



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



2014版

SolidWorks® Simulation 基础教程

[美] DS SolidWorks®公司 著
陈超祥 胡其登 主编
杭州新迪数字工程系统有限公司 编译



42个典型实例
183张彩色图片
457个实例素材

SolidWorks®公司
独家授权

与新版软件同步推出

 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



2014版

SolidWorks® Simulation 基础教程

[美] DS SolidWorks®公司 著
陈超祥 胡其登 主编
杭州新迪数字工程系统有限公司 编译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

《SolidWorks® Simulation 基础教程》(2014 版)是根据 DS SolidWorks®公司发布的《SolidWorks® 2014: SolidWorks® Simulation》编译而成的,是使用 Simulation 软件对 SolidWorks 模型进行有限元分析的入门培训教程。本书提供了基本的有限元求解方法,是机械工程师快速有效地掌握 Simulation 应用技术的必备资料。本书在介绍软件使用方法的同时,还对有限元的相关理论知识进行了讲解。本教程附赠助学助教光盘,内含 42 个典型实例、457 个配套实例素材、183 张彩色图片。

本书在保留了英文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、职业技术学院相关专业师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

SolidWorks® Simulation 基础教程:2014 版/(美) DS SolidWorks®公司著;陈超祥,胡其登主编. —3 版. —北京:机械工业出版社,2014.6

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 978-7-111-47100-4

I. ①S… II. ①美…②陈…③胡… III. ①计算机辅助设计-应用软件-技术培训-教材 IV. ①TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 132252 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:郎峰 责任编辑:郎峰 宋亚东

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:饶薇 责任印制:刘岚

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2014 年 8 月第 3 版第 1 次印刷

210mm × 285mm · 21.25 印张 · 621 千字

0 001 - 5 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-47100-4

ISBN 978-7-89405-443-2 (光盘)

定价:69.80 元(含 1CD)

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

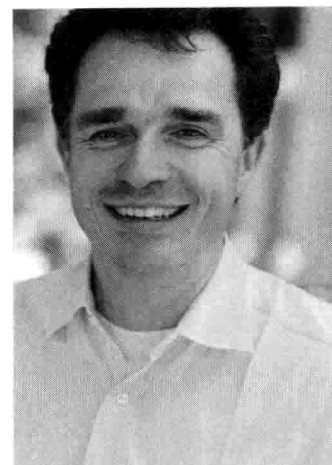
社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

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

序



尊敬的中国地区 SolidWorks 用户：

DS SolidWorks®公司很高兴为您提供这套最新的 DS 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，DS SolidWorks®公司与中国地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。

作为一家软件公司，DS SolidWorks®致力于带给用户世界一流水平的 3D 解决方案（包括设计、分析、产品数据管理、文档出版与发布），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 2014 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系列培训教程，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 2014 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！

SICOT Bertrand
DS SolidWorks®公司首席执行官
2014 年 1 月



SolidWorks 陈超祥 先生 现任 DS SolidWorks®公司亚太地区技术总监

陈超祥先生早年毕业于香港理工学院机械工程系，后获英国华威克大学制造信息工程硕士及香港理工大学工业及系统工程博士学位。多年来，陈超祥先生致力于机械设计和 CAD 技术应用的研究，曾发表技术文章二十余篇，拥有多个国际专业组织的专业资格，是中国机械工程学会机械设计分会委员。陈超祥先生曾参与欧洲航天局“猎犬 2 号”火星探险项目，是取样器 4 位发明者之一，拥有美国发明专利（US Patent 6, 837, 312）。

前言

DS 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 100 万的用户。DS 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。

“DS SolidWorks®公司原版系列培训教程”是根据 DS SolidWorks®公司最新发布的 SolidWorks 2014 软件的配套英文版培训教程编译而成的，也是 CSWP 全球专业认证考试培训教程。本套教程是 DS SolidWorks®公司唯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®公司原版系列培训教程。

本套教程详细介绍了 SolidWorks 2014 软件和 Simulation 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 2014 不仅在功能上进行了 300 多项改进，更加突出的是它在技术上的巨大进步与创新，从而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！

《SolidWorks® Simulation 基础教程》（2014 版）是根据 SolidWorks®公司发布的《SolidWorks®2014: SolidWorks Simulation》编译而成的，是使用 Simulation 软件对 SolidWorks 模型进行有限元分析的入门教程。本书提供了基本的有限元求解方法，并对有限元的相关理论知识进行了讲解。



SolidWorks 胡其登 先生 现任 DS SolidWorks®公司大中国地区技术总监

胡其登先生毕业于北京航空航天大学飞机制造工程系，获“计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）”专业工学硕士学位，长期从事 CAD/CAM 技术的产品开发与应用、技术培训与支持等工作，以及 PDM/PLM 技术的实施指导与企业咨询服务，具有二十多年的行业经历，经验丰富，先后发表技术文章十余篇。

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 DS SolidWorks®公司亚太地区技术总监陈超祥先生和大中国地区技术总监胡其登先生共同担任主编，由杭州新迪数字工程系统有限公司彭维、林靖负责审校。承担编译、校对和录入工作的有王经纬、邱小平、满小云、单少南等杭州新迪数字工程系统有限公司的技术人员。杭州新迪数字工程系统有限公司是 DS 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。本套教程的操作视频由 SolidWorks 高级咨询顾问李伟制作。在此，对参与本书编译和视频制作的工作人员表示诚挚的感谢。

由于时间仓促，书中难免存在疏漏和不足之处，恳请广大读者批评指正。

陈超祥 胡其登

2014 年 5 月

本书使用说明

关于本书

本书的目的是教会读者如何使用 Simulation 软件以分析 SolidWorks 中的零件和装配体的静态结构行为。

SolidWorks 2014 是一个功能强大的机械设计软件，而由于本书章节有限，不可能覆盖软件的每一个细节和各个方面，所以本书将重点介绍基础的 Simulation 技术以及 Simulation 2014 的核心内容。本书作为在线帮助系统的一个有益的补充，不可能完全替代软件自带的在线帮助系统。在读者对 SolidWorks 2014 软件的基本使用技能有了较好的基础之后，就能够参考在线帮助系统获得其他常用命令的信息，进而提高应用水平。

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《SolidWorks®零件与装配体教程》(2014 版)。
- 已经学习了 Simulation 在线指导教程，可以通过单击菜单【帮助】/【SolidWorks Simulation 在线指导教程】/【教程】在线学习。

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，读者将学会为完成一项特定设计任务所采取的方法，以及所需要的命令、选项和菜单。

关于“知识卡片”

除了每章的研究实例和练习外，本书还提供了可供读者参考的“知识卡片”。这些“知识卡片”提供了软件使用工具的简单介绍和操作方法，可供读者随时查阅。

本书使用方法

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

读者可以使用练习题来应用和练习书中讲解的或教师演示的内容。本书设计的练习题代表了典型的设计和建模情况，读者完全能够在课堂上完成。应该注意到，学生的学习速度是不同的，因此，书中所列出的练习题比一般读者能在课堂上完成的要多，这确保了学习最快的读者也有练习可做。

工程图标准

SolidWorks 软件支持多种工程图标准，如中国国家标准（GB）、美国国家标准（ANSI）、国际标准（ISO）、德国国家标准（DIN）和日本国家标准（JIS）。本书中的例子和练习基本上采用了中国国家标准（除个别为体现软件多样性的选项外）。为与软件保持一致，本书中一些名词术语未与国家标准对

应，如“形位公差”指“几何公差”，“剖面视图”指“剖视图”等，请读者使用时注意。

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，包括操作视频、课堂实例和练习题。课堂实例和练习题文件按照章节进行编排。每章的文件放在相应章节的子文件夹下，例如，第6章的文件位于光盘的“Lesson06”文件夹中。每章中的“Case Study”子文件夹包含了教师在课堂上演示的实例，“Exercises”子文件夹包含了做练习题所需要的参考文件。

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，进入后单击 Support，然后单击 Training，在 TRAINING FILES 下单击 Solidworks，这时将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并且可以自解压的文件包。

操作视频文件供读者参考，不完全与本书内容一致。

关于模板的使用

光盘中包含一个名为“Training Templates”的文件夹，该文件夹收录了读者在以后的练习中将会使用的模板或者样块文件，请读者事先对这些文件进行如下操作：

- 将文件扩展名为“prt-dot”的模板文件复制到：

“系统安装目录\ProgramData\SolidWorks\SolidWorks 2014\templates”文件夹下。

- 将文件扩展名为“sl-ddrt”的标准图框文件复制到：

“系统安装目录\ProgramData\SolidWorks\SolidWorks 2014\lang\Chinese-simplified\sheetformat”文件夹下。




- 将字体文件“simfang1.ttf”复制到 Windows 系统的“Fonts”文件夹下。

Windows® 7

本书所用的屏幕图片是 SolidWorks 2014 运行在 Windows® 7 时制作的。

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
	要点提示
	软件使用技巧
	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

SolidWorks® 2014 英文原版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，所以本书对英文原版教程中出现的颜色信息作了一定的调整，以便尽可能地方便读者理解书中的内容。

读者信息反馈表

感谢您购买《SolidWorks® Simulation 基础教程》(2014 版)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	
<p>1. 您需要哪种形式的 SolidWorks 图书?</p> <p><input type="checkbox"/> 手册(工具书) <input type="checkbox"/> 实例讲解式 <input type="checkbox"/> 任务/步骤式 <input type="checkbox"/> 图解式</p> <p><input type="checkbox"/> 其他_____</p> <p>2. 您选择 SolidWorks 图书时,在作者方面,主要考虑哪个因素?</p> <p><input type="radio"/> SolidWorks 公司原著(引进版) <input type="radio"/> 国内作者自编 <input type="radio"/> 其他_____</p> <p>3. 您选择 SolidWorks 图书时,主要选择哪些出版社的图书?</p> <p><input type="checkbox"/> 机械工业 <input type="checkbox"/> 清华大学 <input type="checkbox"/> 电子工业 <input type="checkbox"/> 人民邮电 <input type="checkbox"/> 其他_____</p> <p>4. 您选择 SolidWorks 图书时,在内容方面,主要考虑哪些因素?</p> <p><input type="checkbox"/> 内容实用 <input type="checkbox"/> 知识先进 <input type="checkbox"/> 配套齐全 <input type="checkbox"/> 架构合理 <input type="checkbox"/> 其他_____</p> <p>5. 您选择 SolidWorks 图书时,希望图书的定价在哪个范围?</p> <p><input type="radio"/> 20 元以下 <input type="radio"/> 20~30 元 <input type="radio"/> 30~40 元 <input type="radio"/> 40 元以上</p> <p>6. 如果图书配备光盘,您希望光盘中包含哪些内容?</p> <p><input type="checkbox"/> 课后练习题的讲解及答案 <input type="checkbox"/> 图书相关素材及实例 <input type="checkbox"/> 教师讲课 PPT</p> <p><input type="checkbox"/> 教学建议 <input type="checkbox"/> 案例的操作视频 <input type="checkbox"/> 其他_____</p> <p>7. 在众多的三维设计软件中,你最喜欢使用哪个设计软件?</p> <p><input type="radio"/> Pro/Engineer <input type="radio"/> SolidWorks <input type="radio"/> UG <input type="radio"/> CATIA <input type="radio"/> 其他_____</p> <p>8. 您认为目前市场上此类图书有哪些优点和不足?</p> <p>9. 您对我们的图书/SolidWorks 软件有哪些意见和建议?</p>			

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; 88379078; 68329397 (传真)

咨询、投稿信箱:cmpjji@Vip.163.com

QQ 交流群:313735602

SolidWorks® 软件2014版十大亮点

1. **高级形状控制** 更快、更轻松的设计和创建高级复杂的曲面与形状
2. **草图增强功能** 更快、更轻松地进行概念化和设计
3. **增强的装配体性能和可视化** 更快且更轻松地生成和查看装配体
4. **设计交流和协同** 随时随地以更逼真的方式体验和交流设计理念
5. **新增钣金特征** 通过改进的制造数据输出，更快地生成钣金几何体
6. **简化的 SIMULATION 设置** 简化仿真、消除重复劳动
7. **出详图速度更快** 智能高效的出图功能提高生产详图的自动生成速度
8. **SOLIDWORKS ELECTRICAL 改善集成和性能** 更轻松地优化、共享和跟踪电气设计，改进项目协同
9. **SOLIDWORKS ENTERPRISE PDM 规范的工作流程** 文档操作更快、更精确，可自动获取最新文件版本
10. **规范的成本估算和报告** 加快成本拆分速度并减少设置步骤，与下游应用程序共享成本数据

技术资格互认

1. 凡获得中国机械工程学会“见习机械设计工程师”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“机械设计工程师”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“见习机械设计工程师资格考试”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“机械设计工程师资格考试”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“见习机械设计工程师资格考试”和“机械设计工程师资格考试”时，可以免去机考中的机械设计内容部分。

SolidWorks中文网站：<http://www.solidworks.com.cn>

SolidWorks咨询电话：010-65362350； 021-38568162； 020-22139215

(北京)

(上海)

(广州)

编辑热线：010-88379761， 88379078

目 录

序

前言

本书使用说明

绪论 有限元简介 1

0.1 SolidWorks Simulation 概述	1
0.2 有限元分析概述	1
0.3 建立数学模型	2
0.4 建立有限元模型	3
0.5 求解有限元模型	3
0.6 结果分析	3
0.7 FEA 中的误差	4
0.8 有限单元	4
0.8.1 SolidWorks Simulation 中的单元类型	4
0.8.2 在实体和壳单元中选择	6
0.8.3 实体及壳单元中的草稿品质与高品质	6
0.9 自由度	7
0.10 FEA 计算	7
0.11 FEA 结果解释	7
0.12 测量单位	8
0.13 SolidWorks Simulation 的使用限制	9
0.14 总结	10

第 1 章 分析流程 11

1.1 模型分析的关键步骤	11
1.2 实例分析：平板	11
1.3 SolidWorks Simulation 的界面	12
1.4 SolidWorks Simulation 选项	14
1.5 预处理	16
1.5.1 新建算例	16
1.5.2 夹具	18
1.5.3 外部载荷	19
1.5.4 符号的大小及颜色	21
1.5.5 预处理总结	21
1.6 划分网格	22
1.6.1 基于曲率的网格	22
1.6.2 网格密度	23

1.6.3 网格大小	23
1.6.4 圆中最小单元数	23
1.6.5 比率	23
1.6.6 网格质量	25
1.7 后处理	26
1.7.1 结果图解	26
1.7.2 编辑图解	26
1.7.3 波节应力与单元应力	27
1.7.4 显示向量图解选项	27
1.7.5 修改结果图解	27
1.7.6 其他图解	29
1.8 多个算例	34
1.8.1 创建新的算例	34
1.8.2 复制参数	34
1.8.3 检查收敛与精度	36
1.8.4 结果总结	37
1.8.5 与解析解比较	37
1.9 报告	38
1.10 总结	39
1.11 提问	39
练习 1-1 支架	40
练习 1-2 压缩弹簧刚度	46
练习 1-3 容器把手	48

第 2 章 网格控制、应力集中、边界条件 50

2.1 网格控制	50
2.2 实例分析：L 形支架	50
2.3 不带圆角的支架分析	51
2.3.1 运行所有算例	52
2.3.2 局部网格精细化分析	53
2.3.3 网格控制	53
2.3.4 结果比较	56
2.3.5 应力奇异性	56
2.4 带圆角的支架分析	57

2.4.1 压缩配置	57	4.3.2 惯性卸除	103
2.4.2 自动过渡	58	4.4 总结	104
2.5 实例分析: 焊接支架	61	练习 4-1 链扣(第一部分)	104
2.6 理解边界条件的影响	62	练习 4-2 链扣(第二部分)	115
2.7 总结	63	第 5 章 带接头的装配体分析及网格细化	118
2.8 提问	63	5.1 连接零部件	118
练习 2-1 C 形支架	63	5.2 接头	118
练习 2-2 骨形扳手	69	5.3 实例分析: 万向节	119
练习 2-3 基座支架	73	5.4 项目描述	120
第 3 章 带接触的装配体分析	80	5.5 第一部分: 使用草稿品质的粗糙网格 进行分析	120
3.1 接触缝隙分析	80	5.5.1 远程载荷	121
3.2 实例分析: 虎钳	80	5.5.2 螺栓的紧密配合	124
3.3 使用全局接触的虎钳分析	81	5.5.3 螺栓预载	124
3.3.1 为装配体指定材料	81	5.5.4 局部相触面组	127
3.3.2 零部件接触	82	5.5.5 旋转和轴向刚度	129
3.3.3 观察装配体结果	85	5.5.6 知识库	130
3.3.4 手柄接触	85	5.6 第二部分: 使用高品质网格分析	134
3.3.5 所需的力	86	5.6.1 在薄壁特征上需要的实体单元数量	135
3.4 使用局部接触的虎钳分析	86	5.6.2 高宽比例图解	135
3.4.1 局部接触	86	5.6.3 雅可比	136
3.4.2 局部接触类型	87	5.7 总结	140
3.4.3 无穿透局部接触条件	88	练习 5-1 手钳	141
3.4.4 接触应力	91	练习 5-2 升降架装配体	149
3.5 总结	91	练习 5-3 带有基座的分析(选做)	154
3.6 提问	91	练习 5-4 点焊——实体网格	155
练习 双环装配体	92	练习 5-5 螺栓接头	160
第 4 章 对称和自平衡装配体	95	练习 5-6 遮阳篷	163
4.1 冷缩配合零件	95	第 6 章 兼容/不兼容网格	165
4.2 实例分析: 冷缩配合	95	6.1 兼容/不兼容网格划分: 接合接触	165
4.2.1 项目描述	95	6.2 实例分析: 转子	165
4.2.2 对称	95	6.2.1 项目描述	165
4.2.3 关键步骤	96	6.2.2 兼容网格	166
4.2.4 特征消隐	96	6.2.3 不兼容网格	167
4.2.5 刚体模式	97	6.2.4 不兼容接合选项	169
4.2.6 冷缩配合接触条件	98	6.3 总结	171
4.2.7 在局部坐标系中图解显示结果	99	第 7 章 薄件分析	172
4.2.8 定义圆柱坐标系	99	7.1 薄件	172
4.2.9 保存所有图解	102	7.2 实例分析: 带轮	172
4.2.10 “什么错”特征	102	7.3 第一部分: 采用实体单元划分网格	173
4.3 带软弹簧的分析	102	7.4 第二部分: 细化实体网格	176
4.3.1 软弹簧	103		

7.5 实体与壳单元的比较	176	9.2.4 关键步骤	227
7.6 第三部分：壳单元——中面曲面	177	9.2.5 横梁接点：位置	229
7.6.1 细壳与粗壳的比较	178	9.2.6 横梁接点类型	229
7.6.2 壳网格颜色	179	9.2.7 连接及断开的接点	231
7.6.3 更改网格方向	180	9.2.8 横截面的第一方向及第二方向	236
7.6.4 壳单元对齐	180	9.2.9 弯矩和剪力图表	237
7.6.5 自动重新对齐壳曲面	181	9.3 总结	238
7.6.6 应用对称约束	184	9.4 提问	238
7.6.7 变形结果	186	练习 9-1 传送架	238
7.7 结果比较	187	练习 9-2 柜子	246
7.8 实例分析：搁栅吊件	187	练习 9-3 框架结构刚度	252
7.9 总结	192	第 10 章 子模型	254
7.10 提问	192	10.1 子模型基础	254
练习 7-1 支架	193	10.2 父算例与子算例的关系	254
练习 7-2 使用外侧/内侧表面的壳网格	196	10.3 实例分析：脚手架	254
练习 7-3 点焊——壳网格	199	10.3.1 项目描述	255
练习 7-4 边焊缝接头	199	10.3.2 关键步骤	255
练习 7-5 容器把手焊缝	204	10.4 第一部分：父算例	256
第 8 章 混合网格——壳体和实体	206	10.5 第二部分：子算例	260
8.1 混合网格	206	10.6 总结	263
8.1.1 接合壳体和实体网格	207	10.7 提问	264
8.1.2 混合网格支持的分析类型	207	第 11 章 设计情形	265
8.2 实例分析：压力容器	207	11.1 设计算例	265
8.2.1 项目描述	207	11.2 实例分析：悬架设计	265
8.2.2 分析装配体	207	11.2.1 项目描述	265
8.2.3 模型准备	208	11.2.2 关键步骤	265
8.2.4 材料	209	11.3 第一部分：多载荷情形	266
8.2.5 体积模量和切变模量	211	11.3.1 多个设计算例	267
8.2.6 连接有间隙实体	211	11.3.2 设计情形结果	270
8.2.7 失败诊断	214	11.4 第二部分：几何修改	273
8.2.8 小特征网格划分	214	11.5 总结	277
8.3 总结	219	练习 矩形平台	277
8.4 提问	219	第 12 章 热应力分析	282
练习 混合网格分析	219	12.1 热应力分析简述	282
第 9 章 混合网格——实体、梁和壳单元	226	12.2 实例分析：双层金属带	282
9.1 混合划分网格	226	12.2.1 项目描述	282
9.2 实例讨论：颗粒分离器	226	12.2.2 材料属性	283
9.2.1 项目描述	226	12.2.3 输入温度	287
9.2.2 单元选择	226	12.2.4 平均应力	288
9.2.3 梁单元	226	12.2.5 提问	293

12.3 在局部坐标系中检查结果(选做)	293	13.5 h-单元与 p-单元总结	306
12.4 保存变形后的模型	294	13.6 总结	307
12.5 总结	294		
第 13 章 自适应网格	295	第 14 章 大位移分析	308
13.1 自适应网格简述	295	14.1 小位移与大位移分析的比较	308
13.2 实例分析: 悬臂支架	295	14.2 实例分析: 夹钳	308
13.2.1 项目描述	295	14.3 第一部分: 小位移线性分析	309
13.2.2 几何体准备	296	14.3.1 结果讨论	310
13.3 h-自适应算例	298	14.3.2 小位移及大位移分析中的 接触结果	310
13.3.1 h-自适应选项	299	14.4 第二部分: 大位移非线性分析	310
13.3.2 h-自适应图解	301	14.4.1 永久变形	312
13.3.3 收敛图表	301	14.4.2 SolidWorks Simulation Premium	312
13.3.4 回顾 h-自适应求解	301	14.5 总结	312
13.3.5 应变能误差并非应力误差	303	14.6 提问	312
13.4 p-自适应算例	303	附录	313
13.4.1 p-自适应求解方法	303	附录 A 网格划分、解算器	313
13.4.2 h-单元与 p-单元	304	附录 B 用户帮助	322
13.4.3 方法比较	306		

绪论 有限元简介

0.1 SolidWorks Simulation 概述

SolidWorks Simulation 是一款基于有限元（即 FEA 数值）技术的设计分析软件，是 SRAC 开发的工程分析软件产品之一。SRAC 是 DS SolidWorks®公司的子公司，成立于 1982 年，是将有限元分析带入微型电脑的先驱。1995 年，SRAC 开始与 DS 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，成为了 DS SolidWorks®公司的金牌产品之一。同时，它作为嵌入式分析与 SolidWorks 无缝集成，迅速成为顶级销售产品。整合了 SolidWorks CAD 软件的 COSMOSWorks 软件在商业上取得了成功，并于 2001 年获得了 Dassault Systemes（DS SolidWorks®母公司）的认可。2003 年，SRAC 公司与 DS SolidWorks®公司合并。从 2009 版开始，COSMOSWorks 被重命名为 SolidWorks Simulation。

SolidWorks 是一款基于特征的参数化 CAD 系统软件。和许多最初在 UNIX 环境中开发，后来才向 Windows 系统开放的 CAD 系统不同，SolidWorks 与 SolidWorks Simulation 从一开始就是专为 Windows 操作系统开发的，所以相互整合是完全可行的。

SolidWorks Simulation 有不同的程序包或应用软件以适应不同用户的需要。除了 SolidWorks SimulationXpress 程序包是 SolidWorks 的集成部分之外，所有的 SolidWorks Simulation 软件程序包都是插件式的。不同程序包的主要功能如下：

- SolidWorks SimulationXpress：能对带有简单载荷和支撑的零件进行静态分析。
- SolidWorks Simulation：能对零件和装配体进行静力分析。
- SolidWorks Simulation Professional：能进行零件和装配体的静态、热传导、扭曲、频率、跌落测试、优化和疲劳分析。
- SolidWorks Simulation Premium：具有 SolidWorks Simulation Professional 的所有功能，外加非线性功能和动力学分析。

在本书中，通过一系列综合了有限元分析基础的课程来介绍 SolidWorks Simulation Professional。读者在学习这些内容之前必须具备一定的有限单元法基础，并了解 SolidWorks Simulation 课程的内容。建议读者按照课程的顺序学习，并同时要注意前面课程提到的解释和步骤在后面章节不会再重复。学习每一个后续的章节必须熟悉前面章节讨论过的软件功能和有限元知识。后面章节的内容都要使用到前面章节的技巧和经验。

在开始本课程之前，让我们再深入了解一下有限元分析以及它的工作原理，这样便可以建立起关于 SolidWorks Simulation 的基本技能。

0.2 有限元分析概述

在数学术语中，FEA 也称之为有限单元法，是一种求解关于场问题的一系列偏微分方程的数值方法。这种类型的问题涉及许多工程学科，如机械设计、声学、电磁学、岩土力学、流体动力学等。在机械工程中，有限元分析被广泛地应用在结构、振动和传热问题上。

FEA 不是唯一的数值分析工具，在工程领域还有其他的数值方法，如有限差分法、边界元法和有

限体积法。然而由于 FEA 的多功能性和高数值性能，它占据了绝大多数工程分析的软件市场，而其他方法则被归入小规模应用。使用 FEA，通过不同方法理想化几何体，能够分析任何形状的模式，并得到预期的精度。当使用现代的商业软件，例如 SolidWorks Simulation 时，FEA 理论、数值问题公式和求解方法对用户是完全透明的。

作为一个强有力的工程分析工具，FEA 可以解决从简单到复杂的各种问题。一方面，设计工程师使用 FEA 在产品研发过程中分析设计改进，由于时间和可用的产品数据的限制，需要对所分析的模型作许多简化。另一方面，专家们使用 FEA 来解决一些非常深奥的问题，如车辆碰撞动力学、金属成形和生物结构分析。

不管项目多复杂或是应用领域多广，无论是结构、热传导或是声学分析，所有 FEA 的第一步总是相同的，都是从几何模型开始。在本课程中，即为 SolidWorks 的零件和装配件。我们给这些模型分配材料属性，定义载荷和约束，再使用数值近似方法，将模型离散化以便分析。

离散化过程也就是网格划分过程，即将几何体剖分成相对小且形状简单的实体，这些实体称为有限单元。单元称为“有限”的，是为了强调这样一个事实：它们不是无限的小，而是与整个模型的尺寸相比之下适度的小。

当使用有限单元工作时，FEA 求解器将把单个单元的简单解合成对整个模型的近似解来得到期望的结果（如变形或应力）。

因此，应用 FEA 软件分析问题，有以下三个基本步骤：

1) 预处理：定义分析类型（静态、热传导、频率等），添加材料属性，施加载荷和约束，网格划分。

2) 求解：计算所需结果。

3) 后处理：分析结果。

在应用 SolidWorks Simulation 时，也遵循以上三个步骤。

通过对 FEA 方法的了解，列出下列步骤：

1) 建立数学模型。

2) 建立有限元模型。

3) 求解有限元模型。

4) 结果分析。

0.3 建立数学模型

SolidWorks Simulation 对来自 SolidWorks 的零件和装配件的几何模型进行分析。该几何模型必须能用正确的、适度小的有限单元进行网格划分。对于小的概念，并不是指它的单元尺寸，而是通过网格中单元的数量来表示。这种对网格的要求有着极其重要的含义。必须确保 CAD 几何模型的网格划分，并且确保产生的网格能得到我们感兴趣的数据，如位移、应力、温度分布等。

通常情况下，需要修改 CAD 几何模型以满足网格划分的要求。这种修改可以采取特征消隐、理想化或清除的方法，详述如下：

1. **特征消隐** 特征消隐指合并或消除在分析中认为不重要的几何特征，如外圆角、圆边、标志等。

2. **理想化** 理想化是更具有积极意义的工作，它可能会偏离 CAD 几何模型原型，如将一个薄壁模型用一平面来代替。

3. **清除** 清除有时是必须的，因为可划分网格的几何模型必须满足比实体建模更高的要求。可以使用 CAD 质量控制工具来检查问题所在。例如，在 CAD 模型中，细长面或多重实体会造成网格划分的困难甚至无法划分网格。

我们并不只是为了达到网格划分这个单一目的。通常情况下，对能够进行正确网格划分的模型采

取简化,是为了避免由于网格过多而导致分析过程太慢。修改几何模型是为了简化网格从而缩短计算时间。成功的网格划分不仅依赖于几何模型的质量,而且依赖于对 FEA 软件分网技术的娴熟使用。

准备好能够划分网格、但尚未划分网格的模型后,就来确定材料属性、载荷、支撑和约束,并确定分析类型。

以上过程完成了数学模型的创建。注意创建数学模型不是 FEA 特有的。FEA 到目前为止还没真正开始。建立数学模型的流程如图 0-1 所示。

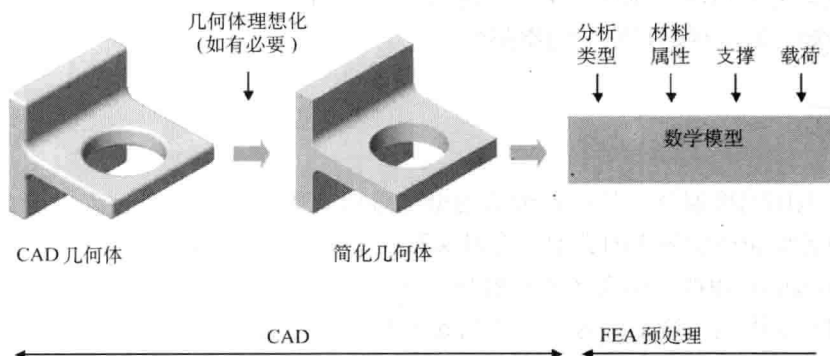


图 0-1 建立数学模型的流程

0.4 建立有限元模型

通过离散化过程,将数学模型剖分成有限单元,这一过程称为网格划分。离散化在视觉上即是几何模型划分成网格。然而,载荷和支撑在网格完成后也需要离散化,离散化的载荷和支撑将施加到有限单元网格的节点上。建立有限元模型的流程如图 0-2 所示。

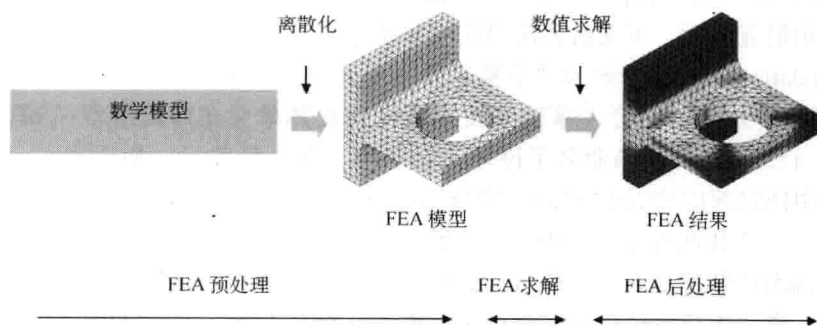


图 0-2 建立有限元模型的流程

0.5 求解有限元模型

创建了有限元模型后,我们使用 SolidWorks® Simulation 的求解器来计算出一些感兴趣的数据。

0.6 结果分析

总的说来,结果分析是最困难的一步。有限元分析提供了非常详细的数据,这些数据可以用各种格式表达。对结果的正确解释需要我们熟悉理解各种假设、简化约定以及前面三步(建立数学模型、建立有限元模型、求解有限元模型)产生的误差。