



高等学校**应用型本科**规划教材

水力学与桥涵水文

主 编 王丽荣
副主编 李家春 王国峰 杨 扬
主 审 高冬光



人民交通出版社

China Communications Press

高等学校应用型本科规划教材

Shuixue yu Qiaohan Shuiwen
水力学与桥涵水文

主 编 王丽荣

副主编 李家春 王国峰 杨 扬

主 审 高冬光

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是根据高等学校土木工程专业应用型本科教学的要求,以土木工程专业(路桥工程方向)的“水力学与桥涵水文”课程讲授内容为主编写的。本书包括水力学与水文学基础、大中桥桥位设计、小桥涵水力水文计算三大部分内容,主要讲述水静力学、水动力学基础、明渠均匀流、明渠非均匀流、河川水文基础知识、大中桥设计流量的推算、大中桥孔径设计、桥梁墩台冲刷计算及基础埋深、小桥涵设计流量的推算、小桥和涵洞孔径计算等内容。本书同时对《公路工程水文勘测设计规范》(JTG C30—2002)的具体应用也进行了阐述。

本书是高等院校土木工程专业、道路桥梁与渡河工程专业及其相关专业应用型本科规划教材,也可供科研、设计、施工等方面的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

水力学与桥涵水文/王丽荣主编. —北京:人民交通出版社,2007.6

ISBN 978-7-114-06409-8

I. 水… II. 王… III. ①水力学②桥涵工程—工程水文
学 IV. TV13 U442.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 020708 号

高等学校应用型本科规划教材

书 名:水力学与桥涵水文

著 作 者:王丽荣

责任编辑:毛 鹏

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)85285838,85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京凯通印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:16

字 数:401 千

版 次:2007 年 6 月 第 1 版

印 次:2007 年 6 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-06409-8

印 数:0001~4000 册

定 价:27.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

21 世纪交通版

高等学校应用型本科规划教材

编 委 会

主任委员：张起森

副主任委员：(按姓氏笔画序)

万德臣	马鹤龄	王 彤	刘培文
伍必庆	李香菊	张维全	杨少伟
杨渡军	赵丕友	赵永平	倪宏革
章剑青			

编写委员：(按姓氏笔画序)

于吉太	于少春	王丽荣	王保群
朱 霞	张永清	陈道军	赵志蒙
查旭东	高清莹	曹晓岩	葛建民
韩雪峰	蔡 瑛		

主要参编院校：

长沙理工大学	长安大学
重庆交通大学	东南大学
华中科技大学	山东交通学院
黑龙江工程学院	内蒙古大学
北京交通管理干部学院	辽宁交通高等专科学校
鲁东大学	

秘 书 组：毛 鹏 岑 瑜 (人民交通出版社)

前 言

本教材系参考国家级教育研究项目“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题“土木工程专业应用型人才培养的创新与实践”子课题教改最新精神编写的,内容加强了课程理论体系的科学性与专业针对性,突出了以培养路桥工程类应用型人才为培养目标的教改指导思想,编写时采用了新颁布的技术标准和技术规范的有关规定。

水力学与桥涵水文两大内容原属两门单独的课程,两者并无严密的学科系统性,但在理论应用方面却有密切的关系。按照应用型本科院校的培养目标的要求我们将两门课程合二为一,有利于专业教学的针对性,在教学上可减小许多不必要的搭接内容,同时特别强调了基础知识的应用这部分内容,为专业知识学习和扩展打下良好基础。

按照教学大纲的要求,学生在学完《理论力学》、《高等数学》等先修课程的基础上,通过本课程的学习,可以使學生掌握从事公路与桥梁(涵)的勘测、设计等工作所必需的水力水文基本理论知识,能进行一般水文地质条件下的大中桥孔径设计,并能熟练运用标准图进行小桥涵孔径计算。

本教材共有三篇。第一篇“水力学与水文学基础”通过水静力学、水动力学基础、明渠均匀流、明渠非均匀流、河川水文基础知识等内容的学习,使学生了解水体平衡和水流运动规律,掌握应用这些规律解决公路桥涵中有关水力计算问题的方法,掌握河川水文现象的特征和水文资料观测收集分析整理的方法,了解河流的泥沙运动、河床演变、河流特性等基本知识,使学生在深入学习各章内容前对水力学与水文学的基本知识有一个比较扎实的了解。

第二篇和第三篇为“大中桥桥位设计”、“小桥涵水力水文计算”。通过对大中桥设计流量的推算、大中桥孔径设计、桥梁墩台冲刷计算、小桥涵设计流量的推算、小桥和涵洞孔径计算等内容的学习,学生应该能进行一般水文地质条件下的大中桥桥位设计和小桥涵孔径计算。此外,为了体现新技术的含量,根据《公路工程水文勘测设计规范》(JTJ C30—2002)的一些变化,介绍了与现行规范相配套的计算公式,体现了教材的时效性与实用性。

所有计算例题均按《公路工程水文勘测设计规范》(JTJ C30—2002)有关规定编写,便于学生掌握理论计算要领。全书附有必要的思考题和习题。每章还有学习目标、学习重点、学习难点和本章小结,以便学生自学和自测。土木工程专业应用型人才培养的创新与实践教学改革是以培养路桥工程生产第一线高等工程技术应用型人才为目标的,为此我们建议在理论教学的同时加强实践教学学习,增加一个以大中桥孔径设计为主的课程设计,加强设计理论和计算方法的应用,此部分内容建议由各学校根据具体情况结合学时、地区的差异在讲授时以辅导材料形式给出。

本教材由黑龙江工程学院王丽荣主编,由长安大学李家春、黑龙江工程学院王国峰、黑龙江工程学院杨扬任副主编,长安大学高冬光教授主审。本书编写工作的具体编写情况为黑龙江工程学院王丽荣编写第一章、第七章第二、三、四节,并负责全书的统稿工作;长安大学李家春编写第三章、第四章、第五章、第十章、第十一章;黑龙江工程学院王国峰编写第

八章第三、四节和第九章；黑龙江工程学院杨扬编写第二章；黑龙江工程学院刘空军编写第六章；黑龙江工程学院王景波编写第七章第一、六节；吉林省宇辉地方铁路有限公司孙平义编写第八章第一、二节；黑龙江工程学院陈铁林编写第七章第五节。

在本书编写过程中，得到了高冬光教授的谆谆教导和无私帮助，长安大学的田伟平、王亚玲老师，也为本书编写提出了宝贵意见，在此一并表示深深的谢意。本书得以顺利出版，也离不开人民交通出版社的帮助与支持。特别感谢毛鹏编辑为此付出的辛勤工作。

由于编者水平有限，编写时间仓促，敬请读者对书中存在的错误和不当之处予以批评指正。

编 者
2007 年 1 月

目 录

第一篇 水力学与水文学基础

第一章 绪论	1
第一节 《水力学与桥涵水文》课程的学习目的与任务	1
第二节 连续介质	3
第三节 液体的主要物理性质	3
第四节 作用在液体上的力	6
本章小结	7
思考题与习题	7
第二章 水静力学	8
第一节 静水压强	8
第二节 静水压强的分布规律	12
第三节 作用在平面上的静水总压力	16
第四节 曲面上的静水总压力	19
本章小结	23
思考题与习题	23
第三章 水动力学基础	27
第一节 液体运动的基本概念	27
第二节 恒定流的连续性方程	32
第三节 恒定流的能量方程	34
第四节 恒定流的动量方程	48
第五节 水流阻力与水头损失	52
第六节 能量方程的应用——短管计算	68
本章小结	72
思考题与习题	73
第四章 明渠均匀流	76
第一节 明渠均匀流的水力特性和基本公式	76
第二节 明渠均匀流水力计算基本问题	83
本章小结	90
思考题与习题	90
第五章 明渠非均匀流	92
第一节 明渠非均匀流水力现象的类型	92
第二节 明渠的两种流态与佛汝德数	93
第三节 断面比能	94

第四节	临界水深和临界坡度的计算	96
第五节	明渠急变流	99
第六节	明渠渐变流水面曲线形状的定性分析	104
第七节	明渠渐变流水面曲线的计算	110
第八节	宽顶堰溢流	112
第九节	泄水建筑物下游的消能	117
本章小结		119
思考题与习题		121
第六章	河川水文基础知识	123
第一节	河流	123
第二节	河流的流域	126
第三节	泥沙运动和河床演变	128
第四节	河川水文资料的观测方法	132
本章小结		144
思考题与习题		145

第二篇 大中桥桥位设计

第七章	大中桥设计流量的推算	146
第一节	河川水文现象的特性与分析方法	146
第二节	用水文统计法求设计流量的基本原理	148
第三节	有观测资料时设计流量的推算	158
第四节	特大洪水的处理	169
第五节	缺乏观测资料时设计流量的推算	174
第六节	桥位断面设计流量、设计水位的推算	176
本章小结		177
思考题与习题		178
第八章	大中桥孔径设计	179
第一节	桥位河段的水流图式和桥孔布置原则	179
第二节	桥孔长度	182
第三节	桥面中心最低设计（水文）高程	187
第四节	桥面中心最低设计（水文）高程计算	193
本章小结		195
思考题与习题		196
第九章	桥梁墩台冲刷计算	197
第一节	墩台冲刷类型	197
第二节	桥下一般冲刷计算	198
第三节	桥墩局部冲刷	205
第四节	桥台冲刷	208
第五节	桥下河槽最低冲刷线	209
本章小结		216

思考题与习题·····	217
第三篇 小桥涵水力水文计算	
第十章 小桥涵设计流量的推算·····	218
第一节 推理公式·····	218
第二节 经验公式·····	220
第三节 小桥涵设计流量推算计算算例·····	220
思考题与习题·····	222
第十一章 小桥和涵洞孔径计算·····	223
第一节 小桥孔径计算·····	223
第二节 涵洞孔径计算·····	228
第三节 小桥和涵洞出口处理·····	233
本篇小结·····	237
思考题与习题·····	237
附录 I 河段分类表 ·····	238
附录 II 皮尔逊 III 曲线的离均系数 ϕ_p 值表 ·····	240
附录 III k_p 值表 ($C_s=3C_v$) ·····	241
附录 IV 墩形系数及墩宽计算表 ·····	242
参考文献·····	245

第一篇 水力学与水文学基础

第一章 绪 论

本章学习目标

1. 了解水力学与桥涵水文课程的学习目的和任务；
2. 掌握液体(主要是水)的主要物理性质，了解它们在液体运动时所起的作用。

本章学习重点

液体(主要是水)的主要物理性质。

本章学习难点

液体的黏滞性和牛顿内摩擦定律。

第一节 《水力学与桥涵水文》课程的学习目的与任务

当公路跨越江、河、沟、壑时，需要设置桥涵等人工排水建筑物，如果这些建筑物的大小和基础埋置深度设计不当，就会遭到水毁。此外，公路有不少路段与河道并行，其沿河路基也常因洪水的顶冲和淘刷而发生坍塌或遭到破坏，需要修建路基冲刷防护建筑物，如果这些建筑物的布设和基础埋置深度设计不当，也会遭到水毁而不能发挥防护路基的作用。山区公路的排水问题就比较复杂，不能像平原区那样只考虑设置桥涵，而要考虑设置包括桥涵、急流槽、跌水、渡槽、渗水路堤、挡水墙、路基边沟和截水沟等组成的整个排水系统。这个排水系统不仅要考虑排水，还要考虑输沙，并预防堵塞。如果设计不当，不仅桥涵要遭到水毁，而且水流漫溢到路面上，还要冲毁路面和路基。山区公路常因排水系统设计不当而造成大量的“水洗路面”(路面被冲毁)，有的地区此类情况十分突出。公路不可避免地要通过一些不良工程地质地段，在平原区常遇到的有特殊土，在山区常遇到的有不良地质地段。公路通过不良工程地质地段时，遇到的很多地质病害问题常常牵涉到水的因素。山区公路旱季时问题一般较少，一到雨季，问题就容易出现，除了桥涵和路基的水毁外，其余的多半是滑坡、崩塌和泥石流等病害。这主要是雨水侵入了疏散的岩体，减少了岩体的内摩阻力，使其失去了原有的稳定状态；另外，也有水分侵入缝隙发达的岩体，冬季冰冻膨胀冻结，春季气温升高后，冰冻融解，使岩体失去稳定而发生崩塌。因此，这类地质病害，从成因上看也可视为是由于水的问题所导致的，所以，在解决山区公路的地质病害时，处理好水的问题才是上策。

从上述一系列设计问题中可以看出：在公路建筑物的设计工作中，不仅要从结构设计上使其具有足够的强度以保证交通运输的安全，还要从水文、水力设计上保证在设计洪水与暴雨的作用下结构物具有足够的安全性以维持交通运输的畅通无阻，这样才能达到公路预期的经济效益。就公路桥梁的设计而言，跨越江河上的桥梁，它的整个设计工作，并不只是主体工程桥梁的设计工作，也不只是主体工程桥梁的结构设计工作，而是整个桥渡的设计工作，即首先要结合路线的总方向选择一个好的桥位；然后确定合适的桥孔位置、桥孔长度和高度；按照桥梁墩台处可能出现的最大冲刷深度与河床地质情况，决定墩台基础的安全埋置深度；还要合理地布设桥头引道和必要的调治构造物；最后选定恰当的桥梁方案、上部构造形式和墩台结构形式等。而且还必须牢记：选择什么样的桥梁方案，采用什么样的上部结构形式、墩台结构形式以及桥头引道结构形式等，与桥位河段特性、采用的调治构造物及其冲刷防护措施等密切相关。在江河上建桥，只有深入了解并认清桥位河段的河流特性，才有可能做好整个桥渡的设计工作。一个好的设计，决不能只要求整个设计中的一部分设计达到安全可靠和经济合理就行了，而应当要求全部设计，包括水文、水力设计等都达到安全可靠和经济合理才行。从目前公路建筑物的损毁多半是水毁这一实际情况出发，要使公路建筑物的整个设计达到安全可靠和经济合理，就需要积极加强公路建筑物的水文、水力设计工作。对于任何一个工程设计，如果其中某一方面的设计达不到安全可靠，整个工程的经济合理性就无从谈起。随着我国公路交通运输事业的日益发展，主要公路干线上的交通量将越来越大，公路因水毁而造成任何一段时间的交通中断，都将会造成很大的经济损失与麻烦。正确理解这些问题，无论是对主管设计还是对主管技术的工程技术人员来说，都是十分必要的。

公路桥涵在水力、水文设计工作中，包含有选择桥涵的位置、孔径大小的计算、桥面最低高程和基础底面埋置深度的确定以及相应配置的调治构造物和陡坡过水建筑物设计等问题。为了解决这些专业技术问题，必须了解和掌握有关河床演变的发展趋势、洪水情况、水流自身以及对结构物的作用规律等专业基础知识；同时还必须掌握诸如设计流量、洪水位和流速等水力水文要素的分析和计算方法。本课程正是围绕这些问题而设置的，由此可见，本课程是一门由基础与专业能力紧密结合的课程。

本课程的内容结构由三大部分组成。按编排顺序，第一部分为水力学与水文学基础，主要包括绪论、水静力学、水动力学基础、明渠均匀流、明渠非均匀流以及水文学基础。第二部分为水力水文知识在公路桥涵设计中的具体应用，主要介绍大中桥设计流量推算方法、大中桥桥位布置、桥孔确定、桥面最低高程、桥下冲刷深度等确定方法。第三部分为小桥涵设计流量推算方法和小桥涵孔径确定方法。

本课程的学习目的是：学会运用水力水文的有关知识，进行综合分析，为路基排水、小桥涵设计和施工，提供必要的水力水文方面的数据和结论，同时对一般大中桥进行桥位设计。

本课程的任务是：研究水体平衡、水流运动和水文现象等规律，并结合公路桥涵的总体设计，研究进行水力水文计算的基本理论和方法。具体的要求是：掌握确定公路过水建筑物结构的水力荷载、输水能力的计算方法；掌握野外水文调查与形态勘测的具体方法；掌握在不同情况下推求桥涵断面的设计流量的基本理论和方法；了解合理选择桥位的原则；掌握确定桥孔长度和桥面最低高程、确定最大冲刷线高程及墩台基底埋置深度的基本理论和方法；了解配置相应的调治构造物的原则；掌握通过查表或计算确定小桥涵洞孔径的方法；了解合理选择进出水口处理方法的原则。

第二节 连续介质

液体由大量不断作无规则热运动的分子所组成,其真实结构是由彼此之间有空隙并在进行复杂微观运动的大量液体分子所组成的聚集态。从微观的角度看,分子之间的真空区是随机变化的,并且其尺度远大于分子本身的尺度。因此,液体分子运动的物理量(如流速、压强等)的空间分布是不连续的。另外,由于液体分子运动的随机性,其运动物理量在时间过程中也是不连续的。但从宏观的角度看,液体分子的体积极小,在标准状态下,每立方米的水中,约有 3×10^{16} 个水分子,分子之间的距离约为 $3 \times 10^{-10} \text{ m}$,如此众多而密集的水分子,各自作不规则的随机运动,导致分子之间不断地发生碰撞,从而进行充分的能量和动量交换。因此,液体的宏观运动体现了众多液体分子微观运动的统计平均情况,明显地呈现出均匀性、连续性和确定性。

水力学是从宏观的角度研究液体的机械运动。由于在工程实际问题中,所涉及到的液体运动的特征尺度及特征时间均远远大于分子间距及分子碰撞时间,个别分子的行为,几乎不影响大量液体分子统计平均后的宏观物理量(如质量、流速、压力等)。可见,从宏观角度去研究液体运动规律,能够满足工程问题所要求的精度。所以,在水力学中假定:液体质点完全充满所占空间而没有任何空隙存在,其物理性质和运动要素在空间和时间上都是连续分布的,即连续介质,我们称之为**连续介质假定**。根据连续介质假定,水力学中所研究的液体,可以看成是容易流动、不易压缩、各向均匀连续介质。以水为代表的一般液体和在某些情况下可以忽略压缩性影响的气体,都具有这些基本特征。

液体质点是指微观上足够大而宏观上又充分小的液体分子团。微观上足够大是指液体分子团内包含足够多的分子,使得它们的运动物理量的统计平均值是一个稳定的数值;宏观上充分小是指分子团的宏观尺寸远远小于所研究问题的特征尺寸,则分子团内各分子的物理量可以看成是均匀分布的。

采用连续介质假定,就可以不考虑液体复杂的分子运动,而着眼于实际工程问题所关心的宏观机械运动,并能充分利用连续函数这一数学分析工具,有效地描述液体的平衡和运动规律,这在工程应用中既方便简单,又有足够的精确性。

第三节 液体的主要物理性质

外因是变化的条件,内因是变化的根据。液体受力作机械运动,固然与作用于液体的外部因素和条件有关,但主要决定于液体本身的内在物理性质。从宏观角度来探讨液体的物理性质是研究液体运动的出发点,为此,先讨论液体(主要是水)的几个主要物理性质。

一、液体的密度和重度

液体和固体一样,也具有质量和重力,质量单位为 kg ,重力单位为 N 、 kN 。

单位体积液体的质量称为液体的密度,以符号 ρ 表示,其单位为 kg/m^3 。对于均质液体,设其体积为 V ,液体的质量为 m ,则

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

质量为 m 的液体,其所受的重力 G 的大小为

$$G = mg \quad (1-2)$$

式中： g ——重力加速度(本书中 $g=9.8\text{m/s}^2$)。

单位体积液体的重力称为液体的**重度**，以 γ 表示，其单位为 N/m^3 、 kN/m^3 。对于均质液体，设其体积为 V ，重力为 G ，则

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-3)$$

将式(1-2)代入式(1-3)得

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

$$\text{或} \quad \rho = \frac{\gamma}{g} \quad (1-5)$$

在一个标准大气压强条件下，纯水的密度和重度随温度的变化见表 1-1，几种常见液体的重度见表 1-2。

纯水的密度和重度(标准大气压下)

表 1-1

$t(^{\circ}\text{C})$	0	4	10	20	30
密度(kg/m^3)	999.87	1 000.00	999.73	998.23	995.67
重度(N/m^3)	9 798.73	9 800.00	9 797.35	9 782.65	9 757.57
$t(^{\circ}\text{C})$	40	50	60	80	100
密度(kg/m^3)	992.24	988.07	983.24	971.83	958.38
重度(N/m^3)	9 723.95	9 683.09	9 635.75	9 523.94	9 392.12

几种常见液体的重度(标准大气压下)

表 1-2

液体名称	空气	水银	汽油	酒精	四氯化碳	海水
重度(N/m^3)	11.82	133 280	6 664~7 350	7 778.3	15 600	9 996~10 084
测定温度($^{\circ}\text{C}$)	20	0	15	15	20	15

二、液体的膨胀性和压缩性

液体随温度升高体积膨胀的性质称为液体的**膨胀性**。液体的宏观体积，在温度升高时膨胀，其密度则减小。从表 1-1 可以看出，在常温下水的密度变化幅度是很小的。例如，温度由 0°C 到 30°C ，密度只减小 0.4%，故工程上一般可将水的密度看作常数。值得注意的是，当水结冰时，密度只有 917kg/m^3 ，冰的体积要比水的体积增大 10%，故水管、水泵及公路路基等要注意防冻。

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**。当液体承受正向压力时，其宏观体积将有所减小，密度有所增大，除去正向压力后，液体的体积能消除变形，恢复原状，这就是液体的弹性。

液体的压缩性和弹性，可分别用体积压缩系数 β 和体积弹性系数 k 来度量。液体的压缩系数 β 是液体相对压缩值 $\frac{dV}{V}$ 与液体压强增量 dp 的比值，即

$$\beta = - \frac{dV/V}{dp} \quad (1-6)$$

β 值越大，表示越易压缩。液体的体积总是随压强增大而减小，即 dV 有负值， dV 与 dp 的符号相反。为使 β 为正，故式(1-6)右端取负号。 β 的单位为 m^2/N 。

β 的倒数为弹性系数 k

$$k = - \frac{dp}{dV/V} \quad (1-7)$$

k 值越大, 表示越不易压缩, k 的单位为 N/m^2 。

不同种类的液体具有不同的 β 值和 k 值, 同一种液体的 β 值和 k 值也随压强和温度的变化而略有变化。例如, 在普通水温 and 压强在 50MPa 内, 水的平均 k 值均为 $2.06 \times 10^9 \text{Pa}$, β 的平均值约为 $0.485 \times 10^{-9} / \text{Pa}^{-1}$, 即每增加 100kPa , 水的体积比原来体积只缩小约为 $1/20\,000$ 。在实用中, 一般认为液体是不可压缩的, 即认为液体的体积和密度不随压力而变化, 我们称之为不可压缩液体假定。但讨论压强变化很大的水力现象(如水中爆炸或水击问题)时, 就必须考虑液体的压缩性。

综上所述, 均质液体的重度和密度均随液体温度和压力的变化而有微小的变化, 但实用上亦看作常数。对于水, 常以 100kPa 下, 温度为 4°C 时的重度 $\gamma = 9\,800 \text{N/m}^3$, 密度 $\rho = 1\,000 \text{kg/m}^3$ 作为计算值。

三、液体的流动性和黏滞性

液体与固体的主要区别, 在于它们对外力的抵抗能力。固体的分子作用力较强, 能维持一定体积和形状, 静止时可以承受切向应力。与此相反, 液体由于分子之间的距离较大(水分子之间的距离约为 $3.07 \times 10^{-10} \text{m}$), 分子之间的引力(表现为内聚力)很小, 分子可以结群游动, 不能维持一定的形状。静止时不能承受切向应力。一旦受到无论多么小的拉力或剪力, 液体都会发生很大的变形。外力不去, 变形不止。因此, 液体在静止时, 只有法向应力而没有切向应力。液体这种宏观性质称为流动性或易流性。例如河道坡降虽小, 河流却日夜川流不息; 又如静止液体不可能维持倾斜的自由表面等, 都是液体易流性的例证。

液体的流动性说明液体在静止状态下不能承受剪力作用, 然而流动一经发生, 在液体内部相对运动的液层间便出现成对的切力(亦称内摩擦力), 并阻碍着液体内部的相对运动(即变形)。就是说, 液体具有运动状态下抵抗剪切变形的能力, 称为液体的黏滞性或简称为黏性。相对运动的液层间出现的成对切力(内摩擦力)称为黏滞力, 以 T 表示, 如图 1-1b) 所示。

液体的黏滞性的存在可用牛顿平板实验来阐明, 如图 1-1a) 所示, 在两块水平放置的相距为 H 的平板之间充满液体, 下板固定不动, 上板面积为 ω , 用 F 力拖动上板以 U 的速度向右做匀速运动。这样, 黏附于上板的液体速度为 U , 黏附于下板液体的速度为零, 其余液体则像薄纸片一样, 作层状运动。如果通过任意点 C 作水平面, 取上部作隔离体, 如图 1-1c) 所示, 分析它在水平方向的受力情况。很显然, 拖动上板所需的力 F , 必等于液层接触面上的黏滞力 T , 即 $F = T$ 。实验表明, 液体质点在不混杂分层运动时, 液体内的黏滞力 T 与平板面积 ω 和流速梯度 $\frac{du}{dn}$ (沿 n 轴方向单位距离的流速变化值) 成正比, 并与液体的黏滞性有关, 而与接触面上的压力无关。这一结论称为

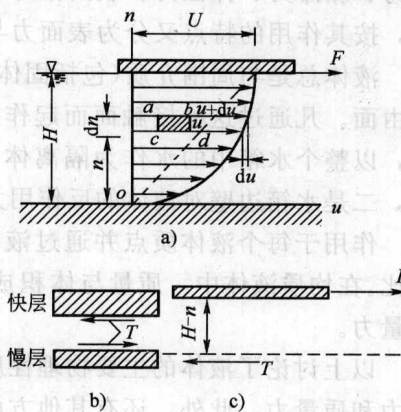


图 1-1 黏性试验示意图

牛顿内摩擦定律，其表达式为

$$T = \mu \cdot \omega \frac{du}{dn} \tag{1-8}$$

式中： μ ——动力黏滞性系数，反映液体黏滞性大小的系数，单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

在水力计算中，液体动力黏滞性系数 μ 和密度 ρ 常以比值形式出现，以 ν 表示，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \tag{1-9}$$

ν 亦反映液体黏滞性大小，因其量纲中含有运动学的量纲，故称为运动黏滞性系数，单位为 m^2/s 。液体的 μ 和 ν 值与液体的种类和温度有关。一个标准大气压下，水在不同温度时的黏滞性系数见表 1-3。

不同温度下水的黏滞性系数 表 1-3

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	$\mu \times 10^{-3}$ ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	$\nu \times 10^{-6}$ (m^2/s)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	$\mu \times 10^{-3}$ ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	$\nu \times 10^{-6}$ (m^2/s)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	$\mu \times 10^{-3}$ ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	$\nu \times 10^{-6}$ (m^2/s)
0	1.781	1.785	25	0.890	0.893	70	0.404	0.413
5	1.518	1.519	30	0.798	0.800	80	0.354	0.364
10	1.307	1.306	40	0.653	0.658	90	0.315	0.326
15	1.139	1.139	50	0.547	0.553	100	0.282	0.294
20	1.002	1.003	60	0.466	0.474			

液体在流动过程中，黏滞力做功不断消耗机械能，这种液流机械能的消耗称为液流的能量损失。因此，黏滞性是引起液体能量损失的主要根源。能量损失是水力学中一个重要问题，将在第三章水动力学基础中论述。

在分析水力学问题时，为了简化起见，有时不考虑液体黏滞性的影响，这种假想无黏滞性的液体称为**理想液体**，而具有黏滞性的液体则称为**实际液体**。分析理想液体所获得的研究成果可作为进一步探讨实际液体运动规律的手段，我们将这种处理方法称之为**理想液体假定**。此假定与连续介质假定、不可压缩液体假定统称为**水力学三大假定**。

第四节 作用在液体上的力

液体处于运动或平衡状态，受到各种力的作用，按其物理性质的不同可以分为惯性力、重力、黏滞力、弹性力和表面张力等。为便于分析液体的运动或平衡规律，作用于液体上的力，按其作用的特点又分为表面力与质量力两大类。

液体总是与周围介质(包括固体、液体和气体)相接触，其中液体和气体的交界面，称为自由面。凡通过这种接触面而起作用的力，称为**表面力**，其大小与接触面的面积有关。例如，以整个水箱中的水作为隔离体，它所受的表面力，一是作用于上部自由表面的大气压力，二是水箱边壁对液体的反作用力。

作用于每个液体质点并通过液体的质量而起作用的力，称为**质量力**，其大小与质量成正比。在均质液体中，质量与体积成正比，故质量力又可称**体积力**。重力与惯性力均属于质量力。

以上讨论了液体的主要物理性质：密度和重度、膨胀性和压缩性、流动性和黏滞性、表面力和质量力。此外，还有其他方面的物理性质，例如表面张力、毛细现象、热传导等，因与本课程关系不大，不再一一介绍。

本章小结

《水力学与桥涵水文》课程的任务是研究水体平衡、水流运动和水文现象等的规律,并结合公路桥涵的总体设计,研究水力水文计算的基本理论和方法。本章介绍的液体物理性质等内容属于水力学理论的基本问题。

(1)把液体视为由一个挨一个的连续的无任何空隙的质点所组成后,即所谓连续介质假定,就可以充分利用连续函数这一数学分析工具有效地描述液体的平衡和运动规律。

(2)液体机械运动的规律不仅与作用于液体的外部因素及边界条件有关,更主要的是取决于液体本身所具有的物理性质。在水力学中常涉及到的液体的主要物理性质有:质量与密度、膨胀性与压缩性、流动性和黏滞性等,它们对于研究液体的平衡与运动规律、定性分析和定量计算等都是必备的基本知识。

(3)当液体处在运动状态时,由于液体分子间的作用力,液体内部质点间或液层间因相对运动而产生内摩擦力以抗抵相对运动的性质,称为液体的黏滞性,此内摩擦力称为黏滞力。可由牛顿内摩擦定律来描述。液体的黏滞性常用动力黏滞系数或运动黏滞系数来表示。

(4)理想液体是一种假想的液体,这种液体仅有质量和重力,没有黏滞性及表面张力,不考虑压缩性。由于实际液体的压缩性及表面张力,在大多数情况下都可以忽略不计,所以理想液体与实际液体相比,主要差别为没有黏滞性,即 $\mu=0$ 。引入理想液体假定和不可压缩液体假定,主要是为了简化理论分析和数学求解的工作。水力学的研究方法是首先对理想液体的运动进行理论分析,然后再用试验研究方法检验并修正由于没有考虑黏滞性所产生的理论分析结果的误差。

(5)正确分析作用在液体上的力是研究液体平衡与运动规律的基础。作用于液体(不论静止或运动)上的力,按其物理性质可以分为惯性力、重力、黏滞力、弹性力和表面张力等,通常按其作用方式分为两大类:表面力和质量力。

思考题与习题

1-1 液体的压缩性与什么因素有关?

1-2 “液体在静止状态下不存在黏滞性”,这种说法对吗?为什么?静止的液体能否抵抗剪切变形?

1-3 何为牛顿内摩擦定律?

1-4 引入连续介质和理想液体的概念有何实际意义?

1-5 已知 0.5m^3 水银的质量为 6795kg ,求水银的密度和重度。

1-6 已知液体的密度为 997.0kg/m^3 ,动力黏滞系数 $\mu=8.9\times 10^{-4}\text{Pa}\cdot\text{s}$,问其重度和运动黏滞系数各为多少?

1-7 作用在液体上的力按其作用特点可分为哪两类?通常包括哪些具体的力?

1-8 图1-2所示为一平板在油面上作水平运动,已知运动速度 $U=1\text{m/s}$,板与固定边界的距离 $\delta=1\text{mm}$,油的动力黏滞系数 μ 值为 $1.15\text{N}\cdot\text{s/m}^2$,由平板所带动的油的运动速度在板的垂直线方向上呈直线分布。求作用在平板单位面积上的黏滞阻力为多大?

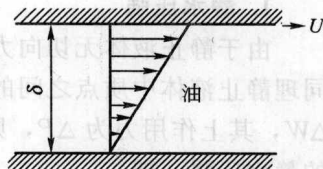


图1-2 习题1-8图

第二章 水静力学

本章学习目标

1. 了解静水压强的定义及其特性；
2. 了解液体平衡微分方程的物理意义和等压面的概念；
3. 掌握水静力学基本方程，并能说明各个物理量所表示的含义；
4. 掌握静水压强的表示方法，能绘制各种情况下的静水压强分布图；
5. 掌握作用在平面和曲面上的静水总压力的计算方法。

本章学习重点

从力的平衡分析，掌握水静力学基本方程的物理意义和工程应用；掌握平面上静水总压力的计算方法。

本章学习难点

作用在平面和曲面的静水总压力的计算方法。

本章研究液体在静止状态下的平衡规律及应用。

水静力学研究的静止状态是液体质点相对于参考坐标系没有发生运动的静止状态。液体在静止状态下，内部质点之间没有相对运动，没有内摩擦力，液体的黏滞性不存在。隔离体的表面力只有压力，质量力只有重力。处于静止状态的液体质点之间以及液体质点与固体边壁之间的相互作用，是通过压强的形式来表现的。因此，水静力学的主要任务就是根据理论力学中作用力的平衡关系来研究静水压强的分布规律，掌握压强的计算，进而研究建筑物固体边壁上静水总压力的计算方法。

第一节 静水压强

一、静水压强及其特性

1. 静水压强

由于静止液体无切向力作用，不承受拉力，所以作用于界面上的外力只可能是正压力。同理静止液体中质点之间的作用力也只可能是正压力。切取一部分静止液体，作用面面积为 ΔW ，其上作用力为 ΔP ，则当面积缩小到一点时，平均压强 $\Delta P/\Delta W$ 的极限值定义为该点的静水压强。即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta W} \quad (2-1)$$

材料力学中压应力冠以负号来进行表示，但水力学中静水压强一般用正号来进行表示。

2. 静水压强的特性

静水压强有两个特性：一是它的方向和作用面的内法线方向一致；二是任意一点上各个