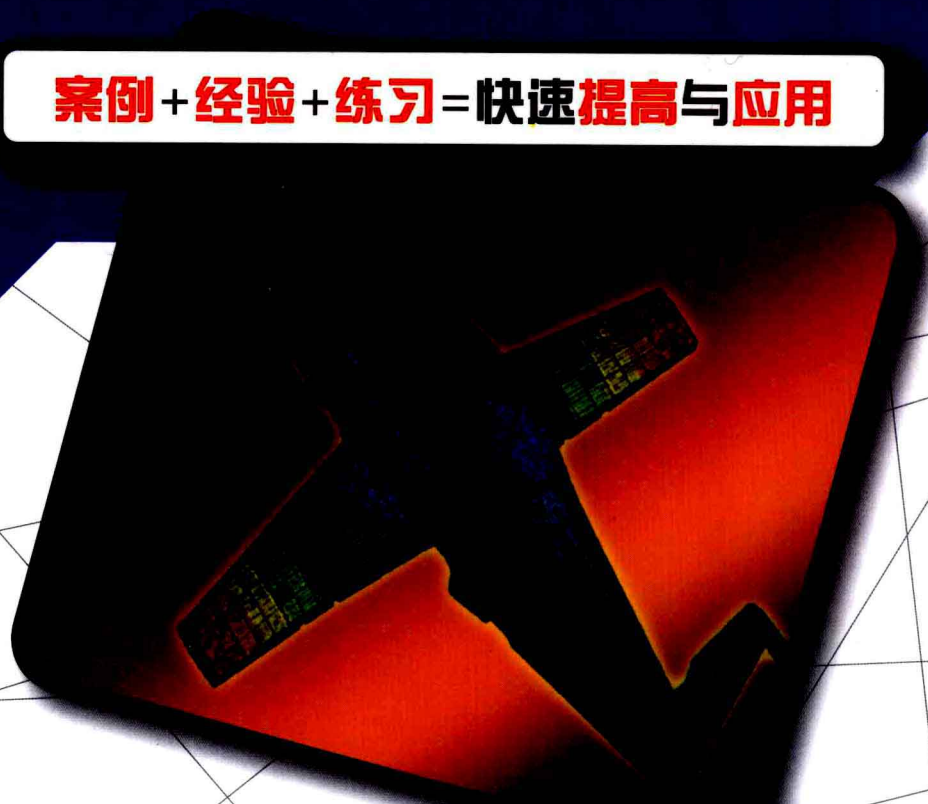


ANSYS

有限元分析与工程应用

蒋春松 孙 浩 朱一林 等编著
栗思科 审 校

案例 + 经验 + 练习 = 快速提高与应用



温馨提示:
提供书中部分内容的命令流

请登录华信教育资源网: www.hxedu.com.cn



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

ANSYS 有限元分析 与工程应用

蒋春松 孙 浩 朱一林 等编著
栗思科 审 校

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

以往介绍 ANSYS 应用实例的书籍, 要么只给出 GUI 操作路径, 要么只给出命令流, 或者虽然同时给出 GUI 操作路径和命令流, 但是大多是用 GUI 操作路径分析完成后再附上实例的命令流, 相互之间没有对应衔接, 不便于学习。为此, 本书按照 GUI 界面操作和命令流相结合的方式, 帮助用户掌握大型通用有限元软件 ANSYS 及其在各专业领域的应用, 提高 GUI 界面操作能力, 读懂命令流直至具备独立编写命令流能力。

本书共分为 8 章, 主要内容包括: ANSYS13.0 概述; ANSYS 分析的基本步骤, 即分析问题、建立几何模型、创建有限元模型、施加载荷、求解, 以及后处理分析; 线性静力分析; 热学分析; 动力学分析; 非线性分析; 疲劳断裂问题分析; 优化设计。

本书适用于 ANSYS 软件的初、中级用户, 以及有初步使用经验的技术人员, 也可作为理工院校相关专业的高年级本科生、研究生及教师学习 ANSYS 软件的培训教材, 也可以作为从事相关领域科学技术研究的工程技术人员学习和使用 ANSYS 软件的参考书。

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 有限元分析与工程应用 / 蒋春松等编著. —北京: 电子工业出版社, 2012.8

ISBN 978-7-121-17819-1

I. ①A… II. ①蒋… III. ①有限元分析—应用程序 IV. ①O241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 179328 号

责任编辑: 桑 昀

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订:

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: 30 字数: 771.2 千字

印 次: 2012 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 59.00 元



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 软件是融合结构、流体、电场、磁场和声场分析于一体的大型通用有限元分析软件,广泛应用于土木工程、地质矿产、水利、汽车工程、机械制造、航空航天、核工程等一般工业及科学研究。为了帮助用户更好地掌握 ANSYS 应用,本书以最新版 ANSYS13.0 为平台,介绍了 ANSYS 的基本使用方法,包括建模、网格划分、施加载荷、求解及后处理等,并结合热点研究课题中的实例来详细讲述 ANSYS 在工程中的具体应用。

本书从实际应用出发,在介绍 GUI 操作的同时,还在旁边给出命令流,即每一步操作后都从 Sessions Editor 中提取和修改相对应的命令代码,这样使读者不仅掌握了 ANSYS 软件 GUI 操作,而且也懂得命令流是如何方便获取的,进而学会如何去编辑和使用命令流,达到双重学习效果。以往的应用实例要么只给出 GUI 操作,要么只给出命令流,或者虽然 GUI 和命令流均给出,但都是在 GUI 操作分析完之后再附上实例的命令流,相互之间没有对应衔接,不便于学习。

本书特色

本书特色在于将 GUI 和命令流同步对应给出,即每一步操作后都打开 Sessions Editor 提取和修改相对应的命令代码。在学习 GUI 操作的同时,一起学习了命令流,从而更容易理解和使用命令流。通过这种交互的方式能够加深理解,提高学习效果。

组织结构

本书分为 8 章:第 1 章简要概述了有限元方法的基本理念、技术特点,以及基本操作步骤;第 2 章详细介绍了有限元分析的一般步骤,包括建立几何模型、划分网格、施加载荷、求解设置及后处理分析;第 3 章介绍了线性静力分析的基本过程,包括杆系结构、梁结构和板壳结构的定义,以及在 ANSYS 中相应的常用单元;第 4 章介绍了热力学分析的基本过程,详细介绍了稳态热分析、瞬态热分析、热辐射分析和相变热分析;第 5 章主要介绍动力学分析,详细介绍了模态分析、谐响应分析、瞬态动力学分析,以及谱分析;第 6 章介绍了非线性分析,包括几何、材料和状态非线性分析;第 7 章讨论了疲劳断裂问题分析,详细介绍如何计算应力强度因子和 J 积分;第 8 章介绍了优化设计的基本过程,包括优化设计概述和优化设计的基本步骤。

适用对象

□ ANSYS 软件的初、中级用户,以及有初步使用经验的技术人员。

- ❑ 理工科院校相关专业的高年级本科生、研究生及教师，作为学习 ANSYS 软件的培训教材。
- ❑ 从事相关领域科学技术研究的工程技术人员，作为学习和使用 ANSYS 软件的参考书。
- ❑ 高等院校理工科相关专业教师和学生。

编者与致谢

本书由蒋春松、孙浩、朱一林等编著，粟思科审校，蒋春松统稿。王治国、张宇、刘昌龙、罗会亮、巩鹏飞、徐伟、陈龙、钟晓林、王娟、胡静、杨龙等人参与了编写工作，在此一并表示感谢。

配套服务——ANSYS 俱乐部

我们为 ANSYS 读者和用户尽心服务，围绕 ANSYS 技术、产品和项目市场，探讨 ANSYS 应用与发展，发掘热点与重点，开展 ANSYS 教学。ANSYS 俱乐部 QQ: 183090495，电子邮箱: bojiakeji@tom.com，欢迎 ANSYS 爱好者和用户联系。本书提供部分内容的命令流，有需要的读者可登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费下载。由于作者水平所限，加之有限元软件 ANSYS 应用面广泛，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 著 者



目 录

第 1 章 ANSYS13.0 概述..... (1)	
1.1 有限元方法简介..... (1)	
1.1.1 有限元方法的基本思想..... (1)	
1.1.2 有限元方法特点..... (1)	
1.1.3 有限元分析基本步骤..... (2)	
1.2 ANSYS 产品简介..... (2)	
1.2.1 ANSYS 系列产品发展 过程..... (2)	
1.2.2 ANSYS13.0 技术特点..... (3)	
1.2.3 ANSYS13.0 功能创新..... (3)	
1.2.4 ANSYS13.0 使用环境..... (6)	
1.2.5 ANSYS13.0 软件功能..... (6)	
1.2.6 ANSYS13.0 文件系统..... (8)	
1.3 ANSYS13.0 的基本操作..... (9)	
1.3.1 ANSYS13.0 启动..... (9)	
1.3.2 ANSYS13.0 用户界面..... (10)	
1.3.3 ANSYS13.0 退出..... (12)	
1.4 ANSYS13.0 典型分析过程..... (13)	
1.4.1 前处理..... (13)	
1.4.2 加载求解..... (13)	
1.4.3 后处理..... (13)	
1.5 ANSYS13.0 的帮助文件..... (14)	
本章小结..... (15)	
思考题..... (16)	
常见疑难问题解析..... (16)	
第 2 章 ANSYS 分析的基本步骤..... (17)	
2.1 分析问题..... (17)	
2.2 建立几何模型..... (17)	
2.2.1 自底向上建模方法..... (18)	
2.2.2 自顶向下建模方法..... (28)	
2.2.3 实体模型的布尔操作..... (32)	
2.2.4 从其他系统导入模型..... (45)	
2.3 创建有限元模型..... (47)	
2.3.1 设定单元属性..... (47)	
2.3.2 网格划分控制..... (54)	
2.3.3 自由网格划分与映射 网格划分..... (59)	
2.3.4 网格质量检查和修改..... (60)	
2.3.5 直接生成单元网格的 方法..... (62)	
2.4 施加载荷..... (64)	
2.4.1 载荷概述..... (64)	
2.4.2 施加载荷..... (68)	
2.4.3 设定载荷步选项..... (75)	
2.5 求解..... (78)	
2.5.1 求解器..... (79)	
2.5.2 求解多步载荷..... (80)	
2.5.3 求解注意事项..... (82)	
2.6 后处理..... (83)	
2.6.1 后处理概述..... (83)	
2.6.2 通用后处理器..... (83)	
2.6.3 时间历程后处理器..... (85)	
2.7 工程实例：简单台柱静力分析..... (86)	
2.7.1 问题描述..... (86)	
2.7.2 问题分析..... (86)	
2.7.3 求解步骤..... (86)	
2.7.4 简单台柱静力分析完 整命令流..... (95)	
本章小结..... (96)	

思考题	(96)	4.1.2 热学分析的分类	(151)
常见疑难问题解析	(96)	4.1.3 热学分析的基本材料 属性	(151)
第3章 线性静力分析	(98)	4.1.4 热学分析的边界条件	(152)
3.1 线性静力分析基本过程	(98)	4.1.5 热学分析参数符号和 单元	(153)
3.1.1 静力分析概述	(98)	4.2 稳态热分析	(154)
3.1.2 线性静力分析基本 步骤	(99)	4.2.1 稳态热分析概述	(154)
3.2 杆系结构静力分析	(102)	4.2.2 实例分析: 实心圆柱体的 稳态热传导过程分析	(154)
3.2.1 杆系结构的定义	(102)	4.2.3 实心圆柱体的稳态热传导 过程分析完整命令流	(165)
3.2.2 ANSYS 常用的杆单元	(102)	4.3 瞬态热分析	(166)
3.2.3 实例分析: 人字形屋架 的静力分析	(103)	4.3.1 瞬态热分析概述	(167)
3.3 梁结构静力分析	(115)	4.3.2 实例分析: 平板对接焊 过程模拟	(167)
3.3.1 梁结构的定义	(115)	4.3.3 平板对接焊过程模拟完 整命令流	(179)
3.3.2 ANSYS 常用的梁单元	(115)	4.4 热辐射分析	(184)
3.3.3 实例分析: 工字截面梁 平面弯曲分析	(115)	4.4.1 热辐射分析概述	(184)
3.4 板壳结构静力分析	(125)	4.4.2 实例分析: 黑体热辐射 分析	(184)
3.4.1 板壳结构的定义	(125)	4.4.3 黑体热辐射分析完整求 解命令流	(190)
3.4.2 ANSYS 常用的 板壳单元	(126)	4.5 相变热分析	(190)
3.4.3 实例分析: 薄板圆孔构件 承载分析	(126)	4.5.1 相变热分析概述	(191)
3.5 工程实例: 龙门起重机主梁 静力分析	(134)	4.5.2 实例分析: 冰块融化的 热分析	(191)
3.5.1 问题描述	(134)	4.5.3 完整命令流	(206)
3.5.2 问题分析	(135)	4.6 热-结构耦合场分析	(208)
3.5.3 求解步骤	(135)	4.6.1 热-结构耦合场概述	(208)
3.5.4 龙门起重机主梁静力 分析完整命令流	(145)	4.6.2 实例分析: 压力容器热-结构 耦合分析	(209)
本章小结	(147)	4.6.3 压力容器热-结构耦合 分析完整命令流	(217)
思考题	(147)	4.7 工程实例: 金刚石膜的残余热 应力计算	(221)
常见疑难问题解析	(148)	4.7.1 问题描述和分析	(221)
第4章 热学分析	(150)		
4.1 热学分析简介	(150)		
4.1.1 基本传热方式	(150)		

4.7.2 求解步骤	(222)
4.7.3 金刚石膜的残余热应力 完整命令流	(233)
本章小结	(235)
思考题	(235)
常见疑难问题解析	(236)
第5章 动力学分析	(237)
5.1 动力学分析简介	(237)
5.2 模态分析	(238)
5.2.1 概述	(238)
5.2.2 实例分析一: 桁架桥模态 分析	(238)
5.2.3 桁架桥模态分析完整命 令流	(247)
5.2.4 实例分析二: 锚固式储 液罐的模态分析	(250)
5.2.5 锚固式储液罐的模态分析 完整命令流	(257)
5.3 谐响应分析	(258)
5.3.1 概述	(259)
5.3.2 实例分析: 弹簧质量系统 谐响应分析	(259)
5.3.3 弹簧质量系统谐响应分析 完整命令流	(264)
5.4 瞬态动力学分析	(265)
5.4.1 概述	(265)
5.4.2 实例分析: 预应力 T 梁 瞬态分析	(265)
5.4.3 预应力 T 梁瞬态分析 完整命令流	(273)
5.5 谱分析	(275)
5.5.1 概述	(275)
5.5.2 实例分析: 独塔两跨斜 拉桥谱分析	(276)
5.5.3 独塔两跨斜拉桥谱分析完 整命令流	(294)
本章小结	(299)

思考题	(299)
常见疑难问题解析	(300)

第6章 非线性分析

6.1 非线性分析概论	(301)
6.1.1 非线性行为的原因	(302)
6.1.2 非线性分析的特殊性	(303)
6.2 非线性分析的基本步骤	(304)
6.2.1 前处理	(304)
6.2.2 加载求解	(305)
6.2.3 后处理	(306)
6.3 几何非线性分析	(309)
6.3.1 概述	(309)
6.3.2 实例分析: 悬臂梁屈曲 分析	(312)
6.3.3 实例分析: 二力杆件的大 变形分析	(319)
6.4 材料非线性分析	(327)
6.4.1 材料非线性概述	(328)
6.4.2 实例分析: 均质圆棒基于 双线性本构模型下的应 力-应变响应	(329)
6.4.3 实例分析: 基于 Chaboche 循环本构模型下的应力 响应	(336)
6.5 状态非线性分析 (接触分析)	(347)
6.5.1 接触分析概述	(347)
6.5.2 实例分析: 钢球/PMMA 平面试样的径向微动接 触分析	(349)
6.5.3 实例分析: 微动垫作用下 的循环弯曲接触分析	(371)
本章小结	(386)
思考题	(386)
常见疑难问题解析	(386)
第7章 疲劳断裂问题分析	(388)
7.1 疲劳断裂概述	(388)

7.1.1 应力强度因子定义	(389)	8.2.1 生成分析文件	(429)
7.1.2 J 积分定义	(389)	8.2.2 建立优化过程中的参数	(432)
7.1.3 能量释放率定义	(389)	8.2.3 进入 OPT, 指定分析文件 (OPT)	(433)
7.2 断裂疲劳问题分析的基本步骤 ..	(390)	8.2.4 声明优化变量	(433)
7.2.1 建立断裂模型	(390)	8.2.5 选择优化工具或优化方法	(434)
7.2.2 施加有限元边界条件	(392)	8.2.6 指定优化循环控制方式 ..	(435)
7.2.3 进行弹塑性分析	(392)	8.2.7 进行优化分析	(436)
7.2.4 计算断裂参数	(392)	8.2.8 查看设计序列结果	(437)
7.3 工程实例: 线弹性断裂分析	(397)	8.3 工程实例: 矩形截面梁的结构优化	(438)
7.3.1 问题描述	(397)	8.3.1 问题描述	(438)
7.3.2 问题分析	(397)	8.3.2 问题分析	(438)
7.3.3 求解步骤	(398)	8.3.3 求解步骤	(439)
7.3.4 CT 试样断裂应力强度因子计算分析完整命令流 ..	(405)	8.3.4 矩形截面梁结构优化完整命令流	(450)
7.4 工程实例: 弹塑性 J 积分计算 ..	(407)	8.4 工程实例: 汽车起重机吊臂结构优化	(451)
7.4.1 问题描述	(408)	8.4.1 问题描述	(452)
7.4.2 问题分析	(408)	8.4.2 问题分析	(452)
7.4.3 求解步骤	(408)	8.4.3 求解步骤	(452)
7.4.4 中心裂纹板断裂 J 积分计算分析完整命令流	(421)	8.4.4 汽车起重机吊臂结构优化完整命令流	(465)
本章小结	(425)	本章小结	(468)
思考题	(425)	思考题	(469)
常见疑难问题解析	(425)	常见疑难问题解析	(469)
第 8 章 优化设计	(427)	参考文献	(470)
8.1 优化设计概述	(427)		
8.1.1 什么是优化设计	(427)		
8.1.2 基本概念	(427)		
8.2 优化设计分析基本步骤	(429)		



第 1 章 ANSYS13.0 概述



知识点

- 有限元方法简介
- ANSYS 产品简介
- ANSYS13.0 的基本操作
- ANSYS13.0 典型分析过程

1.1 有限元方法简介

在实际工程技术领域中,有限元方法是一种比较新颖有效的求解各种力学和场问题的数值计算方法。该方法起源于 20 世纪早期。在 20 世纪 50 年代,使用有限元方法对航空工程中飞机结构进行建模,使有限元方法得到极大的发展。由于有限元方法具有准确和简便的优点,已经成为目前应用最为广泛的一种数值模拟计算方法。

1.1.1 有限元方法的基本思想

有限元方法的基本思想是把连续系统分割成有限个单元,各单元由设置的有限个节点连接,由单元和节点组成的系统来代替原来的连续系统。同时,在节点上引进场函数来代替实际作用于系统上的载荷或边界条件,并在每个单元中假设一个近似的插值函数来表示单元场函数的分布规律,再建立求解节点未知量的有限元方程,把所有单元的有限元方程集合起来,引入边界条件,构成一组代数方程组,求解得到有限个节点处的变量。

1.1.2 有限元方法特点

有限元方法的特点主要有三点。

1. 容易理解,便于学习

有限元方法之所以会得到广泛的应用,最大的原因是其概念清晰,便于掌握。对于理论

基础较弱的人，可以通过直观的物理意义来学习；对于基础扎实的人，可以加入自己对力学及数学方面的延伸。

2. 应用广泛

有限元方法在理论和应用上不断地发展，可以求解很多实际工程中遇到的复杂问题。

3. 与计算机的联系密切

(1) 有限元方法采用矩阵形式表达，便于编写计算机程序。

(2) 利用计算机求解问题。

1.1.3 有限元分析基本步骤

有限元分析基本步骤如下：

(1) 连续系统的离散化，即将某个工程结构离散为各种单元组成的计算模型；

(2) 选择单元模式，有位移法、力法和混合法，假设得到代表单元解的近似连续函数；

(3) 分析单元的力学性质，找出节点力和节点位移之间的关系；

(4) 利用几何方程和物理方程建立力与位移的方程式，得到单元刚度矩阵；

(5) 计算等效节点力；

(6) 利用结构里的平衡条件和边界条件把各个单元按原来的结构重新连接起来，形成整体的有限元方程；

(7) 求解有限元方程，解得节点位移；

(8) 进而利用各种力学关系得到其他信息。

1.2 ANSYS 产品简介

ANSYS 软件是融合结构、流体、电场、磁场和声场分析于一体的大型通用有限元分析软件，广泛应用于土木工程、地质矿产、水利、汽车工程、机械制造、航空航天、核工程等一般工业及科学研究。ANSYS 软件主要包括前处理模块、分析计算模块和后处理模块 3 部分。ANSYS 提供了 100 种以上的单元类型，用来模拟工程中各种结构和材料。

1.2.1 ANSYS 系列产品发展过程

ANSYS 公司成立于 1970 年，总部在美国宾夕法尼亚州的匹兹堡，目前是世界上 CAE 行业最大的公司。创始人 Jone Swanson 博士是匹兹堡大学力学系教授、有限元界权威。作为一个大型的 CAE 分析软件，ANSYS 自 20 世纪 70 年代诞生以来，随着计算机和有限元理论的发展，在各个领域得到了高度的评价和广泛的应用。在 40 多年的发展过程中，ANSYS 不断改进和提高，其功能不断增强，目前最新的版本已经发展到 13.0 版本。

ANSYS 软件是第一个通过 ISO9001 质量认证的大型有限元分析设计软件, 是美国机械工程师协会、美国核安全局及近 20 种专业技术协会认证的标准分析软件。在国内, ANSYS 软件是第一个通过中国压力容器标准化技术委员会认证并在国务院十七个部委推广使用的有限元软件。

ANSYS 最初的版本只提供了热分析和线性分析功能, 是一个批处理程序, 而且只能在大型计算机上使用。20 世纪 70 年代初, 随着非线性、子结构, 以及更多单元类型的加入, ANSYS 程序发生了很大的变化, 新技术的融入进一步满足了用户的需求。20 世纪 70 年代末, 该软件最显著的变化是交互方式的加入, 它使得模型生成和结果评价简化。

1.2.2 ANSYS13.0 技术特点

ANSYS 软件作为应用广泛的有限元分析软件, 与其他有限元软件相比, 具有以下特点:

(1) ANSYS 使用统一的数据库来储存数据及求解结果, 实现前后处理、分析求解及多场分析的数据统一;

(2) 具有强大的非线性分析功能, 可以分析几何非线性、材料非线性, 以及状态非线性;

(3) 具有强大且快速的求解器, 不但可以满足不同的工程需求, 而且还可以快速求解问题;

(4) 可以自动生成有限元网格, 简便、易操作;

(5) 具有强大的建模功能, 不仅具有二维的建模能力, 也具备强大的三维建模功能;

(6) 可以实现多场及多场耦合功能;

(7) 良好的优化功能;

(8) 提供和多种 CAD 软件及有限元软件的接口程序;

(9) 具有良好的用户开发环境;

(10) 兼容所有硬件平台上的全部数据文件, 如微型机、工作站、巨型机等。

1.2.3 ANSYS13.0 功能创新

相比原来的 ANSYS 系列软件, ANSYS13.0 的使用功能存在着以下几个重要的创新点。

1. ANSYS Workbench2.0

ANSYS Workbench 作为一个框架, 整合现有的应用, 将仿真过程结合在一起, 这一点在 ANSYS Workbench2.0 中没有改变。但在工程页引入了工程图解的概念。通过该项功能, 一个复杂的包含多场分析的物理问题, 通过系统间的连接实现相关性。

此外, ANSYS Workbench2.0 平台还可以作为一个应用开发框架, 提供项目全脚本、报告、用户界面 (UI) 工具包和标准的数据接口, 该功能将随后发布。在 ANSYS13.0 版本中, 工程数据和 DesignXplorer 将不再是独立的应用程序, 它们通过 UI 工具箱被重新设计整合在 ANSYS Workbench 工程页下。尽管工程页做了较大调整, 但 Workbench 的核心应用程序及操作界面并无大的改变。在这个创新的框架下, 工程师可以完成一个完整的仿真分析, 包括 CAD 集成、几何修改和网格划分。工程页的概念图解帮助指导用户完成复杂的分析, 说明

和明确数据关系，捕捉自动化的过程。

2. 几何和网格划分

ANSYS 在其深厚的知识和经验的基础上，融合了丰富的几何和网格划分技术，整合后的几何和网格划分解决方案，在不同的分析应用中可以共享几何和网格信息。ANSYS13.0 版本对几何接口进行了增强，通过几何接口，用户可以从 CAD 系统中输入更多的信息，包括新的数据类型，如用于模拟梁的线体。附加属性诸如颜色、坐标系及在 CAD 系统中改进的命名选择等。前处理大模型时，ANSYS13.0 版本支持 64 位操作系统，可以对几何进行智能、选择更新。

另外，ANSYS13.0 版本增强了 Workbench 环境下创建几何的功能，提供了更多的自动化功能和更强的适应性，增加了合并、连接和映射等功能用于曲面建模。新增工具可以自动探测处理常见问题，如小边、碎面、孔洞、裂痕，以及尖角面。新版本对几何模型的修改和处理速度更快。

ANSYS13.0 版本提供的自动网格划分解决方案在流体动力学中取得了很好的结果。应用 GAMBIT 和 TGrid 的网格附加功能，ANSYS13.0 版本可以在用户最少的输入下自动生成 CFD 合适的四面体网格。另外，它融合了高级尺寸函数（与 GAMBIT 相似）、棱柱及四面体网格（来自 TGRID）和其他网格划分技术，改进了网格平滑度、网格质量、划分速度、曲率近似功能捕捉、边界分层捕捉等功能。尽管许多功能是出于流体动力学的应用而改进的，但是它们仍然可以用于其他仿真分析应用。例如，结构分析的用户可以应用这些功能，得到自动化和高质量的网格。新增多区域网格划分方法使用户在不进行几何分割的情况下，可以将复杂的几何模型划分为纯六面体网格。

3. 多物理场

ANSYS13.0 版本扩展了多场求解功能。新增功能及增强功能可以处理直接耦合和顺序耦合的多物理场问题，ANSYS Workbench 下的多场仿真速度比以前更快。ANSYS 求解器技术的整合在 13.0 版本往前迈出了很大一步，它将求解器技术整合在一个统一的仿真环境中，为多场求解提供了更有效的工作流程。ANSYS13.0 版本扩展分布式稀疏求解器功能，支持共享分布式计算环境下的非对称和复杂矩阵。这种新的求解技术极大地缩短了某些直接耦合解决方案的执行时间，如包含 Pelbier 和 Seebeck 效应的耦合场分析，以及热电耦合分析等。此外，ANSYS13.0 版本可以应用直接耦合单元模拟多孔介质的渗流。

ANSYS Workbench 框架支持直接耦合场分析，相关的直接耦合场单元（Solid226 和 Solid227）在 ANSYS13.0 版本中支持热电耦合。此外，还有一个热电耦合分析系统支持温度相关材料的焦耳传热分析和高级热电效应，如 Peltier 和 Seebeck 效应。该新技术的应用领域包括集成电路、电子轨道、排线和热电制冷装置的焦耳热分析。

流固耦合功能中提出了一种新的 Immersed Solid FSI 算法。这是一种基于网格重叠的技术，流体和固体区域各自拥有一套网格，该算法可以帮助工程师模拟流场中运动刚体与流体之间的相互作用。

ANSYS13.0 流固耦合的另外一个新功能就是可以通过求解非线性雷诺压膜方程来解决

FSI 涉及薄液膜的非线性瞬态应用。13.0 版本提供了另外一个 FSI 功能, 该功能采用 ANSYS Fluent 软件作为 CFD 求解器来进行单向流固耦合计算, 基于 ANSYS CFX-Post, 可以使表面温度和表面力在 ANSYS Fluent 和 ANSYS Mechanical 产品之间进行单向载荷传递。

4. 结构力学

ANSYS13.0 版本在结构应用中的驱动工程设计过程功能得到了很大的改进。许多新增功能及工具整合到 ANSYS Workbench 平台中, 以缩短整体求解时间。另外, 在单元、材料、接触、求解性能、线性动力学、刚体动力学及柔体动力学上也集中进行了改进。

ANSYS13.0 版本中最引人注目的新单元是用于超弹性或成型应用中模拟复杂几何的 4 节点四面体单元。它缩短了从几何到求解的分析时间, 同时保证了求解的精确度。材料方面, ANSYS13.0 版本在原有众多选择的基础上引入了几个新材料, 如 Gurson 材料, 可用于模拟聚合体及聚合体复合材料等。

装配体分析在仿真中越来越重要, ANSYS13.0 版本增强了高级接触属性, 开发了包含许多附加接触模拟特征, 包括新增接触算法、自动去除过约束、接触对修整等功能, 在求解接触问题时得到了极大的改进, 缩短了求解时间, 加快了求解速度。

ANSYS13.0 版本改善了求解器性能, 新增一个新的模态求解器, 称为 SNODE, 用于求解大模型 (超过 100 万自由度) 的大数量振型 (几百阶振型)。并行求解器 DANTSYS 的功能也进行了改进, 支持低频电磁分析、高频电磁分析、PSTRESS、PSOLVE 及循环对称分析, 可以有效地解决电磁问题、转子动力学问题及循环对称和应力强化问题, 节约求解时间。ANSYS13.0 版本的 ANSYS Structural, Mechanical 及 Multiphysics 在刚体动力学及柔体动力学功能上做了改进, 可以快速处理机构问题。另外, 对数据及过程的众多改进增加了 ANSYS 刚体动力学仿真的易用性。

5. 流体动力学

ANSYS13.0 将流体产品完全整合进 ANSYS Workbench 环境, 以便在该环境下进行仿真工作流程的管理。用户可以采用 ANSYS CFX 或 ANSYS Fluent 软件来创建、连接、重复使用系统来完成自动参数化分析, 然后进行多物理场无缝管理仿真。

ANSYS Fluent 通过显式松弛增加了密度基隐式求解器的稳健性, 采用递推映射方法选项来提高稳定性 (耦合压力基求解器), 极大地增强了求解器性能。另外, 程序的易用性在很多方面得到了提高。ANSYS Fluent 采用单视图用户图形界面, 以便和 Workbench 中的其他分析应用保持一致, 同时改进了 TUI 日志的鲁棒性, 扩展了 Case Check 的推荐功能, 在用户界面发展史上又前进了一步。ANSYS CFX 软件界面风格上的主要改进在于增加了图形用户界面 (GUI)。ANSYS13.0 版本的一个新功能允许用户定制界面外观, 包括创建附加输入面板。用户定制面板通过 GUI 布局和必要的输入进行用户控制, 将常用操作及基本过程封装在一起。

6. 显式动力学

ANSYS 在 ANSYS13.0 版本显式动力学领域倾注了大量的精力, 包括附加新产品, 使该技术对于无使用经验者也易于使用。另外, 增强 ANSYS LS-DYNA 和 ANSYS AUTODYN

产品功能，为用户提供更大的便利。ANSYS13.0 版本新增 ANSYS Explicit STR 软件，它基于 ANSYS AutoDYN 产品的拉普拉斯算子部分，是 ANSYS Workbench 界面第一个本地显式软件。该技术可用于满足固体、流体、气体及它们之间相互作用的非线性动力学仿真。对已有 Workbench 环境使用经验的用户，该软件具有更好的适用性。

1.2.4 ANSYS13.0 使用环境

ANSYS 程序是一个功能强大的设计分析及优化的软件包。该软件可以运行于各类计算机及操作系统中，数据文件在所有的产品系列和工作平台上均是兼容的。

ANSYS 可以允许在同一种模型上进行各式各样的耦合计算，如流/固耦合、热/结构耦合、磁/结构耦合及电/磁/流/热耦合，在 PC 上生成的模型同样可以在巨型机上运行，这样就保证了所有 ANSYS 用户的多领域多变工程问题的求解。

ANSYS 可以利用数据接口与许多先进的 CAD 软件（如 Pro/Engineer、NASTRAN、Alogor、I-DEAS 及 AutoCAD 等）共享数据，可精确地将在 CAD 系统下生成的几何数据传入 ANSYS，并通过必要的修补准确地在该模型上划分网格并求解，这样可以节省用户创建模型过程中所花费的大量时间，使工作效率得到了极大的提高。

1.2.5 ANSYS13.0 软件功能

ANSYS13.0 的主要软件功能为结构分析、热分析、电磁分析、流体分析（CFD），以及耦合场分析。

1. 结构分析

结构分析用于确定结构的变形、应变、应力及反力，以及研究结构的强度、刚度和稳定性。ANSYS13.0 结构分析可以分为以下几类。

（1）静力分析：用于静态载荷。可以考虑结构的线性及非线性行为，如大变形、大应变、应力刚化、接触、塑性、超弹及蠕变等。

（2）模态分析：计算线性结构的自振频率及振形。

（3）谱分析：模态分析的扩展，用于计算由于随机振动引起的结构应力和应变。

（4）谐响应分析：确定线性结构对随时间按正弦曲线变化的载荷的响应。

（5）瞬态动力学分析：确定结构对随时间任意变化的载荷的响应。可以考虑与静力分析相同的结构非线性行为。

（6）特征屈曲分析：用于计算线性屈曲载荷并确定屈曲模态形状（结合瞬态动力学分析可以实现非线性屈曲分析）。

（7）专项分析：断裂分析、复合材料分析、疲劳分析等。

（8）显式动力学分析（ANSYS LS-DYNA）：用于模拟非常大的变形，惯性力占支配地位，并考虑所有的非线性行为。它的显式方程求解冲击、碰撞、快速成型等问题，是目前求解这类问题最有效的方法。

2. 热分析

ANSYS 热分析计算物体的稳态或瞬态温度分布, 以及热量的获取或损失、热梯度、热通量等。ANSYS13.0 热分析具有以下功能。

- (1) 稳态热分析: 用于研究稳态的热载荷对系统或部件的影响。
- (2) 瞬态热分析: 用于研究一个随时间变化的温度场及其他热参数。
- (3) 三种热传递方式(热传导、热对流和热辐射): 用于分析系统各部件间的温度传递。
- (4) 相变分析: 用于分析熔化及凝固, 以及内热源(如电阻发热等)。
- (5) 热应力分析: 热分析之后往往进行结构分析, 计算由于热膨胀或收缩不均匀引起的应力。

3. 电磁分析

磁场分析用于计算磁场, 磁场分析中考虑的物理量是磁通量密度、磁场密度、磁力、磁力矩、阻抗、电感、涡流、能耗及磁通量泄漏等。磁场可由电流、永磁体、外加磁场等产生。磁场分析的类型可以分为以下几种。

- (1) 静磁场分析: 计算直流电(DC)或永磁体产生的磁场。
- (2) 交变磁场分析: 计算由于交流电(AC)产生的磁场。
- (3) 瞬态磁场分析: 计算随时间随机变化的电流或外界引起的磁场。
- (4) 高频电磁场分析: 用于微波及 RF 无源组件, 波导、雷达系统、同轴连接器等分析。

电场分析用于计算电阻或电容系统的电场, 典型的物理量有电流密度、电荷密度、电场及电阻热等。

4. 流体分析(CFD)

流体分析用于确定流体的流动及热行为。流体分析可以分以下几类。

- (1) CFD-ANSYS/FLOTRAN: 提供强大的计算流体动力学分析功能, 包括不可压缩或可压缩流体、层流及湍流, 以及多组分流等。
- (2) 声学分析: 考虑流体介质与周围固体的相互作用, 进行声波传递或水下结构的动力学分析等。
- (3) 容器内流体分析: 考虑容器内的非流动流体的影响, 可以确定由于晃动引起的静水压力。
- (4) 流体动力学耦合分析: 在考虑流体约束质量的动力响应基础上, 在结构动力学分析中使用流体耦合单元。

5. 耦合场分析

耦合场分析考虑两个或多个物理场之间的相互作用。当两个物理场之间相互影响, 单独求解一个物理场是不可能得到正确结果的, 因此需要一个能够将两个物理场组合到一起求解的分析软件。ANSYS13.0 中可以实现的耦合场分析的典型情况有热-结构、磁-热、流体-热、热-电、流体-结构、电-磁-热等。

1.2.6 ANSYS13.0 文件系统

ANSYS 软件广泛应用文件来存储和恢复数据，特别是在求解分析时。这些文件被命名为 jobname.ext，其中 jobname 是默认的作业名，ext 是由 ANSYS 定义的唯一由 2~4 字符组成的扩展名，表明文件的内容。作业名是进入 ANSYS 后用户指定的文件名，如果没有给文件起名，则默认的作业名为 file。ANSYS 不支持中文的文件名。

在 ANSYS 运行结束前某一时刻被删除的文件称为临时文件，参见表 1-1。在 ANSYS 运行结束后仍然保留的文件称为永久性文件，参见表 1-2。

表 1-1 ANSYS 产生的临时文件

文 件 名	类 型	内 容
jobname.ano	文本	图形注释命令
jobname.bat	文本	从批处理输入文件中复制的输入数据
jobname.don	文本	嵌套层 n 的循环命令
jobname.erot	二进制	旋转单元矩阵文件
jobname.page	二进制	虚拟内存页文件

表 1-2 ANSYS 产生的永久性文件

文 件 名	类 型	内 容
jobname.db	二进制	数据库文件
jobname.elem	文本	单元定义文件
jobname.emat	二进制	单元矩阵文件
jobname.err	文本	出错及警告文件
jobname.esav	二进制	单元数据存储文件
jobname.log	文本	日志文件
jobname.out	文本	输出文件
jobname.rfl	二进制	FOLOTTRAN 分析的结果文件
jobname.rmg	二进制	磁场分析的结果文件
jobname.rst	二进制	结构和耦合场分析的结果文件
jobname.rsh	二进制	温度场分析的结果文件
jobname.snn	文本	载荷步文件
jobname.stat	文本	批处理运行状态文件

ANSYS 保存数据的文件使用了许多种不同的存储格式，其中有的采用文本格式（ASCII 码），有的采用二进制格式。对于文本格式的文件来说，可以使用文本编辑器对其中的文本进行查看和编辑。