

国家示范院校重点建设专业

给排水工程技术专业课程改革系列教材

水力学与水泵站基础

◎ 主 编 李 涛 胡 慨
◎ 副主编 郑文军 葛 军
◎ 主 审 张胜峰



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

国家示范院校重点建设专业

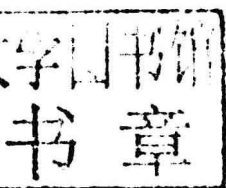
给排水工程技术专业课程改革系列教材

水力学与水泵站基础

◎ 主 编 李 涛 胡 慨

◎ 副主编 郑文军 葛 军

◎ 主 审 张胜峰



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为国家示范性高职院校建设教材，水利水电类高职高专教材。全书在整体安排上采用由浅入深、循序渐进的方式，注重加强基础和理论联系实际。

全书共分十个项目，内容包括：水静力学、水动力学、水流型态与水头损失、有压管道中的水流运动、过流建筑物的水力特性、水泵的基本知识、叶片式水泵、给排水中常见的其他水泵、给水泵站、排水泵站等。主要介绍了流体的平衡和运动规律以及流体与固体之间相互作用的力学特点，并应用其解决实际问题。范围广泛，实用性强。

本书可供给水排水工程、农业水利工程、水利工程等专业，以及成人专科院校相关专业教学使用，并可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目（C I P）数据

水力学与水泵站基础 / 李涛，胡慨主编. — 北京：
中国水利水电出版社，2010.3

（国家示范院校重点建设专业、给排水工程专业技术专业
课程改革系列教材）

ISBN 978-7-5084-7328-4

I. ①水… II. ①李… ②胡… III. ①水力学—高等
学校：技术学校—教材②泵站—高等学校：技术学校—教
材 IV. ①TV13②TV675

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第039958号

书 名	国家示范院校重点建设专业 给排水工程专业技术专业课程 改革系列教材 水力学与水泵站基础
作 者	主 编 李 涛 胡 慨 副主编 郑文军 葛 军 主 审 张胜峰
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12印张 292千字
版 次	2010年3月第1版 2010年3月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	25.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

本书是国家示范院校重点建设专业——给排水工程技术专业课程系列教材之一，是建筑工程专业必修的一门基础技术课程。本专业人才培养模式和课程体系建设是有关专家参与咨询研究论证工作，对学习领域的操作性等有关事项提出意见。本书根据改革实施方案和课程改革的基本思想，结合我们多年的教学实践，并广泛地吸取同类教材中的优点编写而成。它既有本学科的系统性和完整性，又有鲜明的工程应用特征。本书可作为工程技术专业的专科学生的教材，也可作为非工程专业教师的参考书。

本教材根据课程教学基本要求，按照以学习情境代替学科为框架体系的编排结构，在教材风格上形成理论与实践相结合的鲜明特色，与以往教材相比，本教材理论知识本着以适度的原则，内容有增有减，降低难度，大幅度增加实践应用知识和操作技能的训导，着重和突出工程能力、应变能力和职业素质培养；体现以能力培养为中心，理论知识和技能操作并重；内容编排具有思想性、系统性和启发性，符合广大师生的认识规律，有利于教师讲解、学生自学；叙述从理论知识介绍，再由理论解决实际问题。以浅显易懂的语言解释定理定律，以知识的实用性来提高学生的学习兴趣，避免了由于前面基础课知识的欠缺造成的困难。实例和习题的选材特别注意专业与实际相结合。

为了便于学生课后的复习和自学，在每章的书后编写了一定量的复习思考题和习题供学生独立思考和作业，以加深对所学基本概念的理解。

全书由安徽水利水电职业技术学院李涛、胡慨任主编，合肥市政公司郑文军、合肥滨湖建设投资控股公司葛军任副主编，安徽水利水电职业技术学院张胜峰任主审。

本书在编写过程中，有关院校和单位的同行提出了许多宝贵意见，并进行了热情协助，在此一并表示感谢。

限于作者水平，书中难免存在欠妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2010年1月

前言

项目一 水静力学	1
1.1 水力学的任务	1
1.2 液体的基本特性	1
1.3 静水压力与静水压强	4
1.4 平面上的静水总压力	8
1.5 曲线上的静水总压力	12
项目小结	15
复习思考题	15
习题	16
项目二 水动力学	19
2.1 水流运动的基本知识	19
2.2 水流运动的分类和基本概念	19
2.3 连续性方程	24
2.4 伯诺里方程的物理意义和几何意义	25
2.5 恒定总流的能量方程	27
2.6 动量方程及其应用	29
项目小结	30
复习思考题	31
习题	31
项目三 水流型态与水头损失	33
3.1 水头损失的概念和分类	33
3.2 液体流动的两种型态	35
3.3 圆管中的层流和紊流运动	38
3.4 圆管中的紊流	41
3.5 沿程水头损失的确定	43
3.6 局部水头损失	51
项目小结	55
复习思考题	55
习题	56

项目四 有压管道中的水流运动	58
4.1 管流的特点与分类	58
4.2 简单管道短管的水力计算	58
4.3 长管的形式	62
4.4 绘制有管流的测压管水头线和总水头线	65
项目小结	66
复习思考题	66
习题	67
项目五 过流建筑物的水力特性	69
5.1 孔口和管嘴的水力计算	69
5.2 堰流	75
5.3 薄壁堰	78
5.4 实用堰流	80
5.5 宽顶堰流	82
5.6 闸孔出流的水力计算	85
项目小结	86
复习思考题	87
习题	88
项目六 水泵的基本知识	89
6.1 水泵的定义和作用	89
6.2 水泵的工作原理	90
6.3 水泵分类	90
6.4 水泵的基本组成	91
6.5 水泵的应用	92
项目小结	92
复习思考题	93
项目七 叶片式水泵	94
7.1 叶片式水泵基本知识	94
7.2 离心泵的工作原理	94
7.3 离心泵的主要零件	95
7.4 叶片泵的基本性能参数	101
7.5 叶片泵的基本方程	104
7.6 离心泵装置的总扬程	109
7.7 离心泵的特性曲线	111
7.8 抽水装置特性曲线	112
7.9 离心泵装置的运行工况	113
7.10 水泵工况点的调节	122

7.11 离心泵的吸水性能.....	128
7.12 离心泵的使用、维护及改造.....	132
项目小结	133
复习思考题.....	134
习题.....	134
项目八 给排水中常见的其他水泵	136
8.1 轴流泵	136
8.2 混流泵	137
8.3 射流泵	137
8.4 往复泵	138
项目小结	139
复习思考题.....	140
项目九 给水泵站	141
9.1 给水泵站的基本介绍	141
9.2 给水泵站的分类与特点	141
9.3 给水泵站的工艺特点	144
9.4 泵房布置	149
9.5 水泵机组的布置	151
9.6 吸水管和出水管的布置与敷设	153
9.7 泵站的辅助设施	158
9.8 泵房的其他设施	164
项目小结	167
复习思考题.....	168
习题.....	168
项目十 排水泵站	169
10.1 排水泵站的基本介绍.....	169
10.2 污水泵站的工艺特点.....	171
10.3 雨水泵站的工艺特点.....	176
项目小结	179
复习思考题.....	180
习题.....	180
附录	181
参考文献	184

项目一 水 静 力 学

项目提要：水力学的定义、任务及其在专业中的作用；液体主要物理力学性质——惯性，黏滞性，压缩性；表面张力，静水压强及其两个特性和等压面；静水压强的表示方法和单位；静水压强分布图和作用在平面上的静水总压力计算；作用在曲面上的静水总压力。

1.1 水 力 学 的 任 务

液体有很多种类，如水、石油、水银、酒精等。工程实际中最为常见的液体是水，以水为研究对象，研究液体平衡和运动的力学规律及其在工程中的应用的科学称为水力学。当然在实际中水力学的基本原理与水力计算的一般方法不仅适用于水，而且也适用于一般常见液体和可忽略压缩性影响的气体。

水力学是力学的一个分支。水力学在防洪、灌溉、河道整治、水力发电、航运、造船、给水、排水、水资源保护等工程中，以及机械、冶金、化工、石油等工业部门中都有广泛的应用。水流对建筑物的作用力，水工建筑物的过水能力，水流型态及泄水建筑物的下游消能问题，河渠水面线问题等都与水力学有很密切的关系。

水静力学的任务是研究液体的平衡规律及其工程应用。液体的平衡状态有两种：一种是静止状态，即液体相对于地球没有运动，处于静止状态；另一种是相对平衡，即所研究的整个液体相对于地球在运动。所以关于液体平衡的规律，就是研究液体处于静止（或相对平衡）状态时，作用于液体上的各种力之间的关系。

1.2 液 体 的 基 本 特 性

自然界物质分为气体、固体和液体。液体与固体的主要区别在于易流动性，而液体与气体的主要区别在于是否具有可压缩性。液体与气体统称为流体。

液体的真实结构是：液体分子之间存在着间隙，每个分子又在不停地热运动，由于液体的分子物理量在空间分布上是不连续的，且随时间而不断变化，这样就给研究液体的运动状态带来了困难。但在流体力学中仅限于研究流体的宏观运动，其特征尺度（如日常见到的是米、厘米、毫米那样的量级）比分子自由程度大得多。因此，我们假设液体是一种连续充满其所占据空间毫无空隙的连续体，并不关心单个分子的微观运动，更何况液体分子之间的间隙又是如此微小，小到可以忽略不计的程度。事实上，早在 1753 年，欧拉（瑞士人，18 世纪最优秀的数学家，也是历史上最伟大的数学家之一，被称为“分析的化



身”)就已经提出了连续介质假定。他认为:液体是由无数质点所组成,质点毫无间隙地充满所占空间,其物理性质和运动要素都是连续分布的。连续介质假定的引入,使得连续函数的解析方法等数学工具可以去研究流体的平衡和运动规律,为流体力学的研究提供了很大的方便。

为研究问题方便,在连续介质假定的基础上,一般还认为液体具有均匀等向性,即液体是均质的,各部分各个方向上的物理性质均相同。

1.2.1 密度与容重

物体含有物质的多少叫质量。质量是物体的基本属性,通常用 m 表示,不随物体形状、状态、空间位置和温度的改变而改变。物体所固有的保持原有运动状态的性质称为惯性。惯性的大小以质量 M 来度量。单位体积内的质量称为密度 ρ ,其单位为 kg/m^3 。对均质液体, $\rho = M/V$; 对非均质液体, $\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta V}$ 。

物体由于受地球引力而表现出的重力特性,对于均质流体,容重指作用在单位体积上的重力。重力的大小以重量 G 来度量。单位体积内的重量称为容重 γ ,以前也称重度或重率,其单位为 N/m^3 。对均质液体, $\gamma = G/V$; 对非均质液体, $\gamma = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta G}{\Delta V}$ 。

在水力学中,通常把容重也视为常数,采用一个标准大气压下,温度为 4°C 的蒸馏水的容重作为计算值,即 $\gamma = 9800 \text{ N}/\text{m}^3$ 。

1.2.2 黏滞性

当液体处在运动状态时,若液体质点之间存在着相对运动,则质点间要产生内摩擦力抵抗其相对运动,这种性质称为液体的黏滞性,此内摩擦力又称为黏滞力。

内摩擦力的概念是牛顿于 1686 年提出的,并经后人验证,习惯上称为牛顿内摩擦定律。牛顿内摩擦定律的内容为:作层流运动的液体,相邻两液层间单位面积上所作用的内摩擦力(或称黏滞力)与流速梯度成正比,同时与液体的性质有关(图 1-1)。

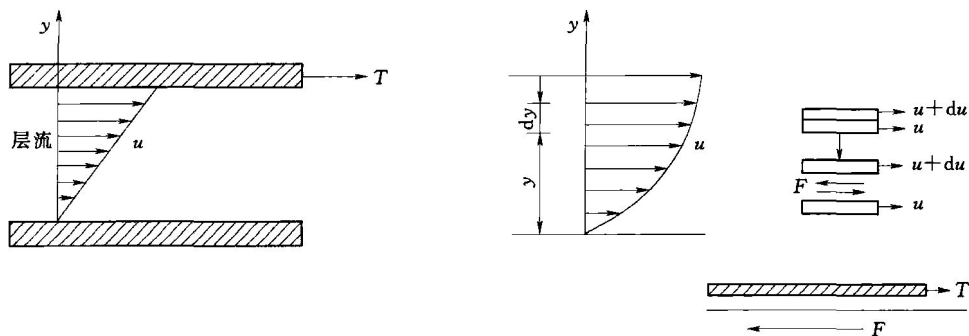


图 1-1 牛顿内摩擦实验

通过实验可以发现 F 与 $\frac{du}{dy}$ 成正比; F 与液体的接触面积 ω 成正比; F 与液体的性质有关; F 与接触面上的法向应力无关,即



$$F \propto \omega \frac{du}{dy} \quad F = \mu \omega \frac{du}{dy}$$

式中 μ ——液体的动力黏滞系数，它的大小反映了液体性质对内摩擦力的影响。

黏滞性大的液体， μ 值大。 μ 的数值随液体种类的不同而不同，并随温度和压强的变化而变化。其中，温度对液体黏滞性的影响远比压强的影响大。在液体的情况下，温度越低，黏滞系数越大，在气体情况下则不同，温度越低，黏滞系数越小。

水力学中，液体的黏滞性还可以用运动黏滞系数来表示。运动黏滞系数 $\nu = \mu/\rho$ ，其单位为 m^2/s ， ν 值的大小仍随液体种类的不同而不同，即使同一种液体， ν 值也随温度和压强的变化而变化，但随压强的变化甚微（表 1-1）。

表 1-1

水运动黏性系数随温度的变化

温度 (°C)	0	2	4	6	8	10	12	14
$\mu (\text{Pa} \cdot \text{s}) \times 10^{-3}$	1.792	1.673	1.567	1.473	1.386	1.308	1.236	1.171
$\nu (\text{m}^2/\text{s}) \times 10^{-6}$	1.792	1.673	1.567	1.473	1.386	1.308	1.237	1.712
温度 (°C)	16	18	20	22	24	26	28	30
$\mu (\text{Pa} \cdot \text{s}) \times 10^{-3}$	1.111	1.056	1.005	0.958	0.914	0.874	0.836	0.801
$\nu (\text{m}^2/\text{s}) \times 10^{-6}$	1.112	1.057	1.007	0.960	0.917	0.877	0.839	0.804
温度 (°C)	35	40	45	50	60	70	80	90
$\mu (\text{Pa} \cdot \text{s}) \times 10^{-3}$	0.723	0.656	0.599	0.549	0.469	0.406	0.357	0.317
$\nu (\text{m}^2/\text{s}) \times 10^{-6}$	0.727	0.661	0.605	0.556	0.477	0.415	0.367	0.328

1.2.3 液体的压缩性

液体受压体积缩小，压力撤除之后又能恢复原状的这种性质称为压缩性或弹性。液体压缩性的大小以体积压缩系数 β 或体积弹性系数 K 来表示。

体积压缩系数是液体体积的相对缩小值与压强增值之比，即 $\beta = -\frac{dV/V}{dp}$ ，由于 dp 与 dV 始终异号，为保证 β 为正，前面加负号。 β 值越大，液体越容易压缩。 β 的单位为 m^2/N 。由于液体压缩时，质量并不改变，故 $dm = \rho dV + V d\rho = 0 \Rightarrow \frac{dV}{V} = -\frac{d\rho}{\rho}$ 。因而体积

压缩系数 β 又可写为 $\beta = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{d\rho}$ ，体积弹性系数 $K = \frac{1}{\beta}$ 。 K 值越大，液体越不容易被压缩， K 值的单位是 N/m^2 。液体种类不同， β 或 K 值不同。对同一种液体， β 或 K 值也会随温度和压强而有所变化，但变化较小，一般可视为常数。

1.2.4 表面张力特性

自由表面上的液体分子由于受到两侧分子引力不平衡，而承受的一个极其微小的拉力，称为表面张力，其大小以表面张力系数 σ 来表示，单位为 N/m ，即自由表面单位长度上所承受的拉力值。表面张力系数 σ 的大小随液体种类、温度和表面接触情况的变化而变化。



1.3 静水压力与静水压强

1.3.1 静水压力

在日常生活和生产活动中，塑料袋装满水后鼓起来，用手指触起表面，会感到有压力。

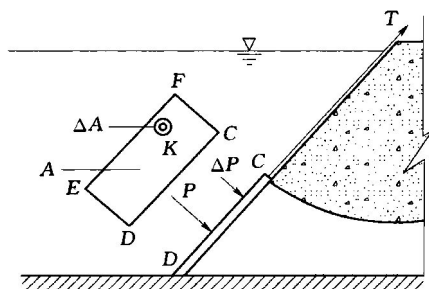


图 1-2 压力图

人们得知液体对于与之接触的表面会产生一种压力作用。如图 1-2 所示，在水库岸边的泄水洞前设置有平板闸门，当拖动闸门时需要很大的拉力，其主要原因是水库中的水体给闸门作用了很大的压力，使闸门紧贴壁面所造成的，均匀地施加于物体表面的各个部位。静水压力增大，会使受力物体的体积缩小，但不会改变其形状。

在水力学中，把静止液体作用在与之接触的表面上的压力称为静水压力，常以 P 表示。在我国法定计量单位中，静水压力的单位为 N 或 kN 。

1.3.2 静水压强

在图 1-2 所示的平板闸门上，取微小面积 ΔA ，令作用在 ΔA 上的静水压力为 ΔP ，则 ΔA 面上单位面积所受的平均静水压力称为 ΔA 面上的平均静水压强，当 ΔA 无限缩小至趋于点 K 时，比值 $\Delta P/\Delta A$ 的极限值定义为 M 点的静水压强，即静止液体作用在每单位受压面积上的压力，常以字母 p 表示，即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1-1)$$

在我国法定计量单位中，静水压强的单位为 Pa 或 kPa 。

静水压强有两个重要的特性：

(1) 静水压强的方向与受压面垂直并指向受压面。静水压强的这个特征是显而易见的。静止液体不能承受任何切应力，因为液体一旦受到切应力的作用就会发生连续不断的变形运动。静止液体也不能承受拉应力，否则它就会发生膨胀运动。

(2) 任一点静水压强的大小和受压面方位无关，或者说作用于同一点上各方向的静水压强都相等。

1.3.3 等压面

在相连通的液体中，由静水压强值相等的点连接成的面（可能是平面也可能是曲面）叫做等压面，即等压面的增量为零。等压面具有两个性质。

1. 在平衡液体中等压面就是等势面

$$p = \text{const} \Rightarrow dp = 0 \Rightarrow \rho dU = 0 \Rightarrow \text{对于不可压缩液体, } \rho \text{ 为常数。}$$

故在等压面上 $p = \text{常数}$ ，即 $dU = 0$ ， $U = \text{常数}$ 。

2. 等压面和质量力正交

常见的等压面有液体的自由表面（因其上作用的压强一般是相等的大气压强），平衡液体中不相混合的两种液体的交界面等。等压面是计算静水压强时常用的一个概念（图 1-3）。

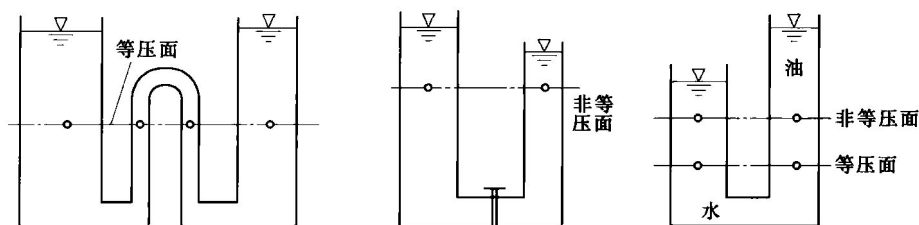


图 1-3 等压图

实验：对装有水和油的 U 形测压管（图 1-4），油柱高度为 H ，油的相对容重 S_0 可应用等压面原理推导如下：

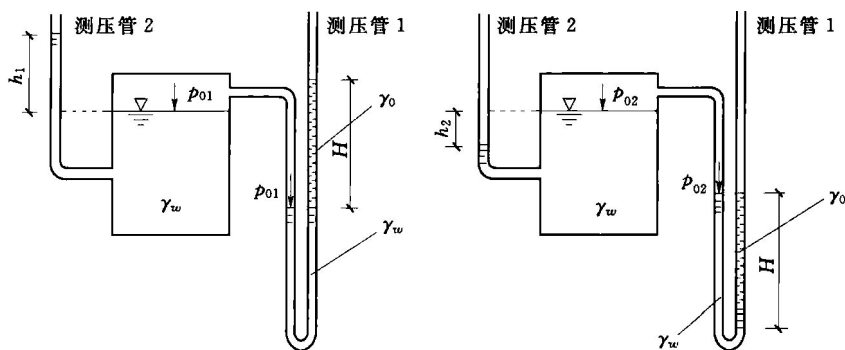


图 1-4 油的相对容重测定原理图

当 U 形管中水面与油水界面齐平时，有

$$p_{01} = \gamma_w h_1$$

$$p_{01} = \gamma_0 H$$

另当 U 形管中水面和油面齐平时，则有

$$p_{02} = -\gamma_w h_2$$

$$p_{02} + \gamma_w H = \gamma_0 H$$

由以上 4 式联解可得

$$S_0 = \frac{\gamma_0}{\gamma_w} = \frac{h_1}{h_1 + h_2}$$

据此可通过测压管 2 直接测得油的相对重度 S_0 。

1.3.4 重力作用下静水压强的基本公式

工程实际中经常遇到的液体平衡问题是液体相对于地球没有运动的静止状态，此时作用于平衡液体上的质量力常只有重力。下面就针对静止液体中点压强的分布规律进行分析讨论（图 1-5）。

在质量力只有重力的静止液体中，对不可压缩均质流体，容重 γ 为常数

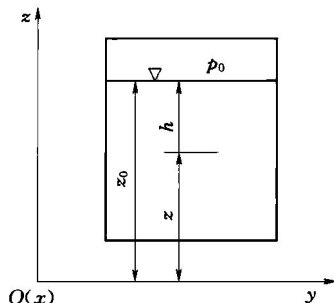


图 1-5 重力作用下液体压强图



$$z + \frac{p}{\gamma} = C \quad (1-2)$$

式中 C ——积分常数；

z ——某点到基准面的位置高度，称为位置水头；

$\frac{p}{\gamma}$ ——该点到自由液面间单位面积的液柱重量，称为压强水头；

$z + \frac{p}{\gamma}$ ——测压管水头。

式 (1-2) 表明，在重力作用下，不可压缩静止液体中各点的 $\left(z + \frac{p}{\gamma}\right)$ 值相等。

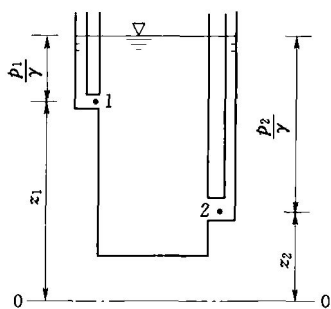


图 1-6 静水压强图

如图 1-6 所示，对其中的任意两点 1 及 2，式 (1-2) 可写成

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \quad (1-3)$$

这就是重力作用下静止液体应满足的基本方程式，是水静力学的基本方程式。

在自由表面上 $z = z_0$ ， $p = p_0$ ，则 $C = z_0 + \frac{p_0}{\gamma}$ 。代入式 (1-2) 即可得出重力作用下静止液体中任意点的静水压强计算公式

$$p = p_0 + \gamma (z_0 - z)$$

$$\text{或} \quad p = p_0 + \gamma h \quad (1-4)$$

式 (1-4) 中 $h = z_0 - z$ 表示该点在自由液面以下的淹没深度。式 (1-4) 即为计算静水压强的基本公式。它表明，静止液体内部任意点的静水压强由两部分组成：一部分是表面压强 p_0 ，它遵从帕斯卡定律等值地传递到液体内部各点；另一部分是液体压强 γh ，也就是从该点到液体自由表面的单位面积上的液柱重量。

1.3.5 绝对压强、相对压强、真空压强和压强的表示方法

1. 绝对压强

以设想的不存在任何气体的“完全真空”（或绝对真空）作为计算零点的压强称为绝对压强，以符号 p_{abs} 表示。

标准大气压 $1 p_{atm} = 101325 \text{ N/m}^2$ （绝对压强）

工程大气压 $1 p_a = 98000 \text{ N/m}^2$ （绝对压强）

2. 相对压强

以当地大气压强为计算零点的压强称为相对压强，又称计示压强或表压强。用 p_r 表示。

相对压强与绝对压强的关系为

$$p_r = p_{abs} - p_a$$

$$p_{abs} = p_r + p_a$$



3. 真空压强

$P_{abs} > p_{at}$, 则 $p_r > 0$, 称正压。

$P_{abs} < p_{at}$, 则 $p_r < 0$, 称负压。

负值的相对压强的绝对值称为真空压强 (p_v) 或称真空度。

绝对压强、相对压强、真空压强的关系如图 1-7 所示。

4. 压强的计量单位

(1) 用一般的应力单位表示, 即从压强定义出发, 以单位面积上的作用力来表示, 如 Pa、kPa。

(2) 用大气压强的倍数表示, 即大气压强作为衡量压强大小的尺度。国际单位制规定: 一个标准大气压 $p_{atm} = 101325 \text{ Pa}$, 它是纬度 45° 海平面上, 当温度为 0°C 时的大气压强。工程上为便于计算, 常用工程大气压来衡量压强。一个工程大气压 $p_{at} = 98 \text{ kPa}$ 。

(3) 用液柱高表示。由式 (1-2) 可得

$$h = \frac{p}{\gamma} \quad (1-5)$$

式 (1-5) 说明: 任一点的静水压强 p 可化为任何一种容重为 γ 的液柱高度 h , 因此也常用液柱高度作为压强的单位。例如一个工程大气压, 如用水柱高表示, 则为

$$h = \frac{p_{at}}{\gamma} = \frac{98000}{9800} = 10 \text{ (m 水柱)}$$

如用水银柱表示, 则因水银的容重取为 $\gamma = 133230 \text{ Pa/m}$, 故有

$$h = \frac{p_{at}}{\gamma} = \frac{98000}{133230} = 0.7356 \text{ (m 水银柱)}$$

1.3.6 水头和单位势能

前面已经导出水静力学的基本方程为 $z + \frac{p}{\gamma} = C$ 。若在一盛有液体的容器的侧壁打一小孔, 接上开口玻璃管与大气相通, 就形成一根测压管。如容器中的液体仅受重力的作用, 液面上为大气压, 则无论连在哪一点上, 测压管内的液面都是与容器内液面齐平的, 如图 1-8 所示。

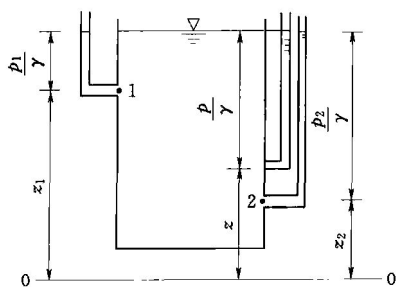


图 1-8 静水水头图

测压管液面到基准面的高度由 z 和 $\frac{p}{\gamma}$ 两部分组成, z 表示该点到基准面的位置高度, $\frac{p}{\gamma}$ 表示该点压强的液柱高度。在水力学中常用“水头”代表高度, 所以 z 又称位置水头, $\frac{p}{\gamma}$ 又称压强水头, $z + \frac{p}{\gamma}$ 则称



为测压管水头。故式(1-4)表明:重力作用下的静止液体内,各点测压管水头相等。

下面进一步说明位置水头、压强水头和测压管水头的物理意义。

位置水头 z 表示的是单位重量液体从某一基准面算起所具有的位置势能(简称位能)。众所周知,把重量为 G 的物体从基准面移到高度 z 后,该物体所具有的位能是 Gz ,对于单位重量物体来说,位能就是 $Gz/G=z$,它具有长度的量纲。基准面不同, z 值不同。

压强水头 $\frac{p}{\gamma}$ 表示的是单位重量液体从压强为大气压算起所具有的压强势能(简称压能)。压能是一种潜在的势能。如果液体中某点的压强为 p ,在该处安置测压管后,在压力的作用下,液面会上升的高度为 $\frac{p}{\gamma}$,也就是把压强势能转变为位置势能。对于重量为 G ,压强为 p 的液体,在测压管中上升 $\frac{p}{\gamma}$ 后,位置势能的增量 $G \frac{p}{\gamma}$ 就是原来液体具有的压强势能。所以对原来单位重量液体来说,压能即 $G \frac{p}{\gamma}$ 。

静止液体中的机械能只有位能和压能,合称为势能。 $z + \frac{p}{\gamma}$ 表示的就是单位重量流体所具有的势能。因此,水静力学基本方程表明:静止液体内各点单位重量液体所具有的势能相等。

1.4 平面上的静水总压力

作用在物体表面上的静水总压力,是许多工程技术上(如分析水池、水闸、水坝及路基等的作用力)必须解决的力学问题。

1.4.1 静水压强分布图

静水压强分布规律可用几何图形表示出来,即以线条长度表示点压强的大小,以线端

箭头表示点压强的作用方向,亦即受压面的内法线方向。由于建筑物的四周一般都处在大气中,各个方向的大气压力将互相抵消,故压强分布图只需绘出相对压强值。图1-9为一直立矩形平板闸门,一面受水压力作用,其在水下的部分为 ABB_1A_1 ,深度为 H ,宽度为 b 。图1-9(a)便是作用在该闸门上的压强分布图,为一空间压强分布图;图1-9(b)为垂直于闸门的剖面图,为一平面压强分布图。从前面知道,静水压强与淹没深度

呈线性关系,故作用在平面上的平面压强分布图必然是按直线分布的,因此,只要直线上两个点的压强为已知,就可确定该压强分布直线。一般绘制的压强分布图都是指这种平面压强分布图。图1-10为各种情况的压强分布图。

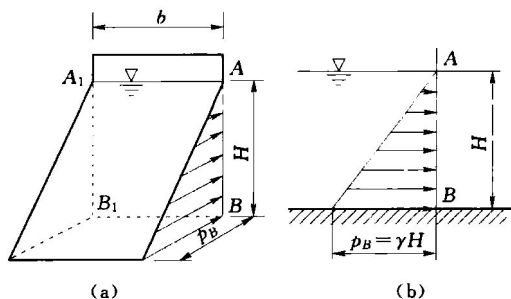


图1-9 矩形平板闸门压强分布图

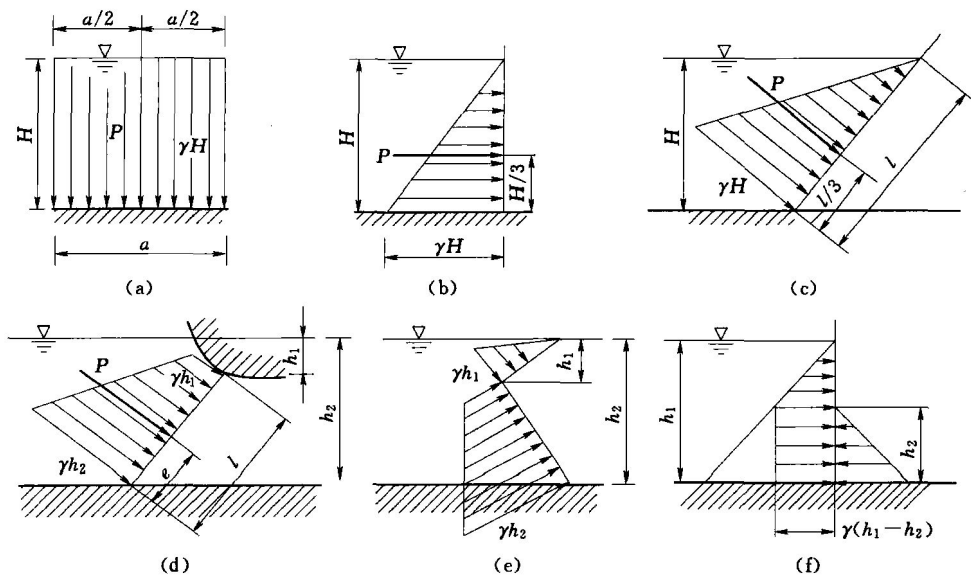


图 1-10 压强分布图

1.4.2 利用压强分布图求矩形平面上的静水总压力

求矩形平面上的静水总压力实际上就是平行力系求合力的问题。通过绘制压强分布图求一边与水面平行的矩形平面上的静水总压力最为方便。

图 1-11 表示一任意倾斜放置但一边与水面平行的矩形平面 ABB_1A_1 的一面受水压力作用。可先画出该平面上的压强分布图，然后根据压强分布图确定总压力的大小、方向和作用点。当作出作用于矩形平面上的压强分布图 $ABEF$ 后，便不难看出：作用于整个平面上的静水总压力 P 的大小应等于该压强分布图的面积 Ω 与矩形平面的宽度 b 的乘积，即

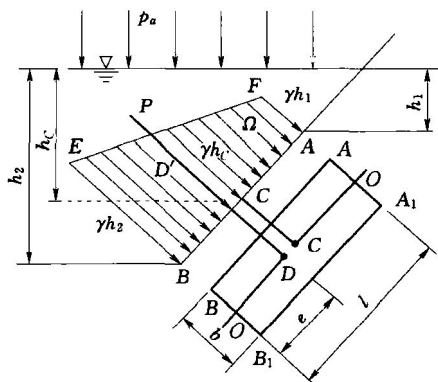


图 1-11 矩形平面压力图

$$P = \Omega b = \frac{1}{2}(\gamma h_1 + \gamma h_2) l b = \frac{1}{2} \gamma (h_1 + h_2) l b = \gamma h_c A \quad (1-6)$$

其中

$$h_c = (h_1 + h_2) / 2$$

式中 l ——矩形平面的长度；

h_c ——矩形平面的形心在水下的深度；

A ——受水压力作用的平面面积。

总压力的作用方向与受作用面的内法线方向一致，总压力的作用点应在作用面的纵向对称轴 $O-O$ 上的 D 点，该点是压强分布图形心点沿作用面内法线方向在作用面上的投影点，称为压力中心。如图 1-10 (a)，压强分布图为矩形，总压力作用点必在中点 $a/2$ 处；图 1-10 (b)、(c) 的压强分布图为三角形，合力必在距底 $1/3$ 高度处；而图 1-10