

高等学校试用教材

水力学

上册

成都科学技术大学水力学教研室编

人民教育出版社

高等学校试用教材

水 力 学

上 册

成都科学技术大学水力学教研室编

人 民 教 育 出 版 社

高等学校试用教材

水力学

上册

成都科学技术大学水力学教研室编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

重庆新华印刷厂印装

*

开本850×1168 1/32 印张16.25 插页6 字数387,000

1979年3月第1版 1979年10月重庆第1次印刷

印数00,001—12,000

书号15012·0120 定价 1.70 元

编者的话

本书是根据一九七八年一月教育部委托召开的高等学校工科基础课水力学教材编写会议讨论的编写大纲编写的，可作为高等学校工科水工建筑专业、农田水利专业等水力学课程的试用教材，也可作为其他有关专业的教学参考书。

本书分上、下两册出版。上册包括绪论，水静力学，液体运动的一元分析法，层流、紊流及其水头损失，有压管中恒定流，明渠恒定均匀流，明渠恒定非均匀流，水跃，堰流及闸孔出流的水力计算，泄水建筑物下游的水流衔接与消能。下册包括渠道连接建筑物的水力计算，隧洞的水力计算，明渠恒定变量流，有压管中的非恒定流，明渠非恒定流，液体运动的三元分析法，渗流，水工模型试验基础，高速水流，河渠泥沙运动的基本规律。各章均有例题及习题。书末有附录，内容包括引水系统的水力计算分析实例，实验数据的表示方法，有限单元法在水力学(平面势流)计算中的应用。

上册各章为各专业必学部分。下册各章，各学校可根据不同专业，不同地区及不同讲课学时酌情取舍。

本书由吴持恭同志主编，参加编写的有赵文谦、汝树勋、吴至维、华国祥、梁曾相、杨凌真、张道成、冉洪兴等同志。

一九七九年一月召开了本教材的审稿会，参加审稿会的有：主审单位武汉水利电力学院(徐正凡、黄克中、郑邦民)，合肥工业大学(张长高、陈瑞、孙其荃)以及其他审稿单位清华大学，华东水利学院，大连工学院，华北水利水电学院，西北农

学院，郑州工学院，太原工学院，新疆八一农学院，青海工学院，云南农业大学等十三所院校的代表。参加审稿会的同志对本教材提出了不少宝贵的修改意见，谨此表示感谢。

限于编者水平，同时编写时间也比较仓促，因而在教材中缺点和错误在所难免，希望广大读者提出批评和指正。

编 者

一九七九年二月

目 录

绪 论

§0-1 水力学的任务与研究对象	(1)
§0-2 液体的主要物理力学性质	(3)
§0-3 连续介质和理想液体的概念	(12)
§0-4 作用于液体上的力	(14)
§0-5 水力学的研究方法	(15)
习 题	(18)

第一章 水静力学

(20)

§1-1 静水压强及其特性	(20)
§1-2 静水压强的基本方程式及等压面的概念	(26)
§1-3 绝对压强、相对压强、真空及真空度	(30)
§1-4 压强的测量	(35)
§1-5 压强的液柱表示法, 水头与单位势能	(39)
§1-6 静水压强分布图	(42)
§1-7 作用于平面上的静水总压力	(44)
§1-8 作用于曲面上的静水总压力	(52)
§1-9 作用于物体上的静水总压力, 潜体与浮体的平衡 及其稳定性	(60)
习 题	(65)

第二章 液体运动的一元分析法

(72)

§2-1 描述液体运动的两种方法	(73)
§2-2 恒定流与非恒定流	(76)
§2-3 迹线与流线	(77)
§2-4 流管、微小流束、总流, 过水断面、流量与断面 平均流速	(80)

§2-5	一元流、二元流、三元流	(83)
§2-6	恒定一元流的连续性方程	(85)
§2-7	理想液体及实际液体恒定流微小流束的能量 方程式	(88)
§2-8	渐变流、急变流及其特性	(92)
§2-9	实际液体恒定总流的能量方程式	(97)
§2-10	能量方程式应用举例	(104)
§2-11	实际液体恒定总流的动量方程式	(114)
§2-12	恒定总流动量方程式应用举例	(118)
	习 题	(124)

第三章 层流、紊流及其水头损失.....(129)

§3-1	水头损失的物理概念及其分类	(129)
§3-2	波流边界几何条件对水头损失的影响	(133)
§3-3	均匀流沿程水头损失与切应力的关系	(136)
§3-4	液体运动的两种型态	(140)
§3-5	圆管中的层流运动及其沿程水头损失的计算	(147)
§3-6	紊流结构及其特征	(149)
§3-7	沿程阻力系数的变化规律	(162)
§3-8	计算沿程水头损失的经验公式——谢才公式	(170)
§3-9	局部水头损失	(175)
	习 题	(187)

第四章 有压管中恒定流.....(190)

§4-1	简单管道水力计算的基本公式	(191)
§4-2	简单管道水力计算的基本类型	(199)
§4-3	简单管道水力计算特例——虹吸管及水泵装置 的水力计算	(206)
§4-4	串联管道的水力计算	(213)
§4-5	并联管道的水力计算	(215)
§4-6	分叉管道的水力计算	(217)

§4-7	沿程均匀泄流管道的水力计算	(219)
	习 题	(222)
第五章	明渠恒定均匀流	(226)
§5-1	明渠的类型及其对水流运动的影响	(227)
§5-2	明渠均匀流的特性及其产生条件	(230)
§5-3	明渠均匀流的计算公式	(233)
§5-4	明渠水力计算中几个有关问题	(233)
§5-5	明渠均匀流的水力计算	(244)
§5-6	粗糙度不同的明渠及复式断面明渠的水力计算	(254)
	习 题	(258)
第六章	明渠恒定非均匀流	(261)
§6-1	明渠水流的三种流态	(262)
§6-2	断面比能、比能函数曲线及其特性	(267)
§6-3	临界水深和临界底坡	(272)
§6-4	明渠恒定渐变流的微分方程式	(280)
§6-5	棱柱体明渠渐变流水面曲线分析	(285)
§6-6	明渠渐变流的水力计算	(288)
§6-7	棱柱体明渠水面曲线直接积分法	(301)
§6-8	河道水面曲线的计算	(315)
§6-9	弯道水流	(332)
	习 题	(339)
第七章	水跃	(342)
§7-1	棱柱体水平明渠的水跃方程	(344)
§7-2	棱柱体水平明渠中水跃共轭水深的计算	(346)
§7-3	水跃方程的实验验证	(357)
§7-4	棱柱体水平明渠中水跃的能量损失	(359)
§7-5	棱柱体水平明渠中水跃跃长的确定	(365)
§7-6	棱柱体顺坡明渠中的水跃	(367)

§7-7 非棱柱体明渠中的水跃 (374)

习 题 (379)

第八章 堰流及闸孔出流的水力计算 (381)

§8-1 堰闸出流的特性分析及流态转化 (382)

§8-2 堰流的类型及计算公式 (383)

§8-3 薄壁堰流的水力计算 (387)

§8-4 实用堰流的水力计算 (391)

2151 §8-5 宽顶堰流的水力计算 (412)

§8-6 闸孔出流的水力计算 (424)

习 题 (437)

第九章 泄水建筑物下游的水流衔接与消能 (442)

§9-1 底流式消能的水力计算 (444)

§9-2 挑流消能的水力计算 (464)

§9-3 面流消能的水力计算 (475)

§9-4 消力戽消能的水力计算 (482)

习 题 (491)

附表I

附表II

附图I

附图II

附图III

附图IV

附图V

附图VI

绪 论

§0-1 水力学的任务与研究对象

水力学是一门技术科学，它是力学的一个分支。水力学的任务是研究液体（主要是水）的平衡和机械运动的规律及其在生产实际中的应用。

水力学所研究的基本规律，有两个主要组成部分。一是关于液体平衡的规律，它研究液体处于静止（或相对平衡）状态时，作用于液体上的各种力之间的关系，这一部分称为水静力学。二是关于液体运动的规律，它研究液体在运动状态时，作用于液体上的力和运动之间的关系，以及液体的运动特性与能量转换等等，这一部分称为水动力学。水力学所研究的液体运动，是指在外力作用下的宏观机械运动，而不包括微观分子运动。实际上，平衡是物体运动的一种特殊（暂时的、相对的）形式，水静力学和水动力学所研究的问题，都属于液体运动的范畴。客观外界存在的水（无论自然界或工程中）大多处于运动状态，所以水力学的大部分内容是讨论水动力学的问题。

在工农业生产的许多部门，如农田水利、水力发电、航运、交通、建筑、石油、化工、采矿、冶金等，都要碰到大量的与液体运动规律有关的生产技术问题，要解决这些问题必须具备水力学的知识，因此，水力学是高等学校工科不少专业特别是水利类专业的一门重要的技术基础课。

水力学在研究液体平衡和机械运动规律的时候，要应用物

理学及理论力学中有关物体平衡及运动规律的原理，如力系平衡定理、动量定理、动能定理等等，因为液体在平衡或运动状态下，也同样遵循这些普遍的原理。所以物理学和理论力学的知识是学习水力学课程必要的基础。

自然界的物质一般有三种存在形式，即固体、液体和气体。而水力学的研究对象是液体，或者说主要是水。水作为一种流体物质，在其运动过程中，表现出与固体物质不同的特点。固体物质，由于其分子间距离很小，内聚力很大，分子间相互移动可能性很小，所以它能够保持固定的形状和体积，要在很大的外力作用下才能使它的形状和体积发生改变(即发生变形)。

流体物质(液体和气体)分子间距离较大，内聚力很小，分子间相互移动和形状改变非常容易，只要有极小的外力作用包括在自身重力的作用下，就可能发生变形(或流动)，几乎没有抵抗变形的能力，所以表现为极易流动(即所谓“易流动性”)。由于这个原因，液体和气体不能保持自己固定的形状。俗话说，“水随器而方圆”，乃是对液体的这种性质的生动描述。当然，严格讲来，只能说液体几乎没有抵抗拉伸或剪切变形的能力，只要作用微小的拉力或剪力，液体就会发生很大的变形。但液体在一定的条件下(如受到密闭边界的限制)可以承受压力，在这种条件下液体有抵抗压缩变形的能力。

就液体和气体两者相比，液体分子内聚力却又比气体大得多，因为液体分子间距离较小，密度较大，所以液体虽不能保持固定的形状，但能保持比较固定的体积。当盛有液体的容器，若其容积大于液体的体积时，液体就不会充满整个容器，而具有一个自由表面(液体仅占据自身体积所需要的那部分空间)。气体不仅没有固定的形状，也没有固定的体积，极易膨胀和压缩，它可以任意扩散直到充满其所占据的任何有限空间。而液

体压缩的可能性很小，在很大的压力作用下，其体积的缩小甚微。液体的膨胀性同样也是很小的。气体和液体的主要差别就是它们的可压缩程度不同。当气流速度远比音速为小的时候，在运动过程中其密度变化很小(例如在标准状态下，在地球表面附近的气流速度为50米/秒时，密度仅增加1%)，气体也可视为不可压缩，此时水力学的各项基本规律都可以应用到气体流动中去。

§0-2 液体的主要物理力学性质

物体运动状态的改变都是受外力作用的结果。分析研究液体运动的规律，也要从分析液体的受力情况着手，而任何一种力的作用，都要通过液体自身的性质来表现，所以在研究液体运动规律之前，须对液体的物理力学特性有所了解。和机械运动有关的液体的主要物理力学性质如下：

一、惯性、质量与密度

任何物质都具有惯性，惯性就是物体保持原有运动状态的特性。惯性的大小以质量来度量，质量愈大的物体惯性也愈大。当液体受外力作用使运动状态发生改变时，液体要产生反抗其改变的惯性力。质量用 M 表示，常用的单位为千克(kg)或吨(T)。

密度是指单位体积液体所具有的质量。液体的密度常以符号 ρ 表示，若某一质量为 M ，其体积为 V 的均质液体，其密度

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (0-1)$$

若已知某均质液体的密度与体积，该液体质量为

$$M = \rho V \quad (0-2)$$

密度的量纲为 $[M/L^3]$ ，通用的国际单位为 公斤/米³ (kg/m³)。液体的密度随温度和压强有所变化，但这种变化很小，所以水力学中把水的密度视为常数，采用在一个大气压下，温度为 4℃ 时的清洁蒸馏水的密度来计算，此时 ρ 为 1000 公斤/米³ (kg/m³)。

二、万有引力特性，重力与容重

万有引力特性是指任何物体之间互相具有吸引力的性质，其吸引力称为万有引力。地球对物体的引力称为重力，或称为重量。在研究液体所受的作用力时，重力常是一个很重要的力。一质量为 M 的液体，其所受重力 G 的大小为

$$G = Mg \quad (0-3)$$

g 为重力加速度。

液体的容重 (以 γ 表示)，是指单位体积液体所具有的重量。对于某一重量为 G ，体积为 V 的均质液体，其容重为

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (0-4)$$

或
$$\gamma = \frac{Mg}{V} = \frac{M}{V}g = \rho g \quad (0-5)$$

或
$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad (0-6)$$

容重的量纲为 $[F/L^3]$ ，通用的国际单位为 牛·顿/米³ (N/m³)。不同液体的容重是不相同的，同一种液体的容重随温度和承受的压强而变化。但因水的容重随温度与压强变化甚微，一般工程上视为常数，取在一个大气压下 4℃ 时的蒸馏水容重来计算，此时 γ 为 9800 牛·顿/米³ (N/m³)。

水在不同温度时的容重值参见表 0-1，几种常见液体的容重值见表 0-2。

表 0-1 不同温度时水的容重 γ 值(大气压力下)

$t^{\circ}\text{C}$	0°	4°	10°	20°	30°	40°	60°	80°	100°
N/m^3	9798.73	9800.00	9797.55	9782.95	9758.45	9725.03	9637.12	9525.01	9394.77

表 0-2 几种常见液体的容重 γ 值(大气压力下)

液体名称	汽油	纯酒精	蒸馏水	海水	水银
容重 N/m^3	6664—7350	7778.3	9800	9996—10084	13328
测定温度($^{\circ}\text{C}$)	15°	15°	4°	15°	0°

在水力学计算中，经常使用容重和密度这两个重要物理量，对它们的物理意义，量纲和单位必须熟练掌握。

三、粘滞性与粘滞系数

当液体处在运动状态时，若液体质点之间存在着相对运动，则质点间要产生一种内摩擦力来抵抗其相对运动，这种性质称为液体的粘滞性，此内摩擦力又称为粘滞力。

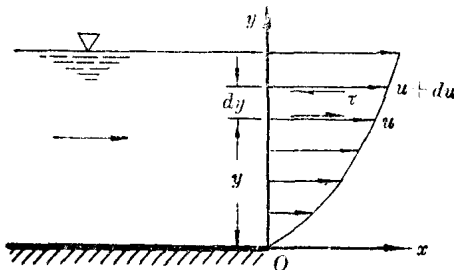


图 0-1

如图 0-1 液体沿着一个固体平面壁作平行的直线流动，且液体质点是有规则的一层一层向前运动不会互相穿插（这种各

液层间互不干扰的向前运动称为“层流运动”，以后我们将详细讨论这种运动的特性)。由于固体边壁和液体粘滞性的相互作用，靠近壁面附近流速较小，远离壁面处流速较大，因而各个不同液层的流速大小是不相同的，流速大小分布状况如图中所示。若距固体边界为 y 处的流速为 u ，在相邻的 $y + dy$ 处的流速为 $u + du$ ，由于两相邻液层的流速不同（也就是存在着相对运动），在其接触面上要产生内摩擦力来阻止其相对运动。下面一层液体对上面一层液体作用了一个与流速方向相反的摩擦力 τ ，而上面一层液体对于下面一层液体则作用了一个与流速方向一致的摩擦力 τ ，这两个摩擦力大小相等、方向相反，都具有抗拒其相对运动的性质。作用在上面一层液体上的摩擦力有减缓其流动的趋势，作用在下面一层液体上的摩擦力有加速其流动的趋势。

根据前人的科学实验证明，相邻液层接触面的单位面积上所产生的内摩擦力 τ 的大小，与两液层之间的速度差 du 成正比，与两液层之间距离 dy 成反比，同时与液体性质(即种类)有关。将此试验结果写作表达式，即

$$\tau \propto \frac{du}{dy}$$

或
$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (0-7)$$

式中 μ 为随液体种类不同而异的比例系数，称为动力粘滞系数。两液层间流速差与其距离的比值 $\frac{du}{dy}$ 又可称为流速梯度。

(0-7) 式就是水力学中著名的“牛顿内摩擦定律”，它可描述为：作层流运动的液体，相邻液层间单位面积上所作用的内摩擦力(或称粘滞力)，与流速梯度成正比，同时与液体的性质有关。

下面可以证明，流速梯度 $\frac{du}{dy}$ ，实质上是代表液体质点的

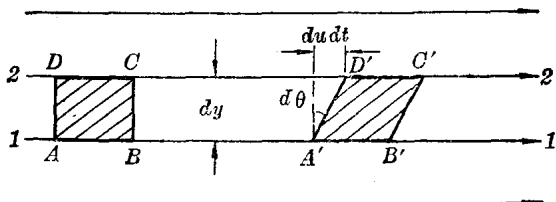


图 0-2

剪切变形速度。如图0-2所示，从图0-1中将相距为 dy 的两层液流1-1和2-2分离出来并加以放大，今取两液层间矩形微分质点 $ABCD$ 来研究。设该质点经过 dt 时段后运动至新的位置 $A'B'C'D'$ ，因液层2-2与液层1-1存在流速差为 du ，质点除位置改变而引起平移运动之外，还伴随着形状的改变，由原来的矩形变成了平行四边形，也就是产生了剪切变形（或者角变形）， AD 边或 BC 边都发生了角变位 $d\theta$ ，其剪切变形（即角变形）速度为 $\frac{d\theta}{dt}$ 。在 dt 时段内， D 点比 A 点所多移动的距离为

$du \frac{dy}{dy} dt$ ，因为 dt 为微分时段，角变位 $d\theta$ 亦为微分量，可认为

$$d\theta \approx \text{tg}(d\theta) = \frac{du}{dy} dt$$

故
$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{du}{dy} \quad (0-8)$$

所以内摩擦公式(0-7)又可表达为

$$\tau = \mu \frac{d\theta}{dt} \quad (0-9)$$

由于内摩擦力与作用面平行，故常称 τ 为切应力。

根据以上的推证，又可将牛顿内摩擦定律表述为：液体运

动时，相邻液层之间所产生的切应力和剪切变形的速度成正比。所以液体的粘滞性又可视为液体抵抗剪切变形的特性。

液体的性质对摩擦力的影响，通过系数 μ 来反映。粘性大的液体 μ 值大，粘性小的液体 μ 值小。其通用的国际单位为牛顿·秒/米²(N·s/m²) 或帕斯卡秒 (Pa·s)，过去的书上习惯用的物理制单位为达因·秒/厘米²，并常称 1 达因·秒/厘米² 为 1“泊司”。通过单位换算不难推出：

$$1\text{“泊司”} = 0.1\text{牛顿}\cdot\text{秒}/\text{米}^2$$

液体的粘滞性还可以用另一种形式的粘滞系数 ν 来反映，它是动力粘滞系数 μ 和液体密度 ρ 的比值 ($\nu = \frac{\mu}{\rho}$)，因为 ν 不包括力的量纲而仅仅具有运动量的量纲(L²/T)，故称 ν 为运动粘滞系数，通用的国际单位为米²/秒(m²/s)，习惯上把 1 厘米²/秒(cm²/s) 称为 1“斯托克斯”。通过单位换算不难得到：

$$1\text{“斯托克斯”} = 0.0001\text{m}^2/\text{s}$$

在同一种液体中， μ 或 ν 值均随温度和压力而异，但随压力变化关系甚微，对温度变化较为敏感。

对于水，系数 ν 可按下列经验公式计算

$$\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \quad (0-10)$$

式中 t 为水温，以℃计， ν 以厘米²/秒(cm²/s)计。

为了使用方便，在表 0-3 中列出了不同温度时水的 ν 值。

最后还要指出，牛顿内摩擦定律，对于某些特殊液体（如泥浆、胶状液体、接近凝固的石油等）是不适用的。为了区别，有人把符合牛顿内摩擦定律的液体称为“牛顿液体”，反之称为“非牛顿液体”，而即便对于牛顿液体，也仅仅是对液体作层流运动才是符合实际的，当液体作非层流运动时，阻力的计算将