

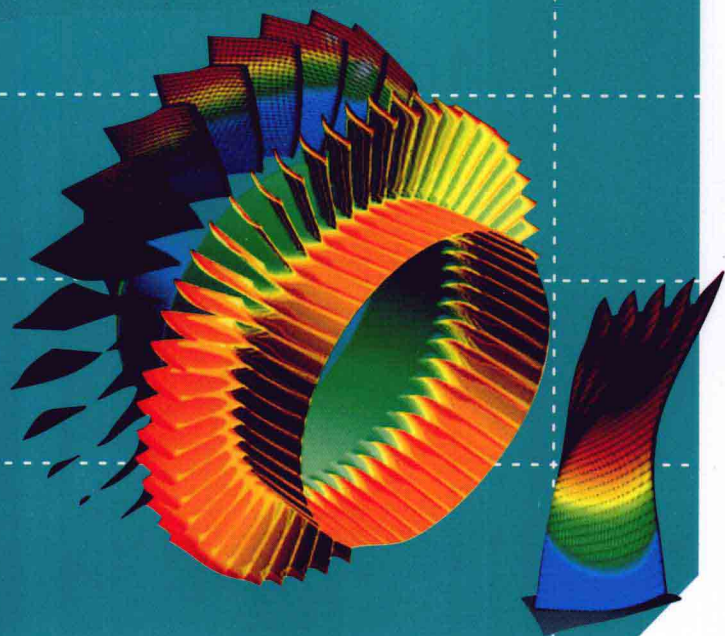


ANSYS CFX

对流传热数值模拟

基础应用教程

孙纪宁 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

ANSYS CFX 对流传热数值 模拟基础应用教程

孙纪宁 编著

国防工业出版社

北京·(010)88411332·发行部
北京·(010)88411332·发行部
北京·(010)88411332·发行部

图书在版编目(CIP)数据

ANSYS CFX 对流传热数值模拟基础应用教程 / 孙纪宁
编著. —北京:国防工业出版社,2010.4
ISBN 978-7-118-06787-3

I. ①A… II. ①孙… III. ①对流传热-数值模拟-应
用软件,ANSYS CFX-教材 IV. ①TK124-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 046614 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)
国防工业出版社印刷厂印刷
新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$ 字数 316 千字
2010 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 46.00 元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422 发行邮购:(010)68414474
发行传真:(010)68411535 发行业务:(010)68472764

前言

计算流体力学(CFD)从20世纪60年代开始发展,具有40多年的历史。最初,它是科学家们对自然界中的基本流动和传热现象进行研究的科研工具,只存在于象牙塔中。经过20年的发展,这一技术开始成熟,它的应用领域也逐渐从最基本的流动和传热现象扩展到比较复杂的工程问题。然而,CFD程序要求使用者具有较深厚的流体力学和传热学等理论知识以及高等数学、数值算法等数学知识,这使它无法成为普通流体工程师可以掌握的工具。从20世纪70年代末、80年代初开始,在商业市场的推动下,这一技术开始被商业化,商用CFD软件开始出现。

商用CFD软件的特点是技术成熟,软件界面友好、简便。商用CFD软件采用的流体理论和数值算法一般都经历过长期的科学论证,这一论证时间通常都要在10年左右。所以从流体理论和数值算法上看,商用CFD的技术不属于前沿研究课题。对商用CFD软件,我们的态度是使用成熟的流体理论和数值算法,解决前沿的应用课题。

当前,商用CFD软件市场一片繁荣。国内市场上比较常见的软件包括Fluent、CFX、Star-CD、Phoenix、CFD-ACE+、CFD++等。大批的流体工程师和科研人员正在应用这些软件解决现实工程问题,还有更多的流体工程师正在学习这些软件,期望能在将来的研究中应用CFD这一工具。

目前,一些商用CFD软件的学习者都是基于软件自带的培训教程学习CFD软件。这些培训教程的目的主要是为了介绍软件的各种功能,而不是教学习者如何解决某个专业问题。所以这类教程看完后,只了解了软件功能,对于如何解决本专业的某个具体问题,学习者仍然是一头雾水。

作为国内ANSYS CFX第一本教材,本书案例编排从对流传热专业角度出发,通过讲解典型传热问题的算例,让读者了解如何用CFX解决对流传热问题,同时学习CFX软件中求解对流传热问题相关功能的使用方法 & 技巧。

本书假设读者已学过计算传理学,了解质量守恒方程、动量守恒方程和能量守恒方程,通用型流体方程的四大项:非稳态项、对流项、扩散项和源项,离散的概念,离散方程的过程,离散后的非线性代数方程组的迭代求解过程,一般残差定义,知道结构化网格和非结构化网格的概念。

本书包括下列具体内容:

第1章,CFX软件简介。本章简单介绍CFX的主要功能,便于读者对CFX软件有一个宏观了解。

第2章,CFX软件结构。CFX不是在一个软件界面下完成全部功能,而是一个软件包。本章介绍CFX软件包内的具体程序模块及相应功能。

第3章,对流传热基本求解过程。通过管道内的流体将热量带走,是对流传热的一个

常用手段。本章讲解一个内冷换热回转通道的计算过程,从一个已有的几何模型开始,到得到最终的计算结果。本章涉及到的知识包括四面体网格生成、设置求解条件、启动求解器、查看计算结果。

第4章,边界层网格。众所周知,壁面边界层内的法向速度梯度大,温度梯度也大,壁面附近是流动阻力和热流的密集区域,是保证总体计算结果准确的关键区域。因此壁面附近的边界层网格对于对流传热过程至关重要。本章以第3章的对流传热过程为例,讲解如何生成边界层网格。

第5章,六面体网格。前面章节全部的计算都是以四面体网格为基础的。通常认为,相比四面体网格,六面体网格在计算速度、收敛性方面都具有一定的优势,所以划分六面体网格是对流传热计算专业人员必不可少的技能。本章将在前面章节介绍的叶片简单内冷通道计算的基础上,用六面体网格重新对该问题进行计算,讲解基本的六面体网格生成过程。并讲解一个圆弧回转通道的拓扑划分技巧,以增强读者对六面体网格生成过程的印象。

第6章,网格无关解。通过对第3、4章的介绍,我们已经知道了边界层网格,但边界层不是保证计算结果的准确性的,只是让我们用尽量少的网格来获得尽量精确的解。提高计算精度的终极方法仍然在于增加网格数量。人们在计算实践中发现,对同一个问题,如果不断增加网格数量到某一数值后,再增加网格数量,计算结果变化将越来越小甚至不再变化。此时的解人们称为网格无关解。可以说,网格无关解是我们能获得的最精确的数值解。本章将通过一个具体算例讨论网格无关解的验证过程。

通过本书学习,读者将了解如何计算对流传热问题以及CFX软件的使用流程、基本参数含义和必要的应用技巧。通过课后实际操作练习文件,读者将能用四面体+边界层网格和六面体网格独立完成内冷传热通道对流传热过程的计算。

在之前的讲义初稿中,作者一直使用的是ANSYS CFX10.0版本界面的讲稿。为了使广大读者能学习到最新版本,安世亚太公司的杨振亚博士和赵亚辉经理为作者免费提供ANSYS CFX12.0的原版光盘和试用License,帮助作者得以顺利完成书稿的截图,在此表示由衷感谢!

另外,作者要感谢张奕欣女士和孙卿珊女士,正是在她们的建议和鼓励下,作者才鼓起信心,提笔开始本书的写作。还要感谢硕士生张传杰为本书的完成付出的大量时间和精力。

限于作者的经验和水平,书中难免出现错误,欢迎广大读者批评和指正。

孙纪宁

2009年于北京航空航天大学

sunjining@buaa.edu.cn

目 录

第 1 章 CFX 软件简介	1
1.1 发展历史	1
1.2 产品特点	1
1.3 主要求解功能	5
1.4 独具特色的前处理	6
第 2 章 CFX 软件结构	8
2.1 网格生成器	8
2.2 CFX 启动平台	9
2.3 前处理器	10
2.4 求解管理器	11
2.5 后处理器	12
第 3 章 对流传热基本求解过程	14
3.1 物理问题	14
3.2 导出几何文件	15
3.3 生成网格	16
3.3.1 导入几何文件	17
3.3.2 修复几何	24
3.3.3 面分组	24
3.3.4 创建 Body	32
3.3.5 设置全局网格	34
3.3.6 设置面加密网格	39
3.3.7 输出网格文件	44
3.3.8* ICEM 几何线和点的作用	46
3.4 前处理	50
3.4.1 导入网格文件	50
3.4.2 设置求解类型	55
3.4.3 创建求解域	57
3.4.4 设置边界条件	66
3.4.5* 编辑材料属性	74

3.4.6	设置求解参数	75
3.5	求解及求解监视	78
3.6	后处理	82
3.6.1	导入结果文件	82
3.6.2	创建切平面	84
3.6.3	创建速度矢量图	86
3.6.4	创建温度场云图和等值线图	88
3.6.5	创建动画	92
3.6.6	统计函数	96
第4章	边界层网格	100
4.1	打开四面体网格	100
4.2	生成边界层网格	101
4.3	在 CFX - Pre 中替换网格	106
4.4	设置单机并行计算	112
4.5	对比有、无边界层的计算结果	115
第5章	六面体网格	118
5.1	矩形截面直角回转通道	118
5.1.1	分块结构化网格、块拓扑和映射的基本概念	119
5.1.2	创建块拓扑	124
5.1.3	块特征(顶点、边)和几何特征(点、曲线)映射	132
5.1.4	设置网格分布参数	142
5.1.5	生成网格	149
5.2	矩形截面圆弧回转通道	156
5.2.1	块拓扑生成	156
5.2.2	Ogrid 概念及用途	160
5.2.3	块拓扑生成(续)	169
5.2.4	块特征(顶点、边)和几何特征(点、曲线)映射	173
5.2.5	设置网格参数及生成网格	180
5.2.6*	增加辅助线提高网格质量	182
5.3*	圆形截面圆弧回转通道(读者提高)	188
第6章	网格无关解	189
6.1	几何模型及物理问题	189
6.2	第一次网格及计算结果分析	190
6.3	无边界层网格计算结果对比分析	202
6.4	有边界层网格计算结果对比分析	206
6.5	计算结果和实验结果对比分析	209

第 1 章 CFX 软件简介

1.1 发展历史

CFX 是全球第一个通过 ISO9001 质量认证的大型商业 CFD(计算流体力学)软件,是英国 AEA Technology 公司为解决其在科技咨询服务中遇到的工业实际问题而开发的。诞生在工业应用背景中的 CFX 一直将精确的计算结果、丰富的物理模型、强大的用户扩展性作为其发展的基本要求,并以其在这些方面的卓越成就,引领着 CFD 技术的不断发展。目前,CFX 已经遍及航空航天、旋转机械、能源、石油化工、机械制造、汽车、生物技术、水处理、火灾安全、冶金、环保等领域,为其在全球 6000 多个用户解决了大量的实际问题。

回顾 CFX 发展的重要里程,总是伴随着它对革命性的 CFD 新技术的研发和应用。1995 年,CFX 收购了旋转机械领域加拿大著名的 ASC 公司,推出了专业的旋转机械设计与分析模块——CFX - Tascflow,该模块一直占据着 80% 以上的旋转机械 CFD 市场份额。同年,CFX 成功突破了 CFD 领域的在算法上的又一大技术障碍,推出了全隐式多网格耦合算法,该算法以其稳健的收敛性能和优异的运算速度,成为 CFD 技术发展的重要里程碑。CFX 一直和许多工业和大型研究项目保持着广泛的合作,这种合作确保了 CFX 能够紧密结合工业应用的需要,同时也使得 CFX 可以及时加入最先进的物理模型和数值算法。作为 CFX 的前处理器,ICEM CFD 优异的网格技术进一步确保 CFX 的模拟结果精确而可靠。

2003 年,CFX 加入了全球最大的 CAE 仿真软件 ANSYS 的大家庭中并正式更名为 ANSYS - CFX。ANSYS - CFX 的用户将会得到包括从固体力学、流体力学、传热学、电学、磁学等在内的多物理场及多场耦合整体解决方案。

1.2 产品特色

ANSYS - CFX 是全球第一个在复杂几何、网格、求解这三个 CFD 传统瓶颈问题上均获得重大突破的商业 CFD 软件,其特点如下:

1. 精确的数值方法

和大多数 CFD 软件不同的是,ANSYS - CFX 采用了基于有限元的有限体积法,在保证有限体积法的守恒特性的基础上,吸收了有限元法的数值精确性。

➤ 基于有限元的有限体积法,对六面体网格单元采用 24 点积分,而单纯的有限体积法仅采用 6 点积分。

➤ 基于有限元的有限体积法,对四面体网格单元采用 60 点积分,而单纯的有限体积法仅采用 4 点积分。

ANSYS - CFX 在湍流模型的应用上,也一直是业界领先的。ANSYS - CFX 的湍流模型开发者 Florian Menter 等人提出的 SST 湍流模型的优越性目前已被业界广泛认同。此外,ANSYS - CFX 最先开发了从层流到湍流的转捩模型(Transition Model)。

2. 快速稳健的求解技术

ANSYS - CFX 是全球第一个发展和使用全隐式多网格耦合求解技术的商业化软件,这种革命性的求解技术克服了传统算法需要“假设压力项—求解—修正压力项”的反复迭代过程,而同时求解动量方程和连续性方程。再加上其采用的自适应多网格技术,ANSYS - CFX 的计算速度和稳定性较传统方法提高了 1 个~2 个数量级。更重要的是,ANSYS - CFX 的求解器获得了对并行计算最有利的几乎线性的“计算时间—网格数量”求解性能,这使工程技术人员第一次敢于计算大型工程的真实流动问题。ANSYS - CFX 突出的并行功能还表现在它可以在混合网络上的 Unix、Linux、Windows 平台之间随意并行,而且其收敛曲线在单个 CPU 及多 CPU 计算时几乎完全一致。

3. 丰富的物理模型

ANSYS - CFX 的物理模型是建立在世界最大的科技工程企业 AEA Technology 50 余年科技工程实践经验基础之上,经过近 30 年的发展,ANSYS - CFX 拥有包括流体流动、传热、辐射、多相流、化学反应、燃烧等问题的丰富的通用物理模型;还拥有诸如气蚀、凝固、沸腾、多孔介质、相间传质、非牛顿流、喷雾干燥、动静干涉、真实气体等大量复杂现象的实用模型。

多相流: ANSYS - CFX 超过 20 年的多相流领域的经验,可以模拟多组分流动、气泡流、粒子流和自由表面流。粒子输运模型可以模拟连续相内的一个或多种粒子流。瞬态粒子追踪模拟能力,可以模拟火焰扑灭过程、粒子沉降和喷雾。粒子破碎模型可以模拟液体颗粒雾化,捕捉粒子在外力下的破碎过程,并考虑相间的作用力,壁面薄膜(Wall film)模型可以考虑颗粒在高温/低温壁面的反弹、滑移、破碎等现象。欧拉多相流模型可以很好地模拟相间动量、能量和质量传输,而且 ANSYS - CFX 中包含丰富的曳力及非曳力模型,全隐式耦合算法对于求解相变导致的气蚀、蒸发、凝固、沸腾等问题具有很好的健壮性。MUSIG 多尺度颗粒模型可以模拟颗粒在分散相多相流动中的破碎和合并行为。利用粒子动力学理论和考虑固体相之间的作用,可以模拟流化床内的流动。在旋转机械领域 ANSYS - CFX 一直拥有最丰富的模型材料库,平衡湿蒸汽和非平衡湿蒸汽模型可以准确预测汽轮机流动现象,丰富的真实气体模型可以准确预测各种非理想假设下的流动。

辐射: 广泛的辐射模型,从透明介质到参与辐射的非灰体介质。可用于多个领域,包括燃烧,加热,通风和固体之间的辐射。

燃烧: 不论在燃气轮机燃烧设计、汽车发动机燃烧模拟、膛炉内煤粉燃烧还是火灾模拟,ANSYS - CFX 都提供了非常丰富的物理模型来模拟流动中的燃烧和化学反应问题。ANSYS - CFX 涵盖从层流到湍流,从快速化学反应到刚性化学反应,从预混燃烧到非预混燃烧的问题。所有的组分作为一个耦合的系统求解。对于复杂的反应系统能够加速收敛。模型包括单步/多步涡破碎模型、有限速率化学反应、层流火焰燃烧模型、湍流火焰模型、部分预混 BVM 模型、修正的部分预混 ECM 模型,同时 NOx 模型、Soot 模型、Zimont 模型、废气再循环 EGR 模型、自动点火模型、壁面火焰作用(Quenching)模型、火花塞点火模型也包括在内。

湍流:大多数的工业流动都是湍流。ANSYS - CFX 确立了湍流模拟的典范。一系列 SST 模型,加上自动壁面函数方程使得随着网格的细化模拟更加精确。ANSYS - CFX 引入了第一个商业化运用的转捩模型(Transition Model)。SAS(Scale Adaptive Simulation)模型用于非稳态模拟,可以捕捉稳态无法捕捉的自然现象。

传热:固体和流体之间的传热在许多领域十分重要,ANSYS - CFX 使用最新的技术求解三维空间的包括固体区域传热的流动。隐式 GGI 界面算法(通用交界面方式)可以在分界面网格不匹配的情况下精确模拟流体、固体之间的耦合换热、辐射传热等复杂共轭传热问题。

多孔介质:真实多孔模型能够捕捉速度和压力在交界面上的不连续性,使用动量损失模型能够更精确的模拟。

动网格:如果流体模型包括几何运动,如转子压缩机、齿轮泵、血液泵和内燃机,就要求网格的运动。运动网格的策略涵盖了每个可以想得到的运动。特别是在流固耦合计算中涉及固体在流体中的大变形和大位移运动,ANSYS - CFX 结合 ICEMCFD 实现外部网格重构功能,用来模拟特别复杂构型的动网格问题并不会产生坏的网格单元,这种运动可以是指定规律的运动,比如汽缸的活门运动事件,也可以是通过求解刚体六自由度运动的结果,配合 ANSYS - CFX 的多构型(Multi-Configuration)模拟,可以方便处理活塞封闭和边界接触计算。而且对于螺杆泵、齿轮泵这种特殊的泵体运动,ANSYS - CFX 开发了独特的浸入固体方法(Immersed Solids)不需要任何网格变形或重构,采用施加动量源项的方法来模拟固体在流体中的任意运动。基于以上两种动网格策略,用户可以方便地解决任意复杂的动网格问题。

此外,ANSYS - CFX 为用户提供了从方便易用的表达式语言(CEL)到功能强大的用户子程序的一系列不同层次的用户接口程序,允许用户非常方便地加入特殊物理模型。

4. 领先的流固耦合技术

借助于 ANSYS 在多物理场方面深厚的技术基础,以及 ANSYS - CFX 在流体力学分析方面的领先优势,ANSYS + CFX 强强联合推出了目前世界上最优秀的流固耦合(FSI)技术。最新的双向 FSI 技术完整地考虑了结构和流场之间的相互影响。由于 ANSYS - CFX 采用基于有限元的有限体积法,使得流固耦合技术的开发和应用比其他 CFD 软件有着得天独厚的优势,ANSYS 公司近两年来大力开发的这一技术目前处于同类技术中的领先地位,流固耦合技术的应用范围非常广泛,比如生物医学(动脉血管)、航天航空(机翼颤振)、土木工程(结构风荷载)等。流固耦合技术在行业设计和生产中的重要性日益提高,使得设计师设计出来的产品材质更轻、使用更灵活、制造更容易,同时保证并提高了产品质量及可靠性。

流固耦合分析大体上分为单向耦合和双向耦合两种。ANSYS - CFX 流固单向耦合可以通过如图 1.1 所示的 T 形连接器的例子说明,流体流动使连接器内部产生温度梯度,从而引起明显的热应力。然而,由于结构变形很小,对流体的影响不大。因此,这就使得 CFD 求解和 FEA 求解独立进行,荷载数据由流体单向传递给结构。

在某些实际工况中,结构变形对流体产生的影响不可忽略,这就需要采用双向流固耦合技术。双向流固耦合的行业应用例子非常多,例如航空航天中的机翼颤振、汽车发动机罩的振动问题、建筑桥梁中的风荷载、生物医学中的血管血液流动等。诸如此类问题,



图 1.1 ANSYS - CFX 流固单向耦合

ANSYS 和 CFX 必须同步计算并且在两个求解器之间互相传递荷载数据。ANSYS 与 CFX 这种耦合方式的独特之处在于耦合过程中的数据交换是内部自动建立的,无需第三方的耦合软件。ANSYS 多物理场求解器提供了真正双向流固耦合技术,针对运动/变形几何体进行稳态和瞬态分析。图 1.2 采用双向流固耦合技术模拟动脉血管中血液流动的脉冲问题。生物医学通过这种无侵害研究方法能够更好地分析高血压产生机理,同时发觉一些潜在规律。

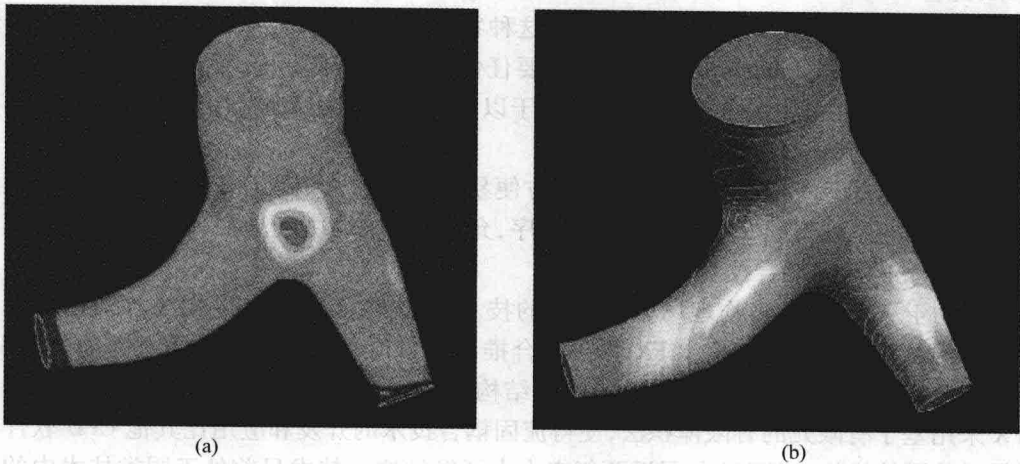


图 1.2 ANSYS - CFX 双向流固耦合
(a) CFD 计算肺动脉的压力分布; (b) 肺动脉的变形。

除了流固耦合外,ANSYS - CFX 还能和电场、磁场、声场等模块耦合计算,成为 ANSYS 多物理场中的主要模块之一。如图 1.3 所示为 ANSYS - CFX 和 SYSNOISE 耦合计算风扇噪声问题。

5. 集成环境与优化技术

ANSYS Workbench 环境提供了从分析开始到结束的统一环境,使用者的工作效率得以提高。在 ANSYS Workbench 环境下,所有的设置都是统一的,并且可以和 CAD 数据相关联,包括分析后对几何的修改,求解器参数,后处理的设置和用户自定义的表达式等。这样的技术可以对产品不同运行状态和不同设计的比较进行研究。参数化的几何与物理描述集成了自动化的性能计算方法,使得产品或过程的模拟快速建立。几何、网格、物理

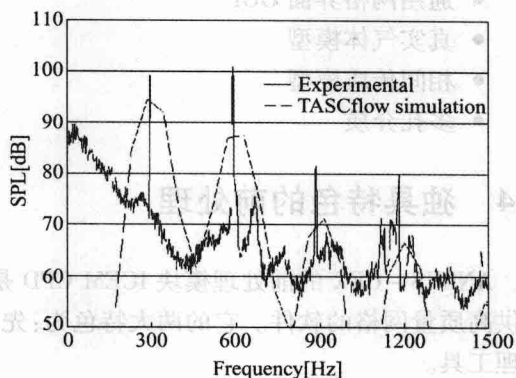
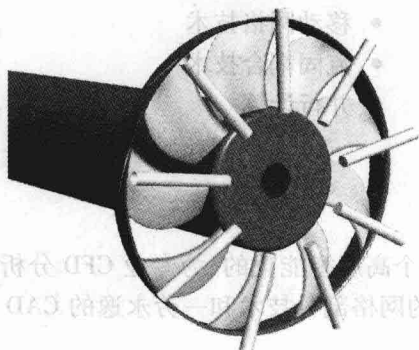


图 1.3 ANSYS - CFX 耦合计算噪声问题

的定义、求解和报告的产生都是基于用户的设置自动产生。设计和分析工程师可以用最短的时间建立物理原型,从而设计出更快更好的产品。现在,试验设计优化方法和稳健优化设计方法通过 ANSYS Design Xplorer 技术可以用于 CFD。

1.3 主要求解功能

- 求解四面体、六面体、棱柱体以及混合型的网格类型
- 不可压/可压流动——亚声速、跨声速、超声速流动
- 定常/非定常流动
- 层流/湍流
- 二维或三维流动
- 旋转坐标系
- 多重参考坐标系
 - Frozen Rotor
 - Stage
 - Transient Rotor/Stator
- 湍流模型
 - 零方程模型、一方程模型
 - $k - \epsilon$ 模型, RNG $k - \epsilon$ 模型
 - SST 模型
 - SAS 模型
 - $k - \omega$ 模型
 - 雷诺应力模型
 - DES
 - LES
- 转捩模型 (Transition Model)
 - 浮力驱动流
 - 非牛顿流
 - 化学反应动力学
 - 多组分流体
 - 多相流分析
 - 燃烧分析
 - 数值方法
- 基于有限元的有限体积方法
- 全隐式的耦合多重网格算法
- 传热
 - 黏性加热
 - 对流
 - 传导
 - 辐射传热
 - Monte Carlo 模型
 - Discrete Transfer 模型
 - P1 模型
 - Rosseland 模型
- 共轭传热
- 自由表面

- 通用网格界面 GGI
- 真实气体模型
- 相间传质模型
- 多孔介质

- 网格自适应
- 移动网格技术
- 流固耦合技术
- 并行计算

1.4 独具特色的前处理

ANSYS - CFX 的前处理模块 ICEM CFD 是一个高度智能化的、为专业 CFD 分析软件提供高质量网格的软件。它的两大特色为:先进的网格剖分技术和一劳永逸的 CAD 模型处理工具。

1. 先进的网格剖分技术

在 CFD 计算中,网格技术是影响求解精度和速度的重要因素之一。ANSYS - CFX 的前处理模块 ICEM CFD 向用户提供业界领先的高质量网格技术,其强大的网格划分功能可满足 CFD 对网格划分的严格要求:边界层网格自动加密;流场变化剧烈区域网格局部加密;网格自适应用于激波捕捉;分离流模拟;高质量的全六面体网格提高计算速度和精度;非常复杂空间的四面体、六面体混合网格等。

- 采用独特的映射技术的六面体网格划分功能——通过雕塑方法在拓扑空间进行网格划分,自动映射到物理空间,可在任意形状模型中划分出六面体网格。
- 映射技术自动修补几何表面的裂缝或小洞,从而生成光滑的贴体网格。
- 采用独特的 O 形(内、外 O 形)网格生成技术来生成六面体的边界层单元。
- 网格质量检查功能可以检查、标识质量差的单元。优异的网格“光滑”功能,可用于对已有的网格进行均匀化处理,从而大大提高了网格质量。
- 划分得到的网格是可编辑的,如转换单元类型:棱柱→四面体、所有网格→四面体、二次单元→线性单元等。
- ICEM CFD 的操作过程可以形成“命令流”,当几何模型尺寸改变时,只需运行 Re-play 就可以很容易地重新划分网格。
- ANSYS - CFX 的通用网格界面(GGI)功能,允许用户将不同类型的网格块连接,大大降低了复杂模型的网格划分难度,并为具有多重参考坐标系的问题提供了最有效的解决方案。
- ICEM CFD 提供的网格生成工具
 - ICEM Hexa 六面体
 - ICEM Tetra 四面体
 - ICEM Prism 棱柱体(边界层网格)
 - ICEM Hybrid 四面体、六面体混合
 - ICEM BF - Cart 笛卡儿边界自适应网格
 - ICEM Global 自动笛卡儿网格生成器
 - ICEM Quad 表面网格

2. 一劳永逸的 CAD 模型处理工具

ICEM CFD 除了提供自己的几何建模工具之外,它的网格生成工具也可集成在 CAD

第 2 章 CFX 软件结构

CFX 不是单一软件,而是由多个相互配合的软件模块构成的软件包。目前 CFD 软件一般都包括 4 个功能模块:网格生成器、前处理器、求解器、后处理器。CFX 软件包也是这样的结构。CFX 包括 4 个功能程序模块,即 ICEM、CFX - Pre、CFX - Solver、CFX - Post 以及一个快捷启动模块 CFX - Launcher。

ICEM 是网格生成器。这是 ANSYS 收购的一个专业网格生成工具,可以给很多求解器生成网格。

前处理器 CFX - Pre,用于定义求解的问题,如流体介质属性,是空气还是水,哪里是入口边界,哪里是出口边界,以及求解参数,如迭代的步数、目标残差。

求解器 CFX - Solver 在后台执行。为了使用户能够监视求解进程,CFX 软件提供了一个求解管理器 CFX - Solver Manager,用于显示 CFX 求解器输出的求解过程信息,如当前迭代步、残差。

求解器获得的是每个网格上的速度、压力、温度值。要人们所理解这种海量信息,首先是处理成统计量,其次是进行图形化处理。CFX 软件提供了一个后处理器 CFX - Post,用于完成计算结果的统计和图形化。

Launcher 是一个启动 CFX - Pre、CFX - Solver Manager 和 CFX - Post 的快捷方式,它内置了 CFX - Pre、CFX - Solver Manager 和 CFX - Post 运行需要预先设置的环境变量。

2.1 网格生成器

ICEM 是 ANSYS 收购的一款专业网格生成工具,是业内评价最高的网格工具之一。

ICEM 有如下主要功能:

- (1) 导入各种主流 CAD 软件的文件和通用 CAD 格式的文件。
- (2) 简单的 CAD 功能,但这些 CAD 功能主要用于修复导入过程引起的丢面等几何特征缺失或表达错误这类问题,不适于直接建立复杂的几何模型。
- (3) 生成四面体、六面体、三棱柱、金字塔 4 种类型的网格。这 4 类网格可以满足绝大多数对流传热问题。
- (4) 提供了多种网格质量指标,通过查看网格质量分布,可以帮助使用者发现质量差的网格,并采取措施修正。
- (5) 自动网格光顺的功能,自动改善网格质量。
- (6) 根据自己的意愿通过手工的方式直接修改网格。这种手工操作网格,尤其是操作非结构化网格的能力,是一般的网格生成器不具备的。
- (7) ICEM 可以将生成的网格导出成一百多种专用和通用格式。

图 2.1 所示为 ICEM 软件的界面。

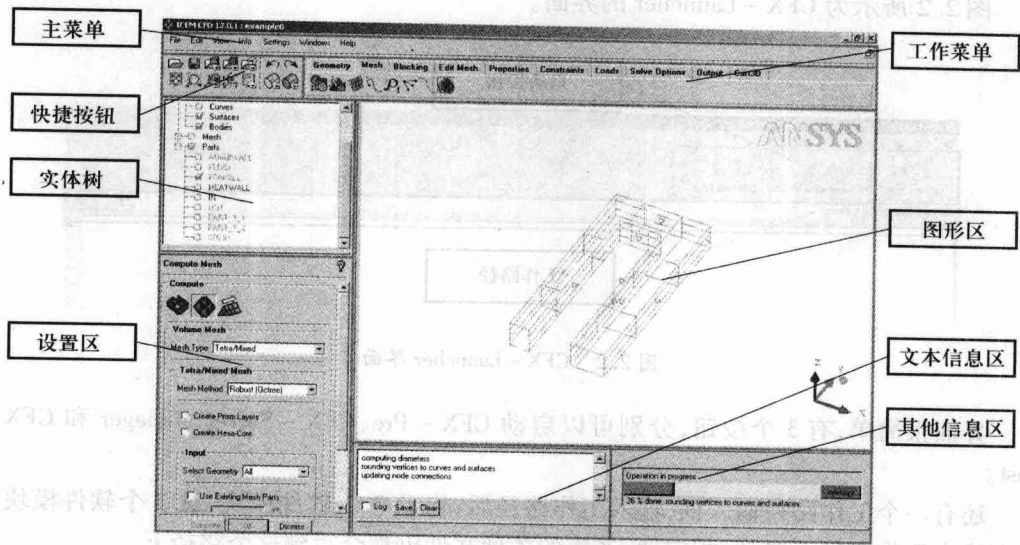


图 2.1 ICEM 软件界面

ICEM 的界面分为 8 个区域。

(1) 主菜单。ICEM 的菜单设置比较奇特,它最主要的功能并不在主菜单中,而是在下面要介绍的 tab 页面工作菜单中。主菜单只包含了一般软件的通用功能,如打开文件、保存文件、设置显示字体、帮助等。

(2) 快捷按钮。这是主菜单选项的子集,显示一些常用的主菜单选项。

(3) 工作菜单。ICEM 最主要的功能,如修复几何、划分网格、输出网格等,都在这些 tab 页面里。

(4) 实体树区。ICEM 将几何特征(点、线、面、体)和网格特征(节点、网格线、面网格、体网格)分类显示在这里,方便查看和选择。ICEM 还设立了一个分组功能,允许用户将不同的几何特征和网格特征设置到一个组里,使查看和选择更方便。这个分组信息也显示在实体树区。

(5) 设置区。工作菜单上各种命令的具体内容都需要在这个区域里显示并设置。

(6) 图形区。在图形区里,使用者可以操作图形的平移、旋转、缩放,也可以在图形区中选择各种实体特征,进行设置。

(7) 文本信息区。用于反馈 ICEM 的命令执行情况。例如执行划分网格命令时,这个区域就会显示当前网格划分了多少,执行到哪一步。

(8) 其他信息区。主要用于显示网格质量、网格生成过程等其他信息。

2.2 CFX 启动平台

CFX 提供了一个启动平台,将前处理器、求解管理器和后处理器三个软件模块的快捷方式都放置于启动平台上。通过启动平台启动这三个软件模块时,启动平台会将一些

运行环境信息提供给相应的软件模块。

图 2.2 所示为 CFX - Launcher 的界面。

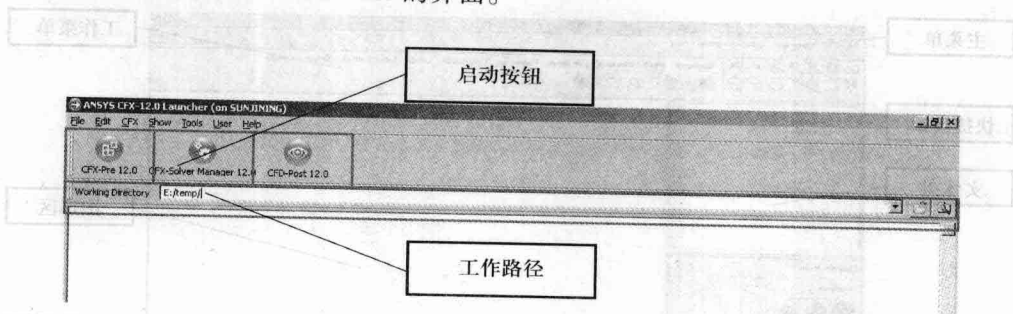


图 2.2 CFX - Launcher 界面

界面很简单,有 3 个按钮,分别可以启动 CFX - Pre、CFX - Solver Manager 和 CFX - Post。

还有一个工作路径输入框,输入工作路径后,启动 3 个软件模块,这 3 个软件模块就会在这个工作路径下启动,相应地,产生的各种文件也都会写到这个路径下。

2.3 前处理器

前处理器,顾名思义,就是用于求解前的各种数据处理工作。CFX - Pre 的主要功能包括导入网格,设置求解条件,生成求解文件。

CFX - Pre 可以导入的网格以 ANSYS 公司软件的格式为主,还包含少数几个常用的网格格式,如 Nastran。

CFX 内置了大量的材料数据库,包括各种常用流体、固体材料,如水、空气、铁、铝等。用户可以直接使用这些材料定义求解问题,也可以在这些材料基础上修改或者新建一种材料。

在 CFX - Pre 中可以设置的求解条件很多,对于通常的对流传热问题,需要设置的内容包括时间属性(是否定常问题)、求解域(哪部分是流体,什么流体,哪部分是固体,什么固体)、边界条件(如入口、出口、壁面)和求解参数(如迭代多少步、收敛残差)。

CFX - Pre 会将使用者导入的网格和定义的求解条件统一输出到一个 .def 文件中,供求解器求解用。.def 是 definition 的缩写。

图 2.3 所示为 CFX - Pre 的操作界面。界面大致分为 5 个区域。

(1) 主菜单。和 ICEM 的非常规主菜单不同,CFX - Pre 遵循了常规软件的方式,主菜单里包含了软件的全部功能。

(2) 快捷按钮。一般情况下,使用这些快捷按钮就足够用了。

(3) 模型设置区。通过 tab 页面管理全部模型内容,包括网格、求解域、边界条件、材料数据库、化学反应库等。