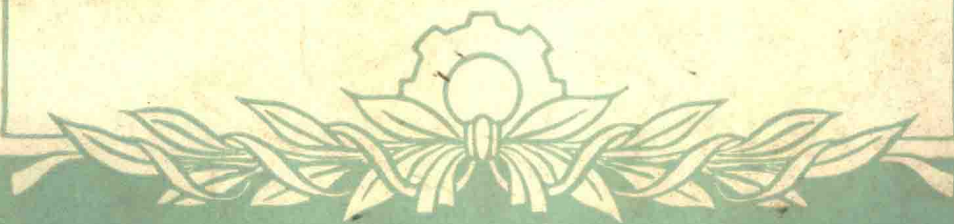


中等专业学校試用教科书

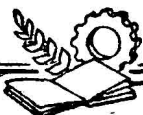
水 力 学

陕西省武功水利学校等編



中国工业出版社

中等专业学校試用教科书



水 力 学

陕西省武功水利学校等編

中国工业出版社

本书共分十一章，包括緒論，水靜力学，水动力学基础，水流阻力和水头損失，压力管道的水力計算，明渠均匀流，明渠非均匀流，孔口管嘴和閘下出流，堰流，水跃、上下游連接与消能，渗流。

本书系受水利电力部在重庆召开的中等专业学校教材工作會議的委托而編写的中等专业学校水工建筑专业四年制水力学教科书，在密切联系实际、联系专业的基础上重視了基本理論的充实与完整，并附有大量的应用图表和計算实例。可供其他专业水力学教学和工程技术人员参考之用。

本书系以吉林水利水电学院主办的水力学教学研究會編写的教材为基础，在陕西省武功水利学校的主持下，由陕西省武功水利学校、吉林水利水电学院、黄河水利学院、重庆水利水电学校共同編写的。

水 力 学

陕西省武功水利学校等編

*

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印張 $19\frac{1}{2}$ ·插頁3·字數452,000

1961年7月北京第一版·1961年7月北京第一次印刷

印數0001—4,033·定价(9-4)1.90元

統一书号: 15165·237 (水电-38)

目 录

第一章 緒論	4
第一节 水力学的定义和任务	4
第二节 水力学的发展簡史	4
第三节 液体的主要物理性质	6
第二章 水静力学	12
第一节 靜水压力及其特性	12
第二节 靜水压力基本方程式	15
第三节 測量靜水压力的仪器	20
第四节 相对靜水压力的图示法	24
第五节 巴斯加定律及其应用	25
第六节 平面壁上的靜水总压力	28
第七节 曲面上的靜水总压力	37
第八节 物体在液体中的浮沉	42
第三章 水动力学基础	44
第一节 概述	44
第二节 迹綫、流綫、微小流束与总流	45
第三节 液流的水力要素、流量和平均流速	47
第四节 稳定流的类型	49
第五节 液体稳定流的連續性方程式	51
第六节 理想液体稳定流的伯努利方程式	52
第七节 实际液体微小流束的伯努利方程式	55
第八节 实际液体总流的伯努利方程式	56
第九节 实际液体总流的伯努利方程式的运用举例	60
第十节 液流的动量方程式	64
第四章 水流阻力和水头損失	68
第一节 概述	68
第二节 液体运动的两种状态——层流和紊流	69
第三节 液体均匀流动的水头損失和基本方程式	75
第四节 层流状态下的沿程水头損失	76
第五节 紊流特性	78
第六节 紊流状态下的沿程水头損失	83
第七节 确定系数 λ 和 C 的公式	85
第八节 局部水头損失	91
第九节 总損失公式	93
第十节 繞流阻力	96
第五章 压力管道的水力計算	93
第一节 概述	98
第二节 一般管道的水力計算	98

第三节	給水管网計算原理	105
第四节	压力管中的水錘	107
第五节	短管的水力計算	114
第六章	明渠均匀流	121
第一节	一般概念及基本計算公式	121
第二节	明渠的粗糙系数	123
第三节	渠道橫断面的水力要素	125
第四节	渠道的水力最佳断面	127
第五节	渠道水流的最大和最小允許流速	129
第六节	渠道水力計算的基本类型	132
第七节	明渠均匀流計算的图解法	136
第八节	几种特殊情况下的水力計算	139
第七章	明渠非均匀流	144
第一节	明渠非均匀流的基本概念	144
第二节	断面比能和临界水深	146
第三节	临界底坡、緩流和急流	152
第四节	明渠稳定緩变流的基本微分方程式	155
第五节	棱柱体渠道中水面曲綫的分析	158
第六节	棱柱体渠道中非均匀流方程式	163
第七节	正坡棱柱体渠道中水面曲綫的計算与繪制	172
第八节	正坡非棱柱体渠道中稳定緩变流	173
第九节	天然河道水面曲綫的繪制	181
第八章	孔口、管咀和閘下出流	183
第一节	概述	183
第二节	薄壁小孔口的稳定自由出流	190
第三节	薄壁小孔口的稳定淹没出流	194
第四节	管嘴的液体出流	195
第五节	薄壁大孔出流	197
第六节	閘下出流	199
第七节	薄壁孔口的液体不稳定出流	205
第九章	堰流	209
第一节	堰的定义、分类及基本公式	209
第二节	薄壁堰	212
第三节	实用堰	216
第四节	寬頂堰	225
第五节	側堰	233
第十章	水跃、上下游连接与消能	237
第一节	概述	237
第二节	水跃基本方程式	241
第三节	水跃函数及水跃函数曲綫	242
第四节	棱柱体渠道中的水跃計算	244
第五节	底流式连接形式及基本計算公式	250

第六节	底流式消能结构的水力计算	255
第七节	面流连接和消能	253
第八节	挑流连接和消能	271
第十一章	渗流	279
第一节	概述	279
第二节	渗流的基本定律	282
第三节	地下水均匀流动	234
第四节	狄蒲公式	285
第五节	地下水稳定非均匀缓变流的微分方程式、浸润曲线型式和积分	286
第六节	井和集水廊道	290
第七节	围堰渗流及水平不透水地基上土坝坝身的渗流	295

第一章 緒 論

第一节 水力学的定义和任务

水力学是研究液体相对平衡(靜止)和运动的規律,并探討应用这些規律去解决实际工程上的問題的一門科学。

水力学由水靜力学和水动力学两大部分組成。

水靜力学研究液体处于相对平衡状态(“靜止”状态)下的力学規律。分析与液体接触的平面和曲面的受力情况是这部分的重点。

水动力学是水力学的主要部分,它研究液体在管路中、渠道中、天然河道中、透水的土中以及流經各种水工建筑物时的运动規律。

各种工程实践都与液体有着或多或少的联系。因此,水力学成了从事各种专业的工程技术人员共同研究的科学,如动力、石油、机械、冶金、采矿、鉄道、公路、化工、土木、航运等工程部門,都程度不同的需用水力学的知識。

水利工程是控制水流,消除水害,利用水来为人类造福的工程技术措施。进行水利工程建设,在拟定水利资源开发方案,以及勘察、設計、施工、管理等一系列过程中,会遇到許多与水流运动特性有密切关系的复杂的技术問題。只有正确的認識水流运动的特性,掌握水流运动的客观規律,才能合理而妥善地解决这些問題。因此,对于一个水利工作者來說,学习和研究水力学知識,不断的加深对水流运动規律的理解是非常重要的。

水力学在水工建筑专业中是許多专业課的理論基础,如水工建筑物,水电站、施工、工程水文学、以及工程地质与水文地质等都要应用水力学的理論。

第二节 水力学的发展簡史

同其它科学一样,水力学是在生产实践中不断发展起来的。

我国在防止水害,兴修水利方面有着悠久的历史和丰富的經驗。早在四千多年前,我国劳动人民就已开始与洪水灾害进行不懈的斗争。禹“凿龍門”、“疏九河”,循着水势地形輸黄河之水入海的傳說,充分显示了我国古代人民在治水方面的卓越才能。

春秋战国和秦汉时代,由于生产发展的需要,修建了許多巨大的水利工程,如公元前250年(秦惠王时)成都平原的人民以高度的智慧,創造了引水工程的独特形式——魚嘴,修建了中外聞名的規模巨大的灌溉工程——都江堰。其工程布置和“深淘滩,低作堰”的岁修法則,說明当时人民对水流規律已有較深的認識。

公元前485年开始修筑至隋朝完工的从杭州到北京长达1,728公里的南北大运河,沟通了江、淮、黄、海四大水系,改善了我国南北运输的条件。在这条运河上修建了大量的船閘建筑物,表現出了我国劳动人民的高度智慧。

几千年来,我国劳动人民在与黄河氾濫的斗争中,积累了极为丰富的經驗。由汉朝的“不与水爭地”,发展到明代的筑堤束水、以水攻砂,清代的順其性而利导之的治河思

想，反映了对挟砂水流的运动规律的认识逐步深化的过程，并且在明清时代，已经达到相当高的水平。历代在黄河两岸修筑了上千公里长的堤防，在堤防的岁修养护以及防汛抢险等方面都有不少杰出的创造。

此外，如公元前219年修筑的沟通湘江与桂江的灵渠，利用孔口出流原理制成的“延祐铜壶”（计时用），在科学发展史上都占有光辉的地位，类似的例子很多，这里不再一一列举。

我国人民过去虽然在水利建设方面有许多的创造，但是，所有这些符合水流规律的可贵创造都没有受到封建社会统治阶级的重视，因而阻碍了我国水利科学的发展。

与我国情况相似，早在几千年前，埃及、巴比伦、希腊等地区为了发展农业也修建了灌溉系统，发展了航运等。

公元前250年，希腊哲学家阿基米德发表了物体中浮沉的理论——“论浮体”。

中世纪欧洲长期处于黑暗的封建统治下，水力学和其它科学一样，没有重大的发展。

公元1650年，巴斯加建立了液体中压力传递的定律——巴斯加原理。

随着工业革命的兴起，封建制度的崩溃，社会生产力得到了发展，同时也促进了水力学的发展。1738年物理学家L·伯努利在彼得堡科学院创立了流体运动的能量方程式。1755年俄国科学院院士L·欧拉建立了理想流体的运动方程式，从而奠定了古典流体力学的基础。

其后，由于工程实践的需要，在水力学实际应用方面也得到了进一步发展。1755年德国工程师谢才从工程实践中归纳出了渠边均匀流的阻力公式——谢才公式。19世纪90年代，雷诺根据实验发现了液体流动的两种类型——层流和紊流。此外，牛顿、茹科夫斯基等在近代流体力学的理论上也有很大的贡献。

十月革命后，苏联人民在苏联共产党的领导下，开展了宏伟的社会主义和共产主义建设，先后建成了一系列规模空前巨大的水电站、灌溉系统和通航运河。苏联共产党领导广大科学工作者和技术人员，运用辩证唯物主义观点和理论密切联系实际的方法对水力学的各个方面进行了系统的总结和深入广泛的研究，并且取得了巨大的成就。目前无论是在水力学的理论或实际应用方面，苏联都已远远地超过了一切资本主义国家。

自从中华人民共和国成立以来，由于党和政府对水利水电建设事业的高度重视和正确领导，我国的水利建设和水利科学得到了蓬勃的发展，在短短的十一年内，已取得了巨大的成就。

为了使城市、村镇、工厂、矿山、交通线路以及广大耕地免于水灾，从解放的第一天起，全国人民便在防洪方面进行巨大的工作。不仅对大、中型河流的堤防系统地予以培修，还在长江、黄河等河流上修建了规模巨大的分洪工程。

关于诸大河流域规划和综合开发的工作，也正积极进行。早在1950年，即根据毛主席“一定要把淮河修好”的号召，着手淮河治理工作，先后完成了一系列的水库和节制闸，基本上改变了过去淮河流域“大雨大灾，小雨小灾，无雨旱灾”的情况。黄河的综合治理和开发工作，正在加紧进行，大跃进以来，三门峡等诸大水利枢纽同时施工，形成水利史上的壮举。这条几千年来以“百害”闻名于世的河流，将一反故常，而对祖国工农业的发展作出巨大的贡献。此外如长江、海河、辽河、汉江等河流的治理，也先后开

始。

在农田水利方面，結合农业发展的需要，开展了規模巨大的羣众性水利运动，十一年来扩大的灌溉面积已超过了解放前几千年累积灌溉面积的几倍。其他在水电建設、水土保持等方面也都取得了历史上空前未有的成就。

这些偉大成績的取得，是解放了的中国人民在偉大的中国共产党和毛主席的英明领导下，贯彻执行党的治水方針的胜利，是毛泽东思想的胜利。目前，英雄的中国人民遵循着党所指引的方向，高举总路綫、大跃进、人民公社三面紅旗，以排山倒海的英雄气概，为建設社会主义的宏偉事业而奋勇前进。水利事业也一定会在已有成就的良好基础上和更加有利的条件下得到更大更好的跃进。

偉大的社会主义建設事业推动了水利科学的发展，在建設中取得的实践經驗丰富了水力学的內容。同时随着社会主义建設事业的发展，水利工程实践又給水力学的科学研究提出了一系列新的复杂的問題，如高速水流、挟砂水流、地下水运动及波浪理論等方面，都有許多迫切需要解决的問題。近几年来，許多科学研究机关、学校和广大羣众正积极进行这些方面的試驗研究工作，并在若干問題上已取得了程度不同的成果。这些問題的逐步解决，一方面将直接推动水利建設事业的进一步发展；另一方面也将大大提高我国水力学的水平。

第三节 液体的主要物理性质

一、液体的一般特性

液体的基本特征是质点的易于流动和不易压缩。液体不能保持固有的形状，它的形状随容器的形状而改变；但是对于体积的改变則有极大的抵抗能力。

液体的易于流动是液体不同于固体的根本特性，其原因在于：較之固体，液体各质点間的内聚力极小，在相对平衡状态，液体内部几乎不显示抗拉和抗剪的作用，而只有抵抗压缩的能力。

除了液体之外，气体也具有质点易流动性。但是气体不同于液体的地方是：气体易于压缩，并且力求占据尽可能大的容积，也就是說，它的特点是体积的易变性。

因为质点的易流动性是液体和气体所共有的通性，所以有时把这两类物体統称为流体。但是因液体具有表面張力的作用，能够成滴，故把液体叫做滴态流体，而把气体叫做气态流体。

在水力学中，只研究滴态流体。至于气态流体或气体，則由热力学和气体动力学来研究。

在本书以后的叙述中，当說到“液体”时，即指滴态流体，而首先又是指水利工程中所遇到的水。

液体具有一些固体的物理性质，其中在研究水力学时最关重要的是：容重、压缩性、密度和粘滯性。

二、液体的密度与容重

1. 容重 液体单位体积的重量叫容重。容重用希腊字母 γ 来表示。由上述定义可知：液体的容重等于液体的重量与其体积之比，即

$$\gamma = G/w \quad (1-1)$$

式中 G ——液体重量；

w ——液体体积。

由公式(1-1)可看出容重的因次如下：

$$[\gamma] = \left(\frac{\text{重量}}{\text{体积}} \right) = \left(\frac{F}{L^3} \right).$$

液体的容重通常以克/厘米³、公斤/厘米³、吨/米³计。

由公式(1-1)得出：

$$G = \gamma w, \quad (1-1, a)$$

即液体的重量等于液体的容重与其体积的乘积。

对液体的这一性质——容重——的研究表明：对液体加压和加热只引起液体容重极微小的变化。1立方分米纯净的淡水，在温度为4°C、压力为一个大气压时，重为1公斤。亦即淡水的容重 $\gamma = 1$ 公斤/(分米)³

或

$$\gamma = 1,000 \text{ 公斤/米}^3.$$

纯净的淡水，在大气压力下其容重因温度而生的变化，载于表1-1内。

表 1-1 在大气压力和各种温度下的淡水的容重

温度	容 重 (公斤/米 ³)	温度	容 重 (公斤/米 ³)	温度	容 重 (公斤/米 ³)	温度	容 重 (公斤/米 ³)
0°	999.87	10°	999.75	30°	995.76	70°	977.94
3	999.99	15	999.15	40	992.35	80	971.94
4	1000.00	20	998.26	50	988.20	90	965.56
5	999.99	20	997.12	60	983.38	100	958.65

由表(1-1)可见，当温度由0°C变到30°C时，水的容重的变化小于0.5%。因此在这一温度范围内解决实际问题时， γ 值的这种变化可以不予考虑。当温度变化从30°C到100°C时， γ 值的变化则为0.5~4%。这种变化只有在解决热工技术中的热液流动问题时才被考虑。

由上述可知：对处于常温常压下的液体来讲，在进行水力计算时，完全可以采用固定不变的容重值。对于淡水，可以采用：

$$\begin{aligned} \gamma &= 1 \text{ 克/厘米}^3 \\ &= 1 \text{ 公斤/分米}^3 \\ &= 1,000 \text{ 公斤/米}^3 \\ &= 1 \text{ 吨/米}^3 \end{aligned} \quad (1-2)$$

例题1-1 试求充满容积为1.5米³的油槽内的汽油重量。

解：根据表1-2取汽油的容重 $\gamma_0 = 0.70$ 吨/米³。因此，根据公式(1-1, a)，汽油的重量将为：

$$G = \gamma_0 w = 0.70 \times 1.5 = 1.05 \text{ 吨}$$

2. 密度 液体单位体积的质量，或液体质量与其体积之比，叫做液体的密度。密度系用字母 ρ 来表示，并按下列公式来求：

$$\rho = \frac{m}{w}, \quad (1-3)$$

表1-2 几种液体的容重

液体名称	容重 (吨/米 ³)	附注
水 银 (温度为t℃时)	13.6	除括号内特别说明温度者外, 其他各容重均系在温度15~20℃间测定的。
甘 油 (温度为0℃时)	1.26	
牛 奶	1.03	
海 水	1.02~1.03	
润滑油、重油	0.89~0.92	
煤 油	0.80~0.82	
石 油	0.86~0.93	
汽 油	0.70~0.75	

式中 m ——液体的质量;

w ——该质量所占的体积。

由物理学知道, 物体重量 G 、物体质量 m 和重力加速度 g 三者之间存在着这样的关系, 即 $G = mg$ 。因此, 物体质量的数值可以按下列关系式来确定:

$$m = \frac{G}{g}, \quad (1-4)$$

式中 g ——重力加速度, 计算时可采用平均值 $g = 9.81$ 米/秒²。

把关系式(1-4)中的 m 值代入公式(1-3)内, 乃得:

$$\rho = \frac{G}{gw}.$$

用公式(1-1,a)的 $G = \gamma w$ 代替上式中的 G , 得:

$$\rho = \frac{\gamma w}{gw} = \frac{\gamma}{g} \quad (1-5)$$

由公式(1-5)可以定出密度的因次如下:

$$[\rho] = \left(\frac{F \cdot T^2}{L^3} \right), \text{ 常用单位为 } \left(\frac{\text{公斤}}{\text{米}^3} / \frac{\text{秒}^2}{\text{秒}^2} \right) = \left(\frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4} \right)$$

由公式(1-5)可知: 当液体的容重和重力加速度不变时, 液体的密度可视为常数。在一般情况下, 液体的密度是与压力和温度有关的。但是, 因为在通常的状态下, 液体处于大气压力之下, 并且温度变化的范围不大, 所以实际上液体的密度可以视为固定不变, 即认为是均质的。

某些液体密度的平均值如下:

水	$\rho = 102$ 公斤·秒 ² /米 ⁴ ;
石油	$\rho = 90$ 公斤·秒 ² /米 ⁴ ;
汽油	$\rho = 71.5$ 公斤·秒 ² /米 ⁴ 。

把密度公式(1-5)改写成

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

的形式之后, 我们就会得到容重、密度和重力加速度三者之间的关系, 即液体的容重等于其密度与重力加速度之乘积。

三、液体的压缩性

液体的压缩性系指液体在外力作用下体积缩小的性质。液体的特点是压缩性很小。

液体压缩性的大小用体积压缩系数来度量。体积压缩系数是液体在压力增加单位压力（1公斤/厘米²）时体积的相对缩小值。这个系数用字母 β 来表示，并按下式来计算：

$$\beta = \frac{w_1 - w_2}{w_1 p}, \quad (1-6)$$

式中 w_1 ——压缩前的液体体积；

w_2 ——压缩后的液体体积；

p ——作用于液体上的压力，以公斤/厘米²计。

体积压缩系数的因次为 $[\beta] = \left(\frac{L^3}{F} \right)$ ，单位是厘米³/公斤。

液体的体积压缩系数是很小的。例如：淡水 当温度在0°~20°C之间，压力达25个大气压力时，它的体积压缩系数平均等于

$$\beta = \frac{1}{20,700} \sim \frac{1}{21,000} \text{ 厘米}^3/\text{公斤}。$$

体积压缩系数的倒数叫做液体的弹性模数，用 K 表示。 $K = \frac{1}{\beta}$ 。

液体弹性模数的因次 $[K] = \left(\frac{F}{L^2} \right)$ ，单位为公斤/厘米²。

淡水的弹性模数，通常取其等于：

$$K = 20,700 \sim 21,000 \text{ 公斤/厘米}^2。$$

由于液体的压缩性极小，并且它对水力学中所讨论的各种现象的影响微不足道，所以在解决大多数水力学问题时，都不考虑液体的压缩性，而把液体当作是不可压缩的。但在讨论压力管路中的水锤问题时，液体的压缩性，必须加以考虑。

四、液体的粘滞性

液体的粘滞性，是指液体内部一部分质点对另一部分质点发生相对运动而产生的摩擦力的性质，也即是液体内部抵抗各液层之间作相对运动的性质。在水力学所研究的问题中，液体的粘滞性常常处于很重要的地位，读者应对它特别注意。

早在1686年，牛顿便首先指出：当液体内部各层间发生相对运动的时候，在相邻两层的交界面上，将产生内摩擦力。内摩擦力的大小，与液体的性质有关，与压力的大小无关。对于性质相同的液体来说，内摩擦与交界面面积和连接两层液体的相对速度的乘积成正比。

设想在长度及宽度都较大的两块木板之间，充满着某种液体，它的纵剖面如图1-1所示。令下面一块木板固定不动，加较小的力 P 于上面一块木板上，使上面一块木板以某一较小的固定速度 v 向右移动。经验证明，直接附着于木板表面的一层液体不可能与木板发生相对运动。因此，紧贴在上面木板表面的一层液体，将以速度 v 随木板向右运动；而紧贴在下面木板表面的一层液体将随木板静止不动。介于两块木板之间的各层液体，将以不同的速度向右运动。它们的速度将自下而上由0增加到 v 。

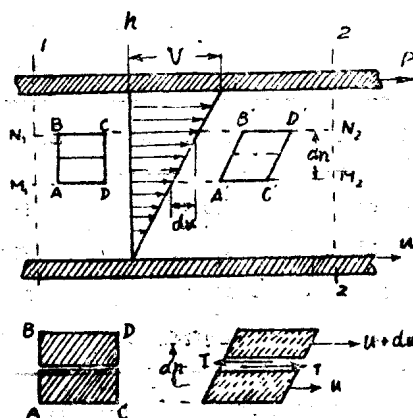


图 1-1 液体粘滞性

这样，各液体間液发生相对运动。上层液体拖动下层液体，而下层液体則有阻滯上面液层的作用，从而便层間产生內摩擦力。

取断面1-1与2-2之間的两层相邻的液体 M, M_2 与 N, N_2 来观察，令下层液体的运动速度(流速)为 u ，上层液体的运动速度为 $u+du$ ，并令两层液体間的距离为 dn 。若这两层液体交界面的面积为 S ，相对速度为 $\frac{du}{dn}$ ，則按照牛頓的論点，內摩擦力 T 应为：

$$T = \mu S \frac{du}{dn} \quad (1-7)$$

此处 μ 为比例常数，叫动力粘滯系数，代表液体粘滯性的大小。

$\frac{du}{dn}$ 表征沿垂直流动方向液层間速度的相对变化率，叫流速梯度。

单位面积上的內摩擦力 τ 为：

$$\tau = \frac{T}{S} = \mu \frac{du}{dn} \quad (1-8)$$

下面我們分析动力粘滯系数 μ 的因次。在工程单位制中：

$$[\mu] = \left[\frac{T}{S \frac{du}{dn}} \right] = \left[\frac{F}{L^2 \frac{1}{T}} \right] = \left[\frac{FT}{L^2} \right], \text{常用单位为 } \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}}{\text{厘米}^2}$$

液体的动力粘滯系数 μ 与密度 ρ 的比值叫运动粘滯系数 ν 即：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-9)$$

运动粘滯系数 ν 的因次为 $\left(\frac{L^2}{T} \right)$ ，常用单位为米²/秒或厘米²/秒。

液体的动力粘滯系数 μ 和运动粘滯系数 ν 与压力的关系很小，与温度的关系較大，液体的 ν 值随温度的增加而减少。

水的运动粘滯系数可按下列經驗公式来确定：

$$\nu = \frac{0.0178}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \text{厘米}^2/\text{秒} \quad (1-10)$$

根据以上公式算得的不同温度时的水的 ν 值，列于表1-3內。

在进行概略計算时，可以取水的运动粘滯系数 $\nu \approx 0.01$ 厘米²/秒。

表 1-3 水的运动粘滯系数值

温 度	ν (厘米 ² /秒)	温 度	ν (厘米 ² /秒)	温 度	ν (厘米 ² /秒)
0°	0.0178	15°	0.0117	50°	0.0055
5°	0.0152	20°	0.0101	70°	0.0041
10°	0.0131	30°	0.0081	90°	0.0031
12°	0.0124	40°	0.0066	100°	0.0028

对于其他一些液体，在 $t=15^\circ$ 时，可以引用下列的运动粘滯系数平均值（以厘米²/秒計）

汽 油..... $\nu=0.008\sim0.009$;

煤 油..... $\nu=0.025\sim0.030$;

石 油..... $\nu=0.20\sim0.600$;

机器油..... $\nu=0.40$;

甘 油..... $\nu=12.0$;

欲用实验方法测定液体的粘滞性时，可使用特殊的仪器，这种仪器叫做粘度计。

除了以上所述液体主要物理性质外，还有液体的表面张力，毛细管现象等性质。但这些性质对我们所讨论的液体机械运动影响很小，故不再一一叙述。

理想液体：在概略地介绍了液体的几种主要物理性质以后，还应就“理想流体”这一概念加以阐释。

在水力学中，为了使某些问题的分析简化，常常以理想液体去代替实际液体。所谓理想液体，即是从水力学的观点来看，性质较实际液体要简单得多的液体。理想液体具有这样一些特点：

1. 它是均质的(其密度为常数);
2. 它是各向同性的;
3. 它可以被视为连续介质(质点之间没有间隙);
4. 它没有压缩性;
5. 它没有粘滞性。

不言而喻，在真正的液体中，没有一种液体完全符合理想液体的要求。拿水来说，在一般情况和一般问题中，前四个特点差得不多，可以认为接近于理想液体。但在第(5)个特点上，与理想液体的分歧往往很大。只有在极特殊的条件下，才能忽视这种分歧。

通过液体的这些物理性质，在一定的条件下都产生一定的力，如质量力、粘滞力、弹性力等。这些力对液体的机械运动起着一定的作用，在不同的场合下，它们所起的作用是不同的。

但液体的机械运动不是单纯的，它总是和其他物质的运动形态联系的，如与液体运动相接触的边界条件(边界的几何形状，尺寸及性质等)也与液体运动有着直接的关系。因此在分析各种水流现象时，还应注意边界条件对水流的影响。

第二章 水静力学

水静力学是研究液体处于相对平衡状态下的力学规律和这些规律的实际应用。如挡水坝的稳定性计算, 闸门启闭力的计算等都是这些规律运用的实例。由于在相对平衡状态下, 液体的粘滞性在力学问题中不起作用, 故一般说来, 在水静力学中所得到的结论, 同样地适用于理想液体与实际液体。

第一节 静水压力及其特性

一、静水压力

我们设想在处于相对平衡状态下的液体中, 取任意形状的一团液体 K 来考察, 如图2-1。这团液体之所以能够保持相对平衡状态, 是承受了质量力(如重力)的作用, 以及四周液体通过它的周界面加于它的表面的力的作用的结果。在液体内部取一点 A , 通过 A 点作一平面 BAC , 它把所取的液体体积分成 I 和 II 两部分。现在假定把所取体积的部分 II 拿走, 而在平面 BAC 内, 向着所取体积的部分 I 施以力, 以代替被拿走的部分对部分 I 的作用力, 如图2-2,a所示。

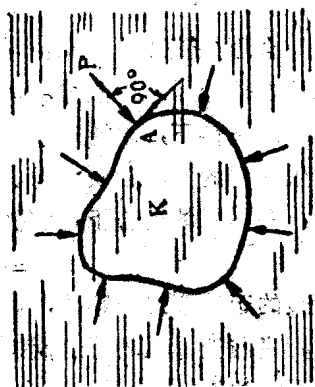


图 2-1 相对平衡状态下的液体团

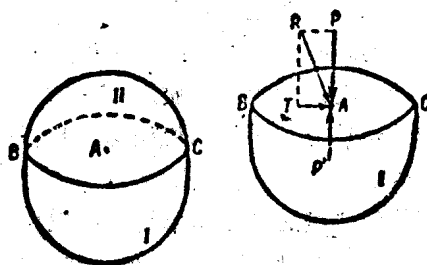


图 2-2 液体内部的作用力

令这些作用于 A 点的力的合力为 R 图2-2,b, 把合力 R 分解为两个分力 T 和 P , 使力 T 与平面 BAC 相合, 而力 P 则垂直于平面 BAC 。

显然, 力 T 是不可能存在的, 因为在力 T 的作用下, A 点处的液体质点就要开始沿着平面 BAC 滑动, 而在处于静止状态的液体里, 这种滑动是不可能有的。

因此, 在 A 点处只剩下了唯一可能的一个力 P , 其方向是与平面 BAC 正交的(即垂直于平面 BAC), 如图2-2,b。力 P 不致引起 A 点的状态发生任何的变化, 因为它将被大小相等而方向相反的力 P' 所平衡。力 P' 是由于液体的不可压缩性而出现在液体中的。力 P 叫做静水总压力。

由此可见: 静水总压力永远垂直于它所作用的平面(表面)。

在面积为 ω 的任一平面上所作用的总的静水压力 P 常被叫做静水总压力, 如图2-3。 P 的因次为 $[F]$, 常用公斤作单位。作用于单位面积上的静水压力 $p_c, p = P/\omega$, 常被叫做

平均静水压力。当 ω 向某一确定点缩小而接近于零时, p_{cp} 也将逐渐接近一个极限值 p , 即

$$p = \lim_{\omega \rightarrow 0} \left(\frac{P}{\omega} \right) \quad (2-1)$$

这时 p 叫做作用于该点的静水压力。 p_{cp} 与 p 的因次为 $\left[\frac{F}{L^2} \right]$, 常用公斤/米²、吨/米²或公斤/厘米²作单位。

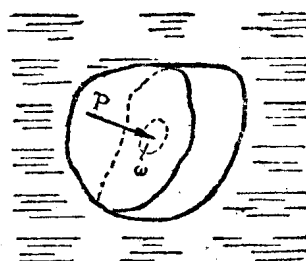


图 2-3 液体的总压力

二、静水压力的特性

点的静水压力具有两种特性:

第一特性是: 它永远垂直于它的作用面。这在静水压力的叙述里已证明了。

第二特性是: 相对平衡的液体中任意一点处的静水压力, 其大小与作用面在空间的方向(倾斜角度)无关, 即各方向的静水压力均相等, 而与该点在空间的位置有关。故静水压力是点的坐标的函数, 即 $p = f(x, y, z)$ 。

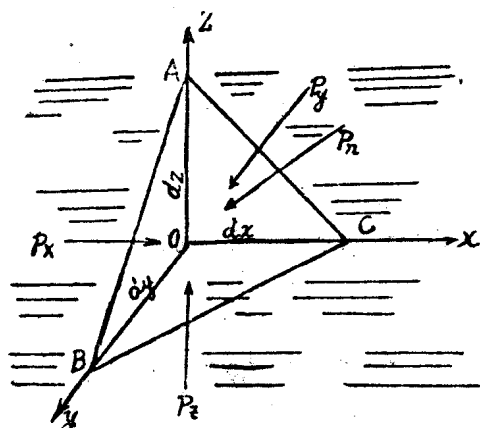


图 2-4 微小四面体的平衡

证明: 在平衡的液体中任取一点 O , 并设置直角坐标系, 如图 2-4。在坐标系上, 取包括原点 O 在内的任意无限小四面体 $ABCO$ 。设想将四面体以外的液体除去, 为了保持平衡, 必须在四面体的各点上, 加以与原来液体作用等价的静水压力 p_x 、 p_y 、 p_z 和 p_n (p_n 是斜面上的静水压力)。它们的方向垂直于各该作用面。

在无限小四面体边界面上各点的静水压力可以是各不相同的, 因静水压力是坐标的连续函数, 但是在无限小面积上各点的静水压力差也是无限小的, 因而认为是均匀分布的。这样并不影响推论结果的精确性, 但可使计算简化。

无限小四面体各面上的静水总压力是:

对于平面 AOB 为 $\frac{1}{2} p_x \cdot dx \cdot dy$,

对于平面 BOC 为 $\frac{1}{2} p_z \cdot dx \cdot dy$,

对于平面 AOC 为 $\frac{1}{2} p_y \cdot dx \cdot dz$,

对于斜面 ABC 为 $dF \cdot p_n$ (dF 为 ABC 平面的面积)。

至于无限小四面体的体积力在 x 轴上的投影则为 $\rho x \frac{1}{6} dx \cdot dy \cdot dz$, 其中 x 为单位体积的力在 x 轴上的投影, ρ 为液体的密度。

写出以上各力在 x 轴的平衡方程式, 得

$$p_x \frac{1}{2} dy \cdot dz - p_n dF \cdot \cos \alpha + x \rho \cdot \frac{1}{6} dx \cdot dy \cdot dz = 0$$

式中, α 为 p_n 与 x 轴的交角。从几何关系知, $dF \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} dy \cdot dz$ 。此外, 方程式第三项是三阶无穷小, 与前两项二阶无穷小比较可以略去。因此上式变成下面形式,

$$p_x \cdot \frac{1}{2} \cdot dy \cdot dz - p_n \cdot \frac{1}{2} dy \cdot dz = 0$$

各边除以 $\frac{1}{2} dy \cdot dz$, 并移项, 得:

$$p_x = p_n$$

同理, 将以上诸力分别对 Y 和 Z 轴取平衡方程式, 得: $p_y = p_n$ 和 $p_z = p_n$
由此可見

$$p_x = p_y = p_z = p_n = p \quad (2-2)$$

式(2-2)为静水压力第二特性的表达式, 即在相对静止的液体中, 任一点的静水压力的方向与作作用面的方向无关, 或者说在各个方向均相等。这一特性说明, 静水压力可以由一个标量来表达, 即仅仅是坐标的连续函数:

$$p = f(x, y, z).$$

三、自由面和等压面

1. 自由面: 液体的自由面系指液体和外界气体之间或者液体与真空之间的分界面。

液体的上面常与大气接触, 在这种情况下, 液体和大气的接触面就是自由面。

在研究只受重力作用的相对静止液体时, 不难看出: 自由面在其一切点上都应当跟重力的方向正交。

现在我们来研究一下位于相对静止液体自由面上的液体质点。倘若这个自由面并不跟重力的方向正交, 而是具有图2-5, a 的虚线所示之形式, 则可以把铅垂方向的质点重力 G 分解为两个力: N ——与液体表面正交; T ——与液体表面相切。力 T 就要引起液体质点的移动, 而这种移动是不可能发生的, 因为按已知条件, 液体是处于静止状态的。因此, 力 $T = 0$ 。故力 $N = G$ 。也就是说, 自由面根据垂直于 N 力的方向的这个条件看, 应垂直于重力 G 的方向, 如图2-5, b。

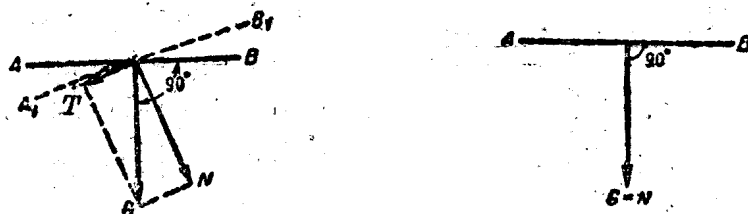


图 2-5

因为重力是向地心的, 而按照上述, 自由面又垂直于重力的方向, 所以在巨大的水体(海、洋)里, 自由水面为球形。在不大的湖泊、贮水池和水库里, 则自由水面可认为是一水平平面。

应该指出: 如果除了重力之外, 作用在液体上的还有其它的力(例如, 风力, 惯性力, 离心力等等)的话, 那么即使在微小的容器内, 它的自由液面也不可能是水平的。

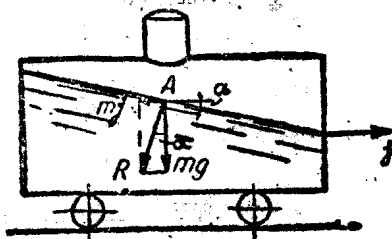


图 2-6 行驶着的油槽车中的自由液面

这是因为自由面应当垂直于其上各液体质点上一切作用力的合力方向, 而在这种情况下, 一切力的合力并不都是铅垂的。如弯曲河道的自由水面, 相对运动之液体自由面就不是水平的。

作为自由液面不是水平平面的情况的一个例子, 我们来研究一下。以等加速度 a 沿着水平道路行驶的油槽车中的液体状态图2-6。