



提供书中实例的工程源文件
及部分实例的语音视频教学文件
配套资源下载地址:
<http://www.crphdm.com/2017/0512/13383.shtml>

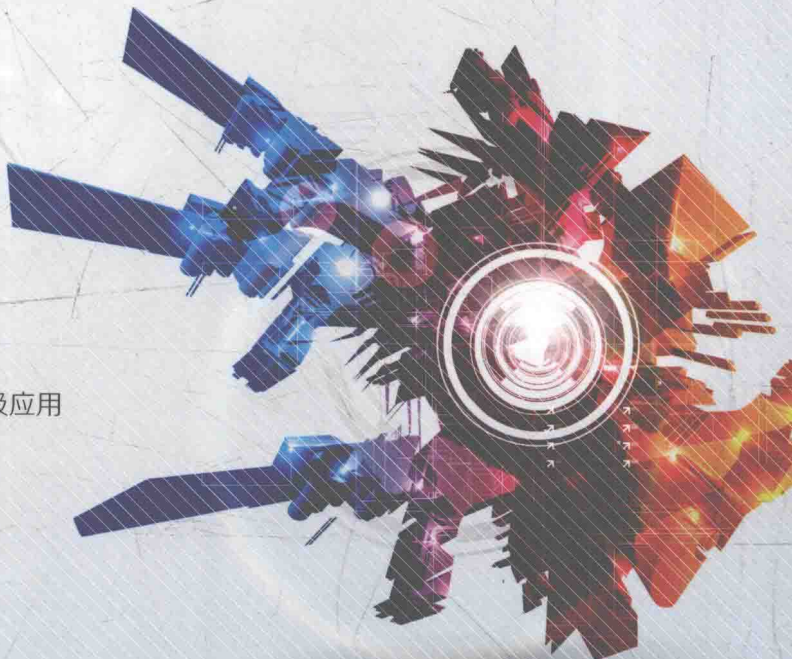
ANSYS Workbench 有限元分析 工程实例详解

刘笑天 蒋超奇 江丙云 刘成柱 于冰 付远◎编著

ANSYS大中华区总经理
孙志伟先生亲自作序并推荐

汇集业内6位专家的经验 and 心得

全面、深入解析
ANSYS Workbench的各类高级应用



ANSYS Workbench 有限元分析 工程实例详解

刘笑天 蒋超奇 江丙云 刘成柱 于冰 付远◎编著

内 容 简 介

本书从实用的角度,通过大量的实例详细介绍了 ANSYS Workbench 在各个常见领域的实际应用。具体内容包括有限元分析的必备知识、结构分析基础、SpaceClaim (SCDM) 的基本操作与应用、网格划分基础、结构静力学分析、材料非线性分析、接触分析、屈曲分析、子模型分析、子结构分析、结构动力学分析基础知识、模态分析、谐响应分析、响应谱分析、随机振动分析、结构瞬态动力学分析、多刚体多柔体动力学分析、结构优化分析、拓扑优化分析、热学分析、疲劳分析、电动机低频电磁场分析、流体力学分析,以及常用操作技巧。

本书配套资源中提供了书中实例的源文件,以及部分实例的语音视频教学文件。

本书适合相关领域工程技术人员阅读学习,也可供理工类院校土木工程、机械工程、力学、电子工程等相关专业的高年级本科生、研究生及教师参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

ANSYS Workbench 有限元分析工程实例详解/刘笑天等编著. —北京:
中国铁道出版社, 2017. 10

ISBN 978-7-113-23532-1

I. ①A… II. ①刘… 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 202082 号

书 名: ANSYS Workbench 有限元分析工程实例详解

作 者: 刘笑天 蒋超奇 江丙云 刘成柱 于 冰 付 远 编著

责任编辑: 于先军

读者热线电话: 010-63560056

责任印制: 赵星辰

封面设计: **MX** DESIGN
STUDIO

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)

印 刷: 三河市华业印务有限公司

版 次: 2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 28.75 字数: 783 千

书 号: ISBN 978-7-113-23532-1

定 价: 79.80 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010) 51873174

打击盗版举报电话:(010) 51873659



作为世界性的制造大国，中国正面临前所未有的挑战。如何在特殊时期更好的生存和发展，使得在产品创新上提出来非常高的要求。工程仿真是一项在发达国家制造业中广泛采用的技术。灵活运用该技术，可以帮助企业加速产品设计和提升产品品质，降低制造成本，并获得更高的利润。

美国 ANSYS 公司自上世纪 70 年代创立至今，经过不断成长与发展，现已成为业内知名的工程仿真系列产品解决方案供应商。美国 ANSYS 公司于 2003 年推出了 Workbench 新一代前后处理协同仿真环境。相对于传统的 ANSYS 经典平台，其协同统一的界面、简单方便的操作、丰富的功能，使得工程仿真分析时，可以更方便地从之前的零件级或者部件级仿真，向整机级和系统级方向发展；从单一物理场向多物理场耦合分析发展，让用户可以更方便和从更整体的工程设计视角审视产品性能，助力产品升级创新。

本书的 6 位作者均拥有多年的产品设计、研发管理和科研一线的工作经验。多次运用 ANSYS 系列仿真产品为验证和改进产品性能提供解决方案并付诸实践。本书讲解细致、图解全面、内容广泛，几乎涵盖了 ANSYS 系列产品的大多数常用功能，并融入了作者对于软件使用的理解和技巧，适合 ANSYS Workbench 的初级和中级用户使用。

熟练掌握 ANSYS 系列产品这一有力工具，可以更快更好地探究产品性能，并有针对性的对产品进行改进。而本书将帮助用户开启工程仿真新世界的大门，助力用户设计出更好更强的产品。

ANSYS 大中华区总经理



配套资源下载地址:

<http://www.crphdm.com/2017/0512/13383.shtml>



FOREWORD

前 言

ANSYS 公司成立于 1970 年,是由美国匹兹堡大学的 John Swanson 博士创建的,其总部位于美国宾夕法尼亚州的匹兹堡。

ANSYS 软件自发布以来被广泛应用于航空航天、机械制造、能源、汽车交通、国防军工、电子、土木工程、造船、生物医学、轻工、地矿、水利、日用家电等领域,可以用于流体、电场、磁场等方向的有限元分析。

Workbench 平台是 ANSYS 为客户交付综合集成仿真系统的枢纽。将 ANSYS Workbench 平台用于产品开发仿真,可以借助通用及兼容数据模型,通过集成应用以提高生产力。Workbench 平台有助于用户访问多物理场,以更深入了解在过去无法了解的系统级信息。Workbench 平台能够解决使用大量独立应用时遇到的软硬件及数据兼容性问题,因此使得用户能够提高可靠性,降低支持成本和总体拥有成本。

本书内容

本书主要针对 ANSYS Workbench 16.2 和 ANSYS Workbench 17 软件进行介绍,内容包括有限元分析的必备知识、结构力学分析、热分析、优化设计分析、疲劳断裂、电动机的流体散热分析、电动机的电磁分析,以及软件使用技巧。这是一部集广度与深度于一身的,饱含各位作者多年实践经验的使用手册。

全书共分为 24 章。第 1 章介绍了有限元方法的基本原理和概念。第 2 章介绍了结构分析的理论基础、弹性力学的基本假设、金属材料的力学性能、非线性分析的基本算法、检查结果正确性的方法,以及强度理论等内容。第 3 章介绍了 SpaceClaim (简称 SCDM) 的基本操作与使用方法。第 4 章介绍了网格划分的基本方法与网格质量的评定及改善网格质量的措施等内容。第 5 章介绍了静力学分析的基本理论知识及静力学分析模块的使用方法。第 6 章介绍了非线性材料物理属性的设置方法并通过案例讲解其具体应用。第 7 章介绍了 ANSYS Workbench 平台下非线性接触分析采用算法的基本知识及解决非线性分析失败的方法。第 8 章介绍了屈曲问题的基本原理及线性屈曲分析和非线性屈曲分析的具体应用。第 9 章介绍了子模型分析的基本原理与优缺点及其具体应用。第 10 章介绍了子结构分析的基本原理与优缺点及其具体应用。第 11 章对动力学分析时所需的基本知识和原理进行了详细介绍。第 12 章介绍模态分析的基本原理及其具体应用。第 13 章介绍了谐相应分析的基本知识及其具体应用。第 14 章介绍了响应谱分析和抗震计算的基

本原理及其具体应用。第 15 章介绍了随机振动的基本知识及其具体应用。第 16 章介绍了瞬态动力学分析的基本方法及其具体应用。第 17 章介绍了多刚体动力学分析的基本知识及其具体应用。第 18 章介绍了结构优化分析的基本知识及其具体应用。第 19 章介绍了基于 ANSYS 用户定制工具箱 (ACT) 的拓扑优化模块及采用 ANSYS 求解器搭配 Tosco 优化软件进行优化设计分析的案例。第 20 章介绍了热学分析的三个基本原理及 ANSYS Workbench 平台的稳态热分析和瞬态热分析的操作方法。第 21 章介绍了 ANSYS Workbench 平台中的疲劳分析的基本方法及其具体应用。第 22 章介绍了 Maxwell 模块的基础知识和基本操作, 并通过三相鼠笼式感应电动机电磁分析的案例讲解其实战应用。第 23 章介绍了流体动力学分析的基本知识及流体分析时一般问题的处理思路和方法, 并通过两个案例讲解其具体应用。第 24 章介绍了作者多年在实战中总结的一些软件的使用技巧。

本书特色

本书是由西莫电机论坛组织业内专家精心编写而成, 参与本书编写的作者均为在科研实践一线或在企业设计研发工作中, 有着多年实战经验的设计人员, 他们中大多还是西莫电机论坛相关板块的版主。本书具有如下特点。

内容全面, 讲解细致: 书中对 ANSYS Workbench 几乎所有常见领域的应用都进行了介绍, 并通过详细的操作步骤和图示讲解实例的设计过程, 方便读者快速上手并熟练掌握。

技术实用, 含金量高: 书中凝结了多位业内大咖在实战中总结的经验心得, 内容实用, 技术含量高, 可有效地帮助读者提高软件使用技巧和工作效率并解决实际问题。

配套资源

本书配套资源提供了书中实例的工程源文件, 以及部分实例的语音视频教学文件。

资源下载地址: <http://www.crphdm.com/2017/0512/13383.shtml>。

读者对象

本书适合相关领域工程技术人员阅读学习, 也可供理工类院校土木工程、机械工程、力学、电子工程等相关专业的高年级本科生、研究生及教师参考使用。

本书主要由刘笑天、蒋超奇、江丙云、刘成柱、于冰、付远编写, 其中刘笑天负责编写第 1~18 章、第 24 章, 并负责完成全书的统稿工作。蒋超奇负责编写第 23 章, 江丙云负责编写第 3 章, 刘成柱负责编写第 20 章和第 21 章, 于冰负责编写第 22 章, 付远负责编写第 19 章。

感谢西莫电机论坛的大力支持, 感谢 ANSYS China 公司的大力支持与认可, 感谢各位朋友的支持、认可、帮助, 才使得本书以最快时间问世出版。由于创作过程仓促, 作者水平受限, 对于书中出现的纰漏和错误, 恳请广大读者批评指正。读者在学习本书时如遇到问题或困难可在西莫电机论坛上与身为相应版块版主的本书相应作者联系, 获得技术支持或帮助。也可加 50427199QQ 群咨询。还可通过本书主编的电子邮箱咨询, 邮箱地址: 371968291@qq.com。

编者

2017 年 8 月



配套资源下载地址:

<http://www.crphdm.com/2017/0512/13383.shtml>



CONTENTS

目 录

| | |
|--|----|
| 第 1 章 有限元分析介绍 | 1 |
| 1.1 ANSYS Workbench Environment 简介 | 1 |
| 1.1.1 新一代协同仿真环境 | 1 |
| 1.1.2 AWE 的产品界面 | 7 |
| 1.2 如何学习有限元 | 14 |
| 1.2.1 本书面向的对象 | 14 |
| 1.2.2 怎么学 | 16 |
| 1.2.3 提问的艺术 | 22 |
| 1.2.4 开始分析前的战略规划 | 28 |
| 1.3 有限单元法概述 | 33 |
| 第 2 章 结构分析基础 | 37 |
| 2.1 结构分析理论基础 | 37 |
| 2.2 弹性力学的基本假设 | 38 |
| 2.3 金属材料的力学性能 | 41 |
| 2.4 非线性分析 | 45 |
| 2.5 如何判别和检查结果的正确性 | 50 |
| 2.6 强度理论 | 51 |
| 第 3 章 SpaceClaim (SCDM) 工程实例详解 | 54 |
| 3.1 SpaceClaim (SCDM) 概述 | 54 |
| 3.2 SpaceClaim (SCDM) 界面 | 55 |
| 3.3 SpaceClaim (SCDM) 工具 | 56 |
| 3.3.1 选择 | 57 |
| 3.3.2 拉动 | 58 |
| 3.3.3 移动 | 62 |
| 3.3.4 填充 | 63 |
| 3.3.5 组合 | 64 |
| 3.3.6 剖面模式 | 66 |



| | | |
|--------------|-------------------------------|-----------|
| 3.4 | SpaceClaim (SCDM) 创建模型实例详解 | 67 |
| 3.4.1 | 新建设计文档 | 67 |
| 3.4.2 | 设置设计首选项 | 67 |
| 3.4.3 | 绘制矩形草图 | 68 |
| 3.4.4 | 拉伸矩形草图 | 68 |
| 3.4.5 | 拉伸边 | 69 |
| 3.4.6 | 拉伸曲面 | 69 |
| 3.4.7 | 支架内侧倒圆角 | 69 |
| 3.4.8 | 支架外侧倒圆角 | 70 |
| 3.4.9 | “拉动”去除材料 | 71 |
| 3.4.10 | “旋转”去除材料 | 72 |
| 3.4.11 | 支架倾斜端倒圆角 | 73 |
| 3.4.12 | “拉动”创建孔 | 73 |
| 3.4.13 | 创建精确定位的孔 | 74 |
| 3.4.14 | 创建孔阵列 | 74 |
| 3.4.15 | 顶边倒直角 | 75 |
| 3.4.16 | 保存 | 75 |
| 3.5 | SpaceClaim (SCDM) 简化模型实例详解 | 75 |
| 3.5.1 | 删除圆角 | 75 |
| 3.5.2 | 修补几何 | 76 |
| 3.6 | SpaceClaim (SCDM) 共享拓扑实例详解 | 78 |
| 3.7 | SpaceClaim (SCDM) 材料数据传递实例详解 | 83 |
| 3.7.1 | 打开几何 | 83 |
| 3.7.2 | 选择材料 | 83 |
| 3.7.3 | 启动 Workbench | 84 |
| 3.7.4 | 设置 Options (选项) | 84 |
| 3.7.5 | 设置 Properties (属性) | 85 |
| 3.7.6 | 检查 Workbench 材料 | 85 |
| 3.8 | SpaceClaim (SCDM) 抽取中面和梁实例详解 | 85 |
| 3.8.1 | 抽取中面实例详解 | 86 |
| 3.8.2 | 抽取梁单元实例详解 | 88 |
| 3.9 | SpaceClaim (SCDM) 几何尺寸参数化实例详解 | 91 |
| 3.9.1 | SpaceClaim 几何尺寸参数化 | 91 |
| 3.9.2 | Workbench 几何尺寸参数化 | 93 |
| 3.9.3 | SpaceClaim 注释尺寸参数化 | 95 |
| 第 4 章 | 网格划分基础 | 97 |
| 4.1 | 网格划分介绍 | 97 |
| 4.2 | 六面体网格 | 101 |
| 4.3 | 整体划分网格 | 103 |
| 4.4 | 扫掠及映射网格 | 107 |
| 4.5 | 边和线的网格划分 | 112 |

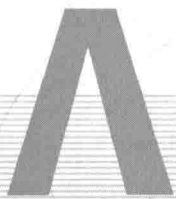
| | | |
|-------------|--------------------------|------------|
| 4.6 | 常用的单元质量检测方法 | 114 |
| 第5章 | 结构静力学分析 | 124 |
| 5.1 | 结构线性静力学分析基础 | 124 |
| 5.2 | 用实体单元计算薄板在重力作用下的变形 | 125 |
| 5.3 | 用壳单元计算薄板在重力作用下的变形 | 137 |
| 第6章 | 材料非线性分析案例 | 140 |
| 第7章 | 接触分析 | 145 |
| 7.1 | 接触算法 | 145 |
| 7.2 | 迭代计算的收敛控制 | 148 |
| 7.3 | 板材弯曲成型分析案例 | 150 |
| 7.4 | 斜齿轮啮合分析案例 | 159 |
| 第8章 | 屈曲分析 | 165 |
| 8.1 | 屈曲问题概述 | 165 |
| 8.1.1 | 物理现象和力学描述 | 165 |
| 8.1.2 | 失稳的分类 | 166 |
| 8.2 | 钣金件线性屈曲分析案例 | 167 |
| 8.3 | 基于微小扰动的钣金件线性屈曲分析案例 | 169 |
| 第9章 | 子模型分析 | 173 |
| 9.1 | 子模型分析概述 | 173 |
| 9.2 | L形钢管子模型分析案例 | 174 |
| 第10章 | 子结构分析 | 182 |
| 10.1 | 子结构分析概述 | 182 |
| 10.2 | 环连接面带径对焊法兰子结构分析案例 | 182 |
| 第11章 | 结构动力学分析基础知识 | 191 |
| 11.1 | 动力学问题的产生 | 191 |
| 11.2 | 模态分析基础 | 192 |
| 11.3 | 谐响应分析基础 | 193 |
| 11.4 | 响应谱分析基础 | 193 |
| 11.5 | 随机振动分析基础 | 194 |
| 11.6 | 瞬态动力学分析基础 | 195 |
| 第12章 | 模态分析 | 197 |
| 12.1 | 转子模态分析案例 | 197 |
| 12.2 | 叶轮系统转子动力学分析案例 | 202 |
| 第13章 | 谐响应分析 | 211 |
| 13.1 | 谐响应分析概述 | 211 |
| 13.2 | L形钢管谐响应分析案例 | 212 |



| | | |
|--------|------------------------------------|-----|
| 第 14 章 | 响应谱分析 | 218 |
| 14.1 | 响应谱分析概述 | 218 |
| 14.2 | 钢结构框架抗震分析案例 | 218 |
| 第 15 章 | 随机振动分析案例 | 225 |
| 第 16 章 | 瞬态动力学分析案例 | 230 |
| 第 17 章 | 多刚体/多柔体动力学分析 | 241 |
| 17.1 | 凸轮机构多刚体动力学分析案例 | 241 |
| 17.2 | 凸轮机构刚-柔耦合动力学分析案例 | 249 |
| 第 18 章 | 结构优化分析 | 255 |
| 18.1 | 三角板拓扑优化分析案例 | 255 |
| 18.2 | 三角板直接优化分析案例 | 262 |
| 第 19 章 | 珠优化分析 | 270 |
| 19.1 | 珠优化简介 | 270 |
| 19.2 | 手机壳的珠优化分析案例 | 272 |
| 第 20 章 | 热学分析 | 287 |
| 20.1 | 热力学分析简介 | 287 |
| 20.2 | 热传递分析案例 | 288 |
| 20.3 | 连接件稳态散热分析案例 | 295 |
| 20.4 | 稳态热辐射分析案例 | 301 |
| 第 21 章 | 疲劳分析 | 306 |
| 21.1 | 疲劳分析简介 | 306 |
| 21.2 | 疲劳分析方法 | 308 |
| 21.3 | Mechanical 模块支架结构疲劳分析案例 | 309 |
| 21.4 | nCode 模块连接杆疲劳分析案例 | 318 |
| 第 22 章 | 电动机低频电磁场分析 | 328 |
| 22.1 | 电磁场基本理论 | 328 |
| 22.1.1 | 麦克斯韦方程组 | 328 |
| 22.1.2 | 微分方程 | 329 |
| 22.1.3 | 边界条件 | 329 |
| 22.2 | Maxwell 总体介绍 | 330 |
| 22.2.1 | 整体界面 | 330 |
| 22.2.2 | 求解器 | 331 |
| 22.2.3 | Rmxprt 模块设置 | 332 |
| 22.3 | 基于 Maxwell 软件的三相鼠笼式感应电动机仿真案例 | 334 |
| 22.3.1 | Rmxprt 设置 | 334 |
| 22.3.2 | Maxwell 模块设置 | 341 |



| | |
|----------------------------|-----|
| 第 23 章 流体力学分析..... | 357 |
| 23.1 流体力学基本概念..... | 357 |
| 23.1.1 流体分析控制方程..... | 357 |
| 23.1.2 计算流体动力学相关概念..... | 359 |
| 23.2 电机定子自然对流散热案例..... | 364 |
| 23.3 电机定子强制对流散热分析案例..... | 388 |
| 第 24 章 常用操作技巧..... | 401 |
| 24.1 设置多核心并行计算..... | 401 |
| 24.1.1 CPU 与并行计算概述..... | 401 |
| 24.1.2 软件部分的并行计算设置..... | 410 |
| 24.2 提取高分辨率截图..... | 415 |
| 24.3 巧用宏命令..... | 420 |
| 24.4 使用静力学分析模块检查模型正确性..... | 421 |
| 24.5 使用模态分析模块检查模型正确性..... | 429 |
| 24.6 创建标准分析模板..... | 431 |
| 24.7 提取模型局部的结果..... | 432 |



第 1 章

有限元分析介绍

本章主要介绍有限元结构分析的一般流程和基础知识，以及遇到疑问时的通用性解决方案，以帮助读者从整体和宏观的层面上，了解有限元结构分析的一般流程。而一定的基础理论知识的积累，是帮助读者理解实际物理过程和软件运作模式的前提，也是指引读者“正确的做事”和“做正确的事”的引路明灯。

1.1 ANSYS Workbench Environment 简介

本书主要针对 ANSYS 新一代协同仿真环境 Workbench 的使用方法进行介绍。本节主要介绍其基本概况和使用特点。

1.1.1 新一代协同仿真环境

美国 ANSYS 公司于 1970 年创立，是 ANSYS 系列产品的开发者，总部位于 Canonsburg, PA-USA（匹兹堡南部）。美国 ANSYS 公司致力于 CAE（Computer Aided Engineering，计算机辅助工程技术）的研究和发展，专注于工程仿真解决方案，提供世界顶级的工程模拟技术，帮助企业优化设计流程，使企业在更短的时间内开发出高质量的产品。ANSYS 公司连续多年以销售额 20% 以上的经费投入研发，先进的技术及高质量的产品多次赢得业界各种荣誉，被世界工业领域广泛接受，是 ASME（美国机械工程师协会）、NQA（美国核安全局）等二十多个专业技术协会所认可的标准分析软件。

现代 CAE 技术的繁荣昌盛，为用户带来宽广的选择余地的同时，也带来了协同仿真产品的需求。各种 CAE 程序单打独斗的时代即将过去，这些程序之间的合作将是今后 CAE 发展的主要方向。现在 CAE 世界期待一个可以整合所有 CAE 技术资源和数据的协同仿真环境。

ANSYS Workbench Environment（后简称 AWE）是 ANSYS 公司经过 5 年的潜心研发，于 2003 年在 ANSYS 7.0 版发布的同时，发布的新一代协同仿真环境。该环境从 ANSYS 的 7.0 版到 11.0 版之间，可以认为是第一代的协同仿真环境，即 AWE 的 1.0 版；自 12.0 版至新的 18.0 版，可以认为是第二代，即 AWE 的 2.0 版。

AWE 作为世界唯一一款协同仿真环境，是 ANSYS 的新一代协同前后处理程序，旨在搭建基于网络的仿真工作统一环境，将百家争鸣的仿真技术和纷繁复杂的仿真数据完美整合，与仿真相关的人、部门、技术及数据在统一环境中协同工作。现在的 AWE 已经可以实现经典版 ANSYS 绝大多数已有功能，并大幅度扩展了协同仿真能力。其部分特殊功能是通过 ACT、ACP、AIM 等模块进行补充。

需要特别说明的是，AWE 平台下很多功能的使用与实施，需凭借极其严密的先后逻辑顺序，



这种风格在本书后面的各案例中将被无数次的印证。

在 ANSYS 协同仿真环境中工作，人们始终面对同一个操作环境，而不是在不同界面风格的设计与分析程序之间切换。该协同环境具有以下特征。

1. CAE 技术与数据的协同

其基本要求是具备兼容性，即协同仿真环境中生成的网格，可以直接生成其他仿真核心程序需要的文件格式；协同仿真环境，可以直接接受其他仿真软件生成的网格。更深层次的需求是建立 CAE 网格的技术足够强大，能快速将设计数据转变成 CAE 网格，而且网格形态优秀，满足各类 CAE 软件对网格形态的要求。具有快速解读复杂 CAE 模型的能力。一个复杂的仿真模型可能蕴含大量信息，当打开别人创立的复杂模型时会一片茫然。如果没有合适的工具，全凭自己对模型的理解来了解这些信息可能又会花费大量的时间。而如果不能快速地理解这些信息，协同将无从谈起。

伴随着 ANSYS 公司不断的发展壮大，并通过不断的收购、合作、自有产品的深度研发与扩展，使得 ANSYS 软件的功能、分析问题的深度和广度、尤其是在 AWE 平台的推出后，其用户界面和前后处理能力、计算精度和计算效率等，都得到了大幅度的改进与提升。这使得 ANSYS 在功能、性能、易用性、可靠性及运行环境的适应性方面，都能很好地满足用户的需求，从而帮助用户能真正解决工程实际问题，并为科学技术的发展和工程应用做出不可磨灭的贡献。

2. CAD 与 CAE 之间的协同

CAE 软件可以直接使用由 CAD 软件生成的模型，已成为业界共识。为满足现代并行设计、快速设计的要求，ANSYS 引入“双向参数互动”技术。其可以在 CAD 模型传入 CAE 软件后，在 CAE 软件中继承 CAD 模型的原有参数。并在 CAD 软件中修改了模型参数后，CAE 软件只需刷新数据，即可得到来自 CAD 模型的新参数，从而更新模型。

下面以常用的三维机械工业设计软件 SolidWorks 为例进行演示该技术。在 SolidWorks 中建立一个多边形的草图（该软件默认生成 6 边形）→在“特征”中单击“拉伸凸台”，如图 1-1 所示。在“方向 1”中输入拉伸距离为 20 mm→单击“确认”。与 ANSYS 中的 DM 模块不同，SolidWorks 会实时地显示拉伸后的轮廓，如图 1-2 所示。

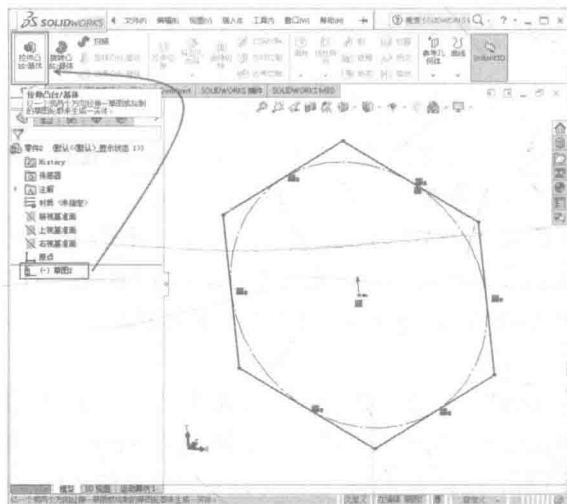


图 1-1 拉伸模型

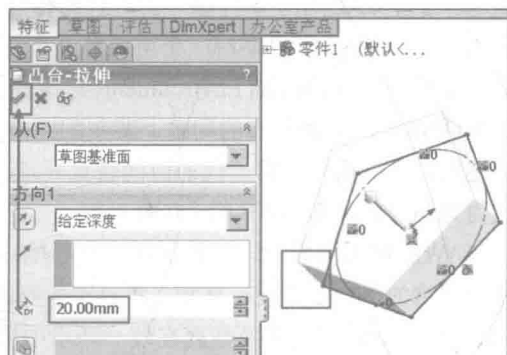


图 1-2 拉伸距离

将模型保存为“零件 1”，如图 1-3 所示。回到菜单栏单击 AWE 模型接口“ANSYS 16.2”→向下单击“ANSYS Workbench”，如图 1-4 所示。



图 1-3 保存模型

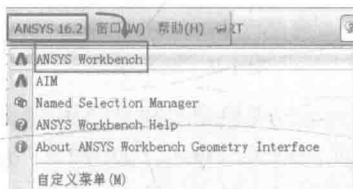


图 1-4 启动 AWE

稍等几分钟软件打开后，在“Toolbox”中单击一个分析模块，如“Static Structural”，将其拖动到“Project Schematic”中“A2 Geometry”中，如图 1-5 所示。双击“B4 Model”进入模块查看模型，如图 1-6 所示。

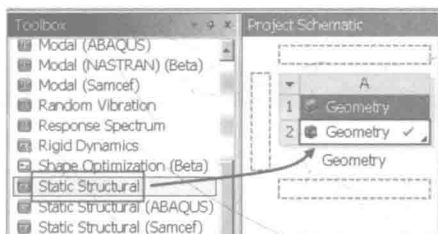


图 1-5 打开一个模块

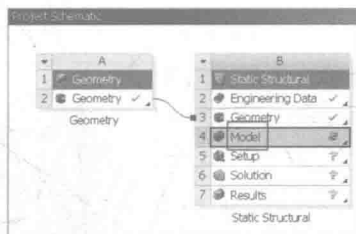


图 1-6 打开模型

单击“Outline”下方“Geometry”中的“零件 1”→向下在“Details of 零件 1”中“CAD Parameters”中可以看出刚才设置的 20mm 的拉伸值，如图 1-7 所示。

如果将导入后的模型尺寸修改一下，会怎么样呢？回到 SolidWorks 软件中，将拉伸深度修改为 60mm，并保存模型文件，如图 1-8 所示。

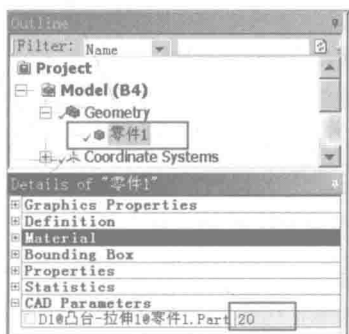


图 1-7 模型尺寸

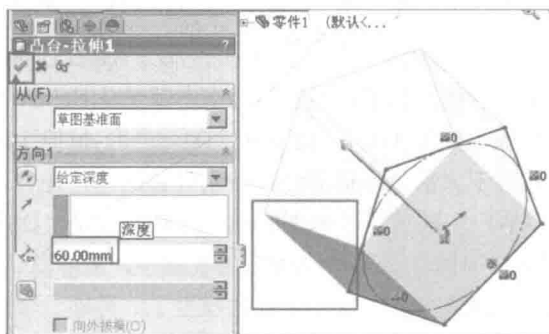


图 1-8 更改尺寸

回到 AWE，右键单击“A2 Geometry”→单击下拉菜单中的“Update Form CAD”，如图 1-9 所示。这是将刚才修改后的 SolidWorks 模型重新传递给 AWE。

双击“B4 Model”重新打开模型。这时程序会弹出一个询问对话框，单击“是”，如图 1-10 所示。

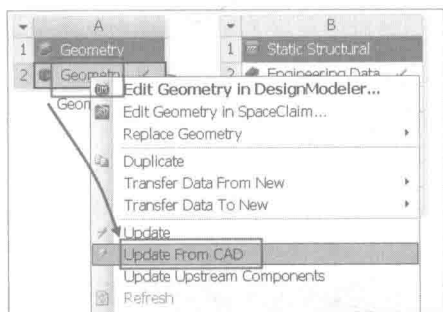


图 1-9 刷新模型

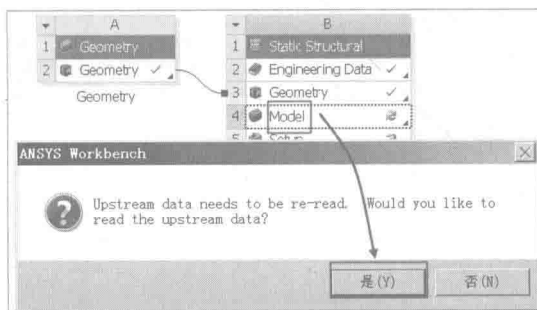


图 1-10 确认刷新

打开后发现模型尺寸已经从之前的 20mm 变成了 60mm。这就完成了从三维建模软件到 AWE 模型之间的刷新与传递，如图 1-11 所示。

那么问题来了，如果反过来呢，从 AWE 中修改的模型尺寸是否能同步传递到 SolidWorks 中来吗？答案是肯定的。

关闭静力学分析模块，在如图 1-10 中的界面双击左上角的“A2 Geometry”，进入 AWE 自带的建模工具 DM 模块。稍等几分钟后，单击菜单栏“Generate”生成来自外部的模型→单击“Tree Outline”下方的“Attach1”→向下在“Details View”中将“Parameter”中将尺寸从刚刚的 60 修改为 10→向上单击“Generate”刷新刚刚的设置，并保存文件，如图 1-12 所示。

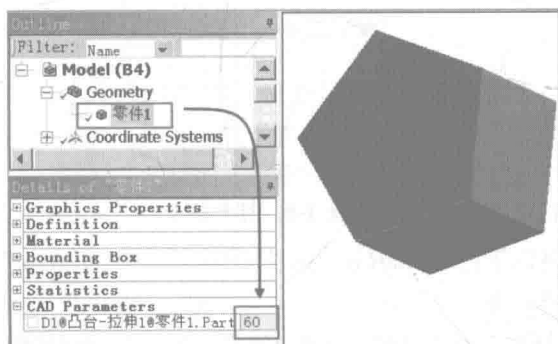


图 1-11 模型尺寸

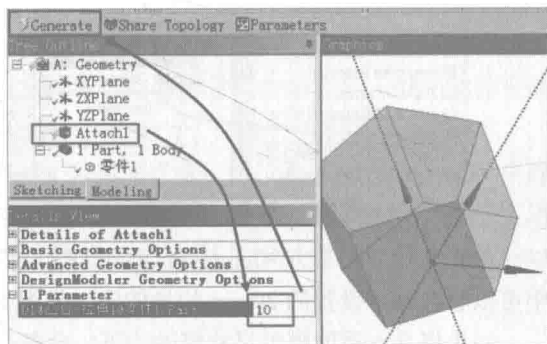


图 1-12 更改尺寸

回到 SolidWorks 中，单击“重建模型”按钮后，可以看出其厚度已经变成了 10mm，如图 1-13 所示。这就完成了外部建模软件与 AWE 之间的双向模型传递的效果。

可能读者注意到了，刚刚的操作中都是从 SolidWorks 传递给 AWE 后，可以直接查看到尺寸的特征参数，如图 1-11 中最下方“D1@凸台-拉伸 1@零件 1.Part”后方的尺寸参数 60，并且可修改。这对于大部分不提前经过特别设置的用户而言，是无法直接实现的。

在 AWE 中默认可以识别的模型尺寸前方是“DS”开头的模型特征值，这与图 1-11 中最前方的“D1”不同。如果在 AWE 的设置中，删除默认的该“DS”特征过滤值，就可以一次性完全识别来自这些第三方软件建立的模型了。另外一个前提条件是，计算机安装了该三维软件，并建立模型接口。

必须注意的是，模型格式不能为 X-T、IGS、SPT 等这些不包含特征参数的中间格式，而需使用三维软件的默认格式。识别了模型的参数特征就可以为后续的优化设计提供条件。

具体设置如下，打开 AWE 后单击菜单栏“Tools”下方的“Options”，如图 1-14 所示。



图 1-13 重建模型

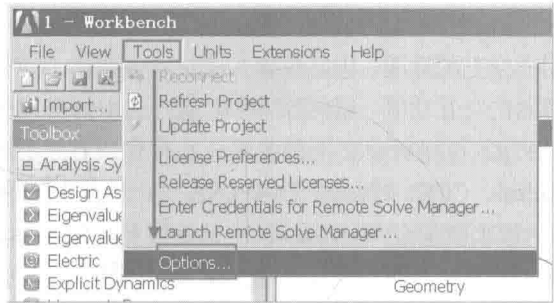


图 1-14 进入设置

单击左侧“Geometry Import”→向右在“Filtering Prefixes and Suffixes”下方将默认的“DS”字样删除→向下单击“OK”，如图 1-15 所示。

此处删除了 DS 字样的特征过滤的另一个好处是，使用第三方模型导入 AWE 进行优化分析时，也可以方便地将参数化的模型特征值进行选取与修改。优化迭代计算时，模型的特征尺寸数据也随着迭代的进行而与第三方建模软件双向互动。

删除 DS 字样后的优点介绍完毕，下面讲讲缺点及解决方案。该方法是一次性将所有可以被识别的参数都导入了 AWE，如果模型本身的特征较多，而实际需要选取的参数很少，可能要在大量的特征中慢慢寻找，稍有不便。

这时候可以在第三方软件建模时，将需要选取的特征参数中增添一些比较方便识别的字样。如图 1-11 中原特征为“D1@凸台-拉伸 1@零件 1.Part”，为了方便识别，可以将其修改为“D1@00000000000 凸台-拉伸 1@零件 1.Part”。这样无论从长度上还是从参数的内容上都可以立刻在特征群中明显区分出来。

由于优化时如果选取的目标函数等较多，会极大地增加计算量，从计算成本上看，进行优化分析的模型一般都特别的简单，建议用户提前将模型尽可能的简化后，再执行后续操作。

3. 自动接触探测

早在 ANSYS 2.0 版本时，ANSYS 即具有了接触分析能力。其接触分析功能在 1997 年的 5.4 版，有了一个本质的飞跃。至今 ANSYS 一直根据高级分析的需求而不断地采用最新的接触算法和技术。ANSYS 新一代协同仿真环境 AWE 中，更是实现了自动解除定义功能。以前对于几百个零件的复杂模型，如果用手工的方式一一定义接触，将是令人非常沮丧的工作，而现在 AWE 中可以自动由程序完成了，如图 1-16 所示。

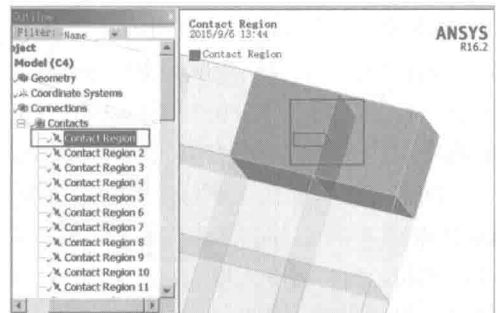


图 1-16 自动生成接触

ANSYS 软件自 2002 年发布 7.0 版以后，确立了经典平台和 AWE 两套交互环境同时运作的情



况。这与微软公司有一段时间是 DOS 系统与 Windows 系统并行共存的现象十分类似。AWE 是直接用户交互的界面，也是统领各模块的协调者，但不包含求解功能。该平台提供了与 ANSYS 系统求解器的交互功能。虽然 MAPDL 包含的求解器远远少于 AWE 能调用的，但是这么说有助于理解 MAPDL 与 AWE 之间的关系。在程序进行求解时，依然是使用了所对应模块的求解器，如 Mechanical、CFX、Fluent、Ls-DYNA 等，故从求解精度上看，其与经典版 ANSYS 是相同的。

MAPDL 类似于手工刺绣，十分的经典、细腻、灵活，但是对工人的技能要求极高，使用起来效率也很低，不光要有艺术功底，还需要长期积累针织刺绣的技术；相比之下 AWE 则类似于电脑织布机，新颖、统一、高效、简洁，可以大幅度地降低进行数值模拟的准入门槛，让用户将有限的精力投入到更好的改进产品中去，而不是被捆绑在软件操作之中，从而解放并发展了生产力。但是不了解其中底层知识与核心原理的用户，依然无法充分驾驭。

AWE 由多种应用模块组成。其常用的模块有下面几种。

1) Mechanical: 其利用 ANSYS 的求解器进行结构和热分析。并且网格划分功能也包括在了 Mechanical 应用中。

2) Mechanical APDL: APDL (ANSYS Parameter Design Language, ANSYS 参数化设计语言的缩写) 是一种通过参数化变量方式建立分析模型的脚本语言。其采用传统的 ANSYS 用户界面 (即一般意义上的经典版 ANSYS) 对高级机械和多物理场进行分析。

CFX: CFX 是 ANSYS 中的高端计算流体力学软件，为全球第一个通过 ISO 9000 质量认证的大型商业 CFD 软件，是英国 AEA Technology 公司为解决其中科技咨询服务中遇到的实际问题而开发的。CFX 于 2003 年加入 ANSYS 公司。现在的 CFX 是全球第一个在复杂几何、网格、求解三个领域均获得重大突破的商业 CFD 软件。

Fluent: Fluent 是 ANSYS 计算流体力学软件的全球领导者，其提供了无与伦比的分析功能，是模拟流动及其他相关真实物理现象的完整流体动力学解决方案。其包含能够精确模拟日常遇到的各种工程流动问题的求解器，是世界上许多最富有创新公司所选择的工具，其可靠性已经经过了众多学院研究人员、第三方机构、技术合作伙伴及广大用户的充分验证。

ICEPAK: 是采用 Fluent 求解器进行计算的专业的、面向工程师的电子产品热分析软件。

DesignModeler (DM): 创建几何模型和 CAD 模型的修改。

SpaceClaim Direct Modeler (即 SCDM): 基于直接建模思想的参数化几何建模与修改工具，是世界上第一个采用自然方式直接 3D 建模的设计系统，也是 ANSYS 旗下为数不多的带有官方简体中文语言的模块。

Meshing Application: 用于生成 CFD 和显示动态网格。

ANSYS LS-DYNA: 高度非线性动力学分析软件。该软件以 Lagrange 算法为主，兼有 ALE 和 Euler 算法；以显式求解为主，兼有隐式求解功能；以结构分析为主，兼有热分析、不可压缩流场分析及流固耦合分析功能；以非线性动力学分析为主，兼有静力分析功能；军用和民用结合的高度非线性瞬态分析有限元程序。在汽车碰撞领域其占有约 80% 的市场份额。

DEFORM: 金属成形与热处理专业仿真环境。其二十多年的工业实践证明基于有限元法的 DEFORM 有着卓越的准确性和稳定性。在模拟大流动、行程载荷和产品缺陷预测等方面同实际生产相符，保持着令人叹为观止的精度，被国际成形模拟领域公认为处于领先地位。其不同于一般的有限元程序，是专为金属成形而设计、为工艺设计师量身定做的软件。可进行成形分析、热处理模拟、微观组织分析、切削过程分析、自由锻造成形分析、环材轧制分析、型材轧制分析、深冲压分析、综合模拟等。