

• 附多媒体教学光盘，内含结构分析动画实例

SAP2000

结构分析简明教程

陈世民 何琳 陈卓 编译



人民交通出版社

China Communications Press

SAP2000 Jiegou Fenxi Jianming Jiaocheng

SAP2000 结构分析简明教程

陈世民 何琳 陈卓 编译

人民交通出版社

内 容 提 要

本书结合作者的教学和实践经验,系统介绍了 SAP2000 有限元结构分析系统的坐标系、节点、单元、材料、截面、荷载、约束与限制、静力分析、模态分析、响应谱分析及桥梁分析等各部分。本书采用中英文对照的方式编写,是为了加强对 SAP2000 英文术语和帮助文档的理解。

本书后附多媒体教学光盘,内含 19 个精心制作的 SAP2000 有限元结构分析动画实例,重点突出、针对性强、涵盖丰富。

本书可作为桥梁与隧道、房屋建筑、道路、铁道等专业的高等学校教材,同时亦可作为工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

SAP 2000 结构分析简明教程/陈世民,何琳,陈卓编
译. —北京:人民交通出版社,2005.2
ISBN 7-114-05422-X

I .S... II .①陈...②何...③陈... III .桥梁结构
-结构分析-应用软件,SAP 2000-教材-汉、英
IV .U443-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 004631 号

书 名: SAP2000 结构分析简明教程

著 者: 陈世民 何琳 陈卓

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)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: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×960 1/16

印 张: 13

字 数: 226 千

版 次: 2005 年 2 月第 1 版

印 次: 2005 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05422-X

印 数: 0001~4000 册

定 价: 22.00 元

(如有印刷、装订质量问题,由本社负责调换)

内 容 简 介

- SAP2000 是著名的有限元结构分析程序。本书结合作者多年的教学 and 实践经验,系统介绍 SAP2000 有限元结构分析系统的坐标系、节点、单元、材料、截面、荷载、约束与限制、静力分析、模态分析、响应谱分析及桥梁分析等。

- 本书自带多媒体教学光盘,含有多个精心制作的 SAP2000 有限元结构分析动画实例,各实例重点突出、针对性强,涵盖多种分析类型,形象直观、通俗易懂。

- 本书参考《SAP2000 BASIC ANALYSIS REFERENCE》和《SAP2000 ANALYSIS REFERENCE MANUAL》,采用中英文对照的形式,有利于帮助读者理解 SAP2000 结构分析系统中的概念和原理,也有利于加强读者对 SAP2000 英文术语和帮助文档的理解。

- 本书可作为道路工程、铁道工程、桥梁与隧道工程、工业与民用建筑工程等专业的教材,同时也可作为有关工程技术人员的参考用书。

Table of Contents

Chapter I Introduction

About This Manual	1
Topics	1
Bibliographic References	2

Chapter II Objects and Elements

Chapter III Coordinate Systems

Overview	6
Global Coordinate System	7
Upward and Horizontal Directions	7
Local Coordinate Systems	8

Chapter IV The Frame Element

Overview	10
Joint Connectivity	12
Joint Offsets	12
Degrees of Freedom	14
Local Coordinate System	14
Longitudinal Axis 1	15
Default Orientation	15
Coordinate Angle	16
Section Properties	17
Local Coordinate System	18
Material Properties	18
Geometric Properties and Section Stiffnesses	19
Shape Type	21

目录

第一章 简介

关于本书	1
主题	1
参考文献	2

第二章 对象和单元

第三章 坐标系

概述	6
全局坐标系	7
向上和水平方向	7
局部坐标系	8

第四章 杆件单元

概述	10
节点连接	12
节点偏移	12
自由度	14
局部坐标系	14
纵向主轴 1	15
默认方位	15
坐标角	16
截面特性	17
局部坐标系	18
材料特性	18
几何特性和截面刚度	19
截面形状类型	21

Automatic Section Property Calculation	22	截面特性自动计算	22
Section Property Database Files	22	截面特性数据库文件	22
Insertion Point	25	插入点	25
End Offsets	28	端部偏移	28
Clear Length	28	净长度	28
Effect upon Internal Force Output	29	对内力输出的影响	29
Effect upon End Releases	30	对端部释放的影响	30
End Releases	30	端部释放	30
Unstable End Releases	31	不稳定的端部释放	31
Effect of End Offsets	32	端部偏移的影响	32
Mass	32	质量	32
Self-Weight Load	33	自重荷载	33
Concentrated Span Load	34	跨内集中荷载	34
Distributed Span Load	35	跨内分布荷载	35
Loaded Length	35	加载长度	35
Load Intensity	36	荷载密度	36
Internal Force Output	36	内力输出	36
Effect of End Offsets	41	端部偏移的影响	41

Chapter V The Shell Element

第五章 壳单元

Overview	42	概述	42
Joint Connectivity	44	节点连接	44
Degrees of Freedom	47	自由度	47
Local Coordinate System	48	局部坐标系	48
Normal Axis 3	49	法向轴 3	49
Default Orientation	49	默认方位	49
Coordinate Angle	50	坐标角	50
Section Properties	51	截面特性	51
Section Type	51	截面类型	51
Thickness Formulation	53	厚度公式	53
Material Properties	54	材料特性	54
Thickness	54	厚度	54
Mass	55	质量	55
Self-Weight Load	56	自重荷载	56

Uniform Load	57	均布荷载	57
Internal Force and Stress Output	57	内力和应力输出	57
Chapter VI Joints and Degrees of Freedom		第六章 节点和自由度	
Overview	61	概述	61
Modeling Considerations	63	建模注意事项	63
Local Coordinate System	65	局部坐标系	65
Degrees of Freedom	66	自由度	66
Available and Unavailable Degrees of Freedom	67	有效与无效自由度	67
Restrained Degrees of Freedom	68	约束自由度	68
Constrained Degrees of Freedom	69	限制自由度	69
Active Degrees of Freedom	69	活动自由度	69
Null Degrees of Freedom	71	空自由度	71
Restraints and Reactions	71	约束和反力	71
Springs	73	弹簧	73
Masses	75	质量	75
Force Load	78	力荷载	78
Ground Displacement Load	78	基础位移	78
Restraint Displacements	79	约束位移	79
Spring Displacements	79	弹簧位移	79
Chapter VII Joint Constraints		第七章 节点限制	
Overview	82	概述	82
Diaphragm Constraint	83	薄膜限制	83
Joint Connectivity	85	节点连接	85
Plane Definition	85	平面定义	85
Local Coordinate System	86	局部坐标系	86
Constraint Equations	86	限制方程	86
Chapter VIII Static and Dynamic Analysis		第八章 静力和动力分析	
Overview	87	概述	87
Loads	88	荷载	88

Load Cases	88
Acceleration Loads	89
Analysis Cases	90
Linear Static Analysis	91
Modal Analysis	92
Eigenvector Analysis	92
Ritz-vector Analysis	94
Modal Analysis Results	97
Response-Spectrum Analysis	100
Local Coordinate System	102
Response-Spectrum Functions	103
Response-Spectrum Curve	103
Modal Combination	105
Directional Combination	108
Response-Spectrum Analysis Results	109

Chapter IX Bridge Analysis

Overview	112
Modeling the Bridge Structure	115
Frame Elements	115
Supports	116
Bearings and Expansion Joints	117
Other Element Types	119
Roadways and Lanes	120
Roadways	120
Lanes	121
Eccentricities	121
Modeling Guidelines	122
Examples	123
Spatial Resolution	126
Load and Output Points	126
Resolution	128
Modeling Guidelines	129

荷载工况	88
加速度荷载	89
分析工况	90
线性静力分析	91
模态分析	92
特征值分析	92
里兹矢量分析	94
模态分析结果	97
响应谱分析	100
局部坐标系	102
响应谱函数	103
响应谱曲线	103
模态组合	105
方向组合	108
响应谱分析结果	109

第九章 桥梁分析

概述	112
模拟桥梁结构	115
杆件单元	115
支承条件	116
支座和伸缩缝	117
其他类型单元	119
道路与车道	120
道路	120
车道	121
车道偏移	121
建模指南	122
例子	123
空间分辨率	126
加载点与输出点	126
分辨率	128
建模指南	129

Influence Lines	130	影响线	130
Vehicles	132	车辆	132
Direction of Loads	133	荷载方向	133
Application of Loads	133	荷载施加	133
Option to Allow Reduced Response Severity	135	减轻响应强度选项	135
General Vehicle	135	通用车辆	135
Standard Vehicles	141	标准车辆	141
Vehicle Classes	148	车辆分类	148
Moving Load Cases	149	移动荷载工况	149
Example 1-AASHTO HS Loading	150	例题一 AASHTO HS 加载	150
Example 2-AASHTO HL Loading	153	例题二 AASHTO HL 加载	153
Example 3-Caltrans Permit Loading	154	例题三 Caltrans 容许加载	154
Example 4-Restricted Caltrans Permit Loading	156	例题四 强制 Caltrans 容许加载	156
Influence Line Tolerance	159	影响线误差	159
Exact and Quick Response Calculation	159	精确与快速响应计算	159
Moving Load Response Control	161	移动荷载响应控制	161
Correspondence	161	相关值	161
Computational Considerations	162	计算考虑	162

第十章 计算实例(附光盘)

实例一 简单刚架	165
实例二 温度荷载	167
实例三 斜支座	168
实例四 梯形荷载	170
实例五 预应力	171
实例六 AutoCAD 输入	173
实例七 桥梁分析	174
实例八 Excel 建模	176
实例九 支座位移	177
实例十 变截面	178

实例十一	弹性地基梁	179
实例十二	混凝土墙	181
实例十三	开口梁	183
实例十四	空间刚架	184
实例十五	模态分析	185
实例十六	穹顶圆柱	187
实例十七	P-Delta 分析	187
实例十八	响应谱分析	189
实例十九	时程分析	190
第十一章	参考文献	193

Chapter I Introduction

- ◇ SAP2000 is the latest and most powerful version of the well-known SAP series of structural analysis programs.

About This Manual

- ◇ This manual describes the basic and most commonly used modeling and analysis features offered by the SAP2000 structural analysis program. It is imperative that you read this manual and understand the assumptions and procedures used by the program before attempting to create a model or perform an analysis.
- ◇ The complete set of modeling and analysis features is described in the *SAP2000 Analysis Reference*.
- ◇ As background material, you should first read chapter "The Structural Model" in the *SAP2000 Getting Started* manual earlier in this volume. It describes the overall features of a SAP2000 model. The present manual will provide more detail on some of the elements, properties, loads, and analysis types.

Topics

- ◇ Each chapter of this manual is divided into topics and subtopics. Most chapters

第一章 简介

- ◇ SAP2000 是著名的 SAP 系列结构分析程序的最新版本。

关于本书

- ◇ 本书介绍 SAP2000 结构分析程序最常用的建模和分析功能。在进行建模和分析之前,请务必阅读本书,理解其基本假定和分析步骤。
- ◇ 详细的建模和分析功能,请参阅《SAP2000 分析指南》。
- ◇ 作为背景知识,用户应该首先了解《SAP2000 入门教程》的“结构模型”部分,其描述了 SAP2000 结构模型的各项特性。本书主要介绍常用的单元、属性、荷载和分析类型。

主题

- ◇ 本书各章均划分为多个主题和子主题。大部分章节

begin with a list of topics covered. Following the list of topics is an Overview which provides a summary of the chapter.

Bibliographic References

- ◇ References are indicated throughout this manual by giving the name of the author (s) and the date of publication, using parentheses. For example:
 See Wilson and Tetsuji (1983).
 It has been demonstrated (Wilson, Yuan, and Dickens, 1982) that...
- ◇ All bibliographic references are listed in alphabetical order in Chapter "Bibliography".

在开始处列出本章的所有主题，主题之后是概括本章内容的综述。

参考文献

- ◇ 本书指明引用的参考文献，注明作者的姓名和出版日期，用括号表示。如：
 参见 Wilson and Tetsuji (1983)
 已被证明 (Wilson, Yuan and Dickens, 1982)
- ◇ 所有参考文献均在“参考文献”一章中按字母顺序列出。

Chapter II Objects and Elements

- ◇ The physical structural members in a SAP2000 model are represented by objects. Using the graphical user interface, you “draw” the geometry of an object, then “assign” properties and loads to the object to completely define the model of the physical member.

- ◇ The following object types are available, listed in order of geometrical dimension:
 - **Point objects**, of two types:
 - ✓ **Joint objects**: These are automatically created at the corners or ends of all other types of objects below, and they can be explicitly added to model supports or other localized behavior.
 - ✓ **Grounded (one-joint) link objects**: Used to model special support behavior such as isolators, dampers, gaps, multilinear springs, and more. These are not covered in this manual.
 - **Line objects**, of two types
 - ✓ **Frame/cable objects**: Used to model beams, columns, braces, trusses, and/or cable members

第二章 对象和单元

- ◇ SAP2000 模型的实际结构构件用对象来体现。通过图形界面,用户首先“画出”对象的几何特征,然后“指定”荷载和属性到对象上,完成实际构件模型。

- ◇ 程序中包含下列对象类型,以几何顺序列出:
 - **点对象**,包含两类:
 - ✓ **节点对象**:自动在以下所有对象的角部或端部生成,可以明确地加入支座或其他局部特性。
 - ✓ **对地(单点)连接对象**:用来模拟特殊支承特性,如隔离器、阻尼器、缝隙、多线性弹簧等。本书不包含这些内容。
 - **线对象**,包含两类:
 - ✓ **杆件/索对象**:用来模拟梁、柱、支撑、桁架和索等。

✓ **Connecting (two-joint) link objects:** Used to model special member behavior such as isolators, dampers, gaps, multilinear springs, and more. Unlike frame/cable objects, connecting link objects can have zero length. These are not covered in this manual.

● **Area objects:** Used to model walls, floors, and other thin-walled members, as well as two-dimensional solids (plane stress, plane strain, and axisymmetric solids). Only shell-type area objects are covered in this manual

● **Solid objects:** Used to model three-dimensional solids. These are not covered in this manual.

◇ As a general rule, the geometry of the object should correspond to that of the physical member. This simplifies the visualization of the model and helps with the design process.

◇ If you have experience using traditional finite element programs, including earlier versions of SAP2000, you are probably used to meshing physical models into smaller finite elements for analysis purposes. Object-based modeling largely eliminates the need for doing this.

✓ **连接(两点)对象:** 用来模拟特殊构件特性,如隔离器、阻尼器、缝隙、多线性弹簧等。与杆件/索对象不同,连接对象可以是零长度。本书不包含这些内容。

● **面对象:** 用来模拟墙、楼板及其他薄壁构件,也可模拟二维实体(平面应力、平面应变、轴对称实体)。本书只包含壳单元。

● **实体对象:** 用来模拟三维实体。本书不包含这些内容。

◇ 作为一般原则,对象的几何特性应与实际构件一致。这可增强模型的可视性并有利于设计过程。

◇ 如果你有使用传统有限元程序的经验,包括早期版本的 SAP2000,可能已习惯于把物理模型划分为更小的单元进行分析。基于对象建模大大消除了这种必要。

- ◇ For users who are new to finite-element modeling, the object-based concept should seem perfectly natural.
- ◇ When you run an analysis, SAP2000 automatically converts your object-based model into an element-based model that is used for analysis. This element-based model is called the analysis model, and it consists of traditional finite elements and joints (nodes). Results of the analysis are reported back on the object-based model.
- ◇ You have control over how the meshing is performed, such as the degree of refinement, and how to handle the connections between intersecting objects. You also have the option to manually mesh the model, resulting in a one-to-one correspondence between objects and elements.
- ◇ In this manual, the term “element” will be used more often than “object”, since what is described herein is the finite-element analysis portion of the program that operates on the element-based analysis model. However, it should be clear that the properties described here for elements are actually assigned in the interface to the objects, and the conversion to analysis elements is automatic.
- ◇ 对有限元建模的初学者来说,基于对象的概念更加自然些。
- ◇ 当进行分析时, SAP2000 自动将基于对象的模型转换成基于单元的模型进行分析。这种基于单元的模型称为分析模型,它包含传统有限元的单元和节点。分析的结果会自动转换到基于对象的模型上。
- ◇ 用户可以控制网格划分,如自由度细分、相交对象的连接处理等。也可以手工划分模型网格,使对象和单元一一对应。
- ◇ 本书中,“单元”比“对象”使用得更多,因为本书介绍的是程序的有限元分析部分,其处理过程基于单元的分析模型。然而,需要明确的是,这里描述的单元属性在程序界面中是指定给对象的,由程序自动转换到单元上。

Chapter III Coordinate Systems

- ◇ Each structure may use many different coordinate systems to describe the location of points and the directions of loads, displacement, internal forces, and stresses. Understanding these different coordinate systems is crucial to being able to properly define the model and interpret the results.

Topics

- Overview
- Global Coordinate System
- Upward and Horizontal Directions
- Local Coordinate Systems

Overview

- ◇ Coordinate systems are used to locate different parts of the structural model and to define the directions of loads, displacements, internal forces, and stresses.
- ◇ All coordinate systems in the model are defined with respect to a single, global X-Y-Z coordinate system. Each part of the model (joint, element, or constraint) has its own local 1-2-3 coordinate system. In addition, you may create alternate coordinate systems that are used to define locations and directions. All coordinate systems are three-dimensional, right-handed, rectangular (Cartesian) systems.

第三章 坐标系

- ◇ 每个结构可能使用多个不同的坐标系来描述点的位置和荷载、位移、内力及应力的方向。理解这些不同的坐标系对正确建模和解释计算结果是至关重要的。

主题

- 概述
- 全局坐标系
- 向上和水平方向
- 局部坐标系

概述

- ◇ 坐标系用来定位结构模型的不同部分和定义荷载、位移、内力和应力的方向。
- ◇ 模型中的所有坐标系均参照一个单一的全局 X-Y-Z 坐标系定义。模型的各个部分(节点、单元或限制)都有各自的 1-2-3 局部坐标系。另外,也可以创建其他坐标系来定义位置和方向。所有坐标系都是三维右手直角坐标系(笛卡尔坐标系)。

- ◇ SAP2000 always assumes that Z is the vertical axis, with + Z being upward. The upward direction is used to help define local coordinate systems, although local coordinate systems themselves do not have an upward direction.
- ◇ For more information and additional features, see Chapter "Coordinate Systems" in the *SAP2000 Analysis Reference* and the Help Menu in the SAP2000 graphical user interface.
- ◇ SAP2000 总是假设 Z 为竖直方向, + Z 向上。尽管局部坐标系本身没有向上方向,但向上的 Z 方向可用于帮助定义局部坐标系。
- ◇ 更多的信息和特性请参见《SAP2000 分析指南》中的“坐标系”一章,及 SAP2000 图形用户界面的帮助菜单。

Global Coordinate System

- ◇ The **global coordinate system** is a three-dimensional, right-handed, rectangular coordinate system. The three axes, denoted X, Y, and Z, are mutually perpendicular and satisfy the right-hand rule. The location and orientation of the global system are arbitrary.
- ◇ Locations in the global coordinate system can be specified using the variables x , y , and z . A vector in the global coordinate system can be specified by giving the locations of two points, a pair of angles, or by specifying a coordinate direction. Coordinate directions are indicated using the values X, Y, and Z. For example, + X defines a vector parallel to and directed along the positive X axis. The sign is required.
- ◇ All other coordinate systems in the model are defined with respect to the global coordinate system.
- ◇ 全局坐标系是右手三维直角坐标系,记为 X、Y、Z。三个方向轴相互垂直,满足右手法则。全局坐标系的位置和方位任意。
- ◇ 全局坐标系中的位置用变量 x 、 y 、 z 表示。全局坐标系中的矢量可用两点的位位置、一对角度或一个坐标方向来确定。坐标方向用 X、Y、Z 指定,例如, + X 表示一个平行于 X 轴且指向正 X 方向的矢量。这里正负号是必须的。
- ◇ 模型中的其他坐标系都是参照全局坐标系定义的。

全局坐标系