



普通高等教育“十二五”规划教材
示范院校重点建设专业系列教材

水力学基础

主 编 张智涌 朱李英 高向前
副主编 曾 琳 何 飞 刘芝平 潘 露
主 审 田明武



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十二五”规划教材
示范院校重点建设专业系列教材

水力学基础

主 编 张智涌 朱李英 高向前

副主编 曾 琳 何 飞 刘艺平 潘 露

主 审 田明武



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共分 13 个专题, 内容包括: 液体的基本特性和主要物理力学性质, 静水压强, 平面壁与曲面上静水作用力的计算, 水流运动的基本原理, 水流型态与水头损失, 水头损失计算, 短管计算, 简单长管计算, 明渠恒定均匀流, 明渠恒定非均匀流, 水面曲线分析及计算, 闸孔出流及堰流的设计计算, 水工建筑物下游水流的衔接与消能。

本书可作为高职高专水利水电建筑工程、水利工程、水利工程监理、水利工程施工、城市水利等专业的通用教材, 也可作为其他专业的教材或教学参考书, 同时也可作为水利工程技术人员学习参考用书。

图书在版编目 (C I P) 数据

水力学基础 / 张智涌, 朱李英, 高向前主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2013.8
普通高等教育“十二五”规划教材 示范院校重点建设专业系列教材
ISBN 978-7-5170-1081-4

I. ①水… II. ①张… ②朱… ③高… III. ①水力学—高等学校—教材 IV. ①TV13

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第187158号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 示范院校重点建设专业系列教材 水力学基础
作 者	主 编 张智涌 朱李英 高向前 副主编 曾 琳 何 飞 刘艺平 潘 露 主 审 田明武
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 15 印张 356 千字
版 次	2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	30.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

本书是根据国家“十二五”教育发展规划纲要及《中共中央 国务院关于加快水利改革发展的决定》(2011 中央 1 号文件)、《国家中长期教育改革和发展规划纲要》(2010~2020 年)、《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006] 16 号)等文件精神,按照水利部示范院校建设、省级示范院校建设对课程改革的相关要求编写的。

此次出版的《水力学基础》在总结水利类高等职业教育多年教学改革的基础上,本着理论够用,实践突出,体现现代水利新技术、新材料、新理念的原则,在篇幅上作了较大幅度的删减,调整以后的理论课时比原来的大为减少,同时更加突出实践性教学环节,体现了高职高专教育特色,更加适应了当前教学改革的新形势。

本书主要编写人员如下:绪论、专题十二由潘露编写,专题一、专题十三由刘艺平编写,专题二由张智涌、高向前编写,专题三、专题四由高向前编写,专题五由朱李英编写,专题六由张智涌、朱李英编写,专题七、专题八由何飞编写,专题九、专题十、专题十一由曾琳编写。

本书由四川水利职业技术学院张智涌、朱李英、高向前担任主编,曾琳、何飞、潘露、刘艺平担任副主编,田明武担任主审。

本书在编写过程中,学习和借鉴了很多参考书,在此,对相关作者表示衷心的感谢。四川水利职业技术学院水工专业教学团队的刘建明院长、于建华副院长等相关领导及同仁,对本书的编写给予了大力支持,并提出宝贵意见;相关兄弟院校也为本书的编写给予了大力支持。在此,一并谨向他们表示真诚的感谢和致以崇高的敬意。

囿于作者水平,书中尚存在诸多不足,恳请读者批评指正,多提宝贵意见。

编者

2013 年 6 月

前言

绪论	1
专题一 液体的基本特性和主要物理力学性质	3
知识点一 液体的基本特性	3
知识点二 液体的主要物理力学性质	3
知识点三 连续介质假说与理想液体	7
知识点四 作用在液体上的力	7
专题小结	8
习题	9
专题二 静水压强	11
知识点一 静水压强及其特性	11
知识点二 静水压强的基本规律	13
知识点三 绝对压强、相对压强、真空压强及真空高度	16
知识点四 静水压强的单位及量测	18
专题小结	21
习题	22
专题三 平面壁与曲面壁上静水作用力的计算	25
知识点一 作用于平面壁上的静水总压力	25
知识点二 作用于曲面壁上的静水总压力	30
专题小结	34
习题	34
专题四 水流运动的基本原理	38
知识点一 水流运动的几个基本概念	38
知识点二 恒定总流的连续性方程	43
知识点三 恒定总流的能量方程	45
知识点四 能量方程的应用条件及举例	51
知识点五 恒定总流的动量方程	60
专题小结	66
习题	67

专题五 水流型态与水头损失	73
知识点一 水头损失的类型及其与阻力的关系	73
知识点二 水流运动的两种流态	76
知识点三 液流的层流运动	80
知识点四 液流的紊流运动	83
专题小结	87
习题	88
专题六 水头损失计算	90
知识点一 沿程水头损失的分析和计算	90
知识点二 局部水头损失的分析与计算	98
专题小结	102
习题	102
专题七 短管计算	105
知识点一 管流概述	105
知识点二 简单短管的水力计算	107
知识点三 短管应用举例	111
专题小结	116
习题	116
专题八 简单长管计算	119
知识点一 长管计算	119
知识点二 长管应用举例	121
知识点三 水击	123
专题小结	124
习题	125
专题九 明渠恒定均匀流	126
知识点一 明渠及其类型	126
知识点二 明渠均匀流的特性及其产生条件	128
知识点三 明渠均匀流的计算公式及有关问题	129
知识点四 渠道水力计算的类型	137
专题小结	143
习题	144
专题十 明渠恒定非均匀流	145
知识点一 明渠水流的三种流态及微波的相对波速	145
知识点二 断面比能与临界水深	148
知识点三 临界底坡、缓坡与陡坡	151
知识点四 水跌与水跃	153

专题小结	161
习题	162
专题十一 水面曲线分析及计算	164
知识点一 明渠恒定非均匀渐变流的方程式	164
知识点二 棱柱体渠道中非均匀渐变流的水面曲线分析	167
知识点三 非均匀渐变流水面曲线的计算与绘制	173
知识点四 明渠弯段水流简介	180
专题小结	182
习题	183
专题十二 闸孔出流及堰流的设计计算	184
知识点一 闸孔出流与堰流的概念	184
知识点二 闸孔出流	186
知识点三 堰流	191
专题小结	205
习题	205
专题十三 水工建筑物下游水流的衔接与消能	207
知识点一 概述	207
知识点二 底流式衔接与消能	208
知识点三 底流消能的其他形式及辅助设施	218
知识点四 挑流消能的水力计算	220
专题小结	224
习题	224
附录 I 梯形和矩形断面明渠正常水深求解图	226
附录 II 梯形和矩形断面明渠底宽求解图	227
附录 III 梯形、矩形、圆形断面明槽临界水深求解图	228
附录 IV 建筑物下游河槽为矩形时收缩断面水深及其共轭水深求解图	229
参考文献	230

绪 论

学习要求

掌握水力学的性质和任务。

一、水力学的定义和研究对象

水力学是研究水（或其他液体）处于平衡和机械运用状态下的力学规律，并探讨运用这些规律解决工程实际问题的一门学科。它是一门技术学科，是力学的一个分支。在诸多种类的液体中，由于实际工程中接触最多的是水，本学科便以水作为液体研究的主要对象，故称为水力学。水力学的基本原理和一般水力计算方法不仅适用于水，也同样适用于其他一些液体。

水力学在工农业生产和实际工程中，占有相当重要的地位，广泛用于解决水力发电、水文水资源、道路与桥梁、农田水利、机电排灌、河道整治、给排水、环境工程等领域中涉及的与液体运动规律有关的技术问题。水力学在研究液体平衡和机械运动规律时，将应用到物理学及理论力学中有关物体平衡及运动规律的原理，如力系平衡定理、动量定理、动能定理等。通过本课程的学习既有利于力学基础知识的巩固与提高，又有利于培养学生分析、解决实际问题的能力。因此，水力学是一门连接前期基础课程和后续专业课程的承前启后的学科，是水利类专业的一门重要的专业基础课。

水力学由水静力学和水动力学两大部分组成。水静力学研究的是液体的平衡规律，即当液体处于静止（或者相对静止）状态时的力学规律及其在工程实际中的应用；水动力学研究的是液体的运动规律，即当液体处于运动状态时作用于液体上的力与运动要素之间的关系，以及液体的运动特性与能量转换等。

二、水利工程中的水力学问题和任务

在水利工程的勘测、设计、施工和运行管理各个环节中需要解决大量水力学问题。为了明确水力学的任务，我们以一个水资源综合利用的水利枢纽工程为例，来了解一下实际工程中常见的水力学问题。

为了满足防洪、灌溉、航运等各方面的要求，常在河道上筑坝以抬高上游水位形成水库。同时修建泄洪、通航、引水及输水建筑物、水电站等，组成水利枢纽。在规划时就必须分析自然河流河势与天然水流形态，妥善布局每一个建筑物，正确确定水库的各种水位和下泄流量，合理设计引水、输水和泄洪建筑物过水断面的形状、尺寸，以充分利用水资源，发挥水资源最大效用。

在河道上筑坝后，坝上游水位将沿河道抬高形成水面曲线，导致河流两岸的农田等可能被淹没，必须依靠水力计算确定筑坝后水库的淹没范围，为移民和水库综合效应评估提供必要的依据。

水库蓄水后，大坝就会受到静水或动水压力的作用，在校核坝体稳定时，必须计算上下游水对坝体的水压力。在坝前水压力的作用下，水库中的水还会有部分沿坝基土壤或岩石的缝隙向下游渗流，渗透对坝基的作用力也必须依靠水力计算来确定。

水库泄洪时，因溢流坝段上下游水位差一般较大，水流下泄时具有较大动能，必须采取有效措施，消除多余有害能量，防止或削弱高速水流对下游河床的冲刷，以确保建筑物安全。

归纳起来，大致可以分为以下六个问题：

- (1) 水流对建筑物的作用力。
- (2) 水工建筑物的过水能力。
- (3) 水能利用和能量损失。
- (4) 河渠水面线问题。
- (5) 水流型态及泄水建筑物下游水流的衔接消能问题。
- (6) 渗流问题。

另外还可以解决：高速水流中的掺气问题、气蚀、冲击波、涡流、水污染等问题。

专题一 液体的基本特性和主要物理力学性质

学习要求

掌握液体的基本特性，了解液体的惯性、万有引力特性、黏滞性、压缩性以及表面张力等五个主要物理特性。

知识点一 液体的基本特性

自然界的物质一般有三种存在形式，即气体、液体和固体。固体由于其分子间距很小，黏聚力很大，所以能够保持固定的形状和体积，在外力作用下不易发生变形。液体和气体统称为流体，流体的分子间距较大，黏聚力小，在微小的剪切力的作用下易发生流动和变形，而不能保持固定的形状。

液体和气体的主要区别是在外力的作用下液体和气体的可压缩程度不同。液体不易被压缩，而气体易被压缩。水作为一种流体，在运动过程中表现出与固体不同的特点。

知识点二 液体的主要物理力学性质

一、液体的惯性

惯性是物体保持原有运动状态的性质。

物体惯性的大小用质量来表示，质量愈大的物体，惯性愈大，其反抗改变原有运动状态的能力就愈强。设物体的加速度为 a ，质量为 m ，则惯性力 F 为

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

式中 m ——质量，g 或 kg；

a ——加速度， m/s^2 。

对于均质液体来说，质量可用密度来表示，其计算公式为

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

式中 ρ ——密度， kg/m^3 或 g/cm^3 。

同一液体密度随温度和压强变化，但变化甚小，一般可看成是常数。对于水而言，在一个标准大气压下，温度为 4°C 时， $\rho = 1000 \text{kg/m}^3$ 。

二、液体的万有引力特性

万有引力特性是指运动物体之间相互吸引的性质，地球对物体的吸引力为重力或重量。

重量用 G 来表示, 重量的单位为 N 或 kN 。对于质量为 m 的液体, 其重量为

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

式中 g ——重力加速度, 为简化计算, 本书采用 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

对于均质液体, 单位体积的重量为容重 (重度或重率), 其计算公式为

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

式中 γ ——液体的容重, N/m^3 或 kN/m^3 。

容重与密度的关系为

$$\gamma = \rho g \quad (1-5)$$

在水力学中, 为简化计算, 一般水的容重为 $\gamma = 9.8 \text{ kN/m}^3$; 水银的容重为 $\gamma = 133.3 \text{ kN/m}^3$ 。

【例题 1-1】 已知某液体的 $V = 6 \text{ m}^3$, $\rho = 983.3 \text{ kg/m}^3$, 求该液体的质量和容重。

解: 由式 (1-2) 可知液体质量为

$$m = \rho V = 983.3 \times 6 = 5899.8 (\text{kg})$$

由式 (1-5) 可知液体的容重为

$$\gamma = \rho g = 983.3 \times 9.8 = 9636.3 (\text{N/m}^3)$$

三、液体的黏滞性

1. 黏滞性

液体在运动状态下, 利用内摩擦力来抵抗剪切变形的性质称为液体的黏滞性, 黏滞性在液体运动时才显示出来, 即静止时液体不能承受切力来抵抗剪切变形。

2. 牛顿内摩擦定律及黏滞力系数

为了说明黏滞性的存在对水流的影响, 现以明渠水流为例予以说明。当渠道中的水流作直线运动, 且液体质点是有规则的分层流动不相互混掺时, 测得其垂线上的流速分布如图 1-1 所示。在渠道底部, 由于黏滞性的存在, 水流与边壁之间存在着附着力, 液体质点的速度为零; 距渠道愈远流速愈大, 当忽略表面张力的影响时, 自由表面的流速最大。垂线上各点的流速不等, 表明液体内部层层间存在着相对运动。

流层间的相对运动一经形成后, 快层的质点将带动慢层的质点, 从而在相邻流层的接触面上产生成对的内摩擦力, 如图 1-1 (b) 所示的快慢接触面上的 T 和 T' , 它们大小相等, 方向相反, 作用在不同流层上。内摩擦力一方面作用于质点上使其发生剪切变形运动; 另一方面, 对于质点来说, 它又是抵抗剪切变形运动的力。设如图 1-1 (a) 所示的质团 $ABCD$ 上、下层中心处的流速分别为 $u + du$ 和 u 。因为两流层的速度不等, 经 dt 时段后, 质团变形呈 $A'B'C'D'$ 形状, 这种变形就是因为流层间的接触面上产生的内摩擦力作用的结果。内摩擦力的大小可由牛顿内摩擦定律确定, 即

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

单位面积上的摩擦力 (黏滞切应力) 为

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

式中 T ——内摩擦力；
 A ——相对流层所接触的面积；
 μ ——动力黏滞系数， $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 或 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ；
 $\frac{du}{dy}$ ——水流流速沿水深的变化率。

式 (1-6)、式 (1-7) 为牛顿内摩擦定律。表明液体内摩擦力的大小与液体的性质和温度有关，与流速无关，与流速梯度有关，与接触面面积大小成正比，与正压力无关。

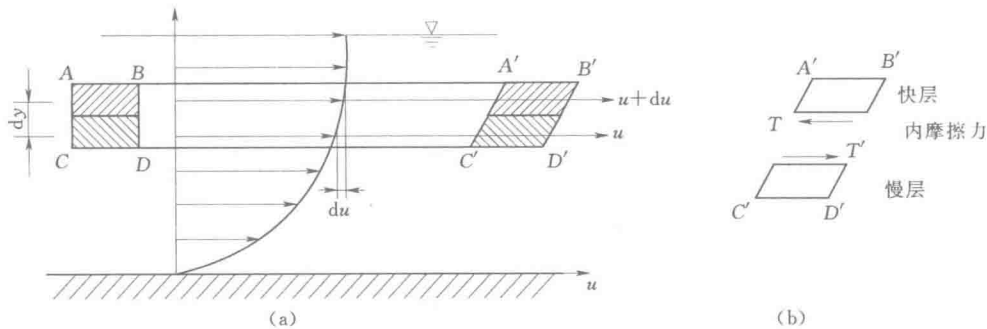


图 1-1

μ 与液体的种类和温度有关，见表 1-1（主要为水的）。
从表中可看出 t 越大 μ 越小， μ 越大黏滞性越大。水力学中，液体的黏滞性还可以用 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ ，为运动黏滞系数 (m^2/s 或 cm^2/s)。

设水温为 t ，以 $^{\circ}\text{C}$ 计，水的运动黏滞系数的计算公式为

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

式 (1-8) 中 ν 的单位为 cm^2/s 。牛顿内摩擦定律只适用于牛顿液体（油、酒精、水银），对于非牛顿液体（血浆、泥浆、牙膏等）将用另外公式进行计算。

表 1-1 不同温度条件下水的物理性质

温度 t ($^{\circ}\text{C}$)	重度 γ (kN/m^3)	密度 ρ (kg/m^3)	动力黏滞系数 μ ($\times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$)	运动黏滞系数 ν ($\times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$)	压缩系数 β ($\times 10^{-9} \text{m}^2/\text{Pa}$)	表面张力系数 σ (N/m)
0	9.805	999.9	1.781	1.785	0.495	0.0756
5	9.807	1000.0	1.518	1.519	0.485	0.0749
10	9.804	999.7	1.306	1.306	0.476	0.0742
15	9.798	999.1	1.139	1.139	0.465	0.0735
20	9.789	998.2	1.002	1.003	0.459	0.0728
25	9.777	997.0	0.890	0.893	0.450	0.0720
30	9.764	995.7	0.798	0.800	0.444	0.0712
40	9.730	992.2	0.653	0.658	0.439	0.0696
50	9.689	988.0	0.547	0.553	0.437	0.0679
60	9.642	983.2	0.466	0.474	0.439	0.0662
70	9.589	977.8	0.404	0.413	0.444	0.0644
80	9.530	971.8	0.354	0.364	0.455	0.0626
90	9.466	965.3	0.315	0.326	0.467	0.0608
100	9.399	958.4	0.282	0.294	0.483	0.0589

【例题 1-2】一极薄平板（如图 1-2 所示）在厚度为 4cm 的液流层中以 $u=0.8\text{m/s}$ 的速度运动，动力黏滞系数 $\mu_{\text{上}}$ 为 $\mu_{\text{下}}$ 的 2 倍，两层液流在平板上产生的总切应力为 $\tau=30\text{N/m}^2$ ，试求 $\mu_{\text{上}}$ 、 $\mu_{\text{下}}$ 。

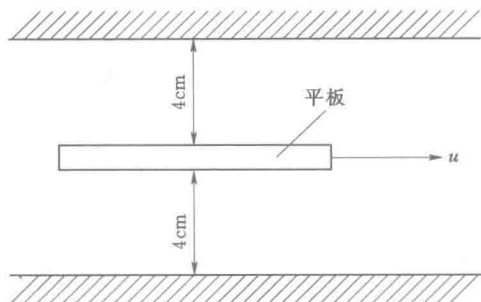


图 1-2

$$\begin{aligned} \text{解: } \frac{du}{dy} &= \frac{0.8}{0.04} = 20 \text{ (1/s)} \\ \tau &= \mu \frac{du}{dy} \\ \tau &= \tau_{\text{上}} + \tau_{\text{下}} = \left(\mu_{\text{上}} + \frac{1}{2} \mu_{\text{上}} \right) \frac{du}{dy} \\ 30 &= 1.5 \mu_{\text{上}} \times 20 \\ \mu_{\text{上}} &= 1.0 (\text{N} \cdot \text{s/m}^2) \\ \mu_{\text{下}} &= \frac{1}{2} \mu_{\text{上}} = 0.5 (\text{N} \cdot \text{s/m}^2) \end{aligned}$$

四、液体的压缩性

1. 压缩性

液体不能承受拉力，只能承受压力，抵抗体积压缩变形，当压力除去后又恢复原形，消除变形。液体具有的这种性质称为液体的压缩性，也称为弹性。

2. 体积缩小系数和体积弹性系数

液体的压缩性可以用体积压缩系数 β 来表示。设质量一定的液体，其体积为 V ，当压强增加 dp 时，体积相应减小 dV ，其体积的相对压缩值为 $\frac{dV}{V}$ ，则体积压缩系数为

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

体积压缩系数的单位为 m^2/N 或 $1/\text{Pa}$ 。

在材料力学中，弹性系数的一般定义为应力与应变之比。若用 K 表示液体的体积弹性系数，可见体积压缩系数的倒数就是体积弹性系数，即

$$K = \frac{1}{\beta} \quad (1-10)$$

K 的单位为 N/m^2 或 Pa 。

液体的体积压缩系数和体积弹性系数与液体性质有关，同一种液体的体积压缩系数和体积弹性系数随温度和压强变化而变化，但变化不大，一般视为常数。在实际应用中，除特殊问题，一般我们认为液体是不可以压缩的。

五、表面张力特性

表面张力特性是指液体自由表面存在一微小张力的性质，这是一种局部水力现象。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。水利工程中所接触的水面一般较大，故在水力学问题中，一般不考虑表面张力的影响。

在水力学试验中，经常使用玻璃管（测压管）测量水压强或水面高度，当玻璃内径比较小时，则需要考虑由于表面张力引起的毛细管现象所造成的影响，如图 1-3 所示。

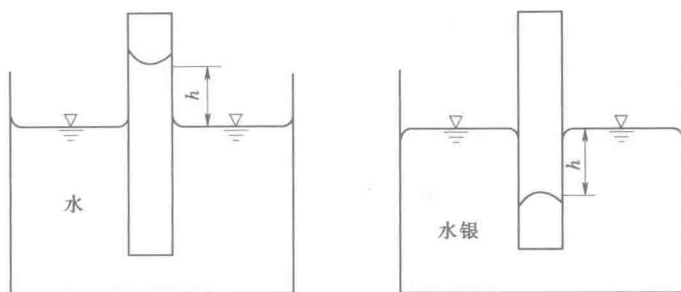


图 1-3

以上介绍的五种物理性质，都在不同程度上影响和决定着液体的运动，但每一种性质的影响程度并不是相同的。就一般而论，液体的压缩性和表面张力特性只对某些特殊水流运动产生影响，所以只在特殊情况下考虑，而前三种性质对液体运动的影响起着重要作用。

知识点三 连续介质假说与理想液体

一、连续介质假说

液体的真实结构是由运动着的分子组成，水分子与水分子之间存在有空隙，如果按实际情况去研究，是相当困难的，由于水力学是为工程服务的，不需要研究水分子的运动（微观运动）情况，只需研究宏观的机械运动，而分子间的空隙与研究的范围相比小得多，在水力学研究中，将液体假设成一种由无数没有微观运动的质点所组成且毫无空隙地充满所占据的空间的连续体——这种抽象化的液体模型即为 1753 年由欧拉提出来的连续介质假说。

在连续介质假说的基础上，可以把液体看成是密度分布均匀的，各部分和各方向的物理性质都是均质的和各向同性的。

有了连续介质的概念，就可以用数学中的连续函数理论来研究液体的运动。

实践表明连续介质假说条件下所得到的结论与客观实际十分相符，完全能够满足工程实际需要。因此，一般的水力学问题都是以连续介质假说作为基础的。

二、理想液体

由于实际情况液体存在有黏滞性，而且对液体运动的影响较为复杂，确定起来是很困难的，为简化方便，提出理想液体的概念，所谓理想液体就是将水看成是不可压缩的，不能膨胀，没有黏滞性和表面张力的连续性介质。由于实际液体的压缩性、膨胀性和表面张力均很小，与理想液体差别不大，但黏滞性是否存在则是理想液体与实际液体的最重要的差别。研究问题时一般先按理想液体考虑，得出结论，再按实际液体考虑，修正黏滞性的影响带来的偏差。

知识点四 作用在液体上的力

液体无论在平衡（静止）或运动状态，均受各种力的作用，按其物理性质有惯性力、

重力、摩擦力、弹性力和表面张力等。在水力学中按其作用形式和特性可分为表面力和质量力两种。

一、表面力

表面力指作用在液体表面上，其大小与受作用液体的表面积成比例的力。其代表力有液体接触面上产生的水压力、固体边界与液体之间的摩擦力等。

按面积力与作用面之间的关系，表面力可以分为垂直作用的压力和平行作用的切力两种。表面力的大小除用总作用力来度量外，常用单位面积上所受到的力（即应力）来表示。垂直指向作用面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。

二、质量力

质量力作用在研究液体的每一个质点上，其大小与液体质量成正比。如惯性力、重力等均属质量力。对于均质液体而言，因液体的质量与其体积成正比，所以又叫体积力。与表面力一样，质量力的大小也可以用单位质量液体上所受的质量力来度量，这种单位质量液体上所受的质量力称为单位质量力，以符号 f 表示。设质量为 m 的液体，其上所作用的总质量力为 F ，则单位质量力为

$$f = \frac{F}{m} \quad (1-11)$$

若总质量力 F 在各个坐标轴上的投影为 F_x 、 F_y 、 F_z ，则单位质量力在 X 、 Y 、 Z 坐标轴上投影为

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{F_x}{m} \\ Y &= \frac{F_y}{m} \\ Z &= \frac{F_z}{m} \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

如取 Z 轴与铅垂方向一致且规定向上为正，则作用于单位质量液体上的重力在各坐标的分力为： $X=0$ ， $Y=0$ ， $Z=-mg/m=-g$ 。

专 题 小 结

1. 自然界的物质一般有三种存在形式，即气体、液体和固体。液体和气体统称为流体。

2. 惯性是物体保持原有运动状态的性质。物体惯性的大小用质量来表示，质量愈大的物体，惯性愈大，其反抗改变原有运动状态的能力就愈强。设物体的加速度为 a ，质量为 m ，则惯性力 F 为 $F=-ma$ 。

3. 万有引力特性是指运动物体之间相互吸引的性质，地球对物体的吸引力为重力或重量。重量用 G 来表示，重量的单位为 N 或 kN 。对于质量为 m 的液体，其重量为 $G=mg$ 。

4. 液体在运动状态下，利用内摩擦力来抵抗剪切变形的性质叫液体的黏滞性，黏滞性只在液体运动时显示出来，即静止时液体不能承受切力来抵抗剪切变形。通过牛顿内摩

擦定律能够确定出内摩擦力的大小, 即 $T = \mu A \frac{du}{dy}$ 。

5. 液体不能承受拉力, 只能承受压力, 抵抗体积压缩变形。液体具有的这种性质称为液体的压缩性。

6. 表面张力特性是指液体自由表面受到一微小拉力的性质。

习 题

一、填空题

1. 液体的主要物理力学性质有 ()。
2. 黏滞性是液体所 () 的性质, 黏滞阻力的大小和 () 有关, 其数学表达式为 ()。
3. 理想液体与实际液体的本质区别在于 ()。

二、简答题

1. 液体在两块平行板间活动, 流速分布如图 1-4 所示, 从中取出 A、B、C 三块自由水体, 试分析:

(1) 各水体上下两平面上所受切应力的方向。

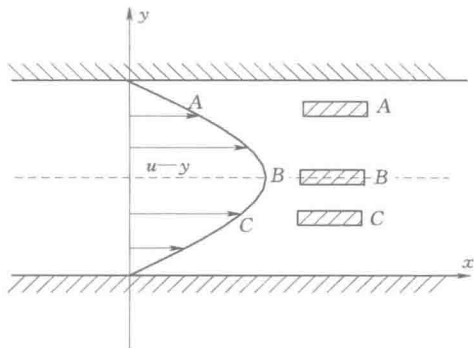


图 1-4

(2) 定性指出哪个面上的切应力大, 哪个小? 为什么?

2. 已知液体中的流速分布 $u-y$ 如图 1-5 所示三种情况: (a) 矩形分布; (b) 三角形分布; (c) 抛物线分布。试定性地画出各种情况下的切应力分布图 $\tau-y$ 。

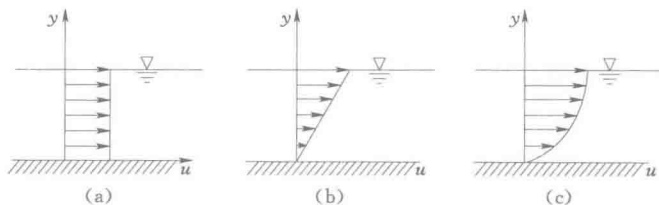


图 1-5



3. 试分析图 1-6 中三种情况下水体 A 受哪些表面力和质量力作用?

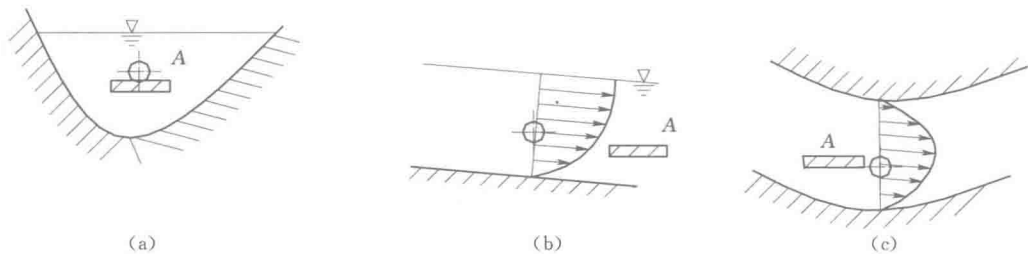


图 1-6