



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

水力学

SHUI LI XUE

白玉川 主编



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

TV13/18

2007

水 力 学

SHUI LI XUE

白玉川 主编



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

水力学/白玉川主编. —天津:天津大学出版社,
2007.10

ISBN 978 - 7 - 5618 - 2560 - 0

I. 水… II. 白… III. 水力学 IV. TV13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 156221 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
印 刷 廊坊市长虹印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 26.75
字 数 668 千
版 次 2007 年 10 月第 1 版
印 次 2007 年 10 月第 1 次
印 数 1 - 3 000
定 价 39.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

本教材将依托天津大学港口、海岸与近海工程国家重点学科的建设、天津大学校内重点示范本科学科专业“港口航道与海岸工程专业”的建设,充分总结和凝炼天津大学港口航道与海岸工程专业“水力学课程”多年的教学成果、良好的教学经验,并结合时代发展的要求,围绕“建立海洋强国必须优先发展海洋科技与工程”的目标,对教材内容进行编排,如考虑“我国迫切需提升船舶吨位与大型船舶的建造、大型海洋平台的制造”等需要,在扩大港口建设的同时,必然建设大型船坞,因此,结合近年研究成果,特编写“船坞水力学——船坞灌排系统水力计算”一章,教材内容要反映时代特色。

本教材结合教学实践和多年的教学效果,将水力学课程内容分为3篇共12章进行编写,分别为:基础水力学、工程水力学、水力相似原理与模型试验3篇,内容明确,重点突出,条理分明。读者拿到教材后,可以迅速地建立起水力学课程的架构。通过几年的教学实践和毕业生的反映,发现使用这种教学体系,既可培养读者扎实的水力学基础理论、工程概念,同时也可增强学生日后的科研能力。

参加本书编写的白玉川教授,徐海珏讲师,白志刚副教授,李炎保教授,傅天清高级工程师,黄本胜教授级工程师,张彬、李姗、张海艳、赵菁等硕士,赵鹏、许栋、田琦等博士。具体分工为:白玉川负责绪论、第1章、第2章、第3章、第4章(4.1、4.2、4.3节)、第5章、第6章、第11章、第12章;李姗、赵菁、白玉川负责第7章;白玉川、傅天清、赵鹏、张海艳负责第8章;徐海珏、傅天清、张彬负责第4章(4.4、4.5、4.6节)、第9章、第10章;黄本胜负责模型试验内容的选编;许栋、田琦、马金辉等清绘了书中的插图;白志刚副教授、李炎保教授参加了教材内容的选定和习题的筛选。在编写过程中得到天津大学教务处、天津大学出版社、天津大学建筑工程学院、天津大学港口航道与海岸工程系的大力支持,书中继承了天津大学水力学教学中以及先师王尚毅教授的水力学讲义中的优秀内容,同时也参考了一些兄弟院校和科研单位的最新研究成果,在此一并致以谢意。

白玉川

2007年7月

目 录

第1篇 基础水力学

绪 论	2
0.1 水力学的研究对象和任务	2
0.2 液体的主要特性	6
0.3 连续介质和理想液体	12
0.4 作用于液体的力	13
0.5 水力学的研究方法	15
习题	16
思考题及课后复习要点	16
第1章 水静力学	17
1.1 静水压强及其特性	17
1.2 液体平衡的微分方程及其积分	19
1.3 等压面	22
1.4 重力作用下的静水压强分布规律	23
1.5 几种质量力作用下的液体平衡	29
1.6 液体压强测量原理和仪器	31
1.7 作用在平面上的静水压力	35
1.8 作用于曲面上的静水总压力	41
1.9 物体的浮沉和浮体的稳定性	44
习题	53
思考题及课后复习要点	59
第2章 水动力学	60
2.1 水动力学基本概念	60
2.2 液体质点的基本运动形式	70
2.3 有涡流与无涡流(势流)	73
2.4 液体的连续性方程	76
2.5 理想液体的动力学方程	80
2.6 实际液体的动力学方程	85
2.7 液体恒定总流的能量方程及其应用	94
2.8 液体恒定总流的动量方程及其应用	98
2.9 液体的势流理论	101
2.10 恒定平面势流问题的求解	104
习题	106

思考题及课后复习要点	109
第3章 水流阻力规律	110
3.1 引言	110
3.2 固体边界对流体运动的影响	110
3.3 水流阻力与水头损失的种类	112
3.4 液体运动的两种流态	113
3.5 均匀流沿程水头损失与阻力的关系	117
3.6 圆管内液体的层流运动及其沿程水头损失	119
3.7 液体的紊流运动	121
3.8 液体的紊流运动方程	125
3.9 圆管内液体的紊流运动	128
3.10 液体紊流运动沿程水头损失系数的变化规律	133
3.11 局部水头损失	138
习题	147
思考题及课后复习要点	148

第2篇 工程水力学

第4章 有压管道恒定流	150
4.1 概述	150
4.2 有压管道中液体的恒定流	150
4.3 水泵装置的水力计算	157
4.4 孔口出流水力计算	162
4.5 管嘴出流水力计算	165
习题	168
思考题及课后复习要点	170
第5章 河渠定床水流运动力学	172
5.1 概述	172
5.2 河渠的几何特性及其对水流运动的影响	173
5.3 河渠水流运动的基本方程式	175
5.4 河渠恒定均匀流	177
5.5 河渠水流的三种流态	181
5.6 河渠水流断面能量特性	184
5.7 水跃和水跌	190
5.8 河渠恒定非均匀渐变流	194
5.9 柱棱形渠道水面线的绘制	199
5.10 天然河道中水面曲线的绘制	201
5.11 河道非恒定流动	208
5.12 堰流与闸孔出流	213
5.13 弯曲河道中的水流	222

习题	227
思考题及课后复习要点	228
第6章 河渠动床泥沙运动力学	229
6.1 泥沙颗粒性质	229
6.2 泥沙沉降速度	230
6.3 泥沙的起动	232
6.4 河流泥沙运动	234
6.5 河床变形计算	241
思考题及课后复习要点	242
第7章 船闸水力学—船闸输水系统水力计算	243
7.1 船闸及其输水系统	243
7.2 船闸输水系统水力计算内容与基本方程	245
7.3 短廊道输水系统的水力计算	248
7.4 短廊道输水系统水力计算实例	258
7.5 门下输水方式灌泄水的水力计算	264
7.6 分散式输水系统灌泄水的水力计算	267
习题	270
思考题及课后复习要点	271
第8章 船坞水力学—船坞灌排系统水力计算	272
8.1 船坞及其灌排水系统	272
8.2 船坞灌排水系统水力计算内容	274
8.3 船坞灌水的主要形式	275
8.4 坞门灌水的水力计算	276
8.5 短廊道灌水的水力计算基本公式	277
8.6 短廊道灌水的水力计算步骤	283
8.7 短廊道灌水计算中的几个问题	284
8.8 虹吸廊道灌水系统水力计算	286
8.9 竖井闸阀灌水系统水力计算	292
8.10 船坞泵站排水水力计算	297
8.11 船坞泵站前池不利水力学现象及对策	304
8.12 阀门后水力现象复核及气蚀现象的规避	305
习题	309
思考题及课后复习要点	309
第9章 渗流	310
9.1 概述	310
9.2 渗流的达西定律	313
9.3 渗流运动的微分方程	317
9.4 渗流问题的求解方法	320
9.5 地下明槽中的非均匀渐变渗流	321

9.6 普通井及井群的渗流	326
9.7 不透水层上均质土坝的渗流	331
9.8 渗流场的解法	334
习题	340
思考题及课后复习要点	343
第 10 章 波浪理论基础	344
10.1 概述	344
10.2 微幅波理论——线性波理论	346
10.3 有限振幅 Stokes 波理论	348
10.4 浅水非线性波理论	351
10.5 各行波理论的适用性	352
10.6 流速和潮位影响下的波浪变形计算	353
习题	358
思考题及课后复习要点	359

第 3 篇 水力相似原理与模型试验

第 11 章 水力相似原理	361
11.1 量纲分析	361
11.2 相似定义	369
11.3 相似不变量	371
11.4 相似准数	373
11.5 相似准数之推导	375
11.6 相似的单值条件	386
11.7 相似理论在求解水力学公式中的应用	389
习题	391
思考题及课后复习要点	391
第 12 章 水力模型试验	392
12.1 水工模型试验	392
12.2 河工模型试验	398
12.3 港工整体波浪模型试验	404
12.4 海岸演变模型试验	407
12.5 河网水动力数学模型	413
习题	416
主要参考文献	417

第 1 篇 基础水力学

绪 论

0.1 水力学的研究对象和任务

0.1.1 水力学的研究范畴

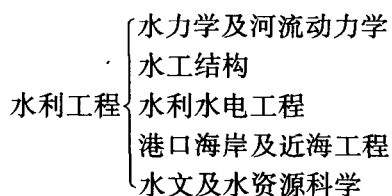
水力学是传统力学的一个分支,其任务主要是研究液体(水及其他流动液体)的力学性质、运动规律、工程应用。水力学是一门工程技术基础学科,它研究以水为代表的液体机械运动规律以及如何运用这些规律来解决工程实际问题。

水力学的研究对象虽然限于液体并且主要是水,但是它的研究方法和基本原理同样也完全适用于其他不可压缩液体,即也包括那些在一定条件下“压缩性”影响可以忽略不计的气体在内。

水力学不但在水利工程、港口工程、海洋工程中有着广泛的应用,而且在很多其他工程技术部门,如机械制造、土木建筑、电力工业(火电站、核电站等)、石油开采、化学工业等,都存在大量的液体静力和动力问题需要应用水力学的知识去解决。

0.1.2 水力学在水利工程学科中的地位

目前,水力学本身形成了自己的独立学科体系,与河流动力学组成了“水力学及河流动力学”二级学科。水利工程一级学科分支如下:



0.1.3 水力学的研究内容及课程组成

水力学主要研究液体静止、运动状态时,作用在液体上各种力之间的关系以及各种力与运动要素之间的关系。水力学分为水静力学和水动力学两大学科内容。

水静力学:关于液体平衡的规律,即静止或相对平衡时,作用在液体上各种力之间的相互关系。

水动力学:关于液体运动的规律,研究液体在运动状态时,作用在液体上的力与运动要素之间的关系,液体的运动特性与能量转换。

0.1.4 港口航道与海洋工程中的水力学问题

主要可归纳为以下三个方面。

1. 水力荷载问题

研究如何确定液体对建筑物的作用力。

1) 船闸、船坞

图 0-1 所示船闸扶壁式闸墙。在设计船闸时,需要计算当船闸内外水位不同时,闸室侧壁及底板上所受的水压力、渗透压力等(即水力荷载),以便进一步进行结构物的设计。

图 0-2 所示船坞室结构。在进行坞室结构设计时,很重要的一个问题,是如何正确确定在某一特定的排水条件下,地下水对船坞底板的渗透压力。

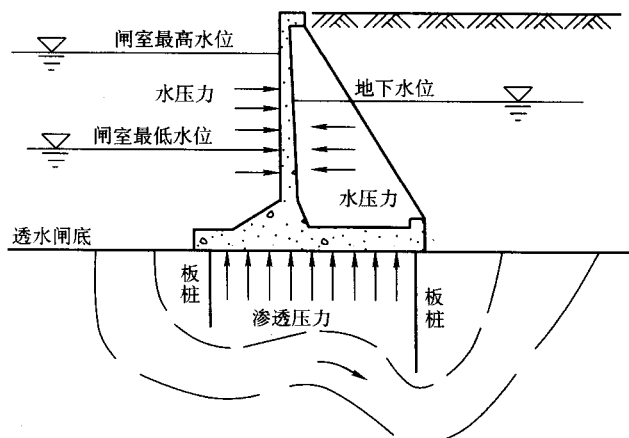


图 0-1 扶壁式闸墙受力示意图

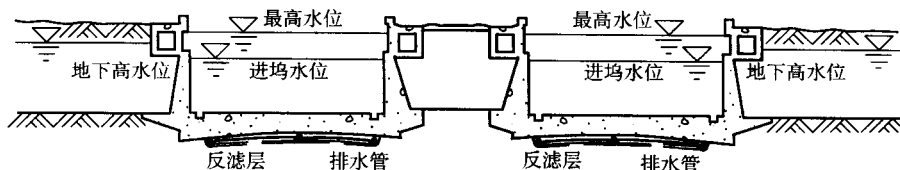


图 0-2 船坞室结构

2) 海洋石油钻井平台

图 0-3 所示海洋平台。无论是固定式或活动式,当其在海洋中工作时,必须正确计算波浪和潮流对建筑物的作用力。

3) 波浪对防波堤的作用

如图 0-4 所示直立式防波堤。在建造防波堤时,需要事先计算风浪和潮流等对堤建成后的作用力,才能恰当地选用筑堤材料的重量、形状以及抛砌的方式等,以保证外堤不致被风浪所摧毁。

从以上例子可以看出,为了保证港口工程及海洋工程建筑物的稳定性,正确确定水流(包括静水)对建筑物的作用力(载荷)是十分重要的。

2. 输水(泄水)能力

研究液体通过各种输运管道(例如输水管、输油管、船闸的输水廊道及船坞的灌水廊道等)、各种水工建筑物(如水闸、溢流坝等)及河床等在各种水流条件下的输水(泄水)能力(即通过流量大小)及其影响因素。

1) 船闸输水系统

图 0-5 为船闸示意图。水力计算中,为了确定灌水泄水时间,就要研究当阀门开启后,从廊道进入闸室(或由闸室泄出)的流量随时间的变化过程,即研究流量大小与哪些因素有关,并找出它们之间的定量关系(即规律性)。

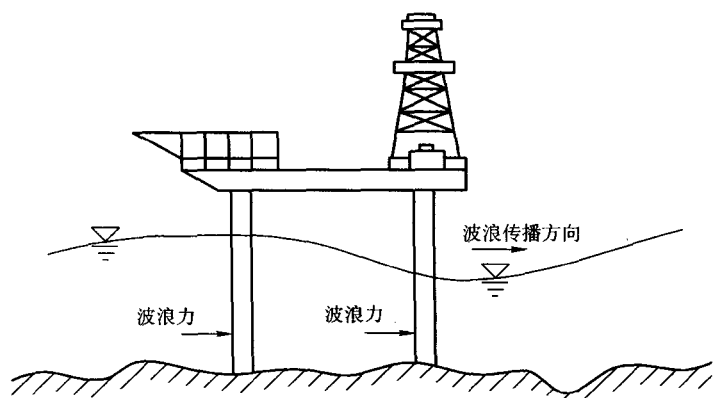


图 0-3 海洋平台受力示意图

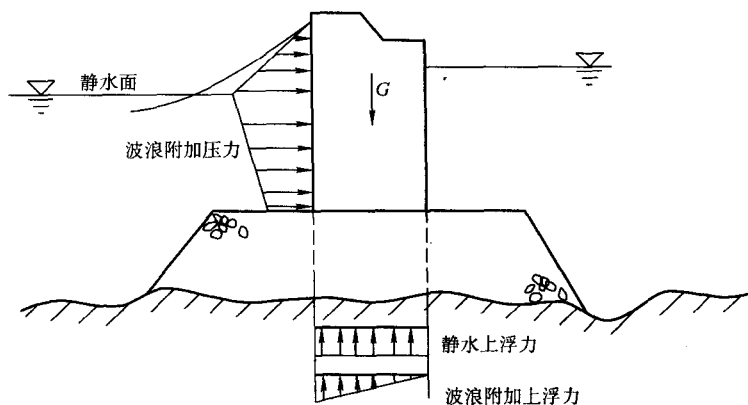


图 0-4 直立式防波堤受力示意图

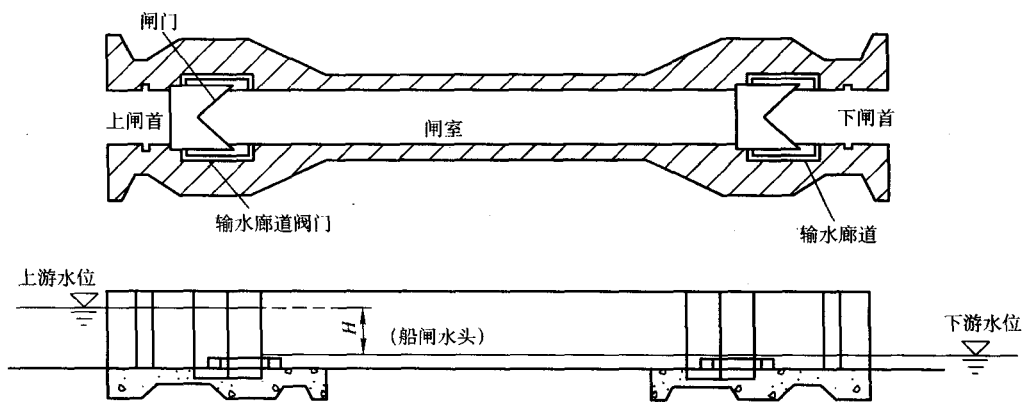


图 0-5 船闸示意图

2) 海上油田贮运系统

图 0-6 所示海上油田贮运系统。由海上油田中央平台汇聚的各个油井的石油,经海底管线贮于水下油罐或飘浮油罐中。当装卸油时,由生产平台下装设的深井泵将贮油罐中的石油经过流量计,再通过单点系泊的软管进入油轮。在整个石油的集输过程中,都要进行水力计

算,计算在各种泵和管线的配合下,油田贮运系统的输油能力。

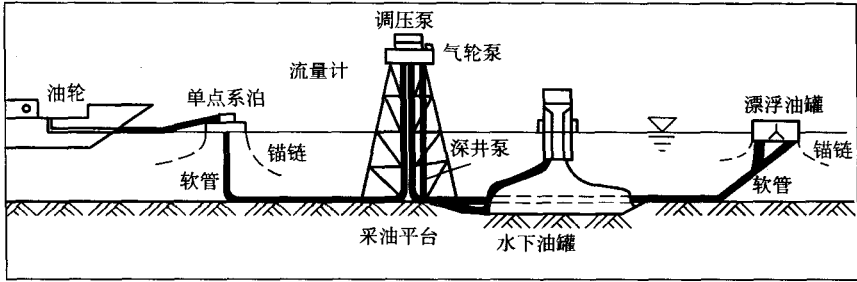


图 0-6 海上油田贮运系统

3) 水利工程输水建筑

在溢流坝及水闸工程中,经常要通过水力计算来计算在各种水流条件下的泄流量,以便确定建筑物的某些尺寸。

总之,研究输水能力(流量)的问题是水力学这门学科所要深入探讨的主要问题。

3. 河渠水流形态及海床演变

研究水流通过各种水工(海上)建筑物、河床及海岸时的水流形态及其对工程的影响,并探讨如何进行改善的问题。

(1)在河道整治中,要研究采用某种整治措施后,河道中水流的变化情况,主流的位置、回流的范围和程度及其对河岸的冲刷和泥沙淤积的影响,河势变化情况等。

(2)在港口建设、海岸整治与保护时,必须研究河口及海岸区域泥沙在水流或波浪作用下的运动回淤情况以及河口海岸的动力演变问题。

(3)在海洋石油工程海底铺设管线时,除了要分析管线所承受的各种静载荷外,还需要分析水流在管道背流而产生漩涡的运动状态,研究其所受到的动荷载。管后漩涡的产生,不仅使管线的基础有被冲蚀的危险(图 0-7),而且当漩涡的周期和管道的自振周期接近时,还会由于共振而导致管线的破坏。

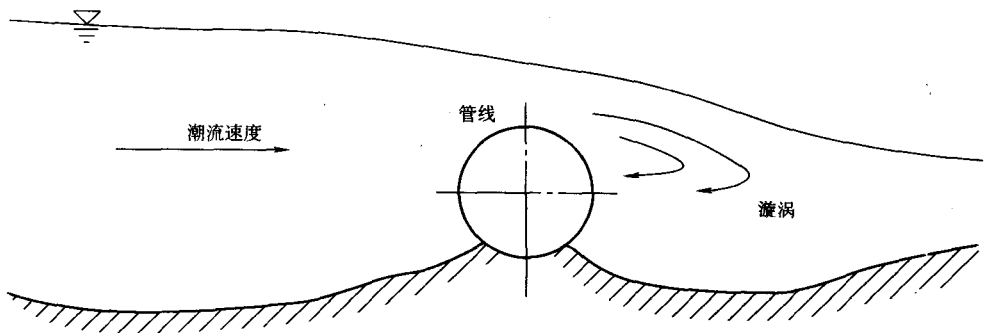


图 0-7 海底管线

以上提到的仅是在港口海岸及海洋工程中遇到的比较主要的水力学问题。当然,有些问题的解决还必须结合其他有关学科来共同完成。

0.2 液体的主要特性

0.2.1 液体的特性

自然界的三种状态即液体、固体和气体。液体的特性:分子间距大,内聚力小,不能承受拉力,不能承受剪力,无固定的形态。

液体是固体和气体之间的过渡状态。和固体不同,液体分子之间的距离较远,分子运动也较剧烈,分子间的吸引力较小,以至实际上它对剪切力和拉力几乎毫无抵抗能力,而只能抵抗对它压缩的力量。也就是说,在压力的作用下,液体可以达到平衡状态。而在拉力或剪切力等的作用下,液体极易变形,这就使得液体显示出固体所没有而相似于气体的“易流动性”。因此,气体和液体统称为流体。从力学的观点来看,易流动性就是不论如何微小的切向作用力(或拉力)一经作用在像水这样的静止液体时,则液体的原有平衡状态立即破坏,而表现为变形运动,即流动。因此,液体的易流动性也常被规定为液体在平衡时,不能抵抗剪切力(或拉力)的特性。

液体同气体相比,液体分子间的距离还是处在分子引力范围内的,同时分子的运动能量也较气体为小,所以液体的分子不能自由地从液体内部逸出。这就使得液体不同于气体,而相似于固体之点,即能够保持一个固定的体积和一个自由面。

0.2.2 液体的主要力学性质

液体所呈现的静止和运动的各种不同状态,是外部动静力因素作用于液体本身内在因素而表现出的结果,是液体的物理力学性质的外在表现。因此,除了前面所谈到的液体特性外,还需要将液体其他的一些物理力学性质从水力学角度加以扼要地介绍。

1. 液体的惯性、质量和密度

惯性:物体保持原有运动状态的一种特性。

质量:惯性大小的一种量度。

惯性力:由于物体惯性引起的对外界抵抗的反作用力, $F = -Ma$ 。

密度:单位体积的液体所含有的质量, $\rho = M/V$ 。

一个物体所含物质(指水、油、钢等)的多少,叫做这个物体的质量,用符号 M 表示。惯性就是物体所具有的反抗改变原有运动状况的性质,质量愈大(即物质愈多)的物体,其惯性也愈大。因此,质量是惯性的量度。

液体的密度:均质液体,单位体积内所含有的质量,叫做密度,用符号 ρ 表示。

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (0-1)$$

对于非均质液体,根据连续性的假定,则

$$\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta V} \quad (0-2)$$

2. 万有引力,重力,容重

万有引力:物体与物体之间的引力。

重力:地球对物体的引力。

容重:单位体积液体的重量。

地球上的一切物体都受到地球的吸引力,这个力叫做重力,或称为物体的重量,也即是质量为 M 的自由落体获得重力加速度 g 的作用力,因此,物体的重量(用符号 G 表示)可表示为 $G = Mg$ 。

重量和质量的区别:质量是物体的一种不变性,与物体的速度(近于光速的情况除外)、加速度、所在地面的位置距地面的高低等均无关。而重量却随所在地面位置和高度而变化(当然,一般变化很小)。

液体的容重:液体单位体积的重量称为容重,用符号 γ 表示。

对于均质液体,显然

$$\gamma = G/V, \gamma = \frac{Mg}{V} = \rho g \quad (0-3)$$

水的容重 $9.782\ 95\ \text{kN/m}^3$,海水的容重 $9.996\ \text{kN/m}^3$ 。

在物理学领域中,物理量虽然很多,但可分为两类:一类是有量纲的量,如速度、加速度等;另一类则是无量纲的量,如圆周率 π ,摩擦系数 μ 等。物理量的量纲虽然很多,但在工程力学领域内,基本量纲只有4种:力 $[F]$ 或质量 $[M]$ 、长度 $[L]$ 、时间 $[T]$ 及温度 $[t^\circ]$,其他物理量的量纲,都可以由这4种基本量纲以不同方式组合而成,称为导出量纲,例如速度的量纲为 $[L]/[T]$ 。

在水力学中常用的基本量纲只有力(或质量)、时间和长度三种。在国际单位制中,则以长度、时间和质量作为该单位制的基本量,力为导出量,并且有

米(m)——作为长度单位;

千克(kg)——作为质量单位;

秒(s)——作为时间单位。

根据牛顿第二定律 $F = Ma$, a 是加速度,则力的单位为 $F = Ma \left(\frac{\text{米} \cdot \text{千克}}{\text{秒}^2} \right)$ 或用符号表示为 $\left(\frac{\text{m} \cdot \text{kg}}{\text{s}^2} \right)$,称为牛顿(N)。应力(包括压应力和切应力)的单位为 $p(r) = \left(\frac{\text{牛顿}}{\text{米}^2} \right)$ 或用符号表示为 $\left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$ 称为帕斯卡,简称帕(Pa)。

液体重量的单位为

$$G = Mg = \text{千克} \cdot \text{米}/\text{秒}^2 = \text{牛顿(N)}$$

液体密度的单位为

$$\rho = \frac{M}{V} = \text{千克}/\text{米}^3 (\text{kg/m}^3)$$

液体容重的单位为

$$\gamma = \rho g = \frac{\text{千克}}{\text{米}^3} \cdot \frac{\text{米}}{\text{秒}^2} = \text{牛顿}/\text{米}^3 (\text{N/m}^3)$$

不同液体的密度和容重各不相同。同一种液体的密度和容重随压强和温度稍有变化。但在一般情况下,这种变化是微小的,在水力计算中,常可忽略不计。

对纯净水,在标准气压下,4℃时的密度 $\rho = 1\ 000\ \text{kg/m}^3 = 1\ \text{t/m}^3$,若采用 $g = 9.8\ \text{m/s}^2$,则其容重 $\gamma_w = 9\ 800\ \text{N/m}^3$ 。海水由于含盐量较高,在常温(15~20℃)下,其容重 γ_w 为 $10\ 000 \sim 10\ 100\ \text{N/m}^3$ 。各种液体在正常气体下的容重值见表0-1。

表 0-1 几种液体的容重

液体名称	温度(℃)	容重[N/m ³]
水银	0	133 200
蓖麻油	15	9 500
煤油	15	7 740 ~ 8 040
汽油	15	6 860 ~ 7 530
苯	0	8 620
酒精	15	7 740 ~ 8 620
无水甘油	0	12 350
石油	15	8 620 ~ 8 720

3. 液体的黏滞性及流变特性

物体与物体之间相对运动,存在摩擦力。同理,当液体处于运动状态时,若液体质点之间存在相对运动,则液体质点间也要产生抵抗其相对运动的力,这种性质称之为液体的黏滞性,所产生的力称之为黏滞力。液体的黏滞力实质上是液体内部受到的内应力,液体内部的相对运动又导致了液体内部的变形,即液体产生类似固体的应变,应力与应变的关系称之为物体的本构关系。在液体中,这种本构关系表现为液体内部应力与应变率(应变随时间的变化率)的关系,亦称液体的流变关系,即流变特性。

液体具有易流动性,对于像水这样的液体来说,不论如何微小的切向作用力一经作用于静止液体时,则液体立即破坏其原来的静止平衡状态而开始变形,也即是开始流动。但是当液体一旦流动时,则液体分子间的作用力却立即显示为对流动的阻抗作用,即显示出所谓黏滞性阻力(内摩阻力),液体的这种阻抗变形运动的特性就称为黏滞性,也叫“内摩阻”。需要说明的是一旦当液体运动停止,这种阻力就立即消失。因此,黏滞性在液体静止平衡时是不显示作用的。液体运动时的黏滞阻力只能使液体的变形即流动缓慢下来,但不能阻止静止液体在任何微小的切向力作用下开始运动。

1) 牛顿摩擦试验

为了说明液体黏滞性的作用,请看图 0-8。图中液体沿着边壁做平行的直线流动,且相邻层液体之间互不掺混,即做成层的向前运动。由于液体和边壁的“附着力”,紧邻边壁的液层将黏附在边壁上而静止不动。这样,边壁以上的液层,由于受到这个不动液层的阻滞(影响),而形成了如图 0-8(a)所示的流速分布。流速分布表明,运动较快的液层将作用于运动较慢的液层上一个切向力,方向与运动方向相同,促使其运动加快;而运动较慢的液层也将有一个与运动方向相反的切向力作用在运动较快的液层上,使其运动减慢。这样,液体的黏滞性就使运动液体内部出现成对的切应力,这就是内摩阻力。

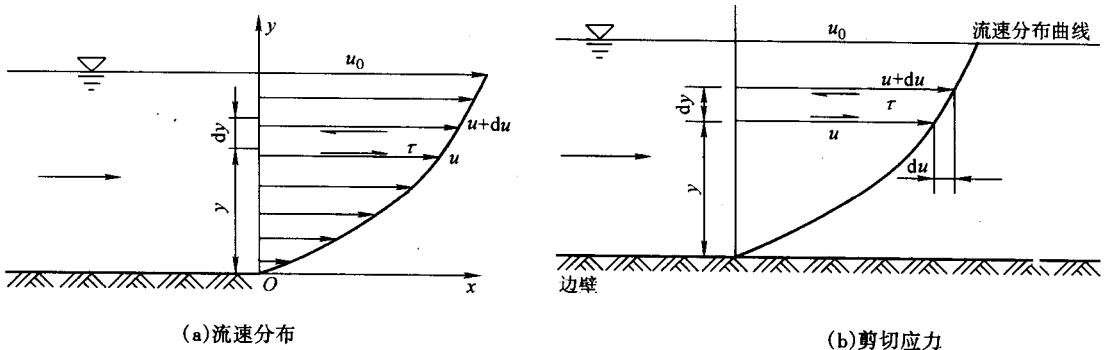


图 0-8 流速分布和剪切应力

实验证明:在这种成层运动的液体中,发生在各层间的互相带动又互相阻滞的内摩阻力 T 的大小和液体的性质有关,并与速度梯度 $\frac{du}{dy}$ 和接触面积成正比,而与接触面上的压力无关。

于是有 $T \propto \frac{U}{h}A$, 即切力 $\frac{T}{A} \propto \frac{U}{h}$, 所以

$$T = \mu A \frac{du}{dy} \tag{0-4}$$

式中: μ 为比例系数, 它和液体的种类有关, 称为动力黏滞系数, 其单位为牛顿·秒/厘米² (N·s/cm²)。

若以 τ 表示单位面积上的内摩擦阻力(切应力), 则内应力 $\tau \propto \frac{du}{dy}$, 有

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \tag{0-5}$$

式(0-4)或式(0-5)由牛顿在 1686 年首先提出, 故又称为牛顿内摩阻定律。

牛顿内摩阻定律: 相邻液体层接触面的单位面积上所产生的内摩擦力 τ 的大小, 与两层液体之间的速度差 du 成正比, 与两层液体之间的距离 dy 成反比, 与液体的性质有关。

黏滞系数 μ 的大小表征着液体黏滞性的强弱。不同的液体具有不同的 μ 值, 同一液体的黏滞性又随温度和压强的变化而发生变化。但在一般的情况下随压强的变化不大, 可以忽略。温度是影响 μ 的主要因素, 液体的 μ 值随温度升高而降低。而气体的 μ 值则随温度的升高而加大。

在一般计算中常采用 μ 和密度 ρ 的比值:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \tag{0-6}$$

ν 也表示黏滞性的强弱, 它的量纲为 L^2/T , 常用的单位为厘米²/秒 (cm²/s), 因只具有运动学的量纲, 故称为运动黏滞系数。

对于水, ν 随温度变化可按下列经验公式计算

$$\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \tag{0-7}$$

这里 t 为温度, 以℃计。此外如果水中含有大量的泥沙, 则水流的黏度也会发生变化, 在没有黏性颗粒的情况下, 浑水黏度与清水黏度的关系如下式

$$\mu_{浑水} = \mu_{清水} (1 - 1.35C)^{-2.5} \tag{0-8}$$

式中: C 为浑水中泥沙的体积含沙量。

各种液体的黏滞系数可以用黏度计实测而得。表 0-2 给出了几种常见液体在常温时的运动黏滞系数 ν 值。

表 0-2 几种液体的运动黏滞系数

液体名称	温度(℃)	ν [cm ² /s]	液体名称	温度(℃)	ν [cm ² /s]
汽油	18	0.006 5	汽油	18	0.250 0
酒精	18	0.013 3	酒精	18	1.400 0
煤油	18	0.025 0	甘油	20	8.700 0

2) 牛顿液体与非牛顿液体

所谓牛顿液体就是符合牛顿内摩阻定律的液体, 其内部切应力 τ 与速度梯度 $\frac{du}{dy}$ 关系为一