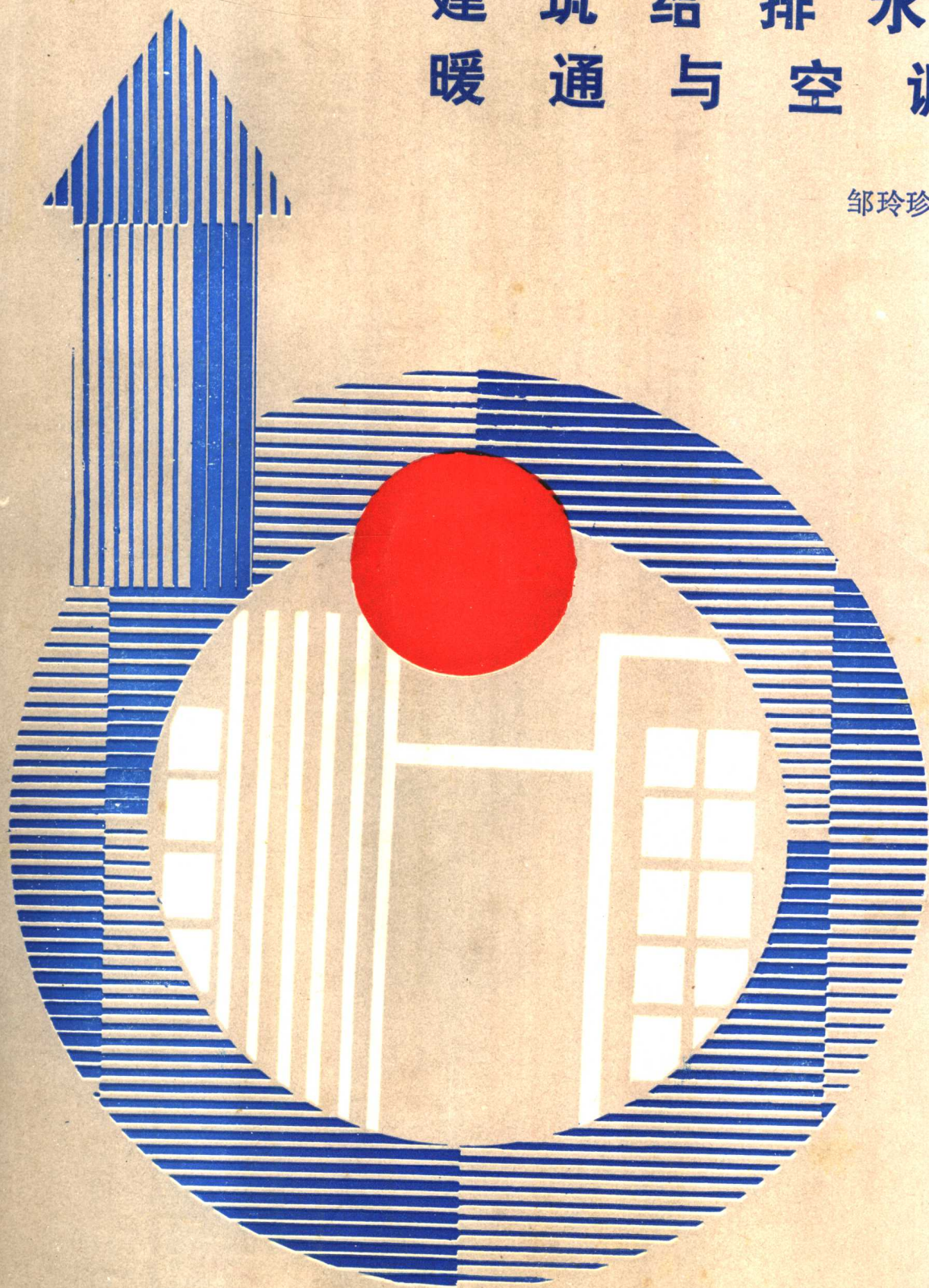


建筑给排水、 暖通与空调

邹玲珍



华中理工大学出版社

建筑给排水、暖通与空调

邹玲珍



华中理工大学出版社

内 容 提 要

本书根据教学改革、专业拓宽的形势与需要，系统地、有机地论述了建筑物内部各种设备以及建筑小区给水与排水的功能、作用、设计原理、计算方法、安装管理。内容包括流体力学与热工学基础、建筑给水与排水、建筑消防、采暖通风、空气调节、热水供应、水景设计和建筑小区的给水排水规划设计等。书中有设计实例，必要的设计图表，使用起来很方便。本书文字简明扼要，通俗易懂。

本书可作为城市建设与规划管理、建筑学、城市规划、工业与民用建筑、风景园林和给水排水等专业的专业基础课教材或教学参考书，也可作为从事上述各项专业工作的工程技术人员、管理人员的参考书。

建筑给排水、暖通与空调

邹 玲 珍

责任编辑 张光辉

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社印刷厂印刷

升本：787×1092 1/16 印张：14.5 字数：338 000

1989年12月第1版 1989年12月第1次印刷

印数：1—4200

ISBN 7-5609-0462-9/TU·6

定价：2.90元

前 言

《建筑给排水、暖通与空调》根据教学改革、专业拓宽的需要，系统地、全面地论述了建筑物内部及建筑小区的各种设备的功能、作用、规划设计原理、计算方法、安装与管理。内容包括流体力学与热工学基础、建筑给水与排水、水景设计、建筑消防、热水供应、采暖通风与空调以及小区给水与排水工程，共三篇十章。文字简明扼要，由浅入深，有设计实例，并附有必要的设计图表，使用方便，便于自学。

本书可作为城市建设管理、建筑学、城市规划、工业与民用建筑、风景园林与给排水专业的教学用书，也可作为从事上述各专业工作的技术人员、管理人员的参考书。

本书第一、二章请杨振玉审校，第三~八章请马世华及章北平审校，第九、十章请江世焕审校，全书请金儒霖审校。编写中参考了兄弟院校的有关教材，在此表示深切感谢。

由于作者水平有限，经验不多，有不妥之处，殷切期望读者批评指正。

邹玲珍

1989年于武汉

目 录

第一篇 流体力学与热工学基础

第一章 流体力学基础	(1)
第一节 流体的基本概念	(1)
第二节 流体静力学	(3)
第三节 流体动力学	(6)
第四节 流动阻力和水头损失	(10)
第五节 孔口、管嘴出流	(12)
第二章 热工学基础	(15)
第一节 热工学的基本知识	(15)
第二节 水蒸汽的性质	(21)

第二篇 建筑给水与排水

第三章 小区给水、排水工程	(23)
第一节 室外给水工程	(23)
第二节 室外排水工程	(37)
第三节 污水局部处理构筑物	(44)
第四节 中水道开发利用	(52)
第四章 室内给水	(55)
第一节 管材、附件、水表及节水节能措施	(55)
第二节 室内给水系统及图式	(62)
第三节 局部升压设备	(67)
第四节 室内给水管道的布置、敷设及防护	(73)
第五节 室内给水管网计算	(76)
第五章 室内排水	(83)
第一节 卫生器具及冲洗设备	(83)
第二节 室内排水系统的分类及组成	(95)
第三节 室内排水管道的布置和敷设	(96)
第四节 排水管材及管配件	(101)
第五节 新型排水系统	(102)
第六节 室内排水管网计算	(104)
第七节 屋面排水	(108)
第六章 水景设计	(112)
第一节 水景的作用、形式和设计原则	(112)
第二节 喷头的形式	(114)
第三节 喷头的水力计算	(115)
第四节 水盘设计与计算	(118)
第五节 跌水计算	(121)

第六节 水景的给排水系统设计	(122)
第七章 建筑消防	(125)
第一节 消防设计及分类	(125)
第二节 室内消火栓系统	(126)
第三节 自动喷洒和水幕消防系统	(131)
第四节 卤代烷灭火系统	(132)
第八章 室内热水供应	(142)
第一节 室内热水供应系统	(142)
第二节 室内热水管网布置与敷设	(146)
第三节 热量计算	(147)
第四节 加热设备和锅炉选择	(152)
第五节 室内热水管网计算	(159)
第六节 室内饮水供应	(162)
第七节 公共浴室设计	(165)

第三篇 采暖、通风与空调

第九章 采暖	(168)
第一节 建筑物耗热量的计算	(168)
第二节 散热器	(174)
第三节 热水采暖	(178)
第四节 蒸汽采暖	(184)
第五节 室内采暖管道的安装	(188)
第六节 其他采暖系统	(190)
第十章 通风与空调	(192)
第一节 建筑通风概述	(192)
第二节 全面通风量的确定	(195)
第三节 通风系统的主要设备和构件	(197)
第四节 局部排风	(203)
第五节 空调	(204)
附录二	(222)
附录一	(223)

第一篇 流体力学与热工学基础

第一章 流体力学基础

流体力学是研究流体运动基本规律的科学，它是建筑设备中有关水、气工程的理论基础。室内给排水、供热、通风及空气调节等工程技术，都必须掌握液体与气体运动的力学规律。

第一节 流体的基本概念

常见物质的形态有固体、液体和气体。流体是液体和气体的统称。流体的主要物理性质有：

1. 流体的密度和容重

流体与其他各种自然物体一样，具有质量和重量。

单位体积的均质流体所具有的质量，称为该流体的密度，以符号 ρ 表示，即：

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

式中， ρ 为流体的密度 (kg/m^3)， M 为流体的质量 (kg)， V 为流体的体积 (m^3)。

单位体积的均质流体所具有的重量，称为流体的容重。以符号 γ 表示，即：

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

式中， γ 为流体的容重 (N/m^3)， G 为流体的重量 (N)。

密度 ρ 和容重 γ 虽然定义不同，但彼此之间存在着密切关系。根据牛顿第二定律得知：重量是质量和重力加速度的乘积，即： $G = M \cdot g$ 。此式两端同除以体积 V ，则：

$$\frac{G}{V} = \frac{M \cdot g}{V}$$

由此得出液体密度与容重有如下关系：

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

式中， g 为重力加速度 ($9.81\text{m}/\text{s}^2$)。

在工程计算中，一般以容重 γ 来度量流体。但因流体的密度和容重易受外界条件（压力、温度等）的影响，故在应用流体的密度或容重时，必须注明该流体所处的条件。在常温下水的容重变化可以不考虑。

在 1 个大气压下 4°C 水的容重 $\gamma_{*} = 9810\text{N}/\text{m}^3$ 。

在 1 个大气压下 0°C 水银的容重 $\gamma_{\text{汞}} = 133375\text{N}/\text{m}^3$ 。

2. 流体的压缩性和膨胀性

流体的压缩性是指流体在外界压力增大时体积缩小的性质。

流体的膨胀性是指流体在外界温度升高时，体积膨胀的性质。

根据实测，液体的压缩性很小，膨胀性也很小。例如：当压力从 9.81N/cm^2 增至 981N/cm^2 时，水的体积相对缩小值为 0.48% ；从 4°C 加热到 50°C 时，其体积仅增加约 1% 。

在一般工程中(如给水排水工程)，液体的温度和压力变化幅度很少超过上述范围，因而，在工程计算中，液体体积的变化可以忽略不计。故认为液体是不可压缩的，不膨胀的，其密度和容重也可看作常量。对于水，工程中取 $\gamma = 9810\text{N/m}^3$ ， $\rho = 1000\text{kg/m}^3$ 。

气体与液体不同，具有显著的压缩性和热膨胀性。在温度不过低，压强不过高时，容重、密度和温度三者之间的关系可用理想气体状态方程表示：

$$\frac{P}{\rho} = R \cdot T \quad (1-4)$$

式中， P 为气体的绝对压强(N/m^2)； ρ 为气体的密度(kg/m^3)； T 为气体的绝对温度(K)； R 为气体的常数($\text{N}\cdot\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$)，空气的 $R = 287$ ，其他气体的 $R = \frac{83.4}{M}$ ， M 为该气体的分子量。

流动着的气体，当流速较低($\leq 50\text{m/s}$)时，其压强、温度和容重的变化都很小。在一般工程技术上，容重可视为常数。这种情况下的气体可称为不可压缩气体。但当流速接近或超过音速时，压强和温度在流动过程中变化较大。

建筑设备水、气工程中所接触到的流体，其流速大多数较低，都可认为是一种易于流动的、有粘滞性的和不易压缩的连续介质。

3. 流体的粘滞性

可以观测到河流表面各点的流速大小不一，河流中心水流最快，愈靠河岸水流愈慢，而紧贴河岸处的几乎不流动。人工管流也如此，即管轴心的流速最大，紧靠管壁的水层的流速几乎等于零。管内垂直于水流的横断面上的流速分布，如图 1-1 所示。这种自然现象，是液体具有粘滞性的结果。

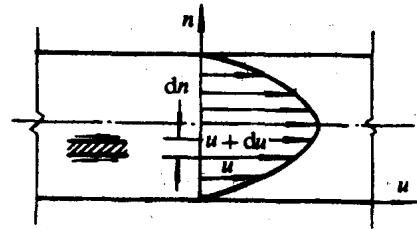


图1-1 管道中断面流速分布

流体粘滞性对流体运动有很大的影响。由于流体粘滞性的存在，导致流体运动时内部各质点间的摩擦，使运动的流体不断消耗能量。所以流体的粘滞性是流体运动时产生机械能量损失的根源。这是工程水力计算中必须考虑的一个重要问题。

液体的运动粘滞性以动力粘度 μ 和运动粘度 ν 来度量，其值与液体的性质和温度有关。表 1-1 列出 μ 和 ν 随温度变化的情况。

表1-1 动力粘度和运动粘度

粘 度	温度/ $^\circ\text{C}$					
	0	5	10	15	20	30
$\mu/\text{kg}\cdot\text{s}^2\cdot\text{m}^{-2}$	0.000182	0.0001597	0.0001312	0.0001162	0.0001030	0.0000818
$\nu/\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$	0.0178	0.0152	0.0131	0.0114	0.0101	0.0081

第二节 流体静力学

流体静力学专门研究流体静止(静态平衡)时的力学规律。由于静止流体内部各质点间的相对速度为零,不显示粘滞性,不存在切向应力,同时流体也不能承受拉力,因此,流体静力学研究的中心是流体静压强的分布规律。

一、作用在液体上的力

作用在液体上的力可分为两大类,即质量力(或体积力)和表面力。

1. 质量力(或体积力)

作用在液体的每个质点上,其大小与液体所具有的质量成正比。如液体的重量(或重力) $G = M \cdot g$ 等。

2. 表面力

作用于液体表面上的力,其大小与液体的表面积成正比。表面力还可分为:①垂直于表面的力,如液体表面所受的大气压力、活塞传给液体的压力;②平行于表面的力,如液体运动时与固体边界相互作用产生的切向力。

对于静止液体,表面力只有垂直于表面的力。

二、静水压强

静水总压力:作用在整个物体面上的静水压力 P ,称静水总压力。

静水压强:作用在单位面积上的静水压力 p 称为静水压强。

若以 ω 表示受压物体的面积,作用于该面上的静水总压力为 P ,则该面上每单位面积所受的静水压力为:

$$p_0 = \frac{P}{\omega} \quad (1-5)$$

p_0 称为平均静水压强。

如图1-2,在静止液体中有一点 C ,取一包含 C 点的微小面积 $\Delta\omega$,假定作用在这个微小面积上的总压力为 ΔP ,则单位面积上的压力为: $\frac{\Delta P}{\Delta\omega}$,当 $\Delta\omega$ 无限缩小到一点, $\frac{\Delta P}{\Delta\omega}$ 便趋向于极限值 p ,即:

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta\omega} \quad (1-6)$$

p 值称为 C 点的静水压强,也称点压力。

平均静水压强反映了作用面上各点压强的平均值。而点压力则准确地反映出作用面上各点处的压强。

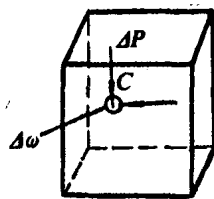


图1-2 流体的静压强

三、静水压强的特性

静水压强具有两个重要特性。

1. 静水压强的方向与作用面垂直,并指向作用面。

在静止液体中有一受压面 CB (如图1-3),若静水压强 p 作用在 A 点,那么其方向必定垂直并指向作用面。假定说, A 点的静水压强为不垂直于 CB 面的 p_n ,则可以分解为垂直分力 P 和切向应力 τ 。由于液体具有易流动和不能抵抗切向力作用的性质,在切向力 τ 的作用下,势必使 A 点处的液体发

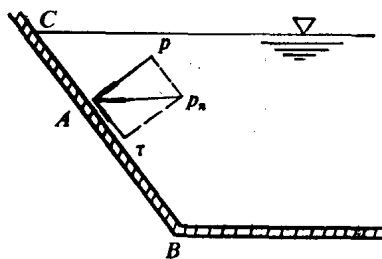


图1-3 流体静压强特性之一

生流动。但这不符合液体静止的前提条件，由此，切向分力 τ 不可能存在，即 $\tau = 0$ 。当 $\tau = 0$ 时， p_n 与 p 重合，所以作用在 A 点的静水压强，只能是垂直于 CB 面的 p 。

由于液体不能抵抗拉力的作用，故静水压强只能是指向作用面的压力，而不可能是拉力。

2. 静止液体中任一点的静水压强，在各个方向其值相等，并与受压面的方位无关。

在静止液体中有一点 A ，取含 A 点的微小方块作为隔离体，则周围液体对它的静水压强可作为外力考虑，如图 1-4。

这些作用在小方块六个面上的静水压强，分别为 p_1 、 p_2 、 \dots 、 p_6 。由于所取方块极小，故其重量可以略去不计。

首先，作用在小方块上三个方向对应的三组静水压强应相等，即 $p_1 = p_2$ 、 $p_3 = p_4$ 、 $p_5 = p_6$ ，如果有一组不等，小方块必然要发生移动。

其次，作用在六个面上的六个压强也必须恒等，即 $p_1 = p_2 = \dots = p_6$ ，否则，由于液体的不可压缩性和易流动性，这个小六面体必然沿较大压强的方向被压扁，即要发生变形。移动和变形都不符合液体静止这个前提条件，所以是不可能产生的。因此静止液体中任意一点 A 的压强，不管来自什么方向都相等。

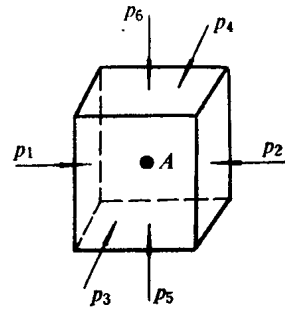


图 1-4 流体静压强特性之二

四、静水力学基本方程式

现在进一步分析静水压强在静止水中的变化规律，即推导静水压强的基本方程式。在推导基本方程式之前，须明确两个概念：自由表面和表面压强。

液体和它上面的气体的交界面叫自由表面。作用在液体表面上的压强称表面压强。一般用符号 p_0 表示。如果表面上是大气压强，则用 p_a 表示。大气压强值与海拔高度有关。海平面上大气压强 $p_a = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ (帕斯卡)，称为 1 个标准大气压力。工程上为了计算方便，取 $p_0 = 9.81 \times 10^4 \text{ Pa}$ ，称为 1 个工程大气压，并作为计算压强的单位。

在静止液体中取一垂直的微元圆柱体作为隔离体 (图 1-5)。此圆柱体的高度为 h ，上、下两端面的面积均为 ω 。在此圆柱体上受到三个轴向外力的作用：作用在柱体表面上的压力： $P_0 = p_0 \cdot \omega$ ，方向垂直向下；作用在水柱底面的力： $P = p \cdot \omega$ ，方向垂直向上；微元圆柱体本身的重量： $G = \gamma \cdot h \cdot \omega$ ，方向垂直向下。

因为水柱是不动的，根据力的平衡方程：

$$P_0 + G = P$$

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

则得：

$$p = p_0 + \gamma h \quad (1-7)$$

式中， p 为静止液体中任意一点的压强， p_0 为表面压强， γ 为液体的容重， h 为点在液面以下的垂直深度。

此式即为静水压强基本方程式，又称静水力学基本方程式。

公式 (1-7) 说明：

- (a) 静水在重力的作用下，压强随深度呈直线规律变化；
- (b) 静止液体中任一点的压强都等于表面压强 p_0 加上该点距液体自由表面的距离 h (即水深) 与液体容重 γ 的乘积 (p_0 、 γ 是常数， γh 是单位面积上高度为 h 的液柱的重量)；
- (c) 水深 h 愈大，该处的压强 p 也就愈大。

静水力学基本方程式(1-7)，还可以表示为另一种形式，如图1-6。

设水箱水面积的压强为 p_0 ，水面到任选基准面 0-0 的高度为 z_0 。水中任意选两点 1、2，距基准面的高度分别为 z_1 及 z_2 ，压强分别为 p_1 及 p_2 ，将式中的深度改为高度差后，得：

$$p_1 = p_0 + \gamma(z_0 - z_1) \quad (1-8)$$

$$p_2 = p_0 + \gamma(z_0 - z_2) \quad (1-9)$$

上式除以容重 γ ，并整理后得：

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_0 + \frac{p_0}{\gamma} \quad (1-10)$$

$$z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = z_0 + \frac{p_0}{\gamma} \quad (1-11)$$

两式联立可得：

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = z_0 + \frac{p_0}{\gamma} \quad (1-12)$$

在静态条件下，式(1-12)中 $z_0 + \frac{p_0}{\gamma}$ 为常数。又水中 1、2 点是任选的，故可将上述关系式推广到整个液体，得出具有普遍意义的规律，即

$$z + \frac{p}{\gamma} = c \text{ (常数)} \quad (1-13)$$

这就是静水力学基本方程式的另一表达形式，也是常用的静水压强分布规律的一种形式。

即静止的水中，任意点的 $(z + \frac{p}{\gamma})$ 是一个常数。

五、压强的表示法

压强值 p 通常可以用三种不同的度量标准表示。

1. 绝对压强 (p_j)

以完全真空为零点开始计量的压强，称绝对压强，即 $p_j = p_0 + \gamma h$ 。

2. 相对压强 (p_x)

在工程计算中，由于水流表面和构筑物表面大多数同时受有大气压强，如图1-7所示。水池任一受压壁面 AB ，内外都有大气压作用，实际上作用在 AB 壁面上的静压强，为 ABC 所示，其图形为相对压强分布图。内外的大气压强相互抵消而不需计算。因此在工程计算中，通常采用相对压强，即以大气压强 p_0 作为零点压强，称为相对压强。即

$$p_x = p_0 - p_0 + \gamma h = p - p_0 \quad (1-14)$$

当自由表面上的压强 $p_0 = p_0$ 时，则

$$p_x = \gamma h \quad (1-15)$$

3. 真空值 (p_h)

在有些情况下，例如，液流在水泵的吸水管中、在虹吸管中和在真空的循环水箱中，往往绝对压强小于 1 个工程大气压。若用相对压强表示，则为负值，称为真空值，即大气压强的不足值，也叫真空度。

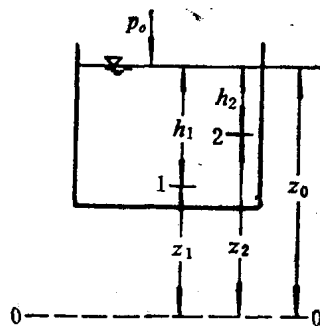


图1-6 静水力学基本方程式的另一种形式

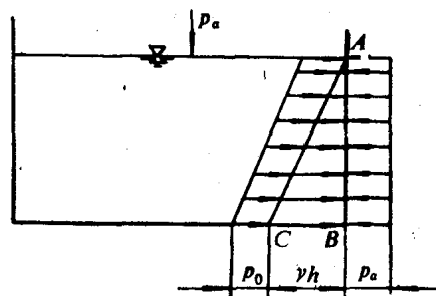


图1-7 池壁静水压强分布

真空值在数值上和相对压强相同，只是符号相反： $p_h = -p_r$ 。

六、压强的单位

压强的单位通常有四种表示法。

1. 用单位面积上所受的力来表示： N/cm^2 或 N/m^2 ；
2. 用液柱高度来表示（一般用水柱或汞柱）： mmH_2O ， mH_2O ， $mmHg$ ；
3. 用大气压表示： atm ；
4. 用 Pa 或 kPa 表示，也可用 ba 表示。

压强单位的换算关系为： $1atm = 9.81N/cm^2 = 10mH_2O = 735.6mmHg = 9.81 \times 10^4 Pa = 0.981ba$ 。

如某点的绝对压强为 $40mH_2O$ ，则称其绝对压强为 $4atm$ ，或相对压强为 $3atm$ 。

第三节 流体动力学

流体动力学是研究流体运动规律及其在工程上的应用。本节的主要任务就在于研究流体（主要是水流）运动时，其运动要素和空间位置之间的变化关系，这些关系主要反映在三个基本方程上，即连续性方程、能量方程和动量方程（可参考有关参考书，本书略）。

为了研究流体的运动规律，首先介绍流体运动的几个基本概念。

一、流线、微小流束和总流

1. 流线

为了形象地描绘流体运动而引入“流线”的概念。流线是某一瞬间在运动的流体中画出的一条线，各流体质点在此时刻的运动方向均与此线相切（图1-8）。

流线的特征如下：

(1) 流线上各流体质点的流动方向，就是流线上各相应点的切线方向；流线上的每一点的流向只有一个。

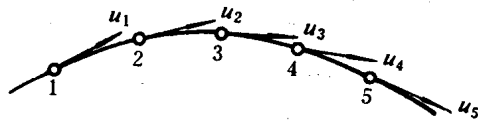


图1-8 流线

(2) 流线是一条光滑的曲线，不可能是折线。如果是折线，则在折点上的流速有两个方向，与上述流线每点只有一个流速方向的性质不符。

(3) 流线不能相交。如果流线相交，则在交点上的质点同时有两个流速方向，这显然是不可能的。所以流体中

的任何一点，在同一时刻，只有一条流线，水流质点顺着流线流动。

有了流线的概念，就能用它来描述水流运动。例如，等径直管段上的水流运动如图1-9，过闸水流的流动状态如图1-10。

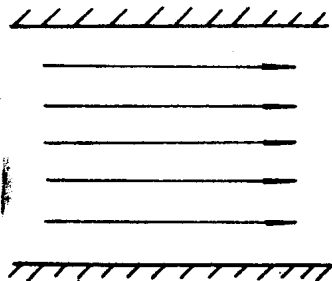


图1-9 等径直管段上的水流状态

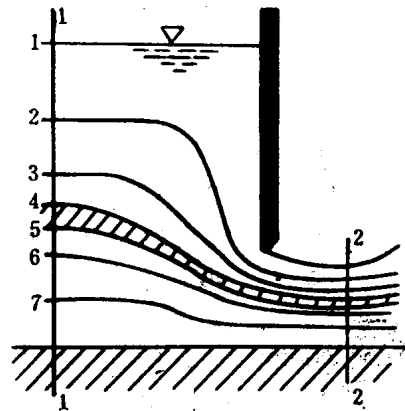
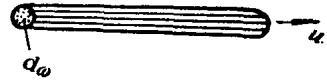


图1-10 过闸水流的流动状态

2. 微小流束

在流动的流体中任取一微小面积 $d\omega$ ，通过该面积上各点所作的一束流线称微小流束(图 1-11)。



流束的特征：

(1) 因流线不能相交，故流体不能从微小流束的侧面流入或流出，只能沿它的流线方向运动。

(2) 由于微小流束的断面面积为无穷小，故断面上各个点的运动要素可以认为是相同的。

设微小流束的过流断面面积为 $d\omega$ ，流速为 u ，流量为 dq ，则：

$$dq = u \cdot d\omega \quad (1-16)$$

图1-11 微小流束

3. 总流

无数微小流束的总和称为总流。

总流的流量 Q 等于断面 ω 上所有微小流束的流量的总和，即对式(1-16)积分：

$$Q = \int dq = \int_{\omega} u \cdot d\omega \quad (1-17)$$

式中 u 为微小流束内，流体的流速。由流量公式可知：当 Q 一定时， ω 大则 u 小，反之， ω 小， u 就大。

二、过流断面、流速、流量

1. 过流断面

与流体运动方向垂直的流体断面叫过流断面(图 1-12)。若流体为水，则称为过水断面。用符号 ω 表示，单位是 m^2 或 cm^2 。

2. 流速

流体在单位时间内所迁移的距离叫流速。用符号 v 表示，单位为 m/s 或 cm/s 。

由于过流断面上各点流速 u 是不同的(见图 1-1)，在实际工程中为了计算方便，一般取断面平均流速 v 进行计算。定义：

$$v = \frac{\int_{\omega} u \cdot d\omega}{\omega} \quad (1-18)$$

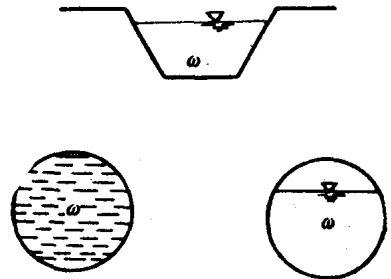


图1-12 过流断面

3. 流量

流体在单位时间内通过过流断面的体积称为流量。用符号 Q 表示，单位为 m^3/s 或 L/s 。

将式(1-17)代入(1-18)可得： $v = \frac{Q}{\omega}$ ，即：

$$Q = v \cdot \omega \quad (1-19)$$

此式表明：通过某一过流断面上的流量，等于该断面面积与其断面平均流速的乘积。此公式叫流量公式，在水力计算中应用非常广泛。

三、流体运动的分类

1. 按流体的运动要素是否随时间而变化来分类

(1) 恒定流：如果流体运动要素(流速、压强)不随时间而变化，仅与空间位置有关，这种流体运动称为恒定流。

在实际工程中，绝大部分水流可以看作是恒定流，本课程主要研究恒定流。

(2) 非恒定流：如果流体运动要素不仅与空间位置有关，而且随着时间而变化，这种流体运动称为非恒定流。

如图1-13中有一恒水位水箱的水流， $Q_1 = Q_2$ ，恒定； $Q_1 > Q_2$ ，不恒定。

在实际工程中，恒定流和非恒定流的划分并不是绝对的，当 $Q_1 > Q_2$ 时，水箱水位的升降对流量的影响极小，可视为恒定流。因此绝大部分水流可作为恒定流来加以研究，使问题简化。

2. 按流速沿程变化与否来分类

(1) 均匀流：每一条流线上的流速大小和方向沿程不变，称为均匀流。其特点是流线为平行的直线。如等直径的直管段或底坡不变且流体等深的沟渠中的流动(图1-14)。

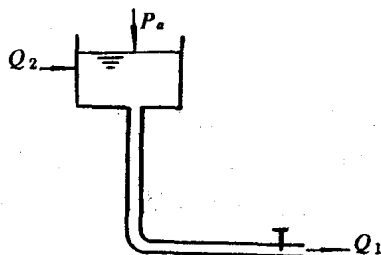


图1-13 恒定流与非恒定流示意

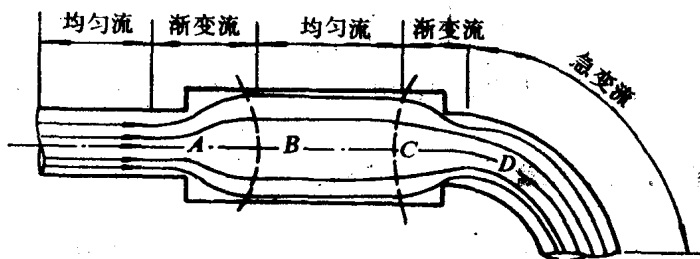


图1-14 圆管中均匀流、渐变流与急变流

(2) 非均匀流：若流体流动时，其流速和深度沿程发生变化，各流线不是平行直线，则称为非均匀流。其特点是流线互不平行。如流体在变径的管道中或弯道上的流动。

非均匀流又可分为渐变流和急变流。流体运动中，流线接近平行直线的流动称为渐变流，流线不接近于平行直线的运动称为急变流动(图1-14)。

3. 按水流运动接触固体周界的情况分类

(1) 有压流：流体沿流程各过流断面的整个周界都与固体表面接触而无自由表面者，这种流体运动称为有压流或压力流。

有压流受压差作用而流动，给水管路就是有压流的典型例子。

(2) 无压流：流体过流断面的部分周界与固体表面接触，其余部分周界与大气相接触，具有自由表面，这种流动称为无压流或重力流，也称明渠流。

对于具体情况应作具体分析，才能全面认识流体的运动。例如水头不变的给水工程输水管道中，直管段可看成恒定、有压、均匀流动；而在不同管径的接管处(大小头处)可看成恒定、有压、急变流动等。

四、恒定流连续性方程式

流体运动和其他物质运动一样，遵守质量守恒定律。即对于任一恒定流动任取一流段1-2，如图1-15所示。单位时间进入断面1-1的流量

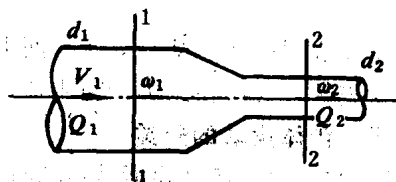


图1-15 恒定流的连续性

为 $Q_1 = \omega_1 \cdot v_1$ ，单位时间内流出断面2-2的流量为 $Q_2 = \omega_2 \cdot v_2$ 。按质量守恒定律，流段1-2内

的流体质量应守恒，即 $Q_1 = Q_2$ ，也即 $\omega_1 \cdot v_1 = \omega_2 \cdot v_2$ ，从而有：

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{v_2}{v_1} \quad (1-20)$$

公式(1-20)是总流连续性方程式。即过水断面面积与断面平均流速成反比。

若为恒定有压管流， $\omega_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2$ ， $\omega_2 = \frac{\pi}{4} d_2^2$ ，于是有 $v_2/v_1 = (d_1/d_2)^2$ 。此式说明断面平均流速与管径的平方成反比。

五、恒定流能量方程式

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变化的关系——能量方程式（伯努利方程式）。

1. 能量方程的建立

根据物理学中的动量守恒定律推得恒定总流的能量方程式为：

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{a_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{a_2 v_2^2}{2g} + h_o \quad (1-21)$$

式中下标 1、2 分别表示恒定总流 1-1 和 2-2 断面(图 1-15)。

2. 能量方程式的意义与几何表示

恒定总流的能量方程式反映了水在流动过程中，各种机械能互相转化和守恒的关系，是用来分析水流现象并解决工程实际问题的一个重要的方程式。方程式中各项的意义如下： z 为单位重量液体具有的位能，又称为位置水头； $\frac{p}{\gamma}$ 为单位重量液体具有的压能，又称为压强水头； $\frac{av^2}{2g}$ 为单位重量液体具有的平均动能，又称为流速水头； $z + \frac{p}{\gamma}$ 为单位重量液体具有的势能，又称测压管水头； h_o 为单位重量液体流经两过水断面之间的平均能量损失，又称水头损失； $z + \frac{p}{\gamma} + \frac{av^2}{2g}$ 为单位重量液体具有的总机械能，又称总水头。

能量方程式中每一项都具有长度单位，因此，可采用几何线段在图中表示出来(图 1-16)。由图可见：

$$H_1 = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{a_1 v_1^2}{2g}$$

$$H_2 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{a_2 v_2^2}{2g}$$

当总水头线为一倾斜直线时，总水头损失降低值 h_o 与沿程长度 L 的比值称为总水力坡度，用符号 J 表示：

$$J = \frac{h_o}{L} \quad (1-22)$$

此式表示沿程单位长度上的水头损失。

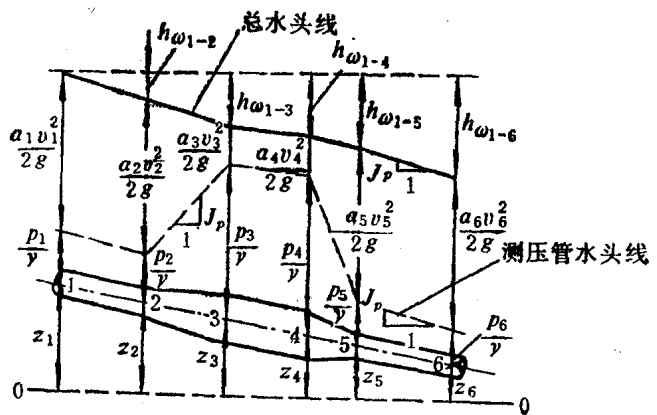


图 1-16 能量方程的几何表示

如果两断面间的总水头线不为直线时，则用两断面间的平均水力坡度，即： $J_{平均} = \frac{h_o}{L}$ 。水力坡度 J 反映了水流运动时水头损失的快慢。

3. 能量方程式的应用条件

恒定总流能量方程是在一定条件下推导出来的, 因此有一定的应用范围。

(1) 水流必须是恒定流。这是因为上面讨论的水流, 其空间点的运动要素如压强 p 、流速 v 都不随时间而变。

(2) 在所研究的流段中两端断面必须符合渐变流断面。这是因为在势能的积分中取 $z + \frac{p}{\gamma} = \text{常数}$, 所以该断面必须是渐变流断面。

(3) 液体是不可压缩的, 即 $\rho = \text{常数}$ 。

(4) 流段内没有流量汇入或分出。因为公式(1-18)是在没有流量分出或汇入的条件下导出的。

(5) 两过水断面间没有能量的输入或输出。

第四节 流动阻力和水头损失

上节介绍能量方程时, 只阐述了水头损失 h_o 的概念, 但未解决如何计算的问题, 本节则主要是研究 h_o 的计算问题。

一、水头损失的分类

根据水头损失产生的机理及其表现形式可分为两大类。

1. 沿程水头损失

液体流动时, 由于沿程摩擦而损失的水头称为沿程水头损失。以符号 h_f 表示。

2. 局部水头损失

管道中一般都包括有许多管件, 如弯头、大小接头、三通、闸门等, 有时管道会突然缩小、突然扩大等。水流在经过这些边界形状急剧改变的区段时, 也同样要克服阻力, 从而造成水头损失, 这种水头损失, 叫做局部水头损失, 用符号 h_j 表示。

整个管路的总水头损失 h_o 等于各段沿程水头损失 h_f 与各局部水头损失 h_j 分别叠加之和,

$$h_o = \sum h_f + \sum h_j \quad (1-23)$$

二、液流的流动型态——层流和紊流

液体在流动过程中, 由于流速不同, 呈现出两种不同的型态: 层流和紊流。在图 1-17 所

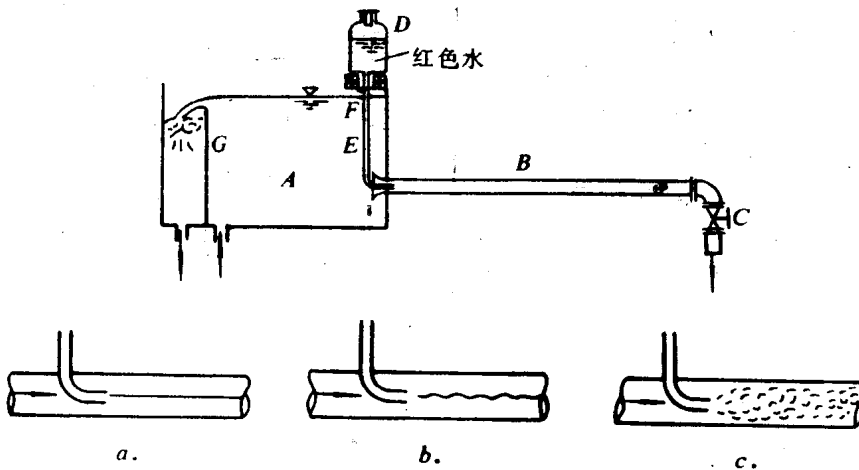


图1-17 流动型态的实验装置

示的实验装置中，可观察水流的层流与紊流的情况。水箱 A 靠溢流板 G 保持水位恒定，调节阀 C 控制玻璃管 B 的泄水流量。 A 的顶部有一个容器 D 盛有红色的水，红色水经调节阀 F 由管 E 进入管 B 。

如果将阀门 C 逐渐开大，红色保持一条线，此时水流型态为层流 (图 1-17a)。当流速增大到某一数值时，可发现细管 E 所流出的红色水细流发生波动，成波浪形式。如果阀门 C 继续开大，红色水向四周扩散，质点或液团相互混杂，这时水流型态为紊流 (图 1-17c)。图 1-17b 所示的呈波浪的水流，正是水流开始从层流向紊流变化的过渡状态。过渡状态时的水流流速称为临界流速。如果这时把阀门 C 慢慢关小，发现水流又会从杂乱无章的紊流型态变化到成层运动的层流型态。实测结果表明由紊流变化到层流和由层流变化到紊流的临界流速是不一样的。由层流变化到紊流的临界流速称为上临界流速，用 $v_{k上}$ 表示；反之称下临界流速，用 $v_{k下}$ 表示。而且 $v_{k上} > v_{k下}$ 。

当管中流速 $v < v_{k下}$ 时，水流处于层流型态；当管中流速 $v > v_{k上}$ 时，水流处于紊流型态。由于两者质点运动规律不同，显然流动阻力规律也是不相同的。

不同流体在不同管径 d 的管道中进行的大量实验，发现临界流速是不相同的，它与流体的运动粘度 ν 和管径 d 有关，并得出如下关系：

$$v_k \propto \frac{\nu}{d} \quad \text{或} \quad v_k = Re_k \frac{\nu}{d} \quad (1-24)$$

式中， Re_k 是比例系数，称为临界雷诺数； v_k 为临界流速 (cm/s)； d 为管径 (cm)； ν 为液体的运动粘度 (cm²/s)。

对于圆管有压水流， $Re_{k下}$ 约为 2000。

在实际工程中，常以下临界雷诺数 $Re_{k下}$ 作为层流和紊流的判别标准，而 $Re_{k上}$ 很难精确测出。判别时首先对某种液体在某一管道中的流动，按下式求出液体流动时的雷诺数 Re ：

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (1-25)$$

然后与管流的下临界雷诺数 $Re_{k下}$ 比较。

当 $Re < Re_{k下} = 2300$ 时，为层流型态；

当 $Re > Re_{k下} = 2300$ 时，为紊流型态；

对于明渠水流： $Re = \frac{v \cdot R}{\nu}$

式中， R 为水力半径， $R = \frac{\omega}{x}$ (ω 为过水断面； x 为湿周，它是过水断面上液流与固体边界所接触的周线。如为矩形明渠，其湿周为： $x = b + 2h$ ， b 为明渠宽， h 为水深)。

当 $Re < Re_{k下} = 575$ 时，为层流型态；

当 $Re > Re_{k下} = 575$ 时，为紊流型态。

在建筑设备工程中，绝大多数的流体运动都处于紊流型态。只有在流速很小，管径很小或粘度很大时，才容易发生层流运动。

三、水头损失计算

1. 沿程水头损失计算

在工程中，遇到的多为紊流。用理论的方法仅能推导层流的沿程水头损失公式。对于紊流，还只能借助于试验来建立经验计算公式