

全国高等林业院校试用教材

水 力 学

洪惜英 主编

水土保持专业用



全国高等林业院校试用教材

水 力 学

洪惜英 主编

水土保持专业用

中国林业出版社

(京)新登字033号

封面设计: 星 池

TV 13

9.11

全国高等林业院校试用教材

水 力 学

水土保持专业用

洪惜英 主编

中国林业出版社出版(北京西城区刘海胡同7号)

新华书店北京发行所发行 河北德县印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 17.5印张 400千字

1992年7月第一版 1992年7月第一次印刷

印数 1—2,550册 定价 4.00元

ISBN 7-5038-0847-0/S·0436

前 言

本书是根据林业院校水土保持专业的特点和要求进行编写的。由于本课程学时数比较少，但既要满足本专业的要求，又要基本保持本学科的系统性。因此，在各章内容上有取有舍，各有侧重。

本书由洪惜英同志主编，并负责编写第一章至第七章及第十二章，谢宝元同志编写第八章至第十一章，由北京林业大学水土保持系王礼先教授、清华大学水利系雷志栋教授主审，杨美卿副教授、谢森传副教授参加审稿，对全书提出了不少宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平和编写时间比较仓促，因而在教材中缺点或错误在所难免，恳请读者提出批评和指正。

编 者

1990年3月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 水力学的研究对象及在水利水土保持建设中的任务	(1)
第二节 水力学的发展简史	(2)
第三节 液体的主要物理性质	(3)
第二章 水静力学	(9)
第一节 静水压强及其特性	(9)
第二节 重力作用下静水压强的基本方程式	(12)
第三节 绝对压强、相对压强、真空和真空度	(14)
第四节 静水压强的测量	(16)
第五节 静水压强分布图	(19)
第六节 作用在平面上的静水总压力	(20)
第七节 作用在曲线上的静水总压力	(25)
第三章 水动力学基础	(30)
第一节 水流运动的一些基本概念	(30)
第二节 恒定总流的连续性方程式	(35)
第三节 恒定总流的能量方程式	(36)
第四节 恒定总流的动量方程式	(44)
第四章 水头损失的分析与计算	(50)
第一节 水头损失的分类	(50)
第二节 均匀流沿程水头损失与切应力的关系	(51)
第三节 两种不同的流动型态——层流与紊流	(53)
第四节 沿程水头损失的计算	(56)
第五节 局部水头损失的分析与计算	(61)
第五章 有压管道中的恒定流	(68)
第一节 概述	(68)
第二节 简单管道的水力计算	(69)
第三节 虹吸管的水力计算	(75)
第四节 水泵装置的水力计算	(77)
第五节 复杂管道的水力计算	(80)
第六章 明渠恒定均匀流与非均匀流	(86)
第一节 概述	(86)
第二节 明渠均匀流产生的条件和水力计算	(87)
第三节 水力最佳断面	(93)
第四节 渠道的冲淤和允许流速	(95)
第五节 粗糙度不同的明渠及复式断面明渠的水力计算	(96)

第六节 明渠恒定非均匀流概述	(97)
第七节 急流与缓流的特征与判别	(98)
第八节 断面单位能量与临界水深	(102)
第九节 临界坡、陡坡和缓坡	(105)
第十节 明渠恒定渐变流的微分方程	(106)
第十一节 棱柱形明渠非均匀渐变流水面曲线的定性分析	(107)
第十二节 明渠恒定非均匀渐变流水面曲线的计算——分段计算法	(112)
第七章 泄水建筑物出流的流态与过水能力	(120)
第一节 堰、闸出流概述	(120)
第二节 宽顶堰流的水力计算	(122)
第三节 薄壁堰流的水力计算	(129)
第四节 实用堰流概述	(131)
第五节 水跃和跌水	(134)
第六节 闸孔出流的水力计算	(140)
第七节 孔口出流	(145)
第八节 无压隧洞(涵管)的过流	(148)
第八章 水工建筑物下游水流的衔接与消能	(154)
第一节 概述	(154)
第二节 底流式消能的水力计算	(155)
第三节 挑流式消能的水力计算	(168)
第九章 渗流	(177)
第一节 概述	(177)
第二节 渗流模型与渗流的基本定律	(178)
第三节 无压均匀渗流和非均匀渗流	(183)
第四节 无压恒定渐变渗流的基本方程式	(185)
第五节 井的渗流计算	(191)
第十章 挟沙水流	(194)
第一节 概述	(194)
第二节 泥沙的基本特性	(195)
第三节 泥沙运移的方式	(197)
第四节 床面泥沙的起动	(197)
第五节 沙波现象	(207)
第六节 推移质输沙率	(209)
第七节 悬移质运动	(214)
第八节 水流挟沙力	(224)
第十一章 高含沙水流	(228)
第一节 高含沙水流的形成	(228)
第二节 高含沙水流的物理特性	(228)
第三节 高含沙水流的流动特性	(239)
第四节 高含沙水流输沙特性	(248)
第十二章 泥石流运动及其水动力学特征值计算	(256)

第一节 概述	(256)
第二节 泥石流的运动特征	(258)
第三节 泥石流水动力学特征值计算	(260)
附图I. 梯形及矩形渠道底宽求解图	(264)
附图II. 梯形及矩形渠道均匀流水深求解图	(265)
附图III. 梯形、矩形、圆形断面明槽中的临界水深求解图	(266)
附图IV. 建筑物下游出水河槽为矩形时收缩断面水深及其共轭水深求解图	(267)
附图V. 爱因斯坦的推移质输沙率公式 $\psi-\phi$ 曲线图	(268)
附图VI. 悬移质输沙率积分中 I_1 与 A 的关系	(269)
参考文献	(270)

第一章 绪 论

第一节 水力学的研究对象及在水利水电建设中的任务

水力学是研究液体的平衡和机械的运动规律及其在生产实际中应用的一门技术科学。它的研究对象是液体，但主要以水为代表。

水力学有两个主要组成部分 一是关于液体平衡的规律，即研究液体处于静止(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下，作用于液体上的力和运动之间的关系，以及液体的运动特性与能量转换等。

水力学在水利水电建设中的主要任务，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，为水利水电工程的勘测、规测、设计、施工和运转管理等方面提供合理的水力学依据，概括起来大体可分为以下几个方面：

一、确定水工建筑物过水部分的基本尺寸

进行水工建筑物的水力计算，主要就是确定过水部分的基本尺寸。诚然，建筑物的过水能力(即指通过的流量)是由运用要求确定的，但需要多大尺寸才能通过预求流量，则需由水力计算确定，例如溢洪道的溢流堰、泄水陡槽纵横断面尺寸的确定等，或者在一定形状和尺寸条件下计算其过水能力，看其是否能满足要求。

二、确定水工建筑物所承受的水力荷载

水流无论是静止的或运动的都对水工建筑物发生作用，这种作用一般都是以压力的形式表现出来，例如闸门上所承受的水压力，如图 1-1 所示。有压隧洞的内壁受洞内水流作

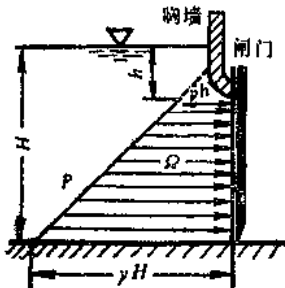


图 1-1

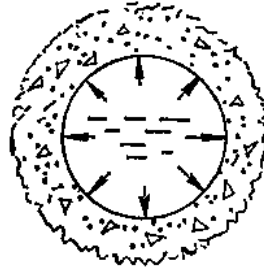


图 1-2

用的水压力,而外壁可能受地下水的压力等,如图 1-2 所示。

此外,高速水流对建筑物还作用有脉动压力、冲击力等。这些作用力对水工建筑物的受力和运用影响很大,是水利水土保持工程设计中必须考虑的因素。

三、研究水流能量的利用、转化和消耗

水流的能量及其利用、转化和消耗,是水力学研究的主要对象,在生产实践中有着广泛的应用,如:修建水库后,就改变了原有河道的水流能量与流态,不仅可以满足灌溉、防洪等要求,而且由于抬高水位所形成的集中落差,将由位能转化为动能,通过水轮发电机发电。但是,集中落差的高速水流对建筑物的下游河床、边岸的冲刷及对建筑物本身可能造成的危害也是不可忽视的,例如:涵洞的出口、溢流坝及跌水等的下游,都必须研究其能量的消耗问题,采取有效的防冲措施。

四、研究一般挟沙水流的运动规律

河流或渠道中的水流,当其含沙量较低时,仍属于牛顿流体,称为一般挟沙水流。探讨有关挟沙水流中泥沙的起动、沉降和运移方式,也是水力学研究的内容之一。

五、研究高含沙水流和泥石流的运动规律

应用水力学的原理和方法,研究高含沙水流和泥石流的形成条件、输移规律和运动特征值的计算。

第二节 水力学的发展简史

水力学一方面是根据基础科学的普遍规律来建立理论基础,另一方面又是根据工程技术的实际要求来发展学科内容,并在探讨液体和各种边界之间的相互作用、不断总结生产实践经验和科学实验的基础上逐渐发展起来的。

世界上一些比较古老的国家,如埃及、巴比伦、希腊和印度等,早在几千年前为了发展农业和运输,修建了一些水利工程。在这些生产活动中,人们也认识了一些水流运动规律,公元前 250 年,希腊哲学家阿基米德总结了这些经验,第一次发表了物体在液体中的浮沉理论“论浮体”——阿基米德原理。以后,欧洲长期处于黑暗的封建统治时期,水力学的发展处于停滞阶段,直到 1650 年巴斯卡建立了液体中压力传递定律——巴斯卡定理。

到 18 世纪,随着封建制度的崩溃,工业革命的兴起,社会生产力得到发展,同时也促进了水力学的发展,俄国彼得堡科学院荷兰物理学家丹尼尔·伯诺里于 1738 年建立了流体运动的能量方程式——伯诺里方程式。1755 年瑞士学者、俄国科学院院士列昂纳德·欧拉发表了“流体运动的一般原理”,建立了理想液体运动方程式——欧拉方程式,奠定了古典流体力学的基础。

但在这一时期,流体力学主要是应用严格的数学逻辑为工具而发展,这种纯理论的探讨往往要求对所研究的对象做某些不切合实际的假定,其结果无法解决工程实际中提出的复杂问题,因而,实践促使水力学作为一门实验的科学而得到发展,于是,人们进行了大

量的实验和实地观测。1775年法国工程师谢才从工程实践中归纳出了渠道均匀流阻力公式——谢才公式,实水力学和流体力学逐渐接近起来。19世纪20年代英国科学家雷诺根据实验发现了液体流动的两种形态——层流和紊流。此外,俄国的儒科夫斯基和巴甫洛夫斯基等都有重要贡献。

我国在古代就有抗御洪水灾害,发展水利事业的实例。远在四千多年以前,就有大禹治水的传说。在春秋战国和秦朝时代,正是奴隶社会过渡到封建社会的历史变革时期,社会生产力得到巨大的发展,著名的都江堰和郑国渠灌溉工程就是在这时兴建起来的,从而使成都和关中平原成了秦国的两大粮仓。到公元前485年,开始修筑南北运河,至隋朝最后完成了从杭州至北京长达1782公里的大运河,沟通了江、淮、黄、海四大水系,改善了我国南北运输条件。这些都显示了我国劳动人民的高度智慧。

1949年新中国成立后,毛主席提出了“水利是农业的命脉”、“一定要把淮河修好”、“要把黄河的事情办好”等指示,开展了大规模的水利建设,在实际工程建设的推动下,在60年代中期以前,对于消能问题,中、高水头水工建筑物的水力学问题及泥沙的运动规律等方面进行了大量的实验和理论研究工作,取得了很多成果,与世界先进水平相比并不逊色。在今后社会主义现代化建设事业中,我们水力学工作者,应努力钻研,为国家和水力学学科的发展做出应有的贡献。

第三节 液体的主要物理性质

液体与固体及气体的主要区别是:液体具有一定大小的体积,它不象气体那样没有固定的体积,能充满任何容器;但它又不象固体那样,既具有一定的体积,又保持一定的形状。液体虽然能保持一定的体积,并能形成自由表面,但又和气体一样具有易流动性,几乎不能承受拉力、抵抗拉伸变形,在微小的切应力作用下易发生变形或流动。液体与固体一样能承受压力,却很不容易被压缩。

液体受力而作机械运动是液体自身的物理性质所决定的。因此研究液体的物理性质可以作为研究液体机械运动的基本出发点。在水力学中,和液体运动有关的液体的主要物理性质有如下几点:

一、惯性、质量与密度

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。当物体受其他物体的作用力而改变其运动状态时,此物体反抗原有运动状态而作用于其他物体上的反作用力称为惯性力。设物体的质量为 M ,常用单位为千克(kg)或吨(t)。

液体单位体积内所具有的质量称为密度,以 ρ 表示,对于均质液体设其体积为 V ,则

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

密度的通用国际单位为公斤/米³(kg/m³),工程单位为公斤·秒²/米⁴(kgf·s²/m⁴)。

二、万有引力特性、重力和容量

万有引力特性是指任何物体之间互相具有吸引力的性质，其吸引力称为万有引力。在液体运动中，一般只需考虑地球对液体的引力，这个引力称为重力，或称为重量，用 G 表示。设液体的质量为 M ，重力加速度为 g ，则重量为

$$G = Mg \quad (1-2)$$

液体单位体积内所具有的重量称为容重，用 γ 表示，对于体积为 V 的均质液体，其容重为

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

容重的通用国际单位为牛顿/米³(N/m³)，工程单位为公斤/米³(kgf/m³)或吨/米³(t/m³)当由式(1-1)和式(1-2)代入式(1-3)则得

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

g 值随地理位置的不同而有所变化，但一般可看作常数，采用9.80米/秒²的数值，国际单位为9800牛顿/米³。

水的密度、容重与压强、温度有关，但变化不大，故在实用上水的密度就以在一个大气压下温度为4℃时的最大密度值作为日常计算值，即1克/厘米³或102公斤·秒²/米⁴，此时水的容量 $\gamma = 1000$ 公斤/米³，可认为 γ 是一个常数。

水在不同温度时的容重值见表1-1。

表 1-1 不同温度时水的容重 γ 值 (大气压力下)

t °C	0°	4°	10°	20°	30°	40°	60°	80°	100°
N/m ³	9798.73	9800.00	9797.55	9782.95	9758.45	9725.03	9637.12	9525.01	9394.77

三、粘 滞 性

液体在运动状态下，相邻两液层之间有产生剪切应力(或称内摩擦力)的特性，这个特性称为液体的粘滞性。现通过下述试验加以说明。取两个具有同一轴线而直径不等的内外圆筒，两圆筒间的距离很小，中间充满待试验的水，如图1-3所示，内圆筒被一扭丝悬挂着，在不同的力矩作用下扭丝的转角事先经过校正。外圆筒可按各种速度旋转。通过试验可以看到，当外圆筒以一定速度旋转，转动力矩通过水体内部的传递而至内圆筒，使扭丝扭转一定的角度后才达到平衡并处于静止状态。紧邻外圆筒内壁的液体，其运动速度和外圆筒的周速相等，而紧贴内圆筒外壁的液体则和内圆筒一样，其速度为零。也就是说液体在固体表面上没有滑动，而液体其他部分的速度是由内向外递增，按直线变化由零增至外圆筒周速 u_c 。

如沿圆筒间取一小段水体放大，看作是两平行板间的流动，如图1-4所示。由于流

速分布的不均匀, 任意取一块水体如图 中 $abcd$ 来考虑, 因下面部分速度小, 上面部分速度大, 经过微小时间后这块水体必然发生剪切变形, 为 $a'b'c'd'$ 所示。上面流动较快的液体有拖动下面流动较慢的液体的作用; 反之, 下面流动较慢的液体有阻滞上面流动较快液体的作用。这样各层液体之间便发生剪切力以反抗剪切变形。上述外圆筒转动的力矩, 便是通过液体的内摩擦力作用逐层传递至内圆筒, 而和扭丝的反抗力矩平衡的。液体这一具有抵抗剪切变形的特性, 即称为粘滞性。

由试验可得知, 外圆筒的转速愈快, 扭丝指示的力矩愈大, 说明液体变形速度愈快, 或流速沿半径方向的变率愈大。另一方面, 在液体的二元平行直线运动中, 内摩擦力 F 的大小与液体的性质有关, 并与流速梯度 $\frac{du}{dn}$ 及接触面积 A 成正比, 而与接触面上的压力无关, 可写为

$$F = \mu A \frac{du}{dn} \quad (1-5)$$

式 (1-5) 就是牛顿内摩擦定律表达式,

式中 $\frac{du}{dn}$ —— 流速梯度, 即垂直于流动方向的变率, 如图 1-5 所示, 它是用速度图给定点上切线倾角的正切 $\tan \theta$ 来衡量;

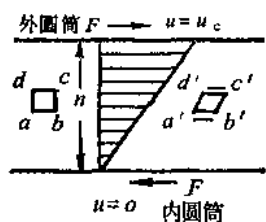


图 1-4

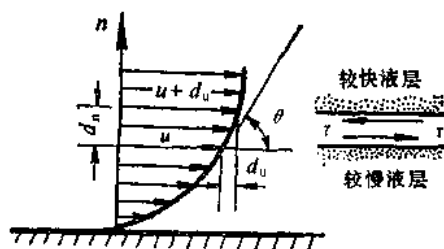


图 1-5

μ —— 粘滞性动力系数, 其工程单位为公斤·秒/米², 国际单位为牛顿·秒/米²。

若以 τ 代表单位面积上的内摩擦力(即切应力), 则:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

422142

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

在水力学计算中,常以动力粘滞系数 μ 与密度 ρ 之比表示粘滞性,称为运动粘滞性系数 ν , 即:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-7)$$

ν 的国际单位用 m^2/s 或 cm^2/s 。

水的运动粘滞性系数与温度关系,可按以下经验公式计算:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} (\text{cm}^2/\text{s})$$

式中 t ——摄氏水温。

实际上,液体和气体的粘滞性是用粘滞仪来测定的。水在不同温度下的 ν 值见表 1-2。

表 1-2 水在不同温度下的 ν 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	0.01794	20	0.01003	70	0.00413
5	0.01519	30	0.00803	90	0.00326
10	0.01306	40	0.00658	100	0.00294
15	0.01139	50	0.00553		

上述内摩擦定律,只适用于牛顿流体。

四、压缩性

固体受外力作用要发生变形,当除去外力后(外力不超过弹性限度时),有恢复原状的能力,这种性质称为物体的弹性。

液体不能承受拉力,但可承受压力。液体受压后体积要缩小,压力撤除后也能恢复原状,这种性质称为液体的压缩性或弹性。液体压缩性的大小是用体积压缩系数 β 或体积弹性系数 k 来表示的, β 是液体体积相对压缩值 $-\frac{dv}{V}$ 与其压强增值 dp 之比, β 值愈大则液体愈易压缩,而且 $-\frac{dv}{V}$ 与 dp 异号,故公式中取负号

$$\beta = -\frac{\frac{dv}{V}}{dp} \quad (1-8)$$

k 是 β 的倒数, k 值愈大表示液体愈不易压缩, $k \rightarrow \infty$ 就表示绝对不可压缩,其表达式为

$$k = \frac{1}{\beta} = - \frac{dp}{\frac{dv}{V}} \quad (1-9)$$

β 的常用单位为厘米²/牛顿(cm²/N), k 的常用单位为牛顿/厘米²(N/cm²)。

液体的种类不同, 其 β 和 k 值也不一样。同一种液体的 β 和 k 值也随温度和压强而变化, 但变化不大, 一般可看做为常数。在10°C时水的 k 值一般采用 2.10×10^9 牛顿/米², β 值则为 0.047×10^{-9} 米²/牛顿, 由此可知水的压缩性是很小的, 故在通常情况下, 认为水是不可压缩的, 但要注意到在某些特殊问题上, 如水电站和水泵站等急速开关水管阀门时所发生的水击现象, 需要考虑到水的压缩性。

五、表面张力

液体自由表面上的每个质点, 因受邻近质点分子引力的作用而被拉向液体的内部。因此, 液体的自由表面好象是一层紧张的薄膜, 呈现收缩的趋势, 使自由面上液体分子受到极其微小的拉力, 这种表面上所受的压力称为表面张力。由于表面张力很小, 一般说来对液体的宏观运动不起作用, 可以忽略不计, 只有在某些特殊情况下, 才显示其影响, 如水量测所用的测压管中、流体在细密的多孔介质中(如岩石、土壤中的地下水)流动等。

表面张力的大小, 可以用表面张力系数 σ 来度量。表面张力系数是指在自由面(把这个面看作一个没有厚度的薄膜一样)的单位长度上所受的拉力数值, 单位为牛顿/米(N/m)。 σ 的大小随液体种类和温度变化而异。在20°C时, 水的 σ 值为0.0728 牛顿/米, 水银的 σ 值为0.54 牛顿/米。

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, 使玻璃管中的液面和与之相连通的容器中的液面不在同一水平面上, 这就是物理学中所指出的毛细管现象, 如图 1-6 所示。

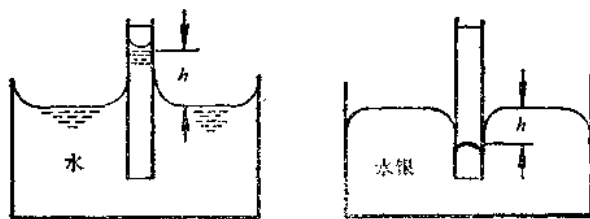


图 1-6

通过分析计算可以推出, 对20°C的水, 玻璃管中水面高出容器水面的高度 h 约为:

$$h = \frac{29.8}{d} (\text{mm}) \quad (1-10)$$

对于水银, 玻璃管中的水银面, 低于容器中水银面的高度约为:

$$h = \frac{10.15}{d} (\text{mm}) \quad (1-11)$$

式中, d 为玻璃管的内径, 以毫米计。上式表明, 玻璃管内径愈小, 液面差 h 值愈大。所

以实验用的测压管内径不宜太小，同时要注意毛细管作用而引起的误差。

习 题

1. 已知海水的容重为 10000 N/m^3 ，若以 N/L 及 N/cm^3 来表示，其容重为多少？
2. 试计算水温为 17.6°C 时的 ν 值是多少？
3. 实验室中采用内径为 5 mm 的玻璃测压管用来量测水管中某点压强，在水温为 20°C 时，可能产生的误差多少毫米？
4. 从力学观点分析液体与固体有何不同？
5. 什么流体称为非牛顿流体？试列举一、两类，并绘出流变曲线。

第二章 水 静 力 学

水静力学的任务是研究液体在静止状态下的平衡规律及其在生产中的应用。

运动是物质存在的形式。物质的运动是绝对的，物质的静止是相对的。比如装在容器中的水，其内部分子时时刻刻都在做无规则的运动，同时，容器中的水又随着地球在运动。但是，就其与地面之间并没有相对运动，而是处于相对静止状态。在水力学中，我们不从微观上研究水分子的运动，而是从宏观上研究水处于相对静止状态下的平衡规律。

第一节 静水压强及其特性

一、静水压力

当拖动设置在水库岸边的放水洞前沿的平板闸门时，需要很大的拉力，如图 2-1 所示。重力坝的坝体重量不够时，挡水后将失去稳定，这正是水体给予闸门和坝体以压力。液体不仅对与之相接触的固体边界作用有压力，就是在液体内部，一部液体对相邻的另一部分液体也作用有压力。静止液体对与之相邻的接触面所作用的压力称为静水压力。在进行挡水建筑物的设计中，必须计算作用于这些边界上的静水压力。静水压力和任何力一样，具有大小、方向和作用点三个要素，下面我们将研究如何确定这三个要素。

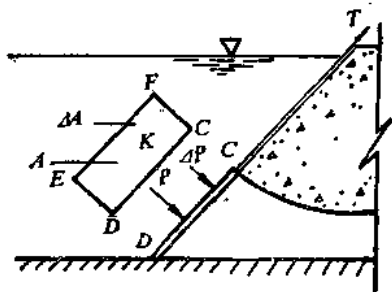


图 2-1

二、静水压强

静止液体作用在受压面的单位面积上的静水压力称为静水压强。静止液体作用在一个受压面上的全部压力则称为静水总压力，常用大写字母 P 来表示。静水压强常用小写字母 p 表示。

如图 2-1，有一平板闸门 $CDEF$ ，闸门的面积为 A ，若整个闸门上所受的静水总压力为 P ，今在 $CDEF$ 平面上任意取微小面积 ΔA ，令作用于 ΔA 面积上的静水总压力为 ΔP ，在 ΔA 面上各处，其单位面积所受的压力本是不相等的，但就平均情况而言， ΔA 面上的单位面积所受静水压力应为

$$\bar{P} = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (2-1)$$

$\bar{P}$ 称为平面 ΔA 上的平均静水压强，它反应了受压面 ΔA 上静水压强的平均值。

但是，当 ΔA 面积无限缩小至趋于 K 点时，平均静水压强 $\Delta P / \Delta A$ 的极限值定义为该

点的静水压强, 用 p 表示:

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (2-2)$$

在国际单位制中, 静水压强的单位为牛顿/厘米²(N/cm²) 或牛 顿/米²(N/m²)。在水利工程中常采用工程单位制, 其压强单位是吨/米²(t/m²) 或公斤/厘米²(kg/cm²)。

三、静水压强的特性

静水压强有两个极其重要的特性。

(一) 静水压强垂直并指向受压面。一处于静止状态的液体 M , 如图 2-2(a) 所示, 今用 $N-N$ 面将液体 M 分为 I、II 两部分, 当取第 II 部分液体为脱离体作受力分析时, 在分割面 $N-N$ 上, 第 I 部分液体对第 II 部分液体将作用有静水压力。设分割面上某一点 K 处所受的静水压强为 p , 现在来讨论该静水压强 p 的方向。在 p 的方向未确定之前, 暂且认为在 K 点处 p 与作用面并不垂直, 而与切线方向成角度 α , 如图 2-2(b) 所示, 这样就可把压强 p 分解成两个作用力, 一个是垂直于 K 点表面的 p_n , 一个是平行于 K 点表面的 p_t 。如果存在 p_t , 势必使相邻液体受到剪切力。由液体的物理性质可知, 液体在剪切力作用下将产生变形 (流动), 从而静止状态就要受到破坏。因此, 要使液体保持静止状态, 必须 $p_t = 0$, 所以压强 p 只能与 K 点表面垂直, 即 $\alpha = 90^\circ$ 。

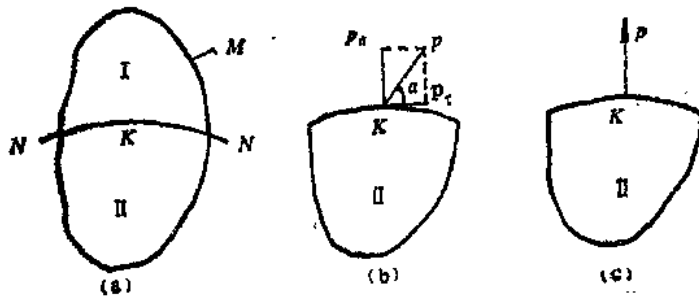


图 2-2

那么能否还存在着静水压强 p 与 K 点表面相垂直, 但其方向却背离作用面的情况如图 2-2(c)。显然, 如果 p 背离作用面, 液体就要受拉力。而液体是不能承受拉力的, 否则静止状态也要受到破坏。由以上分析表明, 在静止状态下, 静水压强只能是垂直并指向受压面。

(二) 静止液体内同一点的静水压强的 大小相等, 与受压面的方位无关。

图 2-3 是一个用 U 形玻璃管制成的测压计。玻璃管中盛着煤油, 试验前 A 、 B 两管都通大气, 两管中煤油面在同一高度。用橡皮管把一个扎有橡皮薄膜的小圆盒连到压力计的 A 管上, B 管仍与大气相通。将小圆盒放入水中, 则可看到两管的煤油面有一高度差 h 。这说明橡皮薄膜受到水的压力, 此压力传至管中的煤油, 使 A 管油面下降, B 管油面上升。

如果在同一深度的地方, 不论橡皮薄膜是向上、向下、向旁侧, 其测压计两边的液面