

ANSYS FLUENT

流体分析与工程实例

(配视频教程)

段中喆 编著

- 详尽的软件功能介绍;
- 精心选择的配套实例;
- 清晰细致的操作步骤;
- 翔实的操作演示录像;
- 为读者打造流畅的学习体验!



实例素材文件
多媒体视频讲解



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

ANSYS FLUENT 流体 分析与工程实例（配视频教程）

段中喆 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书详细介绍了 ANSYS FLUENT 软件的基础理论、操作方法和模拟实例，简单介绍了 Pointwise 软件和 ICEM CFD 软件的使用方法。

全书共 8 章。第 1 章介绍流体力学的基础知识、CFD 发展简史，以及几种主流的 CFD 前处理、求解器和后处理软件；第 2 章介绍采用 Pointwise 划分结构网格和采用 ICEM 划分非结构网格；第 3 章讲解 ANSYS FLUENT 的安装与基本操作，以冷热水换热模型算例进行 ANSYS FLUENT 流程介绍；第 4 章讲解 ANSYS FLUENT 的各种边界条件意义及设置方法；第 5 章讲解 ANSYS FLUENT 的湍流模型设置方法及各项参数的意义；第 6 章对 FLUENT 中的传热模型、燃烧模型、污染物模型、离散相模型、多相流模型、凝固与熔化模型及气动噪声模型的理论 and 设置方法进行讲解和说明；第 7 章对工程中二维流体力学问题给出了 11 个常用的模型算例；第 8 章对工程中三维流体力学问题给出了 7 个算例。

本书理论讲解翔实、算例丰富，可以作为航空航天、船舶、汽车、机械、水利、能源等众多领域的研究生和高年级本科生的学习资料或教材，也可供上述领域的科研人员（特别是从事 CFD 开发的人员）参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

ANSYS FLUENT 流体分析与工程实例：配视频教程/殷中岳编著. —北京：电子工业出版社，2015.10
ISBN 978-7-121-27102-1

I. ①A… II. ①段… III. ①工程力学—流体力学—有限元分析—应用软件 IV. ①TB126-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 207522 号



策划编辑：陈韦凯

责任编辑：万子芬

印 刷：涿州市京南印刷厂

装 订：涿州市京南印刷厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：28.25 字数：760 千字

版 次：2015 年 10 月第 1 版

印 次：2015 年 10 月第 1 次印刷

印 数：3 000 册 定价：65.00 元（含 DVD 光盘 1 张）

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

前 言

ANSYS FLUENT 是一款世界上流行的 CFD (Computational Fluid Dynamic) 软件, 通过使用 FLUENT 求解流动方程, 可以求解流动、传热、燃烧、相变等多种物理现象, 计算结果可以显示流场中各项参数的详细信息。相对实验而言, CFD 技术具有更好的时间经济性, 同时可以大大节约成本。CFD 技术在现代流体力学领域中占据了非常重要的地位, 在工程中为设计提供了重要的参考。随着计算机技术的发展, CFD 技术的优势会越来越明显, 在未来, CFD 技术必的应用定会越来越广泛, 而 FLUENT 软件作为 CFD 技术的主要软件, 未来必定令占有很大的市场份额。

全书共 8 章, 分为两个部分。第 1~6 章为第一部分, 主要介绍计算流体力学基础知识与 ANSYS FLUENT 的操作; 第 7~8 章为第二部分, 主要介绍 ANSYS FLUENT 工程实例应用。第 1 章主要介绍流体力学的基础知识, CFD 发展简史以及几种主流的 CFD 前处理, 求解器和后处理软件; 第 2 章着重介绍采用 Pointwise 划分结构网格和采用 ICEM 划分非结构网格; 第 3 章主要讲解 ANSYS FLUENT 的安装与基本操作, 以冷热水换热模型算例进行 ANSYS FLUENT 流程介绍; 第 4 章主要讲解 ANSYS FLUENT 的各种边界条件意义及设置方法; 第 5 章主要讲解 ANSYS FLUENT 的湍流模型设置方法及各项参数的意义; 第 6 章对 FLUENT 中的传热模型、燃烧模型、污染物模型、离散相模型、多相流模型、凝固与熔化模型及气动噪声模型的理论 and 设置方法进行了讲解和说明; 第 7 章主要对工程中一些二维流体力学问题给出了 11 个常用的模型算例; 第 8 章主要对工程中一些三维流体力学问题给出了 7 个算例。第 7、8 章所有算例涉及可压缩流动、传热模型、周期性边界条件、自然对流换热、气体燃烧、VOF 模型、空化模型、混合多相流模型、欧拉多相流模型、凝固与熔化模型、UDF 的使用、动网格模型等多个工程中常用的模型。

本书理论讲解翔实, 论述细致, 介绍直观, 由浅入深, 算例丰富。书中主要内容依据 ANSYS FLUENT 的官方使用手册。本书偏向实际工程中的使用方法较多, 具有较强的实用性, 涉及航空航天、船舶、汽车、机械、水利、能源、生物、石油、化工、冶金、建筑、材料等众多领域, 是一本非常实用的 FLUENT 操作参考书。

本书可以作为研究生和本科生流体力学的学习资料或教材, 也可以作为上述各种工程应用领域中的科研人员、特别是从事 CFD 开发的人员参考。

本书主要由段中喆编写, 高克臻、张云霞、王东、王龙、张银芳、周新国、陈作聪、聂阳、沈毅、蔡娜、张华杰、彭一明、张秀梅、李爽等也参与了部分编写工作。在编写过程中, 得到了北京航空航天大学航空学院多位老师和研究生的帮助, 以及中国航空研究院的大力支持, 在此一并表示感谢! 本书的编写也得到了家人和朋友的关心支持, 万分感谢!

编著者



目 录

第一部分 基础知识与 ANSYS FLUENT 操作

第 1 章 计算流体力学 (CFD) 概述	1
1.1 流体力学基础知识	1
1.2 计算流体力学的主要方法	2
1.3 计算流体力学问题的解决过程	3
1.4 计算流体力学商业软件介绍	4
1.4.1 前处理软件	4
1.4.2 求解器	7
1.4.3 后处理	13
1.5 本章小结	15
第 2 章 网格基础与基本操作	16
2.1 CFD 网格前处理	16
2.1.1 划分网格的目的	16
2.1.2 网格划分的几何要素	16
2.1.3 网格形状及拓扑结构	17
2.1.4 结构与非结构网格	19
2.1.5 壁面和近壁区网格处理原则	21
2.1.6 网格质量评价标准	23
2.1.7 选择合适的网格	23
2.2 Pointwise 结构网格的划分	24
2.2.1 Pointwise 界面	24
2.2.2 Pointwise 基本操作	25
2.2.3 Pointwise 几何处理	26
2.2.4 Pointwise 划分网格	29
2.2.5 Pointwise 指定边界和区域类型	32
2.2.6 网格质量管理及输出	33
2.3 ICEM CFD 非结构网格的划分	33
2.3.1 ICEM 基础及界面	34
2.3.2 ICEM 几何操作	35
2.3.3 ICEM 划分非结构网格	44
2.3.4 ICEM 输出设置	49
2.3.5 网格质量检查及输出	50





2.4 本章小结	51
第 3 章 FLUENT 基础与基本界面	52
3.1 ANSYS FLUENT 的安装	53
3.2 ANSYS FLUENT 的用户界面	55
3.2.1 ANSYS FLUENT 启动界面	55
3.2.2 ANSYS FLUENT 启动界面的操作界面	57
3.3 ANSYS FLUENT 的文件操作	59
3.4 ANSYS FLUENT 的操作流程简介	62
3.4.1 启动 FLUENT	63
3.4.2 读取网格并检查	63
3.4.3 计算域尺寸设置	66
3.4.4 网格光顺化处理	67
3.4.5 求解器基本设置	67
3.4.6 模型设置	68
3.4.7 物性参数设置	70
3.4.8 边界条件参数设置	71
3.4.9 求解方法设置	77
3.4.10 求解控制参数设置	78
3.4.11 求解监控设置	79
3.4.12 初始化	84
3.4.13 求解计算设置	84
3.4.14 后处理	86
3.5 本章小结	89
第 4 章 ANSYS FLUENT 边界条件	90
4.1 进口边界条件	90
4.1.1 压力入口边界条件 (Pressure Inlet)	90
4.1.2 速度入口边界条件 (Velocity Inlet)	92
4.1.3 质量入口边界条件 (Mass Flow Inlet)	93
4.1.4 进气口边界条件 (Inlet Vent)	95
4.1.5 进气扇边界条件 (Intake Fan)	96
4.1.6 压力远场边界条件 (Pressure Far Field)	97
4.2 出口边界条件	99
4.2.1 压力出口边界条件 (Pressure Outlet)	99
4.2.2 质量出口边界条件 (Outflow)	101
4.2.3 通风口边界条件 (Outlet Vent)	102
4.2.4 排风扇边界条件 (Exhaust Fan)	104
4.3 其他重要边界条件	105
4.3.1 壁面边界条件 (Wall)	105





4.3.2	对称边界条件 (Symmetry)	110
4.3.3	风扇边界条件 (Fan)	111
4.3.4	热交换器边界条件 (Radiator)	114
4.4	体积区域条件 (Cell Zone Conditions)	116
4.4.1	流体区域 (Fluid)	116
4.4.2	固体区域 (Solid)	118
4.4.3	多孔介质区域 (Porous Zone)	119
4.5	本章小结	125
第 5 章	ANSYS FLUENT 湍流模型	126
5.1	湍流模型概述	126
5.1.1	选择湍流模型	126
5.1.2	CPU 时间和解决方案	128
5.2	S-A 模型	128
5.3	k-e 模型	131
5.3.1	标准 k-e 模型	132
5.3.2	RNG k-e 模型	135
5.3.3	Realizable k-e 模型	138
5.4	k- ω 模型	140
5.4.1	标准 k- ω 模型	141
5.4.2	SST K- ω 模型	144
5.5	雷诺应力模型	147
5.6	湍流选项	151
5.7	定义湍流边界条件	153
5.8	湍流流动模拟的求解策略	154
5.9	湍流流动的后处理	155
5.10	本章小节	156
第 6 章	ANSYS FLUENT 的多种模型	157
6.1	传热模型	157
6.1.1	导热与对流换热	157
6.1.2	辐射传热	162
6.1.3	周期性传热问题	177
6.1.4	浮力驱动流动	179
6.2	化学反应及燃烧模型	182
6.2.1	燃烧模型的选择	182
6.2.2	通用有限速度模型	183
6.2.3	非预混燃烧模型	192
6.2.4	预混燃烧模型	198
6.2.5	部分预混燃烧模型	203





6.2.6 组分概率密度输运燃烧模型	206
6.3 污染物模型	207
6.3.1 NO _x 模型	207
6.3.2 烟模型	209
6.4 离散相模型	210
6.4.1 离散相模型的限制	211
6.4.2 离散相粒子分类	211
6.4.3 粒子与湍流的相互作用	211
6.4.4 引射类型	211
6.4.5 离散相模型设置	213
6.5 多相流模型	214
6.5.1 三种方法的限制条件	215
6.5.2 问题解决过程	215
6.5.3 VOF 模型	216
6.5.4 混合物模型	216
6.5.5 欧拉模型	217
6.5.6 三种方法求解策略	217
6.6 凝固与融化模型	218
6.7 气动噪声模型	219
6.8 本章小节	221

第二部分 模拟实例

第 7 章 二维模型 FLUENT 数值模拟实例	223
7.1 翼型绕流可压缩流动模拟	223
7.1.1 基本方法	223
7.1.2 问题描述	223
7.1.3 计算设置	224
7.1.4 后处理	231
7.1.5 小结	233
7.2 水中温度的传递-周期性边界和热传递	234
7.2.1 基本方法	234
7.2.2 问题描述	234
7.2.3 计算设置	235
7.2.4 后处理	241
7.2.5 小结	243
7.3 腔体内热辐射产生的自然对流模拟	243
7.3.1 基本方法	243
7.3.2 问题描述	244
7.3.3 计算设置	244



7.3.4	后处理	252
7.3.5	小结	255
7.4	离心式鼓风机模拟-旋转流体区域	256
7.4.1	基本方法	256
7.4.2	问题描述	256
7.4.3	计算设置	256
7.4.4	后处理	263
7.4.5	小结	265
7.5	气体燃烧模拟-组分输运模型	265
7.5.1	基本方法	265
7.5.2	问题描述	265
7.5.3	计算设置	266
7.5.4	后处理	274
7.5.5	小结	276
7.6	水管的非定常射流-VOF 模型	277
7.6.1	基本方法	277
7.6.2	问题描述	277
7.6.3	计算设置	277
7.6.4	后处理	286
7.6.5	小结	289
7.7	高速水流的槽道运动——混合多相流空化模型	289
7.7.1	基本方法	289
7.7.2	问题描述	289
7.7.3	计算设置	289
7.7.4	后处理	298
7.7.5	小结	299
7.8	T 型管流动-欧拉多相流模型	299
7.8.1	基本方法	299
7.8.2	问题描述	299
7.8.3	计算设置	300
7.8.4	后处理	308
7.8.5	小结	310
7.9	液态金属凝固-凝固与熔化模型	311
7.9.1	基本方法	311
7.9.2	问题描述	311
7.9.3	计算设置	312
7.9.4	后处理	320
7.9.5	小结	324
7.10	渐缩渐扩管的非定常模拟-UDF 使用	324
7.10.1	基本方法	324





7.10.2	问题描述	324
7.10.3	计算设置	325
7.10.4	后处理	333
7.10.5	小结	334
7.11	阀门的运动-动网格使用	334
7.11.1	基本方法	334
7.11.2	问题描述	335
7.11.3	计算设置	335
7.11.4	后处理	344
7.12	本章小节	348
第 8 章	三维模型 FLUENT 数值模拟实例	349
8.1	冷热水在管路中的混合流动模型	349
8.1.1	基本方法	349
8.1.2	问题描述	349
8.1.3	计算设置	349
8.1.4	后处理	357
8.1.5	小结	361
8.2	方管内射流对主流的影响	361
8.2.1	基本方法	361
8.2.2	问题描述	361
8.2.3	计算设置	362
8.2.4	后处理	370
8.2.5	小结	374
8.3	触媒转化器流动模拟-多孔介质模型	374
8.3.1	基本方法	374
8.3.2	问题描述	375
8.3.3	计算设置	375
8.3.4	后处理	383
8.3.5	小结	386
8.4	旋转机械流动模拟 1-混合面模型	386
8.4.1	基本方法	386
8.4.2	问题描述	387
8.4.3	计算设置	387
8.4.4	后处理	396
8.4.5	小结	397
8.5	旋转机械流动模拟 2-滑移网格	398
8.5.1	基本方法	398
8.5.2	问题描述	398
8.5.3	计算设置	399





8.5.4 后处理.....	408
8.5.5 小结.....	410
8.6 表面沉积法生成砷化镓-表面化学反应.....	410
8.6.1 基本方法.....	410
8.6.2 问题描述.....	411
8.6.3 计算设置.....	411
8.6.4 后处理.....	422
8.6.5 小结.....	424
8.7 喷气雾化器模拟-离散相模型.....	424
8.7.1 基本方法.....	424
8.7.2 问题描述.....	424
8.7.3 计算设置.....	425
8.7.4 后处理.....	437
8.8 本章小节.....	439



第一部分 基础知识

与 ANSYS FLUENT 操作

第 1 章 计算流体力学 (CFD) 概述

流体力学 (Fluid Mechanics) 是力学的一个分支, 一般来说, 流体包括气体和液体, 流体力学主要研究流体的特性以及流体间的相互作用力。流体力学中最重要假设就是连续性假设, 即把流体看作由大量的连续质点组成的连续介质, 每一个质点含有大量分子团, 质点之间没有间隙。流体力学按照运动方式可以分为流体静力学和流体动力学; 按照流体种类可以分为水力学及空气动力学等。对计算流体力学的了解, 应该先从流体力学的基础知识开始。

1.1 流体力学基础知识

流体力学涉及的研究领域非常广泛, 包括航空航天、汽车交通、土木建筑、热力学与热管理、热能工程、水利水电、风力发电、船舶、生物技术等领域, 具体的研究领域会在下面的小节详细描述。总之, 流体力学在工业和国防领域发挥着巨大的作用。

目前而言, 对流体力学的研究方法一般可以分为三种:

- (1) 理论分析;
- (2) 实验研究;
- (3) 数值计算。

理论分析的方法是指, 在对所研究的流动现象有一个简单的基本认识后, 通过建立简化流动模型的方法, 运用公式形成流动控制方程来表述流动现象, 在一定条件下通过必要的假设来推导出线性方程组, 从而可以计算出解析解或简化解。理论分析的方法可以求出较精确的解, 特别是可以在某些特定的封闭情况下求出一些普遍性的信息, 对于简单的流动问题非常有效。但是理论分析的问题在于控制方程简单, 对于复杂流动的非线性控制方程组无能为力, 且由于理论分析做了大量简化和假设, 无法反映流动的细节。而在工程中, 大量的流体力学问题是复杂的非线性问题, 理论分析的方法基本无法应用。总的来说, 理论分析的方法适用于解决简单流体问题或者对流体力学进行定性分析。

实验研究为解决流体问题最为常用的一个办法, 人类对流体力学问题的实验研究可以追溯到古希腊时代, 阿基米德曾通过实验研究建立了包括物理浮力定律和浮体稳定性在内的液体平衡理论, 奠定了流体静力学的基础。流体力学实验研究的核心是利用相对运动的原理, 通过相似性准则建立模型, 通过诸如水洞、风洞、水槽、激波管等的实验设备进行模拟实验, 再通过





测量设备测量流动参数，直接或间接获取速度、压力、力矩、温度等相关数据。实验研究方法由于直接测量得到流动参数，可以获得比较大的流动信息，并且可以看出流动现象，比较真实可靠，一直以来都是流体力学研究领域中最重要的一部分。实验研究近年来的突破主要体现在测量方法以及显示技术方面，特别是如热线风速仪、激光多普勒测速仪、粒子图像测速仪（PIV）等一批先进实验设备的问世更是推动了流体力学实验研究的进步。但是实验研究也存在一定的问题，一般来说，实验研究都是在模拟条件下完成的，特别是大部分做缩比模型实验，流动环境与实际工况中的流动环境不可能得到完全模拟；加之实验还存在支架、测量仪设备等在流场中对流动产生的干扰；另外还有洞壁效应和测量误差的问题；此外还会受到场地和环境等制约因素，建立风洞水洞需要大场地，运行成本高也不可忽视。总的来说，实验研究可以很好地获得流动中的参数，结果可靠性高，但是实验研究制约因素多，研究周期长并且费用较高。

理论分析和实验研究的方法伴随着人类对流动的认识而逐步发展，是不可忽视的重要方法，但数值计算方法，通常称为计算流体力学（Computational Fluid Dynamics, CFD），是伴随着计算机技术的进步而发展起来的，特别是近 40 年来的发展更是突飞猛进，成为了一个独立的学科分支，是流体力学研究方法中最有活力的领域。

根据流体力学的知识，流体的运动服从三大守恒定律，即质量守恒、动量守恒和能量守恒，并且由三大守恒定律来给出流体动力学的控制方程组。流体力学科学家在 18 世纪初开始创立多种流动控制方程，如经典的欧拉（Euler）方程和 N-S（Navier-Stokes）方程，但是这些方程除一些特定的流动形式可以求出解析解外，大部分没有解析解，只能采用数值分析的方法得到近似解，即流体力学数值计算。随着电脑技术的发展，求解的过程通过计算机来完成，而造就了今天的 CFD 技术。CFD 技术相比其他两种方法而言，具有成本低（计算机和人工）、时间短（计算时间一般短于实验时间）、数据提取方便（全流场各点的数据能通过计算机迅速提取）等优点；但也存在一定的缺点，比如网格划分的方法没有具体的标准，数值模拟方法对流动本身会造成一定误差等。但是总的来说，CFD 技术的研究方向是未来主流的研究方向，会不断完善。

1.2 计算流体动力学的主要方法

CFD 技术是一项比较复杂的集合了流体力学和数学及计算机科学的技术，一般来说有三种方法：直接数值模拟（DNS）、大涡模拟方法（LES）和雷诺平均 N-S（RANS）方法。

1) 直接数值模拟（DNS）方法

直接数值模拟方法就是通过直接求解流体运动的 N-S 方程而得到流动的瞬态流场，包括全流场的流动信息和各个尺度的流动细节。事实上，在直接求解三维非稳态的流动控制方程时，采用直接求解的方法会对计算机的计算性能提出非常高的要求，对于相对较复杂的流动，直接数值模拟的方法无法实行。当然，伴随着计算机技术的发展，也许有一天可以实现对复杂流动的直接数值模拟，但按照目前的计算机水平，直接数值模拟无法解决工程问题。

2) 大涡模拟（LES）方法

大涡模拟方法是对 N-S 方程在一定的空间区域内进行平均，从而在流场中滤掉小尺度的涡



而导出大尺度涡所满足的方程的方法。小涡对大涡的影响会体现在大涡方程中，再通过亚格子尺度模型来模拟小涡的影响。LES 方法可以解决简单的工程问题，而对于复杂的工程问题而言，LES 方法也同样受到计算机条件等的限制无法应用。与 DNS 方法一样，LES 方法也会随着计算机技术的发展逐渐趋于主流。

3) 雷诺平均 N-S 方程 (RANS) 方法

雷诺平均 N-S 方程 (RANS) 方法是目前主流的解决实际工程问题的方法，广泛应用于各类工程实际中。RANS 方法是将满足动力学方程的瞬时运动分解为平均运动和脉动运动两部分，对脉动项的贡献通过雷诺应力项来体现，再根据各自经验、实验等方法对雷诺应力项假设，从而封闭湍流的平均雷诺方程而求解的方法。按照对雷诺应力的不同模型化方式，又分为雷诺应力模型和涡黏模型。相对于涡黏模型，雷诺应力模型对计算机的要求较高，所以在工程实际问题中应用广泛的是涡黏模型。而求解方程的方法一般包括有限差分法、有限体积法、有限元法、边界元法、有限分析法和谱方法等，应用最广的是有限差分法和有限体积法。本书主要讲的 ANSYS FLUENT 主要就是应用有限体积法求解雷诺平均 N-S 方程。

1.3 计算流体动力学问题的解决过程

一般来说，采用 CFD 方法求解一个问题的过程分为三个步骤：前处理、求解流场和后处理。

1) 前处理

前处理是指，分析遇到的流体力学问题，对模型进行处理，使之可以由求解器求解的过程。也就是简单分析流体力学问题，选取合适的求解器，处理模型几何并根据经验划分网格的过程。前处理是 CFD 解决问题最耗时的一步，也是求解问题准确与否的重要步骤。

分析遇到的流体力学问题，选取合适的计算域，可以减小网格数量，节约计算时间。比如，对于求解翼型的二维亚音速流动问题，可以做 20 倍弦长的圆形流动区域，而不用选取 50 倍弦长的远场；或者旋转机械流动问题只需要画出一片叶片所在的流动区域即可，而其他的区域可用对称边界条件。

相比计算域的选取，网格的划分更为重要，网格数量以及质量对结果有比较大的影响。网格的数目过少，无法模拟流动细节，甚至会计算出错误结果；而网格数量过多，则占用大量计算资源，一些计算机甚至无法读取过大的计算网格；选取合适数量的网格主要是靠经验的积累，也可以阅读相关的参考文献来划分。网格的质量如果不够高，会产生一定的奇点，对计算产生一定的影响。划分网格的时候，结构网格一般来说要优于非结构网格，但是结构网格划分起来需要的时间较长。

在网格划分好以后，需要设置网格的边界条件，然后导入求解器。

2) 求解流场

将划分好的网格导入求解器（本书主要讲 ANSYS FLUENT），首先检查网格，通过后检查尺寸比例，选好正确的尺寸后，设置求解器，选取定常或非定常，湍流模型种类、能量方程、其他模型、求解方法、离散格式等；然后设置流体的物理性质，如密度、黏性、比热容等；设置合适的参考值后给定合适的初始条件进行初始化，最后选取迭代步数进行计算。总之，求解





器的选取和设置是一个复杂的过程，针对不同的问题应具体分析，本书重点讲的就是求解器 ANSYS FLUENT 在不同问题中的设置。在求解收敛后，可以进行下一步操作。

3) 后处理

后处理是对已经收敛的流场进行更加清晰的展示和对流动结果的分析，得到图标、动画、曲线、云图、矢量图等。ANSYS FLUENT 软件本身自带了后处理功能，本书将主要讲 ANSYS FLUENT 的后处理。其他一些软件也可以进行后处理，常用到的有：Tecplot、Ensignt 和 Fieldview 等。

总的来说，CFD 求解问题的三个步骤都是建立在对流动有一定认识的基础上的，三个步骤相辅相成，缺一不可，其关系如图 1.1 所示。

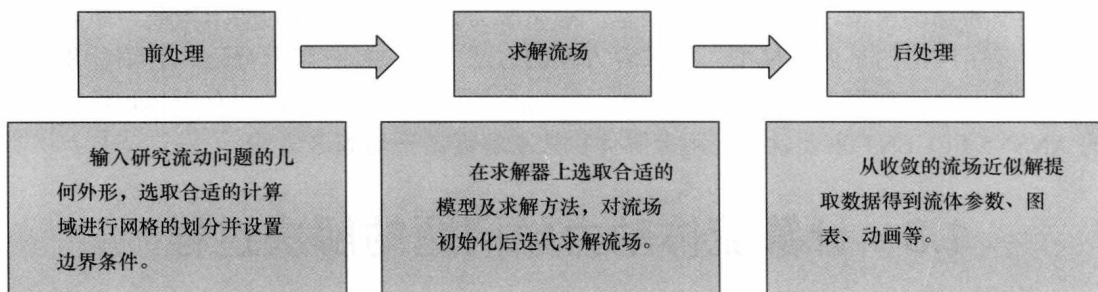


图 1.1 CFD 求解过程原理

1.4 计算流体动力学商业软件介绍

随着计算流体力学的发展，许多公司及个人对流体力学软件进行了开发，目前比较流行的前处理软件有 GAMBIT、Pointwise、ICEM 等，求解器有 Fluent、CFD++、Star-CD、CFL3D、CFX 等，后处理软件有 Tecplot、Ensignt、Fieldview 等，本节将对目前主流的一些商业 CFD 软件进行介绍。

1.4.1 前处理软件

前处理软件，也就是网格划分软件，是 CFD 解决问题中不可缺少的一环，也是占据人工时间最多的一个步骤，本小节将介绍 GAMBIT、Pointwise 和 ICEM。

1. GAMBIT

GAMBIT 软件原本是 FLUENT 被 ANSYS 收购前自带的专门为 FLUENT 设计的用来划分网格的软件，是为了帮助分析者和设计者建立并网格化计算流体力学（CFD）模型和进行其他科学应用而设计的一个软件包。

GAMBIT 通过它的用户界面（GUI）来接受用户的输入。GAMBIT 可以简单而又直接地做出建立模型、网格化模型、指定模型区域大小等基本步骤，然而这对很多的模型应用已足够了。与其他前处理软件一样，GAMBIT 主要功能包括几何建模和网格生成。使用 GAMBIT 划





分网格如图 1.2 所示。

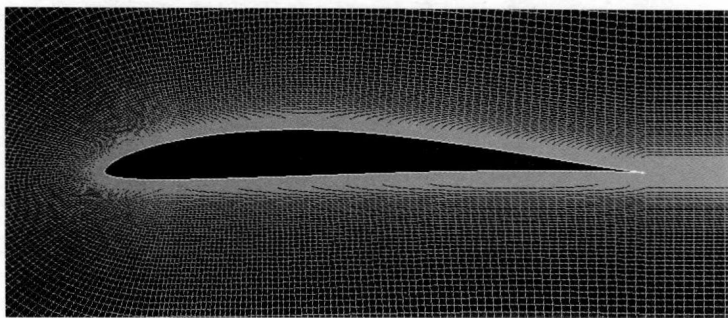


图 1.2 GAMBIT 划分网格

GAMBIT 软件具有以下特点：

- (1) 基于 ACIS 内核进行全面三维几何建模的能力，通过多种方式直接建立点、线、面、体，而且具有布尔运算能力；
- (2) 可对自动生成的 Journal 文件进行编辑，以自动控制修改或生成新几何与网格；
- (3) 可以导入 PRO/E、UG、CATIA、SOLIDWORKS、ANSYS、PATRAN 等大多数 CAD/CAE 软件所建立的几何和网格；
- (4) 强大的几何修正功能，在导入几何时会自动合并重合的点、线、面；
- (5) G/TURBO 模块可以准确而高效地生成旋转机械中的各种风扇以及转子、定子等的几何模型和计算网格；
- (6) 强大的网格划分能力，可以划分包括边界层等 CFD 特殊要求的高质量网格；GAMBIT 中专用的网格划分算法可以保证在复杂的几何区域内直接划分出高质量的四面体、六面体网格或混合网格；
- (7) GAMBIT 可为 FLUENT、POLYFLOW、FIDAP、ANSYS 等解算器生成和导出所需要的网格和格式。

2. Gridgen/Pointwise

Gridgen 的前身是美国空军和宇航局出资，由通用动力公司在研制 F16 战机的过程中于 20 世纪 80 年代开发的产品。后由美国空军免费发放给美国各研究机构和公司使用。由于各用户要求继续开发该产品，Gridgen 的编程人员在 1994 年成立了 Pointwise 公司，推出了商用化的后继产品。

Gridgen 是 Pointwise 公司的旗舰产品。Gridgen 是专业的网格生成器，被工程师和科学家用于生成 CFD 网格和其他计算分析。它可以生成高精度的网格以使得分析结果更加准确。同时它还可以分析并不完美的 CAD 模型，且不需要人工清理模型。Gridgen 可以生成多块结构网格、非结构网格和混合网格，可以引进 CAD 的输出文件作为网格生成基础。生成的网格可以输出十几种常用商业流体软件的数据格式，直接为商业流体软件所使用。对用户自编的 CFD 软件，可选用公开格式 (Generic)，如结构网格的 PLOT3D 格式和结构网格数据格式。Gridgen 网格生成主要分为传统法和各种新网格生成方法。传统方法的思路是由线到面、由面到体的装配式生成方法；各种新网格生成法，如，推进方式可以高速地由线推出面，由面推出体。另外还采用了转动、平移、缩放、复制、投影等多种技术。可以说各种现代网格生成技术都能在 Gridgen 找到。Gridgen 是在工程实际应用中发展起来的，实用可靠是其特点之一，如图 1.3 所示。



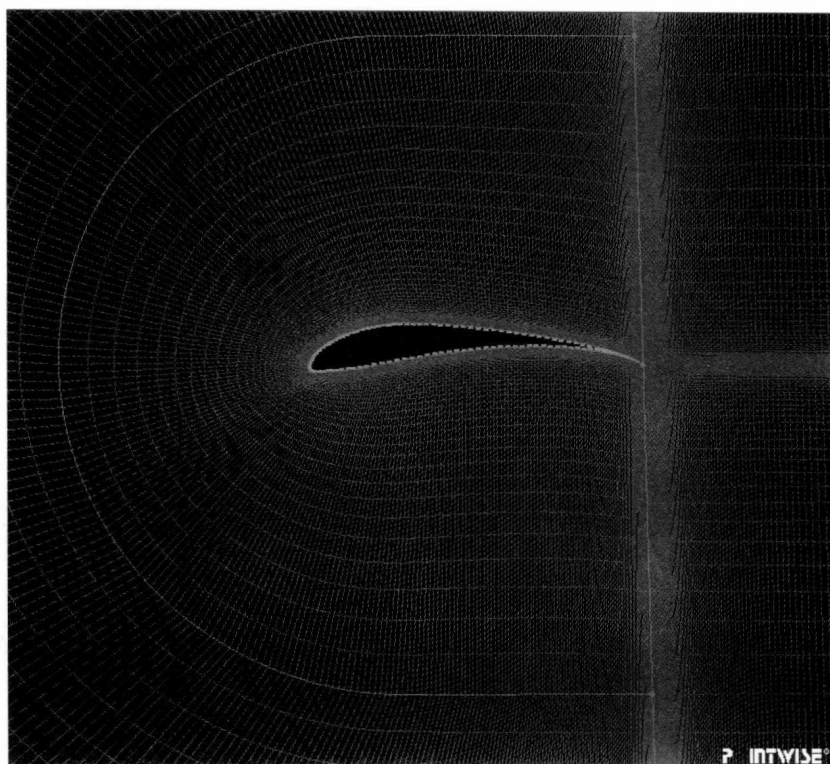


图 1.3 Gridgen 划分网格

在 2008 年 Pointwise 公司推出了全新的下一代产品 Pointwise，其继承了 Gridgen 划分网格的优秀能力，转动、平移、缩放、复制、投影、优化、合并等多种技术大大加强了软件的可用性，并且具有了全新的操作界面，支持 Win7 的 64 位系统，可以方便生成百亿数量的网格，为巨大项目工程的网格划分提供了解决方案。目前其最新版本是 V16，Pointwise 与 Gridgen 相比，最大的优势就是优化了用户体验，界面更加友好，上手快，非常适用于结构网格的生成。本书将在第 2 章对 Pointwise 的使用方法进行介绍。

3. ICEM

ICEM CFD 是 The Integrated Computer Engineering and Manufacturing code for Computational Fluid Dynamics 的简称，成立于 1990 年的 ICEM CFD Engineering 公司，是一家专注于解决网格划分问题的公司。2000 年 ICEM CFD Engineering 被 ANSYS 收购后对 ICEM 做了进一步的改进。ICEM 是一款非常专业的前处理软件，几乎可以为世界所有流行的 CAE 软件提供高效可靠的分析模型。

ICEM 的主要特点是有：

- ◇ CAD 模型修复能力强大；
- ◇ 自动中面抽取；
- ◇ 网格“雕塑”技术；
- ◇ 网格编辑技术丰富；
- ◇ 集成于 ANSYS Workbench 平台，获得 Workbench 的所有优势；
- ◇ 直接几何接口丰富（CATIA，CADD5，ICEM Surf/DDN，I-DEAS，SolidWorks，Solid

