



建筑设备工程

(第三版)

万建武 主编

中国建筑工业出版社

建筑设备工程

(第三版)

万建武 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑设备工程/万建武主编. —3版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2019. 1
ISBN 978-7-112-23186-7

I. ①建… II. ①万… III. ①建筑设备 IV. ①TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 302997 号

本书系统地介绍了现代建筑物中的给水排水、供暖、通风、空调、燃气供应、建筑照明、火灾自动报警、建筑防雷、人防、消防等系统和设备的工作原理, 国内外在建筑设备技术方面的最新发展, 以及在建筑中的设置和应用情况。本书是高等院校中的建筑学、室内环境设计、建筑工程、城镇建设、房地产经营与管理、建筑管理工程等专业《建筑设备工程》课程的教科书, 也可供从事建筑设计、施工、工程监理、室内装修、物业管理等方面工作的工程技术人员参考。

* * *

责任编辑: 刘瑞霞 武晓涛

责任校对: 王 瑞

建筑设备工程

(第三版)

万建武 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20½ 字数: 496 千字

2019年2月第三版 2019年2月第三十一次印刷

定价: 49.00 元

ISBN 978-7-112-23186-7

(33234)

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)

第三版前言

此次修订保留了第二版的特色，根据近年来在建筑设备技术中的一些发展进行了修改。同时，由于近年来国家对建筑设备工程技术中的给水排水、暖通空调、建筑电气、消防、火灾自动报警等方面的设计规范进行了一些修改或发布了新规范，此次修订也就第二版中一些与现行规范不相符的内容进行了修改，以使读者对建筑设备技术有关的政策和法规变化情况有所了解，在所从事的与建筑设备技术有关的工程技术工作中自觉地执行。

本书由广州大学、中山大学编写。参加编写工作的人员有：万建武（主编，并编写第二章1~5节、第五~七章），梁栋（第一章）、赵矿美（第二章6~8节，第三章，第四章7节）、裴清清（第四章1~6节）和游秀华（第八~十一章）。本书第一~七章由万建武审校，第八~十一章由游秀华审校，全书由万建武统稿。

本书在编写过程中参阅了许多文献和国家发布的最新规范，并列于书末，以便读者进一步查阅有关的资料，同时在此对各参考文献的作者以及在本书第一和第二版中参加编写的周孝清教授、丁云飞教授和杨旭高级工程师表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2018年10月

目 录

第一章 流体力学基础	1
第一节 流体的主要物理性质	1
第二节 流体静压强及其分布	5
第三节 流体运动基本规律	8
第四节 流动阻力和水头损失	15
复习思考题	23
第二章 室内给水	25
第一节 室内给水系统的分类与组成	25
第二节 室内生活给水系统的供水方式	26
第三节 室内消防给水	31
第四节 给水系统的水泵、水池和水箱	47
第五节 室内热水供应系统	53
第六节 室内给水系统的管材和管道附件	59
第七节 室内给水系统的管路布置与敷设	66
第八节 室内给水系统的水力计算	70
复习思考题	75
第三章 室内排水	76
第一节 室内排水系统的分类与组成	76
第二节 室内排水系统的管材、卫生设备及局部污水处理设备	80
第三节 室内排水系统的管路布置与敷设	86
第四节 室内排水系统的水力计算	87
第五节 屋面雨水排放	91
复习思考题	96
第四章 室内供暖与燃气供应	97
第一节 传热原理与换热器	97
第二节 供暖系统的分类与组成	104
第三节 热水供暖	105
第四节 蒸汽供暖	116
第五节 供暖系统热负荷与散热设备	121
第六节 热源	125
第七节 燃气供应	131
复习思考题	142

第五章 建筑通风	143
第一节 建筑通风的任务与分类	143
第二节 自然通风	143
第三节 机械通风	150
第四节 地下建筑的通风和防排烟	157
复习思考题	165
第六章 民用建筑的防火排烟	166
第一节 民用建筑的分类	166
第二节 防火分区和防烟分区	166
第三节 民用建筑的自然排烟	168
第四节 民用建筑的机械防烟	177
第五节 民用建筑的机械排烟	180
复习思考题	183
第七章 空气调节	185
第一节 空调系统的组成和分类	185
第二节 空调系统的冷源	186
第三节 空气调节系统	190
第四节 空调系统的设计指标	196
第五节 空气处理设备	198
第六节 空调水系统	204
第七节 空调房间的气流组织	210
第八节 空调系统的布置与节能	218
第九节 空调系统的消声减振	224
复习思考题	234
第八章 建筑供配电	235
第一节 建筑供配电系统的组成与基本形式	235
第二节 电力系统电压和电能质量	236
第三节 负荷分级及计算	239
第四节 变配电所	247
第五节 导线选择与敷设	254
第六节 低压配电线路保护与保护电器选择	258
第七节 供配电系统节能	260
复习思考题	261
第九章 建筑照明	262
第一节 照明基本知识	262
第二节 照明光源与灯具	264
第三节 灯具布置	270
第四节 照度的计算	272

第五节 照明方式与种类	276
第六节 照明配电与照明控制	278
第七节 照明节能	282
复习思考题	284
第十章 火灾自动报警系统	285
第一节 概述	285
第二节 触发器件	286
第三节 火灾自动报警系统	293
第四节 消防控制室	297
第五节 其他火灾自动报警系统	298
复习思考题	301
第十一章 安全用电与建筑防雷	302
第一节 安全用电	302
第二节 建筑防雷	306
第三节 接地装置	311
复习思考题	312
附录	313
参考文献	319

第一章 流体力学基础

流体包括液体和气体。流体力学是力学的一个分支，研究流体处于平衡和运动状态时的力学规律和在工程中的应用。

流体力学按介质可分为两类，液体力学（水力学）和气体力学。虽然水力学的主要研究对象是液体，但是，当气体的流速和压力不大，密度变化不多，压缩性的影响可以忽略不计时，液体的各种规律对于气体也是适用的。

流体力学在建筑工程中有广泛的应用。给水、排水、供热、供燃气、通风和空气调节等工程设计、计算和分析都是以流体力学作为理论基础的，因此，必须了解和掌握流体力学的基本知识。

第一节 流体的主要物理性质

为了研究流体的力学规律，首先应掌握流体的主要物理性质。流体与固体不同，它的特性是易于流动，任何微小的剪切力都能使静止流体发生很大的变形，因此流体不能有一定的形状，而只能随时被限定为其所在容器的形状。在分析流体静止和运动时，通常把流体看作是无空隙、充满一定空间的连续介质，因此所有参数都是空间坐标的连续函数。

一、流体的密度和重度

均质流体各点的密度相同，单位体积的流体所具有的质量称为密度，用 ρ 表示 (kg/m^3)。

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

式中 M ——流体的质量 (kg)；

V ——流体的体积 (m^3)。

同理，单位体积流体的重量（力）称为重度。用 γ 表示 (N/m^3)。

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

式中 G ——流体的重量（力）(N)。

根据牛顿第二定律 $G=mg$ ，流体的重度和密度有如下的关系：

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

式中 g 为重量加速度，通常取 $g=9.807\text{m}/\text{s}^2$ ，或取为 $9.81\text{m}/\text{s}^2$ 。

在建筑设备工程中，涉及的流体主要是水、空气和燃气，其密度和重度如表 1-1 所示。

几种常见物质的容重和密度

表 1-1

物 质	重 度 (N/m ³)	密 度 (kg/m ³)	备 注
干 空 气	12.68	1.293	0℃及 1 个大气压
水	9800	1000	4℃及 1 个大气压
汞	13370	13600	20℃及 1 个大气压

二、流体的压缩性和热膨胀性

当流体所受的压力增大时，其体积缩小，密度增大，这种性质称为流体的压缩性。流体压缩性的大小，一般用压缩系数 β (Pa⁻¹) 来表示。压缩系数是指单位压强所引起的体积相对变化量：

$$\beta = -\frac{1}{V_0} \frac{dV}{dP} \quad (1-4)$$

式中 V_0 ——受压缩前的流体体积 (m³)；

V ——流体体积 (m³)；

P ——流体的压强 (Pa)；

式中等号右边的负号，表示 dV 与 dP 的变化相反。

假定压强由 P_0 变化到 P ，体积由 V_0 变化到 V ，由式 (1-4) 可得出流体密度随压强变化：

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - \beta(P - P_0)} \quad (1-5)$$

流体因温度升高使原有的体积增大，密度减小的性质称为流体的热膨胀性。热膨胀性的大小用热膨胀系数 α (1/K 或 1/℃) 来表示，热膨胀系数是指单位温度所引起的体积相对变化量，即

$$\alpha = \frac{1}{V_0} \frac{dV}{dT} \quad (1-6)$$

式中 V_0 ——初温度 t_0 时的流体体积 (m³)；

t ——温度 (K)。

假定温度由 t_0 升高到 t ，体积由 V_0 膨胀到 V ，由式 (1-6) 也可得出流体密度随温度变化：

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \alpha(t - t_0)} \quad (1-7)$$

液体分子之间的间隙小，在很大的外力作用下，其体积只有极微小的变形，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 1/2000。水的温度在 10~20℃ 时，温度每增加 1℃，水的密度减小 1.5/10000。当水的温度在 90~100℃ 时，温度每增加 1℃，水的密度减小 7/10000。可见水的压缩性和热膨胀性是很小的，一般计算时可看成是不可压缩流体。在建筑设备工程中，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膨胀性。

从流体的分子结构来看，气体分子之间的间隙大，分子之间的引力很小，气体的体积随压强和温度的变化是非常明显的，故称为可压缩流体，若在一定容器内气体的质量不变，则两个稳定状态之间的参数关系，可由理想气体状态方程确定：

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (1-8)$$

式中 P_1 、 V_1 和 T_1 分别为气体状态变化前的压强、体积和绝对温度； P_2 、 V_2 和 T_2 分别为其变化后的相应值。但气体在流动过程中，若流速不大（不超过 $70\sim 100\text{m/s}$ ），压强不超过 $9.8\times 10^3\text{Pa}$ ，可以看作是**不可压缩流体**，例如空气在同一温差较小的空间内的流动，和在通风管道内的流动，因其密度变化很小，可看作是**不可压缩流体**。但在不同空间流动的空气，例如室内外，由于存在温差，空气的密度会有所不同，会因密度不同产生空气的自然流动，即自然通风。干空气的密度 ρ 按如下公式计算：

$$\rho = 0.003484 \frac{P}{273.15 + t} \quad (1-9)$$

式中 P ——空气压强 (Pa)；
 t ——空气温度 (°C)。

三、黏性

一切实际流体都是有黏性的，流体的黏性是在流动中呈现出来的。流体由静止到开始流动，是一个流体内部产生剪切力，形成剪切变形，以使静止状态受到破坏的过程。

黏性是流体阻止其发生剪切变形的一种特性。当相邻的流体层有相对移动时，各层之间因具有黏性而产生摩擦力。摩擦力使流体摩擦而生热，流体的机械能部分地转化为热能而损失掉。所以，运动流体的机械能总是沿程减少的。

为了说明流体的黏性，先观察流体在管中的流动。当流体在管中缓慢流动时，紧贴管壁的流体质点黏附在管壁上，因而流速为零。相反，位于管轴心线上的流体质点流速最大。介乎其间的流体质点（或流体层）各具有不同的流速，将它们的流速矢量顶点连接起来，即成为流速分布曲线，如图 1-1 所示。

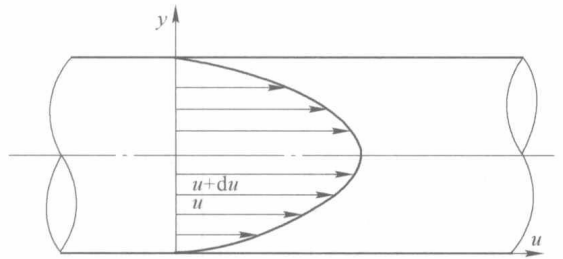


图 1-1 流体的黏性作用

实验证明，内摩擦力的大小与两层之间的速度差 du 及流层接触面积 S 的大小成正比，与流层间的距离 dy 成反比。牛顿在总结实验的基础上，提出了流体内摩擦力假说——牛顿内摩擦定律。若令 τ 表示单位面积上的内摩擦力 (Pa)，可写为：

$$\tau = \frac{F}{S} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-10)$$

式中 F ——内摩擦力 (N)；
 S ——摩擦流层的接触面积 (m^2)；
 μ ——流体动力黏性系数 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)；

du/dy ——流速梯度，速度沿垂直于流速方向的变化率 (s^{-1})。

式中的动力黏性系数 μ 表示流体黏性的大小，它决定于流体的种类和温度，通常也称为黏度或动力黏度。流体黏性除用动力黏性系数 μ 表示外，还常运动黏性系数或运动黏度 ν 表示，单位 m^2/s 。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-11)$$

运动黏性系数更能说明流体流动的难易程度。运动黏度愈大，反映流体质点相互牵制的作用愈显著，则流动性愈小。现将水和空气的黏性系数列于表 1-2。

水和空气的黏性系数

表 1-2

水			空 气			水			空 气		
t (°C)	$\mu 10^{-3}$ (Pa·s)	$\nu 10^{-6}$ (m ² /s)	t (°C)	$\mu 10^{-3}$ (Pa·s)	$\nu 10^{-6}$ (m ² /s)	t (°C)	$\mu 10^{-3}$ (Pa·s)	$\nu 10^{-6}$ (m ² /s)	t (°C)	$\mu 10^{-3}$ (Pa·s)	$\nu 10^{-6}$ (m ² /s)
0	1.792	1.792	0	0.0172	13.7	30	0.801	0.804	60	0.0201	19.6
5	1.519	1.519	10	0.0178	14.7	50	0.549	0.556	80	0.0210	21.7
10	1.308	1.308	20	0.0183	15.7	70	0.406	0.415	100	0.0218	23.6
15	1.140	1.140	30	0.0187	16.6	90	0.317	0.328	140	0.0236	28.5
20	1.005	1.007	40	0.0192	17.6	100	0.284	0.296	180	0.0251	33.2

流体的黏度与压强的大小几乎无关，仅在高压系统中，流体的黏度稍有增加，因此，一般可不考虑压强对黏度的影响。流体的黏度随温度的变化较大。但温度对气体和液体的黏度有不同的影响。气体分子内聚力较小，而分子运动较剧烈，黏性主要取决于流层间分子的动量交换，所以，当温度升高时，气体分子运动加剧，其黏度增大。液体的情况则与此相反，其黏性决定于分子的内聚力，而当温度升高时，液体分子的内聚力减小，所以其黏度降低。

四、表面张力

液体表面，包括液体与其他流体或固体的接触表面，存在着一种力使液体表面积收缩为最小的力，称为表面张力。表面张力是由液体分子的内聚力引起的，表面张力并不发生在处于平衡状态的平面上，而是发生在曲面上，因在曲面上表面张力才产生附加压力以维持其平衡。液体表面的曲率越大，表面张力就越大。

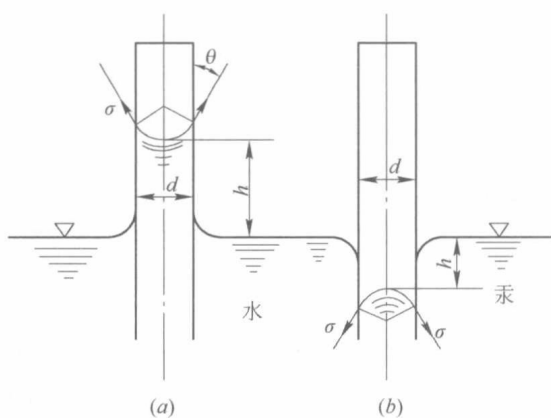


图 1-2 毛细管现象

由于表面张力的作用，如将细玻璃管竖立在液体中，液体就会在细管中上升或下降，称此为毛细管现象。在工程实际中，有时需要消除测量仪器中因毛细管现象使液面升降所造成的误差。能湿润管壁的液体，如水等，其误差是正的，而不能湿润管壁的液体，如水银（汞），其误差是负的，如图 1-2 (a)、(b) 所示。

五、作用于流体上的力

作用于流体上的力包括质量力和表面力两大类。

1. 质量力

质量力是指作用在流体每个质点上的力，其大小与流体的质量成正比。常见的质量力有重力和各种惯性力（如直线加速运动时的直线惯性力和圆周运动时的离心力等）。

2. 表面力

表面力是指作用在流体表面上的力，其大小与受力表面的面积成正比。它包括有表面切向力（摩擦力）和法向力（压力）。它可以是周围流体对所考虑流体作用的摩擦力和压力，也可以是固体壁面对流体作用而产生的摩擦力和压力。流体处于静止状态时，不存在黏性力引起的内摩擦力（切向力为零），表面力只有法向压力。对于理想流体，无论是静止或处于运动状态，都不存在内摩擦力，表面力只有法向压力。

第二节 流体静压强及其分布

流体静止时各质点间没有相对运动，因此流体的黏性表现不出来，流体只受重力和法向压力。

一、流体静压强及其特性

在静止或相对静止的流体中，单位面积上的内法向表面力称为静压强，如图 1-3 所示，在静水中取一表面积为 A 的水体，设周围水体对 A 表面上某一微小面积 ΔS 产生的作用力为 ΔP ，则该微小面积上的平均压强为

$$\bar{P} = \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (1-12)$$

当 ΔS 无限缩小到 a 点时，比值趋于某一极限值，该极限值为 a 点的静压强，以 P 表示：

$$P = \lim_{\Delta S \rightarrow a} \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (1-13)$$

流体静压强具有两个重要特性：

特性一：流体静压强永远垂直于作用面，并指向该作用面的内法线方向。

特性二：静止流体中任一点的静压强只有一个值，与作用面的方向无关，即任意点处各方向的静压强均相等。

二、流体静压强的分布

1. 分界面、自由表面和等压面

两种密度不同且互不混合液体之间的接触面为分界面；液面和气体的交界面称为自由表面；而流体中由压强相等的各点组成的面叫做等压面。静止流体在重力作用下，分界面和自由表面既是等压面，又是水平面，这一规律只适于满足同种、静止和连续三个条件的流体。例如图 1-4 中 1-1 面是等压面，而 4-4 不是等压面。又如敞口容器内静止液体中任一水平面均为等压面，液体的自由表面上所受的压强相同，为大气压强。此外，压强分布与容器形状无关。若在连通器内，相连通的同一种液体在同高度上的压强相等。相连通的液体可以是在此水平面之下或之上。

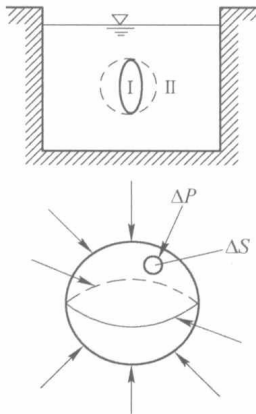


图 1-3 流体的静压强

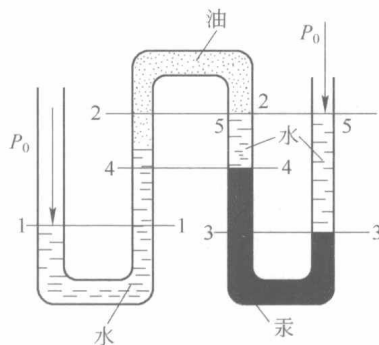


图 1-4 等压面与水平面

2. 静压强的分布规律

在静水中 h 深处以上取一段铅直液柱体，设液柱体上端为 z 坐标的 A 点，该点所受压

强为 P_A ；液柱体下端为 z 坐标的 B 点，此点所受压强为 P_B ；液体的重度为 γ ，液柱体高 h_{AB} ，如图 1-5 所示。在流体力学中，单位重量流体所具有的能量称为水头，通常把静止流体中某一点标高 Z 称为单位重量流体的位能，又称位置水头，把某一点的静压强与重度的比值 P/γ 称为单位重量流体的压力能，又称压力水头，两者之和为单位重量流体的势能，又称测压管水头。根据流体力学原理，重力作用下静止流体内部任一点的测压管水头均相等，即各测压管中的液面位于同一水平面上。A、B 两点的压强符合以下方程

$$Z_A + \frac{P_A}{\gamma} = Z_B + \frac{P_B}{\gamma} \quad (1-14a)$$

或可写成

$$P_A + Z_A\gamma = P_B + Z_B\gamma \quad (1-14b)$$

则有

$$P_B = P_A + \gamma(Z_A - Z_B) = P_A + \gamma h_{AB} \quad (1-15)$$

同理也可以得到

$$P_B = P_0 + \gamma h \quad (1-16)$$

式中 P_0 ——液面上的压强 (Pa)，大气压强。

式 (1-16) 是静水压强基本方程式，说明流体的静压强与深度成直线分布规律，且流体中某点静压由两部分组成，即液面上的压强 P_0 和由单位断面液柱自重引起的压强 γh 。式 (1-16) 还说明流体任一点的静压强都包含液面上的压强 P_0 ，因此，液面压强若有任何增量，都会使其内部各处的压强有同样的增量，即 $(P_B + \Delta P) = (P_0 + \Delta P) + \gamma h$ ，这称为液面压强等值地在液体内部传递的原理，即帕斯卡原理。方程也适用于静止气体，只是气体的重度很小，在高差不大的情况下可忽略 γh 项。图 1-6 为水池壁压强分布图。

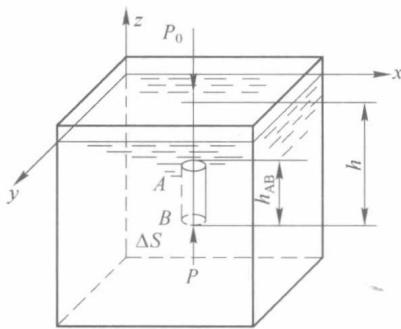


图 1-5 静止液体中的压强分布

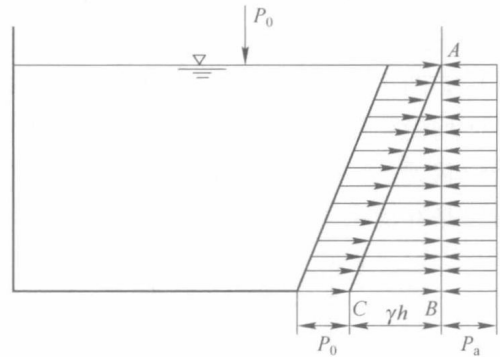


图 1-6 水池壁压强分布

三、压强的度和单位

流体静压强有两种表示方法：

(1) 绝对压强。以绝对真空为零算起的压强，用 P 表示。绝对压强永远是正值，某一点的绝对压强与大气压强比较时，可以大于大气压强，也可以小于大气压强。

(2) 相对压强。以当地大气压强 P_a 为零算起的压强，一般结构的压力表测量出的压强即为此压强，所以相对压强又称为表压强，用 p 表示。相对压强可以是正值，也可以是负值。当某点的绝对压强高于大气压强时，相对压强值为正，相对压强的正值称为正压（即压力表读数）；某点的绝对压强低于大气压强时，相对压强值为负，相对压强的负值称为负压。

相对压强与绝对压强之间的关系用下式表示

$$p = P - P_a \quad (1-17)$$

相对压强为负值时，流体处于低压状态，通常用真空度（或真空压强）来度量流体的真空程度。真空度的含义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

$$p_k = P_a - P \quad (1-18)$$

真空度实际上等于负的相对压强的绝对值，某点的真空度越大，说明它的绝对压强越小。真空度达到最大值时，绝对压强为零，处于完全真空状态；真空度的最小值为零，即绝对压强等于当地大气压强。

常用的压强单位有

1) 在国际单位制中，用单位面积的压力来表示，其单位为 Pa（帕）， $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$ ，有时又把 10^5Pa 称为 bar（巴），以往用工程大气压表示时， $1\text{工程大气压}=98066.5\text{Pa}$ 。

2) 过去在工程单位中，常用液柱高度表示，由于压强与液柱高度的关系为 $p=\gamma h$ ，则有 $h=p/\gamma$ ，根据所取不同流体的 γ 值，其单位为 mH_2O （米水柱）或 mmHg （毫米水银柱），各单位的关系为

$$1\text{标准大气压 (atm)}=760\text{mmHg}=10.33\text{mH}_2\text{O}=101325\text{Pa}$$

在工程中，压强也具有能量的含义。例如当压强以 Pa 为单位时，其含义是单位体积流体所具有的压能（ $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2=1\text{J}/\text{m}^3$ ），在通风、空调工程中常采用这一单位。过去在工程单位中当压强以 mH_2O 为单位时，其含义是单位质量流体所具有的压能（ $\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{kg}$ ），也称为水头，在给水排水工程中常采用这一单位。

四、压强的测量

建筑设备工程中常遇到流体静压强的量测问题，例如锅炉、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。

1. 液柱测压计

图 1-7 中的测压管是最简单的液柱测压计，A 点和 B 点的相对静压强 p 可用水柱高度 h_1 和 h_2 表示（下式中等式右边的负号表示容器内的相对压强为负压）。

$$p_B = P_B - P_a = -\gamma h_2 \quad (1-19)$$

$$p_A = P_A - P_a = -\gamma(h_1 + h_2) \quad (1-20)$$

如果被测点的压强值与大气压强的差值较大，则水柱将会很高，观测不便。可以在测压管中充以重度大的水银液体，做成水银测压计，如图 1-8 所示。

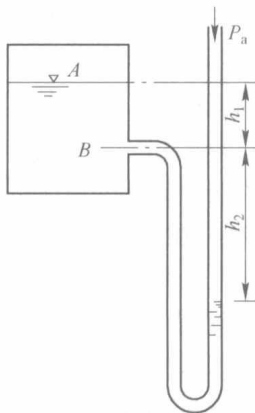


图 1-7 测压管

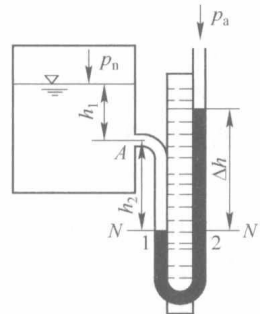


图 1-8 水银测压计

液柱测压计优点是准确度高，缺点是量测值小，体积大。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。

2. 压力表和真空表

测量较大压强或负压时，常采用压力表和真空表。

图 1-9 为常用的弹簧压力表，其构造是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。

真空表是用来测量真空度的仪表，亦可分为液体真空表和金属真空表两种，其构造和作用原理与上述各测压计基本相同。真空表常装在离心泵的吸水管上。

此外，大气压强可用水银气压计或空盒气压计等仪器进行测量。

[例 1-1] 如图 1-10 所示封闭水箱中，水深 $h=1.5\text{m}$ 的 A 点上安装一压力表，其中心距 A 点 $Z=0.5\text{m}$ ，压力表读数为 4.9kN/m^2 ，求水面相对压强 $p_0=?$

[解] 根据公式 $P_0 + \gamma(h-Z) = P_{\text{表}}$

则 $p_0 = 4.9 - 9.8 \times (1.5 - 0.5) = -4.9\text{kPa}$

所以水面相对压强 p_0 为 -4.9kPa 。

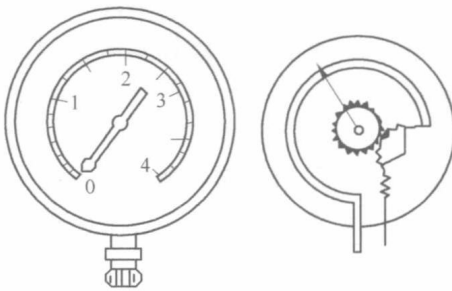


图 1-9 弹簧压力表

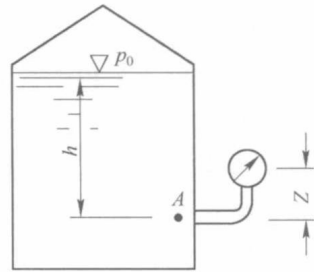


图 1-10 封闭水箱

第三节 流体运动基本规律

一、基本概念

1. 恒定流动和非恒定流动

根据流体质点流经流场中某一固定位置时，其运动参数是否随时间而变化这一条件，将流体运动形式分为恒定流动和非恒定流动两类。恒定流动是指流场中任一点的压强和流速等运动参数不随时间而变化的流动。例如，在定转速下离心式水泵吸水管中的液体流动和不变水位容器的管嘴出流均为恒定流动。非恒定流动是指任一点压强和流速等参数随时间而变化的流动。例如，往复式水泵的吸、排水管中的流动和变水位容器的管嘴出流均为非恒定流动。如图 1-11 所示。自然界都是非恒定流动，在一定条件下工程上取为恒定流动。

2. 压力流和无压流

压力流是流体在压差作用下流动时，流体整个周围都和固体壁面相接触，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，给水管中水的输送等都是压力流。

无压流是液体在重力作用下流动时，液体的部分周界与固体壁面相接触，部分周界与气体相接触，形成自由表面。如河流、明渠流和建筑排水横管中的水流等一般都是无压流动。

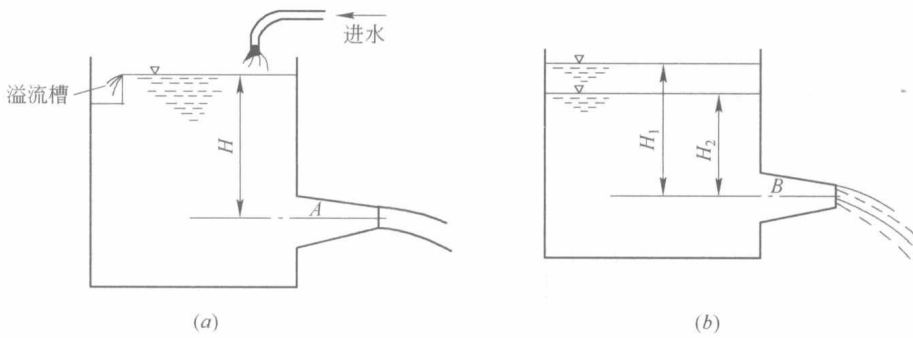


图 1-11 恒定与非恒定流动
(a) 恒定流动; (b) 非恒定流动

3. 流线和迹线

流线是流体运动时, 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, 流场中, 某一时刻有许多流线构成流线族, 可表现流场的流动状况。

迹线是流体运动时, 流体中某一个质点在连续时间内的运动轨迹, 它反映了流场中某一特定质点在不同时刻的运动轨迹。流线与迹线是两个完全不同的概念。非恒定流的流线与迹线不相重合, 恒定流的流线与迹线相重合。

4. 均匀流和非均匀流

均匀流是流体运动时流线是平行直线的流动。如等截面长直管中的流动。非均匀流是流体运动时流线不是平行直线的流动。如流体在收缩管、扩大管或弯管中的流动。非均匀流又可分为渐变流和急变流。渐变流是流体运动中流线接近于平行线的流动, 如图 1-12 中的 A 区; 急变流是流体运动中流线不能视为平行直线的流动, 如图 1-12 中的 B、C 和 D 区。

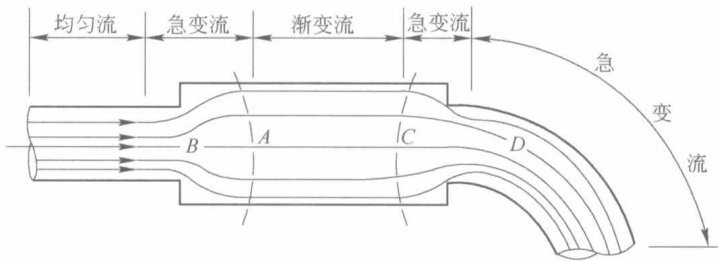


图 1-12 均匀流和非均匀流

5. 元流和总流

元流是流体运动时, 在流体中取一微小面积 dS , 并在 dS 面积上各点引出流线并形成的一股流束, 在元流内的流体不会流到元流外面; 在元流外面的流体也不会流进元流内。由于 dS 很小, 可以认为 dS 上各点的压强、流速等运动要素相等。如图 1-13 所示。总流是流体运动时无数元流的总和。

6. 过流断面、流量和断面平均流速

过流断面是流体运动时, 与元流或总流全部流线正交的横断面, 用 dS 或 S 表示。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 1-14。研究表明，均匀流和渐变流的过流断面上的压强符合静压强分布。

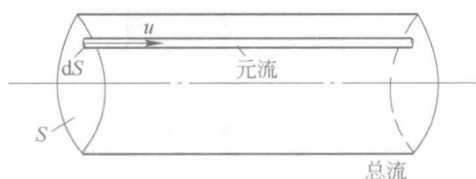


图 1-13 元流与总流

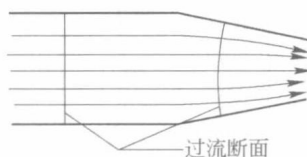


图 1-14 流线与过流断面

流量是流体运动时单位时间内通过过流断面的流体的多少。流量通常用体积流量和质量流量来表示。体积流量是指单位时间内通过过流断面流体的体积，一般流量指的是体积流量。质量流量（或重量流量）是指单位时间内通过过流断面的流体质量（或重量）。流体流动时，断面各点流速一般不同，在工程中经常使用断面平均流速，即断面上各点流速的平均值。

$$v = \frac{1}{S} \int_S u dS \quad (1-21)$$

式中 v ——过流断面上的平均流速 (m/s)；

S ——过流断面积 (m^2)；

u ——过流断面微小面积 dS 的流速 (m/s)，见图 1-15。

这样，通过过流断面的流量就等于过流断面面积乘断面平均流速，即

$$Q = vS = \int_S u dS \quad (1-22)$$

式中 Q ——过流断面上的体积流量 (m^3/s)。

那么，通过过流断面的质量流量和重量流量分别为

$$Q_p = \rho Q \quad (1-23)$$

$$Q_\gamma = \gamma Q \quad (1-24)$$

式中 Q_p ——过流断面上的质量流量 (kg/s)；

Q_γ ——过流断面上的重量流量 (N/s)。

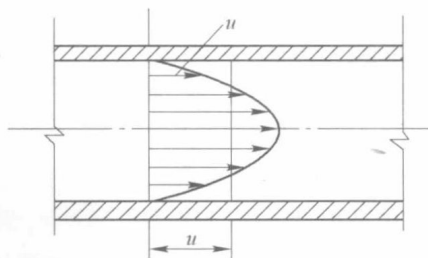


图 1-15 断面流速

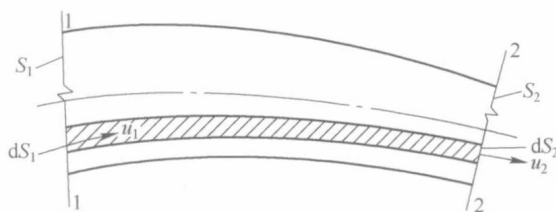


图 1-16 恒定总流段

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，它的形式简单但是应用广泛。

在恒定总流中取一元流，元流在 1-1 过流断面上的面积为 dS_1 ，流速为 u_1 ；在 2-2 过流断面上的面积为 dS_2 ，流速为 u_2 。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，流体为连续介质且不能从元流的侧壁流入或流出。则按照质量守恒原理，流体流进断面 dS_1 质量必然等于流出 dS_2 断面的质量，令流体流进 dS_1 的密度为 ρ_1 ，流出 dS_2 的密度为 ρ_2 ，则在 dt 时间内流进与流出元流的质量相等，即