

全国水利水电高职教研会
中国高职教研会水利行业协作委员会

规划推荐教材

高职高专土建类专业系列教材

● 水力学与桥涵水文 ●

主 编 张春娟

副主编 黄伟军



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国水利水电科学研究院 水利部成都山地工程研究所
CHINA INSTITUTE OF WATER & ELECTRICITY RESEARCH
CHINA INSTITUTE OF MOUNTAIN AND TERRAIN ENGINEERING

国际岩土工程与基础工程期刊

● 水力学与桥涵水文 ●

第 10 卷
第 1 期
2014 年 1 月



中国水利水电科学研究院 水利部成都山地工程研究所

全国水利水电高职教研会
中国高职教研会水利行业协作委员会

规划推荐教材

高职高专土建类专业系列教材

水力学与桥涵水文

主 编 张春娟

副主编 黄伟军



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是高职高专土建类系列教材,是全国水利水电高职高专公路与桥梁专业统编教材,是根据全国水利水电高职教研会制定的“水力学与桥涵水文”教学大纲,并结合高等职业教育的教学特点和专业需要进行设计和编写的。全书包括:绪论、水静力学、水流运动的基本原理、水流阻力与水头损失、明渠水流、堰流及泄水建筑物下游水流的衔接与消能、河流基本知识、水流观测与水文资料收集、水文统计的基本原理与方法、大中桥设计流量推算、小桥涵设计流量推算、大中桥桥位勘测设计、桥梁墩台冲刷、小桥涵勘测设计,共14章。

本教材可作为职业教育土建类道路与城市道路专业、公路与桥梁工程专业等的教学用书,也可作为岗位培训教材或供土建工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

水力学与桥涵水文/张春娟主编. —北京:中国水利水电出版社, 2007

(高职高专土建类专业系列教材)

全国水利水电高职教研会中国高职教研会水利行业协会委员会规划推荐教材

ISBN 978-7-5084-4796-4

I. 水… II. 张… III. ①水力学—高等学校:技术学校—教材②桥涵工程—工程水文学—高等学校:技术学校—教材 IV. TV13 U442.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 099840 号

书 名	高职高专土建类专业系列教材 全国水利水电高职教研会 中国高职教研会水利行业协会委员会 规划推荐教材 水力学与桥涵水文
作 者	主编 张春娟 副主编 黄伟军
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 16.75 印张 397 千字
版 次	2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	30.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

“水力学与桥涵水文”是高等职业教育土建类专业的一门必修课程。本教材主要阐述水流静止与运动的基本理论,水头损失的基本概念,明渠水流、堰流的计算方法,以及河流水文统计的基本原理、方法和桥涵设计流量的推算等内容。

本教材是全国高职高专土建类系列教材,是以2004年11月全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会编写的《高等职业教育土建类专业教育标准和培养方案及主干课程教学大纲》为依据编写的。本书在编写中,注意与相关学科基本理论和知识的联系,突出实用性,并注意突出对解决工程实际问题的能力培养,力求做到特色鲜明、层次分明、条理清晰、结构合理。

本教材由杨凌职业技术学院张春娟任主编,广西水利电力职业技术学院黄伟军任副主编,西北农林科技大学吕宏兴担任主审。全书由14章组成:第1章由杨凌职业技术学院张春娟、广西水利电力职业技术学院黄伟军共同编写,第3章、第5章、第6章由杨凌职业技术学院张春娟编写,第2、第4章由安徽水利水电职业技术学院胡昊编写,第7章、第8章、附录由广西水利电力职业技术学院邓杰群、黄伟军编写,第9章、第10章、第11章由杨凌职业技术学院刘红英编写,第12章、第13章、第14章由安徽水利水电职业技术学院常小会编写。张春娟和黄伟军承担了全书的统稿和校订工作。

本教材在编写中引用了大量的标准、专业文献和资料,恕未在书中一一注明。在此,对有关作者表示诚挚的谢意。

对书中存在的缺点和疏漏,恳请广大读者批评指正。

编者

2007年5月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 水力学与桥涵水文的性质与任务	1
1.2 液体的基本特性和主要物理力学性质	1
习题	7
第 2 章 水静力学	8
2.1 静水压强及其特性	8
2.2 水静力学基本方程	9
2.3 水静力学基本方程的应用	11
2.4 压强的测量	14
2.5 静水总压力	15
习题	20
第 3 章 水流运动的基本原理	23
3.1 描述水流运动的两种方法	23
3.2 恒定总流的连续性方程	27
3.3 恒定总流的能量方程	29
3.4 能量方程的应用条件及注意点	34
3.5 恒定总流的动量方程	39
习题	44
第 4 章 水流阻力与水头损失	46
4.1 水流阻力与水流损失的类型	46
4.2 液体运动的两种流动形态	47
4.3 沿程水头损失的计算	50
4.4 局部水头损失	54
4.5 有压管流	55
4.6 孔口与管嘴出流	57
习题	59
第 5 章 明渠水流	61
5.1 概述	61

5.2	明渠均匀流的特性及其产生条件	63
5.3	明渠均匀流的计算公式及有关问题	64
5.4	明渠均匀流的水力计算	71
5.5	明渠非均匀流的基本概念	74
5.6	水跌与水跃	81
5.7	明渠恒定非均匀渐变流的微分方程式	87
5.8	棱柱体明渠非均匀渐变流水面曲线分析	88
5.9	明渠恒定非均匀渐变流水面曲线计算	93
	习题	97
第 6 章	堰流及泄水建筑物下游水流的衔接与消能	101
6.1	堰流	101
6.2	宽顶堰的水力计算	104
6.3	泄水建筑物下游水流的衔接与消能	108
	习题	114
第 7 章	河流基本知识	116
7.1	河流及流域	116
7.2	河川径流	119
7.3	河段分类	121
7.4	河流的泥沙运动	124
	习题	126
第 8 章	水流观测与水文资料收集	127
8.1	河床断面测量	127
8.2	水文观测	128
8.3	水文资料的收集	137
	习题	139
第 9 章	水文统计的基本原理与方法	141
9.1	水文统计基本知识	141
9.2	经验频率曲线	144
9.3	理论频率曲线	149
9.4	相关分析及其应用	165
	习题	171
第 10 章	大中桥设计流量推算	173
10.1	概述	173
10.2	有观测资料时规定频率流量计算	174
10.3	缺乏观测资料的规定频率流量推算	183
	习题	185

第 11 章 小桥涵设计流量推算	186
11.1 形态调查法	186
11.2 暴雨推理法	193
11.3 直接类比法	202
习题	213
第 12 章 大中桥桥位勘测设计	214
12.1 桥位选择和桥位调查	214
12.2 桥孔长度和桥孔布设	217
12.3 桥面中心和引道路堤最低标高的确定	219
12.4 调治构造建筑物	227
习题	231
第 13 章 桥梁墩台冲刷	232
13.1 桥台冲刷类型	232
13.2 桥下一般冲刷	232
13.3 桥墩局部冲刷	235
13.4 墩台基底最小埋置深度	241
习题	242
第 14 章 小桥涵勘测设计	243
14.1 小桥涵位置选择与布置	243
14.2 小桥孔径计算	246
14.3 涵洞孔径计算	252
习题	254
附录	256
附录 I 梯形和矩形断面明渠正常水深求解图	256
附录 II 梯形和矩形断面明渠底宽求解图	257
附录 III 梯形、矩形、圆形断面明槽临界水深求解图	258
参考文献	259

第 1 章 绪 论

本章着重介绍水力学与桥涵水文的性质与任务,液体的基本特性和主要物理力学性质,以及实际液体与理想液体的概念。通过学习,学生可以对该门课有一个大体了解,为后续学习打下基础。

1.1 水力学与桥涵水文的性质与任务

水力学与桥涵水文是公路与城市道路、桥梁工程、交通工程等专业的一门技术基础课,主要研究水力学与桥涵水文学的基本原理,以及这些规律在公路桥涵设计中的应用。

本课程由水力学,水文学,水力学、水文学在公路桥涵设计中的应用三部分内容组成。

(1) 水力学。主要研究水体在平衡状态和机械运动状态下的力学规律,并探讨用这些规律解决工程实际问题。水力学属于力学的一个分支,研究方法有理论分析法、科学试验法、数值计算法等。

(2) 水文学。主要研究河流水情的变化规律,为公路桥涵设计提供所需的暴雨、洪水、泥沙等方面的分析和预报结果。研究方法有成因分析法、数理统计法、地区综合法等。

(3) 水力学、水文学在公路桥涵设计中的应用。主要介绍桥位桥孔布置、桥面设计标高、桥下冲刷深度等的确定方法。

学习本课程的目的是:掌握水力水文的有关知识,并利用这些知识为公路、桥涵的设计和施工提供水力水文方面的数据和结论,同时熟悉一般大、中、小桥的设计方法、步骤等。

1.2 液体的基本特性和主要物理力学性质

1.2.1 液体的基本特性

1.2.1.1 液体与固体和气体的区别

自然界的物质有三种存在方式,即固体、液体和气体。水作为一种液体,在运动过程中,表现出与固体不同的特点。固体由于其分子间距离很小,内聚力很大,所以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。而液体则不同,由于其分子间距离较大,内聚力很小,液体很容易发生变形或流动,所以液体不能保持固定的形状。

液体与气体两者相比,液体分子内聚力却又比气体大得多。因为液体分子间距离很小,密度较大,所以液体虽然不能保持固定的形状,但能保持固定的体积。一个盛有液体的容器,若其容积大于液体的体积时,液体就不会充满整个容器,而具有自由表面(液体



仅占据自身体积所需要的那部分空间)。气体不仅没有固定的形状,也没有固定的体积,极易膨胀和压缩,它可以任意扩散直到其所占据的那部分空间。而液体的压缩性很小,在很大的压力作用下,其体积的缩小甚微。液体的膨胀性同样也是很小的。液体与固体的主要差别就是它们的可压缩程度不同。

1.2.1.2 连续介质的概念

液体和任何物质一样,都是由分子组成,分子与分子之间是不连续而有空隙的。

根据现代物理研究指出,在常温下,每立方厘米的水中约含有 3×10^{22} 个水分子,相邻分子间距离约为 3×10^{-8} cm,可见分子间距离是相当微小的,在很小的体积中包含有难以记数的分子。

水力学与桥涵水文主要是为工程服务的,并不需要研究水流的微观运动,只需要研究水流的宏观运动规律。因此,在水力学与桥涵水文的研究中,将液体假设为一种由无数没有微观运动的质点所组成、毫无空隙地充满所占空间的连续体。这种抽象化了的液体模型,就是1753年由瑞士学者欧拉(Euler)提出的连续介质假设,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。水力学与桥涵水文所研究的液体运动是连续介质的连续流动。

连续介质的概念作为一种假定在流体力学的发展上起了巨大作用。如果把液体视为连续介质,则液体中的一切物理量(如速度、压强、密度等)都可以视为空间坐标和时间的连续函数,这样,在研究液体运动规律时,就可以利用连续函数的分析方法。根据长期的生产和科学实验表明:利用连续介质假定所得出的有关液体运动规律的基本理论与客观实际是十分符合的。

在连续介质假设的基础上,一般还认为液体是均质的。液体质点的物理性质在液体内部各部分和各方向都是相同的,即液体具有均质等向性。

有了连续介质假设,液体中的一切物理量,如速度、加速度、压强、密度等,均可视为空间坐标和时间的连续函数。这为运用高等数学中的连续函数理论来研究液体的运动规律提供了很大方便。

综上所述,液体的基本特性应该是:液体是一种易流动,不易压缩,且均质等向的连续介质。

1.2.2 液体的主要物理力学性质

液体的主要物理力学性质包括惯性、万有引力特性、黏滞性、压缩性和表面张力特性。

1.2.2.1 惯性

液体与自然界其他物体一样,也具有惯性。惯性是物体所具有的反抗改变其原有运动状态的一种物理力学性质,其大小可以用质量来度量。质量越大的物体,惯性越大,反抗其原有运动状态的能力也就越强。质量为 m , 加速度为 a 的物体,其惯性力为

$$F = -ma \quad (1.1)$$

液体单位体积的质量称为密度,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.2)$$

式中 ρ ——液体的密度, kg/m^3 ;



m ——液体的质量, kg;

V ——液体的体积, m^3 。

因为液体的体积随温度和压强的变化而变化, 故其密度也随温度和压强的变化而变化, 但改变不大, 实用上可看作常数。工程中, 在温度为 4°C , 压强为一个大气压下, 常采用水的密度 $\rho=1000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

1.2.2.2 万有引力特性

万有引力特性是指任何物体之间具有相互吸引力的性质, 其吸引力称为万有引力。地球对物体的吸引力称为重力 (或重量), 对于质量为 m 的液体, 其重量为

$$G = mg \quad (1.3)$$

式中 G ——液体的重量, N 或 kN;

g ——重力加速度, m/s^2 , 一般取 $g=9.8\text{m}/\text{s}^2$ 。

液体单位体积的重量称为容重, 即

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1.4)$$

式中 γ ——液体的容重, N/m^3 或 kN/m^3 。

在水力学中, 容重有时也称为重度或重率。几种常见液体的容重可参见表 1.1。

表 1.1 空气与几种常见液体的容重

名 称	空 气	水 银	汽 油	酒 精	海 水
$t\ (^{\circ}\text{C})$	20	0	15	15	15
$\gamma\ (\text{kN}/\text{m}^3)$	0.01182	133.28	6.664~7.35	7.7783	9.996~10.084

将式 (1.3) 代入式 (1.4), 可得到容重与密度的关系为

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (1.5)$$

液体的容重与密度一样随温度和压强的变化而变化, 但变化量很小。工程中常将水的容重视为常数。在温度为 4°C , 压强为一个大气压下, 采用水的容重为 $\gamma=9800\text{N}/\text{m}^3$ 或 $\gamma=9.8\text{kN}/\text{m}^3$ 。

【例 1.1】 已知某液体的体积为 5m^3 , 密度为 $13600\text{kg}/\text{m}^3$, 求该液体的质量、重量和容重。

解: (1) 液体的质量。

$$m = \rho V = 13600 \times 5 = 68000\text{ kg}$$

(2) 液体的重量。

$$G = mg = 68000 \times 9.8 = 666400\text{ N} = 666.4\text{ kN}$$

(3) 液体的容重。

$$\gamma = \rho g = 13600 \times 9.8 = 133280\text{ N}/\text{m}^3 = 133.28\text{ kN}/\text{m}^3$$

1.2.2.3 黏滞性

1. 黏滞性

当液体处在运动状态时, 质点间、流层间都存在着相对运动, 从而在质点与质点间、



流层与流层间就会产生内摩擦力（又叫黏滞力）抵抗其相对运动产生剪切变形。液体这种产生内摩擦力抵抗剪切变形的特性，称为黏滞性。

黏滞性是液体所固有的一种物理力学性质，所有的液体都具有黏滞性，液体不同，黏滞性的大小也不同，油的黏滞性就比水大。

图 1.1 为明渠水流的横断面流速分布图，图中每根带箭头的线段长度表示该点流速的大小。由图可以看出，渠道横断面上的流速分布是不均匀的，渠底流速为零，随着离开固体边界距离的增加，流速逐渐增大，至水面附近流速达到最大值。这是因为水流具有黏滞性，紧靠固体边界的第一层极薄水层由于附着力的作用而贴附在壁面上不动，该水层通过黏滞（摩阻）作用影响第二水层的流速，第二水层又通过黏滞作用影响第三水层的流速，……如此逐层影响下去。离开固体边界的距离越大，壁面对流速的影响越小，结果就形成了图 1.1 (a) 所示的流速分布规律。

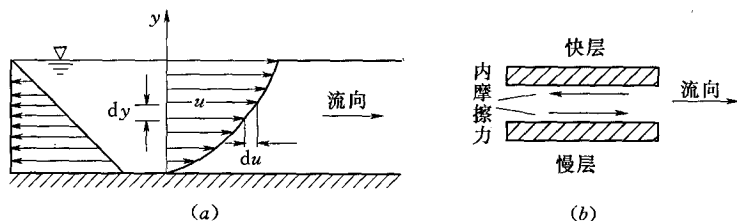


图 1.1 明渠水流的横断面流速分布与内摩擦力图

因各流层的流速不等，有相对运动，相邻水层间就出现内摩擦力。流得快的水层对流得慢的水层起拖动作用，所以上层（流速快）对下层（流速慢）的摩擦力方向与水流方向一致；反之，下层对上层起阻滞作用，下层作用于上层的摩擦力方向与水流方向相反，如图 1.1 (b) 所示。

由于液体内部存在内摩擦力，在流动过程中内摩擦力做功而不断消耗液体的机械能，这种消耗的机械能称为液体的能量损失。因此，黏滞性是引起液体能量损失的根本原因，它在分析和研究水流运动中占有很重要的地位。

2. 牛顿内摩擦定律

实验表明，当液体质点作互不混掺的层流运动时，相邻流层接触面产生的内摩擦力 T 与流层间接触面面积 A 成正比，与两流层间的速度差 du 成正比，与两流层间的距离 dy 成反比；与液体的种类、性质有关，这一结论称为牛顿内摩擦定律，可表示为

$$T = \mu A \frac{du}{dy} \quad (1.6)$$

式 (1.6) 表明，液体的内摩擦力 T 产生于液体内部各流层之间，它的大小与接触面上的压力无关。

单位面积上的内摩擦力称为黏滞切应力，用 τ 表示，则

$$\tau = \frac{T}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1.7)$$

以上两式中 T ——液体的内摩擦力；

τ ——液体流层间的黏滞切应力；



μ ——动力黏滞系数, $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 或 $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

A ——相邻流层间接触面的面积;

$\frac{du}{dy}$ ——流速梯度, 反映流速沿 y 方向的变化程度。

式 (1.7) 表明, 液体的黏滞切应力与液体的性质及流速梯度有关: 流速梯度大的地方, 黏滞切应力 τ 也大; 反之相反。

符合牛顿内摩擦定律的流体称为牛顿流体, 如水、酒精、苯、油类、水银、空气等; 不符合牛顿内摩擦定律的流体称为非牛顿流体, 如泥浆、血浆、牛奶、颜料、油漆、淀粉糊等。

3. 黏滞系数

黏滞性的大小用黏滞性系数来度量。动力黏滞系数 μ 是液体黏滞性系数的一种, 它的大小与液体的种类和温度有关。 μ 值大的液体, 黏滞性大; μ 值小的液体, 黏滞性小。

液体的黏滞性还可以用另一种形式的黏滞性系数来度量, 即运动黏滞系数 ν 。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.8)$$

ν 的单位 m^2/s 或 cm^2/s , 大小也与液体的种类和温度有关。设水的温度为 t , 以 $^{\circ}\text{C}$ 计, 则水的运动黏滞系数可用下列经验公式计算

$$\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \quad (1.9)$$

同一液体黏滞性随温度的升高而降低, 不同温度条件下水的动力黏滞系数 μ 与运动黏滞系数 ν 的值, 可参考表 1.2。

表 1.2

不同温度条件下水的物理性质

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	容重 γ (kN/m^3)	密度 ρ (kg/m^3)	动力黏滞 系数 μ ($10^{-3}\text{Pa} \cdot \text{s}$)	运动黏滞 系数 ν ($10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$)	压缩系数 β ($10^{-9}\text{l}/\text{Pa}$)	弹性系数 K (10^9Pa)	表面张力 系数 σ (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
30	9.764	995.7	0.798	0.800	0.444	2.25	0.0712
40	9.730	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



1.2.2.4 压缩性

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,压缩性的大小可用体积压缩系数 β 来表示。设液体原体积为 V ,当所受压强的增值为 dp 时,体积压缩值为 dV ,则体积压缩系数为

$$\beta = -\frac{\frac{dV}{V}}{dp} \quad (1.10)$$

体积压缩系数 β 反映了液体体积的相对压缩值 $\frac{dV}{V}$ 与压强增值 dp 之比,其值越大,表示越易压缩。由于液体的体积总是随压强的增大而减小,所以 dV 与 dp 的符号总是相反,为使 β 为正值,式(1.10)右端取负号。 β 的单位为 m^2/N 或 $1/Pa$ 。

体积压缩系数的倒数称为体积弹性系数,用 K 表示。

$$K = \frac{1}{\beta} = -\frac{dp}{\frac{dV}{V}} \quad (1.11)$$

K 的单位为 Pa , K 值越大,表明液体越不易压缩。

液体的体积压缩系数 β 和体积弹性系数 K 与液体的种类和温度有关,水在不同温度下的 β 和 K 值见表1.2。在普通水温情况下,压强每增加一个标准大气压,水的体积比原体积缩小约 $1/21000$,可见水的压缩性是很小的。在实际应用中,除某些特殊问题外,通常情况下,我们认为液体是不可压缩的,即认为液体的体积和密度不随温度和压力的变化而变化。

1.2.2.5 表面张力特性

由于液体表层分子之间的相互吸引,使得液体表层形成拉紧收缩的趋势。液体的这种在表面薄层内能够承受微小拉力的特性,称为表面张力特性。表面张力不仅存在于液体的自由表面上,也存在于不相混合的两层液体之间的接触面上。表面张力只是一种局部受力现象,仅存在于液体的表面,内部并不存在。工程中接触到的水面一般较大,自由表面的曲率很小,表面张力很小,通常情况下可以忽略不计。

在水力学实验中,经常使用玻璃管(测压管)测量水压强或水面高度,当玻璃管的内径较小时,必须考虑由于表面张力引起的毛细管现象所造成的影响,如图1.2所示。测量所使用玻璃管的内径越小,造成的误差越大,所以实验用的测压管内径一般以 $d \geq 10mm$ 的玻璃管为宜。

液体表面张力的大小,可以用表面张力系数来度量。液面上单位长度所受的拉力称为表面张力系数,用 σ 表示, σ 的单位为 N/m 。表面张力系数的大小与液体的性质、温度以及表面接触情况有关,与空气相接触的水面在不同温度情况下的表面张力系数 σ 值见表1.2。

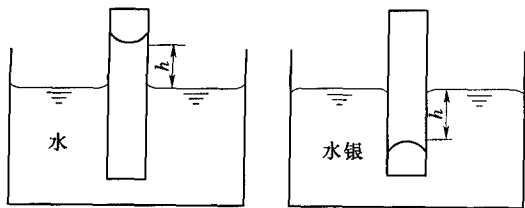


图 1.2 液面高度示意图

及表面接触情况有关,与空气相接触的水面在不同温度情况下的表面张力系数 σ 值见表1.2。

1.2.3 实际液体与理想液体

以上介绍了液体的几种主要物理力学性质,这些性质均不同程度地影响液体的



运动。其中，惯性、万有引力特性、黏滞性对液体运动影响最大，对液体运动起主导作用；而压缩性和表面张力特性只是对某些特殊的液体运动才起作用。为了简化问题便于进行理论分析，引入了一个“理想液体”的概念，所谓理想液体，就是将液体看做是不可压缩、不能膨胀、没有黏滞性、没有表面张力特性的连续性介质。

由于水的压缩性和表面张力特性都很小，研究水流运动时可以忽略不计，这种忽略对研究的结论影响不大。但考虑不考虑黏滞性是理想液体与实际液体的主要差别，按理想液体分析得出的结论，在应用到实际液体时，均应考虑黏滞性影响而带来的偏差并加以修正。

习 题

- 1.1 “液体在静止状态下不存在黏滞性”，这种说法对吗？为什么？
- 1.2 固体之间的摩擦力与液体流层之间的内摩擦力有何区别？
- 1.3 实际液体与理想液体有何区别？
- 1.4 体积为 1.5m^3 的水银，重量和质量各为多少？
- 1.5 求在一个大气压下， 4°C 时 1L 水的重量和质量各为多少？

第2章 水静力学

本章主要研究液体在静止状态下的平衡规律，建立静水压强基本方程，求解静水总压力。通过本章的学习，要掌握工程中静水压强、静水压力的基本规律及计算方法。

液体的平衡状态有两种，一种是静止状态。所谓静止是一个相对的概念。因为通常都是把参考坐标系固定在地球上，即液体相对地球没有运动，是相对静止的。而实际上地球本身是处在运动之中的，如果我们把参考坐标系放在其他星球上，则静止的液体是随着地球一起运动。另一种是相对平衡状态，即所研究的整个液体对于地球虽然在运动（如做等角速旋转的容器），但运动液体对于容器或者液体质点相互之间没有运动，处于相对平衡。水力学所研究的平衡状态是指液体质点相对于参考坐标系没有运动的情况，在这种情况下，液体内部质点之间没有相对运动，液体的黏滞性不起作用。

2.1 静水压强及其特性

2.1.1 静水压力

图 2.1 为在蓄水池中设置的平板闸门以及公路路堤涵洞前沿设置的平板闸门。当开启闸门时需要很大的拉力，这是因为闸门承受了池中液体的压力。静止液体对其接触面上所作用的压力称为静水压力。它和其他任何力一样有大小、方向、作用点三个要素。

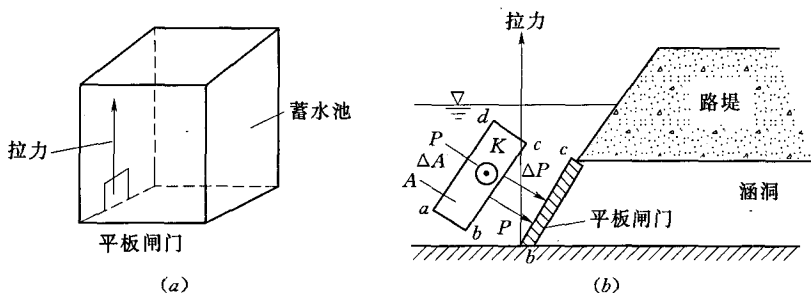


图 2.1 平板闸门示意图

2.1.2 静水压强

静止液体对一个受压面所作用的全部压力，称为静水总压力，或简称静水压力。静水压力常用大写字母 P 来表示。静水压力在国际单位制 (SI) 中单位是牛顿 (N) 或千牛顿 (kN)。静止液体作用在受压面的单位面积上的静水压力称为静水压强，它常用小写字母 p 表示，其单位为 N/m^2 或 kN/m^2 ，又称帕 (Pa) 或千帕 (kPa)。

2.1.2.1 平均静水压强

如图 2.1 (b) 所示的平板闸门 $abcd$ ，其面积为 A ，若整个闸门上所受静水总压力为



P , 在 $abcd$ 平面上任意取微小面积 ΔA , 作用于 ΔA 面积上的静水总压力为 ΔP , 在 ΔA 上各处, 其单位面积所受的压力是不相等的, 但就平均情况而言, ΔA 面上的单位面积所受静水压力应为

$$\bar{p} = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (2.1)$$

式中 $\bar{p}$ ——平均静水压强, 它反映了受压面积 ΔA 上静水压强的平均值。

2.1.2.2 点静水压强

由于在受压面上, 各处的静水压强一般不相等, 为了反映受压面上各处压强的变化情况, 需要建立某一点的静水压强的概念。

如图 2.1 (b) 所示, 在闸门上取一点 K , 围绕 K 点任意选取一个微小受压面 ΔA , 若 ΔA 面上所受的静水压力为 ΔP , ΔA 面上的平均静水压强应为 $\frac{\Delta P}{\Delta A}$, 如果让 ΔA 面积无限缩小而趋近于 K 点, 此时 $\frac{\Delta P}{\Delta A}$ 的极限值称为 K 点的静水压强, 即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (2.2)$$

2.1.3 静水压强特性

静水压强具有以下两个特性:

(1) 静水压强的方向必垂直指向受压面。在静水中取出一块水体 (如图 2.2 所示), 用任一平面将水体切割成两部分, 取其下半部分为隔离体, 则切割面上作用着上半部水体对下半部水体的作用力。如果切割面上某点 N 处的静水压强 $\bar{p}$ 的方向, 不是垂直指向受压面, 则 $\bar{p}$ 可分解为切向分力 τ 和法向分力 p_n 。由于静止液体既不能承受剪切变形, 也不能承受拉力, 因此将破坏液体的平衡, 这与静水的概念不符。所以静水压强唯一可能的方向就是垂直指向受压面, 也即是与内法线方向一致。例如, 作用于水管壁上的压强都是径向的, 管壁上任一点有破洞, 水将在压强作用下, 径向喷出。

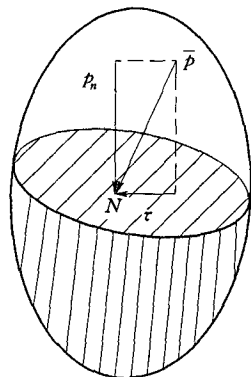


图 2.2 静水压强方向示意图

(2) 液体同一点静水压强的大小和受压面的方向无关, 或者说液体同一点静水压强的大小, 在各个方向均相等。

2.2 水静力学基本方程

2.2.1 水静力学基本方程

上面已经对静水压强作了定性的讨论。为了知道液体中任一点的压强, 就要找出静止液体中压强的分布规律, 即静水压强的基本方程。

在重力作用下的静止液体中 (如图 2.3 所示), 围绕任意 A 点取一水平微小面积 dA 为底, dz 为高的铅垂液体柱, 坐标 z 轴垂直向上。作用于液柱体上的力有: 液柱底面上的压强 p , 则压力为 $p dA$, 方向垂直向上; 液柱顶面的铅垂坐标为 $z + dz$, 相应的压强也