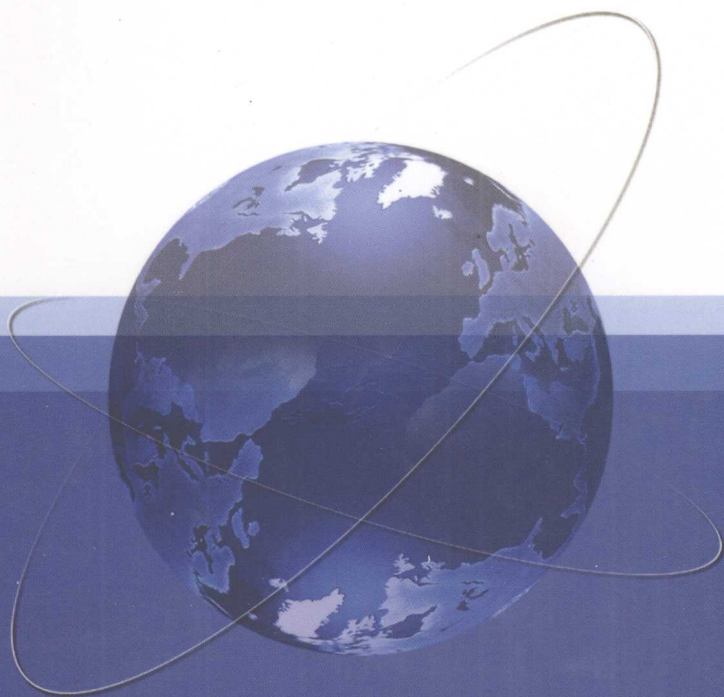




21世纪高职高专规划教材

建筑给排水



陈送财 主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高职高专规划教材

建筑给排水

主 编	安徽水利水电职业技术学院	陈送财
副主编	佳木斯大学	李 俊
	浙江水利水电专科学校	王培风
参 编	河南职业技术学院	黄天顺
	南京化工职业技术学院	王 悦
	安徽水利水电职业技术学院	张胜峰



机械工业出版社

本书是根据教育部有关精神,结合高职高专教育特点,由中国机械教育协会和机械工业出版社组织全国 80 多所高职高专院校编写的 21 世纪高职高专教材之一。

全书包括:水力学基础知识,室外给水排水工程,管材、附件及卫生器具,建筑给水,建筑消防给水,建筑排水,建筑中水,建筑热水供应,高层建筑给水排水工程等 9 章内容。

本书既适用于 2 年制或 3 年制高职高专建筑给排水及相关专业的教材,也可作为相关人员学习用书和参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑给排水 / 陈送财主编. — 北京:机械工业出版社,
2005.1
21 世纪高职高专规划教材
ISBN 7-111-15693-5

I. 建… II. 陈… III. 房屋建筑设备-给排水系
统-高等学校:技术学校-教材 IV. TU82

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 123080 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑:余茂祚
责任编辑:余茂祚 版式设计:冉晓华 责任校对:张莉娟
封面设计:饶薇 责任印制:洪汉军
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2005 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷
787mm × 1092mm $\frac{1}{16}$ ·13 印张·317 千字
定价:21.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646
68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专规划教材

编委会名单

编委会主任 王文斌 郝广发

编委会副主任 (按姓氏笔画为序)

马元兴	王茂元	王明耀	王胜利	王锡铭
田建敏	刘锡奇	杨文兰	杨 飒	李兴旺
李居参	杜建根	余元冠	沈国良	沈祖尧
陈丽能	陈瑞藻	张建华	茆有柏	徐铮颖
符宁平	焦 斌			

编委会委员 (按姓氏笔画为序)

王志伟	付丽华	成运花	曲昭仲	朱 强
齐从谦	许 展	李茂松	李学锋	李连邨
李超群	杨克玉	杨国祥	杨翠明	吴诗德
吴振彪	吴 锐	肖 珑	何志祥	何宝文
陈月波	陈江伟	张 波	武友德	周国良
宗序炎	俞庆生	恽达明	娄 洁	晏初宏
倪依纯	徐炳亭	唐志宏	崔 平	崔景茂

总 策 划 余茂祚

策 划 助 理 于奇慧

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专人才培养工作意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》等文件精神由中国机械工业教育协会和机械工业出版社，组织全国 80 多所高等院校共同编写的 21 世纪高职高专规划教材之一。

本教材主要是按照 2 年制和 3 年制高职高专建筑给排水专业的“建筑给排水”课程教学要求编写的。考虑到高职高专的教学特点和教材的使用面，在满足建筑给排水专业教学要求的基础上，同时兼顾其他建筑类专业教学的要求，供建筑类各专业教学选用。除建筑给排水专业以外的其他建筑类专业选用本教材时，授课教师可根据专业教学要求适当删减部分内容。

本书在编写过程中力求概念清晰、深入浅出、联系实际，理论上以适当够用为度，不苛求学科的系统性和完整性。力求结合专业，突出实用，体现高职高专教育的特色。

参加本书编写的有安徽水利水电职业技术学院陈送财（第 1、5 章）、河南职业技术学院黄天顺（第 2、9 章）、南京化工职业技术学院王悦（第 3 章）、安徽水利水电职业技术学院张胜峰（第 4 章）、浙江水利水电专科学校王培风（第 6 章）、佳木斯大学李俊（第 7、8 章）。全书由陈送财任主编，王培风、李俊任副主编，并由陈送财统稿。

许多建筑给排水同仁对本书提出了许多宝贵意见，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，不足之处在所难免，恳请广大读者对本书的缺点和错误予以批评指正。

编 者

目 录

前 言	
第 1 章 水力学基础知识	1
1.1 液体的主要物理力学性质	1
1.2 水静力学	2
1.3 水动力学	6
1.4 水流形态与水头损失	10
复习思考题	12
第 2 章 室外给排水工程概述	14
2.1 室外给水工程	14
2.2 室外排水工程	18
复习思考题	22
第 3 章 管材、附件及卫生器具	23
3.1 管材	23
3.2 附件与水表	30
3.3 卫生器具及冲洗设备	43
3.4 水质防治	57
3.5 建筑给排水工程节水节能	59
复习思考题	60
第 4 章 建筑给水	61
4.1 给水系统的分类与组成	61
4.2 给水方式	62
4.3 给水管道的布置与敷设	65
4.4 给水设计流量	70
4.5 给水管网水力计算	76
4.6 给水增压与调节设备	83
复习思考题	91
第 5 章 建筑消防给水	93
5.1 低层建筑室内消火栓消防 系统	93
5.2 自动喷水灭火系统	104
5.3 其他固定灭火设施简介	118
复习思考题	121
第 6 章 建筑排水	122
6.1 排水系统的分类及组成	122
6.2 排水管道的布置与敷设	126
6.3 污水的局部处理	128
6.4 排水管道系统的水力计算	132
6.5 屋面雨水排水系统	142
复习思考题	150
第 7 章 建筑中水	151
7.1 建筑中水系统的任务及 组成	151
7.2 中水水源、水量和水质 标准	154
7.3 中水管道系统	155
7.4 中水处理	157
7.5 建筑中水的安全防护与 控制	159
复习思考题	160
第 8 章 建筑热水供应	161
8.1 概述	161
8.2 热水供应方式	165
8.3 热水供应系统的管材和 附件	168
8.4 热水管网的布置与敷设	172
8.5 热水管网的水力计算	173
8.6 饮水供应	178
复习思考题	181
第 9 章 高层建筑给水排水工程	182
9.1 高层建筑给水系统	182
9.2 高层建筑消防给水	185
9.3 高层建筑排水	192
9.4 高层建筑的管道敷设	195
复习思考题	198
参考文献	199

第 1 章 水力学基础知识

1.1 液体的主要物理力学性质

自然界中的物质根据其存在形态可分为固体、液体和气体三种。固体具有固定的形状，在外力的作用下不容易变形；液体和气体统称为流体，流体容易流动和变形。液体和气体的主要区别在于，液体在外力的作用下不易被压缩，而气体在外力的作用下则容易被压缩。

1.1.1 液体的密度和容重

1. 液体的密度 对于均质液体，其单位体积的质量称为密度，即

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

式中 m ——液体的质量 (g)；
 V ——液体的体积 (cm^3)；
 ρ ——液体的密度 (g/cm^3)。

2. 液体的重量和容重 地球上的物体都会受到地心引力作用，这种地球对物体的引力就称为重量 (或重力)。对于质量为 m 的液体，其重量为

$$G = mg \quad (1-2)$$

式中 G ——液体的重量 (N)；
 g ——重力加速度，本教材为简化计算取 $9.80\text{m}/\text{s}^2$ 。

对于均质液体，单位体积的重量称为容重，即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-3)$$

式中 γ ——液体的容重 (N/m^3)。

由式 (1-2) 和式 (1-3)，可得容重与密度的关系为

$$\gamma = \rho g \quad (1-4)$$

必须说明的是液体的体积随着温度和压强的变化而变化，故其容重与密度也将随之而发生变化，但变化很小。通常将水的容重和密度视为常数，在温度为 4°C 、压强为一个大气压 ($1\text{atm} = 101325\text{Pa}$ ，下同) 的条件下，为简化计算，一般采用水的容重为 $9.80\text{kN}/\text{m}^3$ ，密度为 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

1.1.2 液体的粘滞性

液体在运动状态下，流层间存在着相对运动，从而产生内摩擦力，故运动状态下的液体具有抵抗切应变的能力。运动状态下的液体具有抵抗切应变能力的特性，称为液体的粘滞性。粘滞性只有在流层间存在相对运动时才显示出来，静止液体是不显示粘滞性的，静止状态下的液体是不能承受切应力来抵抗切应变的。

1.1.3 液体的压缩性

1. 液体的压缩性 液体不能承受拉力，只能承受压力，液体受压时体积压缩变形，当

压力除去后又恢复原状，液体的这种性质称为液体的压缩性。

2. 液体的体积压缩系数 液体压缩性的大小可用体积压缩系数 β 来表示。设质量一定的液体，其体积为 V ，当压强增加 dp 时，体积相应减小 dV ，其体积的相对压缩值为 dV/V ，则体积压缩系数为

$$\beta = \frac{dV/V}{dp} \quad (1-4a)$$

式中 β ——液体的体积压缩系数 ($1/\text{Pa}$)。

由于液体的体积总是随压强的增大而减小的，从而 dV 与 dp 的符号相反，按规定 β 取正值，故上式的右端带负号。该式表明， β 值越小越不易压缩。

液体的体积压缩系数与液体的性质有关，同一种液体的 β 值也随温度和压强的变化而变化，但变化不大，一般视为常数。不同温度下的 β 值，见表 1-1。对于水，在普通水温的情况下，每增加一个标准大气压强，水的体积比原体积缩小约 $1/21000$ ，可见水的压缩性是很小的。在实际应用中，除某些特殊问题外，通常情况下，我们认为液体是不可压缩的，即认为液体的体积和密度是不随温度和压力的变化而变化的。

表 1-1 不同温度下水的体积压缩系数和体积弹性系数

温度/°C	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
体积弹性系数 $K/10^9\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$	2.02	2.06	2.10	2.15	2.18	2.22	2.25	2.28	2.29	2.28	2.25	2.20	2.14	2.07

注：体积压缩系数 $\beta = 1/K$ 。

1.1.4 液体的热胀性

液体温度升高体积膨胀的性质称为液体的热胀性。液体的热胀性很小，在很多工程技术领域中液体的热胀性忽略不计。在建筑工程的输水管中除水击和热水水循环系统外，一般计算均不考虑液体的热胀性。

1.1.5 液体的表面张力特性

由于液体表层分子之间的相互吸引的存在，使得液体表面薄层内能够承受微小拉力的特性，称为表面张力特性。表面张力不仅存在于液体的自由表面上，也存在于不相混合的两层液体之间的接触面上。表面张力很小，通常情况下可以忽略不计，仅当液体的表面曲率很大时才需考虑。

1.2 水静力学

水静力学是研究静止的水所表现的力学特性的。本节主要研究静水压强的特性及其基本规律，静止是相对的，通常如果液体相对其储存设备及液体与液体之间没有相对运动，我们就称其为静止液体。

液体的静止状态有两种：一是液体相对地球处于静止状态，液体与液体之间没有相对运动，如蓄水池中的水；二是指液体对地球有相对运动，但液体与储存设备之间没有相对运动，如作匀速运动的油罐车中的油。由于静止状态液体质点间无相对运动，粘滞性表现不出来，故而内摩擦力为零，表面力只有压力。

1.2.1 静水压强及其特性

1. 静水压强 静止液体对与其约束边界的壁面有压力作用，如蓄水池中的水对池壁及

池底都有水压力的作用。在液体内部，一部分液体对相邻的另一部分液体也有压力的作用。

我们把静止的液体作用在其约束边界表面上的压力称为静水压力。图 1-1 所示的蓄水池池壁上，围绕 K 点取微小面积 ΔA ，作用在 ΔA 上的静水压力为 ΔP ，则 ΔA 面上单位面积所受的平均静水压力就称为该面积上的平均静水压强，其值为

$$\bar{p} = \frac{\Delta p}{\Delta A} \quad (1-5)$$

式中 \bar{p} —— ΔA 面上的平均静水压强。

平均静水压强只表示 ΔA 面上受力的平均值，在受力均匀的情况下，它真实反映受压面上各点的水压力状况。通常受压面上的受力是不均匀的，必须建立点静水压强的概念。

如图 1-1 中，当 ΔA 无限缩小趋于 K 点时，即 ΔA 趋于 0 时， \bar{p} 趋于某一极限值，该极限值即为 K 点的静水压强，用公式表述如下：

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

式中 p —— K 点的静水压强。

静水压力的单位为牛顿 (N)，静水压强的单位为牛顿/米² (N/m²)。N/m² 又称帕斯卡 (Pa)。

2. 静水压强的特性 静水压强有两个重要特性。

- 1) 静水压强的方向与受压面垂直并指向受压面。
- 2) 静水中任何一点上各个方向的静水压强大小均相等，或者说其大小与作用面的方位无关。

1.2.2 静水压强的基本方程

为了探讨静水压强的变化规律，下面我们来建立静水压强的基本方程。

如图 1-2 所示，水面大气压强为 p_0 ，在水深为 h 处取 K 点 (见图 a)，围绕 K 点在同一水平面上取微面积 ΔA ；取底面积为 ΔA ，高为 h 的柱状水体为脱离体进行研究 (见图 b)，设 ΔA 上的压强为 p ，根据力学知识建立平衡方程式，则等式两端同除以 ΔA ，则可得水深为 h 处的静水压强的基本方程

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

式中 γ ——水的容重。

图 1-2 静水压强基本方程推导示意图

式 (1-7) 称为静水压强基本方程式，上述推导过程表明：仅有重力作用下的静水中任一点的静水压强，等于水面压强加上液体的容重与该点水深的乘积。

应当指出，如果水面是自由水面时，计算边界所受水压力时，边界内、外大气压相抵消，如略除此项不计，则式 (1-7) 可简写为

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

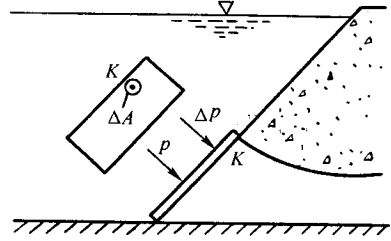
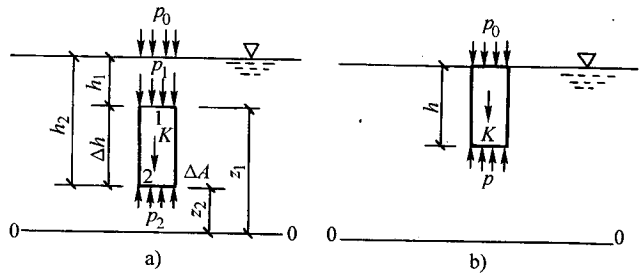


图 1-1 静水压强计算示意图



式 (1-8) 表明静水中任一点的压强与该点在水下淹没的深度成线性关系。

1.2.3 绝对压强、相对压强、真空压强

地球表面大气所产生的压强称为大气压强，试验测定一个标准大气压为 101.3kN/m^2 ，在工程中进行水力学计算时，为计算方便一般用工程大气压，其值为 98kN/m^2 ，以 Pa 表示。

计算压强时因计算基准的不同，压强可分为绝对压强与相对压强。

1. 绝对压强 以没有空气的绝对真空为零基准计算面的压强称绝对压强。也就是说，在水力计算中要计入大气压，即在计算中有大气压时，大气压按 98kN/m^2 计算。绝对压强用 p_{abs} 表示，即

$$p_{\text{abs}} = p_a + \gamma h \quad (1-9)$$

2. 相对压强 以大气压作为零基准计算出的压强，称为相对压强。也就是说，在水力计算中不计入大气压。若不加特殊说明，静水压强即指相对压强，相对压强用 p 表示。

$$p = \gamma h \quad (1-10)$$

对同一点压强，用绝对压强计算和用相对压强计算虽然其计算结果数值不同，但却表示的是同一个压强，压强本身的大小并没有发生变化，只是计算的零基准发生了变化。

例 1 求水库水深为 2m 处 A 点的绝对压强和相对压强。

解 1) 求绝对压强。

$$p_{\text{abs}} = p_a + \gamma h \quad p_a = 98\text{kN/m}^2$$

$$p_{\text{abs}} = p_a + \gamma h = 98\text{kN/m}^2 + 9.8 \times 2\text{kN/m}^2 = 117.6\text{kN/m}^2$$

2) 求相对压强。相对压强计算 (或者说求 A 点的相对压强) 则不计入大气压，即

$$p = \gamma h = 9.8 \times 2\text{kN/m}^2 = 19.6\text{kN/m}^2$$

3. 真空压强 绝对压强为零的状态称为绝对真空。当某点的绝对压强小于当地大气压强时就认为该点产生了真空，真空值的大小用真空压强表示，真空压强为大气压强与该点的绝对压强的差值，真空压强用 p_v 表示，即

$$p_v = p_a - p_{\text{abs}} \quad (1-11)$$

式 (1-11) 可改写为 $p_v = p_a - (p_a + p) = -p$

$$p_v = -p \quad (1-12)$$

式 (1-12) 表明真空压强等于负的相对压强，即发生真空的地方相对压强出现了负值，或称负压。当相对压强出现负压时，负压的绝对值称为真空压强。

图 1-3 表明了绝对压强、相对压强和真空值之间的关系。

例 2 A 点相对压强为 -24.5kN/m^2 ，求 A 点的绝对压强和真空压强。

解 1) 求 A 点的绝对压强。

$$p_{\text{abs}} = p_a + \gamma h \quad p_a = 98\text{kN/m}^2$$

$$p_{\text{abs}} = p_a + \gamma h = 98\text{kN/m}^2 + (-24.5)\text{kN/m}^2$$

$$= 73.5\text{kN/m}^2$$

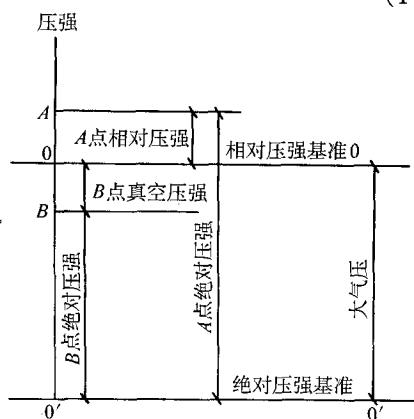


图 1-3 绝对压强、相对压强和真空值之间的关系

2) 求真空压强。

$$p_v = -p = -(-24.5)\text{kN/m}^2 = 24.5\text{kN/m}^2$$

1.2.4 压强的单位表示法

1. 以应力单位表示 压强用单位面积上受力的大小来表示称为应力单位表示法, 这是压强的基本表示方法。单位为 N/m^2 , 又称帕斯卡 (Pa)。

2. 以工程大气压表示 工程上常用工程大气压表示压强, 1 个工程大气压 = 98kPa, 相当于 10m 水柱底部产生的压强, 水力学中凡不加说明都是指工程大气压。

3. 以水柱高表示 工程中, 点的静水压强往往用相对压强表示, 由 (1-10) 式可得相应的液柱高为

$$h = \frac{p}{\gamma} \quad (1-13)$$

1.2.5 静水压强分布图

由于建筑物都处在大气中, 各个方向的大气压互相抵消, 计算中只涉及相对压强, 所以只需画出相对压强分布图。由静水压强方程 $p = \gamma h$ 可知, 压强 p 与水深 h 呈线性函数关系, 把受压面上压强与水深的这种函数关系用图形来表示, 称为静水压强分布图。其绘制原则是:

- 1) 用有向线段长度代表该点静水压强的。
- 2) 用箭头方向表示静水压强的作用方向, 作用方向垂直指向受压面。

因压强 p 与水深 h 为一次方关系, 故在水深方向静水压强系直线分布, 只要给出两个点的压强即可确定此直线。

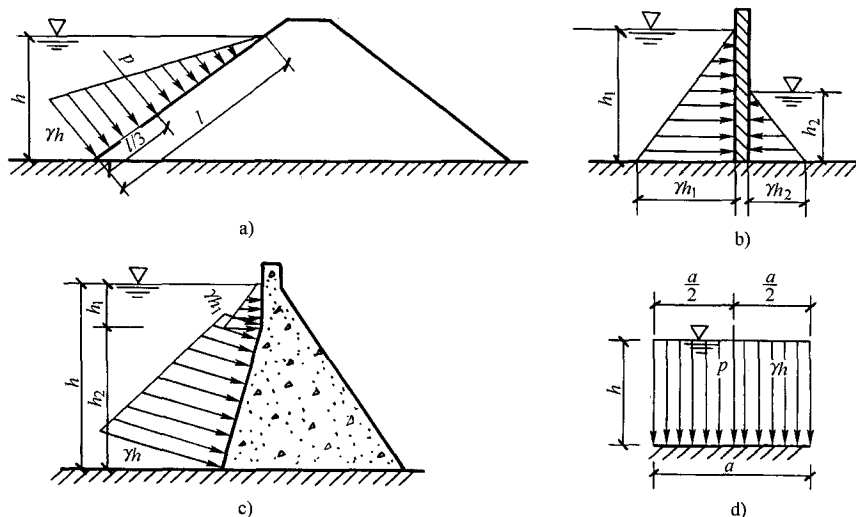


图 1-4 工程中常见的几种静水压强分布情况

a)、b) 直角三角形分布 c) 直角三角形和直角梯形分布 d) 矩形分布

工程中常见的几种情况, 如图 1-4 所示。矩形受压面的静水压强分布图, 因其放置位置不同, 有直角三角形、直角梯形、矩形三种基本图形。当受压面上边缘恰在水面, 下边缘在水面以下时, 不论受压面是垂直安放还是倾斜安放, 其压强分布图均为三角形; 当受压面上、下边缘都在水面以下, 上边缘高于下边缘时, 其分布图为梯形; 当受压面在水中水平放

置时，其压强分布图为矩形。其他复杂图形都是上述三种图形的组合。

例 3 如图 1-5，绘制矩形闸门 AB 平面的静水压强分布图。

解 选 A 和 B 两点；求 A 点和 B 点静水压强的大小： $p_A = 0$ ， $p_B = \gamma h$ ；画箭杆； A 点箭杆长度为 0， B 点箭杆垂直指向上 AB 面，长度为 γh ；连箭尾，连接 AB 两点箭杆尾端；标数字，标注 B 点箭杆所表示的压强数据 γh ；在图形内部画若干箭杆表示各点压强的分布。

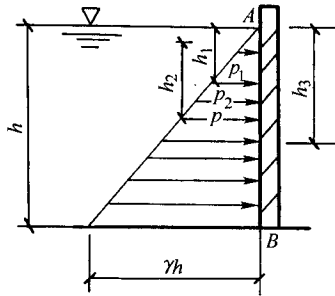


图 1-5 矩形闸门静水压强分布图

1.3 水动力学

1.3.1 水动力学的基本概念

1. 迹线与流线 液体是由无数质点构成的连续介质。要想研究液体运动规律，首先要了解描述液体的运动的方法。水力学中描述水流运动有两种方法，即迹线法和流线法。

(1) 迹线法：迹线是指液体质点在运动过程中不同时刻所经过的空间位置的连线，也是液体质点运动的轨迹。用迹线法描述液体运动，是研究个别液体质点在不同时刻的运动情况。这种方法概念清晰，简单易懂。但它只适用于研究液体质点作某些有规则的运动，当液体质点的运动轨迹非常复杂时，用该方法分析水流运动时，还会遇到许多较难解决的数学问题。从实用上讲，大多数情况下并不需要知道各质点运动的来龙去脉，而仅需了解某一固定区域的流动状况，所以迹线法在水力学中一般不大采用，而普遍采用较为简便实用的流线法。

(2) 流线法：流线法是把充满液体质点的空间作为研究对象，不再跟踪每个质点，而是考察分析水流中的水质点在通过固定空间点时的速度、压强的变化情况，来获得整个液体运动的规律。由于流线法是以流动的空间作为研究对象，所以通常把液体流动所占据的空间称为流场。

在液体运动的流场内绘出一条曲线，该曲线上任一点的切线方向都是某一时刻液流质点的速度方向，此曲线就称为该液流的流线。流线一定是光滑的曲线，流场中同一瞬时可绘出无数条流线。用流线法描述液体运动，要考察同一时刻液体质点在不同空间点的运动情况。

根据流线的概念，可知流线有以下特征：

- 1) 流线上所有各质点的切线方向就代表了该点的流动方向。
- 2) 一般情况下，流线既不能相交，也不能是折线，而只能是一条连续光滑的曲线。这是因为如果有两条流线相交，则在交点处，流速就会有两个方向；如果流线为折线，则在转折点处，同样将出现有两个流动方向的矛盾现象，所以流线只能是一条光滑曲线。

3) 流线上的液体质点只能沿着流线运动。这是因为水质点的流速是与流线相切的，在流线上不可能有垂直于流线的速度分量，所以液体质点不可能有横越流线的流动。

某一瞬时，在运动液体的整个空间绘出的一系列流线所构成的图形，称为流线图。流线图不仅能够反映空间点上液体质点的流速方向，对于不可压缩液体，流线图的疏密程度还能反映该时刻流场中各点的速度大小。流线越密集的地方流速越大，流线越稀疏的地方，流速越小，它的形状受到固体边界形状、离边界远近等因素的影响，如图 1-6 和图 1-7 所示。

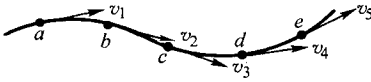


图 1-6 流线

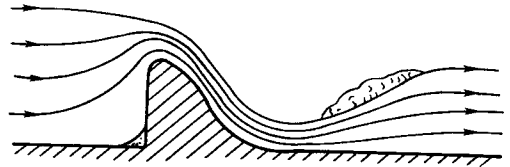


图 1-7 流线图

2. 过水断面、流量和流速

(1) 过水断面：与流线正交的液流横断面，称为过水断面。用 A 表示，其单位为 m^2 。过水断面可为平面，也可为曲面。在流线相互平行时，过水断面为平面，否则过水断面则为曲面，如图 1-8 所示。

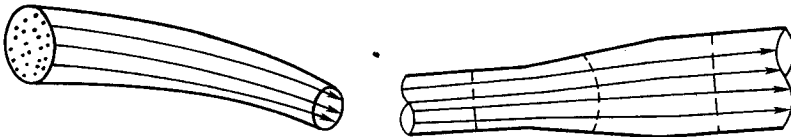


图 1-8 过水断面示意图

(2) 流量：单位时间内通过某一过水断面的液体体积，称为流量。用 Q 表示，其单位为 m^3/s 或 L/s 。

(3) 断面平均流速：过水断面上各点的流速一般并不一定相同，且断面流速分布不易确定，为使研究方便，实际工程中常常采用断面平均流速。

流量与过水断面的比值称为断面平均流速。用 v 表示，其单位为 m/s 。

由上述知，过水断面、流量和流速之间的关系为

$$Q = vA \quad (1-14)$$

可见，总流的流量 Q 等于断面平均流速 v 与过水断面面积 A 的乘积。

3. 水流运动的类型

(1) 恒定流与非恒定流：根据液流的运动要素是否随时间变化，可将液流分为恒定流与非恒定流。液体运动时，若任何空间点上所有的运动要素（如流速的大小、方向）都不随时间而改变，这种水流称为恒定流。图 1-9 所示为在水箱侧壁上开有孔口，当箱内水面保持不变（即 h 为常数）时，孔口泄流的形状、尺寸及运动要素均不随时间而变，这就是恒定流。

液体运动时，若任何空间点上有一运动要素随时间发生了变化，这种水流称为非恒定流。如图 1-10 所示，箱中水位由 h_1 连续下降到 h_2 ，此时，泄流形状、尺寸、运动要素都随时间而变化，这就是非恒定流。

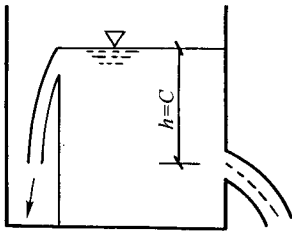


图 1-9 恒定流

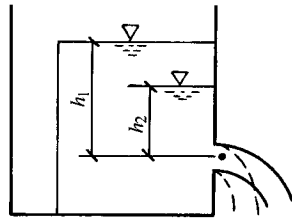


图 1-10 非恒定流

由于恒定流时运动要素不随时间而改变，则流线形状也不随时间而变化，此时，流线与迹线重合，这种水流运动的分析比较简单，本节后续内容只研究恒定流。

(2) 均匀流与非均匀流：在恒定流中，根据液流的运动要素是否沿程变化，将液流分为均匀流与非均匀流。

若同一流线上液体质点流速的大小和方向沿程均不变化，此液流称为均匀流。如液体在直径不变的长直管中的流动，或在断面形状、尺寸沿程不变的长直渠道中的流动，都是均匀流。

在均匀流中，沿同一根流线的流速分布是均匀的，所以流线是一组互相平行的直线，此时过水断面为平面。

当液流流线上各质点的运动要素沿程发生变化，流线不是彼此平行的直线时，此液流称为非均匀流。液体在收缩管、扩散管或弯管中的流动，以及液体在断面形状、尺寸改变的渠道中的流动，均为非均匀流。

(3) 渐变流与急变流：在非均匀流中，根据流线的非平行程度和弯曲程度，可将其分为渐变流与急变流。渐变流是指流线接近于平行直线的流动，如图 1-11 所示。此时，各流线的曲率很小（即曲率半径 R 较大），流线间的夹角也很小，它的极限情况就是流线为平行直线的均匀流。由于渐变流中流线近似平行，故可认为渐变流过水断面近似为平面。急变流是指流线的曲率较大，流线之间的夹角也较大的流动。此时，流线已不再是一组平行的直线，因此过水断面为曲面。管道转弯、断面扩大或收缩使水面发生急剧变化处的水流，均为急变流。

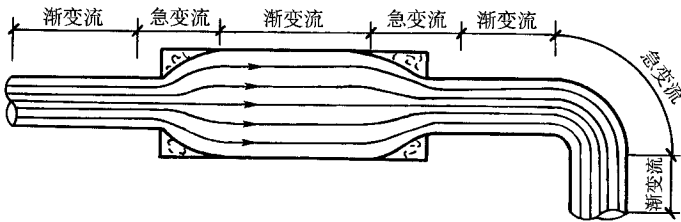


图 1-11 渐变流与急变流

(4) 有压流、无压流：根据液流在流动过程中有无自由表面，可将其分为有压流与无压流。液体沿流程整个周界都与固体壁面接触，而无自由液面的流动称为有压流。它主要是依靠压力作用而流动，如自来水管和有压涵管中的水流，均为有压流。

若液体沿流程一部分周界与固体壁面接触，另一部分与空气接触，具有自由液面的液流称为无压流。它主要是依靠重力作用而流动，因无压流液面与大气相通，故又可称为重力流，如河渠中的水流和无压涵管中的水流，均为无压流。

1.3.2 恒定液流连续性方程

液体作为不可压缩的连续介质与其他运动物质运动一样，也必须遵循质量守恒定律。恒定流连续性方程，实质上就是质量守恒定律在水流运动中的具体体现。

在恒定流中任取一段微小流束作为研究对象，如图 1-12 所示。设 1—1 过水断面面积为 dA_1 ，流速为 v_1 ，2—2 过水断面面积为 dA_2 ，流速为 v_2 。考虑到：

1) 在恒定流条件下，微小流束的形状与位置不随时间而改变。

2) 液体一般可视为不可压缩的连续介质，其密度 ρ 为常数。

3) 液体质点不可能从微小流束的侧壁流入或流出。这样，根据质量守恒定律，在某一时段内，流入 1—1 断面的液体的质量应等于流出 2—2 断面的液体质量，即

$$\begin{aligned}\rho v_1 dA_1 dt &= \rho v_2 dA_2 dt \\ v_1 dA_1 &= v_2 dA_2\end{aligned}\quad (1-15)$$

上式两边同时对面积积分则为

$$\int_{A_1} v_1 dA_1 = \int_{A_2} v_2 dA_2 \quad (1-16)$$

引入式 (1-14) 关于断面平均流速的概念，则式 (1-16) 则为

$$\begin{aligned}v_1 A_1 &= v_2 A_2 \\ Q_1 &= Q_2\end{aligned}\quad (1-17)$$

或

式 (1-17) 为恒定流连续性方程。式中的 v_1 与 v_2 分别表示过水断面 A_1 及 A_2 的断面平均流速。连续性方程表明：

1) 对于不可压缩的恒定总流，流量沿程不变。

2) 如果断面沿流程变化，则任意两个过水断面的平均流速的大小与过水断面面积成反比。断面大的地方流速小，断面小的地方流速大。

上述连续性方程是在流量沿程不变的条件下建立的，若沿程有流量汇入或分出，则连续性方程在形式上需作相应的变化。当有流量汇入时，如图 1-13 所示。其连续性方程为

$$Q_2 = Q_1 + Q_3 \quad (1-18)$$

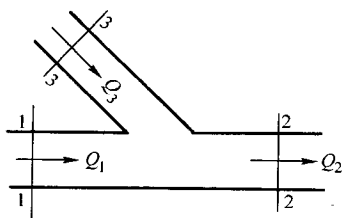


图 1-13 流量汇入

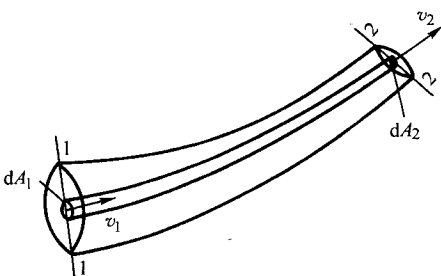


图 1-12 恒定流中微小流束

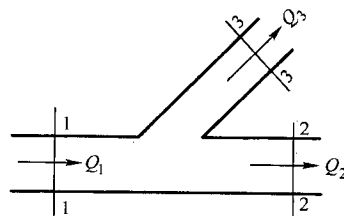


图 1-14 流量分出

当有流量分出时,如图 1-14 所示。其连续性方程为

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (1-19)$$

例 4 有一变直径圆管,如图 1-15 所示。已知 1—1 断面直径 $d_1 = 300\text{mm}$, 断面平均流速 v_1 为 0.2m/s ; 2—2 断面直径 $d_2 = 100\text{mm}$ 。

试求:

- 1) 2—2 断面的平均流速 v_2 。
- 2) 管中流量 Q 。

解 1) 求 2—2 断面的平均流速 v_2 。

根据连续性方程

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

其中

$$A_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2 \quad A_2 = \frac{\pi}{4} d_2^2$$

故

$$v_2 = v_1 \frac{d_1^2}{d_2^2} = 0.2 \times \left(\frac{0.3}{0.1}\right)^2 \text{m/s} = 1.8\text{m/s}$$

- 2) 求管中流量 Q 。

$$Q = v_1 A_1 = v_1 \times \frac{\pi}{4} d_1^2 = 0.2 \times \frac{3.14}{4} \times 0.3^2 \text{m}^3/\text{s} = 0.01413\text{m}^3/\text{s}$$

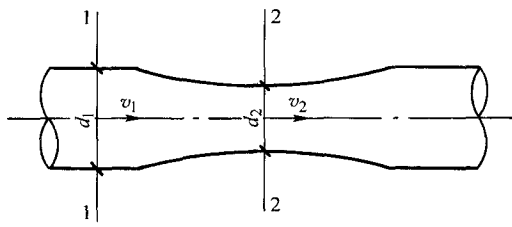


图 1-15 变直径圆管

1.4 水流形态与水头损失

1.4.1 水流的流态

试验表明,在管中流动的水流,当其流速不同时,水流具有两种不同的流动形态。当流速较小时,各流层的水流质点是有条不紊、互不混掺地分层流动,水流的这种流动形态称为层流。当水流中的流速较大时,各流层中的水流质点已形成旋涡,在流动中互相混掺,这种流动形态的水流为紊流。

水流形态的判别:为了鉴别层流与紊流这两种水流形态,把两类水流形态转换时的流速称为临界流速。其中,层流变紊流时的临界流速较大,称上临界流速,由紊流变层流时的临界流速较小,称下临界流速。当流速大于上临界流速时,水流为紊流状态。当流速小于下临界流速时,水流为层流状态。当流速介于上下两临界流速之间时,水流可能为紊流,也可能为层流,根据管道的初始条件和受扰动的程度确定。

对不同液体,在不同温度下,流经不同管径的管道进行试验,结果表明,液体流动形态的转变,取决于液体流速 v 和管径 d 的乘积与液体运动粘度 ν 的比值,称为雷诺数,用 Re 表示,即

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (1-20)$$

试验表明,同一形状的境界中流动的各种液体,流动形态转变时的雷诺数是一个常数,称为临界雷诺数。紊流变层流时的雷诺数称为下临界雷诺数。层流变紊流的雷诺数称为上临界雷诺数。下临界雷诺数比较稳定,而上临界雷诺数的数值极不稳定,随着流动的起始条件和试验条件不同,外界干扰程度不同,其值差异很大。实践中,只根据下临界雷诺数判别流态。把下临界雷诺数称为临界雷诺数,以及 Re_k 表示。实际判别液体流态时,当液流的雷诺

数 $Re < Re_k$ 时, 为层流; 当液流的雷诺数 $Re > Re_k$ 时, 则为紊流。雷诺数是判别流动形态的判别数, 对于同一边界形状的流动, 在不同液体、不同温度及不同边界尺寸的情况下, 临界雷诺数是一个常数。不同边界形状下流动的临界雷诺数大小不同。

试验测得圆管中临界雷诺数 $Re_k = 2000 \sim 3000$, 常取 2320 为判别值。

在明槽流动中, 雷诺数常用水力半径 R 作为特征长度来替代式 (1-20) 中的直径 d , 即

$$Re = \frac{vR}{\nu} \quad (1-21)$$

水力半径 $R = A/x$, 式中 A 为过水断面面积, x 为湿周。当直径为 d 的圆管充满液流时, $A = \pi d^2/4$ 、 $x = \pi d$, 则 $R = A/x = d/4$

在明槽流动中, 由于槽身形状有差异, 测得 $Re_k = 300 \sim 600$, 常取 580 为判别值。

在建筑设备中所遇到的流动绝大多数属于紊流, 即使流速和管径皆较小的生活供水, 管路通常也是紊流。层流是很少发生的, 只有在流速很小, 管径很大或运动粘度很大的流体运动时 (如地下渗流、油管等) 才可能发生层流运动。

1.4.2 水头损失

1. 水头损失产生的原因和水头损失的类型 由于实际液体具有粘滞性, 因此在流动过程中在有相对运动的相邻流层间就会产生内摩擦力, 耗损一部分液流的机械能, 造成水头损失。

在固体边界顺直的情况下, 水流的边界形状和尺寸沿水流方向不变或基本不变, 水流的流线便是平行的直线, 或者近似为平行的直线, 其水流属于均匀流或渐变流, 在此情况下产生的水头损失沿程都存在, 并随流程的长度而增加, 这种为克服沿程阻力而引起单位重量水体在运动过程中的能量损失, 称为沿程水头损失, 如输水管道、隧洞和河渠中的均匀流及渐变流流段内的水头损失, 就是沿程水头损失。常用 h_f 表示, 单位为 m。

在边界形状和大小沿流程发生改变的流段, 水流的流线发生弯曲, 由于水流的惯性作用, 水流在边界突变处会产生与边界的分离, 并且水流与边界之间形成旋涡区, 故在水流边界突变处的水流属于急变流, 如图 1-16 所示。

在急变流段内, 由于水流的扩散和旋涡的形成, 使水流在此段内形成了比内摩擦阻力大得多的水流阻力, 产生了较大的水头损失, 这种当流动边界沿程发生急剧变化时 (如突然扩大、突然缩小、转弯、阀门等处), 局部流段内的水流产生了附加的阻力, 额外消耗了大量的机械能, 通常称这种附加的阻力为局部阻力, 克服局部阻力而造成单位重量水体的机械能损失为局部水头损失。局部水头损失, 是在边界发生改变处的一段流程内产生的, 为了计算方便, 常将局部水头损失看成是集中在一个突变断面上产生的水头损失。常用 h_j 表示。

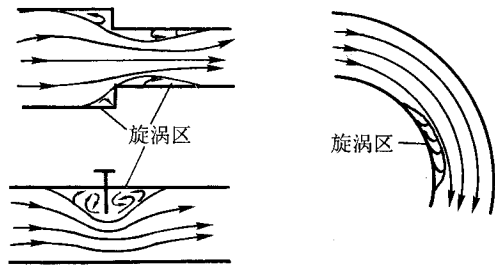


图 1-16 局部水头损失图

实际水流中, 整个流程既存在沿程水头损失, 又有各种局部水头损失。某一流段沿程水头损失与局部水头损失的总和, 称为该流段的总水头损失, 用 h_w 表示。即

$$h_w = \Sigma h_f + \Sigma h_j \quad (1-22)$$

式中 Σh_f ——整个流程中各均匀流段或渐变流段的沿程水头损失之和;