

中等专业学校教学用书

煤矿固定机械

王美兰 编

煤炭工业出版社

TD44

2

3

2

中等专业学校教学用书

煤矿固定机械

王美兰 编

2009.12.8

煤炭工业出版社



B017598

责任编辑：王树范

中等专业学校教学用书

煤矿固定机械

王美兰 编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外大街甲16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787\times 1092^{1/16}$ 印张 $13^{1/8}$

字数 313 千字 印数 1—23,120

1983年6月第1版 1983年6月第1次印刷

书号15035·2556 定价1.40元

前 言

煤矿固定机械包括煤矿通风机、水泵、空气压缩机和提升机，是现代煤矿生产中不可缺少的设备。它们对提高劳动生产率，创造安全生产的条件，起着重要作用。本教材介绍了煤矿固定机械的原理、构造、运转、选型计算，以及水力学的基本知识。

本教材是在1979年一月第一稿的基础上，按1981年七月在徐州召开的煤炭中等专业学校教学大纲审订会议上通过的地下采煤专业《煤矿固定机械》教学大纲修编的。这次修编加强了水力学基础理论，着重介绍了典型的机械结构，增加了有关新的技术资料，以1980年《煤矿安全规程》和近期的设计规范作为选择计算的依据，按1981年八月国家颁发的计量单位名称与符号试行方案要求采用国际单位制，并兼顾了常用的工程单位制。

由于水平有限，书中一定会存在不少缺点与错误，欢迎批评指正。

编 者 1981年10月

目 录

第一章 水力学基础知识	1
§ 1-1 液体的几种物理性质	1
一、密度、重度	1
二、压缩性膨胀性	3
三、粘性(粘滞性)	3
§ 1-2 水静力学	5
一、液体静压力及其特性	5
二、水静力学基本方程式	6
三、液体静压力的度量	7
§ 1-3 水动力学	11
一、过流断面、流量和平均流速	11
二、液流的连续性方程	12
三、伯诺利方程	13
§ 1-4 液流在管路中的运动状态和水头损失	20
一、液流运动的两种状态和雷诺实验	20
二、液流运动的水头损失	22
习题	27
第二章 煤矿通风设备	30
§ 2-1 概述	30
§ 2-2 离心式通风机工作原理和性能	30
一、离心式通风机工作原理及性能参数	30
二、离心式通风机的理论风压及其特性曲线	32
三、离心式通风机的实际性能曲线	35
四、离心式通风机运转比例定律	36
§ 2-3 通风机的主要曲线及比较数	39
一、通风机的主要曲线	39
二、比较数	42
§ 2-4 离心式通风机的构造和反风装置	43
一、离心式通风机的构造	43
二、离心式通风机的反风装置	54
§ 2-5 轴流式通风机	56
一、轴流式通风机的工作原理	56
二、轴流式通风机性能曲线	57
三、轴流式通风机构造及反风装置	58
§ 2-6 通风机在通风网上的工作分析	64
一、矿井通风网路特性曲线	64
二、通风机工况	65
三、通风机的工作调节	65
四、通风机的运转和维护	67
§ 2-7 煤矿通风设备的选择计算	67

一、按风机个体性能曲线选择计算	58
二、按通风机类型曲线选择计算	59
习题	74
第三章 煤矿排水设备	76
§ 3-1 概述	76
§ 3-2 离心式水泵的性能与工况	77
一、离心式水泵的主要组成及工作原理	77
二、离心式水泵的性能	77
三、水泵管路特性及水泵工况	80
§ 3-3 离心式水泵构造	81
一、水轮(叶轮)	82
二、导叶(导水圈)	82
三、离心式水泵的轴向力及其平衡方法	82
四、填料装置	84
§ 3-4 水泵房、管路及排水系统	89
一、水泵房	89
二、水泵管路	93
三、煤矿排水系统	93
四、离心式水泵的运转和维护	95
§ 3-5 煤矿排水设备的选择计算	95
一、选择水泵	96
二、管路计算选择	97
三、确定水泵工况	99
四、验算排水时间	99
五、电动机功率的验算	100
六、排水设备的技术经济指标计算	100
习题	104
第四章 煤矿空气压缩设备	105
§ 4-1 概述	105
§ 4-2 活塞式空压机的工作循环和功率	105
一、活塞式空压机的工作原理	105
二、一级活塞式空压机理论工作循环	105
三、活塞式空压机的二级压缩	106
四、一级活塞式空压机的功率	107
§ 4-3 空压机的构造	109
一、4L-20/8型活塞式空压机	109
二、其他型式空压机	111
§ 4-4 煤矿空压机的选择计算	114
一、确定供气量	114
二、空压机供气压力	114
三、选择空压机型式和台数	114
习题	116
第五章 煤矿提升设备	118
§ 5-1 概述	118

一、立井提升系统	118
二、斜井提升系统	119
§ 5-2 提升容器和钢丝绳	119
一、提升容器	119
二、钢丝绳	124
§ 5-3 煤矿用提升机	130
一、JK型煤矿用提升机	131
二、KJ型煤矿用提升机	140
三、多绳摩擦提升机	142
四、提升机滚筒尺寸的确定	146
五、提升机与井筒的相对位置	147
§ 5-4 提升系统的运动学和动力学	149
一、合理提升速度	149
二、提升系统的动力方程式	152
三、提升系统变位质量	153
四、提升系统的运动学	155
五、提升系统的动力学	160
六、提升电动机及电耗计算	162
§ 5-5 煤矿提升设备的选择计算	165
§ 5-6 斜井串车提升	174
一、斜井串车提升系统及其运动分析	174
二、串车数的确定	177
三、斜井钢丝绳的选择计算	178
四、提升机与井筒的相对位置	179
五、斜井串车提升动力学计算	181
习题	191

第一章 水力学基础知识

水力学基础知识阐述了液体平衡、运动、与固体相互作用的力学规律,以及这些规律在实际工程中的应用。当气体的流速、压力不大,压缩性的影响可忽略不计时,水力学中的规律也可用来解决气体的有关问题。

水力学是矿井通风及通风机、矿井排水、液压传动、水力采煤、水力运输和选煤等的基础知识。

本教材采用国际单位制(简称SI制)。考虑到我国以前的技术资料和使用习惯是工程单位制和绝对单位制,为便于相互换算,将本教材涉及到的一些常用量的各单位制换算关系,列入表1-1,并在有关计算公式中作对照说明。

§ 1-1 液体的几种物理性质

液体能承受较大的压应力,却几乎不能承受拉应力。对剪切应力的抵抗极弱,有易流动的性质。因而其形状只能随着容器的形状而改变。下面介绍液体的另外几种物理性质:

一、密度、重度

液体是有质量的,质量用密度度量。

密度:对于均质液体,单位体积内所包含的质量叫作密度,用符号“ ρ ”表示。

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{公斤/米}^3) \quad (1-1)$$

式中 M ——液体的质量(公斤);

V ——液体的体积(米³);

重度:地球对单位体积液体质量的吸引力——重力,称为重度,用符号“ γ ”表示。

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{牛/米}^3) \quad (1-2)$$

式中 G ——液体的重力(牛)

$G = Mg$ 两侧都被 V 除,可得密度和重度间的简单关系式,即 $\gamma = \rho g$,式中 g 为重力加速度,在本章计算时采用 $g = 9.81 \text{米/秒}^2$ 。

工程技术中,常见的几种液体的密度、重度等如表1-2。在标准大气压力下空气的密度、重度等如表1-3。

例题 1-1 在天秤上称得液压矿物油质量为0.450公斤,将其装入桶内恰好为500厘米³,试求以国际单位制表示的密度和重度?并换算为工程单位制的密度和重度?

解 以国际单位制表示

$$\text{密度 } \rho = \frac{M}{V} = \frac{0.450}{500 \times 10^{-6}} = 900 \quad (\text{公斤/米}^3)$$

$$\text{重度 } \gamma = \rho g = 900 \times 9.81 = 8829 \quad (\text{牛/米}^3)$$

表 1-1 不同单位制的单位换算关系

物理量名称	国际单位制		工程单位制		绝对单位制	换算关系
	名称	符号	名称	符号		
长度 L	米	m	米	m	厘米 cm	1米=100厘米
质量 M	千克	kg	质量工程单位	kg·s ² /m	克 g	1公斤=10 ³ 克 1公斤= $\frac{1}{9.81}$ 公斤力·秒 ² /米
时间 T	秒	s	秒	s	秒 s	1秒=1秒
力 F	牛顿	N = m·kg/s ²	公斤力	kgf	达因	1牛=10 ⁵ 达因 1牛= $\frac{1}{9.81}$ 公斤力
压强 P	帕斯卡	P _a = N/m ²	公斤力/厘米 ²	kgf/cm ²	达因/厘米 ²	1帕=10达因/厘米 ² 1帕= $\frac{1}{9.81}$ 公斤力/厘米 ²
密度 ρ	千克/米 ³	kg/m ³	密度工程单位	kgf·s ² /m ³	克/厘米 ³	1公斤/米 ³ = 10 ⁻³ 克/厘米 ³ 1公斤/米 ³ = $\frac{1}{9.81}$ 公斤力·秒 ² /米 ³
重度 γ	牛/米 ³	N/m ³	公斤力/米 ³	kgf/m ³	达因/厘米 ³	1牛/米 ³ = 10 ⁻¹ 达因/厘米 ³ 1牛/米 ³ = $\frac{1}{9.81}$ 公斤力/米 ³
动力粘性系数 μ	帕·秒 = $\frac{\text{牛}}{\text{米}^2 \cdot \text{秒}}$	P _a ·S = $\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{S}$	公斤力·秒/米 ²	kgf·s/m ²	泊 = $\frac{\text{达因}}{\text{厘米}^2 \cdot \text{秒}}$	1帕·秒 = 10泊 1帕·秒 = $\frac{1}{9.81}$ 公斤力·秒/米 ²
运动粘性系数 ν	米 ² /秒	m ² /s	米 ² /秒	m ² /s	斯 = 厘米 ² /秒	1米 ² /秒 = 10 ⁴ 斯 1米 ² /秒 = 1米 ² /秒
能 功 W	焦耳	J = N·m	公斤力·米	kgf·m	尔格 = 达因·厘米	1牛·米 = 1焦 = 10 ⁷ 达因·厘米 1牛·米 = $\frac{1}{9.81}$ 公斤力·米
功率 N	瓦	W = J/s	公斤力·米/秒	kgf·m/m	尔格/秒 = $\frac{\text{达因} \cdot \text{厘米}}{\text{秒}}$	1焦/秒 = 1瓦 = 10 ⁷ 达因·厘米/秒 1焦/秒 = $\frac{1}{9.81}$ 公斤力·米/秒

表 1-2 几种液体的物理性质

液体名称	密度 ρ (公斤/米 ³)	重度 γ (千牛/米 ³)	粘度 μ (千牛·秒/米 ²)	运动粘度 ν (兆米 ² /秒)	温度 (℃)
水	1000.0	9.810	1.519	1.519	5
水	999.7	9.807	1.308	1.308	10
水	999.1	9.801	1.14	1.141	15
水	998.2	9.792	1.005	1.007	20
水 银	13600	133.42	1.56	0.115	20
煤 油	856	8.397	7.2	8.41	20
汽 油	678	6.651	0.29	0.428	20
煤 油	808	7.926	1.92	2.376	20
润 滑 油 (40)	900~930	8.83~9.12	172	191~185	20
酒 精	789	7.74	1.19	1.51	20

表 1-3 标准压力下空气的物理性质

气体名称	密度 ρ (公斤/米 ³)	重度 γ (牛/米 ³)	粘度 μ (千牛·秒/米 ²)	运动粘度 ν (兆米 ² /秒)	温度 (℃)
空 气	1.293	12.68	0.0171	13.2	0
空 气	1.205	11.82	0.0181	15.0	20

以工程单位制表示

$$\text{密度 } \rho_2 = \frac{1}{9.81} \quad \rho = \frac{1}{9.81} \quad 900 = 91.74 \text{ (公斤力·秒}^2/\text{米}^4\text{)}$$

$$\text{重度 } \gamma_2 = \frac{1}{9.81} \quad \gamma = \frac{1}{9.81} \quad 8829 = 900 \text{ (公斤力/米}^3\text{)}$$

二、压缩性膨胀性

液体的压缩性，系指液体在压力作用下体积改变的性质。

液体的膨胀性，系指液体随温度变化体积改变的性质。

压力和温度对液体的体积影响甚微，即液体的压缩性和膨胀性都极小，在工程技术中，一般可以不予考虑，但在特殊情况下，如水击作用和高压液压传动系统中，就必须考虑液体的压缩性。

三、粘性（粘滞性）

设有两块平行板 I 和 II 如图 1-1，其间充满静止液体，若 II 板固定，而 I 板以 u_0 速度向右移动。两板间的液体在垂直断面中出现不同速度的运动状态，即可看作很多薄层液体的流动，与 I 板接触的液体层同样以 u_0 速度运动，愈往下液体层运动速度愈小，紧靠 II 板的液体层几乎速度为零。其速度分布如图 1-1。这一事实说明：每一层速度较慢的液体，都是在速度较快的液体层带动下运动的，即快层对慢层产生一个拖力。根据作用与反作用原理，慢层对快层有一个阻止运动的阻力。拖力

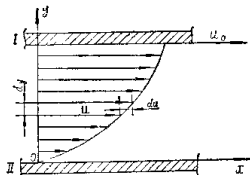


图 1-1 相对运动与粘性

和阻力分别作用在两个液体层的接触面上。因为这一对力是在液体的内部产生的，所以把这一对力叫做内摩擦力或粘性阻力。

液体层间发生相对运动时，产生内摩擦力的这种性质称为粘性。

内摩擦力的大小与液体的粘性性质及液体流动速度沿法向的变化率（法向速度梯度）有关，可写成如下数学表达式

$$\tau = \pm \mu \frac{du}{dy} \quad (1-3)$$

这个关系式叫做液体的内摩擦定律或叫做牛顿粘性定律。

式中 τ ——液体在单位面积上的内摩擦力（牛/米²）；

$\frac{du}{dy}$ ——液体层相对运动的速度梯度（秒⁻¹）；

μ ——表征液体粘性性质的常数，称动力粘性系数或称动力粘度（帕·秒 = $\frac{\text{牛}}{\text{米}^2} \cdot \text{秒}$ ）。

关于式（1-3）中“+”“-”号的取舍，应保持内摩擦应力 τ 为正值，即当流体的速度梯度为正时取“+”号，反之，速度梯度为负时取“-”号。当 $\frac{du}{dy} = 0$ 时，则 $\tau = 0$ 指液体质点间没有相对运动，处于静止或相对静止状态。

表示粘性程度大小的物理量称为粘度，通常有三种不同的表示方法：

1. 动力粘度（又称动力粘性系数）简称粘度，以 μ 表示，其物理意义是：当速度梯度 $\frac{du}{dy} = 1$ 时，在数值上 μ 等于 τ ，即 μ 表示当速度梯度为1时单位面积上摩擦力的大小，说明在相同 $\frac{du}{dy}$ 的情况下， μ 值表征流体粘性的大小。

μ 的单位是牛·秒/米² = 帕·秒，其绝对单位是达因·秒/厘米² = 泊（此单位为泊肃叶所建立）。“泊”的单位太大，常应用1/100泊 = 1厘泊。泊的工程单位为公斤力·秒/米²，1公斤力·秒/米² = 9.81帕·秒，1帕·秒 = 10泊。

2. 运动粘度（又称运动粘度系数），以 ν 表示，它是动力粘度 μ 与密度 ρ 的比值，即：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-4)$$

运动粘度的国际单位和工程单位都是米²/秒，其绝对单位为厘米²/秒 = 斯[●]（st）（此单位是斯托克斯所建立），“斯”这个单位太大，应用不方便，往往应用1/100斯 = 1厘斯。1米²/秒 = 10⁴斯。

运动粘度 ν 没有什么物理意义，只是因为液压系统的计算中，动力粘度 μ 与密度 ρ 的比值常常出现，因而采用了运动粘度这一概念。常用机械油的号数，就是表示这种油在温度为50℃时，其运动粘度 ν 以厘斯为单位的平均值，例如，10号机械油即指这种机械油在50℃时的运动粘度 ν 的平均值是10厘斯。

3. 恩氏粘度

● 许多书中也常用“厘”表示，但此字与沱同与斯音很远。

动力粘度 μ 或运动粘度 ν 的数值的测量方法较难掌握准确。常用来测粘度的是恩氏粘度计如图(1-2)所示,一个黄铜贮液器1放进水槽2,在其中部的黄铜管3内插入一个孔径 ϕ 2.8毫米的白金锥管4。进行测量时,贮液器中的被测液体即从管4流出。测定之前先用特制的柱塞关闭白金锥管用这种恩氏粘度计按规定的

方法测得的粘度,叫恩氏粘度,其表示符号为 $^{\circ}\text{E}$ 。
测定方法:用煤气灯使水槽2的水,保持在某个标准温度(工业上常以20 $^{\circ}\text{C}$ 、50 $^{\circ}\text{C}$ 、100 $^{\circ}\text{C}$ 作为测试标准温度,其相应表示符号即 $^{\circ}\text{E}_{20}$, $^{\circ}\text{E}_{50}$, $^{\circ}\text{E}_{100}$),将被测油液200厘米³,装入恩氏粘度计的贮液器中,被测油液稳定在规定温度后,开启柱塞,油液自白金锥管4流出,盛入量杯5内,记录200厘米³液体流尽的时间 t_1 。然后以相同温度,用同样方法测出200厘米³纯水(蒸馏水)流尽的时间 t_2 (在20 $^{\circ}\text{C}$ 时此时间约为 $t_2=51$ 秒)。 t_1 与 t_2 的比值,称为被测油液在该标准温度下的恩氏粘度 $^{\circ}\text{E}_{t^{\circ}}^{\circ}$ 。即:

$$^{\circ}\text{E}_{t^{\circ}}^{\circ} = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-5)$$

求得 $^{\circ}\text{E}$ 以后,可用下面经验公式求出液体的运动粘性系数:

$$\nu = 0.0731^{\circ}\text{E}_{t^{\circ}}^{\circ} - \frac{0.0631}{^{\circ}\text{E}_{t^{\circ}}^{\circ}} \quad (\text{厘米}^2/\text{秒})$$

液体的粘度受到温度和压力的影响,尤其温度影响较大,一般温度增高时,就会产生融稀现象,即粘度降低现象;油液温度降低,粘度便增大,但是,在50 $^{\circ}\text{C}$ ~100 $^{\circ}\text{C}$ 之间粘度的变化较缓和。

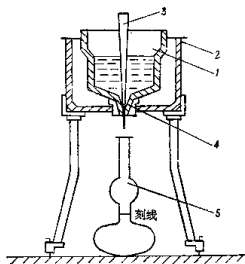


图 1-2 恩氏粘度计

1—黄铜储液器; 2—水槽; 3—木塞; 4—锥管; 5—量杯

§ 1-2 水 静 力 学

水静力学是研究液体在外力作用下,处于平衡的力学规律及其在工程技术上的应用。

一、液体静压力及其特性

一个静止装满水的水箱,它的底板上会受到由于水的重量而产生的压力,如果在箱侧壁上任一处开一个孔,用手堵住孔口将会感觉到水压的作用,由此可得到这样的认识,水对底板、侧壁以及水的内部质点之间都有压力作用。

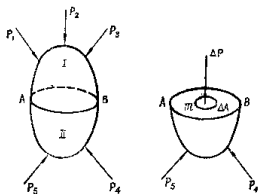


图 1-3 静止液体中的分离体

观察处于静止状态中的分离体如图1-3,如将此分离液体用平面AB分割成I、II两部分,若以下部分II为分离体,I必须给II一定的作用力,才能使II保持原来的平衡。设在AB面上取一微小面积 ΔA ,其上有上部液体的作用力 ΔP 。

$\frac{\Delta P}{\Delta A}$ 叫做面积 ΔA 的平均静压力,当面积 ΔA 无

限缩小到 m 点时,这个极限就代表 m 点的静压力,

以 p 表示即:

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1-6)$$

p 液体的静压力, 表示作用在单位面积上的力, 即作用在流体内部 m 点上的压力, 又称液体静压强, 相当于一种应力 $\left[\frac{\text{力}}{\text{面积}}\right]$, 其国际单位为牛/米²。(1牛/米² = 1帕)

液体静压力具有两个特性

特性一: 液体静压力的方向总是和作用面相垂直, 且指向该作用面, 即沿着作用面的内法线方向产生。

这一特性可以用反证法证明, 如图1-4表示在处于静止状态的液体中, 任意取AB面下的液体为分离体, 并假设作用在AB面上的力为 F' , 其方向向外, 且不与该面垂直, 则 F' 可以分解为一个垂直于AB表面的力 F_n , 和与AB表面相切的力 F_t 。若此种假设正确, F_t 必引起液体流动, 显然与液体处于静止状态的前提条件不符。因此, F_t 只可能等于零, 即力 F 必定与AB面垂直。另外, 根据液体不能承受拉力的特性可得出结论, F' 的方向只能是向着作用表面的内法线方向, 即图1-4中 F 的方向。

特性二: 静止液体中, 任意一点周围各方向上的静压力的数值均相等。

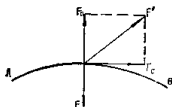


图 1-4 液体静压力特性 (一)

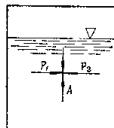


图 1-5 液体静压力特性 (二)

在静止液体中 (如图1-5) 任取一点A, 假设此点左边压力 p_1 大于右边压力 p_2 , A点液体必将向右移动, 这就与静止液体的前提相矛盾, 因此 $p_1 = p_2$ 。用此方法可证明A点处任意方向的静压力都相等。可以用测压计, 围绕任一点测其各方向的压强, 测压计指针是一个定值。

二、水静力学基本方程式

盛有液体的静止容器中, 液体的表面为自由液面, 液面上外界作用压力 p_0 。在液面下M点取底面积为 ΔA 至液体表面高为 h 的小液柱 (如图1-6) 为分离体, 小液柱底面 ΔA 受有力有:

作用在小液柱上表面的力 $p_0 \Delta A$, 方向向下。

液柱受重力 $G = \gamma \Delta A h$ 方向向下。

下部液体对液柱的支撑力 $F = p \cdot \Delta A$ 方向向上。

作用在液柱周围且垂直液柱表面的力, 因为它们围绕液柱作对称分布面且大小相等, 所以两相对互相平衡。

因此, 沿液柱垂直轴线力的平衡方程式为:

$$p_0 \Delta A + \gamma \Delta A h - p \Delta A = 0$$

消去上式各项中的 ΔA ，并移项得

$$p = p_0 + \gamma h \quad (\text{牛/米}^2) \quad (1-7)$$

上式称为在重力作用下的，水静力学基本方程式。它说明液体内任一点的静压力，等于自由表面上的压力 p_0 ，加该点以上由液柱自重产生的压力 γh ，即当液体重度及自由表面压力一定的情况下，静压力随着深度 h 线性地增加。

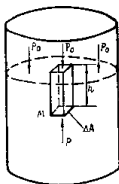


图 1-6 水静力学基本方程

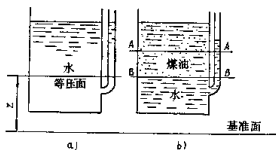


图 1-7 等压面

由水静力学的基本方程式可知，在重力作用下的静液中，距任一基准面，高度 z 相等的各点，压力是相等的。这些压力相等的点所组成的面，叫做等压面。显然，重力作用下的静液中，任意一个水平面都是等压面。但必须注意，这个结论只对互相连通而又是相同的液体才适用。如果中间被气体或另一种液体隔断，以及互不连通的液体，同一水平并不是等压面。在图1-7(a)玻璃管中的水与容器中的水是连通的，因此，任何一个水平面都是等压面，右侧如图1-7(b)中A-A虽是水平面，但由于此平面通过两种液体（容器中是油，玻璃管中是水）因而不是等压面，只有B-B及其以下的水平面才是等压面。

例题1-2 有一两端开口的连通器如图（例题1-2），大直径端装有汞，小直径端上部装水，处于平衡状态，已知分界面上水注高 $h_1 = 200$ 毫米，试求水银柱高 h_2 。

解 通过两种液体的分界面1-1的沿线到大直径端2-2面，这两个面是等压面，用 p_0 表示表面压力，写出两侧水静力学基本方程式为：

$$p_1 = p_0 + \gamma_1 h_1$$

$$p_2 = p_0 + \gamma_2 h_2$$

根据等压面概念 $p_1 = p_2$ ，所以

$$p_0 + \gamma_1 h_1 = p_0 + \gamma_2 h_2$$

整理为： $\gamma_1 h_1 = \gamma_2 h_2$

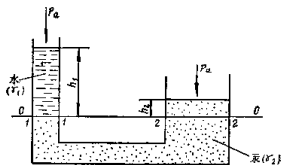
式中 γ_1 ——水的重度（9810牛/米³），

γ_2 ——水银的重度（133416牛/米³）。

水银柱高

$$h_2 = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} h_1 = \frac{9810}{133416} \cdot 200 = 14.7 \quad (\text{毫米水银柱})$$

三、液体静压力的度量



例题 1-2

式(1-7)中压力 p 的大小,由于计算的基准不同,就有绝对压力、相对压力、真空度三种不同的度量方法。

绝对压力:是指以绝对真空为零压而度量的压力,即:

$$p_{\text{绝}} = p_a + \gamma h \quad (1-8)$$

式中 p_a ——大气压力(牛/米²);

相对压力:又称表计压力(或表压力),是指超出大气压力以上的压力。

$$p_{\text{表}} = \gamma h = p_{\text{绝}} - p_a \quad (1-9)$$

表压力为绝对压力与大气压的差值,许多工程设备在大气中工作,所受大气压力互相抵消,又因绝大多数压力仪表,是以大气压力为起点计量的,故用表压力表示。

真空度压力(真空度):是指液体不足于大气压的差额,用 p_v 表示。

在工程上如水泵吸水管,风机吸风管内流体的绝对压力是低于大气压的,真空度压力不是流体的绝对压力,而是表示流体的绝对压力小于大气压产生真空的程度,用数学式表示为:

$$p_v = p_a - p_{\text{绝}} = \gamma h_v \quad (1-10)$$

用液柱高表示,称真空高度,即

$$h_v = \frac{p_v}{\gamma} \quad (1-11)$$

为了正确区分绝对压力、表压力及真空度,并了解它们之间的相互关系,用图形表示如图1-8,从绝对真空为零压线量起的压力为绝对压力。绝对压力高于大气压力线时,表压力为正值;低于大气压力线时,表压力为负值。负的表压就是真空度。

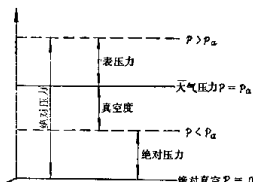


图 1-8 压力之间关系

压力的度量单位。

1. 用作用在单位面积上的力表示(即应力单位),其单位为牛/米²,工程单位公斤力/米²,公斤力/厘米²。

2. 用大气压单位表示,一个标准大气压 $p_{\text{标准}} = 101396$ 牛/米²,可用符号atm表示。在工程上一个大气压 $p_a = 98100$ 牛/米²,用符号at表示。(一个工程大气压的工程单位 $p_a = 10000$ 公斤力/米² = 1公斤力/厘米²)

98100 牛/米²(帕) = 0.981 巴(bar) = 1 公斤力/厘米²;

3. 用液柱高表示,以水柱或水银柱高度表示压力的大小,由式(1-9)知, $p_{\text{表}} = \gamma h$ 此式可写成 $h = \frac{p_{\text{表}}}{\gamma}$,说明一定的压力,就相当于一定的液柱高,如果液体不同,重度 γ 不同,

则液柱 h 值就不同,即一定的压力,可用不同的液柱高表示。

一个工程大气压用水柱及水银柱分别表示为:

$$h_{\text{水}} = \frac{p_a}{\gamma_{\text{水}}} = \frac{98100}{9810} = 10(\text{米})$$

$$h_{\text{水银}} = \frac{p_a}{\gamma_{\text{水银}}} = \frac{98100}{133416} = 0.735 \text{米} = 735(\text{毫米水银柱})$$

例題1-3 某矿井小水泵排水管压力表，指数为8个工程气压 ($p_g = 8at$)求此压力的绝对压力，并用应力单位，工程单位，水柱高，水银柱高表示其压力。

解

绝对压力 $p_{绝} = p_a + p_g = 1 + 8 = 9at$

应力单位 $p = 8 \times 98100 = 787800$ (牛/米²) (帕)

工程单位 $p = 8 \times 10000 = 80000$ 公斤力/米² = 8 (公斤力/厘米²)

水柱高 $h_k = \frac{p}{\gamma_k} = \frac{8 \times 98100}{9810} = 80$ (米水柱)

水银柱高

$$h_{水银} = \frac{p}{\gamma_{水银}} = \frac{8 \times 98100}{133416} = 5.88 \text{ (米水银柱)}$$

$$= 5880 \text{ (毫米水银柱)}$$

在工程技术中，应用液体平衡原理和等压面的概念，制造出许多测量液体静压力的仪器，测压管就是其中的一种。通常利用直径1厘米左右的玻璃管作为测压管，将管的下端连接在管路或容器的侧壁上，管的上端与大气相通如图1-9，右侧的管为测压管，根据管内液面上升的高度，测得管路或容器内的压力大小。这种测压管结构简单，且较准确，但只能测量液体压力，不能测量气体，测量范围小，一般用于测量十分之一工程气压以内。

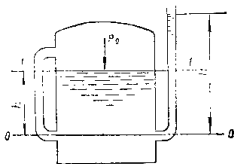


图 1-9 测压管

例題1-4 如图1-9容器内盛水，液体表面压力为 $p_0 = 106 \times 10^3$ 牛/米² (10805公斤力/米²)，容器液面标高尺读数 $h = 600$ 毫米，求测压管水柱高 H 为若干？

解 取1-1水平面为等压面

$$p_0 = p_a + \gamma (H - h)$$

$$H = \frac{p_0 - p_a}{\gamma} + h = \frac{106 \times 10^3 - 98100}{9810} + 0.6$$

$$= 1.4 \text{ (米水柱)}$$

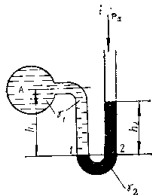


图 1-10 U形测压计

当液体压力较大或容器内是气体时，经常采用U形测压计如图1-10。在管路或容器A内装有液体或气体其重度为 γ_1 ，将U形测压计一端与管路或容器相连，另一端与大气相通，U形测压计内装有工作液体水银（或酒精等），其重度为 γ_2 ，根据U形测压计内液面的高度差，求得管路或容器A内的压力值。

U形管内水银与管路或容器内流体的分界面为1，通过1点引水平线与右支管交于2点，1-2面为等压面。

左支管1点的绝对压力 $p_1 = p_a + \gamma_1 h_1$

右支管2点的绝对压力 $p_2 = p_a + \gamma_2 h_2$

由于液体平衡1、2点为等压面上的两点，即 $p_1 = p_2$

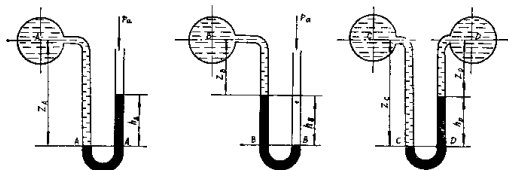
$$\text{管路A的绝对压力 } p_A = p_a + \gamma_2 h_2 - \gamma_1 h_1 \quad (1-12)$$

$$\text{管路A的表压力 } p_{A\#} = \gamma_2 h_2 - \gamma_1 h_1 \quad (1-13)$$

当管路或容器内为气体时，它与U形管连接一侧水银面上的少量气体自重可不计，因此管路A的表压力为：

$$p_{A\#} = \gamma_2 h_2 \quad (1-14)$$

例题1-5 用装有水银的重度为 γ_g 的U形测压计测量管路A中水的表压力，管路B中水的真空度，管路C与D中水的压力差，如图（例题1-5），已知 $Z_A = 200$ 毫米， $h_A = 100$ 毫米水银， $Z_B = 100$ 毫米， $h_B = 100$ 毫米水银， $Z_C = 200$ 毫米， $Z_D = 100$ 毫米， $h_D = 100$ 毫米水银。



例题 1-5

解 管A的表压力

在U形管中两液体交接面处取等压面A-A则：

$$\begin{aligned} p_A &= \gamma_g h_A - \gamma Z_A = 133416 \times 0.1 - 9810 \times 0.2 \\ &= 11379.6 \text{ (牛/米}^2\text{)} \end{aligned}$$

管B的真空度：取B-B为等压面则：

$$p_B + \gamma Z_B + \gamma_g h_B = p_a$$

$$\begin{aligned} \text{真空度： } p_a - p_B &= \gamma Z_B + \gamma_g h_B = 9810 \times 0.1 + 133416 \times 0.1 \\ &= 14322.6 \text{ (牛/米}^2\text{)} \end{aligned}$$

管C与D压力差：取C-D为等压面则：

$$p_C + \gamma Z_C = p_D + \gamma Z_D + \gamma_g h_D$$

$$\begin{aligned} \text{压力差： } p_C - p_D &= \gamma Z_D + \gamma_g h_D - \gamma Z_C = \gamma_g h_D - \gamma(Z_C - Z_D) \\ &= 133416 \times 0.1 - 9810 \times 0.1 = 12360.6 \text{ (牛/米}^2\text{)} \end{aligned}$$

用工程单位制计算

$$\begin{aligned} p_A &= \gamma_g h_A - \gamma Z_A = 13600 \times 0.1 - 1000 \times 0.2 = 1160 \text{ (公斤力/米}^2\text{)} \\ &\text{(或 } = 0.116 \text{at)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{真空度： } p_a - p_B &= \gamma Z_B + \gamma_g h_B = 1000 \times 0.1 + 13600 \times 0.1 \\ &= 1460 \text{ (公斤力/米}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\text{用水银柱表示 } h_{\text{水银}} = \frac{p_a - p_B}{\gamma_g} = \frac{1460}{13600} = 0.109 \text{ (米水银)}$$

$$\text{压力差： } p_C - p_D = \gamma Z_D + \gamma_g h_D - \gamma Z_C = \gamma_g h_D - \gamma(Z_C - Z_D)$$