



普通高等教育“十一五”规划教材

水文地质学

主编 陈南祥

Higher Education



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十一五”规划教材

水文地质学

主编 陈南祥



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共三篇十四章，主要内容有：静水力学、水动力学基础、液流形态和水头损失、地下水的赋存、地下水的物理性质及化学成分、不同介质中的地下水、地下水运动的基本方程、河渠间的地下水运动、地下水向井的运动、建筑物地区的渗流计算、水文地质勘察、地下水资源评价以及地下水污染与防治等。

本书可作为土木工程（岩土、道桥、工民建等方向）、给水排水工程、环境工程、资源环境、水土保持与荒漠化防治等专业的教材，也可供高等院校相关专业师生及工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水文地质学 / 陈南祥主编. —北京：中国水利水电出版社，2008

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5084-5270-8

I. 水… II. 陈… III. 水文地质—高等学校—教材
IV. P641

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 011212 号

书 名	普通高等教育“十一五”规划教材 水文地质学
作 者	主编 陈南祥
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 15.75 印张 373 千字
版 次	2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—4100 册
定 价	29.00 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

本教材是为土木工程（岩土、道桥、工民建等方向）、给水排水工程、资源环境、环境工程等专业开设水文地质学课程而编写的教学用书。

考虑到土木工程、资源环境等专业的教学计划中大多没有安排水力学课程，本教材专门增设一篇“水力学基础”，便于组织教学和学生自学。

杨素珍、李志萍、陈南祥编写的《水文地质学》（华北水利水电学院内部教材），自1995年起在华北水利水电学院土木工程专业（岩土工程方向）开始使用，经过不断修改和完善，多次印刷，迄今已使用10余年，受到师生的欢迎和好评。近年来，随着国民经济的快速发展，出现了许多新的水文地质问题及环境地质问题，为全面反映水文地质领域10多年来所取得的新技术、新方法、新经验，使本教材能更好地适应专业人才培养的需要，这次我们对原内部教材内容作了调整、更新，并增加了两章内容。

本书由华北水利水电学院陈南祥教授主编，华北水利水电学院孙绪金教授主审。参加编写的有华北水利水电学院陈南祥（绪论、第五章、第七章）；华北水利水电学院曹连海（第一章、第二章、第三章、第四章、第十四章）；华北水利水电学院冯翠红（第六章、第八章、第九章、第十三章）；华北水利水电学院屈吉鸿（第十章、第十一章、第十二章）。全书由陈南祥统稿。

为了帮助学生掌握各章主要内容，每章都给出了复习题，供课外复习参考。

本教材在编写过程中，得到了有关高校任课教师和出版单位的热情帮助和大力支持，有关教师提出了许多宝贵的意见和建议，特别是孙绪金教授对本教材进行了认真审阅，提出了许多宝贵的修改意见。他们的帮助对提高本书的质量有很大的裨益。对此，我们一并谨向他们表示衷心的感谢。

鉴于编者水平有限，书中缺点错误在所难免，恳请读者不吝指正，并盼函

寄郑州市华北水利水电学院资源与环境学院陈南祥收(邮编:450011)或发电子邮件(Email: chennanxiang@ncwu. edu. cn)。谢谢!

编者

2007 年 12 月

目录

前言

绪论	1
----	---

第一篇 水力学基础

第一章 液体的性质	4
-----------	---

第一节 液体的主要物理性质	4
第二节 连续介质和理想液体的概念	7
第三节 作用于液体上的力	8
复习题	9

第二章 水静力学	10
----------	----

第一节 静水压强及其特性	10
第二节 水静力学基本方程	12
第三节 等压面	13
第四节 压强的分类、测量及表示方法	14
第五节 作用于平面上的静水总压力	18
复习题	19

第三章 水动力学基础	21
------------	----

第一节 描述液体运动的两种方法	21
第二节 液体运动的一些基本概念	22
第三节 恒定一元流的连续性方程	25
第四节 恒定流微小流束的能量方程	26
第五节 实际液体恒定总流的能量方程	28
第六节 能量方程应用举例	32
复习题	34

第四章 液流形态和水头损失	36
---------------	----

第一节 水头损失的概念、分类及其影响因素	36
第二节 液体运动的两种形态	39
第三节 水头损失的计算	41

复习题	46
-----------	----

第二篇 水文地质学基础

第五章 地下水的赋存与循环	47
第一节 自然界中的水	47
第二节 地下水的赋存条件	48
第三节 岩石的水理性质	52
第四节 含水层与隔水层	54
第五节 地下水的类型	54
第六节 地下水的循环	60
第七节 地下水动态与均衡	62
复习题	66

第六章 地下水的物理性质及化学成分	68
第一节 地下水的物理性质	68
第二节 地下水的化学成分	71
第三节 地下水化学成分的形成	78
第四节 地下水化学成分的分析与资料整理	80
第五节 地下水按化学成分的分类	82
复习题	83

第七章 不同含水介质中的地下水	84
第一节 孔隙水	84
第二节 裂隙水	91
第三节 岩溶水	95
第四节 泉	97
复习题	98

第三篇 水文地质计算

第八章 地下水运动的基本方程	99
第一节 岩层按透水性分类	99
第二节 渗流基础	100
第三节 渗流的连续性方程	110
第四节 地下水运动的基本微分方程	111
第五节 定解条件	119
复习题	122

第九章 河渠间的地下水运动	123
第一节 河渠间地下水的稳定运动	123
第二节 一侧有河渠渗漏时河渠附近潜水的非稳定运动	128
第三节 河渠间潜水的非稳定运动	132

复习题	138
第十章 地下水向井的运动	140
第一节 地下水向井的稳定运动	140
第二节 地下水向井的非稳定运动	148
第三节 地下水向干扰井群的运动	157
第四节 地下水向边界附近井的运动	160
第五节 水文地质参数的确定	164
复习题	173
第十一章 建筑物地区的渗透计算	175
第一节 水工建筑物地区的渗透计算	175
第二节 工业与民用建筑物地区的渗流计算	184
第三节 隧洞(室)涌(突)水的渗流计算	190
复习题	193
 第四篇 水文地质勘察、地下水资源评价及污染防治 	
第十二章 水文地质勘察	194
第一节 水文地质测绘	195
第二节 水文地质物探和遥感技术	198
第三节 水文地质钻探	201
第四节 水文地质试验	203
第五节 地下水动态观测与资料整理	209
第六节 水文地质勘察成果	211
复习题	213
第十三章 地下水资源评价	214
第一节 概述	214
第二节 地下水水量评价	216
第三节 地下水水质评价	222
复习题	227
第十四章 地下水污染与防治	228
第一节 概述	228
第二节 污染物在地下水系统中的物理、化学和生物作用	231
第三节 地下水污染评价与防治	235
复习题	240
附图 $W(u) - \frac{1}{u}$ 标准曲线	241
参考文献	242

绪 论

水文地质学是研究地下水的科学，地下水是指赋存于地面以下岩石空隙（孔隙、裂隙和溶隙）中的水。它研究与岩石圈、水圈、大气圈、生物圈以及人类活动相互作用下地下水水量和水质的时空变化规律，并研究如何运用这些规律去兴利除害，服务人类。

一、水文地质学的主要任务

水文地质工作的主要任务是调查研究：

- (1) 地下水的形成、埋藏、分布、运动以及循环转化的规律。
- (2) 地下水的物理、化学性质、成分以及水质的变化规律。
- (3) 解决合理地开发、利用、管理地下水资源以及有效地消除地下水的危害等实际问题。

二、水文地质学在经济社会发展中的作用

水文地质学的研究对象是地下水及其赋存地下水的介质。地下水具有资源、生态环境因子、灾害因子、地质营力和信息载体等功能，其赋存介质也具有很多其他的功能，水文地质学在经济社会发展中的作用是与地下水及其赋存介质的功能相联系的。

1. 资源功能

水是人类赖以生存的不可缺少的宝贵资源。作为水资源重要组成部分的地下水，由于其水质良好、分布广泛、变化稳定和便于利用，自古以来一直是人们理想的供水水源。在我国半干旱和干旱的华北、西北地区，地下水往往是主要的，有时甚至是唯一的生活和工农业供水水源。

据有关部门估算，我国的水资源总量为 28100 亿 m^3 ，其中地下水资源为 7800 亿 m^3 （约占 1/4 多）。但水资源分布是极不均匀的，如干旱少雨的北方地区，土地资源十分丰富，而水资源十分贫乏。水土资源的组合也极不均衡，尤以海河、辽河、淮河流域最为突出。这三个流域的耕地面积占全国耕地总数的 33.2%，而水资源却只占全国水资源总数的 7.4%，每亩耕地平均占有水资源量，只有全国平均数的 14%~33%，因而缺水十分严重，所以有的地区仍然是“十年九旱，靠天吃饭”。又如我国南方地区，虽然降水量和地表径流比较丰沛，但分布也极不均匀，特别是云、桂、黔等省（自治区），石灰岩广泛分布，岩溶（喀斯特）十分发育。“一场大雨千筲泼，天晴三日万里焦”；“修塘不蓄水，筑坝不拦洪”，大量的地表水漏至地下，因而地表水缺水现象也很严重。农田灌溉是“旬日不雨，既成旱象”，“米如珍珠水如油”。这些民间谚语都说明，在我国无论是北方地区，还是南方地区，水利工程建设不仅需要开发地表水，而且需要开采、利用地下水资源。这就需要进行大量的水文地质工作。

地球蕴藏着丰富的地热资源，热水与热蒸汽是主要的载热流体，利用它可以发电、建



立温室等。一些特殊赋存条件下的地下水，常常富集某些盐类和特殊元素（溴、碘、锶、钡等），具有某些特殊性质，从而具有一定的工业价值或医疗保健价值。

2. 生态环境因子

长期以来，人类一直将地下水作为宝贵的水资源加以广泛利用，而忽略了其对生态环境的价值，已造成了一系列的恶果。自 20 世纪末，人们愈来愈认识到，地下水是复杂生态环境系统中的一个敏感的子系统，是极其重要的生态环境因子，地下水的变化往往影响着生态环境系统的天然平衡状态。

在不同区域开发利用地下水会产生不完全相同的生态环境效应。地下水位过高会引发土壤盐渍化和沼泽化等，过低会引起土壤干化、沙化和天然植被衰败。合理开发利用地下水，使地下水位被控制在一个合理的范围内，将会使生态环境处于良性发展，否则就会向恶性方向发展。如在西北内陆河流域，由于以水资源开发为中心的人类经济、工程活动，强烈干扰与之有密切联系的地下含水层，从而产生了植被退化、土地沙化等严重的生态环境问题。

3. 灾害因子

地下水常常是矿坑充水的重要因素，地下水的涌入，往往使采矿难度加大、成本提高，严重时甚至威胁矿山工程和人员生命安全。我国的许多煤矿和南方喀斯特地区的金属矿，坑道涌水、突水问题均较突出。

在地下工程（隧洞、地下厂房、地下交通等）的建设和运行中，地下水是主要问题之一。地下水的涌水（突水）问题，在地下工程施工中，直接影响工程造价、工程进度和施工安全；地下水的渗漏、腐蚀等直接影响地下工程的安全运营。

地下水含有某些有害元素或缺乏某些元素时，会危害人体健康。如我国吉林、黑龙江、陕西、内蒙古、四川等省（自治区）的克山病、大骨节病等地方病的发生，多与饮用当地地下水有关；又如河南省豫东地区赋存于某些层位的地下水含氟过高，造成长期饮用此水的村民患有氟斑牙、氟骨症等地方病。

三、水文地质学的发展概况

水文地质学是一门新兴的科学，19 世纪中叶到 20 世纪初是奠基时期，到 20 世纪 30~40 年代才逐渐发展起来，成为一门独立成熟的学科。

1856 年，法国水力工程师 H. Darcy 通过室内实验，得出了水在砂中的渗透速度与水力坡度的一次方成正比的著名的达西定律，为地下水的定量计算提供了依据，奠定了水文地质学的学科基础。1863 年，法国人 A. Dupuit 提出了地下水稳定井流公式，即著名的裘布依公式。1886 年，奥地利人 P. Forchheimer 绘制了地下水流网。1935 年，美国人 C. V. Theis 提出了非稳定井流公式，即著名的泰斯公式。大致到 20 世纪中叶，有关地下水赋存、运动、补给、排泄、起源、水化学以及水量计算评价等方面，已有了一套比较完整的理论与研究方法。

二次世界大战后，随着科学技术推动生产力的迅速发展以及人口的急剧增长，人们对地下水的需求大大增加，地下水的不合理的开发利用，区域性的过度开采，导致世界各地都出现了地下水位持续下降、地下水资源枯竭、地面沉降、海水倒灌、地下水污染等问题。这时人们才意识到：一是地下水不是取之不尽、用之不竭的资源，它是有限的，必须



在科学合理的前提下开发利用和保护,才能使其可持续利用;二是地下水不仅是资源,而且是重要的生态环境因子,人们在开发利用地下水资源时,必须论证对生态环境的影响。

20 世纪 60 年代,同位素技术开始应用于水文地质勘察试验,解决某些水文地质问题。随后,数学地质方法、遥感技术和计算机技术引入水文地质学。从 20 世纪末期起,地理信息系统受到水文地质工作者的广泛关注从而开始全面推广应用。环境水文地质问题受到人们愈来愈密切的关注,是当前世界各国都很重视的研究课题。

四、本课程的主要内容及教学要求

本课程可作为土木工程(岩土、道桥、工民建等方向)、给水排水工程、环境工程等专业的技术基础课。本课程的基本教学要求是通过课堂讲授、实习实验及作业等三个教学环节,使学生掌握水文地质学的基本知识,学会分析、解决水文地质问题的基本方法,为后续学习专业课打下基础。

本教材的主要内容有:静水力学、水动力学基础、液流形态和水头损失、地下水的赋存、地下水的物理性质及化学成分、不同介质中的地下水、地下水运动的基本方程、河渠间的地下水运动、地下水向井的运动、建筑物地区的渗流计算、水文地质勘察、地下水资源评价以及地下水污染与防治等。

以上教学内容可概括为以下四个组成部分:

第一部分:水力学基础部分(第一章、第二章、第三章、第四章);

第二部分:水文地质学基础部分(第五章、第六章、第七章);

第三部分:水文地质计算部分(第八章、第九章、第十章、第十一章);

第四部分:水文地质勘察、地下水资源评价及污染防治部分(第十二章、第十三章、第十四章)。

这四个部分是相互关联和逐步联系专业实际的,在教学过程中应理论联系实际,结合实际工程,由浅入深,循序渐进。本课程是一门实践性比较强的技术基础课,除课堂教学外,还要进行地质实习实验。如条件许可,应在暑期进行野外地质实习,以扩大学生的地质实际知识,增强水文地质勘察的概念。

第一篇 水力学基础

第一章 液体的性质

第一节 液体的主要物理性质

物体运动状态的改变都是受外力作用的结果。分析研究液体运动的规律,也要从分析液体的受力情况着手。任何一种力的作用,都要通过液体自身的性质来表现,所以在研究液体运动规律之前,需对液体物理性质有所了解。与机械运动有关的液体的主要物理性质介绍如下。

一、惯性、质量与密度

液体与任何物体一样,具有惯性,惯性是液体具有保持原有运动状态的物理性质。惯性的大小以质量来度量,质量愈大的物体,惯性也愈大。当液体受外力作用使运动状态发生改变时,由于液体的惯性引起对外界抵抗的反作用力称为惯性力。设物体的质量为 M , 加速度为 a , 则惯性力为

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

密度是指单位体积液体的质量。液体的密度常以符号 ρ 表示,若一均质液体质量为 M , 体积为 V , 其密度为

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

若已知某均质液体的密度与体积,则该液体的质量为

$$M = \rho V \quad (1-3)$$

根据国际单位制的规定,质量的单位为 kg , 力的单位为 N 。1N 的力定义为:在 1N 力的作用下,质量为 1kg 的物体得到 1m/s^2 的加速度。密度的国际单位为 kg/m^3 。液体的密度随温度和压强而变化,但这种变化很小,所以水力学中把水的密度视为常数,采用在 1 个标准大气压下,温度为 4°C 时的蒸馏水密度来计算,此时 ρ 为 1000kg/m^3 。

二、万有引力特征、重力与重度

万有引力特征是指任何物体之间相互具有吸引力的性质,其吸引力称为万有引力。地球对物体的引力称为重力或称为重量。质量为 M 的液体,其所受的重力为

$$G = Mg \quad (1-4)$$



式中 g ——重力加速度, m/s^2 。

液体的重度 (以 γ 表示) 是指单位体积所具有的重量。对某一重量为 G , 体积为 V 的均质液体, 其重度为

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

或

$$\gamma = \frac{Mg}{V} = \rho g \quad (1-6)$$

则

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad (1-7)$$

重度的国际单位为 N/m^3 或 kN/m^3 。不同液体的重度不相同, 见表 1-1; 同一种液体的重度随温度和压强而变化, 在 1 个大气压下, 纯净水的密度和重度随温度的变化见表 1-2。因水的重度随温度和压强的变化甚微, 故一般工程上视为常数, 取在 1 个标准大气压下 4°C 时的蒸馏水重度来计算, 此时 γ 为 9800N/m^3 。

表 1-1 空气和几种常见液体的重度

流体名称	空气	水银	汽油	酒精	四氯化碳	海水
重度 (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

表 1-2 水的密度和重度

温度 ($^\circ\text{C}$)	0	4	10	20	30
密度 (kg/m^3)	999.87	1000.00	999.73	998.23	995.67
重度 (N/m^3)	9798.73	9800.00	9797.35	9782.65	9757.57
温度 ($^\circ\text{C}$)	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)	9723.95	9683.09	9635.75	9523.94	9392.12

三、黏滞性与黏滞系数

当液体处于运动状态时, 若液体质点之间存在着相对运动, 则质点间要产生内摩擦力抵抗其相对运动, 这种性质称为液体的黏滞性, 此内摩擦力称为黏滞力。

如图 1-1 所示液体沿着一个固体平面壁作平行的直线流动, 且液体质点是有规则的一层一层向前运动而不互相混掺 (即“层流运动”)。由于液体具有黏滞性的缘故, 靠近壁面附近流速较小, 远离壁面处流速较大, 因而各个不同液层的流速大小是不相同的。若距固体边界为 y 的流速为 u , 在相邻的 $y+dy$ 处的流速为 $u+du$, 由于两相邻液层的流速不同, 即存在着相对运动, 在两流层之间将对地产生内摩擦力。下面一层液体对上面一层液体作用了一个与流速方向相反的摩擦力, 而上面一层液体对下面一层液体则作用了一

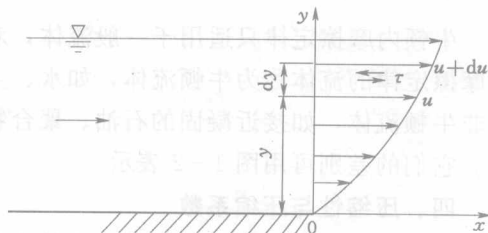


图 1-1 液体沿固体平面壁作直线流动示意图



个与流速方向一致的摩擦力，这两个摩擦力大小相等，方向相反，都具有抗拒其相对运动的性质。作用在上面一层液体上的摩擦力有减缓其流动的趋势，作用在下面一层液体上的摩擦力有加速其流动的趋势。

根据前人的科学实验证明，相邻液层接触的单位面积上所产生的内摩擦力 τ 的大小，与两液层之间的速度差 du 成正比，与两液层之间距离 dy 成反比，同时与液体性质有关。将此实验结果写成表达式，即

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-8)$$

式中 μ ——随液体种类不同而异的比例系数，称为动力黏滞系数。

$\frac{du}{dy}$ 又称为流速梯度。

式 (1-8) 就是著名的“牛顿内摩擦定律”，它可表述为：作层流运动的液体，相邻液层间单位面积上所作用的内摩擦力（或黏滞力）与流速梯度成正比，同时与液体的性质有关。

因此，可将牛顿内摩擦定律表述为：液体作层流运动时，相邻液层之间所产生的切应力与剪切变形速度成正比。所以液体的黏滞性可视为液体抵抗剪切变形的一种特性。

黏性大的液体 μ 值大，黏性小的液体 μ 值小。 μ 的国际单位为 $(N \cdot s) / m^2$ 或 $Pa \cdot s$ 。

液体的黏滞性还可以用运动黏滞系数 ν 来表示， ν 是动力黏滞系数 μ 与液体密度 ρ 的比值 ($\nu = \mu / \rho$)。 ν 的国际单位为 m^2 / s 。

同一种液体的 μ 或 ν 值随温度和压力而不同，尤其对温度变化较为敏感。表 1-3 中列出了不同温度时水的 ν 值。

表 1-3		不同水温时的运动黏滞系数 ν 值			
温度 (°C)	ν (cm ² /s)	温度 (°C)	ν (cm ² /s)	温度 (°C)	ν (cm ² /s)
0	0.01775	16	0.01118	35	0.00725
2	0.01674	18	0.01062	40	0.00659
4	0.01568	20	0.01010	45	0.00603
6	0.01473	22	0.00989	50	0.00556
8	0.01387	24	0.00919	55	0.00516
10	0.01310	26	0.00877	60	0.00478
12	0.01239	28	0.00839		
14	0.01176	30	0.00803		

牛顿内摩擦定律只适用于一般流体，对于某些特殊流体是不适用的。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。不符合的叫做非牛顿流体，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。

四、压缩性与压缩系数

固体受外力作用要发生变形，当外力消除后（外力不超过弹性限度时），有恢复原状的能力，这种性质称为物体的弹性。液体不能承受拉力，但可以承受压力。液体受压后分



子间的距离减小,液体宏观体积减小,压力撤除后也能恢复原状,这种性质称为压缩性,也称弹性。温度升高,液体宏观体积增大,这种性质称为膨胀性。液体压缩性的大小是以体积压缩系数 β 或体积弹性系数 K 来表示的。

体积压缩系数是液体体积的相对缩小值与压强的增值之比。若某一液体在承受压强为 p 时体积为 V ,当压强增加 dp 后,体积的改变值为 dV ,其体积压缩系数为

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

压强增大时,体积缩小,所以 dV 与 dp 的符号始终是相反的,为了保持 β 为正数,在式(1-9)中右端增加一个负号。 β 值愈大,则液体压缩性亦愈大。 β 的单位为 m^2/N 。

体积弹性系数 K 是体积压缩系数的倒数,即

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

K 值愈大,表示液体愈不容易压缩, $K \rightarrow \infty$ 表示绝对不可压缩。 K 的单位是 Pa 或 N/m^2 。

液体种类不同,其 β 或 K 值不相同,对同种液体它们随温度和压强而变化,但这种变化甚微,一般可视为常数。在一般工程设计中,水的体积弹性系数 K 可近似地取为 $2 \times 10^9 Pa$ 。此值说明,若 Δp 为1个大气压, $\frac{\Delta V}{V}$ 约为 $1/20000$ 。因此,在 Δp 不大的条件下,水的压缩性可以忽略,相应地水的密度和重度可视为常数。

五、表面张力与表面张力系数

表面张力是自由表面上液体分子由于受两侧分子引力不平衡,使自由表面上液体分子受到极其微弱的拉力,这种拉力称为表面张力。表面张力仅在自由表面存在,液体内部并不存在,所以它是一种局部受力现象。由于表面张力很小,在一般工程问题中可以忽略。

表面张力的大小可用表面张力系数 σ 来度量。 σ 表示液体自由表面单位长度上所受的拉力,单位为 N/m 。 σ 值随液体种类和温度而变化,在 $20^\circ C$ 时,水和水银的值分别为 $0.07 N/m$ 和 $0.54 N/m$ 。

以上所介绍的液体的五个主要物理性质,都在不同程度上决定和影响液体的运动。就一般而论,重力、黏滞力对液体运动的影响起着重要作用。而弹性力及表面张力,只对某些特殊水流运动发生影响。

第二节 连续介质和理想液体的概念

一、连续介质的概念

液体和任何物质一样,都是由分子组成的,分子与分子之间是不连续而有空隙的。

水力学在研究液体运动时,只研究由于外力作用下的机械运动,不研究液体内部的分

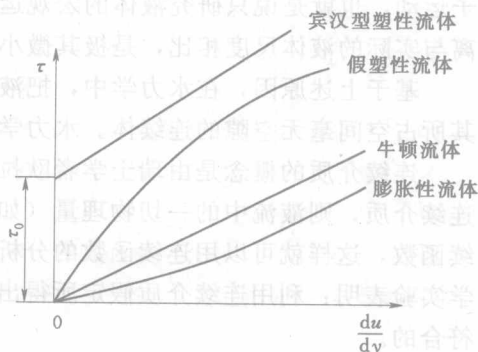


图 1-2 不同性质流体的内摩擦力与流速梯度关系曲线



子运动,也就是说只研究液体的宏观运动而不研究其微观运动。这是因为分子间孔隙的距离与实际的液体尺度相比,是极其微小的。

基于上述原因,在水力学中,把液体当作连续介质看待,即假设液体是一种连续充满其所占空间毫无空隙的连续体。水力学所研究的液体运动是连续介质的连续运动。

连续介质的概念是由瑞士学者欧拉(Euler)在1753年首先提出的。如果把液体视为连续介质,则液流中的一切物理量(如加速度、压强等)都可以视为空间坐标和时间的连续函数,这样就可以用连续函数的分析方法来研究液体的运动规律。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。

二、理想液体的概念

所谓理想液体是指液体是不可压缩的、没有黏滞性、没有表面张力、均质、各向同性的连续介质。

由前面讨论可知,实际液体的压缩性和膨胀性很小,表面张力也很小,与理想液体没有很大差别,因而是否考虑黏滞性是理想液体和实际液体的最主要差别。所以,按照理想液体所得出的液体运动的结论,应用实际液体时,必须对没有考虑黏滞性而引起的偏差进行修正。

第三节 作用于液体上的力

处于平衡或运动状态的液体,都受有各种力的作用。作用于液体上的力,按其物理性质不同,有重力、惯性力、弹性力、摩擦力、表面张力等,但在水力学中分析液体运动时,主要是从液体中分出一封闭表面所包围的液体作为隔离体来分析。从这一角度出发,可将作用在液体上的力分为表面力和质量力两大类。

一、表面力

表面力是作用于液体的表面,并与受作用的表面面积成比例的力。表面力的大小除用总作用力来度量外,也常用单位面积上所受的表面力(即应力)来度量。根据连续介质的概念,表面力连续分布在隔离体表面上,因此,在分析时常采用应力的概念。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。

压强 p 垂直于作用面

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1-11)$$

切应力平行于作用面

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta A} \quad (1-12)$$

同时指出,在静止液体中,液体间没有相对运动,即 $\frac{du}{dy} = 0$; 或者在理想液体中, $u = 0$, 则 $\tau = 0$, 则作用在 ΔA 上的力就只有法向力 Δp 。

二、质量力

质量力是指通过所研究液体的每一部分质量而作用于液体的,其大小与液体的质量成



比例的力,如重力、惯性力就属于质量力。在均质液体中,质量与体积成正比,故质量力又称体积力。

质量力除用总作用力来度量外,也常用单位质量力来度量。单位质量力是指作用在单位质量液体上的质量力。若有一质量为 M 的均质液体,作用于其上的总质量力为 F ,则所受的单位质量力 f 为

$$f = \frac{F}{M} \quad (1-13)$$

单位质量力的单位为 m/s^2 。



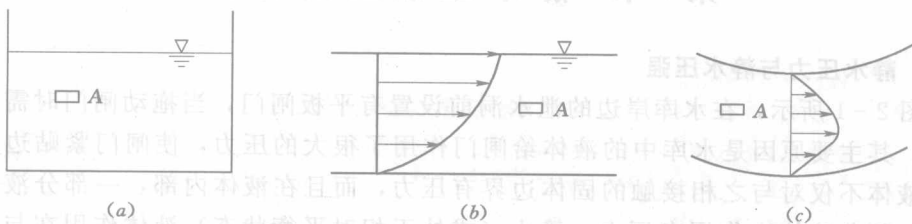
复 习 题

1-1 已知 20°C 时海水的密度 $\rho = 1.03\text{g/cm}^3$, 试用国际单位制表示其密度值, 并求其比重。

1-2 水的体积弹性系数为 $1.962 \times 10^9 \text{Pa}$, 其体积相对压缩率为 1% 时, 求压强增量 Δp 相当于多少个工程大气压?

1-3 容积为 4m^3 的水, 温度不变, 当压强增加 $4.905 \times 10^5 \text{Pa}$ 时, 容积减少 1000cm^3 , 求水的体积压缩系数 β 和体积弹性系数 K 。

1-4 试分析图中三种情况下流体微元 A 受到哪些表面力和质量力作用? (a) 静止水池; (b) 明渠水流; (c) 平面弯道水流。



题 1-4

1-5 水箱中盛有静止液体, 试问此时液体所受的单位质量力为多少?

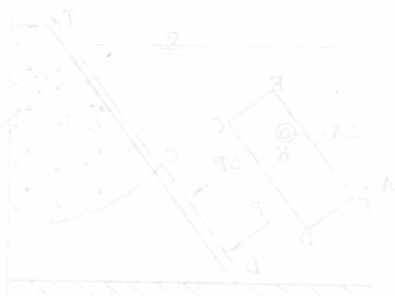


图 1-5 水箱中静止液体所受单位质量力