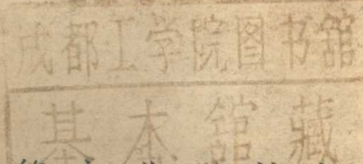


338108



中等专业学校教学用书

水力学及热工学基础

(矿山机械专业用)

李瑤荪 黄殿祺 合编



中国工业出版社

511
4014

中等专业学校教学用书



水力学及热工学基础

(矿山机械专业用)

李瑤蓀 黃殿祺 合編

中国工业出版社

本书系根据 1963 年制订的中等专业学校矿山机械专业“水力学及热工学基础”教学大纲所规定的內容编写的。全书共分两篇：第一篇讲述水静力学和水动力学的基本知识和基本定理；第二篇讲述工程热力学的基本定律、传热学的基本概念和內燃机的工作原理及其构造。

本书系中等专业学校矿山机械专业四年制的教学用书，对其它非机械专业也可以作为参考之用。全书教学总时数为 70 学时。

本书第一篇由长沙有色金属学校矿山机械教研组黄殿祺编写，第二篇由李瑤蓀编写。

水力学及热工学基础

(矿山机械专业用)

李瑤蓀 黄殿祺 合編

*

冶金工业部工业教育司編輯 (北京雍市大街78号)

中国工业出版社出版 (北京佟麟閣路西10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $5\frac{1}{8}$ ·字数 129,000

1965年12月北京第一版·1965年12月北京第一次印刷

印数0001—1,590·定价(科四)0.60元

*

統一书号: K15165·4209(冶金-650)

序 言

“水力学及热工学基础”是中等专业学校矿山机械专业的一門技术基础課程，其目的在于：

(1) 使学生掌握水力学和热工学的基本理論知識及計算技能，为学习有关专业課（主要是矿山通风、排水及压气設備）打下基础。

(2) 使学生熟悉四冲程內燃机（主要是柴油机）的工作原理、工作性能及其构造，并具有运轉維護方面的初步知識。

本书是根据 1963 年所修訂的中等专业学校矿山机械专业的“水力学及热工学基础”教学大綱，并結合教育革命形势深入发展的要求，在克服了 1961 年所編的“机器学”教材中存在的缺点的基础上重新編写的。

編写时，編者特別注意了下面两个問題：

(1) 力求对准专业口径，考虑同学的实际水平，根据“少而精”原則的精神，精选內容；

(2) 力求在讲授內容的同时教給学生思考問題的方法。为了使学生会活学活用理論，在每章后均編入适当数量的习題。

編写本书时，沈阳有色金属学校、昆明冶金工业学校和本溪鋼鐵学校等兄弟学校的同志提出了宝貴意見。編后，由本溪鋼鐵学校胡长太等同志审閱。編者在此表示衷心的感謝。

由于編者的水平有限，本书可能还存在許多缺点或不妥之处，請使用本书的同志指出，以便再版时改正。

編 者

2435

目 录

序 言

第一篇 水力学基础

第一章 液体的主要物理性质	1
第一节 重度和密度	2
第二节 粘滞性	3
第二章 水静力学	6
第一节 水静压力及其量度	7
第二节 水静力学基本方程	9
第三节 液式测压仪器	15
第四节 作用在平面壁上的静水总压力	19
第三章 水动力学	27
第一节 基本概念	27
第二节 液体运动的连续性方程	30
第三节 柏努里方程	32
第四节 柏努里方程的应用举例	39
第五节 稳定总流的动量方程和动量矩方程	43
第六节 液体在管道中的流动损失	49
第四章 工业管路及孔口管嘴的水力计算	67
第一节 工业长管的计算	67
第二节 孔口管嘴的水力计算	74

第二篇 热工学基础

第五章 理想气体定律	83
第六章 热力学基本定律	90
第一节 概述	90

第二节	比热与热量计算	92
第三节	热力学第一定律 内能	94
第四节	热力循环与热力学第二定律	96
第七章	热力过程	98
第八章	传热学基本知识	109
第一节	导热	110
第二节	对流换热	114
第三节	传热	116
第四节	换热器	118
第九章	内燃机	122
第一节	概述	122
第二节	柴油机	123
第三节	汽油机	138
第四节	内燃机的功率、效率与耗燃率	151
第五节	内燃机的运转	154
参考文献		158

第一篇 水力学基础

水力学是依据理論力学的一般原理，借助大量的实际資料，并运用数学方法，研究液体的靜止及流动規律的科学。利用这些規律，可以解决工程中的許多实际问题。

水力学一般有两个部分：水靜力学和水动力学。前者研究靜止液体中压力分布規律及其对固体接触面的总作用力等问题。例如：液体（或气体）压力的测量、液体（或气体）对容器壁的总作用力的計算、水力千斤頂、水力蓄能器的設計等均属于水靜力学的问题。后者研究流动液体的各运动参数的变化規律及其对与它相接触的固体間的作用力等问题。在学习通风机、水泵等液体机械和在計算通风、排水、压气网路时将会用到水动力学的基本原理和定律。

因此，水力学与矿山机械专业有較密切的关系。

第一章 液体的主要物理性质

液体是有质量有重量的物体，但由于液体的分子結構和固体、气体不同，因此它有自己的物理性质。它和固体不同，有极易流动（变形）性，可以随容器改变自身形状。这表明它对拉力和剪切力，亦即对緩慢变形的阻抗力量很小。而存在着对变形的这种阻抗，又表明它有粘滯性。因为液体的易流动和粘滯性，决定了在液体中不会出現空隙、断裂和局部变形現象，即有連續性。液体和气体不同，它有自由表面（有表面张力），当溫度和外力改变时，其体积的变化量非常小。譬如， 0°C 的水当压力增加一大气压时，其体积仅仅縮小 $\frac{1}{20000}$ ；当溫度在 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ 范围内变化时，溫度每变化 1°C ，其体积只变化十万分之十四。因此

在水力学中忽略液体的热膨胀性和压缩性，认为液体是绝对不可压缩的。

在水力学研究中，液体的重量、质量和粘滞性是最重要的物理性质。

第一节 重度和密度

液体的重量和质量用重度和密度表示。

1. 重度

在均质液体中^①，单位体积液体具有的重量与其所占有的容积之比称为重度（或重率）。常以 γ 表示。

若以 V 表示液体的体积，以 G 代表 V 体积液体的重量，根据定义

$$\gamma = \frac{G}{V}. \quad (1-1)$$

工程单位制中用（公斤/米³）表示重度的单位，而在物理单位制中，则以（达因/厘米³）=（克/厘米²秒²）表示。

2. 密度

在均质液体中，液体所具有的质量与其所占有的体积之比，称为密度，以 ρ 表示。若以 μ 代表体积为 V 的液体的质量，则：

$$\rho = \frac{\mu}{V}. \quad (1-2)$$

工程单位制中密度的单位是：公斤秒²/米⁴，其物理单位为克/厘米³。

3. 密度与重度的关系

由公式 1-1 及 1-2 得：

$$\rho = \frac{\mu}{V} = \frac{G}{gV} = \frac{\gamma V}{gV} = \frac{\gamma}{g}.$$

或

$$\gamma = \rho g. \quad (1-3)$$

^① 均质液体是指液体中的质量分布是各处均相同的，在水力学中，通常将液体视为均质的。

式中： g ——重力加速度， $g=9.81$ 米/秒²=981 厘米/秒²。

在忽略液体的压缩性和膨胀性的前提下，可以认为液体的重度和密度是不随外压力和温度而改变的。

在表 1-1 中列出常用的几种液体在一大气压下的重度、密度及比重的数值。

几种常用流体的重度、密度及比重

表 1-1

液体名称	温度 (°C)	重 度 (公斤/米 ³)	密 度 (公斤秒 ² /米 ⁴)	比 重
蒸 馏 水	4	1000	101.93	1
海 水	15	1020~1030	103.98~105.00	1.02~1.03
汽 油	15	700~750	71.36~76.45	0.7~0.75
石 油	15	880~890	89.70~90.72	0.88~0.89
潤 滑 油	15	890~920	90.72~93.78	0.89~0.92
煤 油	15	760~	77.44~	0.76~
酒 精	15	790~800	80.53~81.55	0.79~0.80
甘 油	0	1260	128.40	1.26
水 银	0	12600	1386.30	13.6
熔 化 生 铁	1200	7000	713.60	7
乙 醚	0	740	75.43	0.74
甲 醇	4	810	82.51	0.81
苯	0	880	89.70	0.88
空 气	0	1.293	0.132	0.001293
空 气	20	1.183	0.120	0.001183

第二节 粘 滞 性

当液体流动时，由于液体分子内聚力的作用，表现出对拉力和剪切力（即对变形）的抵抗性质叫做液体的粘滞性。为了从直观上显明地证实液体确有粘性，我们来观察一个粘性较大的液体的流动现象。

取一管径尺寸大小适当的玻璃管，垂直地放置着。从管的上端口注入较粘的润滑油，使其一开始便充满管子断面。这样，油在重力作用下便沿管流下。这时，就会看到油是缓慢流下的，并且在流过的断面上流动的流速是不同的，在管的轴心处流下的速

度快，故超前。愈往管壁方面靠近，流速漸漸变慢，而紧貼管壁的一层潤滑油則粘在管壁上，其速度为零。如图 1-1 所示。

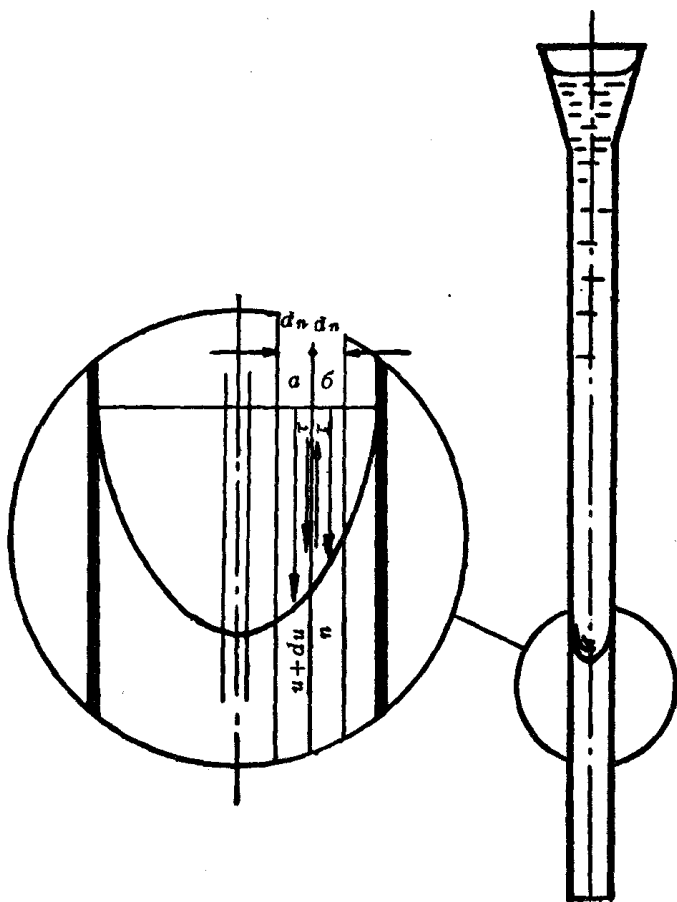


图 1-1

上面的現象，有力地說明，在液体分子間及液体分子与管壁間确有作用力存在。因为液体与管壁間存在附着力，所以紧邻管壁的一层液体分子吸附在管壁上不动；因为液体分子間有內聚力存在，則会使管壁的阻滯作用逐次地传递至管的軸心处。

为了更进一步分析粘性現象，我們設想管壁的阻滯力是一层层地传到管的軸心的。各层的厚度极薄，設为 dn 。現取出任意相邻的二层 a 与 b (图 1-1) 来研究。 b 层受到与其紧邻外层液

体的阻滞，同时它也阻滞与其相邻的内层。这种由于层间有相对运动而发生层间阻滞作用的现象叫做内摩擦现象，而层间的作用力称为内摩擦力。

根据牛顿的研究：内摩擦力是与液体的性质、摩擦面的大小以及层间速度的变化量有关系的。对于呈层流的液体中的摩擦力，可用下式计算：

$$T = \pm \mu \omega \frac{du}{dn}.$$

或写成应力形式：

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

式中：\$T\$——总内摩擦力（公斤或达因）；

\$\omega\$——两摩擦层的接触面积（米²或厘米²）；

\$\tau\$——相邻二层间的摩擦切应力（公斤/米²或达因/厘米²）；

\$du\$——两层间的速度差值（米/秒或厘米/秒）；

\$dn\$——每层的厚度（米或厘米）；

\$\frac{du}{dn}\$——速度梯度（1/秒），为在垂直于流速方向上单位距

离内的速度变化。因为 \$du/dn\$ 有正负之分，为使 \$T\$（或 \$\tau\$）永为正值，所以式中有正负号；

\$\mu\$——粘性动力系数。

粘性动力系数的物理意义是：速度梯度为 1 时相接触液层间单位面积上的内摩擦力。它的单位可由公式 1-4 导出。工程单位为公斤秒/米²，物理单位为，达因秒/厘米² = 克/厘米秒。

叫做‘泊’。1 泊 = \$\frac{1}{98.1}\$ [公斤秒/米²]。\$\mu\$ 是表示液体粘滞性的量。在水力学中也常用

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

来表示液体的粘滞性，称 ν 为粘性运动系数。其工程单位为米²/秒；物理单位为厘米²/秒或叫‘斯’。

不同液体有不同的 μ 和 ν 值，它随温度升高而减小，与压力几乎无关。图 1-2 和图 1-3 给出了在不同温度下的空气、水和机油的粘性运动系数值。

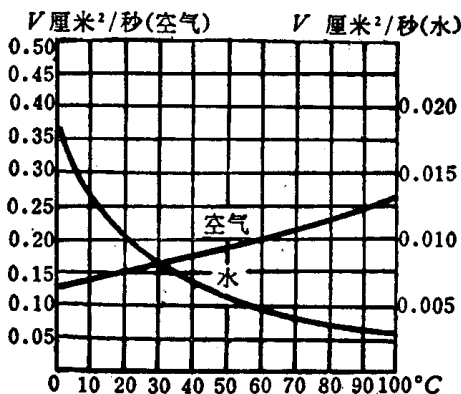


图 1-2

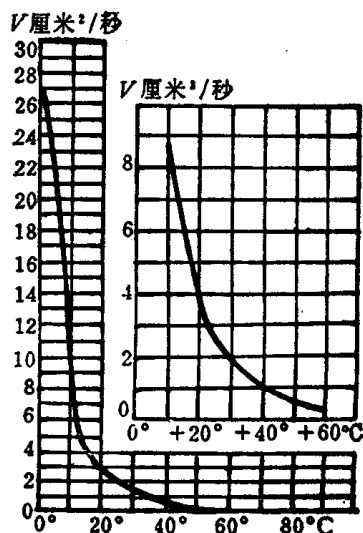


图 1-3

粘性系数可用各种粘度计（如用恩格尔粘度计）测量出来。

另外由公式 1-4 可以看出，当液体不流动时， $\frac{du}{dn} = 0$ ，则 $T = \tau = 0$ 。这说明，只有在流动的液体中液体才呈现出粘滞性，才有粘性阻力。

第二章 水 静 力 学

水静力学是水力学中最基本的部分。如前所述，它主要是研究：

- (1) 静止液体中各点的压力分布情况；
- (2) 静止液体对固体接触面的总作用力。

根据专业的要求，本章只讲绝对静止液体，也就是相对于地球是静止的液体的静力学，不讲那种在容器内是静止的，而容器

对地球却是运动的，所谓相对静止的液体的问题。

第一节 水静压力及其量度

1. 水静压力及其特性

液体內各处都有作用力存在，首先是液体的自重，其次还有自由液面上的气体压力、固体界壁的反力，有时还可能有活塞的压力。这些力在静止液体內是到处平衡的。

假设有一容器，里面盛着静止液体（图 2-1）。我們討論任意点 A 上的作用力。假想用一個通过 A 点的任意平面将液体分成 I、II 两个部分，譬如 A 点在 II 部分液体上。

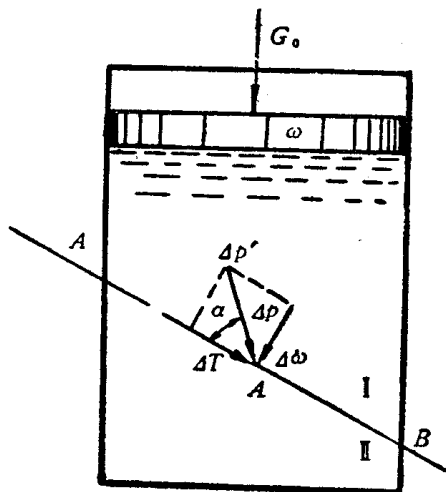


图 2-1

围绕 A 点取一微小面积 $\Delta\omega$ ， A 点是 $\Delta\omega$ 上的一个点，作用在 $\Delta\omega$ 上的总作用力为 $\Delta P'$ 。根据液体极易流动的性质，如果 $\Delta P'$ 是一个拉力，液体必然发生流动，这和静止液体这一前提矛盾，因此只能是压力。

其次，再看看 $\Delta P'$ 与作用面的方向角。假定 $\Delta P'$ 与面积 $\Delta\omega$ 的法线有一夹角 α ，则 $\Delta P'$ 可分解为两个力，一个分力是 ΔP 为法线方向，一个是剪切力 ΔT 。但是在静止液体中粘性力是不会起作用的。因此 ΔT 是不存在的。由此可见静止液体各点的作用力是个垂直于作用面上的压力 ΔP 。

ΔP 为作用于面积 $\Delta\omega$ 上的总压力，如果用 $\Delta\omega$ 去除 ΔP 便会得到单位面积上的平均压力强度，即：

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

若求 A 点上的压力强度，必須使 $\Delta\omega$ 无限縮小而趋向于零，即：

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

在一般情况下， $p_A \Delta\omega \neq \Delta P$ ，但当 $\Delta\omega$ 取得非常小时，它們相差較小。在水靜力学中称 p 为“水靜压力”， p_A 叫做“ A 点的水靜压力”，或“点压强”。它們的单位是：公斤/厘米² 或公斤/米²。当压力为每厘米² 1 公斤时，称为 1 大气压。

水靜压力有个重要特性：在靜止液体內某任意点上的靜水压力值与所取的受压面（作用面）的方向无关。亦即作用于靜水中任何点上来自各方向的压力值都是相等的（但是各个点上的压力一般是不同的）。

2. 水靜压力的度量

度量压力首先就应该象度量溫度那样，規定度量的起点（零点）。度量压力时，由于度量起点不同，有絕對压力和相对压力两个概念。当相对压力为負值时，用真空度来計量。

絕對压力是以絕對真空作为計量压力的零点所測得的压力值，常以 p_{a0} 表示。相对压力是以当地大气压为度量的零点而量得的压力值，有时又称为表压力或計示压力。常以 p_{a1} 代表。我們規定，由当地大气压向上測量的相对压力值为正值，相反为負值。而在工程上常常碰到低于当地大气压的压力值，为避免取負号的麻煩，引进了真空度的概念。

真空度是以当地大气压为度量压力的零点，度量低于大气压的压力时所量得的压力值，常以 p_v 代表。

若以 p_{a1} 代表大气压力值，便可由下列公式表示出三种压力間的关系，即：

$$p_{a1} = p_{a0} - p_{a1}; \quad (2-3)$$

$$p_v = p_{a1} - p_{a0} = -p_{a1}. \quad (2-4)$$

公式 2-4 中的 p_{a0} 低于大气压。

用坐标图（图 2-2）說明三种压力概念間的关系更为直观。

取 op 为压力轴, 刻度单位是公斤/厘米², 0—0 线为绝对真空线, 即绝对压力的零线。1—1 线是大气压力线, 是相对压力的零线。

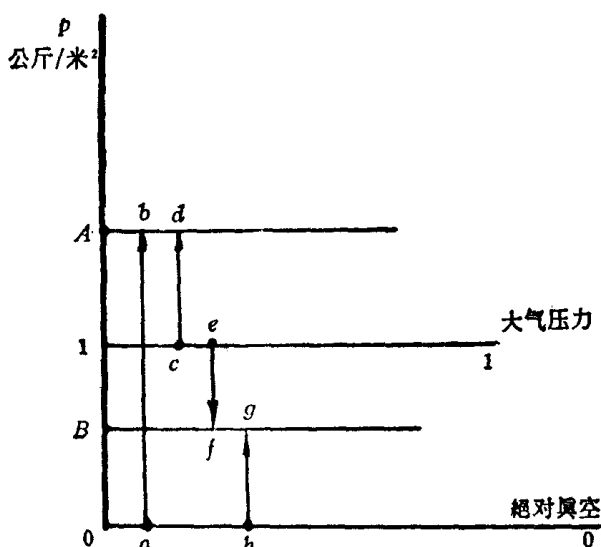


图 2-2

对于压力 p_A (大于大气压力) $\overline{ab}$ 代表绝对压力值, $\overline{cd}$ 代表其表压力值。对于压力 p_B (小于大气压力), $\overline{gh}$ 代表其绝对压力值, $\overline{ef}$ 代表其真空度值。

第二节 水静力学基本方程

1. 水静力学基本方程的建立

揭示静止液体中的压力分布规律, 亦即: 求算任何一点上的静水压力值的问题, 是水静力学中最基本的问题, 水静力学基本方程便是解决这个问题的。

图 2-3 表示一密闭容器, 其中的液体是绝对静止的。自由液面上的压力强度为 p_0 。

例如, 要求液体中任意点 A 的静水压力。为此, 假想在液体中分离出一个底面积为 $\Delta\omega$, 高为 h 的正方柱体 (其它形状的柱

体也可以)。该柱体的上端面便是自由液面的一小部分，其上作用着压强 p_0 ，下端面在液面下的深度为 h ， A 点是该端面上的一点，该点的压力设为 p 。柱体的四个长棱都与 z 轴平行，这个柱体是受力平衡的。

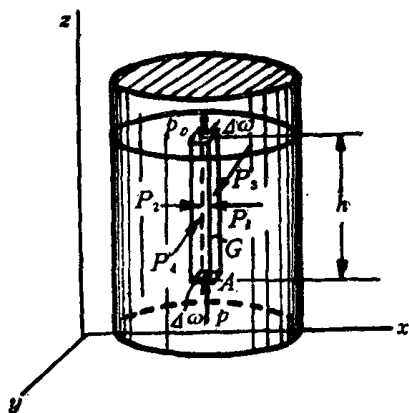


图 2-3

作用在这个柱体上的力有：侧面和上下两端面上的压力以及柱体自身的重量。但是，因为柱体是静止的，所以来自各个侧面上的压力应该是相互平衡的，即： $P_1 = P_2, P_3 = P_4$ ，如图 2-3。

这样一来就只剩下液体的自重和上下端面上压力了，而它们也是平衡的。于是得到：

上端面的压力： $P_0 = p_0 \Delta \omega$ ，方向向下；

下端面的压力： $P = p \Delta \omega$ ，方向向上；

柱体的自重为： $G = \gamma h \Delta \omega$ 。

式中 γ —— 液体的重度。

列出 Z 轴方向的静力平衡式得：

$$p \Delta \omega - p_0 \Delta \omega = \gamma h \Delta \omega.$$

$$\text{则, } p = p_0 + \gamma h \text{ (公斤/厘米}^2\text{)}. \quad (2-5)$$

如果容器是开口的，作用在液面上的压力是当地大气压 p_{at} ，则公式 2-5 可写为：

$$p = p_{at} + \gamma h. \quad (2-6)$$

公式 2-5、2-6 便是水静力学基本方程式，它是水静力学中最基本，最重要的方程式。

2. 水静力学基本方程的意义、等压面

(1) 由公式 2-5 和 2-6 看出，静止液体中任何一点的静水压力是由两部分组成的，其一是作用于液面上并等值传递的压力 (p_0 或 p_{at})，另一部分是由该点上面液体重度所造成的压力。

前者一般讲是一常数，后者与该点的淹没深度呈直线关系。静水压力的分布规律取决于重力。如果流体的重度（重量）可以忽略的话，则其各点上的水静压力便可以看成是毫无变化的了。对于气体而言，由于其重度很小，故在一般情况下，可以认为气体中的压力是处处相同的。

(2) 由公式 2-5 可知，在 h 相同的各点上水静压力是相等的。

我们称压力相同的各点所组成的面为等压面。绝对静止的液体中的等压面，为所有平行于自由液面的水平面。因为该面上各点的淹没深度相等。由于等压面为一水平面，则等压面上各点的位能必然相等，所以它也是等位面。

液体与气体及互不相混的液体间的分界面都是等压面的例子。但须注意，两个互不相连的容器中的液体及一个连通容器中被隔开的两部分液体的等压面不一定在同一个水平面上，这一点利用公式 2-5 或 2-6 不难证明。

(3) 由公式 2-5 及 2-6 看出，作用于液体表面上的压力 p_0 或 p_a 是等值的传达到液体的各个地方去的。这便是有名的巴斯伽原理。简单水力机械如水力千斤顶，液力蓄能器及水压机等，便是根据这一原理工作的。

例如水力千斤顶（图 2-4），它有 I、II 两个活塞，对小活塞施以压力 P_1 ，则传给液体的压强为 $\frac{P_1}{\omega_1}$ ，这个 $\frac{P_1}{\omega_1}$ 压强可以等效地传递到液体的各个地方，那么大活塞 II 上所受的总压力便为：

$$P_2 = \frac{P_1}{\omega_1} \cdot \omega_2 \quad (2-7)$$

$$\text{即:} \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (2-8)$$

由公式 2-7 和 2-8 可以看出，在小活塞上施加一比较小的力时，便可在大活塞上得到一个较大的力，这两个力和活塞面积成