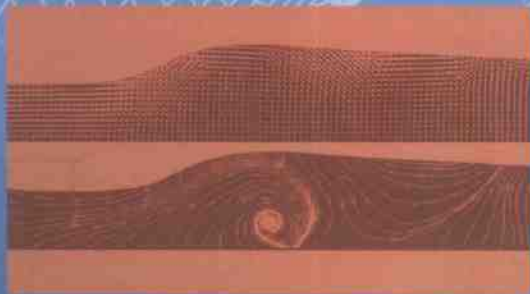




全国高职高专
水利水电类立体化系列规划教材

水力学 (上册)



张耀先	游玉萍	主 编
	张春娟	副主编
	孙东坡	主 审



科学出版社
www.sciencep.com

全国高职高专水利水电类立体化系列规划教材

水 力 学

(上册)

张耀先 游玉萍 主 编

张春娟 副主编

孙东坡 主 审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是为水利水电类水利水电工程专业、水文水资源工程专业、给水排水专业编写的全国规划教材,全书分上、下册。上册各专业通用,包括绪论、水静力学、水流运动的基本原理、水流型态和水头损失等四章。下册按专业分册编写,其中水利水电工程专业分册包括:有压管道中的恒定流、明渠恒定均匀流、明渠恒定非均匀流、闸孔出流和堰流、水工建筑物下游衔接与消能、相似原理与模型试验等七章。水文水资源分册包括:有压管道中恒定流、明渠恒定均匀流、明渠恒定非均匀流、泄水建筑物的水力计算、明渠非恒定流等五章。给水排水分册包括:有压管道中的恒定流、明渠恒定流动、闸孔出流和堰流、渗流基础等四章。按专业进行分册编写的优点是针对性更强,更结合专业建设的实际,体现了本课程为专业课服务的原则。

本书各章有例题、习题和常用图表,还配套有学习与指导、试题集、学生助学系统、教师助教系统、水力学计算软件等,提供了该课程教与学所应具备的完整的教学资源包。

本书可作为高职高专水利水电类和土木工程类的水利工程监理、水利工程施工、水利水电工程造价、水土保持、道路与桥梁、水电站电力设备、治河与防洪、环境与水资源、水政与水资源等专业教材,并可用于成人专科学校及普通本科学院的职业技术学院同类专业教学,还可供水利水电工程技术人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

水力学(上册) / 张耀先, 游玉萍主编. —北京: 科学出版社, 2005
(全国高职高专水利水电类立体化系列规划教材)
ISBN 7-03-015511-4

I. 水… II. ①张…②游… III. 水力学-高等学校; 技术学校-教材
N. TV13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 046782 号

责任编辑: 童安齐 沈 建 / 责任校对: 柏连海
责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2005 年 8 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)
2005 年 8 月第一次印刷 印张: 7 1/2
印数: 1—4 000 字数: 141 000

定价: 18.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换(环伟))

销售部电话: 010-62136131 编辑部电话: 010-62137026(VA04)

前 言

随着教育改革与发展的需要,高职高专教材的建设进入了一个呈现全要素、多功能、立体化的新阶段,本教材为适应这种新形势,在 2003 年全国首批《水力学》精品课程建设的基础上,由全国水利水电高职教研会《水力学》课程组全体同志共同完成的,本教材的主要特点是树立了教材开发的新理念,建立了教材建设的新体系,从单一的纸质教材过渡到立体化教材,从单一的教学用书发展到为教师和学生提供一整套完备的教学方案及丰富的教学资源包。

本教材的编写体现了高职高专教育的特色,以培养学生的综合能力为目的,以必须够用为度,内容精炼,突出实用,学生易学,方便教学,贯彻国家标准,引入最新技术,除纸质教材外配套有多媒体助学系统、助教系统、试题库和水力学数值计算软件,是一套完备的教学系统。

本系列教材包括:

水力学(上册)(各专业通用)		黄河水利职业技术学院 山东水利职业学院	张耀先 游玉萍 主编
水力学 (下册)	水利水电工程分册	四川电力职业技术学院	邓小玲 主编
	给水排水分册	广东水利电力职业技术学院 沈阳农业大学	张 劲 章 喆 主编
	水文水资源分册	黑龙江大学 杨凌职业技术学院	韩 梅 拜存有 主编
水力学学习与指导		深圳职业技术学院 华北水利水电学院水利职业学院	邓爱华 李 倩 主编
水力学试题库		黄河水利职业技术学院 黄河水利职业技术学院	张耀先 罗全胜 主编
水力学数化计算		黄河水利职业技术学院 黄河水利职业技术学院	罗全胜 张耀先 主编
水力学助教系统		黄河水利职业技术学院 湖南水利水电职业技术学院	张耀先 刘治映 主编
水力学助学系统		黄河水利职业技术学院 湖北水利职业技术学院	张耀先 罗 景 主编

《水力学》上册是供各专业通用的,适用面宽,其中 2.6 节浮力、浮体的平衡与稳定,3.6 节恒定总流的动量矩方程,4.3 节液流的层流运动用 * 标记,供不同专业选用。

参加《水力学》上册编写的有黄河水利职业技术学院张耀先(第一、四章),山东水利职业学院游玉萍(第二章),杨凌职业技术学院张春娟(第三章);华北水利水电学院孙东坡教授主审。

由于时间仓促及作者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请广大读者指正。

编者

2005 年 2 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 水力学的任务及其在水利水电工程中的应用	1
1.2 液体的基本特性和主要物理力学性质	3
1.3 研究液体运动的一些问题	9
第二章 水静力学	14
2.1 静水压强及其特性.....	14
2.2 静水压强的基本规律.....	16
2.3 压强的单位和量测.....	22
2.4 作用于平面壁上的静水总压力.....	29
2.5 作用于曲面壁上的静水总压力.....	36
2.6 浮力、浮体的平衡与稳定*	41
第三章 水流运动的基本原理	50
3.1 描述水流运动的两种方法.....	50
3.2 恒定总流的连续性方程.....	56
3.3 恒定总流的能量方程.....	58
3.4 能量方程的应用条件及注意点.....	63
3.5 恒定总流的动量方程.....	69
3.6 恒定总流的动量矩方程.....	75
第四章 水流型态与水头损失	79
4.1 水头损失的类型及其与阻力的关系.....	79
4.2 水流运动的两种流态.....	83
4.3 液流的层流运动.....	86
4.4 液流的紊流运动.....	88
4.5 沿程水头损失的分析和计算.....	94
4.6 局部水头损失的分析与计算	102
4.7 绕流阻力与升力	107
附录 常用水力学符号表	111
参考文献	113

第一章 绪 论

本章包括三个方面的内容,首先介绍水力学的任务及其在水利水电工程中的应用,其次介绍液体的主要物理力学性质,最后介绍液体运动中的一些问题,以便在今后各章的学习中,对液体运动的内因有所认识。

1.1 水力学的任务及其在水利水电工程中的应用

1.1.1 水力学的任务及研究对象

水和人类生活、工农业生产有着十分密切的关系。早在几千年以前,人类就开始与洪水灾害进行了不懈的斗争。相传 4000 年前我国大禹治水就是在认识了水流运动的习性后成功地进行了河道整治。随着生产发展的需要,古代人民兴修了许多巨大的灌溉、航运工程。例如秦代在公元前 256~公元前 210 年间修建的都江堰、郑国渠和灵渠三大水利工程,就是在对明渠和堰流认识的基础上修建的。在长期改造自然的斗争中,人类不断实践总结经验、进行科学试验,逐步认识了水流(液体)运动的各种规律,修建了许多水利工程,造福于人类,同时形成了水力学这门技术基础学科。

水力学的研究对象是液体,主要是水,并以水为代表物进行研究,水力学的任务是研究液体在静止和运动状态下的规律及其在工程实际中的应用。水力学所研究的基本规律分为两大部分:一是液体处于静止状态的平衡规律,称为水静力学;二是液体流动状态下的运动与能量转换规律,称为水动力学。水力学是高等工科院校许多专业必修的一门课程,它是力学的一个分支,物理学和理论力学的知识是学习水力学课程必要的基础。

1.1.2 水力学的应用领域

水力学在水利建设中应用比较广泛。人们经常通过修建水工建筑物及河道整治工程来控制水流的边界条件,调整和改变原有水流的状态。例如,为了满足防洪、灌溉和发电等方面的需要,往往要在河道上筑坝,拦蓄河水,形成水库;同时要设置泄洪、输水等建筑物。在水库蓄水之后,坝体要承受巨大的水压力,一部分水经坝基和两岸向下游渗透,大量的水从坝顶溢流,经泄水建筑物下泄的高速水流对下游河床常造成冲刷。因此,要正确地进行坝的设计,如确定水库水位及下泄流量,坝体所受的水压力及下泄水流对坝体和下游河床的冲刷作用力,渗流的运动状态及其对

建筑物的作用等,都是水力学研究和应用的领域。

水力学在水利建设中的主要任务是研究水流与边界(如水工建筑物及河床等)的相互作用,分析在各种相互作用条件下所形成的各种水流现象和边界上的各种力的作用,为水利工程的勘测、规划、设计、施工和运行管理等方面提供合理的水力学依据。

此外,水力学也广泛运用于土木工程各个领域,例如在建筑和交通土建工程中,基坑排水、地基抗渗稳定处理、围堰修筑、桥渡设计等等,在给水处理工程中,取水、水处理、输配水、建筑环境与设备工程中,供热、通风与空调设计等等。

水力学不仅用于解决某些土木工程中的工程技术问题,还应进一步认识,在兴建大型厂矿、公路、铁路、桥梁、隧道、江河堤防、水坝等的同时也会对环境造成不利影响,导致污染和生态环境恶化,处理好土木工程与水环境的关系,做到减轻灾害,保护环境,实现国民经济的可持续发展,也是水力学研究的主要问题。

随着科学技术的进步,水力学正在不断出现新的研究领域,如环境水力学、生态水力学、灾害水力学等。

1.1.3 水利工程常见的水力学问题

水利水电工程中常见的水力学问题有以下几个方面:

1. 水对水工建筑物的作用力问题

研究水工建筑上的静水压力和动水压力的计算,并探讨减小不利作用力的途径,作为水工建筑物设计、施工的依据。例如,举世瞩目的长江三峡水电站,主坝高度为190m的重力坝,电站装机容量1820万kW,主坝包括拦河坝、溢洪道、水电站等水工建筑物。为了设计坝体断面、校核水坝的稳定性,必须计算上、下游的水流对坝体的作用力。

2. 水工建筑物及河渠的过水能力问题

研究水工建筑物的过水能力的计算,并探讨提高其过水能力的方法,为合理确定建筑物的形式、尺寸提供依据。例如,计划兴建的南水北调中线工程,南起湖北省丹江口水库,途经河南省、河北省,北至北京市、天津市,全长1200km,建成后将成为世界上最长的运河。该项工程包括明渠、隧道、渡槽、倒虹吸、提水泵站等多种水工建筑物,工程宏大,其过水能力是水力学研究的主要问题之一。

3. 水工建筑物中的水流形态问题

研究水流流经水工建筑物附近及河渠中的水流现象及水流流态。探讨它们对工程的影响以及如何改善流态,以免产生不利的作用,从而为合理布置建筑物、确保建筑物的正常运行,以及建筑物和下游河道的稳定提供了依据。

4. 水流通过水工建筑时的能量损耗问题

研究水流通过水电站、抽水站和各种渠道建筑物所引起的能量损失的计算,水流流经滚水坝、溢洪道、水闸和跌水下游的消能计算,并探讨提高有效能量的利用和加大多余能量的消耗,为采取有效措施消除水流对水工建筑物、河道及地基的破坏作用提供了依据。

此外,在进行河道水文要素测定时,其测站的选定、测速垂线和测点的布设、历史洪水调查,都在不同程度上应用了水力学的基本概念和基本理论,为水文测验、分析和研究提供了理论依据。

以上几个研究方面,并不是水力学的全部内容,只是介绍了水利水电工程中常见的一些水力学问题。除此以外,闸坝的渗流问题,河道的挟沙水流问题、高速水流问题、波浪运动问题,以及水工模型试验的有关问题等等。

1.2 液体的基本特性和主要物理力学性质

水力学的任务是要分析研究液体静止状态下的平衡和流动状态下的运动规律,首先应从分析液体的受力情况着手,而任何一种外力的作用,都是通过液体本身固有的性质来体现的,所以必须对液体的基本特性和主要物理力学性质有所了解。

1.2.1 液体的基本特性

自然界的物质存在着三种状态:固态、液态和气态。固体分子之间的距离很小,内聚力很大,所以它能保持着固有的形状和体积,能承受拉力、压力和剪切力。气体的分子间距离很大,内聚力却很小,所以它没有固定的形状和体积,它极容易被压缩,能任意扩散到其占有的整个有限空间。液体分子间的距离介于固体和气体之间,其内聚力比固体小,而比气体大,所以液体不能保持固有的形状,却能保持固有的体积,液体几乎不能承受拉力,极易发生变形和流动。所以又将液体和气体统称为流体。液体可以压缩,但不易压缩,只有在较大的压力作用下,液体才能显示出极微小的体积变化。

1.2.2 液体的主要物理力学性质

1. 惯性

(1) 物体的惯性及其度量

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。其大小与该物体的质量和运动的加速度成正比。物体惯性的大小可以用质量来度量。质

量愈大的物体,惯性愈大,其反抗改变其原有运动状态的能力也就愈强。设物体的质量为 m , 加速度为 a , 则惯性力

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

质量的标准单位为 g 或 kg ; 加速度的单位为 m/s^2 。

(2) 液体的惯性及其度量

惯性是物体具有的一种共同的特性,当然液体也不例外,对于质量是均匀分布的均质液体,其体积为 V , 质量为 m , 则单位体积的质量称为密度,即

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

密度的单位为 g/cm^3 或 kg/m^3 。对于液体而言,惯性力的大小常用单位体积内的质量,即密度来度量。

(3) 密度的日常计算值

因为液体的体积随着温度的变化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,但由于这种变化量很小,工程中常采用温度为 $4^\circ C$, 压强为一个标准大气压的条件下水的密度 $1000kg/m^3$ 为日常计算值。

2. 万有引力特性

(1) 万有引力特性及其度量

物体之间具有相互吸引力的性质叫万有引力特性,这种吸引力就叫万有引力。表现在物体和物体之间的相互引力,同样包括地球上的物体受到地心的引力作用,这种地球对物体的引力就称为重力(或重量)。对于质量为 m 的液体,其重量

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

式中: g ——重力加速度,国际计量委员会规定: $g = 9.80665m/s^2$ 为标准重力加速度;为简化计算,本教材采用 $g = 9.80m/s^2$, 重量的单位为 N 或 kN 。

(2) 液体的万有引力及其度量

万有引力是物体具有的一种共同的特性,当然液体也不例外,对于均质液体,单位体积的重量称为容重,则容重

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

容重的单位为 N/m^3 或 kN/m^3 。在水力学中,容重有时也称为重度或重率。

(3) 容重的日常计算值

因为液体的体积随着温度和压强的变化而变化,故其容重也将随之而发生变化,但变化量很小。工程中常将水的容重视为常数,采用温度为 $4^\circ C$, 压强为一个标准大气压的条件下,水的容重为 $9.80665kN/m^3$ 。在水力计算中,为简化计算一般采用水的容重为 $9.80kN/m^3$ 。

由式(1-3)和式(1-4),可得容重与密度的关系为

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

【例 1-1】 已知某液体的体积为 6m^3 ，密度为 $983.3\text{kg}/\text{m}^3$ ，求该液体的质量和容重。

【解】 由式(1-2)得，液体的质量

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

由式(1-5)得，液体的容重

$$\gamma = \rho g = 983.3 \times 9.80 = 9636.3(\text{N}/\text{m}^3)$$

3. 液体的黏滞性

(1) 液体的黏滞性

液体的黏滞性又叫黏性。液体在运动状态下，质点间、流层间都存在着相对运动，从而在质点与质点之间，流层与流层之间产生了内摩擦力(又叫黏滞力)，以抵抗其相对运动产生的剪切变形。液体这种产生内摩擦力，具有抵抗剪切变形能力的特性称为液体的黏滞性。

黏滞性是液体固有的一种物理力学性质。所有的液体都具有黏滞性，这是液体共同的一种特性，是液体区别于固体的一种特性，不同液体的黏滞性的大小不同，静止状态下观察不到液体的黏滞性，它只有在液体质点间、流层间存在相对运动时才显示出来，静止状态下我们感觉不到水的黏滞性，也就是说，静止状态下的液体是不能承受切力来抵抗剪切变形的，一旦液体发生剪切变形，静止状态即遭破坏。若用木棍搅水，我们就需要用一定的力气。这说明水有黏滞性。又如，把柴油装在另一只桶里，也用木棍搅动，搅动的快慢相同，我们会感到在油里比在水里用的力气要大。这说明油的黏滞性比水要大。

再举一个液体有黏滞性的例子。如果测出渠道水流的横断面上各点的流速 u ，并绘出横断面流速分布，如图 1-1(a)所示(图中每根带箭头的线段的长度表示该点流速的大小)，就会发现横断面上的流速分布是不均匀的。渠底流速为零，随着离开固体边界的距离的增加，流速逐渐增大，至水面附近流速最大。为什么水流横断面上会形成不均匀的流速分布呢？因为水流有黏滞性。紧靠固体壁面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。第一水层将通过黏滞(摩擦)作用而影响第二水层的流速。第二水层又通过黏滞作用而影响第三水层的流速。如此

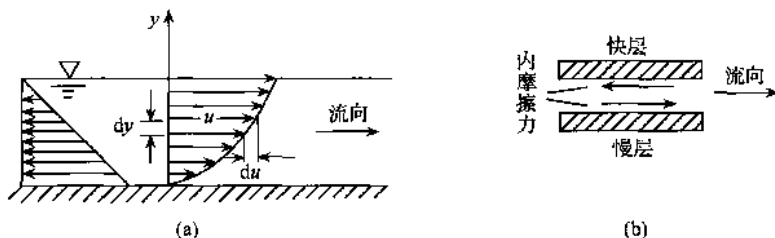


图 1-1

逐层影响下去。离开壁面的距离愈大,壁面对流速的影响愈小,其结果就形成了图 1-1(a)所示的流速分布规律。就是这样,固体边界通过液体的黏滞性,而对液体运动起着阻滞作用,使液体各水层的流速不等,流得快的水层对流得慢的水层起拖动作用,因而快层作用于慢层的摩擦力与流向一致。反之慢层对快层起阻滞作用,则慢层作用于快层的摩擦力与流向相反,如图 1-1(b)所示。

(2) 黏滞力(内摩擦力)

如图 1-1(a)在垂直水流流动方向上取一条垂线,其方向为 y ,沿水深(y 方向)取等长 dy 的测点,测得各点流速 u 用带箭头的线段表示。连接各点流速的曲线为各点流速在 y 方向上的分布曲线。

试验表明:对于液体质点互不混渗的层流运动(第四章中讲述),液体均匀摩擦力 T 与液层间接触面面积 A 成正比,与两流层间的速度差 du 成正比,和两流速层间的距离 dy 成反比,与液体的性质有关,这一结论称为牛顿内摩擦定律,可表示为

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

所谓内摩擦力,它不同于高中物理中所研究的物体之间外表面之间产生的外摩擦力,它产生于液体内的各流层之间,它的方向平行于流层,它的大小与接触面上的压力无关。

(3) 黏滞切应力

单位面积上的内摩擦力称为黏滞切应力,用 τ 表示,即

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

以上两式中: μ ——动力黏滞系数,单位为 $(N \cdot s/m^2)$ 或 $(Pa \cdot s)$;

A ——相邻流层间接触面的面积;

$\frac{du}{dy}$ ——流速梯度,是沿垂直于水流流动方向上,各流层间流速的变化率。它反映流速沿 y 方向的变化程度。

式(1-7)表明切应力与流速梯度呈线性关系。显然,流速梯度较大的地方,切应力 τ 也应较大。如图 1-1(a)所示,表面流速梯度小,内摩擦力小,流速就大,底部流速梯度大,内摩擦力大,流速就小。

(4) 黏滞性的度量

黏滞性的大小用黏滞性系数来度量。常用动力黏滞系数 μ 来表示。动力黏滞系数 μ 值与液体的性质和温度有关,液体不同 μ 不同,同一液体温度不同 μ 值不同。它反映了液体的性质对内摩擦力的影响。 μ 值大的黏滞性大, μ 值小的黏滞性小。

在水力学中,液体的黏滞性还可用另一种形式的黏滞系数 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ 来描述, ν 称

为运动黏滞系数, ν 的单位为 cm^2/s 或 m^2/s 。

同一液体黏滞性随温度的升高而减少。设水温为 t , 以 $^{\circ}\text{C}$ 计, 水的运动黏滞系数可用下述经验公式求得

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

不同温度条件下水的 μ 和 ν 值, 参见表 1-1。

表 1-1 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 /($10^{-9}/\text{Pa}$)	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

4. 液体的压缩性

(1) 液体的压缩性及其度量

液体不能承受拉力, 只能承受压力, 液体受压力作用, 产生体积变形, 当压力除去后有恢复原状, 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。

液体压缩性的大小可用体积压缩系数 β 来度量。设质量一定的液体, 其体积为 V , 当压强增加 $d p$ 时, 体积相应减小 $d V$, 其体积的相对压缩值为 $\frac{d V}{V}$, 则体积压缩系数

$$\beta = - \frac{\frac{d V}{V}}{d p} \tag{1-9}$$

它反映了体积的相对压缩值 $\frac{d V}{V}$ 与压强增值 $d p$ 之比。由于液体的体积总是随压强的增大而减小的, 则 $d V$ 与 $d p$ 的符号总是相反的, 规定 β 取正值, 故上式的右端冠以负号。该式表明, β 值愈小愈不易压缩。体积压缩系数 β 的单位为 m^2/N

或 $1/\text{Pa}$ 。

(2) 压缩系数

液体的体积压缩系数与液体的性质有关,同一种液体的 β 值也随温度和压强的变化而变化,但变化不大,一般视为常数。不同温度下的 β 值见表 1-1。对于水,在普通水温的情况下,每增加一个标准大气压强,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,我们视为液体是不可压缩的,即认为液体的体积和密度是不随温度和压力的变化而变化的。

5. 液体的表面张力特性

(1) 表面张力特性及度量

由于液体表层一边是水分子,一边是气体分子,两侧的分子不同,引力不同,因此使得液体表层形成拉紧收缩的趋势,这种液体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和大气相接触的表面(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。由于表面张力仅存在液体的表面上,液体内部并不存在,它只是一种局部受力现象。且工程中所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,仅当研究微小水滴和气泡的形成与运动,液体的表面曲率很大的薄层水舌运动和液体在土壤孔隙中的渗流运动时才需考虑。

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 1-1。

(2) 水力实验中的毛细现象

应当指出的是,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,则必须考虑由于表面张力引起的毛细管现象所造成的影响。量测的液体不同,毛细管现象所造成的量测误差也不同,如图 1-2 所示。所使用的玻璃管的内径越小,造成的误差越大,所以实验用的测压管内径不宜太小,一般以 $d \geq 10\text{mm}$ 内径的玻璃管为宜,否则应考虑由毛细管作用所带来的实验误差。

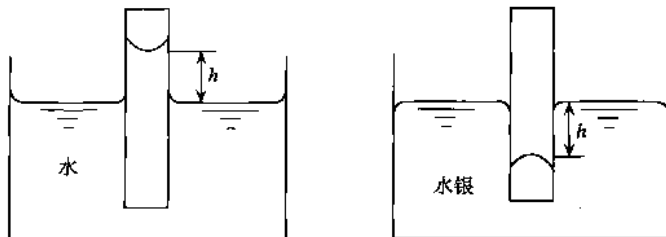


图 1-2

1.3 研究液体运动的一些问题

1.3.1 理想液体的概念

以上介绍了液体的几种主要的物理力学性质,其中只有黏滞性是液体和固体的重要区别,正是液体具有了黏滞性,液体在运动过程中为克服内摩擦力,就要不断地消耗液体自身具有的机械能。所以说,黏滞性是引起运动液体自身机械能损失的主要原因。它在分析和研究水流运动中占有很重要的地位。

实际液体的物理性质是很复杂的。把所有的物理力学特性都考虑进去,来分析研究水流运动,这将是非常困难的。其中以惯性、万有引力特性和黏滞性最为重要,它们对液体运动影响最大。对水流运动起主导作用,而压缩性和表面张力特性只是对某些特殊的水流运动才起作用。为了简化问题便于进行理论分析,常常把对水流运动不起主导作用的特性忽略不计,引入了一个“理想液体”的概念,所谓理想液体,就是将水看作是**不可压缩的、不能膨胀、没有黏滞性、没有表面张力的连续性介质。由于水的压缩性和表面张力都很小,研究水流运动中可以忽略不计,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。通常在研究水流运动时,先把实际液体看作理想液体,即把所研究的液体假定为完全无黏滞性的,借以揭示实际液体运动的概貌和趋势。这样液体与固体的性质相近,就可以把固体运动的规律引入到液体中去,得出有关规律后,在应用到实际液体时,还要根据情况,计入黏滞性的影响。再对没有考虑黏滞性而产生的偏差进行修正。

1.3.2 连续性介质假说

液体的真实结构是由运动着的分子组成的,而分子间具有空隙,从微观的角度来看,液体是不连续的,不均匀的。但是在水力学中,研究的不是液体的分子运动,而是液体的宏观机械运动,在研究的过程中,把液体的质点作为最小的研究对象。所谓液体质点是由许多液体分子所组成的、保持着宏观液体的一切特性,但体积很小,只占据了一个点空间的液体。因此,我们可以把液体假设是液体的质点一个接着一个地充满着液体的全部体积,这样就可以把液体当作连续介质来看待。把液体抽象化了的连续体模型就是1753年由欧拉提出的连续介质假说,在此基础上,可以把液体看作是密度分布均匀的,各部分和各方向的物理性质都是均质的和各向同性的。有了连续介质假说,则液体中的一切物理量均可视为空间坐标和时间的连续函数,并可运用高等数学的理论去研究液体。长期的生产实践和科学试验证明,这种假说能够满足工程实际的需要。

总之,在水力学中研究的流体是一种容易流动的、不易压缩的、均匀等向的连

续性介质。

1.3.3 作用于液体上的力

液体无论处于平衡或运动状态,均受到各种力的作用。作用于液体上的力,按其物理性质的不同有惯性力、重力、弹性力、摩擦力和表面张力等。为便于分析液体的运动规律,在水力学中,又按其作用特点将这些力分为面积力和质量力两种类型。

1. 面积力

面积力是指作用于液体的表面上,其大小与受作用液体的表面积成比例的力。如一部分液体对另一部分液体在其接触面上产生的水压力、液层与液层之间产生的内摩擦力、固体边界对液体的摩擦力、边界对液体的反作用力等都属于面积力。面积力又可分为垂直于作用面的压力 P 和平行于作用面的切力 T 两种。由于面积力作用在液体的表面上,故又称为表面力。

面积力的大小既可用总作用力来度量,也可用单位面积上所受的力来度量,如单位面积上的压力 p (压强)和单位面积上的切力 τ (切应力)等。

2. 质量力

质量力是指作用于所研究液体的每一个质点上,其大小与液体的质量成比例的力。如惯性力 F 、重力 G 等。对于均质液体,因液体的质量与其体积成正比,故质量力又称为体积力。与面积力一样,质量力的大小除可用总作用力来度量外,也常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。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

$$f = \frac{F}{m} \quad (1-10)$$

若设总质量力 F 在各个坐标轴上的投影为 F_x, F_y, F_z ,单位质量力 f 在相应坐标轴上的投影为 X, Y, Z ,则有

$$X = \frac{F_x}{m}, \quad Y = \frac{F_y}{m}, \quad Z = \frac{F_z}{m} \quad (1-11)$$

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轴上的分力为: $X=Y=0, Z=-mg/m=-g$ 。

以上作用于液体上的力是由两方面因素所形成的,一是液体自身的物理力学性质,二是液体受边界的作用。液体的物理性质是液体本身所固有的,是不能任意改变的属性。而液体的边界则是复杂多变的,通常液体的边界包括固体边界和气体边界两种,不同的边界对液流约束作用不同,产生的作用力也不同,形成的液流运动状态也不同,若改变了液体的边界形状,就改变了边界对液流的作用力,因而也

改变了液体的运动状态,各种水工建筑物都是用改变液体原有边界状况的措施,并通过影响液体的物理性质而改变液流运动的。

1.3.4 水力学的研究方法

每门学科,由于其学科特点和研究对象的不同而有各自不同的研究方法。水力学主要采用的是理论分析法、试验研究法和数值计算法。

1. 理论分析法

水力学是以古典力学为基础的。理论分析法就是根据古典力学中机械运动的普遍原理,如力系平衡原理、质量守恒原理、能量守恒与转化原理、动能原理、动量原理等,结合液体运动的特点,运用数理分析方法,来建立液体平衡和机械运动的基本规律,并通过生产实践检验、补充、发展和完善其理论体系。

2. 试验研究法

由于边界条件的复杂性,水流运动型态千差万别。理论分析法具有很大的局限性,试验研究法就成为水力学研究的一种必不可少的手段,现阶段水力学试验研究主要有以下几个方面:

(1) 原型观测

对天然的以及工程中的实际水流现象直接进行现场观测,收集第一手资料,为检验理论分析成果,总结、探索水流运动的某些基本规律提供依据。

(2) 模型试验

当原型观测受到某些条件的限制无法进行或不能进行。在实验室内,将实际工程按一定的比例缩小成物理模型,并在模型上模拟相应的实际水流运动,从而得出模型水流的规律性,再把模型水流上的试验成果按一定的关系换算成实际水流的成果,为工程设计提供依据。

3. 数值计算法

近十几年来,随着计算机技术的不断发展,数值计算方法已成为水力学研究中的基本方法。在水力学的研究中,水流运动的基本方程和边界条件都比较复杂,用常规的数理方法一般很难得到其理论解析解,而试验又受到客观条件的限制时,就往往需要运用数值计算方法来寻求其近似解,以满足工程实际的需要。所谓数值计算法就是对水力学中由基本方程、边界条件、初始条件所构成的完整的数学模型,通过如有限差分、有限元及边界元等一些特定的计算方法,用计算机来求出其数学近似解。可见,数值计算法可以弥补了理论分析法和试验研究法的某些不足,为水力学的研究开辟了新的途径。

长期以来,人类对水力学的研究已取得了丰硕的成果,为水利水电工程的勘