

计算流体力学 基础与STAR-CD 工程应用

姚仁太 郭栋鹏 主 编
杨秋林 王红涛 副主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

计算流体力学基础与 STAR-CD 工程应用

姚仁太 郭栋鹏 主 编

杨秋林 王红涛 副主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书主要介绍了计算流体力学(CFD)的基本理论知识及 STAR-CD 软件的工程应用。本书共分三篇:第一篇(1~6章),主要内容为计算流体力学基本知识、湍流模型、控制方程的离散、流场数值计算、边界条件及网格生成等;第二篇(7~12章),主要内容为 STAR-CD 软件基本知识及工程应用实例;第三篇(13和14章),主要介绍常用后处理软件。本书最大的特点是理论性与实践性并重,同时兼顾实用性与新颖性。

本书可作为水利、航空、建筑、能源、气象、环境、海洋、流体工程等工程领域从事 CFD 应用的科技人员的学习参考书,也可作为相关专业研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算流体力学基础与 STAR-CD 工程应用/姚仁太, 郭栋鹏主编. —北京: 国防工业出版社, 2015.6

ISBN 978-7-118-10048-8

I. ①计… II. ①姚… ②郭… III. ①计算流体力学—应用软件 IV. ①O35-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 112519 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)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 21¼ 字数 507 千字

2015 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 89.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

前 言

流体流动与传热现象广泛存在于自然界与许多工程领域中。继理论分析、实验研究之外,计算流体力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)已经成为研究流动与传热问题的一种重要技术方法。经过多年的发展,CFD已成为流体科学领域中一门新兴的独立学科,它建立在理论流体力学与数值计算基础之上,通过对流动与传热等物理现象进行模拟分析,从而解决各种复杂的流动问题。近年来,随着计算机技术与性能的快速发展,CFD广泛应用于与流动现象有关的学科及工程领域之中。

CFD软件最早于20世纪70年代在美国推出,近年来在国内得到广泛应用。CFD软件在水利、航空、建筑、能源、气象、环境、海洋、流体工程等许多行业得到成功应用,成为解决各种流体流动与传热问题的强有力工具。目前,掌握和熟练使用CFD成为现代科研人员和工程技术人员从事有关行业工作所需要的一项重要技能,同时,随着各类商用CFD软件的广泛应用,迫切需要有关介绍CFD理论知识与应用的参考书。

基于这一需求,我们编写了本书。本书重点介绍了CFD的基本理论,并用实例对STAR-CD软件在大气环境领域中的应用进行说明,希望能为学习CFD解决大气环境相关问题的读者提供指导。

本书分为三篇:第一篇(1~6章),主要内容为CFD的基本知识、湍流模型、控制方程的离散、流场数值计算、边界条件及网格生成等;第二篇(7~12章),主要内容为CFD软件基本知识及在大气环境领域的应用实例;第三篇(13和14章),主要内容为常用后处理软件介绍。

本书第1章由中国辐射防护研究院姚仁太编写,第2、3、5、6章由太原科技大学杨秋林编写,第4、7、8、14章由太原理工大学王红涛编写,第9~13章由太原科技大学郭栋鹏编写,全书由姚仁太统稿。

在本书编写过程中,参考了国内外的有关著作和学术论文;同时得到了国家自然科学基金(项目编号:11175161)和太原科技大学博士启动基金(项目编号:20122008)的大力支持,使本书编写和出版得以顺利完成,特此致谢!

由于作者水平有限,书中疏漏和不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2015年1月

目 录

第一篇 基础知识

第 1 章 绪论	1
1.1 计算流体力学的概念	1
1.2 计算流体力学发展简史	2
1.3 计算流体力学的应用	3
第 2 章 计算流体力学基础知识	4
2.1 流体的基本特性	4
2.1.1 理想流体与黏性流体	4
2.1.2 牛顿流体与非牛顿流体	4
2.1.3 流体热传导及扩散	5
2.1.4 可压流体与不可压流体	5
2.1.5 定常与非定常流动	6
2.1.6 层流与湍流	6
2.2 流体力学的控制方程	6
2.2.1 质量守恒方程	6
2.2.2 动量守恒方程	7
2.2.3 能量守恒方程	9
2.2.4 组分质量守恒方程	10
2.2.5 湍流的控制方程	10
2.2.6 控制方程的通用形式	11
2.2.7 守恒型控制方程与非守恒型控制方程	12
2.3 CFD 工作原理	12
2.3.1 计算流程	13
2.3.2 建立控制方程	13
2.3.3 确定边界条件与初始条件	13
2.3.4 划分计算网格	13
2.3.5 建立离散方程	14
2.3.6 离散初始条件和边界条件	14
2.3.7 给定求解控制参数	14

2.3.8	求解离散方程	14
2.3.9	判断解的收敛性	15
2.3.10	显示和输出计算结果	15
第 3 章	湍流模型	16
3.1	湍流及其数学描述	16
3.1.1	湍流流动的特征	16
3.1.2	湍流的基本方程	17
3.2	湍流的数值模拟方法	19
3.2.1	湍流数值模拟方法的分类	19
3.2.2	直接数值模拟法	20
3.2.3	大涡模拟法	20
3.2.4	Reynolds 平均法	21
3.3	零方程模型及一方程模型	22
3.3.1	零方程模型	22
3.3.2	一方程模型	22
3.4	标准 $k-\varepsilon$ 二方程模型	23
3.4.1	标准 $k-\varepsilon$ 模型	23
3.4.2	标准 $k-\varepsilon$ 模型的有关计算公式	24
3.4.3	标准 $k-\varepsilon$ 模型的控制方程组	25
3.4.4	标准 $k-\varepsilon$ 模型方程的解法及适用性	26
3.5	改进型 $k-\varepsilon$ 模型	26
3.5.1	(RNG) $k-\varepsilon$ 模型	26
3.5.2	Realizable $k-\varepsilon$ 模型	27
3.6	在近壁区使用 $k-\varepsilon$ 模型的问题及对策	29
3.6.1	近壁区流动的特点	29
3.6.2	在近壁区使用 $k-\varepsilon$ 模型的问题	30
3.6.3	壁面函数法	31
3.6.4	低雷诺数 $k-\varepsilon$ 模型	33
3.7	Reynolds 应力方程模型	35
3.7.1	Reynolds 应力输运方程	35
3.7.2	RSM 的控制方程组及其解法	39
3.7.3	对 RSM 适用性的讨论	39
3.8	大涡模拟	40
3.8.1	大涡模拟的基本思想	40
3.8.2	大涡运动方程	41
3.8.3	亚格子尺度应力模型	42

3.8.4	LES 控制方程的求解	42
第 4 章	控制方程的离散	44
4.1	离散化概述	44
4.1.1	离散化的目的	44
4.1.2	离散时所使用的网格	44
4.1.3	常用的离散化方法	45
4.2	有限体积法及其网格	46
4.2.1	有限体积法的基本思想	46
4.2.2	有限体积法的区域离散	46
4.3	一维稳态问题的有限体积法	48
4.3.1	问题的描述	48
4.3.2	生成计算网格	48
4.3.3	建立离散方程	48
4.3.4	求解离散方程	51
4.4	常用的离散格式	56
4.4.1	问题描述	56
4.4.2	中心差分格式	58
4.4.3	一阶迎风格式	59
4.4.4	混合格式	63
4.4.5	指数格式	65
4.4.6	乘方格式	66
4.5	高阶离散格式	66
4.5.1	二阶迎风格式	66
4.5.2	QUICK 格式	67
4.6	各种离散格式的性能对比	72
4.7	一维瞬态问题的有限体积法	73
4.7.1	瞬态问题的描述	73
4.7.2	控制方程的积分	73
4.7.3	显式时间积分方案	76
4.7.4	Crank-Nicolson 时间积分方案	77
4.7.5	全隐式时间积分方案	77
4.8	多维问题的离散方程	78
4.8.1	二维问题的基本方程	78
4.8.2	二维问题的控制体积	78
4.8.3	二维问题控制方程的积分	79
4.8.4	二维问题的离散方程	80

4.8.5	三维问题的离散方程	81
4.8.6	离散方程的通用表达式	81
第 5 章	流场数值计算	83
5.1	流场数值解法概述	83
5.1.1	常规解法存在的主要问题	83
5.1.2	流场数值计算的主要方法	84
5.2	交错网格技术	86
5.2.1	普通网格	86
5.2.2	交错网格	87
5.2.3	动量方程的离散	88
5.3	流场计算的 SIMPLE 算法	93
5.3.1	SIMPLE 算法的基本思路	93
5.3.2	速度修正方程	94
5.3.3	压力修正方程	95
5.3.4	SIMPLE 算法的计算步骤	97
5.3.5	SIMPLE 算法的讨论	97
5.4	改进的 SIMPLE 算法	99
5.4.1	SIMPLER 算法	99
5.4.2	SIMPLEC 算法	101
5.4.3	PISO 算法	103
5.4.4	SIMPLE 系列算法的比较	106
5.5	瞬态问题的数值计算	107
5.5.1	瞬态问题的 SIMPLE 算法	107
5.5.2	瞬态问题的 PISO 算法	108
5.6	基于同位网格的 SIMPLE 算法	109
5.6.1	同位网格	109
5.6.2	动量离散方程	109
5.6.3	建立压力修正方程	110
5.6.4	同位网格上 SIMPLE 算法的计算步骤	112
5.6.5	关于同位网格应用的说明	113
5.7	基于非结构网格的 SIMPLE 算法	114
5.7.1	非结构网格	114
5.7.2	通用控制方程的离散	115
5.7.3	动量离散方程	117
5.7.4	建立速度修正方程	117
5.7.5	建立压力修正方程	118

5.7.6	非结构网格上 SIMPLE 算法的计算步骤	119
5.7.7	关于非结构网格应用的说明	120
5.8	离散方程组的基本解法	121
5.8.1	代数方程组的基本解法	121
5.8.2	TDMA 解法	121
第 6 章	边界条件及网格生成	125
6.1	边界条件概述	125
6.1.1	边界条件的类型	125
6.1.2	边界条件对网格布置的影响	126
6.1.3	将边界条件引入到离散方程	127
6.2	流动进口边界条件	127
6.2.1	流动进口边界条件的设置	127
6.2.2	对流动进口边界条件的说明	128
6.3	流动出口边界条件	129
6.3.1	流动出口边界条件的设置	129
6.3.2	对流动出口边界条件的说明	130
6.4	壁面条件	130
6.4.1	壁面边界上的网格布置	131
6.4.2	壁面边界上离散方程源项的构造	132
6.5	恒压边界条件	134
6.6	对称边界条件与周期性边界条件	135
6.6.1	对称边界条件	135
6.6.2	周期性边界条件	136
6.7	应用边界条件时的注意事项	136
6.8	初始条件	137
6.9	网格生成技术	137
6.9.1	网格类型	137
6.9.2	网格单元的分类	138
6.9.3	单连域与多连域网格	139
6.9.4	生成网格的过程	139
6.9.5	生成结构网格的贴体坐标法	139

第二篇 CFD 软件及其应用实例

第 7 章	CFD 软件的基本知识	141
7.1	CFD 软件基本结构	141
7.1.1	前处理器	141

7.1.2	求解器	142
7.1.3	后处理器	142
7.2	常用的 CFD 商用软件	142
7.2.1	PHOENICS 软件	142
7.2.2	CFX 软件	143
7.2.3	FIDAP 软件	144
7.2.4	FLUENT 软件	145
7.2.5	Fluidyn-PANACHE 模型	146
7.2.6	STAR-CCM+ 软件	147
7.2.7	STAR-CD 软件	148
第 8 章	STAR-CD 软件基本用法	150
8.1	STAR-CD 软件概述	150
8.1.1	通用流体解析软件 STAR-CD	150
8.1.2	STAR-CD 软件解析性能	151
8.1.3	STAR-CD 软件系统结构	151
8.1.4	STAR-CD 文件系统	152
8.2	STAR-CD 软件安装	154
8.2.1	准备开始安装	154
8.2.2	安装 STAR-CD 3.26	154
8.2.3	安装 MPICH1.2.5	158
8.2.4	STAR-CD 3.26 安装完成	159
8.2.5	对 license 进行配置	160
8.2.6	设定环境变量	164
8.2.7	安装 Exceed 7.1	166
8.2.8	安装 Pro Fortran 8.2	173
8.3	pro-STAR 操作方法	175
8.3.1	pro-STAR 启动方法	175
8.3.2	pro-STAR GUI	176
8.4	STAR-CD 软件求解的基本步骤	178
8.4.1	制定分析方案	178
8.4.2	求解步骤	179
第 9 章	STAR-CD 软件基础应用实例	180
9.1	网格生成	180
9.1.1	根据点阵文件创建 shell	180
9.1.2	根据点阵 shell 拉伸为圆形 shell	182

9.1.3	根据 shell 拉伸体网格	187
9.2	条件设定	193
9.3	计算求解	198
9.4	结果处理	202
第 10 章	STAR-CD 软件在标准建筑物对流动与扩散的影响实例	205
10.1	标准建筑对流动与扩散的影响实例 1	205
10.1.1	风洞实验模拟	205
10.1.2	数值模拟	206
10.1.3	结果分析与比较	207
10.1.4	结论	213
10.2	标准建筑对流动与扩散的影响实例 2	214
10.2.1	风洞实验模拟	214
10.2.2	数值模拟	215
10.2.3	结果分析与比较	216
10.2.4	结论	221
第 11 章	STAR-CD 软件在复杂建筑物群对流动与扩散的影响实例	222
11.1	建模	222
11.2	模型与参数选取	223
11.3	局地流场分析	226
11.4	局地湍流动能分析	230
11.5	浓度分布特征	235
第 12 章	STAR-CD 软件在自然通风冷却塔对流动的影响实例	239
12.1	模拟方法	240
12.1.1	数值模拟方法	240
12.1.2	模型的建立	242
12.2	模拟方法的有效性分析	244
12.2.1	流场特征	244
12.2.2	水汽抬升高度验证	245
12.2.3	水汽沉积浓度验证	246
12.2.4	验证结果分析	247
12.3	环境条件对冷却塔排放水汽扩散的影响	247
12.3.1	环境风速的影响	248
12.3.2	环境温度的影响	248
12.3.3	环境湿度的影响	249
12.3.4	冷却塔水汽排放温度的影响	250

12.4 结论与讨论	250
------------------	-----

第三篇 常用后处理软件

第 13 章 Fieldview 软件介绍	252
13.1 Fieldview 菜单栏的介绍	253
13.1.1 File 菜单	253
13.1.2 Edit 菜单	254
13.1.3 View 菜单	255
13.1.4 Visualization Panels 菜单	256
13.1.5 Tools 菜单	256
13.1.6 Help 菜单	256
13.2 Fieldview 左侧工具栏项目	257
13.2.1 计算面工具	257
13.2.2 等值面工具	259
13.2.3 流线/迹线工具	261
13.2.4 颗粒轨道线工具	263
13.2.5 坐标面工具	264
13.2.6 边界面工具	265
13.2.7 二维曲线工具	265
13.2.8 探针取值工具	267
13.2.9 注释工具	269
13.3 高级功能介绍	270
13.3.1 关键帧动画——Key Frame Animation	270
13.3.2 数值积分——Numerical Simulation	270
13.3.3 特征提取——Feature Extraction	271
13.3.4 瞬态数据处理——Transient Data	271
13.3.5 旋转机械——Rotating Machinery	271
13.3.6 数据比较——Data Comparison	272
13.3.7 特征组合——Features Combination	272
13.3.8 动态切割——Dynamic Clipping	272
13.3.9 FVX 编程语言	272
13.4 Fieldview 使用实例	273
13.4.1 F18 流场显示	273
13.4.2 散热器热性能计算后处理	284
第 14 章 通用后处理软件——TECPLOT	295
14.1 TECPLOT 软件概述	295

14.2	TECPLOT 软件的操作界面	295
14.2.1	菜单栏	297
14.2.2	工具栏	298
14.2.3	状态栏	301
14.2.4	工作区	301
14.3	TECPLOT 软件的使用方法	302
14.3.1	TECPLOT 软件识别的数据格式	302
14.3.2	TECPLOT 软件读取 FLUENT 文件的步骤	302
14.3.3	TECPLOT 软件中网格和标尺的设定	304
14.3.4	TECPLOT 软件中坐标系统的选择	305
14.4	TECPLOT 软件的应用实例	305
14.4.1	绘制 XY 曲线	305
14.4.2	绘制矢量图	309
14.4.3	绘制等值线图	312
14.4.4	绘制流线图	315
14.4.5	绘制散点图	318
14.4.6	绘制三维流场图	321
参考文献		324

第一篇 基础知识

第 1 章 绪 论

在整个流体力学学科的发展过程中,逐步形成了理论分析、实验研究和数值计算三种对流体进行研究和分析的方法。理论分析和实验研究方法历史悠久,而数值计算方法伴随着计算机技术和性能的提高,经过数十年的快速发展,已经成为流体力学学科一个独立的学科分支——计算流体力学(Computational Fluid Dynamics, CFD)。

CFD 是建立在现代流体力学与应用数学基础之上的一门新型学科,目前,CFD 已经广泛渗透到各种现代科学的许多相关学科和工程应用之中。

本章简要介绍 CFD 的概念、发展和应用。

1.1 计算流体力学的概念

CFD 采用数值计算方法求解流体力学控制方程,并通过计算机数值计算和图像显示,得到流场参数在(时间、空间)离散点处的数值,以此预测流体运动规律的科学。CFD 的基本思想是:把原来在时间域及空间域上连续的物理量场,如速度场和压力场,用一系列有限个离散点上的变量值的集合来代替,通过一定的原则和方式对流动方程进行离散,建立起关于这些离散点上场变量之间关系的代数方程组,然后求解代数方程组获得场变量的近似值。

CFD 可以看作是在流动基本方程(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,可以得到极其复杂问题的流场内各个位置上的基本物理量(如速度、压力、温度、浓度等)的分布,以及这些物理量随时间的变化情况。此外,CFD 还可与计算机辅助设计(CAD)联合,进行结构优化设计等。

CFD 方法与传统的理论分析方法、实验研究方法组成了研究流体流动问题的完整体系,CFD 有助于对理论分析和实验研究的结果进行解释和说明,但理论分析和实验研究一直是研究流体问题不可或缺、不可替代的。理论分析、实验研究和 CFD 三者各有特点,只有有机结合起来,取长补短,灵活应用,才能有效解决各类工程实际问题,从而推动流体力学向前发展。

理论分析方法是在研究流体运动规律的基础上提出各种简化流动模型,建立各类控制方程并在一定条件下经过推导和运算获得问题的解析解。其优点在于各种影响因素清晰可

见, 所得结果具有普遍性, 是指导实验研究和验证新的数值计算方法的理论基础。但是由于其要求对计算对象进行抽象和简化, 才有可能得出理论解, 一般只能研究简单流动模型。对于流体运动的非线性情况, 所研究问题的数学模型必须经过很大的简化。在这种条件下得到的解析解的适用范围非常有限, 而且能够得到解析解的问题也为数不多, 远远不能满足工程设计的需要。

实验研究方法是研究流动机理、分析流动现象、探讨流动新概念, 推动流体力学发展的主要研究手段, 是获得和验证流动新现象的主要方法, 是理论分析和数值方法的基础。其优点是可以借助各种先进仪器设备, 给出多种复杂流动的准确、可靠的观测结果, 实验结果真实可信, 其重要性不容低估。然而, 实验常受到模型尺寸、流场扰动、人身安全和测量精度的限制, 有时甚至很难通过实验方法得到结果。此外, 实验还会遇到经费投入、人力和物力的巨大耗费及周期长等许多困难。

CFD 方法弥补了理论分析和实验研究方法的不足。由于描述流动问题的控制方程一般呈非线性, 其自变量多, 计算域的几何形状和边界条件十分复杂, 很难求得解析解。而采用 CFD 技术在计算机上实现一个特定的数值模拟计算, 就像在计算机上做一次物理实验, 可以形象地再现流动情景, 与做实验没有什么区别。其优点是可以选择不同的流动参数进行各种数值实验实现多方案比较, 并且不受物理模型和实验模型的限制, 具有较好的灵活性, 省时省钱, 非常经济, 还可模拟特殊条件下和实验中只能接近而无法达到的理想条件。但是, CFD 得到的结果是某一特定流体运动区域内, 在特定边界条件和参数的特定取值下的离散数值解。因而, 无法预知参数变化对于流动的影响和流场的精确分布情况。因此, 它提供的信息不如解析解详尽、完整。

1.2 计算流体力学发展简史

随着流体力学研究的进展, 理论分析和实验研究的优势和困难也逐渐为人们所认识。高速电子计算机的出现, 加之为使用这些计算机解决物理问题而发展起来的精确数值算法, 使得研究流体运动规律的“第三种方法”——CFD 应运而生。并在 20 世纪 60 年代左右逐渐形成了一门独立的学科, 其具体发展过程大致可分为以下几个阶段。

1. 萌芽阶段

(1) 1965 年, 美国科学家 Harlow 和 Welch 提出交错网格。

(2) 1966 年, 第一本介绍 CFD 及传热学的杂志 *Journal of Computational Physics* 创刊。

(3) 1969 年, 英国帝国理工学院创建 CHAM 研究小组, 旨在把他们的研究成果应用到工业领域。

(4) 1972 年, SIMPLE 算法问世。

(5) 1974 年, 美国学者 Thompson、Thames 和 Mastin 提出采用微分方程生成适体坐标的方法。

2. 应用阶段

(1) 1977 年, 由 Spalding 及其学生开发的 GENMIX 程序公开发行。

(2) 1979 年, 英国帝国理工学院 CFD 研究小组开发的大型通用软件 PHOENICS 第一版问世。

(3) 1979 年, Lenard 发表了著名的 QUAICK 格式, 这是一种具有三阶精度对流项的离散格式, 其稳定性优于中心差分。

(4) 1981 年, 英国 CHAM 公司把 PHOENICS 软件正式投放市场, 开创了 CFD 商用软件市场的先河。

(5) 在这一阶段, 求解算法获得了进一步发展, 先后出现了 SIMPLER 算法与 SIMPLEC 算法。

3. 发展阶段

(1) 前、后处理软件的迅速发展。

(2) 巨型计算机的研制促进了并行算法及紊流直接数值模拟(DNS)与大涡模拟(LES)的研究与发展。

(3) 个人计算机(PC)成为 CFD 研究领域中一种重要工具。

(4) 各国都把 CFD 作为高层次人才培养的一门重要课程。

(5) 多个计算流动与传热问题的大型商业通用软件陆续投放市场。

(6) 数值计算方法向更高的计算精度、更好的区域适应性及更强的鲁棒性发展。

1.3 计算流体力学的应用

CFD 以计算机模拟手段为基础, 对涉及流体流动、热交换、分子输运等现象, 都可以通过计算流体力学的方法进行分析。CFD 不仅作为一种研究工具, 而且还作为一种设计工具在流体机械、能源工程、汽车工程、船舶工程、航空航天、建筑工程、环境工程、食品工程等领域发挥作用, 已覆盖了工程的或非工程的广大领域, 具体如下:

(1) 水轮机、风机和水泵等流体机械内部的流体流动;

(2) 电厂内燃机和汽轮机中的燃烧;

(3) 汽车流线外形对性能的影响;

(4) 船舶流体动力学;

(5) 飞机和航天飞机等飞行器的设计;

(6) 风载荷对高层建筑物稳定性及结构性能的影响;

(7) 温室及室内的空气流动及环境分析;

(8) 河流中污染物的扩散;

(9) 汽车尾气对街道环境的污染;

(10) 食品中细菌的运移;

(11) 洪水波及河口潮流计算;

(12) 电子元器件的冷却;

(13) 换热器性能分析及换热器片形状的选取。

以前对这些问题的处理, 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黏性湍流及旋涡运动等复杂问题的程度。

第2章 计算流体力学基础知识

在自然界及工程领域中存在大量流体流动现象，而任何流体运动的规律都必须建立在以下三个基本守恒定律的基础之上：①质量守恒定律；②动量守恒定律（牛顿第二定律）；③能量守恒定律。

本章主要介绍 CFD 的相关基础知识和三大基本守恒定律的数学表达式，在此基础上提出数值求解这些基本方程的思想，最后简要介绍 CFD 工作原理。

2.1 流体的基本特性

流体是 CFD 的研究对象，流体的性质及流动状态决定着 CFD 的计算模型及计算方法的选择，决定着流场各物理量的最终分布结果。本节将介绍 CFD 所涉及的流体及流动的基本概念和术语。

2.1.1 理想流体与黏性流体

所有的流体都有黏性，黏性是流体内部发生相对运动而引起的内部相互作用。流体在静止时虽不能承受切应力，但在运动时，对相邻两层流体间的相对运动却是有抵抗的，这种抵抗力称为黏性应力。流体所具有的这种抵抗两层流体间相对滑动速度，或者抵抗变形的性质称为黏性。

黏性的大小依赖于流体的性质，并显著地随温度而变化。实验表明，黏性应力的大小与黏性及相对速度成正比。当流体的黏性较小（如空气和水的黏性都很小），运动的相对速度也不大时，所产生的黏性应力比起其他类型的力（如惯性力）可忽略不计。此时，可近似地把流体看作是无黏性的，即无黏性流体，也称为理想流体。而对于有黏性的流体，则称为黏性流体。显然，理想流体对于切向变形没有任何抗拒能力。事实上，真正的理想流体在客观实际中是不存在的，但在一定的情形下，在特定的流动区域，实际流体的流动非常接近于理想流体的条件，在分析处理问题时可以当作理想流体。

2.1.2 牛顿流体与非牛顿流体

依据内摩擦剪应力与速度变化率的关系不同，黏性流体又分为牛顿（Newton）流体与非牛顿流体。

观察近壁面处的流体流动可以发现，紧靠壁面的流体黏附在壁面上，静止不动。而在靠近这些静止流体的另一层流体，则在流体内部之间的黏性所导致的内摩擦力的作用下，速度降低。