

建筑设备工程

主 编 祝 健

副主编 宣玲娟

编 委(按姓氏笔画为序)

张爱凤 张 虎 章 瑾

刘向华 李雪飞 万 力

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑设备工程/祝健主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2007.12

ISBN 978-7-81093-689-7

I. 建… II. 祝… III. 房屋建筑设备 IV. TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 164346 号

建筑设备工程

主 编 祝 健

责任编辑 陆向军

出 版	合肥工业大学出版社	发 行	全国新华书店
地 址	合肥市屯溪路 193 号	版 次	2007 年 12 月第 1 版
邮 编	230009	印 次	2007 年 12 月第 1 次印刷
电 话	总编室:0551-2903038	开 本	787×1092 1/16
	发行部:0551-2903198	印 张	20.75
网 址	www.hfutpress.com.cn	字 数	514 千字
E-mail	press@hfutpress.com.cn	印 刷	合肥现代印务有限公司

ISBN 978-7-81093-689-7

定价:30.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。

前 言

建筑设备工程是土木、建筑类专业的一门工程技术基础课。本课程主要介绍建筑给水、排水、热水供应与燃气输配、供暖、通风、空气调节、建筑电气、智能建筑等工程的基本知识和技术。本书对建筑设备工程的基础知识、基本工作原理、设备选型、简单的设计计算以及如何配合土建设计、施工进行综合考虑等方面作了简要的叙述。目前我国高层建筑的蓬勃兴起,带动了各类建筑设备的不断发展,使得建筑设备系统发生了很大变化,因此本书在各篇章中对高层建筑设备作了适当介绍。

随着社会经济的发展和科学技术的进步,以及人们物质文化生活水平的不断提高,建筑设备工程专业相关的国家标准、规范、规程要求发生了很大的变革。建筑设备工程的新材料、新产品、新技术不断涌现,为此,合肥工业大学土木工程学院和安徽省建筑工业学院环境工程学院部分教师联合编写了本教材。考虑到本教材主要用于土木建筑类专业本科生学习,课时较少,我们采用了将内容相对集中的方法,着重讲解水、暖、电方面的基本知识。在编写中遵循“内容充实,取材新颖,注重实用,提高时效”的原则,努力做到不仅包括学科的基本内容,而且反映学科最新的技术成果。书中各章都附有思考题,可供读者复习巩固所学的主要知识。各使用学校可根据自己的教学计划,有所侧重,以满足教学要求。

本书不仅可以作为土木、建筑类专业的教材或教学参考书,也可作为从事与土木建筑类工作有关的设计、规划、装修、施工及管理人士的参考用书。

本书由合肥工业大学土建学院祝健担任主编,安徽省建筑工业学院环境工程学院宣玲娟担任副主编。本书的编写分工为:绪论、第1章、第4章、第8章、第12章由祝健编写,第3章、第9章由宣玲娟编写,第2章、第6章由张爱凤编写,第5章由章瑾编写,第7章由李雪飞编写,第10章由张虎编写,第11章由刘向华编写,第13章、第14章、第15章、第16章由万力、祝健编写。

本书在编写过程中,参考了书后所列的参考文献,从中吸取许多有关的内容;参考了有关专家、学者的著述,吸收了国内外建筑设备各方面的新技术、新成果,并且运用了当前最新颁布的国家规范。在此向各文献的编著者表示感谢。

由于编者水平有限,书中不当之处在所难免,恳请各位师生、工程技术人员,将发现的错误及改进意见告知编者,以便以后修改与修订时完善。

编 者

2007年12月

目 录

绪 论	1
-----------	---

第一篇 建筑设备基础知识

第 1 章 流体力学基本知识

1.1 流体的主要物理性质	4
1.2 流体静压强及其分布规律	8
1.3 流体运动的基本知识	10
1.4 流动阻力和水头损失	15
思考题	23

第 2 章 传热原理

2.1 传热的基本方式	24
2.2 传热过程及传热系数	29
思考题	30

第 3 章 管材、管件及阀门、仪表

3.1 管材、管件	31
3.2 阀门、仪表	41
思考题	48

第二篇 建筑给水排水工程

第 4 章 室外给水排水工程概述

4.1 室外给水工程概述	49
4.2 室外排水工程概述	54
4.3 室外给水排水工程规划概要	57
思考题	59

第 5 章 建筑给水系统

5.1 建筑给水系统和给水方式	60
5.2 给水系统所需水压、水量	64
5.3 增压、贮水设备	69

5.4	建筑给水管道的布置和敷设	81
5.5	建筑给水系统的水力计算	84
5.6	高层建筑室内给水系统	92
	思考题	94
第6章 建筑排水工程		
6.1	建筑排水系统的分类和污水排放条件	95
6.2	建筑排水系统的组成	96
6.3	建筑排水管道的布置和敷设	111
6.4	建筑排水系统的计算	115
6.5	建筑屋面雨水排放	124
6.6	高层建筑排水系统	131
6.7	污水局部处理构筑物简介	135
6.8	建筑给水排水工程设计举例	139
	思考题	142
第7章 热水及燃气供应		
7.1	建筑热水供应系统	143
7.2	热水管网布置及敷设	149
7.3	热水管网计算简述	150
7.4	饮用水供应	150
7.5	高层建筑热水供应系统的特点	153
7.6	燃气供应	154
	思考题	158
第8章 消防给水		
8.1	城市消防给水系统	159
8.2	建筑消防给水系统	162
8.3	自动喷水灭火系统	169
8.4	其他灭火系统	175
	思考题	176

第三篇 暖通空调

第9章 供暖		
9.1	供暖系统	177
9.2	供暖系统热负荷	178
9.3	对流供暖系统	181

9.4	辐射供暖系统	191
9.5	高层建筑供暖系统简介	196
9.6	供暖系统的末端设备与附件	199
9.7	热源	205
	思考题	211
第 10 章 通风		
10.1	建筑通风概述	212
10.2	自然通风	214
10.3	机械通风	222
10.4	通风系统的主要设备和构件	229
	思考题	235
第 11 章 建筑的防烟与排烟		
11.1	概述	236
11.2	自然排烟	238
11.3	机械排烟系统	240
11.4	机械防烟	242
	思考题	243
第 12 章 空气调节		
12.1	空调系统的组成和分类	244
12.2	空调负荷和空调房间	248
12.3	空气处理设备与空调机房	251
12.4	空调房间的气流组织	255
12.5	空调水系统	259
12.6	空调冷源及制冷机房	262
12.7	空调系统的消声减振	265
	思考题	268
第四篇 建筑电气		
第 13 章 建筑供配电系统		
13.1	用电负荷等级	269
13.2	负荷计算	271
13.3	配电系统	273
13.4	电气设备选择	276
	思考题	278

第 14 章 建筑电气安全	
14.1 安全电压.....	279
14.2 接地.....	279
14.3 雷电的形成及其危害.....	281
14.4 建筑防雷.....	282
思考题.....	284
第 15 章 电气照明	
15.1 照明的基本知识.....	285
15.2 电光源及灯具.....	288
15.3 照度计算.....	296
15.4 照明设计.....	300
思考题.....	302
第 16 章 建筑智能化	
16.1 智能建筑简介.....	303
16.2 火灾自动报警系统.....	305
16.3 有线电视系统.....	307
16.4 电话通讯系统.....	309
16.5 综合安防系统.....	310
16.6 公共广播系统.....	313
16.7 综合布线系统.....	314
16.8 楼宇自动化系统.....	316
16.9 智能建筑系统集成.....	318
思考题.....	320
参考文献.....	321

绪 论

1 建筑设备的概念

建筑设备是为建筑物的使用者提供舒适、安全、健康、高效工作和生活环境的各种设施及系统的总称。它包括给水、排水、热水供应、煤气、供暖、通风、空调、供电、照明、消防、电梯、通讯、音响、电视、建筑自动化等设施 and 系统。

2 建筑设备的地位和作用

任何建筑,如果只有遮风避雨的建筑物外壳,缺少相应的建筑设备,其使用价值将是很低的。对使用者来说,建筑物的规格、档次的高低,除了建筑面积大小的因素外,建筑设备功能的完善程度将是决定性因素之一。建筑物级别越高,功能越完善,建筑设备的种类就越多,系统就越复杂。从经济上看,一座现代化建筑物的初投资中,土建、设备与装修,大约各占三分之一。现代化程度愈高,建筑设备所占的投资比例愈大。从建筑物的使用成本看,建筑设备的设计及其性能的优劣、耗能的多少,是直接影响经济效益的重要因素。例如,一座星级宾馆,假如其空调效果很差或供电系统经常出现故障而停电,或通讯系统不完善,信息阻塞,其经济效益和使用效果是不会令人满意的。

各种建筑设备系统在建筑物中起着不同的作用,完成不同的功能。

给水系统通过管网把清洁、卫生的自来水输送到各个用户,提供了与人们生活息息相关的水,人们使用后又通过排水管网顺畅地把污水排入市政排水网,经处理后排入相应的水体,保护了环境;热水供应系统集中制备和供应热水或饮用水,使居住者的生活质量得以显著提高。

燃气供应系统为建筑物输送方便、清洁的气体燃料,免除烟熏火燎的烦恼,净化了室内环境,被称之为“厨房里的革命”。

暖通空调系统在严寒的冬季,营造室内温暖如春的环境,免除人们受严寒的困扰;在炎热的夏季,为人们创造一个清凉冷静、舒适宜人的室内空气环境,而不必去面对那令人难以承受的酷热。通风、空调系统还能在许多工业生产、科学研究部门提供必须的环境条件,成为生产过程不可缺少的组成部分。

照明系统除了给人们带来光明外,还能创造出五彩缤纷、千姿百态的视觉效果,给人以美的享受;电梯替人在高层建筑内行走;消防系统能保障人们的生命、财产安全;通讯系统则通过信息网络,把人们更为紧密地联系在一起,使得时空进一步缩小,工作更有效率;建筑设备自动化系统将整个建筑物内建筑设备系统有机地联系在一起,智能地完成各种指令,自动调节各种设备,使其始终运行于最佳状态,提供一个安全、舒适、高效而节能的工作生活环境。

随着科学技术的进步和生产方式的改变,过去许多必须在室外才能进行的工作,现在将会逐步进入室内,许多人工劳动将被自动装置所替代。可以预见,随着科学技术的发展和人民生活水平的提高,建筑设备的功能将会不断地更新、充实和拓展,以便更好地为人类服务。

3 建筑设备工程与土木建筑工程的关系

设置在建筑物内的建筑设备系统,只有与建筑、结构、装修及生产工艺设备等相互协调才能有效发挥其功能。为了提高建筑的整体使用价值,充分突出建筑特点,必须高度重视建筑设

备工程,综合考虑、协调处理建筑设备与建筑结构、建筑布置、建筑装饰诸系统之间的关系,力争使建筑的综合功能达到较高水平。如何合理地综合进行建筑设备的系统设计,保证建筑物的使用功能、质量,不仅与建筑设计、结构设计、施工方法等有着密切的关系,而且对生产、经济、人民生活都具有重要的意义。在进行建筑设计、施工时,需要建筑设备专业与土木建筑工程专业之间密切配合才能使建筑物达到适用、经济、卫生及舒适的要求,发挥建筑物应有的功能,提高建筑物的使用质量,避免环境污染,高效地发挥建筑物为生产和生活服务的作用。

建筑设备工程的一些主要设备:如空调制冷机房、消防泵房等在建筑物内的设置,土建专业不仅需要考虑运行荷载,还需要在楼板、墙体等结构处预留设备的吊装孔洞、套管的预留预埋。建筑设备通常布置在专用的机房内,室内管道通常采用管道井和用吊顶敷设,因此,在确定机房面积、管井尺寸和吊顶高度时,要求土建设计者应对设备的外形尺寸、安装高度、坡度尺寸、风管、水管的连接方式和断面尺寸等有较为准确地把握,使机房、管井平面位置合理、符合系统工艺流程;所留的空间,能满足设备、管道的安装要求。在房间的另一吊顶上,往往同时布置空调风口、照明灯具、消防喷淋头、烟感器、音响等多种设备,需要各专业人员相互协调才能避免冲突,以满足各专业的工艺要求。因此,对于土木建筑类专业学生来说,学习和掌握建筑设备的基本知识是至关重要的。

4 建筑设备的发展趋势

近几年来,我国建筑设备的发展比较迅速,国外先进的建筑设备也在不断地进入国内市场。随着新材料的大量应用、新设备的不断涌现,我国的建筑设备将向着体积小、重量轻、能耗少、效率高、噪声低、造型新和功能多的方向发展。

材料科学的发展促进了建筑设备技术的快速发展和新产品的不断涌现。例如,各种聚合材料由于具有表面光洁、重量轻、耐腐蚀、电气性能好等优点,在建筑设备工程中的各种管材、配件、给水器材、卫生器具、配电器材和设备外表结构等方面有广泛代替各种金属材料的趋势;又如钢和铝的新规格轧材的应用,使许多设备的使用寿命大大延长;彩色钢板的应用大大改善了设备的外观形象;玻璃钢的出现解决了设备在特殊环境易腐蚀的问题。在这方面,不仅保证了设备的使用质量,而且大大节约了金属材料 and 施工费用。

节能技术和环保技术的不断开发和应用,促使新型设备的不断出现,建筑设备正朝着高效、节能、环保和小型化方向发展。变速电动机和变频控制技术的发展产生了变频水泵和变频风机;强化传热技术研究使空调产品的能效比(COP)更高,设备体积进一步减小,重量进一步降低。利用真空排除污水的特制便器,节约了大量冲洗用水;在高层建筑中广泛采用的水锤消除器,有效地减少了管道的噪声;小型的加热器、加湿器、空气净化设备使人们更容易自行调节室内环境。

新能源利用技术和电子技术的应用,使建筑设备工程技术不断更新。采用被动式太阳能、水源热泵、土壤源热泵等低焓值热能利用技术,为暖通空调提供了新的节约型冷源和热源。热回收设备和节能装置的应用,提高了建筑设备系统的能源利用率,增加了建筑设备系统的经济性。各种系统由于集中控制、自动化程度高而提高了效率、节约了能源、降低了费用、创造了更好的卫生环境。使用数字化自动控制装置调节建筑物通风、空调系统,使建筑物通风量和负荷随室外气象参数变化自动调节,保证了室内良好的卫生和舒适性要求;使用自动温度调节器,可以保证室内采暖及空调的温度并节约了能源;利用电子控制设备或敏感器件,可以控制卫生设备的冲洗,达到节约用水的效果。节能性电气照明光源的发展和广泛应用,使灯的亮度、光

色及使用寿命不断改善和提高。

建筑设备施工技术的发展,大量工厂化预制设备系统的应用,加快了施工速度,保证了施工质量,获得了良好的经济效益。预制风管的应用,加快了通风、空调风管的制作和安装,保证了施工质量,减少了金属材料的使用;预制的盒子卫生间和盆子厨房,将浴室、厕所以及厨房等建筑构件、设备附件和管道在工厂中预制好,运到施工现场一次装配完工,减轻了工人的劳动强度,缩短了施工周期。

总之,建筑设备工程是一个复合型学科,随着现代科学技术的发展,必将不断改变形式和内容。作为土木建筑类科技人员,应不断了解与本专业相关的科技最新成果、更新知识结构、提高综合技术水平,以适应建筑技术复合发展的要求。

5 本课程的学习目的

《建筑设备工程》是一门专业技术课。学习本课程的目的在于掌握建筑设备工程技术的基本知识,具有综合考虑和合理处理各种建筑设备与建筑主体之间关系的能力,从而做出适用、经济的建筑和结构设计,并掌握一般建筑的水、暖、电设计的原则和方法。此外,在领会建筑设备工程基本原理的基础上加强设计和施工的实践,才能完整地掌握建筑设备工程技术。

第一篇 建筑设备基础知识

第 1 章 流体力学基本知识

通常所见的物质有固体、液体和气体,流体是液体和气体的统称。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及其在工程中的应用。

1.1 流体的主要物理性质

在日常生活中遇到许多流体的运动,如水在江河中流动、煤气在管道中输送、空气从喷口中喷出等,都表现流体具有易流动性。流体不能承受拉力,静止流体不能抵抗切力。但是,流体能承受较大的压力。其主要物理性质如下:

1.1.1 质量密度和重力密度

流体也具有质量和重量,工程上分别用质量密度 ρ 和重力密度 γ 表示。对于均质流体,单位体积的质量称为流体的密度 ρ ;而单位体积的重量,则称为流体的重力密度 γ 。计算关系如下:

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

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

根据牛顿第二定律: $G = Mg$,则有

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

式中: M ——流体的质量(kg);

V ——流体的体积(m^3);

G ——流体的重量(N);

g ——重力加速度, $g = 9.807(\text{m/s}^2)$ 。

流体的质量密度和重力密度随着外界压力和温度而变化。例如水在标准大气压和 4°C 时其 $\rho = 1000\text{kg/m}^3$, $\gamma = 9.81\text{kN/m}^3$;水银在标准大气压和 0°C 时,质量密度和重力密度是水的13.6倍;干空气在温度为 20°C 、压强为 $1.013 \times 10^5\text{Pa}$ 时, $\rho = 1.2\text{kg/m}^3$, $\gamma = 11.80\text{N/m}^3$ 。

1.1.2 流体的压缩性和热膨胀性

流体压强增大、体积缩小的性质,称为流体的压缩性;流体温度升高体积膨胀的性质,称为流体的热膨胀性。在这两种性质上,液体和气体的差别很大。

液体的压缩性和热膨胀性

(1) 液体的压缩性

在某一温度下,液体单位压力升高所引起的体积的相对减少值,称为该温度和压力下液体的体积压缩率 $k(\text{Pa}^{-1})$

$$k = -\frac{1}{v} \times \left(\frac{dv}{dp} \right)_T \quad (1-4)$$

式中: dp ——压力的增值;

v ——液体原来的体积;

dv ——液体体积的变化。

k 值越大,液体的压缩性越大。工程中常用液体的体积模量 $K(\text{Pa})$ 来表示液体的压缩性。

$$K = \frac{1}{k} \quad (1-4a)$$

(2) 液体的热膨胀性

在某一压力下,液体的温度升高 1°C 所引起的体积相对变化值称为该温度和压力下液体的体积膨胀系数 $\alpha_v(\text{K}^{-1})$

$$\alpha_v = \frac{1}{v} \times \left(\frac{dv}{dT} \right)_T \quad (1-5)$$

式中: dT ——温度的增值;

v ——液体升温前的体积;

dv ——温升引起的液体体积变化。

通常液体的体积压缩性和体积膨胀系数都很小,因此在很多工程技术领域中忽略密度变化所带来的误差。例如在建筑设备工程技术中,除管中水击和热水循环系统等外,一般不考虑液体的压缩性和热膨胀性,这种理想的液体称为不可压缩性液体。

2. 气体的压缩性和热膨胀性

气体具有显著的压缩性和热膨胀性。从物理学中已知:

(1) 理想气体状态方程 适用于气体在温度不过低、压强不过高时。

$$p/\rho = RT \quad (1-6)$$

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 ($\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$)。

R 的物理意义是, 1kg 质量的气体在定压下,加热升高 1°C 时所做的膨胀功。对于空气 $R = 287$; 对于其他气体 $R = \frac{8314}{N}$, N 为该气体的分子量。

(2) 等温过程 即气体状态变化过程中,温度保持不变的情况。式(1-6)可写为:

$$p/\rho = p_0/\rho_0 = C \quad (\text{常数}) \quad (1-7)$$

上式表明,密度与压强成正比关系变化,即波义耳定律。

对于气体状态变化缓慢,或气流速度较低时,气体与外界能进行充分的热交换,视为与外界温度相等,即可按等温过程处理。例如缓慢充气或排气时储气缸中气体就是缓慢压缩或缓慢膨胀过程,均可视为等温过程。

(3) 等压过程 即气体状态变化过程中,压强保持不变的情况。式(1-6)可写为:

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0}{T_0 + t} \quad (1-8)$$

或

$$\gamma^2 = \frac{\gamma_0}{1 + \beta t} \quad (1-8a)$$

式中: $\beta = 1/273(\text{K}^{-1})$,是气体的体积膨胀系数。

上式表明,在等压过程中,密度与温度成反比关系变化,即盖·吕萨克定律。

(4) 绝热过程 即气体状态变化过程中,与外界没有热交换的情况。绝热过程为:

$$p/\rho^k = p_0/\rho_0^k = C \quad (\text{常数}) \quad (1-9)$$

或

$$\rho = \rho_0 (p/p_0)^{1/k}, \gamma = \gamma_0 (p/p_0)^{1/k} \quad (1-9a)$$

式中: k ——绝热指数,是定压比热 C_p 与定容比热 C_v 的比值。对于空气 $k = 1.4$ 。

例如有的气动设备进、排气过程进行的很快,气体来不及与外界进行热交换,这类问题可按绝热过程对待。

(5) 多变过程 多变过程方程:

$$p/\rho^n = C \quad (\text{常数}) \quad (1-10)$$

式中: n 称为多变指数。当 $1 < n < k$ 时,气体为不完全冷却下的压缩,或不完全加热下的膨胀;当 $n > k$ 时,相当于气体被加热压缩或冷却膨胀。如水冷式压气机所压缩的气体属于 $n < k$ 的多变过程;气体小型鼓风机,则属于 $n > k$ 的多变过程。

在流体运动的分类中,把速度较低(远小于音速)的气体,若压强和温度在流动过程中变化较小,密度可视为常数,称为不可压缩气体对待。反之,把流速较高(接近或超过音速)的气体, ρ 不能视为常数,称为可压缩气体。

综合上述流体的各项主要物理性能,当流体速度较低,流动过程中密度变化不大(可视为常数),这种液体和气体可认为是不可压缩的流体。

在研究流体运动规律中,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。研究单元的质点,也认为是由无数分子组成,具有一定体积和质量。这样,不仅从客观上摆脱了分子运动的研究,而且能运用数学的连续函数工具,分析流体运动规律。

1.1.3 流体的粘滞性

流体不能承受剪力,但不同的流体在相同的剪切力作用下其变形的速度是不同的,也就是不同的流体抵抗剪切力的能力不同,这种能力称为流体的粘性。

用流速仪测出实验管道中某一断面的流速分布,分析发现流体沿管道直径方向流速不同,并按某种曲线规律连续变化,管轴心的流速最大,向着管壁的方向递减,直到管壁处的流速为零,如图 1-1 所示。

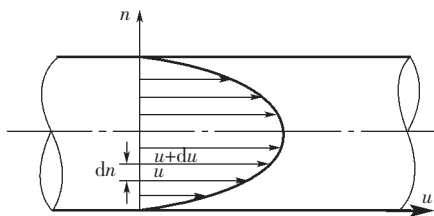


图 1-1 管道中断面流速分布

取流速方向的坐标为 u , 垂流速方向的坐标为 n , 若令水流中某一流速的速度为 u , 则与其相邻的流层为 $u + du$, du 为相邻两流层的速度增值。令流层厚度为 dn , 沿垂流速方向单位长度的流速增值 du/dn , 叫做流速梯度。由于流体各流层的流速不同, 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。流体在粘滞力作用下, 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。

在总结实验的基础上, 牛顿首先提出了流体内摩擦力的假说——牛顿内摩擦定律, 即流层间的切应力表达式:

$$\tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{du}{dn} \quad (\text{N/m 或 Pa}) \quad (1-11)$$

式中: F ——内摩擦力(N);

S ——摩擦流层的接触面面积(m^2);

μ ——与流体种类有关的系数, 称为动力粘度($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 或 $\text{Pa} \cdot \text{s}$);

du/dn ——流速梯度, 表示流速沿垂直于流速方向的变化率($1/\text{s}$)。

流体粘滞性的大小, 可用粘度表达。除用动力粘度 μ 外, 工程中常用动力粘度 μ 和流体密度 ρ 的比值来表示粘度, 称为运动粘度 $\nu = \mu/\rho$, 单位为 m^2/s , 简称斯。粘度是流体的重要属性, 它是流体温度和压力的函数。在工程的常用温度和压力范围内, 粘度主要依温度而定, 压力的影响不大。水及空气的 μ 值及 ν 值如表 1-1 及表 1-2 所示。

表 1-1 水的粘滞性系数

t ($^{\circ}\text{C}$)	μ ($10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$)	ν ($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)	t ($^{\circ}\text{C}$)	μ ($10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$)	ν ($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)
0	1.792	1.792	40	0.656	0.661
5	1.519	1.519	45	0.599	0.605
10	1.308	1.308	50	0.549	0.556
15	1.140	1.140	60	0.469	0.477
20	1.005	1.007	70	0.406	0.415
25	0.894	0.897	80	0.357	0.367
30	0.801	0.804	90	0.317	0.328
35	0.723	0.727	100	0.284	0.296

表 1-2 一个大气压下空气的粘滞性系数

t (°C)	μ (10^{-3} Pa/s)	ν (10^{-6} m ² /s)	t (°C)	μ (10^{-3} Pa/s)	ν (10^{-6} m ² /s)
0	0.0172	13.7	90	0.0216	22.9
10	0.0178	14.7	100	0.0218	23.6
20	0.0183	15.7	120	0.0228	26.2
30	0.0187	16.6	140	0.0236	28.5
40	0.0192	17.6	160	0.0242	30.6
50	0.0196	18.6	180	0.0251	33.2
60	0.0201	19.6	200	0.0259	35.8
70	0.0204	20.5	250	0.0280	42.8
80	0.0210	21.7	300	0.0298	49.9

流体的粘滞性对流体的运动有很大影响,因为内摩擦阻力做负功,不断耗损运动流体的能量,因此它是实际工程水力计算中必须考虑的一个重要问题。

1.2 流体静压强及其分布规律

流体静止是运动中的一种特殊状态。本节讨论流体静止(平衡)状态下的力学规律及其应用。由于流体静止时不显示其粘滞性,不存在切向应力,同时认为流体也不能承受拉力,不存在由于粘滞性所产生运动的力学性质。因此,流体静力学的中心问题是研究流体静压强的分布规律。

1.2.1 流体静压强及其特性

设想在一容器的静止水中,隔离出部分水体 I 来研究,如图 1-2 所示。这种情况必须把周围水体对部分水体 I 的作用加上,以保持其静止状态不变。设作用于隔离体表面某一微小面积 $\Delta\omega$ 上的总压力是 Δp ,则 $\Delta\omega$ 面上的平均压强为:

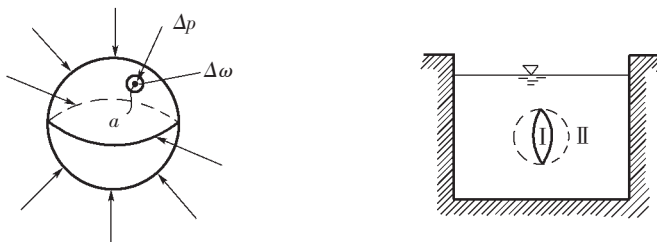


图 1-2 流体的静压强

$$p_{cp} = \frac{\Delta p}{\Delta \omega} \quad \text{N/m}^2 \quad (1-12)$$

当所取的面积无限缩小为一点 α ,即 $\Delta\omega \rightarrow 0$,则平均压强的极限值为:

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta p}{\Delta\omega} \quad \text{N/m}^2 \quad (1-13)$$

这个极限值 p 称为 α 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 Pa 表示, $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$, 把 10^5Pa 称为 1 巴(bar)。

流体静压强的两个特征:

1. 流体静压强的方向必定沿着作用面的内法线方向。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只有一个值, 它不因作用面的方位改变而改变。

1.2.2 流体静压强的分布规律

在静止液体中任取一点 A , 已知 A 点在自由表面下的水深 h , 自由表面压强为 p_0 , 如图 1-3 所示。设 A 点的静水压强为 p , 通过 A 点取底面积为 $\Delta\omega$ 、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 $P_0 = p_0\Delta\omega$, 方向铅直向下; 下底面的静水压力 $P = p\Delta\omega$, 方向铅直向上; 柱体重力 $G = \gamma h\Delta\omega$, 方向铅直向下; 柱体侧面积的静水压力, 方向与轴向垂直, 在轴向投影为零。此铅直小圆柱体处于静止状态, 故其轴向力平衡为:

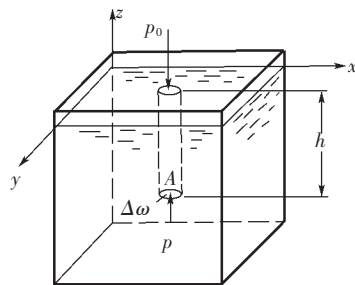


图 1-3 静止流体中的压强分布

$$p\Delta\omega - \gamma h\Delta\omega - p_0\Delta\omega = 0$$

化简后得:

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-14)$$

式中: p ——静止液体中任意点的压强, kN/m^2 或 kPa ;

p_0 ——表面压强, kN/m^2 或 kPa ;

γ ——液体的容重, kN/m^3 ;

h ——所研究点在自由表面下的深度, m 。

式(1-14)是静水压强基本方程式, 又称为静水力学基本方程式。式中 γ 和 p_0 都是常数。方程表示静水压强与水深成正比的直线分布规律。方程式还表明, 作用于液面上的表面压强 p_0 是等值地传递到静止液体中每一点上。方程也适用于静止气体压强的计算, 只是式中的气体容重 γ 很小, 因此, 在高差 h 不大的情况下, 可忽略 γh 项, 则 $p = p_0$ 。例如研究气体作用在锅炉壁上的静压强时, 可以认为气体空间各点的静压强相等。

应用静水压强基本方程式分析问题时, 要抓住等压面这个概念, 即流体中压强相等的各点所组成的面为等压面。如液体与气体的交界面(自由表面); 处于平衡状态下的两种不同液体的分界面; 静止、同种类、连续液体的水平面等都是等压面。

工程计算中, 压强有不同的量度基准:

1. 绝对压强: 是以完全真空为零点计算的压强, 用 p_A 表示。
2. 相对压强: 是以大气压强为零点计算的压强, 用 p_a 表示。

由上所述,相对压强与绝对压强的关系为:

$$p = p_A - p_a \quad (1-15)$$

某一点的绝对压强与大气压强比较,可以大于大气压强,也可以小于大气压强,因此相对压强可以是正值也可以是负值。相对压强的正值称为正压;负值称负压,这时流体处于真空状态,通常用真空度来度量流体的真空程度。所谓真空度,是指某点的绝对压强不足于一个大气压强的部分,用 p_K 表示,即

$$p_K = p_a - p_A = -p \quad (1-16)$$

某点的真空度愈大,说明它的绝对压强愈小。真空度的最大值为 $p_K = p_a = 98\text{kN/m}^2$,即绝对压强为零,处于完全真空状态;真空度的最小值为零时, $p_K = 0$,即在一个大气压强下,真空度在 $p_K = 0 \sim 98\text{kN/m}^2$ 的范围内变动。

真空度实际上等于负的相对压强的绝对值。例如某点的绝对压强是 40kN/m^2 ,如用相对压强计,为 $p = 40 - 98 = -58\text{kN/m}^2$;采用真空度表示则为 $p_K = 98 - 40 = 58\text{kN/m}^2$,从关系式(1-15)、(1-16)亦可以看出,真空度有时叫做“负压”,就是这个缘故。

在建筑设备工程的水、气输送工程中,如水泵吸水管、虹吸管和风机吸风口等,经常遇到真空度的计算和量测。

在工程计算中,通常采用相对压强,如图 1-4 所示,水池任一受压面 AB ,内外都有大气压作用而相互抵消。实际作用于 AB 壁面上的静压强,如 ABC 所示,其图形称为相对压强分布图。压强单位如前所述,可用单位面积上的压力和工程大气压表示外,还可用液柱高度表示,如米水柱、毫米水柱、毫米汞柱。如:

$$h = p_a / \gamma = 98\text{kN/m}^2 / 9.8\text{kN/m}^3 = 10\text{mH}_2\text{O} = 10000\text{mmH}_2\text{O}$$

$$h_{\text{Hg}} = p_a / \gamma_{\text{Hg}} = 98\text{kN/m}^2 / 133.38\text{kN/m}^3 = 73.56\text{cmHg} = 735.6\text{mmHg}$$

上述三种压强单位的关系是:

$$1 \text{ 个工程大气压} \approx 10\text{mH}_2\text{O} \approx 735.6\text{mmHg} \approx 98\text{kN/m}^2 \approx 98000\text{Pa}$$

除了流体静压强的计算外,工程上常遇到流体静压强的量测问题,如锅炉,制冷压缩机,水泵和风机等设备中均需测定压强。常用测压仪器有液柱测压计、金属压力表和真空表等。

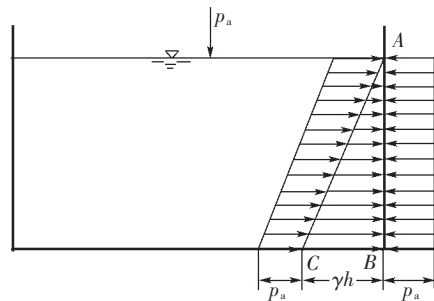


图 1-4 水池壁相对压强分布图

1.3 流体运动的基本知识

1.3.1 流体运动的基本概念

1. 压力流与无压流

(1) 压力流:流体在压差作用下流动时,流体整个周围都和固体壁相接触,没有自由表面,如供热工程中管道输送汽、水,风道中气体,给水中液体输送等都是压力流。