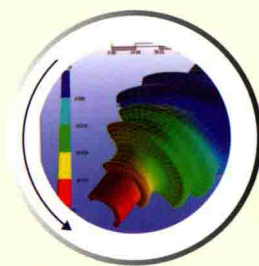


ANSYS Workbench

基础教程与工程 分析详解

纪晓磊 程鹏飞 姜化凯 黄福插 副主编
于文强 吴峰倩 主 编

- ◆ 线性静力学结构分析
- ◆ 热力学分析
- ◆ 动力学分析
- ◆ 显式动力学分析
- ◆ 屈曲分析
- ◆ 结构非线性分析
- ◆ 疲劳分析
- ◆ 电磁场分析
- ◆ 流体动力学分析
- ◆ Workbench多物理场耦合分析

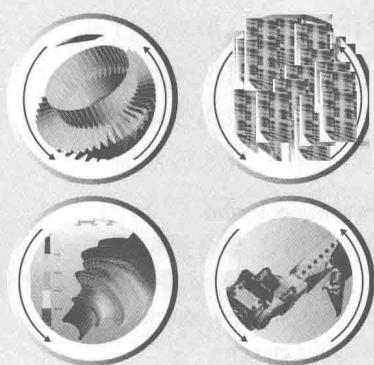


清华大学出版社

ANSYS Workbench

基础教程与工程 分析详解

于文强 吴峰倩 主 编
纪晓磊 程鹏飞 姜化凯 黄福樵 副主编



清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书以 ANSYS Workbench 14.5 软件为操作平台, 结合三维软件的建模配合对大量的案例进行分析, 详细介绍了该软件的工作流程与工程应用, 阐述了 14.5 版本增加的新功能, 大大提升了在复杂系统与多物理场中综合仿真的能力。全书共 11 章, 主要内容有 ANSYS Workbench 背景概述、线性静力学结构分析、动力学分析、显式动力学分析、屈曲分析、结构非线性分析、疲劳分析、电磁场分析、流体动力学分析及 Workbench 多物理耦合分析。随着 ANSYS 版本的不断升级, 在 Workbench 界面下进行多物理场耦合分析的功能和操作的易用性都在不断增强, 分析精度不断提升。

本书实例分析丰富, 操作步骤介绍详细, 主要以案例讲解为主, 同时也有基础理论的引导, 使读者能够在理解的基础上完成案例的操作分析, 也能掌握实际工程应用中问题的分析方法及思路。

本书可供建筑、交通车辆、机械、土木、电气工程、航空航天、工程力学等专业的本科生、研究生以及相关专业的教师使用, 同时也可作为从事相关工作的仿真分析人员提供参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目 (CIP) 数据

ANSYS Workbench 基础教程与工程分析详解/于文强, 吴峰倩主编. —北京: 清华大学出版社, 2017
ISBN 978-7-302-46754-0

I. ①A… II. ①于… ②吴… 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 048610 号

责任编辑: 袁金敏 薛阳

封面设计: 刘新新

责任校对: 徐俊伟

责任印制: 宋 林

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京密云胶印厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm

印 张: 26.25

字 数: 656 千字

附光盘 1 张

版 次: 2017 年 7 月第 1 版

印 次: 2017 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 1~3500

定 价: 69.00 元

FOREWORD

前言

随着现代科学技术的迅猛发展,仿真已成为各种复杂系统研制工作的一种必不可少的手段。仿真技术由原来仅对航空航天领域的应用拓展到核工业、土木工程、铁道、石油化工、航空航天、国防军工、机械制造、能源、汽车交通、电子、造船、生物医学、轻工、地矿、水利、日用家电等各个领域。在研制、鉴定和定型全过程中,都必须全面地应用先进的仿真技术,否则,任何新型、先进的飞行器或者运载工具等其他模型的研制都将是不可能的。

工程仿真是通过数字图像建立工程系统模型并利用所建数字图像模型对实际工程系统进行实验研究的过程,其过程是比较复杂的。ANSYS 有限元分析在解决复杂多变的问题中起到了关键性的作用。现在该软件已被应用到实际生产中的每个领域,是工程设计分析中不可缺少的关键部分,可以解决工业中线性静力学结构分析、结构动力学、结构疲劳分析、结构屈曲及稳定分析、电磁场分析、振动噪声分析、光-机械-热耦合分析、铸造仿真分析、结构压电材料及 MEMS 分析等问题。

ANSYS Workbench 是一种更加全新的界面操作系统,创建模型与划分网格更加快捷方便,大大提高了工程师的工作效率,可以自动生成连接并且可以修改连接类型和求解接触问题,Workbench 采用的结果默认算法为 PCG 算法,包括 CAE 建模工具 Design Modeler,分析工具 Design Simulation,优化工具 DesignXplorer,且能够方便地切换到经典环境,坐标系采用笛卡儿坐标系,比较直观,后处理功能也比较强大,界面简单容易上手。

本书由山东理工大学于文强、程鹏飞、吴峰倩、纪晓磊、姜化凯、黄福播等多位工作在一线和实验室的工程技术人员合作编写,案例丰富,章节层次清晰,理论知识介绍精而简,详细的操作步骤非常适合作为初学者的教学用书,也可为相关的工程技术人员提供参考,能够很好地协助读者掌握各个章节的核心内容,可以提高读者在工程应用中的分析能力。

感谢为本书做出贡献的所有学者和同仁,由于作者水平有限,编写周期较短,本书中难免会有不足与疏漏之处,望各位读者及有着丰富经验的工程师能够及时提出,加以更正,共同完善进步。

CONTENTS

目 录

第 1 章 ANSYS Workbench 14.5 概述	1
1.1 ANSYS 软件	1
1.1.1 背景	1
1.1.2 工作流程	2
1.1.3 工程应用	2
1.2 ANSYS Workbench 14.5 介绍	3
1.2.1 背景	3
1.2.2 工作环境与新功能的介绍	3
1.2.3 特点	5
1.2.4 Design Modeler 功能介绍及几何建模	5
1.2.5 网格划分	32
小结	49
第 2 章 线性静力学结构分析	50
2.1 线性静力学结构分析基础	50
2.2 线性静力学分析	51
2.3 线性静力学分析流程	51
2.4 案例图解	52
2.4.1 线性梁单元静力学分析	52
2.4.2 平板静力学分析	67
2.4.3 管道静力学分析	76
2.4.4 支撑座静力学分析	86
小结	98
第 3 章 热力学分析	99
3.1 热分析基础	99
3.2 基本传热方式	100
3.2.1 相变	101
3.2.2 热载荷	102
3.2.3 热边界条件	102
3.3 案例图解	102
3.3.1 SolidWorks 2014 与 ANSYS Workbench 协同仿真传热分析	102
3.3.2 稳态热分析	117
3.3.3 高温均质混合器模型热分析	125
小结	139

第4章 动力学分析	140	第7章 结构非线性分析	302
4.1 动力学分析基础.....	140	7.1 结构非线性分析基础.....	302
4.2 模态分析基础及案例图解.....	141	7.1.1 引起非线性的原因.....	302
4.2.1 计算机机箱模态分析.....	141	7.1.2 非线性分析.....	304
4.2.2 工程机架模态分析.....	151	7.2 案例图解.....	304
4.2.3 钢架模态分析.....	159	7.2.1 物体跌落接触大变形分析.....	304
4.3 谐响应分析基础及案例图解.....	174	7.2.2 冲头模具非线性分析.....	313
4.3.1 计算机机箱谐响应分析.....	175	小结.....	325
4.3.2 工程机架谐响应分析.....	182	第8章 疲劳分析	326
4.4 响应谱分析基础及案例图解.....	189	8.1 疲劳分析基础.....	326
4.4.1 计算机机箱响应谱分析.....	190	8.2 案例图解.....	328
4.4.2 工程机架响应谱分析.....	195	8.2.1 椅子的疲劳分析.....	328
4.5 随机振动分析基础及案例图解.....	200	8.2.2 发动机连杆的疲劳分析.....	337
4.5.1 塔架模型随机振动分析.....	201	小结.....	348
4.5.2 弹簧随机振动分析.....	213	第9章 电磁场分析	349
4.6 瞬态动力学分析基础及案例图解.....	223	9.1 电磁场分析基础.....	349
4.6.1 实体梁瞬态动力学分析.....	225	9.2 案例图解.....	351
4.6.2 弹簧瞬态动力学分析.....	239	9.2.1 微型执行器片电场分析.....	351
小结.....	251	9.2.2 C型磁体静磁场分析.....	358
第5章 显式动力学分析	252	小结.....	368
5.1 显式动力学分析基础.....	252	第10章 流体动力学分析	369
5.1.1 ANSYS LS-DYNA.....	253	10.1 流体动力学分析基础.....	369
5.1.2 ANSYS AUTODYN.....	253	10.2 案例图解.....	371
5.1.3 ANSYS Explicit.....	254	10.2.1 三通模型分析.....	371
5.2 案例图解.....	254	10.2.2 叶轮外流场分析.....	383
5.2.1 子弹穿钢板显式动力学分析.....	254	小结.....	395
5.2.2 容器落地显式动力学分析.....	266	第11章 Workbench 多物理场	
小结.....	277	耦合分析.....	396
第6章 屈曲分析	278	11.1 多物理场耦合分析基础.....	396
6.1 线性屈曲分析基础.....	278	11.1.1 场的基本概念.....	396
6.2 案例图解.....	279	11.1.2 耦合场分析.....	397
6.2.1 斜撑杆受压屈曲分析.....	279	11.2 案例图解.....	397
6.2.2 薄壳容器屈曲分析.....	291	小结.....	412
小结.....	301		

第1章

ANSYS Workbench 14.5 概述

ANSYS Workbench 是 CAE 开发的一个通用的面向用户的平台,随着科技的不断进步,有限元理论也在高速发展,并且在各个领域得到广泛应用,其优势主要体现在三个方面:工程上的应用、复杂结构的协同仿真、高性能计算的驱动创新。本书中所用的软件基于 ANSYS Workbench 14.5 版本。ANSYS Workbench 作为 ANSYS 公司推出的协同仿真环境平台,有着经典 ANSYS 核心产品完全统一的核心技术,并融合了主流三维软件,比如 SolidWorks、NX (UG)、solid Edge、Pro/E 等软件。ANSYS Workbench 平台下的产品主要包括 4 部分:建模及简单分析功能、划分网格功能、求解计算功能、后处理功能的 ANSYS 产品。

本章所要学习的内容包括:

- 了解 ANSYS 有限元软件的文化背景
- 掌握 ANSYS Workbench 的分析功能
- 掌握 Design Modeler 中的二、三建模功能
- 掌握 ANSYS Workbench 软件与 CAD 软件的结合
- 熟知 ANSYS Workbench 的分析流程
- 掌握 ANSYS Workbench 中的网格划分功能

1.1 ANSYS 软件

1.1.1 背景

ANSYS 软件是美国 ANSYS 公司研制的大型通用有限元分析(Finite Element Analysis, FEA)软件,是世界范围内增长最快的计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, CAE)软件,它可以与多数计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)软件接口,实现数据的共享和交换,如 Creo、NASTRAN、Alogor、I-DEAS、AutoCAD 等,是融结构、流体、电场、磁场、声场分析于一体的大型通用有限元分析软件,在核工业、土木工程、铁道、石油化工、航空航天、国防军工、机械制造、能源、汽车交通、电子、造船、生物医学、轻工、地矿、水利、日用家电等领域有着广泛的应用。ANSYS 功能强大,操作简单方便,

现在已成为国际最流行的有限元分析软件，在历年的 FEA 评比中都名列第一。目前，中国有一百多所理工院校采用 ANSYS 软件进行有限元分析或者作为标准教学软件。

1.1.2 工作流程

ANSYS 软件大体包含三个模块：前处理模块、分析计算模块、后处理模块。对此三个模块介绍如下。

(1) 前处理是指对几何体的建模与划分网格，构造有限元模型。

(2) 分析计算部分是指对模型施加载荷、约束，该模块包括：结构分析、流体动力学分析、声场分析、电磁场分析、多物理场耦合分析。

(3) 后处理是指对结果的处理，将计算结果以不同的方式显示出来，比如以色彩等值线、梯度、矢量、粒子流迹、立体切片、透明或半透明等方式显示出来。计算结果也可以以图表或线性形式输出。

1.1.3 工程应用

随着科技的不断发展，计算机的普及，ANSYS 有限元分析在解决复杂多变的问题中起到了关键性的作用。现在该软件已被应用到实际生产中的每个领域，是工程设计分析中不可缺少的关键部分。通常 ANSYS 有限元软件可以解决工业中的以下问题：

- (1) 线性静力学结构分析问题；
- (2) 结构动力学问题；
- (3) 结构热分析问题；
- (4) 结构优化分析问题；
- (5) 结构疲劳分析问题；
- (6) 结构非线性分析问题；
- (7) 结构屈曲及稳定分析问题；
- (8) 结构-流体-声场耦合分析问题；
- (9) 显式动力学分析问题；
- (10) 电磁场分析问题；
- (11) 流体动力学分析问题；
- (12) 振动噪声分析问题；
- (13) 柔体机构动力学问题；
- (14) 结构制造过程仿真分析问题；
- (15) 转子动力学分析问题；
- (16) 光-机械-热耦合分析问题；
- (17) 金属成形分析问题；
- (18) 铸造仿真分析问题；
- (19) 结构压电材料及 MEMS 分析。

由于本书是 ANSYS Workbench 的基础教程，所以以上所提到能解决的问题分析没有

全部涉及,请读者查阅其相关的资料去学习。

1.2 ANSYS Workbench 14.5 介绍

1.2.1 背景

ANSYS Workbench 是 ANSYS 公司开发的新一代协同仿真环境。1997 年,ANSYS 公司开发了专门为设计人员应用的分析软件 ANSYS Design Space,其后处理功能与经典 ANSYS 软件完全不同,但是软件的易用性与 CAD 软件的接口特性特别的优良。2000 年,ANSYS 软件将 ANSYS Design Space 的界面风格改进了许多,使得经典 ANSYS 软件的前后处理都得到了应用,最后形成了协同仿真环境——AWE (ANSYS Workbench Environment)。2001 年,在 AWE 上开发了 ANSYS Design Modeler (DM)、ANSYS Design Explorer (DX)、ANSYS Design Explorer VT (DX VT)、ANSYS Fatigue Module (FM)、ANSYS CAE Template 等,其目的是和 DS 共同提供给用户先进的 CAE 技术。2009 年,ANSYS 公司再一次提升了 ANSYS 的版本,其中,Workbench 工作台还起到了应用开发框架的作用。此外,新版本中外部连接插件得到了重大升级,该插件可以使得外部程序获得 ANSYS Workbench 功能,其中包括 CAD 集成的通用工具、几何的修改及网格的划分,功能得到了完整的改善且大大提高了设计师们的工作效率。

1.2.2 工作环境与新功能的介绍

1. 工作环境

ANSYS Workbench 工作界面主要分为两部分:工具箱 (Toolbox) 和项目视图区 (Project Schematic),如图 1-1 所示。

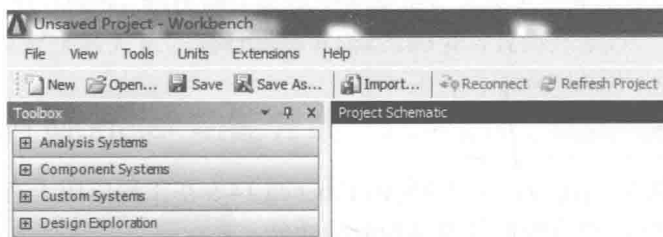


图 1-1 ANSYS Workbench 的用户界面

如图 1-2 所示,工具箱又分为以下 4 个部分。

- (1) Analysis Systems: 用于预定义模板。
- (2) Component Systems: 用于建立不同应用程序和扩展的分析系统。
- (3) Custom Systems: 用于预定义耦合系统。
- (4) Design Exploration: 用于参数管理和优化的工具。



图 1-2 工具箱的展开图

2. 新功能的介绍

(1) 与之前的版本相比较, ANSYS Workbench 14.5 在工程应用上有着较大的提高。

- ① 提高了 CAD 模型的处理与网格划分的功能;
- ② 提高了建模与协同仿真的功能;
- ③ MAPDL 与 ANSYS Workbench 的紧密结合;
- ④ 对复合材料的分析更加方便快捷;
- ⑤ 加强了数据之间的共享;
- ⑥ 可以直接旋转机械;
- ⑦ ANSYS Mechanical 新增了梁与壳的转换功能;

- ⑧ 显式求解问题更加稳健;
- ⑨ ANSYS HFSS 模型可直接与 ECAD 工具连接;
- ⑩ 提高了三维集成电路封装与电子冷却流程的易用性;
- ⑪ 加强了 ANSYS EKM 产品的功能和效率。

(2) ANSYS Workbench 14.5 在复杂系统及多物理场的综合仿真中也有很大的进步。

- ① 自动模拟仿真——新增了内燃机 (IC Engine) 分析系统;

- ② 增加了双向流体-固体耦合仿真功能;

③ 增加了高级材料模型——如形状记忆合金支架模拟、扬声器耦合声学仿真、考虑水分扩散影响的电子部件的热-架构和耦合场的仿真;

- ④ 可以将流体与电磁耦合;

- ⑤ 可以模拟欧拉壁面液膜与多分散流。

(3) HPC 的创新也有着很大的改进。

- ① 能够建立有限大阵列天线模型并且将边缘效应考虑在内, 提高了结果的精度;

- ② 与 GPU 的结合提高了计算的速度;

- ③ 可利用瞬态叶栅的方法计算单个流道;

- ④ 利用物理光解法求解。

1.2.3 特点

- (1) 支持 CAD-CAE 之间的双向参数传输功能。

(2) 将设计、仿真优化、网格变形等功能集合在一起, 对各种数据进行协同仿真与项目管理。

- (3) 在装配图中, 零件之间有着很多复杂的接触关系, 具有智能识别的功能。

- (4) 有着高质量的网格划分功能, 可以对任何复杂的模型进行划分网格。

- (5) 支持很广泛的 ANSYS 机械领域的分析模块的有限元分析功能。

- (6) 工程材料库十分完善, 用户还可以对材料进行自定义。

(7) ANSYS Workbench 软件操作流程简单易学, 主要包括 4 个步骤: 导入模型, 前处理 (附加材料、设置接触关系、划分网格), 施加约束与载荷并求解, 结果后处理。

1.2.4 Design Modeler 功能介绍及几何建模

1. Design Modeler 介绍

Design Modeler 简称 DM, 是 ANSYS Workbench 的一个组成部分, 与 CAD 软件建模工具相似, 对仿真分析有着很多的修改能力, 例如特征的简化、包围体操作、填充操作、焊点、切分面、面拉伸、体拉伸、梁建模等。Design Modeler 软件中具有两种操作模式: Sketching tab (2D) 和 Sketching tab (3D)。操作人员可以在这两种模式下完成几何模型的创建。Design Modeler 操作界面如图 1-3 所示, Design Modeler 的主菜单如图 1-4 所示。

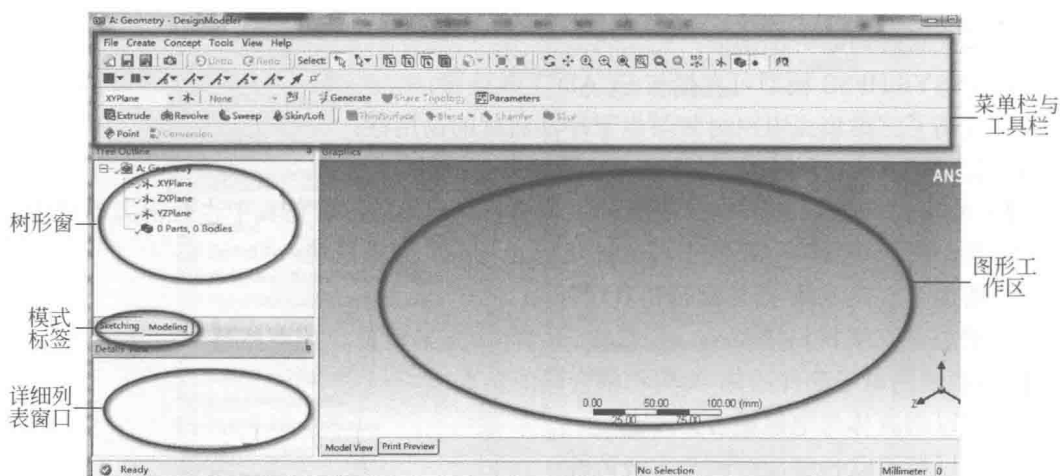


图 1-3 Design Modeler 操作界面

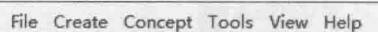


图 1-4 Design Modeler 的主菜单

2. Design Modeler 的子菜单

(1) File: 用于基本文件的操作, 包括文件的保存、输入、输出及其脚本的运行等功能, 如图 1-5 所示。

(2) Create: 用于创建 3D 模型与修改操作工具, 如布尔运算、倒角等, 如图 1-6 所示。

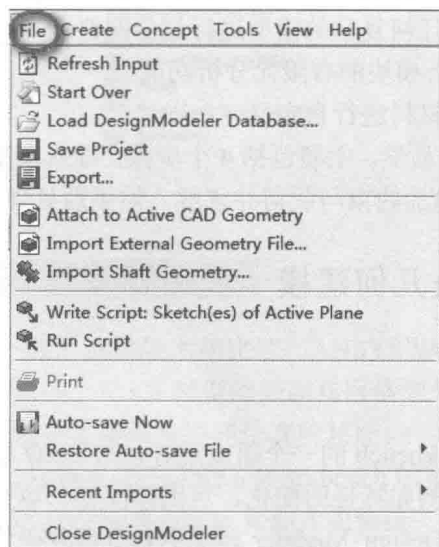


图 1-5 文件子菜单

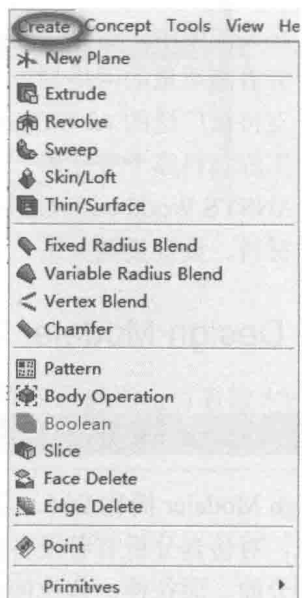


图 1-6 Create 子菜单

(3) Concept: 用于创建梁模型与面(壳)的工具, 如图 1-7 所示。

- (4) Tools: 用于整体建模操作、参数管理以及制定程序等工具, 如图 1-8 所示。
- (5) View: 用于显示模型的显示工具, 如图 1-9 所示。

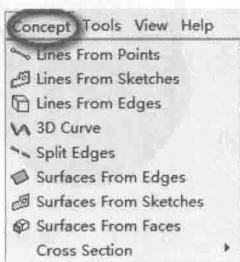


图 1-7 Concept 子菜单

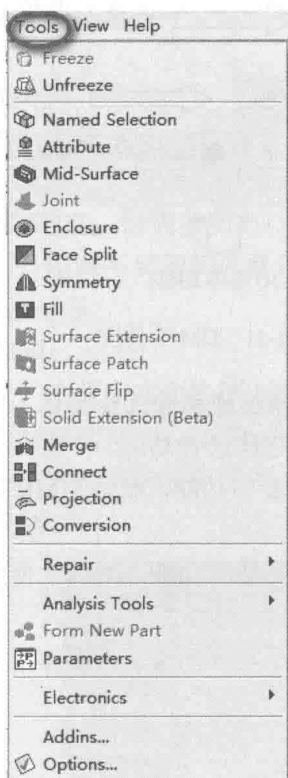


图 1-8 Tools 子菜单

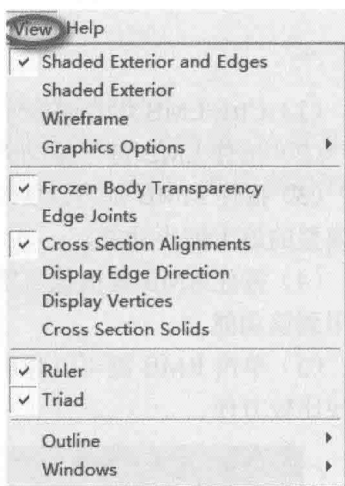


图 1-9 View 子菜单

- (6) Help: 帮助文档, 如果在使用 DM 过程中遇到不懂的地方可以使用帮助文档来解决问题, 如图 1-10 所示。

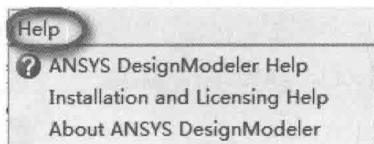


图 1-10 Help 子菜单

3. DM 工具栏

DM 工具栏如图 1-11 所示。

4. 鼠标 DM 的操作功能

以三键鼠标为例, 为了表述方便, 把鼠标左键记为 LMB, 右键记为 RMB, 中键记为 MMB, 如图 1-12 所示。



图 1-11 DM 工具栏

- (1) Ctrl+LMB 组合键表示可执行添加或移除选定实体。
- (2) 按住 LMB 键可拖动光标执行连续选择功能。
- (3) 按住 MMB 键可以实现模型的旋转功能，滚动 MMB 键可以实现模型的放大缩小功能。
- (4) 按住 RMB 键框选可实现模型的放大功能，处理几何细小处经常用到该功能。
- (5) 单击 RMB 键可以弹出快捷菜单实现操作，该操作于工具的查找比较方便。

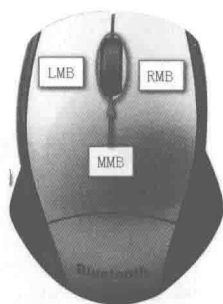


图 1-12 三键鼠标

5. 选择过滤器的功能介绍

在建模过程中，用户有时需要选择某个点、某条边、某个面或某个体进行操作。如果选择同一类型时，可以在过滤器中设定过滤。例如，在选择面的操作时，选择过滤器中的过滤选择面，那么鼠标选择的就都是模型的面了。同理，选择点、边或体时也是同样的操作。选择过滤器工具条如图 1-13 所示。

在选择过滤器工具条中，有一个  按钮，用鼠标单击它一下会出现两个选项：单选 (Single Select)、框选 (Box Select)，如图 1-14 所示。



图 1-13 选择过滤器工具条

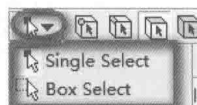


图 1-14 框选

选择框选操作时，鼠标有以下两种操作功能。

- (1) 鼠标从左向右框选拖动时：选择对象全部被框选时，才被选中。
- (2) 鼠标从右向左框选拖动时：选择对象部分被选中时也被选中。

6. 图形控制区介绍

图形控制区，如图 1-11 所示，其中各个图标的含义如下： 旋转、 平移、 放

大/缩小、 框选放大、 自动匹配大小、 窗口放大镜、 上一个/下一个、 坐标设定、 坐标的显示/隐藏、 模型显示、 浏览（选定模型特征（面、线等）后单击“浏览”按钮，模型自动以选定点为中心正视选定特征）。

7. 特征抑制

在 Design Modeler 界面中，特征抑制功能与普通三维 CAD 软件中的特征抑制功能完全相同。该功能也是很重要的，用户可灵活运用这个功能，方便以后的操作，并且以后在 Simulation 中仍可使用特征抑制功能，但需要明白以下几点。

(1) 零部件一旦被抑制后是隐藏不显示的，并且被抑制的零部件不能被划分网格，在 Simulation 的结构分析中也无法显示。

(2) 插入的特征也会被抑制。

(3) 当一个特征被抑制了，则依附在此特征上的其他特征也会被抑制。

特征抑制应用包括对某个特征的抑制、在 Tree Outline 框中对某实体抑制、在屏幕上直接选中实体再抑制（在一些比较复杂的装配图中，屏幕中是显示不到的，则需要在 Tree Outline 框中查找），如图 1-15 所示。

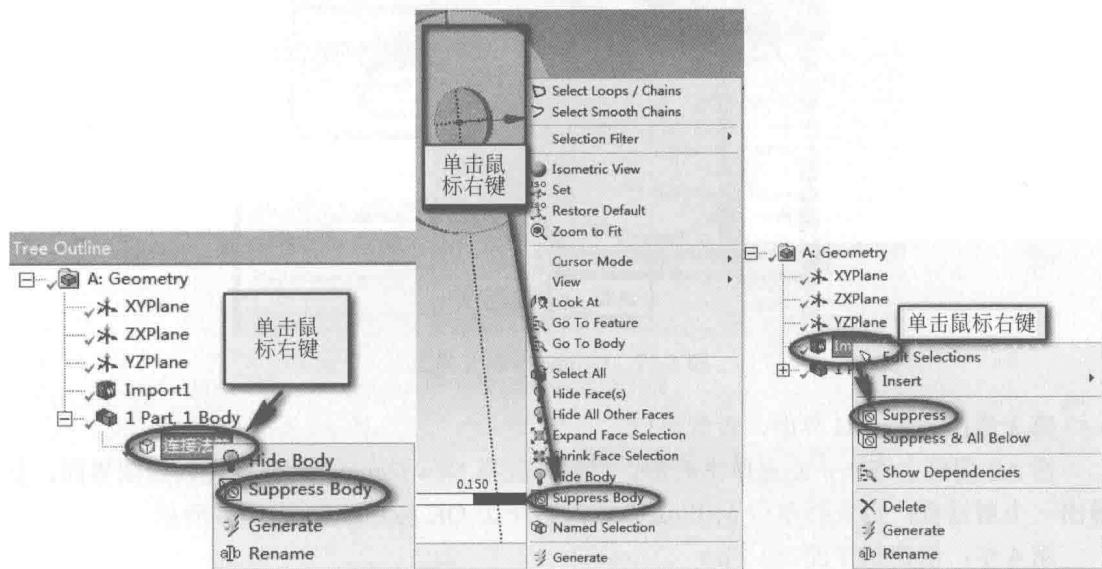


图 1-15 典型特征抑制

8. 几何建模

ANSYS Workbench 14.5 的几何建模可以从外部导入，也可以通过 DM 平台直接建模。从外部导入的几何模型在以后的每个章节都涉及，所以先来学习 DM 的直接建模。

1) 创建二维几何体的流程

第 1 步：进入 ANSYS Workbench 14.5 的界面。

打开 ANSYS Workbench 14.5 的界面，在 ANSYS Workbench 14.5 图标上双击，或者单击右键，再选择“打开”命令，如图 1-16 所示。

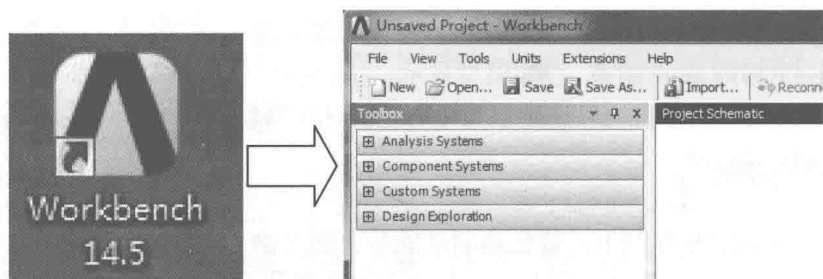


图 1-16 ANSYS Workbench 14.5 的打开

第 2 步：创建几何项目。

单击工具箱下面的 Component Systems 前面的+按钮，再双击 Component Systems 下面的 Geometry 图标，如图 1-17 所示。

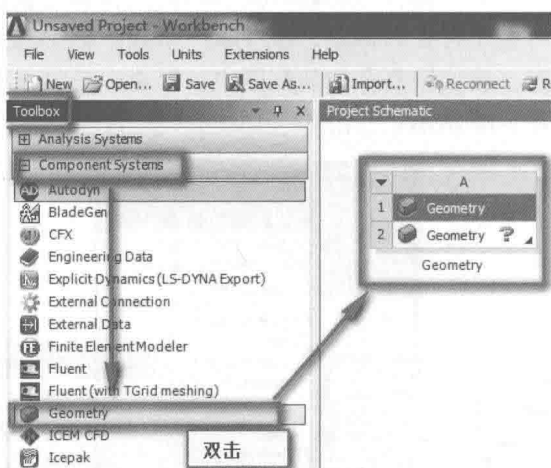


图 1-17 Geometry 打开界面

第 3 步：进入 DM 界面，设置单位。

在 A2 图标上双击，或者单击右键，然后再选择 New Geometry 命令进入绘图界面，会弹出一个对话框，再选择单位 Millimeter，最后单击 OK 按钮，如图 1-18 所示。

第 4 步：创建新平面。

在 Tree Outline 中选择坐标 ZXPlane，再在工具栏中选择 （正视），操作过程如图 1-19 所示。

第 5 步：进入草图绘制面板。

单击 Sketching（草绘）按钮，将会进入草绘命令面板，操作步骤如图 1-20 所示。

第 6 步：绘制草图。

选中 Draw 中的 Line，然后以坐标原点为起点在 X 轴上画出一条直线，再以原点为起点在 Z 轴上画一条直线，同理，再画出另外两条直线构成一个矩形，然后再画矩形的两条对角线（注意：鼠标光标移动到原点上时会显示“P”，移动到坐标轴上会显示“C”；移动到水平直线上显示“H”，表示跟水平方向的直线平行；移动到竖直直线一侧显示“V”，表示跟竖直方向的直线平行），如图 1-21 所示。

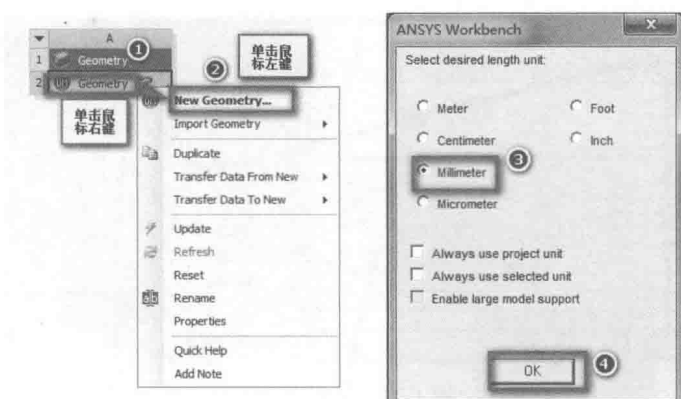


图 1-18 设置单位

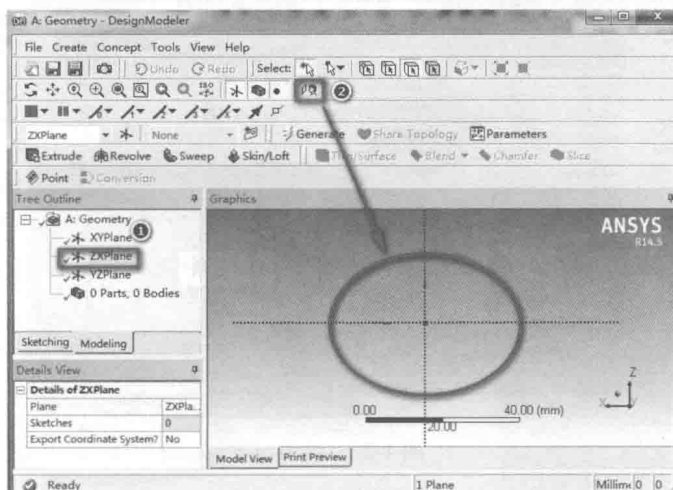


图 1-19 创建坐标平面

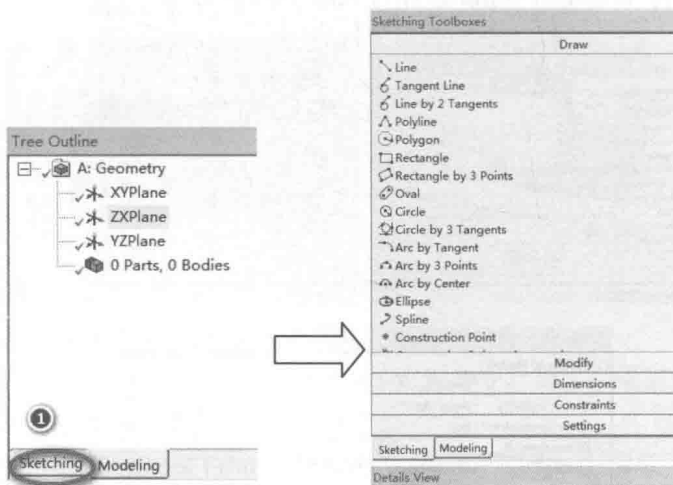


图 1-20 进入草绘面板