

万水MSC技术丛书

MSC Software

新界面 新功能 新样例

全新 Marc

实例教程与常见问题解析

冯超 孙丹丹 陈火红 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

万水 MSC 技术丛书

全新 Marc 实例教程与常见问题解析

冯超 孙丹丹 陈火红 编著

湖北工业大学图书馆



01319871



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要介绍 MSC Marc Mentat 2011 在线性、非线性有限元分析领域的应用和操作方法。特别是针对 Marc Mentat 2011 的最新界面风格和新增的一些功能进行详细介绍,使初学者能够很快地掌握和熟悉界面、菜单的使用方法,了解新功能的使用。同时对编者多年来积累的一些常见客户咨询的技术问题和技术技巧进行了整理,方便用户尽快解决在学习过程中经常遇到的问题。

本书大部分案例来自于实际工程项目,不仅包含具体操作步骤的讲解,并配以图片说明以使用户能够即学即用。全书共分 10 章,介绍了 Marc 的主要功能以及近年来 Marc 新增功能的亮点; Marc Mentat 常用菜单,重点介绍 Marc Mentat 2011 新菜单的风格和使用方法;针对 Marc 处理材料非线性、几何非线性、接触非线性以及断裂力学、网格重划分等关键技术进行重点介绍。

通过本书的学习读者可以掌握通过有限元法解决实际工程问题的思路和方法,结合实际工程应用实例,将理论和工程分析结合得更为紧密。

图书在版编目 (C I P) 数据

全新Marc实例教程与常见问题解析 / 冯超, 孙丹丹,
陈火红编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2012. 5
(万水MSC技术丛书)
ISBN 978-7-5084-9769-3

I. ①全… II. ①冯… ②孙… ③陈… III. ①有限元
分析—应用软件 IV. ①0241.82-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第100116号

策划编辑: 杨元泓 责任编辑: 张玉玲 封面设计: 李 佳

书 名	万水 MSC 技术丛书
作 者	全新 Marc 实例教程与常见问题解析
出版发行	冯超 孙丹丹 陈火红 编著 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京蓝空印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 29 印张 718 千字
版 次	2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	72.00 元 (赠 1DVD)

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

Marc 作为世界上第一个商用非线性有限元分析软件诞生于 20 世纪 70 年代。经过 40 年的发展, Marc 已经广泛地应用于航空、航天、汽车、造船、机械制造、能源、电子、土木工程、铁路运输、水利等各个行业, 成为世界上很多知名企业必备的分析工具。

MSC 公司几乎每年都会推出一个 Marc 的新版本。随着新版本的不间断推出, Marc 软件在功能上也得到了不断地增强和扩充。特别令用户们惊喜的是 Marc 2011 除求解功能得到很多重要增强外, 其特有的前后处理软件 Mentat 除保留经典的界面风格外, 引入了全新的界面风格, 使初学者能够很快地掌握和熟悉界面、菜单的使用方法。在与各商用 CAD 软件的接口方面, Mentat 2011 增加了多种较为常用的原生 CAD 接口, 极大地方便用户进行各种几何类型的模型导入, 避免信息在转换过程中的丢失。另外在网格划分功能上引入了新的网格划分方法, 使得用户可以在更短的时间内建立网格质量更高的模型。为使广大新老用户更好地了解 Marc 的新功能、掌握和使用 Marc, 我们几位作者投入大量精力和时间搜集并整理了近年来 Marc 的一些新功能、在各行业的应用以及用户在使用过程中经常提出的一些问题, 力求能给广大用户提供一本内容较新的、有特色的、能够系统介绍 Marc 使用方法的简明实用的参考用书。

本书介绍了 Marc 软件在各个领域的基本理论和使用方法。全书共分 10 章, 主要内容有:

- 第 1 章 Marc Mentat 简介, 介绍 Marc 的发展历史、主要功能、安装和并行以及子程序配置方法、帮助文档等, 并针对近年来 Marc 新增功能的亮点进行简单介绍。
- 第 2 章 Marc Mentat 常用菜单, 介绍前后处理程序 Mentat 的常用菜单, 并针对最新版本在界面风格上的改变与之前版本进行了对比, 使新老用户对 Mentat 的使用方法能够更为深入的了解。
- 第 3 章 Marc Mentat 几何建模和网格生成, 介绍 Mentat 几何建模和网格生成的基本方法、Marc 新版本中增加的 CAD 接口等, 学会如何在 Mentat 中读入和创建几何模型、划分各类网格。
- 第 4 章材料非线性分析, 介绍各类常用的材料非线性问题的分析方法和过程, 深入了解对 Marc 中常用材料模型的定义和使用。
- 第 5 章接触分析, 介绍接触问题分析的方法和过程, 使读者学会定义接触体、接触表和摩擦类型等的方法。
- 第 6 章 Marc 和 Mentat 结果输出, 介绍 Marc 的结果输出类型、含义等, 以及近年来 Marc 在后处理方面的一些新的功能亮点。
- 第 7 章网格自适应与重划分, 介绍网格自适应和重划分的使用方法, 让读者深刻体会 Marc 中颇具特色的网格自适应和网格重划分功能。
- 第 8 章通过实例介绍断裂力学 J 积分分析、复合材料失效分析、脱层分析、界面单元的建模方法和参数设置, 以及裂纹扩展的仿真计算流程。
- 第 9 章温度场分析, 介绍 Marc 进行结构热传导和热应力分析的方法与过程, 并针对近年来国内用户对热烧蚀分析的需求, 对 Marc 进行热烧蚀分析的建模和仿真流程进

行了说明。

- 第 10 章 Marc 常见问题解答,根据 Marc 用户经常提出的一些问题进行了汇总和整理,帮助读者快速解决一些使用中经常遇到的问题。

读者可根据自己的需要对本书的内容进行有选择的阅读。要充分掌握软件,还需要进行大量的上机操作。

本书可作为理工科相关专业高年级本科生、研究生、教师和广大科研技术人员学习 Marc 软件的教材和使用 Marc 软件的参考书。

在本书的编写过程中得到了 MSC 公司及其很多员工的大力支持,另外韩俊杰、苗杰、刘浩、张红伟、杜军、黄串、姜元庆、田利思、陈志伟、李道中、李保国、王彬、张健参与调试和编写了书中的一些算例,编者在此深表谢意。

由于编者水平有限,书中缺点、谬误在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者
2012 年 4 月

目 录

前言

第 1 章 Marc Mentat 简介	1	2.7.5 Aliases	44
1.1 MSC 公司与 Marc	1	2.7.6 Generalized XY Plot	44
1.1.1 Marc 公司与 Marc	1	2.7.7 Animation	45
1.1.2 Marc 的产品	2	2.7.8 Rendering	45
1.1.3 MSC 公司资料共享平台	3	2.7.9 Distance	45
1.2 Marc 程序结构框架	4	2.7.10 Calculations	45
1.2.1 Mentat 与 Marc 的关系	4	2.7.11 Menu Font	45
1.2.2 Marc 一般分析流程	5	2.7.12 Window Settings	45
1.3 Marc 2011 新增功能亮点	6	2.8 Window 下拉菜单	45
1.3.1 Mentat 2011 新功能介绍	7	2.9 Help 下拉菜单	47
1.3.2 Marc 2011 以及近年来的新功能	12	2.10 辅助功能图标	48
1.4 Marc 2011 的帮助文档	15	2.11 Mentat 的常用快捷方式	49
1.5 Marc 2011 安装	16	第 3 章 Marc Mentat 几何建模与网格生成	50
1.5.1 Marc 2011 在 Windows 操作系统下 的安装步骤	16	3.1 概述	50
1.5.2 Marc 在 Windows 环境下的并行环境 配置以及递交计算的流程	22	3.1.1 与有限元分析相关的常用词	50
1.5.3 Marc 在 Linux 操作系统下的安装 方法和并行配置	25	3.1.2 与几何实体相关的常用词	50
第 2 章 Marc Mentat 2011 图形用户界面和操作	29	3.2 几何模型输入	51
2.1 概述	29	3.2.1 Mentat 最新 CAD 接口功能	51
2.2 启动图形用户界面 (Mentat GUI)	29	3.2.2 General CAD Import with Repair (几何输入的中间通用接口)	51
2.3 Mentat 2011 图形交互界面的布局和组成	31	3.3 在 Mentat 中几何建模和生成网格	56
2.3.1 新界面风格与经典界面的异同	31	3.3.1 格栅的使用	56
2.3.2 Mentat 2011 常用功能图标介绍	32	3.3.2 Geometry (几何要素的生成和编辑)	58
2.3.3 Mentat 2011 主菜单介绍	33	3.3.3 Mesh (生成网格)	60
2.4 File 下拉菜单	34	3.4 Pre-Automesh (自动分网预处理)	63
2.5 Select 下拉菜单	36	3.4.1 Check/Repair Geometry (几何 检查/修复)	63
2.5.1 Selection Control—选择控制	37	3.4.2 Curve Divisions (设置种子点)	67
2.5.2 Set Control (集的控制)	40	3.4.3 Apply Curve Divisions (曲线种子 点应用)	69
2.6 View 下拉菜单	41	3.4.4 Tools (工具)	69
2.7 Tools 下拉菜单	41	3.5 Automesh (自动分网)	69
2.7.1 Procedures	42	3.5.1 Curves (曲线分网)	69
2.7.2 Python	42	3.5.2 Planar (平面分网)	69
2.7.3 .Net Modules	43	3.5.3 Surface (曲面网格划分)	72
2.7.4 Parameters	43	3.5.4 Volumes (实体网格划分)	73

3.5.5	2D Rebars (二维 Rebar 单元)	75	4.4.6	采用 Marc 进行试验曲线拟合	135
3.5.6	Tools	76	4.4.7	例题: 橡胶材料的试验曲线拟合	138
3.6	转换法生成网格	77	第 5 章	接触分析	147
3.7	Operations (几何和网格处理)	78	5.1	综述	147
3.7.1	Attach (关联/附着)	78	5.1.1	接触问题的数学描述方法和数值 计算方法	147
3.7.2	Change Class (单元几何拓扑 类型更改)	79	5.1.2	Marc 软件进行接触探测及分析 的方法	148
3.7.3	Check Elements (单元检查)	80	5.1.3	Marc 软件接触算法基本流程	150
3.7.4	Convert (转换)	80	5.2	接触体的定义和运动描述	152
3.7.5	Duplicate (复制)	80	5.2.1	Deformable—可变形接触体的定义	152
3.7.6	Expand (扩展)	80	5.2.2	Rigid Body—刚性接触体的定义	154
3.7.7	Intersect (相交)	80	5.2.3	允许传热分析的刚性接触体的定义	155
3.7.8	Move (移动)	81	5.2.4	Body Control—刚体运动控制	156
3.7.9	Relax (松弛)	81	5.2.5	接触体定义技巧	157
3.7.10	Revolve (旋转)	81	5.3	接触约束	157
3.7.11	Solid (实体的操作)	81	5.4	模拟摩擦	158
3.7.12	Stretch	81	5.4.1	滑动库仑摩擦模型	158
3.7.13	Subdivide (网格加密)	81	5.4.2	剪切摩擦	160
3.7.14	Sweep (清理)	83	5.4.3	粘—滑摩擦模型	161
3.7.15	Symmetry (对称)	83	5.4.4	双线性摩擦模型	162
3.8	网格自动划分例题	83	5.4.5	各向异性摩擦定义	162
3.8.1	一维网格自动划分例题	84	5.4.6	其他摩擦模型	163
3.8.2	二维网格自动划分例题	88	5.5	Contact Tables—接触表	164
3.8.3	三维网格自动划分例题	90	5.5.1	接触表的定义	164
第 4 章	材料非线性分析	95	5.5.2	Detection Method—接触检查顺序	165
4.1	综述	95	5.5.3	接触表中的参数设置	165
4.2	弹塑性分析	95	5.5.4	Contact Area—接触区域	170
4.2.1	概述	95	5.6	接触分析例题: 板料成形拉延筋拉延 阻力的有限元预测	170
4.2.2	利用 Marc/Mentat 进行弹塑性分析	96	第 6 章	Marc/Mentat 结果输出	182
4.2.3	例题: 带孔壁架的弹塑性分析	97	6.1	综述	182
4.3	蠕变和粘塑性分析	109	6.2	Job Results 计算结果	182
4.3.1	概述	109	6.2.1	Job Results 菜单	182
4.3.2	利用 Marc 求解蠕变问题	110	6.2.2	后处理文件 (.t16) 的打开	194
4.3.3	例题: 焊料的非线性粘塑性 蠕变分析	112	6.3	Model Plot	195
4.4	橡胶材料特性的分析	124	6.3.1	Deformed Shape (变形体的显示)	195
4.4.1	概述	124	6.3.2	Scalar Plot (标量显示)	196
4.4.2	Marc 中的超弹性材料本构模型	125	6.3.3	其他的显示	197
4.4.3	用 Marc 程序进行弹性体材料分析	127	6.4	Path Plot (路径上的结果显示)	197
4.4.4	例题: 弹性橡胶拱的力与位移 响应分析	128	6.5	History Plot (变量历程图)	197
4.4.5	材料试验曲线拟合	133	6.6	有限元结果类型	198

6.6.1 应力 (Stress, 代码 11-16/311)	198	7.3.2 全局网格重划分准则定义	227
6.6.2 柯西应力 (Cauchy Stress, 代码 41-46/341)	199	7.3.3 网格重划分网格密度控制和设置	228
6.6.3 特定坐标系应力 (Stress in Preferred System, 代码 111-116/391)	199	7.3.4 二维网格重划分例题	229
6.6.4 整体应力 (Global Stress, 代码 411)	199	7.3.5 三维网格重划分实例	236
6.6.5 默认应力 (Default Stress)	199	第 8 章 断裂力学其他失效分析	246
6.6.6 Tresca 等效应力 (Tresca Intensity)	199	8.1 综述	246
6.6.7 法向应力 (Normal Stress)	199	8.2 Marc 进行失效分析	246
6.6.8 剪应力 (Shear Stress)	199	8.2.1 最大应力失效准则 (Maximum Stress)	247
6.6.9 平均法向强度 (Mean Normal Intensity)	200	8.2.2 最大应变准则 (Maximum Strain) ..	248
6.6.10 等效 Mises 应力/等效 von Mises 应力 (代码 17)	200	8.2.3 Hoffman、Hill、蔡一吴 (Tsai-Wu) ..	248
6.6.11 等效应力/屈服应力 (Equivalent Stress/Yield Stress, 代码 59)	200	8.2.4 Puck 失效准则	249
6.6.12 等效应力/与温度相关的屈服应力 (Equivalent Stress/Yield Stress@Cur. Temp, 代码 59)	200	8.2.5 Hashin、Hashin Tape、Hashin Fabric ..	249
6.6.13 有效塑性应变	200	8.2.6 Marc 2011 新增的应变不变量失效 准则 (Strain Invariant)	250
6.6.14 主应力输出	201	8.2.7 渐进失效分析 (Progressive Failure Analysis)	251
6.7 .out 文件结果输出	202	8.3 断裂力学理论及有限元实现	251
6.7.1 单元应力、应变	202	8.3.1 裂纹类型	252
6.7.2 反作用力	203	8.3.2 裂纹的位置	253
6.7.3 连续单元节点力输出	204	8.3.3 断裂力学的有限元分析方法	253
6.7.4 特征值的文件输出结果	205	8.3.4 利用 Marc 程序进行断裂力学分析 ..	256
6.7.5 接触分析输出	205	8.4 Mentat 中的虚拟裂纹闭合技术 (VCCT)	257
6.7.6 迭代求解器迭代输出	207	8.5 Marc 进行脱层分析及粘接区域建模	263
6.8 后处理的抓图和动画功能	207	8.5.1 Marc 进行脱层分析	263
6.8.1 图片的存储	207	8.5.2 Marc Mentat 中的粘接区域建模	265
6.8.2 创建动画文件	208	8.6 复合材料失效分析例题 (Failure)	269
第 7 章 网格自适应 (Local Adaptivity) 与 重划分 (Global Remesh)	210	8.6.1 模型创建	269
7.1 综述	210	8.6.2 材料参数定义	270
7.2 局部网格自适应	211	8.6.3 边界条件定义	274
7.2.1 局部网格自适应误差准则	211	8.6.4 工况和分析任务参数定义	276
7.2.2 局部网格自适应相关技术处理	215	8.6.5 结果后处理	279
7.2.3 网格自适应实例	218	8.7 J 积分分析例题	280
7.3 全局网格重划分 (Global Remeshing) ..	225	8.7.1 模型创建	280
7.3.1 全局网格重划分定义相关菜单 和操作	226	8.7.2 定义材料属性	281
		8.7.3 定义边界条件	282
		8.7.4 定义分析任务	283
		8.7.5 结果后处理	284
		8.8 裂纹扩展分析例题	285
		8.8.1 模型创建	286
		8.8.2 定义几何属性	287

8.8.3	定义材料参数	287	9.4	热机耦合分析	360
8.8.4	定义接触	288	9.4.1	热机耦合分析的有限元描述	360
8.8.5	定义裂纹扩展参数	289	9.4.2	焊接分析例题	362
8.8.6	定义边界条件	290	9.5	烧蚀分析	381
8.8.7	网格重划分参数设置	291	9.5.1	热烧蚀分析的有限元描述	382
8.8.8	定义分析工况	293	9.5.2	用 Marc Mentat 完成热烧蚀分析	386
8.8.9	定义分析任务	294	9.5.3	热烧蚀分析实例	391
8.8.10	结果后处理	295	第 10 章	常见问题解答	405
8.9	三维结构脱层分析例题 (Delamination)	299	10.1	Marc 的安装与配置	405
8.9.1	模型创建	299	10.1.1	Marc 安装与并行环境配置	405
8.9.2	定义材料属性	302	10.1.2	更改工作路径	407
8.9.3	定义接触	303	10.1.3	Marc 常用 DOS 命令	408
8.9.4	定义脱层参数	303	10.1.4	用户子程序运行环境配置	409
8.9.5	定义边界条件	304	10.1.5	Marc 中的单位制 (统一的单位制)	411
8.9.6	定义分析工况	306	10.2	关于 Mentat 操作界面的常见问题	413
8.9.7	定义分析任务	306	10.2.1	模型文件保存与数据恢复	413
8.9.8	结果后处理	307	10.2.2	Select 功能的使用	414
8.10	粘接结构分析例题 (Interface)	309	10.2.3	模型信息的统计与测量	416
8.10.1	模型创建	309	10.2.4	MSC Marc Mentat 启动问题	417
8.10.2	定义几何属性	312	10.3	Property 功能模块中的常见问题	418
8.10.3	定义材料属性	314	10.4	Modeling tools 功能模块中的常见问题	419
8.10.4	定义接触	314	10.4.1	局部坐标系的定义	419
8.10.5	定义边界条件	315	10.4.2	螺栓预紧模型的定义流程	423
8.10.6	定义分析工况	317	10.4.3	连接单元的定义方法 (c weld、c fast)	427
8.10.7	定义分析任务	319	10.5	接触参数设置常见问题	435
8.10.8	结果后处理	320	10.5.1	接触体的方向	435
第 9 章	热及其相关耦合场	323	10.5.2	接触摩擦系数设置	437
9.1	综述	323	10.6	任务递交中的常见问题	438
9.2	用 Marc Mentat 实施传热分析	324	10.6.1	监控分析作业运行状态	438
9.2.1	热传导问题的有限元法	324	10.6.2	查看分析诊断信息	439
9.2.2	非线性热传导分析的收敛判定	325	10.6.3	退出号	446
9.2.3	Marc Mentat 进行传热分析的流程	328	10.7	结果后处理中的常见问题	447
9.2.4	传热分析例题: 低温冰型快速成形工艺传热问题有限元分析	335	10.7.1	局部坐标系的变换	447
9.3	热应力分析	349	10.7.2	结果文件的保存	451
9.3.1	热应力分析的有限元描述	350	10.8	其他问题	452
9.3.2	热应变	350	参考文献		455
9.3.3	用 Marc/Mentat 完成热应力分析	351			
9.3.4	铝管热弹性分析	352			

Marc Mentat 简介

1.1 MSC 公司与 Marc

MSC Marc 是国际上著名的非线性有限元分析软件。它是 MSC Software Cooperation (简称 MSC) 公司的产品。MSC 公司创建于 1963 年, 总部位于加利福尼亚州, 圣安娜, MSC 软件公司在 23 个国家拥有超过 1000 名员工。半个世纪以来, MSC 强大的、集成化的 VPD (Virtual Products Development, 虚拟产品开发) 软件和服务帮助企业界在产品开发过程中改善产品的设计、测试、制造和服务流程, 从而更快、更高效地推出新产品, 在激烈的市场竞争中领先于对手。MSC 公司作为世界领先的 VPD 技术提供商, 从创建至今, 先后于 1989 年兼并了 PISCES International 公司, 并推出结构和流体耦合高度瞬态非线性分析软件 MSC Dytran; 1999 年收购世界上第一个非线性有限元软件公司 Marc 公司, 并推出 MSC Marc; 2002 年收购世界最大的机构仿真软件公司 MDI 公司, 推出产品 MSC Adams; 2008 年收购 Network Analysis, Inc. 公司 (SINDA/G), 拓展并推出其热分析领域产品 MSC Sinda; 2011 年 MSC 软件公司同 Next Limit 科技公司开创战略市场发展关系, 借助 XFlow 拓展流体动力学分析领域的应用; 2011 年收购了被认为是声学软件市场领头羊的比利时 FFT (自由声场技术) 公司, 并发布 Actran 软件。

MSC 软件公司 2011 年被 MaximumPC 杂志评为“十大原创软件公司”, 与苹果、IBM、计算机科学公司 (Computer Science Corporation)、微软等业界领先的技术创新者共同入围, 成为最具创新精神的软件公司之一。MSC 的产品被广泛应用于各个行业的工程仿真分析, 包括国防、航空、航天、船舶、机械制造、汽车、兵器、电子、铁道、石化、能源、材料工程、科学研究及教育等各个领域, 用户遍及世界 100 多个国家和地区的主要设计制造工业公司和研究机构, 其中覆盖了全球 92% 的机械设计制造部门、97% 的汽车制造商和零部件供应商、95% 的航空航天公司和 93% 的船舶研发部门。

1.1.1 Marc 公司与 Marc

Marc 公司始创于 1971 年, 全称 Marc Analysis Research Corporation, 总部设在美国加州的

Palo Alto, 是全球首家非线性有限元软件公司。经过四十年的不懈努力, Marc 软件得到学术界和工业界的大力推崇和广泛应用, 建立了它在全球非线性有限元软件行业的领导者地位。随着 Marc 软件功能的不断扩展, 软件的应用领域也从开发初期的核电行业迅速扩展到航空、航天、汽车、造船、铁道、石油化工、能源、电子元件、机械制造、材料工程、土木建筑、医疗器材、冶金工艺和家用电器等, 成为许多知名公司和研究机构研发新产品和新技术的必备工具。

1.1.2 Marc 的产品

MSC Marc 具有处理几何非线性、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的超强能力。材料非线性分析方面 MSC Marc 可以定义和分析包括塑性、蠕变、粘塑性、粘弹性、超弹性、超塑性、刚塑性、复合材料等问题。当一个结构的位移显著地改变其刚度时, 则应考虑几何非线性的影响。MSC Marc 程序可解决以下几何非线性效应: 大应变、大变形、大转动、跟随力、应力强化、屈曲。MSC Marc 在同类软件中具有最强的接触分析能力。对于基本的接触状态, MSC Marc 提供基于直接约束的接触算法, 可自动分析变形体之间、变形体与刚体以及变形体自身的接触。新的 Segment-to-Segment 的接触形式使得两接触体在接触部位的应力分布变得非常连续。MSC Marc 还具有传统的间隙摩擦单元模式, 也可以用非线性弹簧单元来模拟非线性支撑边界。

MSC Marc 可以处理各种结构静力学、动力学(包括模态分析、瞬态响应分析、简谐响应分析、谱响应分析)问题、温度场分析以及其他多物理场耦合问题。其中模态分析可包含预应力模态、有阻尼模态、无约束模态、大变形模态、接触结构模态等特征。瞬态动力分析用于确定结构承受随时间变化载荷时的动力响应, 可以考虑三种不同类型非线性的影响。简谐响应分析用于求解结构承受正弦变化载荷的响应。该分析类型用于研究随时间简谐变化载荷引起的共振问题。MSC Marc 软件具有功能强大的一维、二维、三维稳态/瞬态热传导分析能力, 能够描述各向同性、各向异性、正交各向异性的热物理参数。MSC Marc 软件提供四种热分析边界条件: 温度、热流强度、表面对流、表面辐射。MSC Marc 可以计算相变潜热, 具备很强的多场耦合分析功能, 支持热-机耦合分析, 可以进行有接触传热的耦合分析。

MSC Marc 拥有高数值稳定性、高精度和快速收敛的高度非线性问题求解技术。MSC Marc 卓越的网格自适应技术既保证计算精度, 同时也使非线性分析的计算效率大大提高。MSC Marc 的 Pre-state 功能可以实现多次作业连续分析, 能够将前一个分析任务的分析结果作为下一个分析任务的初始条件进行连续分析。例如, 加工成型后弹簧具有的变形和残余应力等结果可以作为后续性能分析的初始条件, 充分考虑弹簧各个加工环节对性能的影响。MSC Marc 基于区域分解法的并行有限元算法能够最大限度地实现有限元分析过程中的并行化, 并行效率可达准线性甚至线性或超线性。因而, MSC Marc 软件提供先进的虚拟产品加工过程和运行过程的仿真功能, 帮助市场决策者和工程设计人员进行产品优化和设计, 解决从简单到复杂的工程应用问题。

功能完备的前后处理器 Mentat 易学易用, 其得心应手的实用工具使得 Marc 使用者能够轻松愉快地进行各种模型创建和参数的定义。Mentat 自身具有三维建模能力, 并提供灵活的 CAD 图形接口及 CAE 数据接口, 可以实现不同分析软件之间的数据转换。MSC Marc 支持多种平台(Windows、Linux、UNIX)和网络浮动的许可证配置方式, 各种硬件平台数据库兼容, 功能一致, 界面统一。

MSC Marc 软件提供了 300 多个特定功能的开放程序公共块和 100 多个用户子程序接口。用户可以不受限制地调用这些程序模块。用户子程序接口覆盖了 MSC Marc 有限元分析的所有环节,在国内外的用户中有很多成功的案例,特别是在用户自定义材料本构模型、复杂边界条件施加等方面尤为成功。MSC Marc 提供了完善的、多层次的二次开发功能,以 MSC Marc 已有的程序为基础平台,可以开发出各种典型材料本构、边界条件等的分析子程序,从而形成自身的可长期持续应用和发展的分析系统。

1.1.3 MSC 公司资料共享平台

为方便用户了解和学习 MSC Software 公司的产品,公司为普通用户和正式用户提供了不同层次的、方便快捷的通道进行共享资料下载、技术支持以及各种培训课程等服务项目。用户可以登录 MSC Software 公司网站 (<http://simcompanion.mscsoftware.com>) 进行各个产品的电子文档下载,其中包括产品新闻、技术文章(常见问题解答、案例、技术公告等)、产品信息和文档(发布指南、硬件和软件要求等)、用户论文等,也可以查询产品已发现的问题和相应的解决方法、下载产品更新补丁及各种网络研讨会的多媒体材料。用户可以借助 SimCompanion 网站上 Support Contact Information 提供的联系方式如网址、邮箱、电话等和您当地的支持中心联系,以便为您提供个性化的支持。

利用 VPD 社区的论坛 (<http://forums.mscsoftware.com>) 可以发布在使用 MSC 公司产品过程中遇到的问题,并接收来自世界各地的其他用户对您的问题的解答。

正式用户在维护期内可以登录 MSC 公司下载中心下载最新版本的产品安装介质 (<https://mscsoftware.subscribenet.com/>),在这里提供了针对各种硬件平台的安装介质,方便用户进行产品的安装和更新。图 1-1 所示为 SimCompanion 主页。

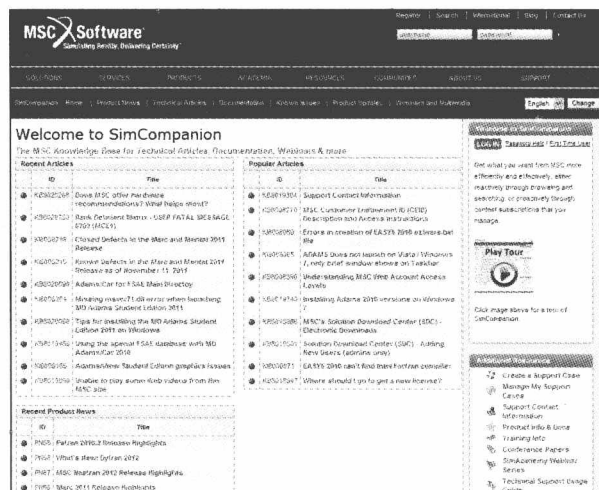


图 1-1 SimCompanion 主页

通过中文主页 (<http://www.mscsoftware.com.cn/index.aspx?Id=89>) 可以了解中国区各办事处的软件培训课程目录和日程表,用户可直接在网站上提交报名申请。中国区的正式用户在维护期内可以拨打技术支持热线电话 400-610-5788 寻求技术支持,或发邮件至 mscprc.support@mscsoftware.com 进行咨询。

1.2 Marc 程序结构框架

Marc 是先进的非线性分析求解器，它的前后处理器包括 MSC 公司的 Marc Mentat 和 Patran，同时市场上通用的其他 CAE 前后处理器也可以生成 Marc 的数据文件（扩展名为 dat）。

1.2.1 Mentat 与 Marc 的关系

Mentat 作为 Marc 的前后处理工具，在进行前处理时 Mentat 生成扩展名为 mud 或 mfd 的模型文件，建模完成递交分析后可自动生成 Marc 的数据文件 (*.dat)，Marc 在后台完成分析任务的计算后会自动生成可供 Mentat 进行后处理的扩展名为 t16 或 t19 的结果文件。Marc 与 Mentat 的关系可参考图 1-2 所示。

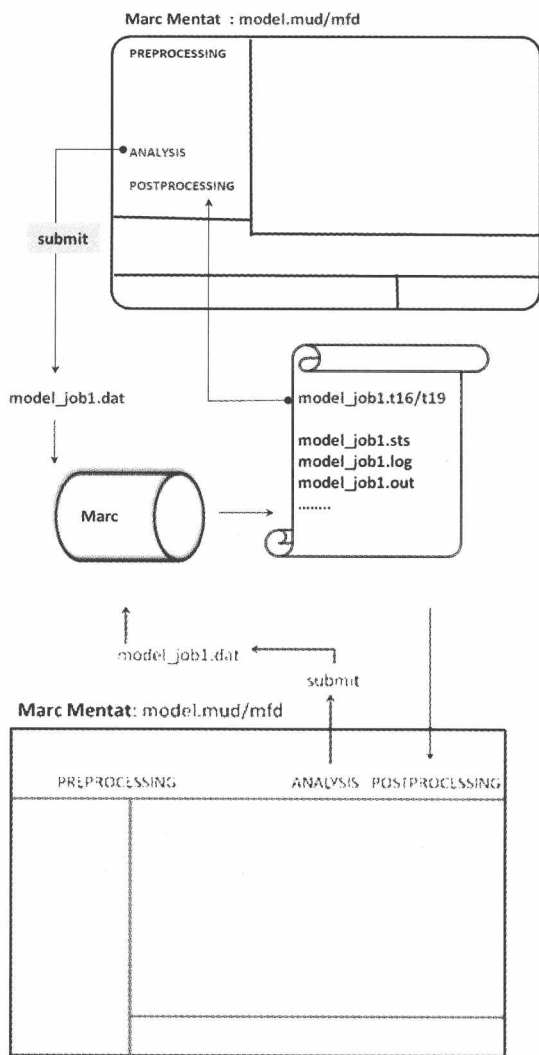


图 1-2 Marc 与 Mentat 的数据传递和交换关系（上：经典；下：全新）

此外 Marc 还生成其他相关的文件，具体如表 1-1 所示。

表 1-1 Marc 文件的相关说明

文件类型	说明
dat	Marc 输入数据文件，用于包含模型信息、参数信息、分析控制参数等，可由 Mentat 生成，也可按照 C 卷卡片数据说明直接编写
out	输出文件，用于存储模型参数、迭代信息、计算结果
sts	状态文件，显示各增量步对应的迭代次数、分离次数、回退次数、时间步长、最大位移等
log	日志文件，记录各个增量步的迭代、收敛、时间耗费等信息
t08	重启动文件，在激活重启动功能时将必要信息根据设置写入此文件，以备后续使用
t16/t19	可在 Mentat 中进行结果后处理的文件类型
mat	材料数据库文件，用户可自行编写数据文件并保存到安装路径下以备后续使用，例如 X:\MSC.Software\Marc\20xx\marc20xx\AF_flowmat
vfs	视角系数文件，用于进行辐射分析计算

其他结果文件类型及相关说明请参考 Marc 用户手册 A 卷程序初始化部分的说明。

1.2.2 Marc 一般分析流程

与其他通用的有限元分析软件类似，使用 Marc 进行有限元分析时，首先需要定义网格模型，输入材料参数并定义边界条件，最后定义分析工况和任务参数并递交运算。Marc 针对待分析的模型数据文件 (.dat)，通过调用 run_marc 命令进行分析。针对 Windows 操作平台的用户可以选择在前后处理软件 Mentat 中进行模型的创建和分析任务的递交，那么 Marc 程序会在后台被自动调用。对于 Linux 等高性能计算节点的用户，往往会选择先生成 Marc 的模型文件.dat，然后通过命令行的形式直接递交，这时需要用到 run_marc 指令以及相关的参数设置。这部分可参考后续的介绍。

在非线性问题分析过程中，Marc 采用迭代方法进行求解，根据指定的收敛准则判断是否获取收敛解，并生成相关结果文件，其执行过程如图 1-3 所示。

由图 1-3 可知采用 Marc 进行分析的一般流程。当考虑接触时，分析流程还会增加接触探测、分离、穿透等的判断，详见后文接触部分的介绍。参照图 1-3 所示的流程图，分析过程中按照以下步骤创建模型并递交运算即可：

第一步：定义并生成数据文件。

数据文件可以通过 Mentat 图形交互界面进行前处理和分析参数部分定义后自动生成，也可以根据 Marc 手册 A 卷中关于数据文件结构组成的说明以及 C 卷中对各个卡片命令的格式、使用方法手动编写生成。数据文件的组成如图 1-4 所示。

第二步：调用 run_marc 命令，同时指定（并生成）必要的分析数据文件。

命令行的基本形式为：

run_marc -jid jobname.dat 或 run_marc -j jobname

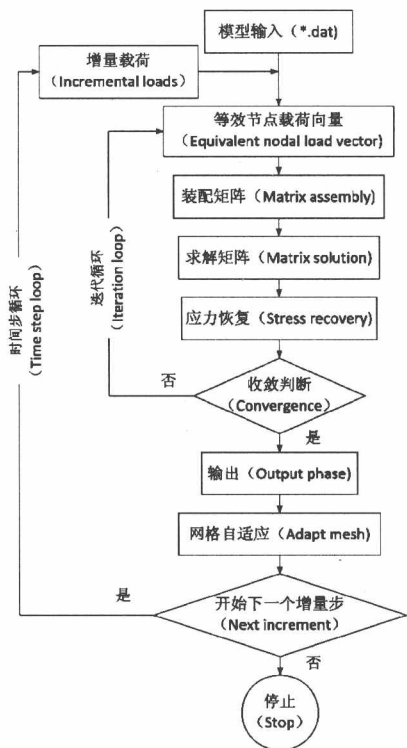


图 1-3 MSC Marc 分析流程图

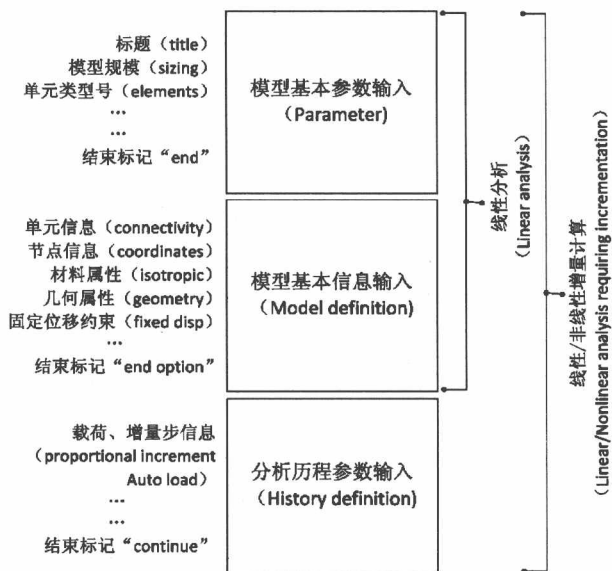


图 1-4 数据文件 (*.dat) 组成

其中-jid 后指定待分析数据文件的名称, 例如 jobname.dat, 除此之外, run_marc 命令根据不同的分析需要和问题类型还支持其他命令, 常用的如:

(1) 重启动分析时需要调用.t08 文件, 采用的命令行为-rid 或-r:

```
run_marc -j jobname.dat -r restart.t08
```

(2) 并行分析可设定模型的分区 (DOMAIN) 数目, 命令行为-nprods 或-nps, 例如采用 2 个分区:

```
run_marc -j jobname.dat -nps 2
```

采用多机并行时, 指定 host 文件, 命令行为-host 或-ho:

```
run_marc -j jobname.dat -nps 2 -h hostfile
```

(3) 调用用户子程序分析, 采用命令行为-user 或-u:

```
run_marc -j jobname.dat -u usersubroutine.f
```

(4) 其他如是否在后台执行分析, 采用命令行为-b, 例如不在后台执行:

```
run_marc -j jobname.dat -b no
```

以上操作具体请参考后续章节和例题的说明, 其他命令可参考 MSC Marc 用户手册 A 卷 program initiation 部分的说明。

1.3 Marc 2011 新增功能亮点

Marc 2011 (以及 Mentat 2011) 的发布可以说许多新老用户已经期盼已久了。Marc 2011

不仅在高性能计算方面进一步增强了原有功能,而且针对接触、复合材料、多物理场分析也是不断地推出新的亮点功能,与此同时 Mentat 2011 在界面风格上推出了具有时代感且与目前流行的 Office 界面风格一致的全新用户界面,许多用户都对 Mentat 2011 新界面的这一革命性的改变表示欢迎。除了界面风格的重大改变, Mentat 2011 在原有相对较弱的 CAD 接口功能上又有了重大改进,不仅可以支持许多原生的、目前市场比较通用的 CAD 模型接口,而且对原有的 CAD 接口功能也进行了增强。另外, Mentat 2011 针对实体网格划分功能进行了重大的改进,用户可以针对复杂模型在较短的时间内完成实体网格的划分,相对旧的 Mentat 的实体网格划分工具繁琐的操作步骤,新的方法一定会给使用者耳目一新的感觉。下面将分别针对 Mentat 2011 和 Marc 2011 以及 Marc 近年来的一些新功能亮点进行展开介绍。

1.3.1 Mentat 2011 新功能介绍

1. 用户界面

全新的界面采用了经典的 Office 风格,对菜单、工具栏等进行了合理的布局,如图 1-5 所示。

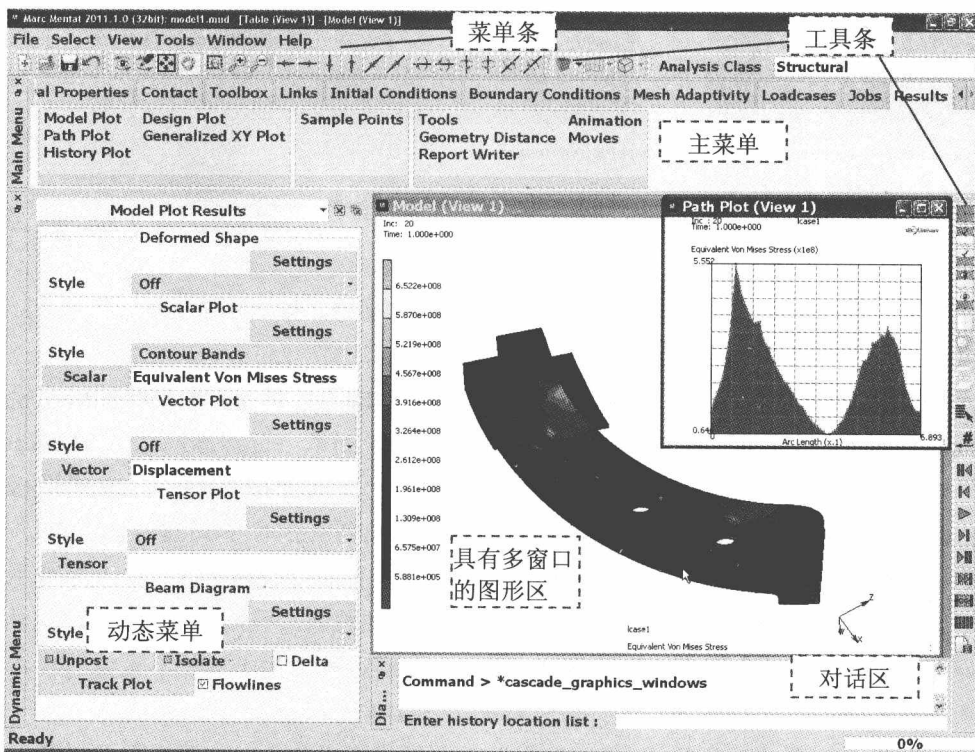


图 1-5 全新界面

全新的界面风格保留了 Mentat 老版本的全部功能,默认的显示将原有的动态菜单区均匀地排列在菜单条的下方,用户可以同时打开属于不同动态菜单项的子菜单,并顺序排列在窗口的左方。新的菜单设计还支持窗口的拆分,使用者可以根据个人喜好和需求任意排列和放置窗

口的位置, 如图 1-6 所示。

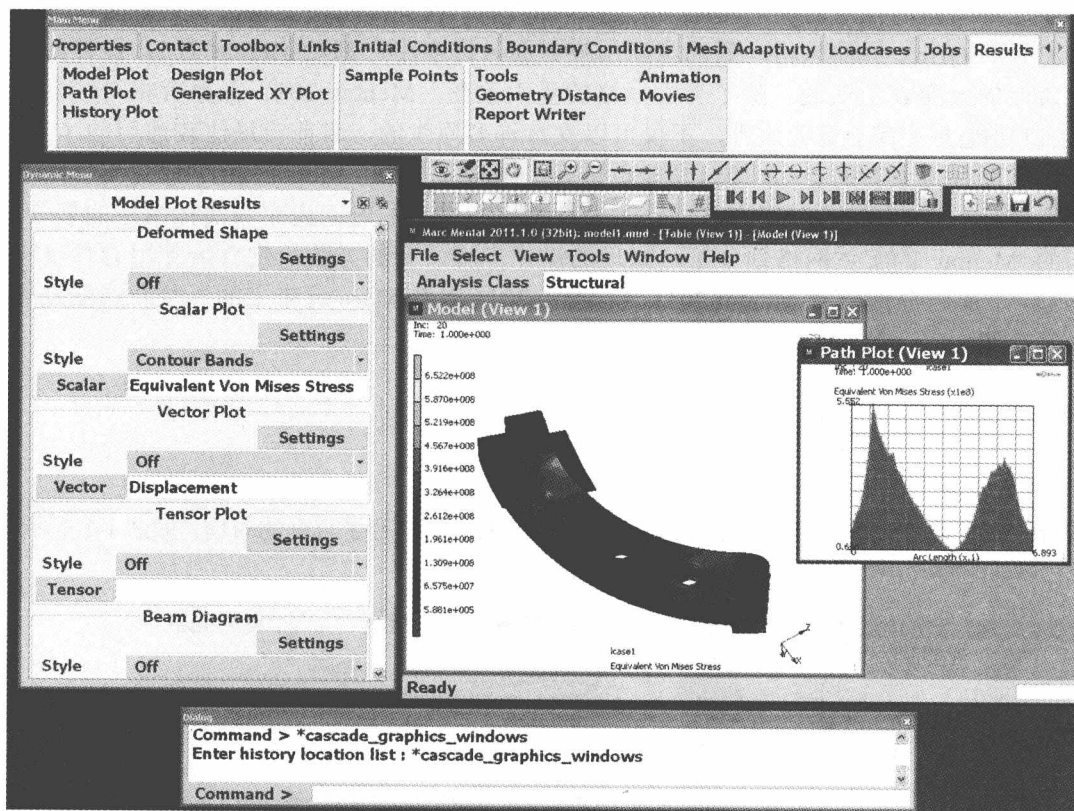


图 1-6 全新界面 (窗口拆分)

当然使用者也可以忽略默认的窗口排列方式而进行任意的布局, 如图 1-7 所示。

2. CAD 模型导入以及实体网格划分功能

Mentat 2011 在原有的通用模型接口不断进行版本升级的基础上, 例如目前支持的通用模型类型和对应版本号为 ACIS R20、IGES 5.3、STEP AP203 & AP 214、Parasolid V22、VDAFS 2.0、STL, 进一步提供了原生 CAD 模型的接口功能, 其中包括目前通用的一些 CAD 模型接口, 例如 Catia V5/R20、Catia V4/4.1.x 4.2.x、Pro/Engineering Wildfire 4、SolidWorks 2009、Unigraphics NX7、Inventor 2010、DXF, 极大地方便了不同使用者的模型转化需求, 大大减少了之前可能由于数据转换而带来的数据信息的丢失和转换时间的投入。另外, 还新增了对于导入几何模型的修复功能, 可以对小的特征进行删减, 避免在分网过程中由于一些不重要的小特征而导致网格模型质量下降, 支持的中性文件输入界面如图 1-8 所示。

导入 ACIS 模型后 (如图 1-9 所示), 可以选择以小面形式构成曲面, 这些小面可以是三角形或四边形, 可以用于输入到 Patran 四面体网格划分器来划分体网格 (确保曲面是封闭的), 也可以使用 mesh-on-mesh 来产生曲面网格。