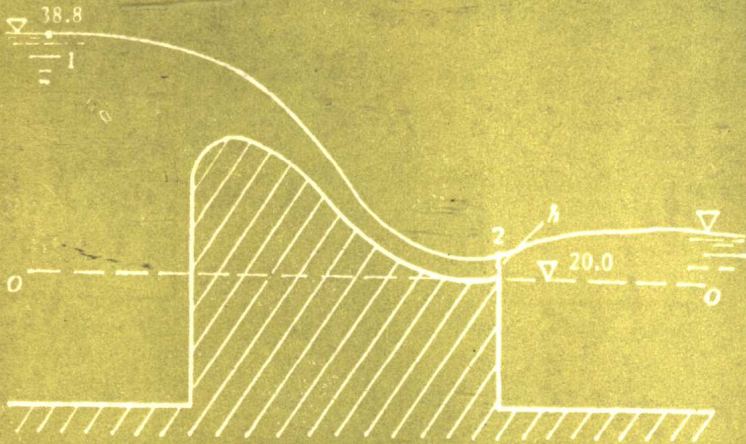


928408

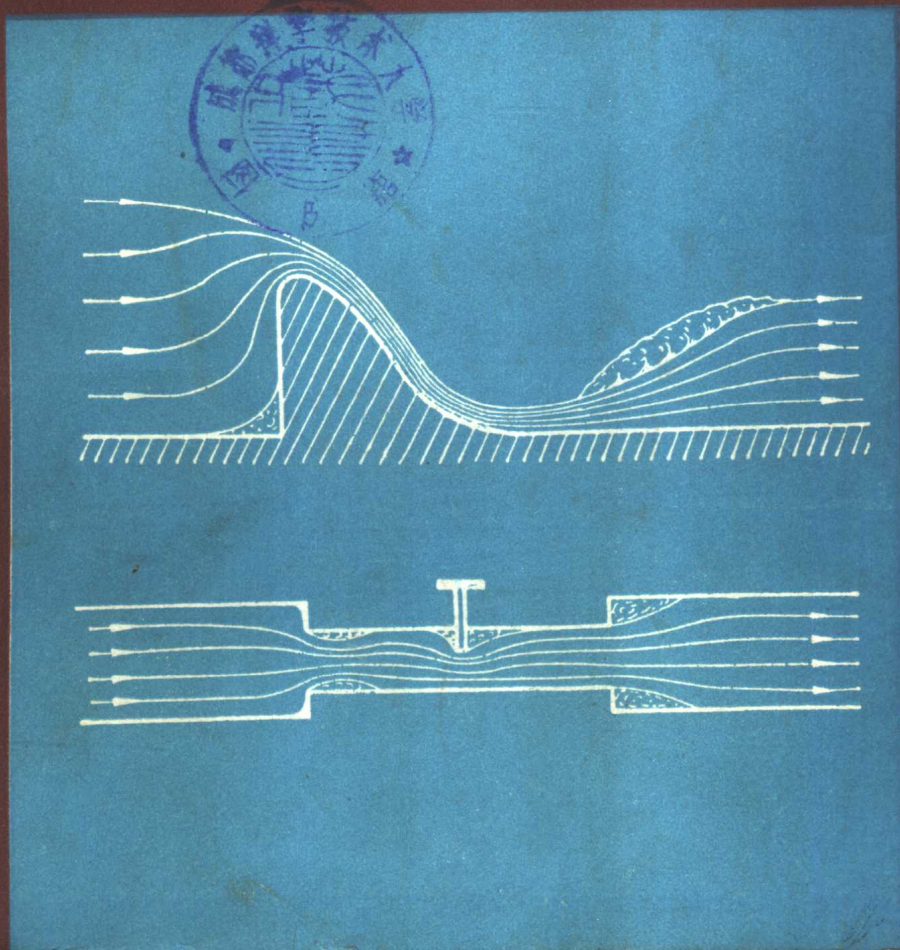
高等学校专科试用教材

水力学

人民交通出版社



(港口及航道工程专业用)
南京航务工程专科学校
朱梅心 编



928408

TV13
2543

IV13
2543

高等学校专科试用教材

SHUI LI XUE

水 力 学

(港口及航道工程专业用)

南京航务工程专科学校

朱梅心 编

人民交通出版社

高等学校专科试用教材

水 力 学

(港口与航道工程专业用)

南京航务工程专科学校

朱梅心 编

正文设计: 乔文平

插图设计: 陈 竞

责任校对: 高 琳

人民交通出版社出版

(100013北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

朝阳展望印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 16 字数: 392千

1991年6月 第1版

1991年6月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—4,000册 定价: 4.10元

ISBN 7-114-01075-3

U · 00705

内 容 提 要

本书既有水力学理论的系统阐述,又归纳有掌握这些原理的要领和结合专业的例题。全书共有十二章,包括水静力学、恒定流基本原理、液流阻力和水头损失、管道恒定流、明渠恒定均匀流、明渠恒定非均匀流、明渠非恒定流、孔口及管嘴出流、堰流及堰下消能、渗流和波浪理论基础。对各种试算均附有简单、精确的迭代法解和BASIC语言PC-1500袖珍机解题的参考程序。

本书由刘光文教授主审,经全国高校港口及航道工程专业教材编委会于1989年4月召开的编委会同意作为高等专科学校教材,并委托王绍成教授、吴宋仁副教授、胡德保副教授审稿,本书还可供有关专业的函授生和专业技术人员参考。

前 言

水力学是港口工程、航道工程专业的技术基础课。过去采用的本科教材都是面面俱到，凡属与水力学有关的内容，均都列入，有的内容还比较陈旧。经过多年从事水力学的教学实践，认为有必要编写一本专供港、航专科学校使用的教材。考虑到大专教学应重实用和动手能力的要求，本教材在公式推导方面从简，在物理概念、解题方法方面多加归纳，以易于掌握；本教材推荐计算简便、精度高的迭代法和微机试算以替代习用繁琐的列表试算或精度欠高的图解法。

由于本人水平所限，书中定有缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

1989年9月

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
第一节 水力学的任务及其发展概况	(1)
第二节 水力学与港航工程的关系	(1)
第三节 液体的连续介质和无滑动假设	(2)
第四节 液体的主要物理性质	(2)
第五节 水力学的研究方法	(6)
第六节 作用于液体的力	(6)
第七节 单位与量纲	(7)
习题一	(8)
第二章 水静力学	(10)
第一节 静水压强及其特性	(10)
第二节 欧拉液体平衡方程	(11)
第三节 重力作用下的液体平衡问题	(13)
第四节 压强的量测	(17)
第五节 作用于平面上的总静水压力	(18)
第六节 作用于曲面上的总静水压力	(23)
第七节 浮力与浮体的稳定性	(27)
第八节 重力和其它质量力同时作用下的液体平衡问题	(30)
习题二	(32)
第三章 液体恒定流基本原理	(37)
第一节 描述液体运动的两种方法	(37)
第二节 液体运动的一些基本概念	(39)
第三节 恒定流的连续性方程	(45)
第四节 恒定流的能量方程	(46)
第五节 恒定流的动量方程	(53)
习题三	(56)
第四章 液流阻力和水头损失	(61)
第一节 概述	(61)
第二节 均匀流沿程水头损失与切应力的关系	(61)
第三节 液体流动的两种型态	(63)
第四节 圆管中的层流	(65)
第五节 沿程水头损失的通用公式	(66)
第六节 紊流特征及紊流半经验理论	(67)
第七节 紊流的流速分布	(72)

第八节	沿程阻力系数 λ 的研究	(71)
第九节	计算沿程水头损失的经验公式——谢才公式	(78)
第十节	局部水头损失	(79)
习题四		(83)
第五章	管道恒定流	(84)
第一节	概述	(84)
第二节	短管的水力计算	(84)
第三节	长管的水力计算	(92)
习题五		(94)
第六章	明渠恒定均匀流	(96)
第一节	概述	(96)
第二节	明渠恒定均匀流的水力计算	(98)
第三节	明渠均匀流水力计算的其它问题	(101)
习题六		(102)
第七章	明渠恒定非均匀流	(104)
第一节	概述	(104)
第二节	急流和缓流现象	(104)
第三节	明渠水流的断面单位能量、临界水深和临界底坡	(106)
第四节	水跃及其水力计算	(110)
第五节	棱柱形明渠恒定缓变流水面曲线的微分方程	(113)
第六节	棱柱形明渠恒定缓变流水面曲线的定性分析	(114)
第七节	棱柱形明渠恒定缓变流水面曲线的计算	(119)
第八节	非棱柱形明渠恒定缓变流水面曲线的计算	(124)
第九节	天然河道水面曲线的计算	(130)
习题七		(135)
第八章	明渠非恒定流	(139)
第一节	概述	(139)
第二节	明渠非恒定流的分类及波流量	(139)
第三节	明渠非恒定缓变流的基本方程	(140)
第九章	孔口及管嘴出流	(145)
第一节	概述	(145)
第二节	孔口的过水能力	(146)
第三节	管嘴的过水能力	(149)
第四节	闸孔出流	(150)
第五节	船闸充水、放水时间的计算	(154)
习题九		(157)
第十章	堰流及堰下消能	(160)
第一节	概述	(160)
第二节	薄壁堰	(161)
第三节	实用堰	(164)

第四节	宽顶堰	(168)
第五节	堰下消能	(173)
习题十		(178)
第十一章	渗流	(179)
第一节	概述	(179)
第二节	渗流的基本定律——达西定律	(180)
第三节	无压缓变渗流基本方程及其浸润线	(182)
第四节	井的渗流	(186)
第五节	土坝渗流	(189)
第六节	恒定渗流的基本方程	(196)
第七节	恒定平面渗流的流网解法	(199)
习题十一		(209)
第十二章	波浪理论基础	(211)
第一节	概述	(211)
第二节	微幅波理论	(214)
第三节	有限振幅波的余摆线理论	(224)
习题十二		(243)
参考书目		(245)

第一章 绪 论

第一节 水力学的任务及其发展概况

水力学(Hydraulics)是研究液体平衡和机械运动规律及其应用的一门技术科学。

19世纪以前,实验水力学(Experimental hydraulics)与古典水动力学(Classical hydrodynamics)各自沿着互不联系的方向发展。古典水动力学是一门数学科学,它在古典力学的基础上,得出了无粘性流体的基本方程,19世纪中叶得出了实际粘性流体的基本运动方程,为流体力学的发展奠定了理论基础。然而,由于理论中的假设与实际不尽相符,或由于求解上的数学困难,尚难用以解决各种实际问题。水力学则着眼于解决有关水流的工程实际问题,从而偏重于实地观察和实验室的试验,由此得到的许多数据资料,被归纳成为经验公式。由于理论指导的不足,其成果往往具有局限性,经验公式所能应用的范围也就仅限于原数据资料所能覆盖的范围。

20世纪初,被称为现代流体力学之父的普朗特(L. Prandtl)认为:以物理基础来解释流体的运动特征较之只以数学或实验基础进行分析来得重要,而这种解释方法只有对流体流动的问题作更佳的理论及实验修正才可能得到。水力学只有在实验水平与流体力学分析相结合等方面不断提高,才能改变目前仍处于实验水力学范畴之中的状况。现代科学技术的发展,特别是电子计算机的普及,许多繁复的计算均能得以实现,现代量测技术和电子仪器的应用,不同学科的相互渗透等,正在使水力学的内容不断扩充和提高。

第二节 水力学与港航工程的关系

自然界中广泛存在的水流运动都是水力学研究的对象。几千年前,在中国、埃及、希腊就已兴建有各种水利工程,其中有些(如中国的都江堰)还沿用至今。人们经常通过修建水工建筑物及整治河道等措施来控制水流的边界条件,调整和改变原有水流的状态以适应人们的需要。例如:为防洪、发电、灌溉等综合利用水资源而修筑挡水坝,建坝前后的水流特性必须有所了解和预测,同时,又必须兴建溢洪道和船闸以保证坝体安全及航道畅通,这一切都必须经过水力计算来设计。又如:为改善航运条件,常采用疏浚挖泥,对疏浚前后水流状态变化的了解,须通过水力计算;排泥管道输送泥浆的能力、接力泵站的设置,须按水力学理论结合两相流原理进行计算。改善航运条件还可修筑各类整治建筑物,其效益分析及方案比较,既可利用模型试验,也可通过理论计算来实现,这些都属水力学的范畴。再如:河道的演变分析,水工建筑物所受水压力,防波堤及近海工程所受的波压力,船闸、船坞泄蓄水时间,堤坝蓄水后的渗漏问题,工业民用建筑中的给水、排水问题等都离不开水力计算。泥沙运动理论也是在水力学的水流阻力及紊流运动的基础上发展起来的。总之,港口与航道工程、海岸工程、水力发电、航运、水资源开发等水利工程的各学科都与水力学有密切的关系,所遇到大量与液体流动规律有关的生产技术问题都须用水力学知识来解决。

第三节 液体的连续介质和无滑动假设

一、连续介质假设

液体由大量分子组成，分子之间是不连续而有空隙的。在标准状态下，每立方厘米的水中约含有 3.33×10^{22} 个水分子，相邻分子间的间距约为 $3 \times 10^{-8} \text{cm}$ 。众多而密集分子，各自不断地作不规则的随机运动，彼此进行着充分的能量和动量交换，人们测得的宏观运动，即上述微观运动的统计平均状况。

实际工程中，水流运动所涉及的特征尺度与分子间距相比，是大得不可比拟的。个别分子的行为，几乎不影响大量分子统计平均后的宏观物理量（如速度、压强、密度等）。因此，在水力学中采用连续介质(Continuum)这一近似物理模型，即假设液体是一种连续充满其所占据空间、毫无空隙的连续体。连续体由无数液体质点构成。“液体质点”是微观上充分大而宏观上充分小的分子团，有了这连续介质假设，液流中的一切物理量，都可视为空间坐标和时间的连续函数，液流中的每个空间点和每个时刻都有确定的物理量，可用连续函数的数学分析方法，有效地描述液体的平衡和运动的规律。实践证明用本假定得出的有关液体运动规律的基本理论与客观实际十分符合。

二、无滑动假设

本假设认为：在实际液体中，固体边界上的液体质点必然粘附在固体边界上，与边界间无相对运动，液体与边界之间以及液体内部各层之间都不发生滑动。换言之，在固体边界处，液体的速度就等于边界运动的速度，在液体内部也不存在速度的不连续。这个假设也被实践证明是合宜的。

第四节 液体的主要物理性质

自然界的物质有固体、液体和气体三种状态，液体和气体又统称为流体。

固体由于其分子间距很小，内聚力很大，分子被束缚在某一固定位置周围作无规则的振动，它能保持固定的形状和体积，能承受一定数量的拉力、压力和剪切力。液体则不然，由于分子间距较大、内聚力较小，它几乎不能承受拉力，在微小剪力的作用下，很易变形或流动，液体不能保持固定的形状。

虽同属流体，液体与气体相比，液体分子间距比气体的要小得多（并非居于固体与气体之间，而是偏于固体那边），内聚力则大得多，所以，它能有一定的体积，通常（除水击情况外），称液体为不可压缩液体。液体分子是在某个位置周围作无规则的振动，但该位置所能持续固定的历时较短，故液体虽有一定的体积，却无一定形状。气体则具有很大的压缩性和膨胀性，如果对气体施加外力，其体积很容易缩小，反之，如外力无限地减小，气体可无限地膨胀，充满容纳它的空间，故气体既无固定的形状也无固定的体积，通常称气体为可压缩流体。

物体运动状态的改变都是受外力作用的结果，而任何一种力的作用，都要通过液体自身的性质来体现。液体的物理性质是决定液体平衡和运动的内在原因。在研究液体运动规律之

前, 须对液体的物理性质有所了解。

一、密度和容重

密度(Density)——液体单位体积内所含有的质量称为密度, 用 ρ 表示。如体积为 W 的均质液体具有质量 M , 则它的密度

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

在国际单位制(International System of Units, 简称SI制)中, 质量的单位为克(g)或千克(kg), 密度的单位为克/厘米³(g/cm³)或千克/米³(kg/m³)。

严格地说, 液体的密度随温度及所受压力的变化而有微小变化, 但实用上可看作为常数。对于水, 常采用一个标准大气压下温度为4℃时的密度 $\rho = 1\text{g/cm}^3 = 1000\text{kg/m}^3$ 。

容重(Specific weight)——液体单位体积内所具有的重量称为容重, 用 γ 表示。如体积为 W 的均质液体具有重量 G , 则它的容重

$$\gamma = \frac{G}{W} = \frac{Mg}{W} = \rho g \quad (1-2)$$

在国际单位制中, 力的单位为牛顿(N)或千牛(kN), 容重的单位为N/m³或kN/m³。

液体的容重也随温度和压力的变化而有微小变化, 实用上也看作常数。对于水, 常用一个标准大气压下, 温度为4℃时的容重 $\gamma = 9806.65\text{N/m}^3$, 近似地取 $\gamma = 9800\text{N/m}^3$ 。

二、压 缩 性

压缩性(Compressibility)——液体的体积随所受压力的增大而减小的特性称为液体的压缩性。液体压缩性的大小可用体积压缩系数(Volume compressibility) β 来表示。设液体原体积为 W , 当所受压强(单位面积上的压力)的增量为 dp 时, 体积压缩量为 dW , 则

$$\beta = - \frac{\frac{dW}{W}}{dp} \quad (1-3)$$

β 的物理意义是压强增量为一个单位时, 体积的相对压缩量。 β 值愈大, 表示愈易压缩。因液体体积总是随着压强的增大而减小, 即 dW 为负值, 为使 β 值为正, 式(1-3)右边添一负号。 β 的单位m²/N或1/Pa。Pa为帕[斯卡], 等于1N/m²。

体积压缩系数 β 的倒数为体积弹性系数(Bulk modulus of elasticity)用 K 表示, 即

$$K = - \frac{dp}{\frac{dW}{W}} = \frac{1}{\beta} \quad (1-4)$$

K 值愈大表示愈难压缩。 K 的单位为N/m²或Pa。

液体种类不同, 压缩性也不同。同一种液体的压缩性也随温度和压强变化, 但变化不大。在普通气温和压强在500个工程大气压内, 每增加一个工程大气压强, 水的体积只比原体积缩小二万分之一左右, 可见液体的压缩性很小, 实用中, 除了研究水击等个别问题外, 一般认为液体是不可压缩的。

三、粘 滞 性

液体的粘滞性(Viscosity)系液体在运动状态下具有抗剪切变形的能力。液体易于流动,静止的液体不承受剪切作用;当液体内部各部分之间发生相对运动时,相对运动着的液层间便出现成对的切力(亦称内摩擦力)阻碍着液体内部的相对运动(即变形)。由于粘滞性的存在,液体在运动过程中因克服内摩擦力必然要作功,所以液体的粘滞性也是液流中发生机械能量损失的一个原因。

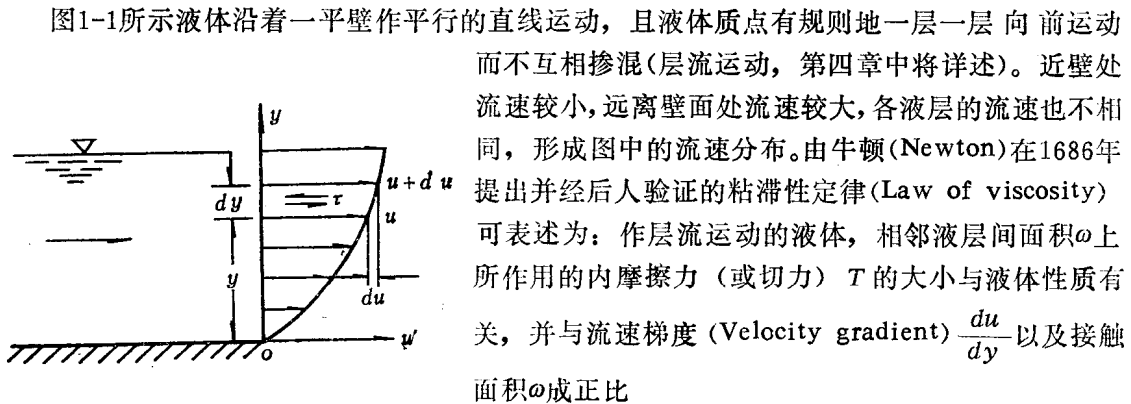


图 1-1

$$T = \mu \omega \frac{du}{dy} \quad (1-5)$$

如以 τ 代表单位面积上的内摩擦力,即粘滞切应力,则

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-6)$$

式中 μ 为比例系数,称为动力粘滞系数(Dynamic viscosity),其单位为 $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ 即帕秒 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

水力学中常用的是 μ 与密度 ρ 的比值,以 ν 表示,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-7)$$

ν 也反映液体粘滞性的大小,由于其量纲中不包含力的量纲,故称为运动粘滞系数(Kinematic viscosity),单位为 m^2/s 。

液体的 μ 和 ν 值与液体种类有关,并随温度的升高而减小。表1-1列出了不同温度时水的

不同水温时水的动力粘滞系数 μ 和运动粘滞系数 ν 值

表1-1

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	μ $(\frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}) \times 10^3$	ν $(\text{m}^2/\text{s}) \times 10^6$	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	μ $(\frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}) \times 10^3$	ν $\text{m}^2/\text{s} \times 10^6$	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	μ $(\frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}) \times 10^3$	ν $(\text{m}^2/\text{s}) \times 10^6$
0°	1.794	1.794	14°	1.175	1.176	28°	0.836	0.839
2°	1.674	1.674	16°	1.116	1.118	30°	0.800	0.803
4°	1.568	1.568	18°	1.060	1.062	35°	0.721	0.725
6°	1.473	1.473	20°	1.034	1.036	40°	0.654	0.659
8°	1.387	1.387	22°	0.961	0.963	45°	0.597	0.603
10°	1.310	1.310	24°	0.916	0.919	50°	0.549	0.556
12°	1.239	1.240	26°	0.875	0.877			

μ 和 ν 值。20℃时,水的 $\mu = 1.034 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$, $\nu = 1.036 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$ 。

实际流体或多或少都具有粘性,系粘性流体(Viscous fluid),但考虑液体的粘滞性会使水力学问题的分析研究复杂化,为此,暂不考虑流体的粘性,这种流体称为理想流体(Perfect fluid)。对粘滞影响小的流体运动,可直接应用理想流体研究的成果,否则须通过试验加以修正。

例1.1 设有动力粘滞系数 $\mu = 0.05 \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$ 的液体沿壁面流动,其速度分布为抛物线型,如图1-2所示。当 $y = 60 \text{ mm}$ 时 $u = u_{\max} = 1.08 \text{ m/s}$ 。抛物线的顶点为A,原点为O,求 $y = 20 \text{ mm}$, 40 mm 及 60 mm 各点处的切应力。

解:抛物线的一般形式为 $u = ay^2 + by + c$

由边界条件知: $y = 0$, $u = 0$, 故 $c = 0$; $\frac{du}{dy} = 2ay + b$, 当 $y = 0.06 \text{ m}$ 时, $\frac{du}{dy} = 0$, 故 $b = -0.12a$, $u = ay(y - 0.12)$

由边界条件还知: $y = 0.06 \text{ m}$, $u = u_{\max} = 1.08 \text{ m/s}$, 则 $a = \frac{u_{\max}}{0.06(0.06 - 0.12)} = \frac{1.08}{-(0.06)^2} = -300$

$$u = -300y^2 + 36y$$

$$\frac{du}{dy} = -600y + 36$$

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = 0.05(36 - 600y)$$

将各 y 值代入上式得相应各点处的切应力值于表1-2。

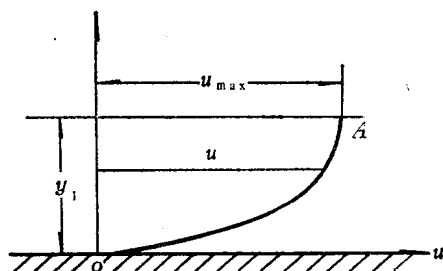


图 1-2

表1-2

$y(\text{m})$	$u(\text{m/s})$	$\frac{du}{dy}(\text{s}^{-1})$	$\tau(\text{N/m})$
0	0	36	1.8
0.02	0.60	24	1.2
0.04	0.96	12	0.6
0.06	1.08	0	0

四、表面张力和毛细现象

在液体内部,由于分子与分子之间具有内聚力,分子在各方向上受到的力均相等,因而得以平衡;然而处于液体自由表面上的分子,由于只受到液体内侧分子的内聚力作用,因而不能达到平衡,液体具有尽量缩小其表面的趋势。从宏观上看,可以认为沿液体的表面作用着张力,称为表面张力(Surface tension)。表面张力一般产生在液体和气体相接触的自由表面上,其大小可用液体表面上单位长度所受的张力,即表面张力系数 σ 来表示。 σ 值随液体的种类、温度和表面接触情况的不同而不同。由于表面张力很小,在水力学中往往忽略不计。

液体与固体接触时,其间有附着力存在。各种液体的附着力大小不同。如果附着力大于内聚力,液体将被壁面所吸附而湿润固体,如水、酒精等能润湿玻璃。有些液体的附着力小于内聚力,如水银不能湿润玻璃。液体内部,在由内聚力所引起的表面张力和液体与固体间

的附着力两者的作用下,液体在管子内能上升或下降。管内液面高于或低于管外液面的现象,称为毛细现象(Capillarity)。

$$\left. \begin{aligned} \text{水的毛细上升高度 } h &\approx \frac{29.8}{d} \\ \text{水银的毛细下降高度 } h &\approx \frac{10.15}{d} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

其中 h 及管径 d 均以mm计。通常,对于水,当 $d \geq 20\text{mm}$;水银,当 $d \geq 10\text{mm}$ 时,毛细作用的影响可以忽略不计。在U形压差计中,由于两侧受有毛细作用的影响,相互抵消,也就不必考虑毛细作用了。

第五节 水力学的研究方法

研究水力学有两种最基本的方法。即理论分析与科学试验。两者常是互相补充、相辅相成。

1. 理论分析

水力学是建立在经典力学理论基础上的。先要研究作用在液体上的力,然后引用经典力学的基本原理(如牛顿定律、动能定律、动量定理等)来建立水流运动的基本方程(如连续方程、能量方程、动量方程等)。由于实际水流运动的多样性,对于复杂的运动,完全用理论分析来解决还存在着困难,还得借助于试验。

2. 试验研究

科学试验一方面可检验理论分析成果的正确性,另一方面是对某些理论上暂还不能完全解决的问题,从试验中找一些经验性的规律,以满足实际应用的需要。水力学中试验观测的方式有三种:一是原型观测,对天然水流直接进行观测;二是系统试验,在实验室中对人工水流现象进行系统研究,从中找出规律;三是模型试验,模拟实际工程,预演或重演水流现象,进行研究。

在试验成果的分析中,除涉及一般的数理知识、数据处理方法以外,还常运用“量纲分析”这一工具。量纲分析的基本点是:任何一个符合客观实际的物理方程,其各项的量纲必须一致(或称和谐)。在正确掌握了影响某一物理过程的各变量时,利用物理方程量纲的和谐原则,可得出物理方程的函数结构形式。它可用来检验一个物理方程的量纲合理性,也可导出某些物理量的量纲。量纲分析和相似原理是指导水力学分析的重要方法。

第六节 作用于液体的力

处于平衡或运动状态的液体,受各种力的作用。力按其物理性质的不同,可分为惯性力、重力、摩擦力、表面张力等;如按力作用的特点,又可分为表面力和质量力两种。

1. 质量力(Body force)

质量力作用于液体的每一质点上,并与受作用的液体的质量成比例。在均质液体中,质量力也必然与受作用液体的体积成比例,所以又称体积力,如重力、惯性力、向心力等。单位质量液体上所受的质量力称为单位质量力或单位体积力,其单位为 m/s^2 。设液体的质量为 M ,所受的质量力为 F ,则单位质量力 f 为

$$\vec{f} = \frac{\vec{F}}{M}$$

设 $\vec{F}$ 在三个坐标轴上的分力为 F_x, F_y, F_z , 则单位质量力 $\vec{f}$ 在各个坐标轴上的分力为 X, Y, Z , 即:

$$X = \frac{F_x}{M}, Y = \frac{F_y}{M}, Z = \frac{F_z}{M} \quad (1-9)$$

2. 表面力 (Surface force)

表面力作用于液体的表面上, 并与受力作用的液体表面积成正比例。表面力又可分为垂直于作用面的压力(如水压力)和平行于作用面的切力(如摩擦力)。设液体受力面积为 ω , 作用其上的压力为 P , 切力为 T , 则

$$\text{作用于单位面积上的平均压应力 } \bar{p} = \frac{P}{\omega}$$

$$\text{作用于单位面积上的平均切应力 } \bar{\tau} = \frac{T}{\omega}$$

根据连续介质的假设, 可取平均应力的极限值作为点应力。

$$\text{点的压应力 (Pressure) } p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta\omega} \quad (1-10)$$

$$\text{点的切应力 (Shear stress) } \tau = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta\omega} \quad (1-11)$$

压应力(压强)和切应力的单位均为 N/m^2 即 Pa 。

第七节 单位与量纲

在一般力学中采用的, 以长度 L 、质量 M 、时间 T 作为基本量的单位制, 即 $L-M-T$ 系统, 称为国际单位制, SI 制 (International System of Units)。在工程问题中, 因推求力 F 最重要, 故习惯于使用以长度 L 、力 F 、时间 T 作为基本量的 $L-F-T$ 系统, 称为工程单位制 (Engineering System of Units)。在工程单位制中 $\gamma_{\text{水}} = 1000 \text{ kgf/m}^3 = 1 \text{ 吨/米}^3$, $\rho_{\text{水}} = 102 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 = 102 \text{ 公斤力} \cdot \text{秒}^2/\text{米}^4$, 现一般不被采用。1984年2月27日我国国务院颁布的《中华人民共和国法定计量单位》就是以国际单位制 (SI制) 单位为基础构成的。

一切物理量都可以用基本量的某种组合来表示。以基本量表示某物理量的组合式称为该物理量的量纲。例如在 SI 单位制中, 动量的量纲 $[\text{动量}] = [MLT^{-1}]$, 在工程单位制中则 $[\text{动量}] = [FT]$ 。用基本量表达的其它物理量的单位称为导出单位。本书采用 SI 制, 这是我国及国际上推广使用的单位制。表 1-3 给出了水力学中常见物理量的单位和量纲, 同时标明了工程单位制的表示法, 供参考。

表1-3

物 理 量	SI 制 单 位	量 纲	工 程 制 单 位	量 纲
长 度	m	L	m	L
质 量	kg	M	kgf·s ² /m	FL ⁻¹ T ²
时 间	s	T	s	T
速 度	m/s	LT ⁻¹	m/s	LT ⁻¹
加 速 度	m/s ²	LT ⁻²	m/s ²	LT ⁻²
密 度 ρ	kg/m ³	ML ⁻³	kgf·s ² /m ⁴	FL ⁻⁴ T ⁻²
力	N(kg·m/s ²)	MLT ⁻²	kgf	F
容 重 γ	N/m ³	ML ⁻² T ⁻²	kgf/m ³	FL ⁻³
压强、切应力	Pa(N/m ²)	ML ⁻¹ T ⁻²	kgf/m ²	FL ⁻²
功 能	J(N·m)	ML ² T ⁻²	kgf·m	FL
功 率	W(J/s)	ML ² T ⁻³	kgf·m/s	FLT ⁻¹
动 量	kg·m/s	MLT ⁻¹	kgf·s	FT
力 矩	J(N·m)	ML ² T ⁻²	kgf·m	FL
动力粘滞系数 μ	Pa·s	ML ⁻¹ T ⁻¹	kgf·s/m ²	FLT
运动粘滞系数 ν	m ² /s	L ² T ⁻¹	m ² /s	L ² T ⁻¹
弹 性 系 数 K	Pa	ML ⁻¹ T ⁻²	kgf/m ²	FL ⁻²
表面张力系数 σ	N/m	MT ⁻²	kgf/m	FL ⁻¹

习 题 一

- 1.1 已知煤油的密度 $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$ ，求它的容重。
- 1.2 已知海水的密度 $\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$ ，求用工程单位表示的密度和容重。
- 1.3 已知水的动力粘滞系数 $\mu = 1.29 \times 10^{-3} \text{ N·s/m}^2$ ，求其运动粘滞系数。
- 1.4 有两平行板，其间为一层薄油， $h = 0.5 \text{ cm}$ ，如图1-3所示。上板以 $u_0 = 10 \text{ m/s}$ 的速度作匀速直线运动，下板固定不动，其间流速呈直线分布： $u = u_0 \frac{y}{h}$ ，已知 $\mu_{\text{油}} = 0.07 \text{ N·s/m}^2$ ，求作用于平板单位面积上的切应力。

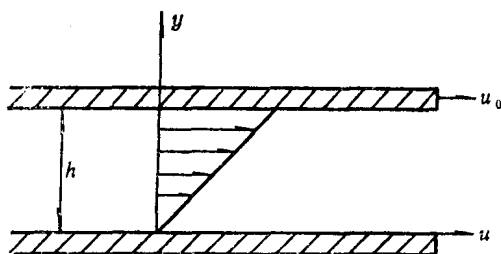


图 1-3

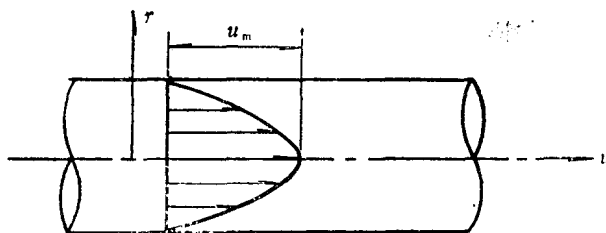


图 1-4

1.5 在半径 r_0 为5cm的管道中发生层流，其流速分布为 $u = u_m \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right)$ ， u_m 为管中心的最大流速，如图1-4所示。试求当 $u_m = 5\text{cm/s}$ ， $\mu = 1.034 \times 10^{-3} \text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ 时①管壁处的切应力；②每公里长上管壁对水流的阻力。

1.6 某实验室用玻璃管量测水箱内的水位，如图1-5所示。如要求量测误差不大于3mm，问选用的玻璃管的最小内径为若干？

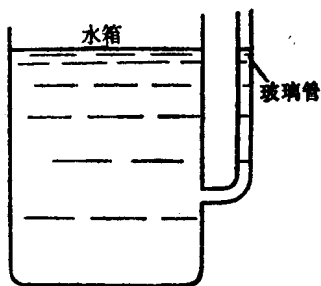


图 1-5