

中等专业学校试用教材

水力学

文少佑 卜广林

张传华 苏少裕

陈锦士 编

中国建筑工业出版社

中等专业学校试用教材

水 力 学

文少佑 卜广林 陈锦士 编
张传华 苏少裕

中国建筑工业出版社

本书为中等专业学校给排水专业用的水力学教材。书中主要介绍了静水力学，动水力学，水流阻力和水头损失，孔口、管嘴和有压管流，明渠水流，堰流，渗流以及相似理论基础知识；在加强基础理论介绍的同时，给出了大量的例题、思考题和习题。本书除可供专业师生教学用书外，亦可供广大给水排水工程技术人员参考。

中等专业学校试用教材

水 力 学

文少佑 卜广林 陈锦士 编
张传华 苏少裕

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：14½ 插页：2 字数：348 千字

1986年12月第一版 1986年12月第一次印刷

印数：1—8,900册 定价：1.90元

统一书号：15040·5104

前 言

本书系根据一九八二年十二月城乡建设环境保护部教育局审定的给水排水工程专业《水力学》教学大纲编写的。在编写中，力求更好地体现中专特点和专业要求，贯彻理论联系实际、少而精的原则。书中除给出了必要的例题外，还编写了适当数量的思考题和习题，以满足教学的需要。

本书编写分工是：黑龙江省城市建设工程学校文少佑（第一、二章），卜广林（第三章）；山东省济南城市建设学校张传华（第四、九章）；广西壮族自治区建筑工程学校苏少裕（第五、七章）；天津市市政工程学校陈锦士（第六、八章）。由黑龙江省城市建设工程学校担任主编，抚顺市城市建设学校曲同儒同志担任主审。

北京城市建设学校田卫民同志，重庆市城市建设工程学校唐邦国同志参加了审稿会。广州市市政建设中等专业学校，南京市城市建设职工中等专业学校，衡阳铁路工程学校等提出了书面意见，在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，经验不足，可能还存在不少问题，请读者批评指正。

编者

一九八五年九月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 液体的物理性质	2
第三节 作用在液体上的力	6
思考题	7
计算题	7
第二章 静水力学	8
第一节 静水压强及其特性	8
第二节 静水压强的分布规律	10
第三节 静水压强基本方程的另一形式	16
第四节 静水压强的测量	18
第五节 作用在平面壁上的静水总压力	21
第六节 作用在曲面壁上的静水总压力	27
第七节 液体的浮力和浮体的稳定	30
第八节 液体的相对平衡	33
思考题	34
计算题	35
第三章 动水力学	41
第一节 液体运动的基本概念	41
第二节 过水断面、流量和平均流速	44
第三节 恒定流连续性方程	45
第四节 动水压强及其分布规律	47
第五节 恒定元流能量方程	48
第六节 实际液体恒定总流能量方程	51
第七节 恒定流能量方程的应用	54
第八节 总水头线与测压管水头线	59
第九节 恒定总流动量方程	61
思考题	65
计算题	66
第四章 流动阻力及水头损失	70
第一节 液体的切应力及粘滞系数	70
第二节 水头损失的两种形式	71
第三节 液体流动的两种型态	72
第四节 沿程水头损失与切应力的关系——均匀流基本方程	76
第五节 沿程水头损失计算公式	78
第六节 沿程阻力系数 λ 的确定	82

第七节 谢才公式和谢才系数.....	86
第八节 局部水头损失的计算.....	89
思考题.....	95
计算题.....	96
第五章 孔口 管嘴出流和有压管流	98
第一节 概述.....	98
第二节 孔口出流.....	99
第三节 管嘴出流.....	103
第四节 简单管路的水力计算.....	106
第五节 复杂管道的水力计算.....	118
第六节 管网水力计算基础.....	121
第七节 有压管道中的水击.....	124
思考题.....	129
计算题.....	129
第六章 明渠水流	133
第一节 概述.....	133
第二节 明渠均匀流的基本特征与发生条件.....	135
第三节 明渠均匀流的基本公式.....	136
第四节 明渠水力计算中的几个有关问题.....	137
第五节 明渠均匀流的水力计算.....	140
第六节 无压圆管均匀流的水力计算.....	145
第七节 明渠非均匀流的发生条件及特征.....	148
第八节 断面单位能量 临界水深 急流 缓流 临界流.....	148
第九节 水跌和水跃.....	157
第十节 明渠非均匀渐变流水面曲线定性分析.....	163
第十一节 明渠非均匀渐变流水面曲线的计算和绘制.....	167
思考题.....	172
计算题.....	174
第七章 堰流	177
第一节 堰流和堰的分类.....	177
第二节 薄壁堰.....	177
第三节 实用堰和宽顶堰.....	181
第四节 闸孔出流.....	185
第五节 水流衔接和消能.....	189
思考题.....	191
计算题.....	191
第八章 渗流	193
第一节 概述.....	193
第二节 渗流的基本定律.....	194
第三节 单井的涌水量计算.....	197
第四节 井群的涌水量计算.....	201
第五节 大口井涌水量的计算.....	205

第六节 集水廊道的流量计算.....	207
计算题.....	208
第九章 相似理论基础知识	210
第一节 水力相似原理.....	210
第二节 相似准则.....	212
第三节 模型实验.....	214
附录	217

第一章 绪 论

第一节 概 述

水力学是一门研究液体静止和运动的力学规律及其在工程中应用的科学。它研究的对象主要是水，但在一定条件下，也可运用其规律解决气体运动的问题。

水力学是“给水排水工程”的重要理论基础之一。同时它也在水利、机械、石油开采、城市建筑、道路桥梁、建筑港口等工程领域中得到广泛的应用。

城市的生活、生产和消防用水，一般都是由水厂集中供应的。水厂用水泵把江、河、湖或集水井中的水抽上来，经过净化和消毒处理后，再用水泵通过输水管道和配水管网送到各个用户。有时为了调节水泵的负荷，还需要建造水塔或高位水池，这样，就必须解决一系列的水力学问题：如管网布置，管径的计算，水塔或水池的高度设计，消火栓口处所需水压的计算，水泵容量和水井产水量的计算等；在城市排水管渠的水力计算中，也都离不开水力学的基本原理。

水力学研究液体的宏观机械运动，以液体质点作为最小研究对象。所谓液体质点，是

米制单位与法定单位制单位对照表

表 1-1

量的名称	米 制 单 位		法定单位制单位		换 算 关 系
	名 称	符 号	名 称	符 号	
长 度	米	m	米	m	
时 间	秒	s	秒	s	
质 量	公斤力二次方秒每米	kgf·s ² /m	公 斤	kg	1kgf·s ² /m=9.81kg
力、重量	公 斤 力	kgf	牛 顿	N	1kgf=9.81N
压 强	公斤力每平方米	kgf/m ²	帕 斯 卡	Pa	1kgf/m ² =9.81Pa
	工程大气压	at	帕 斯 卡	Pa	1at=9.81×10 ⁴ Pa
	巴	bar	帕 斯 卡	Pa	1bar=10 ⁵ Pa
	毫米水柱	mmH ₂ O	帕 斯 卡	Pa	1mmH ₂ O=9.81Pa
	毫米汞柱	mmHg	帕 斯 卡	Pa	1mmHg=133.32Pa
应力、强度	公斤力每平方厘米	kgf/cm ²	帕 斯 卡	Pa	1kgf/cm ² =9.81×10 ⁴ Pa
能量、功	公斤力·米	kgf·m	焦 耳	J	1kgf·m=9.81J
功 率	公斤力米每秒	kgf·m/s	瓦 特	W	1kgf·m/s=9.81W
	马 力		瓦 特	W	1马力=735.45W
动力粘度	泊	P	帕斯卡秒	Pa·s	1P=0.1Pa·s
运动粘度		m ² /s		m ² /s	
			斯托克斯	st	1st=10 ⁻⁴ m ² /s

指由许多分子组成,占有无限小的体积,具有无限小的质量和具备液体性质的物理点。从宏观角度出发,认为液体质点之间是无间隙的,而且是充满整个占有空间的。因此,在水力学中,把液体当作一种“连续介质”来研究,并把这种连续体看作均质的和各向同性的。这样就可以充分地应用数学连续函数的概念来分析解决水力学问题了。

由于水流现象极其复杂,工程中的许多问题,用纯理论分析的方法很难求解,甚至不可能,因而必须借助于试验的方法来确定。即使是理论分析得到的结论,也常需要通过实验和生产实践来验证。只有当理论较好地反映了客观实际时,这种理论才能正确地指导实践。所以在近代水力学研究中,均采用理论分析与实验相结合的方法。

本书采用以国际单位制为基础的我国法定计量单位、常用的基本单位有:长度为米(m);时间为秒(s);质量为公斤(kg)。力为导出单位,采用牛顿(N), $1\text{ N} = 1\text{ 公斤}\cdot\text{米}/\text{秒}^2\text{ (kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2\text{)}$ 。

由于我国长期采用以米制为基本计量制度的非法定计量单位,因此,在全国尚未全面完成向法定计量单位过渡之前,要特别注意两者之间的换算关系。水力学中,常用的法定单位与米制单位的换算关系见表1-1。

第二节 液体的物理性质

为了研究液体的平衡和运动规律,首先必须了解液体本身所固有的一些物理性质。

一、液体的基本特性

物质的存在有三种状态:固体、液体和气体。液体和气体统称流体。流体的基本特性就是易于流动。

液体与固体不同,其分子间的距离较大,引力较小,没有固定的形状。几乎不能承受拉力来抵抗拉伸变形,静止时还不能承受切力来抵抗剪切变形。只要施加微小的切力,即可破坏其静止状态而发生流动。

气体分子间的距离更大,引力很小,易于压缩和扩散。而液体则不易压缩,也不易扩散,盛于容器中的液体会出现一个与气体分界的自由表面。

二、液体的主要物理性质

(一) 惯性

惯性是物体维持原有静止或运动状态所固有的物理性质。物体运动状态的任何改变,都必须克服惯性的作用。表征物体惯性大小的物理量是质量,质量愈大惯性就愈大,运动状态就愈难改变。

液体的质量与其体积的关系可用密度来表示,均质液体单位体积的质量称为密度,以下式表示:

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

式中 ρ ——液体的密度, kg/m^3 ;

M ——液体的质量, kg ;

V ——液体的体积, m^3 。

(二) 万有引力

一切物体相互之间都具有吸引力，这种力称为万有引力，它企图改变物体原有的运动状态而使其相互接近。在液体静止和运动中，一般只考虑地球对液体的引力，亦即重力。

重力（或称重量）与其体积的关系可用容重来表示，均质液体单位体积的重量称容重（或称重度），以下式表示：

$$\gamma = \frac{mg}{V} = \rho g \tag{1-2}$$

式中 γ ——液体的容重， N/m^3 ；
 g ——重力加速度，一般采用 $g = 9.81\text{m/s}^2$ 。

不同液体的容重和密度各不相同，同一种液体其容重和密度又随温度和压强而有变化。

在正常大气压条件下，常见液体的容重和密度见表1-2。水在不同温度时的容重和密度见表1-3。

在工程计算中，一般取淡水的容重为 9810N/m^3 ，密度为 1000kg/m^3 。

常见液体容重与密度值 表 1-2

液体名称	容重 (N/m^3)	密度 (kg/m^3)	测定条件
蒸馏水	9810	1000	4 °C
海水	10006~10104	1020~1030	15 °C
水银	133317.90	13590	0 °C
纯乙醇	7749.30	790	15 °C
汽油	6670.80~7259.40	680~740	15 °C
煤油	7848.00~8838.50	800~850	15 °C

水在一大气压下不同温度时的容重和密度值 表 1-3

温度 (°C)	容重 (kN/m^3)	密度 (kg/m^3)	温度 (°C)	容重 (kN/m^3)	密度 (kg/m^3)
0	9.8087	999.87	30	9.7675	995.67
2	9.8097	999.97	40	9.7338	992.24
4	9.8100	1000.00	50	9.6930	988.07
6	9.8091	999.97	60	9.6456	983.24
8	9.8088	999.88	70	9.5923	977.81
10	9.8073	999.73	80	9.5336	971.83
15	9.8072	999.10	90	9.4699	965.34
20	9.7926	998.23	100	9.4017	958.38

（三）压缩性与膨胀性

1. 压缩性

当温度保持不变，液体所受压强增大时，体积减小（或密度增大）的性质，称液体的压缩性。

液体压缩性的大小，可用体积压缩系数 β 表示：当温度保持不变，压强每增加1帕(N/m^2)时，液体体积的相对减小量，称体积压缩性系数。设压缩前的体积为 V ，压强增加 Δp 后，体积减少 ΔV ，则：

$$\beta = \frac{\frac{\Delta V}{V}}{\Delta p} \quad (1-3)$$

根据实测，水在常温（20℃）下的体积压缩系数 $\beta = \frac{1}{2.07 \times 10^9} \text{m}^2/\text{N}$ ，因为其值很小，所以在工程中，除特殊情况（如有压管路中的水击现象）外，水的压缩性可以忽略不计。这一结论也适用于其它液体。通常把忽略了压缩性的液体，称为不可压缩液体。

液体的压缩性，还可用压缩系数 β 的倒数亦即用弹性系数 E 表示，即：

$$E = \frac{1}{\beta} \quad (1-4)$$

水在常温下，压强在1~500大气压范围内变化时，一般可近似地取 $E = 2.07 \times 10^9 \text{N/m}^2$ 。水在不同温度和压强条件下的弹性系数值见表1-4。

水的弹性系数 E 值（帕）

表 1-4

温 度 (°C)	压 强 (大气压)				
	5	10	20	40	80
0	1.85×10^9	1.86×10^9	1.88×10^9	1.91×10^9	1.94×10^9
5	1.89×10^9	1.91×10^9	1.93×10^9	1.97×10^9	2.03×10^9
10	1.91×10^9	1.93×10^9	1.97×10^9	2.01×10^9	2.08×10^9
15	1.93×10^9	1.96×10^9	1.99×10^9	2.05×10^9	2.13×10^9
20	1.94×10^9	1.98×10^9	2.02×10^9	2.07×10^9	2.18×10^9

2. 膨胀性

当压强保持不变，液体温度增高时，体积增大（或密度减小）的性质，称为液体的膨胀性。

在一大气压条件下，当温度较低（10~20℃）时，温度每增加1℃，水的体积增大约万分之一点五，温度较高（90~100℃）时，水的体积增加约万分之七点二，说明水的膨胀性也是很小。因此，在工程中，除热水管道系统外，水的膨胀性也可忽略。这一结论，同样适用于其它液体。

（四）粘滞性

液体内部质点或流层间，如有相对运动则产生内摩擦力（切力）以抗拒相对运动，这种性质称为粘滞性。

易流动是液体的一个重要物理特性，不同液体，流动的难易程度不同，其原因是在不同液体内部抗拒因流动而发生的切向变形（图1-1中 $abcd$ 变至 $a'b'c'd'$ ）的程度各不相同。液体的粘滞性是抗拒切向变形的一种性质，例如水比石油易于流动，这说明水比石油抗拒切向变形的能力小，因此其粘滞性亦小。液体之所以能呈现粘滞性，主要是由于液体的内聚力所引起，粘滞性是运动液体产生流动阻力的内因。这种阻力是因质点的相对运动而产生的一种切力，亦称内摩擦力。当液体在管道内流动时，紧贴管壁的极薄一层液体，因附着在壁面上不动，该液层又通过粘滞作用，使紧邻液层的流动受到牵制，如此逐层牵制，距壁面愈远，牵制力愈减弱，速度愈大，结果在过水断面上便形成了如图1-1所示的流速分布不均状态，管壁处流速为零，而管轴处流速最大。这证明固体边壁是通过粘滞性

对液流起阻滞作用的，它是运动液体产生流动阻力的外因。在图1-1中的任一流层上取矩形 $abcd$ 液体，由于 ab 面的上部邻层液体，因速度快对该面施加了沿流向的拉力，而 cd 面下部邻层液体，因速度慢而对该面施加了向后的拖力，这样就形成了一对切力(内摩擦力)。在静止液体中，各液层没有相对运动，因此就不存在使其变形的切力，只有在液体运动时才产生切力，亦即粘滞力。对粘滞力的进一步分析将在第四章中讨论。

所有液体都有不同程度的粘滞性。由于粘滞性的存在，给研究液体运动的力学规律带来很多困难。因此在水力学中，先忽略液体的粘滞性进行研究，待得出运动规律之后，再将其规律进行必要的修正，以应用于实际液体。我们把忽略粘滞性的液体称为“理想液体”。所以，理想液体是人为地对实际液体的一种科学抽象。

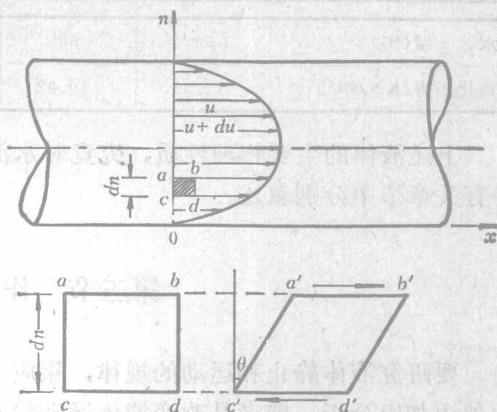


图 1-1 管内流速分布

(五) 表面张力

表面张力是液体特有的性质，在液体的自由表面由于质点间的分子引力有沿切向作用的效应，使液体表面上的质点受到微小的拉力，称这种拉力为表面张力。表面张力的方向和液体表面相切，它有使液体表面尽量缩小的趋势，从而形成一个类似于受力均匀的弹性薄膜。

因表面张力很小，在水力学中一般不考虑。只有当液体在细密多孔的透水物质中运动，以及在细小管子中发生毛细现象时，才考虑液体表面张力的作用。例如在实验室用来测定压强的玻璃管直径不得小于10mm，否则因毛细管现象将引起很大误差，影响测量精度。

由于水的内聚力小于对玻璃管的附着力，水在玻璃管内液面呈下凹状，水银内聚力很大，在玻璃管内液面呈上凸状。

(六) 汽化压力

当液体分子具有足够大的动能时，就会克服分子间的引力，从液面放射出来而成为蒸汽，这种现象称为汽化。液体汽化时所具有的向外放射的压力，称汽化压力，亦称饱和蒸汽压。若液体所受外界压力等于或稍低于汽化压力，液体就沸腾。水在正常流动时，如因压力降低而汽化时，将影响水流运动，造成不良后果，必须注意防止。

汽化压力随温度的增高而增大。几种液体在20℃时的汽化压力见表1-5，水在不同温度时的汽化压力见表1-6。

几种液体的汽化压力 (20℃)

表 1-5

液体名称	水	水 银	煤 油	汽 油	四氯化碳
汽 化 压 力 (N/m ²)	2340	0.17	3200	55000	12100

水在不同温度时的汽化压力

表 1-6

水 温(°C)	0	5	10	20	30	40
汽化压力(kN/m ²)	0.60	0.87	1.23	2.34	4.24	7.38

水 温(°C)	50	60	70	80	90	100
汽化压力(kN/m ²)	12.33	19.92	31.16	47.34	70.10	101.33

上述液体的主要物理性质，究竟对水流运动有何影响，应视具体情况而定，将在以后各有关章节中分别叙述。

第三节 作用在液体上的力

要研究液体静止和运动的规律，除应了解液体的物理性质外，还必须对作用于液体上的外力加以分析。前者是改变液体运动状态的内因，而后者是改变液体运动状态的外因。

根据作用在液体上的方式不同，力可分为质量力和表面力两种。

一、质量力

质量力是作用在液体每个质点上与质量成正比的力，质量力的合力作用于液体的质量中心，对于均质液体即是体积中心，故又称体积力。例如重力、离心力及一切由于加速度存在而产生的惯性力，均为质量力。

在水力学中，通常用单位质量 ($m = 1$) 的质量力沿 x 、 y 、 z 各轴向的分量 X 、 Y 、 Z 表示。假如作用在液体上的质量力只有重力 G ，重力 G 等于质量与重力加速度的乘积，即 $G = Mg$ ，其方向朝下。它在各坐标轴的分量为：

$$X = 0; Y = 0; Z = -\frac{mg}{M} = -g$$

又如作用在液体上的质量力除重力外，还有惯性力 $f = -ma$ 。它们在各坐标轴的分量为：

$$X = -\frac{ma}{m} = -a; Y = 0; Z = -g$$

从上述可知，单位质量的质量力单位与加速度单位米/秒² (m/s^2) 相同，说明质量力总是与加速度相联系。

二、表面力

表面力是通过相邻液体质点或其它物体直接作用在液体表面上并和液体表面积成正比的力。它可以是作用在液体边界面上的外力，如大气对液面的压力，活塞作用在液体上的压力，容器壁面的反作用力等，如图1-2所示。在一定条件下。也可以是作用在液体内部接触面上的内力。如静止液体中相邻接的液体间的相互作用力，以及流动液体两流层间的切应力等，如图1-3所示。液体的内力在液体内部是互相平衡的。和固体力学一样，在水力学中，也经常引用隔离体的概念来分析问题，如图1-3(a)在静止液体中取出柱状隔离体，而以作用在柱状液体表面的压力，来代替原来周围液体对它起平衡作用的内力，因此，内力就变为一种外力了。又如图1-3(b)所示，若用平面 $a-a$ 将液流分为上下两部分隔离

体，则上部分对下部分液体作用的切应力就成为一个外力了。这说明在一定条件下，内力可变为外力。外力（包括由内力转化来的外力）都属于表面力，因此在研究具体问题时要注意二者的内在联系。

表面力可分为垂直于作用面的压力和平行于作用面的切力，如图1-4作用在面积 $\Delta\omega$ 上的表面力 ΔF ，可分解为法线方向的压力 ΔP 和切线方向的切力 ΔT 。

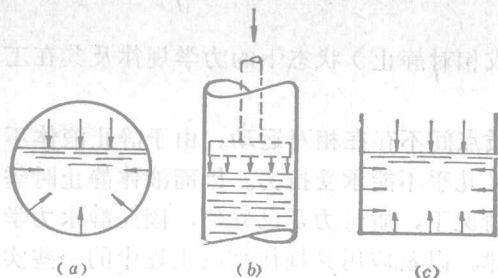


图 1-2 外力对液体表面的作用

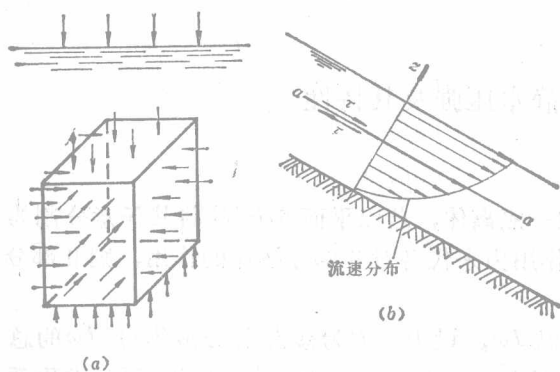


图 1-3

(a)作用在液柱表面上的力；(b)作用在流层表面上的力

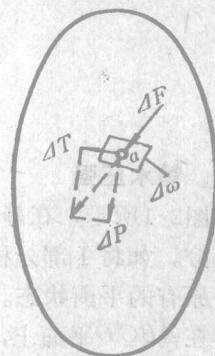


图 1-4 压力与切力

思考题

- 1-1 何谓液体的“质点”及“连续介质”，在水力学中为什么要引入这两个概念？
- 1-2 何谓液体的“粘滞性”，它在什么条件下才显现出来，它对液体运动有何影响？
- 1-3 何谓“理想液体”，它对水力学研究有何意义？
- 1-4 容重和密度有何区别及联系。
- 1-5 何谓液体的“压缩性”与“膨胀性”，它对液体的容重和密度有何影响。在什么情况下可以忽略液体的压缩性与膨胀性，在什么情况下不可忽略？
- 1-6 何谓表面张力，它对水力学研究有何影响，为什么？
- 1-7 何谓汽化压力，它对水流运动有何影响，为什么？
- 1-8 何谓质量力与表面力，并结合实际进行分析。

计算题

- 1-1 体积为1升的清水，在1大气压下，温度为4℃时的重量和质量各为多少。
- 1-2 已知海水在15℃时的容重为10200 N/m³，试求它的密度。
- 1-3 在常温下，要使水的体积压缩0.3%，试问压强需增加多少。
- 1-4 有圆柱形水箱，直径为3 m，高2 m，上端开口，箱中盛满10℃的清水，如将水加热至90℃，问将有多少体积的水从箱中溢出。

第二章 静水力学

静水力学的任务是研究液体处于静止（或相对静止）状态下的力学规律及其在工程中的应用。

所谓液体的静止或相对静止，是指液体质点间不存在相对运动。由于静止液体不存在切力，亦即不考虑粘滞力的作用。静止液体又几乎不能承受拉力。因而液体静止时需要考虑的作用力就只有压强和质量力了。在通常情况下，质量力是已知的，因此静水力学的任务主要是研究静水压强在液体内部的分布规律，以及应用其规律解决工程中的一些实际问题。

第一节 静水压强及其特性

一、静水压强

如图2-1所示，在静止液体中，任取一隔离体，若以平面 $ABCD$ 将其任意分割为Ⅰ和Ⅱ两部分。如将Ⅰ部分移去，以等效的作用力来代替对Ⅱ部分液体的作用，则Ⅱ部分液体将保持原有的平衡状态。

再在 $ABCD$ 平面上，任取一微小面积 $\Delta\omega$ ，设力 ΔP 为移去部分液体对 $\Delta\omega$ 的总作用力，称力 ΔP 为作用于面积 $\Delta\omega$ 上的静水压力， $\Delta\omega$ 为静水压力 ΔP 的作用面积（或称受压面积）。二者的比值称为作用在面积 $\Delta\omega$ 上的平均静水压强，以符号 $\bar{p}$ 表示：

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

当式（2-1）中面积 $\Delta\omega$ 无限小并趋近于零时，其比值趋近某一极限值，此极限值称为作用在点上的静水压强，以符号 p 表示：

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

由上述看出，静水压力和静水压强都是压力的一种量度，它们的区别在于：静水压力是作用在某一面积上的总压力，静水压强则是作用在某一单位面积上的静水压力。平均静水压强反映了作用面上各点静水压强的平均值，而点上的静水压强则精确地反映了作用面上各点的静水压强。

静水压强的单位为帕（Pa），1帕（Pa）=1牛/米²（N/m²）。

二、静水压强的特性

（一）静水压强的方向垂直指向受压面

这个性质可用反证法来证明。在静止液体中，任取一隔离体，如图2-2所示。假设作用在液体表面 A 点的静水压强 p 不垂直指向受压面，此时 p 可分解为法向应力 p_n 和切向应力 τ 两个分力。这个切向分力只有在实际液体流动时才能产生，这与液体处于静止状态的

前题相矛盾, 因此, 关于作用在 A 点的静水压强不垂直指向受压面的假设是不正确的。再设作用在液体表面 B 点的静水压强 p 指向外法线方向, 由于静止液体不能承受拉力, 因此上述假设也是不正确的。由上论证可以确认静水压强的方向只能是垂直指向受压面, 如图 2-2 中 C 点所示。

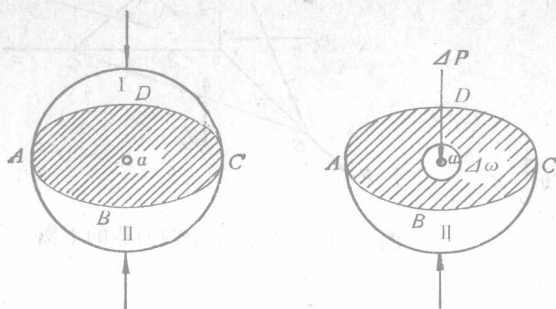


图 2-1 静止液体的相互作用

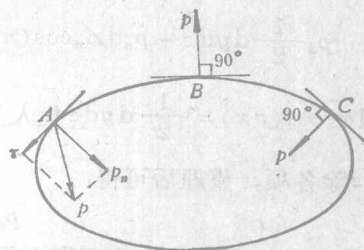


图 2-2 液体静压强的方向

(二) 作用于液体中任一点静水压强的大小在各方向上均相等

在静止液体中, 任选一点 $O(x, y, z)$, 作包括 O 点在内的微小四面体 $OABC$, 如图 2-3 所示。作用在四面体的四个表面上的静水压强分别为 p_x 、 p_y 、 p_z 、 p_n 。因四面体是从静止液体中取出来的隔离体, 因此, 它在各种外力作用下, 必定是处于平衡状态, 满足力的平衡条件。

现在分析作用在四面体 $OABC$ 上的力:

1. 表面力

由于静止液体不存在切力和拉力, 故作用在四面体上的表面力只有静水压力, 用 p_x 、 p_y 、 p_z 及 p_n 分别表示垂直于 x 、 y 、 z 轴的平面及斜面上的静水压力, 其大小等于作用面积与静水压强的乘积, 即:

$$p_x = p_x d\omega_x = p_x \frac{1}{2} dydz$$

$$p_y = p_y d\omega_y = p_y \frac{1}{2} dx dz$$

$$p_z = p_z d\omega_z = p_z \frac{1}{2} dx dy$$

$$p_n = p_n d\omega_n$$

而

$$d\omega_n = \frac{d\omega_x}{\cos(nx)} = \frac{d\omega_y}{\cos(ny)} = \frac{d\omega_z}{\cos(nz)}$$

式中 $\cos(nx)$ 、 $\cos(ny)$ 、 $\cos(nz)$ 分别表示作用在斜面 $\triangle ABC$ 上的表面力 p_n 的作用线在 x 、 y 、 z 轴方向的余弦。

2. 质量力

在静止状态下, 微小四面体的质量力只有重力 $dG = \rho \frac{1}{6} dx dy dz g$, 它是一个三阶无限小量, 在运算中可以忽略。

因四面体处于平衡状态, 其外力在各轴向分力之和应等于零。即:

$$\Sigma F_x = 0; \Sigma F_y = 0; \Sigma F_z = 0$$

或写成下面形式:

$$p_x - p_n \cos(nx) = 0$$

$$p_y - p_n \cos(ny) = 0$$

$$p_z - p_n \cos(nz) = 0$$

对 x 轴诸力的平衡方程式可写成:

$$p_x \frac{1}{2} dydz - p_n d\omega_n \cos(nx) = 0$$

将 $d\omega_n \cos(nx) = \frac{1}{2} dydz$ 代入上式, 并以 $\frac{1}{2} \times$

$dydz$ 除各项, 整理后可得:

$$p_x = p_n$$

对 y 、 z 轴再分别列平衡方程式, 同理可得:

$$p_y = p_n$$

$$p_z = p_n$$

所以

$$p_x = p_y = p_z = p_n \quad (2-3)$$

式 (2-3) 表明, 作用于静止液体中任一点上各个方向的静水压强大小均相等。

第二节 静水压强的分布规律

在讨论了静水压强特性的基础上, 欲求液体中任一点的静水压强的大小, 则需要研究静水压强的分布规律。

一、静水压强基本方程

图2-4为重力作用下的静止均质液体, 在液面下深度为 h 处任选一点 A , 围绕 A 点取一水平的微小面积 $d\omega$, 再以 $d\omega$ 为底, 作一铅直的棱柱体, 柱体顶面与自由液面重合。下面分析作用在液柱上的力。

1. 表面力

(1) 作用在液柱顶面 $d\omega$ 上的压力为 $p_0 d\omega$, 其方向铅直向下。其中 p_0 为液面压强。

(2) 作用在液柱底面 $d\omega$ 上的压力为 $p d\omega$, 其方向铅直向上。其中 p 为作用在底面上的压强。

(3) 作用在液柱侧面上的静水压力, 它分别与 x 、 y 轴平行, 在 z 轴方向的分力为零, 沿 x 、 y 轴方向各分力的合力也为零。

2. 质量力

作用在液柱上的质量力只有重力, 其值为 $\gamma h d\omega$, 方向铅直向下。

因液柱处于静止状态, 根据力平衡原理, 沿 z 轴方向所有外力的合力等于零, 即:

$$p d\omega - p_0 d\omega - \gamma h d\omega = 0$$

即

$$p = p_0 + \gamma h$$

(2-4)

式中 p ——静水压强, N/m^2 ;

p_0 ——液面压强, N/m^2 ;

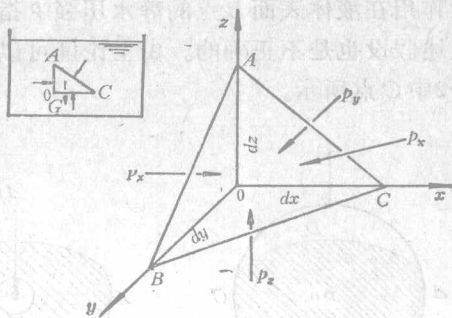


图 2-3 液体中微小四面体的平衡