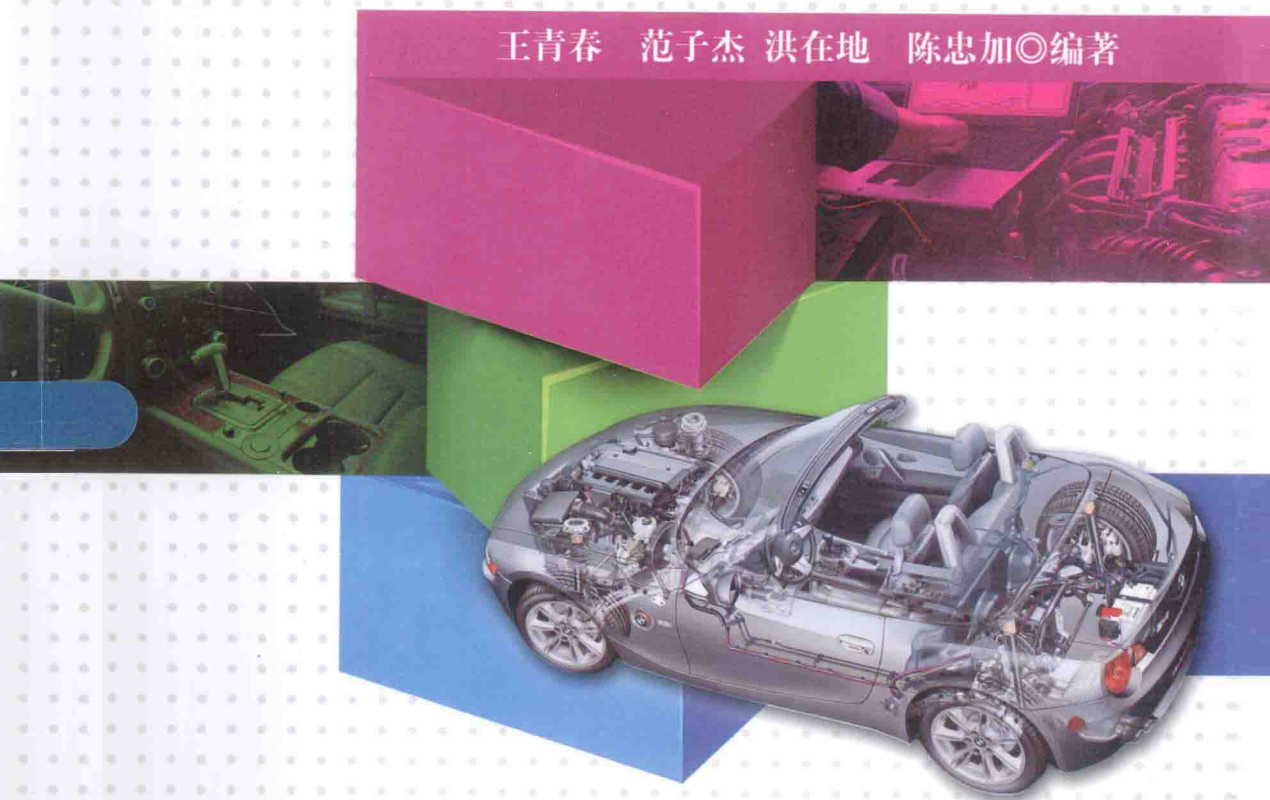


有限元方法及Midas软件 在汽车结构分析中的应用

王青春 范子杰 洪在地 陈忠加◎编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



有限元方法及 Midas 软件在 汽车结构分析中的应用

王青春 范子杰 洪在地 陈忠加 编著



机械工业出版社

本书主要讲述了有限元方法的基本原理及利用 Midas 软件在汽车相关结构分析中的应用,全书包括绪论、有限元理论和 Midas 操作共九章。前六章主要讲解了有限元的基本理论,包括弹性力学的基础知识、平面问题的有限元分析、体单元和壳单元、动力学问题的有限元分析和非线性有限元分析等,对常常用到的有限元知识进行了讲解。后三章基于 Midas 软件,给出了大量的静力学分析、动力学分析和非线性分析的实例,这些实例与汽车结构有着密切的联系。

本书将理论和有限元软件操作相结合,在理解有限元原理的基础上,进行软件的操作,对掌握有限元方法和 Midas 软件的使用有着较好的作用。

本书为车辆工程学科有限元方法课程的教材,也可作为其他学科进行有限元方法教学的选修教材,还可以供相关行业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

有限元方法及 Midas 软件在汽车结构分析中的应用/王青春等编著. —北京:机械工业出版社,2014.4

ISBN 978-7-111-46391-7

I. ①有… II. ①王… III. ①汽车-结构分析-有限元分析-应用软件 IV. ①U463-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 068140 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:沈红 责任编辑:沈红

版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:陈沛 责任印制:李洋

北京市四季青双青印刷厂印刷

2014 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 15 印张 · 301 千字

0001-3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-46391-7

定价:39.00 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

网络服务

电话服务

策划编辑电话:(010) 88379778

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

在汽车这个复杂的系统中，结构复杂、材料众多，同时所承受的工况也非常复杂，传统的理论分析和实验研究方法很难定量分析结构在使用过程中的应力状态。因此，企业在汽车结构的设计过程中，大多依靠经验的积累或大量的实验摸索，缺乏快速有效的设计方法和手段。随着计算机软硬件的发展，有限元模拟计算方法在汽车行业得到了极大的应用。由于有限元模拟计算的快速性和低成本等方面的优势，目前汽车设计公司常常利用有限元手段来对汽车结构进行分析和设计。基于有限元方法的汽车结构分析在我国也得到了迅速的发展。目前，市场竞争日趋激烈，生产厂家都在努力减少产品的试制和试验次数，达到降低成本、缩短设计周期、提高产品竞争力的目的。因此，结合有限元方法进行复杂结构的设计和分析，就成为有关厂家进行产品设计和改进的一种必然趋势。

目前国内使用有限元的人员众多，但是，其中的很多使用者对有限元方法的原理了解很少，难以根据自己所分析的具体工况，来填写材料模型和求解步骤设置等方面的参数，导致所使用的软件仿真模拟的结果与实验结果差别很大，只能定性无法定量来指导设计。基于此方面的考量，本书对有限元的基本方法和原理进行了讲解，为读者使用软件提供帮助。

北京迈达斯技术有限公司成立于2002年11月，从事建筑结构、桥梁、岩土隧道、机械等工程领域分析与设计软件的开发、销售、技术支持和培训等工作。2012年，迈达斯公司推出了Midas NFX，正式进军机械分析市场。该软件的内核为汽车和航空航天行业公认的求解器Nastran。Midas NFX专注于用户的设计效率和产品分析的准确性，其快捷简便的操作方式、适合国内用户的中文模式、基于Nastran求解技术的计算内核、经过无数的工程案例验证的计算精度都保证了设计的高效性和准确性。作者于2012年起，利用该软件进行本科生和研究生的有限元课程教学，学生反映软件较为适合。在迈达斯公司的沟通联系下，作者与机械工业出版社合作进行本书的编写。本书前面的理论部分主要是在清华大学汽车工程系苗子杰教授主编的有限元课程讲义的基础上加以整理，融入了一些新的知识；本书后面的实例部分为作者使用Midas NFX进行结构分析的实例，均为作者亲自设计、操作执行，研究生陈福军同学对7.3节的实例提供了大量的辅助工作。

本书在写作过程中，参考了众多的有限元文献、讲义，力求原理简单明了，层次清楚，实例操作明确、实用。鉴于有限元理论涉及领域众多，所需要的专业知识和理论较多，作者水平有限，难免存在各种不当之处，欢迎各位专家和广大读者朋友批评指正。

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 有限元方法的由来	1
1.2 有限单元法的发展及其应用	2
1.3 有限单元法的基本思路	4
1.4 常见的有限元软件简介	6
1.5 Midas IT 介绍	12
第 2 章 弹性力学基础知识	20
2.1 弹性力学的基本假定	20
2.2 弹性力学的关键概念	22
2.3 平衡方程 (应力关系)	24
2.4 几何方程 (应变与位移关系)	24
2.5 物理方程 (应力与应变关系)	25
2.6 弹性力学求解方法简介	26
2.7 弹性力学平面问题 (二维问题)	27
第 3 章 平面问题的有限元分析	32
3.1 有限元模型	32
3.2 单元分析	33
3.3 整体分析	38
3.4 边界约束条件的处理	41
3.5 刚度方程的求解	42
3.6 非节点载荷的移置	43
3.7 计算结果的整理	45
3.8 四节点矩形单元	45
3.9 六节点三角形单元	47
3.10 八节点矩形单元	48
第 4 章 体单元和板壳单元	49
4.1 体单元	49
4.2 板壳单元	52
4.3 轴对称问题的有限元分析	57
4.4 等参单元	64

第 5 章 动力学问题的有限元分析	75
5.1 引言	76
5.2 动力学有限元基本方程	76
5.3 质量矩阵和阻尼矩阵	78
5.4 结构的固有频率和固有振型	80
5.5 结构动力响应	82
5.6 动力响应算例	88
第 6 章 非线性有限元方法	90
6.1 非线性有限元问题的分类与一般解法	90
6.2 材料非线性有限元分析	98
6.3 几何非线性有限元分析	110
6.4 接触问题有限元分析	117
第 7 章 Midas 软件静力学分析实例	124
7.1 薄板静力学分析	124
7.2 悬臂梁静力学分析	134
7.3 车架静力学分析	147
第 8 章 Midas 软件动力学分析实例	183
8.1 悬臂梁模态分析 (梁单元、体单元)	183
8.2 车架模态分析	188
8.3 车架瞬态响应分析	191
8.4 车架疲劳寿命分析	195
第 9 章 非线性分析实例	200
9.1 薄板非线性静力学分析	200
9.2 模拟计算帽型管的准静态轴向压缩试验	207
9.3 防尘罩压缩模拟	223
参考文献	231

第1章 绪论

有限元方法 (Finite Element Method, “有限单元法”或“有限元素法”), 最初起源于结构分析, 由结构力学的位移法发展而来。其核心思想就是“离散化”, 也就是将连续的结构划分为离散的, 自由度从无穷多变为有限的, 从而能够分片逼近, 得到近似结果。

本章主要介绍有限元方法的基本概念及其发展, 同时对其基本思路进行简单的介绍; 最后介绍目前一些主流的有限元软件。

1.1 有限元方法的由来

在许多工程结构、机械结构 (汽车结构)、建筑结构和航天航空等方面结构的设计分析开发中, 人们往往关注结构的刚度 (结构抵抗变形的能力) 和强度 (结构抵抗破坏的能力)。如何在设计开发过程中, 准确计算或者估计出结构的刚度和强度是结构设计人员的主要任务。

对简单结构件, 如图 1-1 和图 1-2 所示的悬臂梁, 我们可以使用材料力学的公式, 可很快地计算出结构的挠度 δ 和应力 σ 。

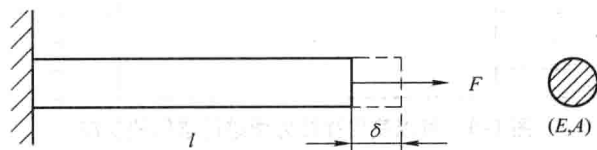


图 1-1 承受轴向拉力的悬臂梁 ($\delta = \frac{Fl}{EA}$, $\sigma = \frac{F}{A}$)

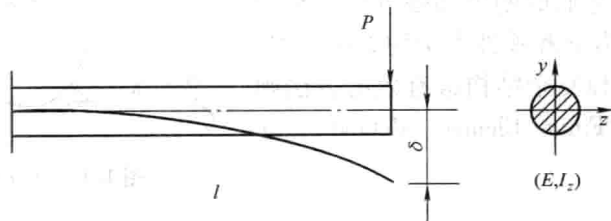


图 1-2 悬臂梁端点处承受压力 ($\delta = -\frac{Pl^3}{3EI}$, $\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} y_{\max}}{I_z}$)

对于如图 1-3 所示的一些简单的几何形状、简单的边界条件和简单的受力状况, 可以使用弹性力学来进行求解。然而, 对如图 1-4 所示的一般弹性固体, 对在外力作用下, 结构的位移、应变和应力难以求解。

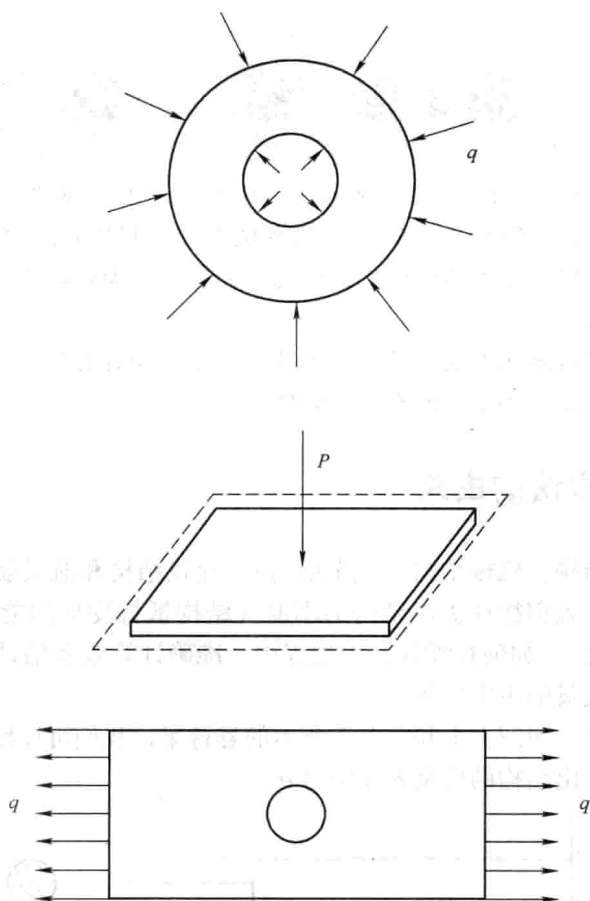


图 1-3 可以使用弹性力学进行求解的情况

对于实际工程中的复杂结构，如汽车结构、飞机结构、建筑结构、动力机械结构等，在计算或者估计它们的刚度和强度时，利用材料力学、理论力学和弹性力学均无法求解。而计算和分析工程复杂结构最有效的方法则是有限单元法（Finite Element Method），亦称有限元方法。

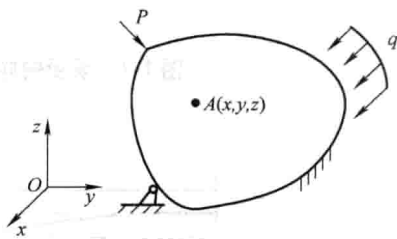


图 1-4 一般弹性固体

1.2 有限单元法的发展及其应用

有限元方法思想的萌芽可以追溯到 18 世纪末。欧拉在创立变分法的同时就曾与现代有限元相似的方法求解轴力杆的平衡问题，但那个时代缺乏强大的运算工具难以解决其计算量大的困难。这种方法最早起源于 20 世纪 50 年代。1956 年美

国航空工程师 Turner 和 Clough 为分析飞机结构, 将结构力学的矩阵位移法原理推广到弹性力学的平面问题, 获得巨大成功, 分析结果与实验数据非常吻合。之后 Clough 又用这种方法处理了一些复杂的平面弹性力学问题, 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。

有限元方法的理论和程序的提出和发展主要来源于各个高校和实验室。

早期有限元的主要贡献来自于伯克利 (Berkeley) 大学。其中的 Ed Wilson 教授发布了第一代程序, 他发表的第二代线性程序就是著名的 SAP (Structural Analysis Program), 非线性程序就是 NONSAP。

非线性有限元方法的主要贡献者有毕业于伯克利大学的 Pedro Marcal, 他于 1969 年创建了第一家非线性有限元软件公司 MARC 公司, 在 1999 年被 MSC 公司收购。

K. J. Bathe 是 Ed Wilson 教授在伯克利大学的学生, 后来在麻省理工学院 (MIT) 任教, 期间他在 NONSAP 的基础上发表了著名的非线性求解器 ADINA (Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis)。早先的 Adina 前后处理的用户界面友好性较差, 最近的版本 6.8 有了非常大的改善, 其流固耦合方面的分析较为著名。

David Hibbitt 是 Pedro Marcal 的博士生, 在 1972 年与 Karlsson 和 Sorensen 共同建立 HKS 公司, 推出了 Abaqus 软件。Abaqus 后来被 Simula (达索) 公司收购, 凭借强大的非线性技术、出色的前后处理、可拓展的二次开发功能及与达索公司下著名的 CAD 软件 CATIA 之间的无缝连接, Abaqus 近年来市场增长很快, 尤其是在汽车行业及科研院所。

John Swanson 博士于 1970 年创建 SASI (Swanson Analysis System Inc) 公司, 后来重组更名为 ANSYS 公司, ANSYS 是著名的多物理材料非线性有限元软件, 通过并购发展迅速壮大, 模块也越来越多, 商业化程度和市场占有率很高。

随着有限元理论和求解技术的发展, 显式有限元技术得到了很好的应用。在美国 Lawrence Livermore 国家实验室的 John Hallquist 博士主持下, 1975 年开始为美国军方设计开发分析工具, 他吸取了前面许多人的成果, 并且与伯克利大学的很多研究员进行紧密交流合作, 次年发布 DYNA 程序。1988 年, John Hallquist 创建 LSTC (Livermore Software Technology Corporation) 公司, 发行和扩展 DYNA 程序商业化版本 LS - DYNA。LS - DYNA 以其强大的接触算法和非线性功能在高速撞击领域占有绝对的领先地位。

在 20 世纪 80 年代, DYNA 程序首先被法国 ESI 公司商业化, 命名为 PAM - CRASH。后经过扩充和改进, 得到美国能源部的大力资助和 ANSYS、MSC、ETA 等著名公司的加盟。

MSC 公司在汽车和航空航天领域有着广泛的应用, 该公司创立于 1963 年, 并

开发了结构分析软件 SADSAM, 在 1966 年 NASA 招标项目中参与了 Nastran 的开发。1969 年 NASA 推出第一个 Nastran 版本, MSC 对原始的 Nastran 做了大量的改进, 并于 1971 年推出自己的专利版本 MSC. Nastran。1988 年, MSC 在 DYNA3D 的框架下开发了 MSC. Dyna, 并于 1990 年发布第一个版本, 另外在 1989 年收购荷兰的流体软件公司 PISCES, 将 DYNA 的 Lagrange 格式的 FEM 算法和 PISCES 的 Euler 格式的 FVM 及流体-结构耦合算法充分融合后于 1993 年发布了以强大的 ALE 算法而著名的 MSC. Dytran。

其后 MSC. Dytran 一直着力在单元库、数据结构、前后处理等方面做修改, 使其与 MSC. Nastran 取得完全一致, 其技术领先的地位开始丧失。2003 年 MSC 与 LSTC 达成全面合作的协议, 将 LS-DYNA 最新版的程序完全集入 MSC. Dytran 中。MSC 在 1999 年收购 Marc 之后开始了将 Nastran、Marc 和 Dytran 完全融合的工作, 并于 2006 年发布多物理平台 MD. Nastran。

早期的有限元方法是建立在虚位移原理或最小势能原理基础上的, 这对于人们理解有限元方法的物理概念是很有帮助的。后来一些学者又提出新的理论或者计算方法, 例如: 变分原理和广义变分原理, 并相继出现一些适应性更强、计算精度更高的新型单元模型, 如应力混合单元、杂交单元、杂交/混合单元和广义协调单元等。

近年来, 有限元方法已经有了巨大的发展, 其应用领域已从单一的结构分析扩展到温度场分析、电磁场分析、流体分析、声场分析、流固耦合及热固耦合等许多领域。分析问题的类型已从最初的线性稳态问题, 如平衡问题、特征值问题等, 发展到瞬态响应问题、非线性问题及多介质的耦合问题, 如振动响应问题、碰撞问题、塑性成形问题、声固耦合问题及流体与固体耦合问题等。

随着力学理论、计算数学和计算机技术等相关学科的发展, 有限元理论也得到不断完善, 成为工程分析中应用十分广泛的数值分析工具, 特别是在现代机械工程、车辆工程、航空航天工程、土建工程中发挥着越来越大的作用, 是现代 CAE 技术的核心内容之一。

1.3 有限单元法的基本思路

有限元方法的核心思想就是“离散化”, 即将一个包含无限自由度的连续物体, 通过网格划分, 变成一个只有有限自由度的离散体(图 1-5)。有限元方法的基本思路如下。

(1) 离散化(网格划分) 离散化也就是所说的单元网格划分, 将结构人为地划分成有限个子域(这些子域被称为单元), 假定单元之间通过有限个点相互连接(这些连接点被称为节点或节点)。

在进行离散化时, 作以下假设(图 1-6): ①物体由有限大小单元(Finite ele-

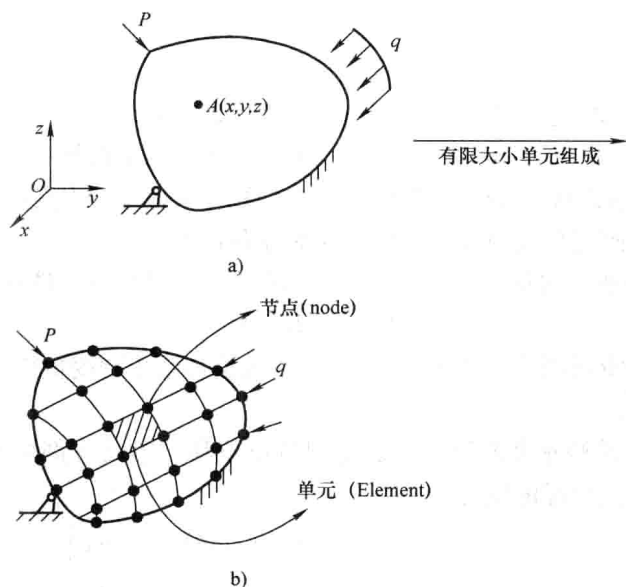


图 1-5 有限元网格划分

a) 连续体 (无限自由度) b) 离散体 (有限自由度)

ment) 组成; ②单元间通过节点连接、节点传递力; ③载荷等效为节点载荷; ④节点位移为求解未知量——位移法。

通常把三维实体划分成四面体或六面体单元的网格, 平面问题划分成三角形或四边形单元的网格。

(2) 单元分析 在离散化后, 分析任意单元 e 的受力与变形关系 (图 1-7)。

1) 假设节点位移和节点力:

$$\delta_i \quad f_i(i, j, m, p)$$

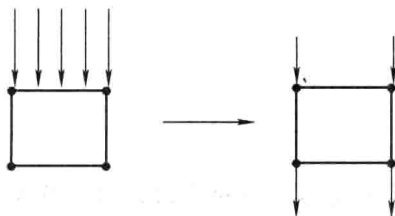
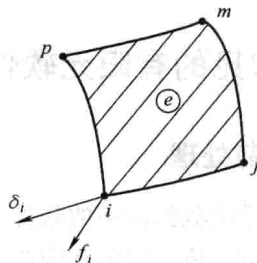


图 1-6 离散化

图 1-7 分析单元 e 的受力与变形关系

2) 写成矢量的形式:

单元节点位移矢量:

$$\{\delta\}^e = [\delta_i \delta_j \delta_m \delta_p]^T$$

节点力矢量:

$$\{f\}^e = [f_i f_j f_m f_p]^T$$

3) 建立节点力 $\{f\}^e$ 与节点位移 $\{\delta\}^e$ 之间的关系 (力与变形关系):

$$\{f\}^e = [k]^e \{\delta\}^e, \quad [k]^e \text{ 为单元刚度矩阵}$$

(可以类比弹簧刚度方程 (受力与变形关系) $f=kx$, k 刚度系数。)

单元刚度矩阵与单元内部的材料、变形分布有关。

(3) 整体分析 将所有的单元刚度方程整合, 形成整体系统刚度方程为

$$\{P\} = [K]\{\delta\}$$

式中, $\{P\}$ 为整体系统节点载荷矢量; $[K]$ 为整体系统刚度矩阵; $\{\delta\}$ 为整体系统节点位移矢量。

(4) 求解 求解刚度方程, 可以得到节点位移、单元内部位移、单元内部应变, 从而得到单元内部的应力为

$$\{\delta\} \Rightarrow \begin{Bmatrix} u(x,y,z) \\ v(x,y,z) \\ w(x,y,z) \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{Bmatrix} \varepsilon_x(x,y,z) \\ \varepsilon_y(x,y,z) \\ \varepsilon_z(x,y,z) \\ \gamma_{xy}(x,y,z) \\ \gamma_{yz}(x,y,z) \\ \gamma_{xz}(x,y,z) \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \end{Bmatrix}$$

综上所述, 可以看出有限元方法的基本特点:

- 1) “一分一合”。分: 连续体 (无限自由度) — 离散体 (有限自由度) — 单元分析。合: 整体分析、求解。
- 2) 有限元方法能处理复杂的结构形状、边界条件及载荷。
- 3) 有限元方法是一种近似的数值方法。

1.4 常见的有限元软件简介

1.4.1 前处理

用于模型数据准备的软件。通常包含结构几何建模、网格生成、边界条件处理及材料参数生成、编辑与修改等功能。

1.4.2 后处理

用于处理、分析和评价分析结果的软件。通常包含物理量分布规律的显示、分析结果的变换处理、各种曲线及图表的生成与绘制等处理功能。

1.4.3 CAE 分析常用前后处理器

1. HyperMesh

名称: HyperMesh; 所属公司: 美国 Altair 公司。

Altair® HyperMesh®是一个高性能有限单元前后处理器, 让工程师在高度交互及可视化的环境下验证各种设计条件。HyperMesh 的图形用户界面易于学习, 且支持直接输入 CAD 几何模型和已有的有限元模型, 减少了重复性的工作。先进的后处理工具可保证形象地表现复杂的仿真结果。HyperMesh 具有无比的速度、适应性和可定制性, 并且模型规模没有软件限制。

(1) HyperMesh 特点

- 1) 通过高性能的有限元建模和后处理大大缩短工程分析的周期。
- 2) 直观的图形用户界面和先进的特性减少了学习的时间, 并提高了效率。
- 3) 直接输入 CAD 几何模型及有限元模型, 减少了用于建模的重复工作和费用。
- 4) 高速度、高质量的自动网格划分, 极大地简化了复杂几何的有限元建模过程。
- 5) 在一个集成的系统内, 支持范围广泛的求解器, 确保了在任何特定的情形下都能使用适用的求解器。
- 6) 极高的性价比使软件投资得到最好的回报。
- 7) 高度可定制性更进一步提高了效率。

(2) 具体应用

1) 定制用户界面: 通过简便的步骤重新布置 HyperMesh 菜单系统输出模板, 如通过模板可以将 HyperMesh 数据输出为其他求解器和程序可读的格式。

2) 输入转换器: 通过增加自己的输入转换器, 可以扩展 HyperMesh 对其他分析软件数据的支持。

3) 结果转换器: 应用提供的工具可以创建专用的转换器, 将特殊的分析结果转化成 HyperMesh 结果格式。

4) 快捷键: 大幅度提高工作效率。

5) CAD 接口及几何模型整理: HyperMesh 具有工业界主要的 CAD 数据格式接口。它包含一系列工具, 可用于整理和改进输入的几何模型。输入的几何模型可能会有间隙、重叠和缺损, 这些会妨碍高质量网格的自动划分。通过消除缺损和孔, 以及压缩相邻曲面的边界等, 可以在模型内更大、更合理的区域划分网格, 从而提高网格划分的总体速度和质量。同时, 具有云图显示网格质量、单元质量跟踪检查等方便的工具, 可及时检查并改进网格质量。

6) 模型创建和编辑: 在建立和编辑模型方面, HyperMesh 提供用户一整套高度先进、完善的、易于使用的工具包。对于 2D 和 3D 建模, 用户可以使用各种网

格生成模板及强大的自动网格划分模块。HyperMesh 的自动网格划分模块提供用户一个智能的网格生成工具，同时可以交互调整每一个曲面或边界的网格参数，包括单元密度、单元长度变化趋势、网格划分算法等（图 1-8、图 1-9）。HyperMesh 也可以快速地用高质量的一阶或二阶四面体单元自动划分封闭的区域。四面体自动网格划分模块应用强大的 AFLR 算法。用户可以根据结构和 CFD 建模需要来单元增长选项，选择浮动或固定边界三角形单元和重新划分局部区域。

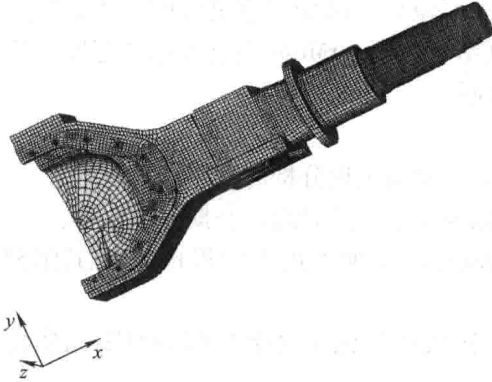


图 1-8 HyperMesh 中完成的三维实体网格

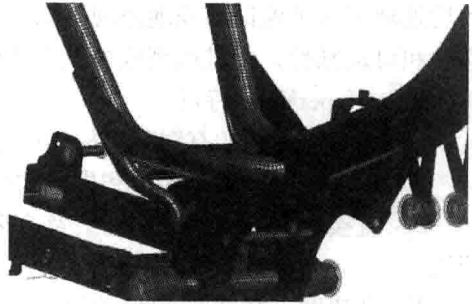


图 1-9 HyperMesh 中完成的板壳网格

7) 强大的后处理功能：HyperMesh 提供完备的后处理功能组件，可以轻松、准确地理解并表达复杂的仿真结果。HyperMesh 具有完善的可视化功能，使用等值面、变形、云图、瞬变、矢量图和截面云图等表现结果。它也支持变形、线性、复合及瞬变动画显示。另外，可以直接生成 BMP、JPG、EPS、TIFF 等格式的图形文件及通用的动画格式。这些特性结合友好的用户界面使用户迅速找到问题所在，同时有助于缩短评估结果的过程。

8) 求解器接口：HyperMesh 支持很多不同的求解器输入输出格式。HyperMesh 同时具有完善的输出模板语言和 C 函数库，用于开发输入转换器，从而提供对其他求解器的支持。

最新版本：12.0；公司网站：www.altair.com.cn。

2. Patran

名称：Patran；所属公司：MSC software 公司。

MSC Patran 正是从一角度出发开发的有限元框架式平台，设计可以方便地根据自己的需求进行多学科的工程分析和数据交换。因此，MSC Patran 被广泛应用于航空、航天、汽车、船舶、铁道、机械、制造业、电子、建筑、土木、国防、生物力学、食品包装、教学研究等行业。

MSC Patran 友好的用户界面条理清晰，符合 CAE 操作流程，最多不超过三级的菜单按“事件”激发，使用户可随意接通任何分析任务。丰富的电子表格工具，如弹出或下拉式菜单与表格、滑动条、图形图标、按钮，“单击和拖动”和多功能

屏幕拾取选择等,可用于输入和管理数据。各类表格均使用普通的工程术语,当需要时辅助表格或自动弹出或自动消失,整个界面看起来易懂。

MSC Patran 对大模型的操作响应极快,包括网格剖分、图形优化、数据库优化、内存管理及屏幕刷新等,都能快速给出操作结果,这样将大大加快分析速度。

MSC Patran 提供了交互式的全文在线帮助系统,可使用户随时得到相关的电子文档帮助。另外,相关命令过程的自动文件记录可方便地编辑修改,并用于模型参数化研究。

MSC Patran 是机械 CAE 分析软件的开放式前后处理平台,它为工程设计、分析和分析结果评估提供完整的三维 CAE 环境,能和多种 CAD 几何接口集成。

最新版本:2012; 公司网站: www.mssoftware.com.cn。

3. ANSA

名称: ANSA; 所属公司: BETA 公司。

ANSA 是一个高性能的有限元前处理器,它具有强大的有限元网格前处理能力,且支持结构和流体网格。在处理几何模型和有限元网格的效率和质量方面,ANSA 具有很好的速度、适应性和可定制性,并且模型规模没有软件限制。而其他很多有限元前处理软件在读取复杂的大规模模型数据时需要很长时间,而且在很多情况下并不能够成功导入模型,致使后续的 CAE 分析工作无法进行。ANSA 强大的几何处理能力使其可以很快读取那些结构非常复杂、规模非常庞大的模型数据,从而大大提高了 CAE 分析工程师的工作效率,也使得很多应用其他前后处理软件很难解决甚至根本不能解决的问题迎刃而解。

1) 开放的平台: ANSA 是一个开放的企业级 CAE 平台,它集成了设计与分析所需的各种工具,具有非常出色的性能及高度的开放性和灵活性。ANSA 具有工业界主要的 CAD 数据格式接口,它不仅与 CAD 软件具有很好的集成性,可以直接把已经生成的三维实体模型导入到 ANSA 中,而且导入模型的质量都很高,基本上不需要对模型进行修复,大大方便了 CAE 工程师对模型的处理。ANSA 支持很多不同的求解器输入/输出格式,几乎所有业界常用的求解器在 ANSA 中都有接口,用户在利用 ANSA 划分好模型的有限元网格后,可以直接把计算模型转化成不同的求解器文件格式,从而利用相应的求解器进行计算。因此,ANSA 可以作为企业级的 CAE 应用平台,即统一利用 ANSA 进行网格划分;然后对于不同的问题利用不同的求解器进行求解,可大大提高分析效率。

2) 友好的界面: ANSA 的用户界面友好,与其他前处理软件相比,ANSA 界面的最大优势是采用一级菜单系统,几乎所有的功能按钮都可以在工具栏中找到。通过一到两次单 < 双 > 击就能完成大部分目标操作,大大提高了建模效率,并且 ANSA 软件的用户手册和在线帮助对 ANSA 的功能使用都做了详细的介绍,具有针对性的实例也使用户可以快速掌握软件的功能及使用。ANSA 把各种功能键分为 TOPO、MESH、DECK 三大类,分别用于几何模型、网格、求解工作定义的各种不

同功能。另外，又根据操作对象的不同把功能键进行了更细的分类，并称之为“功能群”，用户可以快速找到功能按钮，加快建模速度。六种求解器被直接集成在 ANSA 环境，在 ANSA 界面中就可以完成几乎所有的分析工作。定义完成后只需把文件用相应的求解器格式输出，然后利用求解器提交计算，并且不同的求解器之间可以进行协同工作。

以领先的技术为支撑，ANSA 功能强大并日趋完善，以下介绍其中一些主要的功能。

(1) 拓扑显示及几何清理 几何模型在导入有限元前处理器的过程中会发生显示上的错误，而 ANSA 提供了先进而有效的几何清理和修复工具。其强大的几何功能可以非常方便地进行几何实体定义和修改；其自动识别孔、圆角和边角等小特征方便用户进行快速的半自动几何清理；还有其自动识别并关联对称特征等。这些功能使用户能够快速修复 CAD 数据，而不用重新建立复杂的几何模型。

(2) 抽中面功能 ANSA 的半自动抽中面功能可以帮助用户正确有效地建立偏置后的模型。把偏置后的位置和特征的厚度关联起来，并可选择固定特征的内表面或外表面并对其进行偏移作为中面。

(3) 几何关联 ANSA 的一个很重要的特点是 CAD 模型（几何数据）与网格模型是相关联的，也就是说对 CAD 模型所做的修改将会反映到网格模型上，在网格完成后，用户只需要按下 A. MESH 按钮。当对模型进行几何修改时，ANSA 就会自动利用前次使用的网格生成准则，对网格进行重新划分，并自动执行网格重建功能。

(4) 部件管理 部件管理工具使用户可在部件级上与数据库进行对话，方便地进行部件替换、删除、保存、分开保存等操作。通过部件管理模块，用户可以在不用重新焊接或重新建立边界条件的情况下更新部件。

(5) 焊点的自动定义 ANSA 具有很强的焊点定义功能，用户可以使用多种方式定义连接点：通过 CAD 数据文件自动识别焊点；连接关系表述文件输入；利用坐标输入创建三维空间点，然后再转化为连接点；以 VIP、XML 格式输入；利用 ANSA 的连接点定义功能。连接点定义完成后，利用 ANSA 专用的连接点管理工具便可方便快捷地创建依赖于单元和独立于单元的两种连接关系。

(6) 网格的生成 具有生成面、体、流体网格功能。

1) 面网格生成功能：ANSA 具有强大的面网格创建、质量检查、质量改进工具，ANSA 生成的面网格与几何面是相关联的，在几何上的修改将会反映到网格模型上，大大提高了网格生成速度，同时 ANSA 点线面的操作功能强大，保证用户可方便灵活地对基本几何特征进行操作；ANSA 提供多种网格生成准则，使用户根据面的不同几何形状生成合适的网格分布；质量检查工具可以辅助用户对生成的网格质量进行监控，并能输出详细的网格质量报告，使用户清楚地了解网格的质量等级；网格质量检查完成后，ANSA 又提供了功能丰富的网格质量改进工具，包括对

整体网格质量的改进、局部网格质量的改进和个别网格质量的改进，自动和手动两种方式可混合使用，使用户可方便快捷地对网格的质量进行改进，以达到预期要求。

2) 体网格生成功能：ANSA 中有两种体网格生成模式，即自动生成四面体和五面体（楔形或金字塔形）网格、半自动生成六面体和五面体（楔形）网格。ANSA 具有六种六面体网格生成功能，分别针对不同的几何形状进行体网格划分，能满足任何形状的体模型网格创建（图 1-10）。

众所周知，面网格的质量是体网格质量的基础，ANSA 强大的面网格工具确保了体网格的高质量，同样，ANSA 也提供了体网格质量检查和改进工具，使用户能方便地对质量较差的网格进行质量改进。

3) 流体网格功能：ANSA 支持流体网格，拥有强大的流体网格功能，能为流体分析软件提供高质量的、符合用户要求的流体网格。

在生成流体网格前，ANSA 利用其强大的拓扑功能、CAD 功能为生成网格做好准备。ANSA 会根据模型的几何曲率自动分配网格的节点数，控制网格大小及增长速率，限制最小和最大网格及特征角；然后利用网格检查功能，根据用户的使用要求对网格进行检查，并完成自动或手动的网格质量改进。同样，ANSA 能快速方便地完成四面体和六面体流体网格。

(7) 汽车分析专用工具 ANSA 具有专门针对汽车分析的功能，在汽车安全分析中，可以快速定位和约束假人模型、安全带、安全气囊。它支持各种通用的假人模型，可读入假人的零件布置和定位文件，也能在作为变形体或刚体的假人模型中自动创建零件的层次关系。ANSA 使用面网格创建安全带模型，并自动把它定位在假人模型上，这样就大大节省了时间，提高了效率。因此，ANSA 在汽车行业中的应用非常广泛。

最新版本：V13.2；国内代理商网站：<http://www.feaonline.com.cn/product/ansa.html>。

1.4.4 CAE 常用分析软件

1. LS - DYNA

所属公司：LSTC 公司。

软件评述：LS - DYNA 是世界上著名的显式动力分析有限元程序，可以精确可



图 1-10 在 ANSA 中完成的
活塞体网格模型