

中等专业学校教材

JIANZHU SHEBE
GONGCHENG

建筑设备工程

中国铁道出版社

齐齐哈尔铁路工程学校

李承国

主编

中等专业学校教材

建 筑 设 备 工 程

齐齐哈尔铁路工程学校 李承国 主编
衡阳铁路工程学校 杨石军 主审

中

版 社

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是工业与民用建筑专业的教材。全书分建筑给水排水工程、供热工程和通风与空气调节工程三部分内容。为了便于学习,章末附有复习思考题与习题,书末还列有附录。

本书除作为中等专业学校工业与民用建筑专业的教材外,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑设备工程/李承国主编. —北京:中国铁道出版社,2001.4

中等专业学校教材

ISBN 7-113-04060-8

I. 建… II. 李… III. 房屋建筑设备—专业学校—教材 IV. TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 03122 号

书 名:建筑设备工程

作 者:李承国

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:程东海

封面设计:姜 明

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787×1092 1/16 印张:25.75 字数:645 千

版 本:2001 年 5 月第 1 版 2001 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~4 000 册

书 号:ISBN 7-113-04060-8/TU·655

定 价: 34.70 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前 言

随着经济建设的蓬勃发展,建筑业呈现出欣欣向荣的大好形势。为了满足工农业生产和提高人们生活水平的需要,创造舒适美好的生活与工作环境,建筑设备已成为建筑工程中的重要组成部分。一栋完善的建筑物是建筑、结构、电气和建筑设备紧密结合的整体,因此现代化的建筑物必须设置相应水平的建筑设备与之相配套,这样才能充分发挥建筑物应有的功能作用。工业与民用建筑工程及其他与建筑工程专业有关的学生和工程技术人员,都应具有建筑设备工程的基本知识,以便更出色地完成自己的工作任务。本书主要介绍流体力学基本知识、给水、排水、供暖、通风及空气调节工程的基础知识、基本原理、管道规划设计原则以及相应的计算方法、材料设备,并概要论述了建筑设备工程与建筑工程设计、施工紧密配合等方面的问题。同时对近年来的新技术理论、新工艺和新材料也作了阐述,反映了本学科的现代科学技术水平。

本书力求深入浅出、通俗易懂、理论密切结合实践,并在重点章节中列入了一些例题和课后计算题。每章末列有复习思考题,以利进一步理解和巩固所学的理论知识。

全书由齐齐哈尔铁路工程学校李承国主编,天津铁路工程学校胡建平,齐齐哈尔铁路工程学校申凤华、孙中南分别参加了每一篇的编写,全书由衡阳铁路工程学校杨石军主审。

建筑设备工程所涉及的内容较为广泛,由于篇幅所限,只能力求更多地反映一般工业与民用建筑的设备工程。由于作者水平有限,不妥之处在所难免,希望广大读者指正。

编 者

2001年3月

目 录

第一篇 建筑给水排水工程

第一章 流体力学的基本知识	3
第一节 流体的主要物理性质	3
第二节 流体静压强基本方程式	8
第三节 流体动力学基本概念	11
第四节 沿程损失和局部损失	16
第二章 室外给水系统	23
第一节 给水系统的组成及其类别	23
第二节 地下水取水构筑物——管井	27
第三节 水泵房、水塔和储水池	31
第四节 室外给水管道的的水力计算	35
第三章 室内给水系统	41
第一节 室内给水系统的分类和组成	41
第二节 室内给水方式及管路布置	43
第三节 给水管材、附件及设备	47
第四节 气压给水装置	51
第五节 室内给水设计流量的确定	55
第六节 室内给水管道的的水力计算	58
第四章 室内消防给水系统	63
第一节 室内消火栓灭火系统	63
第二节 室内消火栓系统的设计与计算	66
第三节 自动喷水灭火系统	70
第五章 室内排水系统	76
第一节 室内排水系统的分类及组成	76
第二节 室内排水管道的布置	78
第三节 高层建筑室内排水系统	82
第四节 室内排水管材、附件与卫生器具的设置标准	84
第五节 冲洗设备	88
第六节 卫生器具与安装	90
第六章 室内排水系统的水力计算	96
第一节 设计流量的确定	96
第二节 排水系统的水力计算	97

第二篇 供热工程

第七章 集中供热与采暖	106
第一节 集中供热与采暖的基本概念	106
第二节 采暖系统的工作原理及形式	109
第三节 热水采暖系统的管路布置与施工图	113
第八章 采暖系统的热负荷	121
第一节 房屋围护结构的耗热量	121
第二节 冷风渗透耗热量	126
第三节 围护结构的热阻	129
第四节 计算例题	132
第九章 采暖散热器及附属设备	138
第一节 散热器	138
第二节 散热器布置及散热面积的计算	141
第三节 采暖系统的附属设备	145
第十章 热水采暖系统的水力计算	150
第一节 水力计算的基本原理	150
第二节 采暖系统水力计算方法	152
第三节 自然循环热水采暖系统的水力计算	155
第四节 水力计算例题	156
第五节 机械循环热水采暖系统的水力计算	163
第十一章 蒸汽采暖系统的水力计算	170
第一节 蒸汽采暖系统的水力计算	170
第二节 蒸汽凝结水管路的管径选择	174
第十二章 集中供热系统	176
第一节 热水供热系统	176
第二节 蒸汽供热系统	179
第十三章 供热管道的布置与敷设	183
第一节 供热管道的布置	183
第二节 供热管道的敷设	186
第三节 室外供热管道的平面图与纵断面图	191
第十四章 供热系统的运行与维护管理	195
第一节 供热系统的水压图及应用	195
第二节 供热系统的试运行与初调节	198
第三节 供热系统的运行调节	201
第四节 供热系统的维护与管理	205

第三篇 通风与空气调节工程

第十五章 湿空气的物理性质及焓湿图的应用	214
第一节 湿空气的物理性质	214

第二节	湿空气焓湿图的应用	218
第十六章	蒸汽压缩式制冷的热学原理	225
第一节	蒸汽压缩式制冷的基本原理	225
第二节	制冷循环的热力计算	227
第十七章	空调制冷工程	234
第一节	制冷剂与冷媒	234
第二节	蒸汽压缩式制冷系统的组成和图式	237
第三节	制冷压缩机	239
第四节	冷凝器与蒸发器	243
第十八章	通风工程	249
第一节	空气中有害物质的来源及危害	249
第二节	通风方式的分类	251
第三节	通风排气中的粉尘净化	254
第四节	有害气体的净化	258
第五节	通风管道的设计计算	262
第六节	计算例题	266
第七节	自然通风与局部送排风	269
第十九章	空气调节工程	277
第一节	室内冷(热)湿负荷	277
第二节	空调房间冷(热)、湿负荷计算	281
第三节	冷(热)、湿负荷计算例题	286
第四节	房间送风状态和送风量的确定	289
第五节	空气处理过程	292
第六节	空气调节过程	295
第七节	空气调节系统的分类	299
第八节	集中式空气调节系统	301
第二十章	通风与空调设备	308
第一节	通风与空气调节系统的组成及部件	308
第二节	空气净化设备	312
第三节	空气调节设备	317
第四节	空气调节机(器)	321
第二十一章	通风与空调设备的运行维护	326
第一节	空调系统的运行调节	326
第二节	空调系统的运行管理	329
附录 1—1	给水铸铁管水力计算表	334
附录 1—2	钢管水力计算表	336
附录 1—3	低压流体输送钢管规格	340
附录 1—4	给水承插铸铁管规格及质量	340
附录 1—5	室内排水管道水力计算表	341
附录 2—1	图例	343

附录 2—2	居住及公共建筑物采暖室内计算温度	344
附录 2—3	室外气象参数	346
附录 2—4	铸铁散热器性能表	348
附录 2—5	铸铁散热器的传热系数	348
附录 2—6	钢制散热器热工性能	348
附录 2—7	热水采暖系统管道水力计算表	349
附录 2—8	热水及蒸汽采暖局部阻力系数 ξ	354
附录 2—9	热水供暖系统局部阻力系数 $\xi=1$ 的局部损失(动压头)值	355
附录 2—10	一些管径的 λ/d 值和 A 值表	355
附录 2—11	热水网路局部阻力当量长度表	355
附录 2—12	在自然循环上供下回双管热水供暖系统中,由于水在管路内冷却 而产生的附加压力	356
附录 2—13	低压蒸汽采暖系统管路水力计算表	357
附录 2—14	低压蒸汽采暖管路水力计算动压头	358
附录 2—15	室内高压蒸汽采暖系统管径计算表	358
附录 2—16	采暖管路局部阻力当量长度表	360
附录 2—17	低压蒸汽采暖系统干式和湿式自流凝结水管管径计算表	360
附录 3—1	风管水力计算表	361
附录 3—2	局部阻力系数	368
附录 3—3	通风管道统一规格	376
附录 3—4	湿空气的密度、水蒸汽压力、含湿量和焓	378
附录 3—5	室外气象参数	380
附录 3—6	北纬 40° 太阳总辐射照度	383
附录 3—7	北纬 40° 透过标准窗玻璃的太阳辐射照度	384
附录 3—8	夏季空气调节大气透明度分布图	387
附录 3—9	外墙、屋顶、内墙、楼板夏季热工指标及结构类型	388
附录 3—10	外墙冷负荷计算温度 t_1 (°C)	392
附录 3—11	V-VI 型结构地点修正值 t_d (°C)	396
附录 3—12	单层玻璃窗的 K 值	397
附录 3—13	双层玻璃窗的 K 值	398
附录 3—14	玻璃窗的地点修正值 t_d (°C)	398
附录 3—15	窗玻璃冷负荷系数	399
附录 3—16	照明散热冷负荷系数 C_{cl}	400
附录 3—17	成年男子散热散湿量	401
附录 3—18	人体显热散热冷负荷系数 C_d	401
附录 3—19	有罩设备和用具显热散热冷负荷系数 C_{cl}	402
附录 3—20	无罩设备和用具显热散热冷负荷系数 C_{cl}	402
参考文献		403

第一篇 建筑给水排水工程

一、给水排水工程的任务

水在人们日常生活和生产活动中不可缺少。在城市现代化建筑中,必须供应安全可靠、经济合理的充足用水,以满足生活、生产和保安防火的需要。生活、生产和消防用水,对水量、水质和水压都有一定的要求。供水量根据生活条件、卫生水平、生产工艺的特点以及灭火的要求而不同,供水水质应符合国家供水水质标准,供水水压则需要按照供水的距离、建筑物高度、用水设备的性能和消防水压要求而定。因此,做好卫生、安全、经济的供水工作,对城市建设和国民经济的发展将起到重要的作用。

水通过人们的生活使用(如饮用、洗浴、冲洗污物等)和生产使用之后,水质受到不同程度的污染,而成为污水或废水。污水含有大量的有机物质、病菌、病毒、虫卵及其他有毒害物质,如酚、氰、砷、汞、铬、镉、铅、铜等,这些物质容易腐败发臭,产生毒害,污染环境,污染水源,有害卫生,影响健康,而且妨碍生产,危害性极大,对此必须有组织、有系统地收集,进行适当的处理,回收利用,化害为利,变废为宝。

在一些工业发达国家,大中城市给水排水工程的普及率是很高的,给水的普及率达100%;而排水的普及率也达80%以上。一般给水排水的普及率高低,可视为一国人民生活水平高低的标志。我国大城市给水普及率达100%,但排水普及率还是很低的,据估计,全国每日污水处理量不及排水量的6%,而且多为初级处理。排水工程的建设速度,赶不上城市建设发展的需要。因此要统筹安排,合理利用建设资金,把给水排水工程搞上去。

二、给水排水工程的基本内容

给水排水工程可分为城市(室外)给水工程,建筑(室内)给水排水工程和城市(室外)排水工程三大部分。

1. 室外给水工程

由水源中的取水构筑物通过一级泵站抽送到净水厂,经净水构筑物净化,使水质达到使用要求,然后储存于厂内清水池中,再由二级泵站经输水管、配水管网送至用户。

2. 建筑给水排水工程

建筑给水排水工程是建筑物内部的给水排水系统。由引入管把水从配水管网引入建筑物内的给水管网中,供生活、生产或消防用水。水在卫生器具或生产设备使用后变成污水,通过排水管网排到城市(室外)排水管网。建筑给水排水工程是直接服务于用水者,除在水量、水压及水质等方面需满足使用外,还必须使排水通畅,保证卫生,使用安全可靠,经济合理。

建筑给水排水工程的管道、设备等均设在建筑物内,与建筑结构部分关系密切,在设计中应紧密配合,做出经济合理的设计。

3. 室外排水工程

污水由建筑物内排到城市(室外)排水支管汇集到干管,最后排到污水处理厂,进行污水处

理,除去污水中有害物质,回收水中有用物质,使处理后的水质达到排放标准,最后排入河道或引入农田进行灌溉。

本书因篇幅的限制没有详细介绍室外排水这部分内容,而考虑给水排水设计原理和后续的供热、通风与空调都需要流体力学的基本知识,在本篇增加了这部分内容。

三、给水排水工程与工业及民用建筑工程专业的关系

一栋现代化建筑物是建筑、结构、给水排水、供热、供电、通风与空调等几个部分共同协作的产物,哪一部分不完善,都会影响整个建筑物的使用功能。因此,对每个部分都应相互了解,尤其是担负建筑工程工作量较多的建筑和结构部分,更要具有较多知识,知此知彼,才能统筹全局,很好地完成设计与施工任务,如管道穿越墙基础、楼板、梁柱,屋顶或楼板上设计的水箱荷载,屋面排水,水泵设备基础,管道、水泵的荷重和振动,管沟及地下水池等。城市给水排水工程中的构筑物有水塔、水池、地下泵站等。这些都是一些特殊性结构,需要与建筑结构部分紧密配合以完成建设任务。

第一章 流体力学的基本知识

液体和气体统称为流体。

在生产、生活中,我们看到水在江河中流动,自来水从水龙头流出,煤气从煤气灶上的小孔喷出等。这些现象表明了流体不同于固体的最基本特征,就是具有流动性。

研究流体平衡与运动规律及应用的科学称为流体力学。流体力学在建筑设备工程中的应用很广,在给水管、供暖、通风与空气调节的设计计算中都需要这方面的知识,因此,学好这些基本知识,有助于学好建筑设备这门课程。

第一节 流体的主要物理性质

一、密度和容重

流体也和固体一样具有质量。质量愈大,惯性也就愈大。对于匀质流体,单位体积的质量称为流体的密度,其表达式为

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

式中 ρ ——流体的密度, kg/m^3 ;

M ——流体的质量, kg ;

V ——流体的体积, m^3 。

流体也和固体一样具有重量,这是物质受地球引力而产生的。对于匀质流体,单位体积的重量称为流体的容重,其表达式为

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-2)$$

式中 γ ——流体的容重, N/m^3 ;

G ——流体的重量, N ;

V ——流体的体积, m^3 。

由于物体的重量 G 等于质量 M 和重力加速度 g 的乘积,所以流体的密度与容重的关系式为

$$\gamma = \rho g \quad (1-3)$$

式中 γ ——流体的容重, N/m^3 ;

ρ ——流体的密度, kg/m^3 ;

g ——重力加速度,采用 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

公式(1-3)表明:流体的容重等于流体的密度和重力加速度的乘积。如果已知容重求密度,只要将容重除以重力加速度即可。

流体的密度和容重受外界压力和温度的影响,因此,当指出某种流体的密度或容重值时,必须指明所处外界压力和温度条件。

在计算中常用的几种流体密度和容重如下：

1. 在标准大气压和温度为4℃时水的密度和容重分别是：

$$\begin{aligned}\rho &= 1\,000\text{ kg/m}^3 \\ \gamma &= 9\,810\text{ N/m}^3\end{aligned}$$

2. 在标准大气压和温度为0℃时，水银的密度和容重分别是：

$$\begin{aligned}\rho_{\text{Hg}} &= 13\,590\text{ kg/m}^3 \\ \gamma_{\text{Hg}} &= 133\,318\text{ N/m}^3\end{aligned}$$

不难看出，水银的密度和容重是水的 13.59 倍。习惯上取 13.6 倍。

3. 干空气在温度为20℃，压强为101 325 Pa(标准大气压)时的密度和容重分别是：

$$\begin{aligned}\rho_a &= 1.2\text{ kg/m}^3 \\ \gamma_a &= 11.77\text{ N/m}^3\end{aligned}$$

常见流体的密度和容重值见表 1—1。

表 1—1 常见的流体密度、容重表

流体名称		密度 (kg/m ³)	容重 (N/m ³)	测定条件 (℃)	流体名称		密度 (kg/m ³)	容重 (N/m ³)	测定 条件
液 体	汽油	680~740	6 670.8~7 259.4	15	气 体	氢	0.089 9	0.881 9	0℃ 标准大气压
	乙醚	740	7 259.4	0		甲烷	0.716 8	7.031 8	
	纯乙醇	790	7 749.9	15		氨	0.771 4	7.561 4	
	醇	810	7 946.1	4		乙炔	1.170 9	11.486 5	
	煤油	800~850	7 848~8 338.5	15		一氧化碳	1.250 0	12.262 5	
	重油	900~950	8 829~9 319.5	15		氮	1.250 5	12.267 4	
	蒸馏水	1 000	9 810	4		空气	1.292 8	12.682 4	
	海水	1 020~1 030	10 006.2~10 104.3	15		氧	1.429 0	14.018 0	
	无水甘油	1 260	12 360.6	0		二氧化碳	1.976 8	19.392 4	
	水银	13 590	133 318	0		氯	3.220 0	1.588 2	

【例题 1—1】 试求在标准状态下，2 l 空气的重量为多少？

【解】 根据公式(1—2)或 $G = \gamma V$ ，查表 1—2，空气的容重 $\gamma = 12.682\,4\text{ N/m}^3$
根据已知，空气体积为

$$V = 2\text{ l} = 0.002\text{ m}^3$$

所以空气的重量

$$G = 12.682\,4\text{ N/m}^3 \times 0.002\text{ m}^3 = 0.025\,4\text{ N}$$

【例题 1—2】 已知水的容重 $\gamma = 9.81\text{ kN/m}^3$ ，水银的容重比水大 13.59 倍，试求水的密度及水银的密度和容重。

【解】 水的密度

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{9.81 \times 1\,000}{9.81} = 1\,000\text{ kg/m}^3$$

水银的容重

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{Hg}} &= 13.59\gamma = 13.59 \times 9.81 \times 1\,000\text{ N/m}^3 \\ &= 133\,318\text{ N/m}^3 = 133.318\text{ kN/m}^3\end{aligned}$$

水银的密度

$$\rho_{\text{Hg}} = \frac{133\,318}{9.81} = 13\,590 \text{ kg/m}^3$$

二、流体的压缩性与膨胀性

当流体的温度不变,而压强增大时,流体的体积减小,这种性质称为流体的压缩性。当流体的压强不变,而温度升高时,流体的体积增大,这种性质称为流体的膨胀性。

(一)液体的压缩性与膨胀性

液体的压缩性大小,一般用体积压缩系数 β_p 表示。 β_p 是指温度不变时,压强每增加 1 N/m^2 ,液体体积的相对减小量。液体的压缩性很小,例如在 1 MPa 压力情况下,压强每升高 0.1 MPa ,水的体积相对减小量仅为十万分之五左右。所以在实际工程中,往往不考虑液体的压缩性,把它看作不可压缩流体。

压强的单位为 N/m^2 ,也可用“帕”表示,其代号为 Pa ,即 $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 。

液体膨胀性的大小,一般用体积膨胀系数 β_t 量度。 β_t 是指压强不变时,温度每增加 1°C ,液体体积的相对增大量,即

$$\beta_t = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (1-4)$$

式中 β_t ——液体体积膨胀系数, $1/^\circ\text{C}$;

V ——膨胀前液体的体积, m^3 ;

ΔV ——液体体积的变化量, m^3 ;

ΔT ——温度的增加值, $^\circ\text{C}$ 。

表 1—2 列举了水在 0.1 MPa 大气压下,不同温度时的容重和密度。

从表 1—2 可以看出,当温度较在 $(70 \sim 95^\circ\text{C})$ 范围变化时,温度每增加 1°C ,水的体积膨胀量也只有万分之六。这些变化量也是很小的。

但在供热工程中:如热水采暖系统,不仅不能忽略水的膨胀性,相反地正是利用水的膨胀性而形成自然循环流动所需的动力(称为重力差形成的动力)。图 1—2 为自然循环热水采暖系统图。水在锅炉中被加热后,温度升高,体积膨胀。因此,受热的水由于容重减小而变轻,并沿着管道上升至散热器;受热的水在散热器中放出热量后,温度下降,体积减小,容重增加而变重,水就能沿差管道流回锅炉。如此往返不断地进行流动,就形成了热水采暖系统的自然循环。又如在热水采暖系统中,水的循环流动是在封闭系统中进行的。当系统中的水受热膨胀,虽然水的体积变化量很小,但由于膨胀而引起管道、配件、散热器的膨胀应力是很大的。其后果轻者引起联接部件松动而渗漏;重者引起管道或散热器的破裂。这就是热水采暖系统中需安装膨胀水箱的原因之一。

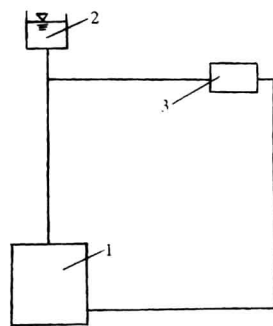


图 1—1 自然循环热水
采暖系统图

1—热水锅炉;2—膨胀水箱;
3—散热器

【例题 1—3】 某采暖系统中,有 50 kg 质量的水,温度从 50°C 升高至 90°C ,试问水的体积膨胀量为多少?

【解】 设 50°C 时水的体积为 V_1 ,密度为 ρ_1 ; 90°C 时水的体积为 V_2 ,密度为 ρ_2 。

水的体积膨胀量为 ΔV ,查表 1—2, $\rho_2 = 965.3 \text{ kg/m}^3$, $\rho_1 = 988.1 \text{ kg/m}^3$, $M = 50 \text{ kg}$ 。代公式,可得水的体积膨胀量为

$$\Delta V = V_2 - V_1 = M\left(\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_1}\right)$$

$$= 50(1/965.3 - 1/988.1) = 0.0518 - 0.0506$$

$$= 0.0012 \text{ m}^3 = 1.2 \text{ l}$$

$$\Delta V/V_1 = 0.0012/0.0506 = 2.37\%$$

表 1—2 在 0.1 MPa 压力下水的容重和密度

温度 (℃)	容重 (N/m ³)	密度 (kg/m ³)	温度 (℃)	容重 (N/m ³)	密度 (kg/m ³)	温度 (℃)	容重 (N/m ³)	密度 (kg/m ³)
0	9 806	999.9	10	9 805	999.7	60	964.5	983.2
1	9 806	999.9	15	979.9	999.1	65	961.7	980.6
2	9 807	1 000.0	20	979.0	998.2	70	959.0	977.8
3	9 807	1 000.0	25	977.8	997.1	75	956.1	974.9
4	9 807	1 000.0	30	977.5	995.7	80	952.9	971.8
5	9 807	1 000.0	35	974.9	994.1	85	950.0	968.7
6	9 807	1 000.0	40	973.1	992.2	90	946.7	965.3
7	9 807	1 000.0	45	971.0	990.2	95	943.3	961.9
8	9 806	999.9	50	969.0	988.1	100	939.9	958.4
9	9 806	999.9	55	965.7	985.7			

(二) 气体的压缩性与膨胀性

对于气体来说,随着压强与温度的改变,气体的体积将有显著的变化,因而容重也有较大的变化。在温度不很低、压强不很高的情况下,气体的密度、压强和温度之间的关系,服从理想气体状态方程式,即

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

式中 p ——气体的绝对压强, N/m²;

ρ ——气体的密度, kg/m³;

T ——绝对温度, ℃;

R ——气体常数[N·m/kg·℃], 对于空气, $R = 287$, 对于其他气体, 在标准状态下 $R = \frac{8\,314}{n}$, n 为气体分子量。

在温度不变的等温条件下, $RT = \text{常数}$, 状态方程式可简化为以下形式:

$$\frac{p}{\rho} = \text{常数} \quad \text{或} \quad \frac{p_0}{\rho_0} = \frac{p}{\rho} \quad (1-6)$$

式中, p_0 、 ρ_0 为原来的压强和密度; p 、 ρ 为变化后的压强和密度。式(1—6)表示在等温条件下压强与密度成正比, 而密度与体积成反比, 所以当压强增加一倍, 气体的体积减小为原来的一半。

在压强不变的定压条件下, $\frac{p}{R} = \text{常数}$, 状态方程可简化为以下形式:

$$\rho T = \text{常数} \quad \text{或} \quad \rho_0 T_0 = \rho T \quad (1-7)$$

式中 ρ_0 是当 $T_0 = 273\text{ }^\circ\text{C}$ 时的气体密度; ρ 、 T 是变化后的密度和温度。式(1—7)表示在定压条件下, 温度与密度成反比, 也就是温度与体积成正比。温度每升高 $1\text{ }^\circ\text{C}$, 体积就比 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 时增大 $1/273$ 。

表 1—3 列举了在标准大气压条件下, 不同温度时的空气容重和密度。
【例题 1—4】 已知压强为 0.1 MPa , $0\text{ }^\circ\text{C}$ 时空气的密度为 1.293 kg/m^3 , 求 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $40\text{ }^\circ\text{C}$ 时的空气密度及容重。

【解】 因为 $T = T_0 + t$, 根据公式(1—7) $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时空气的密度、容重为

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0}{t} = \frac{1.293 \times 273}{273 + 20} = 1.205\text{ kg/m}^3$$
$$\gamma = 1.205 \times 9.81 = 11.82\text{ N/m}^3$$

表 1—3 在 0.1 MPa 气压时的空气容重及密度

温度 ($^\circ\text{C}$)	容重 (N/m^3)	密度 (kg/m^3)	温度 ($^\circ\text{C}$)	容重 (N/m^3)	密度 (kg/m^3)	温度 ($^\circ\text{C}$)	容重 (N/m^3)	密度 (kg/m^3)
0	12.70	1.293	25	11.62	1.185	60	10.40	1.060
5	12.47	1.270	30	11.43	1.165	70	10.10	1.029
10	12.24	1.248	35	11.23	1.146	80	9.81	1.000
15	12.02	1.226	40	11.07	1.128	90	9.55	0.973
20	11.80	1.205	50	10.72	1.093	100	9.30	0.947

$40\text{ }^\circ\text{C}$ 时空气的密度、容重为

$$\rho = \frac{1.293 \times 273}{273 + 40} = 1.128\text{ kg/m}^3$$
$$\gamma = 1.128 \times 9.81 = 11.07\text{ N/m}^3$$

气体是可以压缩和膨胀的, 但是当气体在流动过程中, 压强、温度变化较小, 其容重仍然可以视为常数的, 这种气体称为不可压缩气体。反之, 当气体在流动过程中, 压强、温度变化较大, 其容重已经不能再视为常数的气体称为压缩气体。

在水暖通风工程中, 所遇到的大多数气体流动, 可视为不可压缩流体。在一般通风中的空气, 相对压强值在 10 Pa 以内; 低压蒸汽采暖系统中, 蒸汽的相对压强小于 7 N/cm^2 。这些工作介质的气体, 由于压强较小, 均可按不可压缩气体对待。也就是将空气和低压蒸汽看作和液体一样均属于不可压缩流体。对于进行蒸汽输送的室外管路, 从整个系统来说, 压强沿途变化较大, 容重相应地也变化较大, 但对于各管段而言, 容重变化并不显著。因此, 具体到每一管段仍可按不可压缩流体对待, 所不同的是各管段的容重不同而已。

因为在本专业中, 经常接触的流体均属不可压缩流体, 所以不可压缩流体是我们的主要研究对象。

三、流体的黏滞性

在日常生活中, 如果从瓶里倒水或倒油, 我们可以观察到, 水比油流得快, 也就是说, 水和油的流动速度不同。此现象说明流体具有一种性质, 即黏滞性。由于水的黏滞性小, 流得快; 油的黏滞性大, 流得慢。

当流体在圆管中流动时,流速的分布如图 1—2,紧靠着管壁的流体质点,附着在管壁上,速度为零。位于管中心轴线上的流体质点,受管壁的约束影响最小,所以速度最大。速度快的对速度慢的产生了一个拖动力使它加速;而速度慢的对速度快的相应地产生一个阻止它向前运动的阻力。这种成对出现的拖力与阻力是流体黏滞性的具体表现,这种力称为内摩擦力,又称黏滞力。黏滞力是流体运动时产生能量损失的原因之一。

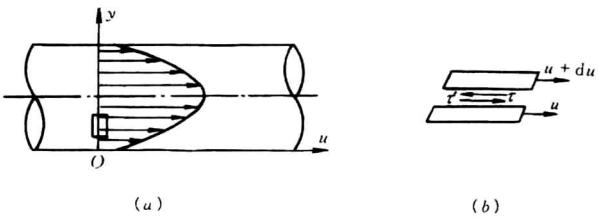


图 1—2 流体在圆管中的流速分布图

第二节 流体静压强基本方程式

一、流体的静压强

一个盛满水的水箱中,由于水是有质量和重量的物质,上层的水对下层的水,下层的水对水箱的底面,及水箱内的水对水箱四周水箱壁产生压力,这个压力称为流体的静压力。

单位面积上的静压力称为静压强,以符号 p 表示。流体压强的计算公式为

$$p = \frac{P}{A} \tag{1—8}$$

式中 p ——流体的静压强, N/m^2 或 Pa ;
 P ——作用面上的流体的总压力, N ;
 A ——受压面积, m^2 。

流体的静压强有两个重要的基本特性:

1. 流体静压强的方向垂直于作用面,并且指向作用面。
2. 任意一点各方向的流体静压强均相等。

二、自由表面和表面压强

所谓自由表面,是指水体中液体与气体的交界面。在重力的作用下静止液体的自由表面是一水平面。如水箱、水池和水面、蒸汽锅炉的水面等。

液体的自由表面受上部气体压强的作用,此压强称为表面压强,以符号 p_0 表示。如果自由表面的压强为大气压,符号为 p_a ,则 $p_0 = p_a$ 。

三、流体压强的分布规律

由于流体本身具有重量和易流动性,使容器的底面和侧壁均受到静压强的作用。现在我们来观察一实验,通过实验了解静压强的分布规律。实验装置如图 1—3 所示,在容器侧壁上开三个小孔,将容器灌满水,然后把三个小孔的塞头打开,水流分别从三个小孔流出,愈靠下部的孔口,水流喷射得愈急愈远。通过这个现象我们可获得一个感性概念:静压强随着水深的增加而增大。如果在容器侧壁上同一深度处开几个小孔,我们还可以看到从各孔口喷射出来的水流情况都一样,这样我们获得了另一个感性概念:同一水深处的流体静压强均相等。

下面推导静止流体在重力作用下的静压强基本方程式,从理论上进一步论述流体静压强

的分布规律。

如图 1—4 所示,在静止流体中取一点 m , m 点在自由表面下的水深为 h ,自由表面上压强为 p_0 ,设 m 点的静压强为 p 。从静止流体中取一铅直微小圆柱体,使 m 点位于微小圆柱体底面中心处。圆柱体上表面与自由表面重合。设微小圆柱体的高度为 h ,横截面积为 ΔA 。

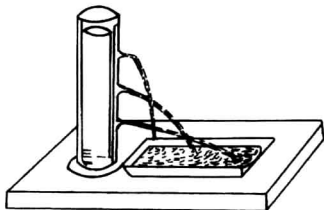


图 1—3 流体静压强与深度的关系

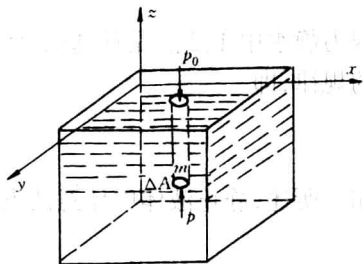


图 1—4 流体静压强基本方程式的推导

取微小圆柱水体为隔离体,它是处于静止状态的。所以作用在其上的外力在各个方向上均平衡。作用在微小圆柱体上的外力有:

1. 上表面的表面压力 $P_0 = p_0 \Delta A$, 方向垂直向下;
2. 底面上的总静压力 $P = p \Delta A$, 方向垂直向上;
3. 本身的重力 $G = \gamma dV = \gamma h \Delta A$, 方向垂直向下;
4. 作用于侧面上,来自四周的液体静压力,其方向都是水平的,对称的,它们之间成对地互相平衡。

根据力学平衡条件,可写出 z 轴方向的力平衡方程式如下:

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

化简、移项得

$$p = p_0 + h \gamma \quad (1-9)$$

式中 p ——静止液体中任意点的静压强;

p_0 ——表面压强;

γ ——液体的容重;

h ——该点在自由表面下的深度。

公式(1—9)就是在重力作用下,静止液体内部压强分布规律的数学表达式,称为水静力学基本方程式。根据此式,可以求出静止液体中任何一点的压强值。方程式反映出静压强与水深成正比关系的分布规律(式中 γ 和 p_0 都是常数)。方程式表明,静止液体中任何一点的压强值等于表面压强 p_0 和该点的深度 h 与容重 γ 乘积 γh 之和。

水静力学基本方程式(1—9)还可以表示为另一种形式。

如图 1—5 所示,设水箱水面的压强为 p_0 ,水面到任选基准面 0—0 的高度为 z_0 ,从静水中任选两点 1、2,离基准面的高度分别为 z_1 和 z_2 ,压强为 p_1 和 p_2 的关系式可写为

$$p_1 = p_0 + \gamma(z_0 - z_1)$$

$$p_2 = p_0 + \gamma(z_0 - z_2)$$

将以上两式均除以容重 γ ,整理后得

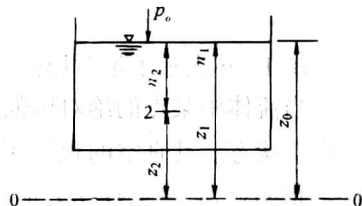


图 1—5 静水力学基本方程式的另一种形式