

CAE分析大系

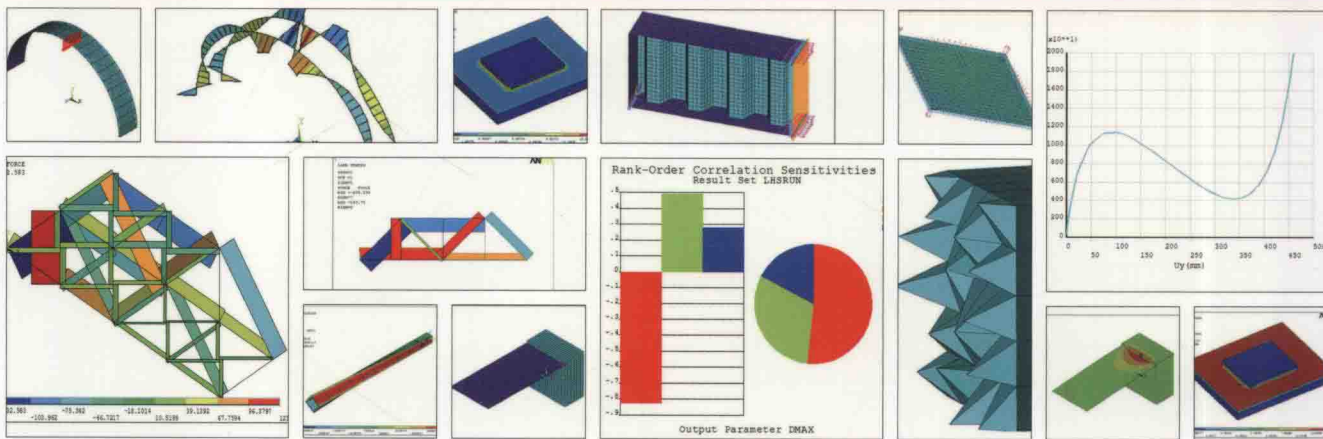
ANSYS

土木工程

实例详解

◎ 李立峰 王连华 编著

◎ 邵旭东 孙全胜 主审



紧密结合 **ANSYS** 土木工程结构特点

提供详细的**建模**和**分析**思路

全方位解决典型土木工程问题



- 110 个源代码
- 10 个 PDF 格式的配套课件
- 图书 + 微信订阅号 + SimWe 论坛 = 可沟通交流的生态系统教程



微信 (iCAX) 立体化阅读支持



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

CAE分析大系

ANSYS
土木工程

实例详解

◎ 李立峰 王连华 编著
◎ 邵旭东 孙全胜 主审

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

CAE分析大系 : ANSYS土木工程实例详解 / 李立峰,
王连华编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2015.9
ISBN 978-7-115-39883-3

I. ①C… II. ①李… ②王… III. ①土木工程—有限
元分析—应用程序 IV. ①TU-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第167821号

内 容 提 要

本书主要面向土木工程的学习人员和科研、设计人员,针对土木工程中的一些主要力学问题,全面详细地介绍了其建模要点,并提供相应的经典算例。全书通俗易懂、内容丰富且全面,极具参考价值。

全书共分15章,首先介绍了ANSYS软件的历史和发展技术历程,然后对土木工程结构的一些建模要点和方法进行了归纳,并在介绍ANSYS基本操作和界面的基础上,全面阐述了其APDL语言、网格划分技术和前后处理技术,深入介绍了土木工程结构中的杆系结构、实体结构的静力分析方法。以这些技术和方法为基础,以土木工程结构为分析对象,详细介绍了土木工程结构各种力学问题的分析理论和分析流程,借助众多的经典实例深入阐述了ANSYS与土木工程分析相关的分析技术,包括非线性问题、稳定问题、动力问题、混凝土问题、单元生死问题、残余应力问题、隧道开挖、薄壁结构、可靠度问题和索类结构问题等多个力学问题和现象,每个力学问题均提供了详细的建模要点、分析过程和学习范例。读者通过研读本书,可以快速全面掌握ANSYS在土木工程中的应用方法,便于读者掌握有限元方法和ANSYS操作,提高解决工程结构实际问题的能力。

本书内容全面完整、针对性强、实用性好,可作为面向高等院校土木、水利和机械等工科专业的本科生或研究生教材,也可以作为工程设计人员的参考书籍。

-
- ◆ 编 著 李立峰 王连华
主 审 邵旭东 孙全胜
责任编辑 杨 璐
责任印制 程彦红
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 26.75
字数: 968千字 2015年9月第1版
印数: 1-2500册 2015年9月北京第1次印刷
-

定价: 69.80元

读者服务热线: (010)81055410 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号

目前,我国基础设施建设发展非常迅速,各种各具特色的土木工程层出不穷。这不仅归功于土木工程结构设计理论的完善和施工技术的进步,同时分析理论的完善和各种结构分析软件的广泛应用起到了巨大的推动作用。

ANSYS 软件作为一个国际大型通用有限元软件,是第一个通过 ISO9001 质量认证的大型有限元分析设计软件,功能十分强大,能够进行结构、热、流体、电磁、声学等学科的研究,广泛应用于土木工程、铁路、桥梁、航天航空、船舶、机械制造、核工业、石油化工、电子、医学等领域,在国内外应用非常广泛,在国内工程界也发挥了重要的作用。

▣ 读者对象

本书内容全面完整、针对性强、实用性好,可作为面向高等院校土木、水利、机械等工科专业的本科生或研究生教材,也可以作为工程设计人员的参考书籍。

▣ 主要内容

本书以 ANSYS 16.0 软件为平台,全书共分 15 章,重点分析土木工程结构中的力学问题,依次介绍结构静力学问题、结构动力学问题、结构非线性问题的有限元分析及 ANSYS 操作步骤。具体内容编排如下:

第 1 章对 ANSYS 软件功能进行全面概述;

第 2 章主要讲述土木工程结构的建模方法,并介绍了单位制,适合于提高分析经验;

第 3 章~第 6 章主要讲述 ANSYS 的基本操作,包括建立实体和有限元模型、网格划分、加载与求解以及后处理技术;

第 7 章主要介绍交互式 APDL 语言;

第 8 章颇具特色,主要讲述土木工程的杆系结构,重点讲述了 Beam188/189 单元的分析理论及其在土木工程结构分析中的应用方法;

第 9 章则讲述土木工程的实体结构分析方法;

第 10~15 章主要介绍土木工程的一些典型力学问题和相应的结构分析方法,具体包括:第 10 章介绍非线性分析(几何非线性、材料非线性以及非线性模拟技术)、第 11 章介绍稳定问题(第一类稳定、第二类稳定)、第 12 章介绍动力问题(模态、阻尼、反应谱法、一致激励、行波效应等)、第 13 章介绍混凝土问题(混凝土开裂模拟、混凝土结构的极限承载能力分析、预应力混凝土的模拟方式)、第 14 章介绍一系列土木力学问题(包括单元生死、隧道开挖、复合材料、可靠度、徐变、残余应力、疲劳等)、第 15 章介绍索类结构分析(悬链线方程的介绍、斜拉索的模拟、悬索桥结构分析)。通过这些章节对土木工程中绝大多数力学问题进行了全面的介绍和系统的归纳,分析了每一个力学问题的力学特点,重点讲述有限元分析模型的建立过程、要点和计算流程,同时根据分析项目的力学性质,结合分析实例介绍完整的分析过程,使读者在阅读时有清晰的分析思路,针对不同的力学问题比较容易地找到分析方法和分析过程。

▣ 致谢与分工

本书由李立峰、王连华主编,邵旭东、孙全胜主审,参与本书算例编写、绘图的还有胡思聪、周聪、裴必达、陈鸿福、侯立超、刘守苗、王辉辉、李铁盔、刘双意等。感谢湖南大学土木工程学院桥梁教研室诸位老师的支持。

☒ 统一技术支持

读者在学习过程中遇到困难，可以通过我们的立体化服务平台（微信公众服务号：iCAX）联系，我们会尽量帮助读者解答问题。此外，在这个平台上我们还会分享更多的相关资源。

微信扫描下面二维码就可以查看相关内容：



微信公众服务号：iCAX

如果读者无法通过微信访问，也可以给我们发邮件：iCAX@dozan.cn。

由于水平有限，本书难免有错误和不足之处，恳请读者批评指正，以供今后修订时借鉴。

编 者

2015年2月于岳麓山下

第 1 章 概述	9	3.4.1 自底向上建模	36
1.1 ANSYS 的历史	9	3.4.2 自顶向下建模	38
1.2 ANSYS 的功能	10	3.5 实体建模—导入 AutoCAD 模型	40
1.3 ANSYS 16.0 版本的新亮点	11	3.6 布尔运算	41
本章小结	12	3.6.1 布尔运算的设置	41
第 2 章 制定 ANSYS 分析方案	13	3.6.2 布尔操作	42
2.1 概述	13	3.6.3 布尔操作注意要点	44
2.2 确定分析类型	14	3.7 实体建模实例	44
2.3 建模	14	本章小结	48
2.3.1 整体受力或局部受力	14	第 4 章 网格划分	49
2.3.2 模型对称性	14	4.1 网格划分流程	49
2.3.3 选用合理的单元类型	15	4.1.1 设置单元属性	49
2.3.4 网格离散方案	16	4.1.2 设置网格划分尺寸	51
2.3.5 处理连接关系	19	4.1.3 选择网格划分方法	51
2.3.6 预留荷载作用位置	20	4.1.4 生成网格	51
2.3.7 制定求解过程方案	20	4.1.5 网格检查与修改	51
2.3.8 专题分析	21	4.2 实体分网技术	51
2.4 典型的分析过程	22	4.2.1 单元属性设置	52
2.5 一个简单的分析例子 (GUI 方式)	22	4.2.2 网格划分尺寸控制	53
本章小结	27	4.2.3 自由网格和映射网格	57
第 3 章 模型建立	28	4.3 高级分网技术	63
3.1 单位设置	28	4.3.1 扫掠生成体网格	63
3.2 坐标系和工作平面	29	4.3.2 过渡金字塔单元	65
3.2.1 全局和局部坐标系	29	4.3.3 自适应网格划分	67
3.2.2 活动坐标系	30	4.4 单元形状及网格检查	69
3.2.3 显示坐标系	30	4.4.1 单元形状检查	69
3.2.4 节点坐标系	30	4.4.2 网格有效性检查	71
3.2.5 单元坐标系	31	4.5 网格修改	71
3.2.6 结果坐标系	32	4.5.1 重新划分网格	72
3.2.7 工作平面	32	4.5.2 清除网格	72
3.3 显示设置	33	4.5.3 细化网格	72
3.3.1 编号和颜色显示控制	33	4.5.4 四面体单元的修改	74
3.3.2 边界条件和荷载的显示设置	34	4.6 直接建模	74
3.3.3 尺寸和形状	34	4.6.1 节点	74
3.4 实体模型的建立	35	4.6.2 单元	75
		4.7 网格划分实例	75

本章小结	82	6.3 时间历程后处理	114
第5章 加载与求解	83	6.3.1 进入时间-历程后处理器	115
5.1 荷载及加载基础	83	6.3.2 定义变量	115
5.1.1 分类	83	6.3.3 变量运算	116
5.1.2 荷载步及相关概念	83	6.3.4 变量与数组转换	117
5.1.3 ANSYS 加载方式	84	6.3.5 变量图形显示与列表显示	117
5.2 施加常规荷载	85	本章小结	120
5.2.1 施加自由度约束	85	第7章 APDL 语言	121
5.2.2 施加集中荷载	87	7.1 APDL 介绍	121
5.2.3 施加压力荷载	87	7.2 工具条	121
5.2.4 施加温度荷载	88	7.2.1 工具条的创建方法	121
5.2.5 删除、缩放与转换荷载	89	7.2.2 工具条的嵌套	122
5.3 其他荷载的施加	89	7.3 参量及内嵌函数	122
5.3.1 施加惯性荷载	89	7.3.1 标量参量	122
5.3.2 初应力荷载的施加	90	7.3.2 字符参量	126
5.3.3 轴对称荷载的施加	90	7.3.3 数组参量	126
5.4 荷载步选项及设置	90	7.3.4 内嵌函数	129
5.4.1 输出选项	91	7.4 APDL 宏语言	130
5.4.2 其他控制选项	91	7.4.1 宏的创建	130
5.5 求解	92	7.4.2 宏的执行	131
5.5.1 求解器的选择	92	7.4.3 宏使用的参量	131
5.5.2 分析类型与求解控制选项	93	7.5 *GET 命令	131
5.5.3 加载技巧—如何处理应力奇异问题	96	7.6 典型的程序控制语言	132
5.6 多荷载步	97	7.6.1 *GO 无条件转移	133
5.6.1 多步直接求解	97	7.6.2 *IF...THEN...ELSEIF...ENDIF 条件 转移语句	133
5.6.2 利用荷载步文件	97	7.6.3 *REPEAT 重复语句	133
5.6.2 使用荷载组参量	97	7.6.4 *DO 循环	134
本章小结	98	7.7 几个交互命令	135
第6章 结果后处理	99	7.7.1 使用“*ASK”命令	135
6.1 后处理环境、结果文件与结果数据	99	7.7.2 使用对话框	135
6.2 通用后处理	99	7.7.3 使用“*MSG”命令	136
6.2.1 将结果文件读入通用后处理器	100	本章小结	137
6.2.2 浏览结果数据集信息	100	第8章 杆系结构分析	138
6.2.3 读入结果数据集	101	8.1 杆单元	138
6.2.4 设置结果输出方式	101	8.1.1 常用单元类型	138
6.2.5 图形显示结果	102	8.1.2 平面桁架、空间桁架分析	141
6.2.6 列表显示结果	103	8.2 梁单元	143
6.2.7 查询结果	104	8.2.1 梁单元汇总	143
6.2.8 节点积分计算内力	105	8.2.2 梁单元的两个分析理论	143
6.2.9 单元表及操作	105	8.2.3 Beam188 单元	144
6.2.10 路径及操作	107	8.2.4 Beam189 单元	145
6.2.11 荷载工况及操作	108	8.2.5 剪切变形、剪切系数	151
6.2.12 通用后处理技巧	109		
6.2.13 综合实例分析	111		

8.2.6	梁单元的定位、如何修改线的方向和梁单元截面坐标系	153	10.2	非线性方程组求解方法	226
8.2.7	梁单元的后处理	155	10.3	非线性求解策略	228
8.2.8	Beam188/189 单元约束扭转分析	157	10.3.1	求解策略一: 分析类型设置	229
8.3	各种截面类型的定义和使用	161	10.3.2	求解策略二: 时间及荷载子步设置	230
8.3.1	截面参数	161	10.3.3	求解策略三: 求解器设置	230
8.3.2	方法一: 定制 Beam188/189 单元的标准截面	162	10.3.4	求解策略四: 重新启动分析设置	232
8.3.3	方法二: 自定义梁截面	162	10.3.5	求解策略五: 增加求解收敛工具	234
8.3.4	混凝土截面—闭口、开口截面	164	10.3.6	求解策略六: 蠕变选项设置	234
8.3.5	钢梁截面	166	10.3.7	求解策略七: 收敛准则设置	234
8.3.6	复合截面—钢管混凝土截面、钢混组合截面	169	10.3.8	求解策略八: 二分法设置	235
8.4	变截面梁建模及分析	172	10.3.9	求解策略九: 中止准则设置	235
8.4.1	变截面问题— Beam188/189 单元	172	10.3.10	求解策略十: 弧长法设置	235
8.4.2	变截面梁建模及分析—空间梁单元	174	10.3.11	求解策略十一: 输出数据设置	237
8.5	铰的处理—梁端自由度的释放	179	10.4	ANSYS 非线性分析步骤	237
8.5.1	方法一: 耦合	179	10.5	非线性单元选择	241
8.5.2	方法二: 梁端自由度释放的两种单元	180	10.6	非线性分析建议	241
本章小结		182	10.7	几何非线性问题	241
第 9 章 其他实体结构		183	10.7.1	基本理论	241
9.1	点单元	183	10.7.2	应力—应变度量	242
9.1.1	Mass21 单元	183	10.7.3	几何非线性分析精要	243
9.1.2	集中质量弹簧系统实例	184	10.7.4	几何非线性算例	244
9.2	板壳单元	185	10.8	材料非线性问题	247
9.2.1	板壳单元汇总	185	10.8.1	塑性理论简介	248
9.2.2	Shell181 单元	185	10.8.2	常用非线性材料	251
9.3	块单元	195	10.8.3	材料非线性分析精要	257
9.3.1	块体单元汇总	196	10.8.4	材料非线性分析算例	257
9.3.2	Solid65 单元	196	本章小结		265
9.3.3	块体单元典型后处理	200	第 11 章 结构稳定		266
9.4	其他辅助单元	203	11.1	稳定的分类	266
9.4.1	表面效应单元	203	11.2	第一类稳定——特征值屈曲问题	267
9.4.2	Matrix27 单元	209	11.2.1	概述	267
9.4.3	Mpc184 单元	211	11.2.2	特征值屈曲分析步骤	267
9.5	不同单元类型之间的连接问题	213	11.2.3	屈曲分析需要注意的几个问题	269
9.5.1	不同单元类型有限元模型中的约束不足	213	11.3	特征值屈曲计算实例	269
9.5.2	约束不足的处理方法	214	11.4	非线性屈曲问题	277
9.5.3	梁与实体单元的连接	215	11.4.1	定义	277
9.5.4	梁与板的连接	220	11.4.2	有初始缺陷的非线性屈曲分析	277
9.5.5	块与板的连接	222	11.5	非线性屈曲问题计算实例	278
本章小结		224	11.6	第二类屈曲问题	280
第 10 章 结构非线性		225	本章小结		280
10.1	工程非线性问题概述	225	第 12 章 结构动力学问题		281
10.2	非线性方程组求解方法	226	12.1	动力学问题的基本描述	281
10.3	非线性求解策略	228			
10.3.1	求解策略一: 分析类型设置	229			
10.3.2	求解策略二: 时间及荷载子步设置	230			
10.3.3	求解策略三: 求解器设置	230			
10.3.4	求解策略四: 重新启动分析设置	232			
10.3.5	求解策略五: 增加求解收敛工具	234			
10.3.6	求解策略六: 蠕变选项设置	234			
10.3.7	求解策略七: 收敛准则设置	234			
10.3.8	求解策略八: 二分法设置	235			
10.3.9	求解策略九: 中止准则设置	235			
10.3.10	求解策略十: 弧长法设置	235			
10.3.11	求解策略十一: 输出数据设置	237			
10.4	ANSYS 非线性分析步骤	237			
10.5	非线性单元选择	241			
10.6	非线性分析建议	241			
10.7	几何非线性问题	241			
10.7.1	基本理论	241			
10.7.2	应力—应变度量	242			
10.7.3	几何非线性分析精要	243			
10.7.4	几何非线性算例	244			
10.8	材料非线性问题	247			
10.8.1	塑性理论简介	248			
10.8.2	常用非线性材料	251			
10.8.3	材料非线性分析精要	257			
10.8.4	材料非线性分析算例	257			
本章小结		265			
第 11 章 结构稳定		266			
11.1	稳定的分类	266			
11.2	第一类稳定——特征值屈曲问题	267			
11.2.1	概述	267			
11.2.2	特征值屈曲分析步骤	267			
11.2.3	屈曲分析需要注意的几个问题	269			
11.3	特征值屈曲计算实例	269			
11.4	非线性屈曲问题	277			
11.4.1	定义	277			
11.4.2	有初始缺陷的非线性屈曲分析	277			
11.5	非线性屈曲问题计算实例	278			
11.6	第二类屈曲问题	280			
本章小结		280			
第 12 章 结构动力学问题		281			
12.1	动力学问题的基本描述	281			

12.2 模态分析.....	281	14.1.1 单元生死的基本概念.....	341
12.2.1 常规结构的模态分析.....	282	14.1.2 算例 1: 简单结构的施工阶段分析 (梁单元).....	344
12.2.2 有初始预应力结构的模态分析.....	286	14.1.3 算例 2: 大跨度箱梁结构施工 全过程分析.....	348
12.3 阻尼.....	288	14.1.4 算例 3: 隧道开挖模拟.....	351
12.4 谐响应分析.....	290	14.2 混凝土结构的徐变问题.....	355
12.4.1 概述.....	290	14.2.1 利用金属材料的蠕变性质分析混凝土 结构的徐变问题.....	355
12.4.2 分析步骤.....	291	14.2.2 计算示例与分析.....	357
12.5 反应谱分析.....	293	14.3 温度问题.....	361
12.5.1 概述.....	293	14.4 影响线计算及加载.....	368
12.5.2 谱分析的 6 个步骤.....	293	14.4.1 影响线计算.....	368
12.6 瞬态动力学分析.....	297	14.4.2 循环计算.....	369
12.6.1 概述.....	297	14.5 初始应力的输出及输入—板壳稳定 问题.....	375
12.6.2 分析步骤.....	297	14.5.1 初应力的处理.....	375
12.7 地震时程反应.....	299	14.5.2 平板的极限压应力.....	376
12.7.1 概述.....	299	14.6 复合材料问题.....	379
12.7.2 地震动加速度时程.....	300	14.6.1 基本理论.....	379
12.7.3 一致激励、行波效应、多点非 一致激励.....	300	14.6.2 算例: 胶合板受力.....	380
12.8 车—桥耦合分析.....	308	14.7 桩基础算例.....	381
本章小结.....	310	14.8 可靠性问题.....	384
第 13 章 混凝土结构分析.....	311	14.8.1 基本分析过程.....	384
13.1 钢筋混凝土结构分析.....	311	14.8.2 算例: 两跨连续梁可靠性分析.....	391
13.1.1 钢筋混凝土结构的模拟方法.....	311	14.9 疲劳问题.....	394
13.1.2 混凝土本构关系.....	312	14.9.1 ANSYS 与疲劳分析.....	394
13.1.3 混凝土受压应力—应变全曲线方程.....	312	14.9.2 疲劳分析过程.....	395
13.2 Solid65 单元介绍.....	313	14.9.3 实例分析.....	399
13.2.1 单元基本假定.....	313	本章小结.....	404
13.2.2 单元的线性行为.....	313	第 15 章 索类结构分析.....	405
13.2.3 单元的非线性行为.....	315	15.1 悬链线理论.....	405
13.2.4 钢筋混凝土结果显示.....	316	15.1.1 基本假设.....	405
13.2.5 混凝土破坏准则.....	317	15.1.2 自重作用下悬链线理论.....	406
13.2.6 混凝土计算应注意的问题.....	320	15.2 单缆分析.....	407
13.3 普通钢筋混凝土简支梁的有限元模拟.....	321	15.3 拉索分析.....	409
13.4 预应力效应的有限元模拟.....	328	15.3.1 基本理论.....	409
13.4.1 ANSYS 对预应力的处理.....	328	15.3.2 拉索状态变量的确定方法与 求解步骤.....	410
13.4.2 预应力筋建模方法.....	329	15.4 悬索桥整体分析.....	417
13.4.3 算例.....	330	本章小结.....	428
13.5 混凝土浇筑时的水化热分析.....	335		
13.5.1 相关概念.....	335		
13.5.2 算例.....	336		
本章小结.....	340		
第 14 章 典型结构分析专题.....	341		
14.1 施工阶段计算分析问题.....	341		

CAE分析大系

ANSYS
土木工程

实例详解

◎ 李立峰 王连华 编著

◎ 邵旭东 孙全胜 主审

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

CAE分析大系 : ANSYS土木工程实例详解 / 李立峰,
王连华编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2015.9
ISBN 978-7-115-39883-3

I. ①C… II. ①李… ②王… III. ①土木工程—有限
元分析—应用程序 IV. ①TU-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第167821号

内 容 提 要

本书主要面向土木工程的学习人员和科研、设计人员,针对土木工程中的一些主要力学问题,全面详细地介绍了其建模要点,并提供相应的经典算例。全书通俗易懂、内容丰富且全面,极具参考价值。

全书共分15章,首先介绍了ANSYS软件的历史和发展技术历程,然后对土木工程结构的一些建模要点和方法进行了归纳,并在介绍ANSYS基本操作和界面的基础上,全面阐述了其APDL语言、网格划分技术和前后处理技术,深入介绍了土木工程结构中的杆系结构、实体结构的静力分析方法。以这些技术和方法为基础,以土木工程结构为分析对象,详细介绍了土木工程结构各种力学问题的分析理论和分析流程,借助众多的经典实例深入阐述了ANSYS与土木工程分析相关的分析技术,包括非线性问题、稳定问题、动力问题、混凝土问题、单元生死问题、残余应力问题、隧道开挖、薄壁结构、可靠度问题和索类结构问题等多个力学问题和现象,每个力学问题均提供了详细的建模要点、分析过程和学习范例。读者通过研读本书,可以快速全面掌握ANSYS在土木工程中的应用方法,便于读者掌握有限元方法和ANSYS操作,提高解决工程结构实际问题的能力。

本书内容全面完整、针对性强、实用性好,可作为面向高等院校土木、水利和机械等工科专业的本科生或研究生教材,也可以作为工程设计人员的参考书籍。

-
- ◆ 编 著 李立峰 王连华
主 审 邵旭东 孙全胜
责任编辑 杨 璐
责任印制 程彦红
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 26.75
字数: 968千字
印数: 1-2500册
-

定价: 69.80元

读者服务热线: (010)81055410 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号

目前,我国基础设施建设发展非常迅速,各种各具特色的土木结构层出不穷。这不仅归功于土木工程结构设计理论的完善和施工技术的进步,同时分析理论的完善和各种结构分析软件的广泛应用起到了巨大的推动作用。

ANSYS 软件作为一个国际大型通用有限元软件,是第一个通过 ISO9001 质量认证的大型有限元分析设计软件,功能十分强大,能够进行结构、热、流体、电磁、声学等学科的研究,广泛应用于土木工程、铁路、桥梁、航天航空、船舶、机械制造、核工业、石油化工、电子、医学等领域,在国内外应用非常广泛,在国内工程界也发挥了重要的作用。

▣ 读者对象

本书内容全面完整、针对性强、实用性好,可作为面向高等院校土木、水利、机械等工科专业的本科生或研究生教材,也可以作为工程设计人员的参考书籍。

▣ 主要内容

本书以 ANSYS 16.0 软件为平台,全书共分 15 章,重点分析土木工程结构中的力学问题,依次介绍结构静力学问题、结构动力学问题、结构非线性问题的有限元分析方法及 ANSYS 操作步骤。具体内容编排如下:

第 1 章对 ANSYS 软件功能进行全面概述;

第 2 章主要讲述土木工程结构的建模方法,并介绍了单位制,适合于提高分析经验;

第 3 章~第 6 章主要讲述 ANSYS 的基本操作,包括建立实体和有限元模型、网格划分、加载与求解以及后处理技术;

第 7 章主要介绍交互式 APDL 语言;

第 8 章颇具特色,主要讲述土木工程的杆系结构,重点讲述了 Beam188/189 单元的分析理论及其在土木工程结构分析中的应用方法;

第 9 章则讲述土木工程的实体结构分析方法;

第 10~15 章主要介绍土木工程的一些典型力学问题和相应的结构分析方法,具体包括:第 10 章介绍非线性分析(几何非线性、材料非线性以及非线性模拟技术)、第 11 章介绍稳定问题(第一类稳定、第二类稳定)、第 12 章介绍动力问题(模态、阻尼、反应谱法、一致激励、行波效应等)、第 13 章介绍混凝土问题(混凝土开裂模拟、混凝土结构的极限承载能力分析、预应力混凝土的模拟方式)、第 14 章介绍一系列土木力学问题(包括单元生死、隧道开挖、复合材料、可靠度、徐变、残余应力、疲劳等)、第 15 章介绍索类结构分析(悬链线方程的介绍、斜拉索的模拟、悬索桥结构分析)。通过这些章节对土木工程中绝大多数力学问题进行了全面的介绍和系统的归纳,分析了每一个力学问题的力学特点,重点讲述有限元分析模型的建立过程、要点和计算流程,同时根据分析项目的力学性质,结合分析实例介绍完整的分析过程,使读者在阅读时有清晰的分析思路,针对不同的力学问题比较容易地找到分析方法和分析过程。

▣ 致谢与分工

本书由李立峰、王连华主编,邵旭东、孙全胜主审,参与本书算例编写、绘图的还有胡思聪、周聪、裴必达、陈鸿福、侯立超、刘守苗、王辉辉、李铁盔、刘双意等。感谢湖南大学土木工程学院桥梁教研室诸位老师的支持。

统一技术支持

读者在学习过程中遇到困难，可以通过我们的立体化服务平台（微信公众服务号：iCAX）联系，我们会尽量帮助读者解答问题。此外，在这个平台上我们还会分享更多的相关资源。

微信扫描下面二维码就可以查看相关内容：



微信公众服务号：iCAX

如果读者无法通过微信访问，也可以给我们发邮件：iCAX@dozan.cn。

由于水平有限，本书难免有错误和不足之处，恳请读者批评指正，以供今后修订时借鉴。

编者

2015年2月于岳麓山下

第 1 章 概述	9	3.4.1 自底向上建模	36
1.1 ANSYS 的历史	9	3.4.2 自顶向下建模	38
1.2 ANSYS 的功能	10	3.5 实体建模—导入 AutoCAD 模型	40
1.3 ANSYS 16.0 版本的新亮点	11	3.6 布尔运算	41
本章小结	12	3.6.1 布尔运算的设置	41
第 2 章 制定 ANSYS 分析方案	13	3.6.2 布尔操作	42
2.1 概述	13	3.6.3 布尔操作注意要点	44
2.2 确定分析类型	14	3.7 实体建模实例	44
2.3 建模	14	本章小结	48
2.3.1 整体受力或局部受力	14	第 4 章 网格划分	49
2.3.2 模型对称性	14	4.1 网格划分流程	49
2.3.3 选用合理的单元类型	15	4.1.1 设置单元属性	49
2.3.4 网格离散方案	16	4.1.2 设置网格划分尺寸	51
2.3.5 处理连接关系	19	4.1.3 选择网格划分方法	51
2.3.6 预留荷载作用位置	20	4.1.4 生成网格	51
2.3.7 制定求解过程方案	20	4.1.5 网格检查与修改	51
2.3.8 专题分析	21	4.2 实体分网技术	51
2.4 典型的分析过程	22	4.2.1 单元属性设置	52
2.5 一个简单的分析例子 (GUI 方式)	22	4.2.2 网格划分尺寸控制	53
本章小结	27	4.2.3 自由网格和映射网格	57
第 3 章 模型建立	28	4.3 高级分网技术	63
3.1 单位设置	28	4.3.1 扫掠生成体网格	63
3.2 坐标系和工作平面	29	4.3.2 过渡金字塔单元	65
3.2.1 全局和局部坐标系	29	4.3.3 自适应网格划分	67
3.2.2 活动坐标系	30	4.4 单元形状及网格检查	69
3.2.3 显示坐标系	30	4.4.1 单元形状检查	69
3.2.4 节点坐标系	30	4.4.2 网格有效性检查	71
3.2.5 单元坐标系	31	4.5 网格修改	71
3.2.6 结果坐标系	32	4.5.1 重新划分网格	72
3.2.7 工作平面	32	4.5.2 清除网格	72
3.3 显示设置	33	4.5.3 细化网格	72
3.3.1 编号和颜色显示控制	33	4.5.4 四面体单元的修改	74
3.3.2 边界条件和荷载的显示设置	34	4.6 直接建模	74
3.3.3 尺寸和形状	34	4.6.1 节点	74
3.4 实体模型的建立	35	4.6.2 单元	75
		4.7 网格划分实例	75

本章小结	82	6.3 时间历程后处理	114
第 5 章 加载与求解	83	6.3.1 进入时间 - 历程后处理器	115
5.1 荷载及加载基础	83	6.3.2 定义变量	115
5.1.1 分类	83	6.3.3 变量运算	116
5.1.2 荷载步及相关概念	83	6.3.4 变量与数组转换	117
5.1.3 ANSYS 加载方式	84	6.3.5 变量图形显示与列表显示	117
5.2 施加常规荷载	85	本章小结	120
5.2.1 施加自由度约束	85	第 7 章 APDL 语言	121
5.2.2 施加集中荷载	87	7.1 APDL 介绍	121
5.2.3 施加压力荷载	87	7.2 工具条	121
5.2.4 施加温度荷载	88	7.2.1 工具条的创建方法	121
5.2.5 删除、缩放与转换荷载	89	7.2.2 工具条的嵌套	122
5.3 其他荷载的施加	89	7.3 参量及内嵌函数	122
5.3.1 施加惯性荷载	89	7.3.1 标量参量	122
5.3.2 初应力荷载的施加	90	7.3.2 字符参量	126
5.3.3 轴对称荷载的施加	90	7.3.3 数组参量	126
5.4 荷载步选项及设置	90	7.3.4 内嵌函数	129
5.4.1 输出选项	91	7.4 APDL 宏语言	130
5.4.2 其他控制选项	91	7.4.1 宏的创建	130
5.5 求解	92	7.4.2 宏的执行	131
5.5.1 求解器的选择	92	7.4.3 宏使用的参量	131
5.5.2 分析类型与求解控制选项	93	7.5 *GET 命令	131
5.5.3 加载技巧—如何处理应力奇异问题	96	7.6 典型的程序控制语言	132
5.6 多荷载步	97	7.6.1 *GO 无条件转移	133
5.6.1 多步直接求解	97	7.6.2 *IF...THEN...ELSEIF...ENDIF 条件	
5.6.2 利用荷载步文件	97	转移语句	133
5.6.2 使用荷载组参量	97	7.6.3 *REPEAT 重复语句	133
本章小结	98	7.6.4 *DO 循环	134
第 6 章 结果后处理	99	7.7 几个交互命令	135
6.1 后处理环境、结果文件与结果数据	99	7.7.1 使用“*ASK”命令	135
6.2 通用后处理	99	7.7.2 使用对话框	135
6.2.1 将结果文件读入通用后处理器	100	7.7.3 使用“*MSG”命令	136
6.2.2 浏览结果数据集信息	100	本章小结	137
6.2.3 读入结果数据集	101	第 8 章 杆系结构分析	138
6.2.4 设置结果输出方式	101	8.1 杆单元	138
6.2.5 图形显示结果	102	8.1.1 常用单元类型	138
6.2.6 列表显示结果	103	8.1.2 平面桁架、空间桁架分析	141
6.2.7 查询结果	104	8.2 梁单元	143
6.2.8 节点积分计算内力	105	8.2.1 梁单元汇总	143
6.2.9 单元表及操作	105	8.2.2 梁单元的两个分析理论	143
6.2.10 路径及操作	107	8.2.3 Beam188 单元	144
6.2.11 荷载工况及操作	108	8.2.4 Beam189 单元	145
6.2.12 通用后处理技巧	109	8.2.5 剪切变形、剪切系数	151
6.2.13 综合实例分析	111		

8.2.6	梁单元的定位、如何修改线的方向和梁单元截面坐标系	153	10.2	非线性方程组求解方法	226
8.2.7	梁单元的后处理	155	10.3	非线性求解策略	228
8.2.8	Beam188/189 单元约束扭转分析	157	10.3.1	求解策略一: 分析类型设置	229
8.3	各种截面类型的定义和使用	161	10.3.2	求解策略二: 时间及荷载子步设置	230
8.3.1	截面参数	161	10.3.3	求解策略三: 求解器设置	230
8.3.2	方法一: 定制 Beam188/189 单元的标准截面	162	10.3.4	求解策略四: 重启动分析设置	232
8.3.3	方法二: 自定义梁截面	162	10.3.5	求解策略五: 增加求解收敛工具	234
8.3.4	混凝土截面—闭口、开口截面	164	10.3.6	求解策略六: 蠕变选项设置	234
8.3.5	钢梁截面	166	10.3.7	求解策略七: 收敛准则设置	234
8.3.6	复合截面—钢管混凝土截面、钢混组合截面	169	10.3.8	求解策略八: 二分法设置	235
8.4	变截面梁建模及分析	172	10.3.9	求解策略九: 中止准则设置	235
8.4.1	变截面问题— Beam188/189 单元	172	10.3.10	求解策略十: 弧长法设置	235
8.4.2	变截面梁建模及分析—空间梁单元	174	10.3.11	求解策略十一: 输出数据设置	237
8.5	铰的处理—梁端自由度的释放	179	10.4	ANSYS 非线性分析步骤	237
8.5.1	方法一: 耦合	179	10.5	非线性单元选择	241
8.5.2	方法二: 梁端自由度释放的两种单元	180	10.6	非线性分析建议	241
本章小结		182	10.7	几何非线性问题	241
第 9 章 其他实体结构		183	10.7.1	基本理论	241
9.1	点单元	183	10.7.2	应力—应变度量	242
9.1.1	Mass21 单元	183	10.7.3	几何非线性分析精要	243
9.1.2	集中质量弹簧系统实例	184	10.7.4	几何非线性算例	244
9.2	板壳单元	185	10.8	材料非线性问题	247
9.2.1	板壳单元汇总	185	10.8.1	塑性理论简介	248
9.2.2	Shell181 单元	185	10.8.2	常用非线性材料	251
9.3	块单元	195	10.8.3	材料非线性分析精要	257
9.3.1	块体单元汇总	196	10.8.4	材料非线性分析算例	257
9.3.2	Solid65 单元	196	本章小结		265
9.3.3	块体单元典型后处理	200	第 11 章 结构稳定		266
9.4	其他辅助单元	203	11.1	稳定的分类	266
9.4.1	表面效应单元	203	11.2	第一类稳定——特征值屈曲问题	267
9.4.2	Matrix27 单元	209	11.2.1	概述	267
9.4.3	Mpc184 单元	211	11.2.2	特征值屈曲分析步骤	267
9.5	不同单元类型之间的连接问题	213	11.2.3	屈曲分析需要注意的几个问题	269
9.5.1	不同单元类型有限元模型中的约束不足	213	11.3	特征值屈曲计算实例	269
9.5.2	约束不足的处理方法	214	11.4	非线性屈曲问题	277
9.5.3	梁与实体单元的连接	215	11.4.1	定义	277
9.5.4	梁与板的连接	220	11.4.2	有初始缺陷的非线性屈曲分析	277
9.5.5	块与板的连接	222	11.5	非线性屈曲问题计算实例	278
本章小结		224	11.6	第二类屈曲问题	280
第 10 章 结构非线性		225	本章小结		280
10.1	工程非线性问题概述	225	第 12 章 结构动力学问题		281
10.2	非线性方程组求解方法	226	12.1	动力学问题的基本描述	281
10.3	非线性求解策略	228			
10.3.1	求解策略一: 分析类型设置	229			
10.3.2	求解策略二: 时间及荷载子步设置	230			
10.3.3	求解策略三: 求解器设置	230			
10.3.4	求解策略四: 重启动分析设置	232			
10.3.5	求解策略五: 增加求解收敛工具	234			
10.3.6	求解策略六: 蠕变选项设置	234			
10.3.7	求解策略七: 收敛准则设置	234			
10.3.8	求解策略八: 二分法设置	235			
10.3.9	求解策略九: 中止准则设置	235			
10.3.10	求解策略十: 弧长法设置	235			
10.3.11	求解策略十一: 输出数据设置	237			
10.4	ANSYS 非线性分析步骤	237			
10.5	非线性单元选择	241			
10.6	非线性分析建议	241			
10.7	几何非线性问题	241			
10.7.1	基本理论	241			
10.7.2	应力—应变度量	242			
10.7.3	几何非线性分析精要	243			
10.7.4	几何非线性算例	244			
10.8	材料非线性问题	247			
10.8.1	塑性理论简介	248			
10.8.2	常用非线性材料	251			
10.8.3	材料非线性分析精要	257			
10.8.4	材料非线性分析算例	257			
本章小结		265			

12.2 模态分析	281	14.1.1 单元生死的基本概念	341
12.2.1 常规结构的模态分析	282	14.1.2 算例 1: 简单结构的施工阶段分析 (梁单元)	344
12.2.2 有初始预应力结构的模态分析	286	14.1.3 算例 2: 大跨度箱梁结构施工 全过程分析	348
12.3 阻尼	288	14.1.4 算例 3: 隧道开挖模拟	351
12.4 谐响应分析	290	14.2 混凝土结构的徐变问题	355
12.4.1 概述	290	14.2.1 利用金属材料的蠕变性质分析混凝土 结构的徐变问题	355
12.4.2 分析步骤	291	14.2.2 计算示例与分析	357
12.5 反应谱分析	293	14.3 温度问题	361
12.5.1 概述	293	14.4 影响线计算及加载	368
12.5.2 谱分析的 6 个步骤	293	14.4.1 影响线计算	368
12.6 瞬态动力学分析	297	14.4.2 循环计算	369
12.6.1 概述	297	14.5 初始应力的输出及输入—板壳稳定 问题	375
12.6.2 分析步骤	297	14.5.1 初应力的处理	375
12.7 地震时程反应	299	14.5.2 平板的极限压应力	376
12.7.1 概述	299	14.6 复合材料问题	379
12.7.2 地震动加速度时程	300	14.6.1 基本理论	379
12.7.3 一致激励、行波效应、多点非 一致激励	300	14.6.2 算例: 胶合板受力	380
12.8 车—桥耦合分析	308	14.7 桩基础算例	381
本章小结	310	14.8 可靠性问题	384
第 13 章 混凝土结构分析	311	14.8.1 基本分析过程	384
13.1 钢筋混凝土结构分析	311	14.8.2 算例: 两跨连续梁可靠性分析	391
13.1.1 钢筋混凝土结构的模拟方法	311	14.9 疲劳问题	394
13.1.2 混凝土本构关系	312	14.9.1 ANSYS 与疲劳分析	394
13.1.3 混凝土受压应力—应变全曲线方程	312	14.9.2 疲劳分析过程	395
13.2 Solid65 单元介绍	313	14.9.3 实例分析	399
13.2.1 单元基本假定	313	本章小结	404
13.2.2 单元的线性行为	313	第 15 章 索类结构分析	405
13.2.3 单元的非线性行为	315	15.1 悬链线理论	405
13.2.4 钢筋混凝土结果显示	316	15.1.1 基本假设	405
13.2.5 混凝土破坏准则	317	15.1.2 自重作用下悬链线理论	406
13.2.6 混凝土计算应注意的问题	320	15.2 单缆分析	407
13.3 普通钢筋混凝土简支梁的有限元模拟	321	15.3 拉索分析	409
13.4 预应力效应的有限元模拟	328	15.3.1 基本理论	409
13.4.1 ANSYS 对预应力的处理	328	15.3.2 拉索状态变量的确定方法与 求解步骤	410
13.4.2 预应力筋建模方法	329	15.4 悬索桥整体分析	417
13.4.3 算例	330	本章小结	428
13.5 混凝土浇筑时的水化热分析	335		
13.5.1 相关概念	335		
13.5.2 算例	336		
本章小结	340		
第 14 章 典型结构分析专题	341		
14.1 施工阶段计算分析问题	341		