

中等专业学校交流讲义



水力学及热工学基础

胡成发 編

中国工业出版社

本书为中等专业学校鑄造专业交流讲义，亦可供其他机器制造专业做参考书。

内容包括有水力学、水泵、工程热力学基础、活塞式内燃机和压气机等五部分。

水力学和工程热力学部分，对其基本理论作了系统的、简要的说明，以作为学习专业课的理论基础。

在水泵、内燃机和压气机等部分，结合目前我国产品，对结构、性能、用途以及主要零件的材料和技术要求方面，做了简要的介绍。

水力学及热工学基础

胡成发编

中国工业出版社出版（北京中南海路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第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·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 $6\frac{8}{16}$ ·插页1·字数126,000

1961年10月北京第一版·1961年10月北京第一次印刷

印数0,001—4,037·定价(9-4)0.63元

统一书号：15165·833(一机-173)

前 言

本书系根据今年四月召开的中等专业学校铸造专业教材会议的决议而编写的。在内容上,本书基本符合1959年修订的铸造专业的水力学及热力学基础教学大纲的要求,但为了使内容更加精简;更加能结合专业;贯彻理论与实际相结合的原则,根据我院在教育革命中各方面提出的意见和在教学实践中的点滴体会,与原大纲要求相比,在内容上作了一些删改和增添,例如,删去了长管的水力计算与绝热方程式的数学推导等,而对水泵、内燃机和压气机的结构、性能和用途则作了较多的说明,另外在结合专业的情况下,对某些重要零件的材料、技术条件等亦作了简要的介绍。

本书的这些删改和增添,以及全部内容的安排是与我院铸造教研室的同志共同讨论作出的,是否符合中等专业学校铸造专业的要求和理论与实际相结合的原则,尚望各兄弟院校提出宝贵意见。另外限于编者本人的水平与教学经验不足,以及本次编写时间的仓促,故来不及广泛吸取各兄弟院校在本课程教学方面的宝贵经验和搜集更多的实际资料,再加上本书尚未经过试用,因此在内容上难免存在有很多片面、遗漏或不恰当的地方,希望各兄弟院校和其他使用本书的同志能提出批评和意见,以便今后修改本书,使其更能满足教学的要求。

编 者

一九六一年五月廿九日北京

前言	(3)
----------	-------

目 次

第一篇 水 力 学

第一章 流体及其主要物理性质	(8)
§ 1-1 液体和气体,理想液体与实际液体	(8)
§ 1-2 实际液体的物理性质	(9)
第二章 水静力学	(12)
§ 2-1 水静压力	(13)
§ 2-2 水静力学基本方程式	(14)
§ 2-3 水静压力分布图	(15)
§ 2-4 测压管高度、静力高度和真空	(16)
§ 2-5 静力水头与测压管水头	(18)
§ 2-6 测量压力用的仪器	(20)
§ 2-7 巴斯加定律及其实际应用	(22)
§ 2-8 静止液体作用在平壁上的总压力	(25)
§ 2-9 压力中心的确定	(27)
§ 2-10 静止液体作用在曲面壁上的压力	(28)
§ 2-11 阿基米德原理,物体的浮沉	(32)
第三章 水动力学基础	(33)
§ 3-1 稳定流和非稳定流	(33)
§ 3-2 流綫、微小流束和总流	(35)
§ 3-3 过水断面、湿周和水力半径	(37)
§ 3-4 流量和平均速度	(38)
§ 3-5 液体运动的连续方程式	(39)
§ 3-6 理想液体微小流束的柏諾利方程式	(40)
§ 3-7 柏諾利方程式的物理意义和几何意义	(43)
§ 3-8 实际流体的柏諾利方程式	(45)

§3-9	实际液体总流的柏諾利方程式	(47)
§3-10	流速与流量的测量	(48)
第四章	液体在管道中的流动和水力阻力	(51)
§4-1	液体的粘滞性和内摩擦定律	(51)
§4-2	液体运动的两种状态和雷諾实验	(53)
§4-3	雷諾数及临界流速	(55)
§4-4	在圆管内层流与紊流的简单分析	(58)
§4-5	液体的沿程水头损失	(60)
§4-6	局部水头损失的計算和管道阻力系数	(63)
§4-7	管道简单的水力計算	(65)
§4-8	有压管路中的水击	(68)
第五章	孔口和管嘴的液体出流	(69)
§5-1	孔口及其出流的基本特征	(69)
§5-2	薄壁非淹没小孔口的液体稳定出流	(71)
§5-3	管嘴的液体出流	(73)

第二篇 水 泵

第六章	水泵概論	(76)
§6-1	泵的用途及其分类	(76)
§6-2	泵的工作和基本术语	(77)
第七章	活塞泵	(81)
§7-1	活塞泵的简单构造和作用原理	(81)
§7-2	活塞泵流量的計算	(83)
§7-3	活塞泵的空气室	(85)
§7-4	活塞泵的功率和效率	(85)
§7-5	活塞泵结构举例	(86)
第八章	离心泵	(90)
§8-1	离心泵的工作原理	(90)
§8-2	离心泵的效率与功率	(92)
§8-3	离心泵的工作特性曲线	(94)

§ 8-4	离心泵的转数 n 对 Q 、 H 、 N 之影响	(96)
§ 8-5	离心水泵的分类	(98)
§ 8-6	离心泵的结构举例	(99)
第九章	回轉式泵与喷射泵	(103)
§ 9-1	回转式泵	(103)
§ 9-2	喷射泵	(104)

第三篇 工程热力学基础

第十章	气体的状态参数和基本定律	(106)
§ 10-1	气体的基本状态参数	(106)
§ 10-2	理想气体定律	(108)
§ 10-3	理想气体的状态方程式	(110)
第十一章	气体的功量和热量	(112)
§ 11-1	气体的膨胀功和压缩功	(112)
§ 11-2	气体的热量	(114)
第十二章	热力学的基本定律	(117)
§ 12-1	热力学第一定律	(117)
§ 12-2	热力学第二定律	(119)
第十三章	热力过程的基本分析方法	(120)
§ 13-1	热力循环和循环热效率	(120)
§ 13-2	基本热力过程的分析	(121)
§ 13-3	热力循环的分析	(126)

第四篇 內 燃 机

第十四章	內燃机的工作原理	(129)
§ 14-1	內燃机的主要特点和分类	(129)
§ 14-2	內燃机的主要机构	(131)
§ 14-3	点燃式四冲程內燃机的工作循环	(133)
§ 14-4	压燃式四冲程机(柴油机)的工作循环	(137)
§ 14-5	二冲程內燃机的工作原理	(140)

§ 14-6	四冲程多缸内燃机的工作原理.....	(142)
§ 14-7	内燃机的功率和效率	(144)
第十五章	内燃机的主要零件和构造.....	(148)
§ 15-1	内燃机的机体.....	(148)
§ 15-2	活塞、活塞环和活塞销	(149)
§ 15-3	连杆和曲轴.....	(151)
§ 15-4	内燃机的配气机构.....	(153)
§ 15-5	内燃机的冷却系统.....	(157)
§ 15-6	内燃机的润滑系统.....	(158)
§ 15-7	汽油机的燃油供给系统.....	(160)
§ 15-8	汽油机的点火系统.....	(162)
§ 15-9	柴油机的燃油供给系统.....	(165)
§ 15-10	内燃机的起动方法.....	(170)
§ 15-11	典型发动机简单介绍.....	(171)
I	4110型和6110型柴油机	(171)
II	解放牌汽车发动机.....	(176)

第五篇 空气压缩机

第十六章	往复式压气机	(180)
§ 16-1	压气机的工作原理和压气功量的计算.....	(180)
§ 16-2	压气机气缸的冷却.....	(182)
§ 16-3	多级压气机.....	(183)
§ 16-4	压气机的实际示功图.....	(184)
§ 16-5	压气机的构造和设备.....	(186)
§ 16-6	国产压气机介绍.....	(188)
第十七章	鼓风机和通风机.....	(193)
§ 17-1	离心式鼓风机.....	(193)
§ 17-2	回转式鼓风机.....	(195)
§ 17-3	轴流式通风机.....	(196)

第一篇 水力学

水力学是一门工程技术理论基础课，它运用理论并通过实验的方法来研究液体平衡和运动的规律以及实际应用这些规律的方法。例如机械制造业中的液压传动；动力工程上的气体流动；农田水利灌溉；矿井通风……等都需要有水力学的基本知识。

还需指出在冶金工业、铸造业方面也得到广泛的应用。例如冶炼一吨钢，其冷却用水和其他生产用水，就需十几吨；而为了进一步使冶炼强化，就需要知道冶金炉中气体、铁水和钢水的运动；炉料对气体运动的阻力等；此外在解决有关铸造过程中液态金属的流动问题；炉型问题；管道分布与流体阻力问题；以及研究泵、鼓风机、风动机械的工作原理等等也都需要水力学方面的知识，因此学习水力学的目的，就是要掌握这些客观规律来更好的解决生产中的实际问题。

水力学可分为两大部分：

1. 水静力学——研究液体平衡(静止)的规律。
2. 水动力学——研究液体运动的规律。

第一章 流体及其主要物理性质

§ 1-1 液体和气体，理想液体与实际液体

流体的基本特征为“流动性”，它的凝聚力极小。以致实

实际上对拉力,对形状的缓慢改变都不产生阻力,流体的质点在相互移动时有着极大的自由性,它不能象固体那样保持一定的形状。

流体通常又分为液体和气体。

液体在重力作用下有边界(自由)液面,在实用的意义上,具有不可压缩的特性,有一定的容积,但其形状是随容器的形状而改变。

气体也具有“流动性”,对拉力和形状的缓慢改变不产生阻力,与液体不同点就在于气体是有弹性的,它很容易膨胀或者被压缩,它总是完全地充满所占容器的空间。

自然界中的流体还有一个重要的特性——粘滞性(液体部内部质点间的摩擦力)。但是这只有在流体流动时才呈现出来。各种流体的粘滞性是不同的。象甘油、浓的油类等具有较大的粘性,象水、汽油、酒精其粘滞性较小。而气体的粘滞性就更小了。

粘滞性的存在,使对液体流动的研究变得非常的复杂,为了研究上的方便,使问题化得简单些,而又更切合实际,我们引用“理想液体”和“实际液体”的概念。

理想液体是一种绝对不可压缩,当温度改变时也不改变自己的体积,而且是完全没有粘滞性的液体。如果在水力学现象中不能忽略粘滞性,并且要考虑到液体的压缩性时,这就是实际液体。

此外流体力学还认为液体在其所占有的空间中的各点具有相同的密度,是连续不断的介质。

§ 1-2 实际液体的物理性质

1. 比重和密度

液体在单位体积内所具有的质量叫做液体的密度。用希腊字母 ρ 表示:

$$\rho = \frac{\text{质量}}{\text{体积}} = \frac{M}{V} \quad (1-1)$$

在工程单位制中,密度的单位为公斤秒²/米⁴。

液体在单位体积内所具有的重量叫做液体的比重。用希腊字母 γ 表示

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

液体的重量 $G = g \cdot M$, 即质量与重力加速度之乘积。再根据上面二式,可以得出 ρ 与 γ 之间的关系:

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{g \cdot M}{V} = g \cdot \rho \quad (1-3)$$

或

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

常见流体在一个标准大气压下的比重如下表:

流 体 名 称	比 重 γ (公斤/米 ³)	温 度 $t^{\circ}\text{C}$
蒸 馏 水	1,000	4
海 水	1,020~1,030	15
汽 油	650~760	15
煤 油	760~800	15
机 油	886~921	20
酒 精	790	20
水 银	13,600	0
甘 油	1,260	0
空 气	1.293	0
	1.183	20
氧 气(O ₂)	1.429	0
氢 气(H ₂)	0.0899	0
氮 气(N ₂)	1.250	0
二氧化碳(CO ₂)	1.977	0

2. 膨胀性与压缩性

液体的体积(密度)随温度而改变的性质叫做液体的膨胀性;可用膨胀系数 β_t 来表示。所谓膨胀系数就是在压力不变的情况下,温度上升 1°C 时液体体积相对增加的数值。对于水来说,在一个大气压下,温度在 $0^\circ\text{C} \sim 10^\circ\text{C}$ 范围内变化,其膨胀系数 $\beta_t = 0.000014 \approx 0$ 。因此在实际问题中,可以将液体看做是不膨胀的。

液体的体积(密度)随压力而改变的性质叫做液体的压缩性。用压缩系数 β_p 来表示。也就是在温度不变的情况下,每增加一个工程大气压(1公斤/厘米^2)时,液体体积相对减小的数值。液体的压缩系数也是很小的。例如水在 0°C 时当压力增加 1 个大气压 $\beta_p = \frac{1}{20000} \approx 0$ 。因此在解决实际问题中,亦可认为液体是不可压缩的流体。

3. 粘滞性

液体在流动时,其内部有相对移动的质点之间就产生阻力(称为液体的内摩擦力),这种性质叫做粘滞性。

内摩擦力只有在液体流动时才产生,因此粘滞性在静止的液体内是不显示出来的。这部分内容我们将在水动力学中详细说明。

4. 表面张力

这一性质是由于液体表面各分子之间的吸引力而产生的。这种现象特别明显的表现在直径十分小的所谓毛细管中,例如玻璃管插入 20°C 的水中,玻璃管中的液面将上升一高

度(图 1-1)。

$$h = \frac{29.8}{d} \text{ 毫米}$$

而在同样的条件下,水银则下降一高度

$$h = \frac{10.15}{d} \text{ 毫米}$$

式中 d 为玻璃管的直径,以毫米计。

这种现象在测量仪器的细小管子中要十分注意,而在解决工程上的水力学问题就可以忽略不计了。

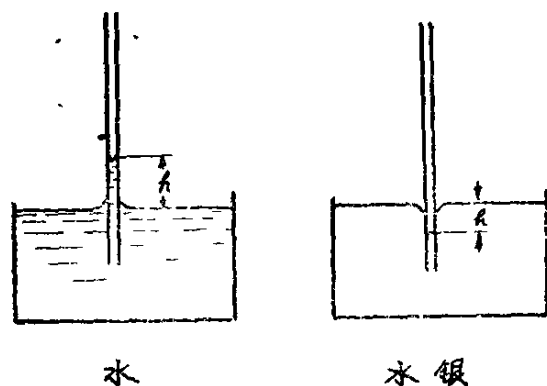


图 1-1

第二章 水静力学

水静力学是研究液体平衡(静止)的规律及这些规律的实际运用;同时也是进一步研究液体流动时的必要基础。

在静止的液体中,粘性是显示不出来的,因此在水静力学中得出的结论,对理想液体或实际液体都同样适合。

§ 2-1 水静压力

由于外力的作用和液体自身的重量，在静止液体内各点就产生了压力，即所谓水静压力。

设取一块处在平衡状态的液体，如图 2-1 所示。把这块液体用 AB 面分为两半；则上下两部分液体在接触面 AB 上就有一种相互作用的力。若在 AB 面上取一点 C ，并在其附近取小面积 ω ，则在此面积上将承受一定的压力 P (公斤)，这力 P 称为面积 ω 上的总水静压力。如果将总水静压力 P 被作用面积 ω 来除，则得平均水静压力 $P_{\text{平均}}$ ：

$$P_{\text{平均}} = \frac{P}{\omega} \quad \text{公斤/厘米}^2. \quad (2-1)$$

如果将面积 ω 尽量缩小，使其趋近于零，则平均水静压力将趋近于某一极限值，这个极限值就称为 C 点的水静压力 p ：

$$p = \lim_{\omega \rightarrow 0} p_{\text{平均}} = \lim_{\omega \rightarrow 0} \left(\frac{P}{\omega} \right). \quad (2-2)$$

水静压力 p 的单位和平均水静压力 $p_{\text{平均}}$ 相同，通常用公斤/厘米²或吨/米²。

水静压力 p 的方向永远是垂直于它所作用的面积。例如

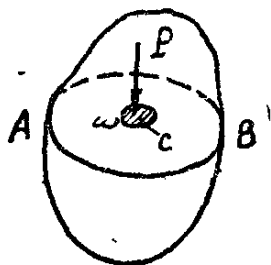


图 2-1

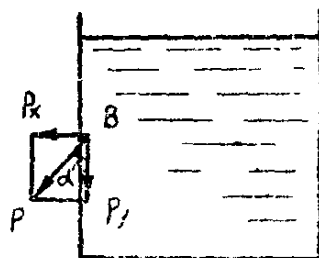


图 2-2

在图 2-2 中,假定在容器壁上任意一点 B 之水静压力为 p ,则此压力就可分为 p_x 与 p_y 两个分力;压力 p_x 可由容器壁的反力平衡。而 p_y 将迫使液体质点产生向下的运动,这将破坏液体的平衡,而与事实不符,因此 p_y 必为零。

§ 2-2 水静力学基本方程式

水静力学中基本问题之一是如何来确定液体內任意一点之水静压力的大小。

图 2-3 中所示,在仅有重力作用而又处在平衡状态的液体內,取一直立的正棱柱体,高度为 h ,断面面积为 $d\omega$ 。现在将作用在棱柱体各侧面和底面上的力向垂直轴投影;首先各侧面上的压力在垂直轴上的投影为零;而上、下两底和此棱柱液体本身的重量在垂直轴上的投影;则可写出平衡方程式:

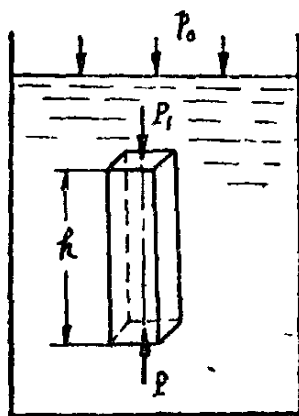


图 2-3

$$p \cdot d\omega = p_1 \cdot d\omega + \gamma \cdot h \cdot d\omega$$

式中 γ 为液体的比重, p_1 和 p 表示上底和下底的平均水静压力。若消去 $d\omega$, 则得:

$$p = p_1 + \gamma \cdot h. \quad (2-3)$$

如果棱柱体上端与空气接触,其压力为 p_0 , 则得:

$$p = p_0 + \gamma h. \quad (2-4)$$

由此可以得出结论:静水压力的数值大小,完全决定于该点在自由液面下的深度;亦即 p 与 h 成正比。

公式 (2-4) 称为水静力学的基本方程式。式中 p 称为绝对水静压力。 γh 部分表示 p 超过自由液面上压力 p_0 的数值,称为表压力。

$$p_{\text{绝对}} = p_0 + \gamma h \quad (2-5)$$

$$p_k = \gamma h \quad (2-6)$$

在以后的学习中,我们将用 p 来表示“表压力”;而对于绝对压力则要加上标注“ $p_{\text{绝对}}$ ”。

§ 2-3 水静压力分布图

由上节得出:

$$p = \gamma h$$

p 是 h 的单值函数,则压力 p 与深度 h 之关系在 p 、 h 坐标系统中,就可以用直线表示出来。在图 2-4 中就清楚的表示了液体作用在器壁上各点的水静压力的大小。 ab 线段表示表压力与深度 h 之关系,而 cd 线段则表示了绝对压力随深度 h 变化之关系。

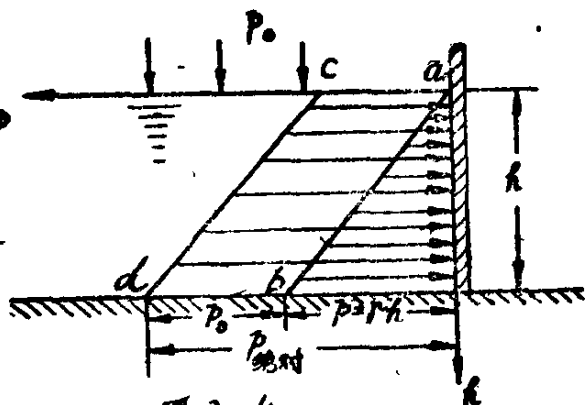


图 2-4

图 2-5 是一倾斜平板上的水静压力分布图;不论平板的倾斜角度如何,平板上各点所受的水静压力仍与其到水面的高度成正比, p 与 h 仍成直线关系,要注意的是水静压力 p 的方向应与平板垂直。

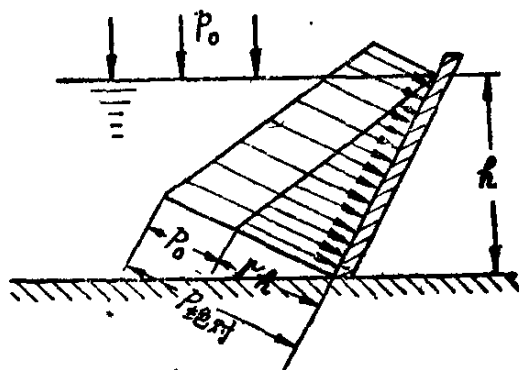


图 2-5

如果在液体內各点的压力相等,则这些点到液面的高度 h 将亦相

等,也就是说这些点将在一水平面上。在工程上把各点压力都相等的面称为等压面。而液体在仅有重力的作用下,其等压面永远是一水平面。

§ 2-4 测压管高度、静力高度和真空

在一封闭的容器中,液体自由面上的压力为 p_0 , p_0 大于大气压力 p_a ($p_0 > p_a$), 若在 A 点处接上一个玻璃管 1 (如图 2-6 所示), 使直接和大气相通, 则液体在管内就将上升到某一高度 $h_{测}$, 则 A 点的绝对压力为:

$$p_{绝对} = p_a + \gamma h_{测} \quad (2-7)$$

A 点的表压力为:

$$p_{表} = \gamma h_{测}$$

所以

$$h_{测} = \frac{p_{绝对} - p_a}{\gamma} = \frac{p_{表}}{\gamma} \quad (2-8)$$

$h_{测}$ 称为测压管高度, 它表示 A 点表压力之大小。

如果在和 A 点同一水平面上(等压面)找一 A' 点, 并在此处接一顶端封闭的玻璃管 2, 管中假定可以抽成完全真空, 也就是其上的压力 $p_0' = 0$, 同样液体在管 2 内必将上升到另一高度 $h_{静}$, 则 A' 点的绝对压力为: (和 A 点的绝对压力相等)。

$$p_{绝对} = p_0' + \gamma h_{静} = \gamma h_{静} \quad (2-9)$$

所以

$$h_{静} = \frac{p_{绝对}}{\gamma} \quad (2-10)$$

$h_{静}$ 称为静力高度, 它表示 A 点(A' 点)的绝对压力的大小。

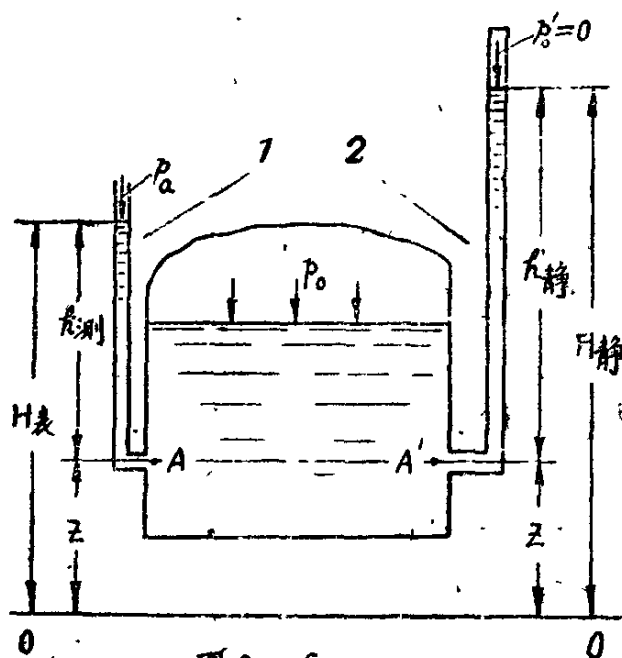


图 2-6

根据(2-8)式和(2-10)可知:

$$h_{测} = h_{静} - \frac{p_a}{\gamma} \quad (2-11)$$

即静力高度 $h_{静}$ 要比测压管高度 $h_{测}$ 高出相当于大气压力的液体柱高度 $\frac{p_a}{\gamma}$ 。由本节的讨论可表出, 压力不但可以用“大气压”或“公斤/厘米²”来表示; 而且可以用液体柱的高度来表示。例对一工程大气压来说:

1 工程大气压 = 1 公斤/厘米² = 10,000 公斤/米²,
或

$$1 \text{ 工程大气压} = \frac{10,000}{1,000} = 10 \text{ 米水柱} = 736 \text{ 毫米水银柱}。$$

在工程上也经常遇到真空问题, 所谓真空就是指该地方的压力比大气压力要小。在图 2-7 中可表出, 当活塞下行时, 管内的液体就会上升, 当活塞停止下行而处在平衡状态的时候, 则可得下式;