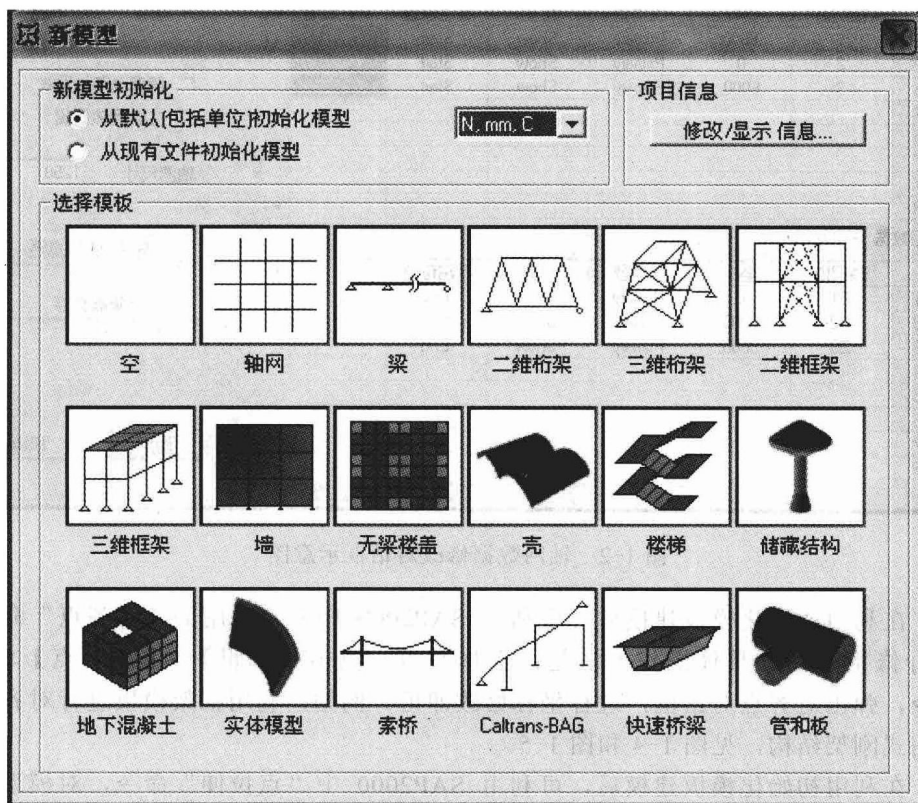


图 1-1 新模型对话框

### 1.1.2 模板利用要点说明

(1) 因为快速建模不符合要求，在利用初始化模板时轴网间距数据可能有误，所以在



形成模型后需要进行修正。可通过“粘合到轴网线”的功能进行修正。例如，图 1-2 所示为一三维框架结构模型数据，若实际工程模型底层层高为 5 m，则只需在轴网数据框中修改后 Z 方向数据后，点击“粘合到轴网线”即可完成修正，如图 1-3 所示。



图 1-2 轴网数据修改对话框示意图

(2) 在利用初始化模板建模后，可利用 SAP2000 中非常实用的“对齐点”命令，对模型进行修正处理。具体操作方法是：选择节点，点击【编辑】>【编辑点】>【对齐点】命令，弹出对齐点对话框，进行坐标修改即可。例如，利用框架模板进行对齐点修正后形成门式刚架结构，见图 1-4 和图 1-5。

(3) 在利用初始化模板建模后，可利用 SAP2000 中“点拉伸”命令，对模型进行高级修正处理。例如，2008 年奥运会国家体育场（鸟巢）场馆中大量采用的初始扭转和初始弯曲构件，就可利用此命令进行修正。具体操作过程为：选择点，点击【编辑】>【拉伸】>【拉伸点成框架/索】命令，出现图 1-6 所示的对话框，点击“高级”按钮，出现图 1-7 所示的“定义拉伸路径”示意图，利用此对话框可建立如图 1-8 所示的初始扭转和弯曲的框架梁等构件。

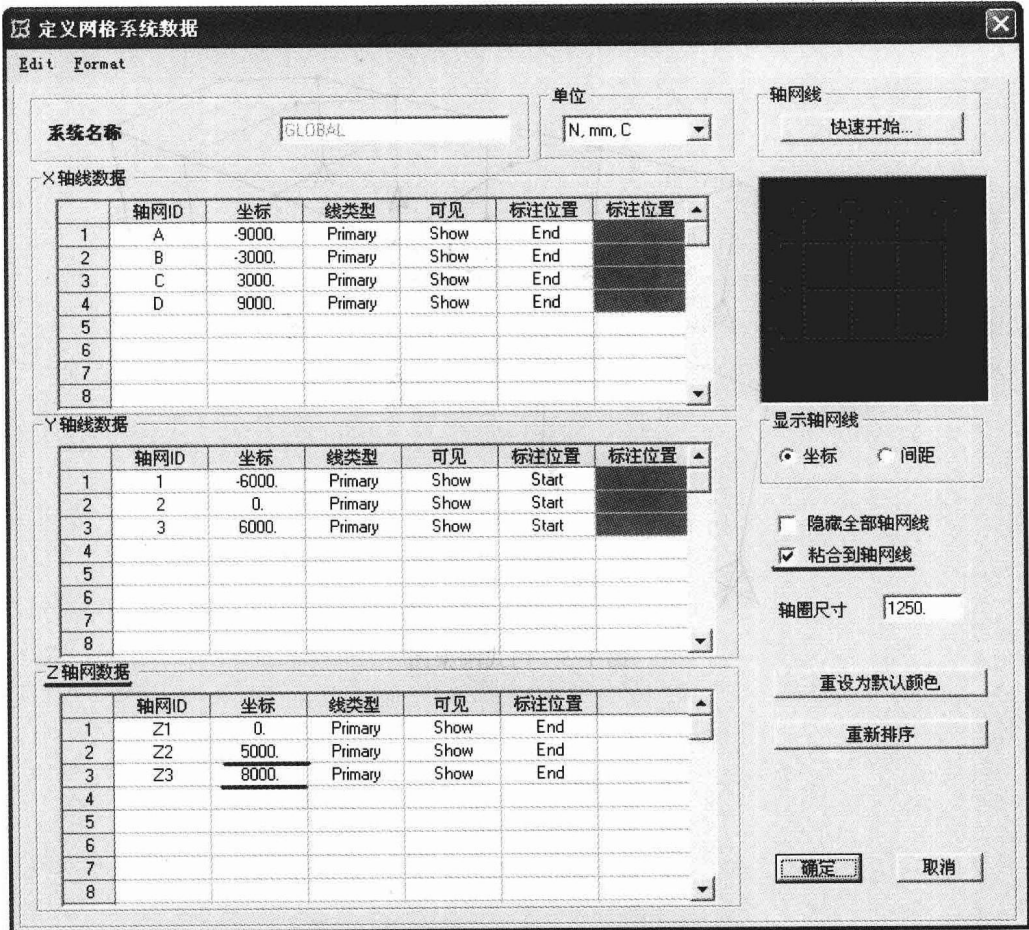


图 1-3 轴网数据修改对话框示意图 (修正 Z)

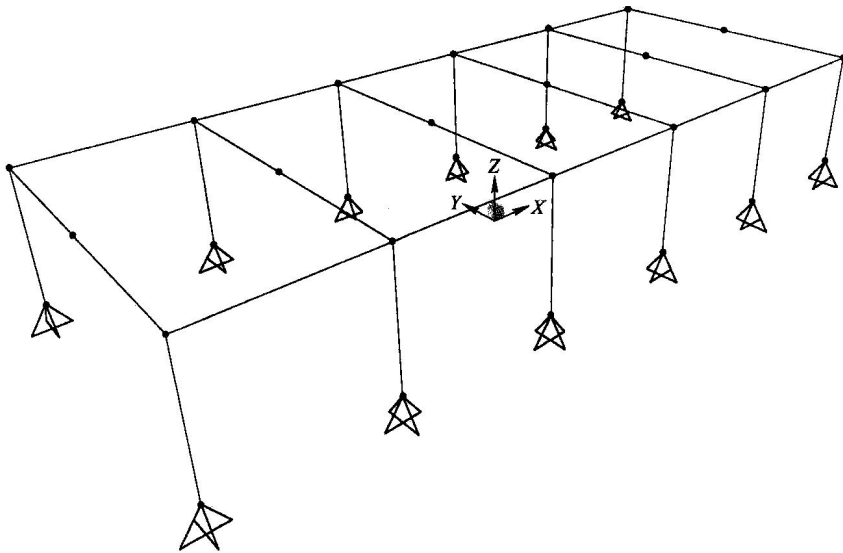


图 1-4 三维框架模型图

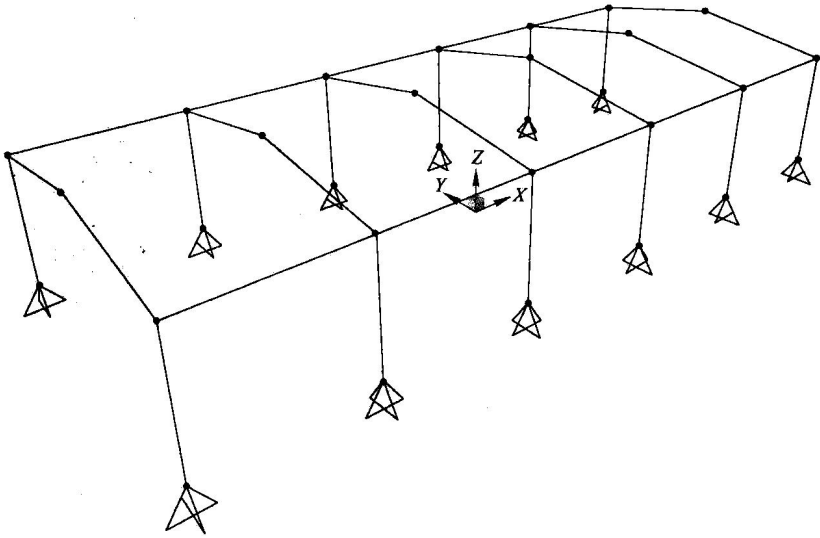


图 1-5 门式刚架图

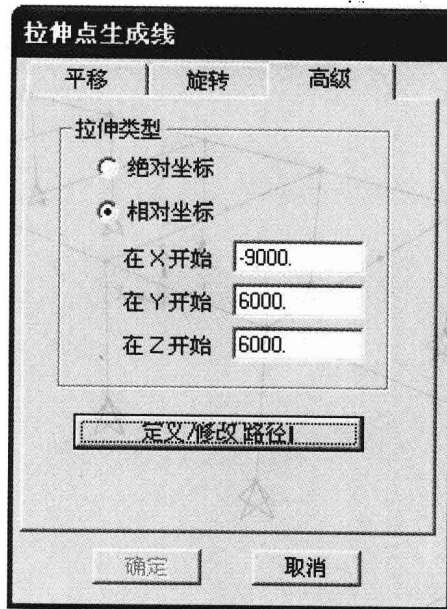


图 1-6 拉伸点成框架示意图

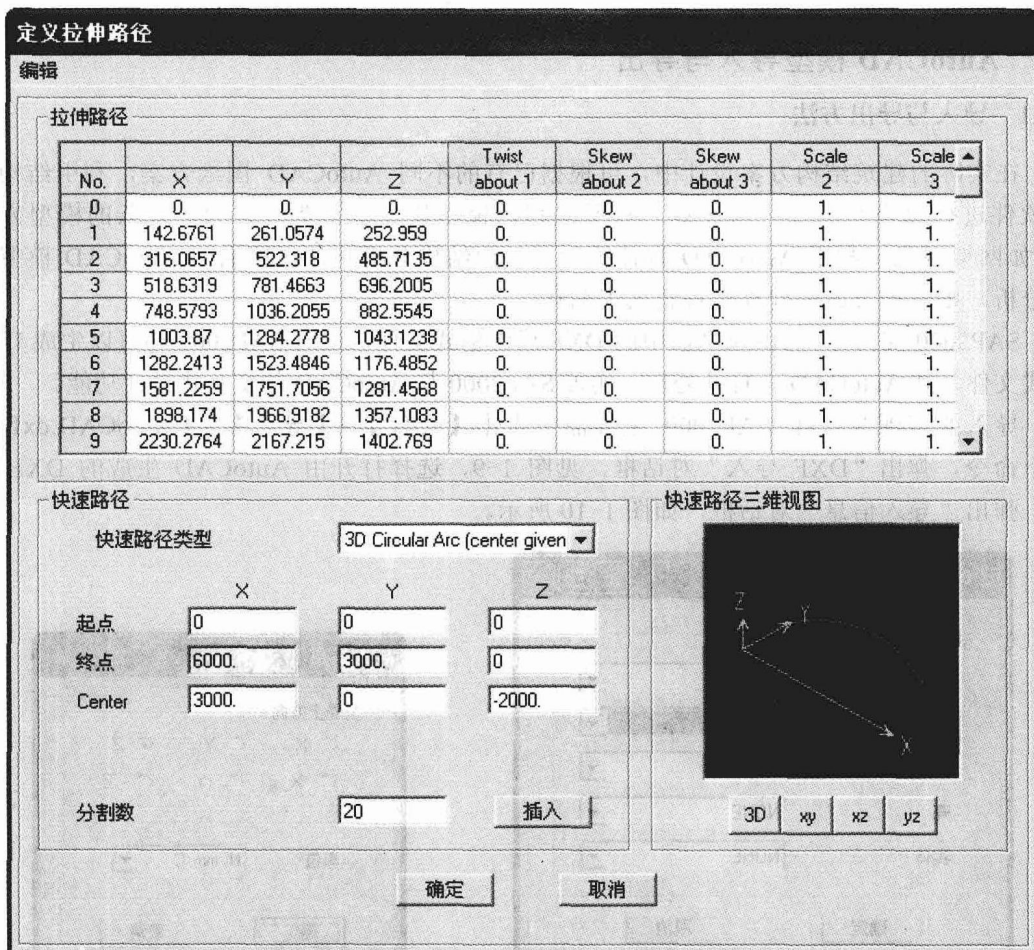


图 1-7 拉伸路径示意图

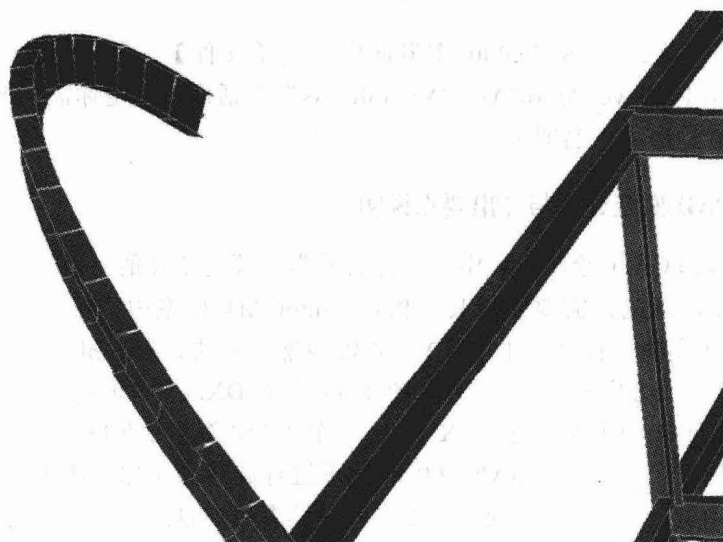


图 1-8 初始弯曲与扭转示意图

## 1.2 AutoCAD 模型导入与导出

### 1.2.1 导入与导出方法

在实际的建筑结构方案设计中，可根据已有的不同 AutoCAD 图纸方案，利用结构分析软件进行建模并进行分析计算。众所周知，模型建立非常费时费力，复杂的模型方案（例如网架网壳）利用 AutoCAD 软件绘制，并由结构分析软件直接输入 AutoCAD 模型进行分析，则结构方案的建模过程将大大简化。

SAP2000 支持导入 AutoCAD 中的 DXF 后缀格式文件，同时 SAP2000 亦可以生成 DXF 格式文件，到 AutoCAD 中打开处理，实现 SAP2000 与 AutoCAD 的交互式设计功能。

导入的步骤为：在 SAP2000 主界面中点击【文件】>【导入】>【AutoCAD.dxf 文件】命令，弹出“DXF 导入”对话框，见图 1-9，选择打开由 AutoCAD 生成的 DXF 文件，弹出“导入信息”对话框，如图 1-10 所示。

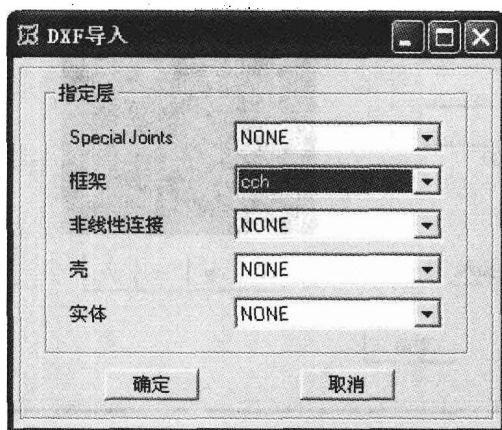


图 1-9 导入 DXF 格式文件示意图

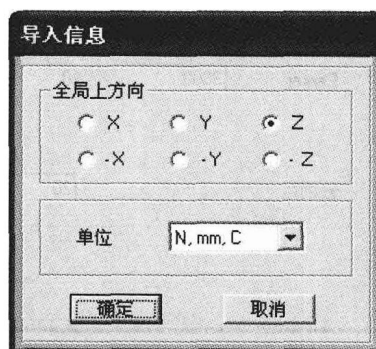


图 1-10 导入信息示意图

导出的步骤为：在 SAP2000 主界面中点击【文件】>【导出】>【AutoCAD.dxf 文件】命令，弹出“Save AutoCAD.DXF File As”对话框，指定你需要保存 DXF 文件的名称与 SAP2000 程序文件名即可。

### 1.2.2 AutoCAD 模型导入与导出要点说明

(1) 在 AutoCAD 绘图环境中，设计者常常需要对整体的三维模型进行不同的视图显示与编辑操作，因此，需要知道其结构在 AutoCAD 模型中的铅垂方向是和世界坐标系（WCS，区别于用户坐标系）中 X、Y、Z 轴的哪一个轴对应，相应的就在图 1-10 中选择对应的轴（全局上方向）。例如，导入图 1-11 中的 DXF 文件时应选择 Y 方向，而在导入图 1-12 中的 DXF 文件时应选择 X 方向。当然，读者也可不必在意这个问题的处理，因为即使方向选错了，也可在 SAP2000 环境下进行旋转操作加以纠正。但必须注意的是，在 SAP2000 环境下的 Z 方向轴为重力方向。读者可通过给杆件施加重力方向的荷载检验所建的模型是否正确。如图 1-13 所示，门式刚架在施加重力方向的荷载后，显示荷载图形表明该模型是正确的，而图 1-14 模型是错误的，必须进行模型的旋转处理。

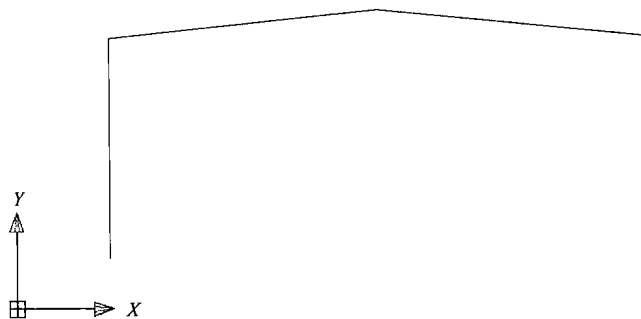


图 1-11 导入 DXF 文件方向案例 (门式刚架) 图 (Y 方向)

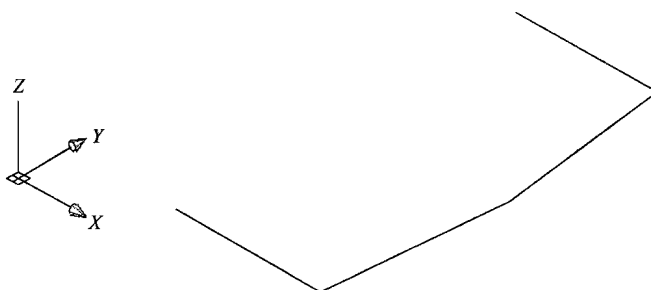


图 1-12 导入 DXF 文件方向案例 (门式刚架) 图 (X 方向)

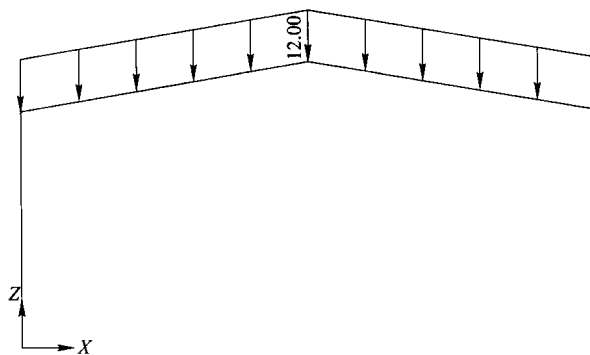


图 1-13 重力方向加载检验 (门式刚架) 图 (正确)

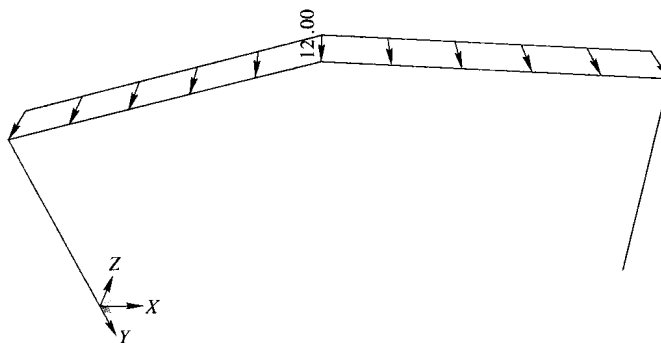


图 1-14 重力方向加载检验 (门式刚架) 图 (错误)

(2) 在 AutoCAD 中，图形需定义新的图层，不能采用 0 图层，如图 1-9 所示，导入框架图层中的 cch 图层线条作为框架杆单元。

(3) AutoCAD 系统中的通用坐标系 WCS 与 SAP2000 软件的整体坐标系实属同一个概念，因此，解决导入时结构模型偏离整体坐标原点太远的方法有两种，一种是在 AutoCAD 模型中将模型移动到通用坐标系 WCS 原点，另一种是在 SAP2000 中进行模型整体的移动。

(4) AutoCAD 采用的坐标为浮动坐标，因此 DXF 格式文件导入 SAP2000 后，很多点出现极少的位差，如 AutoCAD 中的坐标为 (0, 0, 0)，而在导入到 SAP2000 后可能会变成极小的坐标值（如 1.2E-12, 1.4E-13, 1.4E-13 等），虽然这种变化对结构的力学性能计算几乎没有任何影响，但是在形成计算分析报告时（提取节点坐标后），会影响报告的质量。因此，在交互式数据编辑功能里面可以修改它，直接将它修改为 0 值。如图 1-15 所示，交互式编辑表中红（粗）线标记的坐标值可直接修改成 0。

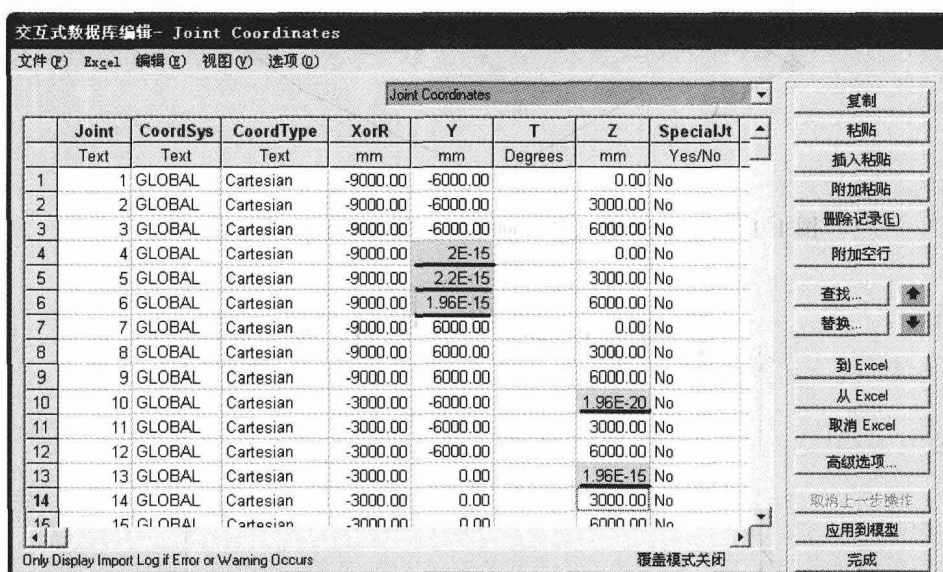


图 1-15 交互式数据库编辑（坐标修改）

(5) AutoCAD 中的曲线杆件不能导入到 SAP2000 软件中。AutoCAD 中的圆弧（圆）线条导入到 SAP2000 后，由程序自动形成多段直杆相连模型，读者可根据需要再进一步剖分或连接。然而，AutoCAD 中的椭圆（椭圆弧）不能导入到 SAP2000 软件中。当然，利用 AutoCAD 的二次开发技术可将圆弧、椭圆等线形修改成直线线形，即可导入。在钢结构分析软件 3D3S 中就是采用这种方法形成 SAP2000 格式文件的。

(6) AutoCAD 中的多线段（空间曲梁一般采用多线段建模，然后拟合成光滑的样条曲线）不能直接导入到 SAP2000 软件中。采用 AutoCAD 中的“炸开”命令将空间样条曲线的属性变成直线段属性后，可导入到 SAP2000 软件中，但炸开后曲线的点的坐标较乱且不能控制。目前，这一问题还没有较好的处理方法。

(7) AutoCAD 的 DXF 格式文件导出功能主要用于计算确定后的结构方案模型从 SAP2000 导出后进入 AutoCAD 环境中形成进一步的图纸文件。

## 1.3 模型的交互式编辑

### 1.3.1 Excel 格式文件输入与输出

Excel 格式文件输入的具体步骤为：在 SAP2000 主界面中点击【文件】>【导入】>【SAP2000 MS Excel 电子表格.XLS 文件】命令，弹出“导入数据库”对话框，点击“确定”按钮，再点击你需要导入的 Excel 电子文档文件。

文件输入后，在 SAP2000 主界面中点击【编辑】>【交互式数据库编辑】命令，弹出“选择表进行交互式编辑”对话框（图 1-16），点击需要修改的项目即可进行修改。

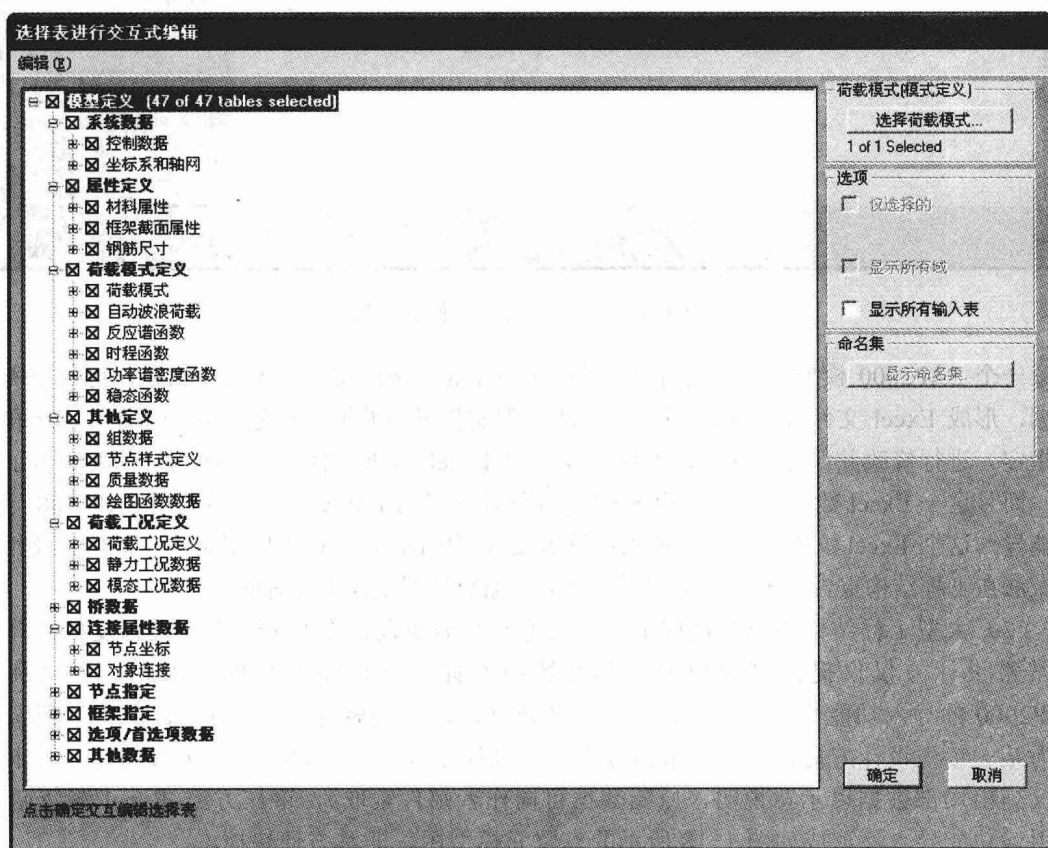


图 1-16 交互式数据编辑对话框

Excel 格式文件输出的具体步骤为：在 SAP2000 主界面中点击【文件】>【导出】>【SAP2000 MS Excel 电子表格.XLS 文件】命令，弹出“导出数据库”对话框（图 1-17），选择你需要导出的数据文件即可。

### 1.3.2 模型的交互式编辑要点说明

(1) Excel 格式文件的导出功能主要用于计算分析报告的数据提取。

(2) 因为 SAP2000 内部形成的 Excel 数据文件具有特定的格式，所以没有按照其格式要求书写的 Excel 数据文件不能导入 SAP2000 软件中。为解决这个问题，需要先建立



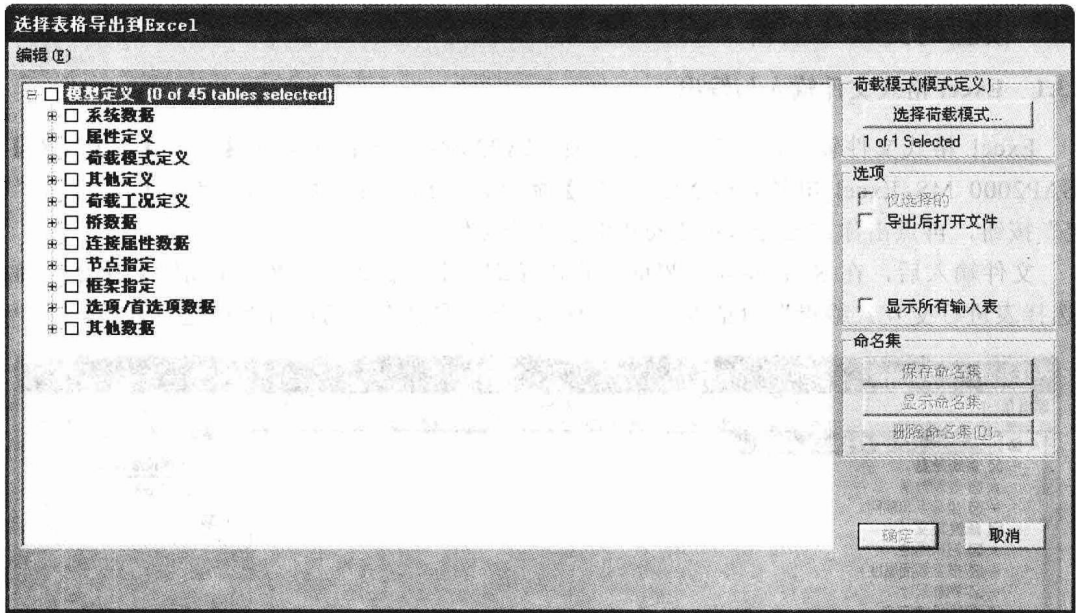


图 1-17 导出 Excel 文件对话框

任意一个 SAP2000 模型文件，利用导出功能形成 Excel 格式文件（为防止出错，可导出所有数据，形成 Excel 文件），然后对这个 Excel 数据文件里面的模型部分（节点、杆件连接和截面指定）进行修改并保存。这样，不仅形成后的 Excel 数据文件已经按照用户的要求做了修正，而且这个 Excel 数据文件也具有 SAP2000 软件认可的格式要求，最后利用 SAP2000 导入功能导入这个 Excel 文件，即可形成按照读者要求形成的 SAP2000 模型文件。该功能及相应的做法在工程结构报告审核中经常应用，可大大缩短模型重建工作时间。

(3) 大型工程结构的审核过程中，审核方常常需要设计方的模型重新进行复核算，但常常设计方仅仅提供书面模型及其参数而不提供软件模型数据。因此，可以利用 SAP2000 的导入功能快速地进行模型的重新建立，以供复核时用。表 1-1、表 1-2 所示分别为某一工程设计方提供的模型节点提取坐标及模型杆件拼装数据（由于数据较多，本书仅仅列出局部数据以示说明，原始数据可向作者邮件索取），审核方经 Excel 输入后，利用该功能导入后形成如图 1-18 所示的有限元模型图，非常方便快捷。

表 1-1 模型节点提取坐标

Joint (节点)	GlobalX (全局 X 坐标)	GlobalY (全局 Y 坐标)	GlobalZ (全局 Z 坐标)
1	26926	31775	24600
2	22438	26479	25418
3	17950	21183	26237
4	13463	15888	27055
5	8975	10592	27873
6	4488	5296	28692
7	0	0	29510