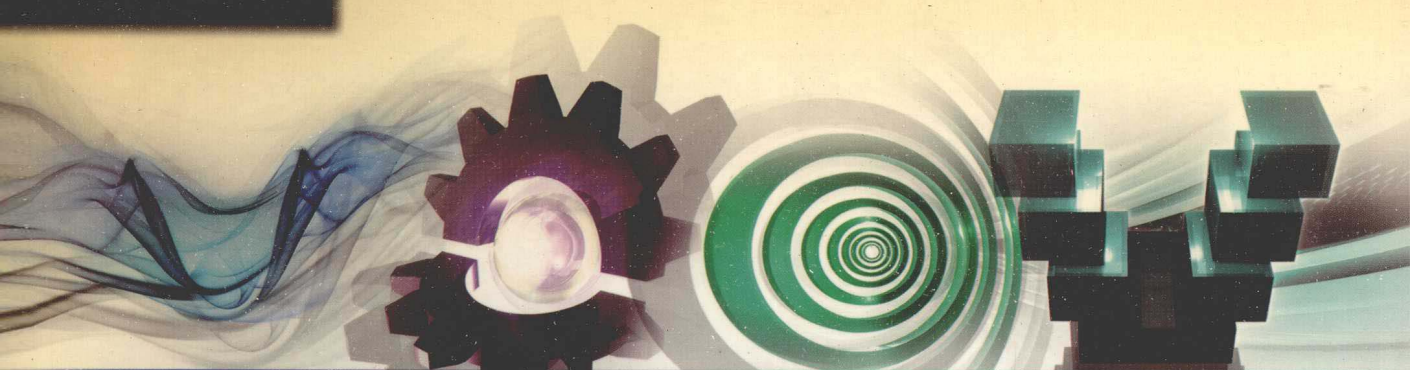


ANSYS原厂策划 万水精心出品

ANSYS高级仿真技术系列

ANSYS



万水ANSYS技术丛书

ANSYS Workbench 基础教程与实例详解 (第二版)

浦广益 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

万水 ANSYS 技术丛书

ANSYS Workbench 基础教程与 实例详解（第二版）

浦广益 编著

内 容 提 要

本书融有限元分析的基础知识和 ANSYS Workbench 应用实例为一体,配以大量的案例分析,从而在基础理论和工程实践应用之间架起一座桥梁。全书共 14 章,分别讲解 ANSYS Workbench 基础知识;几何建模基础;网格划分平台;Workbench 界面与经典 ANSYS (MAPDL);线性静力结构分析、工程热分析、动力学分析(包括隐式和显式动力学)、屈曲分析、结构非线性分析;流体动力学分析;电磁场分析;优化设计和多物理场耦合分析及综合应用,主要包括不同物理场耦合技术在产品研发中的应用,这些都反映了当今国际上仿真技术发展的最新应用成果。

为了提高读者的学习效率,本书还特别配套 2 张 DVD 光盘,内含书中实例的模型文件和计算文件。

本书可作为机械、土木、工程力学、能源、电子通信、航空航天等专业的高年级本科生、广大研究生和教师的参考书及教学用书,亦可供相关领域从事产品设计、仿真与优化的工程技术人员和广大 CAE 爱好者学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS Workbench基础教程与实例详解 / 浦广益编著
— 2版. — 北京:中国水利水电出版社,2013.4
(万水ANSYS技术丛书)
ISBN 978-7-5170-0635-0

I. ①A… II. ①浦… III. ①有限元分析—应用软件
IV. ①0241.82-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第022353号

策划编辑:杨元泓

责任编辑:宋俊娥

封面设计:李 佳

书 名	万水 ANSYS 技术丛书
作 者	ANSYS Workbench 基础教程与实例详解(第二版)
出版发行	浦广益 编著 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京蓝空印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 37.25 印张 946 千字
版 次	2010 年 10 月第 1 版 2010 年 10 月第 1 次印刷 2013 年 4 月第 2 版 2013 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	78.00 元(赠 2DVD)

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

序

我国正处于从中国制造到中国创造的转型期，经济环境充满挑战。由于 80% 的成本在产品研发阶段确定，如何在产品研发阶段提高产品附加值成为制造企业关注的焦点。

在当今世界，不借助数字建模来优化和测试产品，新产品的的设计将无从着手。因此越来越多的企业认识到工程仿真的重要性，并在不断加强应用水平。工程仿真已在航空、汽车、能源、电子、医疗保健、建筑和消费品等行业得到广泛应用。大量研究及工程案例证实，使用工程仿真技术已经成为不可阻挡的趋势。

工程仿真是一件复杂的工作，工程师不但要有工程实践经验，同时要对多种不同的工业软件了解掌握。与发达国家相比，我国仿真应用成熟度还有较大差距。仿真人才缺乏是制约行业发展的重要原因，这也意味着有技能、有经验的仿真工程师在未来将具有广阔的职业前景。

ANSYS 作为世界领先的工程仿真软件供应商，为全球各行业提供能完全集成多物理场仿真软件工具的通用平台。对有意从事仿真行业的读者来说，选择业内领先、应用广泛、前景广阔、覆盖面广的 ANSYS 产品作为仿真工具，无疑将成为您职业发展的重要助力。

为满足读者的仿真学习需求，ANSYS 与中国水利水电出版社合作，联合国内多个领域仿真行业实战专家，出版了本系列丛书，包括 ANSYS 核心产品系列、ANSYS 工程行业应用系列和 ANSYS 高级仿真技术系列，读者可以根据自己的需求选择阅读。

作为工程仿真软件行业的领导者，我们坚信，培养用户走向成功，是仿真驱动产品设计、设计创新驱动行业进步的关键。



ANSYS 大中华区总经理，副总裁
于上海，2013 年 1 月 16 日

前 言

有人将 CAE 技术称为当今“科学与技术的完美结合”。这句话说得可能比较夸张，但不可否认，CAE 技术的确是现代产品研发的重要基础技术，且其理论性和需要的学科知识厚重而宽广。

ANSYS 有限元软件是目前 CAE 的主流分析软件之一，在全球拥有最大的用户群。2002 年，ANSYS 公司开发了新一代产品研发集成平台 ANSYS Workbench，其新颖的操作界面和操作思路一直深受用户欢迎，特别是近几年 ANSYS 公司兼并了 CFX 和 FLUENT 及 Ansoft 等软件，其一举成为全球 CAE 界的巨无霸。所有的这些软件均可集成于 ANSYS Workbench 中，可以想象 ANSYS Workbench 具有多么强大的分析功能，Workbench 集成平台亦是 ANSYS 公司今后重点发展的方向。

目前，国内关于 ANSYS Workbench 的中文书籍整体来说还是较少。如何快速地掌握 ANSYS Workbench 并用来解决实际工程问题一直是广大用户所面临的难题。

本书融有限元分析的基础知识和 ANSYS Workbench 应用实例为一体，配以大量的案例分析，从而在基础理论和工程实践应用之间架起一座桥梁。全书共 14 章，第 1 章讲解 ANSYS Workbench 14.0 基础知识；第 2 章讲解几何建模基础方法；第 3 章讲解在 Workbench 下的网格划分平台；第 4 章讲述了线性静力结构分析；第 5 章详细描述了 ANSYS Workbench 与经典 ANSYS 即 Mechanical APDL 之间的关系；第 6~13 章分别讲解工程热分析、动力学（包括显式动力学分析）、屈曲分析、结构非线性分析、流体动力学分析、电磁场分析、优化分析；第 14 章是多物理场耦合分析的综合应用，主要包括不同物理场耦合技术在产品研发中的应用，这些都反映了当今国际上仿真技术发展的最新应用成果。

本书可作为机械、土木、工程力学、能源、电子通信、航空航天等专业的高年级本科生、广大研究生和教师的参考书及教学用书，亦可供相关领域从事产品设计、仿真与优化的工程技术人员和广大 CAE 爱好者学习参考。

本书在写作过程中得到了江南大学机械工程学院和君远学院广大师生的大力支持，在此深表谢意。感谢盛辉、浦阿亮、周文英、盛阶平、钱培珍、浦澄夕、周文虎、盛敏、周文龙和蔡建新以及中国水利水电出版社等给予本书的帮助。

由于时间仓促，加之本书内容新、书中涉及面广及作者水平有限，书中不足甚至错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

作者 于江南大学机械工程学院

2013 年 1 月

目 录

序

前言

第1章 ANSYS Workbench 14.0 基础	1
1.1 ANSYS Workbench 14.0 新功能概述 ^[1]	1
1.1.1 扩展了工程应用	1
1.1.2 复杂系统的仿真	3
1.1.3 HPC 驱动创新	4
1.2 ANSYS Workbench 14.0 的工作流程 ^[2]	4
1.2.1 启动 ANSYS Workbench 14.0 的方法	5
1.2.2 ANSYS Workbench 14.0 的用户界面 (GUI)	5
1.3 ANSYS Workbench 14.0 的文件管理	7
1.4 Mechanical APDL	9
1.5 启动 Mechanical APDL 的方法 ^[3]	10
1.6 本章小结	12
第2章 几何建模	13
2.1 DesignModeler 几何建模基础	13
2.1.1 DesignModeler 14.0 建模平台	13
2.1.2 DesignModeler 的鼠标操作	16
2.1.3 特征抑制	17
2.2 平面和草图模式	18
2.2.1 进入草图	18
2.2.2 创建新平面	18
2.2.3 创建草图	19
2.3 3D 几何体的生成	20
2.3.1 多体部件体 (Multi-Body Parts)	20
2.3.2 表面印记 (Imprint Faces)	21
2.3.3 填充 (Fill) 与包围 (Enclosure)	23
2.4 几何体的修复与简化	24
2.4.1 几何体的修复 (Repair)	24
2.4.2 提取中面 (Mid-Surface)	24
2.4.3 接合 (Joint)	25
2.5 分析工具 (Analysis Tools)	25

2.6 DesignModeler 与商业 CAD 软件	26
2.7 DesignModeler 实例分析	27
2.8 概念建模	30
2.8.1 从点生成线体	30
2.8.2 从草图生成线体	30
2.8.3 从边生成线体	31
2.8.4 从外部曲线的坐标文件生成线体	31
2.9 概念建模实例	31
2.10 直接建模工具 ANSYS SCDM	40
2.10.1 SpaceClaim 软件 ^[4]	40
2.10.2 ANSYS SpaceClaim Direct Modeler	40
2.10.3 启动 ANSYS SCDM 的方法	40
2.10.4 ANSYS SCDM 建模工具	41
2.10.5 ANSYS SCDM 的几何接口	42
2.11 ANSYS SCDM 建模实例	43
2.12 本章小结	47
第3章 网格划分	48
3.1 认识网格划分平台	48
3.2 典型网格划分法	49
3.2.1 四面体网格	49
3.2.2 扫掠型网格	49
3.2.3 自动划分法 (Automatic Method)	50
3.2.4 Hex Dominant 网格划分	51
3.2.5 多域扫掠型 (MultiZone Sweep Meshing)	51
3.2.6 面体和线体的网格划分	51
3.2.7 直接划分网格	52
3.3 网格划分的工作流程	52
3.3.1 确定物理场和网格划分法	52
3.3.2 确定全局网格的设置	53
3.3.3 确定局部网格的设置	54

3.3.4 预览并划分网格.....	55	5.5.2 材料特性.....	160
3.3.5 检查网格质量.....	55	5.5.3 实常数或横截面特性.....	161
3.4 网格划分实例.....	56	5.5.4 单元坐标系.....	161
3.5 ANSYS ICEM-CFD 介绍.....	73	5.6 APDL 命令.....	163
3.5.1 ANSYS ICEM CFD 14.0 软件.....	73	5.6.1 APDL 命令的特点.....	163
3.5.2 ICEM CFD 14.0 文件类型.....	74	5.6.2 APDL 参数.....	164
3.5.3 ANSYS ICEM CFD 14.0 主菜单和 功能栏.....	75	5.7 Mechanical 中插入命令行 ^[7]	165
3.5.4 ICEM CFD 14.0 的工作流程.....	77	5.7.1 在树形窗 Geometry 内插入命令行.....	166
3.5.5 Workbench 14.0 和 ICEM CFD 14.0.....	77	5.7.2 在 Remote Points (远端点) 内 插入命令行.....	167
3.5.6 ANSYS ICEM CFD 14.0 的实例分析.....	78	5.7.3 在 Contact Regions (接触区域) 内 插入命令行.....	167
3.6 本章小结.....	95	5.7.4 在 Joints (运动副) 内插入命令行.....	168
第 4 章 线性静力结构分析.....	96	5.7.5 在弹簧 (Springs) 和梁 (Beams) 下 插入命令行.....	168
4.1 结构线性静力分析基础.....	96	5.7.6 在分析设置 (Analysis Settings) 下 插入命令行.....	169
4.1.1 平面问题 ^[5]	96	5.7.7 在求解项 (Solution) 下插入 命令行.....	170
4.1.2 杆系与梁系问题.....	98	5.7.8 在 Mechanical 中输入和输出参数.....	170
4.2 Workbench 14.0 与线性静力学分析.....	99	5.7.9 实例分析.....	171
4.2.1 几何模型.....	100	5.8 本章小结.....	201
4.2.2 材料属性.....	100	第 6 章 热分析.....	202
4.2.3 装配体.....	100	6.1 热分析基础 ^[9]	202
4.2.4 载荷及约束.....	101	6.2 主要的传热模式.....	203
4.2.5 Mechanical 中常见的载荷.....	101	6.2.1 热传导.....	203
4.2.6 Mechanical 中常见的支撑约束.....	102	6.2.2 热对流.....	203
4.2.7 Mechanical 中求解选项.....	103	6.2.3 热辐射.....	204
4.2.8 后处理结果.....	104	6.2.4 相变.....	204
4.3 Workbench 14.0 线性静力学分析实例.....	106	6.3 总能量传输方程.....	204
4.4 本章小结.....	152	6.4 ANSYS Workbench 与热分析.....	204
第 5 章 ANSYS Workbench 与 Mechanical APDL.....	153	6.4.1 几何模型.....	204
5.1 Mechanical APDL 与 ANSYS Mechanical.....	153	6.4.2 材料属性.....	205
5.2 启动 Mechanical APDL 的方法.....	154	6.4.3 装配体与接触.....	205
5.3 Mechanical APDL 界面.....	155	6.4.4 热载荷.....	206
5.4 Mechanical APDL 的文件格式.....	156	6.4.5 热边界条件.....	206
5.4.1 保存数据文件 (file.db).....	157	6.4.6 求解选项.....	207
5.4.2 恢复数据 (Resuming Databases).....	157	6.4.7 结果和后处理.....	207
5.4.3 读入数据 (Reading Results).....	158		
5.5 单元属性 (Element Attributes).....	158		
5.5.1 单元类型.....	158		

6.5 实例分析	208	7.9.4 轴承单元	307
6.6 本章小结	238	7.9.5 坎贝尔图 (Campbell diagram)	308
第 7 章 动力学分析	239	7.9.6 转子动力学实例	308
7.1 动力学分析基础	239	7.10 本章小结	314
7.2 模态分析基础	240	第 8 章 显式动力学分析	315
7.2.1 模态分析过程	240	8.1 ANSYS 与显式动力学	315
7.2.2 模态分析中的几何体	241	8.1.1 拉格朗日 (Lagrange) 求解器	316
7.2.3 建立模态分析项	241	8.1.2 欧拉 (Euler) 求解器	316
7.2.4 载荷和约束及求解结果	241	8.1.3 任意拉格朗日欧拉 (Arbitrary Lagrange Euler) 法	316
7.3 谐响应分析	242	8.1.4 无网格 (SPH) 法	316
7.3.1 谐响应分析过程	243	8.1.5 Workbench 与显式动力学	316
7.3.2 建立谐响应分析项	243	8.2 显式动力学实例	318
7.3.3 加载谐响应载荷及求解	243	8.3 本章小结	336
7.3.4 后处理中查看结果	244	第 9 章 屈曲分析	337
7.4 响应谱分析	244	9.1 线性屈曲分析的基础	337
7.4.1 响应谱分析过程	245	9.2 在 Workbench 中进行屈曲分析	338
7.4.2 在 Workbench 中进行响应谱分析	245	9.2.1 线性屈曲分析的步骤	338
7.5 随机振动分析	245	9.2.2 几何模型和材料属性	338
7.5.1 随机振动分析过程	246	9.2.3 接触对	338
7.5.2 在 Workbench 中进行随机振动分析	246	9.2.4 载荷和约束	339
7.6 多体动力学分析 (Multibody Dynamic Analysis) ^{[10][11]}	246	9.2.5 屈曲分析的项目结构	339
7.6.1 多体动力学分析过程	247	9.2.6 求解模型	339
7.6.2 多体动力学结构部件的特性	248	9.2.7 观察结果	339
7.6.3 多体动力学单元特性	248	9.3 屈曲分析实例分析	340
7.6.4 多体动力学初始条件	249	9.4 本章小结	354
7.6.5 阻尼	249	第 10 章 结构非线性分析	355
7.6.6 部件间的连接	250	10.1 非线性分析基础	355
7.6.7 载荷和约束支撑	251	10.1.1 几何非线性	355
7.6.8 多体动力学求解器	252	10.1.2 材料非线性	356
7.6.9 时间步长	252	10.1.3 接触 (状态) 非线性	356
7.6.10 多体动力学后处理结果值	252	10.2 超弹性材料	356
7.7 Workbench 中动力学模块	253	10.2.1 什么是超弹性体	356
7.8 动力学实例分析	254	10.2.2 ANSYS 中的超弹性体	356
7.9 转子动力学	306	10.2.3 Workbench 中曲线的拟合	357
7.9.1 转子动力学的力学模型	306	10.3 金属塑性	359
7.9.2 转子动力学方程	307	10.3.1 金属塑性	359
7.9.3 ANSYS 转子动力学的计算功能	307	10.3.2 屈服准则 ^{[15][16]}	360

10.3.3 强化准则	361	12.4 本章总结	473
10.3.4 材料数据的输入	362	第 13 章 优化设计	474
10.4 ANSYS Workbench 中的接触非线性	363	13.1 Design Exploration 基础	474
10.4.1 接触的基本概念	363	13.1.1 参数定义	474
10.4.2 Workbench 中的接触类型	364	13.1.2 优化方法设定	475
10.4.3 对称/非对称行为	364	13.1.3 Design Explorer 的特征	475
10.4.4 接触工具	364	13.1.4 Design Explorer 的特点	475
10.4.5 摩擦接触	365	13.1.5 Design Explorer 的用户界面	476
10.4.6 接触结果	366	13.2 Design Exploration 分析使用基础	476
10.5 结构非线性实例分析	366	13.2.1 参数的设置	477
10.6 本章小结	404	13.2.2 目标驱动优化 (GDO)	477
第 11 章 流体动力学分析	405	13.2.3 响应图表 (Response Charts)	479
11.1 CFD 简介 ^[17]	405	13.2.4 实验设计法 (Design of Experiments)	479
11.2 ANSYS CFD 介绍	406	13.2.5 六西格玛设计 (Six Sigma)	480
11.3 Workbench 界面下 CFD 模块	407	13.2.6 Design Explorer 与 APDL	481
11.4 ANSYS CFD 实例分析	408	13.3 Design Exploration 分析实例	481
11.5 磁流体动力学 ^[18]	426	13.4 本章小结	498
11.6 本章小结	437	第 14 章 Workbench 多物理场耦合分析 及综合应用	499
第 12 章 电磁场分析	438	14.1 场的基本概念	499
12.1 宏观电磁场理论基础 ^{[19][20]}	438	14.2 耦合场分析	500
12.1.1 麦克斯韦第一方程	438	14.3 Workbench 界面下进行多物理场 耦合分析	501
12.1.2 麦克斯韦第二方程	438	14.3.1 直接采用耦合模块	501
12.1.3 麦克斯韦第三方程	439	14.3.2 插入命令流方式实现耦合分析	501
12.1.4 麦克斯韦第四方程	439	14.3.3 顺序耦合法实现耦合场分析	502
12.1.5 电流连续性方程	439	14.4 流场腔内固定块的应力场优化	503
12.1.6 补充方程	439	14.5 风机的流-固耦合计算	520
12.1.7 边界条件	439	14.6 主板的综合分析	535
12.2 在 Workbench 平台上进行电磁场分析	440	14.7 电气插件分析	548
12.2.1 在 Mechanical 中进行电场分析	441	14.8 微型执行器片分析	556
12.2.2 电场实例分析	441	14.9 耳模型的响应分析	563
12.2.3 在 Mechanical 中进行静磁场分析	444	14.10 排气集管的耦合场分析	571
12.2.4 静磁场实例分析	445	14.11 本章小结	587
12.3 高频电磁场分析	463	参考文献	588
12.3.1 在 ANSYS Multiphysics 中进行高频 电磁场分析	463		
12.3.2 高频电磁场实例分析	464		

ANSYS Workbench 14.0 基础

作为一个全球知名的大型 CAE 分析软件, ANSYS 自 20 世纪 70 年代诞生以来, 随着世界信息技术和有限元理论的高速发展, 在各个领域得到了高度的评价和广泛的应用。自 ANSYS 7.0 开始, ANSYS 公司推出了 ANSYS 经典版 (即 MAPDL) 和 ANSYS Workbench 版。本书基于 ANSYS 14.0, 较之前版 ANSYS 13.0, 新版本在许多方面都得到了许多改进。本章从 ANSYS Workbench 14.0 的概述开始, 逐步讲解 ANSYS Workbench 14.0 结构设计流程。本章内容包括:

- ANSYS Workbench 14.0 新功能特征概述
- ANSYS Workbench 14.0 的工作流程
- ANSYS Workbench 14.0 的文件管理
- Mechanical APDL

1.1 ANSYS Workbench 14.0 新功能概述^[1]

ANSYS Workbench 14.0 是一个集成框架, 它整合现有的各种应用并将仿真过程结合在同一界面下。最新的 ANSYS Workbench 14.0 在 Workbench 13.0 的基础上更进一步提高和改进原有的框架, 尤其新版本更扩展了 ANSYS 系列产品的集成与多物理场的耦合应用, 从总体看, ANSYS 14.0 的新优势主要体现在三个领域: 扩展了工程应用、复杂系统的仿真、高性能计算 (HPC) 的驱动创新。

1.1.1 扩展了工程应用

较之 Workbench 13.0, ANSYS Workbench 14.0 更进一步扩大了在工程上的应用。

► 提高了 CAD 模型的处理和划分网格的功能。

复杂的 CAD 模型中常常包括多个零部件, 作 CAE 分析时需要处理各零部件间的接触、间隙等关系。这是一个非常繁琐并且费时的过程! 在 ANSYS 14.0 中, 利用装配体网格工具能自动从 CAD 装配体中抽取相应的计算域, 如流体域等, 而且它根据用户的要求, 自动创建 Cut-cell 的结构化直角网格 (六面体网格单元) 或者非结构化的四面体网格。

Cut-cell 网格技术具有划分更密更理想的高质量网格功能, 一般用于远离壁面或边界的地

方。在靠近壁面的区域,还可以采用 Cut-tet 划分高质量的网格。这两种网格技术均都适用于梯度大的区域,如剪切层和边界层处。

➤ 工作流程的人性化

ANSYS Workbench 14.0 更进一步集成了仿真和优化的框架,在其平台上可方便地进行几何建模、网格控制、材料属性的设定和参数化操作,从而实现了仿真自动化流程。同时,ANSYS 14.0 还允许通过远程求解管理器(RSM)对更新的设计点进行直接仿真。

➤ 增强了几何建模和协同仿真能力

在 ANSYS DesignModeler 14.0 中,能对几何实体如面、边、点等直接进行模型操作,而且支持名称选择和草图模式。在 ANSYS 14.0 中,还提供了用于定制功能的工具。较之先前版本,Fluent 在新平台上得到了更紧密的集成。

➤ MAPDL 和 ANSYS Workbench 的紧密集成

ANSYS 14.0 引入了一些新特征,如允许用户在 Mechanical 下控制不同部件的有限元模型,在重新计算时可以进行修改施加约束和边界条件、显示约束方程和弱弹簧等工作。

➤ 复合材料分析

在 14.0 中,ANSYS Composite PrePost 更紧密集成于 ANSYS Workbench 中,这可以非常方便地应用于在复合结构中定义层,包括变化方向或者结构潜在失效的层-层分析。

➤ 外部数据映射

不同物理场之间在共享数据时,一般要从外部文件读入如压力、温度或换热系数等数据。在 14.0 中,可把这些数据从一类网格映射到另一类网格上。这些在 ANSYS 13.0 中就已引入的功能在 ANSYS 14.0 中得到了更进一步的加强。

➤ 旋转机械

在 Workbench 14.0 中,目前可以直接得到转子系统临界转速的坎贝尔图了。

➤ 梁和壳

ANSYS Mechanical 新增了用户在线体显示的管单元和梁单元之间转换的功能,同时还提供了定义特定管载荷和结果的功能。ANSYS 14.0 支持来自 MAPDL 求解器的最新的管单元。

对于壳体,新版本还可以从程序中直接读入变厚度壳体。另外在网格连接时,还允许用户在不改变几何尺寸的情况下直接把相邻面上的节点融合。

➤ 稳健的显式求解

显式动力学中最适合的是六面体单元,然而对复杂几何体很难划分出六面体网格。此时往往采用 ANP 四面体单元,但在剪切变形的求解中经常导致单元锁定。ANSYS 14.0 中新引入了 NBS 四面体单元,从而消除了 ANP 四面体单元经常遇到的单元锁定问题。

➤ ANSYS HFSS 与 ECAD 工具可直接连接,同时 SIwave 的精确性和可用性亦得到了增强

Ansoft Designer 具备了新的数据连接能力,用户可以在任何一款的 Cadence 布线工具中创建 ANSYS HFSS 模型,所有建模步骤和过程均可在 Cadence 设计环境中完成。

对于非 Cadence 用户来说,可以利用 ODB 格式将版图直接导入 Ansoft Designer 中,用户可以在版图编辑器中非常方便和快速地对导入的版图进行编辑和自动定义激励端口,最后利用 HFSS 对导入的结构进行求解。

SIwave 在对孔及其相关结构精确仿真与建模方面亦进行了重要改进,包括对任意形状的反焊盘精确建模,更准确的耦合过孔模型以及采用新的改进方法计算无参考平面的信号线。SIwave 可以在软件内部直接启动运行 HSPice 或 ANSYS Nexxim 瞬态仿真工具,当仿真计算结

束后, 还能够 SIwave 中直接对信号网络进行瞬态仿真并得到时域波形。

➤ 三维集成电路封装和电子冷却流程的易用性

目前集成电路封装厂商在不断地发展更复杂的封装技术, 如系统芯片、叠层芯片和多芯片模块, 以确保芯片性能的提高。在 ANSYS Icepak 14.0 中, 工程师能模拟三维叠层芯片和不同封装方式的热响应值。

ANSYS Icepak 14.0 还具有新的用户界面并扩展了右键点击功能, 同时还加强了图形和许多附加提高效率的功能。在 ANSYS DesignModeler 中, 工程师可以从机械 CAD 数据中快速简化和创建 Icepak 对象。

➤ 加强了 ANSYS EKM 产品的功能和效率

ANSYS EKM 14.0 带来了新的重要功能。EKM 个人设置允许用户在自己的电脑上设置 EKM 服务器, 用户可以访问单个服务器上的私人知识库以及访问 EKM 的全部功能。

EKM 共享服务器设置允许在共享设备上设置 EKM 服务器, 多个用户能以协作模式访问它。多个用户还能访问 LAN 或 WAN 上的共享知识库。

在 EKM 14.0 和 Workbench 的集成平台上, 允许直接把当前的项目保存到选定的 EKM 知识库, 也可以搜索一个项目, 再在选定的知识库中打开它。

用户还可以直接在 EKM 中打开和保存 ANSYS Workbench 项目, 这促进了当前项目的保存和升级, 还可以对项目进行显示、确认、搜索和重新使用。

1.1.2 复杂系统的仿真

在新版本中复杂系统和多物理场的综合仿真得到了进一步的提高。

➤ 自动模拟仿真

在 ANSYS Workbench 14.0 中新增了内燃机 (IC engine) 分析系统, 该分析系统可以创建内燃机 CFD 模型以及进行网格划分, 包括带有进/排气口和运动阀门的内燃机, 这样用户能以极高的效率进行完整的内燃机系统仿真。

➤ 双向耦合

ANSYS 14.0 中在多物理场仿真中增加了 ANSYS Fluent 和 ANSYS Mechanical 之间的双向流-固耦合仿真功能。较之先前版本, 在 14.0 的系统耦合组件中用户可以非常容易地设置多物理场仿真。

➤ 高级模型

新版本中增加了许多高级材料模型, 扩展了许多现有模块功能。如形状记忆合金支架模拟、扬声器的耦合声学仿真、考虑水分扩散影响的电子部件的热-结构和耦合场的仿真等。

➤ 扩展低频、结构和流体耦合

在 Fluent 的单向电磁耦合中, 可以将 CFD 结果如温度场传至电磁设计中, 从而整个仿真系统就能在 ANSYS Workbench 中进行优化设计。

同样, 在电磁结构分析中, 由于电磁力的影响会导致结构变形, 此时采用双向电磁-应力分析耦合就能考虑到这些因素的相互影响。如用户可以在 Maxwell 中计算结构温度, 再将结果传给 Fluent 中计算温度场。

➤ 欧拉壁面液膜和多分散流模拟

欧拉壁面液膜模型是多相流模型中新添加了子模型, 该模型能预测液滴在壁面堆积后形成的液膜, 包括液体飞溅、颗粒成带状、液膜在壁面边缘分离。液滴的进入和分离是通过与

DPM 模型耦合来实现的。

工业过程中,经常需要模拟多分散流和多相流,如喷雾、气固两相流、气液两相流等。而在 ANSYS 14.0 中,包括增强的颗粒流和相变模型,如用户既可以在欧拉模型中也可以在拉格朗日模型框架下实现计算颗粒尺寸分布的流动。

1.1.3 HPC 驱动创新

新版本中 HPC 驱动创新主要体现在以下几个方面:

➤ 流体求解器与 HPC

在 ANSYS 的每个版本中都在不断地加强求解器和 HPC 性能。新版本中包括架构相关的分区、改进能监测仿真线性化、支持异构网络的远程求解管理等综合功能。同时还支持自动标识“差网格单元”,并用更稳健的数值方法来改进求解器求解这些“差网格单元”的精度。

➤ 旋转机械模拟

ANSYS CFX 14.0 瞬态叶栅方法可用于计算单个流道的三类问题。首先,入口扰动值能设置成不同相位角。其次,在叶片流道就能设置动网格,从而可以模拟叶片颤振。第三,能用两个不同叶距的单流道来模拟整个全级(转子和定子)。所有这些都大幅地减少了计算代价。其应用涵盖了叶轮机里的多级轴流、混流、离心压缩机、涡轮、风机、水泵。

➤ 结构计算与 HPC

工程上经常要做大模型的计算仿真,这需要更大量的计算资源。随着计算机硬件的不断发展,如 GPU 性能飞速发展。在 ANSYS Mechanical 14.0 中,用户能利用最新一代的 GPU,同时还减少了后处理过程需要的 I/O。

➤ 有限大阵列分析

在天线设计中,有限大阵列天线的仿真是一个非常重要的课题。由于其尺寸大、结构复杂、端口数多的原因,有限大天线阵列的三维仿真一直比较困难。因此普遍接受的做法就是采用单元法仿真。此法利用连接边界条件(周期性边界条件)来近似创建无限大阵列,再利用阵列因子计算有限大阵列的辐射特性。但是由于忽略了阵列的边缘效应,故远场方向的结果就不够准确。而在 14.0 中采用新的计算方法,能够准确地建立有限大阵列天线模型并将阵列边缘效应考虑在内,从而得到精确的远场结果。

➤ 物理光学法求解

对于飞行器和船舶等大型电磁结构,由于其尺寸太大,故三维全波电磁工具求解非常困难,通常的做法是利用物理光学法求解。新的 HFSS 在标准有限元与积分方程法求解器基础上,还同时提供了物理光学法求解器,从而就可以快速仿真超大尺寸问题。

登录 www.ansys.com 网站,可了解 Workbench 14.0 更多的详细特点与改进之处。

1.2 ANSYS Workbench 14.0 的工作流程^[2]

ANSYS Workbench 14.0 实际就是 ANSYS 各类求解器和功能应用的仿真设计管理集成平台,其工作台可组成各种不同的工程应用,典型的 Workbench 14.0 工作流程如图 1-1 所示。

ANSYS 家族的具体产品主要有如下:

➤ ANSYS Workbench Applications: 这实际上可认为是 ANSYS 产品的应用框架,如 CFD、

结构力学、刚体动力学、电磁分析、优化设计等。

- **Mechanical APDL:** ANSYS 经典版即传统版, 简称 MAPDL。
- **ANSYS CFD:** ANSYS 的流体动力学软件, 主要包括 CFX 和 FLUENT。
- **ANSYS ICEM CFD:** 带有前、后处理特征的网格划分软件。
- **ANSYS AUTODYN:** ANSYS 的显式动力学软件。
- **ANSYS LS-DYNA:** LSTC 的显式动力学软件, 可在 ANSYS 中进行前、后处理。

1.2.1 启动 ANSYS Workbench 14.0 的方法

启动 ANSYS Workbench 14.0 共有两种方法:

- 在“开始”菜单中执行 ANSYS 14.0> Workbench 命令, 如图 1-2 所示。

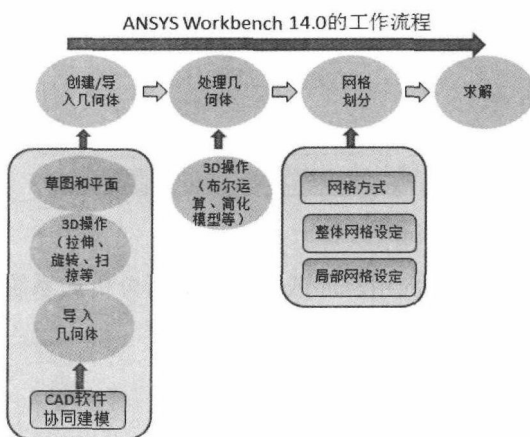


图 1-1 ANSYS Workbench 14.0 工作流程

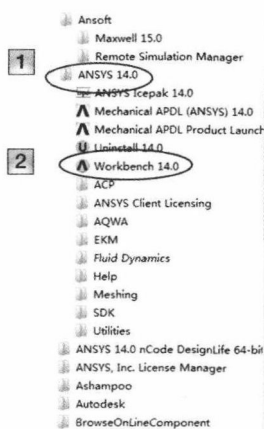


图 1-2 从菜单中启动 Workbench

- 直接从 CAD 系统中进入 Workbench 14.0 中, 如图 1-3 所示就是从 UGNX 中启动。



图 1-3 从 CAD 系统启动 Workbench

1.2.2 ANSYS Workbench 14.0 的用户界面 (GUI)

ANSYS Workbench 14.0 的 GUI 是由工具箱 (Toolbox)、项目视图区 (Project Schematic)、主菜单栏 (Main Menu Bar)、用户工具箱 (Customize Toolbox)、状态栏 (Status)、进程窗 (Progress Window) 和信息窗 (Message Window) 组成, 如图 1-4 所示。

其中工具箱 (Toolbox) 由四部分组成:

- **Analysis Systems:** 主要用于预定义模板。

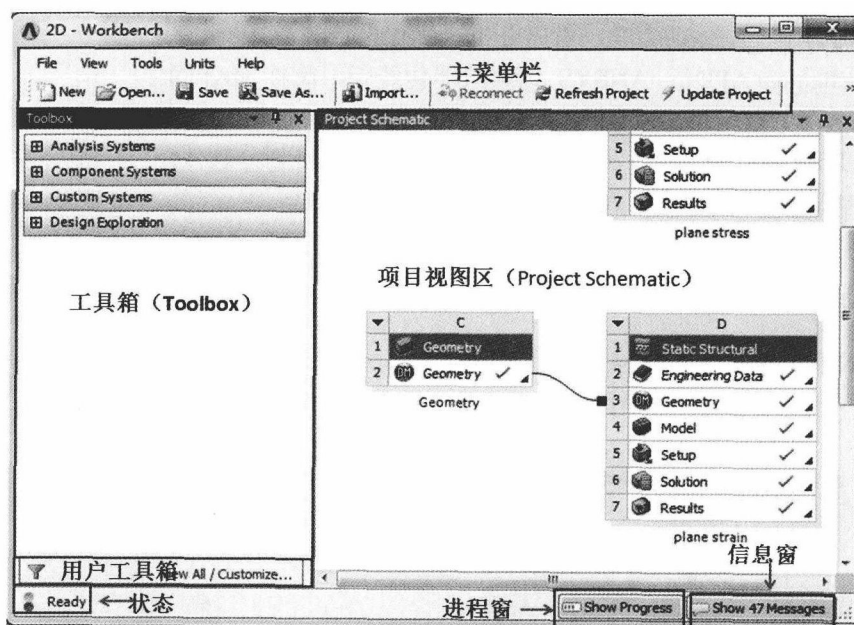


图 1-4 ANSYS Workbench 的 GUI

- **Component Systems:** 用于建立各种不同的应用程序或用来扩展所分析的系统。
- **Custom Systems:** 用于预先定义耦合系统。
- **Design Exploration:** 用于优化和参数管理。

工具箱 (Toolbox) 如图 1-5 所示。

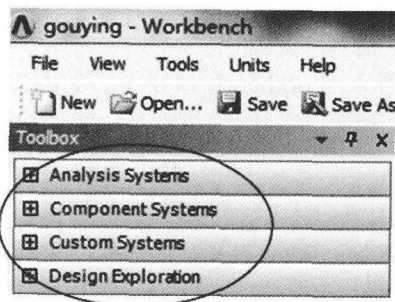


图 1-5 工具箱 (Toolbox)

Toolbox 区显示的具体内容将取决于用户所安装的不同产品,所有这些产品都可在 Toolbox 区显示,具体展开后如图 1-6 所示。

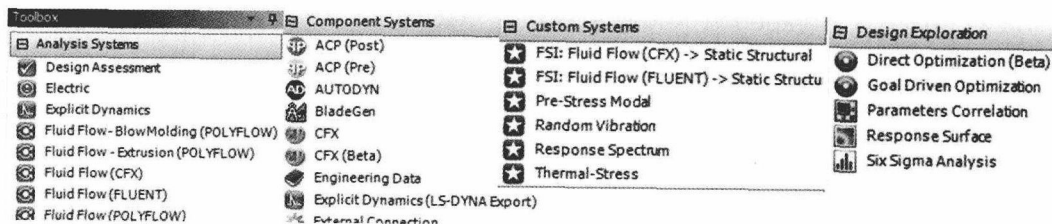


图 1-6 展开 Toolbox

通常情况下图 1-7 中的（用户工具箱）Toolbox Customization 窗口是关闭的。

项目视图区（Project Schematic）是用一个图形代表所定义的一个或一组系统的工作流程，通常是按从左到右的顺序排列。图 1-8 的这个例子代表的是静态结构分析类型的项目示意图。这只需要在 Toolbox 栏上双击或直接拖住 Static structural 图标到 Project Schematic 区即可。通过拖放应用程序到 Project Schematic 区的不同地方，就定义好了一个分析项目。



图 1-7 customization 窗口

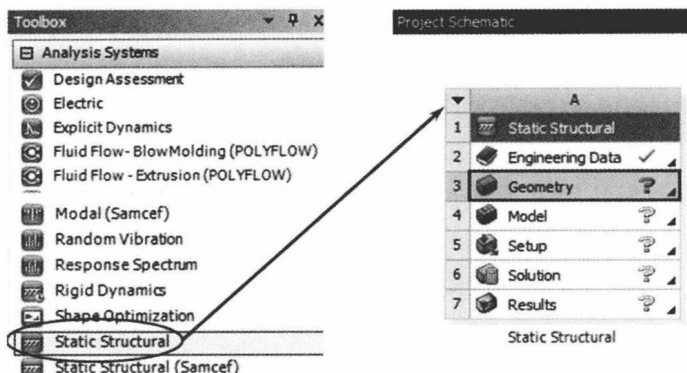


图 1-8 静态结构分析项目

此外，在 ANSYS Workbench 14.0 中，一些常见的图标含义如表 1-1 所示。

表 1-1 常见的图标含义

图标	图标解释
?	缺少上游数据
?	可能需要修正格或上游格数据
↺	刷新要求：上游格数据已改，需要刷新格数据
⚡	更新要求：数据已变，须更新
✓	更新
✓	输入变化等待：格是当前最新的，但由于上游的变化，可能会改变下次更新

1.3 ANSYS Workbench 14.0 的文件管理

在 ANSYS Workbench 14.0 中是通过创建一个项目文件和一系列子目录来管理所有相关文件的。用户应该允许 ANSYS Workbench 14.0 管理其内容。在这些目录中，一般不要随便手动修改其内容或结构的项目目录。当创建了单个项目保存文件（格式为 .wbpj）后，用户指定的项目文件名称（如 qianjin.wbpj）、一些子目录等都将创建在该项目目录下，如图 1-9 所示。

也就是说 ANSYS Workbench 14.0 文件格式的目录结构如下：

- **dpn**：这是设计点目录，是所有参数的分析所必需的。一般在一个单一的分析里只会 有一个 dp0 目录。



图 1-9 Workbench 14.0 的文件管理

- **Geom:** 用于仿真用的几何体。
- **global:** 包含每个子目录中的应用分析。
- **SYS:** 在 SYS 目录中包含每个系统类型的子目录项目。
- **user_files:** 包含用户宏文件、输入文件等。

用户若想看清整个项目的文件，从 View 的菜单激活 Files 选项，就可以显示相关文件的细节，如图 1-10 所示。

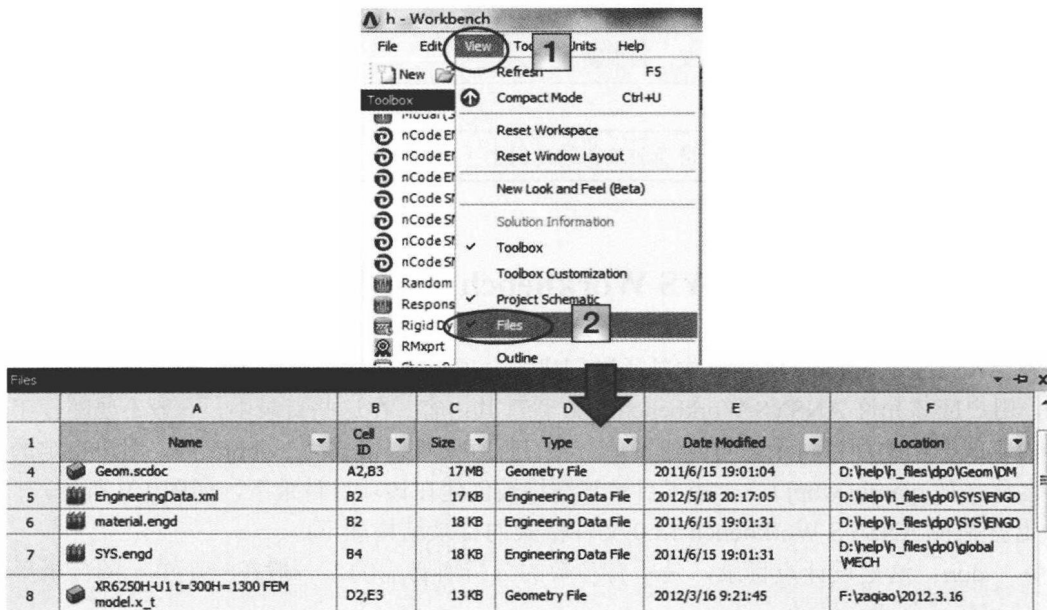


图 1-10 显示文件的细节