

高等学校教材

水力学

上册

(第二版)

成都科技大学水力学教研室编

吴持恭 主编

A decorative graphic on the book cover consisting of several horizontal, wavy lines in shades of blue and green. These lines curve downwards from left to right, ending in arrowheads pointing to the right. The background is a solid light blue color.

高等教育出版社

高等学校教材

水力学

(第二版)

上册

成都科技大学水力学教研室 编
吴持恭 主编

高等教育出版社

本书原由人民教育出版社出版。1983年3月9日，
上级同意恢复“高等教育出版社”；本书今后改用高等
教育出版社名义继续印行。

高等学校教材

水力学

(第二版)

上册

成都科技大学水力学教研室 编

吴持恭 主编

*

高等教育出版社出版

四川省新华书店重庆发行所发行

北京印刷三厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 13.5 插页 2 字数 326,000

1979年3月第1版 1982年11月第2版 1984年3月第2次印刷

印数 6,801—14,800

书号 15010·0458 定价 1.50元

第一版序

本书是根据一九七八年一月教育部委托我校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，青海工农学院，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

第二版序

1979年3月第1版的《水力学》是根据全国15所院校代表讨论制定的编写大纲编写的,当时要求编成既是教科书又是参考书。这次是根据1980年5月审定的《水力学教学大纲》(草案)对原书进行了一次较大的修订,以便更好地符合教学要求。在修订时力求贯彻教育部工科基础课程教材编委会工作会议关于大力提高教材质量的精神,以及“打好基础,精选内容,逐步更新,利于教学”的原则。

修订本除保持原书力求贯彻循序渐进、加强基础、理论联系实际、利于教学等原则外,我们主要作了以下一些修订:

一、原书属于基本理论的内容原则上不减。对一些非基本的以及属于专业课范围的内容,而大纲中又没有要求的,如无压圆管的共轭水深计算、顺坡明渠中水跃、实用堰中的渥奇及克-奥剖面、隧洞水力计算、连接建筑物的水力计算、明渠恒定变量流、用直线比例法计算闸坝底板上的渗透压力等作了删减。

对大纲中有要求,原书未编入的内容,如液体的相对平衡、有能量输入输出的能量方程、窄深堰流水力计算、紊动扩散等作了补充。

二、原书体系基本上没有变动,但为了便于取舍,将液体运动的解析理论—三元分析法这章分为液体运动的流场理论、边界层理论基础、恒定平面势流等三章。

三、教科书字数有一定控制,凡属不同计算方法,只保留一种常用典型方法,其他方法删减或改为简介。例如关于天然河道水面曲线图解法,保留艾斯考夫图解法,删去控制曲线法;关于明渠

恒定渐变流水面曲线的计算方法，保留逐段试算法，水力指数法改为简介。某些段落的文字叙述也作了修改，避免不必要重复。为了减少篇幅，原书附录全部删去。

四、对例题、习题和图表进行了校核和修正。名词、符号全书力求做到统一。

本修订版由吴持恭、赵文谦、汝树勋分工执笔，由吴持恭主编。修订稿由华东水利学院张长高教授、清华大学余常昭教授主审。审稿会由教育部水力学教材编审小组主持，除有关编委及主审人外，参加的还有清华大学、武汉水利电力学院、陕西机械学院、郑州工学院、广西大学等院校代表。与会同志提出了许多宝贵意见和建议，谨此表示感谢。

因限于水平，书中缺点和错误在所难免，恳切希望同志们指正。

编 者

一九八二年七月十日

目 录

绪论	1
§ 0-1 水力学的任务与研究对象	1
§ 0-2 液体的主要物理性质	2
§ 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	13
§ 0-5 水力学的研究方法	14
习题	16
第一章 水静力学	17
§ 1-1 静水压强及其特性	17
§ 1-2 液体的平衡微分方程式及其积分	23
§ 1-3 等压面	27
§ 1-4 重力作用下静水压强的基本公式	28
§ 1-5 几种质量力同时作用下的液体平衡	30
§ 1-6 绝对压强与相对压强	34
§ 1-7 压强的测量	37
§ 1-8 压强的液柱表示法, 水头与单位势能	42
§ 1-9 作用于平面上的静水总压力	44
§ 1-10 作用于曲面上的静水总压力	53
§ 1-11 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 液体运动的流束理论	73
§ 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	78
§ 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	86
§ 2-8	均匀流与非均匀流, 非均匀渐变流与急变流	89
§ 2-9	实际液体恒定总流的能量方程式	94
§ 2-10	能量方程式应用举例	103
§ 2-11	实际液体恒定总流的动量方程式	115
§ 2-12	恒定总流动量方程式应用举例	120
§ 2-13	量纲分析与 π 定理	126
	习题	137
第三章	液流型态及水头损失	143
§ 3-1	水头损失的物理概念及其分类	143
§ 3-2	液流边界几何条件对水头损失的影响	147
§ 3-3	均匀流沿程水头损失与切应力的关系	149
§ 3-4	液体运动的两种型态	153
§ 3-5	圆管中的层流运动及其沿程水头损失的计算	160
§ 3-6	紊流的特征	162
§ 3-7	沿程阻力系数的变化规律	175
§ 3-8	计算沿程水头损失的经验公式——谢才公式	183
§ 3-9	局部水头损失	187
	习题	198
第四章	有压管中的恒定流	202
§ 4-1	简单管道水力计算的基本公式	203
§ 4-2	简单管道水力计算的基本类型	211
§ 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	217
§ 4-4	串联管道的水力计算	223
§ 4-5	并联管道的水力计算	226
§ 4-6	分叉管道的水力计算	228
§ 4-7	沿程均匀泄流管道的水力计算	229
	习题	232
第五章	明渠恒定均匀流	237

§ 5-1	明渠的类型及其对水流运动的影响	238
§ 5-2	明渠均匀流的特性及其产生条件	242
§ 5-3	明渠均匀流的计算公式	244
§ 5-4	水力最佳断面及允许流速	249
§ 5-5	明渠均匀流的水力计算	254
§ 5-6	粗糙度不同的明渠及复式断面明渠的水力计算	263
	习题	266
第六章 明渠恒定非均匀流		269
§ 6-1	明渠水流的三种流态	269
§ 6-2	断面比能与临界水深	274
§ 6-3	临界底坡、缓坡与陡坡	283
§ 6-4	临界水深的一些实例	286
§ 6-5	明渠恒定非均匀渐变流的微分方程式	289
§ 6-6	棱柱体明渠中恒定非均匀渐变流水面曲线分析	292
§ 6-7	明渠恒定非均匀渐变流水面曲线的计算—— 逐段试算法	301
§ 6-8	河渠恒定非均匀流的流量与糙率的计算	308
§ 6-9	水力指数法简介	310
§ 6-10	河道水面曲线的计算	312
§ 6-11	弯道水流	323
	习题	331
第七章 水跃		335
§ 7-1	棱柱体水平明渠的水跃方程	336
§ 7-2	棱柱体水平明渠中水跃共轭水深的计算	338
§ 7-3	水跃方程的实验验证	347
§ 7-4	棱柱体水平明渠中水跃的能量损失	349
§ 7-5	棱柱体水平明渠中水跃跃长的确定	356
§ 7-6	非棱柱体明渠中的水跃	357
	习题	362
第八章 堰流及闸孔出流		364
§ 8-1	堰流的类型及计算公式	366
§ 8-2	薄壁堰流的水力计算	370

§ 8-3	实用堰流的水力计算	374
§ 8-4	宽顶堰流的水力计算	392
§ 8-5	窄深堰流的水力计算	403
§ 8-6	闸孔出流的水力计算	404
习题		415
附图	I	
附图	II	
附图	III	
附图	IV	

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实际应用。

水力学所研究的基本规律，有两大主要组成部分。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，作用于液体上的力与运动要素之间的关系，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。

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、冶金等部门，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，水力学是高等工科院校不少专业特别是水利类专业的一门重要技术基础课。

水力学在研究液体平衡和机械运动规律时，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。液体和气体统称为流体。水作为一种流体，在运动过程中，表现出与固体有不同的特点。固体由于其分子间距离很小，内聚力很大，所

以它能保持固定的形状和体积。它能承受一定数量的拉力、压力和剪切力。而流体则不同,由于其分子间距离较大,内聚力很小,它几乎不能承受拉力,抵抗拉伸变形;在微小剪切力作用下,流体很容易发生变形或流动,所以流体不能保持固定的形状。

液体与气体两者相比,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,所以液体虽然不能保持固定的形状,但能保持比较固定的体积。一个盛有液体的容器,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有限空间。而液体的压缩性很小,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,但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,气体也可视为不可压缩,此时水力学的基本原理也同样适用于气流。

§ 0-2 液体的主要物理性质

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,须对液体的物理特性有所了解。和机械运动有关的液体的主要物理性质如下:

一、惯性、质量与密度

液体与任何物体一样,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,由于液体的惯性引起对外界抵抗的反作用力称为惯性力。设物体的质量为 M ,

加速度为 a ，则惯性力为

$$F = -Ma$$

式中负号表示惯性力的方向与物体的加速度方向相反。

每一个物理量都包括有量的数值及量的种类。量的种类习惯上称为量纲。量纲与单位不同，例如水深 $h=1$ 米，也可用 $h=100$ 厘米表示，水深是表示一个“长度”的物理量；而米或厘米是长度的单位，单位不同，量的数值也不同。但量纲则只有一个，即长度，用 $[L]$ 表示。

我国过去习惯上使用工程单位制，力的单位用公斤(kg)，质量的单位用公斤-秒²/米(kg-s²/m)。现推广使用国际单位制，根据国际单位制的规定，质量的单位用千克(即公斤)，力的单位用牛顿(N)。1牛顿的力定义为：在1牛顿力的作用下，质量为1千克的物体得到1米/秒²的加速度。

密度是指单位体积液体所含有的质量。液体的密度常以符号 ρ 表示，若一均质液体质量为 M ，体积为 V ，其密度为

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

若已知某均质液体的密度与体积，则该液体的质量为

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

密度的量纲为 $[M/L^3]$ ，国际单位为公斤/米³(kg/m³)。液体的密度随温度和压强而变化，但这种变化很小，所以水力学中把水的密度视为常数，采用在一个标准大气压下，温度为4°C时的蒸馏水密度来计算，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相互具有吸引力的性质，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, 其所受重力的大小为

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

g 为重力加速度。

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

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

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

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

容重的量纲为 $[F/L^3]$, 国际单位为牛顿/米³(N/m^3) 或千牛顿/米³(KN/m^3)。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, 取在一个标准大气压下 $4^\circ C$ 时的蒸馏水容重来计算, 此时 γ 为 9800 牛顿/米³(N/m^3)。

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(标准大气压力下)

$t^\circ C$	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(标准大气压力下)

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	133280
测定温度($^\circ C$)	15°	15°	4°	15°	0°

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,则质点间要产生内摩擦力抵抗其相对运动,这种性质称为液体的粘滞性,此内摩擦力又称为粘滞力。

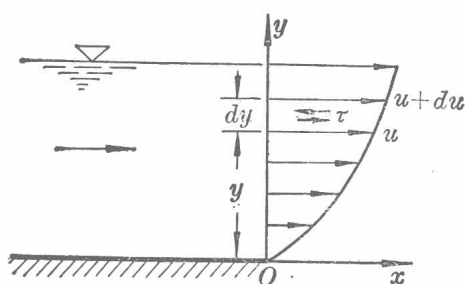


图 0-1

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而不互相混掺(这种各液层间互不干扰的运动称为“层流运动”,以后我们将详细讨论这种运动的特性)。由于液体具有粘滞性的缘故,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。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),在两流层之间将对地产生内摩擦力。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,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,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, 同时与液体性质有关。将此试验结果写成表达式, 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 $\frac{du}{dy}$ 又称为流速梯度。

(0-7)式就是著名的“牛顿内摩擦定律”, 它可表述为: 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 $\frac{du}{dy}$, 实质上是代表液体微团的剪切变形速度。如图 0-2 所示, 从图 0-1 中将相距为 dy 的两层液流 1-1

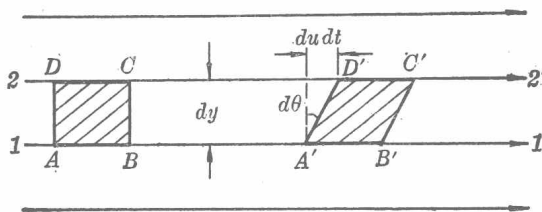


图 0-2

和 2-2 分离出来, 今取两液层间矩形微分体 $ABCD$ 来研究。设该微分体经过 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 , 微分体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 (或角变形), AD 边或 BC 边都发生了角变位 $d\theta$, 其剪切变形速度为 $\frac{d\theta}{dt}$ 。在 dt 时段内, D 点比 A 点所多移动的