



ANSYS

Workbench

设计、仿真与优化

第3版

李兵 何正嘉 陈雪峰 编著

清华大学出版社

013031449

TB115
127-3

李兵 何正嘉 陈雪峰 编著

ANSYS Workbench 设计、仿真与优化

第3版



TB115
127-3



北航 C1639983

清华大学出版社
北京

048698-01

内 容 简 介

本书在前一版的基础上修订而成。本书以最新版 ANSYS Workbench 14.0 为依据,以工程人员产品设计的流程为主线,利用 20 个工程实例,由浅入深地介绍了 ANSYS Workbench 在产品设计、仿真和优化过程中的具体功能、使用方法和分析关键。全书共 12 章:第 1 章介绍了 ANSYS Workbench 的特点和组织形式;第 2 章介绍了 ANSYS Workbench 中的有限元建模技术,包括设计模块 Design Modeler 的几何建模方法、实例和网格剖分技术、实例;第 3 章到第 10 章从产品静力学、动力学、运动学、屈曲分析、热力学、疲劳分析、流固耦合分析、复合材料建模分析八个方面介绍了 ANSYS Workbench 仿真模块 Design Simulation 的每一步操作方法和工程实例;第 11 章介绍了 ANSYS Workbench 优化设计模块 Design Explore 的产品优化功能和案例;第 12 章是 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。附录总结了 ANSYS Workbench 相关的 23 个关键问题。

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,何正嘉等编著. --3 版. --北京:清华大学出版社,2013.3
ISBN 978-7-302-31305-2

I. ①A… II. ①李… ②何… III. ①有限元分析—应用程序 IV. ①O241.82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 012274 号

责任编辑:庄红权

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:沈 露

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:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:12.75

字 数:304 千字

版 次:2008 年 8 月第 1 版

2013 年 3 月第 3 版

印 次:2013 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:25.00 元

产品编号:048698-01

第 3 版前言

《ANSYS Workbench 设计、仿真与优化》一书自 2008 年由清华大学出版社出版发行以来,受到国内外专家、学者和工程技术人员的广泛关注,第 1 版已连续印刷 3 次,并于 2010 年出版了第 2 版。考虑到 ANSYS 软件的更新,以及广大读者提出的宝贵意见,我们在前两版的基础上修订完成了本书的第 3 版。全书由 12 章组成,较前两版新增加的主要内容包括:

- 1.3 节——ANSYS Workbench 14.0 软件新功能介绍;
- 2.2 节——有限元网格剖分方法;
- 3.3 节——装配体接触应力分析;
- 4.3 节——水下航行器湿模态分析;
- 4.6 节——瞬态动力学分析;
- 第 10 章——复合材料层合板分析。

本书由李兵、何正嘉、陈雪峰编著。在本书的写作过程中,左思佳、段鹏、王巨龙、刘帅等同学也参与了文稿写作、绘图及其他方面的工作,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,涉面不广,书中难免存在不当之处。我们诚恳地欢迎广大读者批评指正和不吝赐教。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。

李 兵

2012 年 12 月于西安交通大学兴庆校区

目 录

绪论	1
第 1 章 ANSYS Workbench 基础	2
1.1 ANSYS Workbench 概述	2
1.2 ANSYS Workbench 产品设计流程和文件格式	4
1.3 ANSYS Workbench 14.0 启动、配置和新功能	5
1.4 ANSYS 帮助资源	7
1.5 CAE 项目管理	7
第 2 章 有限元建模技术	11
2.1 几何建模基础	11
2.2 有限元网格剖分方法	29
第 3 章 静力学分析	33
3.1 静力学分析基础	33
3.2 汽车驱动桥桥壳强度校核	36
3.3 泥浆泵衬套的接触应力分析	45
第 4 章 动力学分析	55
4.1 动力学分析基础	55
4.2 轴流式风机壳体模态分析	56
4.3 水下航行器湿模态分析	61
4.4 振动电机轴谐响应分析	76
4.5 机箱随机振动分析	82
4.6 转辙机锁块瞬态动力学分析	86
第 5 章 运动学分析	99
5.1 机构运动学分析基础	99
5.2 轻型打桩机机构运动学分析	100
第 6 章 屈曲分析	108
6.1 屈曲分析基础	108
6.2 风力发电机塔架屈曲分析	108

第7章 热力学分析	113
7.1 热分析基础	113
7.2 气缸盖稳态温度场分析	114
7.3 印制电路板瞬态热应力分析	119
第8章 疲劳分析	126
8.1 疲劳分析基础	126
8.2 按键疲劳分析	127
第9章 流固耦合分析	132
9.1 流固耦合分析基础	132
9.2 海流发电机透平流固耦合分析	133
第10章 复合材料层合板分析	149
10.1 复合材料分析基础.....	149
10.2 复合材料层合板静力学分析.....	150
第11章 优化设计	158
11.1 优化设计基础.....	158
11.2 支架拓扑结构优化设计.....	160
11.3 散热器形状优化设计.....	164
第12章 二次开发初步	172
12.1 二次开发基础.....	172
12.2 参数化程序设计语言(APDL)	172
12.3 客户化定制(SDK)	178
附录 ANSYS Workbench 常见问题集锦	183
参考文献	195

绪 论

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 作为全球最大的 CAE 软件供应商 ANSYS 公司于 2002 年开发的新一代产品研发平台,既继承了 ANSYS 经典平台(ANSYS Classic)在有限元仿真分析上的所有功能,又融入了 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,加快了产品上市周期。ANSYS 公司正全力推广 ANSYS Workbench,并计划在未来全面替代原经典平台(ANSYS Classic)。

但由于 ANSYS Workbench 软件推出的时间较晚,虽然市面上介绍 ANSYS 经典平台(ANSYS Classic)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,通过丰富的实例对 ANSYS Workbench 软件的设计、仿真和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。书中的每个例题都通过图形用户界面向读者做了详细介绍,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。

为了便于读者理解,本书用工程实例来阐述基本原理和软件使用方法,努力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、仿真和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,通过丰富的实例对 ANSYS Workbench 软件的设计、仿真和优化三个模块进行了详细而具体的介绍,将对 ANSYS Workbench 软件的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 已广泛使用却又缺乏参考书籍的状况而写,具有很好的市场推广价值和使用价值。

(4) 广泛的读者群。书中所有例题均经过精心设计与筛选,剪表性剪,涉及的行业包括机械、能源、电子通信、航空航天等,适合不同行业用户的需求,具有广泛的读者群。

第 1 章 ANSYS Workbench 基础

1.1 ANSYS Workbench 概述

随着计算机辅助工程(CAE)技术在工业领域中应用的广度和深度不断发展,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扩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仅仅局限于结构力学,现已涉及流体力学、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,其独特的产品构架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^[1]:几何建模模块(Design Modeler)、有限元分析模块(Design Simulation)和优化设计模块(Design Explorer)将设计、仿真、优化集成于一体,便于设计人员随时进入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 具有以下主要特色。

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,从而可节省建立模型的时间。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 软件及设计流程无与伦比的整合性,从而发挥 CAE 对设计流程最大限度的贡献。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,不必重新定义所施加的负载和支撑;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

许多 CAE 用户的大部分时间都花费在建立网格上,导致效率低下。AWE 在大型复杂部件,如飞机装配件的网格建立上独具特色,自动网格生成技术可大大节省用户时间。根据分析类型不同,有很多因素会影响分析精度。传统的专业分析人员需花大量时间和训练来掌握各种软件技能,手动处理模型以保证分析精度;而对于设计人员来讲,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可自动调整网格密度。

- 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结果达到要求精度。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。

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、具有不同应用领域的软件,而且需要将其组合起来,才能解决其实际工程问题,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”(见图 1.1)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。

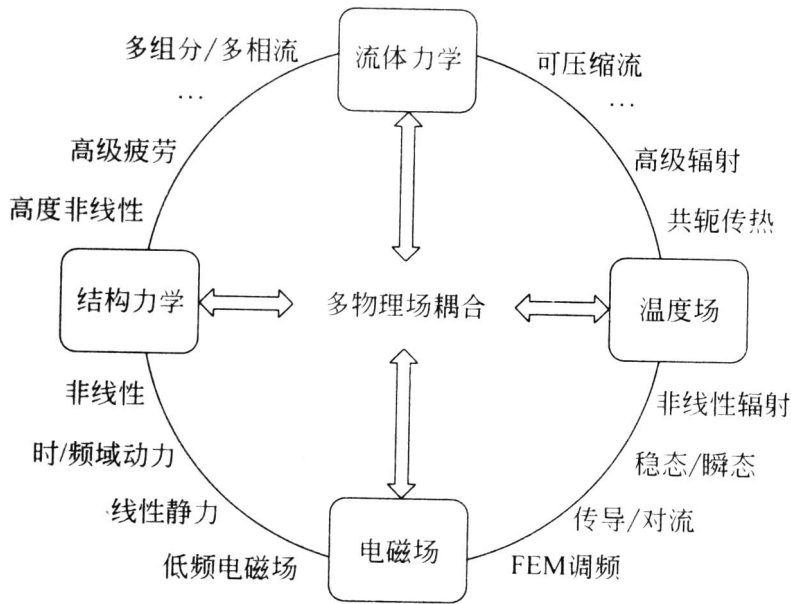


图 1.1 现代高级 CAE 软件 AWE 组合分析能力

图 1.2 是一个典型的叶片流固热耦合分析流程图。

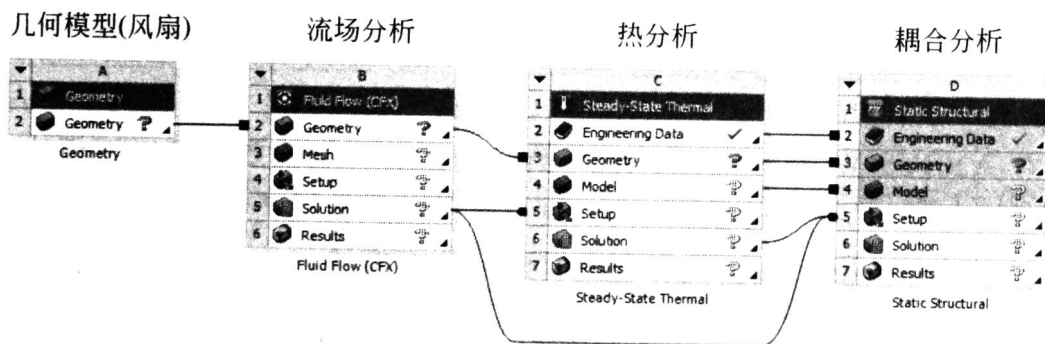


图 1.2 典型叶片流固热耦合分析流程图

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来自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^[2]。

4. 快捷的优化工具 Design Explorer

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用户化开发功能。在 Workbench 基础上,设计与分析间的关系简化为:

- 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/Design Explorer 是基于 DSDB 数据库文件的参数优化工具,结合 CAD 系统/AGP 和 Design Space/AWE 进行优化:在 CAD 系统/AGP 中进行参数化建模,在 Design Space 或 AWE 中进行初步分析,并确定感兴趣的参数,在 Design Explorer 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. 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,典型的项目开发主要包括以下模块:

- Design Modeler,几何建模和 CAD 模型导入模块;
- Design Simulation,结构和热和电磁有限元分析模块;
- Design Explorer,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,Design Simulation 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,Design Simulation 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 Design Simulation 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 Design Simulation 中的高端 CAE

仿真工具和疲劳分析模块 (Fatigue Module) 深入认知产品强度、动力学特性以及疲劳寿命, 确定优化设计参数, 最后在多目标优化模块 (Design Xplorer) 中同步优化参数, 改进产品设计。

软件系统框架如图 1.3 所示。

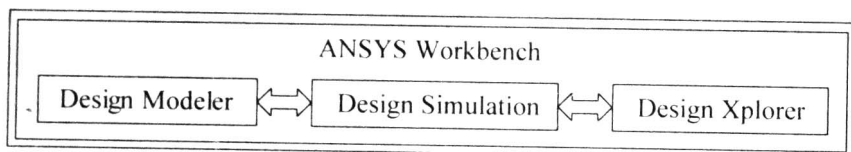


图 1.3 AWE 系统框架

除了上述主要流程模块之外, 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 Design Simulation 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。

2. 文件格式

AWE 涉及的主要文件类型及格式如表 1.1 所示。

表 1.1 ANSYS Workbench 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, 用于存储工程信息
jobname. fedb	FE Modeler 数据库文件, 用于存储从 NASTRAN 或 Design Simulation 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 14.0 启动、配置和新功能

用交互式方式启动 Workbench: 选择开始 > 程序 > ANSYS 14.0 > Workbench。双击左边 Toolbox 区域内的图标可启动需要使用的模块。其界面如图 1.4 所示。

ANSYS Workbench 14.0 运行环境配置主要是在启动界面 (Start) 设置以下选项:

(1) 选择 ANSYS Workbench 产品。AWE 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 生成的所有文件都将写入此目录。需要注意的是, 如果分析项目规模较大,

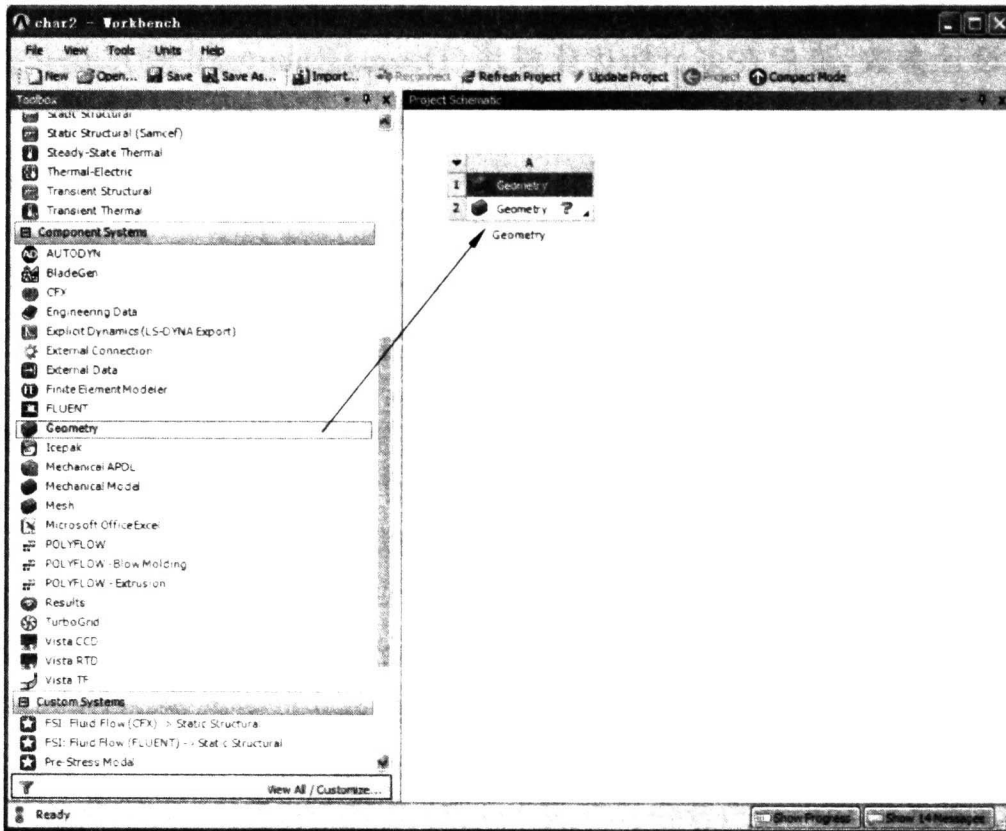


图 1.4 Project 窗口及模块使用

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(从图 1.4 上方菜单中的 Tools>Options 进入)。

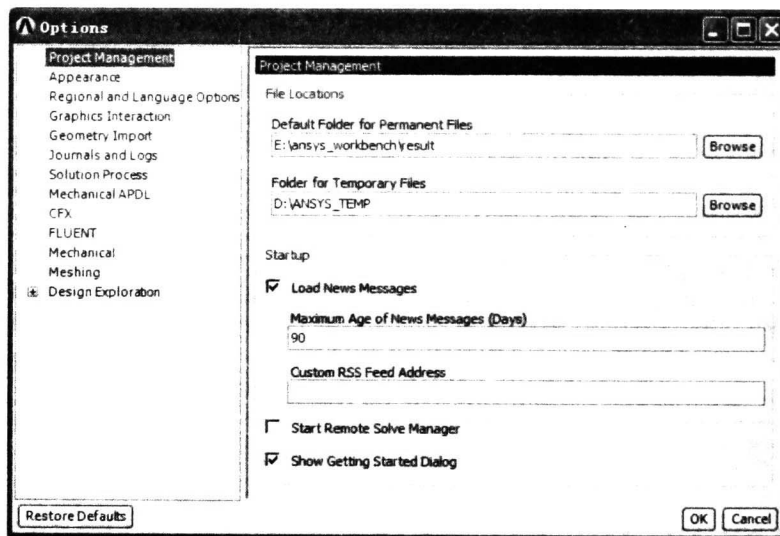


图 1.5 Options 窗口

(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,用户可以根据自己的习惯在 Options 窗口的 Appearance 菜单中修改颜色。

(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。

ANSYS Workbench 每次推出新版本,都会基于上一版本提升功能,14.0 版的新功能主要有:

(1) 线性动力学和转子动力学分析的改进。瞬态动力学分析中添加了模态叠加法。模态分析、谐响应分析和 PSD 分析中添加了 Joint(连接)、Remote Displacement(远程位移载荷)。转子动力学分析中可添加衰减式激励,设定阻尼的影响,绘制坎贝尔图,进行多载荷步的分析等。

(2) 非线性分析功能的提升。非线性分析中的 Joint(连接)功能得到了增强,在不方便在模型上添加预应力或转速较大的情况下,可以将加入的 Joint 作为一个载荷步考虑。

(3) 接触功能更强大。接触方程、接触行为和刚度矩阵更新可由计算机自动控制;可修改接触位置节点探测方法;接触面和目标面之间可设置阻尼;正交拉格朗日方法可应用于所有类型的接触面;线体类模型等可以设置接触。

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。使用者在自学过程中,最需要的是找到适合自己项目背景和掌握水平的帮助资源。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,以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,适合有一定 ANSYS 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,注册为用户便可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. 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均可概括为以下 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以及哪些物理量;
- (8) 求解;
- (9) 观察求解结果。

2. CAE 项目管理

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 分析也不再限于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经验的管理 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。而项目管理是指导你的项目从其开始、执行,直至其终止的过程。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一个具有一定普遍性的 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

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,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

续表

项目流程	说明
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
细节结构的考虑与舍弃	在不影响载荷分配的情况下,有些细节结构可以忽略,如倒角、倒圆等
工况分析	确定模型中考虑哪些载荷
材料数据和材料分组	
单元选择	根据分析的类型和客户的要求,确定分析所用的有限元单元,确定单元的方向
解题规模预测	从单元数、节点数、总自由度数预测计算规模
文献资料检索	查阅文献,借鉴经验
不连续结构的处理方法	对几何不连续部位,如角接焊缝、局部减薄等应力集中位置,确定处理方法
模型坐标系选择	
模型规模	确定模型规模,避免各分区模型网格粗细差异太大
单位制选择	
单元和节点号	在多人合作时,需明确各分区所用的节点和单元的号码范围
分析模型的建立与改进	
几何建模	根据分析的需要,建立或者提取几何模型
整体框架建模	
截面库构建	
网格划分	
模型检查	
单元属性	对单元进行属性设定
约束条件	
载荷施加	
模型求解	
试算结果考察	载荷是否平衡,位移、应变是否有突变
模型改进	
向客户通报阶段计算结果	各个分区在完成建模后需对模型进行网格检查,同时施加载荷进行试算
分析报告	
报告封面	

续表

项目流程	说明
报告正文	
报告附件、附录	
项目验收和总结	
项目总结并存档	
根据项目需求逐项验收项目	

第 2 章 有限元建模技术

2.1 几何建模基础

2.1.1 建模环境

几何建模是有限元分析和最优化设计的第一步,几何建模的目的是建立能真实反映设计原型的数学模型和物理模型。ANSYS Workbench 强大的几何建模模块为用户建模提供了方便。目前,ANSYS Workbench 14.0 支持两种几何建模方式:一种是在 ANSYS Workbench 自带的几何建模模块(Design Modeler)中根据设计图纸直接建立 CAD 模型;另一种是在其他 CAD 软件,如 Pro/Engineer、UG 等中建立几何模型,再利用 ANSYS Workbench 支持的几何模型导入接口将已建立的模型文件读入 ANSYS Workbench 环境。这里我们主要介绍第一种建模方式,即 Design Modeler 环境中的几何建模方法。

类似于其他 CAD 软件,Design Modeler 几何建模主要有三种方法:

(1) 自底向顶的建模方法。所谓自底向顶的建模方法,就是按点-线-面-体的顺序依次建模,它符合设计人员的建模逻辑,因此适合于产品概念设计阶段的建模。

(2) 自顶向底的建模方法。这种建模方法是通过布尔运算中合并、分割和相交等方式直接利用体元,建立复杂的几何模型。其优点是建模速度快、周期短,能充分利用已有设计模型或子模型,故而被广泛采用。

(3) 综合使用前两种方式。结合前两种方法进行综合运用,但应考虑到要获得什么样的有限元模型,即在进行网格划分时,是要产生自动网格划分或是映射网格划分。自动网格划分时,实体模型的建立比较简单,只要所有的面或体能结合成一个体就可以;而映射网格划分时,平面结构一定要由三或四条边围成,体结构则要求由四或五或六个面围成。

无论选用哪种建模方式,首先均须熟悉 Design Modeler 的建模环境。

图 2.1 所示为 Design Modeler 的主窗口,可以看到这个界面由以下区域构成。

1. 主菜单(见图 2.2)

主菜单包括所有基本的菜单系统,例如文件操作、编辑操作、设定单位制、插入模型、显示标尺、激活帮助、Wizards 等等,具体说明如下。

- (1) File: 基本文件操作,包括外部几何模型导入等;
- (2) Create: 3D 建模和修改工具;
- (3) Concept: 包括线和面体的建模工具;
- (4) Tools: 整体建模操作、参数管理和客户化属性设置等;
- (5) View: 图形显示方式管理;
- (6) Help: 帮助信息。