



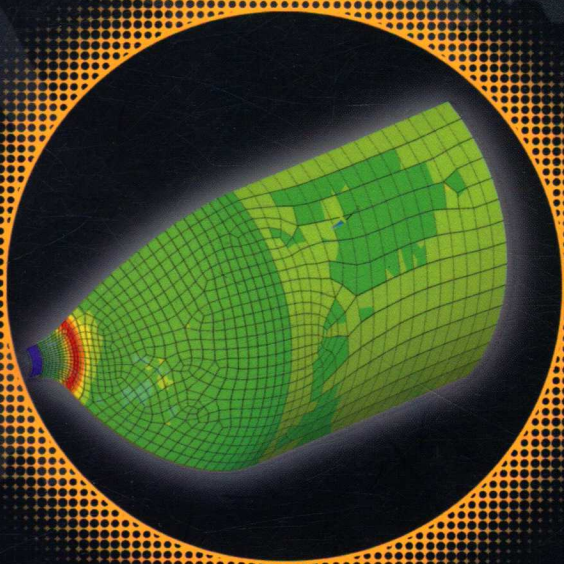
ANSYS Workbench 14.5

数值模拟 工程实例解析

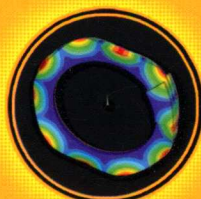
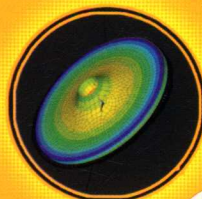
◎ 张洪才 刘宪伟 孙长青 等编著

本书核心内容包括

- 爆破片的有限元分析
- 赫兹接触有限元分析
- 薄板多道焊接残余应力有限元分析
- 圆柱体挤压成型非线性有限元分析
- 齿轮动态接触热-结构耦合分析
- 电动机主轴的谐响应分析
- 振动平台的响应谱分析
- 焊接接头的弹塑性分析
- 行星机构的刚-柔瞬态动力学分析
- 轴类零件的应变疲劳分析
- 多盘转子系统动力学分析
- 悬臂梁的直接优化设计
- 点焊结构的有限元分析



附赠超值  光盘
范例素材 + 视频讲解



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



0241.82-39

20141

此书附盘在资源建设室

阅 览

CAD/CAM/CAE 工程应用丛书 · ANSYS 系列

ANSYS Workbench 14.5 数值模拟 工程实例解析

张洪才 刘宪伟 孙长青 等编著



机械工业出版社

本书以 ANSYS 14.5 版本为基础,详细介绍了 ANSYS 经典版和 Workbench 协同仿真平台。讲解了 ANSYS 的几何非线性、材料非线性、界面失效、接触分析、压电分析、热-结构、塑性成型、生死单元和 Workbench 的线弹性静力学分析、非线性分析、模态分析、瞬态动力学分析、谐响应分析、响应谱分析、随机振动分析、流体分析、断裂力学、屈曲分析、刚-柔耦合动态接触分析、疲劳分析、优化设计和点焊结构,全书共 36 个实例,并在配套光盘中提供了 36 个实例的视频教程和实例文件。

本书不仅可以作为高等院校理工类高年级本科生或研究生学习 ANSYS 有限元分析软件的教材,还可作为从事结构分析的工程技术人员的自学参考教材,同时书中提供的大量实例也可供高级用户参考。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS Workbench 14.5 数值模拟工程实例解析 / 张洪才等编著. —北京:机械工业出版社, 2013.9

(CAD/CAM/CAE 工程应用丛书·ANSYS 系列)

ISBN 978-7-111-44013-0

I. ①A… II. ①张… 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(2013)第 216018 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张淑谦

责任编辑:张淑谦

责任印制:杨 曦

北京四季青印刷厂印刷

2013 年 10 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·26 印张·641 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-44013-0

ISBN 978-7-89405-094-6 (光盘)

定价:72.00 元(含 1DVD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

出版说明

随着信息技术在各领域的迅速渗透, CAD/CAM/CAE 技术已经得到了广泛的应用, 从根本上改变了传统的设计、生产、组织模式, 对推动现有企业的技术改造、带动整个产业结构的变革、发展新兴技术、促进经济增长都具有十分重要的意义。

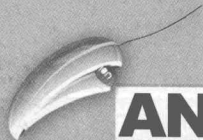
CAD 在机械制造行业的应用最早, 使用也最为广泛。目前其最主要的应用涉及到机械、电子、建筑等工程领域。世界各大航空、航天及汽车等制造业巨头不但广泛采用 CAD/CAM/CAE 技术进行产品设计, 而且投入大量的人力、物力及资金进行 CAD/CAM/CAE 软件的开发, 以保持自己技术上的领先地位和国际市场上的优势。CAD 在工程中的应用, 不但可以提高设计质量, 缩短工程周期, 还可以节约大量建设投资。

各行各业的工程技术人员也逐步认识到 CAD/CAM/CAE 技术在现代工程中的重要性, 掌握其中的一种或几种软件的使用方法和技巧, 已成为他们在竞争日益激烈的市场经济形势下生存和发展的必备技能之一。然而仅仅知道简单的软件操作方法是远远不够的, 只有将计算机技术和工程实际结合起来, 才能真正达到通过现代的技术手段提高工程效益的目的。

基于这一考虑, 机械工业出版社特别推出了这套主要面向相关行业工程技术人员的“CAD/CAM/CAE 工程应用丛书”。本丛书涉及 AutoCAD、Pro/ENGINEER、CreoUG、SolidWorks、Mastercam、ANSYS 等软件在机械设计、性能分析、制造技术方面的应用, 以及 AutoCAD 和天正建筑 CAD 软件在建筑和室内配景图、建筑施工图、室内装潢图、水暖、空调布线图、电路布线图以及建筑总图等方面的应用。

本套丛书立足于基本概念和操作, 配以大量具有代表性的实例, 并融入了作者丰富的实践经验, 使得本丛书内容具有专业性强、操作性强、指导性强的特点, 是一套真正具有实用价值的书籍。

机械工业出版社



前言

ANSYS 是目前国内外使用最广泛的计算机辅助分析软件之一, 经过 40 多年的发展, 其强大的求解功能和良好的用户界面深受广大用户的欢迎。ANSYS 软件是一个集结构、热、流体、电磁和声学于一体的大型通用有限元分析软件。同时, 它还是世界上第一个通过 ISO 9001 质量认证的分析设计类软件。ANSYS 软件可广泛应用于核工业、铁道、石油化工、航空航天、机械制造、材料成形、能源、汽车交通、国防军工等工业及科学研究等领域。ANSYS 14.5 是目前最新的 ANSYS 版本, 该新版本涉及的内容包括: 高级分析、网格划分、优化、多物理场和多体动力学。ANSYS 产品的主体是 ANSYS Workbench, 整合了 ANSYS 诸多软件。ANSYS 14.5 不仅为当前的商业应用提供了新技术, 而且在以下方面取得了显著进步: 继续开发和提供世界一流的求解器技术; 提供了针对复杂仿真的多物理场耦合解决方法; 整合了 ANSYS 的网格技术并产生统一的网格环境; 通过对先进的软硬件平台的支持来实现对大规模问题的高效求解; 继续改进最好的 CAE 集成环境——ANSYS Workbench; 继续融合先进的计算流体动力学技术。

本书工程实例背景强, 讲述循序渐进, 应用领域广泛。通过学习, 读者可逐步提高自身的工作bench 操作水平及利用有限元分析理论进行结构分析的能力, 最终具备在结构分析领域解决实际工程问题的思路、方法和能力。

全书共 36 个工程实例, 覆盖了大部分工程问题, 也详细地讲解了一些热门问题, 如爆破片分析、齿轮动态接触热-结构耦合、塑性成型、焊接过程模拟、行星机构的刚-柔瞬态动力学分析、应变疲劳分析、非比例加载疲劳分析和转子系统临界转速等问题并配有详细的讲解视频教程, 可以帮助读者在短时间内掌握这些复杂问题的分析流程和技巧, 同时还能够领会到实际工程问题的分析思路, 并能解决相关领域的问题。

本书面向初、中级用户, 适合于初、中级用户入门与提高阶段使用。全书主要由长春装甲兵技术学院张洪才、刘宪伟编写, 其中第 3~6 例由沈阳工程学院孙长青编写, 此外参加本书编写的还有长春装甲兵技术学院的王海鹏、黄健、金顶云、魏建辉、丰吉贺、郑振铎和高嘉英; 白城兵器试验中心的蒋陆德; 中国北方车辆研究所的邢彦斌。编者长期从事 CAE 的研究工作, 并根据自己的研究工作整理完成本书内容。在此, 作者向所有参与和关心本书出版的领导、老师、亲人和朋友致以诚挚的谢意! 由于水平所限, 难免在写作方式和内容上存在疏漏之处, 恳请读者批评指正, 如有问题可以发邮件到 zafansys@163.com, 以便能促进技术的提高。

编者

目 录

出版说明

前言

第1例 爆破片的有限元分析 1

1.1 实例覆盖的知识点 1

1.2 模型 1

1.3 单元 1

1.4 材料参数 2

1.5 边界条件和载荷 2

1.6 GUI 操作 2

1.6.1 前处理 2

1.6.2 求解 9

1.6.3 后处理 13

1.7 命令流 14

第2例 赫兹接触有限元分析 20

2.1 实例覆盖的知识点 20

2.2 模型 20

2.3 单元 20

2.4 材料参数 21

2.5 边界条件和载荷 21

2.6 GUI 操作 21

2.6.1 求解 26

2.6.2 后处理 29

2.7 命令流 30

第3例 搭接结构的界面开裂失效

模拟 32

3.1 实例覆盖的知识点 32

3.2 模型 32

3.3 单元 32

3.4 材料参数 32

3.5 边界条件和载荷 33

3.6 GUI 操作 33

3.6.1 求解 36

3.6.2 后处理 38

3.7 命令流 40

第4例 薄板多道焊接残余应力有限元

分析 42

4.1 实例覆盖的知识点 42

4.2 模型 42

4.3 单元 42

4.4 材料参数 43

4.5 边界条件和载荷 43

4.6 GUI 操作 43

4.6.1 前处理 43

4.6.2 求解 50

4.6.3 后处理 56

4.7 命令流 62

第5例 含强化纤维的复合材料

管道 69

5.1 实例覆盖的知识点 69

5.2 模型 69

5.3 单元 70

5.4 材料参数 70

5.5 边界条件和载荷 70

5.6 GUI 操作 70

5.6.1 前处理 70

5.6.2 求解 76

5.6.3 后处理 78

5.7 命令流 79

第6例 埋深管道与土的相互瞬态接触

分析 82

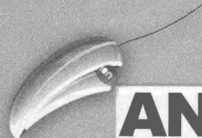
6.1 实例覆盖的知识点 82

6.2 模型 82

6.3 单元 83

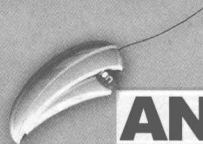
6.4 材料参数 83





6.5 边界条件和载荷	83	9.6 GUI 操作	126
6.6 GUI 操作	83	9.6.1 前处理	126
6.6.1 前处理	83	9.6.2 求解	130
6.6.2 求解	89	9.6.3 后处理	132
6.6.3 后处理	92	9.7 命令流	134
6.7 命令流	95	第 10 例 轮-轨接触的有限元分析	137
第 7 例 功能梯度压电梁的有限元 分析	98	10.1 实例覆盖的知识点	137
7.1 实例覆盖的知识点	98	10.2 模型	137
7.2 模型	98	10.3 单元	138
7.3 单元	98	10.4 材料参数	138
7.4 材料参数	98	10.5 边界条件和载荷	138
7.5 边界条件和载荷	99	10.6 GUI 操作	138
7.6 GUI 操作	99	10.6.1 前处理	138
7.6.1 前处理	99	10.6.2 求解	143
7.6.2 求解	103	10.6.3 后处理	147
7.6.3 后处理	106	10.7 命令流	150
7.7 命令流	107	第 11 例 圆柱体挤压成型非线性 有限元分析	152
第 8 例 温度对于装配体接触应力 影响分析	110	11.1 实例覆盖的知识点	152
8.1 实例覆盖的知识点	110	11.2 模型	152
8.2 模型	110	11.3 单元	153
8.3 单元	111	11.4 材料参数	153
8.4 材料参数	111	11.5 边界条件和载荷	153
8.5 边界条件和载荷	111	11.6 GUI 操作	153
8.6 GUI 操作	111	11.6.1 前处理	153
8.6.1 前处理	111	11.6.2 求解	157
8.6.2 求解	117	11.6.3 后处理	160
8.6.3 后处理	120	11.7 命令流	162
8.7 命令流	122	第 12 例 齿轮动态接触的热-结构 耦合分析	164
第 9 例 基于生死单元法的平板填充 焊接温度场分析	125	12.1 实例覆盖的知识点	164
9.1 实例覆盖的知识点	125	12.2 模型	164
9.2 模型	125	12.3 单元	165
9.3 单元	126	12.4 材料参数	165
9.4 材料参数	126	12.5 边界条件和载荷	165
9.5 边界条件和载荷	126	12.6 GUI 操作	165
		12.6.1 前处理	165

12.6.2 求解	171	15.3.3 划分网格	196
12.6.3 后处理	174	15.3.4 流体动力学求解	197
12.7 命令流	176	第 16 例 泵壳的稳态热应力分析 ...	203
第 13 例 离合器轮盘的预应力模态分析	179	16.1 实例覆盖的知识点	203
13.1 实例覆盖的知识点	179	16.2 问题的描述	203
13.2 问题的描述	179	16.2.1 几何模型	203
13.2.1 几何模型	179	16.2.2 材料参数	204
13.2.2 材料参数	180	16.2.3 边界条件和载荷	204
13.2.3 边界条件和载荷	180	16.3 GUI 操作	204
13.3 GUI 操作	180	16.3.1 建立稳态热应力分析系统 ...	204
13.3.1 建立预应力模态分析系统 ...	180	16.3.2 定义材料数据	204
13.3.2 定义材料数据	180	16.3.3 建立几何模型	205
13.3.3 建立几何模型	180	16.3.4 创建有限元模型	206
13.3.4 创建有限元模型	181	16.3.5 稳态热分析	207
13.3.5 静力学求解	182	16.3.6 静力学求解	209
13.3.6 模态求解	184	第 17 例 斜齿轮-齿条装配体的模态分析	211
第 14 例 气穴分析	186	17.1 实例覆盖的知识点	211
14.1 实例覆盖的知识点	186	17.2 问题的描述	211
14.2 问题的描述	186	17.2.1 几何模型	211
14.2.1 几何模型	186	17.2.2 材料参数	211
14.2.2 材料参数	186	17.2.3 边界条件和载荷	211
14.2.3 边界条件和载荷	186	17.3 GUI 操作	212
14.3 GUI 操作	187	17.3.1 建立模态分析系统	212
14.3.1 创建流体分析系统	187	17.3.2 定义材料数据	212
14.3.2 建立几何模型	187	17.3.3 建立几何模型	213
14.3.3 划分网格	188	17.3.4 创建有限元模型	213
14.3.4 流体动力学求解	188	17.3.5 模态求解	215
第 15 例 推力轴承承载能力分析 ...	195	第 18 例 电机主轴的谐响应分析 ...	217
15.1 实例覆盖的知识点	195	18.1 实例覆盖的知识点	217
15.2 问题的描述	195	18.2 问题的描述	217
15.2.1 几何模型	195	18.2.1 几何模型	217
15.2.2 材料参数	196	18.2.2 材料参数	217
15.2.3 边界条件和载荷	196	18.2.3 边界条件和载荷	217
15.3 GUI 操作	196	18.3 完全法谐响应分析 GUI 操作	218
15.3.1 创建流体分析系统	196	18.3.1 建立谐响应分析系统	218
15.3.2 建立几何模型	196		



18.3.2 定义材料数据	218	20.3.2 定义材料数据	242
18.3.3 建立几何模型	218	20.3.3 建立几何模型	243
18.3.4 创建有限元模型	219	20.3.4 创建有限元模型	244
18.3.5 谐响应分析	220	20.3.5 瞬态动力学求解	247
18.4 模态叠加法谐响应分析 GUI 操作	224	第 21 例 振动平台的响应谱分析 ..	251
18.4.1 建立模态叠加法谐响应分析 系统	224	21.1 实例覆盖的知识点	251
18.4.2 定义材料数据	225	21.2 模型	251
18.4.3 建立几何模型	225	21.2.1 几何模型	251
18.4.4 创建有限元模型	225	21.2.2 材料参数	251
18.4.5 模态分析	226	21.2.3 边界条件和载荷	251
18.4.6 谐响应分析	227	21.3 GUI 操作	252
18.5 联合 ANSYS 经典版与 WB 进行后处理	230	21.3.1 创建响应谱分析系统	252
第 19 例 管道表面椭圆裂纹的断裂 力学计算	232	21.3.2 定义材料数据	252
19.1 实例覆盖的知识点	232	21.3.3 建立几何模型	253
19.2 问题的描述	232	21.3.4 创建有限元模型	253
19.2.1 几何模型	232	21.3.5 模态分析	254
19.2.2 材料参数	232	21.3.6 响应谱分析	256
19.2.3 边界条件和载荷	232	第 22 例 齿轮轴的随机振动分析 ..	258
19.3 GUI 操作	233	22.1 实例覆盖的知识点	258
19.3.1 创建静力学分析系统	233	22.2 模型	258
19.3.2 定义材料数据	233	22.2.1 几何模型	258
19.3.3 建立几何模型	234	22.2.2 材料参数	258
19.3.4 创建有限元模型	234	22.2.3 边界条件和载荷	258
19.3.5 静力学求解	237	22.3 GUI 操作	259
第 20 例 斜齿轮动态接触瞬态动 力学分析	241	22.3.1 创建随机振动分析系统	259
20.1 实例覆盖的知识点	241	22.3.2 定义材料数据	259
20.2 问题的描述	241	22.3.3 建立几何模型	260
20.2.1 几何模型	241	22.3.4 创建有限元模型	260
20.2.2 材料参数	242	22.3.5 模态分析	261
20.2.3 边界条件和载荷	242	22.3.6 随机振动分析	263
20.3 GUI 操作	242	第 23 例 细长管的线性屈曲分析 ..	266
20.3.1 创建瞬态动力学分析系统 ..	242	23.1 实例覆盖的知识点	266
		23.2 模型	266
		23.2.1 几何模型	266
		23.2.2 材料参数	266
		23.2.3 边界条件和载荷	266
		23.3 GUI 操作	266

23.3.1 创建线性屈曲分析系统	266	26.2.1 几何模型	290
23.3.2 定义材料数据	267	26.2.2 材料参数	290
23.3.3 建立几何模型	267	26.2.3 边界条件和载荷	290
23.3.4 创建有限元模型	268	26.3 GUI 操作	291
23.3.5 静力学分析	269	26.3.1 创建静力学分析系统	291
23.3.6 线性屈曲分析	271	26.3.2 定义材料数据	291
第 24 例 行星传动机构装配体的静力学分析	272	26.3.3 建立几何模型	292
24.1 实例覆盖的知识点	272	26.3.4 创建有限元模型	293
24.2 问题的描述	272	26.3.5 静力学分析	296
24.2.1 几何模型	272	第 27 例 行星机构的刚-柔耦合动力	
24.2.2 材料参数	272	学分析	300
24.2.3 边界条件和载荷	273	27.1 实例覆盖的知识点	300
24.3 GUI 操作	273	27.2 问题的描述	300
24.3.1 创建静力学分析系统	273	27.2.1 几何模型	300
24.3.2 定义材料数据	273	27.2.2 材料参数	300
24.3.3 建立几何模型	274	27.2.3 边界条件和载荷	300
24.3.4 创建有限元模型	274	27.3 GUI 操作	300
24.3.5 静力学分析	276	27.3.1 创建静力学分析系统	300
第 25 例 锥齿轮工作升温的瞬态热		27.3.2 定义材料数据	301
应力分析	279	27.3.3 建立几何模型	301
25.1 实例覆盖的知识点	279	27.3.4 创建有限元模型	302
25.2 问题的描述	279	27.3.5 瞬态动力学分析	306
25.2.1 几何模型	279	第 28 例 发动机连杆的应力疲劳	
25.2.2 材料参数	279	分析	311
25.2.3 边界条件和载荷	280	28.1 实例覆盖的知识点	311
25.3 GUI 操作	280	28.2 模型	311
25.3.1 创建瞬态热应力分析系统	280	28.2.1 几何模型	311
25.3.2 定义材料数据	280	28.2.2 材料参数	311
25.3.3 建立几何模型	281	28.2.3 边界条件和载荷	312
25.3.4 创建有限元模型	281	28.3 GUI 操作	312
25.3.5 瞬态热分析	283	28.3.1 创建静力学分析系统	312
25.3.6 瞬态动力学分析	286	28.3.2 定义材料数据	312
第 26 例 焊接接头的弹塑性分析	290	28.3.3 建立几何模型	314
26.1 实例覆盖的知识点	290	28.3.4 创建有限元模型	315
26.2 问题的描述	290	28.3.5 静力学分析	316
		28.3.6 恒定振幅载荷疲劳分析	318

28.3.7 随机载荷疲劳分析	321	31.2.3 边界条件和载荷	345
第 29 例 轴类零件的应变疲劳		31.3 GUI 操作	345
分析	324	31.3.1 创建单向流固耦合	
29.1 实例覆盖的知识点	324	分析系统	345
29.2 模型	324	31.3.2 建立几何模型	345
29.2.1 几何模型	324	31.3.3 划分流体区域网格	346
29.2.2 材料参数	324	31.3.4 流体分析	347
29.2.3 边界条件和载荷	325	31.3.5 结构静力学分析	350
29.3 GUI 操作	325	第 32 例 振动橡胶板的双向流-固	
29.3.1 创建静力学分析系统	325	耦合 (CFX)	354
29.3.2 定义材料数据	325	32.1 实例覆盖的知识点	354
29.3.3 建立几何模型	326	32.2 问题的描述	354
29.3.4 创建有限元模型	326	32.2.1 几何模型	354
29.3.5 静力学分析	327	32.2.2 材料参数	355
29.3.6 恒定振幅载荷疲劳分析	329	32.2.3 边界条件和载荷	355
29.3.7 随机载荷疲劳分析	331	32.3 GUI 操作	355
第 30 例 带孔钢板的非比例加载疲劳		32.3.1 创建双向流-固耦合	
分析	335	分析系统	355
30.1 实例覆盖的知识点	335	32.3.2 定义材料数据	355
30.2 模型	335	32.3.3 建立几何模型	356
30.2.1 几何模型	335	32.3.4 设置瞬态结构动力学	357
30.2.2 材料参数	335	32.3.5 设置流体动力学	359
30.2.3 边界条件和载荷	336	第 33 例 振动橡胶板的双向流-固耦合	
30.3 GUI 操作	336	(System Coupling)	366
30.3.1 创建静力学分析系统	336	33.1 实例覆盖的知识点	366
30.3.2 定义材料数据	336	33.2 问题的描述	366
30.3.3 建立几何模型	337	33.2.1 几何模型	366
30.3.4 创建有限元模型	337	33.2.2 材料参数	367
30.3.5 工况 1 静力学分析	338	33.2.3 边界条件和载荷	367
30.3.6 工况 2 静力学分析	340	33.3 GUI 操作	367
30.3.7 非比例加载疲劳分析	341	33.3.1 创建双向流-固耦合分析	
第 31 例 风载作用于广告牌上的单		系统	367
向流-固耦合分析	344	33.3.2 定义材料数据	367
31.1 实例覆盖的知识点	344	33.3.3 建立几何模型	368
31.2 问题的描述	344	33.3.4 设置瞬态结构动力学	369
31.2.1 几何模型	344	33.3.5 设置流体动力学	371
31.2.2 固体材料参数	345	33.3.6 设置系统耦合器	375

第 34 例 多盘转子系统动力学

分析 378

34.1 实例覆盖的知识点 378

34.2 问题的描述 378

34.2.1 几何模型 378

34.2.2 材料参数 378

34.2.3 边界条件和载荷 379

34.3 GUI 操作 379

34.3.1 建立模态分析系统 379

34.3.2 定义材料数据 379

34.3.3 建立几何模型 380

34.3.4 创建有限元模型 380

34.3.5 模态求解 383

第 35 例 悬臂梁的直接优化设计

(Direct Optimization) ... 386

35.1 实例覆盖的知识点 386

35.2 问题的描述 386

35.2.1 几何模型 386

35.2.2 材料参数 386

35.2.3 边界条件和载荷 387

35.2.4 优化设计参数设置 387

35.3 GUI 操作 387

35.3.1 创建静力学分析系统 387

35.3.2 定义材料数据 387

35.3.3 建立几何模型 388

35.3.4 创建有限元模型 388

35.3.5 静力学分析 390

35.3.6 直接优化设计 391

第 36 例 点焊结构的有限元分析 ... 397

36.1 实例覆盖的知识点 397

36.2 问题的描述 397

36.2.1 几何模型 397

36.2.2 材料参数 397

36.2.3 边界条件和载荷 397

36.3 GUI 操作 397

36.3.1 创建点焊连接 397

36.3.2 创建静力学分析系统 399

36.3.3 定义材料数据 399

36.3.4 创建有限元模型 400

36.3.5 静力学分析 401

第 1 例 爆破片的有限元分析



1.1 实例覆盖的知识点

读者通过学习该实例可以掌握如下 ANSYS 的知识点:

- 1) 静力学分析的基本流程。
- 2) 定义材料的多线性等向强化模型的应力-应变关系方法。
- 3) 建立非均匀壳体模型的方法。
- 4) 写入求解载荷文件的方法。
- 5) 使用多载荷文件求解的方法。

1.2 模型

图 1-1 给出了刻槽型爆破片模型, 爆破片的承压面投影直径为 $d=0.032\text{m}$, 爆破片初始厚度 $s_0=0.4\text{mm}$, 刻槽后剩余厚度 $s_c=0.24\text{mm}$, 槽宽度为 $s=2\times(s_0-s_c)$, 未贯穿区域宽度 $B=3\text{mm}$, 槽端部距离 $B_1=20\text{mm}$ 。

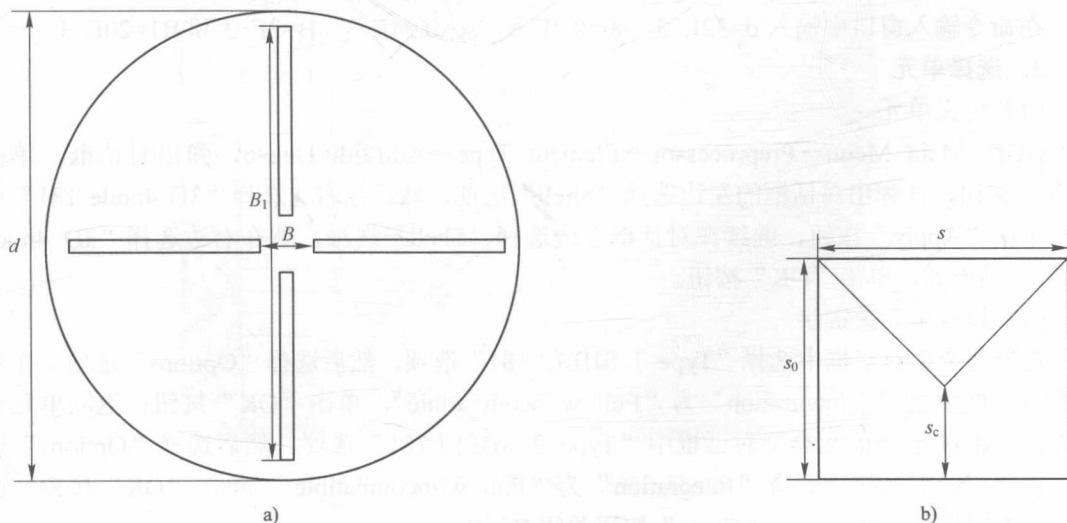


图 1-1 刻槽型爆破片模型
a) 爆破片的俯视图 b) 爆破片刻痕的模型示意图

1.3 单元

本实例选用 4 节点 SHELL181 壳体单元。

1.4 材料参数

从现有文献得知, 按准静态分析时, 多数金属的应力-应变关系符合幂率关系:

$$\sigma_e = A \varepsilon_e^n \quad (1-1)$$

式中, A 和 n 分别代表材料的强度系数和应变强化指数, 计算时采用此式子模拟爆破片材料的本构关系。计算中材料采用 316L, 其弹性模量为 1.93E11Pa, 泊松比为 0.3, 强度系数 A 取 1290MPa, 强化指数 n 取 0.370。

1.5 边界条件和载荷

本例暂不考虑压边的影响, 因此假定压边完全固定, 预拱压力 $p = 10\text{MPa}$ 。

1.6 GUI 操作

1.6.1 前处理

1. 定义文件名

GUI: Utility Menu → File → Change Jobname, 弹出一个对话框, 在输入栏中输入 “Rupture disc”, 单击 “OK” 按钮。

2. 定义参数

在命令输入窗口中输入 $d=32\text{E}-3$, $s0=0.4\text{E}-3$, $sc=0.24\text{E}-3$, $B=3\text{E}-3$ 和 $B1=20\text{E}-3$

3. 选择单元

(1) 定义单元

GUI: Main Menu → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete, 弹出对话框, 单击 “Add” 按钮, 在弹出对话框的左边选择 “Shell” 选项, 然后在右边选择 “3D 4node 181” 单元, 单击 “Apply” 按钮, 继续在对话框左边选择 “Shell” 选项, 然在右边选择 “3D 4node 181” 选项单元, 单击 “OK” 按钮。

(2) 设置单元关键字

在单元类型对话框中选择 “Type 1 SHELL181” 选项。然后选择 “Options” 选项, 在弹出的对话框中设置 “Integration” 为 “Full w/incompatible”, 单击 “OK” 按钮; 返回单元类型界面, 继续选择单元类型对话框中 “Type 2 SHELL181” 选项, 然后选择 “Options” 选项, 在弹出的对话框中设置 “Integration” 为 “Full w/incompatible”, 单击 “OK” 按钮; 返回单元类型界面, 然后单击 “Close” 按钮关闭对话框。

4. 定义材料模型

GUI: Main Menu → Preprocessor → Material Props → Material Models, 弹出一个对话框, 单击 Structural → Linear → Elastic → Isotropic, 弹出图 1-2 所示 “各向同性线弹性材料” 定义面板, 输入弹性模量 EX 为 “1.93E11”, 泊松比 PRXY 为 “0.3”, 单击 “OK” 按钮。关闭对话框, 继续单击 Structural → Nonlinear → Inelastic → Rate Independent → Isotropic Hardening

Plasticity→Mises Plasticity→Multilinear, 弹出图 1-3 所示的“多线性各向同性材料模型”定义面板, 选择“Stress-Strain Options (应力-应变关系)”为“Stress versus Total Strain (应力-总应变)”, 连续单击“添加数据点”(Add Point)按钮 11 次, 按照图 1-3 输入应力和应变数据点。用户在输入第一个应变与应力数据点时, 必须保存该应力与应变的比值等于输入的弹性模量。其他的应变点, 可任意选取, 然后根据式 (1-1), 计算出对应的应力, 进行数据输入, 单击“Graph”按钮, 弹出如图 1-4 所示的多线性等向强化模型应力-应变曲线。

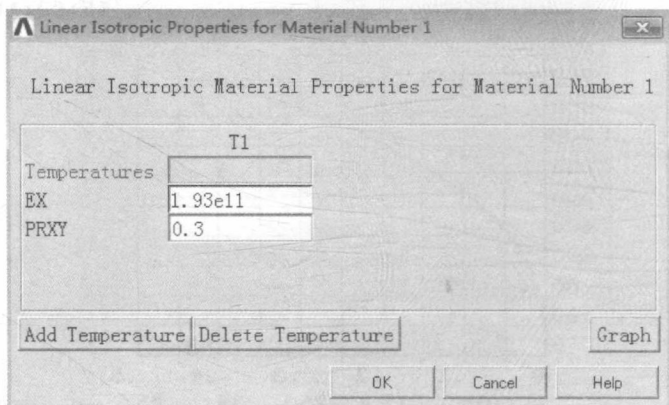


图 1-2 “各向同性线弹性材料”定义面板

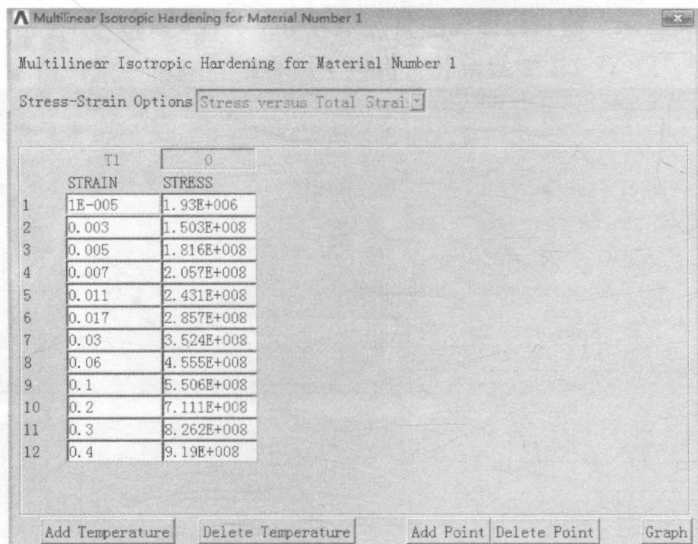


图 1-3 “各向同性等向强化模型”设置面板

5. 定义爆破片截面

(1) 定义厚度函数

GUI: Utility Menu→Parameters→Functions→Refine/Edit, 弹出图 1-5 所示的函数编辑器面板, 按照图 1-5 所示输入函数表达式, 然后单击 File→SAVE, 在弹出的保存文件对话框中输入函数名为“CK1”, 单击“保存”按钮。然后重新输入函数表达式为 SC-{Y}, 然后单

击 File→SAVE, 在弹出的保存文件对话框中输入函数名为“CK2”, 单击“保存”按钮。重新输入函数表达式为 $SC+\{X\}$, 然后单击 File→SAVE, 在弹出的保存文件对话框中输入函数名为“CK3”, 单击“保存”按钮。重新输入函数表达式为 $SC-\{X\}$, 然后单击 File→SAVE, 在弹出的保存文件对话框中输入函数名为“CK4”, 单击“保存”按钮。

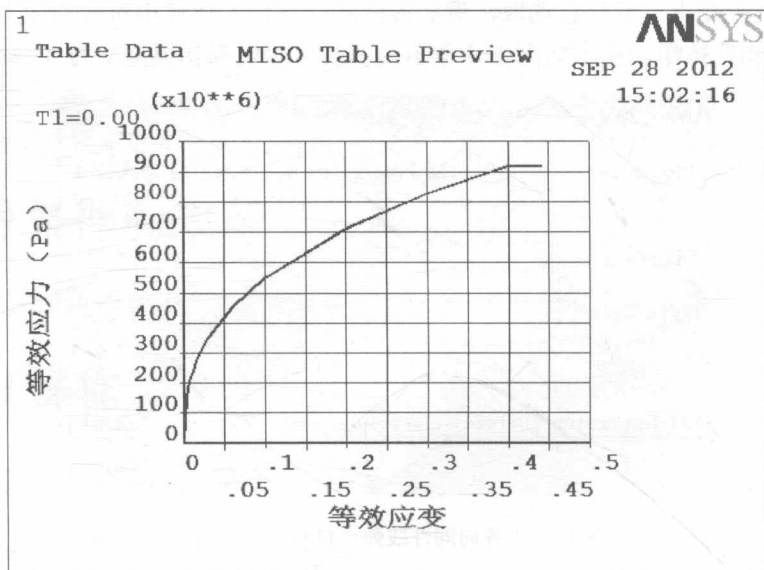


图 1-4 多线性等向强化模型应力-应变曲线

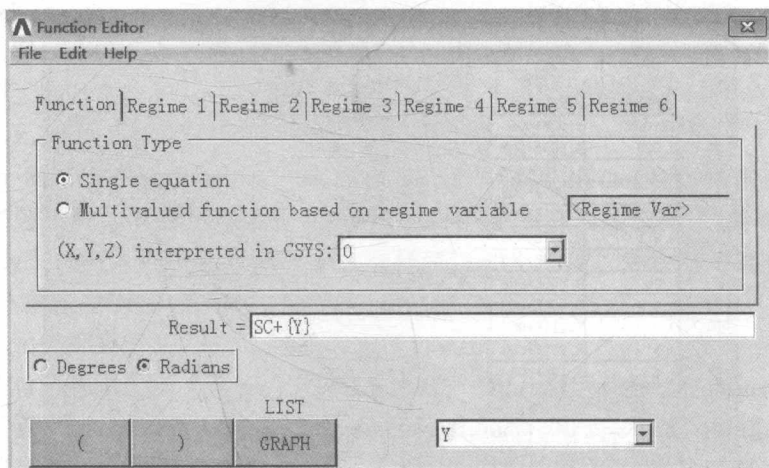


图 1-5 函数编辑器面板

(2) 读入厚度函数

GUI: Utility Menu→Parameters→Functions→Read File, 弹出输入函数文件对话框, 选择刚保存的“CK1”文件, 单击“打开”按钮, 弹出如图 1-6 所示的“函数加载器设置”面板, 输入“表格参数名 (Table parameter name)”为“CK1”, 输入函数中的“SC”为“SC”, 输入完毕后单击“OK”按钮。重复以上过程, 将表格参数名分别设为“CK2”“CK3”和“CK4”。

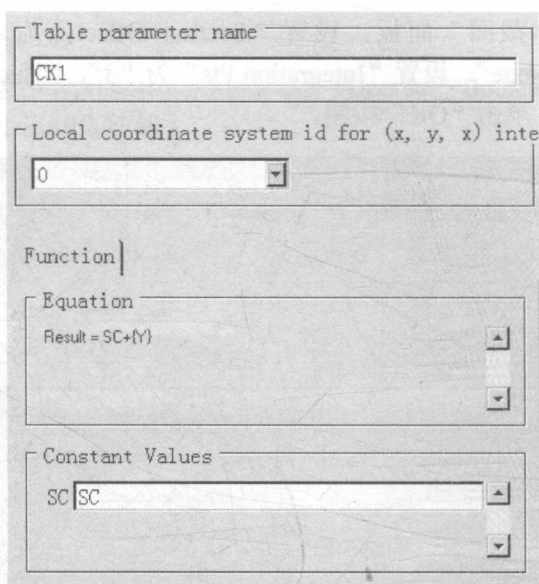


图 1-6 “函数加载器设置”面板

(3) 定义变截面壳体

GUI: Main Menu→Preprocessor→Sections→Shell→Lay-up→Add/Edit, 弹出如图 1-7 所示的“创建和修改壳体截面”面板, 设置“Section Offset”为“Bottom-Plane”, 设置“Section Function”为“CK1”, 因为是变厚度的截面, 所以设置“Integration Pts”为“3”, 其他保持默认, 单击“OK”按钮。重复以上过程, 分别设置 ID 为“2”“3”和“4”与对应的截面函数“CK2”“CK3”和“CK4”。

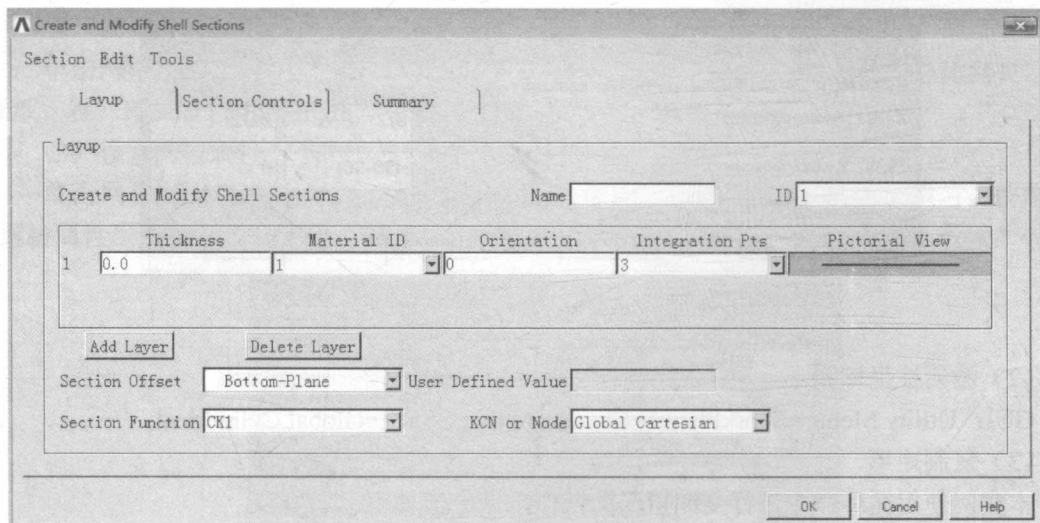


图 1-7 “创建和修改壳体截面”面板

(4) 定义等厚度截面壳体

GUI: Main Menu→Preprocessor→Sections→Shell→Lay-up→Add/Edit, 弹出如图 1-8 所