

建筑

主 编 黄 炜

环境与设备

JIANZHU HUANJING
YU SHEBEI

Jianzhu Huanjing Yu Shebei

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

建筑环境与设备

主 编 黄 炜
副主编 夏文光

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书为高等学校建筑环境与设备工程专业“建筑环境与设备工程概论”课程,以及土木工程、工程管理、建筑学专业“建筑设备”课程的教材。

全书共分两篇十五章,第一篇为专业基础篇,包括的内容为:流体力学、工程热力学、传热学、建筑环境学、热质交换原理与设备和流体输配管网;第二篇为专业技术篇,包括的内容为:供暖通风与空气调节、制冷技术、供热工程、锅炉房工艺与设备、空气污染控制、室外及室内给水排水、建筑电气、建筑自动化和燃气供应。

本书可供从事建筑行业、建筑公共设施行业相关工作的工程技术人员与管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑环境与设备/黄炜主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2006. 4

ISBN 7-81107-306-4

I. 建… II. 黄… III. ① 建筑工程—环境管理—高等学校—教材 ② 房屋建筑设备—高等学校—教材
IV. ① TU—856 ② TU 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 035554 号

书 名 建筑环境与设备

主 编 黄炜

责任编辑 钟诚 王江涛 周丽

责任校对 张海平

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 22.25 字数 549 千字

版次印次 2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月第 1 次印刷

定 价 27.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

本教材是根据教育部本科专业目录的调整,以及建筑环境与设备工程专业教学,并考虑土木工程、工程管理、建筑学等相关专业的教学需要,在经 5 届学生使用的《建筑环境与设备工程概论》讲义的基础上编写而成。

全书高度概括了“建筑环境与设备工程”专业中所涵盖的专业基础和专业技术课程的主要内容。为了保证课程学习的完整性,教材内容为 48 学时。

编写《建筑环境与设备》教材的目的是通过对本教材的学习,使读者初步了解“建筑环境与设备工程”专业的主要课程内容,即主要包括的专业基础课程和专业技术课程内容,并且了解专业方向和业务范围,掌握学习的方法和手段,提高学习的能力,为从事建筑环境与设备工程专业领域的学科研究和工程建设的实践活动奠定基础。

本书分为两篇。第一篇为专业基础课程,主要介绍流体力学、工程热力学、传热学、建筑环境学、热质交换原理与设备和流体输配管网等课程。在这部分内容中,读者可根据学习方向和重点来选择相应课程。建筑环境与设备工程专业的学生应全部选学,土木工程专业、建筑学专业的可选择流体力学、传热学和建筑环境学等内容,工程管理专业的还可以增修热质交换原理与设备的部分内容。第二篇为专业课程,主要介绍暖通空调、制冷技术、供热工程、锅炉房工艺与设备、室外及室内给水排水、建筑电气、建筑自动化、空气污染控制和燃气供应等课程。教师在教学内容的选择上应针对不同专业有所侧重和筛选。

本书由黄炜主编,其中第 7 章由黄炜、孟燕合编,第 13 章由夏文光、黄炜合编,第 14 章由夏文光编写,其余由黄炜编写。全书由黄炜统稿和主审。本书在编写过程中,得到院、系同仁的大力支持,并对全书进行了认真的校核修订,其中冯伟负责第 1、3、6、15 章,张东海负责第 2、5 章,张红英负责第 3、11 章,魏京胜负责第 7、8 章;张建功、高涛、黄建恩负责第 9、10、12 章。对各位同事在校核修订过程中所做的大量工作,在此谨致谢意。

在本书的编写中,编者力求重点突出,简单概括,起到提纲挈领的作用。但由于专业内容的博大,加之篇幅所限,难尽人意,恳请谅之。由于存在主观和客观的原因,书中难免有错误与不妥之处,希望广大读者批评指正。

编 者

2006 年 1 月

绪 论

为了适应我国社会主义市场经济体制改革与发展的需要,以及现代社会经济、科技、文化及教育的发展趋势,改革高等学校存在的本科专业划分过细、范围过窄的状况,国家教委以科学、规范、拓宽的修订原则,对原《普通高等学校本科专业目录》进行了全面的修订,教育部于1998年7月颁布了修订后的专业新目录。调整后的专业由504种合并为249种,并于1999年找新的专业目录招生。在这次专业调整中,原供热通风与空调工程和城市燃气工程专业合并调整为建筑环境与设备工程专业。

建筑环境与设备工程专业是一个以“建筑环境学”为核心的新型学科,它涵盖了工业与民用建筑环境控制技术领域内供热、供冷和通风空调、燃气供应、建筑给排水、电气照明等公共设施系统的范畴。专业的中心内容是围绕人工热湿环境以及如何营造适宜的人居环境和生产所需环境的技术。主要专业基础体系为:流体力学、工程热力学、传热学、建筑环境学、流体输配管网、热质交换原理与设备等。由此,在专业基础理论平台课程体系框架的支撑下,构筑起建筑环境控制技术的综合体系。专业技术主要包括:暖通空调、制冷技术、供热工程、锅炉房工艺与设备、空气污染控制、建筑给水排水、建筑电气、建筑自动化和燃气供应等。

人类大约有五分之四的时间是在建筑物内部度过的,所以建筑环境对人的寿命、工作效率、产品质量都起着举足轻重的作用。人类在从原古的穴居到居住现代建筑的漫长发展道路上,始终不懈地努力去改善建筑物的内部环境。人类对现代建筑的要求已不仅仅局限于挡风遮雨的简单功能,而是同时具备温度适宜、空气清新、光照柔和、宁静舒适、方便安全等功能的组合体。

在科学技术高速发展的今天,生产和科学实验对环境也提出相当苛刻的要求,除了需温度、湿度恒定,对空气的洁净度或细菌数也有严格的界定。

鉴于人类自身对环境的要求和生产、科学实验对环境的要求,建筑环境控制技术产生并不断发展,且已形成了一门独立的学科。建筑环境不仅包括建筑的热湿环境,还包括建筑的室内空气品质、建筑室内光环境和声环境,并在此基础上不断深化和发展,如高效低耗建筑环境、绿色建筑环境等,因而,建筑环境学科的发展会有更广阔的空间。

建筑环境的控制技术是由多门专业技术支撑的,涵盖的专业技术内容以及涉及的基础理论宽广渊博,需要学生潜心尽力学习。

例如,供暖、通风和空气调节是控制建筑热湿环境和室内空气品质的技术,具有很强的理论性与实践性。

供暖主要是指向建筑物供给热量,保持室内一定的温度。这是人类最早发展起来的建筑环境控制技术。从用火炉取暖到用供暖设备与系统供热,在人的舒适感和卫生、设备的外观和灵巧、系统和设备的自动控制、系统形式的多样化、能量的有效利用等方面,都有着长足的进步。

通风是指用自然或机械的方法将室内被污染的空气排出,将室外新鲜空气送入室内,置换建筑物内的空气,以改善室内空气品质。送入的空气,根据工程的实际需要,可以是处理过的,也可以不经处理。排出的空气也应依据被污染的程度经处理后,再排至大气中。

空气调节是对建筑空间内的温度、湿度、洁净度和空气流动速度等进行控制,并提供足够量的新鲜空气,以实现建筑热湿环境、空气品质的全面控制,所以它也涵盖着采暖功能和通风功能的双层作用,同时还包括对噪声的控制。在实际应用中,并非任何场合都需要用空调系统对环境进行控制。如在寒冷的北方,是不需要空调的,只需要采暖。

对于光环境的控制,是通过建筑电气照明控制技术来实现的。建筑电气在创造良好的声、光、温湿度和空气环境中,在一些追求方便性、增强安全性、提供系统控制性方面为系统中的各类设备提供电能,起着非常重要的作用。

综上所述,内涵丰富的建筑环境控制技术,是现代建筑不可或缺的,且随着现代建筑科学技术的飞速发展,越来越显出重要性。房屋建筑要满足人类生活居住、工作学习和生产的需要,提供安全舒适、健康卫生的建筑内部环境,则需设置符合建筑功能要求的供暖、供冷、通风、空调、给水、排水、燃气、供电等完善和适用的设备系统。设置于建筑物内的设备系统,必须与建筑、结构及生产工艺设备相互协调,并注意在设计与施工中的配合协作,才能使建筑功能发挥到极致。

现代建筑是一种舒适健康、低耗高效并与大自然充分和谐的空间建筑,这样的现代建筑是人类对美好生活的追求和奋斗目标。人类需遵守自然规律,在人与自然,建筑与自然和谐的生存环境中工作、娱乐和生活。

目 录

绪 论	(1)
-----	-----

第一篇 专业基础知识

第一章 流体力学	(1)
第一节 流体力学的研究对象和任务	(1)
第二节 流体的主要物理性质	(3)
第三节 流体静压强及其分布规律	(8)
第四节 流体运动的基本知识	(10)
第五节 流动阻力和水头损失	(18)
第二章 工程热力学	(23)
第一节 概述	(23)
第二节 工程热力学的基本概念	(26)
第三节 热力学第一定律	(37)
第四节 热力学第二定律	(43)
第三章 传热学	(50)
第一节 绪论	(50)
第二节 导热基本定律	(50)
第三节 对流换热	(55)
第四节 辐射换热	(59)
第五节 传热过程和传热系数	(66)
第四章 建筑环境学	(69)
第一节 绪论	(69)
第二节 建筑环境的形成	(70)
第三节 建筑环境中的热湿环境	(75)
第四节 建筑环境中的空气环境	(79)
第五节 建筑声环境	(84)
第六节 建筑光环境	(90)
第五章 热质交换原理与设备	(97)
第一节 绪论	(97)
第二节 分子扩散传质	(98)
第三节 对流传质	(103)
第四节 热质交换设备	(110)
第六章 流体输配管网	(114)
第一节 流体输配管网形式	(114)

第二节 流体输配管网的水力计算·····	(123)
----------------------	-------

第二篇 专业技术知识

第七章 供暖通风与空气调节 ·····	(130)
第一节 概述·····	(130)
第二节 供暖系统及其分类·····	(131)
第三节 热负荷·····	(140)
第四节 集中供暖系统的散热器·····	(145)
第五节 供暖管道布置和敷设·····	(146)
第六节 建筑通风概述·····	(147)
第七节 自然通风·····	(148)
第八节 机械通风·····	(155)
第九节 空调系统的组成与分类·····	(161)
第十节 空气调节系统·····	(162)
第十一节 空气处理、消声和减震·····	(166)
第十二节 空调房间·····	(171)
第十三节 空调机房、制冷机房的建筑设计·····	(176)
第八章 制冷技术 ·····	(179)
第一节 制冷技术概述·····	(179)
第二节 制冷系统的工作原理·····	(180)
第三节 用于空调制冷的制冷剂·····	(184)
第四节 制冷压缩机、冷凝器、蒸发器和节流机构·····	(187)
第五节 冷水机组·····	(198)
第九章 供热工程 ·····	(200)
第一节 集中供热系统的热负荷·····	(200)
第二节 集中供热系统·····	(202)
第三节 热网系统形式·····	(208)
第四节 供热管网的布置·····	(211)
第五节 室外供热管道的敷设方式·····	(212)
第六节 集中供热系统的运行调节·····	(217)
第十章 锅炉房工艺与设备 ·····	(219)
第一节 锅炉房工艺系统的组成·····	(219)
第二节 锅炉房工艺设备·····	(223)
第三节 锅炉房的布置·····	(236)
第十一章 空气污染控制 ·····	(241)
第一节 空气污染的成因和危害·····	(241)
第二节 空气污染物排放的控制技术·····	(247)
第十二章 室外及室内给水排水 ·····	(253)

第一节	室外给水工程·····	(253)
第二节	室外排水工程·····	(260)
第三节	建筑给水系统的分类及组成·····	(266)
第四节	建筑给水系统所需的水压与给水方式·····	(267)
第五节	建筑给水系统的水量计算·····	(270)
第六节	建筑给水系统的加压、储水设备·····	(271)
第七节	建筑消防给水·····	(276)
第八节	室内排水系统的分类和污水排放条件·····	(286)
第九节	室内排水系统的组成·····	(287)
第十节	屋面雨排水·····	(290)
第十三章	建筑电气 ·····	(293)
第一节	建筑电气的基本组成及作用·····	(293)
第二节	建筑电气系统的种类·····	(295)
第三节	供配电系统·····	(297)
第四节	建筑电气照明系统·····	(304)
第五节	建筑弱电系统·····	(308)
第十四章	建筑自动化 ·····	(311)
第一节	建筑自动化系统的组成·····	(311)
第二节	建筑电气设备自动化·····	(313)
第三节	空调系统的自动监测与控制·····	(315)
第四节	给、排水自动化控制·····	(317)
第五节	火灾报警控制系统·····	(319)
第六节	公共安全防范系统·····	(321)
第十五章	燃气供应 ·····	(323)
第一节	燃气的分类及用途·····	(323)
第二节	城市燃气输配系统·····	(328)
第三节	室内燃气用具及安装·····	(338)
主要参考文献	·····	(343)

第一篇 专业基础知识

本篇主要对流体力学、工程热力学、传热学、建筑环境学、热质交换原理与设备、流体输配管网等专业基础知识作一介绍。这几门课程是建筑环境与设备工程专业的主要专业基础核心课程。土木工程、建筑学和工程管理专业可以根据专业的实际情况选择其中的流体力学和传热学等相关内容学习。

第一章 流体力学

本课程以水力学、工程流体力学和气体动力学为基本理论,研究流体静止和运动的力学规律。本章主要介绍了流体力学所研究的内容,流体的主要物理性质以及流体静力学和流体动力学的基本理论。

第一节 流体力学的研究对象和任务

流体力学的研究对象就是流体,流体包括液体和气体。例如在供热通风与空调、燃气工程和给水排水工程中,用于热的供应、空气的调节、通风的排毒排湿、除尘降温、燃气的供应与输配以及给水供应和污水排出等,都是以流体作为工作介质,通过流体的各种物理作用,分别对气体或液体的流动进行有效的组织与控制来实现的。因此,流体力学是研究流体宏观机械运动规律,并运用这些规律解决实际工程问题的一门学科。然而,人们在研究流体运动规律时,一般将学科研究分为两个分支:以液体为主要研究对象的水力学和流体力学;以

气体为主要研究对象的气体动力学和空气动力学。液体与气体既有共性,又有各自的特性,因此学科之间既有一些共同的基本理论,又有各自研究的专门问题与方法。

流体的基本特征是流体具有流动性,即流体在静止时不能承受剪切力,当有剪切力作用于流体时,流体便产生连续的变形,也就是流体质点之间产生相对运动。流体也不能承受拉力,只能承受压力。流动性使气体弥散在整个空间内,使小范围内液体的自由表面保持水平,这是众所周知的自然现象。流动性使流体的运动具有下列特点:

第一,流体没有固定的形状,它的形状是由约束它的边界形状所决定的。不同的边界必将产生不同的流动,即流体接触的周围物体的形状和性质对流体的运动有着直接的影响。

第二,流体的运动与它的物理力学性质有密切的关系。也就是说,流体运动时其内部各质点之间有着复杂的相对运动,流体的运动和流体的变形是联系在一起的。物理性质不同的流体,即使其边界条件相同,也会产生不同的流动。

虽然自然界中流体的流动千变万化、错综复杂、各有不同,但是,每个具体的流动,都是由流体本身的物理性质(这是内因)和流动所在的外界条件(这是外因)这两个因素所决定的。流体力学就是要探讨和研究流体的物理性质和流体的边界条件以及它们之间的相互联系和相互影响,分析流体的运行规律,解决工程中的实际问题。

流体作为物质的一种形态,必然要服从质量守恒定律和能量守恒定律,这是自然界中一切物质运动都必须遵循的普遍规律。另外,流体力学是研究流体宏观机械运动的学科。而牛顿的力学定律,以及根据它导出的动量定理、动量矩定理、动能定理等,都是物体宏观机械运动应遵循的一般规律。因此,流体力学中的基本规律实质上就是将上述的普遍规律和一般规律应用于流体上,并考虑流体的流动性的特点而得到的。

当不同物质形态的特性不能显示其区别时,不同形态的物体在运动规律上的差别也就消失了。例如,液体和气体是有差别的;气体易于压缩,液体不易压缩;气体一定充满容纳它的空间,没有自由表面,液体可以不充满容器,有自由表面。因此,一般情况下液体和气体的运动规律不完全相同。但是,当气体的速度远比音速小时,气流的密度变化很小,气体的压缩性实际上是可以忽略的(例如在标准状态下,如果气流速度不超过 60 m/s ,则不考虑压缩性所引起小于 1% 的相对误差),因此对于不可压缩流体得出的运动规律,完全适用于气体。

在工程实践中要求流体力学解决的问题,一般都具有较大的几何尺寸,因此,流体力学不去研究微观的分子运动,而只研究流体表现出来的统计平均力学性质,即研究流体的宏观机械运动,把流体看成是由无数流体微团(或称质点)充满的、内部无空隙的连续体(或称为连续介质)。引入了连续介质这个假设就可以不考虑复杂的分子运动,而只考虑流体在外力作用下的机械运动。同时还可进一步认为:表征流体运动和性质的各物理量在空间是连续分布的,从而把连续函数的概念引入到流体力学中来。这样,就可以利用数学分析这一有力的工具来研究流体的运动规律。

流体力学虽然主要研究流体的机械运动,但自然界的一切事物都是相互联系的,单纯的机械运动是不存在的。尤其是气体的机械运动,总是和热运动分不开的,流体力学只不过是着重从机械运动的角度来研究而已。

流体力学的应用非常广泛。例如重工业中的冶金、电力、采掘等工业,轻工业中的化工、纺织、造纸等工业,交通运输业中的飞机、船舶设计,以及农田灌溉、水利建设、河道整治等工程中,都有大量的流体力学问题需要去解决。在土建工程和环境工程中,如给水排水、供热

通风、燃气供应等工程,都要对水或其他流体进行净化或加热等处理,以及通过管道或渠道输送给用户或车间;在其设备和系统的设计、运行管理及施工中也会遇到一系列的流体力学问题需要解决。在城市地下工程中,地下空间的通风、防火排烟,以及煤炭工业中的矿井通风、排水等也需要用到很多流体力学的知识。因此,流体力学是土木工程、道桥工程、建筑工程和建筑环境与设备工程等专业的一门重要的专业基础课,必须很好地学习掌握。

第二节 流体的主要物理性质

在日常生活中,我们会遇见许多流体运动现象,如风从门窗流入室内、燃气从灶具的喷嘴喷出燃烧、空气从空调的送风口流出、自然界中河水江水的流动等等,都表现出流体特别是气体和水具有极强的流动性。流体的各种流动都是由流体本身的物理性质和流体所在的外界条件决定。在学习时,必须首先掌握流体的主要物理性质,再去研究流体静压强及其分布规律和流体的运动规律。

流体的主要物理性质如下。

一、密度和容重

流体和固体一样,也具有质量和重量。质量的存在使流体运动时具有惯性,重量则使流体有从高处流向低处的趋势。工程上分别用密度 ρ 表示质量,容重 γ 表示重量。

对于均质流体,单位体积的质量称为流体的密度,即

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \text{kg/m}^3 \quad (1-1)$$

式中 M ——流体的质量,kg;

V ——流体的体积, m^3 。

对于均质流体,单位体积的重量称为流体的容重。即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad \text{N/m}^3 \quad (1-2)$$

式中 G ——流体的重量,N;

V ——流体的体积, m^3 。

由牛顿第二定律知道: $G=Mg$ 。因此

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{Mg}{V} = \rho g \quad (1-3)$$

式中 g ——重力加速度,取 9.807 m/s^2 。

表 1-1 为常用流体的密度和容重。

表 1-1 常用流体的密度和容重

流体名称	温度 / $^{\circ}\text{C}$	密度 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	容重 / $\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$
蒸馏水	4	1 000	9 807
海水	15	1 020~1 030	10 000~10 100
普通汽油	15	700~750	6 860~7 350

续表 1-1

流体名称	温度/℃	密度/kg·m ⁻³	容重/N·m ⁻³
石油	15	880~890	8 630~8 730
润滑油	15	890~920	8 730~9 030
酒精	15	790~800	7 750~7 840
水银	0	13 600	133 400
熔化生铁	1 200	7 000	68 600
空气	0	1.293	12.68
氧	0	1.429	14.29
氮	0	1.251	12.28
氢	0	0.089 9	0.881
一氧化碳	0	1.25	12.27
二氧化碳	0	1.976	19.40
二氧化硫	0	2.927	29.1
水蒸气	0*	0.804	7.88

* 为便于计算推算到 0℃。

流体的密度和容重随外界压力和温度而变化。例如,水在标准大气压和 4℃时,其 $\rho = 1\,000\text{ kg/m}^3$, $\gamma = 9.807\text{ kN/m}^3$ 。水银在标准大气压和 0℃时,密度和容重是水的 13.6 倍。干空气在温度为 20℃、压强为 101 324.72 Pa 时密度和容重分别为 1.2 kg/m^3 和 11.80 N/m^3 。

二、流体的粘滞性

流体的粘滞性可以由下列实验和分析了解到。用流速仪测出管道中某一断面的流速分布,如图 1-1 所示。流体沿管道直径方向分成很多流层,各层的流速不同,并按某种曲线规律连续变化,管轴心的流速最大,向着管道壁的方向递减,直至管壁处的流速为零。

虽然静止流体不能承受任何剪应力,但是当流体运动时,流体内部各个质点间或流层层间会出现相对运动,产生切向的内摩擦力以抵抗其相对运动。

如图 1-1 所示,取流速方向的坐标为 u ,垂直流速方向的坐标为 n ,若令水流中某一流层的速度为 u ,则与其相邻的流层的流速为 $u+du$, du 为相邻两流层的速度增值。令流层的厚度为 dn ,沿垂直流速方向单位长度的流速增值,即 $\frac{du}{dn}$ 叫做流速梯度。由于流体各层流的流速不同,相邻流层间有相对运动,便在接触面上产生一种相互作用的剪切力,这个力叫做流体的内摩擦力(或称粘滞力)。

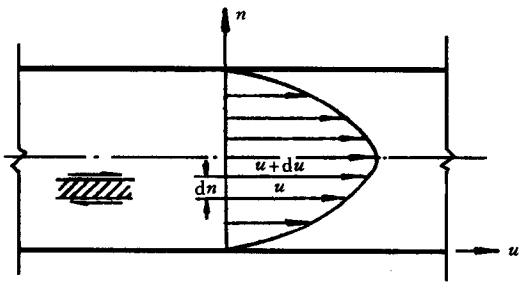


图 1-1 管道中断面流速分布

流体在粘滞力的作用下,具有抵抗流体的相对运动(或变形)的能力,称为流体的粘滞性。对于静止流体,由于各流层间没有相对运动,粘滞性不显示。

牛顿在 1687 年总结实验的基础上,首先提出了流体内摩擦力的假说——牛顿内摩擦定律。如用切应力表示,可写为

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dn} \quad (1-4)$$

式中 F ——内摩擦力, N。

A ——摩擦流层的接触面面积, m^2 。

τ ——流层单位面积上的内摩擦力, 又称切应力, N/m^2 , 简称帕(Pa), 切应力不仅有大小, 还有方向。

μ ——动力粘滞性系数, 单位为 $\frac{N}{m^2} \cdot s$ 或帕·秒(Pa·s)。不同流体有不同的 μ 值, 同一流体的 μ 值愈大, 粘滞性愈强。

$\frac{du}{dn}$ ——流速梯度, 表达了流层之间的相对运动, 也表示速度沿垂直于速度方向的变化率, 单位为 $\frac{m/s}{m}$ 即 $1/s$ 。

流体粘滞性的大小, 可用粘滞性系数表达。除用动力粘滞性系数 μ 外, 还常用运动粘滞性系数 ν 来表示, $\nu = \mu/\rho$, 单位为 m^2/s 。 μ 受温度影响大, 受压力影响小。水及空气的 μ 值及 ν 值如表 1-2 及 1-3 所示。

表 1-2 常压下水的粘滞性系数

t /°C	$\mu \times 10^{-3}$ /Pa·s	$\nu \times 10^{-6}$ /m ² ·s ⁻¹	t /°C	$\mu \times 10^{-3}$ /Pa·s	$\nu \times 10^{-6}$ /m ² ·s ⁻¹
0	1.792	1.792	40	0.656	0.661
5	1.519	1.519	50	0.549	0.556
10	1.308	1.308	60	0.469	0.477
15	1.140	1.140	70	0.406	0.415
20	1.005	1.007	80	0.357	0.367
25	0.894	0.897	90	0.317	0.328
30	0.801	0.804	100	0.284	0.296

表 1-3 一个大气压下空气的粘滞性系数

t /°C	$\mu \times 10^{-3}$ /Pa·s	$\nu \times 10^{-6}$ /m ² ·s ⁻¹	$\nu \times 10^{-6}$ /m ² ·s ⁻¹	t /°C	$\mu \times 10^{-3}$ /Pa·s
-20	0.016 6	11.9	70	0.020 4	20.5
0	0.017 2	13.7	80	0.021 0	21.7
10	0.017 8	14.7	90	0.021 6	22.9
20	0.018 3	15.7	100	0.021 8	23.6
30	0.018 7	16.6	150	0.023 9	29.6
40	0.019 2	17.6	200	0.025 9	35.8
50	0.019 6	18.6	250	0.028 0	42.8
60	0.020 1	19.6	300	0.029 8	49.9

从上述表中可以看出, 水和空气的粘滞系数随温度变化的规律是不同的。水的粘滞性随温度升高而减小, 空气的粘滞性随温度升高而增大。这是因为粘滞性是分子间的吸引力

和分子不规则的热运动产生动量交换的结果。对于液体,分子间的吸引力是决定性的因素,所以液体的粘滞性随温度升高而减小;对于气体,分子间的热运动引起的动量交换是决定的因素,所以气体的粘滞性随温度升高而增大。

流体的粘滞性对流体运动有很大的影响。因为内摩擦阻力的作负功,不断损耗运动流体的能量,从而成为实际工程水力计算中必须考虑的一个重要问题。对此,将在以后的《流体输配管网》学习中继续讨论。

三、流体的压缩性和热膨胀性

流体在外力的作用下,其体积或密度可以改变的性质,称为流体的压缩性。而流体温度改变时,其体积或密度发生变化的性质,称为流体的热膨胀性。

对于液体,其压缩性和热膨胀性都很小。水从一个大气压增加到 100 个大气压时,每增加一个大气压,水的密度仅增加 $1/20\,000$;水在温度较低($10\,^{\circ}\text{C} \sim 20\,^{\circ}\text{C}$)时,温度每升高 $1\,^{\circ}\text{C}$,水的密度减小 $1.5/10\,000$;当水的温度较高($90\,^{\circ}\text{C} \sim 100\,^{\circ}\text{C}$)时,温度每升高 $1\,^{\circ}\text{C}$,水的密度减小也只为 $7/10\,000$ 。因为水等液体的压缩性和热膨胀性在计算结果上所带来的误差很小,所以在很多工程技术领域中可以忽略不计。例如,在建筑环境与设备工程中的管内输送液体,除水击外,一般计算均不考虑液体的压缩性和热膨胀性。

气体与液体则不同,具有显著的压缩性和热膨胀性。在温度不过低、压强不过高时,密度、压强和温度三者之间的关系服从理想气体状态方程

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad (1-5)$$

式中 p ——气体的绝对压强, N/m^2 。

ρ ——气体的密度, kg/m^3 。

T ——气体的绝对温度, K 。

R ——气体常数, $\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$ 。对于空气, $R = 287$; 对于其他气体, $R = \frac{8\,314}{N}$, N 为该气体的分子量。

【例 1-1】 已知压强为 $101\,325\,\text{Pa}$ ($98.07\,\text{kN}/\text{m}^2$), $0\,^{\circ}\text{C}$ 时的烟气容重为 $13.13\,\text{N}/\text{m}^3$, 求 $200\,^{\circ}\text{C}$ 时的烟气容重及密度。

【解】 因压强不变,即定压情况下 $p = C$ (常数), 所以 $p/R = \text{常数}$, 则状态方程简化为 $\rho T = \rho_0 T_0$ 。热力学温度与摄氏温度的关系

$$T = T_0 + t = 273\,\text{K} + t$$

$$\text{因为} \quad \rho_0 = \frac{\gamma_0}{g} = \frac{13.13}{9.807} = 1.34\,\text{kg}/\text{m}^3$$

$$\text{所以} \quad \rho = \frac{\rho_0 T_0}{T} = \frac{1.34 \times 273}{(273 + 200)} = 0.77\,\text{kg}/\text{m}^3$$

温度变化较大时,气体的密度和容重变化均较大。

在实际应用中,对于速度较低(远小于音速)的气体,其压强和温度在流动过程中变化较小,密度可视为常数,这种气体可视为不可压缩气体。反之,速度较高(接近或超过音速)的气体,在流动过程中密度变化很大(当速度等于 $60\,\text{m}/\text{s}$ 时,密度变化为 1% ,也可作为不可压缩气体对待), ρ 不能视为常数,这种气体则称为可压缩气体。

在建筑环境与设备工程系统应用中,由于水和气体的流速在大多数情况下均较低,流体

密度在流动过程中变化不大,可视为常数,所以,一般将这种流速低、密度变化很小的水和气体,认为是一种易于流动的、具有粘滞性的和不可压缩的流体。

另外,还需引入“连续介质”概念。所谓连续介质,就是把流体看成是全部充满的、内部无任何空隙的质点所组成的连续体。作为研究单元的质点,也被认为是由无数分子所组成并具有一定体积和质量的。这样,不仅从客观上摆脱了对分子复杂运动的研究,而且能运用数学中的连续函数,分析在外力作用下流体的运动规律。

四、表面张力

由于分子间的吸引力,在液体的自由表面上能够承受极其微小的张力,这种张力称为表面张力。表面张力不仅在液体与气体接触的周界面上发生,而且还会在液体与固体(汞和玻璃等)或一种液体与另一种液体(汞和水等)相接触的周界上发生。

气体不存在表面张力。因为气体分子的扩散作用,不存在自由表面。表面张力是液体的特有性质。对液体来讲,表面张力在平面上并不产生附加压力,因此那里的力处于平衡状态。它只有在曲面上才产生附加压力,以维持平衡。

因此,在工程问题中,只要有液体的曲面就会有表面张力的附加压力作用。例如,液体中的气泡、气体中的液滴、液体的自由射流、液体表面和固体壁面相接触等,所有这些情况,都会出现曲面,都会因表面张力产生附加压力。不过在一般情况下,这种影响是比较微弱的。

由于表面张力的作用,如果把两端开口的玻璃细管竖立在液体中,液体就会在细管中上升和下降 h 高度,如图 1-2 所示。这种现象称为毛细管现象。上升和下降取决于液体和固体的性质。表面张力的大小,可用表面张力系数 σ 表示,单位为 N/m 。

由于重力与表面张力产生的附加压力的铅直分力相平衡,所以

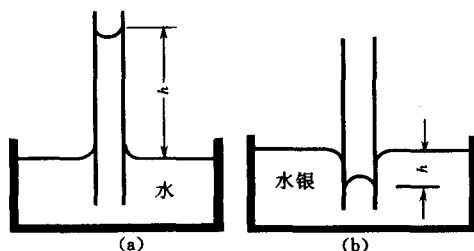


图 1-2 毛细管现象

$$\pi r^2 h \gamma = 2 \pi r \sigma \cos \alpha \quad (1-6)$$

故

$$h = \frac{2\sigma}{r\gamma} \cos \alpha \quad (1-7)$$

式中 γ ——液体容重, N/m^3 ;

r ——玻璃管内径, m ;

σ ——液体的表面张力系数,它随液体种类和温度而异, N/m ;

α ——接触角,表示曲面和管壁交界处,曲面的切线和管壁的夹角,度。

如果把玻璃细管竖立在水中,[如图 1-2(a)]。当水温为 20°C 时,则水在管中的上升高度为

$$h = 15/r \quad (1-8)$$

如果把玻璃细管竖立在水银中,[如图 1-2(b)]。当水银温度为 20°C 时,则水银在管中的下降高度为

$$h = 5.07/r \quad (1-9)$$

在式(1-8)、式(1-9)中, h 和 r 均以毫米(mm)计,所以当管径很小时, h 可以很大。因

此,用来测定压强的玻璃细管直径不能太大,否则就会产生很大的误差。

表面张力的影响在一般工程实际中是被忽略的,但是在水滴和气泡的形成、液体雾化、气液两相流的传热传质的研究中,将是重要的和不可忽略的因素。

第三节 流体静压强及其分布规律

流体静止(平衡)是运动的一种特殊状态。流体静止时不显示其粘滞性,不存在切应力;同时流体也不能承受拉力,不存在由于粘滞性所产生的运动力学性质。因此,流体静力学的中心问题就是研究流体静压强以及静压强的分布规律。

一、流体静压强及其特性

如图 1-3 所示,在水库岸边的泄水洞前设置有平板闸门,拖动闸门时需要很大的拉力,其主要原因是水库中的液体向闸门作用了很大的压力,使闸门紧贴壁面。液体不仅对与之相接触的固体边界作用有压力,就是在液体内部,一部分液体对相邻的另一部分液体也作用有压力。在图 1-3 所示的平板闸门上,取微小面积 ΔA ,令作用于 ΔA 上的总压力(流体静压力)为 Δp ,则 ΔA 面上单位面积所受的平均压强为

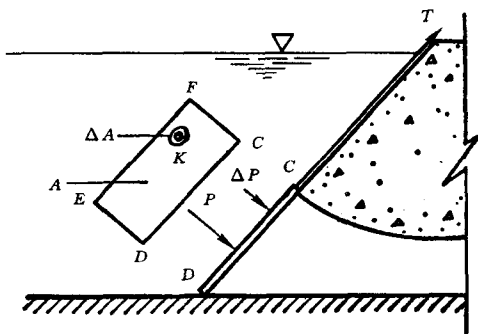


图 1-3 流体的静压强

$$\bar{p} = \frac{\Delta p}{\Delta A} \quad \text{N/m}^2 \quad (1-10)$$

当所取的面积无限缩小至趋于点 K 时,即 $\Delta A \rightarrow 0$, 则平均压强的极限值为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta p}{\Delta A} \quad \text{N/m}^2 \quad (1-11)$$

这个极限值 p 称为 K 点的静压强。

流体静压强的因次为:力/面积。在国际单位制中,单位常用帕(牛顿/米²),以 Pa 表示。1 Pa=1 N/m²,又把 10⁵ Pa 称为 1 bar(巴)。在工程单位制中常用单位有:kgf/m²,tf/m²,kgf/cm²。

流体静压强有两个特性:

(1) 流体静压强的方向与受压面垂直并指向受压面。因为静止流体不能承受拉应力和不存在切应力,所以,只能存在垂直于表面内法线方向的压应力——压强。

(2) 任意点的流体静压强的大小与受压面的方向无关,只与该点的位置有关。或者说作用于同一点上各方向的流体静压强大小相等。

二、流体静水压强的分布规律

在静止液体中任取一点 A,已知 A 点在自由表面下的深度为 h ,自由表面处压强为 p_0 ,如图 1-4 所示。设 A 点的静水压强为 p ,通过 A 点取底面积为 ΔA 、高为 h 、上表面与自由面相重合的铅直小圆柱体,研究其轴向力的平衡。此时作用于轴向的外力有:上表面压力 $P_0 = p_0 \Delta A$,方向铅直向下;下底面的静水压力 $P = p \Delta A$,方向铅直向上;柱体重力 $G = \gamma h \Delta A$ 。