

CAD/CAM/CAE

工程应用丛书

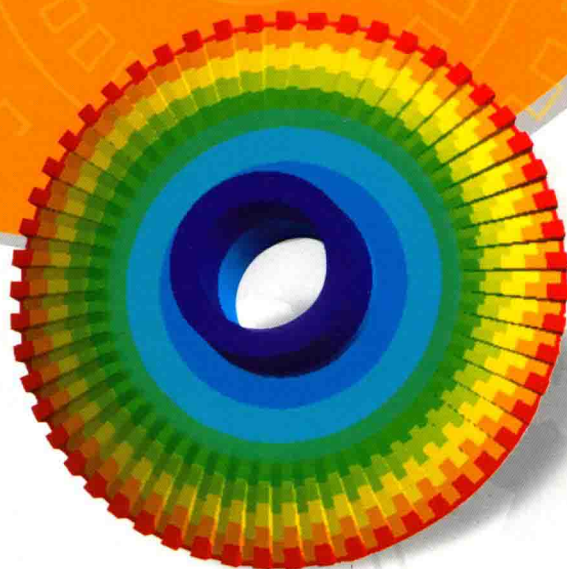
ANSYS系列

ANSYS Workbench 17.0

数值模拟工程实例解析

张洪才 等编著

第2版



关注机械工业出版社计算机分社官方微信订阅号“IT 有得聊”，即可获得本书配套资源，包含全部案例素材文件和辅助操作视频。



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



CAD/CAM/CAE 工程应用丛书

ANSYS Workbench 17.0 数值 模拟工程实例解析

第 2 版

张洪才 等编著

机械工业出版社

本书以 ANSYS Workbench 17.0 为平台,以 30 个常见的工程实例为载体,详细讲解了 ANSYS Workbench 协同仿真平台易用、强大的工程应用功能。30 个工程实例的知识点覆盖了线弹性静力学分析、定位焊结构、非线性分析、蠕变分析、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、界面失效、屈曲分析、刚-柔耦合动态接触分析、跌落冲击、疲劳分析、优化设计、流体分析、热分析、热-结构耦合和流-固耦合等。此外本书使用“*How Do*”和“*Why Do*”模式,既讲清了操作方法,又讲清操作的相关的依据,致力于培养读者独立应用工程软件技术能力。全书共 30 个工程实例,并在附赠网盘资料中提供了 30 个工程实例的模型文件和后处理操作视频。

本书不仅适合作为高等学校理工类高年级本科生或研究生学习 ANSYS Workbench 有限元分析软件的教材,还可供从事有限元应用的工程技术人员参考使用,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 Workbench17.0 数值模拟工程实例解析/张洪才等编著. —2 版. —

北京:机械工业出版社,2017.12

(CAD/CAM/CAE 工程应用丛书)

ISBN 978-7-111-58560-2

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 (2017) 第 291487 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

责任校对:张艳霞 责任印制:孙 炜

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2018 年 1 月第 2 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·15.5 印张·370 千字

0001-3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-58560-2

定价:55.00 元

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

服务咨询热线:(010) 88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:(010) 68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

(010) 88379203

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

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、Creo、UG、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 ISO9001 质量认证的分析设计类软件。ANSYS 软件可广泛应用于核工业、石油化工、航空航天、机械制造、材料成形、能源、汽车交通、军工等行业及科学研究等领域。ANSYS Workbench 平台大幅度提高了工程师的软件学习效率, 从而将工程师从软件的学习过程解放出来, 可以把更多的时间放到计算结果的评估和应用方面, 从而实现改进产品和提高产品质量的目标。

ANSYS 在 CAE 功能上引领现代产品研发科技, 涉及的内容包括: 高级分析、网格划分、优化、多物理场、多体动力学和高性能计算等。ANSYS Products 的主体是 ANSYS Workbench, 该平台整合了 ANSYS 诸多产品。ANSYS 17.0 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: 续开发和提供了先进的求解器技术; 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。

本书以工程实例为载体, 向读者详细讲解了 ANSYS Workbench 的线弹性静力学分析、定位焊结构、非线性分析、蠕变分析、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、界面失效、屈曲分析、刚-柔耦合动态接触分析、跌落冲击、疲劳分析、优化设计、流体分析、热分析、热-结构耦合和流-固耦合等。

本书实例工程背景强, 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 ANSYS Workbench 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。

本书适合于中、高级用户提高阶段使用。全书主要由长春装甲兵技术学院张洪才编写, 沈阳工程学院孙长青编写了其中的 1~10 例, 此外参加本书编写的还有北京遥测技术研究所的张颖轩, 长春装甲兵技术学院的牛占军、卢晓兵、张建国、王加雪、赵健峰、金萌、黄永生、秦宝站、卫振彪、黄健、郑坤鹏和李春旭。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, 本书在编写过程中参考了很多宝贵的文献, 在此, 作者表示衷心的感谢。同时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! 由于水平有限, 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 或加微信 FEM_ANSYS, 验证文字“读者”, 以便能促进技术的提高。

目 录

出版说明

前言

第 1 例 弹簧片的大变形几何非线性

计算 1

1.1 实例覆盖的知识点 1

1.2 问题的描述 1

1.2.1 几何模型 1

1.2.2 材料参数 2

1.2.3 边界条件和载荷 2

1.3 GUI 操作 2

1.3.1 建立结构静力学分析系统 2

1.3.2 定义材料数据 2

1.3.3 建立几何模型 2

1.3.4 建立有限元模型 3

1.3.5 结构静力学求解 4

第 2 例 胶粘结构的界面开裂失效

模拟 7

2.1 实例覆盖的知识点 7

2.2 问题的描述 7

2.2.1 几何模型 7

2.2.2 材料参数 8

2.2.3 边界条件和载荷 8

2.3 GUI 操作 8

2.3.1 建立结构静力学分析系统 8

2.3.2 定义材料数据 8

2.3.3 建立几何模型 9

2.3.4 建立有限元模型 9

2.3.5 结构静力学求解 11

第 3 例 圆柱体挤压成形非线性有限元

分析 14

3.1 实例覆盖的知识点 14

3.2 问题的描述 14

3.2.1 几何模型 14

3.2.2 材料参数 15

3.2.3 边界条件和载荷 15

3.3 GUI 操作 15

3.3.1 建立结构静力学分析系统 15

3.3.2 定义材料数据 15

3.3.3 建立几何模型 16

3.3.4 建立有限元模型 16

3.3.5 结构静力学求解 18

第 4 例 焊接接头的弹塑性分析

21

4.1 实例覆盖的知识点 21

4.2 问题的描述 21

4.2.1 几何模型 21

4.2.2 材料参数 21

4.2.3 边界条件和载荷 22

4.3 GUI 操作 22

4.3.1 建立结构静力学分析系统 22

4.3.2 定义材料数据 22

4.3.3 建立几何模型 23

4.3.4 建立有限元模型 23

4.3.5 结构静力学求解 25

第 5 例 螺栓预紧力作用下的 C 形夹具

蠕变计算 29

5.1 实例覆盖的知识点 29

5.2 问题的描述 29

5.2.1 几何模型 29

5.2.2 材料参数 30

5.2.3 边界条件和载荷 30

5.3 GUI 操作 30

5.3.1 建立结构静力学分析系统 30

5.3.2 定义材料数据 30

5.3.3 建立几何模型 30

5.3.4 建立有限元模型.....	31	第9例 离合器轮盘的预应力模态分析.....	57
5.3.5 结构静力学求解.....	33	9.1 实例覆盖的知识点.....	57
第6例 轮-轨接触有限元分析.....	37	9.2 问题的描述.....	57
6.1 实例覆盖的知识点.....	37	9.2.1 几何模型.....	57
6.2 问题的描述.....	37	9.2.2 材料参数.....	58
6.2.1 几何模型.....	37	9.2.3 边界条件和载荷.....	58
6.2.2 材料参数.....	38	9.3 GUI操作.....	58
6.2.3 边界条件和载荷.....	38	9.3.1 建立预应力模态分析系统.....	58
6.3 GUI操作.....	38	9.3.2 定义材料数据.....	58
6.3.1 建立瞬态结构动力学分析系统.....	38	9.3.3 建立几何模型.....	59
6.3.2 定义材料数据.....	38	9.3.4 创建有限元模型.....	60
6.3.3 建立几何模型.....	38	9.3.5 结构静力学求解.....	60
6.3.4 创建有限元模型.....	39	9.3.6 模态求解.....	63
6.3.5 结构瞬态动力学求解.....	41	第10例 斜齿轮-齿条装配体的模态分析.....	65
第7例 定位焊结构的有限元分析.....	45	10.1 实例覆盖的知识点.....	65
7.1 实例覆盖的知识点.....	45	10.2 问题的描述.....	65
7.2 问题的描述.....	45	10.2.1 几何模型.....	65
7.2.1 几何模型.....	45	10.2.2 材料参数.....	65
7.2.2 材料参数.....	45	10.2.3 边界条件和载荷.....	65
7.2.3 边界条件和载荷.....	45	10.3 GUI操作.....	66
7.3 GUI操作.....	46	10.3.1 建立模态分析系统.....	66
7.3.1 创建定位焊连接.....	46	10.3.2 定义材料数据.....	66
7.3.2 建立结构静力学分析系统.....	47	10.3.3 建立几何模型.....	67
7.3.3 定义材料数据.....	47	10.3.4 创建有限元模型.....	67
7.3.4 创建有限元模型.....	48	10.3.5 模态求解.....	69
7.3.5 结构静力学求解.....	49	第11例 多盘转子系统临界转速计算.....	72
第8例 细长管的线性屈曲分析.....	51	11.1 实例覆盖的知识点.....	72
8.1 实例覆盖的知识点.....	51	11.2 问题的描述.....	72
8.2 问题的描述.....	51	11.2.1 几何模型.....	72
8.2.1 几何模型.....	51	11.2.2 材料参数.....	73
8.2.2 材料参数.....	51	11.2.3 边界条件和载荷.....	73
8.2.3 边界条件和载荷.....	51	11.3 GUI操作.....	73
8.3 GUI操作.....	52	11.3.1 建立模态分析系统.....	73
8.3.1 建立线性屈曲分析系统.....	52	11.3.2 定义材料数据.....	73
8.3.2 定义材料数据.....	52	11.3.3 建立几何模型.....	74
8.3.3 建立几何模型.....	53	11.3.4 创建有限元模型.....	74
8.3.4 创建有限元模型.....	53		
8.3.5 结构静力学分析.....	54		
8.3.6 线性屈曲分析.....	55		

11.3.5 模态求解	77	14.3.3 建立几何模型	101
第 12 例 斜齿轮动态接触瞬态动力学		14.3.4 创建有限元模型	101
分析	82	14.3.5 瞬态结构动力学求解	103
12.1 实例覆盖的知识点	82	第 15 例 电动机主轴的谐响应分析	106
12.2 问题的描述	82	15.1 实例覆盖的知识点	106
12.2.1 几何模型	82	15.2 问题的描述	106
12.2.2 材料参数	82	15.2.1 几何模型	106
12.2.3 边界条件和载荷	82	15.2.2 材料参数	106
12.3 GUI 操作	83	15.2.3 边界条件和载荷	106
12.3.1 创建结构瞬态动力学分析		15.3 完全法谐响应分析	107
系统	83	15.3.1 建立谐响应分析系统	107
12.3.2 定义材料数据	83	15.3.2 定义材料数据	107
12.3.3 建立几何模型	84	15.3.3 建立几何模型	107
12.3.4 创建有限元模型	84	15.3.4 创建有限元模型	108
12.3.5 瞬态动力学求解	86	15.3.5 谐响应分析	109
第 13 例 行星机构的刚-柔耦合动力学		15.4 模态叠加法谐响应分析	112
分析	90	15.4.1 建立模态叠加法谐响应分析	
13.1 实例覆盖的知识点	90	系统	112
13.2 问题的描述	90	15.4.2 定义材料数据	112
13.2.1 几何模型	90	15.4.3 建立几何模型	112
13.2.2 材料参数	91	15.4.4 创建有限元模型	112
13.2.3 边界条件和载荷	91	15.4.5 模态分析	113
13.3 GUI 操作	91	15.4.6 谐响应分析	114
13.3.1 创建结构瞬态动力学分析		15.5 联合 ANSYS 经典版与 Workbench	
系统	91	进行后处理	116
13.3.2 定义材料数据	91	第 16 例 振动平台的响应谱分析	118
13.3.3 建立几何模型	91	16.1 实例覆盖的知识点	118
13.3.4 创建有限元模型	91	16.2 问题的描述	118
13.3.5 瞬态动力学分析	96	16.2.1 几何模型	118
第 14 例 结构的跌落冲击计算	99	16.2.2 材料参数	118
14.1 实例覆盖的知识点	99	16.2.3 边界条件和载荷	119
14.2 问题的描述	99	16.3 GUI 操作	119
14.2.1 几何模型	99	16.3.1 创建响应谱分析系统	119
14.2.2 材料参数	99	16.3.2 定义材料数据	119
14.2.3 边界条件和载荷	100	16.3.3 建立几何模型	120
14.3 GUI 操作	100	16.3.4 创建有限元模型	120
14.3.1 建立瞬态结构动力学分析		16.3.5 模态分析	121
系统	100	16.3.6 响应谱分析	122
14.3.2 定义材料数据	100	第 17 例 齿轮轴的随机振动分析	125



17.1 实例覆盖的知识点	125	19.3.5 静力学分析	146
17.2 问题的描述	125	19.3.6 直接优化设计	147
17.2.1 几何模型	125	第20例 电池发热的稳态热计算	151
17.2.2 材料参数	125	20.1 实例覆盖的知识点	151
17.2.3 边界条件和载荷	126	20.2 问题的描述	151
17.3 GUI 操作	126	20.2.1 几何模型	151
17.3.1 创建随机振动分析系统	126	20.2.2 材料参数	151
17.3.2 定义材料数据	126	20.2.3 边界条件和载荷	152
17.3.3 建立几何模型	127	20.3 GUI 操作	152
17.3.4 创建有限元模型	127	20.3.1 建立稳态热分析系统	152
17.3.5 模态分析	128	20.3.2 定义材料数据	152
17.3.6 随机振动分析	129	20.3.3 建立几何模型	153
第18例 发动机连杆的应力疲劳		20.3.4 创建有限元模型	154
分析	132	20.3.5 稳态热分析求解	155
18.1 实例覆盖的知识点	132	第21例 淬火过程瞬态热计算	157
18.2 问题的描述	132	21.1 实例覆盖的知识点	157
18.2.1 几何模型	132	21.2 问题的描述	157
18.2.2 材料参数	132	21.2.1 几何模型	157
18.2.3 边界条件和载荷	133	21.2.2 材料参数	157
18.3 GUI 操作	133	21.2.3 边界条件和载荷	158
18.3.1 创建结构静力学分析系统	133	21.3 GUI 操作	158
18.3.2 定义材料数据	133	21.3.1 建立瞬态热分析系统	158
18.3.3 建立几何模型	134	21.3.2 定义材料数据	158
18.3.4 创建有限元模型	135	21.3.3 建立几何模型	158
18.3.5 静力学分析	136	21.3.4 创建有限元模型	158
18.3.6 恒定振幅载荷疲劳分析	138	21.3.5 瞬态热分析求解	159
18.3.7 随机载荷疲劳分析	140	第22例 装配体结构的传热计算	162
第19例 悬臂梁的直接优化设计	143	22.1 实例覆盖的知识点	162
19.1 实例覆盖的知识点	143	22.2 问题的描述	162
19.2 问题的描述	143	22.2.1 几何模型	162
19.2.1 几何模型	143	22.2.2 材料参数	162
19.2.2 材料参数	143	22.2.3 边界条件和载荷	163
19.2.3 边界条件和载荷	144	22.3 GUI 操作	163
19.2.4 优化设计参数设置	144	22.3.1 建立稳态热分析系统	163
19.3 GUI 操作	144	22.3.2 定义材料数据	163
19.3.1 创建结构静力学分析系统	144	22.3.3 建立几何模型	163
19.3.2 定义材料数据	144	22.3.4 创建有限元模型	164
19.3.3 建立几何模型	145	22.3.5 稳态热求解	164
19.3.4 创建有限元模型	145	第23例 平板之间的热辐射计算	167

23.1 实例覆盖的知识点	167	26.3 GUI 操作	191
23.2 问题的描述	167	26.3.1 创建流体分析系统	191
23.2.1 几何模型	167	26.3.2 建立几何模型	191
23.2.2 材料参数	168	26.3.3 划分网格	192
23.2.3 边界条件和载荷	168	26.3.4 流体动力学求解	192
23.3 GUI 操作	168	第 27 例 锥齿轮工作升温的瞬态热应力分析	198
23.3.1 建立稳态热分析系统	168	27.1 实例覆盖的知识点	198
23.3.2 定义材料数据	168	27.2 问题的描述	198
23.3.3 建立几何模型	168	27.2.1 几何模型	198
23.3.4 创建有限元模型	168	27.2.2 材料参数	199
23.3.5 稳态热分析求解	169	27.2.3 边界条件和载荷	199
第 24 例 Fluent 混合器的流体计算	173	27.3 GUI 操作	199
24.1 实例覆盖的知识点	173	27.3.1 创建瞬态热应力分析系统	199
24.2 问题的描述	173	27.3.2 定义材料数据	199
24.2.1 几何模型	173	27.3.3 建立几何模型	200
24.2.2 材料参数	174	27.3.4 创建有限元模型	201
24.2.3 边界条件	174	27.3.5 瞬态热分析	201
24.3 GUI 操作	174	27.3.6 瞬态动力学分析	204
24.3.1 创建流体分析系统	174	第 28 例 泵壳的稳态热应力分析	208
24.3.2 建立几何模型	174	28.1 实例覆盖的知识点	208
24.3.3 划分网格	174	28.2 问题的描述	208
24.3.4 流体动力学求解	175	28.2.1 几何模型	208
第 25 例 气穴分析	181	28.2.2 材料参数	209
25.1 实例覆盖的知识点	181	28.2.3 边界条件和载荷	209
25.2 问题的描述	181	28.3 GUI 操作	209
25.2.1 几何模型	181	28.3.1 建立稳态热应力分析系统	209
25.2.2 材料参数	181	28.3.2 定义材料数据	209
25.2.3 边界条件和载荷	181	28.3.3 建立几何模型	209
25.3 GUI 操作	182	28.3.4 创建有限元模型	209
25.3.1 创建流体分析系统	182	28.3.5 稳态热求解	211
25.3.2 建立几何模型	182	28.3.6 结构静力学求解	212
25.3.3 划分网格	182	第 29 例 风载作用下的结构单向流-固耦合分析	215
25.3.4 流体动力学求解	183	29.1 实例覆盖的知识点	215
第 26 例 推力轴承承载能力分析	190	29.2 问题的描述	215
26.1 实例覆盖的知识点	190	29.2.1 几何模型	215
26.2 问题的描述	190	29.2.2 固体材料参数	216
26.2.1 几何模型	190	29.2.3 边界条件和载荷	216
26.2.2 材料参数	190		
26.2.3 边界条件和载荷	190		



29.3 GUI 操作	216	30.2 问题的描述	224
29.3.1 创建单向流-固耦合分析系统	216	30.2.1 几何模型	224
29.3.2 建立几何模型	216	30.2.2 材料参数	224
29.3.3 划分流体区域网格	216	30.2.3 边界条件和载荷	225
29.3.4 流体分析	218	30.3 GUI 操作	225
29.3.5 结构静力学分析	221	30.3.1 创建双向流-固耦合分析系统	225
第 30 例 振动橡胶板的双向流-固耦合	224	30.3.2 流体计算	225
30.1 实例覆盖的知识点	224	30.3.3 设置瞬态结构动力学	231
		30.3.4 设置系统耦合器	234

第 1 例 弹簧片的大变形几何非线性计算

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知识点。

- 1) 壳体模型的使用与厚度定义方法。
- 2) 定义材料模型的方法。
- 3) 激活几何大变形的的方法。
- 4) 远端约束的含义与使用方法。

1.2 问题的描述

1.2.1 几何模型

图 1-1 所示给出了弹簧片的三维模型，由于弹簧片比较薄，因此建模时建立为面，计算时采用壳单元计算，该模型的厚度为 0.001 m。

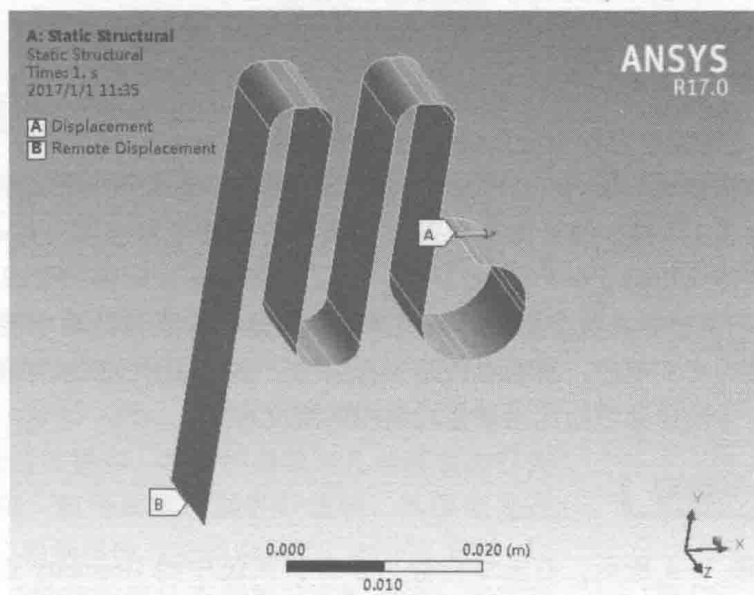


图 1-1 弹簧片的三维模型图

1.2.2 材料参数

该弹簧片的材料为弹簧钢 50CrV 钢，弹性模量为 $2.17\text{E}11\text{Pa}$ ，泊松比为 0.29，弹簧片的厚度为 0.001m 。

1.2.3 边界条件和载荷

如图 1-1 所示，给出了弹簧片的约束位置和类型。在 A 位置，施加远端位移只释放绕 Z 轴转动自由度，在 B 位置施加位移，其中 X 方向的位移为 0.013m ，其他两个方向为 0。

1.3 GUI 操作

1.3.1 建立结构静力学分析系统

How Do: 启动 Workbench，双击 Workbench 工具箱中的 Static Structural，弹出图 1-2 所示的结构静力学分析系统图。

Why Do: 因为结构静力学分析系统是进行结构强度与刚度计算的系统，而本例的弹簧片大变形分析为结构的刚度分析范畴，因此使用结构静力学分析系统。当用户使用了结构静力学分析系统后，就忽略了结构的惯性力与阻尼力对结构的影响。

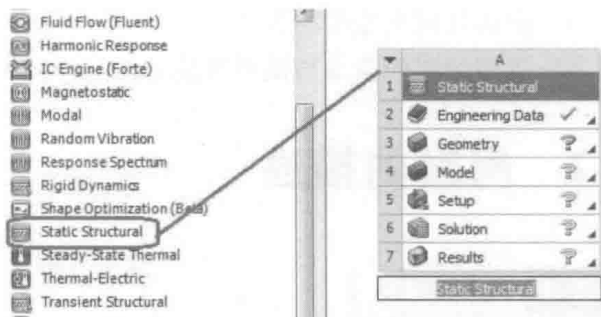


图 1-2 创建结构静力学分析系统图

1.3.2 定义材料数据

How Do: 单击结构静力学分析系统中的工程数据 (Engineering Data) 子模块，单击工程数据目录上的结构钢 (Structural Steel) 选项，弹出图 1-3 所示的结构钢材料数据列表，将弹性模量修改为 $2.17\text{E}11$ ，泊松比为 0.29，然后单击更新工程选项 (Update Project)，最后单击返回工程按钮 (Return to Project)。

Why Do: 不同的材料参数会影响计算的结果，因此，有限元计算中需要输入准确的材料参数来反应模型的真实响应，材料参数是固有属性，是计算的已知条件和输入条件。从有限元理论上讲，弹性模量和泊松比用来生成结构的刚度矩阵。

1.3.3 建立几何模型

How Do: 如图 1-4 所示，右击结构静力学分析系统中的 Geometry 选项，选择 Import Geometry>Browse，打开工作目录文件夹，选择弹簧片模型文件，单击 OK。

Properties of Outline Row 3: Structural Steel				
	A	B	C	D
1	Property	Value	Unit	
2	Density	7850	kg m ⁻³	
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's M...		
8	Young's Modulus	2.17E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0.29		
10	Bulk Modulus	1.7222E+11	Pa	
11	Shear Modulus	8.4109E+10	Pa	
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular		
16	Strain-Life Parameters			
24	Tensile Yield Strength	2.5E+08	Pa	
25	Compressive Yield Strength	2.5E+08	Pa	
26	Tensile Ultimate Strength	4.6E+08	Pa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	

图 1-3 结构钢材料数据列表

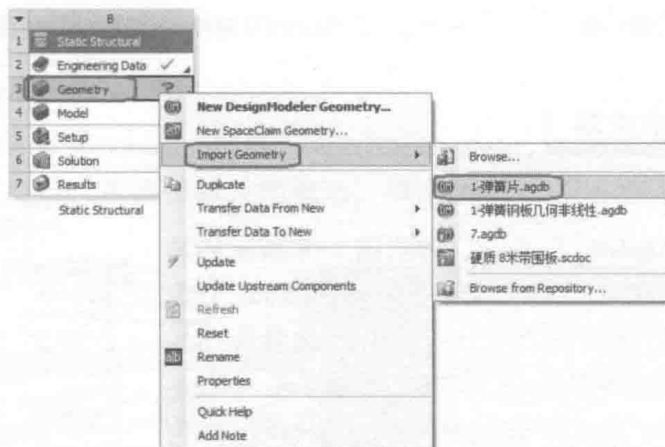


图 1-4 导入模型

1.3.4 建立有限元模型

How Do: 单击结构静力学分析系统中的 Model 选项, 进入结构静力学分析系统, 如图 1-5 所示。

1. 为弹簧片赋予材料和定义厚度

How Do: 单击 Model > Geometry > Surface Body, 弹出图 1-6 所示的模型细节设置面板, 用户按照图 1-6 所示设置厚度 (Thickness) 为 1e-003m, 材料为默认的结构钢即可。

Why Do: 通过该操作, 将材料参数与几何模型进行关联。对于壳体结构, 使用面体模型进行建模, 其厚度是进入 Model 中设置, 根据弹性力学理论可知, 对于长宽比 < 1/15 的结构可以将三维结构简化为壳单元模拟计算, 如工程中常见的钣金件。

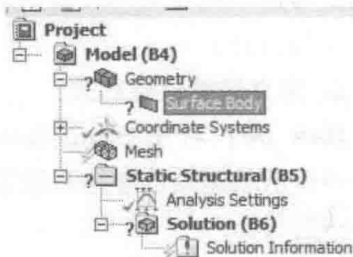


图 1-5 结构静力学分析系统的项目树

2. 网格划分

How Do: 右击 Mesh, 选择 Generate Mesh, 完成弹簧片的网格划分, 如图 1-7 所示给出了网格划分及生成的有限元模型。

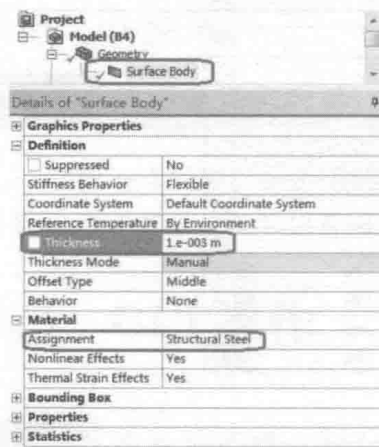


图 1-6 模型细节设置面板

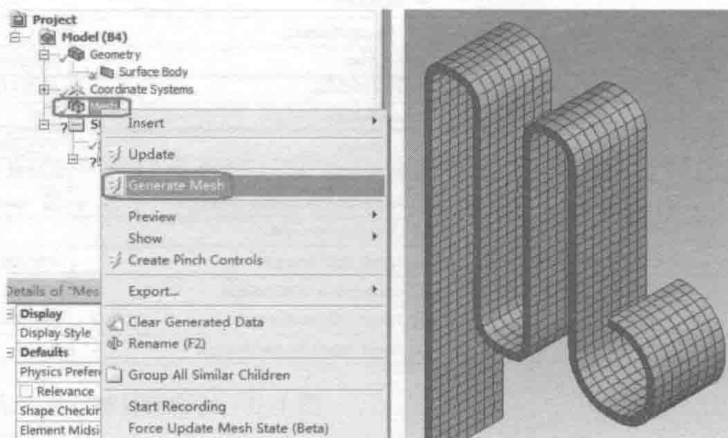


图 1-7 网格划分及生成的有限元模型

1.3.5 结构静力学求解

1. 定义分析设置

How Do: 单击 Analysis Settings, 弹出图 1-8 所示的结构静力学分析设置面板, 将自动时间步 (Auto Time Stepping) 设置为 On, 定义方式 (Define By) 设置为 Substeps, 初始子步 (Initial Substeps) 为 10, 最小子步 (Minimum Substeps) 为 10, 最大子步 (Maximum Substeps) 为 50, 将 Large Deflection 设置为 On, 表示打开了大变形分析。

Why Do: 本例弹簧片为大变形结构, 属于几何非线性问题, 对于非线性问题, 一般需要激活“自动时间步”选项, 平衡求解精度与效率。对于初始子步, 最小子步和最大子步的设置, 不同的问题设置不同, 但是子步的数量越大, 则载荷的增长越稳定, 一般情况下有利于非线性计算的收敛。激活“大变形”选项, 目的是考虑结构变形对几何刚度的影响, 对于一般的三维实体零件, 由于自身的弹性变形很小, 不用打开。

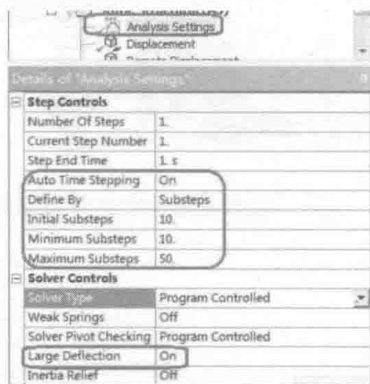


图 1-8 结构静力学分析设置面板

激活“大变形”选项, 目的是考虑结构变形对几何刚度的影响, 对于一般的三维实体零件, 由于自身的弹性变形很小, 不用打开。

2. 定义远端位移约束

How Do: 右击 Static Structural, 选择 Insert > Remote Displacement, 在细节窗口弹出图 1-9 所示的远端位移约束细节设置面板, 选择弹簧片的底边, 单击 Apply, 其他设置按照图 1-9 进行。

Why Do: 远端位移是一种特殊的边界条件, 它的优点是可以在实体模型上增加三个转动自由度的约束, 远端位移的转动位移约束的转动中心默认为作用对象的中心位置。本实例的约束方法为约束平动, 而释放转动。

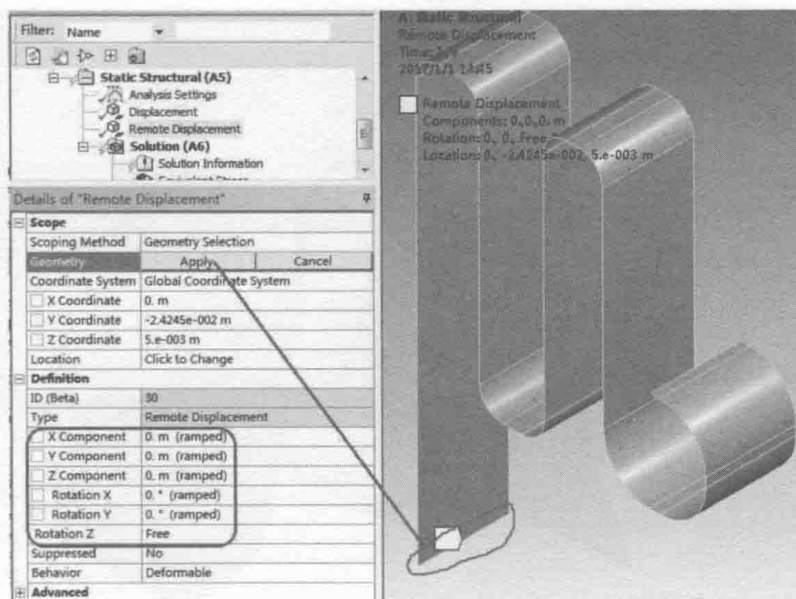


图 1-9 位移约束细节设置面板（一）

3. 定义位移约束

How Do: 右击 Static Structural, 选择 Insert>Displacement, 在细节窗口弹出图 1-10 所示的位移约束细节设置面板, 选择弹簧片的侧边, 单击 Apply。其他设置按照图 1-10 所示进行。

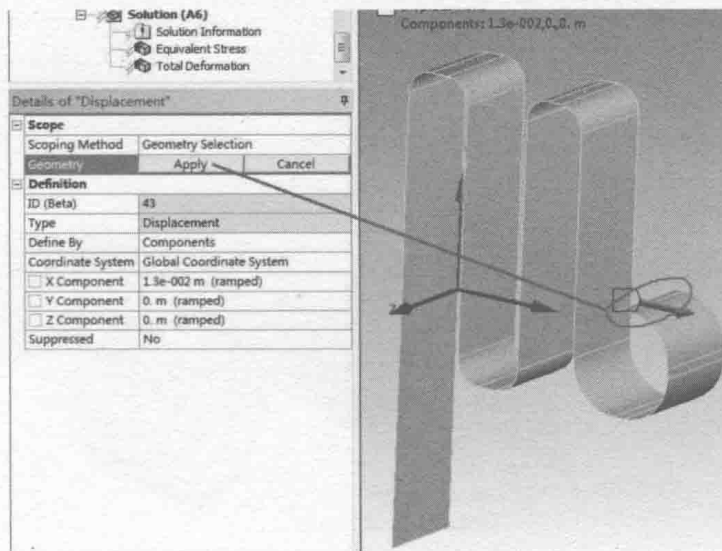


图 1-10 位移约束细节设置面板（二）

4. 求解

选择 Static Structural>Solution, 右击 Solution, 选择 Solve。

5. 查看结果

How Do: 具体查看方法, 请读者参见网盘资料中本实例的后处理操作视频。结果如图 1-11 和图 1-12 所示。

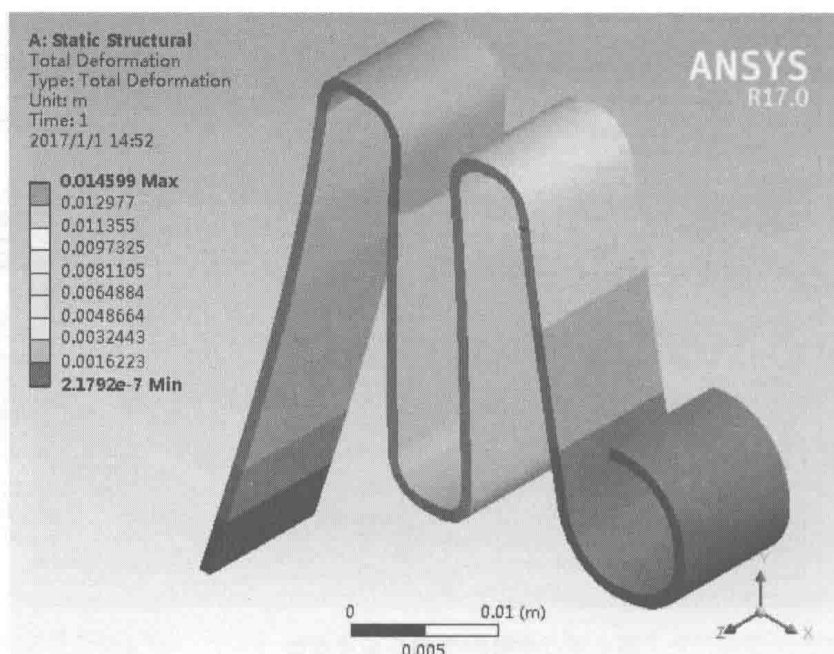


图 1-11 弹簧片的总体变形云图

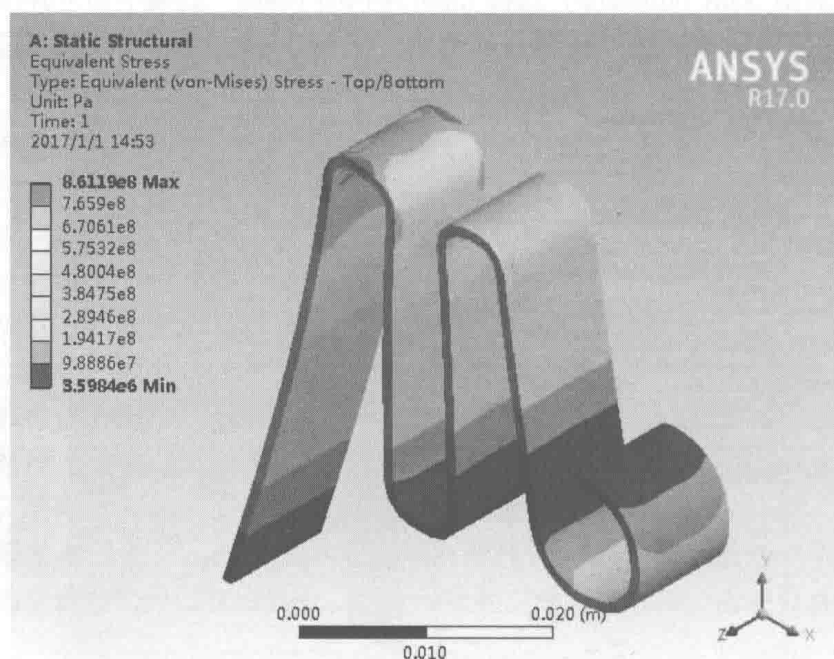


图 1-12 弹簧片的等效应力云图