

575240

511
14034

高等学校试用教材

水 力 学

西南交通大学
哈尔滨建工学院 编



大学图书馆
馆藏

人民教育出版社

511
14034

511
14

高等学校试用教材

水 力 学

西南交通大学 编
哈尔滨建工学院

人民教育出版社

内 容 提 要

本书系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会议讨论的大纲,由西南交通大学、哈尔滨建工学院合编。适用于给水排水、铁道工程、公路道路、桥梁隧道等专业。

在编写过程中,注意加强基础理论,努力贯彻理论联系实际的原则,根据需要与可能适当反映本门学科的先进科学水平。

为了巩固理论、联系实际和培养分析计算能力,各章选编了一定数量的例题和习题。

由于本书包括了各专业所需要内容,在使用时,可按各专业的教学要求作必要的取舍。书中有一部分供读者参考的内容印成小号字。

本书内容包括:绪论,第一章水静力学,第二章水动力学基础,第三章流动阻力和水头损失,第四章孔口、管嘴出流和有压管流,第五章明渠均匀流,第六章明渠非均匀流,第七章堰流和水流衔接,第八章渗流,第九章模型试验的基本原理。

高等学校试用教材

水 力 学

西南交通大学 编
哈尔滨建工学院

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张 12 插页 1 字数 290,000

1979年6月第1版 1979年11月第1次印刷

印数 000,001—7,000 册

书号 15012·0164 定价 1.00 元

序

本书系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会议讨论的大纲。由西南交通大学、哈尔滨建筑工程学院合编。适用于给水排水、铁道工程、公路道路、桥梁隧道等专业。

在编写过程中，注意加强基础理论，努力贯彻理论联系实际的原则，根据需要与可能适当反映本门学科的先进科学水平。

为了巩固理论、联系实际和培养分析计算能力，各章选编了一定数量的例题和习题。

由于本书包括了各专业所需要的内容，在使用时，可按各专业的教学要求作必要的取舍。书中有一部分供读者参考的内容印成小号字。

本书由下列同志参加编写：西南交通大学黄宽渊（绪论、第一、七章），姜兴华（第二章），黄儒钦（第五、六章），金学易（第八章）；哈尔滨建筑工程学院屠大燕（第三章），刘鹤年（第三、四、九章）。在本书汇稿过程中，西南交通大学范治纶对全部书稿进行了阅改。

本书由重庆建筑工程学院周谟仁、魏亚东、西安冶金建筑工程学院许群和、武永寿，兰州铁道学院李正才、李文绶等同志主审。参加审稿会的还有同济大学、北方交通大学、北京建筑工程学院和湖南大学等兄弟院校的代表。在审稿过程中，同志们提出了许多宝贵的意见和建议。天津大学、辽宁建筑工程学院等也提出了书面意见。在此一并致谢。

由于我们水平所限，缺点和错误在所难免，希望读者批评指正，以便进一步修订。

西南交通大学
哈尔滨建筑工程学院 水力学教研室

一九七九年三月

目 录

序	i
绪论	1
§ 0-1. 水力学的任务	1
§ 0-2. 作用在流体上的力	3
§ 0-3. 流体的主要物理性质	4
第一章 水静力学	11
§ 1-1. 静水压强的特性	11
§ 1-2. 液体平衡的微分方程	14
§ 1-3. 重力作用下液体的压强分布规律	16
§ 1-4. 测量压强的仪器	21
§ 1-5. 重力和其他质量力共同作用下静水压强的分布规律	24
§ 1-6. 作用在平面壁上的静水总压力	27
§ 1-7. 作用在曲面壁上的静水总压力	31
§ 1-8. 浮体的浮力和稳定性	34
习题	40
第二章 水动力学基础	46
§ 2-1. 描述液体运动的方法	46
§ 2-2. 液体运动的一些基本概念	48
§ 2-3. 液体运动的连续性微分方程	52
§ 2-4. 液体总流的连续性方程	54
§ 2-5. 理想液体的运动微分方程(欧拉运动微分方程)	58
§ 2-6. 理想液体恒定微小流束的伯诺里方程(能量方程)	60
§ 2-7. 理想液体恒定微小流束的伯诺里方程的 物理意义与几何意义	64
§ 2-8. 实际液体恒定微小流束的伯诺里方程, 总水头线与测压管 水头线及其坡度	68
§ 2-9. 实际液体恒定总流的伯诺里方程(能量方程)	70

§ 2-10. 液体恒定总流的动量方程·····	78
习题·····	84
第三章 流动阻力和水头损失 ·····	93
§ 3-1. 水头损失的分类·····	93
§ 3-2. 液体运动的两种型态——层流和紊流·····	95
§ 3-3. 沿程水头损失与切应力的关系·····	102
§ 3-4. 圆管中的层流运动·····	106
§ 3-5. 紊流运动·····	109
§ 3-6. 紊流的沿程水头损失·····	118
§ 3-7. 局部水头损失·····	130
§ 3-8. 添加剂减阻简介·····	138
习题·····	142
第四章 孔口、管嘴出流和有压管流 ·····	145
§ 4-1. 孔口出流·····	146
§ 4-2. 管嘴出流·····	153
§ 4-3. 短管的水力计算·····	157
§ 4-4. 长管的水力计算·····	169
§ 4-5. 管网水力计算基础·····	181
§ 4-6. 离心泵的原理和选用·····	188
§ 4-7. 有压管路中的水击·····	194
习题·····	202
第五章 明渠均匀流 ·····	212
§ 5-1. 概述·····	212
§ 5-2. 明渠均匀流的计算公式·····	215
§ 5-3. 明渠的水力最优断面和允许流速·····	218
§ 5-4. 明渠水力计算的基本问题·····	223
§ 5-5. 无压管道的水力计算·····	228
习题·····	232
第六章 明渠非均匀流 ·····	234
§ 6-1. 概述·····	234
§ 6-2. 断面单位能量 临界水深 缓流、急流、临界流·····	236

§ 6-3. 水跃·····	245
§ 6-4. 明渠恒定非均匀渐变流的微分方程·····	252
§ 6-5. 棱柱形渠道中恒定非均匀渐变流水面曲线的分析·····	254
§ 6-6. 棱柱形渠道中恒定非均匀渐变流水面曲线的计算·····	261
习题·····	270
第七章 堰流和水流衔接 ·····	272
§ 7-1. 堰的定义和分类·····	272
§ 7-2. 宽顶堰·····	275
§ 7-3. 宽顶堰理论在水工建筑物水力计算上的应用·····	281
§ 7-4. 薄壁堰及实用断面堰·····	286
§ 7-5. 闸孔出流·····	292
§ 7-6. 水流衔接和消能·····	294
§ 7-7. 跌水和陡槽水力计算原理·····	302
§ 7-8. 明渠急流冲击波·····	303
习题·····	309
第八章 渗流 ·····	312
§ 8-1. 渗流阻力定律·····	312
§ 8-2. 渗流模型与土壤分类·····	316
§ 8-3. 管井的涌水量计算·····	319
§ 8-4. 井群的涌水量计算·····	325
§ 8-5. 均匀渗流中的承压井·····	335
§ 8-6. 集水廊道的流量计算·····	342
§ 8-7. 大口井的涌水量计算·····	344
习题·····	346
第九章 模型试验的基本原理 ·····	348
§ 9-1. 相似的基本概念·····	348
§ 9-2. 相似准则·····	351
§ 9-3. 模型试验·····	354
习题·····	357
附录 0-1. 国际单位与工程单位对照表 ·····	359
附录 3-1. 工业管道的沿程阻力系数 λ 曲线图·····	360

附录 4-1. 钢管的比阻 A 值	361
附录 4-2. 铸铁管的比阻 A 值	361
附录 4-3. 钢管和铸铁管 A 值的修正系数 K	362
附录 4-4. 铸铁管的 $1000J$ 和 v 值(部分)	362
附录 4-5. 部分国产离心泵工作性能表	363
附录 5-1. 各种不同粗糙面的粗糙系数 n	364
附录 5-2. 谢才系数 C 的数值表	365
附录 5-3. 梯形渠道水力计算用的诺谟图	367
附录 5-4. 梯形渠道水力计算图解	370
习题答案	371

绪 论

§ 0-1. 水力学的任务

水力学是研究液体平衡和机械运动的规律及其应用的一门科学。在一定的条件下,其运动规律也适用于气体。

液体和气体统称流体。在物理学中,研究了物质的物理性质及其运动规律。但由于固体、液体和气体的物理性质有很大的差异,因此,在历史的发展中,随着生产的需要和科学的进步,水力学从物理学中分离出来逐渐形成了一门独立的科学。

水力学和材料力学一样,也引用连续介质的概念。

物质是由分子组成,分子之间是不连续而有间隙的,各个分子作不规则的随机运动。在标准情况下,每立方厘米的液体中,约有 3.3×10^{22} 个液体分子,相邻分子间的距离约为 3×10^{-8} 厘米。可见,分子间的距离相当微小,在很小的体积中,包含了难以计数的分子。在一般工程实际中,所研究液体的空间比分子尺寸大得多。因此,在研究液体和气体的宏观运动时,就不需要考查个别分子的随机运动,只需要着眼于大量分子集体所表现出来的宏观的平均力学特征。换言之,在水力学中,把液体当成一种“连续介质”,即认为液体是一种无间隙的充满空间的连续体。

现举例说明连续介质的物理意义。例如,在水力学论及水中某一点的速度 u 时,是指一非常小的体积(例如,一立方微米,1微米 = 10^{-6} 米。)中的 3.3×10^{10} 个分子的动量总和除以该体积所含的质量,即质量加权平均速度。由于这一体积很小,可以把这一质

量加权平均速度定义为这一体积中心点的速度。这样处理，实际上是不计及分子间隙的影响，认为速度是空间点的连续函数。

通常用“连续介质”模型来研究液体运动，在工程的量测精度范围内是许可的，并为实验所证实。只有在某些情况下，如稀薄气体的流动，由于此时分子间隙很大，连续介质的模型才不适用。

在水力学中，既然把流体的运动看成是一种连续介质的流动，认为流体连续地充满所占空间，没有间隙，那么，流体运动各参数诸如密度、流速、压强、切应力等量的时空分布也是连续可微的函数。水力学所研究的宏观机械运动规律，也就可用这些运动参数间的关系来表达。

学习水力学时，液体运动的基本概念和基本规律是研究的重点。而基本概念和基本规律又需要结合一定数量的工程实际问题才易于理解和掌握。为此，本教材除基本原理外，还侧重于从土建类专业常见的液体运动实际问题中来选取其基本内容。水力学在土建工程方面的应用是相当广泛的，如城市的生活和工业用水，一般都是从水厂集中供应，水厂利用水泵把河、湖或井中的水抽上来，经过净化和消毒处理后，再用水泵通过管路系统把水输送到各个用户。有时，为了均衡水泵的负荷，还需要修建水塔。这样，就必须解决一系列水力学问题，如管路布置，水管直径和水塔高度的设计，水泵容量和井的产水量的计算等等。

与工农业发展相适应，需要发展交通运输业。在修建铁路、公路，开凿航道，建筑港口等工程时，也必需解决一系列水力学问题，例如桥涵孔径的设计，站场路基排水设计，隧道的通风与排水的设计等等。

随着生产的发展，还会不断地提出新课题。学习水力学的目的，是根据有关专业的需要，获得分析和解决有关水力学问题的能力。

力,并为进一步研究打下基础。

所谓分析和解决水力学问题的能力,是指掌握液体运动的基本概念和基本规律(第一、二、三章),结合实验的手段(第九章),分析孔口、管嘴出流和管流(第四章),明渠流(第五、六章),堰流(第七章)和渗流(第八章)等具体问题。

§ 0-2. 作用在流体上的力

流体的机械运动是由外力作用引起的,外力是流体机械运动的条件(外因)。因此,在建立流体运动的几个基本方程之前,必须了解作用在流体上的力。和固体力学一样,作用在流体上的力可分为质量力(或称为体积力)和表面力两大类。

从流体内分出某一封闭表面 ω 所包围的体积 V 。质量力作用在体积 V 内所有流体质点上,例如重力和离心力。质量力的大小与质点的质量 M 成正比。在水力学中,通常引用单位质量(即 $M=1$)的质量力沿坐标轴 x, y, z 上的分量 X, Y, Z 来表示。

例如,设作用在流体上的质量力只有重力,取 xoy 平面为水平面, z 轴铅垂向上,则

$$X=0; \quad Y=0; \quad Z=-\frac{Mg}{M}=-g$$

此外,由于周围流体对体积 V 作用的结果,沿封闭表面 ω 上受到切向力和法向力这两种表面力的作用。因为流体在宏观上表现为连续介质,所以,表面力也呈连续分布。一般说来,其分布是不均匀的。为了表述表面力的分布状态,和材料力学一样,采用应力的概念。在表面 ω 上取包含 A 点的微小面积 $\Delta\omega$,如图 0-1 所示,作用在 $\Delta\omega$ 上的法向力为 ΔP ,切向力为 ΔT ,由于它们的连续分布,可将 ΔP 及 ΔT 各除以 $\Delta\omega$ 并取极限,得 A 点的压强 p 和切应力 τ :

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta\omega} = \frac{dP}{d\omega}$$

$$\tau = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta\omega} = \frac{dT}{d\omega}$$

在国际单位制中, ΔP 及 ΔT 的单位为牛顿(N), 简称牛。 $\Delta\omega$ 的单位为米² (m²)。 p 及 τ 的单位为牛/米² (N/m²), 或称帕(Pa)①。

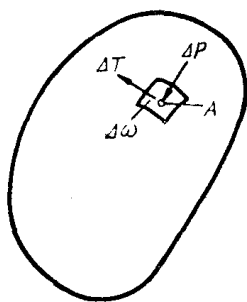


图 0-1

§ 0-3. 流体的主要物理性质

流体和固体一样, 也具有质量和重量, 分别用密度 ρ 和容重 γ 来表示。

均质流体的密度 ρ 是单位体积的质量, 即

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

其量纲为 $[M/L^3]$, 国际单位是公斤/米³ (kg/m³)。

均质流体的容重 γ 是单位体积的重量, 即

$$\gamma = \frac{Mg}{V} = \rho g \quad (0-2)$$

其量纲是 $[F/L^3]$, 国际单位是牛/米³ (N/m³)。

不同流体的密度和容重是各不相同。同一种流体的密度和容重又随温度和压强而变化。

在正常大气压强条件下, 水在不同温度情况下的容重见表 0-1。

在工程计算上, 通常取淡水的容重为 9810 牛/米³。密度

① 国际单位制与工程单位制的关系见附录 0-1。

表 0-1 水的容重

温度(°C)	0°	4°	10°	20°	30°	40°	60°	100°
容重(牛/米³)	9806	9807	9801	9789	9764	9730	9642	9399

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = 1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ T/m}^3 (\text{取 } g = 9.81 \text{ m/s}^2)。$$

20°C 时空气容重为 11.82 牛/米³。

液体与固体不同,在相对静止时,液体不能抵抗切力①,在微小切力的作用下,将破坏原来的相对静止状态,产生无限制的变形,即发生流动。这种性质,称为流动性。

下面着重讨论粘滞性和压缩性。

1. 粘滞性 流体在运动时、流体内部各流层间产生切应力或内摩擦的特性称为粘滞性。

现通过以下的实验来说明。

若两个平置的平行平板相距为 h , 上板以匀速 U 运动 (图 0-2a)。如果板速及板距均较小,而且板间运动的液体的压强保持常量,则两板间液体的流速呈直线分布,即

$$u(y) = \frac{U}{h}y \quad (0-3)$$

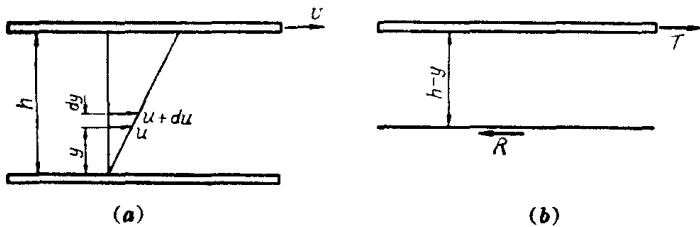


图 0-2

为了维持这一运动,必须对上平板施加一与 U 方向相同的拖力 T ,

① 液体也几乎不能承受拉应力。

这一力在液体内部逐层传递到下板。

距下板 y 处作一同上下板平行的平面，将液体分成上下两部分。现分析上部液体沿水平方向的受力情况（图 0-2b）。由于液体沿水平方向是匀速运动，液体中的压强不变，重力又垂直于水平方向，故作用于上部液体只有上平板对它的拖力 T （方向与 U 相同）与下部液体对它的阻力 R （方向与 U 相反）。根据牛顿第二定律，这两个力（拖力与阻力）大小相等而方向相反。根据牛顿第三定律，下部液体亦受上部液体所施加的同样大小而方向与阻力相反的拖力。上下部液体相互作用在 y 平面上的这一对剪力（即拖力和阻力），称为粘滞力。可见，流体在相对运动时，必然在内部产生剪力以抵抗流体的相对运动（不断变形），流体的这一特性，称为粘滞性。

从图 0-2a 可见，由于 y 是任意选取的，所以在这种具体情况下，粘滞力在整个流动中沿平板方向的分布都是相同的。同时，流速在两平板间呈直线分布，即

$$\frac{U}{h} = \frac{du}{dy}$$

实验表明，单位面积上的粘滞力（又称切应力） τ 与流速梯度 $\frac{du}{dy}$ 有一定的关系，即

$$\tau = f\left(\frac{du}{dy}\right) \quad (0-4)$$

至于 τ 与 $\frac{du}{dy}$ 的函数 f 与流体种类有关，见图 0-3。

对于气体和绝大多数纯净的液体，如水、油、酒精、空气等， τ 与 $\frac{du}{dy}$ 的函数是通过原点的直线关系，这种流体称为牛顿流体。即

$$|\tau| = \mu \left| \frac{du}{dy} \right| \quad (0-5)$$

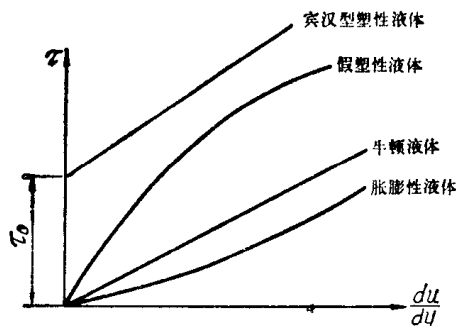


图 0-3

式中： μ 为牛顿流体的动力粘滞性系数，其值与流体的性质以及温度、压强有关，即液体的 μ 随温度的增高而明显减小，随压强的增加而稍有增大。但气体的 μ 随温度增高而增大。由式 (0-5) 可见， μ 的量纲是 $[F \cdot T / L^2]$ ，即应力 · 时间，其国际单位是帕 · 秒 (Pa · s)①。

液体的粘滞性还可以以动力粘滞性系数 μ 和液体密度 ρ 的比值来反映。把它定名为运动粘滞性系数，记作 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ 。它的量纲是 $[L^2 / T]$ ，其国际单位是米²/秒 (m²/s)②。

水在一般工程气压之下的运动粘滞性系数与摄氏温度 $t^\circ\text{C}$ 的关系，可用下列经验公式计算：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \quad (0-6)$$

式中： t 为水温，以 $^\circ\text{C}$ 计；

ν 为以厘米²/秒 (cm²/s) 计。

为了使用方便，在表 0-2 中列出了不同温度时，水的 ν 值。

① 动力粘滞性系数在过去习用的物理制单位是达因 · 秒/厘米²，1 达因 · 秒/厘米² 称为 1“泊”。其换算关系为 1 泊 = 0.1 帕 · 秒。

② 运动粘滞性系数在过去习用的单位是 1 厘米²/秒，称为 1“斯托克斯”。

表 0-2 不同水温时的 ν 值

温度($^{\circ}\text{C}$)	0 $^{\circ}$	2 $^{\circ}$	4 $^{\circ}$	6 $^{\circ}$	8 $^{\circ}$	10 $^{\circ}$	12 $^{\circ}$
ν 值(厘米 ² /秒)	0.01775	0.01674	0.01568	0.01473	0.01387	0.01310	0.01289

温度($^{\circ}\text{C}$)	14 $^{\circ}$	16 $^{\circ}$	18 $^{\circ}$	20 $^{\circ}$	22 $^{\circ}$	24 $^{\circ}$	26 $^{\circ}$
ν 值(厘米 ² /秒)	0.01176	0.01118	0.01062	0.01010	0.00989	0.00919	0.00877

温度($^{\circ}\text{C}$)	28 $^{\circ}$	30 $^{\circ}$	35 $^{\circ}$	40 $^{\circ}$	45 $^{\circ}$	50 $^{\circ}$	
ν 值(厘米 ² /秒)	0.00839	0.00803	0.00725	0.00659	0.00603	0.00556	

若 τ 与 $\frac{du}{dy}$ 的关系不是通过原点的线性关系, 这种流体称为非牛顿流体, 如泥浆、沥青等。某些非牛顿流体的特性见图 0-3。当 τ 与 $\frac{du}{dy}$ 的曲线不通过原点, 而有某一屈服剪应力 τ_0 存在时, 即当外加切应力小于 τ_0 时, 流体不运动, 这就表明它具有部分固体和部分流体的特性。

表示非牛顿流体的切应力与流速梯度的公式有:

$$\left. \begin{array}{ll} \text{对宾汉型塑性流体} & \tau = \tau_0 + \mu \frac{du}{dy} \\ \text{对膨胀性流体} & \tau = k \left(\frac{du}{dy} \right)^n, n > 1 \\ \text{对假塑性流体} & \tau = k \left(\frac{du}{dy} \right)^n, n < 1 \end{array} \right\} \quad (0-7)$$

式中: k 与 n 是与压强、温度和流体成分有关的参数。

本书研究的对象, 只限于牛顿液体。从式(0-5)可见, 当牛顿液体相对静止时, 即 $du=0$, 则 $\tau=0$ 。即当牛顿液体相对静止时,