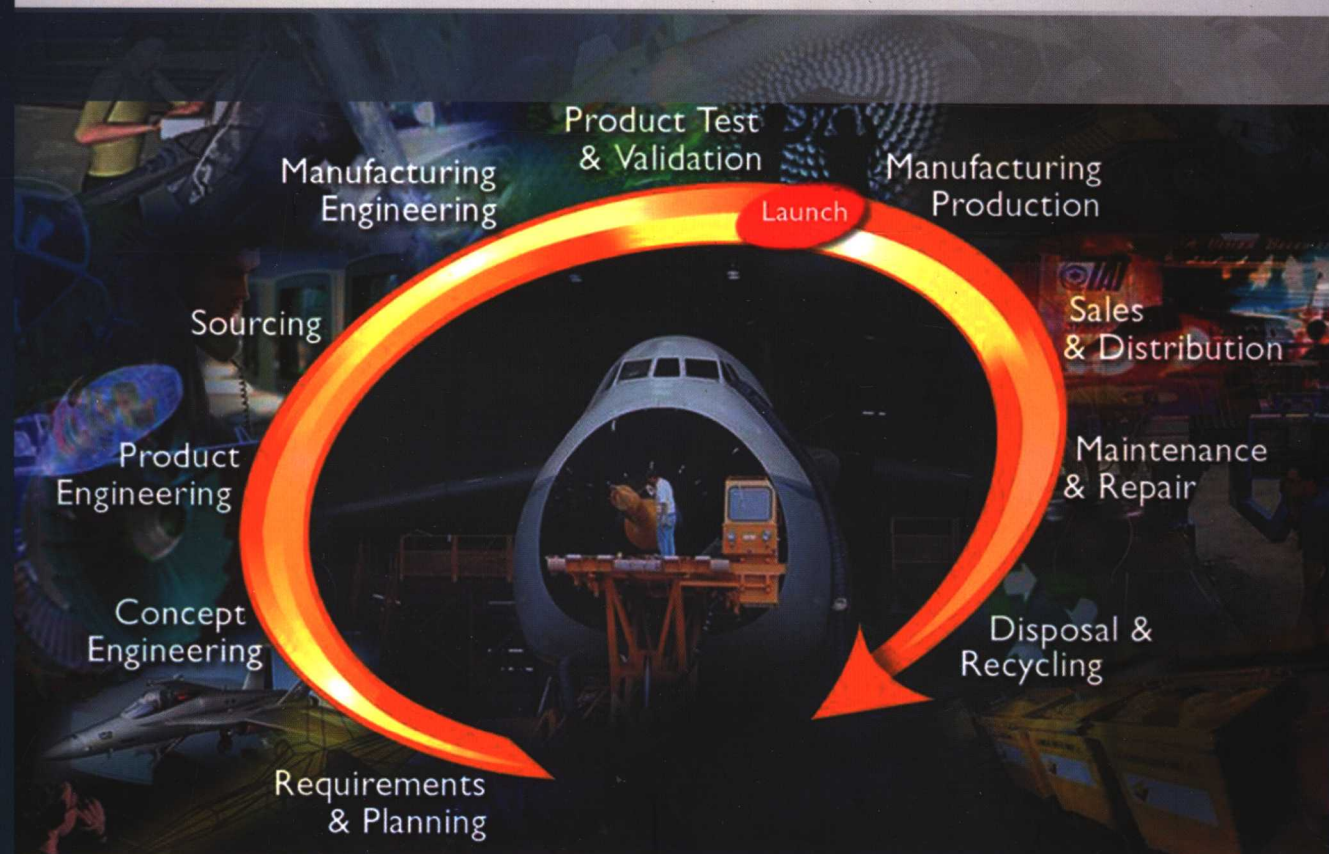




UGS PLM 应用指导系列丛书

The PLM Company

NX MasterFEM 热分析教程



叶 宏 主编

焦冬生 徐 斌 庄双勇 杨泰蓉 编译

葛新石 审校



清华大学出版社

UGS PLM 应用指导系列丛书

NX Master FEM 热分析教程

叶 宏 主编

焦冬生 徐 斌 庄双勇 杨泰蓉 编译

葛新石 审校

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

NX Master FEM 的热分析模块 TMG 和 ESC 可用于解决复杂传热问题。本书首先介绍 NX Master FEM 基本功能的使用和有限元分析的过程和手段；其次介绍 TMG 模块，TMG 模块使用先进的有限差分技术对热模型进行高效数值求解，可模拟非线性和瞬态问题、辐射和传导、流体流动、相变和自然对流、受迫对流、卫星轨道和太阳加热、发动机本体的导热、轨道卫星的传导和辐射、带翅片的散热器的对流冷却、半导体材料的辐射加热和熔解及其他问题；最后介绍 ESC 模块，它是为模拟电子系统中三维空气流动和传热行为而设计的，可模拟单独元件、多芯片模块、散热片、PC 主板、完整的电子系统。ESC 结合了强大的 CFD 和先进的热求解技术。

本书适用于热工、航空航天及电子系统设计专业的本科生、研究生及从事相关专业的工程师和研究人员。

版权声明

本系列丛书为 UGS PLM Solutions（中国）公司（原名：优集系统（中国）有限公司）独家授权的中文版培训教程与使用指导。本书的专有版权属清华大学出版社所有。在没有得到 UGS PLM Solutions（中国）公司和本丛书出版者的书面许可，任何单位和个人不得复制与翻印。

版权所有，违者必究。

“Copyright 2000 by Unigraphics Solutions Inc.

Original English Language Edition Copyright

2000 by Unigraphics Solutions Inc. All Rights Reserved”

版权所有，翻印必究。举报电话：010-62782989 13501256678 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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术，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

NX Master FEM 热分析教程/叶宏主编. —北京：清华大学出版社，2005.10

（UGS PLM 应用指导系列丛书）

ISBN 7-302-11792-6

I. N… II. 叶… III. 热分析：有限元分析—软件包，NX Master FEM—教材

IV. O657.7-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 104518 号

出 版 者：清华大学出版社

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

社 总 机：010-62770175

地 址：北京清华大学学研大厦

邮 编：100084

客 户 服 务：010-62776969

组稿编辑：许存权

文稿编辑：马 丽

封面设计：范华明

版式设计：俞小红

印 刷 者：北京市清华园胶印厂

装 订 者：三河市春园印刷有限公司

发 行 者：新华书店总店北京发行所

开 本：185×260 印张：23.25 字数：535 千字

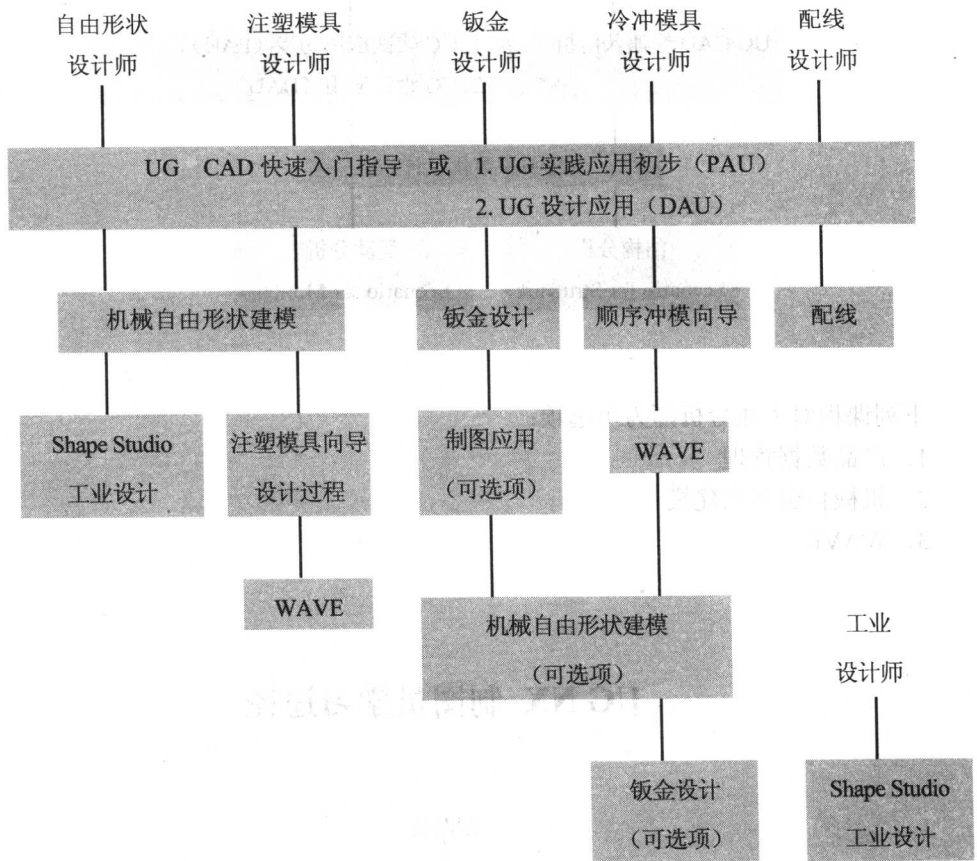
版 次：2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 7-302-11792-6/TP·7670

印 数：1~4000

定 价：46.00 元

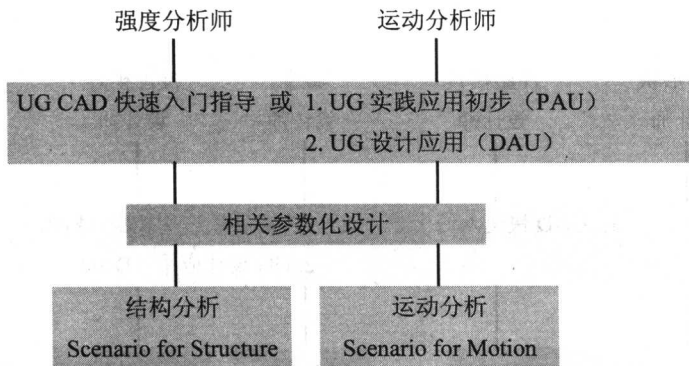
UG NX 设计师学习途径



下列课程对所有上述人员为可选项:

1. 产品数据管理
2. 相关参数化设计

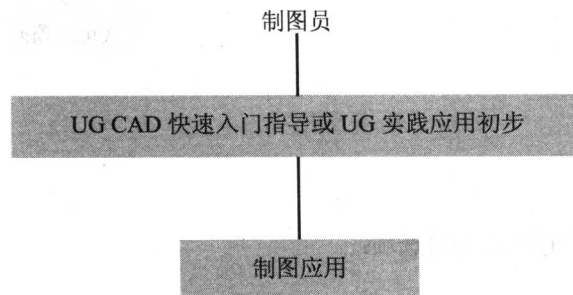
UG NX 分析师学习途径



下列课程对上述分析师为可选项:

1. 产品数据管理
2. 机械自由形状建模
3. WAVE

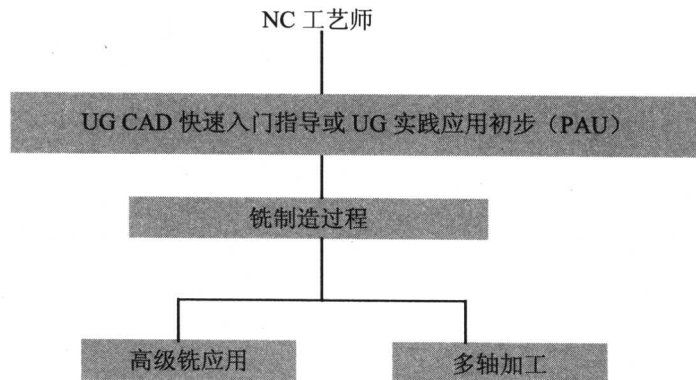
UG NX 制图员学习途径



下列课程为可选项课程:

产品数据管理

UG NX NC 加工学习途径



下列课程为可选项课程：

1. 产品数据管理
2. 车削过程
3. 后置处理器构建技术

UGS PLM 应用指导系列丛书序

UGS PLM Solutions 公司是产品生命周期管理 (PLM) 软件及相关服务领域的市场领导者, 由原来的 UGS、SDRC 和 EAI 组成, 拥有 42000 家客户, 全球装机量超过 280 万台。公司与客户密切协作, 提供产品数据管理、工程协同和产品设计、分析加工的完整解决方案, 帮助客户实现管理流程的改革与创新, 以期真正获得 PLM 所带来的价值。

为了丰富清华大学出版社计算机图书的种类, 强化品牌优势和帮助 UGS 客户正确与高效地应用 MCAD/CAE/CAM 技术于产品开发过程和满足广大 UG 学习者的要求, 清华大学出版社北京清大金地科技有限公司和优集系统 (中国) 有限公司从 2000 年起, 联合组织出版了 Unigraphics 中文版应用指导系列丛书。该系列丛书的出版深受广大用户与读者的欢迎。今天为了帮助 UGS 客户正确与高效地应用 UGS PLM 产品生命周期管理解决方案于产品开发过程和满足广大读者的进一步学习要求, 清华大学出版社北京清大金地科技有限公司和优集系统 (中国) 有限公司决定将原有的中文版 Unigraphics 应用指导系列丛书扩展为中文版 UGS PLM 应用指导系列丛书。

新扩展的系列丛书由两部分组成:

(1) NX MCAD/CAE/CAM 培训教程和应用指导

(2) Teamcenter 培训教程和应用指导

培训教程: 系列教程将采用全球通用的最优秀的学员指导 (Student Guide) 教材为原始资料, 组织国内优秀的培训教员与应用工程师编译。最后由公司指定的专家们审校。

应用指导: 将汇集有关专家的使用经验, 以简洁清晰的形式写成使用指导, 指导广大用户快速正确地应用相应的产品、模块与功能。

系列丛书的读者对象为:

(1) 已购 UGS PLM Solutions 软件的广大用户

培训教程可作为离线培训与现场培训的教材, 或自学参考书。

应用指导可作为快速入门或进一步自学提高的参考书。

(2) 选型中的 UGS 潜在用户

培训教程可作为预培训的教材, 或深入了解 UGS PLM Solutions 软件产品、模块与功能的参考书。

(3) 在校机械、机电专业本科生与研究生

培训教程可作为 CAD、CAM 与 PDM 专业课教材, 也可作为研究生做课题中的自学参考书。

应用指导可作为快速入门或进一步自学提高的参考书。

(4) 机械类工程技术人员

培训教程可作为再教育的教材或自学参考书。

应用指导可作为快速入门或进一步自学提高的参考书。

系列丛书的编译、编著、审校工作得到优集系统（中国）有限公司与各 UG 培训中心的大力支持，特别是得到 UGS PLM Solutions 公司大中华区总裁陈杰先生、大中华区销售总监魏永强先生、大中华区技术总监宣志华先生的大力支持与指导。在此表示衷心的感谢。

参与系列丛书的编译、编著、审校的全体工作人员认真细致地撰稿、审稿、改稿，正是他们付出的辛勤劳动，系列丛书才得以在短时间内完成，在此也表示衷心的感谢。

最后要感谢清华大学出版社北京清大金地科技有限公司，在系列丛书的策划、出版过程中给予的特别关注、指导与支持。

UGS PLM Solutions 软件在继续发展与升版，随着新版本、新模块与新功能的推出，UGS PLM 系列丛书将定时更新和不断增册。

由于时间仓促，书中难免有疏漏与出错之处，敬请广大读者批评指正。

UGS PLM 应用指导系列丛书工作组

2004 年 4 月

前言

为使非热工专业的 NX Master FEM 软件使用者对本书内容有较深入的了解, 首先简要介绍传热分析的一些基本概念及其应用领域。

传热是由于温差引起的能量的转移, 传热有三种基本模式: 传导、对流和热辐射。当在静态介质中存在温度梯度时, 不论这介质是固体还是流体, 在此介质中由于原子和分子的热运动引起的传热过程称之为传导。当一个表面和一种运动流体处于不同温度时, 它们之间由于分子的随机运动和流体成团运动双重作用引发的传热称为对流。所有具有一定温度的表面都以电磁波的形式发射能量, 处于不同温度的表面通过电磁波进行的热交换称为热辐射。

针对各种传热模式, 已经建立了较为完备的理论体系和经验关系式, 要详细了解这些内容可参阅相关传热学教程和著作。

传热现象在许多工业和环境问题中都起着重要的作用。例如在能源生产和转换领域, 没有哪一个应用问题不以某种方式涉及到传热效应。在电能的生产中, 不管是通过核裂变还是核聚变, 也不论是通过矿物燃料的燃烧或是磁流体过程, 以致于利用地热能源, 都有大量的传热问题必须解决。这些问题涉及到传导、对流和热辐射过程。我们还常常会遇到如何使传热速率达到最大以及使材料在高温环境下保持完好的问题。在采暖、空调以及发电的太阳能转换系统的设计中, 也有大量的传热问题。传热过程还影响诸如内燃机和火箭发动机这样的推进系统的性能。传热问题还出现在低温储存设备、电子设备的冷却、制冷和空调系统的设计中, 以及许多其他工业问题中。

工程中的传热问题可分为两种基本类型。一类是计算传递的热流量, 以根据需要强化或削弱传热。如电子系统的冷却, 为保证电子系统的工作温度不致过高, 需要研究如何增强散热的问题; 另一类, 为减少热力设备和管道的散热损失, 必须加隔热层以削弱传热。第二类是确定系统内的温度分布, 以控制温度和进行热应力和热变形的计算等, 如内燃机活塞温度分布的问题。

传热过程分为稳态过程和瞬态过程两大类, 物体中各点的温度不随时间改变的热量传递过程称为稳态传热过程, 反之则称为瞬态传热过程。各种设备在持续稳定运行时的热传递过程属于稳态过程, 而在起动、停机和工况改变时的热传递过程则属于瞬态过程。

传热问题的基本分析方法为: 根据系统的传热特性选用相关的模型, 给定边界条件, 如果为瞬态问题, 则还必须给定初始条件; 利用各种手段, 包括数值方法对模型进行求解, 获得温度分布或热流分布; 对结果进行分析或利用结果进一步计算。

NX Master FEM 热分析模块可用于解决工程中的复杂传热问题, 主要包括两大部分: TMG 和 ESC。NX Master FEM TMG 是一个全面的传热仿真程序, 在工业中已经应用十多年, 它提供快速精确的方法求解复杂传热问题。NX Master FEM TMG 使用先进的有限差

分技术对热模型进行高效数值求解, 它可以模拟: 非线性和瞬态问题; 辐射和传导; 流体流动、相变和自然对流、受迫对流; 卫星轨道和太阳加热; 发动机本体的导热; 轨道卫星的传导和辐射; 带翅片的散热器的对流冷却; 半导体材料的辐射加热和熔解及其他问题。NX Master FEM ESC 软件是为模拟在电子系统中三维空气流动和热行为而设计的。用 NX Master FEM ESC 可模拟: 单独的元件; 多芯片模块; 散热片; PC 主板; 完整的电子系统。NX Master FEM ESC 结合了强大的计算流体力学 (CFD) 和先进的热求解技术。其中 CFD 求解技术具有以下求解能力: 基于单元的非结构有限容积法; 三维流体流速、温度和压力; 湍流模拟。而热求解技术则包括: 基于有限差分控制容积方法; 各向同性/正交各向异性的传导模拟; 表面辐射; 在不相连的网格之间创建热通路的热耦合技术。

本书分为三个部分: NX Master FEM 基础篇、TMG 热分析篇和电子系统冷却 (ESC) 篇, 以下分别介绍各篇的主要内容。

(1) NX Master FEM 基础篇

NX Master FEM 基础篇介绍了 NX Master FEM 基本功能的使用方法和有限元分析的基本过程和手段。前者包括工作的组织方法和一些基本工具, 如图标、功能键、表格、动态导航器、组及选择性过滤器等的使用。后者则介绍了为有限元分析创建和准备零件的方法, 网格划分的基本概念、手段和一些特殊技巧、后处理的基本工具和技巧及结果显示器的使用。这些内容大体为使用 NX Master FEM 进行有限元分析的通用基础知识。

(2) TMG 热分析篇

本篇首先介绍 NX Master FEM 热分析模块 TMG 界面的使用方法, 以及建模、定义各种边界条件、求解及对结果的分析处理等内容。

随后介绍了 TMG 模块建模的两个重要工具: 图元和热耦合。图元是一个 TMG 实体, 它根据几何排列 (箱体、圆柱体等)、位置、朝向、属性、尺寸及其他特征定义一个二维的单元集。TMG 提供了在模型中方便地创建和定位图元的工具。可以用 Model Manager (模型管理器) 修改、复制和删除图元。组成图元的单元在创建时自动组合, 使得易于使用标准的 NX Master FEM 工具操作它们。热耦合 (Thermal Couplings) 是 NX Master FEM TMG 提供一种独特的功能, 可用于创建从一个单元集到另一个单元集的热通道。热耦合 (接触面类型耦合除外) 是创建热模型的强大工具, 可在不相似的单元网格之间创建热通路 (Heat path), 可节约大量建模时间, 它具有以下功能: 可以精确模拟热效应而不必创建有限元网格; 不匹配的网格之间的耦合可使得零件网格的划分变得简单快捷; 可直接模拟表面传热, 如对流和辐射。

NX Master FEM TMG 提供了三种传热模式: 传导、对流和辐射进行建模的工具。

在 NX Master FEM TMG 中有两种计算导热的方法: 单元重心 (Element CG) 法和单元中心 (Element Center) 法。其中单元重心法是默认的方法, 它采用有限容积格式, 计算点建立在单元的重心和每个边界的中心。该方法有许多优点, 较为突出的是精度高、易于对随温度变化的物性建模、处理正交各向异性的先进方法及对单元变形的敏感程度低等。单元中心法则是一种简化的导热计算方法, 其计算点位于各边中垂线的交点, 对几何形状规则的单元具有较快的计算速度。在 TMG 中, 对于具有不均匀温度梯度的薄材料, 如多层隔热, 可用多层二维单元构建其简明而精确的模型。

利用 NX Master FEM TMG 可方便地对管道网路进行模拟,使用的技术包括用曲线定义管道路径;用梁单元定义管道横截面;在梁单元上定义管道特性,如压头损失(Head Loss)、管道摩擦(Duct Friction)、流动截面(Flow Section)、锥形过渡流道(Taper Across Branch)、边界层起始点(Boundary Layer Start);使用 Fan/Pump... (风扇/泵...) 为具有 TMG 流体性质的梁单元赋予流动参数,如流动速度、体积流率、质量流率及压力升高等;创建任意数量的 Inlet/Outlet (进口/出口) 实体,为管道网路的自由端赋予环境温度和压力值。

NX Master FEM TMG 为在流体网路和固体模型之间创建受迫对流耦合提供了工具,而且 TMG 可自动计算从固体模型到流体的自然对流换热系数。在建立流动模型之后,需要为模型指定环境条件,如环境温度,周围环境的材料及重力矢量的方向。

TMG 的辐射模拟功能基于所有辐射单元之间的视角系数(也称为形状系数)的计算。它利用这些系数和表面辐射性能计算辐射传热。在 TMG 中只有表面单元(壳单元、具有非零周长的梁单元、具有非零面积的集总质量单元)能够参与辐射。TMG 中嵌入了两种用黑体视角系数计算辐射换热矩阵的算法:奥本海姆(Oppenheim)方法和哥布哈特(Gebhardt)方法。奥本海姆(Oppenheim)辐射算法涉及将表面之间的辐射换热描述成由表面辐射势方程导出的项的热网络。哥布哈特(Gebhardt)方法基于灰体视角系数的概念,“灰”体均匀的反射所有波长的能量。奥本海姆(Oppenheim)方法的方程体系较哥布哈特(Gebhardt)方法的易于求解且可以对随温度变化的发射率建模,这是推荐使用的方法。

NX Master FEM TMG 能够通过辐射加热(Radiative Heating)模拟诸如灯或灯丝之类的辐射热源。辐射源可以发射漫射、太阳直射或红外光谱辐射流。在室外应用中,太阳能加热有可能成为检测一个产品热特性的主要因素,TMG 提供了对此进行模拟的工具。TMG 辐射工具还能够对在运行轨道上受到变化的太阳辐射热负荷的卫星进行模拟。

利用 TMG 求解器可以求解模拟稳态或瞬态条件下的温度响应的热模型,它提供了对稳态和瞬态求解的各种计算参数的设定工具。除了热模型的温度结果外,TMG 还提供了热流、视角系数的和、质量流率等结果。

在模型中建立边界条件的另一种方法是使用 NX Master FEM 边界条件任务,这是一种基于几何图形创建边界条件的方法。使用 NX Master FEM 边界条件任务比使用 TMG 边界条件有两个明显的优点:①可利用数据面定义随空间变化的边界条件;②绝大部分边界条件可以直接在几何图形上创建(不必创建几何图形组)。有三种类型的边界条件可以用边界条件任务在几何图形上建立:Heat Flux (热流密度)、Heat Source (热源)和 Temperature Restraint (温度限制)。

(3) 电子系统冷却(ESC)篇

NX Master FEM Electronic System Cooling (ESC 电子系统冷却)使用三维单元模拟流体材料,它提供了许多用于模拟热和流动现象的工具。在求解时,ESC 同时构建一个导热/辐射模型和一个流体流动模型,它们由耦合求解器(Coupled Solver)控制,同时被求解。ESC 还可以模拟分离区域的不混合的多种流体。

本篇首先介绍流动建模和热建模的方法,包括流动和热边界条件的建立。流动表面

(Flow Surfaces) 是流动建模的一个非常重要的概念, 它可用于对诸如 PC 板、机壳壁及组件之类的热模型表面的对流建模, 具有以下特征: 流动表面是流体不能穿过的表面; 流动表面可以与流体之间进行对流换热; 表面的性质包括表面粗糙度及对流的形式。流动边界条件的定义则有以下内容: 定义风扇 (Fans) 和通风孔 (Vents); 定义障碍物 (Blockages)、屏障 (Screens) 和散热片 (Heat Sinks); 定义环境条件 (Ambient Conditions); 定义对称平面 (Symmetry Planes)。热边界条件包括以下内容的定义: 温度; 总的热负荷; 热流: 壳单元单位面积上的热量; 热产: 体积或表面的单位容积内的热量 (表面的体积: 面积 $\times$ 壳单元厚度); 对流: 换热系数和环境温度; 辐射: 视角系数和环境温度。

NX Master FEM ESC 模型的求解和结果的生成与后处理与 TMG 基本相似, 只是在一些细节上略有不同。在 ESC 中有两个求解器: 流动求解器和热求解器, 两者可分别求解也可进行耦合求解, 进行耦合求解时, 在对流壁面处, 热求解器把热边界条件传递给流动求解器, 流动求解器把流动条件传递给热求解器, 以计算对流壁面上的热量传输系数的新值。

自由网格划分通常是创建节点和单元最快速的方法, 但是, 对于特殊的网格划分技术来说需要使用手动方法, 该方法的主要技术包括如何通过手动创建节点和单元, 通过拉伸 (Extrusion) 创建节点和单元。

第 34 章主要介绍了几个高级建模主题, 包括湍流建模, 自然对流建模, 松弛因子的设定及平流求解格式。在电子设备内的空气流动一般都是湍流, 即使在雷诺数 Re 很低的情况下也是如此。对于电子设备来说, FTV (Fixed Turbulent Viscosity) 模型是一个很好的假设; 混合长度 (Mixing Length) 模型比 FTV 模型更精确, 求解时间比 K-E 模型少; K-E 湍流模型可以改进 FTV 湍流模型的结果, 但可能需要更细的网格, 如果使用 K-E 湍流模型, 则必须使用物理时间步长, 同时 K-E 湍流建模会增加求解时间。

第 35 章介绍如何设置热和流动的瞬态分析的边界条件、时间步长和结果。

第 36 章介绍了在建模时常犯的错误及如何避免和诊断问题。

本书编译者分工如下: 叶宏编译了第 12~14 章、第 16 章、第 20~25 章、第 28~30 章及第 35 章共 14 章; 焦冬生编译了第 9~11 章、第 17~19 章共 6 章; 徐斌编译了第 4~8 章共 5 章; 庄双勇编译了第 1~3 章、第 15 章、第 26 章和第 27 章共 6 章; 杨泰蓉编译了第 31~34 章和第 36 章共 5 章。全书由叶宏统稿。

由于编者水平有限, 书中难免有不妥之处, 恳请读者批评指正。

本书的编译和出版工作得到美国通力有限公司上海代表处马兴国先生的大力支持, 在此表示感谢。

编 译 者
2005 年 6 月

目 录

第 1 部分 NX Master FEM 基础篇 1

第 1 章 NX Master FEM 入门 1

1.1 概述	1
1.2 NX Master FEM 是什么	1
1.3 NX Master FEM TMG 简介	2
1.4 什么是 NX Master FEM TMG	2
1.5 NX Master FEM TMG 能做什么	2
1.6 TMG 模拟流程图	3
1.7 TMG 与 NX Master FEM ESC 的 接口	3
1.8 NX Master FEM ESC 简介	4
1.9 什么是 NX Master FEM ESC	4
1.10 ESC 模拟流程图	4
1.11 使用 NX Master FEM 启动表	5
1.12 使用鼠标选择实体	6
1.13 选择图标或菜单	6
1.14 通用图标	7
1.15 使用表格	8
1.16 借助动态导航器创建几何图形	8
1.17 通过截面创建实体	8
1.18 使用不同的视图模式	9
1.19 使用功能键实现动态显示	10
1.20 使用选择过滤器	10
1.21 组织工作	11
1.22 在获取帮助前先寻找线索	11
1.23 使用快速跟踪	12
1.24 使用指南学习 NX Master FEM	12
1.25 在线指导: 快速提示	13

第 2 章 零件设计基础 14

2.1 概述	14
2.2 一些定义	14

2.3 基本零件设计概览	15
2.4 为什么要创建零件	15
2.5 使用工作平面	16
2.6 在平面上绘图	17
2.7 使用三步造型法	17
2.8 画草图和标尺寸	18
2.9 动态导航器如何帮助绘图	18
2.10 控制几何约束	19
2.11 控制动态导航器	19
2.12 添加和删除约束	20
2.13 添加约束	20
2.14 添加尺寸	20
2.15 修改尺寸	21
2.16 在一定位置上绘图	22
2.17 拉伸截面	22
2.18 拉伸特征	23
2.19 为零件输入名称和编号	23
2.20 什么是历史树	24
2.21 访问零件的历史	25
2.22 使用历史访问表	25
2.23 显示选择对象的规则	26
2.24 使用选择过滤器	27
2.25 使用区域选项	27
2.26 修改尺寸的外观	28
2.27 预选和后选	28
2.28 如何更简单地从图形窗口中选 择实体	29
2.29 在线指导: 画草图和加约束	29
2.30 在线指导: 拉伸和旋转特征	30

第 3 章 网格划分简介 31

3.1 概述	31
3.2 使用有限元分析法	31

3.3 有限元是什么	31	5.7 什么是构造操作	52
3.4 区域离散化	32	5.8 引入相关性	53
3.5 控制容积方法	32	5.9 相关性的类型	54
3.6 有限差分的公式	33	5.10 倒棱角	54
3.7 创建有限元模型	33	5.11 使用零件目录	54
3.8 单元类型	34	5.12 使用阵列	55
3.9 指定零件的材料	34	5.13 创建矩形阵列	56
3.10 材料类型	34	5.14 创建环形阵列	56
3.11 定义材料性质	36	5.15 创建特征阵列	57
3.12 创建材料	36	5.16 具有可变参数的阵列	57
3.13 物理性质表	36	5.17 添加参考平面	58
3.14 创建物理性质表	37		
3.15 修改物理性质	38	第 6 章 零件修改与管理	59
3.16 自由网格划分概览	39	6.1 概述	59
3.17 创建自由网格	39	6.2 修改尺寸	59
3.18 自由划分表面网格	40	6.3 修改特征参数	60
3.19 网格划分预览	40	6.4 修改截面	61
3.20 什么是组	41	6.5 删除特征	61
3.21 使用几何图形组	42	6.6 重现逐步更新过程	62
3.22 创建和显示组	42	6.7 更新有限元模型	63
3.23 选择需要的单元	43	6.8 在工作台和抽屉之间迅速移动零件	63
第 4 章 后处理简介	44	6.9 删除零件	64
4.1 概述	44	6.10 复制零件	64
4.2 后处理概览	44	6.11 复制与零件相关的有限元模型	64
4.3 加载结果	45	6.12 在线指导: 修改特征	65
4.4 选择数据结果	45		
4.5 用温度等值线评估结果	46	第 7 章 使用 NX Master FEM Library	
4.6 对所需的单元进行后处理	47	和 FE Studies	66
4.7 创建显示模板	47	7.1 概述	66
4.8 TMG 结果数据集	48	7.2 使用各种数据存储器	66
第 5 章 创建零件	49	7.3 什么是项目	66
5.1 概述	49	7.4 什么是模型文件	67
5.2 调整和拖动	49	7.5 什么是抽屉	67
5.3 处理未被全约束的几何图形	49	7.6 模型文件和零件库的区别是什么	68
5.4 使用拉伸选项	50	7.7 为何要使用零件库	68
5.5 旋转零件	51	7.8 给零件命名并将其保留在工作台上	68
5.6 选择旋转选项	51	7.9 与工作组内其他成员共享零件	68
		7.10 把零件放进库中的选项	69
		7.11 从库中取出零件	70

7.12 什么是 FE STUDY	71	9.13 删除网格	89
7.13 FE Studies 管理	71	9.14 使用梁单元网格	90
7.14 替换材料和物理性质	71	9.15 创建梁截面	91
7.15 替换整个模型中的性质	72	9.16 用自由网格划分定义梁单元	91
7.16 替换模型的部分性质	73	9.17 在单元上定义梁截面	91
7.17 检查当前 FE Study 的性质	74	9.18 生成梁单元网格	93
7.18 使用 FE Studies	74	第 10 章 网格质量检查	94
7.19 当前 FE Study 设置	74	10.1 概述	94
7.20 FE Studies 的优选项	75	10.2 质量检查概览	94
7.21 选择结果	75	10.3 壳单元网格的质量检查	94
第 8 章 为有限元模型准备零件	77	10.4 检查变形和拉伸	95
8.1 概述	77	10.5 检查变形和拉伸的四边形壳单元	95
8.2 为有限元模型准备零件过程概览	77	10.6 检查扭曲	96
8.3 抑制特征	77	10.7 检查重合节点	97
8.4 创建表面	79	10.8 检查重合单元	98
8.5 修整表面	79	10.9 检查单元的自由边	98
8.6 检查表面的自由边	79	10.10 检查单元法线的一致性	98
8.7 缝补表面	80	10.11 检查变形和拉伸的四面体	99
8.8 零件分区	80	10.12 “门铰链”单元	100
8.9 用 Extrude 命令为零件分区	81	第 11 章 高级网格划分	101
8.10 轴对称模型	81	11.1 概述	101
8.11 创建轴对称线框模型	82	11.2 辅助建模技术概览	101
8.12 把线框附着在零件上	82	11.3 通过拉伸生成单元	101
第 9 章 网格划分	83	11.4 修改单元属性	102
9.1 概述	83	11.5 修改网格划分定义	103
9.2 权衡模型规模和求解时间	83	11.6 修改单元的物理性质	103
9.3 用自由网格划分实体单元	84	11.7 修改单元的材料性质	103
9.4 指定局部单元的尺寸	84	11.8 随温度变化的材料性质	104
9.5 单元信息	85	11.9 创建物性随温度变化的材料	104
9.6 映射网格划分和自由网格划分	85	11.10 正交各向异性材料	106
9.7 使用映射网格划分	86	11.11 定义正交各向异性材料	106
9.8 在表面上定义映射网格划分	86	11.12 正交各向异性材料的方向矢量	107
9.9 在多于四条边的面上进行映射 网格划分	87	11.13 辐射表面的性质	108
9.10 在体中定义映射网格划分	87	11.14 单元显示选项	108
9.11 为体设置映射网格划分的选项	88	11.15 将两个 FE 模型合并	108
9.12 对 N 面体进行网格划分	89	第 12 章 后处理	110

12.1	概述	110
12.2	显示设置	110
12.3	设置计算范围	111
12.4	单元显示	111
12.5	设置数据范围	111
12.6	利用探针显示模型中特定点 的结果	112
12.7	数据评估	113
12.8	结果的动画显示	114
12.9	显示箭头图	114
12.10	结果的曲线图	115
12.11	选择要画曲线图的实体	115
12.12	创建图形文件	116
第 13 章	NX Master FEM 结果显示器	117
13.1	概述	117
13.2	创建显示	117
13.3	显示设置	118
13.4	选择结果	118
13.5	将结果写入电子数据表	119
13.6	色条	120
13.7	等值线、单元及箭头显示	121
13.8	显示模式	121
13.9	定义剖面	122
13.10	ISO 光标显示	123
13.11	结果的动画显示	123
13.12	显示的优选项	124
13.13	打印结果	124
第 14 章	组和显示	126
14.1	概述	126
14.2	创建选项	126
14.3	选择想要的单元	126
14.4	显示选项	127
14.5	显示相邻实体	127
14.6	在组表中操作组	128
14.7	使用快速过滤器	128
14.8	选择组	129
14.9	使用布尔组	129

第 2 部分 TMG 热分析篇 131

第 15 章 NX Master FEM TMG 简介 131

15.1	概述	131
15.2	TMG 任务栏	131
15.3	实体管理	132
15.4	基于实体绘制几何图形	133
15.5	通用的单元选择方法	134
15.6	与辐射相关的实体的单元选择	134
15.7	热传导建模	134
15.8	施加边界条件	135
15.9	热边界条件	135
15.10	热负荷边界条件	136
15.11	单元热流密度	136
15.12	对流和辐射边界条件	137
15.13	电压和电流边界条件	137
15.14	珀耳帖制冷器边界条件	138
15.15	恒温器	139
15.16	创建表格定义因变量	139
15.17	其他因变量边界条件	140
15.18	对流边界条件	141
15.19	辐射边界条件	141
15.20	模型的求解	141
15.21	检查结果	141

第 16 章 图元 143

16.1	概述	143
16.2	图元概览	143
16.3	创建图元	143
16.4	设置图元的位置	144
16.5	指定点和参数	145
16.6	合并点以模拟热传导	145
16.7	利用热耦合模拟热传导	146
16.8	利用 Solid from Shell 技术为 图元划分网格	146
16.9	输入和输出图元	147

第 17 章 热耦合 148

17.1	概述	148
------	----------	-----

17.2 什么是热耦合	148	19.8 使用瞬态分析参数	165
17.3 使用热耦合	148	19.9 瞬态积分控制方法	167
17.4 理解热耦合	149	19.10 周期性收敛	167
17.5 理解热耦合: 主单元的选择	149	19.11 求解方法	167
17.6 理解热耦合: 特殊形状	150	19.12 Jacobi 求解器选项	169
17.7 理解热耦合: 消除板内假导热	150	19.13 求解器高级选项	169
17.8 理解热耦合: 网格尺寸	151	19.14 流动选项	170
17.9 创建热耦合	151	19.15 初始条件	170
17.10 热耦合的单元类型	152	19.16 创建初始温度	171
17.11 热耦合类型	152	19.17 使用再次计算控制	171
17.12 热耦合的性质	153	19.18 确定 $RC_{\min}$ 的技巧	172
17.13 变化的热耦合	153	19.19 瞬态分析总结	173
17.14 非几何单元	154	第 20 章 结果	174
17.15 创建非几何单元	154	20.1 概述	174
17.16 使用非几何单元	154	20.2 结果数据类型的选项	174
17.17 特殊的非几何单元	155	20.3 验证结果	175
17.18 热耦合例 1: 粘接连结	155	20.4 生成单元或组报告	176
17.19 热耦合例 2: 电路板插槽	155	20.5 生成单元报告	176
17.20 热耦合例 3: 螺栓接口	156	20.6 生成组报告	176
17.21 热耦合例 4: 蜂窝结构板上 的多层辐射隔热	157	20.7 结果报告器	177
17.22 热耦合总结	158	第 21 章 辐射	179
第 18 章 热传导建模	159	21.1 概述	179
18.1 概述	159	21.2 辐射概览	179
18.2 TMG 热传导求解法	159	21.3 辐射建模	179
18.3 用 CG 法计算的温度结果	159	21.4 适用于辐射的单元类型	180
18.4 单元 CG 法的优点	160	21.5 发射率和逆侧发射率	181
18.5 单元 CG 和单元变形	160	21.6 显示单元的正侧	182
18.6 多层壳单元	161	21.7 选择用于辐射的单元	182
第 19 章 使用求解器	162	21.8 辐射理论简介	183
19.1 概述	162	21.9 理解黑体视角系数	183
19.2 TMG 求解器概览	162	21.10 阴影检查	184
19.3 模拟设置	162	21.11 单元子划分	185
19.4 稳态分析的参数设置	164	21.12 Hemicube 算法	185
19.5 使用稳态分析参数	164	21.13 创建辐射模型	185
19.6 瞬态分析的概念	165	21.14 腔体	186
19.7 瞬态分析的参数设置	165	21.15 创建辐射请求	186
		21.16 辐射请求类型	187