

# FLUENT

## 流体计算应用教程

温正 石良辰 任毅如 编著

- FLUENT功能模块及求解技术
- ICEM CFD和Gambit前处理技术
- FLUENT基本模型及理论基础
- FLUENT后处理及Tecplot应用
- 动网格、传热和辐射计算应用
- 燃烧及化学反应、多相流应用
- FLUENT经典实例



实例源文件

清华大学出版社



# FLUENT 流体计算 应用教程

温正 石良臣 任毅如 编著

清华大学出版社

北 京

## 内 容 简 介

FLUENT 是通用 CFD 软件, 在流体建模中被广泛应用。本书详细介绍了利用 FLUENT 进行流体分析的具体方法和技巧, 并通过大量实例系统地介绍了建模、计算以及后处理的详细过程, 可使读者在短时间内把握学习的要领, 掌握 FLUENT 6.3 的流体计算应用技术。目前, 本书已被列为 Fluent 公司在中国的唯一代理——北京海基科技公司 CFD 培训参考用书。

本书结构清晰, 实例丰富, 基础知识与实用技能并用, 可作为高等院校相关专业本科和硕士研究生的流体力学以及传热学的教材, 也可供利用 FLUENT 软件进行流体流动数值模拟分析的广大工程技术人员参考。

**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

FLUENT 流体计算应用教程/温正, 石良臣, 任毅如 编著. —北京: 清华大学出版社, 2009.1

ISBN 978-7-302-18885-8

I. F… II. ①温…②石… ③任… III. 流体力学—工程力学—计算机仿真—应用软件, FLUENT 6.3—教材 IV. TB126-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 175660 号

责任编辑: 刘金喜

封面设计: 谢昊伊

版式设计: 康 博

责任校对: 胡雁翎

责任印制: 杨 艳

出版发行: 清华大学出版社

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

社 总 机: 010-62770175

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

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编: 100084

邮 购: 010-62786544

印 刷 者: 北京嘉实印刷有限公司

装 订 者: 三河市李旗庄少明装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印 张: 29.5 字 数: 681 千字

附光盘 1 张

版 次: 2009 年 1 月第 1 版

印 次: 2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 1~4000

定 价: 49.80 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: 027542-01

# 前 言

任何流体运动的规律都是以质量守恒定律、动量守恒定律和能量守恒定律为基础的。这些基本定律可由数学方程组来描述，如欧拉方程、N-S 方程。采用数值计算方法，通过计算机求解这些控制流体流动的数学方程，进而研究流体的运动规律，这就是计算流体力学(CFD)。计算流体力学是建立在经典流体力学与数值计算方法基础上的一门新学科，通过计算机数值计算和图像显示方法，在时间和空间上定量描述流场的数值解，从而达到对物理问题研究的目的。

对于大多数人来说，不必掌握流体力学微分方程的求解以及计算流体力学的深入研究，但在工作中又需要对某些具体的流动过程进行分析、计算和研究，由此，计算准确、界面友好、使用简单，又能解决问题的大型商业计算软件应运而生。目前，比较著名的有 FLUENT、CFX、STAR—CD 等，本书将向读者介绍 FLUENT 软件(6.3 版本)。

FLUENT 是通用 CFD 软件，包含基于压力的分离求解器、基于压力的耦合求解器、基于密度的隐式求解器、基于密度的显式求解器。多求解器技术使 FLUENT 软件可以用来模拟从不可压缩到高超音速范围内的各种复杂流场。FLUENT 软件包含非常丰富、经过工程确认的物理模型，可以模拟高超音速流场、转捩、传热与相变、化学反应与燃烧、多相流、旋转机械、动/变形网格、噪声、材料加工复杂机理的流动问题。

本书内容共分 10 章，通过大量实例比较系统地介绍了建模和计算以及后处理的详细过程，可以让读者在短时间内把握学习的要领，掌握 FLUENT 6.3 的高级应用技术。目前，本书也被列为 FLUENT 公司在中国的唯一代理——北京海基科技公司 CFD 培训参考用书。

本书第 1 章、第 2 章以及第 5 章由温正编写；第 3 章和第 10 章由石良辰编写；第 6 章和第 7 章由唐家鹏编写；第 4 章由任毅如编写，第 8 章和第 9 章由王锁柱编写；全书由温正总纂。在本书的编写过程中，得到了北京海基科技发展有限责任公司技术经理魏随利的热心指导以及公司技术部王海龙、张向阳等的大力协助，在此一并致谢。

本书可作为高等院校相关专业本科和硕士研究生的流体力学以及传热学的教学用书，也可作为广大工程技术人员利用 FLUENT 软件进行流体流动数值模拟计算的指导用书。鉴于编者水平有限，书中难免有不当之处，还请广大读者给予指正，不胜感谢。服务邮箱：[wkservice@vip.163.com](mailto:wkservice@vip.163.com)。

编 者

2008 年 11 月

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 CFD 软件简介	1
1.1.1 CFD 概述	1
1.1.2 CFD 的应用领域	2
1.1.3 CFD 商用软件	3
1.2 FLUENT 简介	4
1.2.1 FLUENT 的功能及特点	4
1.2.2 FLUENT 系列软件简介	7
1.2.3 FLUENT 软件先进的求解技术	8
1.3 FLUENT 6.3 的功能模块和分析过程	9
1.3.1 FLUENT 6.3 的功能模块	9
1.3.2 FLUENT 6.3 的分析过程	11
1.4 小结	12
第 2 章 前处理	13
2.1 前处理软件	13
2.1.1 ICEM CFD 基本功能	13
2.1.2 ICEM CFD 11.0 的基本用法	17
2.1.3 ANSYS ICEM CFD 11.0 的使用步骤	19
2.2 Gambit——专用的 CFD 前处理器	22
2.2.1 Gambit 软件的几何处理能力	22
2.2.2 Gambit 功能强大的网格生成技术	23
2.2.3 Gambit 基本用法	26
2.3 Gambit 操作步骤及应用实例	36
2.3.1 Gambit 操作步骤	36
2.3.2 Gambit 应用实例	38
2.4 ANSYS ICEM CFD 11.0 应用实例	42
2.4.1 网格划分思路	42
2.4.2 ANSYS ICEM 操作步骤	43
2.5 小结	52
第 3 章 FLUENT 基本模型及理论基础	53
3.1 FLUENT 软件中博采众长的物理模型	53

3.1.1	FLUENT 软件中的动网格模型	53
3.1.2	FLUENT 软件中丰富的传热和辐射模型	55
3.1.3	FLUENT 软件中的气动噪声模型	56
3.1.4	FLUENT 软件中高精度的自由表面模型	58
3.1.5	FLUENT 软件中的离散相模型	58
3.1.6	FLUENT 软件中的欧拉多相流模型	59
3.1.7	FLUENT 软件中的混合分数多相流模型和空泡模型	59
3.1.8	FLUENT 软件中的湍流模型	59
3.2	传热计算基础	60
3.2.1	求解传热问题的能量方程	60
3.2.2	辐射传递方程	62
3.3	求解传热问题的基本步骤	64
3.4	辐射模型类型设置过程	65
3.4.1	DTRM 模型的设置	66
3.4.2	S2S 模型的设置	67
3.4.3	DO 模型的设置	72
3.4.4	定义物质的辐射特性	73
3.4.5	辐射边界条件的设置	74
3.4.6	辐射模型的求解策略	78
3.5	化学反应	81
3.5.1	化学反应模型理论	81
3.5.2	组分输运和化学反应设置的基本内容	83
3.5.3	组分输运与化学反应的激活和设置	84
3.5.4	混合物及其构成组分属性的定义	86
3.5.5	定义组分的边界条件	93
3.5.6	化学混合和有限速率化学反应的求解步骤	93
3.5.7	输入 CHEMKIN 格式中的体积动力学机制	95
3.6	壁面表面化学反应和化学蒸汽沉积	97
3.6.1	表面组分和壁面表面化学反应理论	97
3.6.2	壁面表面化学反应的用户输入	99
3.6.3	导入 CHEMKIN 格式的表面动力学机制	100
3.7	微粒表面化学反应	101
3.7.1	理论	101
3.7.2	微粒表面化学反应的用户输入	104
3.8	小结	105

---

<b>第 4 章 FLUENT 后处理及 Tecplot 应用</b> .....	106
4.1 FLUENT 软件的并行计算能力 .....	106
4.1.1 概述 .....	106
4.1.2 并行计算的一般过程 .....	107
4.1.3 实例分析 .....	112
4.2 强大的后置处理能力 .....	122
4.2.1 数据显示与文字报告的产生 .....	122
4.2.2 图形与可视化 .....	130
4.2.3 流场函数的定义 .....	141
4.3 Tecplot 的应用 .....	143
4.3.1 概述 .....	143
4.3.2 Tecplot 基本功能介绍 .....	144
4.3.3 二维流动实例 .....	150
4.3.4 三维非定常流动的后处理 .....	155
4.4 小结 .....	160
<b>第 5 章 FLUENT 动网格应用</b> .....	161
5.1 综述 .....	161
5.1.1 UDF 的基本用法 .....	161
5.1.2 UDF 编写基础 .....	162
5.1.3 UDF 中的 C 语言基础 .....	163
5.2 井火箭发射过程二维模拟 .....	167
5.2.1 概述 .....	167
5.2.2 实例描述 .....	168
5.2.3 实例操作步骤 .....	168
5.3 副油箱与飞机分离三维模拟 .....	184
5.3.1 概述 .....	184
5.3.2 实例描述 .....	185
5.3.3 实例操作步骤 .....	185
5.4 小结 .....	195
<b>第 6 章 传热和辐射计算应用</b> .....	196
6.1 综述 .....	196
6.2 太阳加载模型 .....	199
6.2.1 简介 .....	199
6.2.2 太阳射线跟踪算法 .....	199
6.2.3 DO 辐照算法 .....	200
6.2.4 太阳计算器 .....	201

6.2.5	太阳加载模型的设置	204
6.2.6	太阳加载模型边界条件的设置	207
6.2.7	设置太阳加载模型的命令行	209
6.3	室内通风问题的计算实例	212
6.3.1	基本介绍	212
6.3.2	预备知识	213
6.3.3	实例操作步骤	213
6.4	使用 DO 辐射模型的头灯热模型	225
6.4.1	基本介绍	225
6.4.2	预备知识	226
6.4.3	实例操作步骤	227
6.5	小结	253
<b>第 7 章</b>	<b>FLUENT 燃烧及化学反应应用一</b>	<b>254</b>
7.1	综述	254
7.2	应用实例——引火喷流扩散火焰的 PDF 传输模拟	256
7.2.1	概述	256
7.2.2	实例描述	257
7.2.3	实例操作步骤	257
7.3	应用实例——预混气体化学反应的模拟	267
7.3.1	概述	267
7.3.2	实例描述	267
7.3.3	实例操作步骤	267
7.4	小结	280
<b>第 8 章</b>	<b>FLUENT 燃烧及化学反应应用二</b>	<b>281</b>
8.1	液体燃料燃烧模拟	281
8.1.1	概述	281
8.1.2	实例描述	282
8.1.3	实例操作步骤	282
8.2	煤燃烧模拟	300
8.2.1	概述	300
8.2.2	实例描述	300
8.2.3	实例操作步骤	301
8.3	液体化学反应的模拟	321
8.3.1	概述	321
8.3.2	实例描述	322
8.3.3	实例操作步骤	322



---

8.4 小结	339
<b>第 9 章 FLUENT 多相流应用</b>	<b>341</b>
9.1 综述	341
9.2 气固两相流动模拟	343
9.2.1 概述	343
9.2.2 实例描述	343
9.2.3 实例操作步骤	344
9.3 车体液体燃料罐内部挡流板对振荡的影响模拟	352
9.3.1 概述	352
9.3.2 实例描述	353
9.3.3 实例操作步骤	353
9.4 水坝破坏多相流模拟	368
9.4.1 概述	368
9.4.2 实例描述	368
9.4.3 实例操作步骤	369
9.5 小结	379
<b>第 10 章 FLUENT 经典实例</b>	<b>381</b>
10.1 固体燃料电池的模拟	381
10.1.1 问题描述	381
10.1.2 实例步骤	382
10.2 叶轮泵模型	399
10.2.1 问题描述	399
10.2.2 计算的基本过程	400
10.2.3 网格划分要求	400
10.2.4 实例操作步骤	402
10.2.5 圆形泵模型求解	415
10.3 汽车工业相关应用	422
10.3.1 汽车风挡除冰分析	422
10.3.2 歧管流动的 3D 模型	439
10.4 小结	461

# 第1章 绪 论

## 本章重点内容

FLUENT 是世界领先的 CFD 软件, 在流体建模中被广泛应用。由于它一直以来以用户界面友好而著称, 所以对初学者来说非常容易上手。FLUENT 的软件设计基于 CFD 软件群的思想, 从用户需求角度出发, 针对各种复杂流动的物理现象, 采用不同的离散格式和数值方法, 以期在特定的领域内使计算速度、稳定性和精度等方面达到最佳组合, 从而高效率地解决各个领域的复杂流动计算问题。本章简要介绍 CFD 的基本概念及原理, 并阐述 FLUENT 的基本特点及分析思路。

## 本章学习目标

- CFD 软件简介。
- FLUENT 的功能和特点。
- FLUENT 6.3 流体分析过程。

## 1.1 CFD 软件简介

### 1.1.1 CFD 概述

CFD 是计算流体动力学的简写(Computational Fluid Dynamics), 其基本的定义是通过计算机进行数值计算和图像显示, 分析包含流体流动和热传导等相关物理现象的系统。CFD 进行流动和传热现象分析的基本思想是用一系列有限个离散点上的变量值的集合来代替将空间域上连续的物理量的场, 如速度场和压力场; 然后, 按照一定的方式建立这些离散点上场变量之间关系的代数方程组, 通过求解代数方程组获得场变量的近似值。

CFD 可以看成在流动基本方程(质量守恒方程、动量守恒方程、能量守恒方程)控制下对流动的数值模拟。通过这种数值模拟, 得到复杂问题基本物理量(如速度、压力、温度、浓度等)在流场内各个位置的分布, 以及这些物理量随时间的变化情况, 确定旋涡分布特性、空化特性及脱流区等。还可据此算出相关的其他物理量, 如旋转式流体机械的转矩、水力损失和效率等。此外, 与 CAD 联合, 还可进行结构优化设计等。

CFD 具有适应性强、应用面广的优点。由于流动问题的控制方程一般是非线性的，自变量多，计算域的几何形状和边界条件复杂，很难求得解析解，只有用 CFD 方法才有可能找出满足工程需要的数值解；而且，可利用计算机进行各种数值试验，例如，选择不同流动参数进行物理方程中各项有效性和敏感性试验，从而进行方案比较。另外，CFD 方法不受物理模型和实验模型的限制，省钱省时，有较多的灵活性，能给出详细和完整的资料，很容易模拟特殊尺寸、高温、有毒、易燃等真实条件和实验中只能接近而无法达到的理想条件。

CFD 也存在一定的局限性。首先，数值解法是一种离散近似的计算方法，依赖于物理上合理、数学上适用，适合于在计算机上进行计算的离散的有限数学模型，且最终结果不能提供任何形式的解析表达式，只是有限数量离散点上的数值解，并有一定的计算误差；其次，它不像物理模型实验一开始就能给出流动现象并定性地描述，往往需要由原体观测或物理模型试验提供某些流动参数，并需要对建立的数学模型进行验证；而且程序的编制及资料的收集、整理与正确利用，在很大程度上依赖于经验与技巧。此外，因数值处理方法等原因有可能导致计算结果的不真实，例如产生数值粘性和频散等伪物理效应。最后，CFD 涉及到大量数值计算，需要较高的计算机软硬件配置。

CFD 方法与传统的理论分析方法、实验测量方法组成了研究流体流动问题的完整体系。CFD 数值计算与理论分析、实验观测是相互联系、相互促进的关系，但不能完全替代，三者各有各的适用场合。在实际工作中，需要注意三者有机的结合。

### 1.1.2 CFD 的应用领域

近十几年来，CFD 有了很大的发展，所有涉及流体流动、热交换、分子输运等现象的问题，几乎都可以通过计算流体力学的方法进行分析和模拟。CFD 不仅作为一个研究工具，而且还作为设计工具在水利工程、土木工程、环境工程、食品工程、海洋结构工程、工业制造等领域发挥作用。典型的应用场合及相关的工程问题包括：

- 水轮机、风机和泵等流体机械内部的流体流动。
- 飞机和航天飞机等飞行器的设计。
- 汽车流线外形对性能的影响。
- 洪水波及河口潮流计算。
- 风载荷对高层建筑物稳定性及结构性能的影响。
- 温室及室内的空气流动及环境分析。
- 电子元器件的冷却。
- 换热器性能分析及换热器片形状的选取。
- 河流中污染物的扩散。
- 汽车尾气对街道环境的污染。
- 食品中细菌的运移。

对这些问题的处理，过去主要借助于基本的理论分析和大量的物理模型实验，而现在

大多采用 CFD 的方式加以分析和解决, CFD 技术现已发展到完全可以分析三维粘性湍流及旋涡运动等复杂问题的程度。

CFD 的求解过程包括了建立控制方程、确定边界条件与初始条件、划分计算网格、建立离散方程、离散初始条件和边界条件、给定求解控制参数、求解离散方程、判断解的收敛性、显示和输出计算结果等步骤。为了便于用户将主要的精力集中在基本的物理原理上,目前已经有很好优秀的 CFD 商用软件投入使用。

### 1.1.3 CFD 商用软件

为方便用户使用 CFD 软件处理不同类型的工程问题,一般的 CFD 商用软件往往将复杂的 CFD 过程集成,通过一定的接口,让用户快速地输入问题的有关参数。所有的商用 CFD 软件均包括三个基本环节:前处理、求解和后处理。与之对应的程序模块常简称前处理器、求解器、后处理器。以下简要介绍这三个程序模块。

#### 1. 前处理器

前处理器(preprocessor)用于完成前处理工作。前处理环节是向 CFD 软件输入所求问题的相关数据,该过程一般是借助与求解器相对应的对话框等图形界面来完成的。在前处理阶段需要用户进行以下工作:

- 定义所求问题的几何计算域。
- 将计算域划分成多个互不重叠的子区域,形成由单元组成的网格。
- 对所研究的物理和化学现象进行抽象,选择相应的控制方程。
- 定义流体的属性参数。
- 为计算域边界处的单元指定边界条件。
- 对于瞬态问题,指定初始条件。

流动问题的解是在单元内部的节点上定义的,解的精度由网格中单元的数量所决定。一般来讲,单元越多,尺寸越小,所得到的解的精度越高,但所需要的计算机内存资源及 CPU 时间也相应增加。为了提高计算精度,在物理量梯度较大的区域,以及我们感兴趣的区域,往往要加密计算网格。在前处理阶段生成计算网格时,关键是要把握好计算精度与计算成本之间的平衡。

目前在使用商用 CFD 软件进行 CFD 计算时,有超过 50% 以上的时间花在几何区域的定义及计算网格的生成上。我们可以使用 CFD 软件自身的前处理器来生成几何模型,也可以借用其他商用 CFD 或 CAD/CAE 软件(如 PATRAN、ANSYS、I-DEAS、Pro/ENGINEER 等软件提供的几何模型。此外,指定流体参数的任务也是在前处理阶段进行的。

#### 2. 求解器

求解器(solver)的核心是数值求解算法。常用的数值求解方案包括有限差分、有限元、谱方法和有限体积法等。总体上讲,这些方法的求解过程大致相同,包括以下步骤:

- (1) 使用简单函数近似待求的流动变量。
- (2) 将该近似关系代入连续性的控制方程中，形成离散方程组。
- (3) 求解代数方程组。

各种数值求解方案的主要差别在于流动变量被近似的方式及相应的离散化过程。

### 3. 后处理器

后处理的目的是有效地观察和分析流动计算结果。随着计算机图形处理功能的提高，目前的 CFD 软件均配备了后处理(postprocessor)，提供了较为完善的后处理功能，包括：

- 计算域的几何模型及网格显示。
- 矢量图(如速度矢量线)。
- 等值线图。
- 填充型的等值线图(云图)。
- XY 散点图。
- 粒子轨迹图。
- 图像处理功能(平移、缩放、旋转等)。

借助后处理功能，可以动态模拟流动效果，直观地了解 CFD 的计算结果。

## 1.2 FLUENT 简介

FLUENT 是用于模拟具有复杂外形的流体流动以及热传导的计算机程序，FLUENT 软件采用 C/C++ 语言编写，从而大大提高了对计算机内存的利用率，因此，动态内存分配，高效数据结构，灵活的求解控制都是可能的。除此之外，为了高效执行，交互控制，以及灵活地适应各种机器与操作系统，FLUENT 使用 client/server 结构，因此它允许同时在用户桌面工作站和强有力的服务器上分离地运行程序。

### 1.2.1 FLUENT 的功能及特点

FLUENT 软件所具有的功能及特点汇总如下：

#### 1. 完全非结构化网格

FLUENT 软件采用基于完全非结构化网格的有限体积法，而且具有基于网格节点和网格单元的梯度算法。

#### 2. 定常/非定常流动模拟新功能

FLUENT 软件新增快速非定常模拟功能。

### 3. 先进的动/变形网格技术

FLUENT 软件中的动/变形网格技术主要解决边界运动的问题,用户只需指定初始网格和运动壁面的边界条件,余下的网格变化完全由解算器自动生成。FLUENT 解算器包括 NEKTON、FIDAP、POLYFLOW、ICEPAK 以及 MIXSIM。网格变形方式有三种:弹簧压缩式、动态铺层式以及局部网格重生式。其局部网格重生式是 FLUENT 所独有的,而且用途广泛,可用于非结构网格、变形较大问题以及物体运动规律事先不知道而完全由流动所产生的力所决定的问题。

### 4. 多网格支持功能

FLUENT 软件具有强大的网格支持能力,支持界面不连续的网格、混合网格、动/变形网格以及滑动网格等。值得强调的是,FLUENT 软件还拥有多种基于解的网格的自适应、动态自适应技术以及动网格与网格动态自适应相结合的技术。

### 5. 多种数值算法

FLUENT 软件采用有限体积法,提供了三种数值算法:非耦合隐式算法、耦合显式算法、耦合隐式算法,分别适用于不可压、亚音速、跨音速、超音速乃至高超音速流动。是商用软件中最多的。下面具体说明如下:

#### 1) 非耦合隐式算法(Segregated Solver)

该算法源于经典的 SIMPLE 算法。其适用范围为不可压缩流动和中等可压缩流动。这种算法不对 Navier-Stoke 方程联立求解,而是对动量方程进行压力修正。该算法是一种很成熟的算法,在应用上经过了很广泛的验证。这种方法拥有多种燃烧、化学反应及辐射、多相流模型与其配合,适用于低速流动的 CFD 模拟。

#### 2) 耦合显式算法(Coupled Explicit Solver)

这种算法由 FLUENT 公司与 NASA 联合开发,主要用来求解可压缩流动。该方法与 SIMPLE 算法不同,而是对整个 Navier-Stoke 方程组进行联立求解,空间离散采用通量差分裂格式,时间离散采用多步 Runge-Kutta 格式,并采用了多重网格加速收敛技术。对于稳态计算,还采用了当地时间步长和隐式残差光顺技术。该算法稳定性好,内存占用小,应用极为广泛。

#### 3) 耦合隐式算法(Coupled Implicit Solver)

该算法是其他所有商用 CFD 软件都不具备的。该算法也对 Navier-Stoke 方程组进行联立求解,由于采用隐式格式,因而计算精度与收敛性要优于 Coupled Explicit 方法,但却占用较多的内存。该算法另一个突出的优点是可以求解全速度范围,即求解范围从低速流动到高速流动。

### 6. 先进的物理模型

FLUENT 软件包含丰富而先进的物理模型,例如:

- FLUENT 软件能够精确地模拟无粘流、层流、湍流。湍流模型包含 Spalart-Allmaras

模型、 $k-\omega$  模型组、 $k-\varepsilon$  模型组、雷诺应力模型(RSM)组、大涡模拟模型(LES)组以及最新的分离涡模拟(DES)和 V2F 模型等。另外用户还可以定制或添加自己的湍流模型(包含了多种湍流模型, 针对不同的问题可以采用更恰当模型进行模拟)。

- FLUENT 软件适用于牛顿流体、非牛顿流体。
- FLUENT 软件可以完成强制/自然/混合对流的热传导, 固体/流体的热传导、辐射等计算。
- FLUENT 软件包含了多种化学反应及燃烧模型, 比如有限速率、PDF、层流火焰、湍流火焰等多种模型, 可以完成化学组分的混合/反应计算。
- FLUENT 还具有离散相的拉格朗日跟踪计算功能。

FLUENT 软件中还包含其他常用的模型, 汇总如下:

- 自由表面流模型, 欧拉多相流模型(Euler), 混合多相流模型(Mixture), 离散项模型(Lagrangian Dispersed Phase Modeling: 主要用来模拟一些二次相的体积含量小于 10% 的多相流动)、空穴两相流模型(Cavitation)、湿蒸汽模型等, 可以处理流场域中有多相流体存在时的流动, 也可以同时处理气液固三相同存在时的流动。
- 溶化/凝固以及蒸发/冷凝相变模型。
- 非均质渗透性、惯性阻抗、固体热传导、多孔介质模型(考虑多孔介质压力突变)。
- 风扇、散热器、以热交换器为对象的集中参数模型。
- 基于精细流场解算的预测流体噪声的声学模型。
- 质量、动量、热、化学组分的体积源项。
- FLUENT 磁流体模块可以模拟电磁场和导电液体之间的相互作用问题。
- 连续纤维模块可以很好地模拟纤维和气体流动之间的动量、质量以及热的交换问题。

## 7. FLUENT 独有的特点

- FLUENT 可以方便设置惯性或非惯性坐标系、复数基准坐标系、滑移网格以及动静翼相互作用模型化后的接续界面。
- FLUENT 内部集成丰富的物性参数的数据库, 里面有大量的材料可供选用, 此外用户可以非常方便地定制自己的材料。
- 高效率的并行计算功能, 提供多种自动/手动分区算法; 内置 MPI 并行机制, 大幅度提高并行效率。另外, FLUENT 特有动态负载平衡功能, 确保全局高效并行计算。
- FLUENT 软件提供了友好的用户界面, 并为用户提供了二次开发接口(UDF)。
- FLUENT 软件后置处理和数据输出, 可对计算结果进行处理, 生成可视化的图形及给出相应的曲线、报表等。

上述各项功能和特点使得 FLUENT 在很多领域得到了广泛的应用, 主要有以下几个方面:

- 油/气能量的产生和环境应用。

- 航天和涡轮机械的应用。
- 汽车工业的应用。
- 热交换应用。
- 电子/HVAC 应用。
- 材料处理应用。
- 建筑设计和火灾研究。

## 1.2.2 FLUENT 系列软件简介

自 1983 年问世以来, FLUENT 就一直是 CFD 软件技术的领先者, 被广泛应用于航空航天、旋转机械、航海、石油化工、汽车、能源、计算机/电子、材料、冶金、生物、医药等领域, 使 FLUENT 公司成为占有最大市场份额的 CFD 软件供应商。2006 年 5 月, FLUENT 成为全球最大的 CAE 软件供应商——ANSYS 大家庭中的重要成员。所有的 FLUENT 软件将被集成在 ANSYS Workbench 环境下, 共享先进的 ANSYS 公共 CAE 技术。FLUENT 是 ANSYS CFD 的旗舰产品, ANSYS 将加大对 FLUENT 核心 CFD 技术的投资, 确保 FLUENT 在 CFD 领域的绝对领先地位。

FLUENT 系列软件包括: 通用的 CFD 软件 FLUENT、POLYFLOW、FIDAP, 工程设计软件 FloWizard、FLUENT for CATIAV5, 前处理软件 Gambit、TGrid、G/Turbo, CFD 教学软件 FlowLab, 面向特定专业应用的 ICEPAK、AIRPAK、MIXSIM 软件。

FLUENT 是通用 CFD 软件, fluent 软件包含基于压力的分离求解器、基于压力的耦合求解器、基于密度的隐式求解器、基于密度的显式求解器, 多求解器技术使 FLUENT 软件可以用来模拟从不可压缩到高超音速范围内的各种复杂流场。FLUENT 软件包含非常丰富、经过工程确认的物理模型, 可以模拟高超音速流场、转捩、传热与相变、化学反应与燃烧、多相流、旋转机械、动/变形网格、噪声、材料加工等复杂机理的流动问题。

FLUENT 软件的动网格技术处于绝对领先地位, 并且包含了专门针对多体分离问题的六自由度模型, 以及针对发动机的两维半动网格模型。

POLYFLOW 是基于有限元法的 CFD 软件, 专用于粘弹性材料的层流流动模拟。它适用于塑料、树脂等高分子材料的挤出成型、吹塑成型、拉丝、层流混合、涂层过程中的流动及传热和化学反应问题。

FloWizard 是高度自动化的流动模拟工具, 它允许设计和工艺工程师在产品开发的早期阶段迅速而准确地验证他们的设计。它引导你从头至尾地完成模拟过程, 使模拟过程变得非常容易。

FLUENT for CATIAV5 是专门为 CATIA 用户定制的 CFD 软件, 将 FLUENT 完全集成在 CATIAV5 内部, 用户就像使用 CATIA 其他分析环境一样地使用 FLUENT 软件。

Gambit 是专业的 CFD 前处理软件, 包括功能强大的几何建模和网格生成能力。

G/Turbo 是专业的叶轮机械网格生成软件。

AIRPAK 是面向 HVAC 工程师的 CFD 软件。并依照 ISO7730 标准提供舒适度、PMV、



PPD 等衡量室内外空气质量(IAQ)的技术指标。

MIXSIM 是专业的搅拌槽 CFD 模拟软件。

除 FLUENT 外,常用的 CFD 软件及相关仿真软件还有:专业三维流场分析软件——CFX,三维 CFD 快速求解器——CART3D,流体系统仿真、设计与优化平台——Flowmaster,专业的离散元仿真分析软件——EDEM 等。

### 1.2.3 FLUENT 软件先进的求解技术

在 FLUENT 软件当中,有两种数值方法可以选择:

- 基于压力的求解器。
- 基于密度的求解器。

从传统上讲,基于压力的求解器是针对低速、不可压缩流开发的,基于密度的求解器是针对高速、可压缩流开发的。但近年来这两种方法被不断地扩展和重构,使得它们可以突破传统上的限制,可以求解更为广泛的流体流动问题。

FLUENT 软件基于压力的求解器和基于密度的求解器完全在同一界面下,确保 FLUENT 对于不同的问题都可以得到很好的收敛性、稳定性和精度。

#### 1. 基于压力的求解器

基于压力的求解器采用的计算法则属于常规意义上的投影方法。投影方法中,首先通过动量方程求解速度场,继而通过压力方程的修正使得速度场满足连续性条件。由于压力方程来源于连续性方程和动量方程,从而保证整个流场的模拟结果同时满足质量守恒和动量守恒。由于控制方程(动量方程和压力方程)的非线性和相互耦合作用,就需要一个迭代过程,使得控制方程重复求解直至结果收敛,用这种方法求解压力方程和动量方程。

在 FLUENT 软件中共包含两个基于压力的求解器,一个是分离算法,另一个是耦合算法。

##### 1) 基于压力的分离求解器

如图 1-6 所示,分离求解器顺序地求解每一个变量的控制方程,每一个控制方程在求解时被从其他方程中“解耦”或分离,并且因此而得名。分离算法内存效率非常高,因为离散方程仅仅在一个时刻需要占用内存,收敛速度相对较慢,因为方程是以“解耦”方式求解的。

工程实践表明,分离算法对于燃烧、多相流问题更加有效,因为它提供了更为灵活的收敛控制机制。

##### 2) 基于压力的耦合求解器

基于压力的耦合求解是 FLUENT 6.3 的一个新功能。如图 1-6 所示,它以耦合方式求解动量方程和基于压力的连续性方程,它的内存使用量大约是分离算法的 1.5 到 2 倍;由于以耦合方式求解,使得它的收敛速度具有 5 到 10 倍的提高。同时还具有传统压力算法物理模型丰富的优点,可以和所有动网格、多相流、燃烧和化学反应模型兼容,同时收敛速度远远高于基于密度的求解器。