中等专业学校教材

发电厂动力設备

下册

水力发电厂动力設备

（修訂本）

西安电力学校水力发电教研組 编

中国工业出版社

中等专业学校教材

发电厂动力設备

下册

水力发电厂动力設备

（修訂本）

西安电力学校水力发电教研組 编

中国工业出版社

本书为发电厂动力設备下册的修訂本，主要內容由水力学基础、水能利用原理、水电站建筑物、水輪发电机組及其輔助設备等四部分組成。书中敍述了有关水庫調度、水电站的工作方式等方面的知識，并系統地对水电站水力樞紐作了适当地讲述，以帮助讀者对水能轉換成电能的过程有一个全面地了解。

本书可作为中等专业学校发电厂、电力网及电力系統专业和电厂化学专业的試用教科书。

发电厂动力設备

下册

水力发电厂动力設备

（修訂本）

西安电力学校水力发电教研組 编

*

水利电力部办公厅图书編輯部編輯（北京阜外月坛南营房）

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本787×1092 1/16·印張7 1/2·字数166,000

1961年8月北京第一版

1964年10月北京第二版·1964年10月北京第五次印刷

印数4,867—6,066·定价（科四）0.79元

*

統一书号：K15165·552（水电-77）

目　　录

第一篇　水力学基础

第二篇　水力发电站

第三篇 水輪发电机組及其輔属設备

第一篇　水力学基础

水电站利用水流产生电能。所以在研究水电站电能生产的过程及設备时，先討論一下水流在静止和运动中的一般規律。

自然界中水流在不断运动着，而运动現象又极其复杂。研究水流在静止和运动中的規律，并利用这些規律来使水流为人类服务，这就是水力学的任务。

第一章　水流运动概述

§1-1　液体的主要物理性质

物体的运动，一方面与作用于物体外部的条件有关，但主要是决定于物体本身的內在性质。所以在討論液体运动規律之前，先討論液体主要的物理性质。

液体的直观概念，大家是了解的。例如：水装在不同的容器里就具有不同的形状。这說明液体在微小的外力作用下，就容易发生流动而变形，不能和固体一样保持自己的固定形状。因此，从力学的观点上說，**液体的基本特征是易流动，对緩慢的变形沒有阻力（快速的变形除外）和受外力作用后体积不变。**或者說在平衡状态下，液体不能抵抗任何切力和張力，而只能抵抗对它的压力。在討論液体时，有一个重要的規定：将液体看作一种連續介质，即整个液体中沒有空隙存在，所占有的空間均为液体分子所充滿。这样就可以摆脫研究分子运动的复杂性，而只研究外力所引起的质点运动。同时，由于液体是連續的，所以在研究液体运动时就可以用連續函数来表示质点的各种特性在液体內的变化規律。

液体的主要物理性质有以下几个：

一、密度

液体和其他物体一样具有质量。**单位液体体积內所具有的质量称为密度，**以ρ表示。对于均质的液体来說，設液体体积为V，质量为M，则

$$\rho=\frac{M}{V}. \tag{1-1}$$

单位为〔公斤-秒^2/米^4〕。

二、容重

地球上具有质量的物质必具有重量。**单位体积內的重量称为容重，**以γ表示。設体积为V的均质液体，所具有的重量为G，则

$$\gamma=\frac{G}{V}. \tag{1-2}$$

单位为〔公斤/米^3〕。

根据运动規律有

$$G=Mg.$$

式中 g 为重力加速度。由公式(1-1)及(1-2)，得下列关系：

$$\gamma=\rho g. \tag{1-3}$$

各种不同的液体其密度和容重是不同的。对于同一种液体来說，密度和容重是和压力及温度有关的。不过由于它們的变化很小，在实用上往往可視为常数。

对于水来說，在大气压力作用下，当温度为 4°C 时具有最大的密度。此时，$\gamma=1000$ 公斤/米^3。在其他温度下，水的 γ 值如表1-1所示。

表 1-1 水的密度

t (°C)	0	10	20	30	40	60	100
γ(公斤/米^3)	999.9	999.4	998.2	995.7	992.2	983.2	958.4

在水电站及其他建筑物的工作条件下，水的温度通常在 0～35°C 的范圍內。因此，实用时可认为水容重为常数，$\gamma=1000$ 公斤/米^3。以 $g=9.8$ 米/秒^{2}計算，則密度 $\rho=102$ 公斤-秒^2/米^4。

三、压縮性

液体在外界压力作用下，其体积发生微小的变化，这种性质称为液体的压縮性。压縮性的大小，一般用体积压縮系数β_p表示。单位面积上的压力增加一个单位时，液体体积的相对减小值，称为体积压縮系数。以dp表示单位面积上压力的增加值，dV表示压力增加后体积的縮減值，V表示液体原有体积。則

$$\beta_p=-\frac{dV}{V}\ \frac{1}{dp}. \tag{1-4}$$

有时液体的压縮性也用β_p的倒数K表示，K称为体积彈性系数。即，

$$K=\frac{1}{\beta_p}. \tag{1-5}$$

β_p的单位为〔米^2/公斤〕。K之单位为〔公斤/米^2〕。

不同温度时水的压縮性是不同的。参看表1-2所示。

表 1-2 水的压縮性

t (°C)	0	10	20	30
β_p (米^2/公斤)	50.2×10^{-10}	48.2×10^{-10}	46.5×10^{-10}	45.6×10^{-10}
K (公斤/米^2)	1.99×10^8	20.7×10^8	2.15×10^8	2.19×10^8

因为水的体积压縮性很小，在实际工程問題上，常把水看作是不可压縮的。但在某些特殊問題中，如討論水电站的水錘現象时，就必須計及水的体积的变化。否則所得結果和实际情况会有很大的出入。

四、粘滯性

我們观察液体运动的过程中，可以看出液体质点的运动速度是不一样的，如图 1-1 所示。如果把液体的运动看作是由很多dn的薄层构成，則运动較快的薄层有拖动运动較慢的

薄层的作用，而运动較慢的薄层又有阻滞流动較快的薄层的作用。这样层与层之間就产生了內摩擦力(或称剪切力)，以反抗剪切变形。这种**液体在运动状态下具有阻抗剪切变形的特性，称为液体的粘滞性。**

按照內摩擦定律，摩擦力F的大小为

$$F=\pm\mu s\frac{dv}{dn}. \qquad (1\text{-}6)$$

单位面积上的內摩擦力为

$$\tau=\frac{F}{s}=\pm\mu\frac{dv}{dn}. \qquad (1\text{-}7)$$

式中 s——层与层之間的摩擦面积；

μ——液体的动力粘滞系数；

$\frac{dv}{dn}$——流速梯度，即n方向的流速变率。

在实用中常用液体的运动粘滞系数ν表示液体的粘滞性。即

$$\nu=\frac{\mu}{\rho} \qquad (1\text{-}8)$$

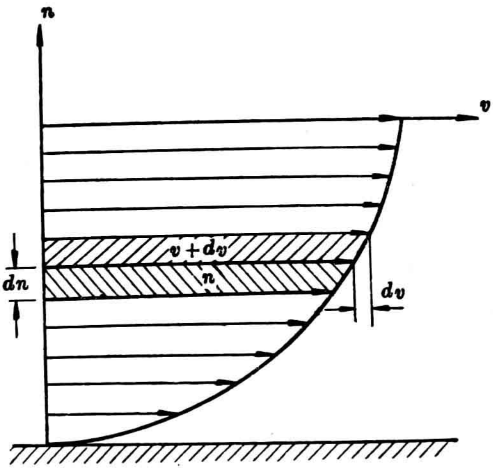

图 1-1 粘滞力計算图

在工程单位制中其单位采用：μ为〔公斤-秒/米^2〕；ν为〔厘米^2/秒〕。

对不同的液体，粘滞系数不同。在同一种液体中，粘滞系数随温度改变而改变。一般当温度升高时粘滞系数减小，参看表 1-3。至于压力对粘滞系数的影响則很小，实用上可以忽略。

表 1-3 水的动粘阻系数

温 度 t °C	ν (厘米^2/秒)	温 度 t °C	ν (厘米^2/秒)
0	0.0178	15	0.0114
5	0.0152	20	0.0101
10	0.0131	30	0.0081

粘滞性对液体运动的作用是极大的(液体处于靜止状态时显示不出粘滞性的作用)。往往由于粘滞性的影响，使水力学的研究变得很复杂。为了簡化研究工作（或当粘滞性的影响不大时），可不計粘滞性的影响，仅将得出的主要結論加以修正和补充。在今后的討論中将**不考虑粘滞性及压縮性的液体，称为理想液体。**

§1-2 作用在液体上的力

液体在外力作用下，产生一定的运动形态。水力学的任务之一，就是要分析和研究这些力与运动之間的关系。一般把作用在液体上的力分为两类。

第一类力称为质量力或体积力。它作用在液体的每一个质点上和质量成比例，故称为质量力。在均质的液体中，它和体积成比例，故又称为体积力。水力学中最常遇到的质量力有两种：一为重力，它是地球对于液体每一个质点吸引作用的結果；数值上等于质量和

重力加速度的乘积；另一种为惯性力，是液体作非匀速运动时，由于加速度而使液体各质点所受到的作用力，它等于质量和加速度的乘积。

单位质量液体所受的质量力，称为单位质量力或单位体积力。如作用在体积为V，质量为M的液体上的质量力为G。则单位质量力为$\frac{G}{M}$米/秒²。

第二类力称为表面力。它作用于液体的表面，和作用面的面积成比例。它可以是作用于液体边界面上的外力，如活塞对液体的压力或大气对水面上的压力；也可以是一部分液体质点作用于其相邻部分液体质点的內力。

如前所述，液体一般不承受拉力，剪切力也只有实际液体处于运动变形状态时才存在。故作用于理想液体或静止状态下的实际液体的表面力只能是压力。換句話說：理想液体或处于静止状态下的实际液体只能承受压力。

液体在静止状态下，质点之間相互作用的压力称为静水压力。如静水池中水对池壁的作用。**液体在运动状态时，质点之間的相互作用的压力，称为动水压力。**如水管中流动的水流对管壁的推压作用。

不論动水或静水压力，設作用在面积 $\Delta\omega$ 上的压力为ΔP，则作用在单位面积上的平均压力为

$$p_{平均}=\frac{\Delta P}{\Delta\omega}. \tag{1-9}$$

如果当$\Delta\omega\to 0$ 时取$\frac{\Delta P}{\Delta\omega}$之极限，即

$$p=\left|\lim_{\Delta\omega\to 0}\right|\frac{\Delta P}{\Delta\omega}. \tag{1-10}$$

则p称为該点的静水压力或动水压力，有时叫做压强。其单位为〔公斤/米²〕或〔公斤/厘米²〕。

§1-3 压强的特性

压强表示一单位力。从力学知道，力的完整概念：必須具有一定的数値、方向和作用点。所以，压强的特性就是研究其数値和方向变化关系的規律。主要特性有如下两个：

第一个特性：实际及理想液体的静水压强和理想液体的动水压强，永远沿着作用面的內法綫方向(§1-2的叙述已經証明了此特性)。

第二个特性：液体中质点压强的大小和作用面的方法无关。換句話說，一点上各个方向的压强相等，即压强仅是位置坐标的函数。如用分析式表示，为

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

这个特性証明如下：

在理想液体或处于静止的实际液体中，任一点A的邻近取一微小的四面体，如图 1-2 所示。其正交的三面各和 x，y 和 z 三个坐标軸垂直。正交的三个边长为 δx，δy和 δz。該四面体在外力作用下处于平衡。其外力为垂直与各面的压力(或表面力) P_x、P_y、P_z。設各面的平均压强为 p_x，p_y，p_z 和 p_n。则

$$P_x=p_x\frac{1}{2}\delta y\delta z;$$

$$P_y = p_y \frac{1}{2}\delta x \delta z;$$

$$P_z = p_y \frac{1}{2}\delta x \delta y;$$

$$P_n = p_n \delta \omega_n .$$

式中　$\delta\omega_n$——傾斜面的面积。

作用于四面体的所有质量力的合力为G。它在各坐标軸上的投影：

$$G_x = \rho \frac{1}{6}\delta x\ \delta y\ \delta z\ X;$$

$$G_y = \rho \frac{1}{6}\delta x\ \delta y\ \delta z\ Y;$$

$$G_z = \rho \frac{1}{6}\delta x\ \delta y\ \delta z\ Z.$$

式中　X、Y、Z——单位质量力在x，y，z方向之投影。

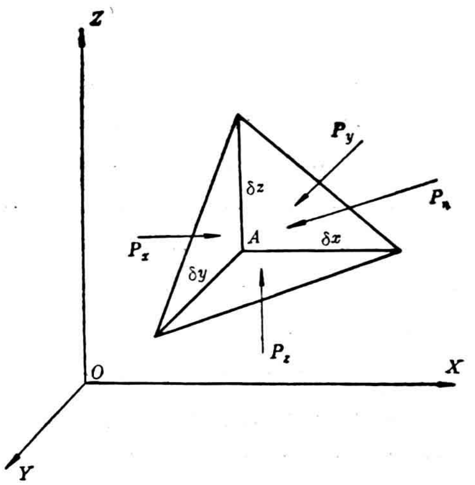

图 1-2　压强特性証明图

写出x方向的平衡方程式：

$$P_x + P_n \cos(n,\ x) + G_x = 0,$$

或

$$p_x \frac{1}{2}\delta y \delta z - p_n \delta\omega_n \cos(n,\ x) + \frac{1}{6}\rho \delta x \delta y \delta z X = 0.$$

由立体几何面积投影的关系有：

$$\delta\omega_n \cos(n,\ x) = \frac{1}{2}\delta y \delta z.$$

代入上式得

$$p_x \frac{1}{2}\delta y \delta z - p_n \frac{1}{2}\delta y \delta z + \frac{1}{6}\rho \delta x \delta y \delta z X = 0.$$

当 δx、δy 和 δz 趋于零时，上式中表示质量力的第三項与表示表面力的第一、二項比較，为高一阶无穷小，故可忽略不計。所以得出：

$$p_x = p_n.$$

同理，由y和z方向的平衡方程式亦可分别得到下列結果：

$$p_y = p_n;\quad p_z = p_n.$$

所以，最后得到：

$$p_x = p_y = p_z = p_n. \tag{1-11}$$

因为在推演的过程中，取δx、δy和δz为无穷小，故各面上的压强也就成为A点沿各个方向的压强了。如果A点变动位置，則压强也就发生了变化。所以，液体中的压强只是点的位置函数。即

$$p = f(x,\ y,\ z)。$$

§1-4　水流現象的分类

在实踐中所遇到的水流現象是多种多样的。为了便于分析，就有必要将水流現象加以

分类。

液体的运动要素不随时間而变动的流动，称为稳定流动。例如，当容器内的水位不变时，液体經过器壁孔口的出流，即为稳定流动。

液体的运动要素随时間而变动的流动，称为不稳定流动。例如，用器壁孔口的泄水来排空容器内的存水，即为不稳定流动。

在稳定流动中，若沿流程方向上，各液体质点的流速都相等，即在沿流程方向上各液体质点沒有加速度，則这种流动称为均匀流动。例如，水流沿等直徑管道运动，且流速不随时間变化的流动，就是稳定的均匀流动。

在稳定流动中，若沿流程方向，各液体质点的流速有改变，即在沿流程方向上各液体质点有加速度，这种流动称为稳定的非均匀流动。例如，流动不随时間改变情况下之直徑有变化的管道中水流的运动。

除以上所述外，水流运动还有其他的分类方法。其他的分类将在以后的討論中提到。

第二章　液体靜止的基本原理

§2-1　液体靜止的基本方程式

当液体运动时，不仅沒有加速度发生。而且速度本身也等于零时，这就是常說的液体处于靜止的状态。本节討論处在靜止状态时液体所遵守的基本方程式。

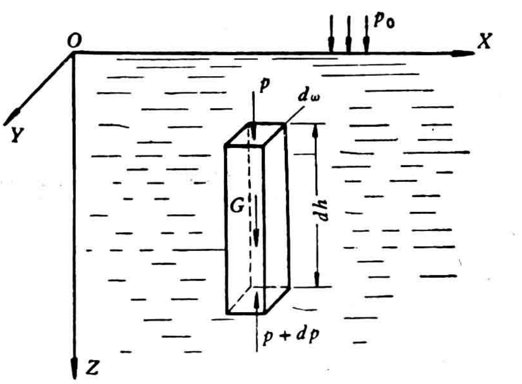

图 1-3　重力作用下的靜止液体

在靜止的液体中，取出一直立的棱柱体，如图 1-3 所示。断面面积为 $d\omega$，高度 dh。此棱柱体所受力之垂直分力为：頂面的表面力 $pd\omega$，底面的表面力 $(p+dp)\,d\omega$；质量力 $\gamma d\omega dh$。因它处于平衡，故所有作用力之垂直分力的合力为零。即

$$pd\omega-(p+dp)d\omega+\gamma d\omega dh=0$$

$$dp=\gamma dh.$$

对上式进行积分，得

$$p=\gamma h+c.$$

其中 c 为积分常数。

由图 1-3 知，液体的表面压强为 p_0。所以，当 $h=0$ 时，$c=p_0$

$$\therefore\ \ p=p_0+\gamma h. \tag{1-12}$$

上式称为靜止液体的基本方程式。p 为液体中任意一点的压强，称为靜水全压强。p_0 为自由面上的压强，γh 等于截面面积为 1 而高度为 h 的液柱重量，称为靜水超压强或計示压强。

从公式(1-12)知，在表面力 p_0 及重力作用下，靜止液体中某点的压强，只决定于該点在液面下的深度 h，点的位置愈深則压强愈大。因此，靜止液体中位于同一深度的各点具

有相同的压强值。因而得出結論：**静止液体中，水平面就是等压面**。另外，从公式可知：**表面压强均匀的傳递到液体內各个质点而不改变其值**。这就是所謂的巴斯加定律。

下面以水压机为例，来說明巴斯加定律的应用。图1-4所示：在小活塞 ω 上加压力 P_1，则作用在液体上的压强 $p_1=\frac{P_1}{\omega_1}$。根据巴斯加定律，此压强 p_1 均匀的傳递到液体內各点。因此，大活塞 ω_2 上作用的压强 p_2 将等于 p_1 之值。故 ω_2 所产生向上的压力 P_2 为

$$P_2=p_2\omega_2=p_1\omega_2=\frac{P_1}{\omega_1}\omega_2=P_1\frac{\omega_2}{\omega_1}.$$

上式說明：作用在大、小活塞上压力之比等于活塞的面积之比。这是小力举重物的水压机原理。

当液体在质量力除重力外还有慣性力或离心力的作用下处于静止（相对于运动的容器而言）状态时，液体中压强的分布規律和液体仅在重力作用下的分布規律是相同的。仅因慣性力或离心力的作用使液体所受质量力的合力方向不是鉛直向下的，故其等压面成为傾斜平面或曲面。

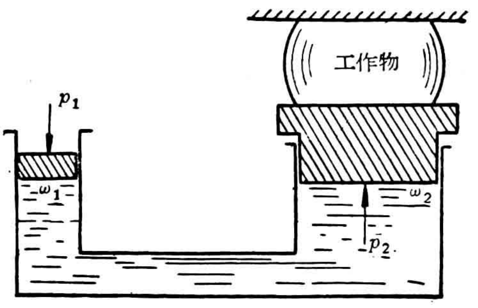

图 1-4　水压机原理

§2-2　水头的概念及压强的量测

一、水头的概念及眞空

静水压强不仅可用一般压强单位来表示，如公斤/厘米²等，而且可以用某种液柱高度来表示。静水超压强的公式 $p'=\gamma h$，可以改写为 $h=\frac{p'}{\gamma}$。因为 γ 值对于給定的液体而言，是不变的。所以，一定高度的液柱就相应于一个静水超压强值。

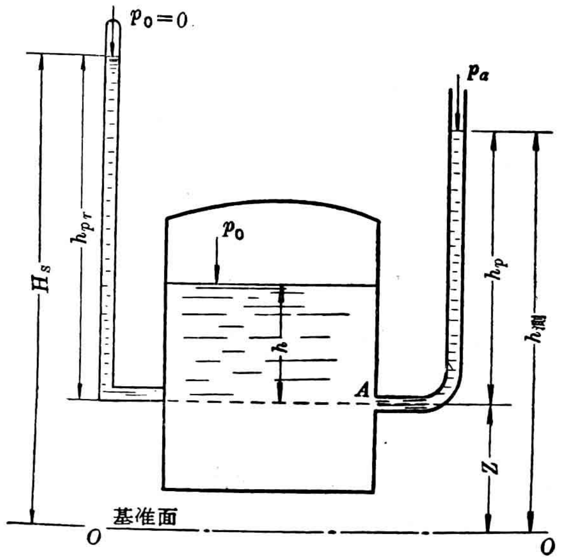

图 1-5　测压管量压示意

在密閉容器內盛有液体，其表面作用着大于大气压强 p_a 的压强 p_0，如图1-5所示。假設在液面下 h 处某点 A，将容器开一小孔，并以弯曲向上的开口玻璃管与孔相連，由于容器中液面上的压强 $p_0>p_a$，管中液体便上升至某一高度 h_p。此高度称为测压管高度，用以测定它的玻璃管称为测压管。

从管中液体来看，A 点的静水压强等于

$$p_A=p_a+\gamma h_p.$$

从容器中液体来看，A 点的静水压强等于

$$p_A = p_0 + \gamma h.$$

不論从管中或容器中来看，对于A点来說，压强只能有一个数值。故可写出下式

$$p_a + \gamma h_p = p_0 + \gamma h,$$

故
$$h_p = \frac{p_0}{\gamma} + h - \frac{p_a}{\gamma} = \frac{p_0 - p_a}{\gamma} + h \tag{1-13}$$

高度h_p(米或厘米)**即表示了A点压强超过大气压力的数值**(此数值称为計示压力)。也就是**反映了A点压强的大小。**

静水全压强的数值同样也可以用某种液柱的高度h_{pr}表示

$$h_{pr} = \frac{p}{\gamma}.$$

h_{pr}的数值叫做压力化引高度(图 1-5 中閉口玻璃管中液体上升的高度)。显然，对于液体中同一点而言，测压管高度永远要比压力化引高度小，所差的数值等于相当于一个大气压压力的液柱高度(对水来說，$h_{pr} - h_p = 10$米)。

从某一基准面起到閉口玻璃管中水面的距离H_s叫做靜力水头

$$H_s = h_{pr} + z = \frac{p}{\gamma} + z.$$

它反映了該处液体质点的位置能和压力能之和。将$p = p_0 + \gamma h$代入上式，即得：

$$H_s = \frac{p_0}{\gamma} + h + z.$$

因为：p_0、γ为常数，对于容器內液体中各点的$(h+z)$值亦为常数。所以

$$H_s = \frac{p}{\gamma} + z = 常数,$$

即靜止液体內一切点的靜力水头是一个常数。

从某一基准面起到测压管中水面的距离H_p叫做靜力水头

$$H_p = h_p + z.$$

将(1-13)代入上式，即得

$$H_p = \frac{p_0 - p_a}{\gamma} + h + z = \frac{p_0 + \gamma h}{\gamma} - \frac{p_a}{\gamma} + z$$

所以
$$H_p = H_s - \frac{p_a}{\gamma}$$

因为：H_s、p_a、γ都为常数，也可以写出

$$H_p = h_p + z = 常数.$$

即靜止液体內一切点的测压管水头是一个常数。

在工程实踐中，常遇到眞空現象。眞空現象的特征是該点的压强小于大气压强，此**小于大气压强之值，即为該点的眞空度或眞空值。**例如，为了使水从水池吸入水泵內，就需要在水泵的吸水管內造成眞空。

眞空值的测量方法，如图1-6所示。假定封閉容器A的压强p小于大气压强p_a，一根弯曲的测压管上端和眞空的容器A連接，另一端置入貯有液体的开口容器B中，容器B的液面上作用着大气压强p_a。因为容器A中压强小于大气压强，所以B容器中之液体沿测压管上升一定高度$h_眞$。故可写出下式:

$$p_a = p + \gamma h_{\text{真}},$$

或

$$h_{\text{真}} = \frac{p_a - p}{\gamma}. \tag{1-14}$$

$h_{\text{真}}$ 就表示眞空度。它反映了眞空的大小，单位与压强的相同。应該注意：眞空不是一种压强，而是指某一小于大气压强的压强与大气压强的差值。

从公式(1-14)可以看出，当$p=0$时，理論上的最大眞空值为

$$h_{\text{真}} = \frac{p_a}{\gamma} \approx 10\text{米水柱}.$$

实际上眞空最大值較10米水柱小，这是因为没有絕对眞空的緣故。

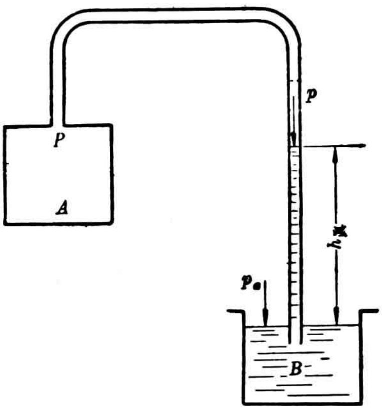

图 1-6　眞空度的量測

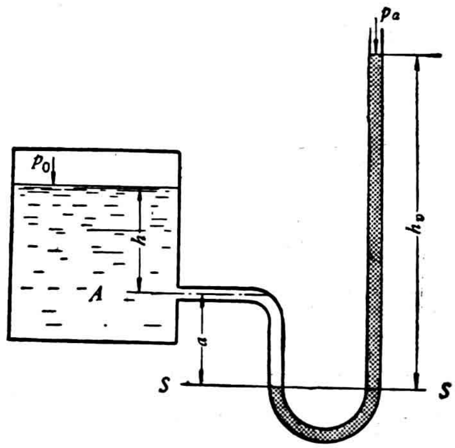

图 1-7　U 形測压計

二、測量压强的仪器

測量压强的仪器很多，其类型和构造依所測压强的大小和量測成果所要求的精确度而定。

1.測压管　通常用来測量較小的压强，如图 1-5 所示。因为压强較大时，需要很长的測压管，使得操作不便。所以压强大时，采用其他的压力計。

2.測压計　測压計有两种类型：液体压力計和金属压力表。

液体压力計，最常用的是U形水銀測压計，如图 1-7 所示。管子的一端开口，与大气是相通的；另一端接在需要測量压强的容器上，弯曲部分盛以水銀。当平衡时，断面 S-S 上两管的压强相等。其值为

$$p_s = p_a + \gamma_{\text{汞}} h_p\ ;$$
$$p_s = p_o + \gamma(h+a).$$

所以

$$p_a + \gamma_{\text{汞}} h_p = p_o + \gamma h + \gamma a.$$
$$\because\quad p_A = p_o + \gamma h,$$
$$\therefore\quad p_A = p_a + \gamma_{\text{汞}} h_p - \gamma a.$$

p_A 即为所測 A 点的压强。

用以测定两点間压强差数的测压計，称为**比压計**。图 1-8 所示为**一水銀比压計**。两端与所需测之两点連接。O-O 面上，管子左端的压强为：$p_1+\gamma h_1$；管子右端的压强为：$p_2+\gamma h_2+\gamma_{汞}\Delta h$。因为 O-O 面上的压强相等，所以

$$p_1+\gamma h_1=p_2+\gamma h_2+\gamma_{汞}\Delta h.$$

而压力差为

$$p_1-p_2=\gamma h_2-\gamma h_1+\gamma_{汞}\Delta h=\Delta h(\gamma_{汞}-\gamma).$$

液体测压計量測准确，但携带不便。而且测量高压时亦由于测压管高度的限制和使用不方便，所以多在实驗室中应用。

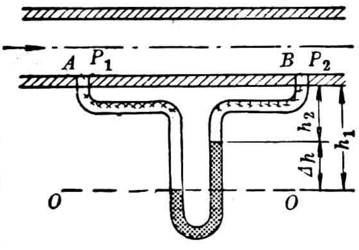

图 1-8　水銀比压計

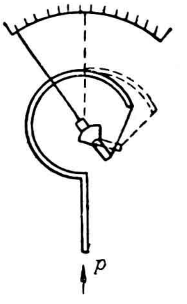

图 1-9　彈簧压力表

在测量高压时，多用金属压力表，如图1-9所示。其装置簡单，携带方便，是量测高压强的主要仪器。

3.眞空計　用来量测眞空値的仪器，称为眞空計。其类型亦分液体的和金属的两种，构造原理与上述测压計完全相同。

§2-3　作用在平面壁上的液体总压力

前面討論的是液体中任意点的静水压强及其分布的規律。但在实踐中常遇到要确定液体对某一平面的总压力問題(如确定水工建筑中的閘門所受的液体总压力等)。因而必須研究寻求总压力的数值、作用点及方向的方法。

一、作用在任意形状平面壁上的液体总压力

图1-10表示一任意形状的平面。它位于液面下某一深度处，其面积为 ω。自由液面上的表面压强为 p_0。

在图形所在的平面中取坐标 xoy，使 x 軸与自由液面相重合且垂直于图紙平面。使 xoy 平面繞 oy 軸旋轉 90°，則图形的平面与图紙相重合。x' 軸代表原来的 x 軸。

在平面中某一点 A，其淹沒深度为 h，纵坐标为 y。A 点的静水压强为 p，其值为：

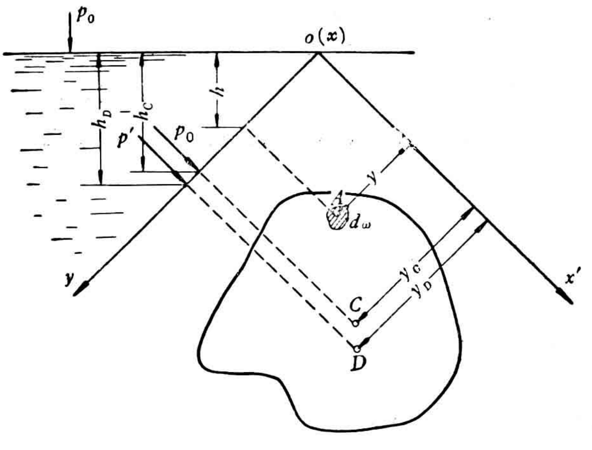

图 1-10　任意形状平面壁上的静水总压力

$$p = p_0 + \gamma h.$$

以A点为中心，取一微小面积$d\omega$。可以认为$d\omega$上的压强是相等的，故作用在$d\omega$上的静水总压力dP为

$$dP = p d\omega = (p_0 + \gamma h) d\omega.$$

所以，作用在平面ω上的静水总压力为

$$P = \sum_0^{\omega} dP = \sum_0^{\omega} (p_0 + \gamma h)\, d\omega = \sum_0^{\omega} p_0\, d\omega + \sum_0^{\omega} \gamma h d\omega. \tag{1-15}$$

其中

$$\sum_0^{\omega} p_0\, d\omega = p_0 \sum_0^{\omega} d\omega = p_0 \omega; \tag{1-16}$$

$$\sum_0^{\omega} \gamma h\, d\omega = \gamma \sum_0^{\omega} h d\omega = \gamma \sin \alpha \sum_0^{\omega} y d\omega.$$

因为上式中之$\sum_0^{\omega} y d\omega$是各微小面积与其距$ox$軸距离的乘积之和。从理論力学知：这个乘积之和代表着面积的静力矩。它等于面积ω与其形心到ox軸距离的乘积。即

$$\gamma \sin \alpha \sum_0^{\omega} y d\omega = \gamma \sin \alpha y_c \omega = \gamma h_c \omega. \tag{1-17}$$

将公式(1-16)、(1-17)代入(1-15)中。可得出

$$P = p_0 \omega + \gamma h_c \omega, \tag{1-18}$$

或

$$P = P_0 + P'.$$

式中　P_0——表面总压力、$p_0 \omega = P_0$；

　　P'——静水总超压力、$\gamma h_c \omega = P'$。

公式(1-18)亦可写成

$$P = (p_0 + \gamma h_c)\omega = p_c \omega, \tag{1-19}$$

式中　p_c——平面形心C点的静水压强。

公式(1-19)表明，作用在任意形状平面上的静水总压力，等于該平面的面积与其形心点上的静水压强的乘积。

力P、P_0及P'的作用点称为压力中心。若能求得P_0及P'之压力中心，即可求得P之压力中心。

因为p_0是均匀分布的，因而P_0的压力中心与平面的形心相重合。所以只需要求出P'的压力中心即可。

一般来說，P'的压力中心是低于平面体的形心的。

設力P'的压力中心为D点，其淹沒深度为h_D，纵坐标y_D。利用微小分力对于ox軸力矩的总和等于合力对ox軸的力矩的概念，求出D点的位置。

dp'对于ox軸静力矩的总和：

$$\sum_0^{\omega} y dp' = \sum_0^{\omega} y \gamma h_c\, d\omega = \sum_0^{\omega} y \gamma y \sin \alpha d\omega$$

$$= \gamma \sin \alpha \sum_0^{\omega} y^2 d\omega = \gamma \sin \alpha J_x.$$

合力P'对于ox軸的力矩：

$$P'y_D=\gamma h_C\,\omega y_D=\gamma y_C\sin\alpha\omega y_D$$

所以

$$\gamma\sin\alpha\,J_x=\gamma\sin\alpha\,y_C y_D\omega,$$

$$y_D=\frac{J_x}{\omega y_C}. \tag{1-20}$$

由力学知識知:

$$J_x=J_C+\omega y_C^2,$$

则

$$y_D=y_C+\frac{J_C}{\omega y_C}. \tag{1-21}$$

式中 J_C——平面体ω对于中性軸的慣性矩;

J_x——平面体ω对于ox軸的慣性矩。

因为$\frac{J_C}{\omega y_C}>0$，所以$y_D>y_C$。因此D点总是在C点之下。

因为$\frac{J_C}{\omega y_C}>0$，所以$y_D>y_C$。因此D点总是在C点之下。只有一种情况是例外：即当承受液体压力的受压面为水平面时，D点与C点重合。

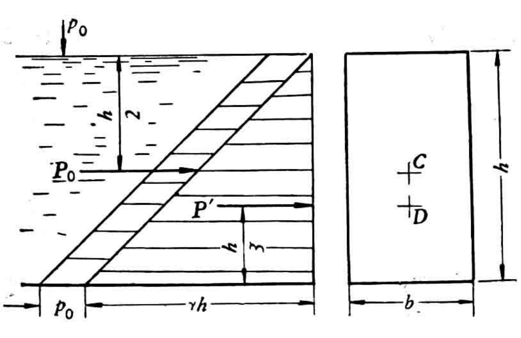

图 1-11 矩形平面壁上的液体总压力

按公式(1-21)只能确定压力中心的一个坐标，即沿y軸度量的坐标。要求得压力中心的位置，还必須知道該点在x軸方向的坐标。但是，当受压面是用对称y軸的輪廓綫圍成时，压力中心就位于对称軸上。此时就不用确定压力中心的x軸方向的坐标了。

因为在水工实踐中，极大多数的情况都是用由对称图形圍成的受压面，所以按公式(1-21)所确定的y_D一般就完全可以确定了压力中心的位置。

二、作用在矩形平面壁上的液体总压力

图 1-11 所示，为一寬度为b、高为h之平面壁。平面的頂与液面重合（最簡单之情况)。

很明显：$P_0=p_0\omega=p_0bh$，且P_0与平面壁垂直，并通过平面的形心；$P'=\gamma h_C\omega=\gamma\frac{h}{2}bh=\gamma b\frac{h^2}{2}$，

其中$\gamma\frac{h^2}{2}$为静水超压强p'分布图形的面积，以Ω表示，則得

$$P'=\Omega b \tag{1-22}$$

因此，可得出以下的結論：作用于矩形平面壁上的总静水超压力P'等于作用于該平面壁上的静水超压强

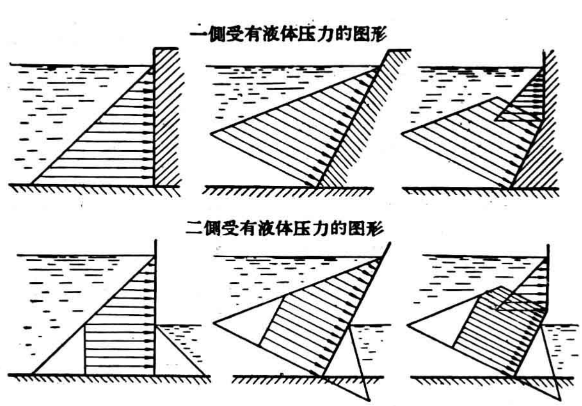

图 1-12 各种平面上的静水总压力图形