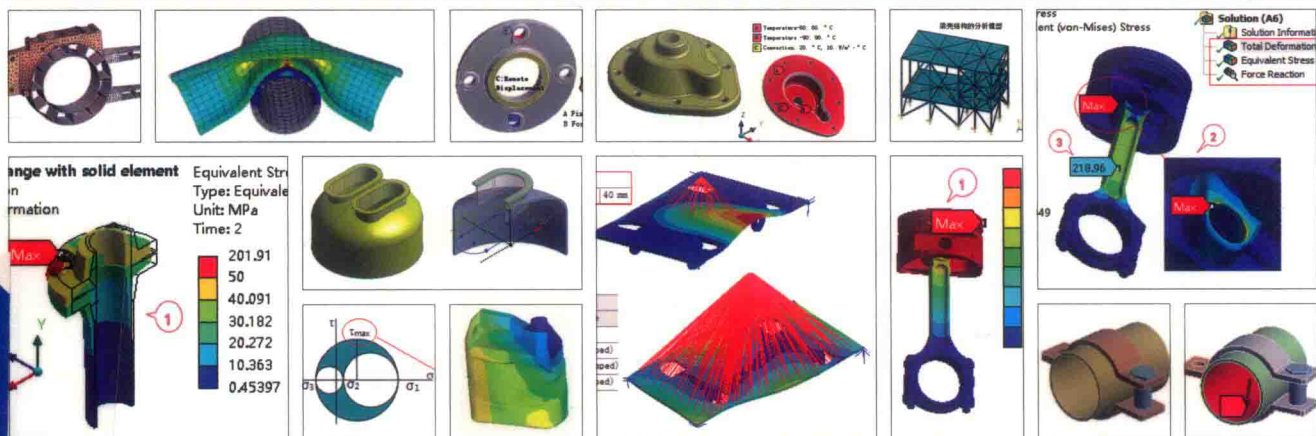


CAE分析大系

ANSYS Workbench 结构分析与实例详解

© 许京荆 编著



完全图解有限元基础，一看就懂原理

融合理论与工程数值分析实战

ANSYS Workbench 多年讲义提炼

SimWe 论坛倾力推荐



- 全部案例源文件
- 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 Workbench 结构分析与实例详解

© 许京荆 编著

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 Workbench结构分析与实例详解 / 许京荆编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2019. 2
ISBN 978-7-115-49534-1

I. ①C… II. ①许… III. ①有限元分析—应用软件
IV. ①O241.82-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第228280号

内 容 提 要

本书着眼于 ANSYS 软件的使用和实际工程应用, 结合有限元分析方法和具体的软件操作过程, 从工程仿真分析实际出发, 详细介绍了 ANSYS Workbench 18.2 有限元分析软件的功能和处理各种问题的使用技巧, 以及结构的静力分析、应力分析、网络划分、合理的有限元模型的建立、静强度分析、疲劳强度分析、热变形及热应力分析等。本书提供的每个分析案例包括工程问题的简化, 分析模型的建立, 施加边界条件及求解, 结果的评定期待接近于工程实际。

本书为初学者提供机械工程中 CAE 涉及的有限元方法的基础理论及实践知识, 基于 ANSYS Workbench 18.2 软件平台, 初学者将学会使用商业化的有限元分析软件解决工程问题。

-
- ◆ 编 著 许京荆
责任编辑 杨 璐
责任印制 陈 犇
 - ◆ 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>
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 23.25
字数: 701 千字 2019 年 2 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2019 年 2 月河北第 1 次印刷
-

定价: 79.00 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: 京东工商广登字 20170147 号

目前,有限元方法(FEM)已成为预测及模拟复杂工程系统物理行为的主流趋势。商业化的有限元分析(FEA)程序已经获得了广泛认同,因此,无论是在校本科生、研究生,还是科研工作者、工程设计人员都需要了解FEM的理论,而且需要学会使用有限元分析应用程序。

ANSYS软件是融结构、流体、电磁场、声场和系统等分析于一体的大型通用有限元分析软件,广泛应用于航空、航天、电子、车辆、船舶、交通、通信、建筑、电子、医疗、国防、石油和化工等众多行业。目前,ANSYS提供了完整的软件套件,涵盖了整个物理领域,对于一个设计过程而言,所需要的几乎任何工程模拟领域都可用ANSYS系列软件实现。ANSYS作为现代产品设计中的高级CAE工具,其优越的工程可伸缩性、综合的多物理基础和自适应体系结构,通过模拟驱动的产品开发,为工程设计过程增加价值,提高效率,推动创新,并减少物理约束,使模拟测试成为可能,从而大大增强了工程模拟深度和广度。

ANSYS产品中的Workbench,以项目流程图的方式,将结构、流体和电磁等各种分析系统集成到统一平台中,进而实现不同软件之间的无缝链接。ANSYS 18.2 Workbench操作便捷,处理复杂的工程模型更为方便,软件的分析功能和各项操作也有了更好的提升和发展。

➤ 读者对象

本书的目的是为初学者提供机械工程中CAE涉及的有限元方法的基础理论及实践知识。基于ANSYS 18.2 Workbench软件平台,初学者将学会使用商业化的有限元分析软件解决工程问题。本书具体着眼于ANSYS软件在实际工程中的应用,结合有限元分析方法和具体的软件操作过程,从工程仿真分析实例出发,详细介绍了ANSYS 18.2 Workbench有限元分析软件的功能和处理各种问题的使用技巧。

➤ 主要内容

第1章为初学者提供有限元方法的基础理论及实践知识,介绍了工程问题的数学物理方程及数值算法、相关的有限元基本方法及分析技术,以及如何使用有限元分析软件ANSYS 18.2 Workbench对简单的一维模型进行分析,并给出了结构、稳态热及稳态电流数值模拟案例加以分析和讨论。

第2章侧重ANSYS 18.2 Workbench基本功能及使用。ANSYS Workbench集成平台采用项目图解视图,通过简洁的拖放操作完成简单至复杂的多场耦合分析。通过第2章介绍其基本的使用原则及对多场耦合案例给出详细的数值模拟过程,帮助读者理解及掌握ANSYS Workbench平台的使用。

第3章侧重ANSYS Workbench中的结构分析基础部分。在实际工程中,结构承受静载荷和动载荷的影响,而最基本的是搞清楚静载作用下的结构响应。ANSYS Workbench结构分析基础部分,仅

关注结构静力分析问题。本章详述了静力分析的相关概念及强度评估方法，并针对一个机车轮轴的工程案例，基于整体和局部不同的设计评估关注点，给出不同分析处理方式，并介绍了如何考虑将实际的工程问题转换为不同的分析模型的求解技术。

第 4 章侧重 ANSYS Workbench 结构网格划分的内容。网格是有限元数值模拟过程中不可分割的一部分，直接影响到求解精度、求解收敛性和求解速度。本章主要描述 ANSYS 18.2 Workbench 结构整体及局部网格划分方法、过程及其相关选项，以及如何检查网格质量，利用虚拟拓扑工具辅助网格划分提高网格质量，并分别给出单个零件及装配模型的网格划分案例，描述详细的操作过程并对不同网格进行对比，帮助读者熟悉及掌握结构网格划分技术。

第 5 章侧重如何在 ANSYS Workbench 中建立合理的有限元分析模型。对分析设计而言，合理的有限元分析模型意味着如何将工程问题转化为正确的数理模型。建立合理分析模型往往需要经历一个复杂的过程。本章利用 ANSYS 软件提供的众多工具，先讨论了结构分析建模涉及的相关求解策略，包括结构如何理想化，怎么提取有效的分析模型，网格划分需要注意的问题，加载求解及结果评估中需要考虑的要点，以及应力集中的处理等。再基于 ANSYS 18.2 Workbench 平台，详述了结构分析模型的处理，包括软件分析中对体类型、多体零件、点质量、厚度和材料属性等的描述及处理。然后重点讨论如何正确建立结构分析的连接关系，涉及接触连接及设置、点焊连接、远端边界条件、关节连接、弹簧连接、梁连接、端点释放、轴承连接、坐标系、命名选择和选择信息，并给出相应的接触分析案例、远端边界使用案例、关节应用案例和螺栓连接模型的不同建模技术及案例。最后基于单元类型的变化，给出杆梁分析模型及案例、2D 平面应力分析模型及案例，以及 3D 装配体接触分析模型及案例，每个案例分析均给出问题解读及详细数值模拟过程，期待读者能够理解并掌握解决问题的关键点及相关数值仿真技术。

第 6 章侧重在 ANSYS Workbench 中如何完成结构静强度分析。本章结合案例分析压力容器行业规范，对非标设计的开孔接管强度问题，采用分析设计法进行数值模拟及强度校核。

第 7 章侧重在 ANSYS Workbench 中如何完成结构疲劳强度分析。本章主要介绍疲劳分析设计方法，以及利用 Ansys 18.2 Workbench 的疲劳工具进行比例/非比例、恒定幅值/非恒定幅值载荷作用下的高周疲劳分析，并给出不同加载状态下的疲劳分析案例及详细的数值模拟过程。

第 8 章侧重在 ANSYS Workbench 中如何完成结构热变形及热应力分析。温度变化会以多种方式影响结构性能。本章结合环境温度和温差分布产生结构热变形引发的热应力问题，给出不同分析案例和详细数值模拟过程。

为了方便读者理解并建立正确的有限元模型，书中提供了许多概念理解型案例，这些案例包含理论分析和有限元数值模拟的对比结果，同时书中也解析了常见的工程案例。书中内容主要涉及结构线性、非线性静力分析，也包含部分热分析、电场分析及热-结构耦合场分析。本书提供的每个分析案例包括工程问题的简化，分析模型的建立，施加边界条件及求解，以及结果讨论及评估，其评定期待接近于工程实际。

本书配套提供了每个章节的分析案例所需的几何文件及 ANSYS 18.2 Workbench 分析完成的压缩文件(*.wbpz)，均放置在对应章节目录下。几何文件用于模型导入，源文件可用【Restore Archive】

还原打开，以便查看相关的结果（文档还原操作可参见章节 2.6.3）。

资源下载及技术支持

若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。读者扫描右侧或封底的二维码即可获得本书全部案例源文件的下载方法，如果大家在下载过程中遇到任何问题，请发邮件至 szys@ptpress.com.cn，我们会尽力为大家解答。



由于本书内容涉及面广，书中不足之处在所难免，希望广大读者批评指正，也欢迎提出改进性建议。

致谢与分工

本书由上海大学机电学院安全断裂分析研究室（ANSYS 软件华东区技术支持中心）的许京荆老师编著。在写作过程中得到了吴益敏教授、王秀梅副研究员、王秀荣、刘威威、王正涛、陈雨、赵辉、袁坤、马玉屏、魏望望、戚严文、朱远、李盛鹏、刘云飞、叶天杨、陈梦炯、韦祎、白彦伟及笔者家人的支持与协助，在此深表谢意。

许京荆
2018年4月

第 1 章 有限元分析及 ANSYS Workbench 的简 单应用..... 10	1.9 本章小结..... 50
1.1 引言..... 10	1.10 习题..... 51
1.2 工程问题的数学物理方程及数值算法..... 10	第 2 章 ANSYS Workbench 平台..... 53
1.2.1 工程问题复杂的需求及过程..... 10	2.1 ANSYS Workbench 概述..... 53
1.2.2 工程问题的数学物理方程..... 11	2.2 ANSYS 18.2 Workbench 数值模拟的 一般过程..... 53
1.2.3 控制微分方程的数值算法..... 14	2.3 ANSYS 18.2 Workbench 的启动..... 54
1.3 有限元分析技术的发展及应用..... 15	2.4 ANSYS 18.2 Workbench 的工作环境..... 54
1.4 有限元分析的基本原理及相关术语..... 16	2.4.1 主菜单..... 54
1.4.1 有限元分析的基本原理..... 16	2.4.2 基本工具栏..... 58
1.4.2 有限元分析的相关术语..... 17	2.4.3 工具箱..... 58
1.5 有限元分析的基本步骤..... 19	2.4.4 项目流程图..... 61
1.6 有限元分析计算实例——直杆拉伸的轴 向变形..... 19	2.4.5 参数设置..... 63
1.6.1 问题描述..... 19	2.4.6 定制分析流程..... 64
1.6.2 微分方程的解析解..... 20	2.5 ANSYS 18.2 Workbench 窗口管理 功能..... 65
1.6.3 微分方程的有限元数值解..... 20	2.6 ANSYS 18.2 Workbench 文件管理..... 66
1.6.4 ANSYS Workbench 梁单元分析直杆拉 伸的轴向变形..... 22	2.6.1 Workbench 文件系统..... 66
1.6.5 验证结果及理解问题..... 33	2.6.2 显示文件..... 67
1.7 有限元分析计算实例——单轴直杆热 传导..... 33	2.6.3 文件归档及复原..... 68
1.7.1 问题描述..... 33	2.7 ANSYS 18.2 Workbench 单位系统..... 68
1.7.2 微分方程的解析解..... 33	2.8 ANSYS 18.2 Workbench 应用程序使用 基础..... 69
1.7.3 微分方程的有限元数值解..... 34	2.8.1 应用程序的工作界面..... 69
1.7.4 ANSYS Workbench 热传导杆单元分析 单轴直杆传热..... 36	2.8.2 应用程序的菜单功能..... 71
1.7.5 验证结果及理解问题..... 40	2.8.3 应用程序的工具栏..... 72
1.8 有限元分析计算实例——单轴直杆稳态 电流传导..... 41	2.8.4 应用程序的图形显示控制及选择..... 73
1.8.1 问题描述..... 41	2.8.5 应用程序的导航结构及其明细..... 74
1.8.2 微分方程的解析解..... 41	2.8.6 应用程序中加载边界条件..... 75
1.8.3 微分方程的有限元数值解..... 42	2.8.7 应用工程数据..... 76
1.8.4 ANSYS Workbench 电实体单元分析单 轴直杆的稳态电流传导..... 44	2.9 ANSYS Workbench 热结构案例——多工 况冷却棒热应力..... 79
1.8.5 验证结果及理解问题..... 50	2.9.1 问题描述及分析..... 79
	2.9.2 数值模拟过程..... 80
	2.9.3 验证结果及理解问题..... 90

2.10 ANSYS Workbench 热电耦合案例——通 电导线传热·····	90	3.5.2 应用子模型求解机车轮轴局部应 力的数值模拟过程·····	138
2.10.1 问题描述及分析·····	90	3.5.3 应力收敛性判定及结果分析·····	142
2.10.2 数值模拟过程·····	91	3.6 工程案例——应用疲劳工具计算机 车轮轴过渡处的疲劳寿命·····	142
2.10.3 验证结果及理解问题·····	97	3.7 本章小结·····	144
2.11 本章小结·····	98	3.8 习题·····	144
第3章 ANSYS Workbench 结构分析 基础·····	99	第4章 ANSYS Workbench 结构网格 划分·····	146
3.1 结构静力分析概述·····	99	4.1 网格划分概述·····	146
3.1.1 结构静力分析·····	99	4.2 网格划分工作界面·····	146
3.1.2 结构动态静力分析·····	102	4.3 网格划分过程·····	147
3.1.3 ANSYS Workbench 中的结构静力分析 方法·····	103	4.4 整体网格控制·····	147
3.2 应力分析及相关术语·····	104	4.4.1 默认选项·····	149
3.2.1 结构失效及计算准则·····	104	4.4.2 尺寸控制·····	149
3.2.2 应力分析·····	105	4.4.3 质量控制·····	151
3.2.3 应力及其分类·····	105	4.4.4 高级网格控制选项·····	162
3.2.4 应力集中·····	107	4.4.5 统计【Statistics】·····	165
3.2.5 接触应力·····	107	4.5 局部网格控制·····	165
3.2.6 温度应力·····	107	4.5.1 方法控制·····	165
3.2.7 应力状态·····	107	4.5.2 单元大小·····	175
3.2.8 位移·····	108	4.5.3 接触尺寸·····	177
3.2.9 应变·····	108	4.5.4 单元细化·····	178
3.2.10 线性应力-应变关系·····	109	4.5.5 映射面网格·····	178
3.2.11 结构材料的机械性能·····	110	4.5.6 匹配控制·····	180
3.2.12 强度理论与强度设计准则·····	114	4.5.7 修剪控制·····	181
3.3 工程案例——应用梁单元进行机车轮 轴的静强度分析·····	115	4.5.8 边界层控制·····	182
3.3.1 问题描述及分析·····	115	4.6 检查网格质量·····	183
3.3.2 应用梁单元计算轮轴应力的数值模拟 过程·····	116	4.7 虚拟拓扑·····	184
3.3.3 结果分析与静强度评估·····	124	4.8 预览和生成网格·····	186
3.4 工程案例——应用 3D 实体单元进行机车 轮轴的静强度分析·····	124	4.9 网格划分案例——卡箍连接模型·····	187
3.4.1 应用 3D 实体单元计算机车轮轴应力的 数值模拟过程·····	125	4.10 网格划分案例——螺线管模型·····	192
3.4.2 结果分析与应力评定解读·····	132	4.11 本章小结·····	198
3.4.3 处理应力奇异问题·····	136	第5章 ANSYS Workbench 建立合理 有限元分析模型·····	199
3.5 工程案例——应用子模型计算机车轮轴 过渡处的局部应力·····	138	5.1 建立合理的有限元分析模型概述·····	199
3.5.1 理解应力集中处的应力·····	138	5.2 结构分析建模求解策略·····	200
		5.2.1 结构的载荷分析·····	200
		5.2.2 结构理想化·····	201
		5.2.3 提取分析模型·····	201

5.2.4	单元选择	203	5.5.5	螺栓为实体单元(无螺纹)进行螺栓连接组件分析	275
5.2.5	网格划分	204	5.5.6	螺栓为实体单元(有螺纹)进行螺栓连接组件分析	284
5.2.6	施加载荷与约束条件	204	5.5.7	螺栓连接组件分析小结	287
5.2.7	试算结果评估	204	5.6	杆梁结构分析模型及案例	288
5.2.8	应力集中现象的处理	204	5.6.1	杆梁结构计算模型及简化原则	288
5.3	ANSYS Workbench 结构分析模型	205	5.6.2	9m 单梁吊车弯曲模型及截取边界补强模型的强度分析	291
5.3.1	分析模型的体类型	205	5.7	2D 分析模型及案例	300
5.3.2	多体零件	206	5.7.1	2D 分析模型简介	300
5.3.3	体属性	206	5.7.2	2D 平面应力模型分析齿轮齿条传动的约束反力矩	301
5.3.4	几何工作表	207	5.8	3D 分析模型及案例	306
5.3.5	点质量	208	5.8.1	概述	306
5.3.6	厚度	208	5.8.2	卡箍连接模型的多载荷步数值模拟	306
5.3.7	材料属性	209	5.9	本章小结	315
5.4	ANSYS 18.2 Workbench 结构分析的连接关系	210	5.10	习题	316
5.4.1	接触连接	210	第 6 章	ANSYS Workbench 结构静强度分析	318
5.4.2	接触控制	210	6.1	静强度分析	318
5.4.3	接触设置	212	6.1.1	静强度分析概述	318
5.4.4	点焊连接	214	6.1.2	静强度设计方法	318
5.4.5	接触工作表	215	6.1.3	压力容器开孔接管区静强度分析	319
5.4.6	接触分析模型案例——点焊连接不锈钢板的非线性静力分析	215	6.2	本章小结	325
5.4.7	远端边界条件	223	第 7 章	ANSYS Workbench 结构疲劳强度分析	326
5.4.8	远端边界分析模型案例——千斤顶底座承载模拟	226	7.1	疲劳分析概述	326
5.4.9	关节连接	232	7.2	疲劳分析设计方法	326
5.4.10	弹簧连接	237	7.2.1	总寿命法	326
5.4.11	梁连接	239	7.2.2	损伤容限法	327
5.4.12	端点释放	239	7.3	总寿命法疲劳强度设计	327
5.4.13	轴承连接	240	7.3.1	无限寿命设计法	327
5.4.14	坐标系	242	7.3.2	有限寿命设计法	327
5.4.15	命名选择	243	7.4	ANSYS Workbench 高周疲劳分析	328
5.4.16	选择信息	245	7.4.1	疲劳工具处理的载荷	328
5.4.17	关节应用案例——活塞连杆组件承压模拟	245	7.4.2	高周疲劳分析过程	329
5.5	螺栓连接模型的建模技术及案例	255	7.4.3	材料的疲劳特性	330
5.5.1	概述	255	7.4.4	疲劳工具	331
5.5.2	案例描述及分析	256			
5.5.3	无螺栓、绑定接触进行螺栓连接组件分析	256			
5.5.4	螺栓为梁单元进行螺栓连接组件分析	265			

7.5 分析案例——矩形板边缘承受交变弯矩的疲劳分析	333	7.10 本章小结	355
7.5.1 问题描述及分析	333	第 8 章 结构热变形及热应力分析	356
7.5.2 数值模拟过程	334	8.1 结构热应力分析方法概述	356
7.5.3 结果分析与讨论	336	8.2 传热基本方式	356
7.6 非比例载荷的疲劳分析	338	8.3 稳态传热	357
7.6.1 简述	338	8.4 结构热变形及热应力分析的有限元方程	358
7.6.2 非比例载荷的疲劳分析过程	338	8.5 覆铜板模型低温热应力分析	359
7.7 分析案例——正应力的非比例加载疲劳分析	339	8.5.1 问题描述及分析	359
7.7.1 问题描述及分析	339	8.5.2 刚性结点的热应力理论计算	359
7.7.2 数值模拟过程	339	8.5.3 数值模拟过程	360
7.7.3 结果分析与讨论	344	8.5.4 结果分析与讨论	364
7.8 非恒幅载荷的疲劳分析	345	8.6 泵壳传热及热应力分析	364
7.8.1 不规则载荷历程的处理	345	8.6.1 问题描述与分析	364
7.8.2 非恒定振幅、比例加载疲劳分析相关设置	345	8.6.2 数值模拟过程	364
7.9 分析案例——连杆受压疲劳分析	347	8.6.3 结果分析与讨论	369
7.9.1 问题描述及分析	347	8.7 本章小结	369
7.9.2 恒幅对称循环加载的数值模拟过程	347	8.8 习题	369
7.9.3 变幅比例加载的疲劳分析过程	352	参考文献	371

CAE分析大系

ANSYS Workbench 结构分析与实例详解

© 许京荆 编著

人民邮电出版社
北京

试读结束：如需全本请在线购买：www.eitongbook.com

图书在版编目 (C I P) 数据

CAE分析大系 : ANSYS Workbench结构分析与实例详解 / 许京荆编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2019.2
ISBN 978-7-115-49534-1

I. ①C… II. ①许… III. ①有限元分析—应用软件
IV. ①0241.82-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第228280号

内 容 提 要

本书着眼于 ANSYS 软件的使用和实际工程应用, 结合有限元分析方法和具体的软件操作过程, 从工程仿真分析实际出发, 详细介绍了 ANSYS Workbench 18.2 有限元分析软件的功能和处理各种问题的使用技巧, 以及结构的静力分析、应力分析、网络划分、合理的有限元模型的建立、静强度分析、疲劳强度分析、热变形及热应力分析等。本书提供的每个分析案例包括工程问题的简化, 分析模型的建立, 施加边界条件及求解, 结果的评定期待接近于工程实际。

本书为初学者提供机械工程中 CAE 涉及的有限元方法的基础理论及实践知识, 基于 ANSYS Workbench 18.2 软件平台, 初学者将学会使用商业化的有限元分析软件解决工程问题。

-
- ◆ 编 著 许京荆
责任编辑 杨 璐
责任印制 陈 桦
 - ◆ 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>
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 23.25
字数: 701 千字 2019 年 2 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2019 年 2 月河北第 1 次印刷
-

定价: 79.00 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: 京东工商广登字 20170147 号

目前,有限元方法(FEM)已成为预测及模拟复杂工程系统物理行为的主流趋势。商业化的有限元分析(FEA)程序已经获得了广泛认同,因此,无论是在校本科生、研究生,还是科研工作者、工程设计人员都需要了解FEM的理论,而且需要学会使用有限元分析应用程序。

ANSYS软件是融结构、流体、电磁场、声场和系统等分析于一体的大型通用有限元分析软件,广泛应用于航空、航天、电子、车辆、船舶、交通、通信、建筑、电子、医疗、国防、石油和化工等众多行业。目前,ANSYS提供了完整的软件套件,涵盖了整个物理领域,对于一个设计过程而言,所需要的几乎任何工程模拟领域都可用ANSYS系列软件实现。ANSYS作为现代产品设计中的高级CAE工具,其优越的工程可伸缩性、综合的多物理基础和自适应体系结构,通过模拟驱动的产品开发,为工程设计过程增加价值,提高效率,推动创新,并减少物理约束,使模拟测试成为可能,从而大大增强了工程模拟深度和广度。

ANSYS产品中的Workbench,以项目流程图的方式,将结构、流体和电磁等各种分析系统集成到统一平台中,进而实现不同软件之间的无缝链接。ANSYS 18.2 Workbench操作便捷,处理复杂的工程模型更为方便,软件的分析功能和各项操作也有了更好的提升和发展。

» 读者对象

本书的目的是为初学者提供机械工程中CAE涉及的有限元方法的基础理论及实践知识。基于ANSYS 18.2 Workbench软件平台,初学者将学会使用商业化的有限元分析软件解决工程问题。本书具体着眼于ANSYS软件在实际工程中的应用,结合有限元分析方法和具体的软件操作过程,从工程仿真分析实例出发,详细介绍了ANSYS 18.2 Workbench有限元分析软件的功能和处理各种问题的使用技巧。

» 主要内容

第1章为初学者提供有限元方法的基础理论及实践知识,介绍了工程问题的数学物理方程及数值算法、相关的有限元基本方法及分析技术,以及如何使用有限元分析软件ANSYS 18.2 Workbench对简单的一维模型进行分析,并给出了结构、稳态热及稳态电流数值模拟案例加以分析和讨论。

第2章侧重ANSYS 18.2 Workbench基本功能及使用。ANSYS Workbench集成平台采用项目图解视图,通过简洁的拖放操作完成简单至复杂的多场耦合分析。通过第2章介绍其基本的使用原则及对多场耦合案例给出详细的数值模拟过程,帮助读者理解及掌握ANSYS Workbench平台的使用。

第3章侧重ANSYS Workbench中的结构分析基础部分。在实际工程中,结构承受静载荷和动载荷的影响,而最基本的是搞清楚静载作用下的结构响应。ANSYS Workbench结构分析基础部分,仅

关注结构静力分析问题。本章详述了静力分析的相关概念及强度评估方法，并针对一个机车轮轴的工程案例，基于整体和局部不同的设计评估关注点，给出不同分析处理方式，并介绍了如何考虑将实际的工程问题转换为不同的分析模型的求解技术。

第 4 章侧重 ANSYS Workbench 结构网格划分的内容。网格是有限元数值模拟过程中不可分割的一部分，直接影响到求解精度、求解收敛性和求解速度。本章主要描述 ANSYS 18.2 Workbench 结构整体及局部网格划分方法、过程及其相关选项，以及如何检查网格质量，利用虚拟拓扑工具辅助网格划分提高网格质量，并分别给出单个零件及装配模型的网格划分案例，描述详细的操作过程并对不同网格进行对比，帮助读者熟悉及掌握结构网格划分技术。

第 5 章侧重如何在 ANSYS Workbench 中建立合理的有限元分析模型。对分析设计而言，合理的有限元分析模型意味着如何将工程问题转化为正确的数理模型。建立合理分析模型往往需要经历一个复杂的过程。本章利用 ANSYS 软件提供的众多工具，先讨论了结构分析建模涉及的相关求解策略，包括结构如何理想化，怎么提取有效的分析模型，网格划分需要注意的问题，加载求解及结果评估中需要考虑的要点，以及应力集中的处理等。再基于 ANSYS 18.2 Workbench 平台，详述了结构分析模型的处理，包括软件分析中对体类型、多体零件、点质量、厚度和材料属性等的描述及处理。然后重点讨论如何正确建立结构分析的连接关系，涉及接触连接及设置、点焊连接、远端边界条件、关节连接、弹簧连接、梁连接、端点释放、轴承连接、坐标系、命名选择和选择信息，并给出相应的接触分析案例、远端边界使用案例、关节应用案例和螺栓连接模型的不同建模技术及案例。最后基于单元类型的变化，给出杆梁分析模型及案例、2D 平面应力分析模型及案例，以及 3D 装配体接触分析模型及案例，每个案例分析均给出问题解读及详细数值模拟过程，期待读者能够理解并掌握解决问题的关键点及相关数值仿真技术。

第 6 章侧重在 ANSYS Workbench 中如何完成结构静强度分析。本章结合案例分析压力容器行业规范，对非标设计的开孔接管强度问题，采用分析设计法进行数值模拟及强度校核。

第 7 章侧重在 ANSYS Workbench 中如何完成结构疲劳强度分析。本章主要介绍疲劳分析设计方法，以及利用 Ansys 18.2 Workbench 的疲劳工具进行比例/非比例、恒定幅值/非恒定幅值载荷作用下的高周疲劳分析，并给出不同加载状态下的疲劳分析案例及详细的数值模拟过程。

第 8 章侧重在 ANSYS Workbench 中如何完成结构热变形及热应力分析。温度变化会以多种方式影响结构性能。本章结合环境温度和温差分布产生结构热变形引发的热应力问题，给出不同分析案例和详细数值模拟过程。

为了方便读者理解并建立正确的有限元模型，书中提供了许多概念理解型案例，这些案例包含理论分析和有限元数值模拟的对比结果，同时书中也解析了常见的工程案例。书中内容主要涉及结构线性、非线性静力分析，也包含部分热分析、电场分析及热-结构耦合场分析。本书提供的每个分析案例包括工程问题的简化，分析模型的建立，施加边界条件及求解，以及结果讨论及评估，其评定期待接近于工程实际。

本书配套提供了每个章节的分析案例所需的几何文件及 ANSYS 18.2 Workbench 分析完成的压缩文件(*.wbpz)，均放置在对应章节目录下。几何文件用于模型导入，源文件可用【Restore Archive】

还原打开，以便查看相关的结果（文档还原操作可参见章节 2.6.3）。

资源下载及技术支持

若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。读者扫描右侧或封底的二维码即可获得本书全部案例源文件的下载方法，如果大家在下载过程中遇到任何问题，请发邮件至 szys@ptpress.com.cn，我们会尽力为大家解答。



由于本书内容涉及面广，书中不足之处在所难免，希望广大读者批评指正，也欢迎提出改进性建议。

致谢与分工

本书由上海大学机电学院安全断裂分析研究室（ANSYS 软件华东区技术支持中心）的许京荆老师编著。在写作过程中得到了吴益敏教授、王秀梅副研究员、王秀荣、刘威威、王正涛、陈雨、赵辉、袁坤、马玉屏、魏望望、戚严文、朱远、李盛鹏、刘云飞、叶天杨、陈梦炯、韦祎、白彦伟及笔者家人的支持与协助，在此深表谢意。

许京荆

2018年4月

第 1 章 有限元分析及 ANSYS Workbench 的简单应用..... 10	1.9 本章小结..... 50
1.1 引言..... 10	1.10 习题..... 51
1.2 工程问题的数学物理方程及数值算法..... 10	第 2 章 ANSYS Workbench 平台..... 53
1.2.1 工程问题复杂的需求及过程..... 10	2.1 ANSYS Workbench 概述..... 53
1.2.2 工程问题的数学物理方程..... 11	2.2 ANSYS 18.2 Workbench 数值模拟的一般过程..... 53
1.2.3 控制微分方程的数值算法..... 14	2.3 ANSYS 18.2 Workbench 的启动..... 54
1.3 有限元分析技术的发展及应用..... 15	2.4 ANSYS 18.2 Workbench 的工作环境..... 54
1.4 有限元分析的基本原理及相关术语..... 16	2.4.1 主菜单..... 54
1.4.1 有限元分析的基本原理..... 16	2.4.2 基本工具栏..... 58
1.4.2 有限元分析的相关术语..... 17	2.4.3 工具箱..... 58
1.5 有限元分析的基本步骤..... 19	2.4.4 项目流程图..... 61
1.6 有限元分析计算实例——直杆拉伸的轴向变形..... 19	2.4.5 参数设置..... 63
1.6.1 问题描述..... 19	2.4.6 定制分析流程..... 64
1.6.2 微分方程的解析解..... 20	2.5 ANSYS 18.2 Workbench 窗口管理功能..... 65
1.6.3 微分方程的有限元数值解..... 20	2.6 ANSYS 18.2 Workbench 文件管理..... 66
1.6.4 ANSYS Workbench 梁单元分析直杆拉伸的轴向变形..... 22	2.6.1 Workbench 文件系统..... 66
1.6.5 验证结果及理解问题..... 33	2.6.2 显示文件..... 67
1.7 有限元分析计算实例——单轴直杆热传导..... 33	2.6.3 文件归档及复原..... 68
1.7.1 问题描述..... 33	2.7 ANSYS 18.2 Workbench 单位系统..... 68
1.7.2 微分方程的解析解..... 33	2.8 ANSYS 18.2 Workbench 应用程序使用基础..... 69
1.7.3 微分方程的有限元数值解..... 34	2.8.1 应用程序的工作界面..... 69
1.7.4 ANSYS Workbench 热传导杆单元分析单轴直杆传热..... 36	2.8.2 应用程序的菜单功能..... 71
1.7.5 验证结果及理解问题..... 40	2.8.3 应用程序的工具栏..... 72
1.8 有限元分析计算实例——单轴直杆稳态电流传导..... 41	2.8.4 应用程序的图形显示控制及选择..... 73
1.8.1 问题描述..... 41	2.8.5 应用程序的导航结构及其明细..... 74
1.8.2 微分方程的解析解..... 41	2.8.6 应用程序中加载边界条件..... 75
1.8.3 微分方程的有限元数值解..... 42	2.8.7 应用工程数据..... 76
1.8.4 ANSYS Workbench 电实体单元分析单轴直杆的稳态电流传导..... 44	2.9 ANSYS Workbench 热结构案例——多工况冷却棒热应力..... 79
1.8.5 验证结果及理解问题..... 50	2.9.1 问题描述及分析..... 79
	2.9.2 数值模拟过程..... 80
	2.9.3 验证结果及理解问题..... 90

2.10 ANSYS Workbench 热电耦合案例——通 电导线传热·····	90	3.5.2 应用子模型求解机车轮轴局部应 力的数值模拟过程·····	138
2.10.1 问题描述及分析·····	90	3.5.3 应力收敛性判定及结果分析·····	142
2.10.2 数值模拟过程·····	91	3.6 工程案例——应用疲劳工具计算机 车轮轴过渡处的疲劳寿命·····	142
2.10.3 验证结果及理解问题·····	97	3.7 本章小结·····	144
2.11 本章小结·····	98	3.8 习题·····	144
第 3 章 ANSYS Workbench 结构分析		第 4 章 ANSYS Workbench 结构网格	
基础 ·····	99	划分 ·····	146
3.1 结构静力分析概述·····	99	4.1 网格划分概述·····	146
3.1.1 结构静力分析·····	99	4.2 网格划分工作界面·····	146
3.1.2 结构动态静力分析·····	102	4.3 网格划分过程·····	147
3.1.3 ANSYS Workbench 中的结构静力分析 方法·····	103	4.4 整体网格控制·····	147
3.2 应力分析及相关术语·····	104	4.4.1 默认选项·····	149
3.2.1 结构失效及计算准则·····	104	4.4.2 尺寸控制·····	149
3.2.2 应力分析·····	105	4.4.3 质量控制·····	151
3.2.3 应力及其分类·····	105	4.4.4 高级网格控制选项·····	162
3.2.4 应力集中·····	107	4.4.5 统计【Statistics】·····	165
3.2.5 接触应力·····	107	4.5 局部网格控制·····	165
3.2.6 温度应力·····	107	4.5.1 方法控制·····	165
3.2.7 应力状态·····	107	4.5.2 单元大小·····	175
3.2.8 位移·····	108	4.5.3 接触尺寸·····	177
3.2.9 应变·····	108	4.5.4 单元细化·····	178
3.2.10 线性应力-应变关系·····	109	4.5.5 映射面网格·····	178
3.2.11 结构材料的机械性能·····	110	4.5.6 匹配控制·····	180
3.2.12 强度理论与强度设计准则·····	114	4.5.7 修剪控制·····	181
3.3 工程案例——应用梁单元进行机车轮 轴的静强度分析·····	115	4.5.8 边界层控制·····	182
3.3.1 问题描述及分析·····	115	4.6 检查网格质量·····	183
3.3.2 应用梁单元计算轮轴应力的数值模拟 过程·····	116	4.7 虚拟拓扑·····	184
3.3.3 结果分析与静强度评估·····	124	4.8 预览和生成网格·····	186
3.4 工程案例——应用 3D 实体单元进行机车 轮轴的静强度分析·····	124	4.9 网格划分案例——卡箍连接模型·····	187
3.4.1 应用 3D 实体单元计算机车轮轴应力的 数值模拟过程·····	125	4.10 网格划分案例——螺线管模型·····	192
3.4.2 结果分析与应力评定解读·····	132	4.11 本章小结·····	198
3.4.3 处理应力奇异问题·····	136	第 5 章 ANSYS Workbench 建立合理	
3.5 工程案例——应用子模型计算机车轮轴 过渡处的局部应力·····	138	有限元分析模型 ·····	199
3.5.1 理解应力集中处的应力·····	138	5.1 建立合理的有限元分析模型概述·····	199
		5.2 结构分析建模求解策略·····	200
		5.2.1 结构的载荷分析·····	200
		5.2.2 结构理想化·····	201
		5.2.3 提取分析模型·····	201