

建筑设备工程

(第二版)

万建武 主编

中国建筑工业出版社

建筑设备工程

（第二版）

王德文 主编

中国电力出版社

TU8/35

2007

建 筑 设 备 工 程

(第二版)

万建武 主编

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑设备工程/万建武主编. —2 版. —北京: 中国
建筑工业出版社, 2007

ISBN 978-7-112-09492-9

I. 建… II. 万… III. 房屋建筑设备 IV. TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 111426 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、煤气供应、室内照明、火灾自动报警、建筑防雷、电话电视、安全防范、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: 咸大庆 刘瑞霞

责任设计: 赵明霞

责任校对: 关 健 孟 楠

建筑设备工程

(第二版)

万建武 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24 $\frac{3}{4}$ 字数: 596 千字

2007 年 9 月第二版 2007 年 9 月第十三次印刷

印数: 29001—33000 册 定价: 38.00 元

ISBN 978-7-112-09492-9

(16156)

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)

第二版前言

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，以及从事建筑设计、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的参考书。自2000年10月出版以来，已被国内多家高校采用。此次修订是本着“拓宽专业面、加强基础、强化概念、实用与创新并重”的编写思想，力求具有以下特色：(1)教材内容体系完整。在第一版的基础上，增加了空调水系统、电话电视、安全防范等方面的内容，使读者对现代建筑中所涉及的各种主要设备和技术方面的知识有比较完整的了解；(2)反映了近年来建筑设备技术的发展。根据近年来建筑设备材料和技术的发展，删除了部分陈旧的内容，补充和改写了室内给水、空调水系统、室内燃气供应、建筑电气、建筑防雷等方面的内容；(3)政策性。教材内容反映了国家在建筑设备系统的设计、施工、运行管理等方面的政策和法规。将国家近年来新发布的一些规范内容恰当地融入相应的教学内容中，使读者在所从事的工程技术工作中自觉地执行与建筑设备技术有关的政策和法规；(4)便于读者学习和掌握。本书在编写体系的组织安排上注重了基础理论与工程应用的有机结合，以符合对事物循序渐进的认识规律，便于读者更好地理解 and 掌握有关的学习内容。

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、五、六、七、十章)，梁栋(第一章)、赵矿美(第三章，第四章第七节)、裴清清(第四章第一~六节)、杨旭(第八、九、十一、十二章)。本书第一至七章由万建武审校，第八至十二章由杨旭审校，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 2007年5月

第一版前言

现代建筑、特别是高层建筑的迅猛发展，对建筑物的使用功能和质量提出了越来越高的要求。使现代建筑中水、电、空调和消防等系统的设备日趋复杂，建筑设备投资在建筑总投资中的比重越来越大。因此，从事建筑类各专业工作的工程技术人员需要对现代建筑物中的给排水、热水、供暖、通风、空调、煤气供应、供配电、人防、消防等系统和设备的工作原理和功能，以及在建筑中的设置和应用情况有所了解，以便在建筑和结构设计、建筑施工、室内装修、房地产开发和建筑管理等工作中合理的配置和使用能源和资源，以作到既能完美的体现建筑物的设计和使用功能，又要尽量地减少能量的损耗和资源的浪费。

本书作为建筑类各专业的一门技术基础课，系统地介绍了现代建筑物中的给排水、供暖、通风、空调、煤气供应、室内照明、人防、消防、防排烟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，以及在建筑中的应用情况。

本书在编写体系的组织安排上注重了基础理论与工程应用的有机结合，以符合对事物循序渐进的认识规律，便于读者更好地理解 and 掌握有关的学习内容。书中各章都附有习题与复习思考题，可供读者复习巩固所学的主要内容。本书按 52 学时编写，各使用单位可根据自己的教学计划要求，有所侧重，以满足教学要求。

本书由万建武担任主编，并编写了第五、六、七、十章。参加编写工作的还有梁栋（第一章）、周孝清（第二章）、丁云飞（第三、十一章）、裴清清（第四章），和杨旭（第八、九章）。其中，第二、三章由陈方肃审校，第十、十一章由杨旭审校。

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 2000 年 3 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	24
第二章 室内给水	26
第一节 室内给水系统的分类与组成	26
第二节 室内生活给水系统的供水方式	27
第三节 室内消防给水	32
第四节 给水系统的水泵、水池和水箱	49
第五节 室内热水供应系统	55
第六节 室内给水系统的管材和管道附件	61
第七节 室内给水系统的管路布置与敷设	69
第八节 室内给水系统的水力计算	73
复习思考题	78
第三章 室内排水	80
第一节 室内排水系统的分类与组成	80
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	83
第三节 室内排水系统的管路布置与敷设	87
第四节 室内排水系统的水力计算	89
第五节 屋面雨水排放	93
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	106
第三节 热水供暖	107
第四节 蒸汽供暖	118
第五节 供暖系统热负荷与散热设备	123
第六节 热源	129
第七节 室内燃气供应	134
复习思考题	147

第五章 建筑通风	149
第一节 建筑通风的任务与分类	149
第二节 自然通风	149
第三节 机械通风	156
第四节 地下建筑的通风和防排烟	163
复习思考题	171
第六章 高层建筑的防火排烟	172
第一节 概述	172
第二节 防火分区和防烟分区	172
第三节 高层建筑的天然排烟	174
第四节 高层建筑的机械防烟	183
第五节 高层建筑的机械排烟	186
复习思考题	189
第七章 空气调节	190
第一节 空调系统的组成和分类	190
第二节 空调系统的冷源	191
第三节 空气调节系统	195
第四节 空调系统的设计指标	202
第五节 空气处理设备	203
第六节 空调水系统	209
第七节 空调房间的气流组织	216
第八节 空调系统的布置与节能	224
第九节 空调系统的消声减振	229
复习思考题	239
第八章 低压配电设备及导线的选择	241
第一节 建筑电气的基本作用与分类	241
第二节 电能的产生、输送和分配	241
第三节 负荷的分类及计算	244
第四节 配电系统的基本形式	251
第五节 电线、电缆的选择与敷设	252
第六节 低压配电线路保护及保护装置选择	259
复习思考题	265
第九章 室内照明	266
第一节 照明基本知识	266
第二节 照明光源与灯具	270
第三节 照度计算与灯具布置	290
第四节 室内照明设计	297
复习思考题	305

第十章 火灾自动报警系统 306

 第一节 概述 306

 第二节 触发器件 307

 第三节 火灾自动报警系统 317

 第四节 消防控制室 321

 复习思考题 324

第十一章 安全用电与建筑防雷 326

 第一节 安全用电技术 326

 第二节 建筑防雷 328

 复习思考题 337

第十二章 常见弱电系统 338

 第一节 电话通信系统 338

 第二节 广播音响与会议系统 346

 第三节 有线电视系统 353

 第四节 安全防范系统 360

 复习思考题 367

附录 368

参考文献 384

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	容 重 (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 $\beta(\text{Pa}^{-1})$ 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(m^3)；

V ——流体体积(m^3)；

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(1-4)式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 $\alpha(1/\text{K}$ 或 $1/^\circ\text{C})$ 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(m^3)；

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(1-6)式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很小，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 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ 时。温度每增加 1°C ，水的密度减小 $1.5/10000$ ，当水的温度在 $90 \sim 100^\circ\text{C}$ 时。温度每增加 1°C ，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($^{\circ}\text{C}$)。

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粘附在管壁上，因而流速为零。相反，位于管轴心线上的流体质点流速最大。在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。

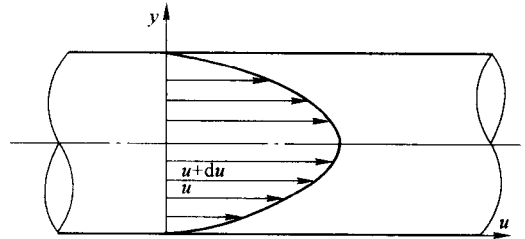


图 1-1 流体的黏性作用

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($\text{Pa} \cdot \text{s}$)；
 $\frac{du}{dy}$ —— 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)	μ $10^{-3}(\text{Pa} \cdot \text{s})$	ν $10^{-6}(\text{m}^2/\text{s})$	t (°C)	μ $10^{-3}(\text{Pa} \cdot \text{s})$	ν $10^{-6}(\text{m}^2/\text{s})$	t (°C)	μ $10^{-3}(\text{Pa} \cdot \text{s})$	ν $10^{-6}(\text{m}^2/\text{s})$	t (°C)	μ $10^{-3}(\text{Pa} \cdot \text{s})$	ν $10^{-6}(\text{m}^2/\text{s})$
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，包括液体与他种流体或固体的接触表面，存在着一种力图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。液体表面的曲率愈大，表面张力就愈大。

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。

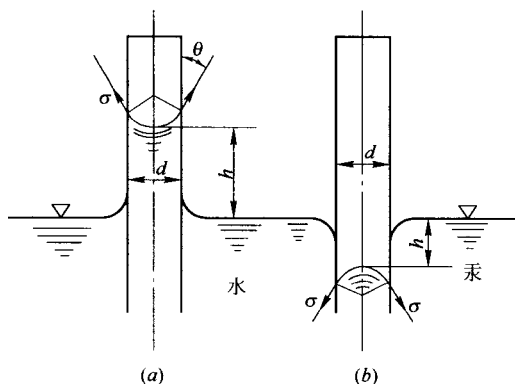


图 1-2 毛细管现象

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

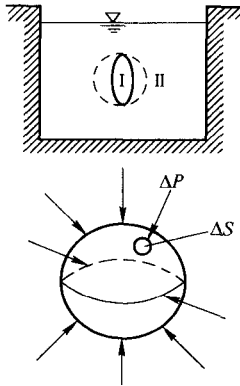


图 1-3 流体的静压强

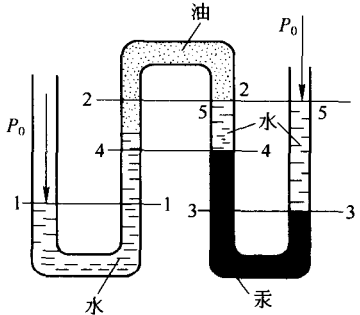


图 1-4 等压面与水平面

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。

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 ；液体的容重为 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容重的比值 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，大气压强， P_a 。

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)还说明流体内部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，只是气体的容重很小，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。

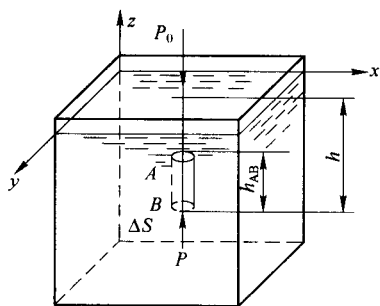


图 1-5 静止液体中的压强分布

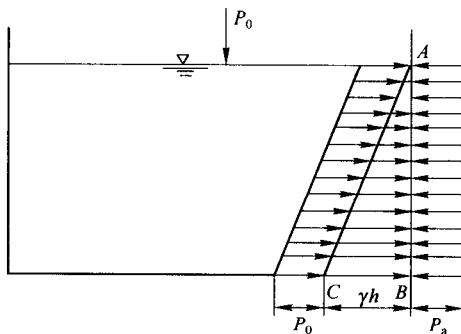


图 1-6 水池壁压强分布

三、压强的度量和单位

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, 某点的真空度愈大, 说明它的绝对压强愈小。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容重大的水银液体, 做成水银测压计, 见图 1-8 所示。

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。

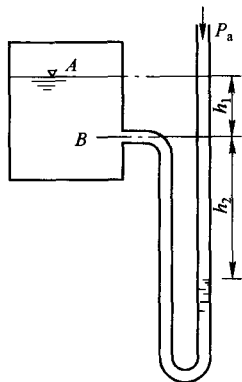


图 1-7 测压管

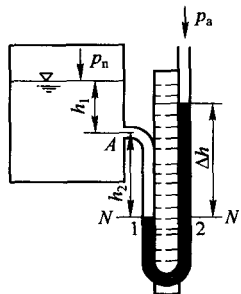


图 1-8 水银测压计

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，亦可分为液体的和金属的两种，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。

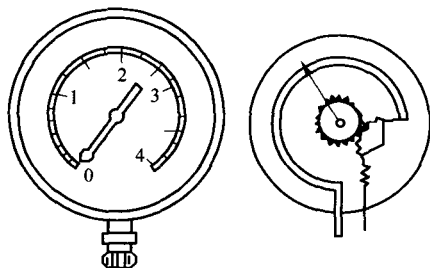


图 1-9 弹簧压力表

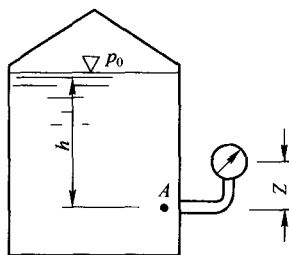


图 1-10 封闭水箱

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

答：水面相对压强 p_0 为 -4.9kPa 。

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