



万水计算机辅助设计技术系列

MSC . Marc

工程应用实例分析 与二次开发

阚前华 常志宇 主编
郝文化 主审



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

万水计算机辅助设计技术系列

MSC.Marc 工程应用实例分析与二次开发

阚前华 常志宇 主编

郝文化 主审

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书以有限单元法为基础,以 MSC.Marc/Mentat 为主线,以专业的语言和完善的理论体系,将 MSC.Marc/Mentat 在各个工程领域的应用展示给大家。各部分内容由浅入深,循序渐进,将会成为广大读者的良师益友。

本书首先介绍了 MSC.Marc/Mentat 的基本知识和基本菜单功能;然后借助众多的工程应用实例深入地阐述了 MSC.Marc 在几何非线性、材料非线性、接触、温度场、动力学、微机电和数值仿真等方面的强大非线性分析能力,并将各个工程领域相关的理论知识融入到相应的实例中,以便于更深入地掌握有限元分析方法;最后,详细介绍了 MSC.Mentat 的二次开发和数据处理,并对一些常见问题给予简明扼要的解答。

全书理论阐述严谨,语言通俗易懂,实例实用性和针对性强,既可供从事航空航天、核工业、铁道、机械制造、汽车、电子、土木工程、造船、生物医学、轻工、地矿、水利、能源等领域的广大工程技术人员使用,也可以作为理工科院校的高年级本科生、研究生、博士生与教师学习 MSC.Marc 的教材和参考用书。

本书示例文件和源代码可以从中国水利水电出版社网站<http://www.waterpub.com.cn/softdown/>上免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

MSC.Marc 工程应用实例分析与二次开发 / 阒前华, 常志宇主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2005

(万水计算机辅助设计技术系列)

ISBN 7-5084-3340-8

I. M… II. ①阒…②常… III. 有限元分析—应用软件, MSC.Marc—软件开发 IV. 0241.82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 119318 号

书 作 者 出版 发 行	MSC.Marc 工程应用实例分析与二次开发 阒前华 常志宇 主编 郝文化 主审 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) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	
排 版 刷	北京万水电子信息有限公司 北京蓝空印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 24.25 印张 605 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	38.00 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

前 言

有限元的成熟的理论方法开始应用到有限元软件当中大概开始于 1970 年,最初只能进行近似线性结构分析,后逐渐向非线性行为的结构和过程方向发展。在此期间,以 ABAQUS, MARC, ANSYS, ALGOR, ADINA, ASKA 和 LS-DYNA 最为著名。

MARC Analysis Research Corporation (简称 MARC) 始创于 1967 年,总部设在美国加州的 Palo Alto,是全球第一家非线性有限元软件公司。MSC.Marc 是功能齐全的高级非线性求解器,体现了 30 多年来有限元分析的理论方法和软件实践的完美结合,有极强的结构分析能力。可以处理各种线性和非线性结构分析,包括线性/非线性静力分析、模态分析、简谐响应分析、频谱分析、随机振动分析、动力响应分析、自动的静/动力接触、屈曲/失稳和失效及破坏分析等。

MSC. Marc 软件为用户提供了丰富的单元库和材料库,同时具有用户自己定义单元的用户子程序接口,这些都方便用户处理大变形几何非线性、材料非线性和包括接触在内的边界条件非线性以及组合的高度非线性等复杂的工程技术难题。MSC. Marc 中的网格自适应技术能纠正大变形中的网格畸变,使非线性分析的计算效率大大提高。对非结构的流、辐射、相变潜热等复杂边界条件的非线性传热问题的温度场、流场、电场以及磁场也提供了相应的求解能力;同时具有模拟流—热—固、土壤渗流、声—结构、耦合电—磁、电—热、电—热—结构和热—结构等多种耦合场的能力。

本书的编写宗旨

随着有限元理论的应用范围不断扩展,很多有限元软件,已经形成包罗万象、博大精深的系统,读者通过自学往往很难精通掌握。另外,大多数初次使用 MSC. Marc 的用户面对层叠繁多的菜单常常感到束手无策,难以驾驭,即使经常从事此项工作的工程技术人员也需要经常查阅一些工具书。然而,目前有关 MARC 的指导书籍少之又少,查阅 Marc 的英文帮助,对许多国内用户而言尚有一定的难度。基于以上现状,为方便读者学习,作者根据自己使用和教学的经验编写了《MSC.Marc 工程应用实例分析与二次开发》一书。本书给出了包括机械、铁道、土木、电气、材料等专业相关的 30 多个典型应用实例,涉及到了 MSC. Marc 的各个方面,旨在使读者在最短的时间里精通这款优秀的软件。

全书结构和内容梗概

全书由主要以 Marc2003 为软件平台,分初级篇、中级篇、高级篇和释疑篇 4 个部分,共 11 章。

初级篇：包括第 1~2 章，主要介绍了 MSC.Marc 的功能、安装、目录、运行流程、与用户的交互、软件接口和学习方法，以及 MSC.Mentat2003 的绝大部分菜单的功能。

中级篇：包括第 3~8 章，主要介绍了几何非线性的基本理论和分析方法；材料非线性的相关理论基础知识以及如何利用 MSC.Marc 进行材料非线性分析，涉及内容包括弹性、粘塑性、混凝土和形状记忆合金等；MARC 的接触算法和有限元实现及在 MARC 中的实现过程；温度相关塑性和热传递的理论知识及在 MARC 中的实现过程；动力学相关的理论知识及在 MARC 中的实现过程；压电、电—热—机耦合和数控加工的相关知识及在 MARC 中的实现过程。

高级篇：包括第 9~10 章，针对 MARC 的用户子程序、Mentat 界面汉化和菜单开发进行较详细的阐述。同时，介绍了如何利用 MARC 进行数据拟合以及表格的使用方法。

释疑篇：包括第 11 章 MSC.Marc 知识问答。主要就 MSC.Marc 分析的各个阶段遇到的常见问题给予详细的解答。

本书的读者对象

全书理论阐述严谨，语言通俗易懂，实例实用性和针对性强，既可供从事航空航天、核工业、铁道、机械制造、汽车、电子、土木工程、造船、生物医学、轻工、地矿、水利、能源等领域的广大工程技术人员使用，也可以作为理工科院校的高年级本科生、研究生、博士生与教师学习 MSC.Marc 的教材和参考用书。

使用建议

MSC.Marc 自身的性质决定了本书的主要读者对象是具有一定理论基础的高级专门人才，所以本书在每一章节给予实例分析的同时，也对相关的理论知识进行了较详尽的阐述，这必将给读者分析问题进而解决问题带来很大的方便，建议读者进行认真阅读。

全书共包含 32 个工程应用实例。所有实例都在 Marc2003 下经过了调试。读者可以在自己的 Marc2003 版本中重现本书的计算过程和结果；对于非 Marc2003 版本，只需注意少量的菜单位置改变，即可顺利完成整个流程。

本书配套示例文件和源代码（可到中国水利水电出版社网站<http://www.waterpub.com.cn/softdown>下载），其中包括：114 个用户子程序源文件，可以根据具体情形稍加修改即可使用；实例分析的模型文件，可以直接生产有限元几何模型；菜单汉化文件等。

致谢

本书在编写过程中，得到 MSC.Software 公司成都分公司、MSC.Software 成都李映辉老师，以及 MSC.Software 北京区陈火红老师的大力支持和帮助，在此表示感谢。

在本书编写过程中，引用了部分材料，在此对原作者一并表示感谢。

本书由阚前华、常志宇主编，郝文化审。同时参与本书编写的还有邹素琼、郝文化、王安贵、陈郭宜、程小英、谭小丽、卢丽娟、刘育志、吴淬砺、赵明星、贺洪俊、李小平、史利、张燕秋、周林英、黄茂英、李力、李小琼、李修华、田茂敏、苏萍、巫文斌、邹勤、粟德容、童芳、李中全、蒋敏、刘华菊、袁媛、李建康、袁涛、刘青松、杨春华、贾小蓉、张永龙等，在此对他们表示感谢。

配套服务

为充分展现本书编写特点，帮助读者深刻理解本书编写意图与内涵，进一步提高对本书教学的使用效率，我们将开展《MSC.Marc 工程应用实例分析与二次开发》培训工作，并建立本书使用指导联络方式 E-mail: hwhpc@163.com，它是读者与编者之间交流沟通的直通车。欢迎读者将图书使用过程中的问题与各种探讨、建议反馈给我们，它将为本书读者学习及老师教学提供有益的参考和帮助。

编者

2005 年 10 月

目 录

前言

第一部分 初级篇

第 1 章 MSC.Marc/Mentat 入门	1
1.1 MSC.Marc2003 软件功能简介	1
1.1.1 MSC.Marc 软件背景	1
1.1.2 MARC 与 Mentat	4
1.1.3 MARC 的程序分析功能	5
1.1.4 Marc2003 的材料模型	6
1.1.5 Marc2003 的单元库	7
1.1.6 Marc2003 的新功能	8
1.2 MSC.Marc2003 安装后的目录和帮助系统	13
1.2.1 MSC.Marc2003 安装目录浏览	13
1.2.2 MSC.Marc2003 帮助系统	14
1.3 Marc2003 分析的流程	15
1.4 Mentat 与用户的交互	16
1.4.1 鼠标器	17
1.4.2 键盘输入	18
1.5 Marc2003 软件的接口	19
1.6 学习方法	19
第 2 章 MSC.Mentat 菜单及基本分析过程	21
2.1 概述	21
2.2 主菜单	23
2.2.1 前处理菜单 (Preprocessing Menu)	23
2.2.2 分析菜单 (Analysis Menu)	24
2.2.3 后处理菜单 (Post -Processing Menu)	25
2.2.4 配置菜单 (Configuration Menu)	25
2.3 静态菜单	25
2.3.1 实用菜单 (Utils)	25
2.3.2 文件 (File)	27
2.3.3 其他静态命令	28
2.4 边界条件	28
2.4.1 机械 (Mechanical)	29

2.4.2	热传导 (Thermal)	30
2.4.3	热—电耦合 (Joule)	31
2.4.4	静电场 (Electrostatic)	31
2.4.5	声场 (Acoustic)	32
2.4.6	静磁场 (Magnetostatic)	32
2.4.7	电磁场 (Electromagnetic)	32
2.4.8	流体 (Fluid)	32
2.4.9	液压轴承 (Bearing)	33
2.5	初始条件	33
2.5.1	应力分析 (Mechanical)	33
2.5.2	传热分析 (Thermal)	34
2.6	材料特性	35
2.6.1	机械材料类型 (Mechanical)	36
2.6.2	非机械材料类型 (Non-Mechanical)	36
2.7	接触	37
2.7.1	接触体 (Contact Bodies)	37
2.7.2	接触表 (Contact Tables)	39
2.7.3	接触面 (Contact Areas)	40
2.7.4	排除片段 (Exclude Segment)	40
2.8	设计变量	40
2.8.1	设计变量 (Design Variables)	41
2.8.2	设计约束 (Design Constraints)	42
2.9	载荷工况	42
2.10	作业	43
2.11	后处理菜单	47
2.11.1	结果菜单	47
2.11.2	标量画 (Scalar Plot)	49
2.11.3	路径图 (Path Plot)	49
2.11.4	历程图 (History Plot)	50
2.11.5	表格使用 (Tables)	51
2.12	带孔方板的弹塑性分析	53
2.12.1	问题描述	53
2.12.2	网格划分	53
2.12.3	边界条件	55
2.12.4	材料特性	56
2.12.5	几何特性	56
2.12.6	工况和作业	57

2.12.7 后处理	57
------------------	----

第二部分 中级篇

第3章 几何非线性实例分析	60
3.1 理论指导	60
3.1.1 总拉格朗日表述	61
3.1.2 欧拉表述	64
3.1.3 欧拉—拉格朗日 (AEL) 表述	64
3.2 悬臂梁的几何非线性分析	65
3.2.1 问题描述	65
3.2.2 网格生成	65
3.2.3 边界条件	66
3.2.4 材料性质	66
3.2.5 几何特性	67
3.2.6 载荷工况	67
3.2.7 作业	67
3.2.8 后处理	68
3.3 圆管的屈曲分析	69
3.3.1 问题描述	69
3.3.2 网格生成	69
3.3.3 边界条件	70
3.3.4 连接	71
3.3.5 材料性质	71
3.3.6 几何特性	72
3.3.7 载荷工况	72
3.3.8 作业	72
3.3.9 后处理	73
3.4 受压圆筒的大位移分析	74
3.4.1 问题描述	74
3.4.2 网格生成	74
3.4.3 边界条件	76
3.4.4 材料性质	77
3.4.5 几何特性	78
3.4.6 载荷工况	78
3.4.7 作业	78
3.4.8 后处理	79

第4章 材料非线性实例分析	81
4.1 理论指导	81
4.1.1 概述	81
4.1.2 率无关弹塑性	81
4.1.3 时相关蠕变	84
4.1.4 粘塑性	86
4.1.5 混凝土开裂行为	87
4.1.6 形状记忆合金	92
4.2 有空隙泥土弹塑性分析	95
4.2.1 问题描述	95
4.2.2 网格划分	95
4.2.3 边界条件	97
4.2.4 材料特性	98
4.2.5 工况	99
4.2.6 作业	100
4.2.7 后处理	100
4.3 厚壁圆筒的蠕变分析	102
4.3.1 问题描述	102
4.3.2 网格划分	102
4.3.3 边界条件	103
4.3.4 材料特性	103
4.3.5 几何特性	104
4.3.6 载荷工况	104
4.3.7 作业	105
4.3.8 后处理结果	105
4.4 开槽梁的混合裂纹扩展分析	108
4.4.1 问题描述	108
4.4.2 网格划分	109
4.4.3 边界条件	112
4.4.4 材料特性	114
4.4.5 几何特性	115
4.4.6 工况	116
4.4.7 作业	117
4.4.8 后处理	117
4.5 采用 Rebar 单元对加筋梁结构分析	118
4.5.1 问题描述	118
4.5.2 网格划分	118

4.5.3	边界条件	120
4.5.4	材料特性	121
4.5.5	工况	123
4.5.6	作业	123
4.5.7	后处理	124
4.6	使用 RBE2/REB3 单元进行刚体连接模型分析	125
4.6.1	问题描述	125
4.6.2	网格生成	126
4.6.3	边界条件	127
4.6.4	连接 (Links)	128
4.6.5	材料性质	129
4.6.6	几何性质	129
4.6.7	荷载工况	129
4.6.8	作业	130
4.6.9	后处理	131
4.7	弓状线形形状记忆合金模型	132
4.7.1	问题描述	132
4.7.2	边界条件	132
4.7.3	初始条件	134
4.7.4	材料性质	135
4.7.5	载荷工况	138
4.7.6	作业	139
4.7.7	后处理	140
第 5 章	接触分析	145
5.1	理论指导	145
5.1.1	概述	145
5.1.2	MARC 软件的接触算法	145
5.1.3	刚性接触体定义	146
5.1.4	接触探测	147
5.1.5	模拟分离	149
5.1.6	接触传热	150
5.1.7	时间步长选择	150
5.1.8	几个重要的名词	151
5.2	铆钉冲压成形过程模拟	152
5.2.1	问题描述	152
5.2.2	建模及分网	152
5.2.3	材料特性	154

5.2.4	接触定义	155
5.2.5	网格自适应划分	156
5.2.6	工况	157
5.2.7	作业	157
5.2.8	后处理	159
5.3	使用高阶单元的销接触模型	159
5.3.1	问题描述	159
5.3.2	单元网格和几何实体	160
5.3.3	定义边界条件	162
5.3.4	材料性质	163
5.3.5	定义接触表	165
5.3.6	定义载荷工况	167
5.3.7	提交作业	168
5.3.8	后处理	169
5.4	铁道触式高架线的集电弓架分析	170
5.4.1	问题描述	170
5.4.2	几何实体和网格划分	171
5.4.3	边界条件	173
5.4.4	初始条件	174
5.4.5	链接	174
5.4.6	材料性质	175
5.4.7	几何性质	175
5.4.8	接触定义	176
5.4.9	荷载工况定义	177
5.4.10	确定工作参数	179
5.4.11	后处理	180
第 6 章	温度场与热传递实例分析	183
6.1	理论指导	183
6.1.1	温度相关和应变率相关塑性	183
6.1.2	热传递分析	185
6.2	带孔方板的热传导分析	186
6.2.1	问题描述	186
6.2.2	网格生产	187
6.2.3	初始条件	188
6.2.4	边界条件	188
6.2.5	材料性质	189
6.2.6	几何性质	190

6.2.7	载荷工况	190
6.2.8	作业	191
6.2.9	后处理	191
6.3	圆环内管道热接触分析	193
6.3.1	问题描述	193
6.3.2	网格生成	193
6.3.3	定义边界条件	194
6.3.4	定义初始条件	195
6.3.5	材料性质定义	195
6.3.6	接触选项定义	196
6.3.7	定义荷载工况	197
6.3.8	运行工作	198
第 7 章	动力学分析	200
7.1	理论指导	200
7.1.1	概述	200
7.1.2	线性单自由度系统	200
7.1.3	多自由度系统	201
7.1.4	特征值	203
7.1.5	简谐分析	206
7.1.6	阻尼模型	207
7.1.7	预应力结构的动力分析	209
7.1.8	固体与流体交互作用	209
7.1.9	线性瞬态分析	210
7.1.10	非线性瞬态分析	211
7.2	固支方板的特征频率分析	211
7.2.1	问题描述	211
7.2.2	网格划分	211
7.2.3	边界条件	213
7.2.4	材料特性	214
7.2.5	几何特性	214
7.2.6	载荷工况	215
7.2.7	作业参数、提交作业	215
7.2.8	后处理	216
7.3	预应力方板的特征频率分析	218
7.3.1	问题描述	218
7.3.2	网格划分	218
7.3.3	边界条件	219

7.3.4	材料和几何特性	220
7.3.5	载荷工况	220
7.3.6	作业	222
7.3.7	后处理	222
7.4	方板简谐分析	223
7.4.1	问题描述	223
7.4.2	网格划分	224
7.4.3	边界条件	224
7.4.4	材料特性	225
7.4.5	几何特性	225
7.4.6	载荷工况	225
7.4.7	作业参数、提交作业	225
7.4.8	后处理	226
7.5	混凝土响应动力分析	228
7.5.1	问题描述	228
7.5.2	网格划分	229
7.5.3	边界条件	229
7.5.4	初始条件	230
7.5.5	弹簧定义	230
7.5.6	材料特性	231
7.5.7	几何特性	231
7.5.8	工况	231
7.5.9	作业参数、提交作业	232
7.5.10	后处理	232
7.5.11	修改线性弹簧刚度	234
7.5.12	载荷工况	234
7.5.13	工作参数、提交作业	235
7.5.14	后处理	235
7.5.15	用户子程序 Usprng.....	236
7.6	杆撞击无摩擦刚体墙产生的波传播	236
7.6.1	问题描述	236
7.6.2	网格划分	237
7.6.3	边界条件	237
7.6.4	初始条件	238
7.6.5	材料特性	238
7.6.6	几何特性	239
7.6.7	工况	239

7.6.8	作业	239
7.6.9	后处理	240
7.7	三维框架谱响应分析	242
7.7.1	问题描述	242
7.7.2	网格划分	242
7.7.3	边界条件	243
7.7.4	材料性质	243
7.7.5	几何特性	244
7.7.6	工况	244
7.7.7	作业参数、提交作业	245
7.7.8	后处理	246
第 8 章	微机电和数值仿真	249
8.1	理论指导	249
8.1.1	概述	249
8.1.2	压电分析	249
8.1.3	电—热—机耦合分析	250
8.1.4	数字控制 (NC) 加工过程	251
8.2	超声马达定子的特征值分析	251
8.2.1	问题描述	251
8.2.2	网格生成	253
8.2.3	边界条件	254
8.2.4	材料性质	256
8.2.5	载荷工况	259
8.2.6	作业参数设置、提交作业	259
8.2.7	后处理	260
8.2.8	边界条件修改	261
8.2.9	新载荷工况	261
8.2.10	作业参数、提交作业	262
8.2.11	后处理	262
8.2.12	修改边界条件	265
8.2.13	载荷工况	266
8.2.14	作业参数、提交作业	266
8.2.15	后处理	267
8.3	微型电热制动器模拟	268
8.3.1	问题描述	268
8.3.2	打开模型	269
8.3.3	边界条件	269

8.3.4	定义初始条件	270
8.3.5	材料性质定义	271
8.3.6	定义载荷工况	272
8.3.7	作业参数、提交作业	272
8.3.8	后处理	273
8.4	数字控制 (NC) 加工过程的有限元模拟	273
8.4.1	问题描述	273
8.4.2	输入数据	274
8.4.3	建模并生成网格	274
8.4.4	加工程序模拟	275
8.4.5	工作定义	279
8.4.6	察看结果	279
8.5	变压器的 3-D 分析	281
8.5.1	问题描述	281
8.5.2	网格划分	282
8.5.3	边界条件	285
8.5.4	材料性质定义	287
8.5.5	载荷工况	287
8.5.6	作业参数、提交作业	287
8.5.7	后处理	288

第三部分 高级篇

第 9 章	MSC.Marc/Mentat 二次开发	290
9.1	概述	290
9.1.1	MSC.Marc 中的子程序接口	290
9.1.2	MSC.Marc2003 用户子程序接口	291
9.1.3	公共块数据传递和实用程序	295
9.1.4	用户子程序结构分析	297
9.1.5	用户子程序使用方法	299
9.2	Mentat2003 的二次开发	300
9.2.1	菜单汉化	300
9.2.2	自定义菜单	301
9.3	MARC 子程序集锦	305
9.4	固支梁的动力响应分析	306
9.4.1	问题描述	306
9.4.2	网格生成	306

9.4.3	边界条件	307
9.4.4	材料性质	308
9.4.5	几何性质	309
9.4.6	工况	309
9.4.7	作业	310
9.4.8	后处理	311
9.5	焊接集成电路块的隐式蠕变分析	312
9.5.1	问题描述	312
9.5.2	生成网格	313
9.5.3	边界条件	315
9.5.4	初始条件	318
9.5.5	材料属性	318
9.5.6	定义接触体	319
9.5.7	荷载工况	320
9.5.8	定义工作参数, 保存模型, 提交作业	322
9.5.9	后处理	323
第 10 章	MSC.Marc 的数据处理	326
10.1	数据拟合	326
10.1.1	理论指导	326
10.1.2	实例分析	334
10.2	表格使用方法实例	336
10.2.1	建模分网	336
10.2.2	边界条件	338
10.2.3	连接 (LINKS)	340
10.2.4	作业	343
10.2.5	表格定义材料性质	343

第四部分 释疑篇

第 11 章	MSC.Marc 知识问答	349
11.1	MARC 初接触	349
11.2	MARC 建模	351
11.3	参数设定	357
11.4	分析运算	361
11.5	后处理	365
11.6	用户子程序	367
参考文献		369