

<<COMSOL Multiphysics >

图书基本信息

书名：<<COMSOL Multiphysics工程实践与理论仿真>>

13位ISBN编号：9787121185816

10位ISBN编号：7121185814

出版时间：2012-10

出版时间：电子工业出版社

作者：王刚，安琳 编著

页数：200

字数：254000

版权说明：本站所提供下载的PDF图书仅提供预览和简介，请支持正版图书。

更多资源请访问：<http://www.tushu007.com>

前言

序 多物理场仿真——科研创新的新契机 如果纵览整个物理学发展史，不难发现物理学的发展就是数学方法的发展，物理问题的研究一直和数学密切相关。

作为近代物理学始点的牛顿力学中，质点和刚体的运动用常微分方程来刻画。

在18世纪中期，牛顿力学的基础开始由变分原理所刻画，这又促进了变分法的发展。

变分法的发展成熟，对自18世纪以来的物理学有着深刻的影响，在连续介质力学、传热学和电磁场理论中，人们归结出许多偏微分方程，今天我们把它们通称为数学物理方程（也包括有物理意义的积分方程、微分积分方程和常微分方程），并且成为数学物理的主要内容。

此后，为了满足等离子体物理、固体物理、非线性光学、空间技术、核技术等方面的需要，又有许多新的偏微分方程问题出现，例如孤子波、间断解、分歧解、反问题等等。

它们使数学物理方程的内容进一步丰富起来。

不管你是否意识到，数学方法的发展正在改变着我们认识这个世界的方式。

一直以来，我们习惯把自然界的各种现象划分清晰的学科领域来进行研究。

这种思维方式的形成很大程度上是由于人类研究物理现象的手段仍然十分有限。

要借助有限的数学方法对自然界的各种现象进行研究，简化是必要的，这就是“单物理场”分析的思路。

比如我们在连续介质力学计算中可以使用Navier-Stokes方程，解决大部分的流体问题；借助对流扩散方程，解决物质运移或者热量传递；借助麦克斯韦方程组，解决电磁场的问题。

是的，我们用“简化”，建立了单物理的认识体系。

然而自然界本身，客观上是以极其复杂的状态存在的——各种物理过程相互影响，错综复杂。

在数学方法不够发达的时代，我们没有办法综合考虑这些复杂过程；今天数学方法已经极为丰富，于是人们已经可以联立偏微分方程组，从多物理的角度重新认识这个世界。

例如，今天我们都已知道流体的流动会导致热量的传递。

流体的流动路径对热量传递有很大影响，动量传递会影响到能量传递。

从简化的角度，我们可以先解决流体问题，然后预测流体中的热量传递，这就是所谓的单向耦合，一个物理场单向影响另一个物理场，而不受到反向影响。

然而，如果流体的密度和粘度依赖于温度而变化，就必须同时求解热量传递和动量传递，这些物理过程相互影响，使得方程变成双向耦合的偏微分方程组，这种耦合也称为强耦合。

流固耦合问题是另一种典型的例子。

例如，人体心脏瓣膜是一种弹性体，流体的压力会导致瓣膜的运动，而反过来瓣膜也会改变血液流动的区域。

在气动弹性力学领域，飞机机翼由于受到气流压力的波动而开始振荡，而机翼的振荡又会导致周围气流的周期性压力波动。

这些都是强耦合的情况。

再比如电磁场分析。

单物理分析，欧姆定律使用电压和电阻来定义电流。

然而超导现象使人们认识到传统认识的局限，转而在用磁场定义电流。

今天，电磁相互依存早已成为共识。

实际的情况往往更复杂。

例如半导体仿真考虑载流子在电场作用下的对流扩散，同时产生焦耳热。

热膨胀导致的形变会对扩散过程产生影响。

实际上，材料的电导率、热导率、扩散率等特性通常也都具有热敏性。

众多因素综合起来，半导体分析也表现为典型的多物理场强耦合问题。

更比如磁流体、电流体、光化学反应、电化学反应、等离子体，地球科学，如此种种，不一而足。

这些多物理强耦合问题的出现，正说明我们正在重新认识这个世界，以一种更为深刻、更为贴近自然本质的方式。

在牛顿和爱因斯坦把经典物理学的大厦描绘得无比辉煌的20世纪30年代，人们觉得物理学的所有基本问题都已解决，物理学不会再有大的发展。

量子力学的诞生给我们打开的不是一扇窗，而是一次革命。

我们今天所经历的多物理分析，也是重新认识这个世界的一次革命，我们正在经历又一个科研创新的大发展。

回顾物理发展的这最近一百年，科研创新最为活跃的是1930年以后的这几十年。

而量子力学带来的大发展之后，交叉学科的兴起是目前最为耀眼的创新增长点。

交叉学科，或者说跨学科研究，正是人类改变科研思维方式的体现，我们不再愿意受到学科领域的局限，转而采用多物理的视角重新认识、重新发现。

今天，化学与物理交叉而成的物理化学或化学物理学（Physical Chemistry），研究化学热力学、催化、胶体与界面化学、光化学、电化学、有机固体、理论化学与化学信息学等等；生物与化学融合而成的生物化学或化学生物学（Biochemistry），利用化学合成中的方法来解答生物化学所发现的问题；物理与生物交叉而成的生物物理学（Biophysics），研究生物的物理特性，诸如光谱、成像、生物能、细胞、神经和信号传导、生物信息和生物统计等；化学、生物、医学、计算机、电子、物理、力学相互交叉融合而成生物医学工程（Biomedical Engineering），研究生物信息学、医学图像、图像处理、生物信号处理、生物力学、生物材料、系统分析、假体、医疗设备、诊断设备、成像设备、医用药品等等。

今天在Science和Nature上面，几乎所有的论文都来自这些交叉学科，在美国，这样的专业在加州大学伯克利分校、伊利诺伊香槟、加州理工、麻省理工、斯坦福、威斯康辛麦迪逊、加州大学洛杉矶分校、加州大学圣地亚哥分校、宾大、约翰霍普金斯大学等等著名院校都异常火爆。

如果你再翻看近年来美国科学院、美国工程院的院士增选，翻看近年来诺贝尔物理学奖、化学奖、医学奖的得奖名单，更会惊叹交叉学科的魅力。

我们正在经历新一轮物理大发展，我们正在重新认识这个世界——用多物理的方式。

更激动人心的是，全球范围内交叉学科的兴起只是最近30年的事；如果局限在国内，那是最近15年的事。

我们今天的科研环境充满了机会！

机会也意味着挑战！

多物理研究的复杂使得数值分析从来没有像今天这样重要。

当科技发展把我们带到多物理研究的轨道上来，传统的基于观察与实验的研究方法构建于简化与单物理分析的思维基础上，已经无法应对复杂的多物理相互作用。

越来越多的人发现获得实验结果有时并不困难，给出令人信服的理论解释才是真正的挑战。

不论是科学研究还是产品开发，实验研究与仿真技术的结合已经是大势所趋，而且数值仿真正在发挥越来越重要的作用。

本书是一本优秀的多物理场仿真技术入门读物，带领我们回顾了数理方程的基本理论的发展历程，并且对有限元求解方法的理论和实践做了深入浅出的讲解。

以这些理论知识为主线，本书以COMSOL Multiphysics仿真软件为平台，把单物理场仿真、多物理场弱耦合仿真和间接耦合分析方法、多物理场强耦合仿真和全耦合分析方法串连起来，揭示了这些仿真技术的本质和关键点。

这是一本入门级的教科书的读物，对希望了解、理解、掌握多物理场仿真技术的读者来说，这本书可以把零散的概念和片段式理解串联起来，形成系统化的多物理仿真知识体系，值得一读。

中科院院士 姚建铨 中仿科技（CnTech）公司 安琳 2012.8于北京

内容概要

本书介绍什么是数值模拟技术，以及数值模拟技术如何与工程科学相结合，解决实际的工程问题。

本书从数理方程的基本知识出发，介绍各种经典数理方程以及应用，进而介绍目前应用最广泛的矢量有限元数值方法。

接下来结合具体的工程问题从单物理场仿真、多物理场弱耦合仿真和多物理场强耦合仿真三个方面，解释实际问题如何抽象归结为合理的数学模型。

读者可以系统地理清工程物理的仿真思路，理解并习惯用工程物理仿真，也就是物理理论与工程实践相结合的思维方式去看待问题。

本书面向广大工程师，深入浅出地讲解有限元法及工程问题的多物理场仿真技术。

全书涉及实际工程问题的方方面面，包括声学、结构力学、流体力学、热量传递、质量运移、电磁场计算、化学反应工程分析等，是真正的多物理数值仿真的入门指导书。

作者希望通过本书，能让读者理解数值仿真技术的真谛，以及这些理论知识应该如何与实际相结合。

书籍目录

第1章 数理方程简述

- 1.1 数理方程
- 1.2 定解条件
- 1.3 常用算法
- 1.4 用COMSOL Multiphysics求解PDE
- 1.5 小结
- 1.6 练习题

第2章 初探有限元

- 2.1 有限差分法
- 2.2 微分方程的弱形式
- 2.3 一维有限元
- 2.4 二维有限元
- 2.5 二维有限元实例
- 2.6 单元类型

第3章 单物理场仿真

- 3.1 热传递现象：热传导
- 3.2 热传递现象：对流
- 3.3 热传递现象：热辐射
- 3.4 应用实例：搅拌摩擦焊接
- 3.5 小结
- 3.6 练习题

第4章 弱耦合的多物理场问题

- 4.1 什么是多物理场问题
- 4.2 多物理场弱耦合问题
- 4.3 微电阻梁案例的间接耦合求解法
- 4.4 微电阻梁案例的全耦合求解法
- 4.5 本章小结
- 4.6 练习题

第5章 强耦合的多物理场问题

- 5.1 多物理场强耦合问题概述
- 5.2 材料非线性的处理
- 5.3 几何非线性的处理
- 5.4 边界非线性的处理
- 5.5 本章小结
- 5.5 练习题

第6章 特征值分析

- 6.1 特征值问题的描述
- 6.2 振动特性的基本分析
- 6.3 特征值问题的计算
- 6.4 案例分析

第7章 COMSOL Multiphysics的高级功能

- 7.1 求解高阶偏微分方程
- 7.2 求解带积分的偏微分方程
- 7.3 多尺度耦合仿真分析
- 7.4 高级约束

7.5 随机参数

7.6 二次开发

7.7 自定义开发

章节摘录

版权页：插图：1.3.3有限体积法 有限体积法（Finite Volume Method），简称为FVM。

常用于计算流体力学，例如著名的Fluent、Star—CD等商用CFD软件，都是采用这种算法，见参考文献（7）。

有限体积法的基本思路，是将计算区域离散成为有限个不重复的控制体积，使每个网格节点周围有一个控制体积，假定解在网格点之间存在一定的变化规律，然后把待求解的偏微分方程对每个控制体积进行积分，从而得到一组离散的方程组。

从积分区域的选取方法来看，有限体积法属于加权残值法中的子区域法；从解的近似方法来看，有限体积法属于采用局部近似的离散方法。

有限体积法的基本思路易于理解，并能得到直接的物理解释。

其物理意义就在于，因变量在一个有限大小的控制体积中守恒，这一点就如同前面数理方程推导过程中提到的在无限小的体积微元中的守恒原理一样。

就离散方法而言，有限体积法可以看成是有限差分法和有限元方法的中间产物。

有限差分方法只考虑网格节点上的值，而不考虑节点之间的变化；有限元方法除了节点上的值，还必须假定节点之间的变化规律；有限体积法虽然只关注节点上的值，但是在进行控制体积上的积分时，需要假定节点之间的变化规律。

换言之，有限体积法中，插值函数只用来计算积分，得到离散方程后就可以忘掉。

有限体积法适合于计算流体力学，可以应用于不规则的网格，适于进行并行计算。

缺点在于，有限体积法是基于积分方程的思路推导出来的，因此一般情况下，受到积分的精度限制，有限体积法的总体精度最高只能达到二阶；此外，在不规则区域的适应性也较差。

1.4用COMSOL Multiphysics求解PDE 通过前面章节的描述，我们了解偏微分方程可以用来诠释物理问题，通过指定初始条件和边界条件，正确地描述出研究对象，接下来要做的就是如何将这偏微分方程求解出来。

值得庆幸的是，我们找到了一种目前最得心应手的工具—COMSOL Multiphysics。

COMSOL采用有限元方法进行求解，预置了大量的物理场应用模式，最大特点是进行直接强耦合分析。

事实上，这些预置的物理场应用模式就是针对常见的物理现象，设定图形化接口，通过填空的方式，将正确的偏微分方程形式、初始条件以及边界条件输入到程序中，然后程序在后台进行处理和求解，并将结果经过处理图形化地呈现在我们眼前。

除此之外，COMSOL Multiphysics还提供三种自定义偏微分方程应用模式：系数型、广义型和弱解型，其中弱解型还包括求解域和边界模式。

当预置的物理场应用模式满足不了需求时，就可以用这些自定义偏微分方程应用模式求解各种二阶偏微分方程。

版权说明

本站所提供下载的PDF图书仅提供预览和简介，请支持正版图书。

更多资源请访问:<http://www.tushu007.com>