

CAD/CAM/CAE 实用技术丛书



【流体力学教学参考书】

FLUENT

入门与进阶教程

于 勇 主 编
张俊明 姜连田 副主编



本书附有实例光盘

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

CAD/CAM/CAE 实用技术丛书

FLUENT 入门与进阶教程

于 勇 主 编
张俊明 姜连田 副主编

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是一本介绍计算流体力学软件 FLUENT 应用方法的指导性教材。全书基于 FLUENT 6.3.26、GAMBIT 2.2.30 版本,以实例的方式对软件的使用方法进行说明与介绍。

全书主要内容包括 FLUENT 软件概述、流体力学与计算流体力学基础、流体流动的数值模拟、自然对流与辐射传热、离散相的数值模拟、多相流模型、燃烧的数值模拟-组分输运与化学反应模型、移动与变形区域中流动问题的模拟、FLUENT 中常用的边界条件、用户自定义函数 UDF、并行计算等。每个章节中的实例均有详细的说明与详尽的操作步骤,读者按照书中的提示与步骤操作即可完成一个具体问题的数值模拟与分析,进而逐步掌握利用 FLUENT 进行流体流动与传热数值模拟的基本方法和技巧。

本书所选实例具有代表性,有一定的难度(例如飞行器外流与复杂旋风分离器内流的数值模拟),读者可以通过这些实例的学习迅速掌握解决实际工程问题的思路与方法。

本书内容全面、新颖、实用,可作为流体工程、动力、能源、水利、航空、冶金、海洋、环境、气象等专业领域的本科生和研究生教材,也可供上述领域的科研人员,特别是从事 CFD 模拟的人员阅读参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

FLUENT 入门与进阶教程/于勇主编. —北京:北京理工大学出版社, 2008.9

(CAD/CAM/CAE 实用技术丛书)

ISBN 978-7-5640-1681-4

I. F… II. 于… III. 流体力学-工程力学-计算机仿真-应用软件, Fluent-教材 IV. TB126-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 109479 号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/保定市中华美凯印刷有限公司

开 本/787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张/19

字 数/455 千字

版 次/2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

印 数/1~4000 册

定 价/38.00 元

责任校对/申玉琴

责任印制/母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前言

Preface

FLUENT 入门与进阶教程

随着计算机技术不断地发展和进步,计算流体力学(CFD)逐渐在流体力学研究领域崭露头角,成为继理论流体力学和实验流体力学之后的又一种重要的研究手段。一些在地面无法进行实验而理论又无法解决的流体力学问题,只能依靠计算流体力学方法来解决,例如高超声速气动加热问题。自1981年英国的PHOENICS推出并迅速在国际软件产业中形成了商业CFD软件产业市场后,流动与传热计算的CFD商业软件在工程领域发挥了越来越大的作用,例如波音公司、丰田公司等工业企业将CFD软件应用于工程中在节省研究经费、缩短开发周期方面发挥着重要的作用。

FLUENT是在工业界和教育系统中市场占有率较高的商业软件。目前已经有几本有关介绍FLUENT软件使用的教程陆续出版,为FLUENT用户的迅速入门和深入学习发挥了重要的作用。但在实际使用软件的过程中,使用者往往只知其然,不知其所以然,在面对一些比较复杂的工程问题时,缺乏解决问题的思路和经验。所以我们出版了这本较系统、所选实例较有针对性和启发性、更加实用的教材。

在编写过程中,选取了一些比较实用的例子,例如飞行器绕流流场和旋风分离器内流流场;参阅了大量的相关文献和资料。在FLUENT 6.3版本的基础上,补充介绍了该版本上的新功能,在此对这些参考资料的作者表示感谢。同时,本书的出版也得到了北京理工大学出版社的大力支持,在此也表示衷心的感谢。

本书在前两章介绍了FLUENT 6.3软件最新版本的新特点和功能,并通过一个简单实例了解软件的基本操作与使用方法以及使用软件过程中经常遇到的流体力学与计算流体力学(CFD)的基本理论与术语。后续章节中分别通过典型的实例讲解了FLUENT在流体流动、传热、燃烧、多相流等实际工程中的应用方法和技巧,包括运动部件的速度场模拟、UDF和UDS的使用、并行计算的设置、计算区域的绘制等,其中对边界条件的定义与设置单独列为一章。各章所用到的实例可以从本书的配套光盘中找到。

本书由于勇、张俊明、姜连田、张宇、张世军等编写。全书由于勇和张俊明共同定稿。限于作者的知识水平和经验,书中错误和不足之所在所难免,恳请广大读者批评指正,读者可通过电子信箱lbqbitpress@tom.com与我们交流。

编者

目 录

Contents

FLUENT入门与进阶教程

第1章 FLUENT 软件概述	1
1.1 FLUENT 软件包的组成	1
1.2 FLUENT 软件包的工程应用背景	2
1.3 FLUENT 6.3 的新特性	4
1.4 FLUENT 软件包的安装与运行	6
1.4.1 FLUENT 软件包的安装	6
1.4.2 FLUENT 软件包的运行	7
1.5 FLUENT 的一个简单实例	7
1.5.1 问题描述	7
1.5.2 实例分析	8
1.5.3 实例操作步骤	8
第2章 流体力学与计算流体力学基础	36
2.1 流体力学基础	36
2.1.1 一些基本概念	36
2.1.2 流体流动的分类	37
2.1.3 边界层与绕流阻力	43
2.1.4 可压缩流体流动——气体动力学基础	43
2.1.5 流体流动的控制方程	45
2.2 计算流体力学基础	49
2.2.1 计算流体力学的求解过程	49
2.2.2 数值模拟方法和分类	52
2.2.3 有限容积法的基本思想	53
2.2.4 FVM 的求解方法	54
第3章 流体流动的数值模拟	56
3.1 流体流动概述	56
3.2 二维定常可压缩流场分析——NACA 0006 翼型气动力计算	56
3.2.1 概述	56
3.2.2 实例简介	57
3.2.3 实例操作步骤	57
3.3 二维非定常不可压缩流场分析——卡门涡街	76

3.3.1	概述	76
3.3.2	实例简介	76
3.3.3	实例操作步骤	76
3.4	三维定常可压缩流动——多翼飞行器外流流场	86
3.4.1	概述	86
3.4.2	实例简介	87
3.4.3	实例操作步骤	87
3.5	三维定常不可压缩流动——旋风分离器内流场模拟	108
3.5.1	概述	108
3.5.2	实例简介	108
3.5.3	实例操作步骤	108
第 4 章	自然对流与辐射传热	121
4.1	概述	121
4.1.1	选择辐射模型的标准	122
4.1.2	各种辐射模型的优点和局限性	122
4.1.3	浮力驱动流动与自然对流	123
4.2	实例	124
4.2.1	实例操作步骤	125
4.2.2	小结	144
第 5 章	离散相的数值模拟	145
5.1	离散相模型概述	145
5.1.1	离散相模型的应用限制	145
5.1.2	粒子与湍流相互作用简介	146
5.1.3	非耦合与相间耦合	147
5.1.4	离散相模型的计算策略	147
5.2	旋风分离器内颗粒轨迹的模拟	148
5.2.1	模拟对象描述	148
5.2.2	实例操作步骤	148
5.2.3	实例小结	153
第 6 章	多相流模型	154
6.1	多相流概述	154
6.1.1	多相流的分类	154
6.1.2	多相流动系统的例子	155
6.2	多相流模型的选择方法	156
6.2.1	多相流动模拟的方法	156
6.2.2	三种欧拉多相流模型选择原则	157

6.3	VOF 模型	159
6.3.1	概述	159
6.3.2	实例简介	160
6.3.3	实例操作步骤	160
6.4	Mixture 混合模型	174
6.4.1	概述	174
6.4.2	实例简介	174
6.4.3	实例操作步骤	175
6.5	Eulerian (欧拉) 模型	183
6.5.1	概述	183
6.5.2	实例简介	184
6.5.3	实例操作步骤	184
第 7 章	燃烧的数值模拟—组分输运与化学反应模型	188
7.1	概述	188
7.1.1	层流有限速率模型	189
7.1.2	涡耗散模型	190
7.1.3	涡-耗散-概念 (EDC) 模型	191
7.2	二维甲烷燃烧器的模拟	192
7.2.1	模拟对象描述	192
7.2.2	实例操作步骤	192
7.2.3	实例小结	205
第 8 章	移动与变形区域中流动问题的模拟	206
8.1	移动与变形区域中流动问题概述	206
8.1.1	单一旋转坐标系 SRF 中的流动计算	206
8.1.2	多重参考系 MRF 模型	208
8.1.3	混合平面模型 (Mixing Plane Model)	209
8.1.4	滑移网格模型 (Sliding Meshes)	210
8.1.5	动网格模型 (Dynamic Meshes)	211
8.2	多重参考系 MRF 模型的应用	212
8.2.1	概述	212
8.2.2	实例简介	213
8.2.3	实例操作步骤	213
8.3	Sliding Meshes 滑移网格模型的应用	219
8.3.1	实例简介	219
8.3.2	实例操作步骤	219
8.4	动网格模型的应用	222
8.4.1	概述	222

8.4.2	实例简介	223
8.4.3	实例操作步骤	224

第 9 章	FLUENT 中常用的边界条件	236
9.1	FLUENT 中的边界条件简介	236
9.1.1	FLUENT 中边界条件的分类	236
9.1.2	FLUENT 中边界条件的设置方法	236
9.2	FLUENT 中流动入口和出口边界条件	238
9.2.1	流动边界条件简介	238
9.2.2	边界上湍流参数的确定	239
9.3	FLUENT 中常用的边界条件	243
9.3.1	压力进口边界条件	243
9.3.2	速度进口边界条件	245
9.3.3	质量流进口边界条件	247
9.3.4	压力出口边界条件	249
9.3.5	出流 (Outflow) 边界条件	250
9.3.6	压力远场边界条件	251
9.3.7	固壁边界条件	252
9.3.8	流体区域	253
9.3.9	固体区域	254
9.3.10	周期性边界条件	255
9.3.11	对称边界条件	256
9.3.12	内部界面 (interior) 与交界面 (interface)	257
9.3.13	其他一些边界条件	258
第 10 章	用户自定义函数 UDF	259
10.1	UDF 基础知识	259
10.1.1	UDF 概述	259
10.1.2	UDF 的功能	260
10.1.3	网格术语简介	260
10.1.4	FLUENT 中的数据类型	261
10.2	UDF 宏简介	261
10.2.1	通用的 DEFINE 宏	262
10.2.2	模型相关的宏函数	263
10.2.3	多相流模型中的宏函数	264
10.2.4	离散相模型中的宏函数	265
10.2.5	动网格应用中的宏函数	265
10.2.6	用户自定义标量 (UDS) 输运方程中的宏函数	266
10.3	一些其他的常用宏函数	266

10.3.1	访问求解器数据的宏函数.....	266
10.3.2	做循环操作的宏函数.....	270
10.3.3	矢量操作的宏函数.....	271
10.3.4	输入输出的宏函数.....	272
10.4	UDF 的编写.....	272
10.4.1	UDF 程序编写的基本步骤.....	272
10.4.2	UDF 的基本格式.....	272
10.5	UDF 实例.....	273
10.5.1	实例简介.....	273
10.5.2	没有使用 UDF 情况下的实例计算结果.....	274
10.5.3	使用 UDF 情况下的实例计算结果.....	275
10.5.4	小结.....	285
第 11 章	并行计算.....	286
11.1	概述.....	286
11.2	实例.....	286
参考文献	292

第 1 章

FLUENT 软件概述

FLUENT 是目前处于世界领先地位的商业 CFD (Computational Fluid Dynamics 计算流体力学) 软件包之一, 最初由 FLUENT Inc. 公司发行。2006 年 2 月 ANSYS Inc. 公司收购 FLUENT Inc. 公司后成为全球最大的 CAE (Computer Aided Engineering 计算机辅助工程) 软件公司。FLUENT 6.3.26 就是由 ANSYS Inc. 公司发布的最新的 FLUENT 版本, 本书的所有内容都是以这个版本为基础的。

FLUENT 是一个用于模拟和分析复杂几何区域内的流体流动与传热现象的专用软件。FLUENT 提供了灵活的网格特性, 可以支持多种网格。用户可以自由选择使用结构化或者非结构化网格来划分复杂的几何区域, 例如针对二维问题支持三角形网格或四边形网格; 针对三维问题支持四面体、六面体、棱锥、楔形、多面体网格; 同时也支持混合网格。用户也可以利用 FLUENT 提供的网格自适应特性在求解过程中根据所获得的计算结果来优化网格。

FLUENT 是使用 C 语言开发的, 支持并行计算, 支持 UNIX 和 Windows 等多种平台, 采用用户 / 服务器的结构, 能够在安装不同操作系统的工作站和服务器之间协同完成同一个任务。FLUENT 通过菜单界面与用户进行交互, 用户可以通过多窗口的方式随时观察计算的进程和计算结果。计算结果可以采用云图、等值线图、矢量图、剖面图、XY 散点图、动画等多种方式显示、存贮和打印, 也可以将计算结果保存为其他 CFD 软件、FEM (Finite Element Method) 软件或后处理软件所支持的格式。FLUENT 还提供了用户编程接口, 运行用户可以在 FLUENT 的基础上定制、控制相关的输入输出, 并进行二次开发。

1.1 FLUENT 软件包的组成

针对不同的计算对象, CFD 软件都包含有 3 个主要功能部分: 前处理、求解器、后处理。其中前处理是指完成计算对象的建模, 网格生成的程序; 求解器是指求解控制方程组的程序; 后处理是指对计算结果进行显示、输出的程序。FLUENT 软件是基于 CFD 软件群的思想设计的。FLUENT 软件包主要由 GAMBIT、Tgrid、Fliters、FLUENT 几部分组成。

(1) 前处理器。包括 GAMBIT、Tgrid 和 Fliters。其中 GAMBIT 是由 FLUENT Inc. 公司自主开发的专用 CFD 前置处理器, 用于模拟对象的几何建模以及网格生成。Tgrid 是一个附加的前置处理器, 它可以从 GAMBIT 或其他 CAD/CAE 软件包中读入所生成的模拟对象的几何结构, 从现有的边界网格开始生成由三角形、四面体或混合网格组成的体网格。Fliters 实际上就是其他 CAD/CAE 软件包, 例如 ANSYS、CGNS、I-DEAS、NASTRAN、PATRAN、ICEM 等与 FLUENT 之间的接口, 通过接口可以将由其他 CAD/CAE 软件包所生成的面网格或体网格读入到 FLUENT。

(2) 求解器。它是 CFD 软件包的核心，FLUENT 实际上是一个求解器，FLUENT 6.3.26 是一个基于非结构化网格的通用求解器，支持并行计算，分单精度和双精度两种。一旦所生成的网格读入到 FLUENT 中，所有剩下的操作都可以在 FLUENT 里面完成，其中包括设置边界条件、定义材料性质、执行求解、根据计算结果优化网格、对计算结果进行后处理等。

(3) 后处理器。FLUENT 本身附带有强大的后处理功能，有云图、等值线图、矢量图、剖面图、XY 散点图、粒子轨迹图、动画等多种方式显示、存贮和输出计算结果，可以平移、缩放、旋转、镜像图像，也可以将计算结果导出到其他 CFD、FEM 软件或其他后处理软件中，例如 Tecplot。

FLUENT 软件包的基本结构示意图如图 1-1 所示，从图中也可以看出完成一个流体流动与传热问题的计算流程：首先利用 GAMBIT 或者其他前处理器完成模拟对象几何结构的建模以及计算网格的生成与划分，然后将网格导入到 FLUENT 中进行求解计算，最后对计算结果进行处理和分析。

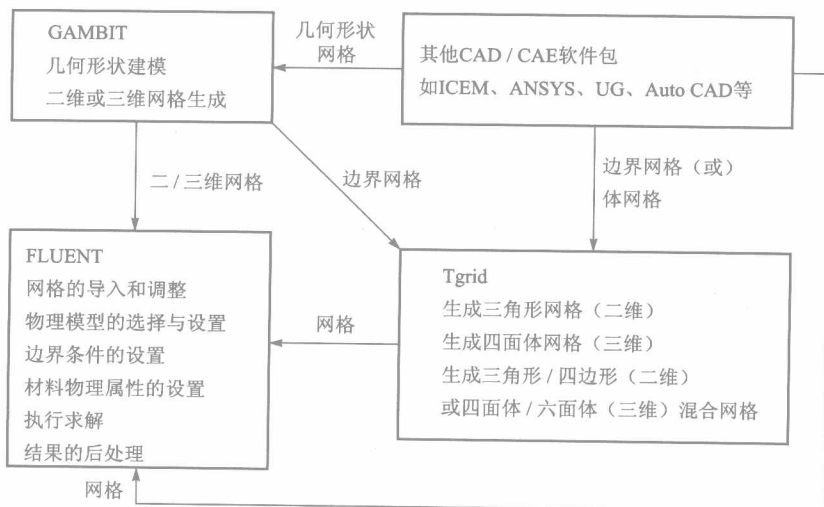


图 1-1 FLUENT 软件包结构示意图

1.2 FLUENT 软件包的工程应用背景

应用 CFD 软件可以进行大量虚拟（数值）试验，在此基础上再结合一定的实际试验，可以加快开发进程、降低开发成本、提高企业的创新力和竞争力。

FLUENT 软件是目前市场占有率最大的 CFD 软件包，用来模拟从不可压缩到高度可压缩范围内的复杂流动。只要是涉及流动、传热、化学反应等的工程问题，都可以用 FLUENT 来进行分析。FLUENT 采用了多种求解方法和多重网格加速收敛技术，因而能达到最佳的收敛速度和求解精度。FLUENT 提供了丰富的物理模型、数值方法供用户选择，而且具有强大的前后处理功能，灵活的非结构化网格和基于解的自适应网格技术及成熟的物理模型，使 FLUENT 在航空航天、汽车设计、船舶、机械、能源动力、化工、环境、电子、噪声、材料加工、生物医药、燃料电池等许多领域都有着广泛的应用。

FLUENT 的特点以及能够解决的工程问题可以归纳为以下方面：

① 二维平面、二维轴对称、二维轴对称旋流、三维流动问题。

② 可以建立三角形、四边形、四面体、六面体、棱柱（楔形）、棱锥、多面体网格以及混合网格，具体的控制体网格形状如图 1-2 所示。计算过程中网格可以根据计算结果自适应粗化或细化。

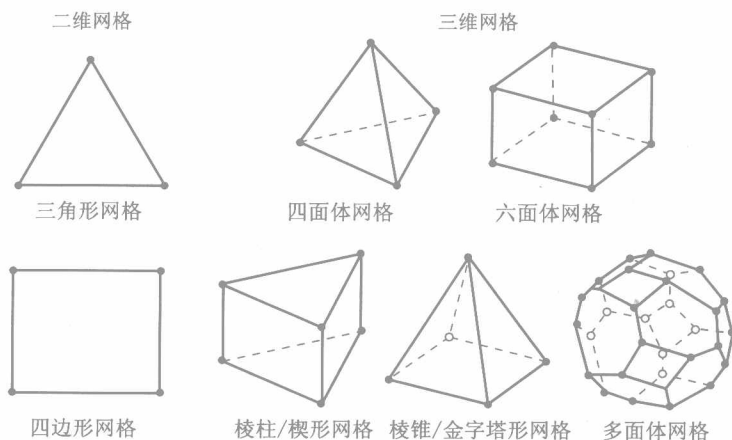


图 1-2 FLUENT 使用的网格形状示意图

③ 定常（稳态）和非定常（瞬态）问题。

④ 不可压和可压缩流动问题，包括所有的速度范围（亚、跨、超、高超声速流动）。

⑤ 无粘流、层流和湍流。湍流模型包含 Spalart-Allmaras (S-A) 模型、 $k-\omega$ 模型、雷诺应力模型 (RSM)、大涡模拟 (LES) 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。

⑥ 牛顿流体和非牛顿流体。

⑦ 传热问题，包括强迫对流、自然对流和混合对流换热以及流体—固体共轭流动与换热、热辐射。

⑧ 化学组分的混合与反应，包括单一组分和多组分燃烧以及表面沉积 / 反应。

⑨ 自由表面流动和气—固、气—液、液—固多相流动。

⑩ 采用拉格朗日 (Lagrangian) 轨道模型计算离散相（颗粒 / 液滴 / 气泡）的运动（包括离散相与连续相的双向耦合以及喷雾模型）。

⑪ 气穴现象。

⑫ 融合 / 凝固等相变问题。

⑬ 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），多孔介质中的流动与传热。

⑭ 集总参数模型的风扇、泵、散热器、热交换器的模拟。

⑮ 基于精细流场解算的预测流体噪声的声学模拟。

⑯ 惯性坐标系和非惯性坐标系下的流动问题，静止和运动物体的相互作用（包括叶轮机械、多体分离等问题）。

⑰ 通过动 / 变形网格技术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。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、变形较大问题以及事先不了解物体运动规律而完全由流动引起的力所决定的问题。

⑱ 丰富的流体、固体材料物理属性数据库。

⑲ 附加的磁流体模块主要模拟电磁场和导电流体之间的相互作用问题；连续纤维模块主要模拟纤维和气体流动之间的动量、质量以及热的交换问题。

⑳ 提供大量的 UDF (User-Defined Functions) 用户自定义函数作为二次开发接口，方便用户处理质量、动量、热量和化学组分反应源项，改变边界条件，控制输入输出，设置部分材料物性，挂入自己开发的物理模型，方便用户进行二次开发。

1.3 FLUENT 6.3 的新特性

FLUENT 6 系列的发行从 2001 年 12 月的 6.0 版本开始，到 2003 年 2 月的 6.1 版本，再到 2005 年 3 月发行了 6.2 版本，开发的速度逐渐加快，2006 年末正式推出了 FLUENT 6.3 版本。相比于以前的版本，改进了核心算法的 FLUENT 6.3 运算速度更快，效率更高。

如图 1-3 所示，FLUENT 6.3 在核心数值求解器方面新增加了压力基耦合求解器，解算速度提高了 3~5 倍。FLUENT 6.3 是唯一既包含压力基的耦合求解器又包含密度基耦合求解器的 CFD 软件。新增的核心算法对于扭曲 / 拉伸网格及“刚性”问题的收敛速度和稳定性均有提高，收敛速度不受网格尺寸的影响，基本不需要调整松弛因子；还实现了与分离求解器之间的即时转换，如图 1-4 所示；并行效率也得到很大提高。有关压力基、密度基求解器，耦合、分离求解器等计算流体力学的相关概念在本书第二章中进行介绍。

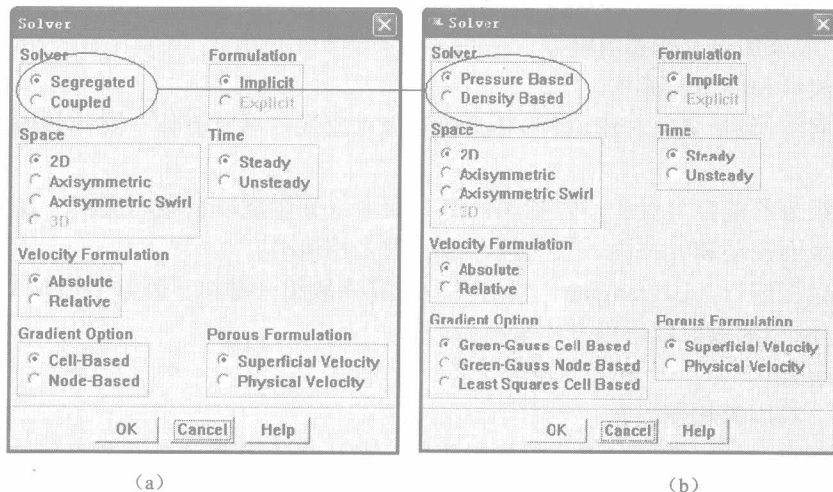


图 1-3 FLUENT 6.3 核心求解器改进的 Solver 面板比较示意图

(a) FLUENT 6.2; (b) FLUENT 6.3

在 FLUENT 6.3 中，还支持在求解器内进行四面体网格的自动聚合，自动地将四面体网格转化为多面体网格，这一技术可以将使网格总数降低为原来的 1/3~1/5，从而降低计算量、加速收敛，同时使网格的扭曲率降低，改善了求解过程的收敛性和稳定性。用户可以根据网

格的扭曲程度选择聚合的方式，来改善网格质量；在求解器里也能够进行网格质量的检查、控制和处理。如图 1-5 所示就显示了 FLUENT 6.3 新增的两种自动聚合为多面体的方式：“Grid” → “Polyhedra” → “Convert Domain”，可以把全部网格都转换成多面体网格；“Grid” → “Polyhedra” → “Convert Skewed Cells...” 会尽量将网格 Skewness 超过指定值的网格转换为多面体网格，壁面上的网格不会被转换。

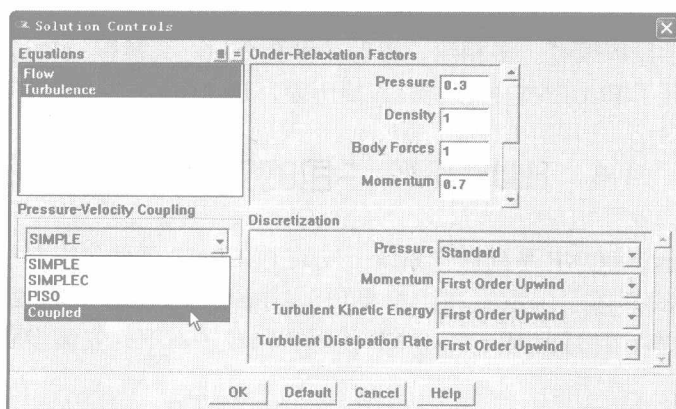


图 1-4 FLUENT 6.3 压力基求解器与分离求解器的即时转换

细心的读者可以从图 1-3 中看出，FLUENT 6.3 还提供了一个新的网格梯度求解选项，除了保留基于控制体中心和基于控制体节点两个选择以外，新增加了一种“Least Squares Cell Based”方法，这是针对新增的支持多面体网格而设计的，它实际上假设变量在网格单元之间线形变化。

在密度基的求解器中，FLUENT 6.3 在保留原有的 Roe 格式基础上，增加了 AUSM+类型的格式，增强了高马赫数流动时的激波捕捉能力，改善了扭曲 / 拉伸网格求解的收敛性和稳定性。

FLUENT 6.3 在动网格方面也进行了大的改进，包含了行业领先的动网格技术，包含专门的机 / 弹分离、发动机缸内模拟模型，可以进行“多”对“多”的动网格处理，极大地降低了动网格的应用门槛。

FLUENT 6.3 在湍流模型方面也做了大量改进：其中的 DES 模型增加了双方程模型（Realizable k-ε 和 SST k-ω 模型）作为切换到 RANS 模型的选择，在这之前的 DES 中 RANS 模型只能用 S-A 模型。FLUENT 6.3 的 LES 模型也做了改进，例如增加了能量方程和组分方程的 Dynamic SGS 模型，提供了新的统计结果等。还有诸如雷诺应力模型对低雷诺数模拟进行了改进，引入了 Wilcox 最新发表的低雷诺数 stress-omega 模型。

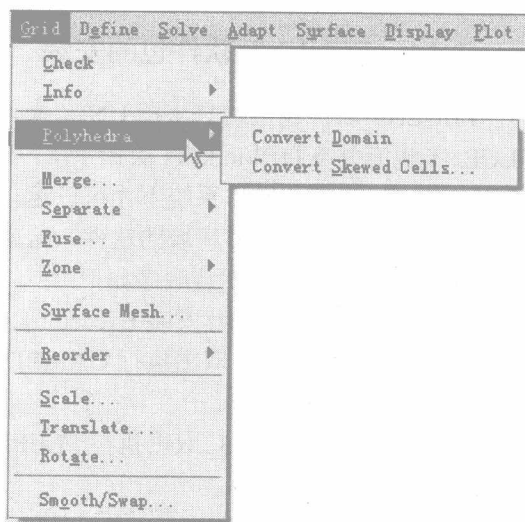


图 1-5 FLUENT 6.3 新增的两种自动聚合为多面体的方式

FLUENT 6.3 在化学反应流动的模拟中也进行了大量改进。例如增加了模拟组分和反应数的限制，目前可以最多模拟 300 个组分、1 500 个反应；增加了污染物 SO_x 生成的模拟等。

FLUENT 6.3 的欧拉多相流模型目前可以支持可压缩流动，对所有的相都可以考虑可压缩性，相应地提供了质量流率的进口边界条件；在此之前的版本，欧拉多相流模型只能用于不可压流动中。

FLUENT 6.3 版本的改进多达 500 多项，改进所涉及的方面包括求解器、并行算法、动网格、湍流模型、化学反应模型、多相流、辐射、多孔介质、离散颗粒轨道模型以及后处理等许多方面，全面提升了 FLUENT 的性能。篇幅所限，这里不作一一介绍了。

1.4 FLUENT 软件包的安装与运行

由于在 Windows 2000/XP 系列操作系统下安装 FLUENT 软件包需要按顺序进行，所以有必要详细地介绍它的具体安装步骤和注意事项。注意到 FLUENT 6.3.26 是最后一个支持 Windows 2000 的版本，且目前 Windows XP 使用者比较多，下列安装步骤是在 Windows XP 系统下演示的。

使用 Vista 系统的读者也可以按下面的步骤安装，但是需要说明的是，FLUENT 的官方表示目前 FLUENT 对 Vista 系统的支持并没有进行全面的测试，可以使用，但是也许会有潜在的问题和风险。

1.4.1 FLUENT 软件包的安装

FLUENT 软件包最初只支持 UNIX 操作系统，面向高端用户。随着 Windows 系统的普及，FLUENT 也开始支持 Windows 操作系统，但是 FLUENT 软件包中前处理软件 GAMBIT 仍然必须在 UNIX 类型的操作系统下才可以运行，所以安装之前首先需要在 Windows 操作系统环境下安装一个模拟 UNIX 环境的软件，这就是 Exceed。

FLUENT 软件包的安装顺序如下：

- ① 安装 Exceed。推荐安装 Exceed 6.2 以上版本。
- ② 安装 GAMBIT。双击执行 GAMBIT 的安装可执行文件，按照提示就可以完成安装，推荐安装 GAMBIT 2.2.30。
- ③ 安装 FLUENT 6.3。双击执行 FLUENT 的安装可执行文件，按照提示就可以完成安装，推荐安装 FLUENT 6.3.26。

可以选择把软件安装到除 C 盘以外的其他逻辑磁盘。不过，一般来说，安装都推荐使用默认的安装路径。

当按照上面的步骤安装完毕以后，还需要对 FLUENT 和 GAMBIT 的环境变量进行设置。

依次点击“开始”→“所有程序”→“FLUENT Inc Products”→“FLUENT 6.3.26”→“Set Environment”，就会弹出询问是否修改环境变量设置（将 FLUENT 的环境变量信息添加到系统环境变量路径中）的对话框。单击“是”图标就设置好了 FLUENT 的环境变量。

依次点击“开始”→“所有程序”→“FLUENT Inc Products”→“GAMBIT 2.2.30”→“Set Environment”，就会弹出询问是否修改环境变量设置（将 GAMBIT 的环境变量信息添

加到系统环境变量路径中)的对话框。单击“是”图标就设置好了 GAMBIT 的环境变量。

最后,强烈建议大家随后把 FLUENT 和 GAMBIT 的帮助文档都安装到计算机中,以备随时查阅。虽然目前网上有不少翻译成中文的帮助文档,但翻译的质量差别很大,有些还有错误,而 FLUENT 的帮助文档编写合理,内容齐全,对英文基础较好的读者来说将是最好的参考资料;同时,经常阅读英文文档对我们的英文水平提高也会很有帮助。

1.4.2 FLUENT 软件包的运行

前处理器 GAMBIT 的运行:直接利用桌面快捷方式;或者依次点击“开始”→“所有程序”→“FLUENT Inc Products”→“GAMBIT 2.2.30”→“GAMBIT 2.2.30”;或者依次点击“开始”→“运行”,通过命令行提示符(快捷键是“win 键+r”),输入“GAMBIT”,然后回车就可以启动 GAMBIT 了。

求解器 FLUENT 的运行:直接利用桌面快捷方式;或者依次点击“开始”→“所有程序”→“FLUENT Inc Products”→“FLUENT 6.3.26”→“FLUENT 6.3.26”;或者依次点击“开始”→“运行”,通过命令行提示符,输入“FLUENT”,然后回车就可以启动 FLUENT 了。

1.5 FLUENT 的一个简单实例

安装完成之后,通过一个简单的实例操作来初步了解一下使用 FLUENT 进行数值模拟的过程,认识一下 FLUENT 和 GAMBIT 软件,同时在做实例的过程中来对这两种软件的基本用法作相应的介绍。

1.5.1 问题描述

如图 1-6 所示的一个圆形的突然扩张管道,假设工质为水,通常当流动经过类似这种突然扩张或突然收缩的管道时,流动与管壁分离,形成流动的漩涡,与此同时发生压强损失。现在介绍如何使用 FLUENT 模拟水流在管道中速度场。

由于是圆截面管道,在不考虑重力或者假设重力方向与管道轴线方向一致时,该三维流动可以简化为二维轴对称流动问题。简化后的数值模拟区域如图 1-7 所示,仅仅是原来管道的一个轴对称剖面,管道总长 2.0 m,其中细管长 0.5 m,细管半径 0.1 m,扩张后的管半径为 0.2 m,长 1.5 m,注意到管长和台阶高度的比值为 15,这时可以认为出口已经是充分发展的

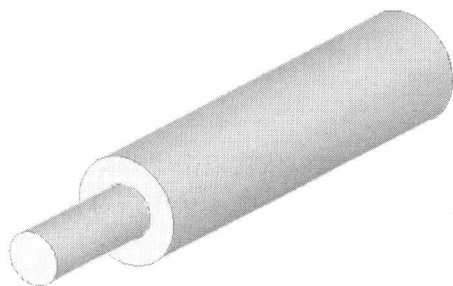


图 1-6 突然扩张圆管示意图

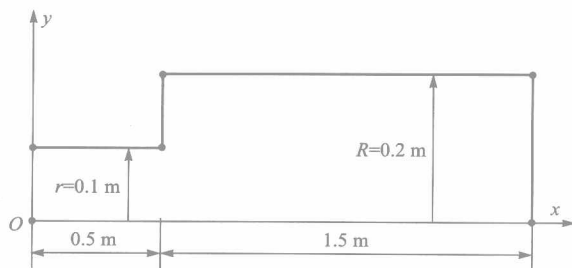


图 1-7 流体计算区域示意图

流动；管中流动的工质为水，常温下密度为 $1\,000\text{ kg/m}^3$ ，粘性为 $0.001\text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$ ；假设入口处水流速度为 0.1 m/s 。图 1-7 中的黑色圆点表示几何区域的控制点，利用这些控制点就可以确定计算区域的几何形状，其中 O 点为坐标原点。

1.5.2 实例分析

当利用 FLUENT 解决某一工程问题时，需要详细考虑以下几个问题：

(1) 确定计算目标。预期从 CFD 模型计算中获得什么样的结果？（速度场、温度场、气动力等），获得这些结果需要的时间要求多久，从模型中需要得到什么样的精度？（气动力的误差小于百分之几等）。

(2) 选择计算模型。所遇到的问题是否能够简化（三维问题是否可以简化为二维或轴对称问题或是否可以简化为面对称问题），计算区域如何界定，使用什么样的边界条件，各个边界的信息是否充分，什么类型的网格拓扑结构更加适合解决所遇到的问题，所有这些问题将决定计算机模型的选用。

(3) 确定物理模型。确定无粘度还是有粘度，层流还是湍流，定常还是非定常，可压缩流动还是不可压缩流动，是否需要应用其他的物理模型（燃烧、多相流等）。

(4) 确定解的程序。确定是否使用默认解的格式与参数值，采用哪一种求解格式可以加快收敛，估计得到收敛解需要的时间要多久，是否需要选择高价格格式。

(5) 分析改进计算。根据获得的收敛结果，分析流型是否正确，关键的物理现象（分离、激波膨胀波等）是否模拟正确，力、力矩、流量、温度等与实验值比较是否满足模拟精度要求，是否需要做模型上的改进（例如是否需要考虑三维效应），计算域是否需要扩大，边界层是否需要加密网格等。

1.5.3 实例操作步骤

前面提到的突然扩张管道的流动问题，求解目的是了解管道内的速度场，是一个定常、不可压缩流动问题，不考虑传热。根据分析可以简化为一个二维轴对称的问题，由入口速度和特征长度（直径）可以计算出入口雷诺数为

$$\text{Re} = \frac{\rho UD}{\mu} = \frac{1000 \times 0.1 \times 0.2}{0.001} = 20\,000$$

流动为湍流，入口条件为速度入口，出口使用充分发展条件，其他为壁面和对称轴边界条件。

对于这个问题，首先用 GAMBIT 画出计算区域，并对计算区域划分网格进行离散，再对边界条件类型进行指定，得到相应问题的计算模型。然后利用 FLUENT 求解器对模型进行求解。最后对感兴趣的结果进行后处理，得到需要的图表、图片或数据。

1. 利用 GAMBIT 建立计算区域和指定边界条件类型

步骤 1: 文件的创建及其求解器的选择

(1) 启动 GAMBIT 软件。GAMBIT 设置好环境变量以后，可以依次点击“开始”→“运行”打开如图 1-8 所示的对话框，单击“确定”图标，接着会弹出如图 1-9 所示对话框，单击 Run 图标就可以启动 GAMBIT 软件了。

GAMBIT 的启动也可以直接利用桌面快捷方式；或者依次点击“开始”→“所有程序”→“FLUENT Inc Products”→“GAMBIT 2.2.30”→“GAMBIT 2.2.30”。这几种方式都