

第2版

# ANSYS Workbench

## 设计、仿真与优化

李兵 何正嘉 陈雪峰 编著

清华大学出版社

李兵 何正嘉 陈雪峰 编著

# ANSYS Workbench 设计、仿真与优化

第2版

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是在第1版的基础上改编而成,以最新版 ANSYS Workbench 13.0 为依据,以工程人员产品设计的流程为主线,由浅入深地介绍了 ANSYS Workbench 在产品设计与仿真和优化过程中的具体功能、使用方法和应用实例。全书共 11 章,第 1 章介绍 ANSYS Workbench 的特点和组织形式;第 2 章介绍 ANSYS Workbench 设计模块 DesignModeler 的几何建模方法和实例;第 3~9 章从产品静力学、动力学、运动学、屈曲分析、热力学、疲劳分析和流固耦合分析七个方面介绍 ANSYS Workbench 仿真模块 DesignSimulation 的操作方法和工程实例;第 10 章介绍 ANSYS Workbench 优化模块 DesignXplorer 的产品优化功能和案例;第 11 章介绍 ANSYS Workbench 高级使用技巧,包括 ANSYS Workbench 中命令流的使用以及二次开发语言 API 等多种高级功能的深入应用方法。附录中总结了 ANSYS Workbench 相关的 22 个常见问题。

本书可作为机械、能源、电子通信、航空航天等专业的大学本科生和研究生的参考书、教学用书和实验指导书,也可供相关领域从事产品设计、仿真和优化的工程技术人员参考。

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 设计、仿真与优化/李兵等编著. --2 版. --北京:清华大学出版社,2011.9  
ISBN 978-7-302-26539-9

I. ①A… II. ①李… III. ①有限元分析—应用程序,ANSYS Workbench—高等学校—教材  
IV. ①O241.82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 173243 号

责任编辑:庄红权 赵从棉

责任校对:赵丽敏

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

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

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:10.25

字 数:248 千字

版 次:2011 年 9 月第 2 版

印 次:2011 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:22.00 元

产品编号:043470-01

## 第 2 版前言

本书是在第 1 版的基础上改编而成的,同时根据读者的建议对某些内容做了修改,并增加了新的内容,主要包括:

- (1) 新增了一节有关产品仿真分析项目管理的内容;
- (2) 新增了一章有关屈曲分析的内容;
- (3) 新增了一节有关瞬态热应力分析的内容;
- (4) 新增了一章有关流固耦合分析的内容;
- (5) 新增了 ANSYS Workbench 使用过程中最常见的 22 个问题解答。

本书由李兵、何正嘉、陈雪峰编著。在本书的写作过程中,段鹏、赵海斌、郭亚东等同学参与了文稿写作、绘图及其他方面的工作,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免会有疏漏和不妥之处,殷切希望读者给予批评和指正。另外,本书配有很多模型,读者可通过 <http://unit.xjtu.edu.cn/imea/html/download.htm> 网站下载使用。

编者

2011 年 8 月

# 第 1 版前言

在科技发展日新月异的今天,传统的产品研发模式正发生着根本性的变革。过去,企业产品开发人员分为负责图纸设计和 CAD 建模的设计工程师、专职产品性能分析的仿真工程师和决定产品最优化设计方案的优化工程师等。而现在,随着企业更加注重研发成本的控制以及计算机辅助工程(CAE)软件的快速发展,传统的分工界限已被打破。既懂设计、仿真,又掌握优化方法的技术人员已成为企业的新宠儿。

ANSYS Workbench 作为 ANSYS 公司于 2002 年开发的新一代产品研发平台,不但继承了 ANSYS 经典平台(ANSYS Classic)在有限元仿真分析上的所有功能,而且融入了 UG、PRO/E 等 CAD 软件强大的几何建模功能和 ISIGHT、BOSS 等优化软件在优化设计方面的优势,真正实现了集产品设计、仿真和优化功能于一身,可以帮助技术人员在同一软件环境下完成产品研发过程中的所有工作,从而大大简化了产品开发流程,加快了上市周期。ANSYS 公司正全力推广 ANSYS Workbench,并计划在未来 5 年内全面替代原经典平台。由于 ANSYS Workbench 软件推出的时间较晚,虽然市面上介绍 ANSYS 经典平台的书籍很多,但是尚缺乏一本专业而又系统地阐述 ANSYS 新一代平台 ANSYS Workbench 使用方法和应用状况的书籍,而这又是目前技术人员所迫切需要的。

本书在一定理论描述的基础上,通过大量、丰富的实例对 ANSYS Workbench 软件的设计、仿真与优化三个模块进行了详细而具体的介绍,将 ANSYS Workbench 的软件学习融于实际工程问题的解决过程之中。书中每个例题都通过图形用户界面及命令流两种方式向读者做了详细的介绍,这样既可以满足渴望入门的新手在较短的时间内快速入门的需求,又可以兼顾希望解决实际工程问题的高级用户借鉴分析思路,提高求解效率的需要。相信本书的推出,必将成为不同行业技术人员案头必备的参考书之一。为了便于读者的理解,用工程实例来阐述基本原理和软件使用方法,努力使本书在以下几个方面形成特点。

(1) 内容编排与产品设计流程一致。全书的内容编排与工程人员产品设计的流程一致,由浅入深地介绍了 ANSYS Workbench 在产品设计、仿真与优化过程中的具体功能、使用方法和应用实例。

(2) 实例教学,可读性强。本书在一定理论描述的基础上,通过大量、丰富的实例对 ANSYS Workbench 软件的设计、仿真与优化三个模块进行了详细而具体的介绍,将对 ANSYS Workbench 的软件学习融于实际工程问题的解决过程之中,具有很强的可读性。

(3) 适应市场需求。本书针对目前 ANSYS Workbench 在市场上已广泛使用而又缺乏参考书籍的问题而写,具有很好的市场推广价值和使用价值。

(4) 广泛的读者群。书中所有的例题均经过精心的设计与筛选,代表性强,涉及的行业包括机械、能源、电子通信、航空航天等各个行业,具有广泛的读者群。

由于作者水平有限,书中难免会有疏漏和不妥之处,殷切希望读者给予批评和指正。另外,本书配有很多模型,读者可通过 <http://unit.xjtu.edu.cn/imea/html/download.htm> 网站下载使用。

编 者

2008年8月

# 目 录

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <b>第 1 章 ANSYS Workbench 基础</b> ..... | 1  |
| 1.1 ANSYS Workbench 概述 .....          | 1  |
| 1.2 ANSYS Workbench 产品设计流程和文件格式 ..... | 3  |
| 1.2.1 ANSYS Workbench 产品设计流程 .....    | 3  |
| 1.2.2 文件格式 .....                      | 4  |
| 1.3 ANSYS Workbench 13.0 启动和配置 .....  | 4  |
| 1.4 ANSYS 帮助资源 .....                  | 6  |
| 1.5 CAE 项目管理 .....                    | 6  |
| 1.5.1 产品 CAE 设计流程 .....               | 6  |
| 1.5.2 CAE 项目管理概述 .....                | 7  |
| <b>第 2 章 几何建模技术</b> .....             | 9  |
| 2.1 几何建模基础 .....                      | 9  |
| 2.1.1 建模环境 .....                      | 9  |
| 2.1.2 二维草图绘制 .....                    | 11 |
| 2.1.3 三维建模 .....                      | 14 |
| 2.1.4 线面建模 .....                      | 15 |
| 2.2 轴承座建模实例 .....                     | 20 |
| <b>第 3 章 静力学分析</b> .....              | 28 |
| 3.1 静力学分析基础 .....                     | 28 |
| 3.1.1 结构静力学分析简介 .....                 | 30 |
| 3.1.2 AWE 静力学分析基本过程 .....             | 31 |
| 3.2 汽车驱动桥桥壳强度校核 .....                 | 31 |
| 3.2.1 工程背景 .....                      | 31 |
| 3.2.2 分析关键 .....                      | 32 |
| 3.2.3 分析步骤 .....                      | 33 |
| 3.3 薄壁注塑模具的强度分析 .....                 | 42 |
| 3.3.1 工程背景 .....                      | 42 |
| 3.3.2 分析关键 .....                      | 42 |
| 3.3.3 分析步骤 .....                      | 43 |
| <b>第 4 章 动力学分析</b> .....              | 47 |
| 4.1 动力学分析基础 .....                     | 47 |

|            |              |           |
|------------|--------------|-----------|
| 4.2        | 水下航行器模态分析    | 48        |
| 4.2.1      | 基础           | 48        |
| 4.2.2      | 分析关键         | 48        |
| 4.2.3      | 分析步骤         | 48        |
| 4.3        | 振动电机轴谐响应分析   | 54        |
| 4.3.1      | 基础           | 54        |
| 4.3.2      | 分析关键         | 54        |
| 4.3.3      | 分析步骤         | 55        |
| 4.4        | 机柜随机振动分析     | 60        |
| 4.4.1      | 基础           | 60        |
| 4.4.2      | 分析关键         | 60        |
| 4.4.3      | 分析步骤         | 61        |
| <b>第5章</b> | <b>运动学分析</b> | <b>64</b> |
| 5.1        | 机构运动学分析基础    | 64        |
| 5.2        | 轻型打桩机机构运动学分析 | 65        |
| 5.2.1      | 工程背景         | 65        |
| 5.2.2      | 分析关键         | 66        |
| 5.2.3      | 分析步骤         | 66        |
| <b>第6章</b> | <b>屈曲分析</b>  | <b>72</b> |
| 6.1        | 屈曲分析基础       | 72        |
| 6.1.1      | 线性(特征值)屈曲分析  | 72        |
| 6.1.2      | 非线性屈曲分析      | 72        |
| 6.2        | 风力发电机塔架屈曲分析  | 73        |
| 6.2.1      | 工程背景         | 73        |
| 6.2.2      | 分析关键         | 73        |
| 6.2.3      | 分析步骤         | 73        |
| <b>第7章</b> | <b>热力学分析</b> | <b>77</b> |
| 7.1        | 热分析基础        | 77        |
| 7.1.1      | 稳态热分析        | 77        |
| 7.1.2      | 瞬态热分析        | 78        |
| 7.2        | 气缸盖稳态温度场分析   | 78        |
| 7.2.1      | 工程背景         | 78        |
| 7.2.2      | 分析关键         | 78        |
| 7.2.3      | 分析步骤         | 79        |
| 7.3        | 印刷电路板瞬态热应力分析 | 83        |
| 7.3.1      | 工程背景         | 83        |

|               |                            |            |
|---------------|----------------------------|------------|
| 7.3.2         | 分析关键 .....                 | 84         |
| 7.3.3         | 分析步骤 .....                 | 84         |
| 7.4           | 涡轮增压器涡壳瞬态温度场分析和热应力分析 ..... | 90         |
| 7.4.1         | 工程背景 .....                 | 90         |
| 7.4.2         | 分析步骤 .....                 | 90         |
| <b>第 8 章</b>  | <b>疲劳分析 .....</b>          | <b>94</b>  |
| 8.1           | 疲劳分析基础 .....               | 94         |
| 8.1.1         | 疲劳分析定义 .....               | 94         |
| 8.1.2         | 疲劳问题的分析过程 .....            | 94         |
| 8.2           | 按键疲劳分析 .....               | 95         |
| 8.2.1         | 工程背景 .....                 | 95         |
| 8.2.2         | 分析关键 .....                 | 96         |
| 8.2.3         | 分析步骤 .....                 | 96         |
| <b>第 9 章</b>  | <b>流固耦合分析 .....</b>        | <b>100</b> |
| 9.1           | 流固耦合分析基础 .....             | 100        |
| 9.2           | 海流发电机透平流固耦合分析 .....        | 101        |
| 9.2.1         | 工程背景 .....                 | 101        |
| 9.2.2         | 分析关键 .....                 | 101        |
| 9.2.3         | 分析步骤 .....                 | 101        |
| <b>第 10 章</b> | <b>优化设计 .....</b>          | <b>117</b> |
| 10.1          | 优化设计基础 .....               | 117        |
| 10.1.1        | 优化设计的基本原理 .....            | 117        |
| 10.1.2        | 优化设计的分类 .....              | 118        |
| 10.1.3        | 优化设计的分析步骤 .....            | 119        |
| 10.2          | 支架拓扑结构优化设计 .....           | 119        |
| 10.2.1        | 工程背景 .....                 | 119        |
| 10.2.2        | 分析关键 .....                 | 119        |
| 10.2.3        | 分析步骤 .....                 | 120        |
| 10.3          | 散热器形状优化设计 .....            | 122        |
| 10.3.1        | 工程背景 .....                 | 122        |
| 10.3.2        | 分析步骤 .....                 | 123        |
| <b>第 11 章</b> | <b>二次开发初步 .....</b>        | <b>131</b> |
| 11.1          | 二次开发基础 .....               | 131        |
| 11.2          | 参数化程序设计语言 .....            | 131        |
| 11.2.1        | APDL 简介 .....              | 131        |

---

|                           |             |     |
|---------------------------|-------------|-----|
| 11.2.2                    | APDL 的参数和宏  | 132 |
| 11.2.3                    | 气动刹车装置非线性分析 | 133 |
| 11.3                      | 客户化定制       | 138 |
| 11.3.1                    | 客户化定制简介     | 138 |
| 11.3.2                    | 客户化定制实例     | 138 |
| 附录 A ANSYS Workbench 常见问题 |             | 142 |
| 参考文献                      |             | 154 |

# 第 1 章 ANSYS Workbench 基础

## 1.1 ANSYS Workbench 概述

随着计算机辅助工程(CAE)技术在工业应用领域的不断发展,它在提高产品设计质量、缩短周期、节约成本方面发挥了越来越重要的作用。目前,CAE 分析的对象已由单一的零部件拓展到系统级的装配体如飞机、汽车等整机的仿真。同时,其分析的领域已不再局限于结构力学,已涉及流体力学、热力学、电磁学、多场耦合等更加丰富的物理空间。而且,CAE 分析不再仅仅是专职分析人员的工作,设计人员参与 CAE 分析已经成为必然。

ANSYS Workbench Environment(AWE)作为新一代多物理场协同 CAE 仿真环境,其独特的产品架构和众多支撑性产品模块为产品整机、多场耦合分析提供了非常优秀的系统级解决方案。它所包含的三个主要模块<sup>[1]</sup>——几何建模模块 DesignModeler、有限元分析模块 DesignSimulation 和优化设计模块 DesignXplorer 将设计、仿真、优化集成于一体,便于设计人员随时打开不同功能模块进行双向参数互动调用,使与仿真相关的人、部门、技术及数据在统一环境中协同工作。具体来讲,AWE 主要具有以下特色。

(1) 强大的装配体自动分析功能。针对航空、汽车、电子产品结构复杂、零部件众多的技术特点,AWE 可以识别相邻的零件并自动设置接触关系,从而可节省模型建立的时间。而现行的许多软件均需要手动设置接触关系,这不但耗时同时还容易出错。除此之外,AWE 还提供了许多工具,以方便手动编辑接触表面或为现有的接触指定接触类型。

AWE 提供了与 CAD 软件及设计流程高度的整合性,从而最大限度地发挥 CAE 对设计流程的贡献。最新的 AWE 使用接口,可与 CAD 系统中的实体及曲面模型双向连接,具有更高的 CAD 几何导入成功率,当 CAD 模型变化时,不需对所施加的负载和支撑重新定义;AWE 与 CAD 系统的双向相关性还意味着,通过 AWE 的参数管理可方便地控制 CAD 模型的参数,从而提高设计效率;AWE 的这一功能,还可对多个设计方案进行分析,自动修改每一设计方案的几何模型。

(2) 自动化网格划分功能。以往许多 CAE 用户都花大量的时间在建立网格上,AWE 在大型复杂部件,如飞机组装配件的网格建立上独具特色,自动网格生成技术可使用户大大节省时间。根据分析类型不同,有很多因素影响分析的精度。传统的专业分析人员花大量的时间来掌握各种分析,手动处理模型以保证分析的精度;而对于设计人员来讲,其所关注的应该是自己的产品设计,而不是有限元方法,因此需要一个可靠的工具来替代传统的工具,尽可能实现自动化。

- 自适应网格划分,对于精度要求高的区域会自动调整网格密度。
- 自动化网格划分,生成形状、特性较好的元素,保证网格的高质量。
- 自动收敛技术,是自动迭代过程,通过自适应网格划分以使指定的结果达到要求的精度。例如,如果对装配中某一个零件的最大应力感兴趣,可指定该零件的收敛

精度。

- 自动求解器选择。AWE 根据所求解问题的类型自动选择适合的求解器求解。

(3) 协同的多物理场分析环境及行业化定制功能。CAE 技术涵盖了计算结构力学、计算流体力学、计算电磁学等诸多学科专业,而航空产品的设计对这几个学科专业都有强烈的 CAE 需求。单个 CAE 软件通常只能解决某个学科专业的问题,导致使用者需要购买一系列由不同公司开发的、适应不同应用领域的软件,并将其组合起来解决实际工程问题,这不但增加了软件投资,而且很多问题会由于不同软件间无法有效而准确地传递数据而根本不能实现真正的耦合仿真计算。目前,全面的、真正的“多物理场耦合分析”(如图 1.1 所示)时代已经来临,多场分析能力已经成为现代 CAE 软件技术水平的重要标志。

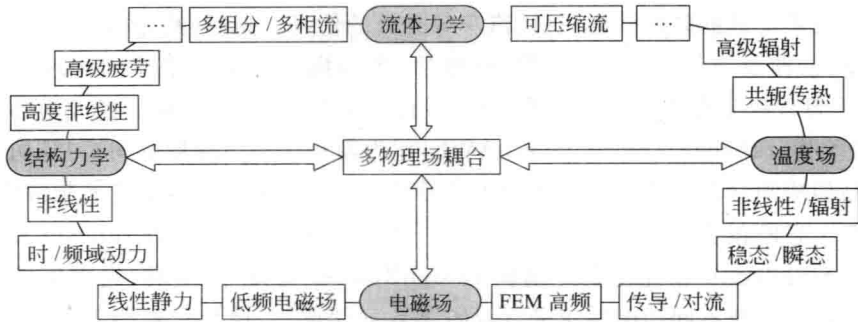


图 1.1 现代高级 CAE 软件 AWE 组合分析能力

图 1.2 是一个典型的叶片流固热耦合分析流程图。

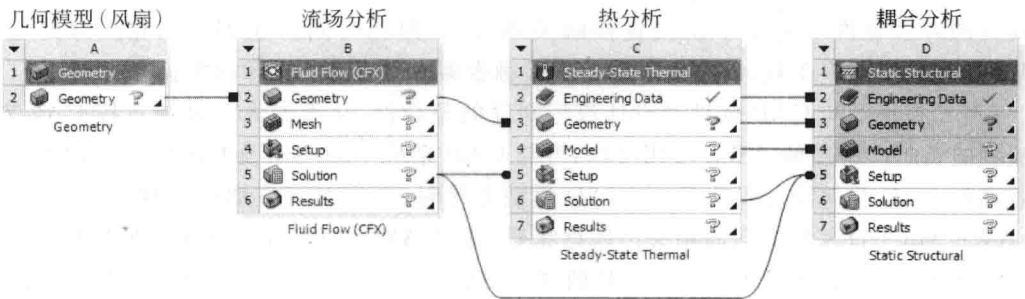


图 1.2 典型叶片流固热耦合分析流程图

从图 1.2 中可以看出对于确定的风扇几何模型,首先将其导入到流场分析模块,进行流场分析以获得风扇的空气速度场以及叶片压力场分布,所得的流场分析结果传送给热分析模块,计算给定空气流速作用下风扇的温度场分布,最后在耦合计算中考虑流场计算所得的叶片压力场分布和热分析得到的叶片温度场分布,分析叶片在受到位移、流体压力和温度载荷共同作用下的变形和应力<sup>[2]</sup>。

(4) 快捷的优化工具 DesignXplorer。AWE 本身既是一个成熟的多物理场协同 CAE 仿真平台,又是一个基于最新软件技术的开放式开发平台,利用其开发包 Workbench SDK 可以非常便捷地实现诸如专用程序开发、流程自动化和简化、专家经验的保存和固化、分析规范的保存和固化、自有程序的包装、其他程序的集成等众多的用户化开发功能。在

Workbench 基础上,设计与分析间的关系就简化为如下两项工作。

- 分析部门(或人员)根据需求为设计部门量身定做针对各种特定产品的专用分析程序,这些程序融专家经验、自有程序、分析规范等为一体,完全专用化和自动化,一次定制,终身受益。
- 设计部门(或人员)在针对性极强的专用程序上轻松实现设计、分析、优化、评价等工作;AWE 多物理场协同仿真环境充分体现了 ANSYS 公司“面向实实在在的工业需求,以技术为本,以优化用户产品研发流程为目标,为用户提供完整 CAE 解决方案”的宗旨。在 AWE 环境下,整个 CAE 应用的方式和意义都将发生革命性的变化。

仿真分析的目的是优化产品性能,AWE/DesignXplorer 是基于 DSDB 数据库文件的参数优化工具,结合 CAD 系统/AGP 和 DesignSpace/AWE 进行优化:在 CAD 系统/AGP 中进行参数化建模,在 DesignSpace 或 AWE 中进行初步的分析,并确定感兴趣的参数,在 DesignXplorer 中进行参数优化。

优化参数可以是 CAD 模型的几何参数、结构形式、施加的边界条件、求解得到的分析结果等,也可以是由这些参数进行数学运算后派生出来的参数,既可以进行连续性参数和离散化参数的优化,又可以进行单目标/多目标的优化,得到设计空间的三维设计响应面/二维设计曲线,并自动根据优化结果更新几何模型文件。

因此,作为新一代多物理场协同 CAE 仿真环境,AWE 以其独特的产品架构和众多支撑性产品模块已为越来越多的产品提供了非常优秀的系统级解决方案。

## 1.2 ANSYS Workbench 产品设计流程和文件格式

### 1.2.1 ANSYS Workbench 产品设计流程

ANSYS Workbench 提供一个集成统一的仿真环境帮助工程人员完成产品 CAE 开发的全过程。在 ANSYS Workbench 环境下,典型的项目开发,包括以下模块:

- DesignModeler,几何建模和 CAD 模型导入模块;
- DesignSimulation,结构、热和电磁有限元分析模块;
- DesignXplorer,最优化设计模块。

ANSYS Workbench 统一的开发环境以及具有攀升化的设计方案,帮助企业真正实现产品设计、仿真到优化的协同。其中,DesignSimulation 与 CAD 系统之间可进行双向模型参数互动,可将 ANSYS 嵌入 CAD 运行环境,使用 CAD 环境中的几何模型的链接,不存在模型转换失真的棘手问题。同时,DesignSimulation 从 CAD 中导入装配体时可以自动建立装配接触关系。这样,设计人员可以在 DesignSimulation 中进行零件以及装配体性能的初步快速分析,并确定感兴趣的区域和性能,再利用 DesignSimulation 中高端 CAE 仿真工具和疲劳分析模块——FatigueModule 对产品强度、动力学特性以及疲劳寿命进行深入的认知,确定优化设计参数,最后在多目标优化模块——DesignXplorer 中同步优化参数,改进产品设计。

软件系统的主框架如图 1.3 所示。

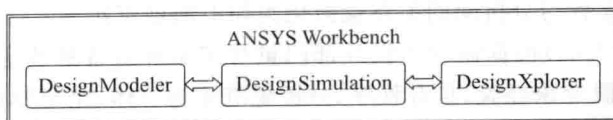


图 1.3 AWE 系统框架图

除了上述的主要流程模块之外,AWE 还包括以下辅助模块。

- Engineering Data,用于设定材料和载荷加载信息。
- FE Modeler,用于输入来自 NASTRAN、ABAQUS 或 DesignSimulation 所建立的网格模型,作为 ANSYS 有限元分析的输入。它也能将网格模型反演生成几何模型。
- ANSYS AUTODYN,爆炸、冲击等结构显式动力学分析模块。

### 1.2.2 文件格式

AWE 中涉及的主要文件的类型及格式如表 1.1 所示。

表 1.1 AWE 中文件格式说明

| 文 件 名         | 类 型 说 明   |
|---------------|---|
| jobname. wbdb | Workbench 项目数据库文件,用于管理项目中的不同类型模块文件                        |
| jobname. agdb | DesignModeler 数据库文件,用于存储几何模型信息                            |
| jobname. cmdb | CFX-Mesh 数据库文件,用于存储流体网格信息                                 |
| jobname. dsdb | DesignSimulation 数据库文件,存储结构、热和电磁仿真中的所有模型信息                |
| jobname. eddb | Engineering Data 数据库文件                                    |
| jobname. fedb | FE Modeler 数据库文件,用于存储从 NASTRAN 或 DesignSimulation 输入的网格信息 |
| jobname. ad   | ANSYS AUTODYN 数据库文件,用于存储显式分析软件 AUTODYN 必需的信息              |
| jobname. dxdb | DesignXplorer 数据库文件,用于存储优化方程中设计参数和目标参数的关联信息               |

## 1.3 ANSYS Workbench 13.0 启动和配置

用交互式方式启动 Workbench: 选择“开始”→“程序”→ANSYS 13.0→Workbench。双击左边 Toolbox 卷展栏中的图标可启动需要使用的模块,界面如图 1.4 所示。

ANSYS Workbench 13.0 运行环境配置主要是在启动界面设置以下选项。

(1) 选择 ANSYS Workbench 产品。AWEh 软件是集设计、仿真与优化为一体的系统仿真产品,设计人员可以根据自己的要求选择相应的功能模块进行分析。

(2) 选择 ANSYS Workbench 工作目录。AWE 默认的工作目录为系统盘的用户临时文件夹,AWE 所有生成的文件都将写在此目录下。需要注意的是如果分析项目规模较大,系统盘空间不够时,可以将 AWE 的工作目录设置在空间较大的磁盘中。具体修改位置可参见图 1.5。

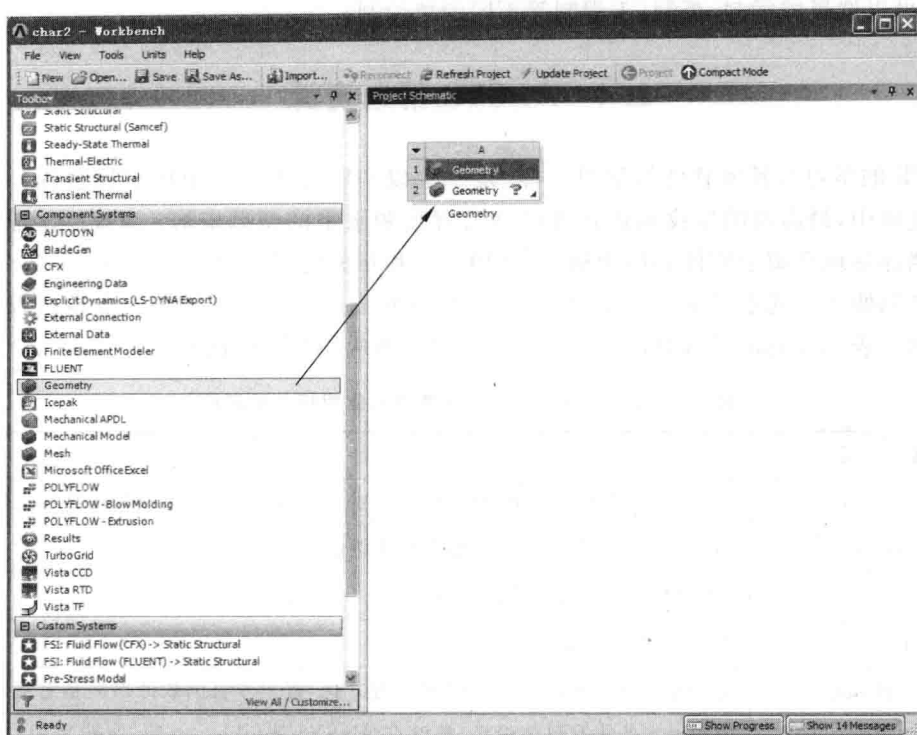


图 1.4 Project 界面及模块使用

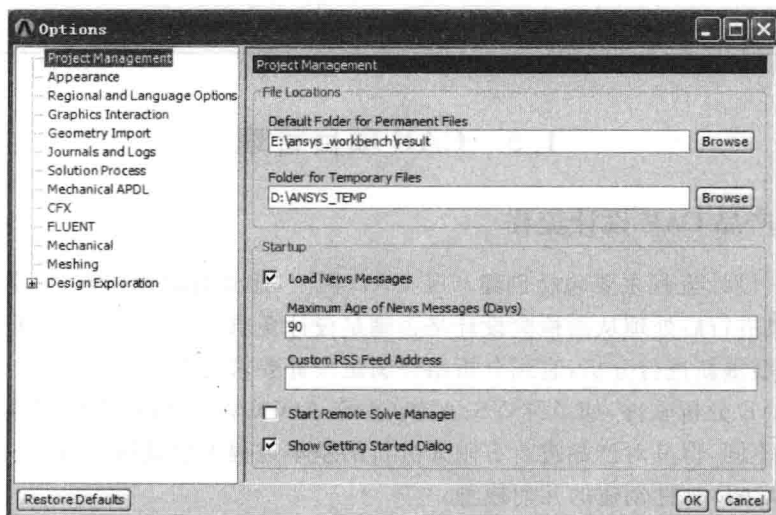


图 1.5 Options 对话框

(3) 选择操作界面背景颜色。图形控制窗口默认的颜色为浅蓝色,可以根据自己的习惯在 Options 对话框中的 Appearance 菜单中修改。

(4) 设定单位制。ANSYS Workbench 与经典版 ANSYS 产品不同,经典 ANSYS 操作平台不存在单位制,用户必须保证所有的单位是统一的,而 ANSYS Workbench 存在单位

制,用户可以选择国际制、英制、工程制等不同的单位制。

## 1.4 ANSYS 帮助资源

AWE 的学习与其他软件的学习一样,是一个以实践为主导的消化掌握过程。用户在自学的过程中,最需要的是找到适合自己项目背景和水平的帮助资源。AWE 自带的英文帮助文档详尽地介绍了软件的组织格式、使用方法和相关的理论原理,并且提供了一些经典的力学考题便于不同水平的用户学习。另外,互联网上的 ANSYS 相关站点也可以为用户提供帮助。表 1.2 列出了部分国内外 ANSYS 使用和应用相关的网址。

表 1.2 部分国内外 ANSYS 使用和应用相关的网址

| 网 址                | 介 绍  |
|--------------------|--|
| ansys.net          | ANSYS 用户的经验交流平台,适合对 ANSYS 有一定基础的中高端用户              |
| www.ansys.com      | ANSYS 公司网站,内有大量视频实例供在线学习                           |
| ansys.belcan.com   | ANSYS 使用问答和培训资料                                    |
| www.xansys.org     | ANSYS 用户的邮件组                                       |
| www.peraglobal.com | 安世亚太公司网站,专设 ANSYS 用户区,提供丰富的软件培训和使用说明               |
| www.simwe.com      | 中国最大的仿真科技论坛,专设有 ANSYS Workbench 版,注册为用户可以下载丰富的帮助资料 |
| lsg.cnki.net       | 中国期刊网全文数据库,需购买用户账号                                 |
| www.e-works.com.cn | 中国制造业信息化门户网站,丰富的 CAE 行业资讯                          |

## 1.5 CAE 项目管理

### 1.5.1 产品 CAE 设计流程

产品 CAE 设计流程主要包括创建产品 CAD 模型,建立有限元模型、力学模型,进行求解,对计算结果进行后处理从而检验设计是否满足设计要求,若不满足,需进行优化设计,改进原始设计模型重新进行分析,直到分析结果满足设计要求为止。

不同的 CAE 分析软件,如 ANSYS、ABAQUS、ADINA 等,虽然软件的界面风格各异,操作步骤略有不同,但其对产品进行有限元分析的基本过程可以概括为以下 9 步:

- (1) 导入 CAD 软件创建的几何模型;
- (2) 添加材料信息;
- (3) 设定接触选项(如果是装配体);
- (4) 设定网格划分参数并进行网格划分;
- (5) 选择分析类型;
- (6) 施加载荷以及约束;
- (7) 设定求解(结果)参数,即设定要求解何种问题、哪些物理量;

- (8) 求解;
- (9) 观察求解结果。

### 1.5.2 CAE 项目管理概述

随着 CAE 技术的不断普及,CAE 逐渐向着标准化和流程化的趋势发展。企业进行产品的 CAE 分析也不再只是一个技术人员的单兵作战,而是多部门、多层次技术和管理人员的协同攻坚。以某型号航空产品的研发为例,CAE 分析中涉及的学科领域包括固体力学、流体力学、热力学和电磁学等不同学科及其交叉,涉及的零部件多达上千个,参与分析的部门包括总体部、动力部、材料部、强度部等众多研发机构。因此,一个 CAE 项目能否顺利实施,不光取决于企业是否具有先进的分析软件和计算机硬件,更重要的是企业需根据产品自身的特点建立一个规范化的 CAE 项目管理流程,并具有一支有着丰富分析和管理经验的 CAE 团队。

CAE 项目管理与其他领域项目管理有很多相似的地方,但也有其自身的特点。下面对 CAE 项目管理的内容和实施要点做一介绍。

项目就是以一套独特而相互联系的任务为前提,有效地利用资源,为实现一个特定的目标所做的努力。项目管理是指导项目从开始、执行,直至终止的过程。CAE 项目管理除了像其他领域项目管理一样,进行项目定义、QRT 分析(质量、资源和时间三角分析)、WBS 分解(工作逐层分解)、甘特图绘制、风险应对、财务预算以及项目总结以外,更为重要的是根据产品 CAE 设计流程制定一个项目分析流程。表 1.3 是作者结合长期以来 CAE 项目分析的经验建立的具有一定普遍性的 CAE 项目管理流程,希望帮助读者逐步建立起适合自身特点的 CAE 项目管理规范。

表 1.3 CAE 项目管理流程

| CAE 项目分析流程 |  |
|------------|--|
| 项目流程       | 说明   |
| 制定项目计划书    | 分析客户需求,明确项目目的,制定分析方法,项目分解,任务分配                   |
| 项目目的       | 定义项目分析的具体要求                                      |
| 项目分解       | 进行项目的 QRT 分析                                     |
| 任务分配       | 进行项目 WBS 分解                                      |
| 项目分析总体文件   | 对结构进行有限元分析前,编制有限元分析的总体文件作为整个项目分析的指导性文件           |
| 分析对象       | 明确分析对象是整体还是局部                                    |
| 项目分类       | 明确分析对象的分析类型,如静力学、动力学、屈曲等,线型或非线型,疲劳还是耦合问题等        |
| 对称性研究      | 研究结构是否具有几何对称性                                    |
| 模型分区       | 如果模型大或者比较复杂需多人合作就需要进行分区,分区时需协调分区处的单元划分,一般需留出协调区域 |
| 重点考察部位的选取  | 判断结构的危险位置以及客户关注的关键位置作为分析的重点,必要时可进行细节分析           |