

GAODENG YUANXIAO JINGPIN
GUIHUA JIAOCAI

高等院校精品规划教材

工程水文水力学

◎ 主 编 张春满 郭 毅

◎ 副主编 王勤香 张宇华



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

GAODENG YUANXIAO JINGPIN

GUIHUA JIAOCAI

高等院校精品规划教材

工程水文水力学

主编 张春满 郭毅

2007年出版

ISBN 978-7-5084-4787-5

主编 张春满 郭毅

副主编 王勤香 张宇华

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第132038号

中国水利水电出版社 北京市西城区百万庄大街2号 邮编:100044 电话:(010) 88383894, 88383893 北京科水图书营销中心(零售) 电话:(010) 88383894, 88383893 E-mail: sales@waterpub.com.cn 网址: www.waterpub.com.cn	作者 张春满 郭毅 主审 王勤香 张宇华 中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044)
中国水利水电出版社 北京市西城区百万庄大街2号 邮编:100044 电话:(010) 88383894, 88383893 北京科水图书营销中心(零售) 电话:(010) 88383894, 88383893 E-mail: sales@waterpub.com.cn 网址: www.waterpub.com.cn	书名 工程水文水力学 高等院校精品规划教材



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

本书责任编辑: 王勤香, 封面设计: 王勤香, 印刷: 北京科水图书营销中心

ISBN 978-7-5084-4787-5

内 容 提 要

本书是为普通高等专科学校水利水电工程专业、水文水资源专业、水利工程专业、给水排水专业、水利工程监理专业、水土保持专业、水电站建筑等专业编写的教材。全书共分10章,包括绪论、水静力学、水流运动的基本原理、管流、明渠水流、闸孔出流和堰流、泄水建筑物下游水流衔接与消能的水力计算、河流水文、水文统计的基本原理与方法、设计洪水的推求。各章有小结、习题和常用图表。

本书也适用于成人专科学校、普通本科院校的高等职业技术学院同类专业的教学,还可供水利水电工程技术人员和水利类其他专业技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程水文水力学/张春满,郭毅主编. —北京:中国水利水电出版社,2007

高等院校精品规划教材

ISBN 978-7-5084-4787-2

I. 工… II. ①张…②郭… III. ①工程水文学—高等学校—教材②水力学—高等学校—教材 IV. TV1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 132038 号

书 名	高等院校精品规划教材 工程水文水力学
作 者	主编 张春满 郭毅 副主编 王勤香 张宇华
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 15.5印张 368千字
版 次	2007年9月第1版 2007年9月第1次印刷
印 数	0001—3200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

本教材是按照高职高专水利水电工程专业的“水力学”和“工程水文学”课程教学大纲编写的，同时参考了水利工程、给水排水、水文水资源、水电站建筑、水土保持等专业教学大纲的要求。

本书在编写过程中力求概念清晰、深入浅出、联系实际，理论上以适当够用为度，不苛求学科的系统性和完整性，整合理论教学内容，聘请有关厅局、设计研究院的科技骨干共同参与编写，在内容上力求结合专业、突出实用，体现高职高专教育的特色。

参加本书编写的有黄河水利职业技术学院张春满（第1章、第6章、第10章的10.4节）、河南省水文水资源局张广林（第2章、第9章的9.4节）、郑州市市政工程勘测设计研究院芦书林（第3章）、黄河水利职业技术学院王勤香（第4章、第10章的10.1节和10.2节）、黄河水利职业技术学院张宇华（第5章）、广东省珠海市水务局黄彦（第5章的5.2节）、河南省水利厅张连富（第7章、第10章的10.3节）、黄河水利委员会水文局郑泊亭（第8章）、黄河水利职业技术学院郭毅（第9章的9.1节~9.3节）。本书由张春满、郭毅担任主编，王勤香、张宇华担任副主编，由黄河水利职业技术学院张耀先教授主审。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2007年7月

目 录

前 言

第 1 章 绪论	1
1.1 工程水文水力学课程位置与任务	1
1.2 液体的基本特性及主要物理力学性质	1
1.3 作用在液体上的力	5
1.4 工程水文水力学研究方法	5
小结	7
习题	8
第 2 章 水静力学	9
2.1 静水压强及其特性	9
2.2 静水压强的基本方程	12
2.3 静水压强的测算	15
2.4 平面壁上静水总压力的计算	18
2.5 曲面壁上静水总压力的计算	23
小结	26
习题	27
第 3 章 水流运动的基本原理	30
3.1 概述	30
3.2 恒定流的连续性方程及其应用	34
3.3 恒定流的能量方程及其应用	35
3.4 恒定流的动量方程及其应用	43
3.5 水头损失的计算	47
小结	56
习题	57
第 4 章 管流	60
4.1 概述	60
4.2 简单短管的水力计算	61
4.3 简单长管的水力计算	66
小结	69
习题	70
第 5 章 明渠水流	72

5.1 明渠的几何特性	72
5.2 明渠均匀流的水力计算	74
5.3 明渠水流的三种流态及其判别	85
5.4 水跌与水跃	93
5.5 明渠恒定非均匀渐变流基本方程	99
5.6 棱柱体渠道恒定非均匀渐变流水面线定性分析	101
5.7 明渠恒定非均匀渐变流水面曲线计算	105
5.8 弯道水流简介	110
小结	111
习题	113
第6章 闸孔出流和堰流	116
6.1 概述	116
6.2 闸孔出流水力计算	117
6.3 堰流水力计算	122
小结	131
习题	132
第7章 泄水建筑物下游水流衔接与消能的水力计算	133
7.1 泄水建筑物下游水流衔接与消能的基本形式	133
7.2 底流式衔接与消能的水力计算	134
7.3 挑流式衔接与消能的水力计算	143
小结	146
习题	146
第8章 河流水文	148
8.1 水循环及水量平衡	148
8.2 河道、水系、流域及其特征	149
8.3 降水与蒸发	153
8.4 径流	158
8.5 河流输沙量计算	166
小结	170
习题	170
第9章 水文统计的基本原理与方法	172
9.1 水文统计的基本概念	172
9.2 经验频率曲线	175
9.3 理论频率曲线	179
9.4 相关分析在水文计算中的应用	199
小结	204
习题	205

第 10 章 设计洪水的推求 206

10.1 概述 206

10.2 由流量资料推求设计洪水 208

10.3 小流域设计洪水的推求 223

10.4 设计年径流计算 233

小结 238

习题 238

参考文献..... 239

第 1 章 绪 论

1.1 工程水文水力学课程位置与任务

1.1.1 在本专业的位置及性质

工程水文水力学课程是水利类专业的一门重要的技术基础课，主要介绍有关基本原理与基本方法，为专业课的学习作前期基础理论应用训练及业务技能的培养。

工程水文水力学分为两大内容，在学科方面有着各自独立的体系，但在应用方面却有着密切的关系。因此本书分为水力学、水文学两部分（第 1 章至第 7 章为水力学部分，第 8 章至第 10 章为水文学部分）。水力学不仅是工程水力计算的基础，而且是水文资料的收集与整理的理论依据，而水文分析与计算的结果则是水力学理论计算的不可缺少的数据。水力水文计算结果则是水利工程规划、设计、施工和管理的依据。

1.1.2 工程水文水力学的任务

水力学是力学的一个分支，其任务是研究以水为主的液体在静止或平衡状态的基本规律及在工程中的具体应用，本书侧重于基本方法的应用。

水文学属于河川水文学的范畴，具有较强的专业特点，应用性很强。主要研究自然界的运行与河川径流的关系。在水利工程中主要研究降水与河川径流的关系，为水利工程提供依据，由于降水、径流的影响因素极其复杂，所以水文学的计算除水力学理论外，还引用了数理统计的方法，按水文现象概率分析去预估未来水文趋势选定设计依据。

1.2 液体的基本特性及主要物理力学性质

1.2.1 液体的基本特性

自然界的物质有固体、液体、气体三种形态。液体的基本特性主要是研究液体与固体、气体的区别。固体能保持固定的形状和体积，能够承受一定的拉力、压力和剪切力。与固体相比，液体只能保持一定的体积，没有固定的形状。液体几乎不能承受拉力，抵抗拉伸变形，在静止状态下也不能承受剪切力，极易发生剪切变形或流动，但液体与固体一样能够承受压力。气体不仅没有固定的体积，也没有固定的形状，它可以任意扩散充满其所占据的有限空间，所以气体极易膨胀和压缩。液体与气体相比，液体的压缩性很小，但它们都具有易流动性，所以液体、气体又统称为流体。

液体是由分子组成的。从微观角度看，液体分子之间具有空隙，并且在进行着复杂的微观运动，是不连续、不均匀的。由于我们研究的是液流的宏观机械运动，不关心液体分子的微观运动，所以引入了液体具有连续性的假定，即认为液体是由无数液体质点所组成的中间没有空隙存在的连续介质。这样就可以运用数学中的连续函数来分析水力学问题。实践证明，这一假定对研究的问题有足够的精确性。液体质点是由许多液体分子组成的，

它是水力学研究液体的最小单位。

总之，在水力学研究中的液体是：容易流动、不易压缩、均匀等向的连续性介质。

1.2.2 液体的主要物理力学性质

1.2.2.1 惯性、质量和密度

惯性是物体保持其原有运动状态的特性。惯性的大小与物体的质量、加速度成正比，物体的惯性可以用质量度量。一个物体所含物质的多少叫物体的质量，质量的单位为 kg，用“ m ”来表示。质量大的物体，惯性越大。若物体的质量为 m ，加速度为 a ，则惯性力为 $F=ma$ 。

若质量是均匀的，可以用密度表示，单位体积内液体所具有的质量称为密度，用符号 ρ 表示，若体积为 V ，质量为 m ，则密度为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

密度的单位为 kg/m^3 ，一般液体的密度随温度和压强的变化而变化。但变化很小，所以水利工程中，常把在一个标准大气压下、温度为 4°C 时水的密度 $\rho=1000\text{kg}/\text{m}^3$ 作为日常计算值。

1.2.2.2 万有引力特性、重量和容重

万有引力特性是指物体之间相互吸引力的性质，这种相互的吸引力称作万有引力。表示在物体与物体之间的相互吸引力，包括地球上的物体受到地心的引力，这种地球对物体的引力称为重力，重力又称为重量。如果物体的质量为 m ，则重量为 $G=mg$ ， g 为重力加速度，水力计算中通常采用 $g=9.8\text{m}/\text{s}^2$ ，重力的单位为牛 [顿] (N) 或千牛 [顿] (kN)，1 牛 [顿] 的力的定义为：能使质量 $m=1\text{kg}$ 的物体产生的加速度 $a=1\text{m}/\text{s}^2$ 的力，称为 1 牛 [顿]。

对于均质液体又可以用容重表示，单位体积内所具有的重量为容重，用 γ 表示，如果液体重量为 G ，体积为 V ，其容重为

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1.2)$$

将 $G=mg$ 代入上式，可得

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (1.3)$$

或

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad (1.4)$$

容重的单位是 N/m^3 或 kN/m^3 ，不同的液体具有不同的容重，同一种液体，其容重随温度和压强而变，但变化很小，水利工程中一般按常数计算。采用一个标准大气压下，温度为 4°C 时水的容重 $\gamma=9800\text{N}/\text{m}^3$ 或 $\gamma=9.8\text{kN}/\text{m}^3$ 作为日常计算值。如果液体为水银，则水银的容重 $\gamma_m=133.28\text{kN}/\text{m}^3$ 。

1.2.2.3 粘滞性

液体的粘滞性又称为粘性，液体是易流动的物体，液体在流动的过程中，其质点间、流层之间都存在相对运动，因此在质点间、流层间产生一种内摩擦力（也称粘滞力），以抵抗其相对运动产生的剪切变形，液体的这种性质称为粘滞性。

液体粘滞性的大小,常用粘滞系数 μ 和 ν 来表示, μ 称为动力粘滞系数,单位用 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 表示, ν 为运动粘滞系数,它是表示粘滞性大小的另一种方式。 ν 是动力粘滞系数 μ 和液体密度 ρ 的比值,其计算式

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.5)$$

ν 的单位常用 m^2/s ,不同种类的液体具有不同的粘滞系数,对于同一种液体,随着温度的变化,粘滞性的大小也不同,温度升高粘滞性反而减少,表1.1列出了不同温度时水的运动粘滞系数值。

表 1.1 不同温度时水的运动粘滞系数值

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	容重 γ (kN/m^3)	密度 ρ (kg/m^3)	动力粘滞系数 μ ($10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$)	运动粘滞系数 ν ($10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$)	压缩系数 β ($10^{-9}1/\text{Pa}$)	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

由于粘滞性的存在,使得明渠水流中横断面上各点的流速分布不同,渠底流速小而表层流速大。近底流速为零,离底越远,流速越大,至水面处流速最大。断面上某垂线上的流速分布如图1.1所示。

图1.1所示的流速分布表明:紧靠渠底的极薄水层由于附着力作用而粘在渠底不动,该水层通过粘滞作用影响上面的第二层水的流速,第二层水又通过粘滞作用而影响第三层水的流速,依此类推,水面处受到底面传来的粘滞性影响最小,所以流速最大。同理知管流中边壁处的流速最小,而管流中心处流速最大。

1686年,牛顿根据试验提出:对于平行直线流动的牛顿液体,液体的

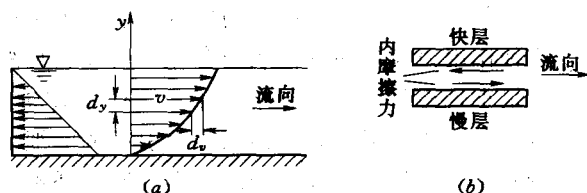


图 1.1

内摩擦力 F 与液体的性质和温度有关, 与流速梯度 $\frac{du}{dy}$ 和接触面积 A 成正比, 与接触面上的压力无关, 其表达式为

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

这一结论得到了后人验证, 被称为牛顿内摩擦定律。式中 μ 为动力粘滞系数。由于液体的内摩擦力与作用面平行, 单位面积上的内摩擦力又称为粘滞切应力, 以符号 τ 表示。

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

作用在两相邻液层之间的粘滞切应力 τ 数值相等, 方向相反。

粘滞性是运动液体固有的特性, 正因为液体具有粘滞性, 所以液体在流动过程中就要克服内摩擦力做功, 而消耗自身原有的能量, 使能量不断减少而损失, 损失的能量随着水流的运动化为热能而消散。所以粘滞性是液体产生能量损失的根本原因。

但在研究水流运动的过程中, 为使问题简化, 常常暂不考虑液体的粘滞性, 这种不考虑液体粘滞性的液体称为理想液体。

1.2.2.4 压缩性

当液体受压后体积缩小的性质为液体的压缩性, 当压力去掉以后, 体积恢复原来状态的性质为弹性。液体压缩性的大小, 以体积压缩系数 β 或体积弹性系数 K 表示。 β 值等于液体体积的相对压缩量 $\frac{dV}{V}$ 与液体压强的增值 dp 之比。由于体积随压强的增大而减小, 故

$\frac{dV}{V}$ 与 dp 的符号相反, β 的表达式为

$$\beta = - \frac{\frac{dV}{V}}{dp} \quad (1.8)$$

体积弹性系数 $K = \frac{1}{\beta}$, K 值越大, 越不易压缩。在国际单位制中, β 的单位为 m^2/N , K 的单位为 N/m^2 。不同种类液体的 β 值和 K 值不等, 同一种类液体的 β 值和 K 值随温度和压强的变化而改变 (见表 1.1), 但变化甚微, 一般可看作常数。水的可压缩性很小, 如在 $4^\circ C$ 时, 每增加一个大气压, 水的相对缩小量还不足 $1/20000$, 所以一般的水力学问题中, 可以认为水是不可压缩的。只有压强变化过程非常迅速的高压管道中的水流运动, 才会考虑液体的压缩性。

1.2.2.5 表面张力特性

表面张力是由于液体和大气相接触的自由表面上的液体分子, 一侧受液体分子引力, 另一侧受气体分子引力, 由于两侧分子引力不平衡, 使自由表面上受到的极其微小的作用力。这种作用力仅仅在液体表面存在, 所以它是液体表面上的一种局部受力现象, 这种表面张力很小, 通常情况下忽略不计。只有在水力学实验中, 或者研究液体在多孔介质的地下水运动中, 才会考虑因表面张力而引起的毛细现象。

液体所具有的上述 5 个物理力学性质, 都不同程度地影响着液体的运动, 但每一种特性对水流的影响程度各不相同, 一般来讲, 惯性、万有引力特性、粘滞性对液体运动的影

响起重要作用,而压缩性和表面张力特性仅在某些特殊的水流运动中才会发生。

综上所述:液体是一种易于流动的、不易压缩的、均质的、等向的(同一质点上各方向受力情况是相同的)连续性介质。

1.3 作用在液体上的力

1.3.1 质量力

质量力是由液体的质量而产生的作用力,它作用于液体的每个质点上,与液体的质量成正比,如惯性力、重力都属于质量力。对于均质液体,质量和体积成正比,故质量力又称为体积力。作用于单位质量液体上的质量力,称为单位质量力,其单位为 m/s^2 。若液体的质量为 M ,作用于液体上的质量力为 F ,则单位质量力 $f=F/M$ 。设质量力 F 在空间坐标轴上的投影分别为 F_x 、 F_y 、 F_z ,单位质量力 f 在坐标轴上的投影为 X 、 Y 、 Z ,那么

$$X = \frac{F_x}{M} \quad Y = \frac{F_y}{M} \quad Z = \frac{F_z}{M} \quad (1.9)$$

1.3.2 表面力

作用于液体表面上的力称为表面力。它与受作用的液体表面积成正比,如固体边界对液体的作用力;相邻两部分液体,一部分对另一部分产生的水压力等,都属于表面力。表面力可分为垂直作用面的压力和平行作用面的剪切力(液体几乎不能承受拉力,可忽略)。单位面积上作用的表面力称为应力。垂直液体表面的应力称为压应力或压强,用符号 p 表示;平行液体表面的应力称为切应力,用 τ 表示。

1.4 工程水文水力学研究方法

1.4.1 水力学研究方法

1.4.1.1 理论分析

水力学是建立在物理学和力学的理论基础上,它应用物理学和力学的基本原理,通过严格的数学分析,建立了液体平衡和运动的基本方程,如液体的平衡方程、水流的连续方程、能量方程和动量方程等,奠定了水力学的理论基础。随着科学实验以及试验观测水平的不断提高,进一步推动了水力学理论的发展,并在科学实验的基础上,形成了近代水力学的系统理论。理论分析,就是利用这些理论分析、解决工程建设中所提出的各种水力学问题。

1.4.1.2 科学试验

由于水流运动的复杂性和水利水电工程的不重复性,工程实践会不断出现一些还不能完全用理论来解决的水力学问题,这就需要进行科学试验。现阶段研究水力学问题的科学试验主要有两种:

(1) 原型观测。在野外或工程现场,用仪器设备直接观测水工建筑物或河渠中的水流运动要素和水流现象,为检验理论分析成果或总结某些基本规律提供依据。

(2) 模型试验。水利工程中的水流现象是复杂多变的,加之理论分析的局限性,许多

实际工程提出的问题,单靠理论分析是不够的,这就需要根据相关的相似原理,按照一定的比尺,把实际工程缩小,作为模型,在模型上预演原型上相应的水流运动,总结出其运动规律,然后按相似关系换算为原型的数值,以满足工程设计的需要。

1.4.1.3 量纲分析

在试验中为了从观测的试验数据,总结出水流的运动规律,除了用理论分析、处理试验数据外,还需要应用“量纲分析”这个工具。

(1) 量纲。在水力学研究中,需要用物理量表述水流现象及其规律,如长度、时间、力、流速、粘滞系数等,表示这些物理量的性质和类别就是量纲(也称因次)。长度的量纲用 $[L]$ 、质量的量纲用 $[M]$ 、时间的量纲用 $[T]$ 、力的量纲用 $[F]$ 等。

量纲可分为基本量纲和诱导量纲。基本量纲是一组彼此独立,不能相互表示,但可以表示其他物理量的量纲。如长度 $[L]$ 、质量 $[M]$ 、时间 $[T]$ 为基本量纲。

诱导量纲是由基本量纲推导出的其他物理量的量纲。对于力学问题,任何一个物理量的量纲都是由基本量纲 $[L]$ 、 $[T]$ 、 $[M]$ 导出,如速度、加速度、力的量纲可分别表示为:速度的量纲 $[v] = [L]/[T] = [LT^{-1}]$;加速度的量纲 $[a] = [L]/[T^2] = [LT^{-2}]$;力的量纲 $[F] = [M][a] = [M][LT^{-2}] = [MLT^{-2}]$ 为诱导量纲。

量纲与单位不同,量纲是物理量的质的表征,单位是物理量的量的表征,是度量物理量数值大小的标准,如时间为 1h,可用 60min、3600s 等不同的单位表示,但无论用何种单位计量时间,它们都具有同一的时间量纲。

我国实行的法定计量单位,主要是国际单位制,长度的单位为 m,时间的单位为 s,质量的单位为 kg。除此以外,我国工程界常使用工程单位制,工程单位制中长度的单位为 m,时间的单位为 s,力的单位为 kgf。两种单位制力和质量的换算关系为

$$1\text{kgf} = 1\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 = 9.8\text{N}$$

$$1\text{kgf} = 1/9.8\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m} = 0.102\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}$$

如果物理量的量纲为 $[1]$,则称为无量纲数。如水面坡度 $[J]$ 可用水面落差 Δh 和流程 L 的比值表示, $J = \Delta h/L$,量纲式为 $[J] = [L]/[L] = [1]$,即为无量纲数。

(2) 量纲和谐原理。任何一个能正确反映客观规律的物理方程,其中各项的量纲都必须是一致的,这就是量纲和谐原理,它是量纲分析的基本原理。利用量纲和谐原理既可以用来检查所建立的方程式或经验公式的正确性和完整性,而且还可以在试验研究的基础上,通过量纲分析建立物理方程。

1.4.2 水文现象的特点及水文学的研究方法

1.4.2.1 水文现象的特点

水文现象是由自然界中各种水体循环变化形成的。比如降水、蒸发、地下水、地表水等。所以水文现象的影响因素和变化过程非常复杂,通过对水文现象的长期观测、分析研究,发现水文现象具有随机性、周期性、地区性等特点。

(1) 随机性(也称为不重复性)。是指水文现象在时间上和数量上的发生是不可能完全一样的出现。如河流上每年发生的第一次洪水的时间和大小都是不可能重复出现,这主要是因为影响因素多且非常复杂,除必然因素外,还有偶然因素的影响,使得水文现象表现出随机性或不重复性的变化特点。

(2) 周期性。是指水文现象具有周期地循环变化的特点,例如河流中水流每年都有洪水期和枯水期。这主要是地球的公转和自转导致气候的季节性变化引起的。由于气温具有周期性变化,水文现象的变化具有日周期性变化、年周期性变化和多年周期性变化。

(3) 地区性。是表示水文现象受气候因素和下垫面因素的影响,在自然地理条件相同的地区,其影响因素相似的地区,水文现象在一定程度具有相似性特点。在自然地理条件不同的地区,水文现象具有很大的差异性。比如,我国南方地区气候湿润多雨,一年四季降水比较均匀,使得河流的水量在一年四季内变化也较均匀;而北方地区干旱少雨,一年中降水主要集中在夏秋两季,相应的河流水量也较大,而且变化剧烈,冬春两季雨水较小,河流的水量也就减少,且变化平缓。

1.4.2.2 水文学的研究方法

根据水文现象的基本特点,研究水文学的方法主要有以下三种:

(1) 成因分析法。从水文现象的物理成因入手,对实测水文资料的分析,研究水文现象的形成过程,揭示水文现象的本质及其相互联系,建立水文现象各要素与影响因素间的定性、定量关系。该法物理概念清楚,在水文现象的定性分析及水文预报中应用较为广泛,但由于水文现象影响因素的多变性和复杂性,在应用上受到一定的限制。

(2) 数理统计法。由于水文现象具有随机性等特点,利用概率论对实测的水文资料进行统计分析,总结水文现象特征值的统计规律,并运用这种规律为水利工程的规划设计提供所需的水文数据;利用水文现象的两个或多个影响因素关系的随机性进行相关分析,用于插补延长水文资料系列,以弥补实测资料的不足。这是目前水文分析计算的主要方法,由统计分析的结果预估、推测未来水文情势的变化。在实际中应用相当广泛,但是由于这种方法不能揭示水文现象的本质规律,所以需要和成因分析法结合使用,以达到较为满意的结果。

(3) 地区综合法。前面已述,水文现象在气候及下垫面条件相似的地区具有相似性。因此可按地区分析水文要素的地区变化规律。并把这些规律用等值线图或地区经验公式表示,如有很多地区都有多年平均年径流深等值线图、洪水经验公式等。利用这些等值线图或经验公式可以解决缺乏实测资料地区的水文设计问题。

以上三种方法不是孤立的,是相辅相成、互相补充的,但每种方法都必须注重水文资料的审查分析,因为水文资料是进行计算的基础。

小 结

本章的主要内容是:工程水文水力学研究对象、研究方法、任务和液体的主要物理力学性质。通过本章学习应该懂得:

(1) 水力学研究的对象和任务是什么,水力学研究的主要问题是什么,水力学研究方法有理论分析、科学试验。水文学、水力学在专业学习中的地位和作用。

(2) 了解液体的主要物理力学性质,有惯性、万有引力特性、粘滞性、压缩性和表面张力特性五种。

(3) 粘滞性是运动液体所固有的特性,是引起水流能量损失的根源,是横断面上各点流速不同的主要原因。应熟练掌握水流的粘滞性及其应用。

(4) 液体是一种易流动的、不易压缩的, 具有粘滞性的、均质各向同性的连续性介质。

(5) 了解水文现象的随机性、周期性和地区性的基本特点。

(6) 了解水文现象的研究方法。

习 题

1.1 500L 水在 4°C 时, 其重量和质量各是多少?

1.2 酒精的容重是 $8000\text{N}/\text{m}^3$, 它的密度是多少? 5000L 酒精的质量又是多少?

1.3 已知海水的容重为 $10000\text{N}/\text{m}^3$, 其密度是淡水 (4°C) 的多少倍?

1.4 实际液体与理想液体的区别是什么? 为什么要研究液体的粘滞性?

1.5 什么是水文现象的随机性?

1.6 水文现象的研究方法与基本特点的关系。

第2章 水静力学

水静力学主要的任务是研究液体处于静止状态时的平衡规律及其在工程实际中应用。

液体的静止状态有两种：一种是液体相对地球没有运动的静止状态，比如水库、蓄水池中静止的水；另一种是液体相对地球有运动的相对静止状态，但液体与容器之间及液体质点之间没有相对运动，例如作等加速运动的油罐车中的石油，等角速旋转容器中的液体都属于相对静止状态，又称相对平衡状态。处于静止状态液体质点之间没有相对运动，液体质点之间的产生内摩擦力为零，所以水静力学问题中不考虑液体的粘滞性。

2.1 静水压强及其特性

2.1.1 静水压强

图 2.1 为涵洞式水闸中设置的平板闸门，当上游有水时开启闸门比无水开启闸门需要更大的拉力，其原因是水闸前的水对闸门有作用很大的压力，使闸门与闸门槽之间产生摩擦力。另外水对大坝坝面、蓄水池池壁都有压力；在液体内部，一部分液体对相邻的另一部分液体也有压力作用。像这种平衡液体作用在与之接触的表面（可以是固体表面，也可以是液体表面）上的水压力称为静水压力，常以字母 P 表示。在国际单位制中，静水压力的单位为牛顿（N）或千牛顿（kN）。受压面面积用字母 A 表示，单位为平方米（ m^2 ）。

图 2.1 所示的平板闸门上，取微小面积 ΔA ，作用于上的静水压力为 ΔP ，则 ΔA 上所受的静水压力为

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

$\bar{p}$ 称为 ΔA 面上的平均静水压强，表示的是 ΔA 面上的平均压强，只有在受压面受力均匀时才会出现这种情况，在水下受力通常是不均匀的，因此必须建立点压强的概念。

在图 2.1 中，当 ΔA 无限缩小并趋于点 K 时， ΔA 趋近于 0 时，比值 $\frac{\Delta P}{\Delta A}$ 趋于某一极限，该极限值定义即为 K 点的静水压强，静水压强用小写英语字母 p 表示，即

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

式 (2.2) 中的静水压强是指点 K 的静水压强，在水力学中又叫点静水压强，即受压面上某点单位面积上的静水总压力。在国际单位制中，静水压强的单位为牛/米²（ N/m^2 ）

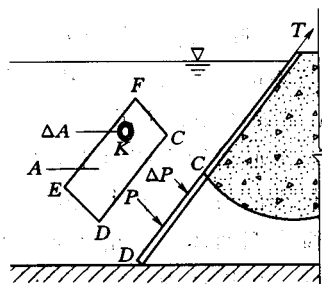


图 2.1

或千牛/米² (kN/m²), 分别又称为帕 (Pa) 或千帕 (kPa)。静水压强与静水压力是两个不同的概念, 其单位也不同。

2.1.2 静水压强的特性

静水压强有两个重要特性。

(1) 一个是反映静水压强方向的垂直性, 静水压强的方向垂直并指向受压面。

证明: 在平衡液体中取出一块液体, 用任一平面 $N-N$ 将液体分为 I、II 两部分, 如图 2.2 (a) 所示。取出下半部 II 为隔离体, 如图 2.2 (b) 所示。作用在切割面上的力就是两部分液体之间的相互作用力。假设切割面点 K 所受的静水压强 p 任意作用在切割面上, 则 p 可分解为切向分量 p_t 和法向分量 p_n 。通过前面的学习中我们知道, 静止液体不能承受剪切力和拉力, 若有切向分量 p_t 存在将使 I、II 部分发生剪切变性, 从而破坏液体的静止平衡状态。若假设 p 是指向作用面的外法线方向, 则 I、II 两部分存在拉力, 液体的静止平衡也将遭到破坏, 所以 p 只能垂直指向切割面。

(2) 另一个是反映任一点静水压强大小的等值性。即任一点静水压强的大小与该点的水深有关, 而与受压面的方位无关, 或者说作用于同一点上各方向的静水压强的大小相等。

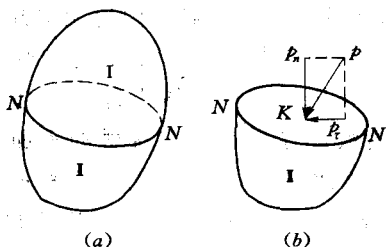


图 2.2

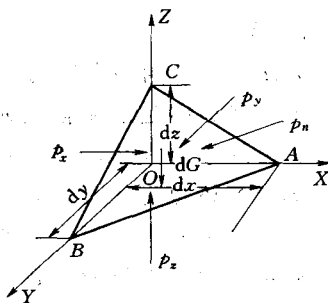


图 2.3

证明: 设在平衡液体中, 以 O 为顶点取一微小四面体 $OABC$, 为了便于分析, 令其三条棱边 dx 、 dy 、 dz 相互垂直并分别与 x 、 y 、 z 轴平行, 倾斜面为任意方向, 面积为 dA_n , 如图 2.3 所示。

下面对微小四面体进行受力分析。作用在微小四面体上的力有表面力和质量力, 首先分析表面力。从静水压强的第一特性可知, 作用于微小四面体的表面力只有压力, 设作用于微小四面体三个相互垂直平面和斜面上的压强分别为 p_x 、 p_y 、 p_z 和 p_n , 由于是微小四面体, 可以认为各微小面积上的水深是不变的, 静水压强分布是均匀的, 作用在各个面上的静水压力等于各自面上的压强和相应面积的乘积, 即

$$\left. \begin{aligned} dp_x &= p_x \cdot \frac{1}{2} dydz \\ dp_y &= p_y \cdot \frac{1}{2} dzdx \\ dp_z &= p_z \cdot \frac{1}{2} dydx \\ dp_n &= p_n dA_n \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$