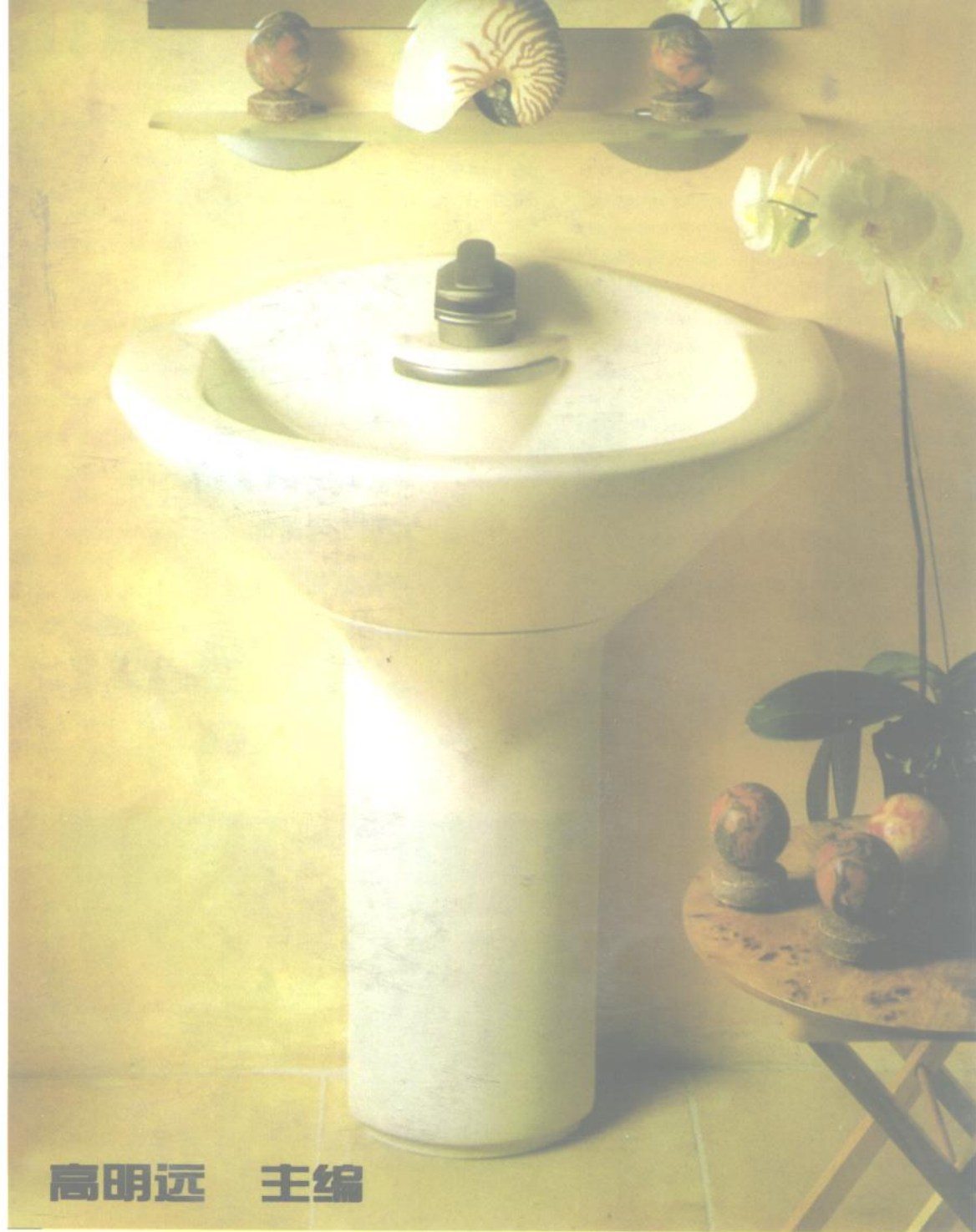




高明远 主编

建筑设备技术

JIANZHUSHHEBEIJISHU

中国建筑工业出版社

建筑设备技术

高明远 主编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

图书在版编目(CIP)数据

建筑设备技术 / 高明远主编. — 北京: 中国建筑工业出版社, 1998

ISBN 7-112-03430-2

I. 建… II. 高… III. 房屋建筑设备 IV. TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 24049 号

本书面向建筑业发展的需要,阐述了建筑给水、建筑排水、建筑供暖、通风、空气调节、室内热水供应、燃气供应、建筑电气等建筑设备的基本知识和实用技术,以及掌握这些基本知识和技术所必备的基本原理、基础理论与建筑设备技术相关的工程技术知识;同时还介绍了近年来国内、外建筑工程的新产品、新设备和新技术;着重介绍了建筑设备技术与建筑设计、施工之间,相互协调所应该具备的工程技术内容。

本书按照国家新颁布的有关技术规范、规程等要求编写,可供从事建筑工程设计、施工和管理工作的工程技术人员、管理人员和大专院校师生阅读。

责任编辑: 俞辉群

责任设计: 刘玉英

责任校对: 骆玉华

建筑设备技术

高明远 主编

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京二二〇七工厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 27¼ 字数: 663 千字

1998 年 3 月第一版 1998 年 3 月第一次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 35.00 元

ISBN7-112-03430-2

TU·2654(8600)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

《建筑设备技术》主要介绍建筑给水工程、建筑排水工程、供暖、通风、空气调节、建筑热水供应、燃气供应、建筑电气等的基本知识和技术。

近年来我国建筑业快速发展、人民生活水平不断提高,对建筑设备工程的标准、质量、功能等也要求日益提高和完善。从事建筑设计、施工和管理工作的有关人员就必须进一步掌握有关建筑设备的工程知识和实用技术。为适应经济建设的需求,便于建筑工程界各领域工作人员能迅速、有效且深入地掌握建筑设备技术领域的知识和技能,本书首次力求以“少而精”的原则介绍建筑设备技术中各工程学科所需的基础理论、前期工程常识、通用器材、设备知识(如流体力学、电学基础理论知识)、城市供热、燃气供应、城镇供电、管材、管件以及各种卫生器具等。

众所周知,《建筑设备技术》是多种工程技术学科的组合。这些工程设施共同置于建筑物内部或小区,为各类建筑创造舒适、有效、防灾、安全的生活和生产环境,因此建筑设备各工种之间及与建筑之间,均存在互相协调关系。本书着重介绍了各种设备工程管道综合设计要求、各设备工种与建筑设计相协调的设计要求,以及建筑设备管道综合布置与敷设,建筑设备工程对建筑设计要求等内容。

近年来,《建筑设备技术》领域不断拓宽,技术飞速发展,开发了不少新产品、新设备,为便于读者掌握国内、外建筑设备新技术,本书编入了园林绿化喷灌供水技术、室内水景、卫生器具节水型冲水设备、国外新型卫生洁具、建筑节能技术、建筑中水工程技术、高层建筑通风空调防火排烟、设备减振防噪声技术、建筑电气中多种信息设施、电子装置新技术等等。

《建筑设备技术》与建筑工程的设计、施工、管理密切相关,好的设计能为施工创造有利条件,好的施工工程可以减轻管理工作量,而先进的管理经验又可为优化设计提出改进课题。为了适应建筑业上述三者需要,书中编入了建筑设备工程的施工与安装知识、安全供电、建筑电气与建筑的关系等内容。

《建筑设备技术》各工种领域都有各自的工程技术规范和规程,书中所介绍的内容和资料都力求符合新颁布的技术规范和规程,如高层建筑消防给水、建筑给水、排水工程水量定额、室内热水供应水质标准、水量定额和高层建筑通风空调防火排烟设计要求等等。

本书 1.1、1.2 由吴锡福编写,绪论、1.3、1.4、1.5 由高明远编写,1.5-5 由高明远、谷晋龙合编,2.1、2.2、2.3 由曾雪华编写,3.1、3.2、3.3 由岳秀萍编写,4.1、4.2、4.3、4.4 由谷晋龙编写。全书由高明远主编,于小琴、盛德庄主审。

本书编写过程中曾得到许多同行专家的指正和帮助,编者对所提意见均作了认真对待,并致以诚挚的谢意。但限于编者水平,尚望诸多前辈和读者对本书中存在的缺点、错误和不足之处给予指教。

目 录

绪 论	1
1 建筑设备技术基础知识	2
1.1 流体运动的基本规律	2
1.1.1 流体的主要物理性质	2
1.1.2 流体运动的参数、分类和模型	5
1.1.3 一元流体恒定流的连续性方程	7
1.1.4 一元流体恒定总流能量方程	8
1.1.5 流动阻力和流动状态	11
1.1.6 应用举例	16
1.2 传热原理知识	18
1.2.1 导热(热传导)	19
1.2.2 热对流和对流换热	21
1.2.3 热辐射及辐射换热	22
1.2.4 传热过程及传热系数	24
1.3 电工基本知识	25
1.3.1 电流、电压、电阻与电功率	25
1.3.2 电磁效应与电磁感应	29
1.3.3 直流与交流电路	33
1.3.4 变压器工作原理	46
1.4 常用管材、附件及卫生器具	48
1.4.1 常用管材及管件	48
1.4.2 管道附件、给水配件及水表	52
1.4.3 卫生器具	56
1.5 城镇公用设施简述	62
1.5.1 城镇给水	62
1.5.2 城镇排水体制、组成和管网	67
1.5.3 城镇集中供热	70
1.5.4 城镇煤气供应	73
1.5.5 城市供电	75
2 建筑给水排水工程	82
2.1 建筑给水工程	82
2.1.1 建筑给水系统的分类及组成	82
2.1.2 建筑给水系统的给水方式	83
2.1.3 室内给水需要的水压、水量和冷水的加压、贮存	85
2.1.4 管道平面布置与敷设	95
2.1.5 室内给水配管方法	98

2.1.6	建筑消防给水类别、组成及设置	105
2.1.7	室内消防给水设备及器材	110
2.1.8	高层建筑消防给水方式及配管方法	114
2.1.9	水景、庭园绿化供水、冷饮水供应及冷却水系统	120
2.2	建筑排水工程	129
2.2.1	建筑排水系统的分类及选用	129
2.2.2	建筑排水系统的组成、布置及敷设	129
2.2.3	室内排水配管方法	134
2.2.4	屋面排水	144
2.2.5	建筑小区排水系统及污水局部处理构筑物	148
2.2.6	建筑中水工程	152
2.3	建筑给水排水管道的安装	155
3	供暖、通风及空气调节	160
3.1	供暖、热水供应与供燃气工程	160
3.1.1	供暖系统分类、方式及选用	160
3.1.2	热力进口及锅炉房	174
3.1.3	供暖热负荷	181
3.1.4	供暖设备及附件	183
3.1.5	室内供暖管网布置及敷设	191
3.1.6	热水供应工程	194
3.1.7	供燃气工程	208
3.2	通 风	216
3.2.1	建筑空间空气的卫生条件	216
3.2.2	通风系统分类和方式	218
3.2.3	全面通风和局部通风	220
3.2.4	自然通风	229
3.2.5	通风系统的设备和构件	238
3.2.6	局部排风的净化和除尘	246
3.2.7	高层建筑的防火排烟	250
3.3	空气调节	259
3.3.1	概 述	259
3.3.2	空调系统的组成及分类	260
3.3.3	空气处理设备及制冷设备	268
3.3.4	空调房间的建筑设计	279
3.3.5	制冷设备	284
3.3.6	空调水系统	287
3.3.7	空调机房与制冷机房	290
3.3.8	空调系统的控制	293
3.3.9	建筑设备工程的管道综合与消声减振	295
4	建筑电气	300
4.1	建筑与建筑电气	300
4.1.1	建筑电气的基本作用和种类	300
4.1.2	建筑电气的基本组成和特点	301

4.1.3	建筑电气与建筑关系	301
4.2	建筑供配电及防雷	302
4.2.1	建筑用电负荷等级、类别及电压的选择	303
4.2.2	负荷计算及电气设备选择简述	305
4.2.3	高、低压供电线路	313
4.2.4	配电盘、柜及 6~10KV 变配电室	319
4.2.5	应急电源机房	322
4.2.6	建筑防雷与接地	323
4.3	建筑照明	335
4.3.1	照明的种类和组成	335
4.3.2	光源、灯具及布置	337
4.3.3	照度计算	348
4.3.4	室内电照设计步骤和方法	358
4.3.5	建筑电照设计成果及对照明要求	362
4.4	建筑电气中几种电子技术系统	373
4.4.1	有线电话	373
4.4.2	有线电视及节目制作系统	380
4.4.3	有线广播、扩声及同声传译	385
4.4.4	火灾自动报警系统及消防联动控制内容	387
4.4.5	建筑的计算机经营管理与控制	390
附 录		
附录 I-1	钢管公称压力与试验压力的关系	394
附录 I-2	钢管工作压力与公称压力关系	394
附录 II-1	住宅生活用水定额及小时变化系数	394
附录 II-2	集体宿舍、旅馆和公共建筑生活用水定额及小时变化系数	395
附录 II-3	工业企业建筑淋浴用水量定额	396
附录 II-4	有洗车台的汽车库内汽车冲洗用水定额	396
附录 II-5	给水钢管(水煤气管)水力计算表	397
附录 II-6	给水铸铁管压力损失计算表	399
附录 II-7	应设置闭式自动喷水灭火系统的部位	400
附录 II-8	应设开式自动喷水灭火系统的部位	400
附录 II-9	自动喷水灭火系统喷头的最大间距	400
附录 II-10	喷头布置在不同场所时的布置要求	401
附录 II-11	一个雨水斗最大允许汇水面积(m^2)	402
附录 II-12	多斗悬吊管最大允许汇水面积(m^2)	402
附录 II-13	日本水道协会杂用水水质标准	403
附录 III-1	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(Pa)	403
附录 III-2	锅炉本体型式代号	404
附录 III-3	燃烧方式代号	404
附录 III-4	燃料品种代号	405
附录 III-5	北京地区建筑物单位体积供暖热指标	405
附录 III-6	某些民用建筑及工业企业辅助用室的冬季室内计算温度 $t_n(^{\circ}\text{C})$	405

附录Ⅲ-7	工业企业工作地点温度 $t_g(^{\circ}\text{C})$	405
附录Ⅲ-8	室外气象参数	406
附录Ⅲ-9	民用建筑的单位面积供暖热指标	407
附录Ⅲ-10	计算散热器面积时,考虑水在未保温暗装管道内的冷却 应乘的修正系数 β_2	407
附录Ⅲ-11	散热器安装方式不同的修正系数 β_3	407
附录Ⅲ-12	每供给 1kW 热量系统设备的水容积(1/kW)	408
附录Ⅲ-13	热媒管道水力计算表(水温 $t = 70 \sim 95^{\circ}\text{C}$ $k = 0.2\text{mm}$)	408
附录Ⅲ-14	蒸汽管道管径计算表($\delta = 0.2\text{mm}$)	409
附录Ⅲ-15	由加热器至流水器间不同管径通过的小时耗热量(kJ/h)	410
附录Ⅲ-16	余压凝结水管 $b \sim c$ 管段管径选择	411
附录Ⅲ-17	热水管道水力计算表($t = 60^{\circ}\text{C}$ $\delta = 1.0\text{mm}$)	411
附录Ⅲ-18	居住区大气中有害物质的最高容许浓度(摘录)	412
附录Ⅲ-19	车间空气中有害物质的最高容许浓度(摘录)	413
附录Ⅲ-20	圆形通风管道统一规格	415
附录Ⅲ-21	矩形通风管道统一规格	416
附录Ⅲ-22	我国舒适性空调室内设计参数	417
附录Ⅲ-23	各级旅游旅馆空调设计参数	417
附录Ⅳ-1	民用建筑常用重要设备及部位的负荷级别	418
附录Ⅳ-2	工业建筑常用重要设备的负荷级别	419
附录Ⅳ-3	变配电所各房间对建筑的要求	419
附录Ⅳ-4	常用材料的反射 透射和吸收系数表	420
附录Ⅳ-5	墙壁和顶棚的反射系数表	421
附录Ⅳ-6	生产车间工作面上的照度标准	422
附录Ⅳ-7	通用生产车间和工作场所工作面上的照度标准	422
附录Ⅳ-8	办公室、生活用室的照度标准	423
附录Ⅳ-9	厂区露天工作场所和交通运输线照明标准	423
附录Ⅳ-10	民用建筑照明的照明标准(推荐值)	424
附录Ⅳ-11	火灾探测器设置场所	425
附录Ⅳ-12	水灾自动报警系统的设置范围	426
附录Ⅳ-13	建筑物保护等级划分	426
主要参考文献		428

绪 论

《建筑设备技术》主要介绍建筑给水、建筑排水、建筑供暖、通风与空气调节、热水供应、供燃气、建筑电气等基本知识和技术,以及近年来国内外相继出现的新产品、新设备和新技术,以及建筑设备各工种之间、各设备工种与建筑之间的互相协调关系等内容。

随着我国建筑业的发展,无论在生产和生活方面,对建筑内部供水、供热、供气和供电等建筑设备的要求和标准日益提高。例如:建筑卫生设施要求功能完善,形式多样,对室内人工气候卫生条件的要求不断提高,多种功能电器设备和信息电子装置逐步进入千家万户,这一切都促使从事建筑业的工程技术人员、管理人员要尽快了解和掌握建筑设备工程的基础知识和技术,以适应社会发展的需要,高效、优质地完成所承担的设计、施工或管理工作。

近年来,我国建筑设备领域取得了许多可喜的成绩。美观、适用、多种功能的新型设备日新月异。例如:节水型卫生洁具的开发和推广使用;高效节能新型换热设备的创新;变频调速泵的应用;各种通风空调设备的普及;种类繁多、功能多样的家用电器和电子技术设备进入家庭等等。这些产品、设备和技术正在不断完善着建筑物的功能,迅速提高人们的生活质量。

《建筑设备技术》涉及到许多工程学科,各工程学科都有其基础理论和独立系统,而各独立系统与其相关系统有密切联系,例如:建筑给水是城镇供水的“用户”;室内消防给水是建筑防灾的重要手段之一;建筑排水是城镇排水的“起点”;建筑供暖、热水供应是集中供热工程组成部分;室内燃气供应是室外燃气供应的延续;通风及空气调节是现代建筑物内人工气候的重要技术措施;而建筑电气则是城市供电的“电用户”……。为了基本掌握上述众多工种技术知识的内容,首先应当对各工程技术系统的分类、组成、布置与敷设有一个基本的了解。又因这些工程技术系统共同设置于同一幢建筑物内,其设备系统在设计、施工或管理阶段都不可避免地会相互联系、产生矛盾、发生冲突,所以必须协调好各工程技术之间及各工种与建筑设计、施工和管理方面的关系,才能保证各设备系统保持良好的运行工况、提高建筑物的使用质量。

《建筑设备技术》集水、暖、电于一册成书,就国外情况而言,仅日本有这方面的专著,一般称为《建筑设备》。随着建筑设备技术的不断更新和完善,编写一本集建筑设备技术基本知识和现代建筑设备技术发展和应用状况于一体的书籍,实为当前建筑工程界所需。建筑设备技术在我国将会持续不断地向前发展,只有及时认真研究和开发建筑设备技术的理论、技术、产品,吸收并掌握世界上这方面的先进技术,才能把建筑设备技术提高到更新的水平。

1 建筑设备技术基础知识

1.1 流体运动的基本规律

物质通常见到的有固体、液体和气体。流体是液体和气体的统称。流体运动的基本规律是指流体平衡和运动时的力学规律,以及这些规律在工程技术中的应用。

1.1.1 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,燃气在管道中输送,空气从喷嘴中喷出等,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。

下面介绍流体的主要物理性质。

一、质量密度和重力密度

流体和固体一样,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,即

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1.1-1)$$

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,称为流体的重力密度。即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{N/m}^3) \quad (1.1-2)$$

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

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{Mg}{V} = \rho g \quad (1.1-3)$$

式中 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 760mmHg 时 $\rho_a = 1.2\text{kg/m}^3$; $\gamma_a = 11.80\text{N/m}^3$ 。

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 1.1-1 所示。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 1.1-1 所示,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

流层的速度为 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 , 沿垂直流速方向单位长度的流速增值 $\frac{du}{dn}$, 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。

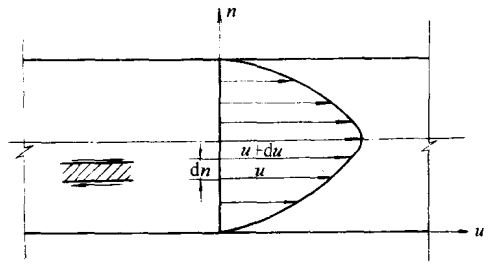


图 1.1-1 管道中断面流速分布

牛顿在总结实验的基础上, 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

$$\tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{du}{dn} \quad (1.1-4)$$

式中 F ——内摩擦力(N);

S ——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);

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

$\frac{du}{dn}$ ——流速梯度。表示速度沿垂直于流速方向的变化率($1/s$)。

流体粘滞性的大小, 可用粘度表达。除用动力粘度 μ 外, 常用运动粘度 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$, 单位为 m^2/s , 简称斯。 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 1.1-1 及 1.1-2 所示。

流体的粘滞性对流体运动有很大影响, 因为内摩擦力作为负功, ν 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, 将在后面有关部分讨论。

水的粘度

表 1.1-1

t ($^{\circ}C$)	$\mu \times 10^{-3}$ ($Pa \cdot s$)	$\nu \times 10^{-6}$ (m^2/s)	t ($^{\circ}C$)	$\mu \times 10^{-3}$ ($Pa \cdot s$)	$\nu \times 10^{-6}$ (m^2/s)
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

三、流体的压缩性和热胀性

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

一个大气压下空气的粘度

表 1.1-2

t (℃)	$\mu \times 10^{-3}$ (Pa·s)	$\nu \times 10^{-6}$ (m ² /s)	t (℃)	$\mu \times 10^{-3}$ (Pa·s)	$\nu \times 10^{-6}$ (m ² /s)
-20	0.0166	11.9	70	0.0204	20.5
0	0.0172	13.7	80	0.0210	21.7
10	0.0178	14.7	90	0.0216	22.9
20	0.0183	15.7	100	0.0218	25.8
30	0.0187	16.6	150	0.0239	29.6
40	0.0192	17.6	200	0.0259	35.8
50	0.0196	18.6	250	0.0280	42.8
60	0.0201	19.6	300	0.0298	49.9

为流体的热胀性。在这两种性质上,液体和气体差别很大,因此分别介绍。

1. 流体的压缩性和热胀性都很小。例如,水从一个大气压增加到 100 个大气压时,每增加 1 个大气压,水的密度增加 1/20000。水在温度较低(10~20℃)时,温度每增加 1℃,水的密度减小 1.5/10000,当温度较高(90~100℃)时,温度每增加 1℃,水的密度减小也只为 7/10000,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胀性,这种理想的液体称为不可压缩性液体。

2. 气体具有显著的压缩性和热胀性。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,密度、压强和温度三者之间的变化关系为:

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad (1.1-5)$$

式中 p ——气体的绝对压强(N/m²);

ρ ——气体的密度(kg/m³);

T ——气体的绝对温度(K);

R ——气体常数(J/kg·K)。

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

(2) 等温过程 在气体状态变化过程中,如温度保持不变时,称为等温过程。式 1.1-5 可写为

$$\frac{p}{\rho} = \frac{p_0}{\rho_0} = C \quad (\text{常数}) \quad (1.1-6)$$

上式表明,密度与压强成正比关系变化。此即波义耳定律。

凡是气体状态变化缓慢,或气流速度较低时,气体与外界能进行充分的热交换,而视为与外界温度相等,即可按等温过程处理。例如缓变充气或排气时贮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 在气体状态变化过程中,压强保持不变时,称为等压过程。从式(1.1-5)可

写为

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0}{T_0 + t} \quad \text{或} \quad \gamma^2 = \frac{\gamma_0}{1 + \beta t} \quad (1.1-7)$$

式中 $\beta = \frac{1}{273} K^{-1}$, 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(或比容与温度成正比)关系变化, 此即盖·吕萨克定律。

(4) 绝热过程 在气体状态变化过程中, 与外界没有热交换, 称为绝热过程。绝热方程为

$$\left. \begin{aligned} \frac{p}{\rho^k} = \frac{p_0}{\rho_0^k} = C \quad (\text{常数}) \\ \text{或} \quad \rho = \rho_0 \left(\frac{p}{p_0} \right)^{1/k}, \quad \gamma = \gamma_0 \left(\frac{p}{p_0} \right)^{1/k} \end{aligned} \right\} \quad (1.1-8)$$

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, 其进、排气过程进行得很快, 气体来不及与外界进行热交换, 这类问题即可按绝热过程对待。

(5) 多变过程 多变过程方程为

$$\frac{p}{\rho^n} = C \quad (\text{常数}) \quad (1.1-9)$$

其中 n 称为多变指数。当 $1 < n < K$ 时, 气体是属于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被冷却膨胀。如水冷式压气机所压缩的气体属于 $n < K$ 的多变过程; 其它小型鼓风机, 则属于 $n > K$ 的多变过程。

在流体运动的分类中, 把速度较低的(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, 称为不可压缩气体。在流动过程中密度变化很大(当速度等于 50m/s 时), 密度变化为 1%, 也可以当作不可压缩气体对待。反之把流速较高(接近或超过音速)的气体则 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质, 当流体速度均较低, 因而在流动过程中密度变化不大, 可视为常数, 而将这种液体和气体认为是不可压缩的流体。

在研究流体运动规律中, 还需了解“连续介质”概念。所谓连续介质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, 也认为是由无数分子所组成; 并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。

1.1.2 流体运动的参数、分类和模型

一、描述流体运动的几个主要物理参数

1. 压力(p) 对于理想流体间相互的作用力是以压力表达。单位面积上的压力称为压强。流体运动时的压强称为动压强。若流体处于静止(仅有重力作用下), 流体间相互作用力则称为静压力。压强对于理想流体因不考虑其粘滞力, 而忽略其切应力, 则动压强方向必然垂直指向其所作用的平面, 此时与静压强作用方向是相同的。对于实际流体间相互作用的压力, 其大小应为动压力与粘滞力形成切应力(τ)的合力。压强单位是以 N/m^2 表达。

2. 流量 流体运动时, 单位时间内通过流体过流断面的流体体积称为体积流量。用符

号 Q 表示。单位是 m^3/s 或 L/s 。一般的流量指的是体积流量,但有时也引用重量流量或质量流量。质量流量的单位为 kg/s 。

3. 断面平均流速(v) 流体流动时,断面各点流速一般不易确定,而工程中又无必要确定时,可采用断面平均流速来简化流动。如图 1.1-2 所示。断面平均流速是这样定义的:过流断面面积乘断面平均流速 v 所得到的流量,等于该断面以实际流速通过的流量。即

$$Q = v\omega = \int \omega u d\omega$$

显然,断面平均流速计算式为

$$v = \frac{\int \omega u d\omega}{\omega} = \frac{Q}{\omega} \quad (1.1-10)$$

计算式(1.1-10)表达了流量、过流断面和平均流速三者之间的关系。

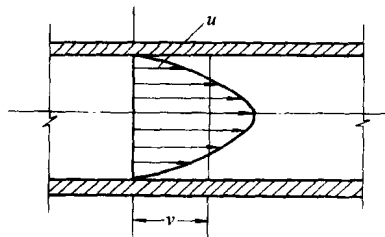


图 1.1-2 断面流速

此外,尚有水深(h)、湿周(χ)等参数,将在有关内容中介绍。

二、流体运动的分类与模型

(一) 压力流与无压流

1. 压力流 流体在压差作用下流动时,流体和其固体壁周围都接触,流体无自由表面,如供热工程中管道输送有压的汽、水载热体,风道中气体,给水管中水的输配等都是压力流。

2. 无压流 液体在重力作用下流动时,液体的一部分周界与固体壁相接触,另一部分周界与空气相接触,形成自由表面。如天然河流,明渠流等是无压流动,也称重力流。

(二) 恒定流与非恒定流

1. 恒定流 流体运动时,其各点的压强和流速等运动要素不随时间变化的流动称为恒定流动。如图 1.1-3(a)所示。

2. 非恒定流 流体运动时其各点的压强和流速等运动要素随时间和空间位置而变化的流动称为非恒定流。如图 1.1-3(b)所示。

自然界中非恒定流是普遍的,工程中常将变化缓慢的非恒定流视为恒定流。

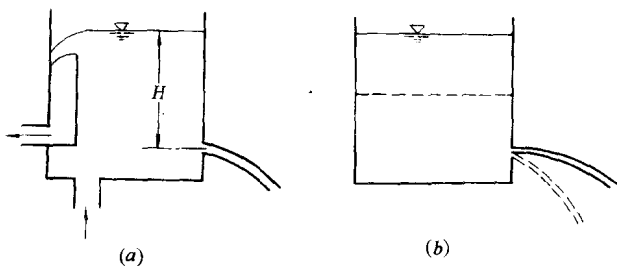


图 1.1-3 恒定流与非恒定流

(a) 恒定流; (b) 非恒定流

(三) 流线与迹线

1. 流线 流体运动时,在某一时刻流体中通过连续质点绘制的曲线,

它上面所有流体质点在该时刻的流速矢量都与这条曲线相切,这条曲线就称为该时刻的一条流线。如图 1.1-5 所示。

2. 迹线 流体运动时,流体中某一个质点在连续时间内的运动轨迹称为迹线。流线与迹线是两个完全不同的概念。非恒定流时流线与迹线不相重合,在恒定流时流线与迹线相重合。

(四) 均匀流与非均匀流

1. 均匀流 流体运动时,流线是平行直线的流动称为均匀流。如等截面长直管中的流

动属于均匀流。

2. 非均匀流 流体运动时,流线不是平行直线的流动称为非均匀流。如流体在收缩管扩大管或弯管中流动等。非均匀流又可分为:

(1) 渐变流 流体运动中流线接近于平行直线的流动称为渐变流。如图 1.1-4A 区。

(2) 急变流 流体运动中流线不能视为平行直线的流动称为急变流。如图 1.1-4B、C、D 区。

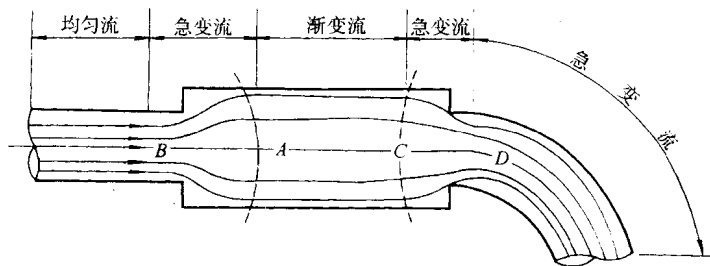


图 1.1-4 均匀流和非均匀流

(五) 元流与总流及流动模型

1. 元流 流体运动时,在流体中取一垂直于流速方向的微小面积 $d\omega$,并在 $d\omega$ 面积上各点引出流线而形成了一股由流线组成的流束称为元流,如图 1.1-5 所示。在元流内流体不会通过流线流到元流外面,在元流外面的流体亦不会通过流线流进元流中去。

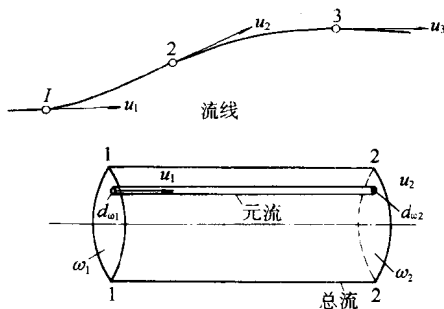


图 1.1-5 元流与总流

2. 总流 流体运动时,无数元流的总和称为总流。

3. 流动模型 在研究流体运动基本规律中所取总流代表实际流体,并且忽略其粘滞性以及在一定条件下不计流体压缩性和热胀性称为不可压缩性流体,或计及压缩性和热胀性称为可压缩性流体。理论上称这些流体为流动模型。

1.1.3 一元流体恒定流的连续性方程

恒定流连续性方程是流体运动的基本方程之一,应用极为广泛。

在恒定总流中任取一元流,如图 1.1-5 所示,元流在 1-1 过流断面上的面积为 $d\omega_1$,流速为 u_1 ;在 2-2 过流断面上的面积为 $d\omega_2$,流速为 u_2 。并考虑到:

- (1) 由于流动是恒定流,元流形状及空间各点的流速不随时间变化。
- (2) 流体是连续介质。
- (3) 流体不能从元流侧壁流入或流出。

因此,应用质量守恒定律,流进 $d\omega_1$ 断面的质量必然等于流出 $d\omega_2$ 断面的质量。令流进流体密度为 ρ_1 ,流出的密度为 ρ_2 ,则在 dt 时间内流进与流出的质量相等:

$$\rho_1 u_1 d\omega_1 dt = \rho_2 u_2 d\omega_2 dt$$

或

$$\rho_1 u_1 d\omega_1 = \rho_2 u_2 d\omega_2$$

推广到总流,得

$$\int_{\omega_1} \rho_1 u_1 d\omega_1 = \int_{\omega_2} \rho_2 u_2 d\omega_2$$

由于过流断面上质量密度 ρ 为常数, 以 $\int_{\omega} u d\omega = Q$ 代入上式, 得:

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 \quad (1.1-11)$$

或

$$\rho_1 \omega_1 v_1 = \rho_2 \omega_2 v_2 \quad (1.1-11a)$$

式中 ρ ——质量密度;

ω ——总流过流断面面积;

v ——总流的断面平均流速;

Q ——总流的流量。

式(1.1-11)与(1.1-11a)为总流连续性方程式的普遍形式——质量流量的连续性方程式。

由于 $\gamma = \rho g$, 同一地区重力加速度 g 又相同, 故得过流断面 1-1、2-2 总流的重量流量为:

$$\gamma_1 Q_1 = \gamma_2 Q_2 \quad (1.1-12)$$

或

$$\gamma_1 \omega_1 v_1 = \gamma_2 \omega_2 v_2 \quad (1.1-12a)$$

或

$$G_1 = G_2 \quad (1.1-12b)$$

式中 γ ——重力密度;

G ——重量流量。

(1.1-12)、(1.1-12a)、(1.1-12b)三式系总流重量流量的连续性方程式。

当流体不可压缩时, 流体的重力密度 γ 不变, 上式为:

$$Q_1 = Q_2 \quad (1.1-13)$$

或

$$v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 \quad (1.1-13a)$$

或(1.1-13)与(1.1-13a)系不可压缩流体的总流连续性方程——体积流量的连续性方程式。

若在工程上遇到可压缩流体, 可用总流重量流量的连续性方程式或质量流量的连续性方程式。即公式(1.1-12)或(1.1-11)。

1.1.4 一元流恒定总流能量方程

能量守恒及其转化规律是物质运动的一个普遍规律。应用此规律来分析流体运动, 可以揭示流体在运动中压强、流速等运动要素随空间位置的变化关系——能量方程式。从而为解决许多工程技术计算奠定了基础。

(一) 恒定总流实际液体的能量方程

1738 年瑞士科学家达·伯努里(Daniel Bernoulli)根据功能原理建立了不考虑粘性作用、理想液体、运动参数仅沿一个方向变化的一元理想液体的能量方程式, 然后, 考虑液体的粘性影响, 推演出 1-1 和 2-2 断面间实际液体恒定总流的能量方程, 亦即伯努里方程式。如式(1.1-14)所示:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{w_{1-2}} \quad (1.1-14)$$

根据图 1.1-6 对式中各项的意义解释如下:

z_1, z_2 ——过流断面 1-1、2-2 上单位重量液体位能, 也称位置水头;

