

M 融会贯通·工程软件
Master Engineering Software

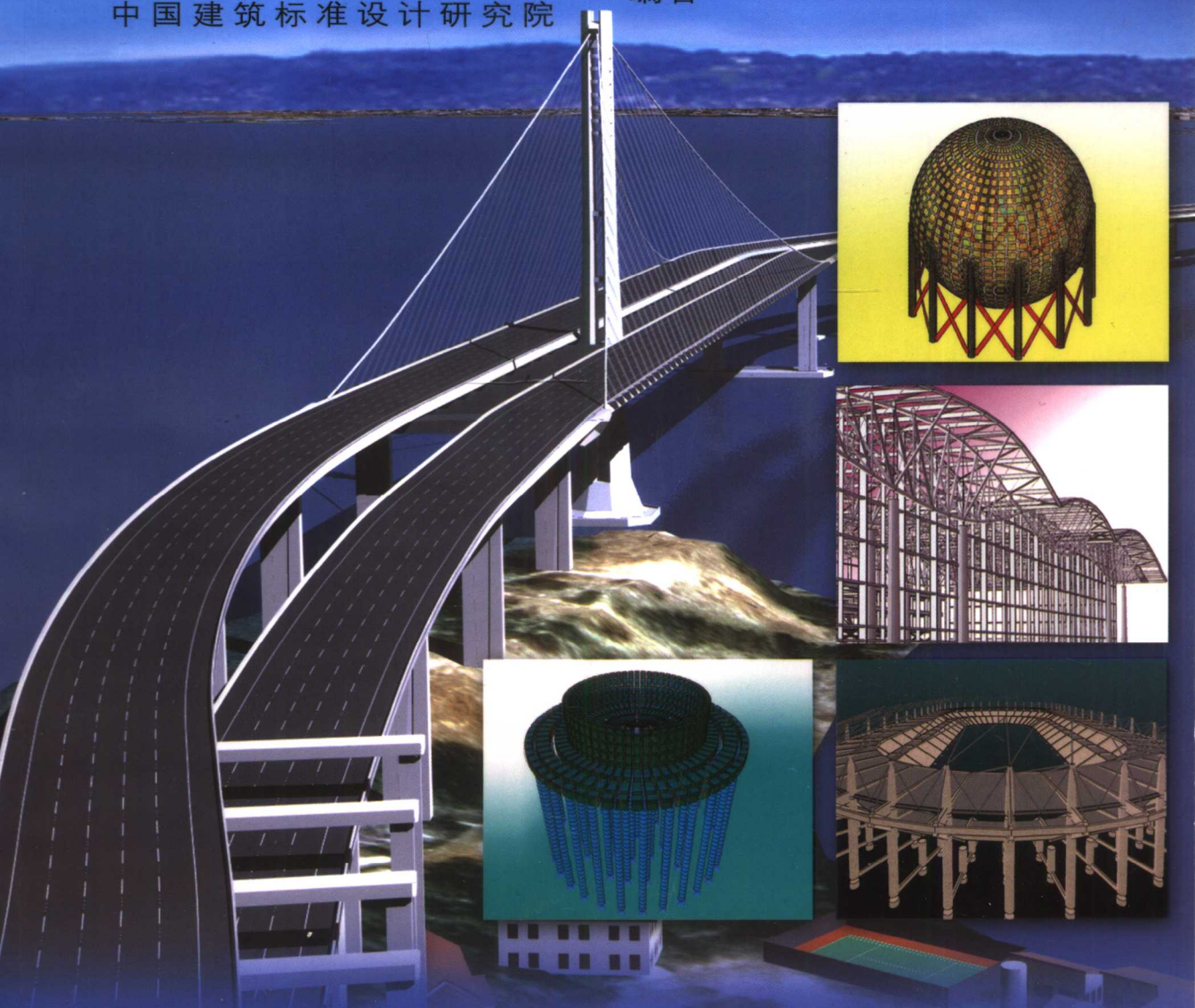


通用结构分析与设计软件的常青树

SAP2000 中文版使用指南

北京金土木软件技术有限公司
中国建筑标准设计研究院

编著



人民交通出版社

China Communications Press

M 融会贯通·工程软件
Master Engineering Software

通用结构分析与设计软件的常青树

SAP2000

中文版使用指南

北京金土木软件技术有限公司
中国建筑标准设计研究院

编著



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

SAP2000 中文版是专门为中国工程设计人员和科研人员开发的具有中文界面和中国最新规范的通用结构分析与设计软件系统。本书配合 SAP2000 中文版的使用而编写,其内容涵盖了 SAP2000 基本概念、建模功能、分析功能和设计功能,并且针对 SAP2000 的高级分析技术和各种类型的结构形式,阐述了 SAP2000 在工程中的具体应用并进行了相关讨论。

本书可供从事结构工程设计的工程师和科研人员、高等学校的本科生及研究生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

SAP2000 中文版使用指南 / 北京金土木软件技术有限公司等编著. —北京: 人民交通出版社, 2006.9
ISBN 7-114-06156-0

I.S… II.北… III.企业管理—应用软件, SAP 2000 IV.F270.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 107305 号

书 名: SAP2000 中文版使用指南
著 者: 北京金土木软件技术有限公司
中国 建筑 标准 设计 研究院
责任编辑: 陈志敏
出版发行: 人民交通出版社
地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>
销售电话: (010) 85285656, 85285838, 85285995
总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京宝莲鸿图科技有限公司
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 46.25
字 数: 1085 千
版 次: 2006 年 9 月 第 1 版
印 次: 2006 年 9 月 第 1 次印刷
书 号: ISBN7-114-06156-0
印 数: 0001~4000 册
定 价: 86.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

SAP2000 最原始的结构分析软件是 SAP,它是 Structural Analysis Program 三个字的简称。SAP 是 30 多年以前在加州大学 Berkeley 分校,由 Edward Wilson 教授领导开发出来的结构分析软件,当时主要用于结构及土木工程(包括土壤、大坝等有关工程)的研究及教学工作。在过去的 30 多年里,SAP 随着有限元方法的发展不断地改进及提高,在演变过程中有好几个版本出现,如最早期的 SAP-I、SAP-II 到 SAPV、SAPVI,早在 1980 年,就已经发行了第一个被称为商用版本的软件,随后又有 SAP90,一直到目前的 SAP2000 版本。

本人在 1979 年 7 月初次从美国引入了 SAP-V 到国内。当年,由北京工学院的张相霖教授先后在北京及上海主办了两个有限元法讲习班,麻省理工的卞学璜、董平教授及本人被邀请开讲在有限元领域不同的专业题目。当时,每个讲习班有不少于 250 位专业人士从全国各地来参加,包括各大学的老师、工程部门的研究人员和工程师。当时在课堂里所有的听众都聚精会神,认真学习这个当时公认的新技术学科,使得授课人非常感动并兴奋不已(直到今天,我还仍然万分感激卞教授将我引进这个讲习班)。在没有回中国之前,我从加大 Berkeley 分校花 250 美金买了一套 SAP-V(原代码)写在磁带上,这套软件也是我在美国用于结构力学及有限元教学的工具。在北京,我将 SAP-V 磁带交给了张相霖教授,出乎意料的是,SAP-V 被传遍了全国各大学,以及各个设计和研究单位,在中国的教学、研究及工程中运用。后来根据原来的 SAP-V,相继产生了不同功能的 SAP-V 延伸版本。做梦都没有想到 SAP-V 能在国内引起大家如此浓厚的兴趣,究其原因,我以为有三个:

1. 虽然国内也有自己开发的有限元软件及向德国购买的 ASKA,但 SAP-V 是当时唯一用 Fortran 语言写的源程序。

2. 程序用多块子结构结合成,非常有条理及透明化,极容易让工程软件专家去了解程序的状况,并作进一步的有限元开发。

3. 可免费取获得源程序。

自此以后,SAP-V 的模仿版本在全国如雨后春笋般出现。由于这个软件在 80 年代对工业界产生了极大的影响,该软件于 1986 年得到中央政府颁发的二等工业奖。当年我在中国参加在承德举办的有限元讨论会并赴峨嵋参加西南交大的校庆,匆忙中我被钱学森教授召回北京人民大会堂的湖北厅参加盛大晚宴招待,以感谢我带回 SAP-V 的功劳,时至今日我仍不能忘怀。

我很高兴了解到 SAP 被美国软件公司 CSI 在 Wilson 指导下一直不断地发展,使它演变成为今日具有强大功能的 SAP2000。这套软件不仅可以为一般性结构分析及操作设计项目,同时它也具备了桥梁分析及施工模拟的功能。的确,SAP2000 在结构分析、设计及有限元计算中具有极其完备和可靠的多种功能,详细功能的内容已在本书中列举,就不再重复讨论。虽然 SAP2000 也像其他许多类似软件一样,具有通用有限元程序的功能,但根据我个人的了解和经验,它是一套特别适合作为土建分析及设计的软件,因为它具有特别功能,例如地震分析,混凝土及钢结构的设计,中、美及其他国家的设计规范,不同国家的钢结构数据库等,这些功能强化了 SAP2000 在土建领域应用的优势。

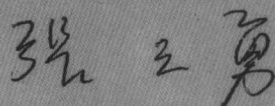
SAP2000 在北美、欧洲、日本、中国台湾、中国香港以及新加坡等国家和地区被设计单位广泛的采用,著名的工程项目已采纳 SAP2000 做结构分析的包括马来西亚的 Petronic Twin Towers,香港的中国银行及 IFC 金融中心,上海的金茂大厦等等。

我也很高兴得知中国建筑标准设计研究院旗下的北京金土木软件技术有限公司将 SAP2000 本地化成中文版,并添加了中国的建筑及桥梁设计规范,这将会极大地推动中国工程领域的发展。我对 SAP2000 会逐渐地被中国工程界广泛运用充满了信心,同时 SAP2000 中文版的出现也将对中国市场带来两个正面的影响:

1. 它提供给工程界一个独立、高档次的结构分析及有限元软件;
2. 它的出现,会促进有限元软件的竞争,进而会提高软件的质量;

量及用户的服务效能。

最后,我深感金土木软件公司开发的 SAP2000 中文版将会受到国内土建行业无比的欢迎,在此祝福金土木软件一帆风顺。



香港科技大学荣誉退休教授
上海交大、同济大学客座教授
2006.05.29 于上海

前言

QIANYAN

SAP2000 中文版是继 ETABS 中文版之后,由北京金土木软件技术有限公司、中国建筑标准设计研究院与美国 CSI 公司共同研制开发的通用结构分析与设计软件,2004 年 11 月正式发布。在不到两年的时间里,SAP2000 中文版的用户已经遍及全国各个省市及香港、台湾地区,数量达到 200 多家,包括大型设计院、外资设计事务所、大专院校及科研机构,而且这一数目还在不断增长中。SAP2000 中文版软件正在中国基础设施建设中发挥着越来越重要的作用,SAP2000 为各地的标志性建筑提供了强大的分析技术。

SAP2000 来源于 SAP,SAP 程序是历史最悠久,也是最负盛名的结构分析软件,已经有近 40 年的历史,SAP 程序最早源于加州大学 Berkeley 分校的 Wilson 教授的研究开发工作,它已是结构分析程序的代名词。改革开放后不久,由张之勇教授带回国内的 SAP 程序使得我国的工程设计人员和教学科研人员有机会接触到世界一流的有限元分析软件;现在我们与 CSI 合作,将现行的中国结构设计规范纳入其中,推出了 SAP2000 中文版本。由于 SAP2000 强大的功能,要熟练地掌握软件,做到融会贯通往往需要花费很多时间。因此,我们总结了 SAP2000 中文版的开发技术环节、培训的教学经验以及在技术支持中遇到的来自设计院的一些实际问题,精心编写了这本《SAP2000 中文版使用指南》,以此献给我国广大的结构工程师、从事结构专业的科研人员及在校的大学生、研究生,以进一步推动 SAP2000 中文版在全国的深入应用。

本书是继《ETABS 中文版使用指南》之后系列教程的第二篇,本书较前一篇有较大的改进,不论是内容的编排,还是工程应用,都力求对实际工程设计有指导意义,同时由于 SAP2000 的应用面实在太广,我们也只能是选取常用的结构类型来介绍,尽可能

地压缩软件基本操作层面的内容。即便如此,由于篇幅的限制,有些内容还是不得不忍痛割爱,有关软件本身的操作和技术文档,建议读者参阅软件附带的相关技术资料。

本书共分6个部分,总共由30章组成。第一部分是SAP2000的基本概念,共2章:第1章概括性地介绍了SAP2000中文版的历史由来和基本功能;第2章介绍程序的集成化图形用户界面及建模、分析、设计的基本过程。第二部分为SAP2000中文版的建模功能,共分8章,章节按照建模的操作顺序安排:第3章介绍坐标系与轴网;第4章介绍单元库类型;第5章介绍材料与截面的定义方法;第6章介绍对象的绘制及修改方法;第7章介绍如何施加荷载工况;第8章介绍结构特殊功能的指定方法;第9章介绍各种视图功能;第10章介绍快速建模及导入导出功能。第三部分详细阐述了SAP2000中文版的分析功能,共分4章:第11章介绍分析工况及其设置方法;第12章介绍模态分析与反应谱分析;第13章介绍线性时程分析方法;第14章介绍分析结果的输出及查看。第四部分是SAP2000中文版的设计功能,特别是中国规范的应用,共分3章:第15章介绍荷载组合有关的内容;第16章介绍混凝土框架及壳设计;第17章介绍钢框架设计及优化。第五部分是SAP2000中文版的高级分析功能,共5章:第18章介绍屈曲分析;第19章介绍Pushover分析和阶段施工分析;第20章的内容是非线性时程分析;第21章是频域分析的内容;第22章介绍了桥梁模块的应用。第六部分是SAP2000中文版的工程应用,共8章:第23章介绍了索结构和玻璃幕墙的应用;第24章介绍了预应力钢结构的应用;第25章介绍了复杂高层钢结构的应用;第26章介绍了复杂高层混合结构的应用;第27章介绍体育场馆的工程应用;第28章介绍工业建筑应用;第29章介绍桥梁工程(斜拉桥)应用;第30章介绍混凝土重力坝工程应用。

本书在编写上兼顾SAP2000中文版的初学者及使用SAP2000中文版进行过实际工程结构分析和设计的高级用户,力求全面、正确和实用。对于初学者,按照章节顺序,学习完第2章后,可以进行简单的结构工程的分析与设计,然后,按顺序学习完第二~四部分之后,就可以进行一般实际结构工程的分析与设计,可以处理结构工程中遇到的普遍问题。第五部分可以根据需要有选择地学习,了解SAP2000强大的分析功能。第六部分是各种结

构体系的实际应用问题,读者既可根据自己的工作需要有选择地阅读和钻研,也可以通读以达到举一反三自如应用软件的目的。

本书附光盘一张,包括 SAP2000 中文版最新的试用版(用户亦可以向金土木公司索取),以及本书所介绍的实例文件,供读者使用。

参加本书的编写人员及具体分工为:李楚舒编写第 1 章;沈万湘编写第 2、3、5、14 章;李胜林编写第 4、22、29 章;常弘编写第 6、7、15 章;郑毅编写第 8、9、10、17 章;李立编写第 11、16、18、30 章;李永双编写第 12、13、20、27 章;刘春明编写第 19 章;李文峰编写第 21、28 章;邓映捷编写第 23 章;刘威编写第 24 章;林海编写第 25 章;肖从真、许自国编写第 26 章,附录由林述涛编写。北京金土木软件技术有限公司负责全书的校对工作,刘春明、李楚舒负责全书的组织编排与统稿工作。

北京金土木软件技术有限公司高级技术顾问、香港科技大学荣誉退休教授、结构工程著名学者张之勇教授欣然为本书作序。在 SAP2000 中文版的开发和本书的编写过程中得到了美国 CSI 公司 Ashraf 总裁、Syed 副总裁、Iqbal 博士等人的全力支持和密切协助。在本书的编写过程中,得到了人民交通出版社陈志敏编辑的大力支持。在此一并表示诚挚的谢意。

由于时间和编者水平的局限,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者批评指正。也欢迎业内人士来信来函、登陆网站进行讨论。我们的通讯地址是:北京车公庄大街 19 号中国建筑标准设计研究院北京金土木软件技术有限公司,邮编:100044,电话:010—88383866,传真:010—88381056,网址:www.bjcks.com,Email: info@bjcks.com。

北京金土木软件技术有限公司
中国建筑标准设计研究院
2006 年 6 月

目录

MULU

第一部分 SAP2000 基本概念

第 1 章	SAP2000 中文版概述	3
1.1	集成化的环境	5
1.2	强大的分析功能	6
1.3	一体化的设计功能	7
第 2 章	集成化用户界面及基本概念	9
2.1	集成化用户界面组成	9
2.2	菜单命令	10
2.3	工具栏	13
2.4	显示窗	14
2.5	状态条	14
2.6	鼠标的使用	15
2.7	基本概念	16
2.7.1	对象	16
2.7.2	对象模型和分析模型	17
2.8	基本过程	17
2.9	例题	18

第二部分 建模功能

第 3 章	坐标系与轴网	33
3.1	轴网	33
3.1.1	新建轴网	33
3.1.2	整体坐标系和附加坐标系	36
3.1.3	一般轴网系统	38
3.2	参考线	42
第 4 章	单元库	44

4.1	SAP2000 中的自动边束缚功能	44
4.2	SAP2000 的单元特点及其分类	45
4.3	线单元	46
4.3.1	框架单元	46
4.3.2	预应力筋/束单元	49
4.4	面单元	50
4.4.1	板壳对象	50
4.4.2	平面单元	53
4.4.3	轴对称实体单元	55
4.5	体单元	56
4.6	连接单元	56
4.6.1	线性连接	57
4.6.2	多段线弹性连接单元	57
4.6.3	多段线性塑性连接单元	57
4.6.4	粘滞阻尼单元	60
4.6.5	缝单元	61
4.6.6	钩单元	61
4.6.7	Wen 塑性单元	61
4.6.8	橡胶隔振单元	62
4.6.9	摩擦摆隔振单元	62
4.6.10	拉/压限制隔振单元	64
4.7	不同单元类型之间的连接	64
第 5 章 材料与截面		66
5.1	材料定义	66
5.1.1	一般材料定义	66
5.1.2	材料高级属性定义	71
5.2	框架截面定义	74
5.2.1	导入截面	75
5.2.2	一般截面定义	77
5.2.3	变截面定义	81
5.2.4	自动截面选择列表定义	83
5.2.5	截面设计器定义截面	85
5.3	面截面定义	95
5.3.1	壳截面定义	96
5.3.2	平面截面定义	99
5.3.3	轴对称实体单元定义	100

5.4	实体单元截面定义	101
第6章	对象绘制与修改	104
6.1	捕捉功能	104
6.2	点对象(节点)的绘制	105
6.3	线对象的绘制	106
6.3.1	绘制直线框架	106
6.3.2	绘制曲线框架	107
6.3.3	绘制钢束	108
6.3.4	绘制索	109
6.3.5	绘制次梁	110
6.3.6	绘制支撑	111
6.3.7	绘制线对象的辅助功能	112
6.4	面对象的绘制	116
6.4.1	绘制壳面	116
6.4.2	绘制斜面	118
6.5	实体单元的绘制	121
6.6	重定形命令	122
6.7	组的操作	122
6.8	选择功能	124
6.8.1	基本选择操作(点选、窗选、相交线选择)	124
6.8.2	按照性质选择	124
6.8.3	按照编号选择	124
6.8.4	辅助选择功能(全选、清除选择、反选)	125
6.9	对象信息查看	126
6.9.1	点信息	126
6.9.2	线信息	128
6.9.3	面信息	130
6.9.4	实体信息	132
第7章	荷载工况和施加	134
7.1	定义静力荷载工况	134
7.2	自动地震荷载工况	135
7.3	反应谱工况	137
7.4	自动风荷载工况	141
7.5	波浪荷载	143
7.6	车道荷载	145
7.7	节点样式	146

7.8	集中荷载	147
7.8.1	给点对象施加集中荷载	148
7.8.2	给线对象施加集中荷载	148
7.9	分布荷载	149
7.9.1	面均布荷载	150
7.9.2	线均布荷载	151
7.10	风荷载	152
7.11	温度荷载	153
7.12	地面位移荷载	155
7.13	应变荷载	156
7.14	表面压力荷载	156
7.15	孔隙压力荷载	157
7.16	预应力荷载	158
7.17	荷载的显示	159
第8章	特殊功能指定	163
8.1	节点约束(restraint)	163
8.2	节点束缚(constraint)	165
8.3	节点区	173
8.3.1	节点区的指定	173
8.3.2	节点区输出约定	176
8.3.3	节点区变形和内力输出	176
8.4	插入点(线单元、面单元偏心)	178
8.4.1	线单元插入点的指定	178
8.4.2	面单元插入点的指定	179
8.5	线对象端部偏移(刚域)	181
8.5.1	端部偏移的作用	181
8.5.2	线对象端部偏移的指定	181
8.5.3	端部偏移的显示输出	182
8.6	线对象端部释放	184
8.7	对象的局部坐标轴	185
8.7.1	默认局部坐标轴方向	185
8.7.2	局部坐标轴的显示	187
8.7.3	局部坐标轴的修改	189
8.8	拉压比限定(单拉单压构件)	197
8.9	单元剖分	199
8.9.1	线对象自动框架细分	199

8.9.2	面对象自动网格剖分	199
8.9.3	实体对象自动网格剖分	201
第 9 章	视图功能	203
9.1	显示窗口的设定	203
9.2	三维、二维视图定义及控制	205
9.2.1	三维视图的定义及显示	205
9.2.2	二维视图的定义及显示	205
9.2.3	定义新视图	206
9.2.4	显示定义的新视图	208
9.3	视图显示控制	208
9.3.1	显示内容控制	208
9.3.2	显示范围控制	216
9.3.3	视图缩放控制	216
9.4	颜色显示控制	217
9.4.1	显示颜色控制	217
9.4.2	输出颜色控制	218
9.5	Open GL 视图功能	219
9.6	生成 AVI 视频功能	222
9.6.1	多步动画视频	222
9.6.2	循环动画视频	223
9.7	其他基本视图设置功能	223
9.8	SAP2000 中的 OpenGL 视图	227
第 10 章	快速建模及导入导出	229
10.1	模板建模功能	229
10.1.1	新模型初始化模板	229
10.1.2	用模板添加结构到现有模型	249
10.2	AutoCAD 导入导出	251
10.2.1	导入 AutoCAD. dxf 文件	251
10.2.2	导出 AutoCAD. dxf 文件	253
10.3	模型组装及 Access、Excel 辅助功能	253
10.3.1	模型组装	254
10.3.2	Access、Excel 辅助功能	254
10.4	SAP2000 交互式数据库编辑功能	256
10.5	\$2K 文本文件及从 ETABS 中导入模型	260
10.5.1	\$2K、S2K 文本文件	261
10.5.2	从 ETABS 中导入模型	261

10.6	与其他程序软件数据接口	262
10.6.1	由 SAP2000 导入其他软件的模型	263
10.6.2	由 SAP2000 导出到其他软件	264

第三部分 分析功能

第 11 章	分析工况	267
11.1	定义分析工况	267
11.2	分析类型简介	269
11.2.1	线性分析	269
11.2.2	非线性分析	269
11.3	几何非线性	271
11.3.1	几何刚度	271
11.3.2	重力 $P-\Delta$ 效应	273
11.3.3	大位移	274
11.3.4	初始静力非线性工况	275
11.4	施加荷载	275
11.5	工况组合	276
11.6	分析顺序	278
11.7	运行分析工况	279
11.7.1	设置分析选项	279
11.7.2	运行分析	280
第 12 章	模态分析及反应谱分析	283
12.1	模态分析	284
12.1.1	模态分析的基本理论	284
12.1.2	SAP2000 模态分析中质量源定义	286
12.1.3	特征向量法和 Ritz 向量法	287
12.1.4	质量参与系数和荷载参与系数	289
12.1.5	算例	293
12.2	反应谱分析	299
12.2.1	反应谱分析的基本理论与方法	299
12.2.2	振型组合的基本理论与方法	300
12.2.3	方向组合基本方法	303
12.2.4	中国规范反应谱分析在 SAP2000 中的实现	303
第 13 章	线性动力分析	306

13.1	线性时程分析的基本理论	306
13.1.1	时间积分方式	307
13.1.2	阻尼参数设置	309
13.2	时程曲线的输入	310
13.2.1	地震时程曲线的选取	311
13.2.2	任意动荷载时程曲线的输入	312
13.3	线性时程分析工况的定义	313
13.3.1	时程类型	313
13.3.2	时程运动类型	314
13.3.3	初始条件	314
13.3.4	荷载作用施加	315
13.3.5	时间步数据	316
13.3.6	阻尼参数	316
13.4	线性时程分析结果的读取与输出	320
13.4.1	时程轨迹的显示	320
13.4.2	反应谱曲线的输出	324
第 14 章	结果与输出	327
14.1	分析结果图形输出	327
14.1.1	显示变形形状	327
14.1.2	显示力/应力	329
14.2	分析、设计结果数据表格显示	344
14.2.1	表格显示内容	344
14.2.2	设置表格格式(*.fmt)及过滤器的使用	355
14.3	分析、设计结果数据文件输出	359
14.3.1	打印表格输出	359
14.3.2	导出数据文件	360
14.3.3	定义命名集	362
14.4	特殊输出	365
14.4.1	截面切割与广义位移	365
14.4.2	定制书写报告器	375

第四部分 设计功能

第 15 章	荷载组合	383
15.1	默认荷载组合与荷载组合的定义	383
15.2	用户自定义组合	386

第 16 章 混凝土框架结构设计及壳设计	388
16.1 混凝土框架结构设计的一般过程	388
16.2 设计首选项及设计组合	389
16.3 交互式设计	391
16.4 中国规范相关信息	394
16.4.1 刚度调整系数	394
16.4.2 竖向荷载作用下梁弯矩调整	395
16.4.3 结构周期比验算	395
16.4.4 框架构件的抗震等级	395
16.4.5 框架构件的内力调整	395
16.5 设计结果输出	396
16.5.1 图形输出	396
16.5.2 各荷载组合工况设计结果及细节输出	400
16.5.3 表格输出	404
16.5.4 文本输出	407
16.6 壳设计	408
第 17 章 钢结构设计和优化过程	411
17.1 钢结构设计过程	411
17.2 自动选择截面列表的设置	412
17.3 钢结构设计首选项	414
17.4 钢结构设计条件设定	416
17.4.1 设定设计组	416
17.4.2 选择设计组合	417
17.4.3 查看/修改钢构件的覆盖项	417
17.4.4 设定自动优化目标	421
17.5 钢结构自动优化设计及交互式设计	423
17.5.1 自动优化设计	423
17.5.2 交互式钢框架设计	424
17.6 设计结果显示输出	425
17.6.1 设计结果屏幕图形显示输出	425
17.6.2 设计结果屏幕表格显示输出	426
17.6.3 设计结果的其他输出方式	429

第五部分 高级分析功能

第 18 章 屈曲分析	439
--------------------------	-----