

高等学校试用教材

建筑设备工程

(第二版)

太原工业大学 高明远 主编
华南工学院 杜一民

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

建筑设备工程

(第二版)

太原工业大学 高明远 主编
华南工学院 杜一民

中国建筑工业出版社

第二版前言

本书经第一版试用，凡有不足和错误之处，均尽量做了充实和改正。试用期间全国许多读者提出的宝贵意见和建议，在修订过程中也均做了认真的考虑。这次修订仍按72学时编写。

本书修订稿第一章由吴锡福编写、曲富林协助主编参与了本章再修订工作；第二章由王效承编写；第三章、第四章（不包括§4-6）由车月璋编写；第五章（不包括§5-7）由曹铸鏊编写；第六章由荆元福编写；第七章（不包括§7-5）由高明远编写；第八章、第九章由刘克昇编写；第十、十一、十二、十三章由谷晋龙编写。第四章中§4-6、第五章中§5-7、第七章中§7-5由王增长编写。全书由高明远、杜一民负责主编。本书主审为重庆建筑工程学院孙慧修、任振良，参加审查的还有何体中、李盛和、刘永志等同志。

由于编者水平所限，希望读者对本书继续给予指正。

编者

1988年6月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 室内给排水

第一章 流体力学基本知识	3
§ 1-1 流体的主要物理性质	3
§ 1-2 流体静压强及其分布规律	6
§ 1-3 流体运动的基本知识	9
§ 1-4 流动阻力和水头损失	16
§ 1-5 孔口、管嘴出流及气体射流简介	24
第二章 室外给排水工程概述	28
§ 2-1 室外给水工程概述	28
§ 2-2 室外排水工程概述	32
§ 2-3 城市给排水工程规划概要	37
第三章 管材、器材及卫生器具	41
§ 3-1 管材和水表	41
§ 3-2 卫生器具及冲洗设备	43
第四章 室内给水	50
§ 4-1 给水系统和给水方式	50
§ 4-2 水泵和水箱	54
§ 4-3 给水管网的布置和敷设	58
§ 4-4 室内用水与设计秒流量	61
§ 4-5 管网水力计算简介	65
§ 4-6 高层建筑室内给水系统特点	66
第五章 室内排水	75
§ 5-1 室内排水系统的分类和污水排放条件	75
§ 5-2 室内排水系统的组成	76
§ 5-3 室内排水管网的布置和敷设	78
§ 5-4 庭院排水系统	80
§ 5-5 室内排水管道的计算	81
§ 5-6 屋面雨水排放	86
§ 5-7 高层建筑室内排水系统特点	93
第六章 供暖	96
§ 6-1 供暖系统及其分类	96

§ 6-2	热负荷	104
§ 6-3	集中供暖系统的散热器	107
§ 6-4	供暖管网的布置和敷设	110
§ 6-5	高层建筑供暖特点	114
§ 6-6	热源	115
第七章	热水及煤气供应	123
§ 7-1	室内热水供应系统及图式	123
§ 7-2	室内热水管网布置及敷设	128
§ 7-3	室内热水管网计算简述	129
§ 7-4	开水供应	129
§ 7-5	高层建筑热水供应系统的特点	132
§ 7-6	煤气供应	133
第八章	通风	140
§ 8-1	建筑通风概述	140
§ 8-2	全面通风量的确定	144
§ 8-3	自然通风	147
§ 8-4	通风系统的主要设备和构件	154
§ 8-5	局部排风	161
第九章	空气调节	163
§ 9-1	空气调节概述	163
§ 9-2	空气处理和消声减振	164
§ 9-3	空调房间	174
§ 9-4	空调冷源及制冷机房	179
§ 9-5	常用的几种空调系统简介	186

第三篇 建筑电气

第十章	建筑电气的基本系统	196
§ 10-1	建筑电气的基本作用	196
§ 10-2	建筑电气系统的种类	198
§ 10-3	建筑与建筑电气的关系	217
第十一章	供配电系统	219
§ 11-1	用电负荷的计算	219
§ 11-2	电气设备的选择	223
§ 11-3	配电盘、柜和变配电室	236
第十二章	电气照明	243
§ 12-1	照明的基本知识	243
§ 12-2	电光源和灯具	248
§ 12-3	人工照明标准和照明设计	260
§ 12-4	照明供配电系统和电照平面图	267
第十三章	安全用电与建筑防雷	270
§ 13-1	安全电压	270
§ 13-2	保护接地与保护接零	270

§ 13-3 建筑防雷	272
附录	278
附录 I-1 国际单位制与工程单位制对照表	278
附录 I-2 生活饮用水水质标准	279
附录 I-3 居住区生活用水量标准	280
附录 I-4 钢管和铸铁管水力计算表	281
附录 I-5 建筑物分类	282
附录 I-6 室内排水管道水力计算表 ($n = 0.013$)	282
附录 I-7 单斗系统雨水悬吊管、立管及引出管允许集水面积 (m^2)	284
附录 I-8 雨水埋地水平干管允许集水面积 (m^2)	285
附录 II-1 室外气象参数	286
附录 II-2 民用及工业辅助建筑的冬季室温要求	287
附录 II-3 生产车间的冬季室温要求	287
附录 II-4 允许温差 Δt , 值 ($^{\circ}C$)	287
附录 II-5(a) 民用建筑的单位面积供暖热指标	287
附录 II-5(b) 北京地区建筑物单位体积供暖热指标	288
附录 II-6 散热器的技术数据	288
附录 II-7 散热器安装方式的修正系数 β_1	288
附录 II-8 每个人的散热量 q (W) 和散湿量 w (g/h)	289
附录 II-9 电气照明散热量	289
附录 II-10 车间空气中有害物质的最高容许浓度 (摘自 T J 36-79)	289
附录 II-11 居住及公共建筑的换气次数	290
附录 II-12 进、排风窗的局部阻力系数 ζ	290

绪 论

由于工农业生产的发展和人民物质文化生活水平的提高,近代房屋建筑为了满足生产上的需要,以及提供卫生而舒适的生活和工作环境,要求在建筑物内设置完善的给水、排水、热水、供暖、通风、空气调节、煤气、供电等设备系统,构成了建筑设备工程丰富的内容。这些设备系统设置在建筑物内,必然要求与建筑、结构及生产工艺设备等相互协调。为此,只有综合进行设计和施工,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。因此,建筑设备工程是房屋建筑不可缺少的组成部分,在建筑中占着非常重要的地位。

如何合理地综合进行建筑设备工程的设计,保证建筑物的使用质量,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。因此,对于《建筑学》专业以及建筑类其它专业来说,《建筑设备工程》课程是十分重要的。

当前,我国在建筑设备科学技术领域,从科学研究到生产制造,从工程设计到安装施工,已经拥有一支专门的队伍。随着我国大型工业企业的不断建立,城镇各类建筑的陆续兴建,人民生活居住条件的逐步改善,基本建设工业化施工的迅速发展,建筑设备工程技术水平正在不断提高。同时,由于近代科学技术的发展,各门学科是互相渗透和互相影响的。建筑设备技术也不例外,它受到多门学科发展的影响而日新月异。例如,太阳能利用技术的成就,促进了建筑物供暖、热水供应等新技术的发展;塑料工业的迅速发展,改变着建筑设备的面貌;电子技术和自动控制在建筑设备系统中的多方面使用,取得了更加节约和安全的效果;建筑工业化的施工,迅速改变着建筑安装现场手工操作的方式。

现代建筑设备工程技术的发展,有几个方面值得我们认真研究和采用:

一、新材料、新品种的快速发展,在建筑设备中引起了许多技术改革。例如,各种聚复合材料由于具有重量轻、耐腐蚀、电气性能好等优点,在建筑设备工程中举凡不受高温高压的各种管材、配件、给水器材、卫生器具、配电器材等,国外都大量采用塑料制品代替各种金属材料;又如钢和铝的新品种和新规格轧材的应用,使许多设备的使用期限大大延长。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和施工费用。

二、新型设备的不断出现,使建筑设备工程向着更加节约和高效发展。例如,变速电动机和低扬程小流量特性的水泵新产品,使供水和热水供暖系统运行得到合理的改善;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水锤消除器,有效地减少了管道的噪声。这方面总的趋向是,各种设备朝着体积小、重量轻、噪声低、效率高、整体式的方向发展。

三、新能源的利用和电子技术的应用,使建筑设备工程技术不断更新。各种系统由于集中控制、自动化而提高了效率,节约了费用,创造了更好的卫生环境,为建筑设备工程

技术的发展开辟了广阔的领域。例如国外开始采用的被动式太阳能采暖及降温装置,为暖通空调技术提供了新型冷源和热源;使用程序控制装置调节建筑物通风空调系统,使建筑物通风量随气象参数自动调节,保证了室内卫生舒适条件;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热能;利用电子控制设备或敏感器件,可以控制卫生设备的冲洗次数,达到节约水量的效果;又如电气照明光源(如氙灯、卤化物灯等)的发展,使灯的亮度、光色及使用寿命不断改善和提高。

四、建筑工业化施工技术的发展,促进了预制设备系统的应用,大大加快了施工速度,获得了良好的经济效果。当前国外较先进的预制设备系统是盒子卫生间和盒子厨房,将浴室、厕所以及厨房等建筑构件及其中的设备和管道在工厂中预制好,再运到建筑现场一次装配完工。

《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的关系的能力,从而作出适用、经济的建筑设计,并掌握一般建筑的水电设计的原则和方法。此外,在领会本学科基本原理的基础上,应当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。

为了尽快实现四个现代化,把我国迅速建设成为具有中国特色的社会主义国家,必须认真总结我国的经验,掌握世界上的先进水平,把建筑设备工程技术提高到一个新水平。

第一篇 室内给排水

第一章 流体力学基本知识

物质通常所见到的有固体、液体和气体。而流体是液体和气体的统称。流体力学就是研究流体平衡和运动的力学规律及其应用的科学。

§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。

下面讨论介绍流体的主要物理性质。

一、密度和容重

流体和固体一样，也具有质量和重量，工程上分别用密度 ρ 和容重 γ 表示。

对于均质流体，单位体积的质量，称为流体的密度，即

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

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， $g = 9.807 \text{m/s}^2$ 。

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°C 时其 $\rho = 1000 \text{kg/m}^3$ 、 $\gamma = 9.807 \text{kN/m}^3$ 。水银在标准大气压和 0°C 时，密度和容重是水的 13.6 倍。干空气在温度为 20°C 、压强为 760mmHg 时的密度和容重分别为 $\rho_a = 1.2 \text{kg/m}^3$ ； $\gamma_a = 11.80 \text{N/m}^3$ 。

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

① 国际单位制与工程单位制对照表见附录 I-1。

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。

如图1-1所示，取流速方向的座标为 u ，垂直接速方向的座标为 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 ，沿垂直接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。

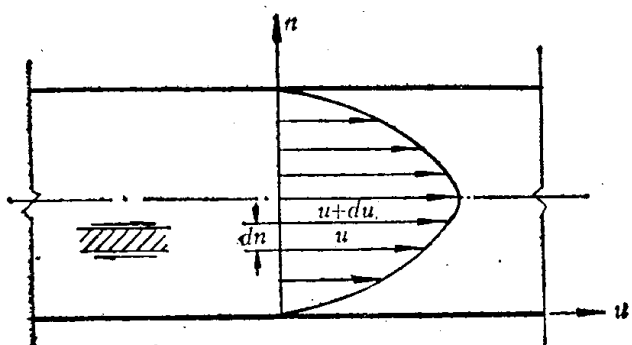


图 1-1 管道中断面流速分布

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

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

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，称为动力粘滞性系数， $kg/m \cdot s$ ，或称帕·秒(Pa·s)；

$\frac{du}{dn}$ ——流速梯度。表示速度沿垂直于速度方向的变化率， $1/s$ 。

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，常用运动粘滞性系数 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ ，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及1-2所示。

流体的粘滞性对流体运动有很大的影响，因为内摩擦阻力作负功，不断损耗运动流体

水的粘性系数

表 1-1

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

一个大气压下空气的粘性系数

表 1-2

t (°C)	$\mu \times 10^{-3}$ (Pa·s)	$\nu \times 10^{-6}$ (m ² /s)	t (°C)	$\mu \times 10^{-3}$ (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	23.6
30	0.0187	16.6	150	0.0239	29.6
40	0.0192	17.6	200	0.0259	25.8
50	0.0196	18.6	250	0.0280	42.8
60	0.0201	19.6	300	0.0298	49.9

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。

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，称为流体的热胀性。

液体的压缩性和热胀性都很小。例如，水从一个大气压增加到一百个大气压时，每增加一个大气压，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可以把液体的压缩性和热胀性忽略不计。因为它在计算结果上所带来的误差是很小的。例如，在建筑设备工程中，管中输液除水击和热水循环系统外，一般计算均不考虑液体的压缩性和热胀性。

气体与液体则不同，具有显著的压缩性和热胀性。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/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。

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。

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，这种气体称为不可压缩气体。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50m/s时，密度变化为1%，也可以当作不可压缩气体对待）， ρ 不能视为常数，这种气体称为可压缩气体。

综合上述流体的各项主要物理性质，从建筑设备工程中水、气流体，其流速在大多情况下均较低，因而密度在流动过程中变化不大，密度可视为常数，一般将这种水、气流体，可以认为是一种易于流动的、具有粘滞性的和不可压缩的流体。

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复杂运动的研究，而且能运用数学的连续函数的工具，分析流体在外力作用下的机械运动。

§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。

一、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 的作用力加上，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：

$$p_{cp} = \frac{\Delta p}{\Delta\omega} \text{ N/m}^2 \quad (1-6)$$

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

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta p}{\Delta\omega} \text{ N/m}^2 \quad (1-7)$$

这个极限值 p 称为 a 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/米²)，以 Pa 表示。1 Pa = 1 N/m² 又把 10⁵ Pa 称为 1 巴 (bar)。

流体静压强有两个特征：

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. 任意点的流体静压只有一个值，它不因作用面的方位改变而改变。

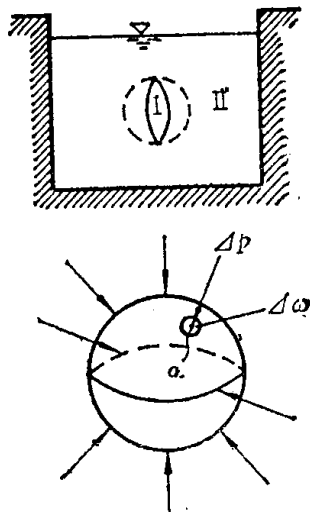


图 1-2 流体的静压强

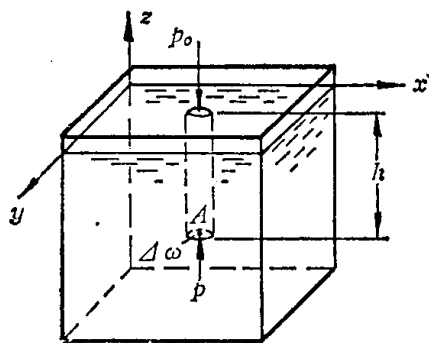


图 1-3 静止液体中压强分布

二、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（图中未绘出）；柱体侧面积的静水压力，方向与轴向垂直（图中未绘出），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：

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

化简后得：

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-8)$$

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(1-8)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 表示。

由上所述，相对压强与绝对压强的关系为：

$$p = p_A - p_0 \quad (1-9)$$

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（即压力表读数）；负值称负压，这时流体处于真空状态，通常用真空度（或真空压强）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

$$p_K = p_0 - p_A = -p \quad (1-10)$$

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 $p_K = p_0 = 98 \text{kN/m}^2$ ，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 $p_K = 98 - 40 = 58 \text{kN/m}^2$ ，

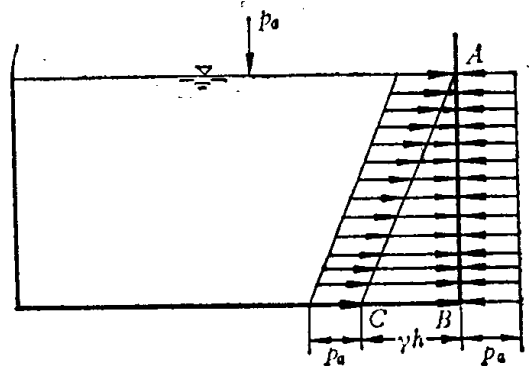


图 1-4 水池壁相对压强分布图

从关系式(1-9)、(1-10)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,水池任一受压壁面 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:

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

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

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,兹简单介绍如下:

1. 液柱测压计

测压管:这是一种最简单的液柱测压计,如图1-5所示。 A 点的静压强 p 用水柱高度 h 表示。如果被测点的压强值较大,则水柱将会很高,观测不便。可以在测压管中充以容重大的液体,例如水银测压计,见图1-6。

在测量微小的压强时,为了提高测量精度,常采用倾斜微压计。

当测量两种容器的压强仅比较其大小,而不必获得某容器的压力值时,可采用比压计。

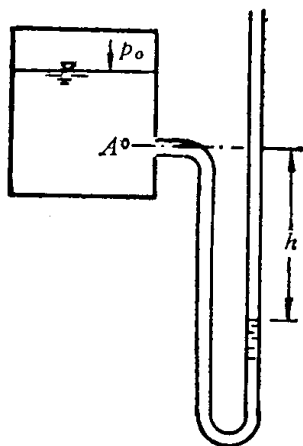


图 1-5 测压管

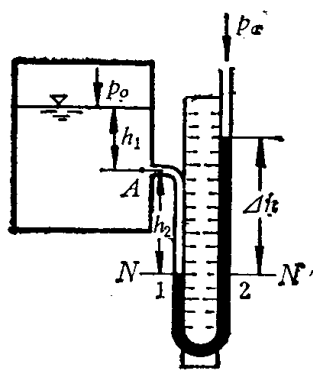


图 1-6 水银测压计

图1-7表示一种常用的测量流体的流量计,叫文丘里流量计,它装置在管路中,是一段管径先收缩后扩大的短管,将流量计收缩前的 A 点和收缩喉部的 B 点分别与水银比压计的两端连通。当管中水从 A 向 B 通过时,因 A 、 B 两点的压强不等,在水银比压计上将出现某一水银柱高差 Δh 。以 $N-N$ 为等压面,则:

$$p_A = \gamma h_1 = p_B + \gamma h_2 + \gamma_{Hg} \Delta h$$

$$\text{故 } \frac{p_A - p_B}{\gamma} = \left(\frac{\gamma_{Hg}}{\gamma} - 1 \right) \Delta h = 12.6 \Delta h \quad (1-11)$$

流量的进一步计算，将在后面介绍。

2. 金属压力表、真空表

液柱测压计常在实验室使用，它的优点是准确度高，缺点是量测值小，体积大。压力表与此相反，压力表的种类很多，常用的为弹簧压力表，构造如图1-8所示。表内有一根下端开口上端封闭的镰刀形青铜管，开口端与测点相接，封闭端外有细链条与齿轮连接。测压时，青铜管在流体压力作用下发生伸张，从而牵动齿轮旋转，齿轮上的指针便把压强的大小在表盘上指示出来。压力表的单位目前一般用工程单位制(kgf/cm²)表示。

真空表是用来测量真空度的仪表，亦可分为液体的和金属的两种，其构造作用原理与上述各测压计基本相同。

真空表常装在离心泵吸水管上，表盘读数单位常用0~760mmHg表示。

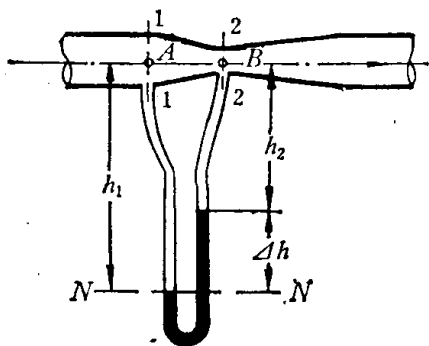


图 1-7 文丘里流量计

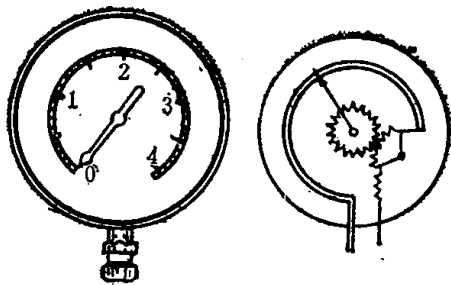


图 1-8 弹簧压力表

§1-3 流体运动的基本知识

一、流体运动的基本概念

(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、水带热体，风道中气体，给水中液体输送等是压力流。

2. 无压流：液体在重力作用下流动时，液体的部分周界与固体壁相接触，部分周界与气体相接触，形成自由表面。如天然河流、明渠流等一般都是无压流动。

(二) 恒定流与非恒定流

1. 恒定流：流体运动时，流体中任一位置的压强、流速等运动要素不随时间变化的流动称为恒定流动。如图1-9(a)所示。

2. 非恒定流：流体运动时，流体中任一位置的运动要素如压强、流速等随时间变化而变动的流动称为非恒定流。如图1-9(b)所示。

自然界中都是非恒定流，工程中取为恒定流。

(三) 流线与迹线

1. 流线：流体运动时，在流速场中画出某时刻的这样的一条空间曲线，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。

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。

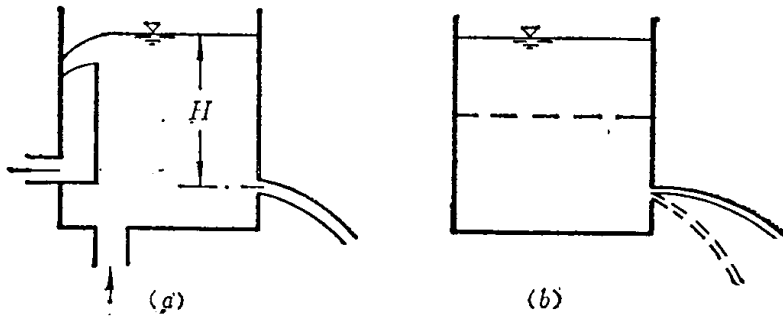


图 1-9 恒定与非恒定流动

(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。

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。它又可分为：

(1) 渐变流：流体运动中流线接近于平行线的流动称为渐变流。如图1-11A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1-11B、C、D区。

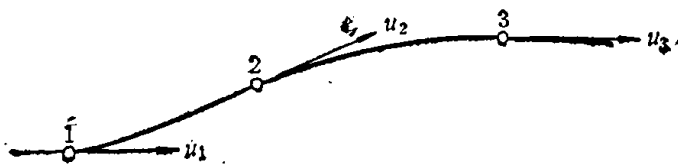


图 1-10 流线

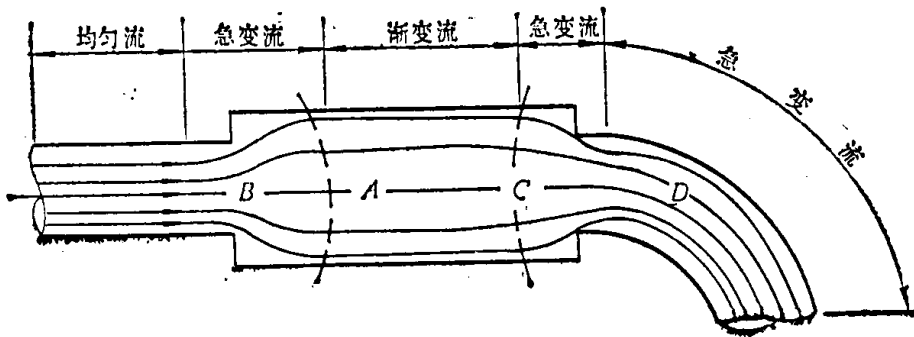


图 1-11 均匀流和非均匀流

(五) 元流、总流、过流断面、流量与断面平均流速：

1. 元流：流体运动时，在流体中取一微小面积 $d\omega$ ，并在 $d\omega$ 面积上各点引出流线并形

成了一股流束称为元流，见图1-12。在元流内的流体不会流到元流外面；在元流外面的流体亦不会流进元流中去。由于 $d\omega$ 很小，可以认为 $d\omega$ 上各点的运动要素（压强与流速）相等。

2. 总流：流体运动时，无数元流的总和称为总流。如图1-12。

3. 过流断面：流体运动时，与元流或总流全部流线正交的横断面称为过流断面。用 $d\omega$ 或 ω 表示，单位为 m^2 或 cm^2 。均匀流的过流断面为平面，渐变流的过流断面可视为平面；非均匀流的过流断面为曲面。见图1-13。

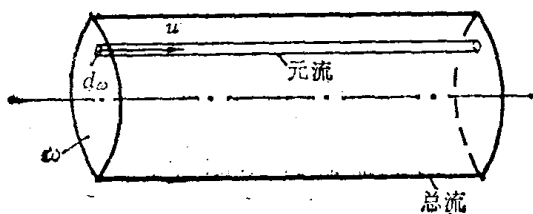


图 1-12 元流与总流

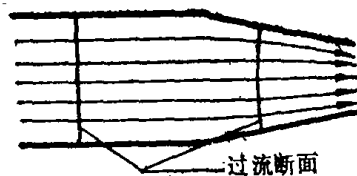


图 1-13 流线与过流断面

4. 流量：流体运动时，单位时间内通过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 。一般流量指的是体积流量，但有时亦引用重量流量与质量流量，它们分别表示单位时间内通过过流断面的流体重量与质量。重量流量的单位为 N/s 。质量流量的单位为 kg/s 。

5. 断面平均流速：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（ v ）简化流动。如图1-14所示。断面平均流速为断面上各点流速的平均值。因此，过流断面面积乘断面平均流速 v 所得到的流量，等于实际流速通过该断面的流量。即

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

显然，断面平均流速计算式为

$$v = \frac{\int u d\omega}{\omega} = \frac{Q}{\omega} \quad (1-12)$$

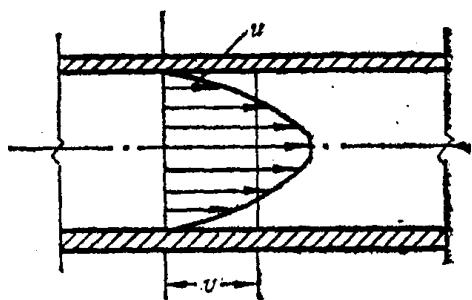


图 1-14 断面流速

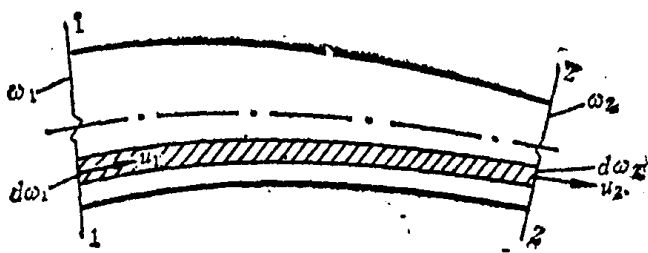


图 1-15 恒定总流段

公式(1-12)表达了流量、过流断面和平均流速三者之间的关系。

二、恒定流的连续性方程式

恒定流连续性方程是流体运动的基本方程之一，它的形式虽然简单，但是应用极为广