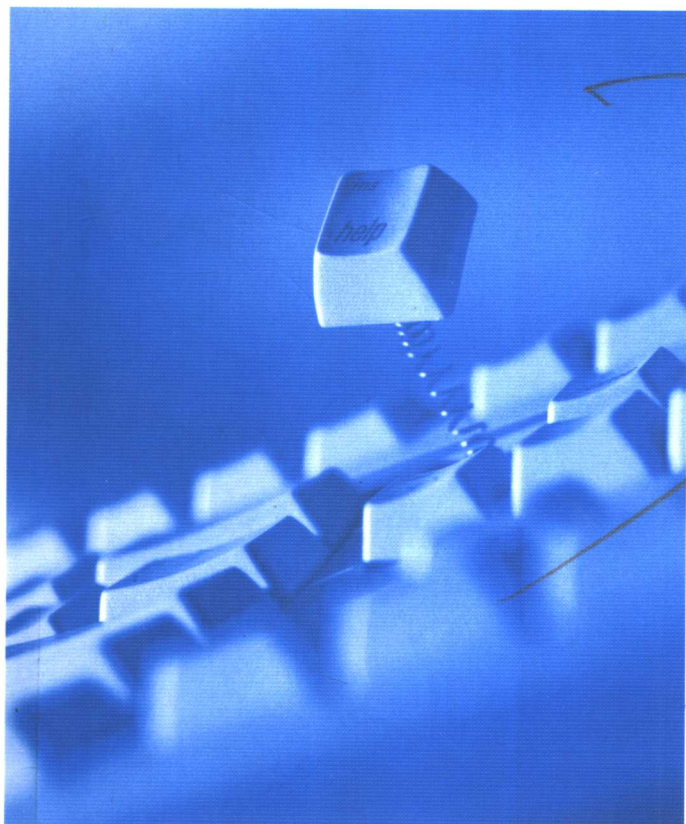


万水  
ANSYS 技术丛书

# ANSYS

## 土木工程应用实例

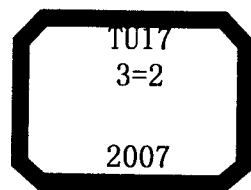
(第二版)



李 围 主 编  
叶裕明 刘春山  
沈火明 肖新标 等编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn



万水 ANSYS 技术丛书

# ANSYS 土木工程应用实例

## (第二版)

李 围 主 编

叶裕明 刘春山 沈火明 肖新标 等编著

中国水利水电出版社

## 内 容 提 要

本书用深入浅出的语言介绍 ANSYS 大型有限元软件在土木工程中的应用。本书首先简单介绍 ANSYS 软件的一些基本功能,包括软件的安装与启动、一般工程的分析步骤、文件系统的管理等内容;然后借助众多经典实例深入阐述用 ANSYS 进行土木工力学分析的相关高级技术,包括参数化语言设计、单元的生死和动画制作等;最后,以土木工程中常见的实际结构为对象,重点介绍采用 ANSYS 软件对混凝土结构、桥梁工程、隧道及地下工程、房屋结构工程、基础工程、边坡工程以及水工建筑物等工程结构进行有限元仿真分析。同时,本书还包含众多经典实例的命令流,可从中国水利水电出版社网站 <http://www.waterpub.com.cn/softdown/> 免费下载,读者可以自由选取其作为研究和学习之用。

本书既可以作为理工科院校土木、力学、建筑、岩土和水工等相关专业的高年级本科生、硕士生、博士生与教师学习 ANSYS 软件及其具体应用的教材,也可以作为从事土木建筑工程、结构分析工程等专业的科研人员、设计人员和施工人员学习使用 ANSYS 软件的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 土木工程应用实例 / 李围主编. —2 版. —北京:  
中国水利水电出版社, 2007  
(万水 ANSYS 技术丛书)  
ISBN 978-7-5084-4273-0

I. A... II. 李... III. 土木工程—有限元分析—应用程序, ANSYS—高等学校—教材 IV. TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 144184 号

书 名	ANSYS 土木工程应用实例(第二版)
作 者	李 围 主编 叶裕明 刘春山 沈火明 肖新标 等编著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www.waterpub.com.cn</a> E-mail: <a href="mailto:mchannel@263.net">mchannel@263.net</a> (万水) <a href="mailto:sales@waterpub.com.cn">sales@waterpub.com.cn</a> 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京市天竺颖华印刷
规 格	787mm×1092mm 16 开本 27.75 印张 675 千字
版 次	2005 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 2 版 2007 年 1 月第 3 次印刷
印 数	8001—12000 册
定 价	45.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换  
版权所有·侵权必究

## 序

美国 ANSYS 公司作为全球计算机辅助工程 (CAE) 领域最主要的软件供应商之一, 近 40 年来一直致力于 CAE 技术的研究和发展。ANSYS 所具有的灵活、开放的解决方案, 为概念设计到最终测试的设计全过程提供了全程 CAE 协同环境, 可以使工程师们在设计的各个阶段采用 CAE 技术, 缩短研发流程、降低研发费用、提高设计质量。无论是在国内还是国外, ANSYS 都是使用最频繁、应用范围最广的 CAE 软件之一。

在世界范围内 ANSYS 已经成为土木建筑行业分析软件的主流, 在钢结构和钢筋混凝土房屋建筑、体育场馆、桥梁、大坝、硃室、隧道以及地下建筑物等工程中得到了广泛的应用, 通过它可以对这些结构在各种外载荷条件下的受力、变形、稳定性及各种动力特性进行全面分析, 从力学计算、组合分析等方面提出了全面的解决方案, 为土木工程师提供了功能强大且方便易用的分析手段。

ANSYS 是一个大型通用的商业有限元软件, 功能完备的前后处理器、强大的图形处理能力和得心应手的实用工具使 ANSYS 软件易学易用。通过它, 用户可以很容易地实现对土木工程热点问题的处理, 例如: 预应力施加和计算、徐变、施工过程模拟、预应力筋配置计算、混凝土压溃和开裂计算等。

本书作者长期使用 ANSYS 软件从事教学、科研工作, 完成了许多大型土木工程的实际工程问题的仿真计算, 具有深厚的有限元理论背景, 对 ANSYS 软件的使用也有较深的造诣。本书内容由浅入深, 详细介绍了 ANSYS 软件在土木工程中的应用知识, 并针对土木工程各专业领域的具体应用给了具有较高参考价值的工程实例, 比如: 混凝土问题分析、桥梁结构工程应用、房屋建筑工程应用、基础工程应用、水工应用等, 并给出了很多的工程实例。本书具有较高的实用价值, 特别适于作为土木工程专业的高年级本科生、研究生和工程技术人员学习掌握 ANSYS 软件的参考教材。

ANSYS-CHINA

唐 伟

## 第二版前言

近 40 年来,随着计算机的飞速发展和广泛应用以及有限元理论的日益完善,出现了许多通用和专业的有限元计算软件,并在各个领域得到广泛应用。其中较为著名的通用大型有限元软件有 ANSYS、ALGOR、ABAQUS、MSC.NASTRAN 和 MSC.MARC 等。

ANSYS 软件作为一个大型通用有限元分析软件,能够进行结构、热、流体、电磁以及声学等学科的研究,广泛应用于土木工程、地质矿产、水利、铁道、汽车交通、国防军工、航天航空、船舶、机械制造、核工业、石油化工、轻工、电子、家用电器和生物医学等一般工业及科学研究之中。ANSYS 软件是第一个通过 ISO 9001 质量认证的大型有限元分析设计软件,是美国机械工程师协会(ASME)、美国核安全局(NQA)及近 20 种专业技术协会认证的标准分析软件。

在国内,ANSYS 是第一个通过中国压力容器标准化技术委员会认证并在国务院 17 个部委推广使用,是唯一被中国铁路机车车辆总公司选定为实现“三上”目标的有限元分析软件。

在世界范围内,ANSYS 软件已经成为土木建筑行业 CAE 仿真分析软件的主流。在钢结构和钢筋混凝土房屋建筑、体育场馆、桥梁、大坝、砗室、隧道以及地下建筑物等工程中得到广泛应用,通过它可以对这些结构在各种外载荷条件下的受力、变形、稳定性及各种动力特性进行全面分析,在力学计算、组合分析等方面提出了全面的解决方案,为土木工程师提供了功能强大且方便易用的分析手段。ANSYS 在中国的很多大型土木工程中都得到了应用,如上海金茂大厦、国家大剧院、黄河下游特大型公路斜拉桥、龙首电站大坝、二滩电站和三峡工程等都利用了 ANSYS 软件进行有限元仿真分析。

### 主要内容

本书以 ANSYS 8.0 软件为平台,书中的命令流可以在 ANSYS 6.0 至 10.0 任意版本中运行。全书共分 10 章,具体内容安排如下:

第 1 章 土木工程有限元数值模拟简介。主要介绍有限元法的起源、相关概念及分析问题的方法。

第 2 章 大型通用有限元软件 ANSYS 简介。主要介绍 ANSYS 软件的基础知识,如安装与启动、使用界面介绍、内存管理、文件管理、注释等。

第 3 章 土木工程分析中 ANSYS 相关高级技术。主要对与土木工程仿真分析有关的 ANSYS 高级技术进行了深入的阐述,如参数化设计语言、子模型与子结构、自适应网格的划分、单元的生死、图形输出和动画制作等。

第 4 章 钢筋混凝土问题 ANSYS 分析。主要介绍如何利用 ANSYS 对混凝土 SOLID65 单元、钢筋混凝土板受力分析、钢筋混凝土梁分析、预应力钢筋混凝土分析、混凝土开裂

模拟和混凝土浇筑模拟等进行了系统分析与模拟。

第5章 ANSYS 桥梁工程应用。主要介绍如何利用 ANSYS 对各种桥梁进行仿真分析。如桁架桥的受力分析、悬索桥的受力分析、移动载荷作用下桥梁的动态响应、连续刚构桥三维仿真分析、桥梁的地震响应分析和斜拉桥三维仿真分析等。

第6章 ANSYS 隧道及地下工程应用。主要介绍隧道及地下工程设计中的力学模型选择、地铁明挖隧道、高速公路隧道、双线铁路隧道和地铁盾构隧道数值模拟分析，以及隧道及地下工程中常用来模拟岩土材料的 Drucker-Prager 本构模型。

第7章 ANSYS 房屋建筑工程应用。主要介绍 ANSYS 在房屋建筑工程中的应用，如 ANSYS 三维网架设计、网架屋顶结构的受力分析和高层框架房屋结构的三维仿真等。

第8章 ANSYS 基础工程应用。主要介绍房屋建筑桩基础、房屋建筑刚性基础和桥梁全桩基础三维仿真分析的相关知识。

第9章 ANSYS 边坡工程应用。主要介绍边坡的破坏形式、影响边坡稳定的主要因素和边坡稳定性分析的主要方法以及降雨对该滑体稳定性影响的 ANSYS 实例解析等相关知识。

第10章 ANSYS 在水工中的应用。主要介绍 ANSYS 在重力坝三维仿真分析中的实际应用。

本书中所有实例的命令流都可以到 <http://www.waterpub.com.cn/softdown/> 下载以供学习研究之用。

## 本书约定

在本书中，ANSYS 的具体操作基本上均是从命令方式及 GUI（图形用户界面菜单）方式加以介绍，在 GUI 方式中，如 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models，表示依次执行各级菜单命令。

## 适用对象

本书既可以作为理工院校土木、力学、建筑等相关专业的高年级本科生、硕士生、博士生与教师学习 ANSYS 软件及其具体应用的教材，也可以作为从事土木建筑工程、结构分析工程等专业的科研人员和工程技术人员学习使用 ANSYS 软件的参考用书。

## 编写分工

在这里，我们谨代表编者和用户，向 ANSYS 公司致以诚挚的敬意和真诚的谢意，感谢其为广大用户提供的强大的工具。

在此感谢 ANSYS-CHINA 高级应用工程师唐伟为本书作序。

本书由李围任主编，叶裕明、刘春山、沈火明、肖新标、赵光明担任主要编写工作。其中，李围完成了第6章、第9章和第8章的8.4节，其余章节由叶裕明、刘春山、沈火明、肖新标、赵光明等完成。同时，参与本书部分编写工作的人员还有：邹素琼、王安贵、陈郭宜、程小英、谭小丽、卢丽娟、刘育志、吴淬砺、赵明星、贺洪俊、李小平、史利、

张燕秋、周林英、黄茂英、李力、李小琼、李修华、田茂敏、苏萍、巫文斌、邹勤、粟德容、童芳、李中全、蒋敏、刘华菊、袁媛、李建康等，在此一并感谢。

由于编写时间仓促，书中疏漏之处在所难免，欢迎广大读者和同行批评指正。如果读者愿意参加“ANSYS 土木工程应用教程”的学习培训，或是在学习过程中发现问题，或有更好的建议，欢迎致函。同时，非常愿意随时同 ANSYS 土木工程应用高手保持经常的联系，E-mail: china\_54@tom.com，我们将认真、负责地对待每位读者的来信。

编 者

2006 年 12 月

# 第一版前言

近 40 年来，随着计算机的飞速发展和广泛应用以及有限元理论的日益完善，出现了许多通用和专业的有限元计算软件，并在各个领域得到了广泛的应用。其中较为著名的通用大型有限元软件有 ANSYS、ALGOR、ABAQUS、MSC.NASTRAN 和 MSC.MARC 等。

ANSYS 软件作为一个大型通用有限元分析软件，能够进行结构、热、流体、电磁以及声学等学科的研究，广泛应用于土木工程、地质矿产、水利、铁道、汽车交通、国防军工、航天航空、船舶、机械制造、核工业、石油化工、轻工、电子、家用电器和生物医学等一般工业及科学研究之中。ANSYS 软件是第一个通过 ISO 9001 质量认证的大型有限元分析设计软件，是美国机械工程师协会（ASME）、美国核安全局（NQA）及近二十种专业技术协会认证的标准分析软件。

在国内，ANSYS 是第一个通过中国压力容器标准化技术委员会认证并在国务院十七个部委推广使用，是唯一被中国铁路机车车辆总公司选定为实现“三上”目标的有限元分析软件。

在世界范围内，ANSYS 软件已经成为土木建筑行业 CAE 仿真分析软件的主流。在钢结构和钢筋混凝土房屋建筑、体育场馆、桥梁、大坝、硐室、隧道以及地下建筑物等工程中得到了广泛的应用，通过它可以对这些结构在各种外载荷条件下的受力、变形、稳定性及各种动力特性做出全面分析。在力学计算、组合分析等方面提出了全面的解决方案，为土木工程师提供了功能强大且方便易用的分析手段。ANSYS 在中国的很多大型土木工程中都得到了应用，如上海金茂大厦、国家大剧院、黄河下游特大型公路斜拉桥、龙首电站大坝、二滩电站和三峡工程等都利用了 ANSYS 软件进行有限元仿真分析。

## 主要内容

本书以 ANSYS 7.0 为软件平台，共分 8 章。具体内容安排如下：

第 1 章 土木工程数值模拟方法简介。主要介绍了有限元法的起源、相关概念及分析问题的方法。

第 2 章 大型有限元软件 ANSYS 7.0 简介。主要介绍了 ANSYS 7.0 的基础知识，如安装与启动、使用界面介绍、内存管理、文件管理、注释等。

第 3 章 进行土木工程分析的相关高级技术。主要对与土木工程仿真分析有关的 ANSYS 的高级技术进行了深入的阐述，如参数化设计语言、子模型与子结构、自适应网格的划分、单元的生死、图形输出和动画制作等。

第 4 章 ANSYS 混凝土问题分析。主要介绍如何利用 ANSYS 对混凝土 SOLID65 单元、钢筋混凝土板受力分析、钢筋混凝土梁分析、预应力钢筋混凝土分析、混凝土开裂模拟和混凝土浇筑模拟等进行了系统分析与模拟。



第5章 ANSYS 混凝土问题分析。主要介绍如何利用 ANSYS 对各种桥梁进行仿真分析。如桁架桥的受力分析、悬索桥的受力分析、移动载荷作用下桥梁的动态响应、连续刚构桥三维仿真分析、桥梁的地震响应分析和斜拉桥三维仿真分析等。

第6章 ANSYS 房屋建筑工程应用。主要介绍了 ANSYS 在房屋建筑工程中的应用，如 ANSYS 三维网架设计、网架屋顶结构的受力分析和高层框架房屋结构的三维仿真等。

第7章 ANSYS 基础及地下工程应用。主要介绍了房屋建筑刚性基础三维仿真分析、刚性基础三维仿真分析、实体桥墩应力分析和隧道开挖仿真模拟等相关知识。

第8章 ANSYS 在水工工程中的应用。分别介绍了 ANSYS 在基础工程和水工工程中的实际应用。

本书中所有实例的命令流都可以到 <http://www.bojia.net> 下载以供学习研究之用。

### 本书约定

在本书中，ANSYS 的具体操作基本上均是从命令方式及 GUI（图形用户界面菜单）方式两方面加以介绍的，其中在 GUI 方式中，如 Main Menu>Preprocessor>Material Props>Material Models，表示依次执行各级菜单命令。

### 适用对象

本书既可以作为理工科院校土木、力学、建筑等相关专业的高年级本科生、硕士生、博士生与教师学习 ANSYS 软件及其具体应用的学习教材，也可以作为从事土木建筑工程、结构分析工程等专业的科研人员和工程技术人员学习使用 ANSYS 软件的参考用书。

### 编写分工

在这里，我们谨代表编者和用户，向 ANSYS 公司致以诚挚的敬意和真诚的谢意，感谢其为广大用户提供的强大的工具。

在此感谢 ANSYS-CHINA 高级应用工程师唐伟为本书作序。

本书由郝文化主编，叶裕明、刘春山、沈火明、肖新标、赵光明担任主要编写工作。同时，参与本书编排的人员还有：邹素琼、王安贵、陈郭宜、程小英、谭小丽、卢丽娟、刘育志、吴淬砺、赵明星、贺洪俊、李小平、史利、张燕秋、周林英、黄茂英、李力、李小琼、李修华、田茂敏、苏萍、巫文斌、邹勤、粟德容、童芳、李中全、蒋敏、刘华菊、袁媛、李建康等，在此一并感谢。

由于编写时间仓促，书中疏漏之处在所难免，欢迎广大读者和同行批评指正。如果读者愿意参加“ANSYS 土木工程应用教程”的学习培训，或是在学习过程中发现问题，或有更好的建议，欢迎致函。同时，我们也非常愿意随时同 ANSYS 土木工程应用高手保持经常的联系，E-mail: [bojia@bojia.net](mailto:bojia@bojia.net)，网址: <http://www.bojia.net>，我们将认真、负责地对待每位读者的来信。

# 目 录

序

第二版前言

第一版前言

<b>第 1 章 土木工程有限元数值模拟简介</b> .....	1
1.1 数值模拟方法概述 .....	1
1.2 有限元法简介 .....	1
1.2.1 有限元法的起源、特点和基本过程 .....	1
1.2.2 有限元的常用术语 .....	2
1.3 可转化为有限元法的弹性力学问题 .....	3
1.3.1 变分法 .....	4
1.3.2 Rayleigh-Ritz 法 .....	4
1.3.3 加权余量法 .....	5
<b>第 2 章 大型通用有限元软件 ANSYS 简介</b> .....	7
2.1 概述 .....	7
2.1.1 ANSYS 在计算机辅助工程中的地位 .....	7
2.1.2 ANSYS 软件的主要技术特点 .....	8
2.1.3 ANSYS 软件的主要功能 .....	8
2.1.4 ANSYS 软件的新增功能 .....	9
2.2 安装与启动 .....	12
2.2.1 系统要求 .....	12
2.2.2 安装介绍 .....	12
2.2.3 运行参数设置 .....	13
2.2.4 启动和退出 .....	14
2.3 使用界面介绍 .....	15
2.3.1 窗口及菜单介绍 .....	15
2.3.2 设置用户界面 .....	18
2.4 内存管理 .....	19
2.4.1 概述 .....	19
2.4.2 内存管理 .....	19
2.4.3 配置文件 .....	19
2.5 文件管理 .....	20
2.5.1 文件类型 .....	20
2.5.2 文件管理 .....	22

2.6	注释 .....	24
2.6.1	概述 .....	24
2.6.2	生成注释 .....	24
2.7	有限元分析基本过程的实例 .....	25
2.7.1	分析问题概述 .....	25
2.7.2	定义材料、几何常数和单元类型 .....	25
2.7.3	建立几何模型 .....	28
2.7.4	划分网格 .....	28
2.7.5	加载及求解 .....	28
2.7.6	查看结果 .....	30
<b>第3章</b>	<b>土木工程分析中 ANSYS 相关高级技术 .....</b>	<b>32</b>
3.1	参数化设计语言 .....	32
3.1.1	参数化设计语言概述 .....	32
3.1.2	参数化设计语言的应用举例 .....	36
3.2	子模型与子结构 .....	39
3.2.1	子模型 .....	39
3.2.2	子结构 .....	43
3.3	自适应网格的划分 .....	48
3.3.1	前提条件 .....	48
3.3.2	操作步骤 .....	49
3.3.3	应用举例 .....	50
3.4	单元的生死 .....	51
3.4.1	概述 .....	51
3.4.2	单元生死的使用 .....	53
3.4.3	生死单元的控制 .....	56
3.4.4	排错检查 .....	57
3.4.5	单元生死应用实例 .....	58
3.5	图形输出 .....	60
3.5.1	概述 .....	60
3.5.2	生成中性文件 .....	61
3.5.3	制作硬拷贝图形文件 .....	62
3.5.4	模态分析后处理中图片的抓取 .....	62
3.6	动画制作 .....	67
3.6.1	概述 .....	67
3.6.2	基本动画命令 .....	67
3.6.3	单步动画的生成 .....	69
3.6.4	Windows 环境动画的制作 .....	73

<b>第 4 章 钢筋混凝土问题 ANSYS 分析</b> .....	<b>76</b>
4.1 概述 .....	76
4.1.1 关于钢筋混凝土模型 .....	76
4.1.2 本构模型及破坏准则 .....	77
4.2 模拟钢筋混凝土的 SOLID65 单元 .....	78
4.2.1 SOLID65 单元理论基础 .....	78
4.2.2 SOLID65 单元使用方法 .....	83
4.3 钢筋混凝土板受力分析 .....	87
4.3.1 问题的描述 .....	87
4.3.2 建模 .....	87
4.3.3 网格划分 .....	89
4.3.4 加载并求解 .....	90
4.3.5 计算结果及分析 .....	91
4.4 钢筋混凝土梁分析 .....	93
4.4.1 问题的描述 .....	93
4.4.2 建模 .....	94
4.4.3 加载并求解 .....	98
4.4.4 计算结果及分析 .....	99
4.5 预应力钢筋混凝土分析 .....	101
4.5.1 相关概念 .....	101
4.5.2 问题的描述 .....	102
4.5.3 建模 .....	103
4.5.4 划分网格 .....	104
4.5.5 加载、求解 .....	106
4.5.6 结果分析 .....	106
4.6 钢筋混凝土开裂模拟 .....	108
4.6.1 相关概念 .....	108
4.6.2 问题的描述 .....	109
4.6.3 建模 .....	109
4.6.4 划分网格 .....	110
4.6.5 加载和求解 .....	111
4.6.6 计算结果分析 .....	112
4.7 钢筋混凝土浇筑模拟分析 .....	113
4.7.1 相关概念 .....	113
4.7.2 问题的描述 .....	114
4.7.3 建模 .....	114
4.7.4 划分网格 .....	115

4.7.5	加载和求解 .....	115
4.7.6	结果分析 .....	120
<b>第 5 章</b>	<b>ANSYS 桥梁工程应用 .....</b>	<b>122</b>
5.1	概述 .....	122
5.2	桁架桥的受力分析 .....	123
5.2.1	相关概念 .....	123
5.2.2	问题的描述 .....	124
5.2.3	建模假设 .....	125
5.2.4	建模 .....	125
5.2.5	加载和求解 .....	129
5.2.6	结果分析 .....	130
5.3	悬索桥的受力分析 .....	132
5.3.1	相关概念 .....	132
5.3.2	问题的描述 .....	133
5.3.3	建模假设 .....	134
5.3.4	自下而上建模 .....	135
5.3.5	加载和求解 .....	137
5.3.6	结果分析 .....	140
5.4	移动载荷作用下桥梁的动态响应 .....	140
5.4.1	相关概念 .....	140
5.4.2	问题描述 .....	142
5.4.3	建模 .....	143
5.4.4	加载与求解 .....	144
5.4.5	结果分析与比较 .....	146
5.5	连续刚构桥三维仿真分析 .....	148
5.5.1	相关概念 .....	148
5.5.2	问题的描述 .....	149
5.5.3	建模 .....	150
5.5.4	加载及求解 .....	158
5.5.5	计算结果及分析 .....	159
5.6	桥梁的地震响应分析 .....	160
5.6.1	相关概念 .....	160
5.6.2	问题的描述 .....	163
5.6.3	建模 .....	165
5.6.4	网格划分、施加边界条件 .....	166
5.6.5	地震谱响应分析 .....	167
5.6.6	地震波瞬态分析 .....	169

5.7	斜拉桥三维仿真分析 .....	172
5.7.1	相关概念 .....	172
5.7.2	问题的描述 .....	173
5.7.3	建模假设 .....	174
5.7.4	建模及结果分析 .....	175
<b>第 6 章</b>	<b>ANSYS 隧道及地下工程应用 .....</b>	<b>185</b>
6.1	概述 .....	185
6.1.1	Drucker-Prager 本构模型 .....	185
6.1.2	隧道及地下工程的设计模型 .....	187
6.1.3	隧道及地下工程的设计方法 .....	188
6.1.4	隧道及地下工程衬砌结构设计中的力学模型选择 .....	188
6.1.5	隧道及地下工程施工力学数值模拟 .....	189
6.2	地铁明挖隧道结构力学分析 .....	190
6.2.1	问题的描述 .....	190
6.2.2	建模 .....	190
6.2.3	加载与求解 .....	193
6.2.4	后处理 .....	195
6.2.5	计算结果分析 .....	199
6.3	高速公路隧道施工力学数值模拟分析 .....	200
6.3.1	分离式高速公路隧道设计 .....	200
6.3.2	建模 .....	201
6.3.3	加载与初始地应力求解 .....	209
6.3.4	左隧道开挖求解 .....	211
6.3.5	右隧道开挖求解 .....	216
6.3.6	计算结果分析 .....	225
6.4	双线铁路隧道施工过程仿真分析 .....	225
6.4.1	问题的描述 .....	225
6.4.2	模型的建立 .....	227
6.4.3	加载与求解 .....	235
6.4.4	计算结果分析 .....	243
6.5	地铁盾构隧道掘进过程数值模拟分析 .....	248
6.5.1	问题的描述 .....	248
6.5.2	模型的建立 .....	249
6.5.3	加载与求解 .....	254
6.5.4	计算结果分析 .....	262
<b>第 7 章</b>	<b>ANSYS 房屋建筑工程应用 .....</b>	<b>269</b>
7.1	概述 .....	269

7.2	三维网架设计 ANSYS 分析 .....	270
7.2.1	问题的描述 .....	270
7.2.2	建模 .....	271
7.2.3	加载与求解 .....	276
7.2.4	计算结果分析 .....	277
7.3	网架屋顶结构的受力分析 .....	280
7.3.1	问题的描述 .....	280
7.3.2	建模 .....	283
7.3.3	加载与求解 .....	286
7.3.4	计算结果分析 .....	287
7.4	高层框架房屋结构的三维仿真分析 .....	290
7.4.1	问题的描述 .....	290
7.4.2	建模 .....	293
7.4.3	加载与求解 .....	297
7.4.4	计算结果分析 .....	299
<b>第 8 章</b>	<b>ANSYS 基础工程应用 .....</b>	<b>303</b>
8.1	概述 .....	303
8.1.1	ANSYS 与基础工程 .....	303
8.1.2	接触分析 .....	303
8.2	房屋建筑桩基础三维仿真分析 .....	307
8.2.1	问题的描述 .....	307
8.2.2	建模 .....	310
8.2.3	加载与求解 .....	315
8.2.4	计算结果与分析 .....	316
8.2.5	桩土作用问题的另一种参考分析方法 .....	318
8.3	房屋建筑刚性基础三维仿真分析 .....	329
8.3.1	相关概念 .....	329
8.3.2	问题的描述 .....	330
8.3.3	建模 .....	331
8.3.4	加载与求解 .....	334
8.3.5	计算结果处理与分析 .....	335
8.4	桥梁全桩基础受力分析 .....	336
8.4.1	桥梁下部结构概述 .....	336
8.4.2	问题的描述 .....	337
8.4.3	建模 .....	338
8.4.4	加载与求解 .....	340
8.4.5	后处理 .....	341

8.4.6	计算结果分析 .....	343
<b>第 9 章</b>	<b>ANSYS 边坡工程应用 .....</b>	<b>346</b>
9.1	边坡问题的相关概述 .....	346
9.1.1	边坡的破坏形式 .....	346
9.1.2	影响边坡稳定的主要因素 .....	346
9.1.3	边坡稳定性的主要分析方法 .....	347
9.2	问题的描述 .....	348
9.3	模型的建立 .....	349
9.4	加载与求解 .....	352
9.5	计算结果分析 .....	354
9.5.1	初始状态下边坡稳定性 .....	354
9.5.2	饱水状态下边坡稳定性 .....	356
<b>第 10 章</b>	<b>ANSYS 在水工中的应用 .....</b>	<b>359</b>
10.1	概述 .....	359
10.2	重力坝三维仿真分析 .....	360
10.2.1	相关概念 .....	360
10.2.2	问题的描述 .....	362
10.2.3	建模 .....	362
10.2.4	加载与求解 .....	369
10.2.5	计算结果分析 .....	375
附录	.....	380
参考文献	.....	424
参考资料	.....	425



# 第 1 章 土木工程有限元数值模拟简介

知识点:

- 有限元常用术语
- 有限元法建立的基础理论

本章导读:

介绍了土木工程数值模拟方法,有限元法的起源、特点和基础理论知识,包括变分法、Rayleigh-Ritz法和加全余量法,同时介绍了平衡方程的建立方法和函数调试等内容,并阐述了有限元分析问题的基本思路和相关过程。

## 1.1 数值模拟方法概述

工程技术领域中的许多力学问题和场问题,如固体力学中的位移场、应力场分析,电磁学中的电磁分析、振动特性分析,热力学中的温度分析,流体力学中的流场分析等,都可以归结为在给定边界条件下求解其控制方程(常微分方程和偏微分方程)的问题。虽然人们能够得到它们的基本方程和边界条件,但是能够用解析法求解的只是少数性质比较简单和边界比较规则的问题,而实际结构的形状和所受到的载荷往往比较复杂,按解析法求解是非常困难的。解决这类复杂问题主要有两种方法:一是引入简化假设,使其达到能用解析法求解的状态,然后求其近似解,此方法不一定总是可行,且容易导致不正确或错误的解答;二是保留问题的复杂性,利用数值模拟方法求得问题的近似解。数值模拟技术是人们在现代数学和力学理论等基础上,借助于计算机技术来获得满足工程要求的数值近似解,数值模拟技术(即 CAE 技术, Computer-aided Engineering, 计算机辅助工程)是现代工程仿真学发展的重要推动力之一。

目前在工程技术领域内常用的数值模拟方法有:有限单元法 FEM(Finite Element Method)、边界元法 BEM(Boundary Element Method)、有限差分法 FDM(Finite Difference Method)和离散单元法 DEM(Discrete Element Method)等,其中有限单元法是最具实用性和应用最广泛的。数值模拟结合计算机技术形成的应用软件在工程中得到广泛的应用,国际上著名的有限元通用软件有 ANSYS、MCS.PATRAN、MCS.NASTRAN、MCS.MARC、ABQUS 和 ADINA 等。它们大多采用 FORTRAN 语言编写,不仅包含多种条件下的有限元分析程序而且带有强大的前处理和后处理功能。大多数有限元通用软件都拥有良好的用户界面、使用方便、功能强大,在当今强大的硬件基础的支持下,在工程验算、仿真计算等方面有着广阔的应用前景。

## 1.2 有限元法简介

### 1.2.1 有限元法的起源、特点和基本过程

有限元法起源于 20 世纪 50 年代航空工程中飞机结构的矩阵分析。结构矩阵分析认为一