



专业教程系列

Patran和Nastran 有限元分析

专业教程

马爱军 周传月 王 旭 编著

清华大学出版社

适用于工程技术人员阅读
包含丰富的行业应用案例
满足行业应用的主流需求
提供完善的技术支持服务





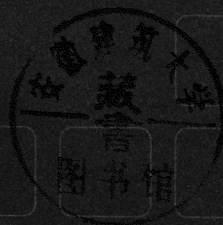
专业教程系列

Patran和Nastran 有限元分析

专业教程

马爱军 周传月 王 旭 编著

清华大学出版社



适用于工程技术人员阅读
包含丰富的行业应用案例
满足行业应用的主流需求
提供完善的技术支持服务

内容简介

本书以大量详尽的分析实例,深入系统地介绍了 MSC.Patran 和 MSC.Nastran 软件的使用方法和技巧。全书共分 13 章,内容涵盖了 MSC.Patran 和 MSC.Nastran 软件的功能和特点;有限元建模和分析的基本过程;与 CAD 软件的接口;线性静力分析过程;正模态分析过程;动力学分析过程;非线性分析过程;热分析过程;优化设计分析过程;线性与非线性屈曲分析过程;线性循环对称分析过程;超单元分析过程等。

本书内容全面翔实,对涉及的基础知识和基本过程表述简洁清晰,其中的实例典型专业,适合深入学习参考。本书配套光盘提供了所有例子的源程序。

本书可作为广大工程技术人员学习使用的参考书,也可作为理工院校相关专业的师生学习 MSC.Patran 和 MSC.Nastran 软件的教材。



版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 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。

本书防伪标签采用清华大学核研院专有核径迹膜防伪技术,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

Patran 和 Nastran 有限元分析专业教程 / 马爱军,周传月,王旭编著. —北京:清华大学出版社,2005.1
ISBN 7-302-09908-1

I .P… II .①马…②周…③王… III .有限元分析—应用软件. Patran、Nastran—教材 IV .O241.82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 118211 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

责任编辑:魏江江

封面设计:吴文越

印刷者:北京鑫丰华彩印有限公司

装订者:三河市李旗庄少明装订厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开本:185×230 印张:21 插页:2 字数:433千字

版次:2005年1月第1版 2005年1月第1次印刷

书号:ISBN 7-302-09908-1/TP·6814

印数:1~3000

定价:36.00元(含光盘1张)

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010) 62770175-3103 或 (010) 62795704

形成知識體系 着重實際
應用導引自主學習 促進
社會普及

祝賀

計算機大型系列叢書出版

張致祥



二〇〇三年
十月

总序

四十多年前，当我国刚刚研制出最初的几台计算机时，只有极少数科学家会使用计算机来做科学计算。那时，在一般人的眼中，计算机是非常神秘的，更不用说去使用它了。然而，时至今日，计算机已经走下科学家的殿堂，来到了老百姓的身边。现在，使用计算机已变成了人们的“家常便饭”，甚至连儿童也会用计算机来玩游戏和上网了。确实，今天我们正处在一个信息时代，计算机已经无所不在，它进入了各行各业，它改变着人们的工作、学习和生活，它已经成为人们不可或缺的工具和伴侣；于是，使用计算机也就从早期的少数专家特有的本领变成了如今人人都可拥有的基本技能。但随之，人们也就面临一个新问题：这就是如何普及计算机教育？如何使广大群众更快、更好地掌握使用计算机的技能？如何使他们能用计算机为国家、为社会、为自己做更多的工作，创造更多的财富？显然，要解决好这个问题，迫切需要一套为普及计算机使用技能而专门设计的好书，正是在这种需求下，清华大学出版社的《黑魔方丛书》应运而生了。

从这套丛书的出版思路、体系结构和进度计划来看，它具有不同于一般丛书的特点：

一、它建立了一个较为科学的计算机图书出版体系，这对于今后计算机图书出版的规范化将起到良性的引导作用。《黑魔方丛书》涉及到计算机应用的各个方面，它既可以单独学习也可以连续深入钻研，这对于普及计算机应用是很有积极意义的。该丛书的丰富内容可以说是对现在市场上铺天盖地的计算机图书所做的系统提炼，在知识更新率极高的计算机图书领域，该丛书起到了承上启下的作用。

二、它创造了一种由读者自由选择学习内容的体系。读者可根据《计算机学习金手册》，对照自己的实际情况选择适用的图书，这可以使读者更有目的地进行学习，与盲目找书、盲目学习相比，显然可以节约时间和金钱。

三、它可以帮助读者掌握学习方法、找准学习方向。在学习中，有时人们会抱怨，花了很大力气却学不到什么东西，这往往是没有掌握学习方法，没有找准学习方向。《黑魔方丛书》在这方面下了功夫，它可以有效地帮助读者掌握学习方法、找准学习方向。这样，这套图书的作用就不仅仅是灌输知识，它还能帮助读者提高学习效率、提升思维能力。

最近，我国载人飞船顺利升空，这标志着我国在发展科学技术方面取得了重大进展。但是在欢庆这一重大成就的同时，我们也应清醒地认识到，我国还是一个发展中国家，在计算机方面也还远远落后于发达国家。为此，我们必须奋起直追，大力普及计算机教育。我们相信《黑魔方丛书》将为此发挥重要的作用，它也将因此得到广大读者的喜爱。



专家委员会

成员（按姓氏笔画排序）

- 孙家广 教授 中国工程院院士
国家 CAD 支撑软件工程技术研究中心主任
- 李三立 教授 中国工程院院士
清华大学计算机科学与工程研究所所长 上海大学计算机学院院长
- 李国杰 研究员 中国工程院院士
计算机学会常务副理事长
- 张效祥 研究员 中国科学院院士
中国计算机学会名誉理事长
- 求伯君 金山电脑公司董事长
- 吴文虎 教授 博士生导师 教育部远程教育专家委员会主任
全国高等院校计算机基础教育研究会副会长
- 杨芙清 研究员 中国科学院院士
北大青鸟集团董事长
- 倪光南 研究员 博士生导师 中国工程院院士
中国中文信息学会副理事长
- 谭浩强 教授 全国高等院校计算机基础教育研究会会长
教育部计算机应用技术证书考试委员会主任委员

丛书编委会

成员

- | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 谭浩强 | 吴文虎 | 王克宏 | 柳西玲 | 潘爱民 |
| 黄淼云 | 李也白 | 吴文越 | 陈跃 | 李秋弟 |
| 蔡鸿程 | 卢先和 | 汤斌浩 | 丁岭 | 徐培忠 |
| 林慕新 | 刘华 | 李江涛 | 魏江江 | 田在儒 |

出版说明

新世纪应该有新气象，“黑魔方”就是这样。

作为一套建设中的计算机大型系列丛书，“黑魔方”将以图书出版为纽带，带动计算机技术与经验的广泛交流、积累，在图书编写、出版、推广、服务等方面进行有意义的探索和创新，积极促进计算机技术的社会应用普及。

现在，“黑魔方”图书已陆续和读者见面了。细心的读者会发现，“黑魔方”有很多与众不同之处。但这也仅仅是开始，随着更多读者和其他热心人的参与和支持，“黑魔方”必将越做越好，最终为社会贡献出一套由广大读者、作者、编辑和其他人士共同参与建设起来的精品计算机丛书。

为了便于读者更深入地了解“黑魔方”，这里我们把策划和出版“黑魔方”丛书的一些思路和想法简要说明一下，希望能和更多的读者交流、探讨。

有关体系和规范

计算机的应用领域十分广泛，各种新技术也层出不穷，这便给计算机的学习者带来困难。学什么，往哪个方向学，采用什么学习方法，前景如何？等等，这些问题是很多学习者无法真正搞清楚的。如果搞不清楚，在选择学习用书时就会有一定的盲目性。如何帮读者解决这个问题？“黑魔方”进行了积极的摸索。“学习蓝图”和《计算机学习金手册》是“黑魔方”的第一次尝试。它们从实用的角度出发，将计算机在人们生活和工作中的主要应用状况加以归纳，尽可能地理清脉络、形成体系并提供简要介绍，以期给读者和出版者提供较为一致的选择图书和出版图书的参考依据。

促进计算机图书的出版走向规范化，则是“黑魔方”考虑的另一个重要问题。“黑魔方”首先尝试从书名、层次划分等方面加以规范。在“黑魔方”中，每本书的书名都是严格按照丛书编委会制定的统一标准命名的。一个书名中代表的难易层次和写作风格都是固定的，避免出现同样叫“*****精通”的两本书所讲述内容和难易程度迥然不同的情况。

有关出版模式和作者队伍

“黑魔方”采用开放式的图书出版模式。一者，“黑魔方”的丛书体系构成比较开放，没有固定的图书品种、出版周期等方面的限制，随时可以根据社会发展需要加以变通和完善；二者，专门为“黑魔方”开设了一个专题网站，作为一个联结读者、作者、编辑的广泛交流平台，在此平台基础上任何一位热心者均可以参与“黑魔方”的规划建设，并从中受益。

另外，在丛书作者队伍方面也采用开放形式，面向全社会，任何一位有能力的作者均可以加入到“黑魔方”的作者队伍中来。“黑魔方”采用科学的淘汰和奖惩机制，以保证作者

队伍的健壮。

有关出版印刷和配套服务

在图书定价与印刷质量权衡的问题上，每个出版者或读者都会有不同的观点。“黑魔方”在寻求二者平衡点的同时，始终把读者的感受放在第一位，在每一本“黑魔方”图书的出版印刷的每一个细节上都反复审度，以求带给读者更舒服的读书享受。比如，在正文印刷字体、字号的选择上，就经过反复的比较、试验，才最终选择了现在的字体、字号，因为这种字样在视觉上比较整洁舒服，长期阅读不容易劳累；在正文印刷用纸上，选择了质地轻软、手感柔和的再生纸，等等。

“黑魔方”不仅仅重视图书质量，而且重视图书的售后服务。包括，建立了“黑魔方”专题网站、设立了直接意见反馈渠道、设立了技术支持及问题解答的专线，同时，根据需要还将开展配套的培训服务、电视讲座服务、在线指导服务、作者巡回报告服务，等等。一切有利于读者计算机学习的服务均将先后开展。

以上的说明，只是介绍了“黑魔方”某些方面，“黑魔方”还包含有很多很多的创意和革新，需要读者去慢慢发现和理解。

“它山之石，可以攻玉”。“黑魔方”的成长和壮大，仅仅依靠一个出版社的力量是远远不够的，我们期望能有越来越多的人士或团体加入到“黑魔方”的建设队伍中来，和我们一道为探索计算机图书出版的变革，以及为推动我国计算机事业的发展做出贡献！

清华大学出版社

2004年1月



导读

读者对象

Patran 和 Nastran 软件用户, 对有限元分析感兴趣的工程技术人员, 理工院校相关专业的本科生、研究生及教师。

写作环境

Patran 为 2003 版本和 2004 版本, Nastran 为 2001 版本和 2004 版本, 操作系统为 Windows 2000/XP。

内容提要

21 世纪全球经济飞速发展, 市场竞争不断加剧, 产品更新速度加快。只有拥有和使用先进的设计技术和产品开发工具, 制造商才能以最小投入获取最大的利润。贯穿于产品概念设计、详细设计和制造过程的 CAE 仿真工具对提高产品性能质量起着举足轻重的作用。

MSC Software 公司 (MSC Software Corporation, MSC) 是世界著名的有限元分析和计算机仿真预测应用软件 CAE 供应商和虚拟产品开发 (VPD, Virtual Product Development) 概念的倡导者。MSC Software 公司的产品众多, 主要有 MSC Patran、MSC Nastran、MSC Marc、MSC Dytran、MSC Adams、MSC Easy5、MSC Fatigue、MSC Akusmod、MSC GS-Mesher、MSC Mvision、MSC Actran、MSC Thermal 等。其中 MSC Patran 和 MSC Nastran 是 MSC Software 公司的旗舰产品。MSC Patran 诞生于 20 世纪 80 年代初期, 是在美国国家宇航局 (NASA) 的资助下, 产生的新一代并行框架式有限元前后处理及分析仿真系统, 其开放式、多功能的体系结构可将工程设计、工程分析、结果评估、用户化设计和交互图形界面集于一身, 构成一个完整的 CAE 集成环境。Nastran 则是世界上应用最为广泛的有限元分析软件。Nastran 具有很高的软件可靠性, 品质优秀, 得到有限元业界的肯定, 众多大公司和工业行业都用 Nastran 的计算结果作为标准代替其他质量规范。Nastran 具有开放式的结构, 全模块化的组织结构使其不但拥有很强的分析功能而又保证具有很高的灵活性, 使用者可针对根据自己的工程问题和系统需求通过模块选择、组合获取最佳的应用系统。此外, Nastran 还为用户提供了强大的开发工具 DMAP 语言。作为世界 CAE 工业标准及最流行的大型通用结构有限元分析软件, Nastran 的分析功能覆盖了绝大多数工程应用领域, 其分析功能包括静力分析、模态分析、屈曲分析、热应力分析、动力学分析、热传导分析、非线性分析、流-固耦合分析、设计灵敏度分析及优化分析、超单元、气动弹性分析、高级对称分析及数据库管理等。

目前, MSC Patran 和 MSC Nastran 软件已经在我国的汽车、航空、航天、电子、土木工

程、通用机械、兵器、核能、医疗器械、铁道、石油和化工等领域得到了广泛应用，在国内拥有大量的使用者。为了使广大的使用者更好地使用软件，本书从实际工程应用出发，采用具体的应用实例，结合编者使用软件的经验以及处理问题的方法，根据能获得的最新资料编写了本书。

本书共分 13 章。第 1 章简单介绍了 CAE 技术和 MSC Software 公司及其主要产品，详细介绍了 MSC Patran 和 MSC Nastran 软件的功能和特点；第 2 章介绍使用 MSC Patran 和 MSC Nastran 进行有限元建模和分析的基本过程；第 3 章以具体的实例介绍 MSC Patran 与 CAD 软件的接口；第 4 章介绍线性静力分析过程和 3 个应用实例；第 5 章介绍正模态分析过程和 3 个应用实例；第 6 章介绍动力学分析过程和 3 个应用实例；第 7 章介绍非线性分析过程和 2 个应用实例；第 8 章介绍热分析过程和 4 个应用实例；第 9 章介绍优化设计分析过程和 2 个应用实例；第 10 章介绍线性与非线性屈曲分析过程和 2 个应用实例；第 11 章介绍线性循环对称分析过程和 1 个应用实例；第 12 章介绍超单元分析过程和 1 个应用实例；第 13 章介绍其他一些分析过程和应用实例。

写作约定

为了便于阅读理解，以及使语句更简洁易懂，本书作如下约定：

关于对话框中的属性设置，使用“→”方式。“→”左边为对话框中要设置的属性，“→”右边是设置的选项或数值。例如，Action→Create，表示在 Action 项目下选择 Create 选项；Point 1→[0 0 0]，表示在 Point 1 文本框中输入坐标[0 0 0]。

本书作者

周传月，毕业于哈尔滨工业大学航天工程与力学系，博士学位。在军工研究所、工程咨询公司和软件公司从事过科研工作和有限元软件工程应用工作 10 余年。在有限元分析和有限元软件在实际工程中的应用等方面具有丰富的经验。

马爱军，毕业于吉林大学力学系，博士学位，高级工程师。在某航天研究所从事科研工作。研究领域主要在航天器振动理论和应用，航天生物力学、振动实验和有限元虚拟仿真等方面。

本书由周传月、马爱军和王旭编写，苗常青、王友善、史纪鑫、崔贵等参与了部分编写工作。本书在编写过程中得到了 MSC Software 公司中国办事处的大力支持和指导，另外书中一些内容还得到了一些朋友的帮助。编者在此向他们表示衷心的感谢。

作者联系方式：caenastran@126.com。

图书支持网站：<http://www.itbook8.com>

目录

第 1 章 概述

2	1.1	CAE 技术及应用
2	1.1.1	CAE 的概念
2	1.1.2	CAE 软件的分类和应用状况
3	1.2	MSC 公司及其产品介绍
3	1.2.1	MSC 公司介绍
6	1.2.2	MSC 公司主要产品
17	1.3	MSC .Patran 介绍
18	1.3.1	开放式的几何建模
21	1.3.2	多种分析的集成
23	1.3.3	方便的有限元建模
26	1.3.4	边界条件定义
27	1.3.5	交互式的结果可视化后处理
30	1.3.6	二次开发语言 PCL
31	1.4	MSC .Nastran 软件功能介绍
32	1.4.1	静力分析
32	1.4.2	屈曲分析
33	1.4.3	动力学分析
35	1.4.4	非线性分析
35	1.4.5	热传导分析
36	1.4.6	空气动力弹性及颤振分析
37	1.4.7	流-固耦合分析
38	1.4.8	多级超单元分析
38	1.4.9	高级对称分析
39	1.4.10	设计灵敏度及优化分析
41	1.5	Patran 和 Nastran 相关的主要文件
42	1.6	本章小结

第 2 章 Patran 和 Nastran 建模和分析过程

44	2.1	Patran 建模与 Nastran 分析流程
44	2.1.1	Patran 的用户界面介绍

47	2.1.2	Patran 建模和分析的一般流程
49	2.2	一个典型工程问题的分析过程
57	2.3	Patran 有限元网格基础
58	2.3.1	自由网格划分
60	2.3.2	映射网格划分
61	2.3.3	扫掠网格划分
66	2.3.4	混合网格划分
69	2.3.5	总体-局部模型和超单元等其他手段
71	2.4	Patran 曲面网格简介
71	2.4.1	实体中面网格划分
73	2.4.2	片体网格划分
73	2.4.3	网格上重新生成网格
74	2.4.4	高级曲面网格划分
75	2.5	典型有限元模型

第3章 Patran 与 CAD 软件的接口

80	3.1	Patran 输入输出接口
80	3.1.1	Patran 输入接口
83	3.1.2	Patran 输出接口
84	3.2	Patran 读取 CAD 造型核心模型文件实例
84	3.2.1	ACIS 接口
86	3.2.2	Parasolid 接口
89	3.3	Patran 读取 CAD 模型文件实例
89	3.3.1	Proe 接口
91	3.3.2	UG 接口
92	3.3.3	CATIA V4 接口
94	3.3.4	CATIA V5 接口
96	3.3.5	I-DEAS 接口
97	3.4	Patran 读取转换文件实例
97	3.4.1	IGES 接口
101	3.4.2	STEP 格式模型
103	3.4.3	STL 接口

第4章 线性静力分析实例

106	4.1	线性静力分析过程与步骤
-----	-----	-------------

106	4.2	实例 1——平面桁架受力分析
110	4.3	实例 2——悬臂梁结构受力分析
113	4.4	实例 3——平板受力分析
117	4.5	本章小结

第 5 章 模态分析实例

120	5.1	模态分析分析过程与步骤
120	5.2	实例 1——三维悬臂梁结构模态分析
124	5.3	实例 2——三维平板模态分析
128	5.4	实例 3——L 型振动试验夹具模态分析
133	5.5	本章小结

第 6 章 动力学分析实例

136	6.1	动力学分析类型
136	6.2	动力学分析过程与步骤
136	6.3	实例 1——平板瞬态响应分析
142	6.4	实例 2——平板频率响应分析
147	6.5	实例 3——平板瞬态冲击响应分析
152	6.6	本章小结

第 7 章 非线性分析实例

154	7.1	非线性分析的基本概念
154	7.1.1	非线性分析的定义
154	7.1.2	非线性分析的分类
155	7.1.3	非线性分析的特点
157	7.2	非线性分析过程与步骤
160	7.3	非线性分析实例 1——内压厚壁圆筒弹塑性分析
167	7.4	非线性分析实例 2——受侧压圆柱壳
167	7.4.1	问题描述
168	7.4.2	建模及求解过程
177	7.5	GLview Pro 非线性分析结果后处理
177	7.5.1	GLview Pro 介绍
180	7.5.2	内压厚壁圆筒弹塑性分析结果后处理
181	7.5.3	受侧压圆柱壳结果后处理
182	7.6	本章小结

第 8 章 热分析实例

184	8.1	热分析过程与步骤
184	8.2	实例 1——印刷线路板自由对流热分析
188	8.3	实例 2——印刷线路板热阻分析
191	8.4	实例 3——热交换器热流分析
196	8.5	实例 4——空间热辐射分析
200	8.6	本章小结

第 9 章 优化分析

202	9.1	优化简介
202	9.1.1	优化设计概念
202	9.1.2	优化设计作用
202	9.1.3	Nastran 优化设计基本特征
202	9.1.4	Nastran 结构优化的优势
203	9.1.5	Nastran 支持的优化功能
203	9.1.6	基本优化问题描述
204	9.2	设计优化的过程与步骤
208	9.3	优化分析实例 1——三杆桁架静力优化问题
208	9.3.1	问题描述
209	9.3.2	分析过程
224	9.4	优化分析实例 2——简支板频率优化问题
224	9.4.1	问题描述
224	9.4.2	分析过程
233	9.5	本章小结

第 10 章 线性与非线性屈曲分析实例

236	10.1	稳定性现象
237	10.2	线性屈曲分析
237	10.2.1	线性屈曲分析的特点
237	10.2.2	线性屈曲分析的过程
239	10.3	线性屈曲分析实例
245	10.4	非线性屈曲分析方法
245	10.4.1	非线性屈曲分析的特点

245	10.4.2	非线性屈曲分析的方法
246	10.5	非线性屈曲分析实例——侧压作用下的柱壳
254	10.6	本章小结

第 11 章 循环对称分析实例

256	11.1	循环对称介绍
258	11.2	循环对称基本理论
260	11.3	循环对称分析的基本过程
261	11.3.1	MSC.Patran 建立有限元模型
261	11.3.2	设置循环对称
261	11.3.3	分析设置
263	11.3.4	检查 Nastran 分析数据
264	11.3.5	Patran 处理循环对称结果
265	11.3.6	Patran 后处理结果
265	11.4	循环对称分析实例——叶片轮盘结构模态分析
265	11.4.1	问题描述
266	11.4.2	建模及求解
273	11.5	本章小结

第 12 章 超单元分析

276	12.1	Nastran 超单元
276	12.1.1	超单元概念
276	12.1.2	为什么使用超单元
276	12.1.3	Patran 定义超单元的过程与步骤
277	12.2	超单元分析实例——六角形叶盘结构模态分析
277	12.2.1	问题描述
278	12.2.2	模型 1 建模及求解
285	12.2.3	模型 2 求解
287	12.3	本章小结

第 13 章 其他分析实例

290	13.1	模态有效质量分析
290	13.1.1	模态参与因子
291	13.1.2	使用方法

291	13.1.3	模态有效质量分析实例——卫星结构
297	13.2	整体-局部分析——带孔平板
298	13.2.2	总体模型分析
301	13.2.3	局部模型分析
302	13.3	电子机柜随机振动分析
310	13.4	叶片预应力模态分析
310	13.4.1	非线性模态分析
311	13.4.2	问题描述
311	13.4.3	计算分析过程

