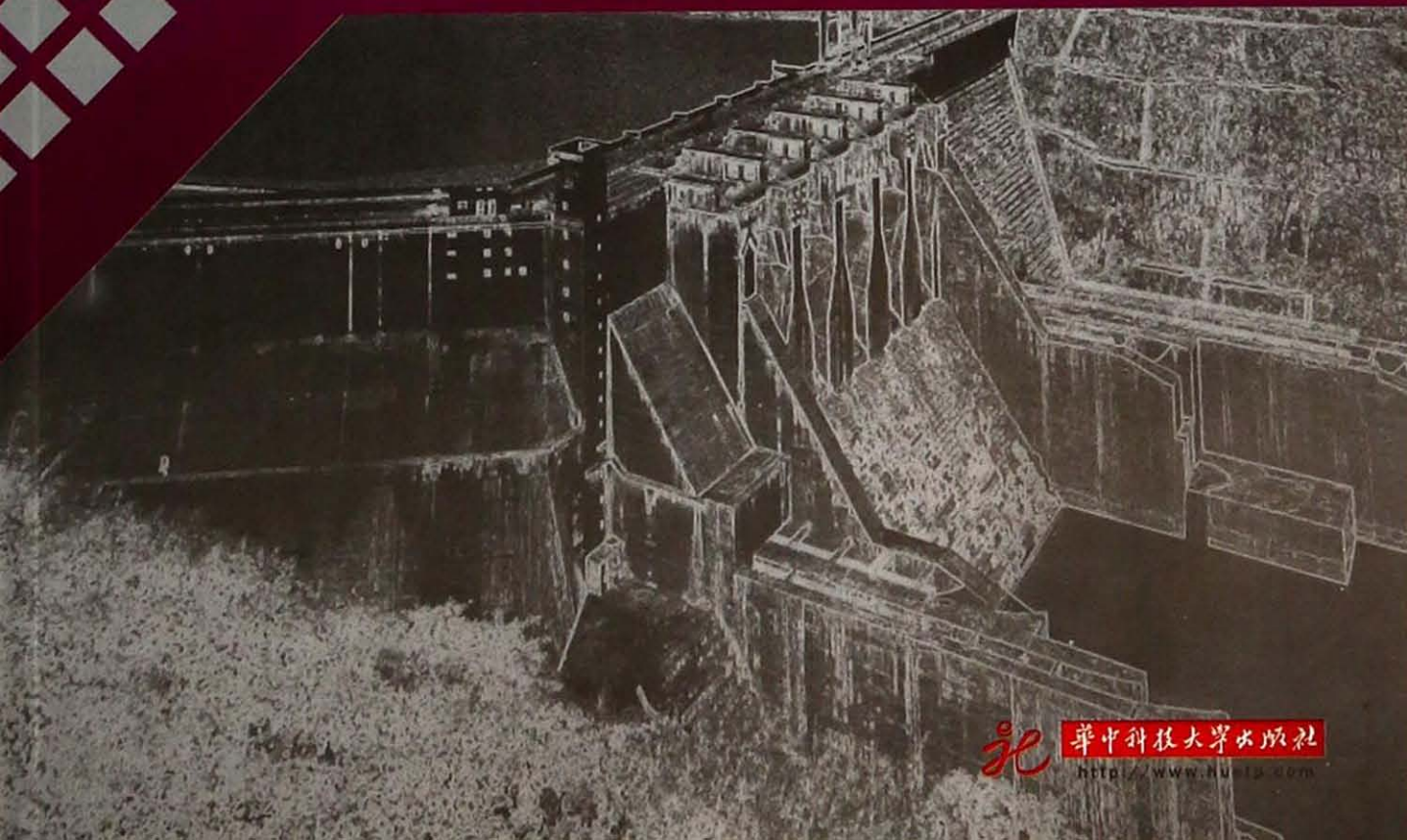




高职高专水利工程类专业“十二五”规划系列教材

水力学

主编 © 陈一华 高玉清



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

高职高专水利工程类专业“十二五”规划系列教材

水 力 学

主 编 陈一华 高玉清
副主编 易进蓉 赵秀凤
参 编 张银华 周 琼 杜庆燕

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 提 要

本书是高职高专水利工程类专业“十二五”规划系列教材,是根据当前高职高专教育教学理念——任务引领式——来编写的。本书共分为7个项目,18个任务,主要包括:工程中水力学认知,挡水建筑物计算,过水建筑物及引水工程(水泵)水力计算,有压管道水力计算,渠系建筑物水力计算,泄水建筑物水力计算,渗流计算。每个项目配有例题、案例分析、常用水力学图表、知识回顾和技能训练。

本书可供水利水电建筑工程、水文水资源工程、给水排水、水利工程监理、城市水利、港航、水电站动力设备、水电站建筑、治河与防洪等专业教学使用,并可用于成人教育(专科)学校以及普通本科院校的高等职业技术学院同类专业教学或自学,还可供水利水电工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

水力学/陈一华 高玉清 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2013.8
ISBN 978-7-5609-9026-2

I. 水… II. ①陈… ②高… III. 水力学-高等职业教育-教材 IV. TV13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 114052 号

水力学

陈一华 高玉清 主编

策划编辑:谢燕群 熊 慧

责任编辑:余 涛

封面设计:李 嫚

责任校对:祝 菲

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉金睿泰广告有限公司

印 刷:湖北新华印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:16.75

字 数:435千字

版 次:2013年8月第1版第1次印刷

定 价:35.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

高职高专水利工程类专业“十二五”规划系列教材

编 审 委 员 会

主 任 汤能见

副主任(以姓氏笔画为序)

汪文萍 陈向阳 邹 林 徐水平 黎国胜

委 员(以姓氏笔画为序)

马竹青 陆发荣 吴 杉 张桂蓉 宋萌勃
孟秀英 易建芝 胡秉香 姚 珏 胡敏辉
高玉清 桂健萍 颜静平

前 言

本书按照高等职业技术教育的要求和水利水电建筑及其相关专业的教学目标,采用项目导向、任务引领式的思路进行编写的。首先按照工程特征划分项目,然后按照项目特点分解任务,最后按照典型任务确定应具备的职业能力,从而提出完成任务所需的知识内容,使灌输学习转为渴望学习,被动学习转为主动学习,也使所学内容与今后岗位工作内容零对接。

“水力学”是水利水电建筑工程专业必修的一门专业基础课,通过本课程的学习,使学生掌握水力学的基本概念和理论知识,同时明确“水力学”课程为专业课学习提供相关的水力计算知识和计算方法,并为以后的工作岗位提供所需的职业技能等。本书在编写过程中,在传承经典、成熟的理论基础上,注重高职高专新的教育教学理念,围绕职业需要,将知识点灵活、自然地渗透于工程项目中,坚持“够用、实用、会用”的原则,同时培养学生的职业岗位能力和主观能动性、善于分析问题和解决问题等的综合能力。

本书编写人员及分工如下:华北水利水电学院水利职业学院赵秀凤编写项目 1 和项目 4;湖北水利水电职业技术学院高玉清编写项目 2 中任务 1;湖北水利水电职业技术学院杜庆燕编写项目 2 中任务 2;长江工程职业技术学院陈一华编写项目 3;华北水利水电学院水利职业学院张银华编写项目 5;长江工程职业技术学院易进蓉编写项目 6;华北水利水电学院水利职业学院周琼编写项目 7。

本书由陈一华担任第一主编并负责全书统稿和主审,高玉清担任第二主编,由易进蓉和赵秀凤担任副主编。

由于编者水平有限,书中有不足之处恳请读者批评指正。

编 者

2013 年 5 月

目 录

项目 1 工程中水力学认知	(1)
任务 1 工程中水力学问题	(1)
模块 1 任务导入	(1)
模块 2 知识准备	(1)
模块 3 案例分析	(8)
任务 2 水力学研究方法	(8)
模块 1 任务导入	(8)
模块 2 知识准备	(8)
模块 3 知识回顾	(9)
模块 4 技能训练	(10)
项目 2 挡水建筑物水力计算	(11)
任务 1 挡水建筑物平面壁水力计算	(11)
模块 1 任务导入	(11)
模块 2 知识准备	(11)
模块 3 挡水建筑物平面壁水力计算案例分析	(25)
任务 2 挡水建筑物曲面壁水力计算	(26)
模块 1 任务导入	(26)
模块 2 知识准备	(26)
模块 3 曲面壁水力计算案例分析	(30)
模块 4 知识回顾	(31)
模块 5 技能训练	(32)
项目 3 过水建筑物及引水工程(水泵)水力计算	(37)
任务 1 过水建筑物水力计算	(37)
模块 1 任务导入	(37)
模块 2 知识准备	(37)
模块 3 案例分析	(73)
任务 2 引水工程(水泵)水力计算	(79)
模块 1 任务导入	(79)
模块 2 知识准备	(79)
任务 3 工程用仪器中的水力学问题	(81)
模块 1 任务导入	(81)
模块 2 知识准备	(81)
模块 3 案例分析	(84)

模块 4 知识回顾	(85)
模块 5 技能训练	(86)
项目 4 有压管道水力计算	(91)
任务 1 有压管道水力计算概述	(91)
模块 1 任务导入	(91)
模块 2 知识准备	(91)
模块 3 案例分析	(105)
任务 2 压力管道中水击	(113)
模块 1 任务导入	(113)
模块 2 知识准备	(113)
模块 3 案例分析	(121)
模块 4 知识回顾	(122)
模块 5 技能训练	(123)
项目 5 渠系建筑物水力计算	(127)
任务 1 明渠恒定均匀流水力计算	(127)
模块 1 任务导入	(127)
模块 2 知识准备	(127)
模块 3 案例分析	(138)
任务 2 明渠恒定非均匀流水力计算	(144)
模块 1 任务导入	(144)
模块 2 知识准备	(144)
模块 3 案例分析	(166)
任务 3 渠系连接建筑物水力计算	(171)
模块 1 任务导入	(171)
模块 2 知识准备	(171)
模块 3 知识回顾	(179)
模块 4 技能训练	(180)
项目 6 泄水建筑物水力计算	(183)
任务 1 泄水建筑物泄流量计算	(183)
模块 1 任务导入	(183)
模块 2 知识准备	(183)
模块 3 案例分析	(201)
任务 2 泄水建筑物下游水流消能计算	(208)
模块 1 任务导入	(208)
模块 2 知识准备	(209)
模块 3 案例分析	(222)
模块 4 知识回顾	(224)

模块 5 技能训练	(225)
项目 7 渗流计算	(228)
任务 1 地下河槽中的无压恒定均匀渗流计算	(228)
模块 1 任务导入	(228)
模块 2 知识准备	(228)
模块 3 案例分析	(235)
任务 2 地下河槽中的无压恒定非均匀渐变流计算	(236)
模块 1 任务导入	(236)
模块 2 知识准备	(236)
模块 3 案例分析	(241)
任务 3 普通井及井群的渗流计算	(241)
模块 1 任务导入	(241)
模块 2 知识准备	(242)
模块 3 案例分析	(247)
任务 4 水平不透水层上均质土坝的渗流计算	(248)
模块 1 任务导入	(248)
模块 2 知识准备	(249)
模块 3 知识回顾	(251)
模块 4 技能训练	(252)
参考文献	(258)

项目 1 工程中水力学认知

任务 1 工程中水力学问题

模块 1 任务导入

水道上修建水工建筑物会调整和改变原有水流的结构和水流状态,水流在其惯性作用下,力图反抗固体边界的约束,这就形成了水流与各类固体边界之间在不同条件下的相互作用。这种相互作用的结果,一方面使得水流形成新的形态;另一方面也带来了一系列的水力学问题,如水库坝体水压力的计算、输水及泄水建筑物过流能力的计算、渗流量及渗透压力的计算、泄水建筑物下游的消能防冲设施有关几何尺寸的确定等。这些都是水利工程所必须解决的常见水力学问题。

模块 2 知识准备

1. 水力学定义、任务及研究对象

1) 定义

“水力学”课是介于基础课和专业课之间的一门技术基础课,属于力学的一个分支。水力学主要研究以水为主的液体平衡和机械运动规律及其实际应用。一方面根据基础科学中的普遍规律,结合水流特点,建立基本理论,同时又紧密联系工程实际,发展学科内容。

2) 水力学的任务及研究对象

水力学所研究的基本规律,主要包括两部分:①液体的平衡规律,研究液体处于平衡状态时,作用于液体上的各种力之间的关系,称为水静力学;②液体的运动规律,研究液体处于运动状态时,作用于液体上的力与液体运动之间的关系,以及液体的运动特性与能量转化等,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。水力学在研究液体平衡和机械运动规律时,需应用物理学和理论力学中的有关原理,如力系平衡定理、动量定理、能量守恒与转化定理等,因为液体也同样遵循这些普遍的原理。所以,物理学和理论力学知识是学习“水力学”课程必要的基础。

2. 工程中的水力学问题

1) 水力荷载的计算

确定水利工程中坝体、闸门、渡槽及管道等涉水建筑物的静水压力或动水压力,以及透水地基上的渗透压力,为建筑物的结构设计和稳定分析提供依据。

2) 水流输送能力的确定

计算渠道、溢流坝、泄水闸、涵洞等输水及泄水建筑物在各种条件下的过水能力,为这些建筑物的合理布置、形式及尺寸提供依据。

3) 水流能量损失的确定

水流在运动过程中都有机械能损失,因此需要分析水流在通过水电站、泵站、管道、渠道、堰闸等水工建筑物时,引起的能量转化及损耗规律;需要确定水流能量损失的大小,一方面尽量减少在引水、输水过程中的能量损失,另一方面采取合理的方式和有效措施,消除通过水工建筑物的水流的多余有害动能。

4) 分析水流形态

水道上修建的水工建筑物改变了原有的水流形态,因此需要判别水流在各种水工建筑物中及其影响区域的流动形态和对工程的影响;采取必要的措施,改善不利的水流形态,保证工程的正常运行,如取水口、沿河建筑物(桥、路、堤防等)防护工程、泄洪闸以及码头栈桥的布置等。

5) 其他水力学问题

研究水工建筑物中高速水流引起的空化和空蚀、掺气、振动问题,水利工程基础和围堰的渗流问题,隧道、路基排水问题,以及挟砂水流、波浪运动对建筑物的影响问题。

3. 液体的基本特性及主要的物理力学性质

自然界物质的存在形式有固体、液体和气体三种状态。液体与固体的主要区别是:固体的内聚力很大,有固定的形状,能承受一定的拉、压和剪切作用,不容易变形;而液体的内聚力比固体的小,没有固定的形状,虽然能承受压力,却不能承受拉力,具有易流动性。液体与气体的主要区别是:气体的内聚力很小,总充满任何容器,故不能保持固定的形状与体积,很容易流动和被压缩;而液体不但能保持一定的体积,还能形成自由表面,不易被压缩。

液体和气体也统称为流体,其共同特征是具有易流动性,即在微小剪切力作用下都会发生连续变形或流动。压缩性是气体和液体的主要区别;而流动性则是流体和固体的主要区别。

因此,液体是易流动、不易被压缩的连续介质。

所谓液体的连续介质假定,就是认为液体是由许多微团——质点(每个质点包含无穷多个液体分子)组成的,这些质点之间没有间隙,也没有微观运动,连续分布在液体所占据的空间,即认为液体是一种无间隙地充满所在空间的连续介质。

4. 液体的主要物理力学性质

1) 惯性、质量与密度

(1) 惯性(F)。

液体与自然界其他物体一样,具有反抗改变原有运动状态的特性,即所谓惯性。当液体在外力作用下其运动状态发生改变时,由于液体惯性的存在,将对施力物体产生反抗改变原有运动状态的反作用力,这种反作用力就称为惯性力。

若液体的质量为 m ,加速度为 a ,则惯性力可表达为

$$F = -ma \quad (1-1)$$

式中:负号表示惯性力的方向与物体的加速度方向相反。

(2) 质量(m)。

在物理学中,质量在不同的情况下会有不同的定义,如衡量同种物质物体所含物质多少的物理量(物质质量)、惯性大小的度量(惯性质量)、引力大小的度量(引力质量)等。以上所提到的质量,即为惯性质量。惯性质量愈大,惯性也愈大,物体的原有运动状态愈难以改变;在后面将叙述的万有引力特性中,所提到的质量就是引力质量。在水力学中,把这些不同定义的质量,统称为质量。质量的单位为 g 或 kg 。

(3) 密度(ρ)。

液体单位体积内所具有的质量称为液体的密度,用 ρ 表示。对于质量为 m ,体积为 V 的均质液体,其密度为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-2)$$

密度的单位为 g/cm^3 或 kg/m^3 。液体的密度会随温度和压强的变化而变化,但因这种变化很小,故在水力学中,为计算方便,通常把水的密度视为常数,并采用蒸馏水在1个标准大气压下,温度为 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的密度 $1000\text{ kg}/\text{m}^3$ 作为水的密度计算值。水银的密度通常采用 $13600\text{ kg}/\text{m}^3$ 。不同温度条件下水的密度如表1-1所示。

表 1-1 水的密度和容重

温 度/ $(^{\circ}\text{C})$	密度/ (kg/m^3)	容重/ (N/m^3)	温 度/ $(^{\circ}\text{C})$	密度/ (kg/m^3)	容重/ (N/m^3)
0	999.9	9805.7	40	992.2	9730.2
4	1000.0	9806.7	50	988.0	9689.0
10	999.7	9803.7	60	983.2	9641.9
15	999.1	9797.8	70	977.8	9588.9
20	998.2	9789.0	80	971.8	9530.1
25	997.0	9777.2	90	965.3	9466.4
30	995.7	9764.5	100	958.4	9398.7

本书采用通用的国际单位制(SI),它的基本单位为:米(m)、秒(s)、千克(kg),其他都是导出单位,如力的基本单位为牛顿(N)。

2) 重力和容重

(1) 重力(G)。

由于地球吸引而使物体受到的万有引力称为重力。在日常生活中,重力常被称为重量,用 G 表示。质量为 m 的液体,其重力为

$$G = mg \quad (1-3)$$

式中: g 为重力加速度,重力加速度随纬度和高度的变化而变化,但其值变化很小。

国际计量委员会规定 $g = 9.80665\text{ m}/\text{s}^2$ 为标准重力加速度,但在水力学中,一般取重力加速度为 $g = 9.8\text{ m}/\text{s}^2$ 。

(2) 容重(γ)。

单位体积液体的重力称为容重,可表示为

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{Mg}{V} = \rho g \quad (1-4)$$

容重的单位为 N/m^3 或 kN/m^3 。液体的容重也随温度的变化而变化。空气和几种常见液体的容重如表1-2所示。

表 1-2 空气和几种常见液体的容重

流体名称	空气	水银	汽油	酒精	四氯化碳	海水
容重/ (N/m^3)	11.82	133280	6664~7350	7778.3	15600	9996~10084
测定温度/ $(^{\circ}\text{C})$	20°	0°	15°	15°	20°	15°

在 1 个大气压下,纯净水的密度和容重随温度的变化而变化,如表 1-1 所示。

在水力计算中,常取 4 °C 纯净水的容重作为水的容重,即取 $\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$ 。

3) 黏滞性

(1) 黏滞性。

当液体处在运动状态时,若液体质点之间(或流层之间)存在相对运动,则质点之间将产生一种内摩擦力来抵抗这种相对运动。液体的这种物理性质,称为黏滞性。

图 1-1(a)所示的液体,沿固体平面边壁做纵向(x 方向)平行直线分层流动,运动过程中液体质点没有横向(y 方向)混掺,各液层之间互不干扰(这种液流称为“层流”,在项目 3 中将这种液流运动进行详细讨论)。由图中所示的垂线流速分布图可以看出,液体黏滞性的存在,使得靠近固体边壁处的液层流速较小,远离边壁处的液层流速较大,紧贴边壁壁面上的液层质点的流速为零。若距固体边壁为 y 处的流速为 u ,在相邻的 $y + dy$ 处的流速为 $u + du$,则因两液层间存在流速差 du ,所以该两液层间存在着相对运动。这样,液层间就势必会成对地产生一种内摩擦力来抵抗其相对运动。下液层的流速小,对上层液体产生一个与液流方向相反的内摩擦力;上液层的流速大,对下层液体产生一个与液流方向相同的、起拖动作用的内摩擦力,如图 1-1(b)所示。这种内摩擦力是随液体黏滞性的“显性”而存在的,故内摩擦力也称为黏滞性力。

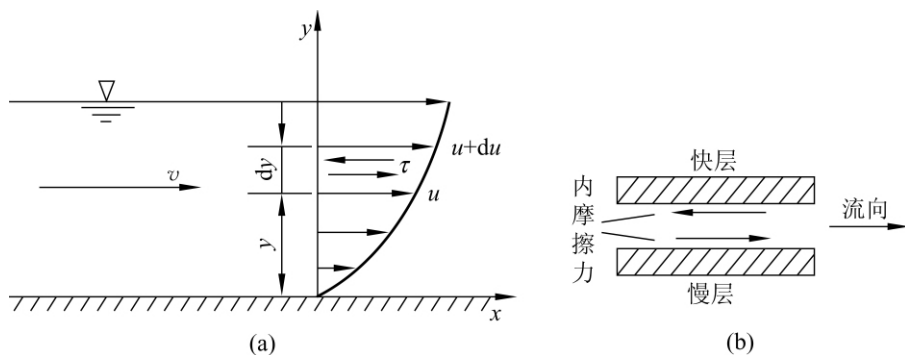


图 1-1 流速分布和内摩擦力

必须注意的是,黏滞性是液体固有的物理属性,这种物理属性只有当液层之间存在着相对运动时才能显示出来,静止液体的黏滞性是不“显性”的。换句话说,静止液体是不存在内摩擦力的。可见,黏滞性是液体产生内摩擦力的根源,相对运动则是液体产生内摩擦力的条件。

(2) 牛顿内摩擦定律。

1686 年,英国科学家牛顿首先提出:两相邻液层接触面上所产生的内摩擦力 T (注: T 也称为黏滞性切力)的大小,与两液层之间的流速差 du 和接触面积 A 成正比,与两液层之间的距离 dy 成反比,并同时与液体的性质有关,可表达为

$$T \propto A \frac{du}{dy}$$

引入比例常数 μ , 则有

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

或表达为应力形式为

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

式中: τ 为黏滞性切应力, 单位为 Pa 或 kPa; $\frac{du}{dy}$ 为流速梯度。

式(1-6)表明, 液体的黏滞性切应力与液体的性质及流速梯度有关: 流速梯度大的地方, 黏滞性切应力 τ 也大; 反之则相反。

牛顿内摩擦定律只适用于一般流体, 对某些特殊流体不适用。一般把符合牛顿内摩擦定律的流体称为牛顿流体, 如水、空气、汽油、煤油、甲苯、乙醇等。不符合牛顿内摩擦定律的流体称为非牛顿流体, 如接近凝固的石油、聚合物溶液、含有微粒杂质或纤维的液体(如泥浆)等。它们的差别可用图 1-2 表示。

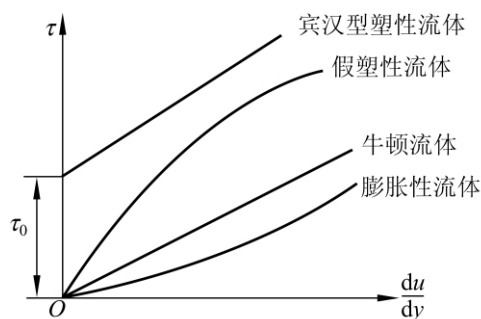


图 1-2 不同流体 τ 与 $\frac{du}{dy}$ 的关系

(3) 黏滞系数。

牛顿内摩擦定律中的比例常数 μ , 是反映液体黏滞性对摩擦力大小的影响系数, 称为液体的动力黏滞系数(也称为动力黏度), 其单位为 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 或 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。可见, 动力黏度 μ 反映了液体黏滞性的大小, μ 值愈大, 液体的黏滞性愈大, 对内摩擦力大小的影响也愈大。不同的液体, 其动力黏度 μ 是不同的, 即使是同一种液体, μ 值也随温度的升高而减小。

在水力学中, 液体黏滞性的大小也可用动力黏度 μ 与密度 ρ 的比值表示, 即

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

式中: ν 称为液体的运动黏滞系数, 也称为运动黏度, 单位为 m^2/s 或 cm^2/s 。

不同温度下水的动力黏度 μ 及运动黏度 ν 如表 1-3 所示。

对于水, 其运动黏度 ν 也可按下述经验公式计算确定, 即

$$\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \quad (1-8)$$

式中: t 为水的温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$; ν 的单位为 cm^2/s 。

为了方便, 表 1-3 列出了不同温度时水的 ν 值。

任何实际液体都具有黏性, 因此液体在流动过程中, 就必须克服黏性阻力做功损失能量。故黏性在水动力学研究中具有十分重要的意义。

表 1-3 不同水温时的 μ 和 ν 值

温 度/(°C)	动力黏度 μ /(10^{-3} Pa·s)	运动黏度 ν /(10^{-6} m ² /s)	温 度/(°C)	动力黏度 μ /(10^{-3} Pa·s)	运动黏度 ν /(10^{-6} m ² /s)
0	1.781	1.785	40	0.653	0.658
5	1.518	1.519	50	0.547	0.553
10	1.307	1.306	60	0.466	0.474
15	1.139	1.139	70	0.404	0.413
20	1.002	1.003	80	0.354	0.364
25	0.890	0.893	90	0.315	0.326
30	0.798	0.800	100	0.282	0.294

4) 压缩性

液体可以承受压力,但不能承受拉力。液体在压力作用下,体积可以缩小,去掉压力后又能恢复原状,这种特性称为液体的压缩性(或弹性)。液体的压缩性通常用压缩系数来表征,即

$$\beta = -\frac{dV/V}{dp} \quad (1-9)$$

式中: β 为体积压缩系数,单位为 m^2/N ; dV/V 为体积的相对压缩值; dp 为压强增量。

压缩系数的倒数 $K = 1/\beta$ 称为液体的体积弹性系数, K 的单位为 N/m^2 。可见 β 值愈大,液体愈易压缩;而 K 值愈大,液体愈不易压缩。

通常情况下,由于液体的分子间距很小,在压力的作用下,其体积压缩一般不大。对于水,在温度为 10°C 的情况下,每增加一个大气压,其体积比原体积缩小约 $1/21000$,可见水是不易压缩的。因此在一般的水力计算中,水的压缩性可不予考虑,即认为水是不可压缩的。但对某些特殊情况,就必须考虑水的压缩性。例如,水电站高压管道中的水流,当水电站因某种原因,阀门需突然关闭时,管道中的压力在很短的时间内会急剧升高,此时管中液体所具有的压缩性就不能忽略了。

5) 表面张力特性

由于液体表层的分子受到上、下两侧分子的引力不同,在合力作用下,液体表层能够承受微小拉力的特性,称为液体的表面张力特性。

液体表面张力的大小通常用表面张力系数 σ 来度量, σ 表示液体表面单位长度上所受的拉力,其单位为 N/m 。 σ 的大小与液体的性质、温度的变化和表面接触状况有关。

当温度为 20°C 时,与空气相接触的水和水银的表面张力系数 σ 分别为 $0.074 \text{ N}/\text{m}$ 和 $0.054 \text{ N}/\text{m}$ 。

由于液体的表面张力较小,在一般水力计算中,通常不考虑表面张力的影响。但在水力学实验室中,常采用盛有水或水银的细玻璃管作为测压管,量测压强或水位。当测压管管径 d 较小时,应考虑由表面张力所引起的管内液面高出或低于管外液面的毛细管现象,对测量成果所产生的影响,如图 1-3 所示。

当温度为 20°C 时,水在细玻璃管中的升高值为

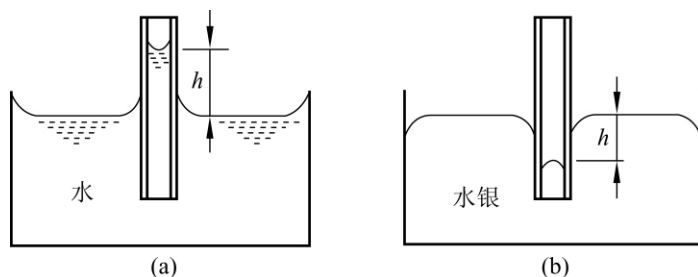


图 1-3 毛细管

$$h = \frac{30.2}{d} \quad (1-10)$$

水银在细玻璃管中的降低值为

$$h = \frac{10.15}{d} \quad (1-11)$$

式(1-10)、式(1-11)中的 h 和管径 d 均以 mm 计。可见管径 d 越小,升高值或降低值 h 就越大。因此,在实用中为了避免因毛细管现象而导致的测量误差,一般要求测压管的管径大于 10 mm 为宜。

5. 实际液体与理想液体

实际液体都是具有黏滞性的液体,黏滞性对液体运动的物理性质有重要影响。但黏滞性的存在给液体运动理论分析带来很大困难,根据由简到繁的科学研究思路,需要引入“理想液体”的概念。

所谓“理想液体”是忽略了黏滞性的液体,它是实际液体的简化。对复杂的实际水流,一般先按理想液体进行分析,求得其运动规律。对于那些黏滞性较小的实际液体,通常就可以近似将其当做理想液体;而对于黏滞性较大的实际液体,则可以考虑液体黏滞性的影响对理想液体的运动规律予以修正,得到实际液体的运动规律,用来解决工程实际问题。在有些教科书中,则更严格地称理想液体是没有黏滞性、没有表面张力特性和弹压缩性的液体。

6. 作用于液体上的力

1) 表面力

表面力是指作用于液体的表面,且大小与作用表面的面积成正比的力,有时也称为面积力,如内摩擦力、水压力等。表面力的大小除了可以用总作用力描述外,还可以用单位面积上的作用力(即应力)来表述,与作用面正交的应力称为压应力或压强,与作用面平行的应力称为切应力。

2) 质量力

质量力是指作用于液体的每一个质点上,大小与液体的质量成正比的力;在均质液体中,质量与体积成正比,故质量力又称为体积力,如重力、惯性力等。质量力的大小除了可以用总作用力来表述外,还可以用单位质量力来度量,即作用在液体单位质量上的质量力。设总质量力为 F ,对质量为 m 的均质液体,则其单位质量力 f 为

$$f = \frac{F}{m} \quad (1-12)$$

若总质量力在空间坐标系上的投影分别为 F_x 、 F_y 、 F_z ,单位质量力在其相应坐标轴上

的投影为 X 、 Y 、 Z ，则

$$X = \frac{F_x}{m}, \quad Y = \frac{F_y}{m}, \quad Z = \frac{F_z}{m} \quad (1-13)$$

进行液体受力分析时常从单位质量力入手，可以看出其单位与加速度单位是相同的。

模块 3 案例分析

【案例 1-1】 图 1-4 所示的极薄平板以 $u = 0.6 \text{ m/s}$ 的速度在两油层中运动。已知平板上侧所受的切应力为 $\tau_1 = 12 \text{ N/m}^2$ ，下侧所受的切应力为 $\tau_2 = 10 \text{ N/m}^2$ ，且 $\mu_1 = 1.4\mu_2$ ，试求其动力黏度 μ_1 及 μ_2 。

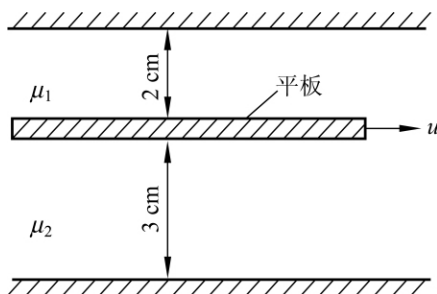


图 1-4 案例 1-1 图

解 因油厚度较小，可以将流速看成为线性分布的，则流速梯度为

$$\frac{du_1}{dy_1} = \frac{u}{y_1} = \frac{0.6}{0.02} \text{ 1/s} = 30 \text{ 1/s}$$

$$\frac{du_2}{dy_2} = \frac{u}{y_2} = \frac{0.6}{0.03} \text{ 1/s} = 20 \text{ 1/s}$$

由牛顿内摩擦定律，得

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \mu_1 \frac{du_1}{dy_1} + \mu_2 \frac{du_2}{dy_2}$$

即

$$12 + 10 = 1.4\mu_2 \times 30 + \mu_2 \times 20 = 62\mu_2$$

解得

$$\mu_2 = 0.355 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$$

$$\mu_1 = 1.4\mu_2 = 1.4 \times 0.355 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2 = 0.497 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$$

任务 2 水力学研究方法

模块 1 任务导入

水力学虽属流体力学的范畴，但也有其自身的特点。它主要偏重于解决实际工程中的应用问题，由于纯理论研究尚不能完全满足工程实际的需要，这就使得水力学有了其自身的研究方法。

目前，水力学的研究方法主要有理论分析、试验研究和数值模拟计算等三种基本方法。

模块 2 知识准备

1. 理论分析法

古典力学是水力学的基础。理论分析法就是运用古典力学中物体机械运动的基本原理,如质量守恒原理、牛顿运动定律、能量守恒原理和动量定理等,来分析和研究液流运动的,从而建立能够反映水流运动规律的一些基本方程,如连续性方程、能量方程和动量方程等。由于水流运动的多样性和复杂性,迄今为止,要完全依靠理论分析手段来解决水力学中的所有问题,还存在诸多困难。有时还需要借助“量纲分析”这种数学与物理相结合的辅助分析方法进行研究。

2. 试验研究法

试验研究法主要包含两方面的内容:一是检验理论成果的正确性;二是对理论分析方法尚不能完全解决的水力学问题,借助试验手段来找到一些试验性规律,以满足工程实际应用的需要。目前,试验研究主要有以下三种形式。

1) 原型观测

通过对实际工程现场的水流运动进行观测,掌握和收集第一手资料,为检验理论分析成果、寻求和总结水流运动的某些基本规律提供依据。

2) 模型试验

在试验室按一定的比例将实际工程缩小成物理模型,并通过模型模拟实际工程中的水流运动,从而找出模型水流的力学和运动规律,然后把模型水流的试验成果按一定的关系换算为实际水流的成果,以满足实际工程设计的需要。

3) 系统试验

在野外观测受到某些条件限制,或者是因为某种水流的相似规律在理论上没有建立起来时候,就在实验室内小规模地造成某种水流运动,来进行系统试验观测,从中找出某些水流的运动或动力学规律。

3. 数值模拟计算法

随着计算机技术的不断发展,数值模拟计算法在水力学研究中的应用已越来越广泛。特别是对那些反映水流运动规律的微分或偏微分方程组,由于其边界条件比较复杂,用常规的数理方法难以找到其理论解析解,通常采用有限差分法、有限元法和有限体积法等一系列数值计算方法离散微分方程组,然后通过计算机求解,得到流体运动区域内的离散解,也称为以计算机为试验平台的数值模拟试验。

要有效地解决实际工程中的水力学问题,通常需要这几种研究方法互相结合,互为补充,相辅相成。

模块 3 知识回顾

1. 容重 γ

$$\gamma = G/V$$

2. 液体的黏滞性