

中等专业学校市政工程施工专业系列教材

水力水文学

上海市城市建设工程学校	张光霁	主编
上海市城市建设工程学校	张光霁	编
黑龙江省建筑工程学校	陶竹君	

中国建筑工业出版社

中等专业学校市政工程施工专业系列教材

水 力 水 文 学

上海市城市建设工程学校	张光霁	主 编
上海市城市建设工程学校	张光霁	编
黑龙江省建筑工程学校	陶竹君	
北京建筑工程学院	李兆年	主 市

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水力水文学/张光霁, 陶竹君编. -北京: 中国建筑工业出版社, 1997

中等专业学校市政工程施工专业系列教材

ISBN 7-112-03190-7

I. 水… II. ①张…②陶… III. ①水力学-专业学校-教材②桥涵工程-水文计算-专业学校-教材 IV. TV13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 04287 号

本书分为水力学基础及桥涵水文学两篇。主要叙述水力学和水文统计基础知识及桥涵水文计算的方法。内容有: 水静力学、水动力学、能量损失和有压管路水力计算、明渠流水力计算、河川径流、水文统计基础知识、设计流量的推算、大中桥孔径及桥墩冲刷计算、小桥涵孔径计算等。每章都有复习思考题和习题。

本书可作为中等专业学校市政工程施工专业的教材, 也可供有关专业技术人员参考。

中等专业学校市政工程施工专业系列教材

水 力 水 文 学

上海市城市建设工程学校 张光霁 主编

上海市城市建设工程学校 张光霁 编

黑龙江省建筑工程学校 陶竹君

北京建筑工程学院 李兆年 主审

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市彩桥印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16 $\frac{3}{4}$ 字数: 408 千字

1997 年 12 月第一版 2000 年 11 月第四次印刷

印数: 9,501--12,500 册 定价: 20.50 元

ISBN 7-112-03190-7

G·265 (8330)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

本书是根据1996年建设部批准的市政工程施工专业教育标准和培养方案编写的。适用于建设部四年制中等专业学校市政工程施工专业，教学时数在85学时左右。

本教材分为两篇共十一章。第一篇水力学基础，属于专业基础课。贯彻理论联系实际和少而精的原则，强调的是利用基本定律和基本公式解决工程中的实际问题；第二篇桥涵水文学，属于市政工程施工专业的专业技术课。采用了交通部所推荐的最新公式和设计规范。编写是以计算为基本线索，理论阐述从简。在每推出一个重要公式之后都有例题与之配合，编法贴近课堂，便于教学的实施，并通过综合例题的分析与演算增进了章节之间的有机联系，突出了以技能培养为中心的教育思想。

本书的第二、三、五章由黑龙江省建筑工程学校的陶竹君编写，其余各章（包括第二章第八节）由上海市城市建设工程学校张光霁编写，由张光霁统稿。全书由北京建筑工程学院李兆年主审，并得到北京城市建设学校田会杰同志大力帮助，在此一并感谢。

由于编者水平有限，书中的缺点错误在所难免，敬请读者提出宝贵意见。

目 录

第一篇 水力学基础

第一章 液体的物理性质与作用力	1
第一节 液体的主要物理性质	1
第二节 作用在液体上的力	3
复习思考题	4
习题	4
第二章 水静力学	5
第一节 静水压强及其特性	5
第二节 静水压强的分布规律	6
第三节 压强的分类及表示方法	8
第四节 测压管水头	11
第五节 静水压强的测量	12
第六节 静水压强分布图	13
第七节 作用在平面上的静水总压力	14
第八节 作用在曲面上的静水总压力	20
第九节 液体的浮力	23
复习思考题	26
习题	27
第三章 水动力学基础	30
第一节 液体运动的基本概念	30
第二节 恒定流连续性方程	33
第三节 恒定流能量方程	34
第四节 能量方程的应用	40
第五节 恒定流动量方程	50
复习思考题	53
习题	54
第四章 能量损失和管路水力计算	57
第一节 水流阻力和能量损失	57
第二节 液流的两种流态	58
第三节 沿程能量损失计算	60
第四节 局部能量损失计算	66
第五节 有压管路水力计算	71
复习思考题	86
习题	87
第五章 明渠均匀流与非均匀流	89

第一节 明渠断面形状及底坡	89
第二节 明渠均匀流特征与基本公式	90
第三节 明渠均匀流计算中几个有关问题	91
第四节 梯形断面明渠均匀流水力计算	94
第五节 无压圆管均匀流水力计算	99
第六节 明渠非均匀流	103
复习思考题	116
习题	117

第二篇 桥涵水文学

第六章 河川径流	119
第一节 河流和流域	119
第二节 径流的形成	121
第三节 水文资料的观测	123
第四节 水文资料的搜集和整理	129
复习思考题	135
习题	136
第七章 水文统计基本知识	138
第一节 河川水文现象的特点和分析方法	138
第二节 频率与频率曲线	139
第三节 经验频率曲线	143
第四节 统计参数	144
第五节 理论频率曲线	147
复习思考题	149
习题	150
第八章 设计流量的推算	151
第一节 设计洪水和资料准备	151
第二节 有流量资料时设计流量的推算	156
第三节 缺乏流量资料时设计流量的推算	168
第四节 桥位断面设计流量和设计水位的推算	169
第五节 利用暴雨资料推算设计流量	171
复习思考题	180
习题	181
第九章 大中桥孔径计算	182
第一节 桥下水流图式和桥孔布置原则	182
第二节 桥孔长度计算	187
第三节 桥面标高的确定	193
复习思考题	199
习题	199
第十章 桥梁墩台的冲刷	201
第一节 河床演变	201
第二节 桥下断面一般冲刷	203

第三节 桥墩局部冲刷	208
第四节 墩台基础埋置深度的确定	214
第五节 综合例题	215
复习思考题	226
习题	226
第十一章 小桥涵孔径计算	228
第一节 小桥孔径计算	228
第二节 涵洞孔径计算	234
复习思考题	244
习题	245
附录	246

第一篇 水力学基础

第一章 液体的物理性质与作用力

水力学是研究以水为代表的液体静止和运动状态的力学规律，并运用这些规律解决实际工程问题的一门技术科学。

液体处于静止和运动状态的力学规律，一方面和液体外部的作用条件有关，更主要的是决定于液体自身的内在性质。因此，本章首先讨论液体的物理性质。在水力学中是以水作为研究对象，其结论对于一般的液体通常也能适用。

水力学不研究液体分子的微观运动，而研究的是液体宏观的机械运动，并以液体质点作为最小研究对象。所谓液体质点，是指由许多分子组成占有无限小的体积和质量的物理点。从宏观来看，认为液体质点之间是无间隙的，是充满整个占有空间的。因此可以把液体当作连续介质来研究，并认为这种连续介质是匀质的，各向同性的。这样就可以应用连续函数的概念来分析解决水力学问题。

第一节 液体的主要物理性质

和机械运动有关的液体主要物理性质有：流动性、惯性、压缩性、膨胀性、粘滞性等。

一、流动性

自然界的物质一般有固体、液体、气体三种状态。液体和气体统称为流体。流体的基本特性是易于流动。

液体的流动性可以从分子学的角度来解释，液体与固体相比较，其分子间的距离较大，引力较小。分子可以结群游动，不能维持固定的形状，几乎不能承受拉力抵抗拉伸变形；静止时还不能承受切力，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，引力更小。气体不仅易于流动，而且易于压缩和扩散，并力求占据尽可能大的容积，能充满任何形状的容器。而液体则不易压缩和扩散，具有一定的体积，盛于容器中的液体会出现一个与气体分界的自由液面。

二、密度、容重和惯性

惯性是物体维持原有状态的物理性质。物体惯性的大小取决于物体的质量。液体的质量可用密度和容重来度量，密度和容重都是与质量成正比的物理量。

(一) 密度

匀质液体单位体积的质量，称为密度。即：

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

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 。

液体的密度随温度和压强而变化，但变化甚微。在水力学中一般把水的密度视为常数，采用在一个大气压下，温度为 4°C 时，水的密度为 $\rho = 1000 \text{kg}/\text{m}^3$ ，水银的密度为 $\rho_{\text{水}} = 13600 \text{kg}/\text{m}^3$ ，可见，在相同的条件下，水银的密度是水密度的 13.6 倍。

(二) 容重

匀质液体单位体积的重量，称为容重。即：

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (1-2)$$

式中 γ ——液体的容重， N/m^3 ；

G ——液体的重量， N ；

g ——重力加速度，一般采用 $g = 9.81 \text{m}/\text{s}^2$ 。

液体的容重也随温度和压强而变化，但变化很小，在工程中一般将水的容重视为常数。采用在一个大气压下，温度为 4°C 时水的容重为 $\gamma = \rho g = 1000 \times 9.80 = 9800 \text{N}/\text{m}^3 = 9.800 \text{kN}/\text{m}^3$ 。水银的容重为 $\gamma_{\text{水}} = \rho_{\text{水}} g = 13600 \times 9.80 = 133280 \text{N}/\text{m}^3 = 133.28 \text{kN}/\text{m}^3$ 。

三、压缩性与膨胀性

液体的体积随所受压力的增大而减小的特性，称为液体的压缩性。

水的压缩性很小，在保持温度不变时，压力每增加一个大气压，水的体积只减小约二万分之一。所以在工程中一般认为水的压缩性可以忽略不计。只有在特殊情况下，例如研究有压管道的水击现象时，才需计及水的压缩性。

在压强保持不变时，液体的体积随温度升高而增大的特性，称为液体的膨胀性。

在一个大气压条件下，当水温在 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ 时，温度每增加 1°C ，水的体积增大约万分之一点五；当水温在 $90 \sim 100^\circ\text{C}$ 时，温度每增加 1°C ，水的体积增大约万分之七点二。这说明水的膨胀性也是很小的。在工程中除热水管道系统外，水的膨胀性也可忽略不计。

四、粘滞性

当液体处在运动状态时，液体具有抵抗剪切变形的能力，这就是液体的粘滞性。

静止的液体不能承受剪切作用，一旦受到剪切，静止状态立即遭到破坏而发生变形。但液体处于运动状态时，液体内部质点之间存在着相对运动，并产生一种内摩擦力。这种内摩擦力又称为切力或粘滞力，它抗拒液体内部质点间的相对运动，从而影响液体的运动状况，导致管渠内水流流速分布的不均匀，即靠近管渠边壁的流速小，而远离管渠边壁的流速大。因而液体的粘滞性是产生流动阻力的主要原因。

图 1-1 为明渠水流的流速分布图。从垂线上各点流速分布不均匀可知各流层间发生了相对运动。因而相邻液层之间就出现了内摩擦力 T 。牛顿内摩擦定律指出：内摩擦力 T 与流层间接触面积 ω 和速度梯度 $\frac{du}{dy}$ 成正比，即：

$$T = \mu \omega \frac{du}{dy} \quad (1-3)$$

单位面积上的内摩擦力，称为切应力 τ ，

$$\tau = \frac{T}{\omega} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-4)$$

以上两式中的 μ 为反映液体粘滞性大小的系数，称为动力粘度或动力粘滞系数，其单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。 μ 值愈大液体的粘滞性愈强，流动的阻力就愈大。

通常将符合牛顿内摩擦定律的液体称为牛顿液体，如水、酒精、油等；而将不符合牛顿内摩擦定律的液体称为非牛顿液体，如油漆、泥浆等。

水力学中常用运动粘度或运动粘滞系数 ν 来衡量液体粘滞性大小。运动粘度 ν 为动力粘度 μ 与密度 ρ 的比值，即：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-5)$$

式中 ν 的单位为 cm^2/s 或 m^2/s 。

由实验得知，不同种类的液体，粘滞系数不同；同一种液体，粘滞系数的大小与温度、压强有关。它随温度的升高而明显减小，随压强的增加而稍有增大。水在正常压强下不同温度的运动粘滞系数，可按下面经验公式计算：

$$\nu = \frac{0.01775}{1 + 0.0337t + 0.000221t^2} \quad (1-6)$$

式中 t ——水温， $^{\circ}\text{C}$ ；

ν ——运动粘度， cm^2/s 。

根据式 (1-6) 计算的水在不同温度时的 ν 值列于表 1-1 中

不同温度时水的运动粘度 ν 值

表 1-1

t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (cm^2/s)	t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (cm^2/s)	t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (cm^2/s)	t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (cm^2/s)
0	0.0179	7	0.0143	14	0.0118	40	0.0066
1	0.0173	8	0.0139	15	0.0115	50	0.0055
2	0.0167	9	0.0135	16	0.0112	60	0.0048
3	0.0162	10	0.0131	17	0.0109	70	0.0042
4	0.0157	11	0.0127	18	0.0106	80	0.0037
5	0.0152	12	0.0124	20	0.0101	90	0.0033
6	0.0147	13	0.0121	30	0.0081	100	0.0030

第二节 作用在液体上的力

处于静止或运动状态的液体，都受到各种力的作用，综合起来作用于液体上的力有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的力，其大小与液体的质量成正比。对于匀质液体，质

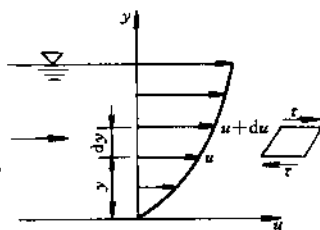
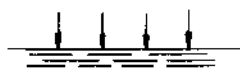


图 1-1 明渠水流的流速分布

量力的大小也与体积的大小成正比。所以匀质液体的质量力又称为体积力。属于质量力的有重力、惯性力等。

地球对物体的引力称为重力，即 $G=mg$ ，其方向垂直向下；惯



性力是液体改变速度与方向时所产生的力，即 $F=-ma$ ，负号表示惯性力的方向与液体加速度 a 的方向相反。

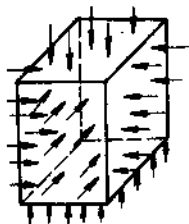


图 1-3 作用在液柱表面上的力

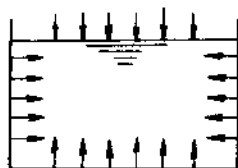


图 1-2 作用在液体边界上的外力

二、表面力

表面力是作用于液体表面上的力，其大小与作用面积成正比，故又称为面积力。属于这类力的有：固体边界对液体的摩擦阻力、边界对液体的反作用力（见图 1-2）、一部分液体对相邻的另一部分液体在接触面上产生的压力等。

液层之间的压力是液体的内力。对于静止的液体，液体的内力是互相平衡的。当我们引用隔离体的概念，从静止液体中取出柱状隔离体，以作用在柱状液体表面上的压力来代替原来周围液体对它起平衡作用的内力（见图 1-3），此时内力就可以看作是一种外力了。

表面力也可以用单位面积上所受的力来度量。如表面力与被作用面垂直，称为压强或压应力 p ；如表面力与被作用面平行，称为切应力 τ 。

复 习 思 考 题

- 1-1 液体的基本特性是什么？为什么会有这种特性？
- 1-2 密度和容重的定义是什么？它们与惯性有何关系？它们的计量单位是什么？
- 1-3 何谓液体的压缩性与膨胀性，在什么情况下可以忽视液体的压缩性与膨胀性，在什么情况下不可忽视？
- 1-4 何谓液体的粘滞性，它对液体运动有何影响？同温度时水与油的运动粘滞系数何者大？
- 1-5 什么是牛顿内摩擦定律，牛顿液体是指什么？试举例说明之。
- 1-6 作用在液体上的力有哪些？试举例说明之。

习 题

- 1-1 体积为 5L 的水，在 1 个大气压下，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 10100N/m³，试求它的密度。
- 1-3 在常温下要使清水的体积压缩 0.1%，问压强需增加多少？
- 1-4 有一个圆柱形水箱，直径为 2m，高为 2.5m，上端开口，箱中水深为 2.1m，水温为 10℃，若将水加热到 90℃，问箱中水深为多少？

第二章 水 静 力 学

水静力学研究液体处于静止状态下的平衡规律及其实际应用。

静止液体中不存在切力,同时液体又不能承受拉力,因此,静止液体质点间的相互作用是通过压力的形式表现出来。水静力学的主要任务是研究液体内部静水压强的分布规律,并在此基础上解决一些工程实际问题。

第一节 静水压强及其特性

一、静水压力与静水压强

由液体的物理性质所决定,处于静止状态下的液体,不仅对与其相接触的固体边壁有压力作用,而且在液体内部,一部分液体对相邻的另一部分液体也有压力作用。这种压力称为静水总压力,简称静水压力,用符号 P 表示,单位为 N 。静水压力与其他各种力一样,有大小、方向及作用点三个要素。

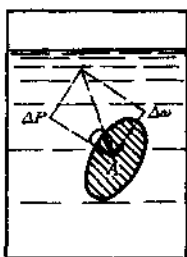


图 2-1 静水压强
及其方向

静止液体作用在受压面单位面积上的静水压力,称为静水压强,用符号 p 表示。

如图 2-1 所示,在静止液体中,任取一点 A ,围绕 A 点取一微小面积 $\Delta\omega$,作用在 $\Delta\omega$ 上的静水压力为 Δp ,则作用在面积 $\Delta\omega$ 上的平均静水压强为:

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

当 $\Delta\omega$ 无限缩小至 A 点时,平均压强 $\frac{\Delta P}{\Delta \omega}$ 便趋近于某一极限值,该极限值称为 A 点的静水压强,即:

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

静水压强的单位为 Pa , $1Pa=1N/m^2$ 。

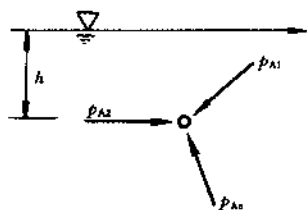
静水压力与静水压强都是压力的一种表示形式,但它们是两个不同的概念。静水压力是作用在某一面积上的总压力,静水压强则是作用在某一单位面积上的静水压力。因此,它们的计量单位也不相同。

二、静水压强的特性

(一) 静水压强的方向垂直并指向作用面

如图 2-1 所示,假设静水压力 ΔP 为任意方向,则 ΔP 可分解为垂直于作用面的法向分力及平行于作用面的切向分力。由于液体静止,显然切向分力为零。又由于液体不能承受拉力,所以,静水压强的方向只能是垂直指向作用面。

(二) 作用于同一点各方向的静水压强大小均相等



如图 2-2 所示,在静止液体中任取一点 A ,若周围液体对 A 点的压强分别为 p_{A1} 、 p_{A2} 、 $\dots p_{An}$,则各压强值必然相等,即:

$$p_{A1} = p_{A2} = \dots = p_{An} \quad (2-3)$$

如若不相等,则必然会破坏液体的静止平衡状态而发生流动,这与静止液体的前提不符。因此,静水压强的微小与其作用面的方位无关是确定无疑的。

图 2-2 静止液体中点液体的平衡

第二节 静水压强的分布规律

一、水静力学基本方程

如图 2-3 所示,在静止液体中,任取一点 A , A 点在液面下的深度为 h ,求 A 点的静水压强。围绕 A 点取一水平的微小面积 $d\omega$,以 $d\omega$ 为底作一铅垂液柱,其顶面与自由液面重合。下面分析作用在液柱上的力。

(一) 表面力

1. 作用在液柱顶面上的压力 $P_0 = p_0 d\omega$, 方向铅垂向下;

2. 作用在液柱底而上的压力 $P = p d\omega$, 方向铅垂向上;

3. 作用在液柱侧而上的压力 P_1 、 P_2 ……等,它们都是水平方向的,且大小相等,方向相反,彼此抵消。

(二) 质量力

作用在液柱上的质量力只有重力, $G = \rho g h d\omega$, 方向铅垂向下。

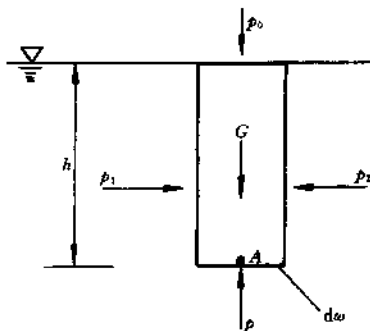


图 2-3 液体内部微小液柱的平衡

由于液体处于静止状态,所以根据力的平衡原理,列出沿铅垂方向力的平衡方程式:

$$p d\omega - p_0 d\omega - \rho g h d\omega = 0$$

$$\text{即} \quad p = p_0 + \rho g h \quad (2-4)$$

式中 p ——静止液体中任一点的静水压强;

p_0 ——液面压强;

ρ ——液体的密度;

h ——液柱的高度。

式(2-4)称为水静力学基本方程。该方程表明了质量力仅为重力时的静水压强的分布规律。它可以说明以下几点:

1. 在重力作用下的静止液体中,任一点的静水压强 p 等于自由液面压强 p_0 与重力所产生的压强 $\rho g h$ 之和。

2. 当液面压强 p_0 增大或减小 Δp_0 时,液体内部各点的静水压强亦相应地增大或减小 Δp_0 。即液面压强的增减符等值传递到液体内部其余各点。这就是著名的帕斯卡原理。水压机、液压千斤顶及液压传动装置都是利用了这一原理。

3. 当密度一定时,压强 p 随水深按线性规律增加。

二、连通器与等压面

(一) 连通器

连通器就是互相连通的两个或两个以上的容器。为了分析连通器内液体的平衡，可分以下两种情况进行讨论。

1. 如图 2-4 (a) 所示，在连通器的两个容器 I、II 内，注入同种液体，即 $\rho_1 = \rho_2$ ，液面上气体压强相等，即 $p_{01} = p_{02}$ 。当液体平衡时，两个容器内的液面高度一定相等，即 $h_1 = h_2$ 。证明如下：

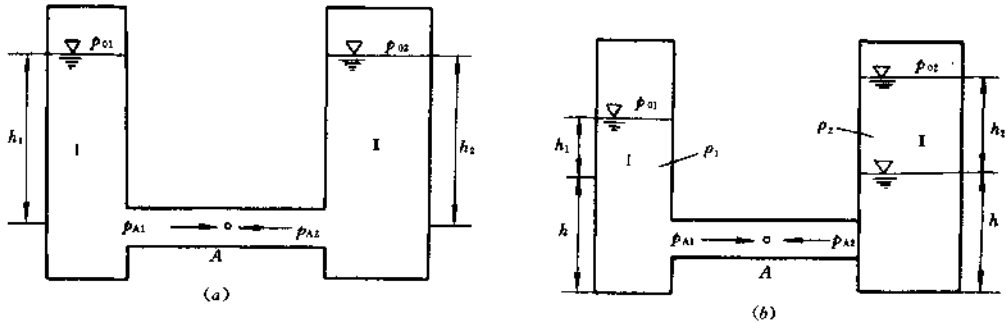


图 2-4 连通器内液体的平衡

在连通管中任取一点 A，分别写出容器 I、II 内液体对 A 点的绝对压强为：

$$p_{A1} = p_{01} + \rho_1 g h_1$$

$$p_{A2} = p_{02} + \rho_2 g h_2$$

由于液体处于静止状态，故 A 点不能移动，

即

$$p_{A1} = p_{A2}$$

$$p_{01} + \rho_1 g h_1 = p_{02} + \rho_2 g h_2$$

因为

$$p_{01} = p_{02}, \rho_1 = \rho_2, \text{ 所以}$$

$$h_1 = h_2$$

由此可见，当连通的同种静止液体中的液面压强相等时，两容器的液面高度必然相等。水位计就是利用这一原理制作的。

2. 如图 2-4 (b) 所示，在连通的容器 I、II 内注入两种不同液体，且 $\rho_1 > \rho_2$ ，而液面压强相等，即 $p_{01} = p_{02}$ ，当液体平衡时，则有：

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 \quad \text{或} \quad \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$$

证明方法同 1。

$$p_{A1} = p_{01} + \rho_1 g h_1 + \rho_1 g h$$

$$p_{A2} = p_{02} + \rho_2 g h_2 + \rho_1 g h$$

因为

$$p_{A1} = p_{A2} \quad \text{故: } p_{01} + \rho_1 g h_1 + \rho_1 g h = p_{02} + \rho_2 g h_2 + \rho_1 g h$$

又

$$p_{01} = p_{02} \quad \text{所以:}$$

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 \quad \text{或} \quad \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$$

上式说明，当液面压强相等时，液体的密度与连通器内两种液体分界面上的液面高度

成反比。利用这一原理可以测定液体的密度。

(二) 等压面

在静止液体中，静水压强相等的点组成的面称为等压面。根据水静力学基本方程 (2-4) 可知：在连通的同种静止液体中，水深 h 相同各点的静水压强均相等。由此可得出如下结论：

1. 在连通的同种静止液体中，水平面必然是等压面；
2. 静止液体的自由液面是水平面，该自由液面上各点压强均为大气压强，所以自由液面是等压面；
3. 两种不同液体的分界面是水平面，故该面也是等压面。

图 2-5 (a) 中，位于同一水平面上的 A 、 B 、 C 、 D 各点压强均相等，通过该四点的水平面为等压面。图 2-5 (b) 中，由于液体不连通，故位于同一水平面上的 E 、 F 两点的静水压强不相等，因而通过 E 、 F 两点的水平面不是等压面。图 2-5 (c) 中，连通器中装有两种不同液体，且 $\rho_k > \rho_m$ ，通过两种液体的分界面的水平面为等压面，位于该水平面上的 G 、 H 两点压强相等。而穿过两种不同液体的水平面不是等压面，位于该水平面上的 I 、 J 两点压强则不等。

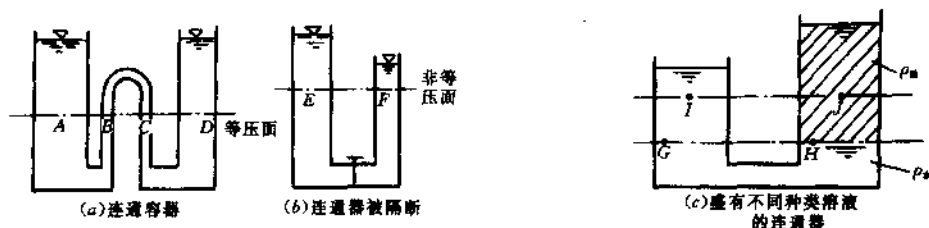


图 2-5 等压面的条件

等压面是水静力学中的一个重要概念，利用它推算静止液体中各点的压强，可使许多复杂问题得到简化。

第三节 压强的分类及表示方法

一、压强的分类

按照起量零点不同，压强可分为绝对压强和相对压强。

以绝对真空作为起量零点的压强称为绝对压强，用 p' 表示。

以当地大气压 p_a 作为起量零点的压强称为相对压强，用 p 表示。压力表和测压管测出的压强均为相对压强，故相对压强又称为表压强或测压管压强。

绝对压强与相对压强是两种起量零点不同的度量标准，两者之间的关系为：

$$p' = p_a + p \quad (2-5)$$

在工程计算中，若无实地资料时，当地大气压可按一个工程大气压计算。

当液体中某点的绝对压强 p' 小于当地大气压强 p_a 时，则相对压强为负值，表示该点存在着真空。真空程度的大小用真空值 p_v 来表示。

$$\text{即：} \quad p_v = p_a - p' \quad (2-6)$$

$$\text{或} \quad p_v = -p \quad (2-7)$$

由此可见,绝对压强越小,真空值越大。当绝对压强 $p'=0$ 时, $p_v=p_a$, 表明理论上的最大真空值等于一个大气压, 此时称为完全真空, 即绝对真空。

【例 2-1】 如图 2-6 所示, 已知 $h_1=1.0\text{m}$, $h_2=0.5\text{m}$, 试计算 A、B、C 三点的相对压强、绝对压强和真空压强。

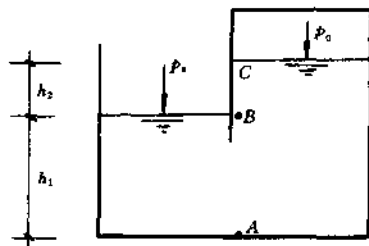


图 2-6

【解】

1. A 点的相对压强

$$p_A = \rho g h_1 = 9.8 \times 1 = 9.8 \text{ kPa}$$

A 点的绝对压强

$$p_A' = p_A + p_a = 9.8 + 98 = 107.8 \text{ kPa}$$

A 点的真空压强为零。

2. B 点的相对压强 $p_B = 0$

$$B \text{ 点的绝对压强 } p_B' = p_B + p_a = 0 + 98 = 98 \text{ kPa}$$

B 点的真空压强为零。

3. C 点的相对压强 $p_C = -\rho g h_2 = -9.8 \times 0.5 = -4.9 \text{ kPa}$

$$C \text{ 点的绝对压强 } p_C' = -4.9 + 98 = 93.1 \text{ kPa}$$

$$C \text{ 点的真空压强 } p_{cv} = -p_C = 4.9 \text{ kPa}$$

图 2-6 中 A、B、C 三点的压强态势, 可以用坐标图的形式形象地表达出来, 如图 2-7 所示。

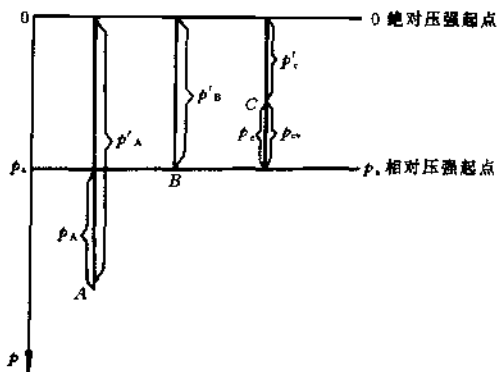


图 2-7

必须指出, 静水压强基本方程式 $p = p_0 + \rho g h$, 对于相对压强和绝对压强都是适用的。如果 p_0 是相对压强, 则 p 也是相对压强; 如果 p_0 是绝对压强, 则 p 就是绝对压强。

二、压强的表示方法

压强的表示方法有三种:

1. 用单位面积上所受压力表示, 这是最常用的压强表示方法。单位为 N/m^2 , 即 Pa。
2. 用工程大气压表示

$$1 \text{ 工程大气压} = 98 \text{ kPa}$$

3. 用液柱高度表示

当液面压强为大气压时，由式 (2-5) 可得到液柱高度与相对压强的关系式：

$$h = \frac{p}{\rho g} \quad (2-8)$$

常用单位有米水柱 (mH₂O)、毫米汞柱 (mmHg)。

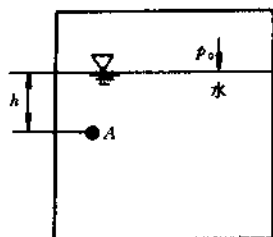


图 2-8 水箱内压强计算

以上三种表示方法的换算关系为：

1 工程大气压 = 98kPa = 10mH₂O = 736mmHg。

【例 2-2】 有一封闭水箱如图 2-8 所示，自由液面上气体绝对压强 p_0 为 68.6kPa。(1) 求液面下深度 $h=1\text{m}$ 处 A 点的绝对压强、相对压强及真空压强。(2) 当 A 点的相对压强为 10kPa 时，A 点在液面下的深度 h 为多少？

【解】 (1) 由式 (2-5)，A 点的绝对压强：

$$p' = p_0 + \rho gh = 68.6 + 9.8 = 78.4\text{kPa}$$

A 点的相对压强：

$$p = p' - p_a = 78.4 - 98 = -19.6\text{kPa}$$

相对压强为负值，说明 A 点存在真空。由式 (2-7)，得 A 点的真空压强：

$$p_v = -p = -(-19.6) = 19.6\text{kPa}$$

(2) A 点相对压强：

$$p = p' - p_a = p_0 + \rho gh - p_a$$

则

$$h = \frac{p - p_0 + p_a}{\rho g} = \frac{10 - 68.6 + 98}{9.8} = \frac{39.4}{9.8} = 4.02\text{m}$$

【例 2-3】 已知水泵吸入口处的绝对压强为 39.2kPa，试计算其相对压强和真空压强，并用水柱、汞柱高度及工程大气压表示。

【解】 相对压强：

$$p = p' - p_a = 39.2 - 98 = -58.8\text{kPa}$$

相应的水柱高度：

$$h = \frac{p}{\rho g} = \frac{-58.8}{9.8} = -6\text{mH}_2\text{O}$$

相应的汞柱高度：

$$h = \frac{p}{\rho_{\text{Hg}} g} = \frac{-58.8}{133.28} = -0.441\text{mHg} = -441\text{mmHg}$$

相应的工程大气压：

$$p = \frac{-58.8}{98} = -0.6 \text{ 工程大气压}$$

由于相对压强为负值，故水泵吸水口存在真空，真空压强：

$$p_v = -p = 58.8\text{kPa}$$

相应的水柱高度：

$$h_v = \frac{p_v}{\rho g} = \frac{58.8}{9.8} = 6\text{mH}_2\text{O}$$

相应的汞柱高度：