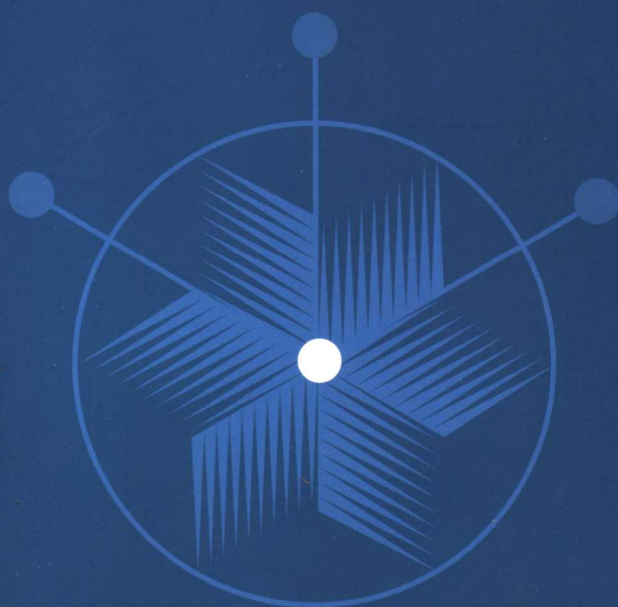
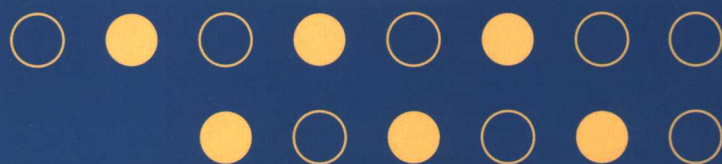


张 波 盛和太 编著

ANSYS有限元 数值分析原理与工程应用



清华大学出版社

ANSYS 有限元数值分析

原理与工程应用

张波 盛和太 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍 ANSYS 有限元数值分析的工程应用, 内容包括有限元基本理论、使用 ANSYS 软件的方法与技巧、建模与网格划分、静力分析、非线性分析、动力学分析、优化设计、单元生死、LS-DYNA 和二次开发技术等。对应于不同的工程应用均有 1 到 3 个实例精解。对于每一具体实例, 均按照图形用户界面和命令流两种方式进行详细的分析和讲解。每个实例均独立编制, 读者可以根据自己的需要选择合适的章节阅读和学习。

本书可作为高等院校相关专业的本科生、研究生及教师学习 ANSYS 软件的教材, 也可作为从事土木工程、机械制造等一般工业及科学研究的工程技术人员使用 ANSYS 软件的参考书。

本书还配有光盘 1 张, 其中包含本书所有实例和课后练习的数据文件, 同时还包含很多命令流文件, 这对读者使用 ANSYS 将有很大的帮助。

版权所有, 翻印必究。举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术, 用户可通过在图案表面涂抹清水, 图案消失, 水干后图案复现; 或将表面膜揭下, 放在白纸上用彩笔涂抹, 图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS 有限元数值分析原理与工程应用/张波, 盛和太 编著. —北京: 清华大学出版社, 2005.9

ISBN 7-302-11641-5

I. A… II. ①张… ②盛… III. 有限元分析—应用程序, ANSYS—高等学校—教材 IV. O241.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 094778 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编: 100084
社 总 机: 010-62770175 客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 胡辰浩

文稿编辑: 杜一民

封面设计: 信 京

版式设计: 康 博

印 刷 者: 北京市世界知识印刷厂

装 订 者: 三河市新茂装订有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 31.5 字数: 727 千字

版 次: 2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-11641-5/TP·7604

印 数: 1~4000

定 价: 49.60 元(含光盘)

序

近几十年来,有限元作为一种数值解析方法得到了广泛应用,已经成为设计、科研工作者进行工程分析的有力工具。人们开发了很多通用有限元软件,其中 ANSYS 是目前最受欢迎的有限元软件之一,在土木工程、机械制造、材料成形、石油化工、轻工、造船、航空航天、汽车、铁路运输、电子等行业中得到广泛应用,为各领域的结构设计、产品开发和科学研究做出了贡献。熟练掌握 ANSYS 软件的使用,对科研、设计、生产、教育等行业的专业人员都有重要的意义。

我欣喜地看到,一批年轻人在完成了他们的本职工作之余,齐心协力编写了本书。我为他们这种积极进取、潜心钻研、无私奉献的精神所感动,对他们能在很短的时间内完成这样一部编著所表现出的出色能力和聪明才智表示钦佩,对他们取得的成果和进步表示衷心的祝贺!

我从 20 世纪 80 年代开始接触、学习、使用有限元方法,至今仍然把有限元作为处理在科学研究中所遇到的各类难题的最有力的分析工具。20 多年来,常常为得到有限元给我的解答而兴奋和满足,更多的是为解决编程调试中的难题而困惑和难眠。我曾经走的是开发自有专用有限元程序的路,编写和调试程序是极其艰苦的工作。据我的体会,有 90% 以上的时间是在千方百计地发现错误、寻求途径、期待结果,在不断地考验你的信心和毅力,只有不到 10% 的时间是在所期望的结果展现在眼前时,让你体会到成功的喜悦和摆脱压力后的轻松。

现在的情况不同了,有了功能强大的各种通用有限元软件,例如 ANSYS。掌握 ANSYS 的使用方法,是用有限元求解的一条捷径。我希望 ANSYS 能够改变有限元使用者困惑与兴奋时间的比例,如果能把 90:10 变为 49:51,那不仅是心情畅快,也意味着效率的提高和更多的成功!让更多的人使用有限元、热爱有限元,我所在的国家重点实验室与 ANSYS 公司合作,作为 ANSYS 公司在中国东北地区的技术支持基地。

本书通过实例详细介绍 ANSYS 求解步骤,讲解与应用实例对应的命令流,为 ANSYS 的初学者入门提供了有益的帮助。此外,本书给出了各种类型的实例,可以为不同行业的用户在求解各类问题时提供参考。

希望该书的出版能对我国工程设计和研究起到积极的促进作用,希望有更多的工程技术人员了解有限元,掌握 ANSYS 用法,提高工程设计、研究的水平。

东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室主任 博士生导师

刘相华

前 言

ANSYS 软件是一个集结构、热、流体、电磁、声学于一体的大型通用有限元分析软件,该软件很好地实现了前、后处理,分析求解及多场耦合分析统一数据库功能。同时,它还是世界上第一个通过 ISO 9001 质量认证的分析设计类软件。目前,全球有 70% 以上的高等院校及研究单位采用 ANSYS 作为分析软件。

ANSYS 软件可广泛用于核工业、铁道、石油化工、航空航天、机械制造、材料成形、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。ANSYS 软件的研究与开发不断吸取最新的计算方法和计算机技术,领导着有限元界的发展,并为全球工业界所广泛接受,拥有全球最大的用户群。

目前,我国越来越多的专家和学者应用 ANSYS 进行各种问题的计算和分析,但相对缺乏的是兼具理论和应用价值的与 ANSYS 相关的学习和研究资料。因此,作者编写了本书以满足读者的需求。

全书共分为 8 章,第 1 章全面介绍了 ANSYS 与有限元分析方法、ANSYS 的一些基本操作;第 2 章主要介绍了 ANSYS 有限元建模技术;第 3 章是结构静力学分析;第 4 章是结构非线性分析;第 5 章是结构动力学分析;第 6 章是结构分析高级技术;第 7 章是 LS-DYNA 分析技术;第 8 章是 ANSYS 二次开发技术。在每一章,均首先介绍相应的基本概念、理论知识以及利用 ANSYS 软件进行分析的关键要点和基本过程等,随后是各实例的详细求解步骤,最后是讲解与实例对应的命令流。理论和实践的统一是本书最大的特点之一,因此具有很强的实用性。

非线性分析技术、结构分析高级技术、LS-DYNA 分析技术和二次开发技术等内容是本书最大的亮点。

本书还配有光盘 1 张,光盘包含本书所有实例和课后练习的数据文件,同时还包含很多丰富的命令流文件,这对读者使用 ANSYS 将有很大的帮助。

本书承蒙轧制技术及连轧自动化国家重点实验室主任刘相华教授审阅,刘老师在百忙之中亲自为本书作序,在作者编写本书过程中提供了很多宝贵的意见、建议和期望,在此致以最真诚的感谢!

本书是多人智慧的集成。除封面署名的作者之外,东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室的喻海良博士、清华大学土木系的王珂博士为本书付出了很多辛勤的劳动。另外,参加本书编写和制作的人员还有东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室的李长生、崔青玲、周存龙等同志,清华大学土木系封伟伟、吴清、黄亮、郭宇飞、高巍、刘建立等同志,北京交通大学计算机软件理论与应用专业的毕斐、土木建筑工程学院的丁德云、光波技术研究所的骆睿等同志,交通部公路科学研究所的宋建勇同志,江苏建伟环保工程股份有限公司的张丹、高振刚同志。在此,编者向所有参与和关心本书出版的老师、

亲人和朋友致以诚挚的谢意！

本书在编写过程中参考了很多宝贵的文献，在此，向这些文献的作者表示衷心的感谢！

由于时间仓促，书中难免有不足甚至错误之处，欢迎广大读者批评指正。读者在使用本书或者应用 ANSYS 过程中，遇到相关的问题，欢迎与我们交流，我们的邮箱是 huchenhao@263.net。

编 者

目 录

第 1 章 ANSYS与有限元分析方法.....1

1.1 有限元分析方法简介 1

1.1.1 有限元法的发展和应用.....1

1.1.2 有限元法的计算步骤.....4

1.2 ANSYS 分析简介 5

1.2.1 ANSYS 发展和应用简介.....5

1.2.2 ANSYS 菜单、窗口介绍.....5

1.2.3 ANSYS 分析基础理论.....16

1.3 思考和上机练习..... 19

1.3.1 思考题.....19

1.3.2 上机练习.....19

第 2 章 ANSYS有限元建模技术20

2.1 ANSYS 建模基本方法 20

2.1.1 建模方案..... 20

2.1.2 ANSYS 中的坐标系..... 21

2.1.3 工作平面..... 22

2.1.4 实体建模..... 25

2.2 网格划分和有限元模型 62

2.2.1 网格划分的步骤..... 63

2.2.2 网格控制..... 64

2.3 ANSYS 基本分析过程 70

2.3.1 分析前期工作..... 70

2.3.2 分析前处理..... 72

2.3.3 施加荷载..... 75

2.3.4 求解设定..... 87

2.3.5 求解..... 94

2.3.6 通用后处理..... 95

2.4 思考和上机练习..... 99

2.4.1 思考题..... 99

2.4.2 上机练习..... 100

第 3 章 ANSYS结构静力分析 101

3.1 静力分析概述..... 101

3.1.1 结构静力分析简介.....101

3.1.2 ANSYS 静力分析的基本过程.....102

3.2 薄壳构件的滞回性能分析 102

3.2.1 实例说明.....102

3.2.2 关键知识.....103

3.2.3 交互式操作分析.....104

3.2.4 命令流式分析.....122

3.3 自定义截面复杂梁受力分析 124

3.3.1 实例说明.....124

3.3.2 关键知识.....124

3.3.3 交互式操作分析.....125

3.3.4 命令流式分析.....145

3.4 思考和上机练习..... 147

3.4.1 思考题.....147

3.4.2 上机练习.....147

第 4 章 ANSYS结构非线性分析 149

4.1 结构非线性分析概述 149

4.1.1 几何非线性分析基本概念.....149

4.1.2 材料非线性基本分析概念.....151

4.1.3 接触非线性基本概念.....154

4.1.4 使用 ANSYS 非线性分析基本过程.....154

4.1.5 结构非线性分析事项提醒.....155

4.2 预应力索结构受力分析 157

4.2.1 实例说明.....157

4.2.2 关键知识.....157

4.2.3 交互式操作分析.....158

4.2.4 命令流式分析	190	5.5.2 上机练习	274
4.3 受压柱的稳定承载能力分析	192	第 6 章 ANSYS 结构分析高级技术	275
4.3.1 实例说明	193	6.1 高级技术概述	275
4.3.2 关键知识	193	6.1.1 优化设计技术	275
4.3.3 交互式操作分析	194	6.1.2 接触分析技术	277
4.3.4 命令流式分析	211	6.1.3 单元生死技术	279
4.4 思考和上机练习	213	6.2 框架截面的优化设计	283
4.4.1 思考题	213	6.2.1 实例说明	283
4.4.2 上机练习	214	6.2.2 关键知识	283
第 5 章 ANSYS 结构动力学分析	216	6.2.3 交互式操作分析	284
5.1 结构动力学分析概述	216	6.2.4 命令流式分析	311
5.1.1 结构动力学简介	216	6.3 接触问题分析	314
5.1.2 动力学基本概念	217	6.3.1 实例说明	314
5.1.3 模态分析基本概念	222	6.3.2 关键知识	315
5.1.4 谐响应分析基本概念	223	6.3.3 交互式操作分析	316
5.1.5 瞬态分析基本概念	224	6.3.4 命令流式分析	333
5.1.6 谱分析基本概念	226	6.4 单元生死在桥梁施工中的应用	337
5.2 双质量弹簧系统的谐响应分析	226	6.4.1 实例说明	337
5.2.1 实例说明	226	6.4.2 关键知识	337
5.2.2 关键知识	227	6.4.3 交互式操作分析	340
5.2.3 交互式操作分析	228	6.4.4 命令流式分析	361
5.2.4 命令流式分析	238	6.5 思考和上机练习	363
5.3 地震时程瞬态动力学分析	240	6.5.1 思考题	363
5.3.1 实例说明	240	6.5.2 上机练习	363
5.3.2 关键知识	241	第 7 章 ANSYS/LS-DYNA 分析	365
5.3.3 交互式操作分析	242	7.1 LS-DYNA 分析概述	365
5.3.4 命令流式分析	251	7.1.1 LS-DYNA 分析简介	365
5.4 大型体育场模态和地震反应谱分析	253	7.1.2 LS-DYNA 分析基础知识	365
5.4.1 实例说明	253	7.1.3 使用 ANSYS 进行 LS-DYNA 分析基本过程	369
5.4.2 关键知识	253	7.2 方盒跌落分析	370
5.4.3 交互式操作分析	255	7.2.1 实例说明	370
5.4.4 命令流式分析	271	7.2.2 关键知识	371
5.5 思考和上机练习	273	7.2.3 交互式操作分析	371
5.5.1 思考题	273		

7.2.4 命令流式分析	385	8.1.1 二次开发工具概述	456
7.3 型钢轧制分析	387	8.1.2 ANSYS 数据接口	457
7.3.1 实例说明	387	8.2 APDL 应用	458
7.3.2 关键知识	388	8.2.1 APDL 简介	459
7.3.3 交互式操作分析	389	8.2.2 ANSYS 的参数	460
7.3.4 命令流式分析	411	8.2.3 APDL 实例	460
7.4 板带精轧道次分析	411	8.3 UIDL 应用	464
7.4.1 实例说明	411	8.3.1 UIDL 简介	464
7.4.2 关键知识	413	8.3.2 控制文件结构	465
7.4.3 交互式操作分析	413	8.3.3 UIDL 调用机制	467
7.4.4 命令流式分析	445	8.3.4 用户图形界面开发步骤	470
7.5 冲压成型分析	445	8.4 开发实例	470
7.5.1 实例说明	445	8.4.1 设计主菜单	471
7.5.2 关键知识	446	8.4.2 准备宏文件	472
7.5.3 交互式操作分析	446	8.4.3 编写菜单和对话框	475
7.5.4 命令流式分析	453	8.4.4 运行程序	486
7.6 思考和上机练习	453	8.5 UPFs 应用	491
7.6.1 思考题	453	8.5.1 UPFs 简介	491
7.6.2 上机练习	454	8.5.2 二次开发工具的比较	492
第 8 章 ANSYS 二次开发技术	456	8.6 思考和上机练习	493
8.1 ANSYS 二次开发工具和接口	456	8.6.1 思考题	493
		8.6.2 上机练习	493

第1章 ANSYS与有限元分析方法

本章按照有条有理的基本思想,先简单介绍有限元理论,再对利用 ANSYS 进行计算分析的基本过程进行比较详细的叙述。读者在读完本章之后,应该能掌握使用 ANSYS9.0 进行有限元分析的基本思想,并能自主使用 ANSYS 9.0 对一些简单的项目进行分析。

1.1 有限元分析方法简介

有限元分析(FEA, Finite Element Analysis)的基本思想是用较简单的问题代替较复杂的问题后再求解。它将求解域看成是由许多称为有限元的小的互连子域组成,对每一单元假定一个合适的(较简单的)近似解,然后推导求解这个域总的满足条件(如结构的平衡条件),从而得到问题的解。这个解不是准确解,而是近似解,因为实际问题被较简单的问题所代替。由于大多数实际问题难以得到准确解,而有限元不仅计算精度高,而且能适应各种复杂形状,因而成为行之有效的工程分析手段。

1.1.1 有限元法的发展和应用

有限单元分析法(FEA)是随着电子计算机的发展而迅速发展起来的一种现代计算方法。它是 20 世纪 50 年代首先在连续体力学领域——飞机结构静、动态特性分析中应用的一种有效的数值分析方法,随后很快广泛地应用于求解热传导、电磁场、流体力学等连续性问题。

1. 有限元分析方法的发展

在工程技术领域内,经常会遇到两类典型的问题。其中的第一类问题,可以归结为有限个已知单元体的组合。例如,材料力学中的连续梁、建筑结构框架和桁架结构。我们把这类问题称为离散系统。如图 1-1 所示平面桁架结构,是由 6 个承受轴向力的“杆单元”组成。

第二类问题,通常可以建立它们应遵循的基本方程,即微分方程和相应的边界条件。例如弹性力学问题,热传导问题,电磁场问题等。由于建立基本方程所研究的对象通常是无限小的单元,这类问题称为连续系统。

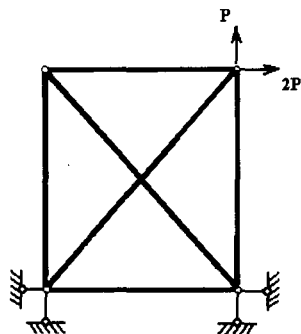


图 1-1 平面桁架系统

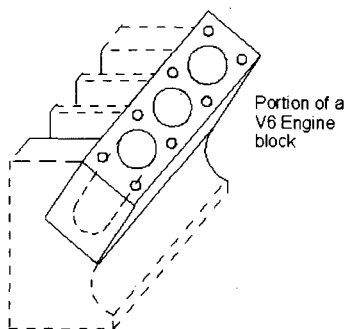


图 1-2 V6 引擎的局部

下面是热传导问题的控制方程与换热边界条件:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \bar{Q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

初始温度场也可以是不均匀的, 但各点的温度值是已知的:

$$T|_{t=0} = T_0(x, y, z)$$

通常的热边界有三种, 第三类边界条件如下形式:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = h(T - T_f)$$

尽管我们已经建立了连续系统的基本方程, 但由于边界条件的限制, 通常只能得到少数简单问题的精确解答。对于许多实际的工程问题, 还无法给出精确的解答, 例如, 如图 1-2 所示的 V6 引擎在工作中的温度分布。为解决这个困难, 工程师们和数学家们提出了许多近似方法。

在寻找连续系统求解方法的过程中, 工程师和数学家从两个不同的路线得到了相同的结果, 即有限元法。有限元法的形成可以回顾到二十世纪 50 年代, 来源于固体力学中矩阵结构法的发展和工程师对结构相似性的直觉判断。从固体力学的角度来看, 桁架结构等标准离散系统与人为地分割成有限个分区后的连续系统在结构上存在相似性。

1956 年 M.J.Turner, R.W.Clough, H.C.Martin, L.J.Topp 在纽约举行的航空学会年会上介绍了一种新的计算方法, 将矩阵位移法推广到求解平面应力问题。他们把结构划分成一个个三角形和矩形的“单元”, 利用单元中近似位移函数, 求得单元节点力与节点位移关系的单元刚度矩阵。

1954-1955 年, J.H.Argyris 在航空工程杂志上发表了一组能量原理和结构分析论文。

1960 年, Clough 在他的名为“The finite element in plane stress analysis”的论文中首次提出了有限元(finite element)这一术语。

数学家们则发展了微分方程的近似解法,包括有限差分方法、变分原理和加权余量法。

1963 年前后,经过 J.F.Besseling, R.J.Melosh, R.E.Jones, R.H.Gallaher, T.H.H.Pian 等许多人的努力,人们认识到有限元法就是变分原理中 Ritz 近似法的一种变形,发展了用各种不同变分原理导出的有限元计算公式。

1965 年, O.C.Zienkiewicz 和 Y.K.Cheung(张佑启)发现只要能写成变分形式的所有场问题,都可以用与固体力学有限元法的相同步骤求解。

1969 年 B.A.Szabo 和 G.C.Lee 指出可以用加权余量法,特别是 Galerkin 法,导出标准的有限元过程来求解非结构问题。

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)。遗憾的是,从 1966 年开始的近十年期间,我国的研究工作受到阻碍。

2. 有限元分析方法的应用

有限元法不仅能应用于结构分析,还能解决可归结为场问题的工程问题。二十世纪十年代中期以来,有限元法得到了巨大的发展,为工程设计和优化提供了有力的工具。

二十世纪 60 年代中期以来,人们进行了大量的理论研究,不但拓展了有限元法的应用领域,还开发了许多通用或专用的有限元分析软件。

理论研究的一个重要领域是计算方法的研究,主要有:

- 大型线性方程组的解法;
- 非线性问题的解法了;
- 动力问题计算方法。

目前应用较多的通用有限元软件如下表 1-1 所列:

表 1-1 著名通用有限元软件

软件名称	简介
MSC/Nastran	著名结构分析程序,最初由 NASA 研制
MSC/Dytran	动力学分析程序
MSC/Marc	非线性分析软件
ANSYS	通用结构分析软件
ADINA	非线性分析软件
ABAQUS	非线性分析软件

另外还有许多针对某类问题的专用有限元软件,例如金属成形分析软件 Deform、Autoform,焊接与热处理分析软件 SysWeld 等。

有限单元法是随着电子计算机的发展而迅速发展起来的一种现代计算方法。它是 20 世纪 50 年代首先在连续体力学领域——飞机结构静、动态特性分析中应用的一种有效的数值分析方法,随后很快广泛地应用于求解热传导、电磁场、流体力学等连续性问题。

1.1.2 有限元法的计算步骤

有限元是那些集合在一起能够表示实际连续域的离散单元。有限元的概念早在几个世纪前就已产生并得到了应用,例如用多边形(有限个直线单元)逼近圆来求得圆的周长,但作为一种方法而被提出,则是最近的事。有限元法最初被称为矩阵近似方法,应用于航空器的结构强度计算,并由于其方便性、实用性和有效性而引起从事力学研究的科学家的浓厚兴趣。经过短短数十年的努力,随着计算机技术的快速发展和普及,有限元方法迅速从结构工程强度分析计算扩展到几乎所有的科学技术领域,成为一种内涵丰富、应用广泛并且实用高效的数值分析方法。

有限元方法与其他求解边值问题近似方法的根本区别在于它的近似性仅限于相对小的子域中。20世纪60年代初首次提出结构力学计算有限元概念的克拉夫(Clough)教授形象地将其描绘为:有限元法=Rayleigh Ritz法+分片函数,即有限元法是Rayleigh Ritz法的一种局部化情况。不同于求解(往往是困难的)满足整个定义域边界条件的允许函数的Rayleigh Ritz法,有限元法将函数定义在简单几何形状(如二维问题中的三角形或任意四边形)的单元域上(分片函数),且不考虑整个定义域的复杂边界条件,这是有限元法优于其他近似方法的原因之一。

对于不同物理性质和数学模型的问题,有限元求解法的基本步骤是相同的,只是具体公式推导和运算求解不同。有限元求解问题的基本步骤通常为:

1. 问题及求解域定义

根据实际问题近似确定求解域的物理性质和几何区域。

2. 求解域离散化

将求解域近似为具有不同有限大小和形状且彼此相连的有限个单元组成的离散域,习惯上称为有限元网络划分。显然,单元越小(网络越细)则离散域的近似程度越好,计算结果也越精确,但计算量及误差都将增大,因此求解域的离散化是有限元法的核心技术之一。

3. 确定状态变量及控制方法

一个具体的物理问题通常可以用一组包含问题状态变量边界条件的微分方程式表示。为适合有限元求解,通常将微分方程化为等价的泛函形式。

4. 单元推导

对单元构造一个适合的近似解,即推导有限单元的列式,其中包括选择合理的单元坐标系,建立单元试函数,以某种方法给出单元各状态变量的离散关系,从而形成单元矩阵(结构力学中称刚度阵或柔度阵)。

为保证问题求解的收敛性,单元推导有许多原则要遵循。对工程应用而言,重要的是应注意每一种单元的解题性能与约束。例如,单元形状应以规则为好,畸形时不仅精度低,而且有缺秩的危险,将导致无法求解。

5. 总装求解

将单元总装形成离散域的总矩阵方程(联合方程组), 反映对近似求解域的离散域的要求, 即单元函数的连续性要满足一定的连续条件。总装是在相邻单元结点进行, 状态变量及其导数(可能的话)连续性建立在结点处。

6. 联立方程组求解和结果解释

有限元法最终导致联立方程组。联立方程组的求解可用直接法、迭代法和随机法。求解结果是单元结点处状态变量的近似值。对于计算结果的质量, 将通过与设计准则提供的允许值比较来评价, 并确定是否需要重复计算。

总之, 有限元分析可分成 3 个阶段——前处理、求解和后处理。前处理是建立有限元模型, 完成单元网格划分; 后处理则是采集处理分析结果, 使用户能简便提取信息, 了解计算结果。

1.2 ANSYS 分析简介

在我国, ANSYS 软件经过几年的经营, 用户已达数百家, 遍及工业的各个领域, 应用也越来越深入。

1.2.1 ANSYS 发展和应用简介

ANSYS 软件主要包括 3 个部分: 前处理模块、分析计算模块和后处理模块。

前处理模块提供了一个强大的实体建模及网格划分工具, 用户可以方便地构造有限元模型; 分析计算模块包括结构分析(可进行线性分析、非线性分析和高度非线性分析)、流体动力学分析、电磁场分析、声场分析、压电分析以及多物理场的耦合分析, 可模拟多种物理介质的相互作用, 具有灵敏度分析及优化分析能力; 后处理模块可将计算结果以彩色等值线显示、梯度显示、矢量显示、粒子流迹显示、立体切片显示、透明及半透明显示(可看到结构内部)等图形方式显示出来, 也可将计算结果以图表、曲线形式显示或输出。

ANSYS 提供了 190 种以上的单元类型, 用来模拟工程中的各种结构和材料。该软件有多种不同版本, 可以运行在从 PC 机到大型机的多种计算机设备上, 如 PC、SGI、HP、SUN、DEC、IBM、CRAY 等。

1.2.2 ANSYS 菜单、窗口介绍

ANSYS 有 2 种模式: 交互模式(Interactive Mode)和非交互模式(Batch Mode, 也称命令流方式)。交互模式是初学者和大多数使用者所采用的模式, 包括建模前处理、求解、后处理、保存文件以及打印图形等。但若分析的问题需要很长时间而且比较复杂, 则可把分析

问题的相关命令做成文件, 利用非交互模式进行分析。

本书主要介绍的是交互模式, 对非交互模式也将作简要的介绍。

一般采用  **Configure ANSYS Products** 运行该程序, 这样可以定义工作名称, 并且存放到的指定的工作目录中。若使用  **ANSYS** 进入还需使用命令定义工作文件名或使用默认的文件名, 使用该方式进入一般是为恢复上一次中断的分析。在开始分析一个问题时, 建议使用  **Configure ANSYS Products** 进入交互模式, 进入界面如图 1-3 所示。

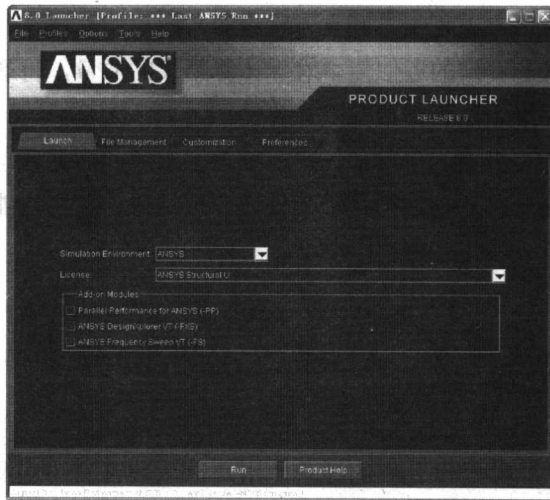


图 1-3 ANSYS 9.0 交互模式对话框

ANSYS 系统有 6 个窗口, 借助这 6 个窗口可以非常容易地输入命令、检查模型的建立、观察分析结果及图形输出与打印。整个窗口系统称为 GUI(Graphical User Interface), 如图 1-4 所示。

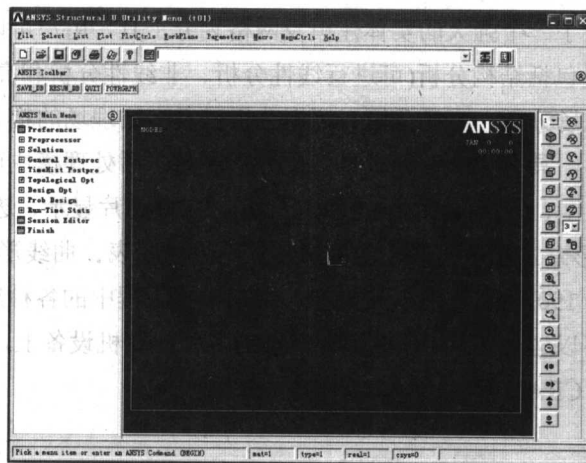


图 1-4 ANSYS 9.0 运行窗口

在默认状态下, ANSYS 系统还会有 ANSYS 9.0 Output Window(输出窗口), 如图 1-5 所示, 用户可以通过这个输出窗口的信息及时了解 ANSYS 当前的任何操作。

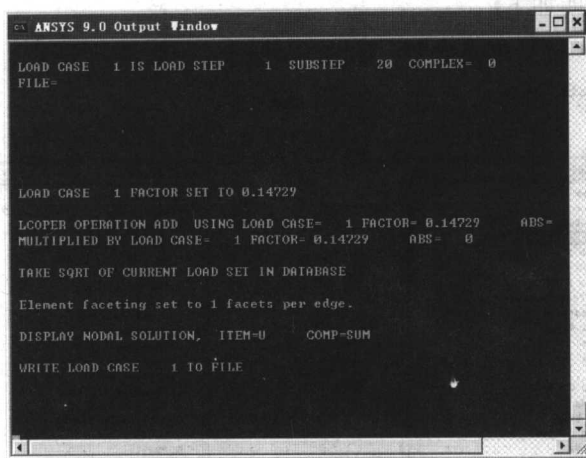


图 1-5 ANSYS 9.0 输出窗口

ANSYS 9.0 界面清晰、简单明了, 并且内容丰富, 应用性强。本节将主要介绍 ANSYS 9.0 的界面, 并对一些重要的应用做简要的说明。

1. 主菜单

主菜单 **ANSYS Main Menu** 包括了应用 ANSYS 进行计算分析的主要工具, 例如建模、施加荷载与约束、求解以及结果的列出与显示等。有限元项目的分析有前处理、过程相关操作、后处理以及优化分析等工序。如图 1-6 所示显示了主菜单的主要组成形式。

其中, 常用到的工具如下。

(1) Preprocessor 前处理器

具体内容如图 1-7 所示。



图 1-6 主菜单

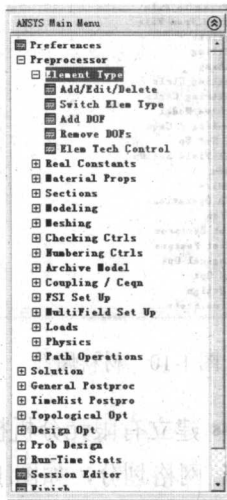


图 1-7 前处理器功能组成

主要菜单选项说明如下:

- **Element Type** 定义单元类型, 如图 1-8 所示。
- **Real Constants** 设置实常数, 如图 1-9 所示。

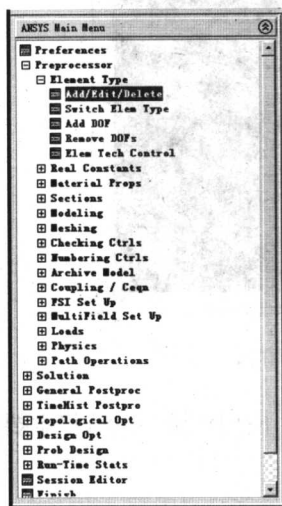


图 1-8 单元类型

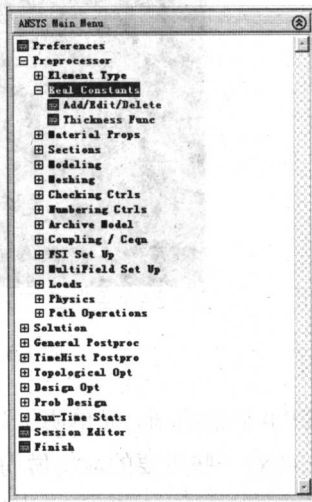


图 1-9 实常数

- **Material Props** 设置材料属性, 如图 1-10 所示。
- **Sections** 设置分析构件的截面形式, 如图 1-11 所示。

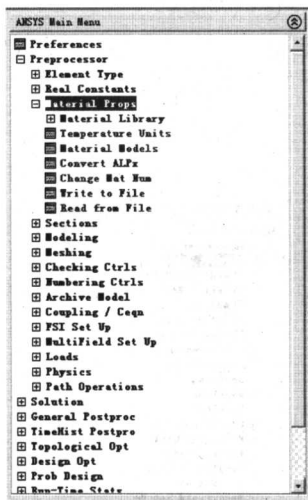


图 1-10 材料属性

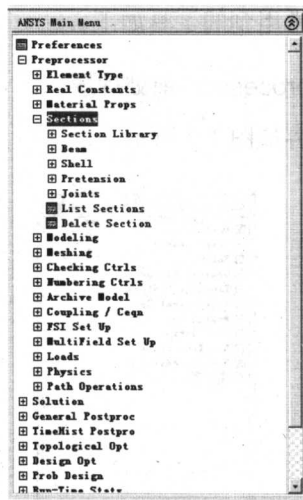


图 1-11 截面形式

- **Modeling** 建立有限元分析模型, 如图 1-12 所示。
- **Meshing** 网格划分, 如图 1-13 所示。