

全国高等院校建筑环境与设备工程专业统编教材

State-compiled Textbooks for Building Environment and Facilities Engineering Profession

Fluid Mechanics

流体力学

主编 冯劲梅



华中科技大学出版社

<http://www.hustpas.com>



全国高等院校建筑环境与设备工程专业统编教材

流 体 力 学

Fluid Mechanics

华中科技大学出版社

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

流体力学/冯劲梅主编. —武汉:华中科技大学出版社,2010.7

ISBN 978-7-5609-5256-7

I. 流… II. 冯… III. 流体力学—高等学校—教材 IV. 035

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 190560 号

流体力学

冯劲梅 主编

责任编辑:郝树生

封面设计:张璐

责任监印:马琳

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074

销售电话:(010)64155566(兼传真),(022)60266199(兼传真)

网 址:www.hustpas.com

录 排:天津市点晶广告设计制作公司

印 刷:河北省昌黎县第一印刷厂

开本:850 mm×1060 mm 1/16 印张:14.75

字数:314 千字

版次:2010 年 7 月第 1 版

印次:2010 年 7 月第 1 次印刷

定价:29.80 元

ISBN 978-7-5609-5256-7/0·511

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

全国高等院校建筑环境与设备工程专业统编教材 丛书审定委员会

主任委员：

付祥钊 教授 建筑环境与设备工程专业教学指导委员会副主任
委员

副主任委员：

李安桂 教授 建筑环境与设备工程专业教学指导委员会委员

委 员：(按姓氏笔画排序)

付祥钊 教授 建筑环境与设备工程专业教学指导委员会副主任
委员

张 旭 教授 建筑环境与设备工程专业教学指导委员会委员

李永安 教授 建筑环境与设备工程专业教学指导委员会委员

李安桂 教授 建筑环境与设备工程专业教学指导委员会委员

李德英 教授 建筑环境与设备工程专业教学指导委员会委员

沈恒根 教授 建筑环境与设备工程专业教学指导委员会委员

陈振乾 教授 建筑环境与设备工程专业教学指导委员会委员

周孝清 教授 建筑环境与设备工程专业教学指导委员会委员

徐向荣 教授 建筑环境与设备工程专业教学指导委员会委员

总 序

地球上本没有建筑,人类创造了建筑;地球上本没有城市,人类构建了城市。建筑扩大了人类的生存地域,延长了人类的个体寿命;城市增强了人类的交流合作,加快了人类社会的发展。建筑和城市是人类最伟大的工程创造,彰显着人类文明进步的历史。建筑和城市的出现,将原来单纯一统的地球环境分割为三个不同的层次。第一层次为自然环境,其性状和变化由自然力量决定;第二层次为城市环境,其性状和变化由自然力量和人类行为共同决定;第三层次为建筑环境,其性状和变化由人类行为决定。自然力量恪守着自然的规律,人类行为充满着人类的欲望。工程师必须协调好二者之间的关系。

由于城市物质文化活动的高效益,人们越来越多地聚集于城市。发达国家的城市人口已达全国人口的70%左右;中国正在加快城市化进程,实际上的城市人口很快就将超过50%。现代社会,人类大多数活动在建筑内开展。城市居民一生中约有90%的时间在建筑环境中度过。为了提高生产水平,保护生态环境,包括农业在内的现代生产过程也越来越多地从自然环境转移进建筑环境。建筑环境已成为现代人类社会生存发展的主要空间。

建筑环境必须与自然环境保持良好的空气、水、能源等生态循环,才能支撑人类的生存发展。但是,随着城市规模越来越大,几百万、上千万人口的城市不断形成,城市面积由几十平方公里扩展到几百平方公里、上千平方公里,一些庞大的城市正在积聚成群,笼罩一方,建筑环境已被城市环境包围,远离自然。建筑自身规模的膨胀更加猛烈,几十万、上百万平方米的单体建筑已不鲜见,内外空间网络关联异常复杂。目前建筑环境有两方面问题亟待解决:一方面,通过城市环境,建立和保持建筑环境与自然环境的良性生态循环是人类的一个难题;另一方面,建筑环境在为人类生存发展提供条件的同时,消耗了大量能源,能耗已占社会总能耗的1/3左右,在全球能源紧缺、地球温室效应日渐显著的严峻形势下,提高建筑能源利用效率是人类的又一个重大课题。

满足社会需求,解决上述课题,必须依靠工程。工程是人类改造物质世界活动的总称,建筑环境与设备工程是其中之一。工程的出发点是为了人类更好地生存发展。工程的基本问题是能否改变世界和怎样改变世界。工程以价值定向,以使用价值作为基本的评价标准。建筑环境与设备工程的根本任务是:遵循自然规律,调控建筑环境,满足当代人生活与生产的需求;同时节约能源,善待自然,维护后代生存发展的条件。

进行工程活动的基本社会角色是工程师。工程师需要通过专业教育奠定基础。建筑环境与设备工程专业人才培养的基本类型是建筑环境与设备工程师。工程创造自然界原本没有的事物,其本质特点是创造性的。工程过程包括策划、实施和使用三个阶段,其核心是创造或建造。策划、运筹、决策、操作、运行与管理等工程活动,离不开科学技术,更需要工程创造能力。从事工程活动与科学活动所需要的智能是不一样的。科学活动主要通过概念、理论和论证等实现从具体到一般的理论抽象,需要发现规律的智能;工程活动则更强调实践性,通过策划决策、计划实施、运行使用实现从一般到具体的实践综合,需要的是制定、执行标准规范的运作智能。这就决定了建筑环境与设备工程专业的人才培养模式和教学方法不同于培养科学家的理科专业,教材也不同于理科教材。

建筑环境与设备工程专业的前身——供热、供燃气及通风工程专业,源于前苏联(1928年创建于俄罗斯大学),我国创建于1952年。到1958年,仅有8所高校设立该本科专业。该专业创建之初没有教材。1963年,在当时的“建工部”领导下,成立了“全国高等学校供热、供燃气及通风专业教材编审委员会”,组织编审全国统编教材。“文革”后这套统编教材得到完善,在专业技术与体系构成上呈现出强烈的共性特征,满足了我国计划经济时代专业大一统的教学需求。在我国供热供燃气及通风空调工程界,现在的专业技术骨干绝大多数是学这套教材毕业的。该套教材的历史作用不可磨灭。

进入21世纪,建筑环境与设备工程专业教育出现了以下重大变化。

1. 20世纪末,人类社会发展和面临的能源环境形势,将建筑环境与设备工程这个原本鲜为人知的小小配套专业,推向了社会舞台的中心地带,建筑环境与设备工程专业的社会服务面空前扩大。

2. 新旧世纪之交,我国转入市场经济体制,毕业生由统一分配转为自谋职业,就业类型越来越多样化。地区和行业的需求差异增大,用人单位对毕业生的知识能力与素质要求各不相同。该专业教育的社会需求特征发生了本质性的改变。

3. 该专业的科学基础不断加深和拓展,技术日益丰富和多样,工程活动的内涵和形式发生了显著变化。

4. 强烈的社会需求,使该专业显示出良好的发展前景,广阔的就业领域,刺激了该专业教育的快速扩展。目前全国已有150多所高校设立该本科专业,每年招生人数已达1万以上,而且还在继续增加。这1万多名入学新生,分属“985”“211”和一般本科院校等多个层次的学校,在认知特性、学习方法、读书习惯上都有较大差异。

在这样的背景下,对于该工程专业教育而言,特色比统一更重要。各校都在努力办出自己的特色,培养学生的个性,以满足不同的社会需求。学校的特色不同,自然对教材有不同的要求。若不是为了应试,即使同一学校的学生,也会选择不同的教材。多样性的人才培养,呼唤多样性的教材。时代已经变化,全国继续使用同一套统编教材,已经不适宜了,该专业教材建设必须创新、必须开拓。结合1998年的专

业调整并总结跨世纪的教育教学改革成果,高校建筑环境与设备工程专业教学指导委员会组织编写了一套推荐教材,由中国建筑工业出版社出版;同时,重庆大学出版社组织编写了一套系列教材;随后机械工业出版社等也先后组织成套编写该专业教材。

在国家“十五”“十一五”教材建设规划的推动下,各出版社出版教材的理念开放,境界明显提升。华中科技大学出版社在市场调研的基础上,组织编写的这套针对二、三类本科院校的系列教材,力求突出实用性、适用性和前沿性。教材竞争力的核心是质量与特色,教材竞争的结果必然是优胜劣汰,这对广大师生而言,是件大好事。希望该专业的教材建设由此呈现和保持百家争鸣的局面。

教材不是给教师作讲稿的,而是给学生学习的,企望编写者能面向学生编写教材,深入研究学生的认知特点。我们的学生从小就开始学科学,现在才开始学工程,其学习和思维的方式适应理科,而把握工程的内在联系和外部制约,建立工程概念则较为困难。在学习该专业时,往往形成专业内容不系统、欠理论、具体技术和工程方法只能死记硬背的印象。编写该专业教材,在完善教材自身的知识体系的同时,更要引导学生转换这种思维方法,学会综合应用;掌握工程原理,考虑全局。对现代工程教学的深入思考,对该专业教学体系的整体把握,丰富的教学经验和工程实践经验,是实现这一目标的基本条件。这样编写出来的教材一定会有特色,必将受到学生的欢迎。期盼华中科技大学出版社组织编写的这套教材,能使学生们说“这是让我茅塞顿开的教材!”

借此机会,谨向教材的编审和编辑们表示敬意。

付祥钊

2009.6.30 于重大园

内 容 提 要

本书是全国高等院校建筑环境与设备工程专业流体力学课程编写的教材,也可作为土木、环境、动力、安全等专业相应课程的教材或教学参考书。本书除可满足本科教学的要求外,还可作为报考硕士研究生的参考用书以及相关工程技术人员的参考用书。

全书共分9章,包括绪论、流体静力学、一元流体动力学基础、流动阻力和能量损失、孔口管嘴管路流动、气体射流、不可压缩流体动力学基础、相似理论与量纲分析、计算流体力学的应用等。为了帮助学生更好地理解掌握所学内容,大多章都附有思考与习题。

前 言

本书是为全国高等院校建筑环境与设备工程专业流体力学课程编写的教材,也可作为土木、环境、动力、安全等专业相应课程的教材或教学参考书。

“流体力学”是建筑环境与设备工程专业一门重要的专业基础课,本书根据专业需要,按照“宽口径、厚基础”的教育改革发展要求,本着与时俱进、精益求精的原则,对教材进行编纂。增补实际应用问题分析作为理论与方法的落脚点,从而使各章内容展现出“基本概念+理论与方法+实际应用”的明确路线。对于各章节某一具体知识点的阐述也尽量将与之相联系的概念集中分层阐述,以达提纲挈领之效,目的也是使学生掌握流体力学的基本原理与分析方法,以解决建筑环境与设备工程系统设计开发和工程应用中相关的流体流动问题。

本书介绍了流体力学的基本概念、基本原理、基本方法,内容包括流体静力学、一元流体动力学、不可压缩流体动力学、管流阻力、孔口和管路计算的基本理论、气体射流、相似性原理和因次分析、计算流体力学的应用等;同时对流体力学中 CFD 软件的使用以及在建筑环境与设备工程、结构工程等领域的具体应用情况进行了较为详细的介绍。在编写过程中,力求由浅入深,循序渐进,加强基础知识和应用能力的培养,体系完整,思路清晰,通俗易懂。

本章主要采用国际单位制,主要物理量的符号使用国标《量和单位》(GB3100~3102—1993)给出的符号。

由于各院校的学时数不同,要求不完全一样,因此,任课教师可根据具体情况,对某些章节进行取舍。

本书由上海应用技术学院冯劲梅任主编,北京联合大学韩国军、上海应用技术学院高建民任副主编。编写分工:冯劲梅编写第 1,2,7 章;韩国军编写第 3,4 章;高建民编写第 5,9 章;刘建兵编写第 8 章;王浩宇编写第 6 章。

由于编者水平有限,在书中难免会出现这样或那样的错误,希望读者批评指正,使本教材在使用过程中不断完善。

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 流体力学的任务、地位和学习方法	(1)
1.2 常用的流体力学模型	(3)
1.3 分析流体力学的理论基础	(4)
1.4 作用在流体上的力	(5)
1.5 流体的主要物理性质	(8)
【本章要点】	(20)
【思考与习题】	(20)
第 2 章 流体静力学	(23)
2.1 流体静压强的特性	(23)
2.2 流体平衡微分方程式	(25)
2.3 重力作用下流体平衡压强分布	(28)
2.4 静止流体对壁面的压力	(33)
2.5 流体在重力与其他质量力作用下的压强分布规律	(38)
2.6 浮力及物体的浮沉	(40)
【本章要点】	(41)
【思考与习题】	(41)
第 3 章 一元流体动力学基础	(45)
3.1 描述流体运动的两种方法	(45)
3.2 恒定流动和非恒定流动	(46)
3.3 迹线和流线	(46)
3.4 一元流动模型	(48)
3.5 连续性方程	(49)
3.6 恒定元流能量方程	(51)
3.7 过流断面的压强分布	(53)
3.8 恒定总流能量方程	(54)
3.9 能量方程的应用	(58)
3.10 总水头线和测压管水头线	(66)
3.11 恒定气流能量方程	(70)
3.12 总压线和全压线	(71)

3.13 恒定流动量方程	(73)
【本章要点】	(76)
【思考与习题】	(76)
第4章 流动阻力和能量损失	(81)
4.1 沿程损失和局部损失	(81)
4.2 层流与紊流、雷诺数	(83)
4.3 圆管中的层流运动	(85)
4.4 紊流运动的特征和紊流阻力	(89)
4.5 尼古拉兹实验	(92)
4.6 工业管道紊流阻力系数的计算公式	(94)
4.7 非圆形管的沿程损失	(98)
4.8 管道流动的局部损失	(101)
4.9 减小阻力的措施	(107)
【本章要点】	(108)
【思考与习题】	(108)
第5章 孔口管嘴管路流动	(112)
5.1 孔口自由出流	(112)
5.2 孔口淹没出流	(113)
5.3 管嘴出流	(115)
5.4 简单管路	(118)
5.5 简单管路的串联和并联	(122)
5.6 管网计算基础	(128)
5.7 有压管中的水击	(132)
【本章要点】	(136)
【思考与习题】	(136)
第6章 气体射流	(140)
6.1 概述	(140)
6.2 无限空间淹没紊流射流的特征	(141)
6.3 圆断面射流的运动分析	(144)
6.4 平面射流	(148)
6.5 温差或浓差射流及射流弯曲	(149)
6.6 旋转射流	(153)
6.7 有限空间射流	(160)
【本章要点】	(163)
【思考与习题】	(164)

第 7 章 不可压缩流体动力学基础	(165)
7.1 流体微团运动的分析	(165)
7.2 有旋流动	(169)
7.3 不可压缩流体连续性微分方程	(173)
7.4 以应力表示的黏滞性流体运动微分方程式	(176)
7.5 应力和变形速度的关系	(177)
7.6 纳维-斯托克斯方程	(180)
7.7 理想流体运动微分方程及其积分	(184)
7.8 流体流动的初始条件和边界条件	(187)
7.9 不可压缩黏滞性流体紊流运动的基本方程及封闭条件	(188)
【本章要点】	(190)
【思考与习题】	(190)
第 8 章 相似原理与量纲分析	(191)
8.1 相似原理	(191)
8.2 流体力学中的一些相似准则	(193)
8.3 量纲分析及 π 定理	(197)
【本章要点】	(201)
【思考与习题】	(202)
第 9 章 计算流体力学的应用	(203)
9.1 计算流体力学简介	(203)
9.2 计算流体力学在土木工程领域的应用	(211)
【本章要点】	(219)
参考文献	(220)

第 1 章 绪 论

自然界物质有三种形态:固体、液体和气体。液体和气体统称为流体,流体的基本特征是具有流动性。固体没有流动性,在剪切力的作用下可以维持平衡,所以,流动性是区别流体和固体的力学特征。

流体力学是力学的一个分支,它研究流体静止和运动的力学规律,以及在工程技术中的应用。

学习流体力学,要注意基本理论、基本概念、基本方法的理解和掌握,要学会理论联系实际,从而解决工程中的各种流体力学问题。

本章除了阐明全书的概况,所研究的物理量的性质,物理模型,学习本学科的目的和任务外,还着重阐述了本学科在科技发展和国民经济建设中的地位,以及学好本学科的基本方法。

1.1 流体力学的任务、地位和学习方法

1.1.1 流体力学研究的对象和任务

流体力学是研究流体静止(相对静止)和运动的力学规律及其在工程实际中应用的一门学科。因此,流体力学研究对象是流体,流体力学研究的任务是如何很好地、有效地把流体静止和运动的力学规律应用到各个实际工程领域中去,流体在工程中应用得非常广泛。热的供应、空气的调节、燃气的输配、降温除尘、排毒排湿等,都是以流体为工作介质,通过流体的各种物理作用,对流体的流动加以组织来实现的。在建筑工程和桥梁工程中,研究解决风对高耸建筑物的荷载作用和风振问题都要以流体力学为理论基础;进行基坑排水,地基抗渗稳定处理,桥渡设计都有赖于水力分析和计算。

1. 流体

流体是流动的物质,液体和气体统称为流体。具有代表性的液体是水,具有代表性的气体是空气(大气)。流体的基本特性是具有易流动性。所谓易流动性就是流体在静止时不能承受任何小的剪切力和拉力的性质。如果承受了剪切力和拉力,不管多么小,静止状态就会被破坏。易流动性是流体命名的由来。

2. 固体、液体、气体

1) 固体

固体有一定的体积和一定的形状,固体的运动方式只有平动和转动;固体按受力和变形关系分为塑性体和弹性体。一个给定的力,产生一定的变形,如果力撤除

以后,产生永久变形的固体为塑性体;如果力撤除以后,变形立即消失的固体为弹性体。固体没有流动性,在剪切力的作用下可以维持平衡,所以流动性是区别流体和固体的力学特征。

2)液体

液体有一定的体积而无一定的形状,液体不易被压缩,有自由表面,具有界面现象——表面张力特性。

3)气体

气体既无一定的体积又无一定的形状,能够充满任意给定的空间,因而气体易于被压缩,没有自由表面,无界面现象,无表面张力特性。

4)液体和气体的相同点

液体和气体的相同点是无一定的形状,均具有易流动性,它们除有固体的平动和转动外,更重要的是具有变形运动(线变形和剪切角变形运动)。

1.1.2 流体力学的地位

流体力学是研究流体的机械运动规律及其应用的科学,是力学的分支学科,是人类在同自然斗争中发展起来又去指导人类更好地改造自然,为人类创造幸福的一门学科。流体力学的发展总是和尖端科学技术的发展联系在一起的,它是涉及各领域应用极其广泛的技术基础学科。

自然界存在着的物质有三种状态——固体、液体和气体,这是依据理论力学方法进行的划分。而依据热力学方法可把物质划分为两大类:流体和固体(非流体)。流体包括液态和气态。也就是说,流体力学这一门学科是研究自然界三态存物的两态。流体是人类永恒的伴侣,没有哪一个领域,哪一个部门,乃至个人能离开流体而存在的。所以研究流体静止和运动的力学规律及其应用的流体力学这门学科,在人类发展的历史长河中起着重要作用。航空航天技术的迅猛发展,人类征服宇宙空间事业的发展,都是以流体力学为基础理论学科的。

同时,流体力学与许多学科也是相互渗透、相得益彰的,因此,使这门古老的学科不断地获得新鲜血液,显得更富有青春和活力。

在高新技术、知识经济的今天,流体力学不仅是流体工程、流体机械、热能、建筑、供热通风和燃气工程、环保、航海、宇航、兵器、化工、冶金、水利、发电、石油、采矿、农林、轻工、气象、纺织、生物工程等领域的重要专业基础理论课之一,更是建筑环境与设备工程、市政工程、环境工程、土木工程、道路和桥梁工程等专业基础的基础。学好流体力学,才能对专业范围内的流体力学现象作出合乎实际的定性判断,进行足够精确的定量估计,正确地解决专业范围内的流体力学的设计和计算问题。

1.1.3 关于学好流体力学这门课的几点意见

1. 掌握从一般到特殊的学习方法

学习任何一门自然科学,都要善于掌握从一般到特殊的学习方法,都要抓住它

的纲。这个纲就是从物体的机械运动的普遍规律出发,并考虑到所研究问题特点与规律所建立的一般形式基本方程组,再根据具体条件去分析具体问题。纲起着统帅的作用。这样学习,起点高,对问题认识深入全面。掌握了一般形式的基本方程组,其他的派生方程只是基本方程在不同的条件下的简化应用。如此,才能抓住要领,使知识条理化、系统化。

2. 在掌握“三基”上下工夫

要认真看书,在掌握基本原理、基本概念和基本方法上下工夫。对这“三基”要反复思考、理解。理解了的知识,才是自己的知识,才能应用。

3. 初步预习,有准备地听课

即使不能全面预习,也要对关键的较难的章节提前预习,这样才能有准备地、主动地听课。自己认为是重点、难点的地方,以及老师对重点、难点的处理方法,对典型的课堂例题讲解,对老师分析问题的思路和解题的步骤,应该有所记录。

4. 解题规范化,加强基本功

要将该门课程精选的习题解作为该学科的精华。讲课的老师不搞题海战术,要分析题型,精选作业题;学生对所留的作业,应认真分析归类,明确考核的知识点,掌握解题的思路和方法步骤,达到触类旁通、举一反三的目的,并且将作业本保留,作为一本有价值的参考资料。同时,要坚持用物理方法解题,尽量杜绝用算术方法解题的习惯。习题中所给的图要认真画在作业本上,解题时一定要注意物理量的量纲和单位要和谐统一。

5. 重视实验,亲自动手做实验

认真做教学大纲规定的所有实验。每一个教学实验,都是对学过的基本理论的进一步理解、应用和升华,因此必须亲自动手做实验。实验一方面可培养独立完成课业的能力,另一方面也为将来进行科学实验研究奠定基础。

1.2 常用的流体力学模型

所谓流体力学模型,是对所研究的实际流体的物理结构和物理性质进行科学的结合与实际的简化,以便推导出流体运动规律的数学表达式。

目前,最基本的流体力学模型是连续介质力学模型,常用的还有不可压缩流体力学模型、理想流体力学模型和静止(相对静止)流体力学模型。

1.2.1 流体质点的连续介质模型

连续介质的假设(模型)是1755年瑞士物理学家欧拉(Euler, L. 1707—1783)首先提出的。他假设流体(液体和气体)充满着它所占据的一个无任何空隙空间体积的连续体,这就是连续介质模型,这是对流体的物质结构进行了简化,使我们在分析问题得到了两大方便:第一,它使我们不考虑复杂的微观分子运动,只考虑在外力

作用下的宏观机械运动;第二,它使我们能够运用数学分析的连续函数工具。它是最基本的,贯穿流体力学始终的力学模型。

连续介质模型具有下列性质。

(1)液体是连续分布的物质,它可以无限分割为具有均布质量的宏观微元体。这个微元体在宏观上无限小,小到 $\delta V \rightarrow 0$, 作为空间的一点,微观上无限大,其内部包含着巨量分子数(气体: $2.69 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 分子),满足数学统计平均量,具有宏观属性。

(2)在不发生化学反应和离解等非平衡过程的运动流体中,微元体内状态服从热力学关系。

(3)除了特殊面外,流体的力学和热力学状态参数在时空中是连续分布的,并且通常是无限可微的。

连续介质模型用于一般的流动是合理和有效的,但是对于某些特殊的问题,如研究导弹和卫星在高空飞行的稀薄气体力学中,气体分子间距很大,已经能和飞行物的特征尺寸比拟,这时连续介质模型不能成立。

1.2.2 不可压缩流体的力学模型

对于液体和马赫数 $M < 0.3$ 的低速气流可忽略流体的压缩性和热胀性,认为其体积(或密度)是不变的,这称为不可压缩流体力学模型,这是不计压缩性和热胀性而对流体物理性质的简化。液体的压缩性和热胀性均很小,密度可视为常数,通常用不可压缩流体模型。气体在大多数情况下,也可以采用不可压缩流体模型,只有在某些情况下,如速度接近或者超过声速时,流动过程中其密度变化很大时,才必须采用可压缩流体模型。

1.2.3 理想流体力学模型

所谓理想流体就是不考虑黏滞性作用的流体,这种模型叫做理想流体力学模型,这也是对流体的物理性质进行简化,因为在某些问题中,黏滞性不起作用或者不起主要作用。欧拉于 1775 年在他的著作《流体运动的一般原理》中,首先提出理想流体的概念并建立了理想流体运动微方程——欧拉运动微分方程。

实际上,一切流体都具有一定程度的黏滞性。提出理想流体力学模型的意义在于研究流体诸方程中,不考虑黏滞性项,从而使问题大大简化。如果在某些问题中,黏滞性影响较大,不能忽略时,我们可以采用“两步走”的办法,先当作无黏滞性流体分析,得出主要结论,然后采用试验方法考虑黏滞性的影响,加以补充或修正。

1.3 分析流体力学的理论基础

自然界中所存在的一切物质的运动,毫无例外地都遵循着质量守恒定律和能量守恒定律这两个普适定律,流体运动也必然遵守这些定律。流体力学是研究流体

(包括液体和气体)宏观机械运动的,必然遵守牛顿力学定律。当考虑压缩性时,还必然要遵循热力学第二定律。故而分析流体力学的理论基础是三大定律:

- (1)质量守恒定律(连续性方程);
- (2)能量守恒定律——热力学第一定律(能量方程式);
- (3)牛顿运动第二定律(由它导出动量守恒定理、动量矩守恒定理、动能定理等)。

上述这些定律既不以所讨论的流体的性质为转移,又与所考虑的具体流动过程无关,是一切流体、一切运动形式都必须遵循的。只要把上述定律应用于运动流体,并考虑到流体具有易流动性(变形)的特点,就得到了流体力学中的基本规律。再附加流动的初始条件和流动区域边界上的边界条件,就完全确定了一个特殊的问题。

1.4 作用在流体上的力

一切流体只有在力(外力)的作用下,才能产生一定的运动状态(当然也包括静止在内)。外力是流体产生机械运动的外因,流体自身的特性是运动状态的内因。因此,流体在做机械运动的同时,在流体的内部各个质点之间必定以一定的应力相互作用着。流体力学研究作用在流体上的力与运动状态的关系。本节介绍作用在流体上的力的分析方法和力的分类。

1.4.1 用截面分离体法分析作用在流体上的力

流体是连续介质,其运动时,各流体质点之间以一定的应力相互作用着,在研究作用在流体上的力时,必须把所要研究的那部分流体从其他流体中分离出来。一般用假想的截面从图 1-1 所示的流体中分离出一小块流体 ΔV ,根据等效力效应来分析流体 ΔV 上的力。根据外界作用在这块流体上的力按其作用方式不同,分为质量力和表面力两大类。

1. 质量力

作用在所取流体 ΔV 体积微团上并且和质量 Δm 成正比的力叫做质量力,用 ΔF_m 表示。 ΔF_m 与 ΔV 以外的流体存在无关。如图 1-1 所示。

常接触到的质量力有重力、离心力、惯性力,直线运动惯性力、静电力等。这里所说的质量力,一般指保守的质量力(只与始末位置有关,而与路径无关的力)。

1) 单位质量力(质量力强度)

有度量价值的,作用在单位质量上的质量力为单位质量力(也称为质量力强

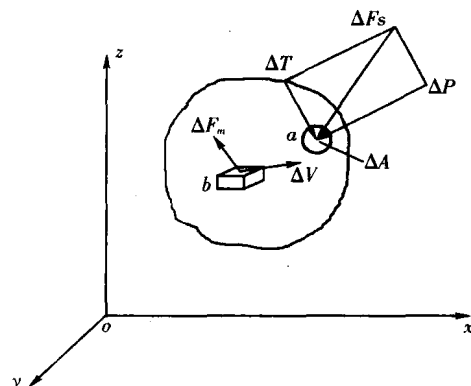


图 1-1 表面力和质量力