



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

水力学

第4版
上册

水力学与山区河流开发保护国家重点实验室(四川大学) 编
吴持恭 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

TV13/11=2

:1

2008



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

水 力 学

第 4 版

上 册

水力学与山区河流开发保护国家重点实验室(四川大学) 编
吴持恭 主编

高等教育出版社
Higher Education Press

图书在版编目(CIP)数据

水力学.上册/吴持恭主编;水力学与山区河流开发
保护国家重点实验室(四川大学)编.—4版.—北京:高
等教育出版社,2008.1

ISBN 978-7-04-022676-8

I. 水… II. ①吴…②水… III. 水力学-高等学校-教
材 IV. TV13

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第196115号

策划编辑 杨倩 责任编辑 张玉海 封面设计 张楠 责任绘图 黄建英
版式设计 王艳红 责任校对 杨凤玲 责任印制 陈伟光

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landaco.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	涿州市星河印刷有限公司	畅想教育	http://www.widedu.com
		版 次	1979年3月第1版
开 本	787×960 1/16		2008年1月第4版
印 张	23.5	印 次	2008年1月第1次印刷
字 数	430 000	定 价	29.30元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 22676-00

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书论述水力学的主要理论及其应用,在第3版“十五”国家级规划教材的基础上,保持了原书“循序渐进、加强基础、理论联系实际、利于教学”的特点。全书在整体安排上采用由浅入深的方式,在水静力学之后,从液体运动的流束理论出发,渐进式地介绍水动力学内容,经过流态、管流、明渠流、水跃、堰闸出流、水流衔接与消能后,再进一步介绍管道和明渠中的非恒定流,然后上升到流场理论、边界层理论和势流理论,最后以几个专题作为全书的结束。修订内容主要包括:根据水力学的学科发展,将国际上水力学研究的新进展,尤其是一些新方法、新技术及新理论引入水力学教学与实践,同时对相应内容进行增删,特别是删除一些陈旧的内容。

全书分为上、下两册,共18章。内容主要包括绪论、水静力学、水动力学基础、液流型态和水头损失、有压管道恒定流、有压管中的非恒定流、明渠恒定均匀流、明渠恒定非均匀流、堰流及闸孔出流、泄水建筑物下游水流的衔接和消能、液体运动的流场理论、恒定平面势流、渗流、量纲分析和相似原理等。

本书可作为高等学校水利类、土建类等专业的教材,也可供高独立学院、高职高专和成人高校师生及有关工程技术人员参考。

本书配有电子教案。

第 4 版 序

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,在第 3 版的基础上对全书再次进行修订,以使本书更好地适应 21 世纪水力学的学科发展与创新性人才的培养。

本次修订在广泛汲取教材使用单位和有关专家意见的基础上,本着保持特色、自主创新、与时俱进的原则,主要在以下几个方面进行了修订:

一、增加水力学发展简史的内容,以便更好地了解水力学研究与应用的发展历程。

二、基于当前高坝工程建设形势及高坝水力学进展,增加了“水流衔接与消能的若干新技术”内容。

三、鉴于工程泥沙问题日益突出,增加了工程防沙措施的相关内容。

四、基于计算机技术的快速发展,删除了原书中现已基本弃用的内容,如图解法内容,同时增加了计算机数值模拟的相关内容。

五、对全书进行全面的校核和修正。

本次修订工作是在许唯临教授主持下完成的。参加修订的有许唯临、刘兴年、李克锋、刘善均、王黎、王协康、王玉蓉、张建民、张新华、李冰冻、陈明千、易文敏等。许多兄弟院校的同志根据丰富的长期教学经验,对修订工作提出了宝贵的意见和建议;清华大学李玉柱教授认真、详细地审阅了本书,提出了许多宝贵的修改意见,在此一并表示衷心的感谢!

对于书中的缺点和不足之处,敬请批评指正,以便今后不断完善。

编 者

2007 年 5 月

第 3 版 序

根据 2002 年全国“水力学及流体力学课程教学指导小组扩大会议”的精神,在第 2 版的基础上,对全书再次进行修订,以使本教材能够更好地适应当前水力学的发展和教学需要。

本次修订吸收了教学指导小组扩大会议上教材使用单位和有关专家的意见,并在会后以通信方式进一步征询了有关院校教师的意见。在此基础上,确定了保持特色、完善提高的原则,主要从以下几个方面进行了修订:

一、删除原书中现已弃用的内容,如“水力指数法”。同时,对原书中个别不适应水力学最新认识的描述加以适当修改,如对紊流时均运动微分方程组求解问题的描述。

二、在部分水力计算的图解法后,简要地增加相应的迭代法内容。

三、适当增加习题数量,以更好地反映各章主要教学内容。同时,增加思考题,以作为例题和习题的有效补充。

四、再次对全书进行全面校核和修正。

本次修订工作是在主编吴持恭教授总体安排下完成的。参加修订的有:许唯临、李克锋、王黎、王玉蓉、杨凌真、周茂林等同志。许多兄弟院校的同志根据其长期、丰富的教学经验,对修订工作提出了宝贵的意见和建议,在此深表谢意!

限于水平,书中缺点和错误在所难免,敬请批评指正。

编 者

2003 年 1 月

第 2 版 序

1979年3月第1版的《水力学》是根据全国15所院校代表讨论制定的编写大纲编写的,当时要求编成既是教科书又是参考书。这次是根据1980年5月审定的《水力学教学大纲》(草案)对原书进行了一次较大的修订,以便更好地符合教学要求。在修订时力求贯彻教育部工科基础课程教材编委会工作会议关于大力提高教材质量的精神,以及“打好基础,精选内容,逐步更新,利于教学”的原则。

修订本除保持原书力求贯彻循序渐进、加强基础、理论联系实际、利于教学等原则外,我们主要作了以下一些修订:

一、原书属于基本理论的内容原则上不减。对一些非基本的以及属于专业课范围的内容,而大纲中又没有要求的,如无压圆管的共轭水深计算、顺坡明渠中水跃、实用堰中的渥奇及克-奥剖面、隧洞水力计算、连接建筑物的水力计算、明渠恒定变量流、用直线比例法计算闸坝底板上的渗透压力等作了删减。

对大纲中有要求,原书未编入的内容,如液体的相对平衡、有能量输入输出的能量方程、窄深堰流水力计算、紊动扩散等作了补充。

二、原书体系基本上没有变动,但为了便于取舍,将液体运动的解析理论—三元分析法这章分为液体运动的流场理论、边界层理论基础、恒定平面势流等三章。

三、教科书字数有一定控制,凡属不同计算方法,只保留一种常用典型方法,其他方法删减或改为简介。例如关于天然河道水面曲线图解法,保留艾斯考夫图解法,删去控制曲线法;关于明渠恒定渐变流水面曲线的计算方法,保留逐段试算法,水力指数法改为简介。某些段落的文字叙述也作了修改,避免不必要的重复。为了减少篇幅,原书附录全部删去。

四、对例题、习题和图表进行了校核和修正。名词、符号全书力求做到统一。

本修订版由吴持恭、赵文谦、汝树勋分工执笔,由吴持恭主编。修订稿由华东水利学院张长高教授、清华大学余常昭教授主审。审稿会由教育部水力学教材编审小组主持,除有关编委及主审人外,参加的还有清华大学、武汉水利电力学院、陕西机械学院、郑州工学院、广西大学等院校代表。与会同志提出了许多

II 第2版序

宝贵意见和建议,谨此表示感谢。

因限于水平,书中缺点和错误在所难免,恳切希望同志们指正。

编者

1982年7月10日

第 1 版序

本书是根据一九七八年一月教育部委托我校召开的高等学校工科基础课水力学教材编写会议讨论的编写大纲编写的,可作为高等学校工科水工建筑专业、农田水利专业等水力学课程的试用教材,也可作为其他有关专业的教学参考书。

本书分上、下两册出版。上册包括绪论,水静力学,液体运动的一元分析法,层流、紊流及其水头损失,有压管中恒定流,明渠恒定均匀流,明渠恒定非均匀流,水跃,堰流及闸孔出流的水力计算,泄水建筑物下游的水流衔接与消能。下册包括渠道连接建筑物的水力计算,隧洞的水力计算,明渠恒定变量流,有压管中的非恒定流,明渠非恒定流,液体运动的三元分析法,渗流,水工模型试验基础,高速水流,河渠泥沙运动的基本规律。各章均有例题及习题。书末有附录,内容包括引水系统的水力计算分析实例,实验数据的表示方法,有限单元法在水力学(平面势流)计算中的应用。

上册各章为各专业必学部分。下册各章,各学校可根据不同专业,不同地区及不同讲课学时酌情取舍。

本书由吴持恭同志主编,参加编写的有赵文谦、汝树勋、吴至维、华国祥、梁曾相、杨凌真、张道成、冉洪兴等同志。

一九七九年一月召开了本教材的审稿会,参加审稿会的有:主审单位武汉水利电力学院(徐正凡、黄克中、郑邦民),合肥工业大学(张长高、陈瑞、孙其荃)以及其他审稿单位清华大学,华东水利学院,大连工学院,华北水利水电学院,西北农学院,郑州工学院,太原工学院,新疆八一农学院,青海工农学院,云南农业大学等十三所院校的代表。参加审稿会的同志对本教材提出了不少宝贵的修改意见,谨此表示感谢。

限于编者水平,同时编写时间也比较仓促,因而在教材中缺点和错误在所难免,希望广大读者提出批评和指正。

编 者
1979年2月

目 录

0 绪论	1
0.1 水力学的任务与研究对象	1
0.2 水力学发展简史	2
0.3 液体的主要物理性质	5
0.4 连续介质和理想液体的概念	11
0.5 作用于液体上的力	12
0.6 水力学的研究方法	13
思考题	14
习题	15
1 水静力学	16
1.1 静水压强及其特性	16
1.2 液体的平衡微分方程式及其积分	20
1.3 等压面	23
1.4 重力作用下静水压强的基本公式	24
1.5 几种质量力同时作用下的液体平衡	26
1.6 绝对压强与相对压强	29
1.7 压强的测量	31
1.8 压强的液柱表示法,水头与单位势能	35
1.9 作用于平面上的静水总压力	36
1.10 作用于曲面上的静水总压力	43
1.11 作用于物体上的静水总压力,潜体与浮体的平衡及其稳定性	50
思考题	53
习题	54
2 液体运动的流束理论	62
2.1 描述液体运动的两种方法	62
2.2 液体运动的一些基本概念	65
2.3 恒定总流的连续性方程	71
2.4 恒定总流的能量方程	72
2.5 恒定总流的动量方程	94
2.6 量纲分析与 π 定理	103
思考题	111

习题	111
3 液流型态及水头损失	119
3.1 水头损失的物理概念及其分类	119
3.2 液流边界几何条件对水头损失的影响	122
3.3 均匀流沿程水头损失与切应力的关系	124
3.4 液体运动的两种型态	127
3.5 圆管中的层流运动及其沿程水头损失的计算	131
3.6 湍流的特征	133
3.7 沿程阻力系数的变化规律	143
3.8 计算沿程水头损失的经验公式——谢齐公式	148
3.9 局部水头损失	150
思考题	154
习题	155
4 有压管中的恒定流	158
4.1 简单管道水力计算的基本公式	159
4.2 简单管道水力计算的基本类型	165
4.3 简单管道水力计算特例——虹吸管及水泵装置的水力计算	169
4.4 串联管道的水力计算	175
4.5 并联管道的水力计算	177
4.6 分叉管道的水力计算	179
4.7 沿程均匀泄流管道的水力计算	180
思考题	183
习题	183
5 明渠恒定均匀流	190
5.1 明渠的类型及其对水流运动的影响	191
5.2 明渠均匀流的特性及其产生条件	194
5.3 明渠均匀流的计算公式	196
5.4 水力最佳断面及允许流速	197
5.5 明渠均匀流的水力计算	201
5.6 粗糙度不同的明渠及复式断面明渠的水力计算	209
思考题	212
习题	213
6 明渠恒定非均匀流	215
6.1 明渠水流的三种流态	216
6.2 断面比能与临界水深	219
6.3 临界底坡、缓坡与陡坡	225
6.4 临界水深的一些实例	226
6.5 明渠恒定非均匀渐变流的微分方程	229

6.6	棱柱体明渠中恒定非均匀渐变流水面曲线分析	232
6.7	明渠恒定非均匀渐变流水面曲线的计算——逐段试算法	239
6.8	河渠恒定非均匀流的流量与糙率的计算	246
6.9	河道水面曲线的计算	248
6.10	弯道水流	257
	思考题	263
	习题	264
7	水跃	270
7.1	棱柱体水平明渠的水跃方程	271
7.2	棱柱体水平明渠中水跃共轭水深的计算	273
7.3	棱柱体水平明渠中水跃的能量损失	278
7.4	棱柱体水平明渠中水跃跃长的确定	284
7.5	非棱柱体明渠中的水跃	285
	思考题	289
	习题	289
8	堰流及闸孔出流	291
8.1	堰流的类型及计算公式	292
8.2	薄壁堰流的水力计算	296
8.3	实用堰流的水力计算	300
8.4	宽顶堰流的水力计算	314
8.5	窄深堰流的水力计算	325
8.6	闸孔出流的水力计算	326
	思考题	335
	习题	335
	参考文献	340
	习题答案	341
	附录 粗糙系数、管道及明渠各种局部水头损失系数	347

0

绪 论

0.1 水力学的任务与研究对象

水力学是一门技术科学,它是力学的一个分支。水力学的任务是研究液体(主要是水)的平衡和机械运动的规律及其实际应用。

水力学所研究的基本规律有两大主要组成部分。一是关于液体平衡的规律,它研究液体处于静止(或相对平衡)状态时,作用于液体上的各种力之间的关系,这一部分称为水静力学;二是关于液体运动的规律,它研究液体在运动状态时,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,这一部分称为水动力学。

在工农业生产的许多部门,如农田水利、水力发电、航运、交通、建筑、石油、化工、采矿、冶金等部门,都要碰到大量的与液体运动规律有关的生产技术问题,要解决这些问题必须具备水力学的知识。因此,水力学是高等工科院校不少专业特别是水利类专业的一门重要技术基础课。

水力学在研究液体平衡和机械运动规律时,要应用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、动能定理等等。因为液体在平衡或运动状态下,也同样遵循这些普遍的原理,所以物理学和理论力学的知识是学习水力学课程必要的基础。

自然界的物质一般有三种存在形式,即固体、液体和气体。液体和气体统称为流体。水作为一种流体,在运动过程中表现出与固体不同的特点。固体由于其分子间距离很小,内聚力很大,所以它能保持固定的形状和体积。它能承受一定数量的拉力、压力和剪切力。而流体则不同,由于其分子间距离较大,内聚力

很小,它几乎不能承受拉力,抵抗拉伸变形;在微小剪切力作用下,流体很容易发生变形或流动,所以流体不能保持固定的形状。

液体与气体两者相比,液体分子内聚力却又比气体大得多,因为液体分子间距离较小,密度较大,所以液体虽然不能保持固定的形状,但能保持比较固定的体积。一个盛有液体的容器,若其容积大于液体的体积时,液体就不会充满整个容器,而具有自由表面(液体仅占据自身体积所需要的那部分空间)。气体不仅没有固定的形状,也没有固定的体积,极易膨胀和压缩,它可以任意扩散直到充满其所占据的有限空间。而液体的压缩性很小,在很大的压力作用下,其体积的缩小甚微。液体的膨胀性同样也是很小的。气体和液体的主要差别就是它们的可压缩程度不同,但当气流速度远比音速为小的时候,在运动过程中其密度变化很小,气体也可视为不可压缩,此时水力学的基本原理也同样可适用于气流。

0.2 水力学发展简史

水力学作为一门以应用为目的的学科,是人类逐步认识、掌握自然规律及不断深入生产实践的结晶,其发展与力学、数学、物理学等相关学科密不可分。人类社会在以农业文明为主的早期,对水力学的认识是从治水、灌溉、航运等方面开始的。在中国,据《尚书·禹贡》记载,4000多年前的上古时代就有大禹治水。《史记》记载,战国末期至秦代(前256—前210年)修建了都江堰、郑国渠、灵渠三大水利工程,其中以四川岷江上的都江堰最为著名,迄今仍为泄洪、灌溉等发挥重大作用。公元1世纪前后,劳动人民基于水流的动力,制成了水碓、水磨和水排等水力器具。在古埃及、希腊、巴比伦和印度等,为了发展农业也修建了灌溉渠道工程,并发展了航运,而古罗马人则兴建了大规模的供水管道系统。约在公元前250年,希腊哲学家、物理学家阿基米德(Archimedes,前287—前212)在《论浮体》中论述了液体浮力和浮体的定律。此后,水力学的发展受生产力低下的影响,在相当长的时间内未受到重视,而未发展为一门学科。

直到15世纪的文艺复兴时期,意大利物理学家、艺术家列奥纳德·达·芬奇(Leonardo da Vinci,1452—1519)设计制造小型水渠,系统地研究了物体的沉浮、孔口出流、物体的运动阻力及管道、明渠水流等问题。在17世纪,帕斯卡(Pascal B,1623—1662)提出了密闭流体能传递压强的原理——帕斯卡原理。至此,才使水力学认识从实践上升到了理论,水静力学理论初步形成。由于受到经典力学理论发展的制约,液体运动的动力学理论的建立相对较晚。牛顿(Newton I,1642—1727)于1687年出版了《自然哲学的数学原理》,研究了物体在阻尼介质中的运动,并针对粘性流体运动时的内摩擦力提出了牛顿内摩擦定律。18世纪

和 19 世纪,基于数学、力学、物理学等领域科学家的杰出成就,经典水动力学或称古典流体力学得以迅速发展。伯努利(Bernoulli D, 1700—1782)在 1738 年出版的《水动力学》中阐述了液体运动能量的转换关系——伯努利方程。1748 年,俄国科学家罗蒙诺索夫(Lomonosov M V, 1711—1765)提出了质量守恒定律。欧拉(Euler L, 1707—1783)1755 年发表《流体运动的一般原理》,提出了流体的连续介质模型,建立了连续性微分方程和理想流体的运动微分方程,并给出了不可压缩理想流体运动的一般解析方法。1783 年,拉格朗日(Lagrange J - L, 1736—1813)在总结前人工作的基础上,提出了一种新的描述流体运动的方法——拉格朗日法。英国物理学家、生理学家亥姆霍兹(Helmholtz H L F Von,) 1847 年用数学形式表达出一般的能量守恒原理;1858 年,将流体质点的运动分解为平移、变形及转动,即亥姆霍兹速度分解定理,进一步促进了古典流体力学的发展。英国力学家兰姆(Lamb H, 1849—1934)在其《流体运动数学理论》(1878 初版,1895 年增订再版,改名《水动力学》)中总结了 19 世纪流体力学的理论成就。然而,随着工程实践的不断深入,忽略液体粘性作用的基本规律与实际情形还存在着较大的差别,法国科学家达朗贝尔(d'Alembert J, 1717—1783)于 1752 年发表的著名“达朗贝尔佯谬”证实了理想流体假设的局限性。因此,实际中出现的许多流体力学问题,还得依靠水力学中经验公式或半经验公式,如在表征力学能量的伯努利方程中引进若干经验系数以计算阻力的影响,在只适用于均匀管流的哈根(Hagen G H L, 1707—1884) - 泊肃叶(Poiseuille J L, 1799—1869)流动公式中加进考虑非均匀性的修正系数等。为此,一些技术工程师和实际工作者,在运用流体力学知识的同时,也部分地采用野外观测和室内试验结果的经验公式,从实验水力学角度较好地解决了当时许多实际工程问题。如法国工程师、发明家皮托(Pitot H, 1695—1771)于 1730 年发明测量流速的皮托管。法国工程师谢齐(Chézy, 1718—1798)于 1769 年建立计算均匀流的经验公式。法国工程师达西(Darcy H P G)于 1856 年提出了线性渗流定律等。爱尔兰工程师曼宁(Manning, 1816—1897)于 1890 建立的糙率计算公式,现仍为世界各国工程界所采用。

19 世纪中叶,法国工程师纳维(Navier L M H, 1785—1836)在欧拉理想流体运动方程的基础上,基于离散的分子模型,于 1821 年首次提出了不可压缩粘性流体的运动微分方程组。法国数学家、力学家、物理学家泊松(Poisson S D, 1781—1840)在 1831 年发表的《弹性固体和流体的平衡和运动一般方程研究报告》一文中,第一个完整地说明粘性流体的本构关系。1845 年,英国数学家、物理学家斯托克斯(Stokes G G, 1819—1903)严格地导出了粘性流体的运动方程,此后统称为纳维 - 斯托克斯方程(简称 N - S 方程),为研究实际流体运动奠定了坚实基础。19 世纪末至 20 世纪,随着生产和科技的迅速发展,单纯的理论或

实验方法难以解决极为复杂的流体力学问题,如数学上求解纳维-斯托克斯方程的困难,从而促使了古典流体力学和实验水力学的结合,并各自不断发展。英国力学家、物理学家、工程师雷诺(Reynolds O, 1842—1912)1883年用实验证实了粘性流体的两种流动状态——层流和湍流的客观存在,提出了流体流动相似律——雷诺数;1895年又引进雷诺应力的概念,用时均方法建立了不可压缩实际流体的湍流运动方程,又称为雷诺方程。1904年,德国工程师、力学家普朗特(Prandtl L, 1878—1953)提出了边界层概念,此后众多研究者从推理、数学论证和实验测量等各个角度,建立了边界层理论,为解决边界复杂的实际流体运动开辟了新的途径,同时把无粘性理论和粘性理论在边界层概念的基础上联系起来,使流体力学与水力学两种不同的研究方法得到了统一。后经美籍匈牙利力学家冯·卡门(Kármán T von, 1881—1963)、英国物理学家泰勒(Taylor G I, 1886—1975)等人的努力,边界层理论和湍流理论都有很大的发展,现代流体力学逐渐形成,其中关于液体运动的部分构成了现代水力学的核心内容。

20世纪以来,蓬勃发展的经济建设提出了越来越复杂的水力学问题,如海洋资源的开发、环境污染的防治、高坝和巨型水电站的修建、高含沙河流的开发保护等,使现代水力学的内涵及其实际应用得到不断发展、更新和提高。与此同时,水力学和其他学科相互交叉渗透,形成新的交叉学科或边缘学科,如随着数学的发展、计算机技术的不断进步及水力学各种计算方法的出现,从而形成了计算水力学,为分析和研究复杂水力学问题提供了新的工具。此外,还形成了一大批新的学科分支,如水工水力学、施工水力学、电站水力学、船闸水力学、溃坝水力学、河流动力学、生态环境水力学、渗流水力学和冰水力学等。

纵观水力学的发展历程,现场观测、实验研究、理论分析及数值计算是相辅相成的。从阿基米德到现在的两千多年来,实验研究起到了关键性的作用,它用精细的观察测量手段揭示液体运动特征,通过实测资料的总结分析,给出了许许多多特定流动的物理模型,而现代测量技术如激光测速仪等在实验数据的监测、采集等中的应用,都促进了现代水力学的发展。与此同时,实验研究需要理论指导,才能从分散的、表面上无联系的现象和实验数据中得出规律性的结论。1946年,随着第一台电子计算机的问世,以计算机为工具的数值计算方法得到迅速发展,它继理论分析和实验方法之后,成为现代水力学的第三种研究方法。不过,理论分析和数值计算也要依靠现场观测和实验室模拟给出物理图案或数据,以建立流动的力学模型和数学模式,最后,还须依靠实验来检验这些模型和模式的完善程度。由此可见,基于多学科的交叉研究及研究方法的综合应用将是现代水力学理论发展及实践应用的基础,现代水力学在水利、农业、交通、地学、生物学、医学等领域正在得到越来越广泛的应用。

0.3 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,而任何一种力的作用,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,须对液体的物理特性有所了解。和机械运动有关的液体的主要物理性质如下:

0.3.1 惯性、质量与密度

液体与任何物体一样,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

$$F = -ma$$

式中负号表示惯性力的方向与物体的加速度方向相反。

每一个物理量都包括有量的数值及量的种类。量的种类习惯上称为量纲。量纲与单位不同,例如水深 $h = 1 \text{ m}$,也可用 $h = 100 \text{ cm}$ 表示,水深是表示一个“长度”的物理量;而 m 或 cm 是长度的单位,单位不同,量的数值也不同。但量纲则只有一个,即长度,用 L 表示。

根据国际单位制的规定,质量的单位用 kg ,力的单位为 N 。 1 N 的力定义为:在 1 N 力的作用下,质量为 1 kg 的物体得到 1 m/s^2 的加速度。

密度是指单位体积液体所含有的质量。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

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (0.1)$$

若已知某均质液体的密度与体积,则该液体的质量为

$$m = \rho V \quad (0.2)$$

密度的量纲为 ML^{-3} ,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,采用在一个标准大气压下,温度为 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的蒸馏水密度来计算,此时 ρ 为 1000 kg/m^3 。

0.3.2 万有引力特性与重力

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,或称为重量。在研究液体所受的作用力