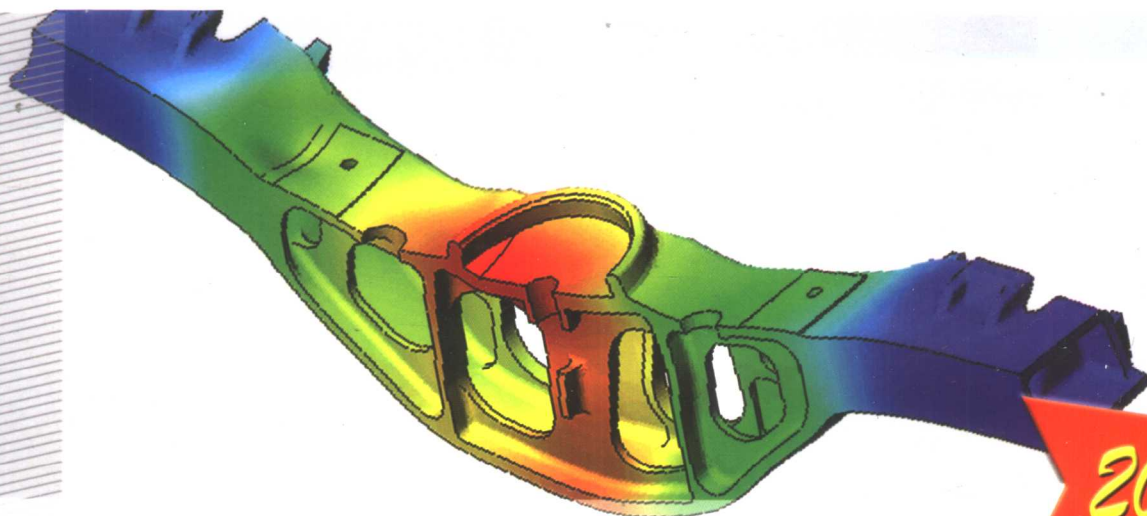




SolidWorks® 公司原版系列培训教程
CSWP 全球专业认证考试培训教程



2007 版

TRAINING

COSMOS 基础教程： COSMOSWorks Professional

(美) SolidWorks®公司 著

叶修梓 陈超祥 主编

杭州新迪数字工程系统有限公司 编译

配有教案、实例、练习

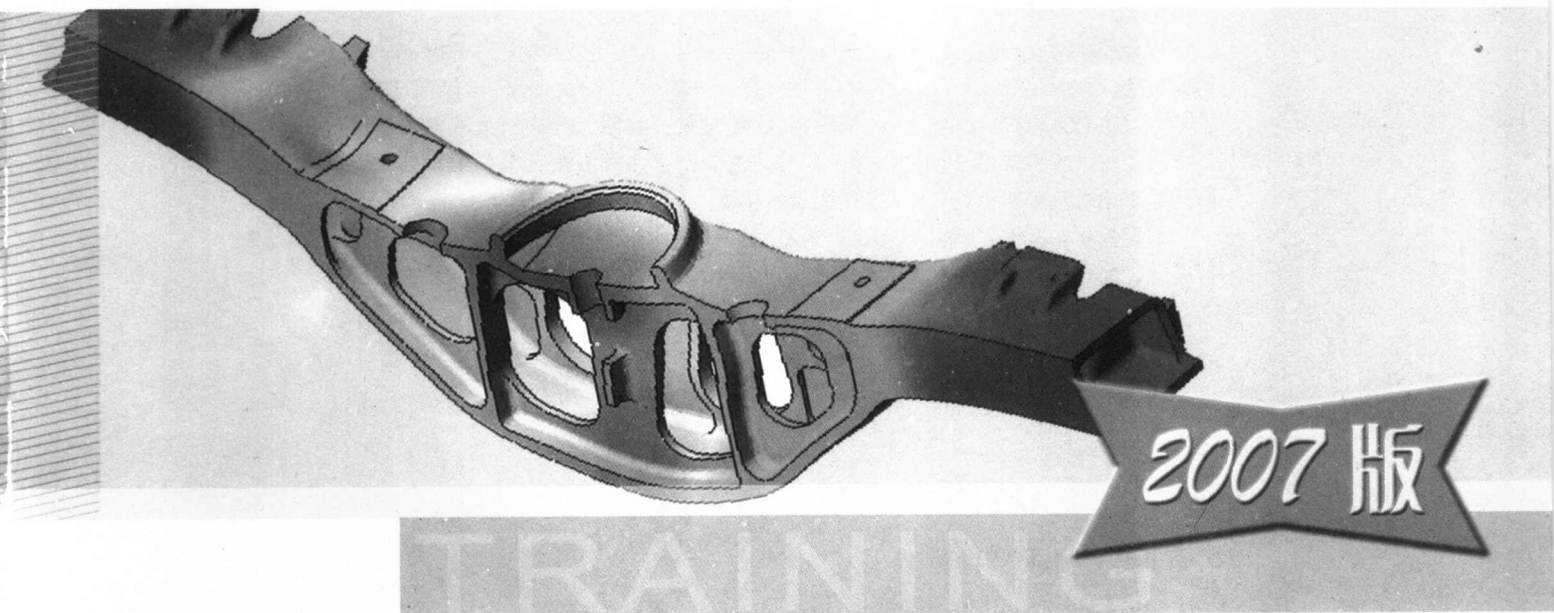


机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





SolidWorks® 公司原版系列培训教程
CSWP 全球专业认证考试培训教程



COSMOS 基础教程： COSMOSWorks Professional



(美) SolidWorks®公司 著

叶修梓 陈超祥 主编

杭州新迪数字工程系统有限公司 编译

彭 维 陈 博 刘红政 审校



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

《COSMOS 基础教程: COSMOSWorks Professional》(2007 版)是根据 SolidWorks 公司发布的《COSMOS 2007 Training Manuals: COSMOSWorks Professional》编译而成的,着重介绍了 COSMOSWorks 软件对 SolidWorks 模型进行有限元分析的进阶方法和相关技术。与以前的培训教程相比较,本书详细介绍了多种有限元分析类型、CAD 模型的简化以及 COSMOSWorks 2007 的最新功能。

本套教程在保留了原版教程精华和风格的基础上,按照中国读者的阅读习惯进行编译,配套教学资料齐全,适于企业工程设计人员和大专院校、职业院校相关专业师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

COSMOS 基础教程: COSMOSWorks Professional/(美)SolidWorks®
公司著;杭州新迪数字工程系统有限公司编译. —北京:机械工
业出版社, 2007. 7

(SolidWorks®公司原版系列培训教程)

CSWP 全球专业认证考试培训教程

ISBN 978-7-111-21733-6

I. C… II. ①美…②杭… III. 有限元法—技术培训—教材
IV. 0241. 82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 093229 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:徐 彤 责任编辑:郎 峰 版式设计:张世琴

责任校对:陈立辉 责任印制:洪汉军

北京铭成印刷有限公司印刷

2007 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

210mm×285mm·7.75 印张·227 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-21733-6

ISBN 978-7-89482-236-9(光盘)

定价:25.00 元(含 1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639、88379641、88379643

编辑热线电话:(010)88379083

封面无防伪标均为盗版

SolidWorks® 2007版十大创新点

1. 独一无二的智能特征 (SWIFT) 技术
2. 带机构运动模拟的二维草图概念设计
3. 新增的三维带和链条机构设计功能
4. 新增的立体扫描逆向设计功能
5. 增强的自由曲面建模功能
6. 增强的焊接件设计功能
7. 增强的钣金件设计功能
8. 增强的COSMOSXpress功能
9. 能够解决复杂装配体的数据管理问题
10. 采用“瘦身”技术，压缩空间、提高性能

TRAINING

2007版在新技术的应用、改进和创新上具有划时代的意义。同时采用了新的“瘦身”技术，通过组件技术的大量应用，使软件占用磁盘空间减少了一半，运算速度大为提高。这样高性能而又使用方便的软件正是设计工程师和用户所期待的！

光盘介绍

服务于教师和学员，提供：

- 电子教案——教师讲课所用PPT
- 演示资料——课堂实例、练习题
- 章节素材——书中用到的零件、装配体、工程图



TRAINING

技术资格互认

1. 凡获得中国机械工程学会“见习机械设计师”资格证书的人员，如在机械设计机考部分使用SolidWorks软件应考，SolidWorks公司将发放“SolidWorks中国认证助理机械设计师”证书。
2. 凡获得中国机械工程学会“机械设计师”资格证书的人员，如在机械设计机考部分使用SolidWorks软件应考，SolidWorks公司将发放“SolidWorks中国认证三维机械设计师”证书。
3. 凡获得SolidWorks公司“CSWA”证书的人员，在“见习机械设计师资格考试”时，可以免去机考中的机械设计内容部分。
4. 凡获得SolidWorks公司“SolidWorks中国认证三维机械设计师”证书的人员，在“机械设计师资格考试”时，可以免去机考中的机械设计内容部分。
5. 凡获得SolidWorks公司“CSWP”证书的人员，在“见习机械设计师资格考试”和“机械设计师资格考试”时，可以免去机考中的机械设计内容部分。

读者信息反馈表

感谢您购买《SolidWorks®高级教程:高级曲面》一书。为了帮助我们了解 SolidWorks 图书的使用情况,从而编写出更适合读者需要的 SolidWorks 图书,让更多的用户能轻松使用 SolidWorks 软件,请您抽出宝贵的时间完成这份调查表的填写,您填写的任何一项内容都会给我们以重要启示。

姓 名		所在单位	
性 别		所从事工作(或专业)	
通信地址			邮 编
联系电话			E-mail

1. 您需要哪种形式的 SolidWorks 图书?

☐ 手册(工具书) ☐ 实例讲解式 ☐ 任务/步骤式 ☐ 图解式

☐ 其他_____

2. 您选择 SolidWorks 图书时,在作者方面,主要考虑哪个因素?

☐ SolidWorks 公司原著(引进版) ☐ 国内作者自编 ☐ 其他_____

3. 您选择 SolidWorks 图书时,主要选择哪些出版社的图书?

☐ 机械工业 ☐ 清华大学 ☐ 电子工业 ☐ 人民邮电 ☐ 其他_____

4. 您选择 SolidWorks 图书时,在内容方面,主要考虑哪些因素?

☐ 内容实用 ☐ 知识先进 ☐ 配套齐全 ☐ 编写方式 ☐ 其他_____

5. 您选择 SolidWorks 图书时,希望图书的定价在哪个范围?

☐ 20 元以下 ☐ 20~30 元 ☐ 30~40 元 ☐ 40 元以上

6. 如果图书配备光盘,您希望光盘中包含哪些内容?

☐ 课后练习题的讲解及答案 ☐ 图书相关素材及实例 ☐ 教师讲课 PPT

☐ 教学建议 ☐ 案例的操作视频 ☐ 其他_____

7. 在众多的三维设计软件中,你最喜欢使用哪个设计软件?

☐ Pro/Engineer ☐ SolidWorks ☐ UG ☐ CATIA ☐ 其他_____

8. 您认为目前市场上此类图书有哪些优点和不足?

9. 您对我们的图书/SolidWorks 软件有哪些意见和建议?

非常感谢您抽出宝贵的时间完成这张调查表的填写并回寄给我们。我们将以真诚的服务回报您对我们的关心和支持。

如果您有相关图书的编写意向,也请与我们联系,愿我们能有更多的合作机会。

请联系我们——

地址:北京市西城区百万庄大街 22 号机械工业出版社 技能教育分社 邮编:100037

联系电话:(010)88379080; 88379534; 68329397(传真)

咨询、投稿信箱: jnfs@mail.machineinfo.gov.cn, xt@cmpbook.com

序

尊敬的大中国区 SolidWorks 用户:



► SolidWorks 公司首席执行官
John McEleney 先生

SolidWorks 公司很高兴为您提供这套最新的 SolidWorks 公司中文原版系列培训教程。我们对中国市场有着长期的承诺,自从 1996 年以来,我们就一直保持与北美地区同步发布 SolidWorks 3D 设计软件的每一个中文版本。

我们感觉到 SolidWorks 公司与大中国区用户之间有着一种特殊的关系,因此也有着一份特殊的责任。这种关系是基于我们共同的价值观——创造性、创新性、卓越的技术,以及世界级的竞争能力。这些价值观一部分是由公司的共同创始人之一李向荣(Tommy Li)所建立的。李向荣是一位华裔工程师,他在定义并实施我们公司的关键性突破技术以及在指导我们的组织开发方面起到了很大的作用。

作为一个软件公司, SolidWorks 致力于带给用户世界一流水平的 3D CAD 工具(包括设计、分析、产品数据管理),以帮助设计师和工程师开发出更好的产品。我们很荣幸地看到中国用户的数量在不断增长,大量杰出的工程师每天使用我们的软件来开发高质量、有竞争力的产品。

目前,中国正在经历一个迅猛发展的时期,从制造服务型经济转向创新驱动型经济。为了继续取得成功,中国需要最佳的软件工具。

SolidWorks 2007 是我们最新版本的软件,它在产品设计过程自动化及改进产品质量方面又提高了一步,该版本提供了许多新的功能和更多提高生产效率的工具,可帮助机械设计师和工程师开发出更好的产品。

现在,我们提供了这套中文原版培训教程,体现出我们对中国用户长期持续的承诺。这些教程可以有效地帮助您把 SolidWorks 2007 软件在驱动设计创新和工程技术应用方面的强大威力全部释放出来。

我们为 SolidWorks 能够帮助提升中国的产品设计和开发水平而感到自豪。现在您拥有了最好的软件工具以及配套教程,我们期待看到您用这些工具开发出创新的产品。

此致

敬礼!

John McEleney

SolidWorks 公司首席执行官

2006 年 8 月 24 日

前言

SolidWorks 公司是一家专业从事三维机械设计、工程分析、产品数据管理软件研发和销售的国际性公司。SolidWorks 软件以其优异的性能、易用性和创新性,极大地提高了机械设计工程师的设计效率和质量,目前已成为主流 3D CAD 软件市场的标准,在全球拥有超过 50 万的用户。SolidWorks 公司的宗旨是:*To help customers design better products and be more successful*——让您的设计更精彩。

“SolidWorks 公司原版系列培训教程”是根据 SolidWorks 公司最新发布的 SolidWorks 2007 软件和 COSMOS 2007 软件的配套英文版培训教程编译而成,也是 CSWP 全球专业认证考试培训教程。本套教程是 SolidWorks 公司惟一正式授权在中国大陆出版的原版培训教程,也是迄今为止出版的最为完整的 SolidWorks 系列培训教程,共计 11 种,其中“COSMOS 系列”、“产品数据管理”、“管道与布线”、“高级曲面”都是第一次奉献给中国读者。

本套教程详细介绍了 SolidWorks 2007 软件和 COSMOS 2007 软件的功能,以及使用该软件进行三维产品设计、工程分析的方法、思路、技巧和步骤。值得一提的是, SolidWorks 2007 不仅在功能上进行了 200 多项改进,更加突出的是它在技术上的巨大进步与创新。推出的智能特征技术 SWIFT,可以更好地满足工程师的设计需求,带给新老用户更大的实惠!

智能特征技术 SWIFT 是 SolidWorks 2007 最重要的新增功能,目前包含了 FeatureXpert(特征专家)、MateXpert(配合专家)、SketchXpert(草图专家)和 DimXpert(尺寸专家)四个专家级智能系统。这些新功能和新技术,都将在本套教程中得以详细阐述。

《COSMOS 高级教程: COSMOSWorks Professional》(2007 版)是根据 SolidWorks 公司发布的《COSMOS 2007 Training Manuals: COSMOSWorks Professional》编译而成的,着重介绍了 COSMOSWorks 软件对 SolidWorks 模型进行有限元分析的进阶方法和相关技术。与以前的培训教程相比较,本书详细介绍了多种有



 **叶修梓 博士**
公司首席科学家
中国研发中心负责人



陈超祥 先生

 **公司大中国地区技术总监**

有限元分析类型、CAD 模型的简化以及 COSMOSWorks 2007 的最新功能。

本套教程在保留了原版教程精华和风格的基础上，按照中国读者的阅读习惯进行编译，使其变得直观、通俗，让初学者易上手，让高手的设计效率和质量更上一层楼！

本套教程由 SolidWorks 公司首席科学家叶修梓先生和大中国地区技术总监陈超祥先生担任主编，由杭州新迪数字工程系统有限公司常务副总经理彭维和陈博负责审校。

承担编译、校对和录入工作的是杭州新迪数字工程系统有限公司的技术人员，他们是刘红政、王经纬、高崇辉、罗爱斌、周瑜、姚倩等。杭州新迪数字工程系统有限公司是 SolidWorks 公司的密切合作伙伴，拥有一支完整的软件研发队伍和技术支持队伍，长期承担着 SolidWorks 核心软件研发、客户技术支持、培训教程编译等方面的工作。在此，对参与本书编译工作人员的辛勤工作表示诚挚的感谢。

由于时间仓促，书中难免存在着疏漏和不足，恳请读者和专家批评指正。

本书编译者的联系方式是：yexz@sindyware.com，pengw@sindyware.com。

叶修梓 陈超祥

2007 年 7 月

本书使用说明

关于本书

本课程的目的是教会读者如何使用 COSMOSWorks Professional 软件，以分析 SolidWorks 中的零件和装配体在扭曲、疲劳及变化热力载荷下的静态结构属性。本课程还覆盖了频率分析、优化及掉落测试（基于时间的碰撞分析）等内容。

本书集中于最基础的技术以及掌握 COSMOSWorks 2007 的核心内容。阅读本书只是一个辅助手段，它不能替代系统文档和在线帮助。在掌握了基本的基础技术之后，读者可以通过在线帮助来了解一些不常使用的命令选项。

前提条件

读者在学习本书前，应该具备如下经验：

- 机械设计经验。
- 使用 Windows 操作系统的经验。
- 已经学习了 COSMOSWorks 在线指导教程，可以通过点击菜单【帮助】/【在线指导教程】学习这个教程。
- 已经学习了《COSMOS 基础教程：COSMOSWorks Designer》(2007 版)。

本书编写原则

本书是基于过程或任务的方法而设计的培训教程，并不是专注于介绍单项特征和软件功能。本书强调的是，完成一项特定任务所应遵循的过程和步骤。通过对每一个应用实例的学习来演示这些过程和步骤，读者将学会为了完成一项特定的设计任务应采取的方法，以及所需要的命令、选项和菜单。

本书使用方法

本书的目的是希望读者在有 COSMOSWorks 使用经验的教师指导下，在培训课中进行学习。希望通过教师现场演示本书所提供的实例，学生跟着练习，通过这种交互式的学习方法，使读者掌握软件的功能。

本书提供了许多练习供读者实践，使读者可以在练习过程中，学习课程中演示的内容。

关于配套光盘

本书的配套光盘中收录了课程中所需要的各种文件，包括：课堂实例和练习题。Lesson 文件夹包括了所有在课堂演示中用到的实例文件，Exercise 文件夹包括了所有练习中需要的参考文件。

读者也可以从 SolidWorks 官方网站下载本教程的整套练习文件，网址是 www.solidworks.com，进入

后点击 Services，然后再单击 Training and Certification，这时你就会看到一个专门用于下载练习文件的链接。这些练习文件都是有标记而且可以自解压的文件包。

本书的格式约定

本书使用以下的格式约定：

约 定	含 义
【插入】/【凸台】	表示 SolidWorks 软件命令和选项。例如【插入】/【凸台】表示从下拉菜单【插入】中选择【凸台】命令
 提示	要点提示
 技巧	软件使用技巧
 注意	软件使用时应注意的问题
操作步骤 步骤 1 步骤 2 步骤 3	表示课程中实例设计过程的各个步骤

关于色彩的问题

COSMOSWorks 2007 原版英文教程是采用彩色印刷的，而我们出版的中文教程则采用黑白印刷，所以本书对原版英文教程中出现的颜色信息做了一定的调整，尽可能地方便读者理解书中的内容。

Windows® XP

本书所用的屏幕图片是 SolidWorks 2007 和 COSMOSWorks 2007 运行在 Windows® XP 时制作的。如果读者使用不同版本的 Windows，菜单和窗口的外观会有所不同，但这些不同并不影响软件的使用。

目 录

序

前言

本书使用说明

绪论 1

0.1 COSMOSWorks 概述 1

0.2 COSMOSWorks Professional 的使用限制 1

第1章 音叉的频率分析 2

1.1 模态分析基础 2

1.1.1 需要的材料属性 3

1.1.2 频率与模式形态 3

1.2 问题描述 3

1.3 带支撑的频率分析 4

1.4 不带支撑的频率分析 6

1.5 分析的结论 7

1.6 总结 7

练习 汽车悬挂防水壁 7

第2章 吹风机风扇的频率分析 9

2.1 项目描述 9

2.2 不加载荷的频率分析 9

2.3 加载荷的频率分析 11

2.3.1 频率分析中加载荷的影响 11

2.3.2 面内应力 12

2.4 设计情形 12

2.5 总结 15

练习 叶轮机的频率分析 15

第3章 凳子的扭曲分析 18

3.1 项目描述 18

3.2 凳子的静态分析 18

3.2.1 需要的材料属性 19

3.2.2 约束条件 19

3.3 扭曲分析基础 21

3.3.1 线性扭曲分析和非线性扭曲分析 21

3.3.2 扭曲分析的思考 22

3.4 凳子的扭曲分析实例 22

3.4.1 计算扭曲载荷 23

3.4.2 结果讨论 24

3.4.3 扭曲分析和频率分析间的关系 24

3.5 总结 24

练习 灯罩的扭曲分析 25

第4章 聚光灯装配体的热力分析 28

4.1 项目描述 28

4.2 热力分析基础 28

4.3 稳态分析 29

4.3.1 检查分析参数 31

4.3.2 热力结果 32

4.3.3 热流量奇异性 32

4.4 热传递的机理 33

4.4.1 传导 33

4.4.2 对流 33

4.4.3 辐射 34

4.5 热力分析的材料属性 35

4.6 总结 35

练习 杯子的热力分析 35

第5章 芯片组的热力分析 38

5.1 项目描述 38

5.2 稳态热力分析	38	7.2.6 图表结果	70
5.2.1 接触热电阻	39	7.3 运行第二个掉落测试分析	72
5.2.2 初始温度	40	7.4 运行第三个掉落测试分析(选做)	73
5.2.3 热流量	41	7.5 总结	74
5.3 瞬态热力分析	42	练习 夹子的掉落测试	74
5.3.1 从 COSMOSFloWorks 导入对流效应	43		
5.3.2 结果对比	44	第 8 章 压榨机框架装配体的优化分析	76
5.4 载荷随时间变化的瞬态分析	45	8.1 项目描述	76
5.5 使用恒温器的瞬态热力分析	46	8.2 静态分析	76
5.6 总结	47	8.3 频率分析	77
练习 咖啡壶的热力分析	48	8.4 优化分析	78
第 6 章 芯片测试装置的热应力分析	52	8.4.1 优化参数	78
6.1 项目描述	52	8.4.2 优化目标	79
6.2 稳态热力分析	52	8.4.3 定义设计变量	79
6.2.1 指定温度条件	54	8.4.4 定义约束	80
6.2.2 热力分析中的网格划分	54	8.4.5 约束公差	81
6.2.3 零部件有效数	55	8.4.6 约束定义过程	81
6.3 静态分析	56	8.4.7 约束结果	81
6.3.1 从 COSMOSFloWorks 中输入		8.4.8 设计历史图表	84
温度及压力	57	8.4.9 当地趋向图表	85
6.3.2 热应力分析基础	57	8.5 总结	86
6.3.3 零应变时的参考温度	57	练习 悬臂支架的优化分析	86
6.3.4 网格相关性要求	60		
6.3.5 热力边界条件的变化	61	第 9 章 压力容器的疲劳分析	90
6.3.6 能量均值误差	62	9.1 疲劳	90
6.4 总结	62	9.1.1 疲劳所导致的破坏阶段	90
练习 储气罐的热应力分析	62	9.1.2 高低疲劳周期	90
第 7 章 照相机的掉落测试分析	67	9.2 基于应力-寿命(S-N)的疲劳	91
7.1 项目描述	67	9.3 项目描述	92
7.2 运行第一个掉落测试分析	67	9.4 热力算例	93
7.2.1 掉落测试图标	68	9.5 热应力算例	93
7.2.2 掉落测试参数	68	9.5.1 S-N 曲线	93
7.2.3 动态分析	68	9.5.2 S-N 曲线数据的可靠性	93
7.2.4 求解参数	69	9.5.3 S-N 曲线插值	94
7.2.5 求解时间	69	9.6 压力静态算例	95
		9.7 疲劳算例	96
		9.7.1 疲劳事件	96

9.7.2 等幅事件交互.....	96	10.2 疲劳算例	104
9.7.3 S_{alt} 的计算	97	10.2.1 等幅疲劳事件	104
9.7.4 平均应力纠正.....	97	10.2.2 变载荷曲线.....	105
9.7.5 破坏因子图解.....	98	10.2.3 雨流计数箱.....	106
9.8 总结	99	10.2.4 随机载荷历史的噪声	106
练习 篮球圈的疲劳分析	99	10.2.5 疲劳强度缩减因子	107
第 10 章 汽车悬架的疲劳分析	102	10.3 总结	110
10.1 项目描述	102	附录 术语对照表	111

绪 论

0.1 COSMOSWorks 概述

COSMOSWorks 是一种基于有限元分析技术(即 FEA 的数值)的设计分析软件,是 SRAC 公司工程分析软件产品之一。SRAC 公司成立于 1982 年,是将有限元分析带入到桌面计算的先驱。1995 年,SRAC 公司与 SolidWorks 公司合作开发了 COSMOSWorks 软件,从而进入了工程界主流有限元分析软件的市场,该软件也成为了 SolidWorks 公司的金牌产品之一,同时它作为公司的插入式分析软件,迅速成为顶级销量产品。2001 年,综合了 SolidWorks CAD 软件的 COSMOSWorks 软件由于在商业上取得的成功而获得了 Dassault Systemes(SolidWorks 的母公司)的认可。2003 年,SRAC 公司与 SolidWorks 公司合并。

SolidWorks 是一个基于参数化实体特征的 CAD 系统。和许多最初是在 UNIX 环境下开发,后来才向 Windows 系统开放的 CAD 系统不同, SolidWorks 从一开始,就是专为 Windows 操作系统开发的。COSMOSWorks 也是为 Windows 操作系统开发的。由于 SolidWorks 和 COSMOSWorks 这两个程序都是 Windows 操作系统的应用程序,它们相互间的充分集成是可能的。

COSMOSWorks 有不同的软件包或应用程序以适合不同用户的需求。除了 COSMOSXpress 包是 SolidWorks 的集成部分,其他所有的 COSMOSWorks 包都是插件式的。不同包的主要功能如下:

- COSMOSXpress: 对一些具有简单载荷和支撑类型的零件的静态分析。
- COSMOSWorks Designer: 对零件或装配件的静态分析。
- COSMOSWorks Professional: 对零件或装配件的静态、热传导、屈曲、频率、掉落测试、优化及疲劳分析。
- COSMOSWorks Advanced Professional: 所有 COSMOSWorks Professional 的功能加上非线性分析,还可以在 GeoSTAR 界面进行高等动力学分析。

本书通过一系列综合了有限元分析基础的手把手的课程来介绍 COSMOSWorks Professional。本书假定读者了解基本的有限元方法,并熟悉 COSMOSWorks Designer 课程中讨论的素材。推荐大家按课程的顺序进行学习,在课程进行中,一些在前文中出现过的解释和步骤在后面不再重复。每个后续的课程均假设读者已经熟悉了前文所讨论过的软件功能和有限元背景知识,每一课都建立在前面课程所积累的技术和经验之上。

0.2 COSMOSWorks Professional 的使用限制

任何 FEA 软件都有其优缺点, COSMOSWorks Professional 分析是在下列假设下进行的:

- 材料是线性的。
- 小变形。
- 静态载荷。

这些假设是在设计环境下的关于 FEA 软件的基本假设,大多数的 FEA 项目在这些前提条件下完成得很好。对每个假设的细节讨论,请参见《COSMOS 基础教程: COSMOSWorks Designer》。

对于一些非线性材料、非线性几何体或动态分析,可以通过 COSMOSWorks Advanced Professional 工具完成。COSMOSWorks Professional 的某些模块也可以进行动态和非线性分析。

第 1 章 音叉的频率分析



学习目标

- ◎ 无论在有无支撑的时候，都能够进行频率分析
- ◎ 理解刚体模态
- ◎ 讨论频率分析的支撑作用

1.1 模态分析基础

每种结构都有它固有的振动频率，称之为共振频率。这样的频率都和特定形式的振动联系在一起。当某一结构的共振频率被激活时，将表现出一种振动的形态，我们称之为振动模态。

回顾结构静力分析中，节点位移是主要的未知量。 $[K]d = F$ 中， $[K]$ 为刚度矩阵， d 为节点位移的未知量，而 F 为节点载荷的已知量。

在动力学分析中，我们增加阻尼矩阵 $[C]$ 和质量矩阵 $[M]$ 。

$$[M]''d + [C]'d + [K]d = F(t)$$

上式为典型的有阻尼的交迫振动方程。当缺少阻尼及外力时，该方程式简化为 $[M]''d + [K]d = 0$ (自由振动方程)。

在有运动的情况下，该方程与惯性以及任意时刻的弹力都是相关的。在没有运动的情况下(例如，没有导致运动的初始扰动)，该方程仍然表达了结构质量属性及其刚度之间的重要关系。其结构属性一般有如下两种：

- 1) 固有频率：结构趋向于振荡的频率(在受到激励的情况下)。通常这些值对应共振频率。
- 2) 固有(自然)振动模态：特定的固有频率对应唯一的振动形式。



现实中的结构都有无数的固有频率及模态。模态的最大数量受制于自由度的数量。

实际上，在共振中，弹性刚度减去惯性刚度将得到结构损失了刚度的大小。在共振中，控制振幅加大的唯一因素就是阻尼。如果阻尼比较低(事实上，在大多情况下阻尼值都比较低)，那么振幅加大会带来灾难性的后果。



建议在完成包括本章在内的两章频率分析的课程之后，重复使用一些以前的模型，并对它们进行频率分析。

例如，图 1-1 显示了带孔无支撑平板模型振动时的自然模态(形态)，我们将在 COSMOSWorks Designer 培训教程的第一章中进行讲解。每个模态对应着一个特定的固有频率。

了解一个对称模型的频率分析时，要注意该振动模态是否对称。观察得到，振动的模态阶数越高，振动的形式就越复杂。

对零件和装配体都能够进行频率分析。如果对装配体进行分析，则要求所有的零件都是结合在一起的，不允许出现不接触或有缝隙的情况。如果装配体的零件有干涉，比如需要做收缩匹配分析，则必须在执行频率分析之前去除干涉部分，如图 1-2 所示。

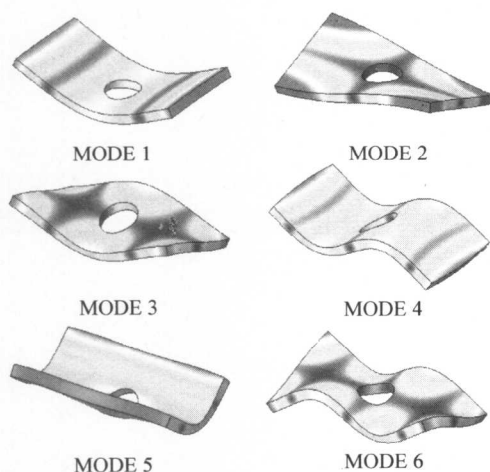


图 1-1 带孔无支撑平板的 6 种模式



图 1-2 变形前后的形状对比

1.1.1 需要的材料属性

频率分析中需要以下的材料属性：

- 1) 弹性模量(也称杨氏模量)。
- 2) 泊松比。
- 3) 质量密度。



为了模拟惯性刚度，频率分析中模型特定的材料属性必须包括材料的密度(并非指重力)。

1.1.2 频率与模式形态

现实中几乎每种结构体都有无数的固有频率及相应的振动模式，然而在动态载荷结构的反应中，只有最低的几个模式是重要的。在这少数的几个最低模式中，其振幅一般较大，而高阶频率所对应的模式中，振幅都较小。

频率分析就是计算这些共振频率及它们对应的振动模式。频率分析并不计算位移和应力。

机械体系一般要避免机械共振的发生，然而共振并不总是一件“坏”事。事实上，有许多装置专门设计为在共振模式下工作。一些较为明显的例子是：音乐器材、夯土机、汽锤等。

然而在大多数的情况下都避免共振。在已知产品将面临什么样的激励频率后，总是以这样的方式来设计产品，即保证产品的固有频率不与激励频率相吻合。

为了使结构的固有频率在危险范围以外，可以改变产品的几何结构、材料、避震特性或者在适当的地方添加质量单元。这些作用的影响可以通过模式分析来验证。

本章将分析一个设备：音叉。它是基于共振频率设计出的设备中的一个代表。

1.2 问题描述

如图 1-3 所示的音叉，被设计在 440Hz 的频率下能够释放出—个较低的 A 音。

该音叉的设计可以通过频率分析来验证。

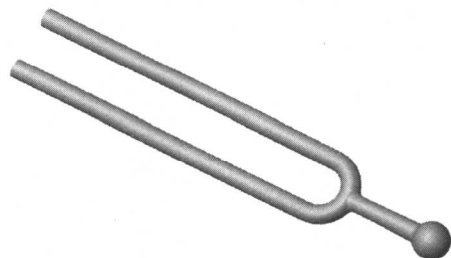


图 1-3 音叉