

高职高专

国家级教学改革试点专业试用教材

GONGCHENG SHUIWEN
SHUILIXUE

工程水文 水力学

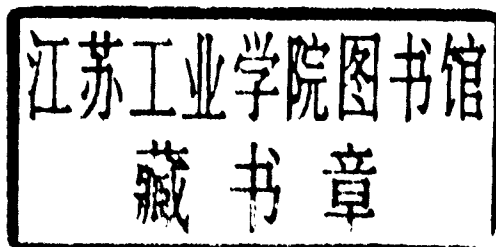
张朝晖 拜存有 主编

西北农林科技大学出版社

高 职 高 专
国家级教学改革试点专业试用教材

工程水文水力学

张朝晖 拜存有 主编



西北农林科技大学出版社

内 容 提 要

本书为我院国家级教学改革试点专业——水利水电建筑工程专业的课程改革成果之一,是根据本专业的改革实施方案和课程改革的基本思想组织编写的。全书包括绪论、水静力学、水流运动的基本原理、水流阻力和水头损失、管流水力计算、渠道水力计算、堰闸水力计算、泄水建筑物下的水流衔接与消能、河川径流形成过程、水流观测与资料整理、河川径流特性的统计分析方法、径流分析计算、径流预报、设计洪水分析计算、径流调节计算等内容。

本书可供高等职业技术学院和普通高等专科学校水利水电建筑工程、农业水利技术、水利工程、水利工程监理、水利工程施工、水利工程管理等专业教学使用。亦适用于成人专科学校及普通本科院校的职业技术学院同类专业教学使用。同时,也可供水利水电工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程水文水力学/张朝晖,拜存有主编. —杨凌:西北农林科技大学出版社,2004.2
ISBN 7-81092-047-2

I. 工… II. ①张… ②拜… III. ①工程水文学 ②水工建筑物—水力学 IV. TV1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 008360 号

工程水文水力学

张朝晖 拜存有 主编

出版发行:西北农林科技大学出版社

地 址:陕西杨凌杨武路 3 号 邮编:712100

电子邮箱:press0809@163.com 电话:029—87093302

印 刷:西北农林科技大学印刷厂

版 次:2004 年 2 月第 1 版第 1 次

印 次:2004 年 2 月第 1 版第 1 次

开 本:787×1092 1/16

印 张:27.75

字 数:641 千字

ISBN 7-81092-047-2/TV·1

定价:35.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系

前 言

本书是我院国家级教学改革试点专业——水利水电建筑工程专业的课程改革成果之一。根据本专业的改革实施方案和课程改革的基本思想,将原来的《水力学》和《工程水文学》内容有机地合为一体,总学时压缩 20%,以水利水电工程建设中的“水”问题为主线,以培养学生在工程一线的技术应用能力为主旨,优化课程内容,适当淡化工程设计方面的知识,加强工程施工和管理中涉及的“水”问题之内容,在例题、习题内容上力争贴近工程实际,注重学生技术应用能力的培养。

参加本书编写的有杨凌职业技术学院张朝晖(第二、三章)、鄂君良(第四、五章)、张春娟(第六、七、八章)、张升堂(第十、十二章)、赵云翔(第九、十五章)、拜存有(第一、十一章、附录)、西北农林科技大学水建学院程冬玲(第十三、十四章)。全书由张朝晖、拜存有主编并共同统稿,由西北农林科技大学水建学院吕宏兴、刘俊民二位教授主审。在本书的编写过程中,专业改革课题组的领导及全体老师对本书提出了许多宝贵意见,学院及教务处领导也给予了大力的支持,在此表示最诚挚的感谢。同时,书中引用的各种教材、资料等未能一列列出,编者也一并表示真诚的感谢。

本书内容体系在国内属首次尝试,组合不尽合理,拼接痕迹也未完全消除,加之编者水平有限,不足之处在所难免,恳望广大师生和读者对本书的缺点和错误提出批评指正,编者将不胜感激!

编 者

2003 年 5 月

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 自然界的水分布及其运动	(1)
§ 1-2 水的基本特性	(3)
§ 1-3 水与人类的关系	(8)
§ 1-4 水资源及其开发利用	(11)
§ 1-5 工程水文水力学在水利水电工程建设中的应用	(14)
思考与练习题	(17)
第二章 水静力学	(18)
§ 2-1 静水压强及其特性	(18)
§ 2-2 静水压强的基本规律	(20)
§ 2-3 静水压强的量测	(25)
§ 2-4 作用于平面壁上的静水总压力	(28)
§ 2-5 作用于曲面壁上的静水总压力	(34)
思考与练习题	(38)
第三章 水流运动的基本原理	(44)
§ 3-1 水流运动的基本概念	(44)
§ 3-2 恒定总流的连续性方程	(49)
§ 3-3 恒定元流的能量方程	(50)
§ 3-4 恒定总流的能量方程	(52)
§ 3-5 能量方程的应用条件及注意点	(55)
§ 3-6 能量方程应用举例	(58)
§ 3-7 恒定总流的动量方程	(62)
思考与练习题	(67)
第四章 水流阻力与水头损失	(70)
§ 4-1 水头损失的类型及其与阻力的关系	(70)
§ 4-2 水流的两种流态	(74)
§ 4-3 层流运动	(77)
§ 4-4 紊流运动	(79)
§ 4-5 沿程水头损失的分析和计算	(86)
§ 4-6 局部水头损失的分析和计算	(96)
思考与练习题	(101)
第五章 管流水力计算	(104)
§ 5-1 概述	(104)
§ 5-2 短管水力计算	(105)
§ 5-3 短管水力计算举例	(112)
§ 5-4 长管的水力计算	(120)
§ 5-5 水击计算简介	(135)
思考与练习题	(143)

第六章 渠道水力计算	(148)
§ 6-1 概述	(148)
§ 6-2 明渠均匀流的特性及其产生的条件	(150)
§ 6-3 明渠均匀流的计算公式及有关问题	(151)
§ 6-4 明渠均匀流的水力计算	(159)
§ 6-5 明渠非均匀流的基本概念	(162)
§ 6-6 水跌与水跃	(168)
§ 6-7 明渠恒定非均匀渐变流的微分方程式	(175)
§ 6-8 棱柱体明渠非均匀渐变流水面曲线分析	(177)
§ 6-9 明渠恒定非均匀渐变流水面曲线计算	(182)
§ 6-10 河道水流简介	(187)
思考与练习题	(188)
第七章 堰闸水力计算	(191)
§ 7-1 概述	(191)
§ 7-2 堰流的类型及计算公式	(192)
§ 7-3 薄壁堰的水力计算	(194)
§ 7-4 实用堰的水力计算	(196)
§ 7-5 宽顶堰的水力计算	(201)
§ 7-6 闸孔出流的水力计算	(204)
思考与练习题	(209)
第八章 泄水建筑物下游水流衔接与消能	(211)
§ 8-1 概述	(211)
§ 8-2 底流式消能的水力计算	(212)
§ 8-3 挑流式消能的水力计算	(220)
思考与练习题	(224)
第九章 河川径流形成过程	(225)
§ 9-1 河流与流域	(225)
§ 9-2 降水	(229)
§ 9-3 蒸发与下渗	(236)
§ 9-4 降雨径流的形成过程	(241)
§ 9-5 水量平衡	(246)
思考与练习题	(248)
第十章 水流观测与资料整理	(249)
§ 10-1 水力模型试验的水流观测	(249)
§ 10-2 河、渠水流观测	(254)
思考与练习题	(275)
第十一章 河川径流特性的统计分析方法	(276)
§ 11-1 概述	(276)
§ 11-2 径流资料的收集	(277)
§ 11-3 频率计算法	(279)
§ 11-4 相关分析法	(296)

思考与练习题·····	(303)
第十二章 径流分析计算·····	(304)
§ 12-1 概述 ·····	(304)
§ 12-2 径流资料的审查 ·····	(305)
§ 12-3 年径流分析计算 ·····	(306)
§ 12-4 枯水径流分析计算 ·····	(314)
§ 12-5 河流泥沙分析计算 ·····	(319)
思考与练习题·····	(325)
第十三章 径流预报·····	(326)
§ 13-1 概述 ·····	(326)
§ 13-2 径流量预报 ·····	(326)
§ 13-3 径流过程预报 ·····	(333)
§ 13-4 流域水文模型简介 ·····	(340)
§ 13-5 河段洪水预报 ·····	(345)
§ 13-6 枯水预报 ·····	(353)
思考与练习题·····	(355)
第十四章 设计洪水分析计算·····	(356)
§ 14-1 设计洪水概述 ·····	(356)
§ 14-2 由流量资料推求设计洪水 ·····	(359)
§ 14-3 由暴雨资料推求设计洪水 ·····	(370)
§ 14-4 小流域设计洪水估算 ·····	(378)
思考与练习题·····	(385)
第十五章 径流调节计算·····	(386)
§ 15-1 概述 ·····	(386)
§ 15-2 水库特性曲线与特征水位、库容·····	(388)
§ 15-3 水库水量损失与死水位确定 ·····	(393)
§ 15-4 水库兴利计算 ·····	(395)
§ 15-5 水库调洪计算 ·····	(401)
§ 15-6 小型水电站水能计算 ·····	(410)
思考与练习题·····	(413)
附录 1 皮尔逊Ⅲ型曲线的离均系数 Φ_p 值表 ·····	(414)
附录 2 皮尔逊Ⅲ型曲线模比系数 K_p 值表 ·····	(417)
附录 3 三点法用表—— S 与 C_s 关系表 ·····	(422)
附录 4 三点法用表—— C_s 与有关 Φ 值的关系表 ·····	(423)
附录 5 瞬时单位线 S 曲线查用表·····	(425)
附录 6 梯形和矩形断面明渠正常水深求解图 ·····	(431)
附录 7 梯形和矩形断面明渠底宽求解图 ·····	(432)
附录 8 梯形、矩形、圆形断面明槽临界水深求解图 ·····	(433)
附录 9 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 ·····	(434)
参考文献·····	(435)

第一章 绪 论

§ 1—1 自然界的水分布及其运动

一、地球上的水分布

地球的总表面积约为 5.1 亿 km^2 , 水圈内全部水体总储量达 13.86 亿 km^3 。海洋面积 3.61 亿 km^2 , 占地球总表面积的 70.8%, 海洋水量为 13.38 亿 km^3 , 占地球总储水量的 96.5%。陆地面积 1.49 亿 km^2 , 占地球总表面积的 29.2%, 水量仅为 0.48 亿 km^3 , 占地球水储量的 3.5%, 且大部分在北半球。

在陆地有限的水体中并不全是淡水, 淡水量只有 0.35 亿 km^3 , 占陆地水储量的 73%。其中大部分分布于冰川、多年积雪、南北两极和多年冻土中, 真正便于人类利用的水只是其中一少部分, 主要分布在 600 m 深度以内的含水层、湖泊、河流、土壤中。如表 1-1 所示。

表 1-1 地球上的水体分布

项 目	总水量 (10^6km^3)	占总水量 百分比(%)	淡 水 量 (10^6km^3)	占总水量 百分比(%)
总水量	1385.98461	100	35.02921	100
海洋水	1338.0	96.5		
地下水	23.4	1.7	10.53	30.06
土壤水	0.0165	0.001	0.0165	0.05
冰雪总量	24.0641	1.74	24.0641	68.7
其中:南 极	21.6	1.56	21.6	61.7
格陵兰岛	2.34	0.17	2.34	6.68
北 极	0.0835	0.006	0.0835	0.24
山 岳	0.0406	0.003	0.0406	0.12
冰土地下水	0.3	0.022	0.3	0.86
地表水	0.18999	0.014	0.10459	0.3
其中:湖 泊	0.1764	0.013	0.091	0.26
沼 泽	0.01147	0.0008	0.01147	0.03
河 川	0.00212	0.0002	0.00212	0.006
大气中水	0.0129	0.001	0.0129	0.04
生物内水	0.00112	0.0001	0.00112	0.003

淡水资源在地球上不仅数量有限, 而且分布也极不均匀。如果以年降水量来反映, 世界各大洲水资源分布情况如表 1-2 所示。

表 1-2 世界各大洲水资源分布状况

项 目	面 积 (10 ⁴ km ²)	年 降 水 量		年 径 流 量	
		(mm)	(km ³)	(mm)	(km ³)
欧洲	1050	789	8290	306	3210
亚洲	4347.5	742	32240	332	14410
非洲	3012	742	22350	151	4750
北美洲	2420	756	18300	339	8200
南美洲	1780	1600	28400	660	11760
大洋州 ^①	133.5	2700	3610	1560	2090
澳大利亚	761.5	456	3470	40	300
南极洲	1398	165	2310	165	2310
全部地球	14900	800	119000	315	46800

①不包括澳大利亚,但包括塔斯马尼亚岛、新西兰岛和伊里安岛等岛屿。

由表 1-2 可见,世界上水资源最丰富的大洲是南美洲,其中尤以赤道地区水资源最为丰富。相反,热带和亚热带地区差不多只有陆地水资源总量的 1%。水资源较为缺乏的地区是中亚南部、阿富汗、阿拉伯和撒哈拉。西伯利亚和加拿大北部地区因人口稀少,年人均量值相当高。澳大利亚的水资源并不丰富。就各大洲的水资源相比较而言,欧洲稳定的淡水量占其全部水量的 43%,非洲占 45%,北美洲占 40%,南美洲占 38%,澳大利亚和大洋州占 25%。

二、水分循环及其成因

地球表面的各种水体,在太阳的辐射作用下,从海洋和陆地表面蒸发上升到空中,并随空气流动,在一定的条件下,冷却凝结形成降水又回到地面。降水的一部分经地面、地下形成径流并通过江河流回海洋;一部分又重新蒸发到空中,继续上述过程。这种水分不断交替转移的现象称为水分循环,也叫水文循环,简称水循环。

水分循环按其范围大小可分为大循环和小循环。大循环是指海洋与陆地之间的水分交换过程;而小循环是指海洋或陆地上的局部水分交换过程。比如,海洋上蒸发的水汽在上升过程中冷却凝结形成降水回到海面,或者陆地上发生类似情况,都属于小循环。大循环是包含有许多小循环的复杂过程。如图 1.1 所示。

形成水分循环的原因分为内因和外因两个方面。内因是水在常态下有固、液、汽三种状态,且在一定条件下相互转换。外因是太阳的辐射作用和地心引力。太阳辐射为水分蒸发提供热量,促使液、固态的水变成水汽,并引起空气流动。地心引力使空气中的水汽又以降水方式回到地面,并且促使地面、地下水汇归入海。另外陆地的地形、地质、土壤、植被等条件,对水分循环也有一定的影响。

水分循环是地球上最重要、最活跃的物质循环之一,它对地球环境的形成、演化和人类生存都有着重大的作用和影响。正是由于水分循环,才使得人类生产和生活中不可缺少的水资源具有可恢复性和时空分布不均匀性,提供了江河湖泊等地表和地下水资源。同时也造成了旱涝灾害,给水资源的开发利用增加了难度。

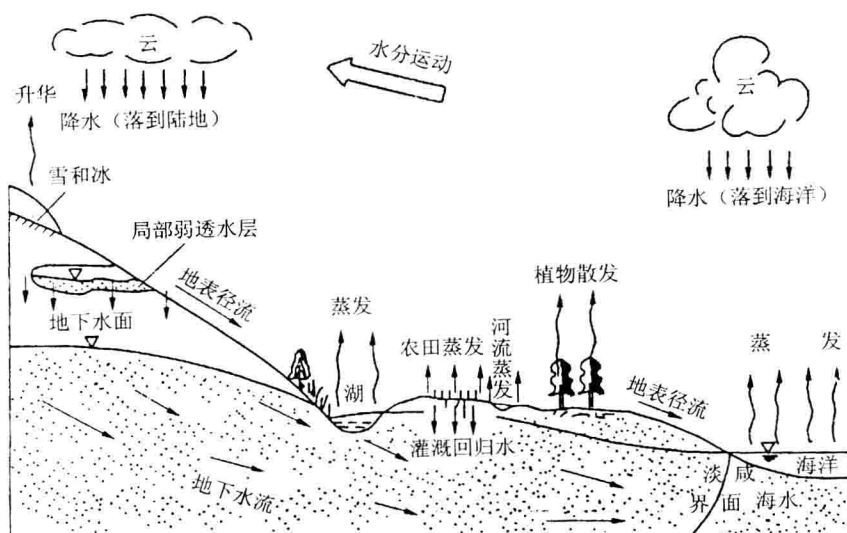


图 1.1

三、我国水分循环的主要途径

我国位于欧亚大陆的东部,太平洋的西岸,处于西伯利亚干冷气团和太平洋暖湿气团的交错带。因此,水汽主要来自太平洋。由东南季风和热带风暴将大量水汽输向内陆形成降水,雨量自东南沿海向西北内陆递减,而相应的大多数河流则自西向东注入太平洋。例如长江、黄河、珠江等等。其次是印度洋水汽随西南季风进入我国西南、中南、华北以至于河套地区,成为夏秋季降水的主要源泉之一。其径流的一部分自西南一些河流注入印度洋,如雅鲁藏布江、怒江等,另一部分流入太平洋。大西洋的少量水汽随盛行的西风环流东移,也能参加我国内陆腹地的水分循环。北冰洋水汽借强盛的北风经西伯利亚和蒙古进入我国西北,风力大而稳定时,可越过两湖盆地直至珠江三角洲,但水汽含量少,引起的降水并不多,其降水的小部分经由额尔齐斯河注入北冰洋,大部分汇归太平洋。鄂霍茨克海和日本海的水汽随东北季风进入我国,对东北地区春夏季降水起着相当大的作用,径流注入太平洋。

我国河流与海洋相通的外流区域占全国总面积的 64%,河水不注入海洋而消失于内陆沙漠、沼泽和汇入内陆湖泊的内流区域占 36%。我国最大的内陆河是新疆的塔里木河。

§ 1—2 水的基本特性

一、水的物理性质

从物理学中可知水的物理性质:纯净的水是一种无色、无臭、无味、透明的液体;纯净的水不易导电;在常压下,水的凝固点(冰点)是 0°C ,沸点是 100°C ,在 4°C 时, 1 cm^3 的水的质量为 1 g (水的密度为 1000 kg/m^3),此时密度最大。将水冷却到 0°C ,可以结成冰且体积增加,体积为原来的 1.09 倍;如果加热到 100°C ,使水变成水蒸气,体积将增加 1600 多倍。在

常温常压下,水以液态形式存在于自然界中,当气温降到其冰点以下,水将以固态(冰)形式存在,当气温升高时水将产生汽化(蒸发),固、液、汽三态转换如图 1.2 所示。水对很多物质的溶解能力很强。水中含有溶解的空气,水中生物的生活就是依靠溶解在水中的氧气。

二、水的主要力学性质

水是自然界广泛存在的一种物质,除了上述物理性质外,还具有很多其他物理性质,像力学性质(物理性质实际包括力学性质)等,主要包括惯性、万有引力特性、黏滞性、压缩性和表面张力特性。

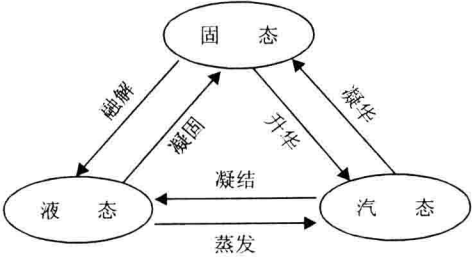


图 1.2

(一) 惯性

水与任何物体一样,具有惯性。惯性就是物体保持原有运动状态的特性。惯性的大小用质量来度量,质量大的物体,惯性也大。当水体受外力作用使运动状态发生改变时,水体的惯性引起对外界抵抗的反作用力被称为惯性力,其大小遵循牛顿第三定律($F=-ma$)。

单位体积的水体质量称为水的密度,常用符号 ρ 表示。若一均质水体质量为 m ,体积为 V ,其密度为

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

在国际单位制(SI 单位制)中,质量的单位为 g 或 kg ,体积的单位用 m^3 表示,则密度的单位为 kg/m^3 。

严格的说,水体的密度随水体的温度及其所受的压力的变化而有微小变化,但实用上一般可看作常数。在一个大气压下温度为 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时水的密度为 $\rho=1000\text{ }kg/m^3$ 。

(二) 万有引力特性

万有引力特性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,或重量。水在地球上与其他物质一样,总是要受到重力的作用,而重力的作用方向总是铅垂向下的,当无外界能量加入时,水流运动的趋势必然从高处流向低处,这便是人们常说的“水往低处流”的原因。

一定水体所受的重力大小用单位体积水体的重量(称为容重,用 γ 表示)来表示,对于均质水体,若重量为 G ,体积为 V ,则

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-2)$$

因重力 $G=mg$ (g 为重力加速度,单位为 m/s^2),代入(1-2)式有

$$\gamma = \frac{m}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (1-3)$$

则

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

水的容重和密度一样随水体温度和压力的变化而有微小变化,但实用也看成常数。在一

个大气压下温度为 4℃ 时水的容重为 $\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$ 。水在不同温度下的容重见表 1-3。

表 1-3 水在不同温度下的容重

$t(^{\circ}\text{C})$	0	4	10	20	30	40	60	80	100
$\gamma(\text{N/m}^3)$	9798.73	9800.00	9797.55	9782.95	9758.45	9725.03	9637.12	9525.01	9394.77

(三)黏滯性

当水处在运动状态时,若水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,这种性质称为水体的黏滯性,此内摩擦力又称为黏滯力。

水体黏滯性的存在可用下例来说明。当水在重力作用下沿渠道流动时,如果测出水流横断面某条垂线上的流速分布图,如图 1.3 所示,就可发现流速沿垂线分布是不均匀的,渠底流速为零,离渠底愈远,流速愈大,至水面附近流速最大。因为紧靠渠底的第一层极薄的水层由于附着力的作用贴附在底面上不动,该水层又通过黏滯作用而影响第二层的流速,第二层又通过黏滯作用而影响第三层的流速,……但离渠底愈远,渠底对流速的影响愈小。这样逐层影响就形成了如图 1.3 所示的流速分布状态。这说明水流是具有黏滯性的。

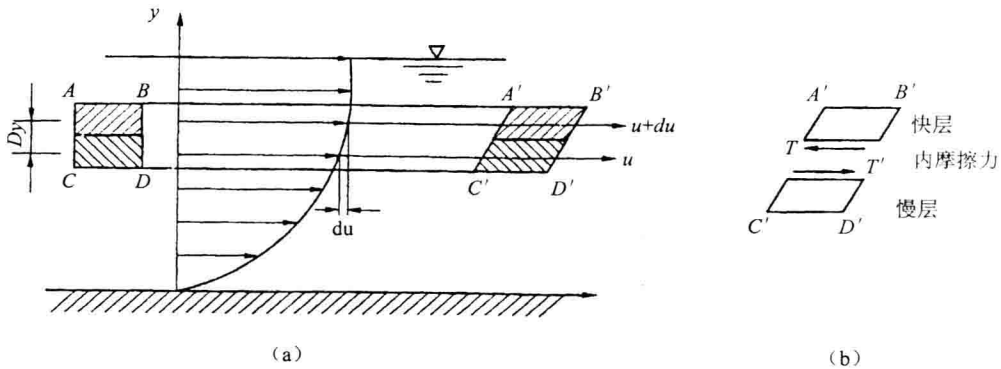


图 1.3

因各流层的流速不等,即水层间有相对运动,相邻水层间就出现内摩擦力。流的快的水层对流的慢的水层起拖动作用,因而上层(流速快)作用于下层(流速慢)的摩擦力与水流方向一致;反之,下层对上层起阻滞作用,则下层作用于上层的摩擦力与水流方向相反,如图 1.3 所示。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。

根据前人的科学实验证明,当水流质点作互不参混的层状流动时,相邻流层接触面的单位面积上所产生的内摩擦力 τ 的大小,与两流层间的流速差 du 成正比,与两流层间的距离 dy 成反比,同时与水的黏滯性有关。将试验结果写成表达式,即

$$\tau \propto \frac{du}{dy}$$

或

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-5)$$

式中 μ 称为水的动力黏滯系数,其单位为 $\text{N} \cdot \text{s/m}^2$ 。不同的液体各不相同。两流层间流速差与其距离的比值 $\frac{du}{dy}$ 又称为流速梯度。(1-5)式称为牛顿内摩擦定律。它表述为:作层流运动

的液体,相邻液层间单位面上所作用的内摩擦力(或黏滞力)与流速梯度成正比,同时与液体性质有关。

水力学中常用的是 μ 与密度 ρ 的比值,以 ν 表示,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-6)$$

ν 亦反映液体黏滞性的大小,称为运动黏滞性系数,其单位为 m^2/s 或 cm^2/s 。

动力黏滞系数和运动黏滞系数与液体种类有关,并随温度的升高而减小,对于水,可按下列经验公式计算

$$\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \quad (1-7)$$

式中 t 为水温,以 $^{\circ}\text{C}$ 计, ν 以 cm^2/s 计。为了方便,表 1-4 已列出不同温度时水的 ν 值。

表 1-4 不同水温时的运动黏滞系数值

温度($^{\circ}\text{C}$)	$\nu(\text{cm}^2/\text{s})$	温度($^{\circ}\text{C}$)	$\nu(\text{cm}^2/\text{s})$	温度($^{\circ}\text{C}$)	$\nu(\text{cm}^2/\text{s})$
0	0.01775	14	0.01176	28	0.00839
2	0.01674	16	0.01118	30	0.00803
4	0.01568	18	0.01062	35	0.00725
6	0.01473	20	0.01010	40	0.00659
8	0.01387	22	0.00989	45	0.00603
10	0.01310	24	0.00919	50	0.00556
12	0.01239	26	0.00877	55	0.00515

根据牛顿内摩擦定律,液体的切应力与剪切变形速度呈线形关系,即液体种类和温度不变时,比例系数(动力黏滞系数)为常数,符合上述规律的液体称为牛顿液体。由于液流内部存在内摩擦力,在流动过程中内摩擦力做功而不断消耗液流的机械能,即液流的部分机械能通过其内部的摩擦作用不断转化为热能而散逸,这种液流机械能的消耗称为液流的能量损失。因此,黏滞性是引起液流能量损失的主要根源。液流的能量损失是水力学中的一个重要问题,它和每一个水动力学问题都有密切关系,该问题将在第四章中详细论述。

由于黏滞性的存在,使水流运动情况变得异常复杂(如使流速分布不均匀,引起水流机械能损失等)。在分析水力学问题时,为了简单起见,有时不考虑液体的黏滞性的存在。这种假想的没有黏滞性的液体称为理想液体,而具有黏滞性的液体称为实际液体。

(四)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(单位面积上的压力)的增值为 $d p$ 时,体积压缩为 $d V$,则体积压缩系数

$$\beta = - \frac{dV}{V d p} \quad (1-8)$$

β 的物理意义是压强增值为一个单位时的体积相对压缩值。其值愈大,表示愈易压缩。因液体体积总是随压强的增大而减小,即 $d v$ 为负值,为使 β 为正值,故上式右边取负号。 β 的单位取 m^2/N 。

β 的倒数称为体积弹性系数,以 K 表示,即

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

K 值愈大,表示愈难压缩。 K 的单位为 N/m^2 。

液体种类不同,压缩性不同。同一种液体的压缩性也随温度和压强而变化,但变化甚微。例如,在常温和压强在 500 个大气压内,水的 K 值约为 $2.06 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, β 的平均值约为 $0.485 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{N}$,即每增加一个工程大气压,水的体积只比原体积缩小约二万分之一。可见水压缩性是很小的。因此,在实用上一般认为水是不可压缩的,即认为水的体积和密度不随压力而变化。

(五)表面张力特性

由于液体压缩性很小,因而有比较固定的体积,把液体盛于开敞的容器中,能形成一个自由表面。液体自由表面上的分子由于受两侧分子引力不平衡,使自由表面上的液体分子受有极其微小的拉力,液体表面有拉紧收缩的趋势,这种拉力称为表面张力。液体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,一般来说对液体的宏观运动不起作用,可以忽略不计,只是在某些特殊情况下,才给予适当考虑。

表面张力大小可用表面张力系数 δ 来度量,表面张力系数是指在自由面(把自由面看作一个无厚度的薄膜)单位长度上所受的拉力的数值,单位为 N/m 。 δ 的大小随液体种类和温度变化而异。对于 20°C 的水, $\delta = 0.074 \text{ N/m}$,而对于水银, $\delta = 0.54 \text{ N/m}$ 。

在水力学实验中,经常使用盛有水或水银的细玻璃管做测压计。由于表面张力的影响,使玻璃管中液面和与之相连通容器中的液面不在同一水平面上,如图 1.4 所示。这就是物理学所讲的毛细管现象。

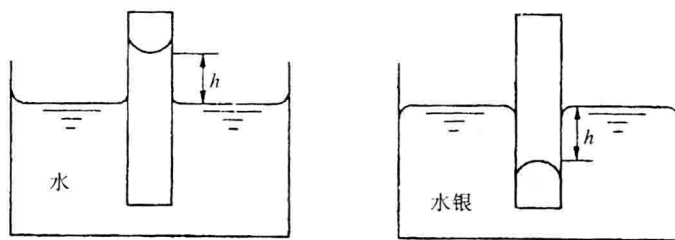


图 1.4

对于温度为 20°C 的水,玻璃管中水面高出容器中水面的高度为

$$h = \frac{29.8}{d} (\text{mm})$$

对于温度为 20°C 的水银,玻璃管中水银面低于容器中水银面的高度为

$$h = \frac{10.15}{d} (\text{mm})$$

上两式中 d 为玻璃管的内径,单位为 mm 。

由两式可见,管径 d 愈小, h 愈大。所以在实验时使用的测压管内径不宜太小,一般以 d

≥10mm 为宜,否则还应考虑由毛细管作用所带来的试验误差。

§ 1—3 水与人类的关系

一、水与人类的关系

俗语说“鱼儿离不开水”。因为鱼是水生生物,在无水环境中只能停留几小时,甚至几十分钟就可能丧失生命。然而,并非只有鱼儿离不开水,同样,地球上所有的生物都离不开水,例如植物、动物以及智慧的人类都离不开水。

地球上生命从孕育的第一天起,就与水休戚相关。生命的任何现象都与水紧密相连,生命演化的任何一个步骤都离不开水。换句话说,水就是生命,没有水就没有生命现象。

水是生物体最基本的组成成分。虽然地球上生物的种类千差万别,生命的形式千奇百怪,进化的程度参差不齐,外观的尺寸大小各异,但他们有一个共同的特点,就是体内水的含量一般都在 60%~80%之间。如,水母、香蕉、黄瓜等含水量都在 90%以上,也就是说,这些生物体主要是由水来建造的;鱼类体内水分含量一般是在 70%~80%左右;藻类在 90%以上;就连人类也不例外;成年人一般体内水分约占其体重的 65%~70%,其中神经组织水分高达 95%左右,血液含水量约 80%左右,骨骼含水量也在 30%左右。儿童体内水分含量一般比成年人还要高一些。正因为如此,医生们才告诫我们:脱水是相当严重的事件,如果人体内丧失 2%的水,人就会感到头晕、眼花、烦躁不安;损失 15%的水时,就出现脱水热,引起昏迷、酸中毒或者尿中毒;如果继续失水,超过体重的 25%,那就可能危及生命。所以,一个成年人一昼至少应该补充 2.5~4 L 左右的水,才能维持体内水分的相对平衡。

二、人类与水的关系

我国著名的水文学家谢家泽教授曾将人水关系划分为几个时代,现根据谢先生的观点,将人类与水的关系作以简单介绍。

(一)原始社会阶段的人水关系

在这个阶段,由于生产力水平较低,人水关系仅是简单的“人适应水”。综观全球人类文明史,人类的祖先大多都是在沿河地区发生发展起来的:尼罗河哺育了古老的埃及民族,造就了金字塔的奇迹;底格里斯河和幼发拉底河流域为中心的美索不达米亚平原,造就了古巴比伦王国的辉煌;恒河使得印度有了灿烂的古代文明;黄河则孕育了中华民族古老的文明史,人们亲切称其为“母亲河”。

(二)古代社会的人水关系

随着人类文明的进步,人类从简单的捕鱼、打猎,发展到农牧业生产。为了适应农牧业生产,人类就开始主动地利用水资源,这时的人水关系就从简单的“人适应水”发展到“人适应水为主,水适应人为辅”。例如,我国宁夏的引黄灌溉事业,从秦汉时期就开始了,到西汉时期就已经初具规模了。这个时期人类就有意识地对水资源进行增利减害的开发利用。

(三)近代社会的人水关系

到了近代工业社会以后,科学技术进步了。当时在“人定胜天”的思想指导下,主观上企

图达到“水适应人为主,人适应水为辅”的人水关系阶段。这个阶段的特点是大规模兴建各种水利工程措施,试图对水资源进行多目标开发综合利用,不仅增利减害,而且要兴利除害。当然,这里所说的“水适应人”,是指工程和非工程措施的对策(如筑坝),而不是改造天气。现在回过头来看,这个阶段给以后的水资源开发利用带来了许多问题。

(四)现代阶段的人水关系

随着时代推移,现代人类认识到人应该与水协调发展,而不应该盲目地“战胜”自然。这个阶段的人水关系是“水适应人与人适应水相结合,人和水的关系是人类社会和自然界关系的组成部分”。在此阶段,人类对水资源的对策措施也由工程措施为主转化到工程措施与非工程措施相结合。人们已经意识到社会、经济、法律、政治等各种非工程措施对水资源开发利用的重要性。人水关系应该是在社会和自然的协调关系下的组成部分。人类在开发水资源的同时,应该注意保护珍贵的水资源,而违背自然规律,是要遭到自然的“惩罚”的。人和水都是整个社会的组成部分,两者要协调发展,为更加美好的人类的明天而努力。

二、水与环境的关系

地球上的生命开始于水,生命的存在也依赖以水。水是整个生态环境的重要组成要素之一。水对于生命的作用比其他任何物质都无法替代的,几乎影响到自然环境的各个方面。另一方面,人类在控制和利用水的同时,势必也给水以很大的影响,如果不符合水的客观规律,其结果将使水的理、化和生物特性恶化,使水的状态和空间分布也发生剧烈的变化,并带来很多意想不到的后果。按目前的认识,水对环境的影响大体有以下几个方面:

1. 由于对水的物理规律和运动规律的认识还不够,以至于在控制和利用水时作出错误的判断,造成水利工程不安全或者失事,以致经营数十年的水利一夜之间变成水害,给人民生命财产造成巨大损失;

2. 由于天然的、特别是人为的化学污染、热污染、油污染以及其他沉积物,破坏了作为资源的水的价值,破坏了水生资源,给人类带来严重疾患;

3. 水利工程改变了水的时空分布,将给气候、水系、生态、地质甚至地震造成不同程度的近期和远期的影响;

4. 由于不合理的调水和灌溉引起土壤盐渍化、疾病蔓延、污染转移;

5. 由于不合理超采地下水,使水位大幅度下降,导致水质恶化、植被枯萎、地面沉陷、海水入侵;

6. 由于与水域争田,不合理的围湖修圩,使调蓄或泄洪能力降低,易成水灾,甚至破坏水产资源和生态平衡;

7. 盲目垦山伐林、过度放牧,加剧水土流失,导致水源枯竭甚至发生沙漠化;

8. 由于在开发利用水资源时考虑不周,忽视水域环境综合平衡或进行破坏,使生物遗传基因受到危害,使某些生态系统遭受毁灭,给子孙后代的可持续发展造成隐患;

9. 给世界文化和自然遗产、名胜古迹等带来不可弥补的损失;

10. 今后人类还将不断用新的手段影响水,如降雨控制、蒸发抑制、地下水回灌、海水利用等,对环境将有更多、更深的影

三、水与人类可持续发展的关系

水与人类社会经济可持续发展的关系,可简单归结为:水灾的有效防治和水资源的可持续利用,尤其以水资源的可持续利用最为重要。

水灾是难以根本消除的。无论防治水灾标准如何提高,稀遇的水灾仍然会出现,仍然可能超过防御标准,从而造成灾害损失。所谓“有效防治”主要是指在一定的经济发展阶段,在科学技术和财力允许的情况下,尽量减少灾害损失,将超标准洪水的灾害控制在不损害一个地区社会经济总体继续发展的程度之内。因此,对水灾的防治,必须随着社会经济的发展而不断提高防御标准,并将超标准灾害有效地限制在一定的范围之内,以局部暂时的损失换取全地区总体的持续发展。

水灾防治的具体办法表现为:整治和开挖河道,加高加固堤防,增加河道泄洪能力,保护两岸土地和城镇;修建水库等大型水利工程,消减下游洪峰、洪量,滞后洪峰;设置分洪、滞洪设施,淹局部地区,减少河道流量,保堤保安全;完善和健全防洪通信系统;建立包括流域自然地理条件(如地形、地貌、地质、水文、气象等)、社会经济条件(工、农业总产值、国民经济总产值、人口、铁路、公路等)在内的流域综合信息数据库,为防洪减灾服务;一旦灾害发生,应积极组织抗灾,并迅速组织灾后重建工作,尽可能以最快的速度恢复工农业生产,将损失降低到可能的最低程度。

水资源持续利用是可持续发展框架下水资源利用的一种新模式,是水资源综合开发、利用、保护、防治和管理统一最合理的利用方式。具体来说,就是既要保证水资源开发利用的连续性和持久性,又要使水资源的开发利用尽量满足社会与经济不断发展的需求,两者必须密切配合。没有可持续开发利用的水资源,就谈不上社会经济的持续、稳定发展;反之,如果社会、经济发展的需求得不到水资源系统的支持,则会反作用于水资源系统,影响甚至破坏水资源开发利用的可持续性。

水的可再生性是水资源可以持续利用的基本依据。地球上的自然资源有两大类:一类是形成于地质年代,一旦采用就很难恢复再生的资源,多数矿产资源属于这一类。对于这一类资源如果无限利用,则总会有一天使其耗竭,因此,对这类资源就不能提“可持续开发”,而只能注意节约和有效利用,以延长可采期,并努力在其耗竭之前寻找可替代的资源或以人工合成来代替。另一类是可在自然过程中恢复再生的自然资源,如生物资源和水资源。对这类资源的利用,就要使消耗量小于或大致等于其自然恢复再生的能力,从而使其达到持续开发利用。

从系统科学的观点来看,水资源持续利用的实现,就是水资源——生态系统与环境——社会经济复合系统持续发展功能的体现。水在人类社会可持续发展中的作用和功能,主要表现在在数量上和质量上满足日益增长的人口和经济发展的需求的同时,不会对水资源在数量上和质量上的可再生性造成破坏,保证其永续利用。

为了使水与人类社会可持续发展处于良好状态,必须进行以下基本工作:①对全社会持续不断地进行有关水问题的宣传教育,提高人对水的全面认识,正确处理人与水的关系,节水型社会的观念逐步树立,日益强化;②从社会经济长远发展出发,将水资源作为全社会的共有财富;③实施水资源的统一管理和可持续发展战略下的科学管理;④完善有关水的法律 and 与社会经济不同发展水平相适应的规章和政策;⑤研究可持续发展战略和水资源持续利