中等专业学校交流讲义

流体力学
泵与风机

重庆电力学校编著

只限学校内部使用

中国工业出版社

中等专业学校交流讲义

流体力学
泵与风机

重庆电力学校编著

中国工业出版社

本书分流体力学和泵与风机两篇。前篇包括流体力学基础、流体阻力及管路計算、气体动力学和激波論，注重基本概念的闡述，力求淺明易懂。第二篇泵与风机的內容主要是讲它們的构造、原理、性能及运行維护等。为了联系实际，对热电厂的管路和发电厂常用的泵也作了适当的介紹。

本书是根据新的教学大綱編写，可作为中等专业学校三、四年制热能动力装置专业的教学用书，也可供从事这門专业的技术人員参考。

流体力学·泵与风机

重庆电力学校編著

*

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

*

开本787×1092 1/16·印張17·插頁3·字数405,000

1961年7月北京第一版·1961年10月北京第二次印刷

印数1,834—3,247·定价(9-4)1.65元

統一书号：15165·236（水电—37）

目 录

第二篇 泵 与 风 机

緒　論

0-1　流体力学、泵与风机的研究对象及其在工程上的应用

本課程是一門应用科学，它主要研究流体平衡与运动的一些基本規律，以及怎样应用这些規律解决工程实际問題。

在火电厂生产过程中，一般是用流体作媒介来作功和进行工作，例如蒸汽动力装置循环中的蒸汽和水，以及空气、烟气、油和汽水混合物等。这些液体、气体和蒸汽都有它本身的属性和特性，也就是有它自己的运动規律。研究这种物质的性质及运动規律的科学，称为流体力学。

泵与风机是工程上广泛应用的机械，更是火电厂中不可缺少的組成部分，而它的工作又以流体力学知識为基础，在第二篇将进行詳細討論。

0-2　流体力学、泵与风机的发展情况

任何科学的发展都是在生产发展的基础上发展起来的，特别是应用科学更是由于实际需要而产生的。

流体力学領域中第一部著作"論浮体"是公元前 250 年間阿基米德写出的，它論述了流体平衡及剛体在流体中漂浮的理論。另外，达芬奇(1452—1519)的"論水的流动和水的测量"也是流体力学的早期著作。

在封建制度下，生产发展的相对停滞性，使科学的发展极其緩慢。流体力学在阿基米德以后，整整17个世紀一直沒有重大发展。到17世紀，由于生产发展的需要流体力学才开始成为一門独立的科学。在18世紀，欧拉的著作在理論和实踐中都得到很高的发展，特别是透平理論更显著。同时代的伯諾里全面总結了流体力学的規律，对流体动力学的研究和发展起了重要的作用。

在欧拉之后，主要是用数学方法研究的无內摩擦力的所謂理想流体力学发展起来了。19世紀后半期在理論与实踐相結合这方面，雷諾、彼得洛夫、儒可夫斯基等起了很大的作用。雷諾对自然界流体流态作了更重要的实驗和結論。彼得洛夫是現代潤滑水动力学的奠基者。儒可夫斯基建立了管道中的水击理論，創立了水流中悬浮质运动的理論和翼型的升力理論，他发展了理論流体力学，并提出了許多应用流体力学解决实际問題的方法，他是空气动力学的奠基者，被列宁称为"俄罗斯航空之父"。

十月革命之后，流体力学在苏联获得了极大发展，它所研究的广度和深度有很大的提高。在卫国战爭以后，苏联在研究火箭方面获得了惊人成就。特别是近年来，苏联洲际导弹和人造卫星的发射成功充分說明了，在科学領域內苏联远远走在美国的前面。这些宇宙飞行机械的飞行速度远比一般高速飞机为高，因而对流体力学又提出了更新的研究課題。

流体力学在我們偉大的祖国和其他科学一样有着悠久的历史。公元前 250 年左右，

李冰父子修成的都江堰，至今还是我国水利工程上的典范。中国人民开辟了长达1,400公里的运河，这些偉大的水利工程明显地反映了我国在水力学方面的成就，說明了在当时已經具有相当的理論和实踐的科学水平。大禹治水偉大事迹，是我国古代劳动人民与洪水作艰苦斗爭的典型范例。

在气体力学方面，我国在公元959年左右(北宋以前)就有燃气透平的雛型——走馬灯，利用空气受热膨脹的原理冲动紙叶輪回轉(图0-1)。

火箭本身也是中国人发明的。开始只是带火的箭，它是应用弓和箭射出燃燒剂，之后，才利用燃燒气体的反作用力推动箭继續前进。通过这些实踐，显示了我国人民在很早就具备了气体力学的初步知識。

泵与风机和流体力学一样，是随着生产发展的需要而发展起来的。

在古代，人类为了謀得生存在雨水較少的地区就得挖井取水，因而开始在劳动中創造了提水工具，如戽斗、吊桶等。随着农业的发展，需要用水来灌溉田地，产生了結构較前复杂效率較高的簡单机械，如水車。随着社会生产的需要，人們又在动力方面进行了改进，利用兽力、风力和水力来带动这类机械。

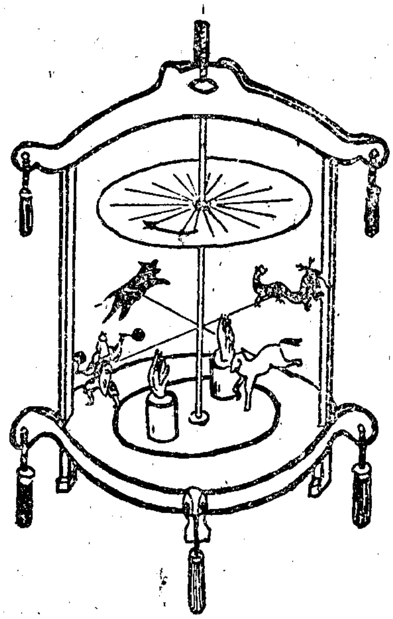

图0-1　走馬灯——燃气透平雛型

最原始的泵是往复泵，用木材制成且結构簡单。到十九世紀，由于鋼鉄工业发达和蒸汽机的出現，才出現了比較成熟的蒸汽直接作用泵，然后，产生了多作用的往复泵。

在十六世紀曾发明了数种类型的轉子泵，特别是活板式水泵。十九世紀出現了离心泵，但由于缺乏高轉数的原动机，使之沒有得到很好发展，在十八、十九世紀中主要是往复式水泵得到了发展。

到十九世紀末，由于往复式水泵的給水量小，不能滿足生产的需要，又因为这时出現了高轉数的原动机(电动机和汽輪机)，为离心泵的发展提供了条件。二十世紀离心泵就广泛地取得应用，直到目前为止，除在压力較高而流量較小的場合下应用往复泵外，由于离心泵結构紧凑、簡单和費用低，在絕大多数情况下都采用离心泵。

在风机方面首先出現的是熔鉄炉用的风箱，随后出現了风車。只有在热力学，空气动力学，材料力学和机器制造方面一系列問題解决之后，才制造出了結构上比較合理和效率較高的离心式风机和透平式风机。这些类型的风机在工程上都获得了极其广泛的应用而成为很多部門不可缺少的通用机械。

根据历史記載，我国早在公元前就出現了戽斗、吊桶、水車、风箱和风車。可是由于历代帝王的封建統治使生产力的发展受到阻碍，以致于許多創造和发明久而失傳。

总之由于我国长期受到封建地主阶級的剝削和压迫，使科学发展一直很緩慢。在封建社会和半殖民地社会制度下，对科学的发展不但不給予重視，更无研究科学的条件，这一点說明了科学不能脫离社会制度的經济基础而发展。

新中国成立后，在党和政府的領导和重視下，政治挂帅，使科学研究紧密結合生产需要，因而科学研究工作一日千里。特別是大跃进以来，通过全民大搞科学研究活动，更为科学发展与研究建立了坚实的基础。

十一年来我国科学研究工作所取得的成就，說明了科学的发展只有在社会主义制度下才有可能；也只有劳动人民眞正掌握了科学，才能使之为生产服务。

0-3 流体的基本物理性质

流体是液体和气体的統称，它能抵抗压縮它的外力，但实际不能抵抗張力和切力，并且由于流体质点的很大流动性，所以它是一种对形状緩慢变化，实际上也沒有抵抗力的連續介质。对于流体中的液体一般又称为成滴流体。

流体的物理性质主要表現在下列几方面：

压縮性：流体在压力作用下能改变自身体积的特性称为压縮性，其大小用压縮系数 β_V 表示，它是說明压力变化一单位时，体积的相对变化量，其单位为米^3/米^3/公斤/厘米^2。

根据上述概念，可以写出下面計算式：

$$\beta_V = -\frac{1}{V} \times \frac{\Delta V}{\Delta P}. \tag{0-1}$$

式中 V——液体原有体积；

ΔV——压力变化 ΔP 时，該体积的变化量。

和压縮系数相反的量 $\frac{1}{\beta_V}$ 叫做彈性系数，其因次在工程单位制中为公斤/米^2，彈性系数和压縮系数一样，并不是固定不变的，而是随压力和温度而变化的。

膨脹性：流体的膨脹性也称为温度膨脹性，就是当流体受热（当然也可能是冷却）时会改变自身体积的特性。它同样可用温度膨脹系数 β_t 表示，β_t 說明当温度变化一单位时，流体体积的相对变化量，单位为米^3/米^3/°C。

为此可写出計算式为：

$$\beta_t = \frac{\Delta V}{V} \times \frac{1}{\Delta_t}. \tag{0-2}$$

式中 V——液体原有的体积；

ΔV——温度变化 Δt 时的体积变化量。

必須指出，在流体中虽然液体和气体都有上述特性，但考虑到气体受压縮或膨脹时，还会引起其他参数的变化，这一点，热力学中已詳細討論。

粘滞性：流体的粘滞性是表示运动着的流体內部存在着內摩擦的特性，所以也可以称为流体运动的粘滞性。流体运动时的粘滞性是因为运动着的流体质点間有切应力发生，这种切应力就是內摩擦阻力，实际上所有流体都有这种特性，故又称为粘性流体。在某些情况下，为了簡化所討論問題的复杂性，忽略这种內摩擦力时的流体就称为理想

流体，或非粘性流体。

流体除上述一般物理性质之外，还有內聚力，附着力，表面張力(对液体而言)等性质。以下再进一步討論液体和气体的区别：

液体有确定的体积，因此，也就呈現了自由表面；气体则不同，它总是力图充滿容納它的空間而变化自身的密度，只有外加压力才能限制气体取得一定的容积。

液体的压縮性和膨脹性很小，而气体的上述特性则比液体大得多。液体可以在坚固的容器中承受很大压力而只有极小的容积变化。因此，几乎在所有实际意义的重要流动过程中，我們都可以把滴流体作为不可压縮流体看待。膨脹性也是如此。但气体则不同，在压力和温度变化时，很容易改变自身的容积。由此可知，液体的密度，重率几乎是不变的，而气体的密度与重率随容积的变化是要改变的。关于气体压力，温度与容积变化的关系，在热力学中将由气体状态方程加以确定。

再有液体的粘滞性随温度增加而减小，而气体则相反，即随温度增加而加大。

以上是液体与气体的基本区别之点。当然，它們也有共同的地方。正因为如此，在流体力学中某些定律旣适用于液体也适用于气体，但在某些特殊地方又要分别对待，以后将詳細討論。

0-4 平衡流体的基本方程式及其应用

在未討論这一問題之前，首先明确以下概念：

1.平衡流体：所謂平衡流体即在所受各力的作用下处于平衡状态的流体。这点可通过以下实际問題来說明。

有一油罐車(图0-2)內存以液体，当它作变速运动时，主要有两个力作用着：一为流体本身具有的质量所产生的重力G及因变速运动所产生的加速(或减速)所引起的惯性力F。这两个力的合力为R，使液体液面保持傾斜，但它与R的方向垂直。

再如有一作等速旋轉的容器中存以液体，则它有重力G和离心力F的作用，合力为R(图0-3)。为了保持平衡，其液面呈現曲面形状，而以上之合力均与流体內部的內压力相平衡，其大小相等、方向相反(牛頓第三定律，作用力等于反作用力)。当然，只有重力作用那就是最簡单的一种形式。以上几种情况都是流体处于平衡的情况，只不过所取决的相对系統不同而已。

2.平衡流体压强：在平衡流体內某点的压力称为平衡流体的压强。

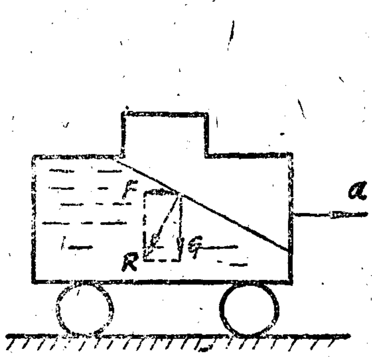

图 0-2 油罐車中液体的相对平衡

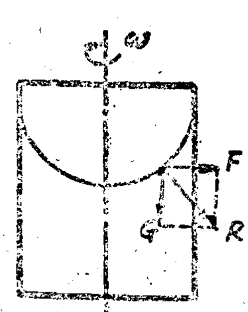

图 0-3 等速旋轉容器中液体的相对平衡

3. 自由面：自由面系指液体和气体之間或液体与真空之間的分界面。

了解了以上概念之后，下面我們就来討論平衡流体基本方程式。

平衡流体基本方程式主要是研究液体处于平衡状态时的基本規律。

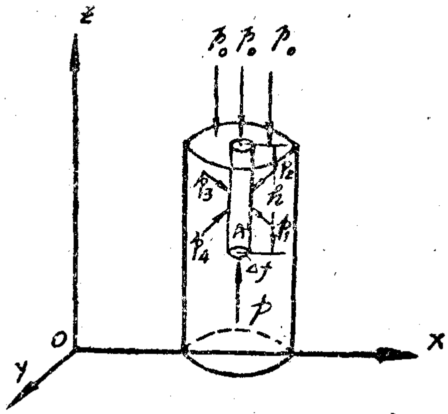

图 0-4

如图 0-4 所示，容器中装有平衡液体，其自由表面上的压强等于 p_0，但不等于大气压强。現在来确定自由表面以下深度为 h 的 A 点的水靜压强 p。为了确定此压强，我們通过 A 点作一水平面，并在此水平面上取出一块极小的面积 Δf，A 点应位于此面积內。然后通过此面积的外圍輪廓作鉛垂的圆柱形面，一直到它与自由面相交，結果就得到一个底面为 Δf，高为 h 的直立圓柱体。将此圓柱体分离出来，討論它的平衡条件，作用在分离出来的圓柱体积上的力有：

1. 作用于底面积沿着鉛垂方向自下而上的总压力 ΔP，这个力現在是未知的；

2. 作用于頂面上的是自由表面上的总压力 p，它的大小等于 $p_0\times\Delta f$，其方向鉛垂向下；

3. 作用于圓柱体側面的总压力 p_1，p_2 等等，它們都是位于水平面上的；

4. 重力等于圓柱体的重量，鉛垂向下。$W=\Delta fh\gamma$，其中，Δfh 是圓柱体体积，γ 是液体的重率(比重)。

作三向坐标軸(图0-4)，并将作用于圓柱体的一切力都投影在坐标軸上，因为所取的分离圓柱体是平衡的，故力在各坐标軸上投影的和等于零。所以，圓柱体側面的一切压面 p_1，p_2 等等在 x 和 y 坐标軸上的投影之和等于零。而作用在鉛垂方向的力 ΔP，p，和 W 在 x 与 y 軸上投影之和也等于零的。列出它們在 z 方向的平衡方程式，

即
$$\Delta P-p_0\Delta f-\Delta fh\gamma=0,$$
或
$$\Delta P=p_0\Delta f+\gamma h\Delta f.$$

用 Δf 除上式，并取极限：

$$\lim_{\Delta f\to 0}\left(\frac{\Delta P}{\Delta f}\right)=p_0+\gamma h.$$

但前面讲过，
$$\lim_{\Delta f\to 0}\left(\frac{\Delta P}{\Delta f}\right)=p.$$

所以上式即为

$$p=p_0+\gamma h. \tag{0-3}$$

这就是平衡流体的基本方程式。由它可以得出結論：平衡液体內任一点上的水靜压力等于自由表面上的压力加上一个液柱的重量，此液柱的底面积等于 1（单位面积），其高度則等于該点在自由表面以下的深度。也就是說，在表面压力相同情况下，平衡流体內部压强随深度改变而变化。由此可知，在自由面压力相等的同一种液体內具有相同深

度的各个面上的压力也将是相等的，这种表面称为等压面。

平衡流体基本方程不仅使我們了解在平衡流体內部的压力变化規律；而且利用此方程式也可求得平衡流体內部某空間点的压强数值。即在平衡流体內部某点的压强 p，是等于作用在該流体上的外压力 p_0，加上流体柱所产生的压力 γh。其中 h 表示流体柱高度即是該点在流体中的深度，重率 γ 就是該計算流体的重率。下面举例說明这一問題：

例 1. 在鍋炉房的供水箱中盛有溫度为 100°C 的水，为了避免沸騰現象的产生，水箱的液面上利用蒸汽热(0-5)維持絕对压力 $p_0=1.2$ 大气压，試求位于液面下一米处的 A 点之絕对压力。

解： 根据平衡流体基本方程式：

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

溫度100°C时水的重率 $\gamma=958$ 公斤/米³，故在已知点 A 的压力 p_A 为

$p_A=12000+958\times 1=12958$ 公斤/米²$=1.2958$ 絕对大气压.

从以上例題說明了，利用平衡流体基本方程便可确定平衡流体內部某一已知点的压力数值。不仅如此，利用这一方程式还可解决流体平衡状态下某些基本定律，这就是此基本方程的应用問題。下面就对几种主要的应用加以討論。

首先利用基本方程的推論，使我們很容易建立起巴斯加定律的必要概念。

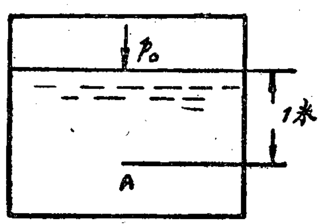

图 0-5

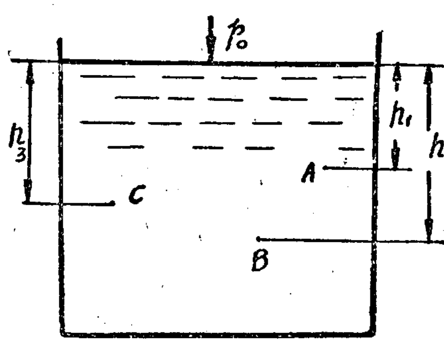

图 0-6

若一容器中存以液体，在該液面上的压力为 p_0 (图0-6)，在液体內部具有不同深度 h_1，h_2，h_3 等等的各已知点 A，B，C，D 等。根据基本方程，可以写出这些点的压强分别为：

$$p_A=p_0+\gamma h_1;$$
$$p_B=p_0+\gamma h_2;$$
$$p_C=p_0+\gamma h_3.$$

依此类推，由于各已知点在液体中处的深度不同，因此，它們的压强数值也是不相同的。但是我們仔細观察上列計算公式发現，虽然各点的总压力数值不等，可是，它們每一压力值中都包括着压力 p_0。若将 p_0 視作外压力的話，这就說明在液体內部外压力将是毫不減弱地向四面八方傳递。假使有一封閉容器在其一端施加外压力，这种情況就更为显著(图0-7)，这就是巴斯加定律。

在这里必須指出，我們在說明这一定律时，用液体作介质不是沒有原因的。因为外压力在流体內毫不減弱的傳递，只适用于液体，对气体就不适用这种关系。气体在受压縮时，不仅容积发生变化，而且气体溫度也要发生改变。这样，部分压力能就轉換成热

能形式出現，故外压力在气体中就不可能保持不变。这一关系在热力学中将詳細讲到。

外压力在液体內毫不減弱地向四面八方傳遞的特性，在工程上应用极广。例如：水力压縮机，油压千斤頂，水力蓄能机和活塞水泵等，就是根据这一原理制作的机械。

其次，平衡流体基本方程式还应用于解决在連通器的平衡問題上。所謂連通器就是底部互相連通的两个或几个容器，如图0-8。根据平衡流体基本方程式便可决定在不同情况下連通器的平衡条件，下面分别加以討論。

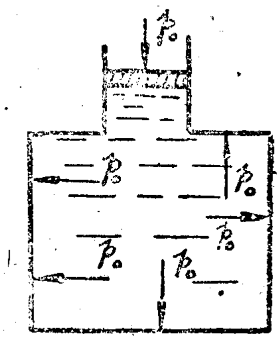

图 0-7

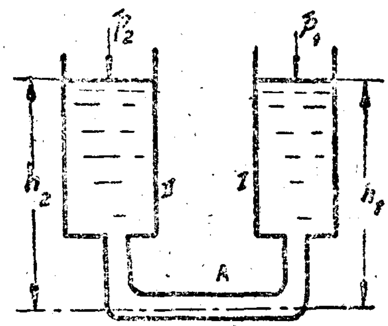

图 0-8

第一种情况：在連通器的两个容器中盛以相同的液体，且液面上的压力也是相等的，即 $p_1=p_2$。此时在液体內部取一点 A，并写出容器Ⅰ，Ⅱ对 A 点的压力公式。由基本方程式可得：

容器Ⅰ对 A 点的压力值为

$$p_1+rh_1$$

容器Ⅱ对 A 点的压力值为

$$p_2+rh_2$$

根据平衡条件，这两个公式必須相等。

即
$$p_1+rh_1=p_2+rh_2 .$$

由以上两式得到：
$$h_1=h_2 . \qquad (0\text{-}4)$$

这一关系式說明，对于盛有相同液体和液面压力相等的連通器，其液面高度相等。这就是它們的平衡条件。利用这种关系，使我們制作了在工程上广泛应用的水位計。

第二种情况：即在連通器中盛以相同的液体，但液面上的压力不相等(图 0-9)，在这种情况下，利用前面相同的方法，可写出以下公式：

$$p_1+rh_1=p_2+rh_2 .$$

若
$$p_1>p_2$$

则
$$p_1-p_2=r(h_2-h_1) . \qquad (0\text{-}5)$$

公式(0-5)說明連通器两容器液面上的压力差，等于連通器两容器液柱差所产生的压力值。利用这一关系，我們可用液体压力計測量工程上某些需要測量的压力。因为这种压力計在測量較小的压力时，有較为精确的数值，而且液体在連通器中又能保持很好的封閉作用。

第三种情况：当連通器两容器中盛有两种液体，而液面上的压力差又相等时(图0-10)。利用同样原理，这种情况的平衡条件为

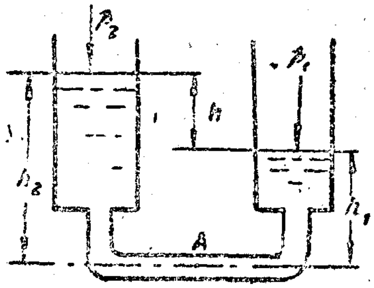

图 0-9

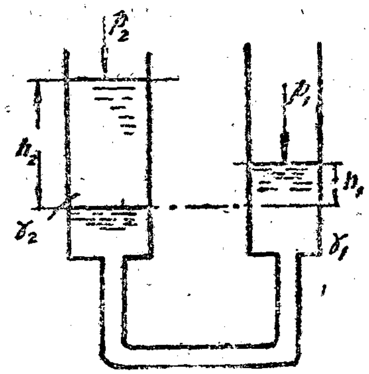

图 0-10

$$p_1+\gamma_1 h_1=p_2+\gamma_2 h_2 .$$

由于
$$p_1=p_2 ,$$

则
$$\gamma_1 h_1=\gamma_2 h_2 .$$

或
$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2}=\frac{h_2}{h_1} \qquad (0\text{-}6)$$

上式說明，在表面压力相等而具有两种不同液体时，自分界面起，液面的高度之比与重率成反比。利用这种关系，我們可将同一压力数值，用不同的液柱高度来表示，只不过高度不同而已。再有，在工程方面，也可用于各种测量仪器的放大或縮小它的倍数。例如：鍋炉低水位指示，流量計等。

現在我們再来討論一下靜水压强的測量問題。在工程单位制中，压强的单位为1公斤/米^2，或者1公斤/厘米^2。

最簡单的測量压强的仪器是測压計(图0-11)。測压計本身是一支上端开口的玻璃管，联接在装有液体的容器上，用来測定液体中某点的压力。測压計中表示出的是計示压力，即容器中的絕对压力 $p_{a\delta c}$ 与大气压力 p_{am} 之差。

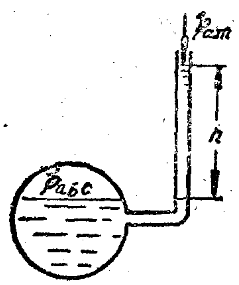

图 0-11

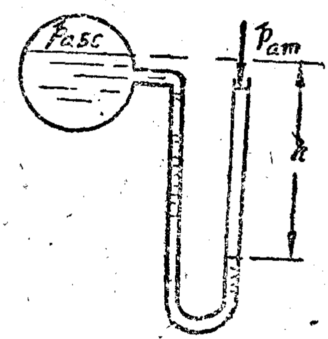

图 0-12

因此
$$p_{a\delta c}=p_{am}+p_e . \qquad (0\text{-}7)$$

測压計利用液体柱来測量压力，液体柱的高度决定于压力的大小和液体的重率，

即
$$h=\frac{p}{\gamma}\text{米} . \qquad (0\text{-}8)$$

也可将液体柱高度換算成压力的单位，即

$$p=rh \quad 公斤/米^2 . \qquad (0\text{-}9)$$

如果欲測容器內的絕对压力小于大气压力时，則在測压計中的液柱便处于图0-12所示的情况，此时測压計便称为眞空計。因为，它所指示的液柱高度 h 表示液体中的負压或眞空。也即是大气压和絕对压力之差。因此，負压就是負的計算压力，所以

$$p_{a\sigma c}=p_{am}-p_e .$$

除測压計和眞空計外，測量压强的仪器还有其他型式。在工程上为了測量高压强，还广泛采用金属压力計。它們的結构、原理等在热工仪表中要詳細討論，这里就不詳加論述了。

例2. 求出相当于一計算大气压的水柱（$\gamma_в=1.0$），水銀柱($\gamma_p=13.6$)，和酒精柱（$\gamma_c=0.86$)的高度，

解：水柱高度：

$$h_в=\frac{p}{r_в}=\frac{10,000}{1,000}=10 米 .$$

水銀柱高度：

$$h_p=\frac{p}{r_p}=\frac{10000}{13600}=0.7355米=735.5毫米 .$$

酒精柱高度：

$$h_c=\frac{p}{\gamma_c}=\frac{10,000}{860}=11.6 米 .$$

例3. 蒸汽透平凝結器內的絕对压力为0.04絕对大气压，設气压計中压力为755毫米水銀柱，試求水銀眞空計的讀数。

解：以水銀柱毫米数表示的凝結器中的絕对压力：

$$p_{对絕}=0.04\times735.5=29.4毫米水銀柱 .$$

由眞空計讀出的負压：

$$p_{負压}=p_{大气}-p_{絕对}=755-29.4=725.6毫米水銀柱 .$$

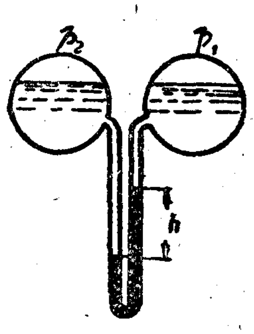

图 0-13

例4. 如图0-13 所示，两容器与水銀比压計相連接，此两容器中均充滿了水，設在此压計中指示讀数为 650 毫米，試求此两容器中的压力 p_2 和 p_1 之差。

解：此压計弯管两支之中平面0-0上的压力相等，即：

$$p_1+\gamma_p h=p_2+\gamma_в h .$$

两容器的压力差：

$$p_2-p_1=h(\gamma_p-\gamma_в)=0.65(13600-1000)=8200$$

$$公斤/米^2=0.82大气压 .$$

例5. 热处理車間中的炉子，其烟囱中烟气的平均温度为 $t=400$°C，外界空气的温度为 30°C，設在烟囱中所产生的負压为 30毫米水柱。試求烟囱所需的高度。已知烟气和空气的重率在标准状况下（0°C和760毫米水銀柱），各等于 $\gamma_д^0=1.27$公斤/米³和 $\gamma_в^0=1.29$公斤/米³。

解：温度30°C时空气的重率：

$$\gamma_в=\gamma_в^0\frac{273}{273+t}=1.29\frac{273}{273+30}=1.162公斤/米^3 .$$

烟气在400°C时的重率为：

$$\gamma_д=\gamma_д^0\frac{273}{273+t}=1.27\frac{273}{273+400}=0.515公斤/米^3 .$$

在烟囱底部由烟气所产生的压力

$$p_э=p_0+\gamma_э h;$$

由空气所产生的压力

$$p_б=p_0+\gamma_б h.$$

此时，烟囱所产生的負压等于空气与烟气的压力差，即：

$$p_б-p_э=h(\gamma_б-\gamma_э)=30\text{毫米水柱}.$$

由此得烟囱所需的高度为：

$$h=\frac{p_б-p_э}{\gamma_б-\gamma_э}=\frac{30}{1.162-0.515}=46.3\text{米}.$$

0-5 水头概念

在物理，工程力学等課程中，大家已明确了什么是能量或能。即对某一种物质它具有作功的能力，那么这种物质就具有能。例如燃料的热能；导綫切割磁力綫产生的电能；物体运动的动能；物体有一定高度时所具有的势能等。因此，在这里我們主要討論流体所具有的能量問題。

大家知道水力发电，是利用水位高度落差，由位能变成动能驅动水輪机变成机械能，然后带动发电机发出电来的。这一事实說明，流体同样具有作功的本領，也即是具有能。这个作功能力的大小，用能的大小来表示。在工程力学中，能量都用公斤-米米度量；在流体力学中度量流体能量的大小也是用这种单位。但为了方便起見，一般都采用单位重量的流体所具有的能量来表示。

綜合以上所述，水头(或称能头)就是单位重量的流体所具有的能量，其单位是米。

例如，某一河道具有150米水头，这就是說，这条河道每公斤水，能作功150公斤-米。

平衡流体所具有的能头也是用米来表示。然而必須指出，对平衡液体而言，它們所具有的能量形式主要有压力能和势能(或称位能)，而不存在动能。因为平衡流体沒有相对位移(即沒有流动)。

流体的总能头(水头)用 H 来表示(单位为米)，那么它与压力能和位能可以写成下列关系式：

$$H=\frac{p}{\gamma}+z\text{米}. \tag{0-10}$$

式中 p——流体所具有的压力，公斤/米²；

γ——流体的重率，公斤/米³；

z——流体具有的位高，米。

了解了流体水头之后，我們再討論一下流体平衡状态下所具有的能头的特点。对平衡流体而言，它們各处所具有的水头是相等的，即

$$H=\frac{p}{\gamma}+z=\text{常数}.$$

它具有这种特点，道理也很簡单，因为，流体旣沒有运动，那么就不发生能量的消耗和轉換，故在平衡流体中，各处的水头为一常数(这是对某一定的基准面0-0而言的)。

从图0-14中就更能説明这一問題了，在图中容器內盛有平衡液体。假若，我們分别在通过A和B的平面之器壁上装設測压管。显然，由于容器中液体是平衡的，所以，两測压管中液体的上升高度必然相等，即两管中的液面位于同一高度。这时，对同一基准面0-0而言有：

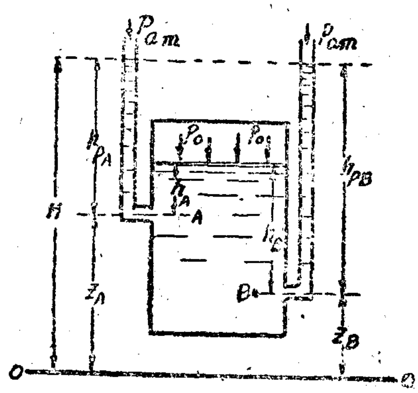

图 0-14

$$z_A+\frac{p_A}{\gamma}=z_B+\frac{p_B}{\gamma}=H=\text{常数}。$$

式中　H——即是該点(A或B)对基准面0-0的水头値。

z_A，z_B——分别为A点和B点在基准平面0-0上的高度；

$\frac{p_A}{\gamma}$，$\frac{p_B}{\gamma}$——分别为A点和B点的測压管水头，显然，它們有下例关系

$$\frac{p_A}{\gamma}=h_{pA}\ ,\quad \frac{p_B}{\gamma}=h_{pB}\ ,$$

因而h_{pA}和h_{pB}又称为測压管高度；

γ——为液体的重率。

不难看出，若在容器中，再任意取A和B之外的其他点，結果对于基准面0-0而言的水头値，仍然与A或B点对0-0的水头値相等。

但是，这里必須指出，平衡流体內各点的总水头等于常数，并不等于説各点的压力能和位能亦等于常数；各点的压力能和位能，随着在流体中深度(或高度)不同，压力能和位能对各点来說是不相等的，但它們的总和仍为常数。

习　題

1.置于高层房屋第一层的气压計，指出压力为738毫米水銀柱，設房屋每层高度为4.5米，空气温度为20°C，如把气压計移到第九层后，气压計中的讀数变为多少？

2.气压計压力为755毫米水銀柱时，求位于水面下6米深处的水的絕对压力。

3.設煤气洗滌器中酒精比压計(图0-15)的讀数为h=75毫米，求高炉煤气在器中的压力降落。

4.在密閉水槽中，水的溫度为20°C(图0-16)。借助于空气墊維持p_0=1.2計示大气压的压力。問水槽上所装的水銀压力計所示之讀数为多少？假若压力計的下水銀面在水槽水面以下H=800毫米处。

5.如装到第一层楼上的水銀压力計的下水銀面在容器中心上方H=5米处，并讀得h=630毫米。