



全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

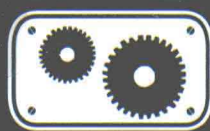
丛书顾问 ▶ 李培根 林萍华

有限元基本 理论及应用

龚曙光 边炳传 ▶ 主编



Y
O
U
X
I
A
N
Y
U
A
N
J
I
B
E
N
L
I
L
U
N
Y
I
N
G
Y
O
N
G



J
I
X
I
E
L
I
S
H
I
E
R
W
U



华中科技大学出版社

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

有限元基本理论及应用

主 编 龚曙光 边炳传

副主编 张国智 王明旭 翁剑成 许振保



华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书以工程应用为背景,系统介绍了有限元法所涉及的基础理论知识,以及 ANSYS 软件的基本操作与分析步骤。

全书共分 9 章,主要介绍弹性力学的基本理论、杆梁结构的有限元分析、平面与三维结构的有限元分析、接触问题的有限元分析、温度场的有限元分析、机械动力学的有限元分析、电磁场问题的有限元分析,以及利用 ANSYS 软件开展有限元分析的基本步骤及建模过程。结合 ANSYS 软件,每章均给出了分析实例,详细列出了实例的分析过程和求解步骤,给出了每个实例的 APDL 命令流源代码和注释。

本书可作为理工科相关专业的本科生、研究生学习有限元基本理论及使用 ANSYS 软件的教材,也可作为工程技术人员从事工程应用、科学研究的主要参考书。

图书在版编目(CIP)数据

有限元基本理论及应用/龚曙光 边炳传 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.2
ISBN 978-7-5609-8509-1

I. 有… II. ①龚… ②边… III. 有限元分析-高等学校-教材 IV. O241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 276182 号

有限元基本理论及应用

龚曙光 边炳传 主编

策划编辑:俞道凯

责任编辑:姚 幸

封面设计:范翠璇

责任校对:李 琴

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉市宏隆印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:15.5

字 数:394 千字

版 次:2013 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:29.80 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

编审委员会

顾问：李培根 华中科技大学

林萍华 华中科技大学

主任：吴昌林 华中科技大学

副主任：(按姓氏笔画顺序排列)

王生武 邓效忠 轧 钢 庄哲峰 吴 波 杨家军

杨 萍 何岭松 陈 炜 竺志超 高中庸 谢 军

委员：(排名不分先后)

许良元 程荣龙 曹建国 郭克希 朱贤民 贾卫平

丁晓非 张生芳 董 欣 庄哲峰 蔡业彬 许泽银

许德璋 叶大鹏 李耀刚 耿 铁 邓效忠 宫爱红

成经平 刘 政 王连弟 张庐陵 张建国 郭润兰

张永贵 胡世军 汪建新 李 岚 杨术明 杨树川

李长河 马晓丽 刘小健 汤学华 孙恒五 聂秋根

赵 坚 马 光 梅顺齐 蔡安江 刘俊卿 龚曙光

吴凤和 李 忠 罗国富 张 鹏 张鬲君 柴保明

孙 未 何 庆 李 理 孙文磊 李文星 杨咸启

秘 书：

俞道凯 万亚军

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

序

“十二五”时期是全面建设小康社会的关键时期,是深化改革开放、加快转变经济发展方式的攻坚时期,也是贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》的关键五年。教育改革与发展面临着前所未有的机遇和挑战。以加快转变经济发展方式为主线,推进经济结构战略性调整、建立现代产业体系,推进资源节约型、环境友好型社会建设,迫切需要进一步提高劳动者素质,调整人才培养结构,增加应用型、技能型、复合型人才供给。同时,当今世界处在大发展、大调整、大变革时期,为了迎接日益加剧的全球人才、科技和教育竞争,迫切需要全面提高教育质量,加快拔尖创新人才的培养,提高高等学校的自主创新能力,推动“中国制造”向“中国创造”转变。

为此,近年来教育部先后印发了《教育部关于实施卓越工程师教育培养计划的若干意见》(教高[2011]1号)、《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》(教高[2011]5号)、《关于“十二五”期间实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”的意见》(教高[2011]6号)、《教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见》(教高[2012]4号)等指导性意见,对全国高校本科教学改革和发展方向提出了明确的要求。在上述大背景下,教育部高等学校机械学科教学指导委员会根据教育部高教司的统一部署,先后起草了《普通高等学校本科专业目录机械类专业教学规范》、《高等学校本科机械基础课程教学基本要求》,加强教学内容和课程体系改革的研究,对高校机械类专业和课程教学进行指导。

为了贯彻落实教育规划纲要和教育部文件精神,满足各高校高素质应用型高级专门人才培养要求,根据《关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》文件精神,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,联合一批机械学科办学实力强的高等学校、部分机械特色专业突出的学校和教学指导委员会委员、国家级教学团队负责人、国家级教学名师组成编委

会,邀请来自全国高校机械学科教学一线的教师组织编写全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材,将为提高高等教育本科教学质量和人才培养质量提供有力保障。

当前经济社会的发展,对高校的人才培养质量提出了更高的要求。该套教材在编写中,应着力构建满足机械工程师后备人才培养要求的教材体系,以机械工程知识和能力的培养为根本,与企业对机械工程师的能力目标紧密结合,力求满足学科、教学和社会三方面的需求;在结构上和内容上体现思想性、科学性、先进性,把握行业人才要求,突出工程教育特色。同时注意吸收教学指导委员会教学内容和课程体系改革的研究成果,根据教指委颁布的各课程教学专业规范要求编写,开发教材配套资源(习题、课程设计和实践教材及数字化学习资源),适应新时期教学需要。

教材建设是高校教学中的基础性工作,是一项长期的工作,需要不断吸取人才培养模式和教学改革成果,吸取学科和行业的新知识、新技术、新成果。本套教材的编写出版只是近年来各参与学校教学改革的初步总结,还需要各位专家、同行提出宝贵意见,以进一步修订、完善,不断提高教材质量。

谨为之序。

国家级教学名师

华中科技大学教授、博导

2012年8月



前 言

随着计算机技术的快速发展,科学计算已经成为了继理论分析、实验研究后的第三种科学研究手段,并已在当今科学技术和工程应用中得到了最广泛的应用。有限元理论作为一种数值分析方法,已受到了工程技术界的高度重视,特别是随着各种大型商业软件如 ANSYS、NASTRAN、MARC、SAP 等软件的普及,现已成为计算机辅助工程(computer aided engineering, CAE)的重要组成部分,在保障工程及企业产品创新方面发挥了非常重要的作用。

目前,有限元理论及其应用已成为了理工科本科生和研究生必修的课程之一,也已成为工程技术人员必须掌握的一门应用技术。据相关的文献报道,在理工科研究生的学位论文中,约有 90% 的论文利用有限元方法来开展其研究。可见,有限元分析已成为教学、科研及新产品开发的重要工具。但要很好地掌握有限元分析技术,并能够利用有限元理论服务于科学研究、新产品结构设计,单纯地学习有限元理论或仅拥有有限元分析平台是不够的,必须将有限元理论与相关分析平台相结合来开展学习。因此,本书在系统阐述有限元基本理论的基础上,结合 ANSYS 软件分析平台,通过理论学习与实例操作及验证,将有限元基本理论与 ANSYS 分析平台融会贯通,实现了理论分析与软件操作的有机结合。

全书共分为 9 章。第 1 章主要介绍有限元方法的发展历史,以及 ANSYS 软件的基本操作要领。第 2 章介绍弹性力学的基础理论和有限元的理论基础。第 3 章主要介绍杆梁结构的有限元分析。第 4、5 章主要介绍平面与三维结构的有限元分析,并对有限元分析中的误差估计和对称性利用进行了阐述。第 6 章介绍接触问题的有限元分析,着重阐述了利用 ANSYS 软件开展接触问题分析时各类参数的设置,为读者开展接触问题的有限元分析提供了有力支持。第 7 章介绍温度场的有限元分析,阐述了稳态温度场、瞬态温度场、热应力及热-结构耦合的分析过程。第 8 章介绍机械动力学问题中涉及的模态分析、瞬态动力学分析和谐波响应分析的基本理论及其分析过程与步骤。第 9 章介绍电磁场问题的有限元分析。同时,各章均给出了算例,详细阐述了利用 ANSYS 软件进行分析的基本步骤,实现了理论分析结果与 ANSYS 软件计算结果的对比,对每个算例也给出了 ANSYS APDL 命令流及注释。

本书的第 1、2、5、8 章由龚曙光执笔,第 3 章由翁剑成执笔,第 4 章由王明旭执笔,第 6 章由张国智执笔,第 7 章由许振保执笔,第 9 章由边炳传执笔,同时全书由龚曙光进行了整理。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免存在缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正,也欢迎业内人士共同探讨。

编 者

2012 年 8 月于湘潭大学

E-mail: gongsg@xtu.edu.cn

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 有限元法概况	(1)
1.2 有限元法的应用	(2)
1.3 ANSYS 软件操作简介	(3)
第 2 章 弹性力学理论基础	(17)
2.1 基本假设和基本概念	(17)
2.2 弹性力学的基本方程	(19)
2.3 轴对称问题的基本方程	(31)
2.4 有限元法的理论基础	(34)
第 3 章 杆梁结构的有限元分析	(40)
3.1 杆梁结构的直接解法	(40)
3.2 杆件系统的有限元分析	(48)
3.3 梁的有限元分析	(63)
第 4 章 平面结构的有限元分析	(74)
4.1 三角形常应变单元	(74)
4.2 等参数单元与数值积分	(81)
4.3 平面问题的较精密单元	(86)
4.4 典型实例分析及详解	(89)
第 5 章 三维结构的有限元分析	(97)
5.1 轴对称问题的有限元法	(97)
5.2 空间问题的有限元法	(103)
5.3 有限元分析中几个问题的讨论	(113)
第 6 章 接触问题的有限元分析	(120)
6.1 接触边界的有限元算法	(120)
6.2 ANSYS 软件中的接触算法	(123)
6.3 接触对的生成与参数设置	(128)
6.4 Herz 接触理论	(141)
6.5 典型实例分析	(143)
第 7 章 温度场的有限元分析	(155)
7.1 稳态温度场分析	(155)
7.2 瞬态温度场分析	(166)
7.3 热应力的有限元分析	(176)
第 8 章 机械动力学的有限元分析	(185)
8.1 动力学方程	(185)
8.2 结构动力响应的有限元分析	(191)

8.3	ANSYS 软件的动力学分析	(195)
8.4	典型算例及详解	(203)
第 9 章	电磁场问题的有限元分析	(213)
9.1	电磁场基本理论	(213)
9.2	二维静态磁场分析	(218)
9.3	二维谐性磁场分析	(224)
9.4	电场分析	(232)
参考文献		(238)

第 1 章 概 述

1.1 有限元法概况

1.1.1 引言

对于大多数的工程技术问题,由于物体的几何形状和载荷作用方式是很复杂的,除了方程性质比较简单、且几何边界相当规则的少数问题可用解析法求解外,其求解过程是非常困难的,有些甚至是不可能的,唯一的途径是应用数值法,以求得问题的近似解。有限元法(finite element method, FEM)是工程技术中对连续物理系统进行分析、设计、试验的一种高效、常用的数值计算方法,它特别适合于求解几何、物理条件比较复杂的问题。

有限元法的起源可以追溯到 20 世纪 40 年代, Courant(柯朗, 1943)将最小势能原理与现代有限元中的三角形单元结合求解了 *st Venant* 弹性扭转问题,但当时没有得到足够的重视。1956 年,由 Clough 等人首次将有限元法用于飞机机翼的结构分析,并于 1960 年发表了名为《平面应力分析中的有限单元》的论文,从此有限元法第一次被正式提出。由此以后,有限元法的理论得到了迅速发展,并应用于各种力学问题和非线性问题,成为分析大型、复杂工程问题的强有力手段。随着计算机技术的发展,有限元法中的大量计算工作就由计算机来完成,从而也就促进了各种商业有限元分析(finite element analysis, FEA)软件的产生,如:1966 年,由美国国家太空总署(NASA)提出了世界上第一套泛用型的有限元分析软件 Nastran;1969 年,由加州大学 Berkeley 分校的 Wilson 教授开发出线性有限元分析程序即 SAP;1969 年,由 John Swanson 博士开发出了 ANSYS 软件。进入 20 世纪 70 年代后,随着有限元理论的成熟,CAE (computer aided engineering, CAE)技术进入了蓬勃发展的时期,并出现了大型商用 CAE 软件,如:70 年代初由 Marcal 等人推出了商业非线性有限元程序 MARC;由 Hibbitt, Bengt Karlsson 与 Paul Sorenson 于 1978 年共同推出了 ABAQUS 软件。我国的力学工作者为有限元方法的初期发展做出了许多贡献,其中比较著名的有:陈伯屏(结构矩阵方法),钱令希(余能原理),钱伟长(广义变分原理),胡海昌(广义变分原理),冯康(有限单元法理论)。在有限元软件开发方面,1964 年初,崔俊芝院士研制出国内第一个平面问题通用有限元程序,解决了刘家峡大坝的复杂应力分析问题;20 世纪 70 年代中期,大连理工大学研制出了 JEFIX 有限元软件;20 世纪 80 年代中期,北京大学的袁明武教授研制出了 SAP-84;中国科学院开发了 FEPS、SEFEM 等。进入 21 世纪后,CAE 技术得到了长足的发展,据不完全统计,全球有超过 200 种仿真分析软件在被企业所使用。

1.1.2 有限元的分类

从选择基本未知量出发,有限单元法可分为以下三类。

- (1) 位移法 选取节点的位移作为基本未知量,它的理论基础是最小势能原理。
- (2) 应力法 选取节点的应力作为基本未知量,它的理论基础是最小余能原理。

(3) 混合法 一部分选取节点位移、而另一部分则选取节点的应力作为基本未知量,其理论基础为混合变分原理,如 Hellinger-Reissner 变分原理的混合板单元。

在进行结构静力分析中,对大多数问题,位移法要比应力法简单得多,从而得到了最广泛的应用和发展,在本书中只讨论有限元位移法。

1.2 有限元法的应用

有限元法首先是为了解决固体力学问题而出现的,最初主要用于航空航天领域的强度、刚度计算。随着有限元法理论的日趋成熟和计算机应用技术的发展,有限元法的应用已由固体力学领域推广到温度场、流体场、电磁场和声学等其他连续介质领域。

有限元法在结构分析中的应用如图 1-1 所示。

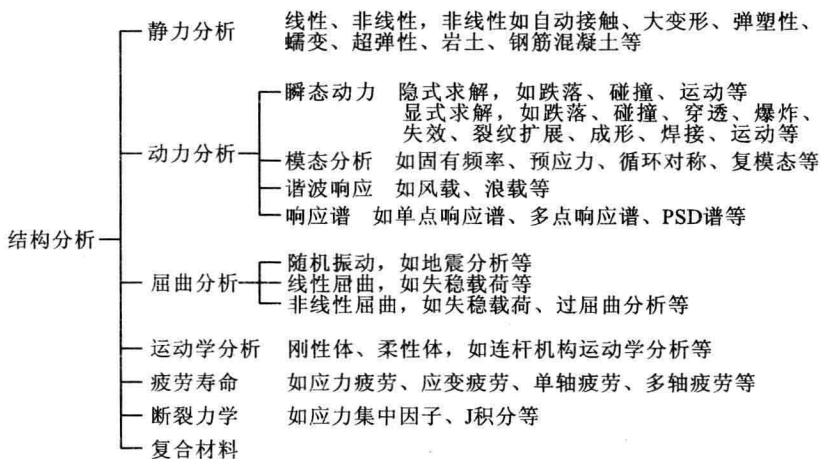


图 1-1 有限元法在结构分析中的应用

有限元法在场分析中应用如图 1-2 所示。

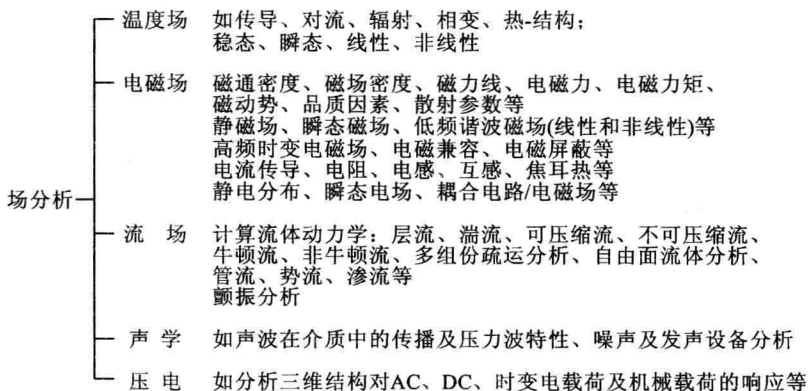


图 1-2 有限元法在场分析中的应用

有限元法不仅具有开展结构、流体、热、电磁场的单场分析功能,而且随着多学科交叉研究的需要,能够开展多物理场的耦合分析,如:

- 热/结构耦合

- 热/高-低频电磁耦合
- 流体/结构耦合
- 流体/热耦合
- 静电/结构耦合
- 流体/电磁耦合
- 静磁/结构耦合
- 压电分析
- 声学/结构耦合
- 机电耦合电路模拟
- 热/电耦合

有限元法还能够与优化技术相结合,能够开展尺寸优化、形状优化和拓扑优化。图 1-3 所示为尺寸优化实例,图 1-4 所示为拓扑优化实例。

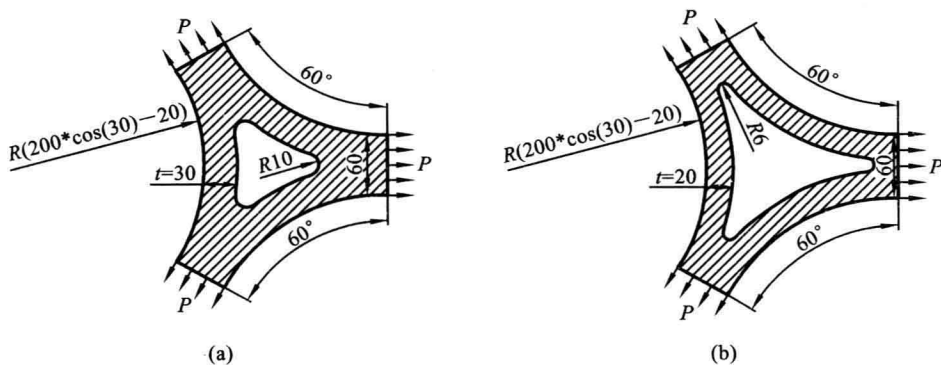


图 1-3 三角形零件的尺寸优化

(a) 优化前的结构 (b) 优化后的结构

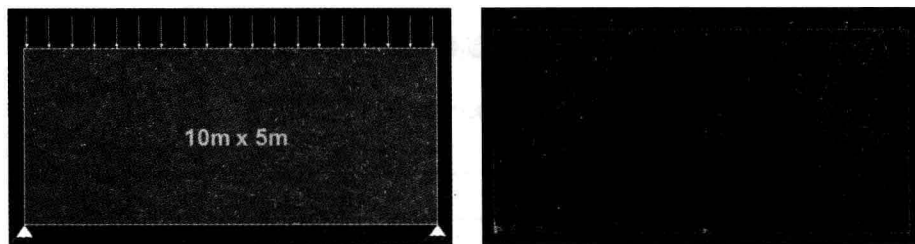


图 1-4 桥梁问题的拓扑优化

1.3 ANSYS 软件操作简介

ANSYS 软件是融结构、热、流体、电磁、声学于一体,以有限元分析为基础的大型通用 CAE 软件。该软件可广泛应用于机械制造、石油化工、轻工、造船、航空航天、汽车交通、电子、土木工程、水利、铁路、日用家电、生物医学等众多工业及科学研究领域。ANSYS 一直致力于设计分析软件,不断吸收新的计算方法和计算机技术,引领着世界有限元技术的发展,并为全球工业界所接受。同时,该软件也是世界上第一个通过 ISO9001 认证的有限元分析软件,能

够在 PC 机、工作站或巨型计算机上运行。

ANSYS 软件为用户提供了一个不断改进的功能清单,具体包括:结构高度非线性分析、电磁分析、计算流体动力学、优化设计、接触分析、自适应网格划分、大应变,以及利用 ANSYS 参数设计语言(ansys parametric design language, APDL)的扩展宏命令功能。基于 Motif 的菜单系统,使用户能够通过自己设置对话框、下拉式菜单和子菜单等方式进行数据输入和功能选择等。ANSYS 软件的集成化、模块化及可扩展性等特点满足了工业领域中众多行业的仿真需求。

1.3.1 ANSYS 的启动

完成 ANSYS 软件的正确安装以后,要进入 ANSYS 的交互式图形操作界面可采用下面两种方法。

(1) 单击计算机桌面上的快捷图标 , 但该方法要求用户在安装完 ANSYS 软件后,采用“新建”的方法在桌面上建立 ANSYS 软件的快捷方式。

(2) 单击“开始”菜单中的“所有程序”,在“所有程序”菜单中选中“ANSYS 13.0”,这时会出现如图 1-5 所示的菜单。在该菜单中,用户单击“Mechanical APDL (ANSYS)”选项,即可进入 ANSYS 的图形交互方式,即图形用户界面(GUI)。

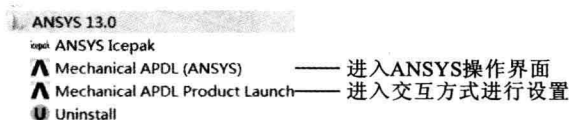


图 1-5 操作菜单

单击“Mechanical APDL Product Launch”选项,会出现如图 1-6 所示的对话框,在该对话框中,用户可以选择 ANSYS 软件的产品模块(这些模块用户购买后才会出现)、工作目录的选择、工作文件名的设置、内存大小的设置、操作界面选择及参数化文件的设定等,在确定这些设置无误后,单击“Run”命令,就可进入 ANSYS 的用户操作界面,即可使用 ANSYS 软件进行分析。

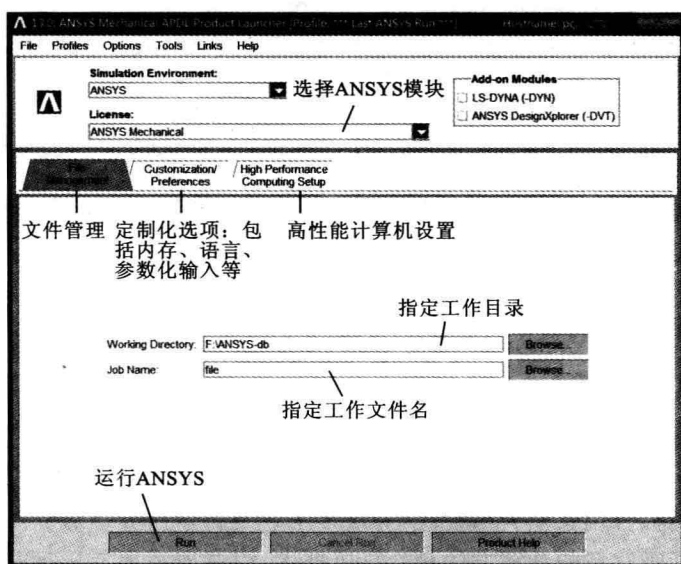


图 1-6 “运行”对话框

1.3.2 ANSYS 的操作界面

ANSYS 软件的操作界面如图 1-7 所示,它由实用命令菜单、命令输入窗口、图形输出窗口、工具栏、信息输出窗口、主菜单和各种弹出式对话框组成,它们都可独立关闭。



图 1-7 ANSYS 的操作界面

1. 实用命令菜单

它包含文件控制、选择及图形控制和参数化等 ANSYS 实用功能,用户可在 ANSYS 软件的任何阶段使用这些命令。该菜单为下拉式结构,由 10 个下拉菜单组成,即文件、选择、列表、显示、显示控制、工作平面、参数化、宏设置、菜单设置和在线帮助,包括了 ANSYS 最主要的功能。它可以直接完成某一程序功能或引出一个对话框,如图 1-8 所示。

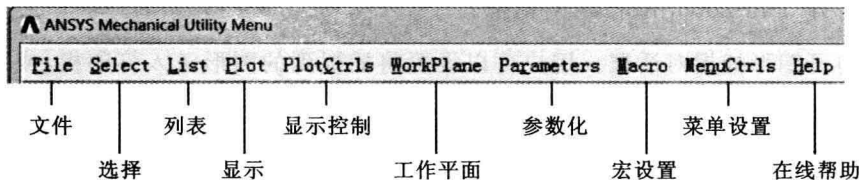


图 1-8 实用命令菜单

(1) File(文件) 包含着与文件和数据相关的功能,如清除数据库、保存文件或从内存中恢复数据等。但其中有些功能只有在软件开始阶段才能使用,如果用户在非开始阶段使用到了这些功能,软件将会出现一个对话框,要求用户进行一个选择。

(2) Select(选择) 包含着允许用户选择实体(entities)的某部分及生成一个组件(components)等功能。

(3) List(列表) 允许用户将储存在 ANSYS 数据库中的任何数值项用文本方式列出。同时也可以得到在软件不同阶段的状态信息,列表出储存在用户系统中的文件内容。

(4) Plot(显示) 允许用户在图形输出窗口中显示出点(keypoint)、线(line)、面(area)、体(volume)、节点(node)和单元(element),以及其他能够用图形显示的数据。

(5) PlotCtrls(显示控制) 包含着控制图形显示的视角(view)、类型(style)和其他的特

点。它的硬拷贝(hard copy)功能能够允许用户将实体屏幕或图形窗口拷贝下来。

(6) WorkPlane(工作平面) 允许用户激活工作平面的打开或关闭,同时也可以对工作平面进行移动、旋转或指定其他操作方式。在这个菜单中,用户也可以创建、删除或转换坐标系。

(7) Parameters(参数化) 包括创建、编辑和删除标量(scalar)和数组(array)参数的功能。

(8) Macro(宏设置) 允许用户执行宏或数据块。用户也可创建、编辑和删除出现在工具栏中的缩写词。

(9) MenuCtrls(菜单设置) 允许用户对弹出对话框的颜色、字体进行设置。用户也可创建、编辑和删除出现在工具栏中的缩写词。一旦设置了一个用户喜欢的 GUI(图形界面输入)方式,就可以使用“Save Menu Layout”功能,将当前的 GUI 结构保存下来。

(10) Help(在线帮助) 引入一个 ANSYS 的帮助系统。

2. 标准工具条

标准工具条包含一组经常使用的命令按钮,如图 1-9 所示。



图 1-9 标准按钮

 创建一个新的分析。对已经存在的分析数据进行清除,重新开始一个新的分析,相当于执行命令:/CLEAR, START。

 读入 ANSYS 数据或者输入文件到 ANSYS 系统,文件类型决定着 ANSYS 的操作,相当于执行命令:RESUME,'文件名','后缀名','.'。

 将当前的分析保存到数据文件,相当于执行命令:SAVE。

 打开“Pan-Zoom-Rotate”对话框。

 打开图形捕捉对话框。用户可以设置将捕捉到的图形送入打印机,或以文件方式保存入,或放在屏幕上。

 打开报告生成器对话框。

 显示 ANSYS 的帮助系统。

 将隐藏的窗口提升到应用屏幕的最顶层。

 在输出窗口中调用一个菜单拾取或一个命令而没有出现或反应较慢时,重置拾取操作。

 打开接触对管理器。

3. 命令输入窗口

在 ANSYS 软件操作中,除了采用 GUI 外,还可以采用命令(command)输入。在该窗口中不仅可以输入 ANSYS 的各种命令,也可以利用剪切(cut)和粘贴(paste)操作。输入命令后,按“Enter”键或“Return”键可执行该命令。用户也可以在输入窗口的历史记录区中,对某一行的命令双击鼠标左键,就可以执行该命令,如图 1-10 所示。

如果用户单击图 1-10 中左边的键盘按钮，将弹出一个浮动命令窗口(右图)，它允许用户在输入复杂的命令流时对窗口进行缩放和移动操作，同时所有输入操作也都将保存在历史记录中。

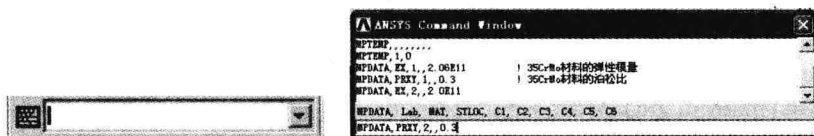


图 1-10 命令输入窗口

4. 图形输出窗口

可以在该窗口中显示几何模型、网格、计算结果、云图、等值线等图形，用户可根据个人需要调整该窗口的大小。图形输出窗口如图 1-11 所示。ANSYS 允许同时打开 5 个窗口，并可对每个窗口单独操作。

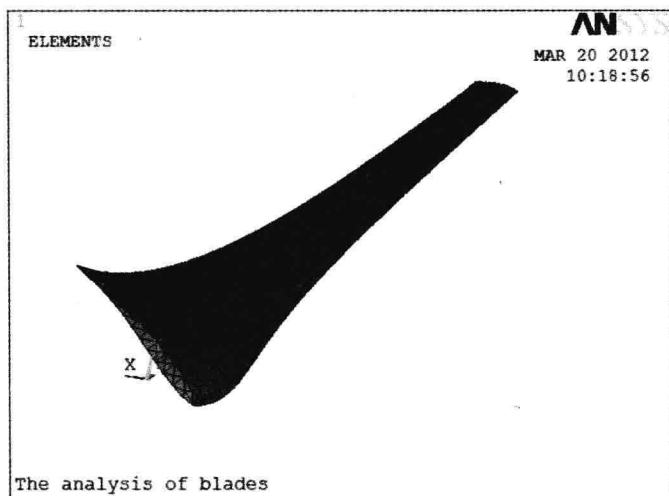


图 1-11 图形输出窗口

5. 工具栏

该窗口主要用于存放一些快捷命令，用户可根据需要对该窗口中的快捷命令进行编辑、修改、删除等操作，只要用鼠标单击即可运行该命令。工具栏如图 1-12 所示。

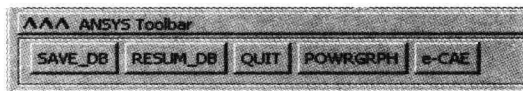


图 1-12 工具栏

6. 信息输出窗口

该窗口用于显示 ANSYS 软件对已输入命令或已使用功能的响应信息，包括用户使用命令时的出错信息、警告信息、执行命令的响应、注意事项以及其他信息。它一般位于 GUI 窗口的下面。在 GUI 方式下，用户可随时访问该窗口。但要注意，若用户对该窗口使用了关闭操作，则整个 ANSYS 系统将会退出。信息输出窗口如图 1-13 所示。

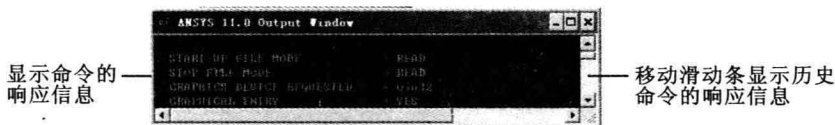


图 1-13 信息输出窗口

7. 主菜单(main menu)

该菜单为树形结构排列,包含着 ANSYS 软件中的主要分析功能,按有限元分析过程的顺

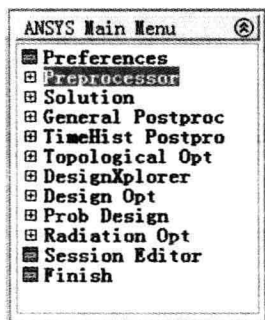


图 1-14 主菜单

序排列,其中 表示可继续扩展菜单项, 表示回到其上级菜单项, 表示将出现一个拾取框, 表示将出现一个对话框,如图 1-14 所示。

(1) Preferences(优先选择) 允许用户将与当前分析无关的选项过滤掉,以缩减菜单项。如选择结构分析,则只有与结构分析相关的菜单或命令出现,其他分析菜单或命令将被屏蔽。

(2) Preprocessor(前处理器) 它包含着建模、划分网格和施加载荷等功能,可以通过执行命令“/PREP7”进入。

(3) Solutoin(求解器) 它包含着指定分析类型和选项、施加载荷、载荷步设置及求解执行等功能,可执行命令“/SOLU”进入。

(4) General Postproc(通用后处理器) 它包含着结果数据的显示和列表等功能,可通过执行命令“/POST1”进入。

(5) TimeHist Postpro(时间历程后处理器) 显示时间历程变量浏览器,包含着变量的定义、列表和显示等功能,可执行命令“/POST26”进入。

(6) Topological Opt(进入拓扑优化器)。

(7) DesignXplorer(进入多目标优化) 它将各种参数集成到分析过程中,基于实验设计技术和变分技术,使用户能快速地建立设计空间,在此基础上对产品进行可靠性优化设计、多目标优化设计、鲁棒设计等。可执行命令“/VT”进入。

(8) Design Opt(进入设计优化器) 它包含着定义优化变量、开始运行优化和浏览优化结果等功能,可执行命令“/OPT”进入。

(9) Prob Design(进入 PDS 处理器) 它包含着概率设计功能,可执行命令“/PDS”进入。

(10) Radiation Opt(进入辐射矩阵生成器) 可执行命令“/AUX12”进入。

(11) Session Editor 打开对话编辑框。

(12) Finish(结束当前处理器) 系统回到开始状态。也可执行命令“FINISH”。

8. 状态显示栏

如图 1-15 所示,它显示出用户当前操作所处的状态,如坐标系(csys)、单元类型(type)、材料类型(mat)、实常数(real)、剖面号(secn),以及在主菜单哪个处理项中。

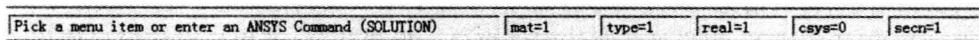


图 1-15 状态显示栏