

技能应用速成系列

Workbench技能速成，本书足矣！

DVD-ROM

视频讲解

升级版

ANSYS Workbench 15.0 有限元分析 | 从入门到精通

内容全面、案例丰富

基础操作→专题技能→实例应用→举一反三。

讲解细致、综合应用

通过案例详细讲解分析流程、方法、技巧、注意事项，再到综合应用。

网络服务、博客答疑

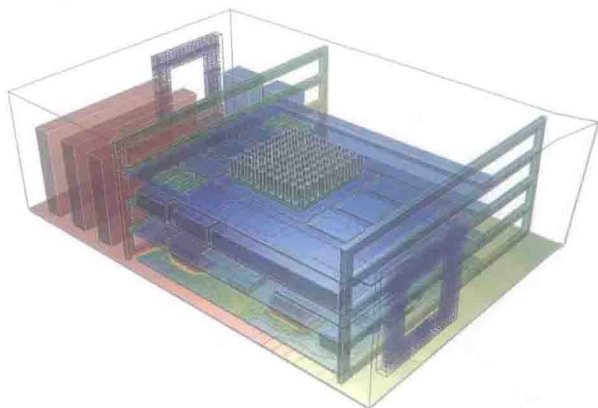
超值素材资源、网络支持。

网络服务：<http://www.catics.org/3121>

博客答疑：<http://blog.sina.com.cn/caxbook>

CAX技术联盟

陈艳霞 编著



 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

技能应用速成系列

ANSYS Workbench 15.0 有限元 分析从入门到精通

CAX 技术联盟

陈艳霞 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以 ANSYS Workbench 15.0 为操作平台, 详细介绍软件的功能和应用, 内容丰富, 涉及面广, 能使读者在掌握软件操作的同时, 也能掌握解决相关工程领域实际问题的思路与方法, 并能自如地解决本领域所出现的问题。

全书分为 5 部分共 19 章, 第 1 部分从 ANSYS Workbench 15.0 平台的各个功能模块着手介绍常用命令的使用以及几何建模、网格划分和后处理的相关知识; 第 2 部分以项目范例为引导, 主要讲解在 Workbench 平台中进行的结构静力学分析、模态分析、谐响应分析、响应谱分析、瞬态动力学分析和随机振动分析等; 第 3 部分作为结构有限元分析的进阶部分, 主要讲解在 Workbench 平台中进行的显示动力学分析、结构非线性分析、接触分析、线性屈曲分析等; 第 4 部分以项目范例为引导, 主要讲解在 Workbench 平台中进行的热力学分析、疲劳分析、流体动力学分析和结构优化分析等; 第 5 部分主要介绍多物理场耦合分析中的电磁热耦合分析。

本书工程实例丰富、讲解详尽, 内容循序渐进、深入浅出, 适合不同基础的读者。本书可供理工院校土木工程、机械工程、力学、电气工程等相关专业的高年级本科生、研究生及教师使用, 同时也可作为相关工程技术人员从事工程研究的参考书。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

ANSYS Workbench 15.0 有限元分析从入门到精通 / CAX 技术联盟, 陈艳霞编著. —北京: 电子工业出版社, 2015.3

(技能应用速成系列)

ISBN 978-7-121-25539-7

I. ①A… II. ①C… ②陈… 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 (2015) 第 030096 号

策划编辑: 许存权

责任编辑: 许存权 特约编辑: 鲁秀敏

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 31.5 字数: 800 千字

版 次: 2015 年 3 月第 1 版

印 次: 2015 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 79.00 元 (含 DVD 光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。



前言

ANSYS Workbench 平台作为多物理场及优化分析平台，将在流体市场占据份额最大的 FLUENT 及 CFX 软件集成起来，同时也将电磁行业分析标准的 ANSOFT 系列软件集成到其平台中，并且提供了软件之间的数据耦合，给用户提供了巨大的便利。

目前 ANSYS 公司的最新版 ANSYS Workbench 15.0 所提供的 CAD 双向参数链接互动、项目数据自动更新机制、全面的参数管理、无缝集成的优化设计工具等，使 ANSYS 在“仿真驱动产品设计 (Simulation Driven Product Development, SDPD)”方面达到了前所未有的高度，同时 ANSYS Workbench 15.0 具有强大结构、流体、热、电磁及其相互耦合分析的功能。

1. 本书特点

由浅入深，循序渐进：本书以初中级读者为对象，首先从有限元基本原理及 ANSYS Workbench 使用基础讲起，再辅以 ANSYS Workbench 在工程中的应用案例帮助读者尽快掌握 ANSYS Workbench 进行有限元分析的技能。

步骤详尽、内容新颖：本书结合作者多年 ANSYS Workbench 使用经验与实际工程应用案例，将 ANSYS Workbench 软件的使用方法与技巧详细地讲解给读者。本书在讲解过程中步骤详尽、内容新颖，讲解过程辅以相应的图片，使读者在阅读时一目了然，从而快速掌握书中所讲内容。

2. 本书内容

本书在必要的理论概述的基础上，通过大量的典型案例对 ANSYS Workbench 分析平台中的模块进行详细介绍，并结合实际工程与生活中的常见问题进行详细讲解，全书内容简洁明快，给人耳目一新的感觉。

本书主要分为 5 部分共 19 章，主要介绍了 ANSYS Workbench 平台在结构、热学、流体力学和疲劳分析各个领域中的有限元分析及操作过程。

第 1 部分介绍了有限元理论和 ANSYS Workbench 15.0 平台常用命令、几何建模与导入方法、网格划分及网格质量评价方法、结果的后处理操作等方面的内容，章节安排如下：

第 1 章：ANSYS Workbench 15.0 概述 第 2 章：几何建模

第 3 章：网格划分 第 4 章：后处理

第 2 部分介绍了 ANSYS Workbench 平台结构基础分析内容，包括结构静力学分析、模态分析、谐响应分析、响应谱分析、瞬态动力学分析及随机振动分析六个方面的内容，章节安排如下：

第 5 章：结构静力学分析

第 7 章：谐响应分析

第 9 章：瞬态动力学分析

第 6 章：模态分析

第 8 章：响应谱分析

第 10 章：随机振动分析

第 3 部分介绍了 ANSYS Workbench 平台结构进阶分析功能，主要包括显示动力学分析、结构非线性分析、接触分析及线性屈曲分析等内容，章节安排如下：

第 11 章：显示动力学分析

第 12 章：结构非线性分析

第 13 章：接触分析

第 14 章：线性屈曲分析

第 4 部分介绍了 ANSYS Workbench 平台在热力学分析、疲劳分析、流体动力学分析及结构优化分析等方面的内容，章节安排如下：

第 15 章：热力学分析

第 16 章：疲劳分析

第 17 章：流体动力学分析

第 18 章：结构优化分析

第 5 部分介绍了 ANSYS Workbench 平台结构高级分析功能中的电磁耦合分析，本书一章内容：

第 19 章：耦合场分析

注意：其中，电磁分析模块（Maxwell）及疲劳分析模块（nCode）需要读者单独安装；另外，本书中部分章节的内容需要安装接口程序。

3. 光盘内容

本光盘主要包括案例模型与案例的操作文档，其中，案例的模型文件与案例工程文件同放于相关章节的目录中，以方便读者查询。

例如，第 16 章的第 2 个操作实例“项目分析 2——实体疲劳分析”的几何文件和工程项目管理文件放置在“光盘\Chapter16\char16-2\”路径的文件夹下。

4. 读者对象

本书适合 ANSYS Workbench 15.0 初学者和期望提高有限元分析及建模仿真工程应用能力的读者，具体包括如下。

★ 初中级 ANSYS Workbench 从业人员 ★ 初学 ANSYS Workbench 15.0 的技术人员

★ 大中专院校的教师和学生

★ 相关培训机构的教师和学员

★ 广大科研工作人员

★ ANSYS Workbench 15.0 爱好者

5. 本书作者

本书主要由陈艳霞编写，另外，参与编写的人员还有：张明明、吴光中、魏鑫、石良臣、刘冰、林晓阳、唐家鹏、丁金滨、王菁、吴永福、张小勇、李昕、刘成柱、乔建军、张迪妮、张岩、温光英、温正、郭海霞、王芳。虽然作者在编写过程中力求叙述准确、完善，但由于水平有限，书中欠妥之处，请读者及各位同行批评指正，在此表示诚挚的谢意。

6. 读者服务

为了方便解决本书疑难问题，读者朋友若在学习过程中遇到与本书有关的技术问题，可以发邮件到邮箱 caxbook@126.com，或访问作者博客 <http://blog.sina.com.cn/caxbook>，编者会尽快给予解答，我们将竭诚为您服务。

编者



目 录

第 1 章 ANSYS Workbench 15.0 概述	1	5.5 项目分析 4——支承座静态结构分析	128
1.1 Workbench 平台界面	2	5.6 项目分析 5——子模型静力分析	138
1.2 操作实例——用户自定义 分析模板建立	11	5.7 本章小结	150
1.3 本章小结	13	第 6 章 模态分析	151
第 2 章 几何建模	14	6.1 模态分析简介	152
2.1 DesignModeler 几何建模概述	15	6.2 项目分析 1——计算机机箱 模态分析	153
2.2 几何建模实例	36	6.3 项目分析 2——有预应力模态分析	162
2.3 本章小结	44	6.4 项目分析 3——制动鼓模态分析	171
第 3 章 网格划分	45	6.5 本章小结	179
3.1 ANSYS Meshing 网格划分	46	第 7 章 谐响应分析	180
3.2 ANSYS Meshing 网格划分实例	62	7.1 谐响应分析简介	181
3.3 ANSYS Workbench 其他网格 划分工具	72	7.2 项目分析 1——计算机机箱 谐响应分析	181
3.4 本章小结	75	7.3 项目分析 2——齿轮箱谐响应分析	188
第 4 章 后处理	76	7.4 项目分析 3——丝杆谐响应分析	199
4.1 ANSYS Mechanical 15.0 后处理	77	7.5 本章小结	206
4.2 案例分析	84	第 8 章 响应谱分析	207
4.3 本章小结	93	8.1 响应谱分析简介	208
第 5 章 结构静力学分析	94	8.2 项目分析 1——塔架响应谱分析	209
5.1 线性静力分析简介	95	8.3 项目分析 2——计算机机箱 响应谱分析	220
5.2 项目分析 1——实体静力分析	96	8.4 本章小结	224
5.3 项目分析 2——梁单元线性 静力分析	104	第 9 章 瞬态动力学分析	225
5.4 项目分析 3——曲面实体静力分析	119	9.1 瞬态动力学分析简介	226

9.2	项目分析 1——实体梁瞬态动力学分析	227	第 15 章	热力学分析	382
9.3	项目分析 2——弹簧瞬态动力学分析	241	15.1	热力学分析简介	383
9.4	本章小结	253	15.2	项目分析 1——杯子稳态热力学分析	384
第 10 章	随机振动分析	254	15.3	项目分析 2——杯子瞬态热力学分析	393
10.1	随机振动分析简介	255	15.4	本章小结	395
10.2	项目分析 1——随机振动学分析	255	第 16 章	疲劳分析	396
10.3	项目分析 2——弹簧随机振动分析	268	16.1	疲劳分析简介	397
10.4	本章小结	278	16.2	项目分析 1——椅子疲劳分析	399
第 11 章	显式动力学分析	279	16.3	项目分析 2——实体疲劳分析	404
11.1	显式动力学分析简介	280	16.4	本章小结	412
11.2	项目分析 1——钢钉受力显式动力学分析	281	第 17 章	流体动力学分析	413
11.3	项目分析 2——钢板成型显式动力学分析	293	17.1	流体动力学分析简介	414
11.4	本章小结	305	17.2	项目分析 1——三通流体动力学分析	419
第 12 章	结构非线性分析	306	17.3	项目分析 2——叶轮外流场分析	430
12.1	结构非线性分析简介	307	17.4	本章小结	445
12.2	项目分析——接触大变形分析	309	第 18 章	结构优化分析	446
12.3	本章小结	317	18.1	结构优化分析简介	447
第 13 章	接触分析	318	18.2	项目分析——响应曲面优化分析	449
13.1	接触分析简介	319	18.3	本章小结	462
13.2	项目分析 1——虎钳接触分析	319	第 19 章	耦合场分析	463
13.3	项目分析 2——装配体接触分析	331	19.1	多物理场耦合分析简介	464
13.4	本章小结	343	19.2	项目分析 1——四分裂导线电磁结构耦合分析	464
第 14 章	线性屈曲分析	344	19.3	项目分析 2——螺线管电磁结构耦合分析	481
14.1	线性屈曲分析简介	345	19.4	本章小结	496
14.2	项目分析 1——钢管屈曲分析	346			
14.3	项目分析 2——金属容器屈曲分析	359			
14.4	项目分析 3——工字梁屈曲分析	371			
14.5	本章小结	381			

第1章

ANSYS Workbench 15.0 概述

ANSYS Workbench 15.0 是 ANSYS 公司的最新版多物理场分析平台，最新版中提供大量全新的先进功能，有助于更好地掌握设计情况，从而提升产品性能和完整性。将 ANSYS Workbench 15.0 的新功能与 ANSYS Workbench 相结合，可以实现更加深入和广泛的物理场研究，并通过扩展满足客户不断变化的需求。

ANSYS Workbench 15.0 采用的平台可以精确地简化各种仿真应用的工作流程。同时，ANSYS Workbench 15.0 提供多种关键的多物理场解决方案、前处理和网格剖分强化功能，以及一种全新的参数化高性能计算（HPC）许可模式，可以使设计探索工作更具扩展性。

学习目标

- (1) 了解 ANSYS Workbench 15.0 平台及各个模块的主要功能。
- (2) 了解 ANSYS Workbench 15.0 平台的启动方法。
- (3) 会使用用户自定义方式定义常用分析流程模板。



Note

1.1 Workbench 平台界面

ANSYS Workbench 15.0 软件平台的启动路径如图 1-1 所示, 经常使用 ANSYS Workbench 15.0, 程序会自动在“开始”菜单“所有程序”的上方出现 Workbench 15.0 的快速启动图标, 如图 1-2 所示, 此时可以单击 按钮启动 Workbench 15.0。



图 1-1 Workbench 启动路径



图 1-2 Workbench 快速启动

启动后的 Workbench 15.0 平台如图 1-3 所示。启动软件后, 可以根据个人喜好设置下次启动是否同时开启导读对话框。如果不想启动导读对话框, 将导读对话框底端的“√”去除即可。

如图 1-3 所示, ANSYS Workbench 15.0 平台界面由以下几部分构成: 菜单栏、工具栏、工具箱 (Toolbox)、工程项目窗口 (Project Schematic)、信息窗口 (Message) 及进程窗口 (Progress) 六个部分。

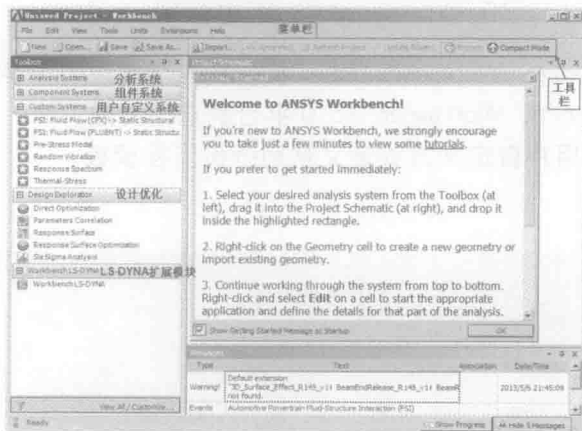


图 1-3 Workbench 软件平台

1.1.1 菜单栏

菜单栏包括 File (文件)、Edit (编辑)、View (视图)、Tools (工具)、Units (单位)、Extensions (扩展) 及 Help (帮助) 七个菜单。下面对这七个菜单中包括的子菜单及命令进行详述。

(1) File (文件) 菜单中的命令如图 1-4 所示。下面对 File (文件) 菜单中的常用命令进行简单介绍。

New: 建立一个新的工程项目, 在建立新工程项目前, Workbench 软件会提示用户是否需要保存当前的工程项目。

Open: 打开一个已经存在的工程项目, 同样会提示用户是否需要保存当前工程项目。

Save: 保存一个工程项目, 同时为新建立的工程项目命名。

Save As: 将已经存在的工程项目另保存为一个新的项目名称。

Import: 导入外部文件, 单击 Import 命令会弹出如图 1-5 所示的对话框, 在 Import 对话框的文件类型栏中可以选择多种文件类型。



图 1-4 File (文件) 菜单



图 1-5 Import 支持文件类型



文件类型中的 HFSS Project File (*.hfs)、Maxwell Project File (*.mxwl) 和 Simplorer Project File (*.asmp) 三个文件需要安装 ANSYS HFSS、ANSYS Maxwell 和 ANSYS Simplorer 三个软件才会出现。

ANSYS Workbench 15.0 平台支持最新版的电磁计算模块 ANSYS Electromagnetics Suite 15.0 (其中包括 ANSYS HFSS 2014、ANSYS Maxwell 2014 及 ANSYS Simplorer 2014 等)。

Archive: 将工程文件存档, 选择 Archive 命令后, 在弹出如图 1-6 所示的 Save Archive 对话框中单击“保存”按钮, 在弹出如图 1-7 所示的 Archive Options 对话框中勾选所有



Note

选项，并单击 Archive 按钮将工程文件存档，在 Workbench 15.0 平台的 File 菜单中选择 Restore Archive 命令即可将存档文件读取出来，这里不再赘述，请读者自己完成。



Note



图 1-6 Save Archive 对话框

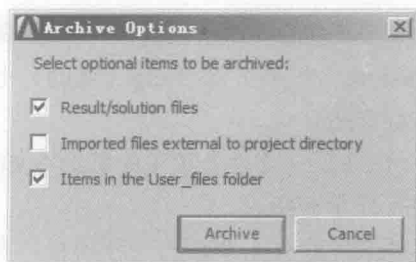

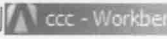


图 1-7 Archive Options 对话框

(2) Edit (编辑) 菜单中主要包括 Undo 及 Redo 两个命令。

(3) View (视图) 菜单中相关命令如图 1-8 所示。下面对 View (视图) 菜单中的常用命令做简要介绍。

Compact Mode (简洁模式): 选择此命令后，Workbench 15.0 平台将压缩为一个小图标  置于操作系统桌面上，同时在任务栏上的图标将消失。如果将鼠标移动到  图标上，Workbench 15.0 平台将变成如图 1-9 所示的简洁形式。

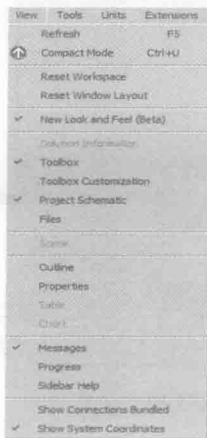


图 1-8 View 菜单

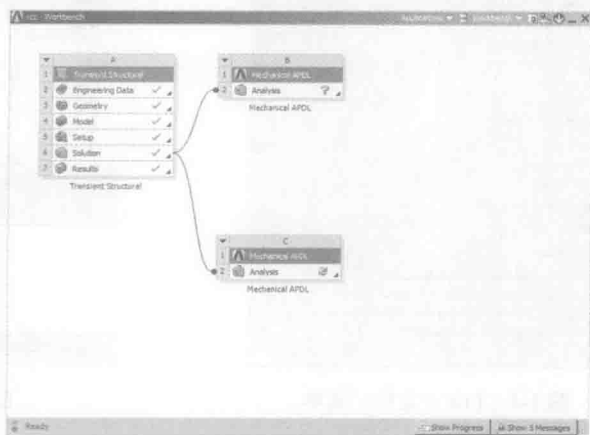


图 1-9 Workbench 15.0 简洁形式

Reset Workspace (复原操作平台): 将 Workbench 15.0 平台复原到初始状态。

Reset Window Layout (复原窗口布局): 将 Workbench 15.0 平台窗口布局复原到初始状态。

Toolbox (工具箱): 选择 Toolbox 命令来选择是否掩藏左侧面的工具箱，Toolbox 前面有“√”说明 Toolbox (工具箱) 处于显示状态，单击 Toolbox 取消前面的√，Toolbox (工具箱) 将被掩藏。

Toolbox Customization (用户自定义工具箱): 选择此命令将在窗口中弹出如图 1-10

所示的 Toolbox Customization 窗口，用户可通过单击各个模块前面的 来选择是否在 Toolbox 中显示模块。



图 1-10 Toolbox Customization 窗口

Project Schematic (项目管理): 选择此命令来确定是否在 Workbench 平台上显示项目管理窗口。

Files (文件): 选择此命令会在 Workbench 15.0 平台下侧弹出如图 1-11 所示的 Files 窗口，窗口中显示了本工程项目中所有的文件及文件路径等重要信息。

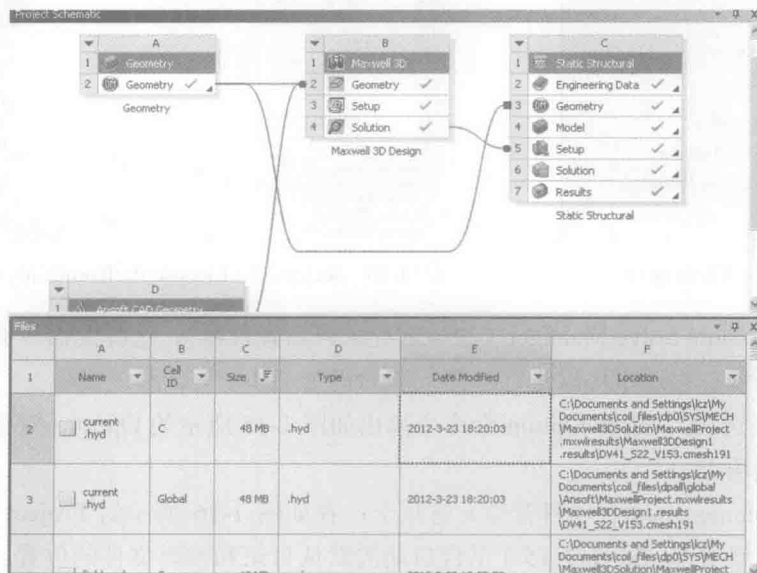


图 1-11 Files 窗口

Properties (属性): 选择此命令后再单击 C7 Results 表格，此时会在 Workbench 15.0



Note

平台右侧弹出如图 1-12 所示的 Properties of Schematic C7: Results 对话框，其中显示的是 C7 Results 栏中的相关信息，此处不再赘述。



Note

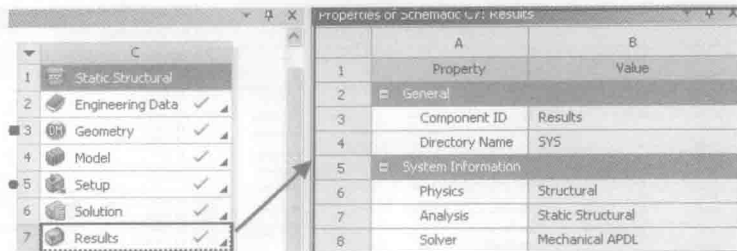


图 1-12 Properties of Schematic C7: Results 对话框

(4) Tools (工具) 菜单中的命令如图 1-13 所示。下面对 Tools 中的常用命令进行介绍。

Refresh Project (刷新工程数据): 当上行数据中内容发生变化时，需要刷新板块（更新也会刷新板块）。

Update Project (更新工程数据): 数据已更改，必须重新生成板块的数据输出。

License Preference (参考注册文件): 选择此命令后，会弹出如图 1-14 所示的注册文件对话框。

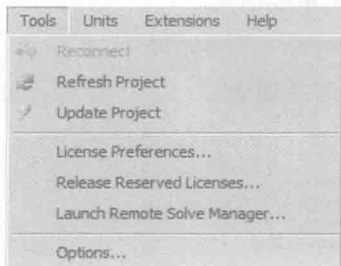


图 1-13 Tools 菜单

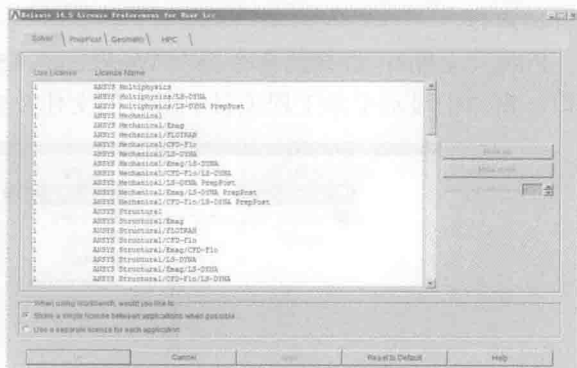


图 1-14 Release 15 License Preference for User 对话框

Launch Remote Solve Manager (加载远程求解器管理器): 选择此命令会弹出远程求解器管理器对话框，在这里可以进行远程求解的提交工作。

Options (选项): 选择 Option 命令会弹出如图 1-15 所示的 Options 对话框，其中主要包括以下选项卡。

Project Management (项目管理) 选项卡: 在如图 1-16 所示的 Project Management 选项卡中可以设置 Workbench 15.0 平台启动的默认目录和临时文件的位置、是否启动读对话框及是否加载新闻信息等参数。



Note

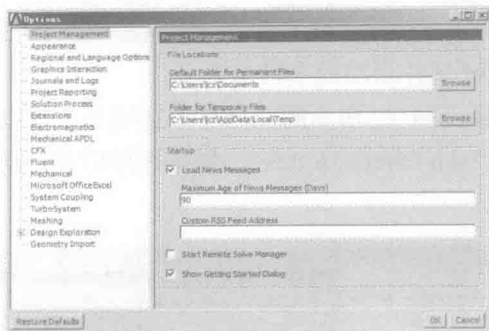


图 1-15 Options 对话框

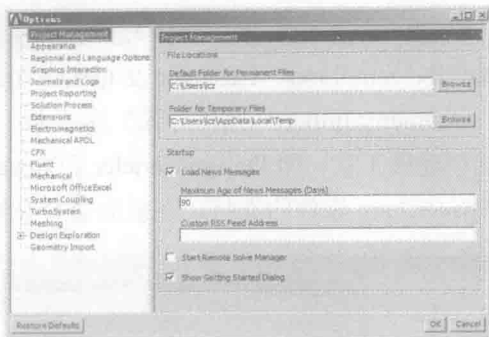


图 1-16 Project Management 选项卡

Appearance (外观) 选项卡: 在如图 1-17 所示的外观选项卡中可对软件背景、文字颜色、几何图形的边等进行颜色设置。

Regional and Language Options (区域和语言选项) 选项卡: 通过如图 1-18 所示的选项可以设置 Workbench 15.0 平台的语言, 其中包括德语、英语、法语及日语四种。

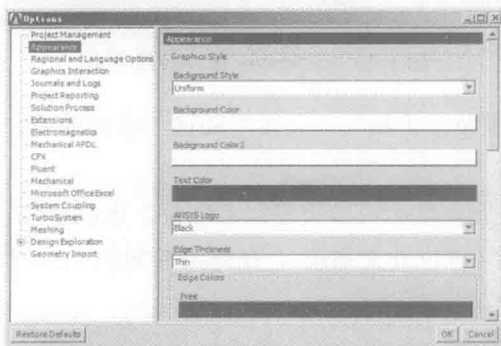


图 1-17 Appearance 选项卡

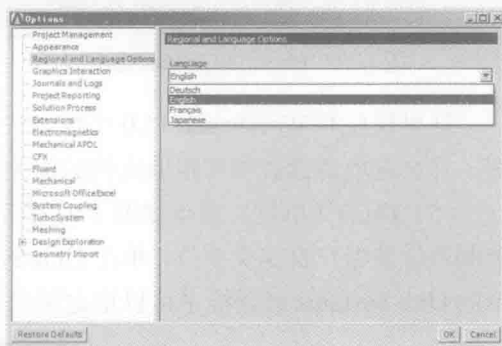


图 1-18 Regional and Language Options 选项卡

Graphics Interaction (几何图形交互) 选项卡: 在如图 1-19 所示的选项卡中可以设置鼠标对图形的操作, 如平移、旋转、放大、缩小、多体选择等操作。

Extensions (扩展) 选项卡: 扩展选项卡是 ANSYS Workbench 15.0 平台中新增加的一个模块, 在模块中可以添加一些用户自己编写的 Python 程序代码。如图 1-20 所示, 添加了一些前后处理的代码, 这部分内容在后面有介绍, 这里不再赘述。

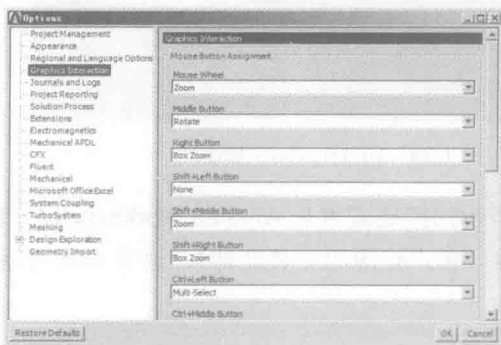


图 1-19 Graphics Interaction 选项卡

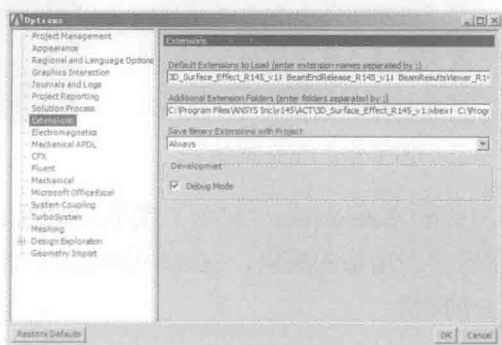


图 1-20 Extensions 选项卡



Note

Electromagnetics(电磁分析)选项卡:在如图 1-21 所示的选项卡中可以添加像 HFSS、Maxwell、Simplorer、Designer 及 Q3D Extractor 软件启动程序目录。

Geometry Import (几何导入)选项卡:在如图 1-22 所示的几何导入选项卡中可以选择几何建模工具,即 DesignModeler 和 SpaceClaim Direct Modeler, 如果选择后者,则需要 SpaceClaim 软件的支持,在后面会有介绍。

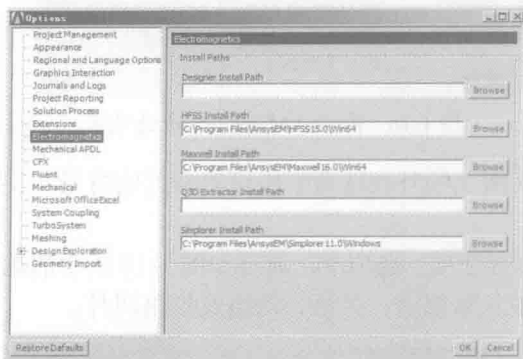


图 1-21 Electromagnetics 选项卡

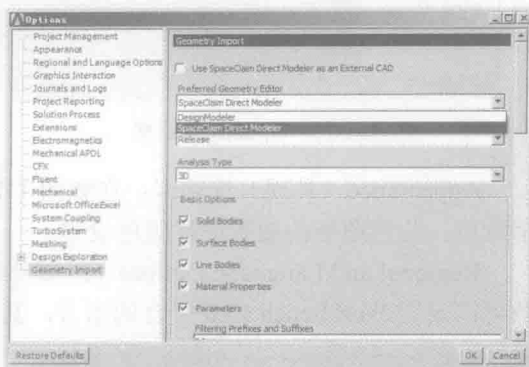


图 1-22 Geometry Import 选项卡

这里仅仅对 Workbench 15.0 平台一些与建模及分析相关并且常用的选项进行简单介绍,其余选项请读者参考帮助文档的相关内容。

(5) Units (单位)菜单如图 1-23 所示。在此菜单中可以设置国际单位、米制单位、美制单位及用户自定义单位,单击 Unit Systems (单位设置系统),在弹出的如图 1-24 所示的 Unit Systems 对话框中可以指定用户喜欢的单位格式。

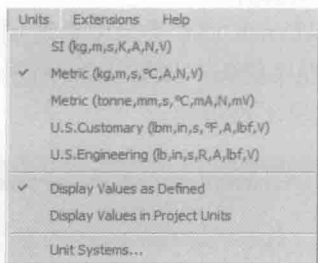


图 1-23 Units 菜单

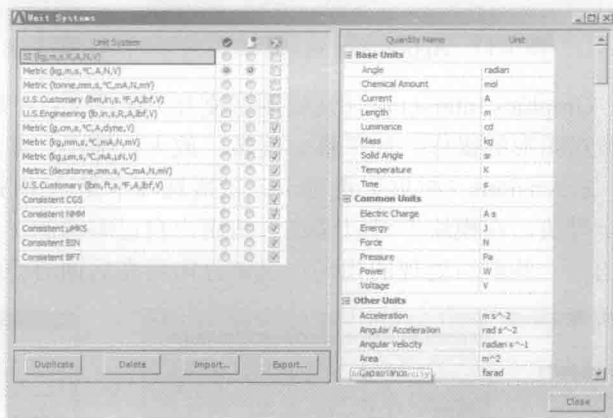


图 1-24 Unit Systems 对话框

(6) Extensions (扩展)菜单:如图 1-25 所示的扩展菜单是 ANSYS Workbench 15.0 平台中新增加的模块,在模块中可以添加 ACT (客户化应用工具套件),这里不再赘述这个模块。



Note



注意

(1) Analysis Systems (分析系统): 分析系统中包括不同的分析类型, 如静力分析、热分析、流体分析等, 同时模块中也包括用不同种求解器求解相同分析的类型, 如静力分析就包括用 ANSYS 求解器分析和用 Samcef 求解器两种。如图 1-28 所示为分析系统中所包含的分析模块的说明。

在 Analysis Systems (分析模块) 中需要单独安装的分析模块有 Maxwell 2D (二维电磁场分析模块)、Maxwell 3D (三维电磁场分析模块)、RMxpert (电动机分析模块)、Simplorer (多领域系统分析模块) 及 nCode (疲劳分析模块)。读者应单独安装此模块。



注意

(2) Component Systems (组件系统): 组件系统包括应用于各种领域的几何建模工具及性能评估工具, 组件系统包括的模块如图 1-29 所示。

组件系统中的 ACP 复合材料建模模块需要单独安装。



图 1-28 Analysis Systems (分析系统)



图 1-29 Component Systems (组件系统)

(3) Custom Systems (用户自定义系统): 在如图 1-30 所示的用户自定义系统中, 除了有软件默认的几个多物理场耦合分析工具外, Workbench 15.0 平台还允许用户自己定义常用的多物理场耦合分析模块。

(4) Design Exploration (设计优化): 如图 1-31 所示为设计优化模块。在设计优化模块中允许用户使用其中的工具对零件产品的目标值进行优化设计及分析。

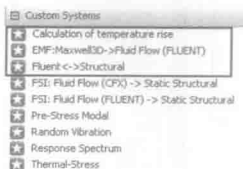


图 1-30 Custom Systems (用户自定义系统)



图 1-31 Design Exploration (设计优化)