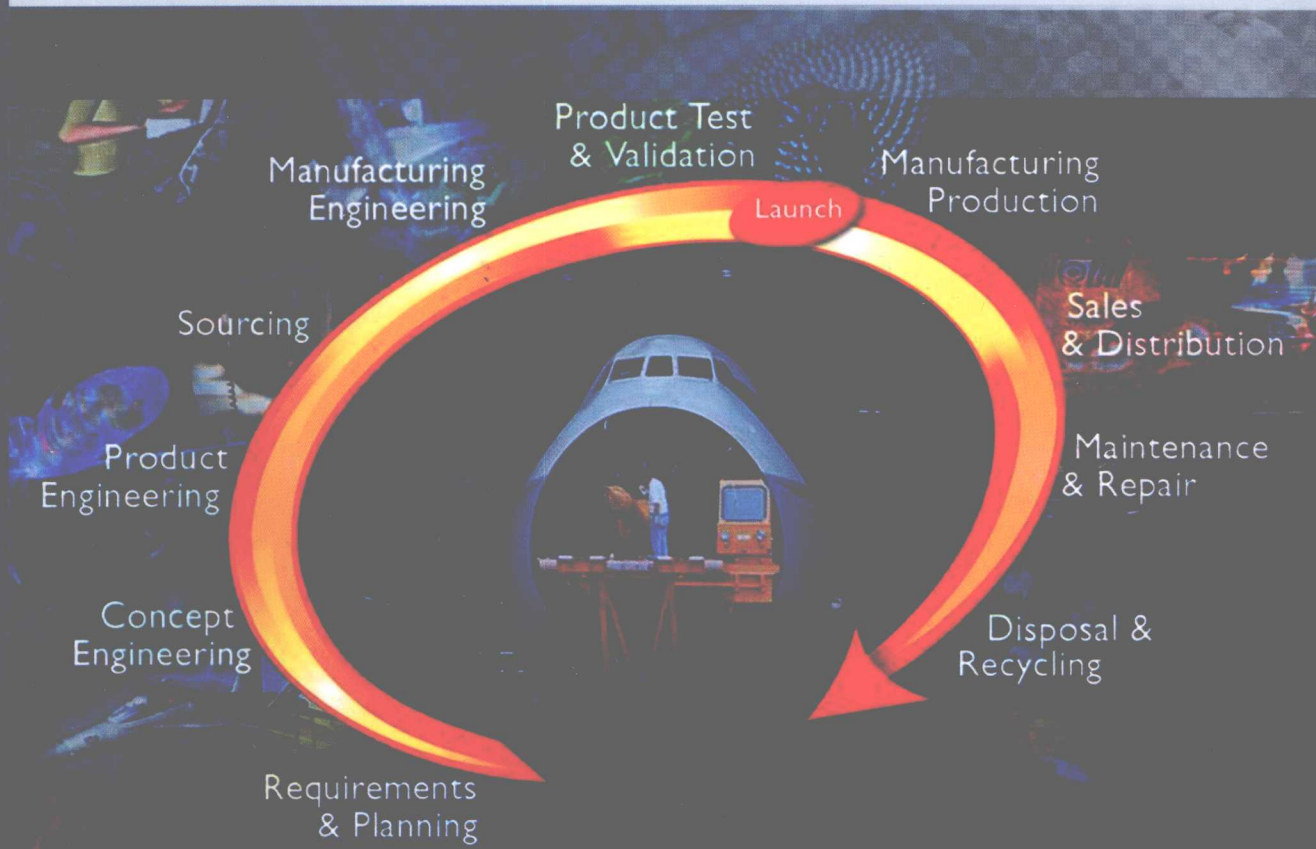


Siemens PLM 应用指导系列丛书

Siemens PLM Software
官方指定用书

Femap & NX Nastran

基础及高级应用



罗旭 赵明宇 编著

清华大学出版社

Siemens PLM 应用指导系列丛书

Femap & NX Nastran 基础及高级应用

罗旭 赵明宇 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是 Siemens PLM Software 公司官方指定的培训教材,系统、全面地介绍了全球领先的 CAE 解决方案 Femap with NX Nastran 的各种有限元分析功能、操作方法和分析技巧。全书共分 12 章,前 11 章详细阐述了 Femap with NX Nastran 的功能模块、操作界面、基本分析流程、常用工具、单元、材料、网格划分、后处理、静态分析、动态相应分析等重要知识点,并结合实例进行说明;第 12 章主要介绍了 Femap V10 所兼容的 CAD 数据的版本以及其他的求解器,还包括了 NX Nastran 其他的一些高级功能的简单介绍。在内容编排上,充分考虑各种层次、不同行业读者的思路和接受能力,去繁从简、由浅入深,实用性和可操作性强,从而使读者能够迅速上手以产生成就感。

本书附送 Femap 安装光盘一张,读者可自行安装试用。

本书可作为广大工程技术人员学习有限元分析的培训教材与自学参考书,也可作为各级院校的教学用书。

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。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

Femap & NX Nastran 基础及高级应用/罗旭,赵明宇编著. —北京:清华大学出版社,2009.11
(Siemens PLM 应用指导系列丛书)

ISBN 978-7-302-21237-9

I. F… II. ①罗… ②赵… III. 有限元分析-计算机辅助分析-应用软件, Femap & NX Nastran
IV. TP391.77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 179810 号

责任编辑:许存权 张丽萍

封面设计:刘 超

版式设计:王世情

责任校对:王 云

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:25 字 数:578 千字

(附光盘 1 张)

版 次:2009 年 11 月第 1 版 印 次:2009 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:55.00 元

本书如存在文字不清、漏印、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)62770177 转 3103 产品编号:035019-01

序

Siemens PLM Software 公司是全球领先的产品生命周期管理 (PLM) 软件和服务提供商, 在全球有 51000 家客户, 装机量 550 万套。公司提供的开放式企业解决方案帮助企业及其合作伙伴通过全球化创新网络进行产品全生命周期协作, 以提供世界级的产品和服务。

Velocity Series 是 Siemens PLM Software 推出的面向中端市场的高性价比解决方案, 包括 Solid Edge、Femap、CAM Express 和 Teamcenter Express 4 个产品, 涵盖了产品开发过程中的产品设计、仿真分析、数控加工和产品数据管理。Velocity Series 基于 Siemens PLM Software 历经实践检验的企业级 PLM 技术而开发, 各产品之间具有紧密集成, 并预配置行业最佳实践, 功能强大但价格适中, 具有总成本低廉、易于学习、易于使用的特点, 是广大制造企业实施 PLM 的最佳选择。

- Solid Edge 是功能强大且易用的主流三维 CAD 软件。它支持至顶向下和至底向上的设计思想, 其建模核心、钣金设计、大装配设计、产品制造信息管理、生产出图、价值链协同、内嵌的有限元分析和产品数据管理等功能遥遥领先于同类软件, 是企业核心设计人员的最佳选择, 已经成功应用于机械、电子、航空、汽车、仪器仪表、模具、造船、消费品等行业。2008 年 Solid Edge 推出独创性的同步建模技术使得该产品进一步确立了技术领先地位。
- Femap 是全球领先的高级有限元分析解决方案, 采用 NX Nastran 解算器。该解决方案独立于 CAD 系统, 可以读取所有主流 CAD 系统数据, 其强大高效的网格划分、解算以及后处理功能能够满足从最简单到最复杂的有限元分析需求。从 20 世纪 90 年代推出至今, Femap 已经被全球各行业超过 20000 家企业应用, 重要客户包括 NASA、波音、洛克希德马丁、空中客车、通用电气、索尼、松下、Intel、佳能、尼康、博世、法拉利、丰田、本田、尼桑等。
- CAM Express 基于 Siemens PLM Software 公司在 CAM 领域超过 30 年的经验而开发, 是一套功能深入、高度灵活的 CAM 系统。它为 NC 编程人员提供充分利用高级机床所需的全面功能, 包括钻削、车削、2.5 轴铣、3 轴铣、线切割、同步、加工仿真、5 轴铣等, 能够使用户最大限度地发挥他们在先进机床上的投资价值。
- Teamcenter Express 是 Siemens PLM Software 的企业级 Teamcenter 平台的预配置版本。该解决方案易于使用、配置和实施, 可以有效管理企业智力资产、提高设计流程的效率; 同时通过在日常工程任务与流程中应用预配置的行业最佳实践, 可以帮助企业变革创新流程, 从而以更快的速度、更短的时间、更低的成本向市场推出更有竞争力的产品。

Velocity Series 对于国内广大制造企业降低成本、加快产品创新、提升企业核心竞争力具有重要意义。为了满足广大 Velocity Series 用户和爱好者了解和学习的要求, 帮助国内企业正确、高效地应用 Velocity Series 技术于产品开发和管理, Siemens PLM Software 公司与清华大学出版社联合组织出版本套丛书。丛书以 Velocity Series 产品线最新版本为蓝本, 由国内优秀

的资深技术专家和应用工程师编写，由 Siemens PLM Software 指定的专家审校，力求达到广度、深度与易读性的最佳结合，帮助广大用户快速掌握和正确应用相关的产品和技术。

本系列丛书的读者对象为：

- 已购 Velocity Series 软件的广大用户。本套丛书可以作为培训教材或者员工自学参考书，帮助企业推广和应用 Velocity Series 软件。
- Velocity Series 软件的潜在用户。本套丛书可以作为预培训的教材，或作为深入了解 Velocity Series 软件产品、模块与功能的参考书。
- 在校机械、机电、航空、汽车等专业的专科生、本科生或者研究生以及教师。本套丛书可以作为相关专业的专业课教材，或者作为做课题时的自学参考书。

本套丛书的编写、审校工作得到 Siemens PLM Software 公司与合作伙伴的大力支持，特别是得到 Siemens PLM Software 大中华区总裁袁超明先生、市场总监邵颖女士以及洪如瑾老师的直接指导与支持，在此表示衷心的感谢。

参与系列丛书的编写、审校工作的全体工作人员认真细致地写稿、审稿、改稿，正是他们付出的辛勤劳动，本套丛书才得以按计划顺利完成，在此也表示衷心的感谢。

最后要感谢清华大学出版社在整个系列丛书的策划、出版过程中给予的特别关注、指导和支持。

由于时间仓促，书中难免有疏漏与不足之处，敬请广大读者批评指正。

Velocity Series 实践指导丛书编委会

前 言

Femap 是一个非常优秀的有限元前后处理环境，基于 Windows 平台进行开发和使用，具有 Windows 软件的一切优点。Femap 的所有开发人员都是具有丰富实践经验的工程师，也最了解 CAE 工程师的需求，因此在 Femap 的开发过程中一直非常注重工程师的需求。二十多年来，Femap 的研发一贯遵循着易学易用和专业的观念，从而赢得了大量的客户。到目前为止，已经有超过 20000 家企业部署了 Femap 软件。这些客户存在于各行各业，其中很多是相应行业的第一流企业，如 NASA、波音、空中客车、ABB、Intel、通用电气、尼桑、丰田、索尼、ABS 等。例如，波音的一个部门就有超过 100 套的使用量，ABS（美国船级社）更是将 Femap 作为美国造船业的有限元分析标准。

Femap 的优点很多，在此仅介绍较显著的几个：

- (1) 汲取了 Windows 平台的优势，易学、易用、易于部署。
- (2) 汲取了工程师的经验，使得该软件可以适用于初学者、一般工程师以及专业分析师。
- (3) Femap 可以读取各种主流 CAD 软件，而不需要额外的费用，也不需要 CAD 软件，只要有 CAD 数据即可，还可以进行数据更新。
- (4) Femap 是一个非常好的 CAE 环境，可以兼容二十余种求解器，包括结构、流体、电磁、各种 Nastran、Ansys、TMG、CFDesign、Marc、Abaqus、Dyna、PHOTO 等，还包括第三方的专用软件，如来自英国的疲劳软件 Fatigue Wizard，日本的优化设计软件 OptiShape。
- (5) Femap 的二次开发是使用 Microsoft 的 COM 技术和 OLE 技术，自身带有 VBA 编译器，因此，用户可以在任何拥有 VBA 的软件中对 Femap 进行开发，如 Microsoft Office、AutoCAD 等，也可以使用 Microsoft Visual Studio 提供的 VB、C# 和 C++ 做开发。

优点还有很多，在此不一一介绍，读者可以在本书的具体内容中看到。

本书作者都具有非常丰富的 CAE 经验和使用 Femap+NX Nastran 的经验，希望通过本书将 Femap 介绍给中国的 CAE 工作者，同时力图将一些 CAE 的学习经验和使用经验传递给读者，以免除读者学习和使用 CAE 的痛苦。有限元分析涉及非常广、非常深的行业知识，因此，我们传递给读者的经验也具有一定的局限性，希望读者在使用过程中结合自己的产品设计来总结和提高。

本书附 Femap 安装光盘一张，读者可以自行安装进行试用，但只限于 300 节点，如果需要全部功能，请与 Siemens PLM Software 公司联系申请相应的 License。

编 者

目 录

第 1 章 Femap 概述 1	
1.1 Femap 界面..... 1	
1.2 菜单..... 2	
1.2.1 File 菜单..... 2	
1.2.2 Tools 菜单..... 5	
1.3 Femap 的视图..... 5	
1.3.1 视图的动态操作..... 6	
1.3.2 View 菜单..... 7	
1.4 可停靠面板..... 8	
1.4.1 Model Info 面板..... 9	
1.4.2 Entity Editor 面板..... 10	
1.4.3 Message Window 面板..... 11	
1.5 自定义工具条..... 12	
1.6 状态栏和系统托盘..... 13	
1.7 Femap 常用对话框..... 13	
1.7.1 选择对话框..... 14	
1.7.2 定位对话框..... 15	
1.8 单位以及单位转换..... 15	
1.9 数据管理 (组和层)..... 15	
1.10 选择工具..... 16	
1.11 快捷键..... 16	
1.11.1 常用快捷键..... 17	
1.11.2 对话框上的快捷键..... 17	
1.11.3 选择对话框上的快捷键..... 17	
1.11.4 自定义快捷键..... 18	
1.12 获取帮助..... 18	
第 2 章 模型简化与网格密度 19	
2.1 板壳与实体..... 19	
2.1.1 模型对比..... 19	
2.1.2 薄板举例..... 19	
2.2 网格疏密..... 26	
2.2.1 合适的单元大小..... 26	
2.2.2 粗糙的单元大小..... 27	
2.2.3 精密的单元大小..... 27	
2.2.4 结论..... 27	
2.3 约束和载荷的注意事项..... 28	
2.3.1 约束..... 28	
2.3.2 载荷..... 28	
2.4 有限元术语..... 28	
第 3 章 创建几何模型 29	
3.1 工作平面..... 29	
3.2 创建几何模型..... 31	
3.3 创建直线——Line..... 34	
3.4 创建圆弧——Arc..... 38	
3.5 创建圆——Circle..... 41	
3.6 在曲面上创建曲线——Curves from Surfaces..... 43	
3.7 抽取中性面——MidSurface..... 46	
第 4 章 有限元及有限元求解器—— Nastran 48	
4.1 有限元概要..... 48	
4.2 Nastran 的模型文件及数据 卡片..... 50	
4.3 Femap 与 Nastran..... 53	
4.4 分析求解控制及 Femap 的 分析集..... 53	
4.4.1 分析求解管理器..... 53	
4.4.2 启动和使用分析求解管理器..... 55	
4.4.3 系统命令及文件管理..... 56	
4.4.4 求解控制及求解类型..... 58	
4.4.5 Nastran 的系统命令参数..... 60	
4.4.6 求解诊断..... 61	
4.5 BULK 数据选项..... 61	
4.6 模型检查..... 63	
4.7 分析工况及输出请求..... 63	
4.8 分析实例——悬臂梁的非线性 大变形分析..... 68	

4.8.1	模型概要	68	5.7.1	接触分析概要	128
4.8.2	创建材料	69	5.7.2	接触属性及接触参数	129
4.8.3	创建梁单元的断面属性	69	5.7.3	定义接触域	139
4.8.4	创建几何模型及划分网格	70	5.7.4	定义接触对	140
4.8.5	设定约束及载荷条件	73	5.7.5	自动定义接触	142
4.8.6	设定分析集	73	5.7.6	滑移线接触	142
4.8.7	分析结果后处理概要	75	5.8	焊接及紧固件单元	143
第 5 章	Nastran 的单元	76	第 6 章	材料属性	148
5.1	单元与节点	76	6.1	材料属性概要	148
5.1.1	节点	76	6.2	函数及在材料数据中的应用 ...	153
5.1.2	单元	77	6.2.1	函数及材料数据中的函数	153
5.1.3	节点单元及模型数据体系	78	6.2.2	函数的类型	153
5.2	单元概要	79	6.2.3	创建函数的方法	154
5.3	标量单元	81	6.2.4	函数数据的编辑	155
5.3.1	标量弹簧	82	6.2.5	函数图形绘图	156
5.3.2	阻尼单元	83	6.3	创建材料数据	156
5.3.3	集中质量单元	84	6.3.1	材料数据参数	156
5.4	线单元	86	6.3.2	材料定义中的共同事项	158
5.4.1	杆单元	86	6.4	各向同性材料	160
5.4.2	弹簧单元/粘性阻尼单元	87	6.4.1	结构分析及传热基本数据	160
5.4.3	弹簧单元	90	6.4.2	结构分析及传热基本数据的 函数相关	161
5.4.4	管单元	93	6.4.3	非线性设定	162
5.4.5	弯管及弯梁单元	94	6.4.4	蠕变特性设定	163
5.4.6	桁架单元	95	6.4.5	材料的相变	164
5.4.7	梁单元	98	6.5	正交各向异性材料	164
5.4.8	间隙单元	103	6.6	各向异性材料	165
5.5	二维单元	105	6.7	超弹性材料	167
5.5.1	二维单元概要	105	6.7.1	Mooney-Rivlin 应变能 多项式	168
5.5.2	二维单元的坐标系及节点	106	6.7.2	实验数据曲线拟合	168
5.5.3	壳单元的属性	107	6.7.3	定义超弹性材料	170
5.5.4	板壳单元的材料区分及形状	110	6.8	超弹性密封材料 MATG	174
5.5.5	壳单元的积分点及输出	113	6.9	流体材料	175
5.5.6	薄膜单元	115	6.10	传热表面材料数据	176
5.5.7	纯弯单元	116	6.10.1	自由对流表面传热	176
5.5.8	平面应变单元	116	6.10.2	强制对流的表面传热及介质 材料	176
5.5.9	剪切面板	118	6.10.3	辐射传热的表面传热参数	177
5.5.10	复合板单元	120			
5.6	三维实体单元	124			
5.7	接触及连接	127			

6.11 材料数据库.....	177	7.6 网格操作.....	208
6.12 常用的材料数据.....	178	7.6.1 既存单元的复制.....	208
第7章 创建网格.....	182	7.6.2 网格的反射复制.....	209
7.1 几何模型上的网格尺寸及 划分网格.....	182	7.6.3 创建实体网格.....	209
7.1.1 默认尺寸.....	182	7.7 抽取中立面和创建网格.....	212
7.1.2 曲线上的网格尺寸.....	183	第8章 静态分析.....	214
7.1.3 表面上的网格尺寸.....	185	8.1 约束的物理意义.....	214
7.1.4 实体上的网格尺寸.....	187	8.2 自由度及自由度集.....	215
7.1.5 对话式网格设定及动态网格 划分.....	189	8.3 约束及其定义方法.....	217
7.1.6 匹配曲线上的节点位置.....	191	8.3.1 约束集及约束管理.....	217
7.1.7 表面上的节点位置及指定 网格点.....	193	8.3.2 节点约束.....	218
7.1.8 表面上的映射网格.....	194	8.3.3 对称及反对称约束.....	219
7.2 几何模型上的网格属性.....	196	8.3.4 几何模型上的约束.....	220
7.2.1 曲线上的网格属性及划分 网格.....	196	8.3.5 自动约束.....	220
7.2.2 表面上的网格属性及划分 曲面网格.....	197	8.3.6 多点约束.....	221
7.2.3 实体上的网格属性及划分 实体网格.....	197	8.4 结构形式的多点约束.....	222
7.3 有效地划分网格.....	199	8.4.1 刚体单元定义的多点 约束.....	222
7.3.1 抑制微小几何形状.....	200	8.4.2 RSPLINE 连接单元.....	223
7.3.2 消除微小几何形状.....	201	8.4.3 永久约束.....	223
7.3.3 合并微小曲线及曲面.....	202	8.5 载荷及分类.....	225
7.4 直接创建网格.....	204	8.5.1 载荷的种类.....	225
7.5 拉伸扩展、旋转及沿迹线扩展 曲线单元或单元面.....	204	8.5.2 节点集中力及扭矩载荷.....	227
7.5.1 扩展曲线或线单元生成面 单元.....	205	8.5.3 节点强制位移及强制回转 载荷.....	228
7.5.2 扩展板单元或单元面生成实 体元.....	206	8.5.4 节点温度载荷.....	229
7.5.3 旋转扩展曲线或线单元生成 面单元.....	207	8.5.5 定义节点集中载荷.....	229
7.5.4 旋转扩展面单元或单元面生成 实体单元.....	207	8.6 体载荷.....	233
7.5.5 沿迹线扩展生成面单元或实体 元网格.....	208	8.6.1 惯性力载荷.....	233
		8.6.2 离心力载荷.....	234
		8.6.3 Femap 中定义体积载荷.....	235
		8.7 单元面上的压力载荷.....	235
		8.8 节点间的分布载荷.....	236
		8.9 非线性传热及非线性热应力 分析.....	237
		8.9.1 瞬态传热与热应力分析.....	237
		8.9.2 瞬态非线性传热分析.....	240
		8.9.3 非线性弹性热应力分析及结果 概要.....	240

8.10	过盈配合加热装配的模拟分析	242	9.5.4	分析结果的显示模式	278
8.10.1	模型概要	242	9.5.5	分析结果集和列向量	279
8.10.2	分析结果考察	246	9.5.6	变形表示模式	280
8.10.3	参数变更考察	247	9.5.7	云图表示模式	281
8.11	电子线路板的焊接热蠕变分析	249	9.5.8	云图表示的快速设定	283
8.12	复合板优化设计	251	9.5.9	自由体表示	284
8.13	超弹性分析	254	9.5.10	云图显示与收敛性	285
8.13.1	模型及功能概要	254	9.5.11	XY 绘图	286
8.13.2	材料特性的曲线拟合	256	9.5.12	XY 绘图数据	286
8.13.3	材料本构曲线的验证	257	9.5.13	XY 图形表示属性的设定	287
8.13.4	曲线拟合阶次的考察	259	9.6	分析结果的运算处理	287
第 9 章	模型的表示及后处理	262	9.6.1	分析结果列向量的定义及充填 (Define 及 Fill 命令)	288
9.1	模型显示	262	9.6.2	分析结果列向量的运算处理 (Process 命令)	288
9.1.1	模型的表示样式	262	9.6.3	误差评估及其使用方法	290
9.1.2	模型画面快速切换	264	9.6.4	评估误差的计算方法	291
9.1.3	鼠标及键盘操作	265	9.7	分析结果与载荷的相互转换 ...	291
9.1.4	模型动态表示及视图方向	266	9.7.1	把分析结果转换为载荷	291
9.1.5	模型表示选择	267	9.7.2	把其他模型的分析结果转换为 载荷	292
9.1.6	视窗中显示的模型数据	268	9.7.3	把载荷转换为分析结果	292
9.1.7	画面选项	268	9.8	分析结果图形表示设定示例 ...	293
9.2	创建模型中的几个基本项	269	9.8.1	云图模式及数据选择	293
9.2.1	坐标系	269	9.8.2	设定云图属性	294
9.2.2	工作面	270	9.8.3	单元准值云图	296
9.2.3	几个辅助工具	270	9.8.4	屏幕背景及标题	297
9.3	组与层	272	9.8.5	矢量云图的表示	298
9.3.1	组	273	9.8.6	矢量云图的显示属性	299
9.3.2	分组规则	273	9.8.7	模型尺寸及大小的显示	301
9.3.3	组的复制	274	9.8.8	文本 (Text) 的作成方法	302
9.3.4	按逻辑关系创建组	274	第 10 章	模态分析	304
9.3.5	层	275	10.1	结构振动基本问题	304
9.3.6	创建及修改层	275	10.2	模态分析	305
9.3.7	视图的组合选项	276	10.3	正则化模态及有效模态 质量	306
9.4	模型数据列表	276	10.4	求解方法及求解控制	308
9.5	分析结果的处理	277	10.5	固有值分析的输出及输出 请求	310
9.5.1	分析结果集	277			
9.5.2	节点列向量	278			
9.5.3	单元的分析结果	278			

10.6 框架结构的模态分析.....	311	11.4.4 瞬态分析方法的比较.....	356
10.6.1 模型概要.....	311	11.5 模态响应分析中的物理坐标 反求法.....	357
10.6.2 框架模型的模态分析及结果 概要.....	313	11.6 响应谱及谱响应分析.....	358
10.7 惯性释放自由体的模态 分析.....	317	11.6.1 瞬态法动力响应分析及响应 谱分析.....	358
10.7.1 直升机模型.....	317	11.6.2 谱响应分析.....	361
10.7.2 惯性释放.....	319	11.7 地震载荷及结构动力分析.....	362
10.7.3 分析结果.....	320	11.7.1 地震载荷.....	362
10.8 非线性模态.....	321	11.7.2 模型概要.....	364
10.8.1 问题概要.....	321	11.7.3 地震时间历载荷及选项.....	364
10.8.2 创建几何模型.....	322	11.7.4 响应谱分析选项(可选).....	368
10.8.3 创建材料及板单元属性.....	323	11.7.5 直接瞬态动力分析.....	369
10.8.4 划分网格.....	324	11.7.6 模态瞬态动力分析.....	371
10.8.5 载荷及约束.....	326	11.8 频率响应分析事例.....	374
10.8.6 无载荷条件的模态分析.....	329	11.8.1 频率响应分析的载荷.....	374
10.8.7 屈曲载荷分析.....	330	11.8.2 模型概要.....	374
10.8.8 弹塑性条件下的模态分析.....	331	11.8.3 谱响应分析载荷函数的 定义.....	374
10.8.9 流固耦合界面及其模态 分析.....	334	11.8.4 谱响应分析约束及励振约束 的定义.....	376
第 11 章 振动响应分析.....	336	11.8.5 谱响应分析的定义及分析 结果.....	376
11.1 结构振动的一般描述.....	336	第 12 章 附记.....	378
11.2 质量及阻尼.....	337	12.1 其他求解器及 CAD 数据.....	378
11.2.1 质量.....	337	12.2 关于传热分析.....	378
11.2.2 阻尼.....	337	12.3 材料非线性分析中的耦合 关系.....	380
11.2.3 直接矩阵输入.....	339	12.4 一些特殊单元.....	380
11.3 频率响应分析.....	340	12.5 随机响应分析.....	381
11.3.1 频率响应分析的载荷.....	340	12.6 复变数模态.....	382
11.3.2 直接频率响应分析 (SOL108).....	342	12.7 转子动力学.....	383
11.3.3 模态频率响应分析.....	344	12.8 优化设计 SOL200.....	384
11.3.4 频率响应分析中的频率范围 及频率分辨率.....	347	12.9 并行处理.....	385
11.3.5 直接频率响应与模态频率 响应的比较.....	349	附录 A Femap 单元与各种求解器的对 应关系.....	387
11.4 瞬态动力分析.....	350	附录 B Femap 当前 (V10.01) 对应的 CAD 软件版本.....	388
11.4.1 瞬态动力分析的载荷.....	350		
11.4.2 直接瞬态动力分析.....	353		
11.4.3 模态瞬态动力分析.....	354		

第 1 章 Femap 概述

Femap 是一个基于 Windows 平台开发的有限元分析环境，而不仅是一个有限元前后处理器。Femap 的研发人员全都是有着丰富经验的分析工程师，由分析工程师走向程序员，他们十分清楚用户的需求，也因此，Femap 在国际上有着广泛的用户。本章对 Femap 的基本内容作出介绍。

1.1 Femap 界面

也许，你已经看到了 Femap，也许你还没有看到，但是，它是基于 Windows 平台开发的、我们每天都在使用的操作系统。在这个操作系统上的软件都有着一定的特点，而这些特点也是属于 Femap 的。如浮动菜单、工具条、快捷菜单、热键、多窗口、撤销、重做、按时间自动保存文件、保存文件备份等。

也许你还没有用过 Femap，那么，当你打开 Femap，你会使用其中的什么？毫无疑问，新建文件、打开文件、保存文档、关闭文档、窗口排列、帮助文档、自定义工具条、自定义快捷键等，对于一个习惯于使用 Windows 的人来说，这是非常容易的，也是不需要学习的。

Femap 的界面如图 1-1 所示。

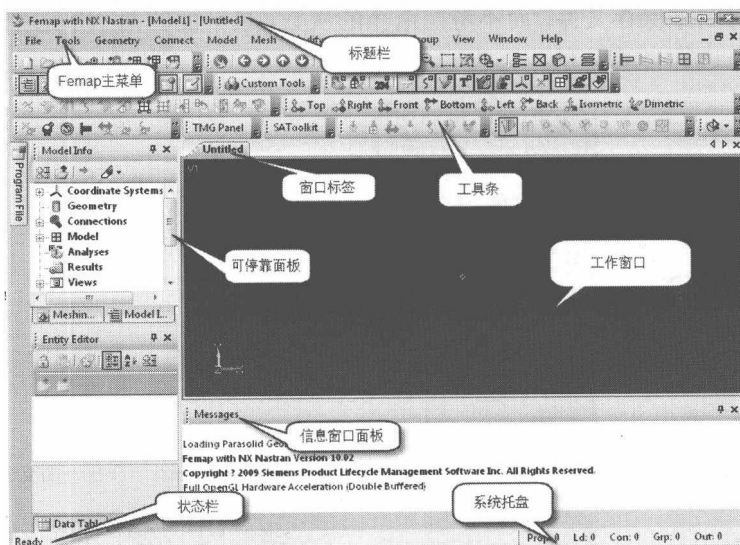


图 1-1 Femap 基本界面

在图 1-1 的左侧是可停靠面板，Femap 吸收了 CAD 软件模型树的概念，让用户可以有效管理、分析每一个环节，同时吸收了 Microsoft Visual Studio 编辑器的优点，让用户不必打开对话框即可修改模型的相关信息，如材料的物理属性。

1.2 菜单

Femap 的菜单如图 1-2 所示。

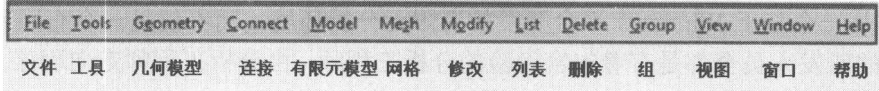


图 1-2 Femap 菜单

现在只是在英文下面注释了中文，也许不久就可以看到中文版的 Femap。文字在作为菜单名称的同时，也描述了菜单的功能。

本章主要介绍“文件”菜单、“工具”菜单、“视图”菜单和“帮助”菜单。“窗口”菜单主要是对打开的窗口的排列，和 Windows 的其他软件没有大的区别。

1.2.1 File 菜单

文件菜单包含了一个软件的基本功能，对于熟悉 Windows 平台的用户来说，图 1-3 中简单的命令不再详细介绍。

- **Timed Save:** 按时间保存，用户选中 File Timed Save 对话框（如图 1-4 所示）中的 is 单选按钮，即激活了按时间保存文件的功能，默认情况下，Femap 会每隔 10 分钟自动保存文件，或每 25 个命令自动保存文件。如果将命令次数修改为 0，则 Femap 只会根据时间来保存文件，而不考虑命令的次数。最下面的两个单选按钮则对应是否提示用户在进行自动保存。

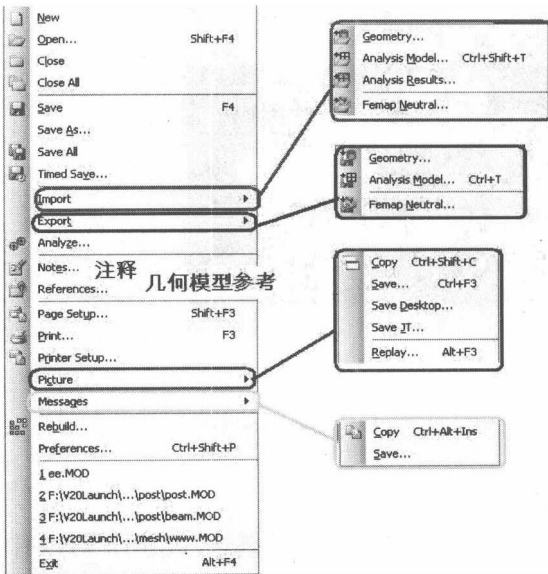


图 1-3 File 菜单

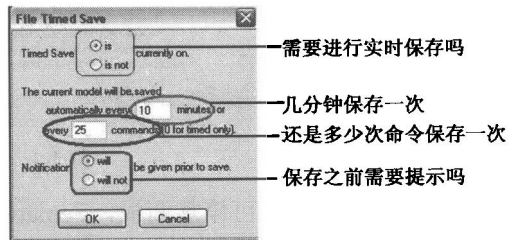


图 1-4 File Timed Save 对话框

- **Import:** 对于有限元分析来说，导入的文件分为以下 4 类。

- Geometry (几何): 包含了各种 CAD 数据, ACIS (*.sat), Parasolid (*.x_t), IGES (*.igs), StereoLithography (*.stl), AutoCAD DXF (*.dxf), STEP (*.stp), I-DEAS (*.idi), CATIA V4.x (*.mdl, *.exp, *.dlv), CATIA V5 (*.catp.*), Pro/E (*.prt.*, *.asm.*), Solid Edge (*.par, *.psm, *.pwd, *.asm), NX (*.prt), SolidWorks (*.sldprt, *.sldasm)。
- Analysis Model (分析模型): Nastran (*.dat, *.nas, *.nid, *.d, *.blk, *.bdf), 包括 NX Nastran, MSC/MD Nastran, NEiNastran; Femap Neutral (*.neu, *.fno); I-DEAS (*.unv); ABAQUS (*.inp); Ansys (*.ans, *.cdb); LS-Dyna; Marc (*.t16); SINDA/G (*.sdb); PATRAN (*.PAT); CAEFEM (*.neu, *.cae)。
- Analysis Results (分析结果): Nastran (*.op2, *.out2, *.f11, *.f06, *.prt, *.lis, *.xdb), 包括 NX Nastran, MSC/MD Nastran, NEiNastran; Femap Neutral (*.neu, *.fno); Comma-Separated (*.csv); Femap Structural (*.sof); ABAQUS (*.fil, *.fin); Ansys (*.rst, *.rth); LS-Dyna; Marc (*.t16); SINDA/G (*.sdb); PATRAN (*.dis); CAEFEM (*.neu, *.cae)。
- Femap Neutral: 导入 Femap 中性文件。
- Export: 导出文件, 分为以下 3 类。
 - Geometry (几何): 一般情况下用得比较少, 当在 Femap 中建有几何模型时, 可以将其导出 Parasolid、ACIS、StereoLithography、VRML、STEP、IGES 等格式的文件, 如果只有有限元模型, 那么就只能导出为 StereoLithography 和 VRML 两种格式。
 - Analysis Model (分析模型), 根据用户创建分析类型时所选的求解器而定。
 - Femap Neutral: 导出 Femap 中性文件。
- Notes: 可以对当前的文档作出一些说明, 而且可以将这些说明输出到求解器的输入文件中, 如 Nastran 的 DAT 文件。
- References: 当用户导入一个几何模型时, 该几何模型的相关信息会出现在这里, 如果几何模型发生更改, 可以通过该命令将 Femap 中相应的模型进行更新, 从而和 CAD 数据保持一致。如图 1-5 所示为 Reference Manager 对话框, 其中的主要选项介绍如下。

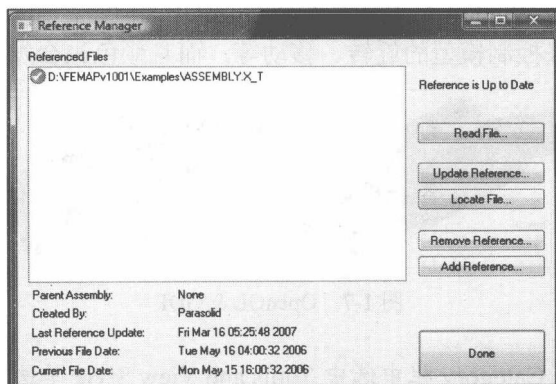


图 1-5 文件参考管理

- Add Reference: 表示自己可以添加相关的一些文档, 如载荷的计算过程。

- **Remove Reference:** 删除一些参考文档。
- **Locate File:** 当关联的几何模型的文件位置发生变化时，可以单击该按钮重新定位几何模型。
- **Update Reference:** 当几何模型发生变化时，需要单击该按钮更新几何模型或者是相关的其他文档。
- **Read File:** 读取文件，当更新参考之后，单击该按钮，对文档中的几何模型作出实质性的更新，这时系统会弹出 **Geometry Replacement Options** 对话框，如图 1-6 所示。一般情况下，**Mesh Sizing** 栏中可以选中 **Match Existing Geometry** 单选按钮。**Update Options** 栏中必须选中 **Delete Original Geometry and Mesh** 复选框，否则，可能会造成网格的重叠；一般情况下应同时选中 **Update using Parasolid Identifiers** 复选框，这样，如果模型不是发生特别大的变化，可以保留原来设定在几何元素上的载荷和约束，用户只需要重新划分网格和计算即可得到新的结果；**Update Material Data** 复选框只和 **Solid Edge** 相关。

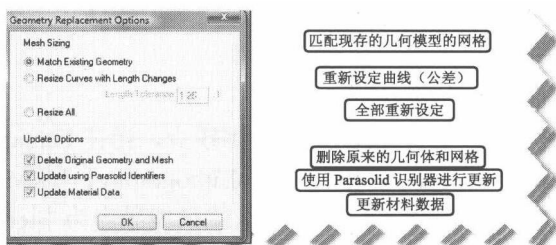


图 1-6 几何模型更新选项

- **Picture:** 做有限元分析，结果是要写计算报告的，自然就有图片输出的问题，Femap 提供了极其方便的功能，可以通过菜单操作，最简单的就是在图形区域按下 **Ctrl+C** 键，即可到 Office 中粘贴。Femap 支持的 **Picture Save** 中可以输出 **Bitmap (*.bmp)**、**JPEG (*.jpg)**、**PNG (*.PNG)**、**TIFF (*.TIF)**、**Gif (*.gif)**。如果是在做动画处理，那么就可以输出动画 **GIF (*.gif)**、**Video for Windows (*.avi)**、**Bitmap Series**（一系列的 **bmp** 图片）。如果用户希望输出 **Windows** 图元文件或增强型图元文件，则需要修改渲染选项为 **Window GDI**，而不是 **OpenGL**，但是，如果选用 **GDI** 图像引擎，则不能使用鼠标来控制模型的旋转、移动等，而且颜色也会发生改变，如图 1-7 所示。

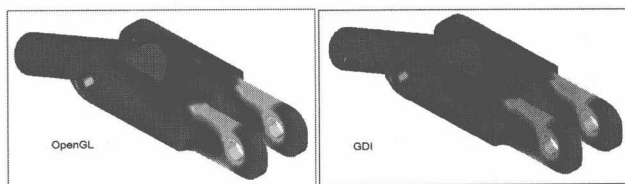


图 1-7 OpenGL & GDI

- 💡 **提示:** 按下 **F6** 键，在 **Category** 栏中选中 **Tools and View Style** 单选按钮，在 **Options** 列表框中选择 **Render Options** 选项，单击 **Graphics Engine** 按钮，即可选择渲染方式为 **OpenGL** 或 **GDI**。

1.2.2 Tools 菜单

顾名思义，Tools（工具）菜单则包含着有限元分析中一些常用的工具，如图 1-8 所示，Undo（撤销）与 Redo（重做）、Workplane（工作平面）的定义、可停靠面板的显示与关闭、工具条的显示与关闭、常用的参数定义、模型单位的转换、模型的检查等，以及应力分析向导。



图 1-8 Tools 菜单

1.3 Femap 的视图

Femap 可以在视图中显示模型的线框图、隐藏线图、着色图，同时可以显示 XY 曲线和分析结果。Femap 可以一次打开多个文档，每个文档可以同时包含多个视图，每一个视图都有一个标签，用于描述当前视图的名称，如果同时打开了多个文件，则标签显示为模型名，即视图名，如图 1-9 所示。

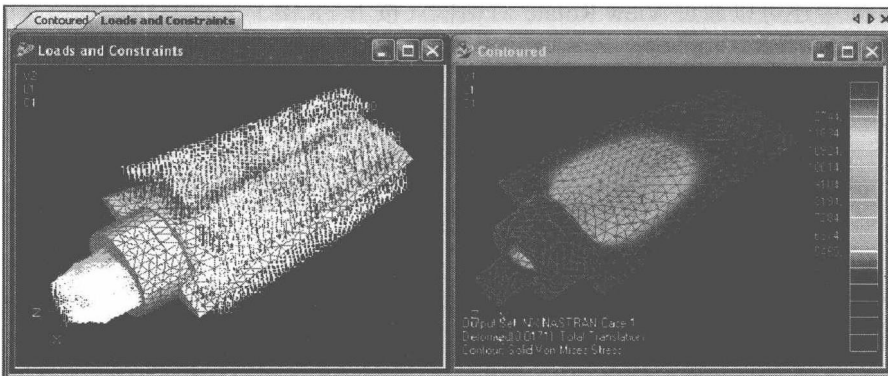


图 1-9 视图排列

Femap 中的模型可以像 CAD 软件那样使用鼠标进行动态旋转、移动和缩放，同时还支持 SpaceBall 的操作。

1.3.1 视图的动态操作

对于使用鼠标对视图进行动态操作，Femap 有着不同的方式，如表 1-1 所示。

表 1-1 视图操作

操 作	没有命令时	激活命令时
旋转	鼠标左键或中键	鼠标中键
平移	Ctrl+鼠标左键或 Ctrl+鼠标中键	Ctrl+鼠标中键
缩放	Shift+鼠标左键或 Shift+鼠标中键	Shift+鼠标中键

提示：

- ① 滚动鼠标的中键，同样可以实现动态的缩放。
- ② Ctrl+滚动鼠标的中键，可以实现动态的旋转，旋转轴为和屏幕平行的水平线。
- ③ Shift+滚动鼠标的中键，可以实现动态的旋转，旋转轴为和屏幕垂直的线。

Femap 中默认的视图方位一共有 9 种，分别为顶面 (Top: XY)、右面 (Right: -ZY)、前面 (Front: XZ)、底面 (Bottom: X-Y)、左面 (Left: ZY)、背面 (Back: X-Z)、正等视图 (Isometric)、正二轴测图 (Dimetric) 和正三轴测图 (Trimetric)，如图 1-10 所示工具条。

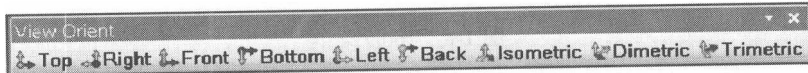


图 1-10 视图方位工具条

图 1-11 中坐标系方位的顺序与视图方位工具条的顺序一致。

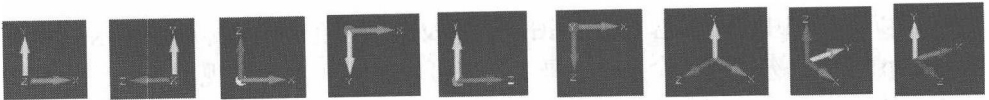


图 1-11 视图方位坐标系

在 Femap 中还可以通过 View Rotate 对话框 (按下 F8 键) 来调整模型到特殊的方位，如图 1-12 所示。

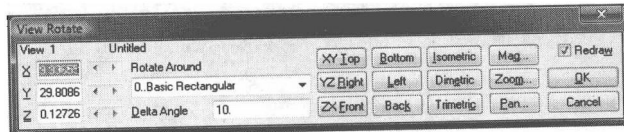


图 1-12 View Rotate 对话框

在 View Rotate 对话框中，用户可以分别输入 X、Y、Z 的值来定位，也可以通过拖动 X、Y、Z 右侧的滑动条来旋转模型，旋转轴分别对应着设定的坐标系 (Rotate Around 下拉列表框中的选项则为坐标系的名称) 的 X、Y、Z 轴。如果用户设定了 Delta Angle，假设为 10° ，则每一次单击滑动条，模型就旋转 10° 。

Mag 按钮是对模型进行放大缩小操作，单击后会出现如图 1-13 所示的对话框。

Up 按钮代表模型视图的放大，Down 按钮代表模型视图的缩小，Fill View 按钮则是缩放