



21 世纪高等学校规划教材

21Shiji Gaodeng Xuexiao Guihua Jiaocai

水力学

Suilixue

● 王正君 韩 梅 主 编



中国质检出版社
中国标准出版社



21 世纪高等学校规划教材

SHUI LI XUE

水力学

王正君 韩 梅 主 编

中国质检出版社

中国标准出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

水力学/王正君, 韩梅主编. —北京: 中国质检出版社, 2014. 10

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5026 - 3877 - 1

I. ①水… II. ①王… ②韩… III. ①水力学 IV. ①TV13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 200077 号

内 容 提 要

本书共分十一章, 包括绪论、水静力学、水流运动基本原理、水流型态与水头损失、有压管道中的恒定流、明渠恒定均匀流、明渠恒定非均匀流、堰流和闸孔出流、泄水建筑物下游水流衔接与消能、相似原理与水工模型以及渗流基础。

本书适用于水文水资源工程、给水排水、水利工程监理、道路与桥梁、水土保持、水电站动力设备、水电站建筑、治河与防洪等专业, 并可用于成人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, 还可供水利水电工程技术人员参考使用。

中国质检出版社 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100029)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

电话: (010) 64275360 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 17.25 字数 421 千字

2014 年 10 月第一版 2014 年 10 月第一次印刷

*

定价: 39.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

— 编 审 委 员 会 —

- 顾 问 赵惠新 (黑龙江大学)
- 主 任 邓寿昌 (中南林业科技大学)
- 副主任 薛志成 (黑龙江科技学院)
- 刘殿忠 (吉林建筑工程学院)
- 姜连馥 (深圳大学)
- 高 潮 (大连海洋大学)
- 邴 伟 (惠州学院)
- 委 员 (按姓氏笔画排序)
- 丁 琳 (黑龙江大学)
- 叶 青 (浙江工业大学)
- 刘 东 (东北农业大学)
- 关 萍 (大连大学)
- 张兆强 (黑龙江八一农垦大学)
- 张季超 (广州大学)
- 张燕坤 (北方工业大学)
- 杨 璐 (沈阳工业大学)
- 侯 威 (内蒙古工业大学)
- 侯正明 (东北林业大学)
- 赵文军 (黑龙江大学)
- 郭宗河 (青岛理工大学)
- 原 方 (河南工业大学)
- 徐建国 (郑州大学)
- 程 桢 (哈尔滨职业技术学院)

— 本 书 编 委 会 —

主 编 王正君（黑龙江大学）

韩 梅（黑龙江大学）

副 主 编 武晓刚（河南城建学院）

朱永英（大连海洋大学）

王 帅（黑龙江东方学院）

杨 刚（哈尔滨铁道职业技术学院）

编写人员 王正君（黑龙江大学）

韩 梅（黑龙江大学）

武晓刚（河南城建学院）

朱永英（大连海洋大学）

王 帅（黑龙江东方学院）

杨 刚（哈尔滨铁道职业技术学院）

尹玉先（大连海洋大学）

张 彬（黑龙江建筑职业技术学院）

主 审 史长莹（黑龙江大学）

序 言

伴随着近年来经济的空前发展和社会各项改革的不断深化，建筑业已成为国民经济的支柱产业和重要的经济增长点。该行业的快速发展对整个社会经济起到了良好的推动作用，尤其是房地产业和公路桥梁等各项基础设施建设的深入开展和逐步完善，也进一步促使整个国民经济逐步走上了良性发展的道路。与此同时，建筑行业自身的结构性调整也在不断进行，这种调整使其对本行业的技术水平、知识结构和人才特点提出了更高的要求，因此，近年来教育部对高校土木工程类各专业的发展日益重视，并连年加大投入以提高教育质量，以期向社会提供更加适应经济发展的应用型技术人才。为此，教育部对高等院校土木工程类各专业的具体设置和教材目录也多次进行了相应的调整，使高等教育逐步从偏重于理论的教育模式中脱离出来，真正成为为国家培养生产一线的高级技术应用型人才的教育，“十一五”期间，这种转化将加速推进并最终得以完善。为适应这一特点，编写高等院校土木工程类各专业所需教材势在必行。

针对以上变化与调整，由中国计量出版社牵头组织了 21 世纪高等学校规划教材的编写与出版工作，该套教材主要适用于高等院校的土木工程、工程监理以及道路与桥梁等相关专业。由于该领域各专业的技术应用性强、知识结构更新快，因此，我们有针对性地组织了中南林业科技大学、深圳大学、大连海

洋大学、黑龙江大学、吉林建筑工程学院、浙江工业大学、东北农业大学、大连大学、沈阳工业大学、青岛理工大学、郑州大学、河南工业大学以及北方工业大学等多所相关高校、科研院所以及企业中兼具丰富工程实践和教学经验的专家学者担当各教材的主编与主审，从而为我们成功推出该套框架好、内容新、适应面广的好教材提供了必要的保障，以此来满足土木工程类各专业普通高等教育的不断发展和当前全社会范围内建设工程项目安全体系建设的迫切需要；这也对培养素质全面、适应性强、有创新能力的应用型技术人才，进一步提高土木工程类各专业高等教育教材的编写水平起到了积极的推动作用。

针对应用型人才培养院校土木工程类各专业的实际教学需要，本系列教材的编写尤其注重了理论与实践的深度融合，不仅将建筑领域科技发展的新理论合理融入教材中，使读者通过对教材的学习可以深入把握建筑行业发展的全貌，而且也将建筑行业的新知识、新技术、新工艺、新材料编入教材中，使读者掌握最先进的知识和技能，这对我国新世纪应用型人才的培养大有裨益。相信该套教材的成功推出，必将会推动我国土木工程类高等教育教材体系建设的逐步完善和不断发展，从而对国家的新世纪人才培养战略起到积极的促进作用。

教材编审委员会

2014年7月

前言 FOREWORD

为配合高等学校土木工程专业和工程管理专业“十二五”国家级规划教材的建设，经主办单位中国质检出版社以及各相关高校的共同努力和前期的认真准备，中国质检出版社组织召开了土木工程专业和工程管理专业高校教材编写出版工作研讨会。

为了成功召开本次会议，我们在全中国范围内邀请了许多所高校土木工程学院主管教学的院长和教学一线的任课老师参会，共同编写出版一套高质量的全国统编本科教材，以此来促进土木工程和工程管理学科的不断发展和人才培养质量的不断提高。

本书在编写过程中力求概念清晰、深入浅出、联系实际，理论上以适当够用为度，不苛求学科的系统性和完整性。力求结合专业，突出实用。

参加本书编写的有王正君（第一章、第五章、第六章）、韩梅（第三章、第九章）、武晓刚、王帅（第二章、第四章）、朱永英、杨刚（第七章、第八章）、尹玉先（第十章、第十一章第一节）、张彬（第十一章第二、三节）。

由于编者水平所限，本书不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2014 年 9 月

目 录 CONTENTS

第一章 绪论	(1)
第一节 水力学课程的性质和任务	(1)
第二节 液体的基本特性和主要物理力学性质	(2)
第三节 量纲和单位	(8)
第四节 作用于液体上的力	(8)
第五节 水力学的研究方法	(9)
第二章 水静力学	(11)
第一节 静水压强及其特性	(11)
第二节 液体平衡微分方程	(14)
第三节 静水压强的基本规律	(16)
第四节 静水压强的单位和量测	(20)
第五节 作用于平面壁上的静水总压力	(26)
第六节 作用于曲面壁上的静水总压力	(33)
第三章 水流运动基本原理	(45)
第一节 描述液体运动的两种方法	(45)
第二节 液体运动的基本概念	(48)
第三节 液体运动的分类	(50)
第四节 动水压强及其分布规律	(53)
第五节 恒定总流连续性方程	(55)
第六节 恒定总流的能量方程	(57)
第七节 能量方程的应用条件及应用举例	(63)
第八节 恒定总流的动量方程	(70)
第四章 水流型态与水头损失	(84)
第一节 水头损失的类型及其与阻力的关系	(84)
第二节 水流运动的两种流态	(87)
第三节 水流的层流运动	(91)
第四节 水流的紊流运动	(93)
第五节 沿程水头损失的分析 and 计算	(99)
第六节 沿程水头损失计算的谢才公式	(106)
第七节 局部水头损失的计算	(107)

第五章 有压管道中的恒定流	(121)
第一节 概述	(121)
第二节 简单管路的水力计算	(122)
第三节 简单管路的设计计算举例	(126)
第四节 复杂管路的水力计算	(129)
第六章 明渠恒定均匀流	(137)
第一节 概述	(137)
第二节 明渠均匀流的特性及计算公式	(139)
第三节 水力最佳断面和允许流速	(141)
第四节 明渠均匀流的水力计算	(145)
第五节 粗糙度不同的明渠及复式断面明渠的水力计算	(147)
第七章 明渠恒定非均匀流	(151)
第一节 概述	(151)
第二节 明渠非均匀流的一些基本概念	(152)
第三节 水跌和水跃	(162)
第四节 明渠恒定非均匀渐变流的基本方程	(168)
第五节 棱柱体渠道非均匀渐变流水面线定性分析	(171)
第六节 棱柱体渠道中非均匀渐变流水面线计算	(179)
第七节 天然河道中水面线的计算	(181)
第八节 天然河道恒定非均匀流流量和糙率的计算	(186)
第九节 弯道水流简介	(188)
第八章 堰流和闸孔出流	(193)
第一节 概述	(193)
第二节 孔口与管嘴出流	(194)
第三节 堰流	(199)
第四节 闸孔出流的水力计算	(214)
第九章 泄水建筑物下游的水流衔接与消能	(221)
第一节 概述	(221)
第二节 底流消能水力计算	(222)
第三节 挑流式消能的水力计算	(234)
第四节 其他消能形式简介	(238)
第十章 相似原理与水工模型	(242)
第一节 相似理论基础	(242)
第二节 水工模型	(246)
第十一章 渗 流	(251)
第一节 渗流基本定律	(251)
第二节 集水廊道和井	(253)
第三节 井群	(257)
主要参考文献	(263)

第一章 绪 论

第一节 水力学课程的性质和任务

一、水力学的研究对象和任务

水力学是研究液体机械运动规律及其工程应用的一门科学。液体的种类很多,如水、石油、酒精、水银等。由于工程实际中最为常见的液体是水,便以水作为研究液体的代表,故称水力学。实际上,水力学的基本原理与水力计算的一般方法不仅适用于水,而且也适用于一般常见液体和可忽略压缩性影响的气体。事实上,当气体的运动速度远比音速小时,在运动过程中其密度的变化很小,当然可视为不可压缩,及可以忽略压缩性的影响。在实际工程中,燃气的远距离输送需考虑气体的压缩性、水击现象需考虑水体的压缩性、热水采暖需考虑水的压缩性和热胀性。除此而外,绝大多数工程问题都可以不考虑压缩性。

水力学的任务是研究以水为代表的液体的平衡和机械运动的规律,并依据这些规律来解决工程中的实际问题,为今后学习专业课程和从事专业技术工作打下良好的基础。

二、课程性质及结构体系

水力学是一门技术基础课,即专业基础课,它介于基础科学与工程技术之间。一方面,根据基础科学中的普遍规律(如质量守恒、能量守恒、动量守恒等),结合水流特点,建立自己的理论基础;另一方面,又密切联系工程实际,发展学科内容。也就是说,水力学是继《普通物理学》、《理论力学》之后开设的一门专业基础课。同时,在对液体的机械运动进行理论分析与数值计算的过程中,必然离不开《高等数学》这个有力的工具。此外,由于水力学在工程实际中的应用相当广泛,这就使水力学的基本概念、基本理论以及水力计算的基本方法和实验研究的基本技能成为学习许多专业课程(如农田水利学、水工建筑物、水利工程施工、水电站、水泵站、地下水利用等)和从事专业研究的必备基础。而工程实际中基本和典型的水力学问题的理论分析和计算方法也就成为了本课程的重要组成部分。

三、水力学的应用

水力学在工程实际中占有相当重要的地位,广泛用于水利工程、水力发电工程、水文水资源、农田水利、机电排灌、河道整治、给排水、环境工程等领域。在水利工程的勘测设计,施工和运行管理等各个环节都可能遇到大量的水力学问题。归纳起来:水利工程中经常遇到的水力学问题主要有以下几个方面:

(1) 建筑物(及河槽)所承受的水力荷载。包括:静水压力、动水压力、渗透压力等,这是水工建筑物的稳定分析和结构计算必需的依据之一。

(2) 建筑物(及河槽)的过水能力。输水及泄水建筑物、河渠、管道等的断面形式及尺寸的确定,是水力学的一项基本任务。

(3) 水流的流动形态。研究和改善水流通过河渠、水工建筑物及其附近的水流形态,为合理布置建筑物、保证其正常运用提供理论依据。

(4) 水流的能量消耗。分析水流能量转换中的能量损失规律,研究充分利用水流有效能量的方式方法和高效率消除多余有害动能的消能防冲措施。

第二节 液体的基本特性和主要物理力学性质

一、液体的基本特性

自然界物质分为气体、固体和液体。固体的主要特性是有固定的形状,在外力作用下不易变形。液体和气体统称为流体,其共同特性是易于流动。

液体的真实结构是:由彼此之间存在空隙并在不断进行复杂的微观运动的大量液体分子组成的聚集态。液体分子之间存在着间隙,每个分子又在不停地热运动,由于分子在空间分布上的不连续性和热运动在时间上的随机性,致使其物理量在空间与时间上均呈现不连续变化,给研究液体的运动带来了困难。但由于水力学研究的是液体的宏观机械运动,即研究大量液体分子的统计平均效应,因此,我们并不关心单个分子的微观运动,更何况液体分子之间的间隙又是如此微小(例如, 1cm^3 的水中大约有 3.34×10^{22} 个水分子),它与工程中所研究的运动液体的集合尺度相比,小到可以忽略不计的程度。既然如此,把液体看作是不连续的分子结构也就没有必要了。事实上,早在 1753 年,欧拉就已经提出了连续介质假定,他认为:液体是由无数质点所组成,质点毫无间隙地充满所占空间,其物理性质和运动要素都是连续分布的。连续介质假定的引入对流体力学的发展起了巨大的推动作用。具体来讲,如果我们把液体视为连续介质的话,我们就摆脱了复杂的分子运动,而全力着眼于宏观机械运动,此时,液流中的一切物理量均可视为空间位置坐标和时间的连续函数,就可以充分地利用连续函数这一数学工具来解决液体的流动问题。这里所讲的质点是指由大量分子组成的具有质量但无大小概念的。

为研究问题方便,在连续介质假定的基础上,一般还认为液体具有均匀等向性,即液体是均质的,各部分各个方向上的物理性质均相同。

因此,水力学中研究的液体的基本特征是:易于流动、不易压缩、均匀等向、连续介质。

二、液体的主要物理力学性质

(一) 惯性、质量和密度

惯性是物体具有的反抗改变它原有运动状态的物理特性。质量是物体惯性大小的度量,常以符号 M 表示。当物体受到其他物体的作用而改变运动状态时,它反抗改变原来的运动状态而作用在其他物体上的反作用力称为惯性力,惯性力的表达式见式(1-1):

$$\vec{F} = -M\vec{a} \quad (1-1)$$

单位体积内的质量称为密度 ρ , 其单位为 kg/m^3 。对均质液体,见式(1-2):

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

对非均质液体,见式(1-3):

$$\rho = \lim_{\Delta V} \frac{\Delta M}{\Delta V} \quad (1-3)$$

不同种类的液体其密度值各不相同。同一种类的液体,其密度随温度和压强的变化而变化,但这种变化很小。在水力学中,就把密度视为常数,采用一个标准大气压下,温度为4℃的蒸馏水的密度作为计算值,即 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ 。

(二) 重量和容重

任何物体之间的引力称为万有引力。地球对物体的引力称为重力。重力的大小以重量来度量 G 。单位体积内的重量称为容重 γ ,也称为重度或重率,其单位为 N/m^3 。对均质液体:

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

对非均质液体:

$$\gamma = \lim_{\Delta V} \frac{\Delta G}{\Delta V} \quad (1-5)$$

不同种类的液体其容重值各不相同。同一种类的液体,其容重随温度和压强的变化而变化,也随纬度而略有变化,但这种变化很小,常忽略不计。液体的密度和容重随温度和压强的改变而变化,但这种变化很小,通常可以视作常数。水的密度为 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$,水的容重为 $\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$ 。

例 1-1: 已知油品的相对密度为 0.85,求其重度。

解: $\delta = 0.85 \Rightarrow \gamma = 0.85 \times 9800 = 8330 \text{ N/m}^3$

(三) 粘滞性和粘滞系数

液体的粘滞性是本章的重点,它是液体在流动中产生能量损失的主要原因,也是今后讨论液体运动基本方程的一项关键内容。

当液体流动时,液体质点之间存在着相对运动,这时质点之间会产生内摩擦力反抗它们之间的相对运动,液体的这种性质称为粘滞性,这种质点之间的内摩擦力也称为粘滞力。相邻液层之间内摩擦力的大小 F 由牛顿内摩擦定律给出,即:

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

单位面积上的内摩擦力(切应力):

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-7)$$

牛顿内摩擦定律的内容叙述如下:当液体内部的液层之间存在相对运动时,相邻液层间的内摩擦力 F 的大小与流速梯度 $\frac{du}{dy}$ 和接触面面积 A 成正比,与液体的性质(即粘滞性)有关,而与接触面上的压力无关。

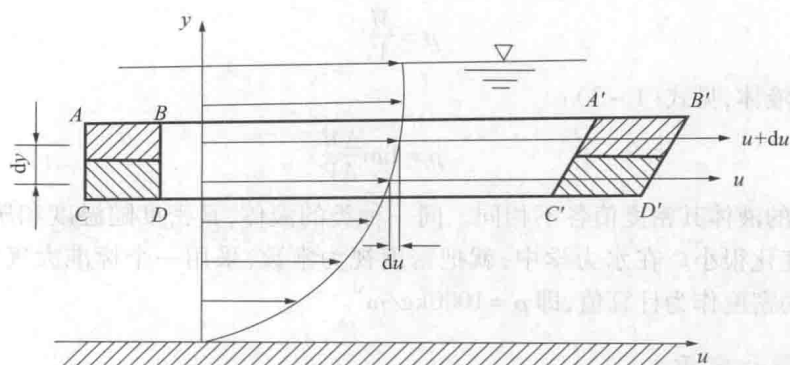


图 1-1 粘滞性实验

式中 μ 是表征液体粘滞性大小的动力粘滞系数,单位是($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)。另一形式的粘滞系数用 ν 表示,即:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-8)$$

式中, ν 为运动粘滞系数,它的单位是(m^2/s 或 cm^2/s)。

粘滞系数受温度影响较大,设水温为 t ,以 $^{\circ}\text{C}$ 计,水的运动粘滞系数可用下述经验公式求得,不同条件下的 μ 和 ν 值见表 1-1。

$$\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \quad (1-9)$$

牛顿内摩擦定律的另一种表达式,表示切应力 τ 与剪切变形速度 $\frac{d\theta}{d\tau}$ 的关系,即:

$$\tau = \mu \frac{d\theta}{d\tau} \quad (1-10)$$

需要强调的是:牛顿内摩擦定律只适用于牛顿流体和层流运动,牛顿流体是指在温度不变的情况下切应力 τ 与流速梯度 $\frac{du}{dy}$ 成正比,这时粘滞系数 μ 为常数。

对于静止液体,液体质点之间没有相对运动,因而也就不存在粘滞性。

表 1-1 不同温度条件下水的物理性质

温度/ $^{\circ}\text{C}$	容重 $\gamma/$ (kN/m^3)	密度 $\rho/$ (kg/m^3)	动力粘滞 系数 $\mu/$ ($10^{-3}\text{Pa} \cdot \text{s}$)	运动粘滞 系数 $\nu/$ ($10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$)	压缩系数 $\beta/$ ($10^{-9}1/\text{Pa}$)	弹性系数 $K/$ ($10^9/\text{Pa}$)	表面张力 系数 $\sigma/$ (N/M)
0	9.805	999.9	1.781	1.785	0.495	2.02	0.0756
5	9.807	1000.0	1.518	1.519	0.485	2.06	0.0749
10	9.804	999.7	1.306	1.306	0.476	2.10	0.0742
15	9.798	999.1	1.139	1.139	0.465	2.15	0.0735
20	9.789	998.2	1.002	1.003	0.459	2.18	0.0728
25	9.777	997.0	0.890	0.893	0.450	2.22	0.0720

续表

温度/℃	容重 γ / (kN/m^3)	密度 ρ / (kg/m^3)	动力粘滞 系数 μ / ($10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$)	运动粘滞 系数 ν / ($10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$)	压缩系数 β / ($10^{-9} 1/\text{Pa}$)	弹性系数 K / ($10^9/\text{Pa}$)	表面张力 系数 σ / (N/M)
30	9.764	995.7	0.798	0.800	0.444	2.25	0.0712
40	9.760	992.2	0.653	0.658	0.439	2.28	0.0696
50	9.689	988.0	0.547	0.553	0.437	2.29	0.0679
60	9.642	983.2	0.466	0.474	0.439	2.28	0.0662
70	9.589	977.8	0.404	0.413	0.444	2.25	0.0644
80	9.530	971.8	0.354	0.364	0.455	2.20	0.0626
90	9.466	965.3	0.315	0.326	0.467	2.14	0.0608
100	9.399	958.4	0.282	0.294	0.483	2.07	0.0589

例 1-2: 已知: $A = 1200 \text{cm}^2$, $v = 0.5 \text{m/s}$; $\mu_1 = 0.142 \text{Pa} \cdot \text{s}$, $h_1 = 1.0 \text{mm}$; $\mu_2 = 0.235 \text{Pa} \cdot \text{s}$, $h_2 = 1.4 \text{mm}$ 。求: 平板上所受的总摩擦力 F , 绘制: 平板间流体的流速分布图及应力分布图。

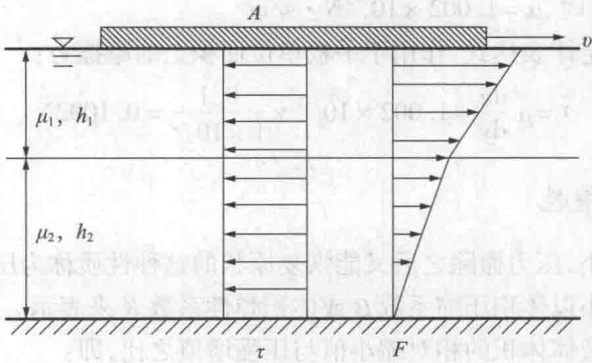


图 1-2 平板运动

解: (前提条件: 牛顿流体、层流运动)

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \Rightarrow \begin{cases} \tau = \mu \frac{v-u}{h_1} \\ \tau_2 = \mu_2 \frac{u-0}{h_2} \end{cases}$$

因为 $\tau_1 = \tau_2$

所以
$$\mu_1 \frac{v-u}{h_1} = \mu_2 \frac{u}{h_2} \Rightarrow u = \frac{\mu_1 h_2 v}{\mu_2 h_1 + \mu_1 h_2} = 0.23 \text{m/s}$$

$$F = \tau_1 A = \mu \frac{v-u}{h_1} A = 4.6 \text{N}$$

例 1-3: 轴置于轴套中, 见图 1-3。以 $P = 90 \text{N}$ 的力由左端推轴向右移动, 轴移动的速度为 $v = 0.122 \text{m/s}$, 轴的直径为 $d = 75 \text{mm}$, 其他尺寸见图 1-3。求轴与轴套间液体的动力粘性系数 μ 。

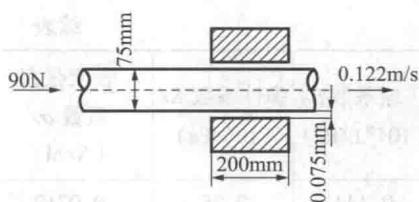


图 1-3

解: 因轴与轴套间的径向间隙很小, 故设间隙内

流体的速度为线性分布, 由式: $\mu = \frac{Fh}{Av}$

上式中 $F = P$, $A = \pi dl$

则

$$\mu = \frac{Fh}{Av} = \frac{Ph}{\pi dl v} = \frac{90 \times 0.000075}{3.1416 \times 0.075 \times 0.2 \times 0.122} = 1.174 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

例 1-4: 见图 1-4, 平板在水面上作水平运动, 速度为 $v = 10 \text{ cm/s}$, 平板与下部固定底板的距离为 $\delta = 1 \text{ mm}$, 平板带动水流运动速度呈直线分布, 水温为 20°C , 试求: 作用平板单位面积上的摩擦力。

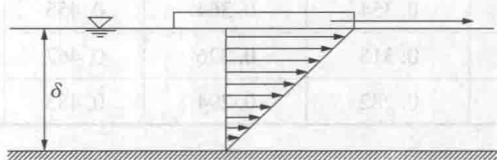


图 1-4 平板在水面上运动

解: 当水温为 20°C 时, $\mu = 1.002 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$

根据牛顿内摩擦定律表达式, 作用于平板单位面积上的摩擦力:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = 1.002 \times 10^{-3} \times \frac{0.1}{1 \times 10^{-3}} = 0.1002 \text{ N}$$

(四) 液体的压缩性

液体受压体积缩小, 压力撤除之后又能恢复原状的这种性质称为压缩性或弹性。

液体压缩性的大小以体积压缩系数 β 或体积弹性系数 K 来表示。

体积压缩系数是液体体积的相对缩小值与压强增值之比, 即:

$$\beta = -\frac{dV/V}{dp} \quad (1-11)$$

由于 dp 与 dV 始终异号, 为保证 β 为正, 前面加负号。 β 值越大, 液体越容易压缩。 β 的单位为 m^2/N 。

由于液体压缩时, 质量并不改变, 故:

$$dm = \rho dV + V d\rho = 0 \Rightarrow \frac{dV}{V} = -\frac{d\rho}{\rho}$$

因而体积压缩系数 β 又可写为:

$$\beta = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dp} \quad (1-12)$$

体积弹性系数:

$$K = \frac{1}{\beta} \quad (1-13)$$

K 值越大, 液体越不容易被压缩。 K 值的单位是 N/m^2 。液体种类不同, β 或 K 值不同。对同一种液体, β 或 K 值也会随温度和压强而有所变化, 但变化较小, 一般可视为常数。

例 1-5: 当压强增加 $5 \times 10^4 \text{ Pa}$ 时, 某种液体的密度增长 0.02% , 求该液体的弹性系数。

解:

$$M = \rho V \Rightarrow dM = Vd\rho + \rho dV = 0$$

$$\frac{V}{dV} = -\frac{\rho}{d\rho}$$

$$K = \frac{1}{\beta_p} = -\frac{1}{\frac{dV}{V} \frac{1}{d\rho}} = \frac{\rho}{d\rho} d\rho = \frac{1}{0.02\%} \times 5 \times 10^4 = 2.5 \times 10^8 \text{ Pa}$$

(五) 表面张力特性

表面张力是仅在液体自由表面上存在的局部水力现象, 它使液体表面有尽量缩小的趋势。对体积小的液体, 表面缩小趋于球体状, 如荷叶上的水珠等。表面张力的大小用表面张力系数 σ 度量, 它表示液体自由面上单位长度所受到拉力的大小, 单位为 N/m 。一般情况下, 表面张力对液体运动的影响可以忽略不计。但在特殊情况下, 如细玻璃管内的毛细现象使水柱升高或汞柱降低, 对液位和压强量测造成误差, 有自由表面和较大曲率的小流量运动和微小水滴的形成球状, 这些情况下表面张力的影响必须考虑。



图 1-5 毛细现象

(六) 汽化压强

汽化压强是指液体汽化和凝结达到平衡时液面的压强。汽化压强随液体的种类和温度的不同而改变。水利工程中的空化现象与液体的汽化压强有关, 需要注意。

综上所述, 液体的各种物理特性不同程度地影响着液体的运动, 其中惯性、重力和粘滞性对液体运动有重要的影响, 而液体的可压缩性、表面张力和汽化压强只有在一些特殊情况中才需要考虑, 请注意区分。

特别需要强调的是: 粘滞性对液体的影响十分重要而且极其复杂, 它使得研究和分析液体的运动规律变得非常困难。为了简化问题, 便于从理论上研究和分析液体的运动, 在水力学引入了“理想液体”的概念。

三、理想液体

“理想液体”是为了简化对液体运动的研究而引进的一种假设, 即认为是一种完全没有粘滞性的液体。这样, 先按理想液体分析研究液体的运动, 从理论上求得其运动规律, 借以揭示实际液体运动的规律和趋势。然后, 再根据实际液体的具体情况考虑粘滞性的影响, 对理想液体的运动规律进行修正, 就可以得到实际液体的运动规律。需要注意的是, 理想液体是一种实际上并不存在的假想的液体, 引进理想液体仅是水力学研究的一种简化方法。