

ANSYS CFX

14.0 从入门到精通

丁源 吴继华 编著

特色

- 由浅入深地介绍CFX仿真计算的各种功能
- 针对每个CFX可以解决的流体仿真问题辅以相应的实例进行详细讲解

目标

- 熟悉CFX软件的工作流程和计算方法
- 掌握CFX软件在流体仿真实际工程中的应用

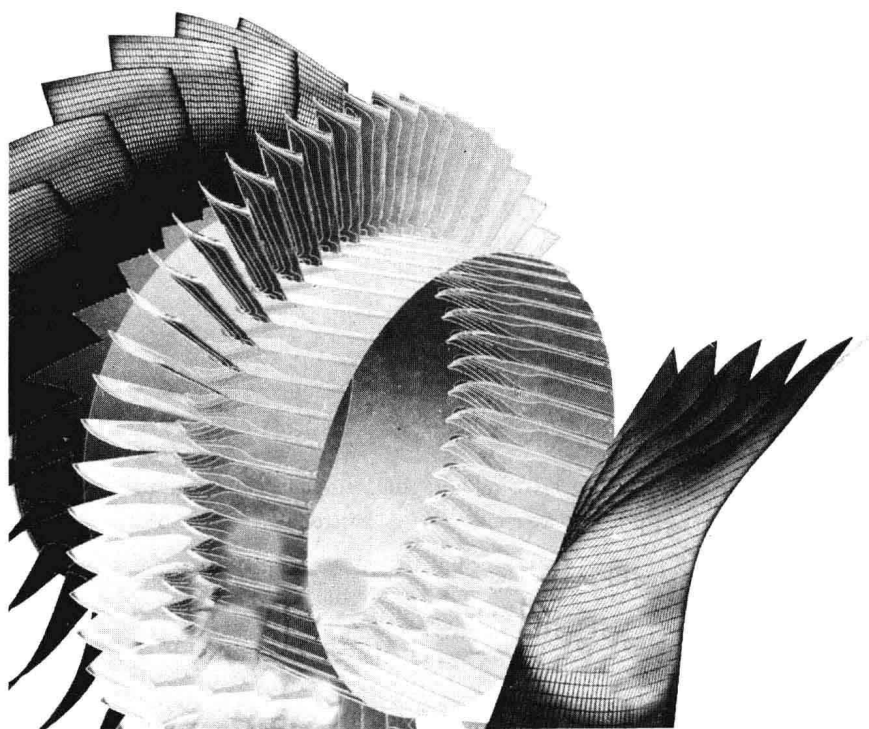
实例演练
素材文件

清华大学出版社

ANSYS CFX

14.0 从入门到精通

丁源 吴继华 编著



清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

ANSYS CFX 软件是目前国际上比较流行的商业 CFD 软件, 只要涉及流体、热传递及化学反应等工程问题, 都可以用 CFX 进行求解。

本书通过大量实例系统地介绍了 CFX 14.0 的使用方法, 包括计算流体的基础理论与方法、创建几何模型、划分网格、CFX 前处理、CFX 求解、CFX 后处理等功能的介绍, 针对每个 CFX 可以解决的流体仿真问题进行详细的讲解, 并辅以相应的实例, 使读者能够快速、熟练、深入地掌握 CFX 软件。全书共分为 16 章, 由浅入深地讲解了 CFX 仿真计算的各种功能, 从几何建模到网格划分, 从计算求解到结果后处理, 详细地讲解 CFX 进行流体模拟计算的每一步骤, 使读者能够了解掌握 CFX 软件的工作流程和计算方法。

本书结构严谨, 条理清晰, 重点突出, 非常适合广大 CFX 初、中级读者学习使用; 也可作为大中专院校、高职类相关专业, 以及社会有关培训班的教材; 同时还可以作为工程技术人员的参考用书。

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

ANSYS CFX 14.0 从入门到精通 / 丁源, 吴继华编著. —北京: 清华大学出版社, 2013.1
(CAX 工程应用丛书)

ISBN 978-7-302-30504-0

I. ①A… II. ①丁… ②吴… 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 (2012) 第 256976 号

责任编辑: 王金柱

封面设计: 王 翔

责任校对: 闫秀华

责任印制: 李红英

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

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

印 刷 者: 北京密云胶印厂

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 190mm×260mm 印 张: 26.75 字 数: 685 千字
附光盘 1 张

版 次: 2013 年 1 月第 1 版 印 次: 2013 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 1~3500

定 价: 58.00 元

产品编号: 048052-01

前言

ANSYS CFX 14.0 是一款功能强大的 CFD 工程分析软件，是 ANSYS 公司推出的最新版本，较以前的版本在性能方面有了较大的改善。只要涉及流体、热传递及化学反应等工程问题，都可以用 CFX 进行求解。CFX 具有丰富的物理模型、先进的数值方法以及强大的前后处理功能，在航空航天、汽车设计、石油天然气、涡轮机设计等方面有着广泛的应用。例如，在石油天然气工业上的应用就包括燃烧、井下分析、喷射控制、环境分析、油气消散/聚集、多相流、管道流动等。

本书特色

- 详略得当。本书在编写过程中遵循的原则是：将笔者十多年的 CFD 使用经验与 CFX 软件的各项功能模块相结合，从点到面，将基本知识详细地讲解给读者。
- 信息量大。本书包含的内容全面，读者在学习过程中不应只关注细节，还应从整体出发，了解 CFD 的分析流程。
- 结构清晰。本书结构清晰、由浅入深，从结构上主要分为基础部分和案例部分两大类，在讲解基础知识的过程中穿插对实例的讲解，在综合介绍的过程中也同步回顾重点的基础知识。

本书内容

本书共分为 16 章，由浅入深，环环相扣，主要内容安排如下。

第 1 章 介绍了流体力学的基础知识，讲解了计算流体力学的基本概念，介绍了常用的 CFD 商用软件。

第 2 章 介绍了 CFX 软件的结构和计算分析过程中所用到的文件类型，让读者可以掌握 CFX 的基本概念。

第 3 章 首先介绍了建立几何模型的基本知识，然后讲解了 DesignModeler 建立几何模型的基本过程，最后给出了运用 DesignModeler 建立几何模型的典型实例。

第 4 章 介绍了网格生成的基本知识，讲解了 ICEM CFD 划分网格的基本过程，最后给出了运用 ICEM CFD 划分网格的典型实例。

第 5 章 介绍了 CFX 前处理器创建新工程项目、导入网格、定义模拟类型、创建计算域、指定边界条件、给出初始条件、定义求解控制、定义输出数据和写入定义文件并求解等功能。

第 6 章 讲解了 CFX 求解器的启动过程、CFX 求解管理器的工作界面，以及文件输出的步骤，让读者可以掌握 CFX 求解管理器 CFX-Solver Manager 的使用方法。

第 7 章 介绍了 CFD-Post 的启动方法和工作界面，以及生成点、点样本、直线、平面、体、等值面等位置，显示云图、矢量图以及制作动画短片等功能，让读者可以掌握 CFX 后处理器 CFD-Post 的使用方法。

第8章 通过喷射混合管内稳态流动和烟囱非稳态流动两个实例分别介绍了CFX处理稳态和非稳态流动的工作流程,让读者可以掌握CFX中稳态、非稳态计算的设置,稳态、非稳态初始值的设置,非稳态时间步长的设置,稳态、非稳态求解控制的设置,以及稳态、非稳的输出控制。

第9章 通过圆管内气体流动和静态混合器内水的流动两个实例介绍了CFX处理内部流动的工作流程,让读者可以掌握CFX模拟的基本操作。

第10章 通过钝体绕流和机翼超音速流动两个实例介绍了CFX处理外部流动的工作流程,让读者可以掌握CFX处理外部流动的基本思路,以及模拟出流体在模型外表面的绕流情况。

第11章 通过自由表面流动和混合器内多相流动两个实例介绍了CFX处理多相流动的工作流程,让读者可以掌握CFX中多相流模型的设置和自适应网格的基本操作。

第12章 通过空调通风和加热盘换热两个实例分别介绍了CFX处理通风和传热流动的工作流程,让读者可以掌握CFX中Fortran子程序的调用、表达式的运用、传热模型的设置和物质属性的设置。

第13章 通过催化转化器和气升式反应器两个实例分别介绍了CFX处理多孔介质和气固两相流的工作流程,讲解了多孔介质模型的创建过程及多孔率、阻损等与多孔介质材料相关属性的设置,以及介绍了气体输送固体粒子过程模拟、固体粒子的生成过程及其形态设置,让读者可以掌握CFX中离散化设置、多相流模型的设置和多孔介质的设置。

第14章 通过甲烷燃烧和煤粉燃烧两个实例介绍了CFX处理化学反应特别是燃烧模拟的工作流程,让读者可以掌握CFX中参数修改设置和燃烧模型的设置,基本掌握CFX处理化学反应问题特别是气体燃烧和煤粉燃烧的基本思路和操作,对CFX处理化学反应问题有了初步的认识。

第15章 通过球阀流动和浮标运动两个实例来介绍CFX处理动网格的工作流程和相关参数的设置,让读者可以掌握CFX中分析类型设置以及处理动网格问题的具体方法和步骤。

第16章 通过圆管内气体流动和三通内气体流动两个实例介绍了CFX在Workbench中应用的工作流程,让读者可以掌握CFX在Workbench中的创建、Meshing的网格划分方法以及不同软件间的数据共享与更新。

配套光盘提供了本书中所有例子的源文件,读者可以使用CFX打开源文件,根据本书的介绍进行学习。

本书作者

本书由丁源、吴继华编著,另外王清、唐明明、曾涛、苗伯峰、吕金、杨玲、周文华、于文涛、刘斌、杜晓丽、杨波、张小勇、陈永浩、吴志强等参与了部分章节的编写工作。虽然作者在本书的编写过程中力求叙述准确、完善,但由于水平有限,书中欠妥之处在所难免,希望读者和同仁能够及时指出,共同促进本书质量的提高。

技术支持

读者在学习过程中遇到难以解答的问题,可以直接发邮件到编者邮箱,编者会尽快给予解答。
编者邮箱: comshu@126.com

编者
2012年10月

目录

第 1 章 流体力学与计算流体力学基础.....	1
1.1 流体力学基础.....	1
1.1.1 基本概念.....	1
1.1.2 流体流动的分类.....	5
1.1.3 边界层和物体阻力.....	5
1.1.4 层流和湍流.....	7
1.1.5 流体流动的控制方程.....	7
1.1.6 边界条件与初始条件.....	8
1.2 计算流体力学基础.....	9
1.2.1 计算流体力学的发展.....	10
1.2.2 计算流体力学的求解过程.....	10
1.2.3 数值模拟方法和分类.....	11
1.2.4 有限体积法的基本思想.....	12
1.2.5 有限体积法的求解方法.....	14
1.3 计算流体力学的应用领域.....	15
1.4 常用的 CFD 商用软件.....	16
1.4.1 PHOENICS.....	16
1.4.2 STAR-CD.....	16
1.4.3 STAR-CCM+.....	17
1.4.4 FLUENT.....	17
1.4.5 CFX.....	18
1.5 本章小结.....	19
第 2 章 CFX 软件简介.....	20
2.1 CFX 的软件结构.....	20
2.1.1 启动 CFX.....	21

2.1.2	前处理器	22
2.1.3	求解管理器	23
2.1.4	后处理器	24
2.2	CFX 的文件类型	25
2.3	本章小结	26
第 3 章	创建几何模型	27
3.1	建立几何模型概述	27
3.2	DesignModeler 简介	28
3.3	草图模式	31
3.3.1	进入草图模式	31
3.3.2	创建新平面	31
3.3.3	创建草图	32
3.3.4	几何模型的关联性	32
3.4	创建 3D 几何体	33
3.4.1	拉伸 (Extrude)	34
3.4.2	旋转 (Revolve)	34
3.4.3	扫掠 (Sweep)	35
3.4.4	直接创建 3D 几何体 (Primitives)	35
3.4.5	填充 (Fill) 和包围 (Enclosure)	36
3.5	导入外部 CAD 文件	37
3.6	创建几何体的实例操作	38
3.7	本章小结	42
第 4 章	生成网格	43
4.1	网格生成概述	43
4.2	ANSYS ICEM CFD 简介	44
4.2.1	ICEM CFD 的工作流程	45
4.2.2	ICEM CFD 的文件类型	46
4.2.3	ICEM CFD 的用户界面	46
4.3	ANSYS ICEM CFD 基本用法	46
4.3.1	创建几何模型	47
4.3.2	导入几何文件	51
4.3.3	生成网格	52

4.3.4 生成块	58
4.3.5 编辑网格	63
4.3.6 输出网格	70
4.4 ANSYS ICEM CFD 实例分析	71
4.4.1 启动 ICEM CFD 并建立分析项目	71
4.4.2 导入几何模型	71
4.4.3 建立模型	72
4.4.4 生成网格	75
4.4.5 编辑网格	76
4.4.6 输出网格	76
4.5 本章小结	77
第 5 章 CFX 前处理	78
5.1 新建工程项目与网格导入	78
5.1.1 新建工程项目	78
5.1.2 导入网格	79
5.1.3 保存项目	80
5.2 设置计算域	80
5.2.1 Basic Settings (基本设置) 选项卡	81
5.2.2 Fluid Models (流体模型) 选项卡	82
5.2.3 Initialization (初始化) 选项卡	84
5.2.4 Fluid Specific Models (流体模型) 选项卡	85
5.2.5 Fluid Pairs Models (流体对) 选项卡	85
5.2.6 Porosity Settings (多孔介质设置) 选项卡	85
5.3 设置边界条件	86
5.3.1 边界条件的创建	86
5.3.2 边界条件的类型	87
5.4 设置初始条件	90
5.5 设置求解器	91
5.5.1 Basic Settings (基本设置) 选项卡	91
5.5.2 Equation Class Settings (方程分类设置) 选项卡	92
5.5.3 Advanced Options (高级设置) 选项卡	92
5.6 输出文件和设置监控	93
5.7 本章小结	94

第 6 章 CFX 数值求解	95
6.1 启动求解管理器	95
6.2 设置模拟计算	97
6.3 工作界面	97
6.4 求解文件输出	99
6.5 本章小结	100
第 7 章 CFX 后处理	101
7.1 启动后处理器	101
7.2 工作界面	102
7.3 创建位置	103
7.3.1 Point (生成点)	103
7.3.2 Point Cloud (点云)	104
7.3.3 Line (线)	105
7.3.4 Plane (面)	106
7.3.5 Volume (体)	108
7.3.6 Isosurface (等值面)	109
7.3.7 Iso Clip (区域值面)	110
7.3.8 Vortex Core Region (型芯区域)	111
7.3.9 Surface of Revolution (旋转面)	112
7.3.10 Polyline (曲线)	113
7.3.11 User Surface (自定义面)	114
7.3.12 Surface Group (多组面)	115
7.4 创建对象	115
7.4.1 创建 Vector (矢量) 对象	115
7.4.2 创建 Contour (云图) 对象	117
7.4.3 创建 Streamline (流线) 对象	118
7.4.4 创建 Particle Track (粒子轨迹) 对象	119
7.4.5 创建 Volume Rendering (体绘制) 对象	120
7.4.6 创建 Text (文本) 对象	120
7.4.7 其他创建对象	121
7.5 创建数据	122
7.5.1 Variables (变量)	123
7.5.2 Expressions (表达式)	123

7.6 本章小结	124
第 8 章 稳态和非稳态模拟实例	125
8.1 喷射混合管内的稳态流动	125
8.1.1 案例介绍	125
8.1.2 启动 CFX 并建立分析项目	125
8.1.3 导入网格	126
8.1.4 设置随温度变化的物质参数	126
8.1.5 修改物质属性	128
8.1.6 边界条件	129
8.1.7 初始条件	133
8.1.8 求解控制	133
8.1.9 计算求解	134
8.1.10 结果后处理	135
8.2 烟囱非稳态流动	138
8.2.1 案例介绍	138
8.2.2 启动 CFX 并建立分析项目	139
8.2.3 导入网格	139
8.2.4 设置随温度变化的物质参数	140
8.2.5 设置分析类型	140
8.2.6 边界条件	140
8.2.7 初始条件	146
8.2.8 求解控制	147
8.2.9 输出控制	147
8.2.10 计算求解	148
8.2.11 结果后处理	150
8.3 本章小结	152
第 9 章 内部流动分析实例	153
9.1 圆管内气体的流动	153
9.1.1 案例介绍	153
9.1.2 启动 CFX 并建立分析项目	153
9.1.3 导入网格	154
9.1.4 边界条件	154

9.1.5	初始条件	157
9.1.6	求解控制	157
9.1.7	计算求解	157
9.1.8	结果后处理	159
9.2	静态混合器内水的流动	161
9.2.1	案例介绍	161
9.2.2	启动 CFX 并建立分析项目	161
9.2.3	导入网格	162
9.2.4	边界条件	162
9.2.5	初始条件	166
9.2.6	求解控制	166
9.2.7	计算求解	166
9.2.8	结果后处理	168
9.3	本章小结	172
第 10 章	外部流动分析实例	173
10.1	钝体绕流	173
10.1.1	案例介绍	173
10.1.2	启动 CFX 并建立分析项目	173
10.1.3	导入网格	174
10.1.4	边界条件	174
10.1.5	初始条件	180
10.1.6	求解控制	180
10.1.7	计算求解	180
10.1.8	结果后处理	182
10.2	机翼超音速流动	189
10.2.1	案例介绍	189
10.2.2	启动 CFX 并建立分析项目	190
10.2.3	导入网格	190
10.2.4	边界条件	191
10.2.5	初始条件	197
10.2.6	求解控制	198
10.2.7	计算求解	198
10.2.8	结果后处理	200

10.3 本章小结	202
第 11 章 多相流分析实例	203
11.1 自由表面流动	203
11.1.1 案例介绍	203
11.1.2 启动 CFX 并建立分析项目	203
11.1.3 导入网格	204
11.1.4 导入表达式	204
11.1.5 边界条件	205
11.1.6 初始条件	211
11.1.7 自适应网格设置	212
11.1.8 求解控制	212
11.1.9 计算求解	213
11.1.10 结果后处理	214
11.2 混合容器内多相流动	220
11.2.1 案例介绍	220
11.2.2 启动 CFX 并建立分析项目	220
11.2.3 导入网格	220
11.2.4 边界条件	222
11.2.5 初始条件	237
11.2.6 求解控制	238
11.2.7 计算求解	238
11.2.8 结果后处理	240
11.3 本章小结	242
第 12 章 空调通风和传热流动分析实例.....	243
12.1 空调通风	243
12.1.1 案例介绍	243
12.1.2 启动 CFX 并建立分析项目	243
12.1.3 导入网格	244
12.1.4 导入 CCL 文件	244
12.1.5 编译 Fortune 子程序.....	245
12.1.6 设置 CEL 程序	246
12.1.7 设置分析类型	246

12.1.8	边界条件	247
12.1.9	初始条件	252
12.1.10	求解控制	253
12.1.11	输出控制	253
12.1.12	计算求解	254
12.1.13	结果后处理	255
12.2	传热流动分析	258
12.2.1	案例介绍	258
12.2.2	启动 CFX 并建立分析项目	258
12.2.3	导入网格	258
12.2.4	编辑物质属性	259
12.2.5	边界条件	260
12.2.6	求解控制	267
12.2.7	计算求解	268
12.2.8	结果后处理	269
12.3	本章小结	273
第 13 章	多孔介质和气固两相分析实例	274
13.1	催化转换器内多孔介质流动	274
13.1.1	案例介绍	274
13.1.2	启动 CFX 并建立分析项目	274
13.1.3	导入 CCL 文件	275
13.1.4	导入网格	275
13.1.5	边界条件	277
13.1.6	初始条件	286
13.1.7	求解控制	286
13.1.8	离散化设置	286
13.1.9	计算求解	287
13.1.10	结果后处理	288
13.2	气升式反应器内气固两相流动	295
13.2.1	案例介绍	295
13.2.2	启动 CFX 并建立分析项目	295
13.2.3	导入网格	295
13.2.4	边界条件	296

13.2.5	初始条件	305
13.2.6	求解控制	306
13.2.7	计算求解	306
13.2.8	结果后处理	308
13.3	本章小结	311
第 14 章	化学反应分析实例	312
14.1	室内甲烷燃烧模拟	312
14.1.1	案例介绍	312
14.1.2	启动 CFX 并建立分析项目	312
14.1.3	导入网格	313
14.1.4	反应混合物属性	313
14.1.5	边界条件	314
14.1.6	初始条件	320
14.1.7	求解控制	320
14.1.8	计算求解	321
14.1.9	结果后处理	322
14.2	煤粉燃烧	327
14.2.1	案例介绍	327
14.2.2	启动 CFX 并建立分析项目	327
14.2.3	导入网格	328
14.2.4	导入 CCL 文件	328
14.2.5	边界条件	329
14.2.6	初始条件	340
14.2.7	求解控制	341
14.2.8	计算求解	342
14.2.9	结果后处理	343
14.3	旋转炉煤粉燃烧	345
14.3.1	项目导入	346
14.3.2	修改边界条件	346
14.3.3	计算求解	347
14.3.4	结果后处理	347
14.4	旋转炉煤粉燃烧生成 NO 模拟	348
14.4.1	项目导入	348

14.4.2	修改边界条件	348
14.4.3	计算求解	349
14.4.4	结果后处理	349
14.5	本章小结	350
第 15 章	动网格分析实例	351
15.1	球阀流动	351
15.1.1	案例介绍	351
15.1.2	启动 CFX 并建立分析项目	351
15.1.3	导入网格	352
15.1.4	设置分析类型	352
15.1.5	边界条件	353
15.1.6	初始条件	361
15.1.7	求解控制	362
15.1.8	输出控制	362
15.1.9	计算求解	363
15.1.10	结果后处理	364
15.2	浮标运动分析	369
15.2.1	案例介绍	369
15.2.2	启动 CFX 并建立分析项目	369
15.2.3	导入网格	369
15.2.4	导入表达式	370
15.2.5	设置分析类型	371
15.2.6	边界条件	371
15.2.7	初始条件	379
15.2.8	求解控制	380
15.2.9	输出控制	381
15.2.10	计算求解	382
15.2.11	结果后处理	383
15.3	本章小结	386
第 16 章	CFX 在 Workbench 中的应用实例	387
16.1	圆管内气体的流动	387
16.1.1	案例介绍	387

16.1.2	启动 Workbench 并建立分析项目	387
16.1.3	导入几何体	389
16.1.4	划分网格	390
16.1.5	边界条件	392
16.1.6	初始条件	395
16.1.7	求解控制	395
16.1.8	计算求解	395
16.1.9	结果后处理	397
16.1.10	保存与退出	398
16.2	三通内气体的流动	399
16.2.1	案例介绍	399
16.2.2	启动 Workbench 并建立分析项目	399
16.2.3	导入几何体	400
16.2.4	划分网格	402
16.2.5	边界条件	404
16.2.6	初始条件	407
16.2.7	求解控制	407
16.2.8	计算求解	408
16.2.9	结果后处理	409
16.2.10	保存与退出	411
16.3	本章小结	411
参考文献		412

第1章 流体力学与计算流体力学基础

计算流体动力学分析 (Computational Fluid Dynamics), 简称为 CFD, 其基本定义是通过计算机进行数值计算, 模拟流体流动时的各种相关物理现象, 包含流动、热传导、声场等。计算流体动力学分析广泛应用于航空航天器设计、汽车设计、生物医学工业、化工处理工业、涡轮机设计、半导体设计等诸多工程领域。

本章将介绍流体力学的基础理论, 计算流体力学基础和常用的 CFD 软件。

学习目标

- 掌握流体动力学分析的基础理论
- 通过实例掌握流体动力学分析的过程
- 掌握计算流体力学的基础知识
- 了解常用的 CFD 软件

1.1 流体力学基础

本节介绍流体力学的基础知识, 包括流体力学的基本概念和流体力学的基本方程。流体力学是进行流体力学工程计算的基础, 若想对计算的结果进行分析与整理, 在设置边界条件时有所依据, 那么学习流体力学的相关知识则是非常必要的。

1.1.1 基本概念

1. 流体的密度

流体密度的定义是单位体积内所含物质的多少。若密度是均匀的, 则有:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1-1)$$

式中: ρ 为流体的密度; M 是体积为 V 的流体所含物质的质量。

由上式可知, 密度的单位是 kg/m^3 。对于密度不均匀的流体, 其某一点处密度的定义为:

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta V} \quad (1-2)$$

例如, 零下 4°C 时水的密度为 1000kg/m^3 , 常温 20°C 时空气的密度为 1.24kg/m^3 。各种流