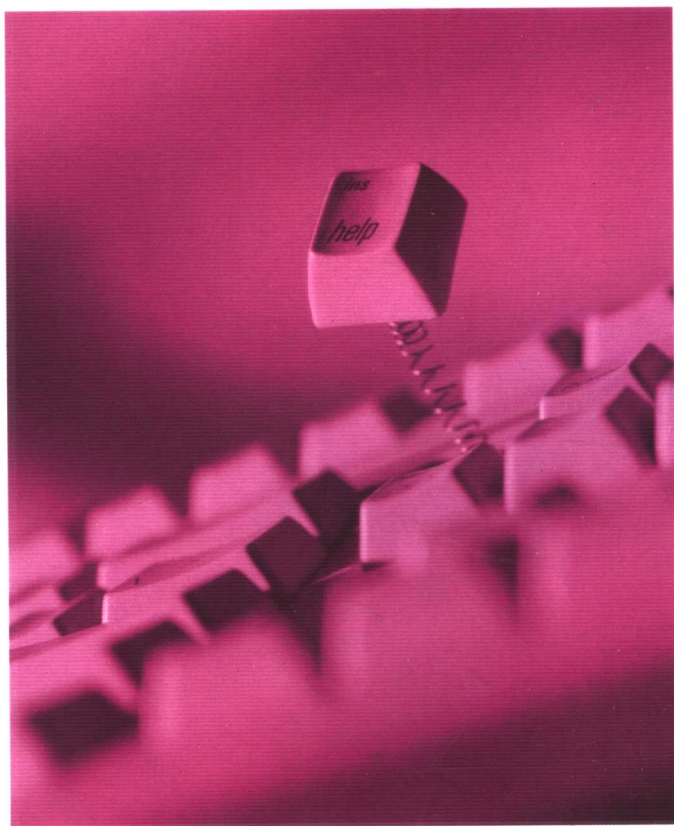


万水
ANSYS 技术丛书

ANSYS

在机械与 化工装备中的应用



余伟炜	高炳军	主 编
陈洪军	王呼佳	等编著
陈 旭	姚新军	



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

万水 ANSYS 技术丛书

ANSYS 在机械与化工装备中的应用

余伟炜 高炳军 主编

陈洪军 王呼佳 陈 旭 姚新军 等编著

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书是一本关于大型有限元软件 ANSYS 在机械及化工工程应用中的实例解集,其工程背景深厚、内容丰富、讲解详尽,针对每一具体实例,均按照图形用户界面和命令流两种方式进行分析和讲解,适用于不同的读者群。

全书分为 3 篇,分别为基础篇、工程应用篇和高级设计篇。基础篇对 ANSYS 的基础理论加以介绍,包括单元、本构模型等内容。工程分析篇是根据化工机械领域实际工程应用或研究而设置的相关例题讲解,按照机械、化工设备领域传统的分类方法,分为 ANSYS 在机械与化工容器中的应用和在化工设备中的应用两个章节。高级分析篇包含 ANSYS 优化设计、疲劳设计以及结构可靠性分析等诸多高级功能在机械、化工设备设计中的分析应用。

阅读本书时,可以到中国水利水电出版社网站(<http://www.waterpub.com.cn/softdown/>)下载本书配套的命令流文件,方便上机练习,以便尽快掌握工程实际问题的分析过程和步骤,提高学习效率。

本书特别适合于机械及化工装备专业的高年级本科生、研究生和工程技术人员,并可作为学习掌握 ANSYS 软件的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 在机械与化工装备中的应用 / 余伟伟, 高炳军等编著. —北京: 中国水利水电出版社, 2006

(万水 ANSYS 技术丛书)

ISBN 7-5084-3541-9

I. A… II. ①余…②高… III. ①机械设计—有限元分析—应用程序, ANSYS②化工设备—设计—有限元分析—应用程序, ANSYS IV. ①TH122-39②TQ050.2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 001441 号

书 名	ANSYS 在机械与化工装备中的应用
作 者	余伟伟 高炳军 主编 陈洪军 王呼佳 陈旭 姚新军 等编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)、82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京北医印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 26.25 印张 649 千字
版 次	2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	45.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

计算机辅助工程(CAE)技术是计算机技术和工程分析技术相结合而形成的新兴技术。近四十年来,美国 ANSYS 公司一直致力于 CAE 技术的发展和研究,经过多年的发展,ANSYS 逐渐为全球工业界广泛接受,并成为全球计算机辅助工程技术领域最主要的软件供应商之一。ANSYS 具有灵活和开放的解决方案,从概念设计到详细设计都提供了全程 CAE 协同仿真环境,可以使工程师们缩短研发周期,降低研发费用,提高设计质量。

在世界范围内,ANSYS 已经成为机械及压力容器行业分析软件的主流。在中国,ANSYS 成为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分析软件。近十年来,ANSYS 软件在压力容器行业发挥着巨大作用,成为压力容器分析设计的事实上的标准。ANSYS 为推动 CAE 分析设计在该领域的普及做出了卓有成效的工作,为提高我国压力容器的分析设计水平做出了巨大的贡献。

本书作者长期使用 ANSYS 软件从事教学、科研工作,完成了许多化工领域工程项目,具有深厚的有限元理论背景,对 ANSYS 软件的使用也有很深的造诣。本书从工程实际出发,由浅入深,详细介绍 ANSYS 软件在机械及化工领域的应用知识。实例包含化工机械设计中常见的设备类型(接管结构、塔设备、存储设备及换热设备等)和分析类型(强度、刚度、寿命)以及分析方法(静力、动力、线性、非线性、热分析、屈曲、振动、耦合等),还介绍了优化设计、可靠性分析等专题。

本书所举实例具有较高的参考价值,特别适合于机械及化工装备专业的高年级本科生、研究生和工程技术人员,并可作为学习掌握 ANSYS 软件的参考教材。

安世亚太科技(ANSYS-CHINA)有限公司

总工程师

梅林涛

2005 年 12 月

前 言

ANSYS 是最为通用和有效的商用有限元软件之一，它不断吸收当今世界最新的计算方法和计算机技术，引领着有限元界的发展趋势，并为全球工业界广泛接受，拥有全球最大的用户群。它融结构、传热学、流体、电磁、声学 and 爆破分析于一体，具有极为强大的前后处理及计算分析能力，能够同时模拟结构、热、流体、电磁以及多种物理场间的耦合效应。自落户中国以来，ANSYS 以其强大的功能、可靠的质量赢得了中国 CAE 用户的认可，并在我国的航空航天、铁路运输业、石油化工、机械制造、能源、汽车、电子、土木工程、造船、生物医学、轻工、地矿、水利等领域得到广泛应用，为各领域的科学研究和工程应用做出了巨大的贡献。

本书以 ANSYS 9.0 版本为依据，选用机械及化工行业的典型工程实例，具体讲解运用 ANSYS 高级有限元分析软件处理工程问题的思路和详细步骤，手把手教给读者面对一个工程问题如何筹划方案、建立模型、分析计算、结果处理等。本书根据工程应用的不同分为八章讲述，第一、二章介绍 ANSYS 的基础知识，第三、四章作为工程应用篇，重点介绍 ANSYS 在化工容器及化工设备中的应用，第五至八章介绍 ANSYS 高级分析功能在机械及化工行业的应用。

读者对象

本书可以作为高等院校、科研院所的科研人员和研究生的参考书，亦可作为广大工程技术人员的参考书。本书特别适合希望在 CAE 行业中提升职业竞争力的读者。

本书特色

- 分析更深入——在内容安排上，结合化工机械的自身特点，全部覆盖化工机械的计算、分析、校核、优化、可靠性分析等几大方面，将 ANSYS 在机械与化工装备中的主流应用一网打尽，并且每个知识点都很深入，注重 CAE 分析的实际应用。
- 把握热点应用领域——ANSYS 在压力容器设计中已成为行业标准，压力容器在石油行业、化工行业、核物理等领域应用非常广泛，而且形成设计规范。对机械行业的响应分析、耦合分析、优化设计、疲劳分析、可靠性分析等也有很好的把握。
- 强大的工程应用背景——本书列举的实例都是从实际工程、科研项目中提炼出来，具有很强的参考价值。同时着重讲解如何用 ANSYS 解决实际科研、工作中的问题。
- 更加专注重点——专注于机械与化工装备应用领域，透彻讲解该领域的实际应用。
- 配备所有案例的命令流文件——让读者的学习过程更加高效，并且对命令流进行详细注释，最大限度地增加可阅读性。该命令流文件可以到中国水利水电出版社网站 (<http://www.waterpub.com.cn/softdown/>) 下载。

创作分工与致谢

本书由天津大学 CARE (Computer Aided Reliability Engineering) 实验室工作人员编写, 编写人员多为硕士、博士或具有丰富实践经验的工程技术人员和老师。余伟炜与高炳军作为主编, 根据其多年的设计和教学经验, 结合实际对机械及化工设备中的常见模型进行分析, 并在书中介绍解决实际问题的经验和技巧, 具有较高的参考性和可读性。

本书第一、二、五、六、八章及第三章部分内容有余伟炜执笔, 第三、四、八章部分内容及第七章由高炳军执笔, 王呼佳、陈洪军主要负责第四章内容, 全书由姚新军审定。另外汤臣杭、王涛、韩晓燕、赵树峰、董城、陈逢春、程伟、李凤琴、于德华、何瑛、李侠、张红柳、陈勇、宋洁、陈刚、白宁、李鑫、蔺永诚、朱宇峰等参与了其中部分章节的编写。

本书承蒙天津大学陈旭教授、西南交通大学蔡力勋教授、沈火明副教授的大力支持, 他们对本书给予了诸多的指导, 在此深表感谢。特别要感谢的是安世亚太科技 (ANSYS-CHINA) 有限公司的总工程师梅林涛先生, 他为本书提出非常珍贵的意见和建议, 并且亲自为本书作序。南开大学刘慧博士、西南交通大学叶裕明、肖新标博士对本书的编写也给出实际的指导, 在此表示感谢。在本书的创作期间获得中国水利水电出版社老师的大力支持, 正是他们辛苦的付出, 才使得本书能够在第一时间面向读者。

由于时间仓促, 作者水平有限, 书中错误、纰漏之处在所难免, 敬请广大读者批评指正。

编者

2005 年 12 月

目 录

序

前言

绪论	1
第 1 章 ANSYS 基本介绍	4
1.1 ANSYS 软件的主要功能	4
1.2 ANSYS 9.0 软件的新特性及新功能	6
1.3 ANSYS 9.0 启动与界面	7
1.3.1 系统要求	7
1.3.2 启动与退出	8
1.3.3 认识 ANSYS 9.0 的操作界面	10
1.4 ANSYS 9.0 文件系统	12
1.4.1 文件格式	12
1.4.2 对文件大小限制	13
1.4.3 文件管理	13
1.5 ANSYS 接口工具	16
1.5.1 IGES 格式输入	16
1.5.2 与 Pro/E 接口	17
1.5.3 与 UG 接口	18
1.5.4 与 Parasolid 接口	20
1.5.5 与 CATIA 接口	21
第 2 章 ANSYS 基本分析技术	22
2.1 结构分析类型	22
2.1.1 结构静力分析	22
2.1.2 结构非线性分析	23
2.1.3 结构动力学分析	24
2.1.4 结构热分析	25
2.1.5 结构耦合场分析	25
2.2 ANSYS 材料模型	26
2.2.1 材料应力应变关系	26
2.2.2 材料本构模型	27
2.2.3 材料本构模型组合	30
2.3 ANSYS 基本分析过程	31
2.3.1 理解有限元	31
2.3.2 ANSYS 分析举例	32
2.4 ANSYS 化工装备分析常用单元介绍	36

2.4.1	2-D 结构实体单元 (PLANE 系列)	37
2.4.2	3-D 结构实体单元 (SOLID 系列)	40
2.4.3	结构壳单元 (SHELL 系列)	43
2.4.4	弹簧单元 (COMBINATION 系列)	46
2.4.5	接触单元 (CONTAC 系列)	48
2.4.6	管道单元 (PIPE 系列)	53
2.4.7	热分析及热应力分析对应单元	55
第 3 章	ANSYS 在化工容器中的应用	58
3.1	压力容器设计概述	58
3.1.1	压力容器及其分类	58
3.1.2	压力容器设计解决方案	59
3.2	压力容器不连续区应力分析	60
3.2.1	概述	60
3.2.2	高压容器筒体与封头的连接区的应力分析	60
3.2.3	压力容器开孔接管区的应力分析	68
3.2.4	支座支撑区应力分析	77
3.3	压力容器稳定性分析	89
3.3.1	概述	89
3.3.2	外压容器的失稳问题	90
3.3.3	压力容器的局部失稳问题	100
3.4	压力容器分析设计	111
3.4.1	概述	111
3.4.2	加氢反应器裙座支撑区的机械应力分析	112
3.4.3	加氢反应器裙座支撑区的热应力分析	124
3.4.4	加氢反应器裙座支撑区的热应力评定	135
3.5	压力容器中的接触分析	142
3.5.1	法兰连接中的接触分析	143
3.5.2	O 形密封圈回弹性能试验模拟	155
3.5.3	补强圈与筒体间接触特性分析	169
第 4 章	ANSYS 在化工设备中的应用	187
4.1	塔设备分析	187
4.1.1	概述	187
4.1.2	模态分析	187
4.1.3	风载荷动力响应分析	202
4.1.4	地震载荷动力响应分析	208
4.2	储存设备分析	216
4.2.1	球罐在风载荷下的动力响应	216
4.2.2	球罐在地震载荷下的动力响应	245
4.2.3	球罐在雪载荷下的应力分析	248

4.3	换热设备分析.....	251
4.3.1	概述.....	251
4.3.2	固定管板换热器的机械场应力分析.....	251
4.3.3	固定管板式换热器的耦合场分析.....	263
第 5 章	ANSYS 优化设计.....	277
5.1	优化设计概述.....	277
5.1.1	优化设计理论.....	278
5.1.2	优化设计基本概念.....	279
5.1.3	优化设计过程与步骤.....	281
5.1.4	注意事项及建议.....	288
5.2	压力容器壁厚优化设计.....	289
5.3	换热器封头管箱线性变厚度段参数优化分析.....	302
第 6 章	结构可靠性分析.....	315
6.1	结构可靠性概述.....	315
6.1.1	结构可靠性分析相关概念.....	316
6.1.2	可靠性分析过程与步骤.....	318
6.2	高压球形容器强度可靠性分析.....	320
6.3	塔设备裙座支撑区可靠性分析.....	331
第 7 章	疲劳分析.....	345
7.1	疲劳分析.....	345
7.1.1	疲劳分析相关概念.....	345
7.1.2	疲劳分析过程.....	346
7.2	平板封头与筒体连接区的疲劳分析.....	352
7.3	吸附塔的疲劳分析.....	356
第 8 章	ANSYS 其他高级技术应用.....	366
8.1	APDL 参数化设计语言.....	366
8.1.1	APDL 参数化设计语言主要概念.....	366
8.1.2	APDL 应用实例——涡旋压缩机涡盘建模.....	370
8.2	子模型.....	377
8.2.1	子模型技术概述.....	377
8.2.2	带局部夹套卧式容器的应力分析.....	380
8.3	单元的生死.....	389
8.3.1	单元生死主要概念.....	389
8.3.2	单元生死特性的使用.....	390
8.3.3	单元生死的控制.....	392
8.3.4	单元生死在焊接过程中的应用.....	393

绪 论

ANSYS 综述

ANSYS 是融结构、热、流体、电磁、声学于一体的大型通用有限元分析软件，可广泛用于核工业、铁道、石油化工、航空航天、机械制造、能源、汽车交通、国防军工、电子、土木工程、造船、生物医学、轻工、地矿、水利、日用家电等工业及科学研究中。

ANSYS 公司成立于 1970 年，总部设在美国宾夕法尼亚州的匹兹堡，目前是世界 CAE 行业中最大的公司。其创始人 John Swanson 博士为匹兹堡大学力学系教授、有限元界权威。在 30 多年的发展过程中，ANSYS 不断改进提高，功能不断增强，目前最新的版本已发展到 10.0 版本。

该软件具有以下几个主要特点：

(1) 完备的前处理功能。ANSYS 不仅提供了强大的实体建模及网格划分工具，可以方便地构造数学模型，而且还专门设有用户所熟悉的一些大型通用有限元软件的数据接口（如 MSC / NSSTRAN, ALGOR, ABAQUS 等），并允许从这些程序中读取有限元模型数据，甚至材料特性和边界条件，完成 ANSYS 中的初步建模工作。此外，ANSYS 还具有近 200 种单元类型，这些丰富的单元特性能使用户方便而准确地构建出反映实际结构的仿真计算模型。

(2) 强大的求解器。ANSYS 提供了对各种物理场量的分析，是目前惟一能融结构、热、电磁、流体、声学等为一体的有限元软件。除了常规的线性、非线性结构静力、动力分析外，还可以解决高度非线性结构的动力分析、结构非线性及非线性屈曲分析。提供的多种求解器分别适用于不同的问题及不同的硬件配置。

(3) 方便的后处理器。ANSYS 的后处理分为通用后处理模块 (POST1) 和时间历程后处理模块 (POST26) 两部分。后处理结果可能包括位移、温度、应力、应变、速度以及热流等，输出形式可以是图形显示和数据列表两种。

(4) 多种实用的二次开发工具。ANSYS 除了具有较为完善的分析功能外，同时还为用户进行二次开发提供了多种实用工具，如宏 (Marco)、参数设计语言 (APDL)、用户界面设计语言 (UIDL) 及用户编程特性 (UPFs) 等，其中 APDL (ANSYS Parametric Design Language) 是一种非常类似于 Fortran77 的参数化设计解释性语言，其核心内容为宏、参数、循环命令和条件语句，可以通过建立参数化模型来自动完成一些通用性强的任务。

ANSYS 在计算机辅助工程中的地位

计算机辅助工程 (CAE) 技术是计算机技术和工程分析技术相结合而形成的新兴技

术。CAE 软件是由计算力学、计算数学、结构动力学、数字仿真技术、工程管理学与计算机技术相结合而形成一种综合性、知识密集型信息产品。CAE 的核心技术是有限元理论和数字计算方法。经过几十年的发展, CAE 软件分析的对象逐渐由线性系统发展到非线性系统, 由单一的物理场发展到多场耦合系统, 并在航空、航天、机械、建筑、土木工程、爆破等领域获得了成功的应用。并随着计算机技术、CAD 技术、CAPP 技术、CAM 技术、PDM 技术和 ERP 技术的发展, CAE 技术逐渐与它们相互渗透, 向多种信息技术的集成方向发展。

经过多年的发展, ANSYS 逐渐为全球工业界所广泛接受。其用户涵盖了机械、航空航天、能源、交通、土木、国防军工等众多领域。ANSYS 构成了这些领域国际国内分析设计技术交流的主要分析平台。ANSYS 独具特色的多物理场耦合分析技术和涵盖优化设计、随机有限元分析等在内的一体化的处理技术充分体现了 CAE 领域的最新发展成就。它能与多数 CAD 软件接口实现数据的共享和交换。其在 CAE 市场的地位可见一斑:

(1) 第一个通过 ISO 9001 质量认证的分析设计软件。

(2) 世界范围内增长最快的 CAE 软件。

(3) 美国机械工程师协会 (ASME)、美国核安全局 (NQA) 及近二十种专业技术协会认证的标准分析软件。

(4) 第一个通过了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分析软件。

(5) FEA 界荣获美国 “R&D 明星” 殊荣。

(6) ANSYS 成为第一个能求解 1 亿自由度模型的 CAE 公司。

(7) 680 多家商业用户和 560 家高校用户, 用户总数超过 1200 家的广大中国用户群。

ANSYS 在机械与化工装备设计中的应用

在机械行业分析设计中, 越来越多地应用 CAD、CAE 技术进行辅助设计和辅助分析。ANSYS 软件有效地将有限元数值分析技术和 CAD、CAE 有机地结合在一起, 使用户可以直观地分析结构设计中的问题, 有效地节省生产和开发费用。近十年来, 已经有多种版本的 ANSYS 软件在机械设计行业发挥着巨大作用。

在压力容器行业, ANSYS 占据了国内 95% 以上的市场份额, 成为压力容器分析设计的事实上的标准。尤其是在 1995 年, 全国锅炉压力容器标准化技术委员会 (原全国压力容器标准化技术委员会) 发布了 JB4732-1995 《钢制压力容器分析设计标准》后, 有限元的应用更是上了一个台阶。

在传统的设计中, 鉴于压力设备安全问题的重要性, 世界各工业国都制定了相应的规范, 其设计往往偏于保守, 使得设计的容器显得又笨又重; 另一方面, 保守的设计会引起用户和制造厂家成本上升, 从而造成一些不必要的浪费。随着化工设备向着大型化、复杂化、高参数化方向发展, 作为压力容器零部件设计的常规设计方法受到了冲击, 受压零部件的设计越来越多地利用应力分析来完成。有效地利用 ANSYS 等 CAE 工具进行有限元辅助分析设计, 为化工机械设计提供了强有力的技术保证。

ANSYS 为推动 CAE 分析设计在机械和化工领域的普及做出了卓有成效的工作，为提高我国压力容器的分析设计水平做出了巨大的贡献。依靠其卓越的表现，ANSYS 软件成为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分析软件。

第 1 章 ANSYS 基本介绍

知识要点:

- ANSYS 产品主要功能
- ANSYS 9.0 产品的新特性
- ANSYS 的启动与界面
- ANSYS 的文件系统
- ANSYS 接口工具

本章导读:

本章主要介绍 ANSYS 的运行环境、工作环境和文件系统及其新增功能与主要技术特点,然后介绍了 ANSYS 的数据接口,以方便读者使用 CAD 软件建模,加快分析进程。通过本章的学习,读者可以掌握 ANSYS 的基本知识,熟悉 ANSYS 的操作环境和文件系统,了解 ANSYS 与 CAD 软件之间的数据接口等。

1.1 ANSYS 软件的主要功能

ANSYS 软件提供了对各种物理场量的分析,是一种能够融结构、热、流体、电磁、声学于一体的大型通用有限元分析软件,其主要功能包括:

1. 结构分析

结构分析是有限元分析方法最常用的一个应用领域。结构分析中得到的基本未知量是节点位移,其他一些未知量如应力、应变、支座反力等都可以通过节点位移计算得到。ANSYS 能够完成的结构分析有:

- 结构静力分析:用来计算在固定不变的外载荷作用下结构的位移、应力、应变等响应。一般不考虑系统惯性和阻尼,但可以分析那些固定不变的惯性载荷(重力、离心力)对结构的影响。
- 结构非线性分析:结构非线性包括几何非线性(大变形,大应变,应力强化等)、材料非线性(弹塑性,粘弹性,超弹性等)、单元非线性(接触问题、钢筋混凝土单元等)。ANSYS 能够分析静态和瞬态非线性问题。
- 结构动力分析:用来求解在随时间变化的载荷作用下结构的动态响应,包括模态分析、谐响应分析、瞬态动力学分析、谱反应分析。
- 隐式,显式(ANSYS/LS-DYNA)及显式-隐式-显式耦合求解。

2. 热分析

热分析用于计算一个系统的温度等热物理量的分布及变化情况。基于热平衡方程,ANSYS 程序能够计算各节点的温度,并导出其他的热物理量。ANSYS 能够完成的热分析有:

- 稳态温度场分析：研究稳定的热载荷对系统或部件的影响，用以确定由于稳定的热载荷引起的温度、热梯度、热流率、热密度等参数。
- 瞬态温度场分析：用以计算一个系统的随时间变化的温度场及其他热参数。
- 相变分析：含有相变问题的热分析是一个非线性的瞬态问题，ANSYS 可以分析包括凝固、融化在内的相变问题。
- 辐射分析：ANSYS 可以模拟点到点、点到面、面到面的热辐射效应。

3. 流体动力学分析

ANSYS 程序的 FLOTTRAN CFD 分析功能能够进行二维及三维的流体瞬态和稳态动力学分析，其可以完成如下分析：

- 层流分析、湍流分析；
- 自由对流与强迫对流分析；
- 可压缩流/不可压缩流分析；
- 亚音速、跨音速、超音速流动分析；
- 多组份流动分析；
- 移动壁面及自由界面分析；
- 牛顿流与非牛顿流体分析；
- 内流和外流分析；
- 分布阻力和 FAN 模型；
- 热辐射边界条件；
- 管流。

4. 电磁场分析

ANSYS 程序能分析电感、电容、涡流、电场分布、磁力线分布及能量损失等电磁场问题，也可以用于螺线管、发电机、变换器、电解槽等装置的设计与分析。其内容主要包括：

- 2D、3D 及轴对称静磁场分析；
- 2D、3D 及轴对称时变磁场，交流磁场分析；
- 静电场、AC 电场分析；
- 电路分析：包括电阻、电容、电感等；
- 电路-磁场耦合分析；
- 电磁兼容分析；
- 高频电磁场分析；
- 计算洛伦磁力和焦耳热/力。

5. 声学分析

ANSYS 程序能进行声波在含流体介质中的传播的研究，也能分析浸泡在流体中的固体结构的动态特性。这些功能可用来确定音响的频率响应，研究音乐大厅的声场分布等。其涉及范围包括：

- 声波在容器内的流体介质中传播；
- 声波在固体介质中的传播；
- 水下结构的动力分析；
- 无限表面吸收单元。

6. 压电分析

用于分析二维或三维结构对 AC、DC 或任意随时间变化的电流或机械载荷的响应。主要研究内容如下:

- 稳态分析、瞬态分析;
- 谐响应分析;
- 瞬态响应分析;
- 交流、直流、时变电载荷或机械载荷。

7. 多耦合场分析

多耦合场分析就是考虑两个或多个物理场之间的相互作用。ANSYS 统一数据库及多物理场分析并存的特点保证了可方便地进行耦合场分析, 允许的耦合类型有以下几种:

- 热-应力;
- 磁-热、磁-结构;
- 流体流动-热;
- 流体-结构;
- 热-电;
- 电-磁-热-流体-应力。

8. 优化设计

优化设计是一种寻找最优设计方案的技术。ANSYS 程序提供多种优化方法, 包括零阶方法和一阶方法等。对此, ANSYS 程序提供了一系列的分析→评估→修正的循环过程。此外, ANSYS 程序还提供一系列的优化工具以提高优化过程的效率。

9. 用户编程扩展功能

用户可编程特性 (UPFS) 是指, ANSYS 程序的开放结构, 允许用户连接自己编写的 FORTRAN 程序和子过程。UPFS 允许用户根据需要定制 ANSYS 程序, 如用户自定义的材料性质、单元类型、失效准则等。通过连接自己的 FORTRAN 程序, 用户可以生成一个针对自己特定计算机的 ANSYS 程序版本。

10. 其他功能

ANSYS 程序支持的其他一些高级功能包括拓扑优化设计、自适应网格划分、子模型、子结构、单元的生和死等。

1.2 ANSYS 9.0 软件的新特性及新功能

ANSYS 9.0 版本是 CAE 仿真技术领袖软件的重要升级, ANSYS 9.0 延续了 Workbench 发展思路, 在产品研发流程仿真技术上有了质的飞跃, 同时在以往的核心特征的基础上提供了更强大的设计能力, 在机械、计算流体动力学、高频电磁和多物理场耦合等领域有了瞩目的发展, 从而大大拓展了工程仿真的应用领域。ANSYS 9.0 版本在新增功能、并行计算、Workbench 平台提升三方面的创新点值得关注。

1. 新增功能

(1) 多物理场。

对于电子冷却行业非常重要的热电直接耦合, 在 ANSYS 9.0 版本中都有加强。如今的耦

合功能支持 Seebeck, Peltier, Thomson 和瞬态电磁效果(电容阻尼)。对该热电耦合分析功能的增强,也使得 ANSYS 可以满足热电应用产品的仿真要求。

(2) 高频电磁分析。

ANSYS 9.0 版增加可以发射平面波波导端口,以适应循环对称结构的散射分析。RLC 电路单元如今也被包括在高频分析中,和 ANSYS 低频电路单元一样,此功能可以大大简化许多高频分析。新增的后处理功能可计算有损耗材料的 Smith 图表和 SAR(比吸收率)。在研究高频能量对生物组织的影响时,SAR 功能非常重要。

(3) 结构和热分析。

ANSYS 9.0 突破传统电焊建模方法,支持零部件独立划分网格,互不关联,然后通过点焊技术连接各部件。

ANSYS 9.0 提供新型的实体-壳单元,可轻松解决变厚度的厚薄结构装配问题。

ANSYS 9.0 的网格重划分功能,可重新划分变形区域网格以便求解顺利收敛,从而使得金属成形、橡胶变形等问题轻松解决。

ANSYS 9.0 中引入新的辐射分析算法,此算法在计算辐射角时可以将底层单元大量粗化。此外,在辐射热分析中可以采用平面和轴对称模型,这很大程度上减少了辐射热分析的计算时间。

除了以上新增功能,ANSYS 9.0 在前/后处理功能在灵活性和易用性上也有显著提高。

2. 并行计算

ANSYS 9.0 在并行计算中引入“分布式 ANSYS (DANSYS)”。在 DANSYS 下,所有的求解都可并行处理,包括产生刚度矩阵、求解方程以及结果计算。因此,无论是看自然时间,还是仅看方程求解时间,DANSYS 在线性和非线性计算方面都具有良好的速度攀升性。

DANSYS 的分布式内存构架通过多个处理器在单台或多台机器运行求解。它将巨型问题分解成小域,这些小域传输到各个处理器中求解,最终形成模型的全部求解。并行求解的方式缩短了整个求解时间。同时,内存也是分布式的。DANSYS 包括两个独具特色的求解器,PCG 求解器和 JCG 求解器。强大的求解功能,DANSYS 可解决所有的线性结构分析、非线性结构分析、单物理场的瞬态及热分析。

3. Workbench 平台提升

ANSYS 9.0 在 Workbench 平台下融合了更多的 ANSYS 核心技术,提供了这些产品集成化的解决方案,从而提高了用户的生产力。其在参数建模、CAD 数据处理、工程数据处理、先进的 6 Sigma 设计、低频电磁领域、非线性分析以及鲁棒性设计功能等诸多方面均获增强,使得 Workbench 9.0 是第一个除结构分析能力外,又具备电磁分析能力以及业界领先的 CFD 及网格划分技术(CFX 和 ICEM CFD)的 ANSYS 软件版本。

1.3 ANSYS 9.0 启动与界面

1.3.1 系统要求

1. ANSYS 9.0 对硬件的最低要求

计算机:可以采用奔腾(Pentium)或者 Itanium 系列。

- 内存：最低要求 512MB（对于 Itanium 则至少为 1GB）。
- 硬盘：对于 Pentium 系列，最小自由容量为 700MB；而对于 Itanium 系列至少为 1GB。
- 光驱：两倍速以上。
- 鼠标：能够支持 Windows XP 或 2000 系统。
- 显示器：能够支持 1024×768 分辨率的显示器。

提示：这些要求是利用 ANSYS 9.0 进行有限元分析的最低要求。如果内存空间不够，则可以通过虚拟内存来弥补，相应地需要增加硬盘自由容量。选用配置更高、速度更快的机器对于大型有限元问题的求解都是有非常重要的实际意义的，这样不仅可以提高工作效率，还可以大大节省计算所耗费的时间。此外，为了获得最佳的视觉效果，建议使用 17 英寸以上的显示器。

2. ANSYS 9.0 对软件的最低要求

ANSYS 9.0 对操作系统的要求如表 1-1 所示。

表 1-1 ANSYS 9.0 对操作系统要求

操作系统	编译器
Intel IA-64 bit / Windows XP 64-bit Edition Version 2003	Intel Fortran v7.1, Intel C++ v7.1
Intel IA-32 bit / Windows XP Home 或 Professional (Build 2600) Version 5.1	Compaq Visual FORTRAN 6.6 A MS VC++ 6.0 (Service Pack 5)
Intel IA-32 bit / Windows 2000 Version 5.0 (Build 2195)	

提示：编译器的要求仅限于用户使用自定义子程序时参考，如不使用用户自定义程序，则可不考虑。

确定 MS Windows 中安装有网卡、TCP/IP 协议，并且 TCP/IP 协议绑定到此网卡上。注意在 TCP/IP 协议中要设定 Hostname。

ANSYS 在 Windows 系统下依靠计算机的网卡信息加密，所以网卡不可以随便更改。

提示：网卡及 TCP/IP 安装完毕之后，最好备份所有的网络配置且不要随意更改，否则可能会导致 License Key 失效。在遭遇到网卡损坏必须更换的情况时，可通过修改新网卡的 MAC 地址恢复到备份的网络设置。

1.3.2 启动与退出

1. 启动 ANSYS 9.0

在 ANSYS 9.0 正确安装完毕后，就可以启动并运行 ANSYS 9.0 了。有多种方法可以启动 ANSYS 9.0：

- (1) 交互式启动：单击“开始”菜单，选择“程序”中的 ANSYS Product Launcher，启动 ANSYS 9.0，如图 1-1（左）所示。进入 ANSYS 启动交互界面，进行相关设置。
- (2) 快速启动：单击“开始”菜单，选择“程序”中的 ANSYS，快速启动 ANSYS 9.0，如图 1-1（右）所示。采用的是默认的上一次运行环境设置。

提示：建议用户选用交互式启动，这样可以避免上一次运行的结果文件被覆盖而丢失，且可以按照需要选择工作目录和工作文件名称，便于管理。