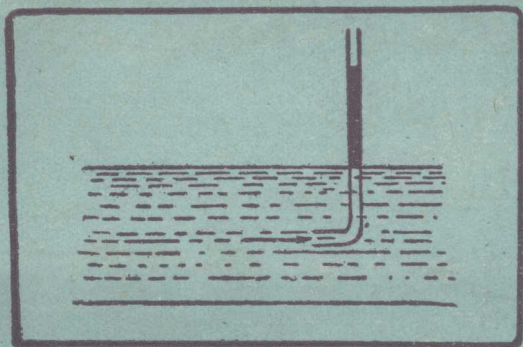


石油工人学习叢書

流体力学基础

唐广蓀 何长高編



石油工业出版社

內 容 提 要

这本小册子介绍了有关流体力学的基本知識，包括流体的一般性質，流体靜力学，流体动力学和气体的特性等。为了便于工人同志們閱讀，書的內容写得比較通俗，由浅入深。在講述各个問題时，还注意了联系实际，用生产、生活中常見的現象來說明問題，書中还有專門一章介紹流体力学在工业中的应用。本書可供有高小以上文化程度的工人閱讀，作为他們学习流体力学的一本入門書。

統一書号：T 15037·308

石油工人学习叢書

流 体 力 学 基 礎

唐广森 何長高編

*

石油工业出版社出版（社址：北京六鋪炕石油工業部內）

北京市書刊出版業營業許可証出字第083號

石油工业出版社印刷厂印刷 新华書店发行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 印张2 $\frac{1}{4}$ * 49千字 * 印831—1,630册

1957年10月北京第1版第1次印刷

1959年10月北京第1版第2次印刷

定价（11）0.50元

目 录

第一章 概 說	1
第1节 流体和流体力学	1
第2节 流体的比重和重度	2
第3节 流体的粘度	2
第4节 理想液体与实际液体	3
第二章 流体静力学	4
第1节 流体的静止和平衡	4
第2节 流体压力的传达	5
第3节 液体对于容器的压力	6
第4节 液体压力的计算	8
第5节 流体静力学的基本方程式	9
第6节 巴斯噶定律	10
第7节 连通器	11
第8节 大气压力	13
第9节 测量压力的仪表	15
第10节 阿基米德定律	17
第11节 物体的浮沉	19
第12节 比重计	19
第13节 液面控制器	20
第三章 流体动力学	22
第1节 流体的流动	22
第2节 流量	23
第3节 流速	24
第4节 流量和流速的关系	25
第5节 稳定流和不稳定流	26
第6节 层流和紊流	27

第7节	雷诺系数	28
第8节	功和能	30
第9节	能的转变和能量守恒定律	31
第10节	流体的能量	33
第11节	流体的压头	34
第12节	伯诺利方程式	35
第13节	流体流量的测定	38
第14节	输送流体时的阻力	42
第四章	气体的特性	43
第1节	当温度不变时, 气体的压力与体积的关系	44
第2节	当体积不变时, 气体的压力与温度的关系	45
第3节	当压力不变时, 气体的体积与温度的关系	46
第4节	绝对温度	47
第5节	理想气体, 理想气体的状态方程式	49
第6节	气体的分子运动	51
第7节	气体的流动	52
第五章	流体力学在工业中的应用	53
第1节	从水车发展到水力涡轮	54
第2节	装置在井底的水力发动机——涡轮钻具	56
第3节	往复泵和离心泵	60
第4节	石油工业中的深井抽油泵	62
第5节	喷雾器和汽化器	64
第6节	通风和气体压缩机械	65
第7节	风动工具和气动操作	69
第8节	气体淨制	70
第9节	液体淨制	72
第10节	物料的搅拌	74
附录	本书所用外文符号读音及意义表	76

第一章 概 說

第 1 节 流体和流体力学

自然界的物質的存在形态有三种：固体、液体和气体。在常温和常压下，有些物質是以固体状态存在的，例如煤、鉄油頁岩；有些物質是以液体状态存在的，例如水、石油、酒精；有些物質是以气体状态存在的，例如空气、煤气、水蒸汽。

固体物質有一定的形狀，但液体或气体物質却没有一定形狀，而具有能流动的性質。我們可以把水裝到杯子里，也可以把杯子里的水倒进瓶子里；工厂里的水可以由水泵經過水管送到鍋爐里；燃燒后的烟道气可以順着烟囱排到大气中去。由于液体和气体都有这种可以流动与改变形狀的特点，我們就把它們总称为“流体”。

流体力学是研究流体平衡同运动規律的一門科学。研究流体平衡的叫流体靜力学；研究流体运动的叫流体动力学。

液体和气体虽然同是流体，却也有不同的地方，那就是气体在受压后体积縮小得很多，而液体虽然受了很大的压力，但体积縮小却很少。流体力学所研究的是液体与气体共同的特性，而关于气体方面的一些特殊問題，則是分子物理学研究的范围。但这兩門科学是有密切联系的，为了學習上的方便，我們便把“气体的特性”一章也包括在本書的范围里。

流体力学的应用范围很广泛。石油煉制和化学工厂中生

产用的原料多半是流体物質，生产出的成品也多半是流体物質。在工作中常常碰到这样一些問題：油罐底部受到多大压力？怎样計算这种压力？怎样把水从低处輸向高处？怎样估計管路中的阻力？等等。这些問題都是同流体力学直接有关的。学习了流体力学，掌握了流体的一般規律，就可以进一步联系实际，提高技术水平，把生产工作做得更好。

第 2 节 流体的比重和重度

物体的重量与同体积的純水在 4°C 时的重量的比，叫做比重。例如 1 立升的煤油重 0.8 公斤，1 立升的純水在 4°C 时重 1 公斤，煤油的比重就是 $\frac{0.8}{1.0} = 0.8$ 。

工業上常常用重度来表示物体的比重。所謂重度就是物体每單位体积的重量。例如 50 立方公分的煤油重 40 克，煤油的重度就是 $\frac{40 \text{ 克}}{50 \text{ 立方公分}} = 0.8 \text{ 克/立方公分}$ 。这里，克/立方公分是表示重度的一个單位。有时也用吨/立方公尺作重度的單位。

第 3 节 流体的粘度

流体虽然都具有能流动的性质，但是由于流体的种类不同，它们的流动性质也就不一样。例如在相同的条件下，用管道輸送水、柴油和重油三种液体，我們可以發現水流得最快，柴油流得比水慢，重油流得最慢。为什么会产生这样的現象呢？这是因为任何液体都不是理想液体，都具有不同程度的粘滯性，在流动时液体的分子間有一种力量抵抗着流动，这种力量就叫做內摩擦力。这种內摩擦力（也就是粘滯

的程度)用粘度来表示。

表示粘度的方法有以下几种:

动力粘度 面积各为 1 平方公分, 相距 1 公分的兩層液面, 如果其中的一層以 1 公分/秒的速度与另一層作相对移动, 則此时流动时产生的阻力就叫动力粘度。动力粘度的單位是泊。1 泊 = 100 厘泊。

运动粘度 物体的动力粘度同这种物体的密度的比叫做运动粘度。运动粘度的單位是沱。1 沱 = 100 厘沱。

相对粘度 相对粘度是用各种粘度計求出的粘度。我国和苏联一般都采用恩格勒氏粘度。200 立方公分的液体在測定温度下流过恩格勒粘度計所需的时间, 与同体积的水在 20°C 时流过恩格勒粘度計所需时间的比值, 叫做恩格勒粘度, 簡称为恩氏粘度。

液体的粘度通常随着温度的升高而下降, 而气体的粘度一般則随着温度的升高而加大。

第 4 节 理想液体与实际液体

在研究流体力学时, 为了方便起见, 常常把各种液体都看成是“理想液体”。理想液体同实际上的液体有以下区别:

- 第一, 理想液体受到压力的作用后绝对不被压缩;
- 第二, 理想液体的体积不随温度的变化而改变;
- 第三, 理想液体流动时不产生内摩擦力, 也就是說沒有粘滯性。

实际上这种液体是没有的, 只有某些液体在性質上接近理想液体, 我們在研究时就假定这些液体是理想液体。

第二章 流体静力学

流体静力学所研究的是流体在相对静止和平衡状态时的规律。例如流体的压力、压力的传送以及浮力等等。

第1节 流体的静止和平衡

从物理学上我们知道，一切物体在沒有受到外力作用的时候，总是保持着等速直线运动或静止状态。这須是有名的牛顿第一定律，也叫做惯定律性。

根据这个定律可以知道，流体的静止是指流体本身处在不作运动的状态。例如水盛在水缸中，当它不受外力作用时，便一直保持着静止状态。

如果在一个物体上同时作用两个力，这两个力的大小相等而方向相反，就会产生力的平衡。流体平衡的道理也和上面讲的一样。

地下的油藏在沒有开发的时候，也是处在平衡状态的。

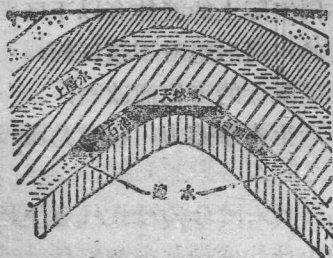


图1 储油层

如图1所示，是一个背斜构造，储油层内的气、油、水由于比重不同而分居在上、中、下三层，在油层的上部有盖层，它阻止油、气继续向上流动和逃逸，而底水常是推挤油、气向上走的，在这种情况下，存在储油层内的原油就是处于静止和平衡状态。

当鑽井打开油層时，平衡状态破坏了，于是原油受底水或边水的排挤由井眼噴出地面。又如在鋼制的圓筒中裝置活塞，筒內注水，用活塞向筒內推进时，水受到活塞推动的力，將力傳到筒壁，筒壁产生了一种抵抗活塞推动的力。在这种情况下，筒里的水处于平衡状态，靜止不动。如果筒壁不坚固或是活塞推动的力过大，筒壁將被挤破，这时平衡就被打破了，水从裂縫中噴出，成为运动状态。

應該指出，上面講的靜止状态，都是相对靜止。宇宙間一切物体都是运动着的，地球自己在作旋轉运动，同时又按一定軌道环繞太陽运动，地球上的一切物質当然也在运动。这里所說的靜止，只是对照着另一种运动的物体而說的。石油在地下处在靜止状态，是对照着石油的流动說的；水在圓筒里受活塞推挤靜止不动，是对照着水从圓筒的縫隙中噴出而說的。

第 2 节 流体压力的傳达

如果我們用一个有長頸圓筒的球底容器，在球面各处鑽很多小孔，并且在容器中灌滿了水。用一个活塞由長頸中压下时，我們就可以看到：容器中的水受了压力，就从球面的各个小孔以同样長度的直綫向各个方向噴射出去，如圖 2 所示。

从这个实验里，我們可以知道，如果把压力加到液体表面的任何部分，液体就会把压力均匀地傳到各个方向。这个道理不仅适用于液体，同样也适用于气体。足球或籃球的球胆，沒有打气的时候是扁的，打足了气就变成圓球的形狀了。这說明气筒活塞推动空气所产生的压力傳到球胆里的空

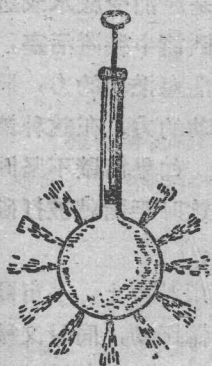


圖 2 液体压力的传达

气上，空气把压力均匀地传到球胆内部各个部分。

根据前面的实验我们还可以看出，流体作用在器壁上的压力的方向总是同器壁垂直的。

在工厂里对设备进行水压或气压试验，就是根据流体压力传达的原理。受试验的设备里灌满了水或油(如进行气压试验则用气体)，然后继续用泵(或压气机)将液体(或气体)打入。加在液体上的压力就均匀地向各方面传达，以相同的力作用在设备的内壁的各点上。

第 3 节 液体对于容器的压力

我们从物理学上知道，压力是单位面积上所受的力。上一节里讲的压力，是由外力所造成的，但液体本身也具有重量，因此，把液体装在容器里的时候，本身也会产生压力：下层的液体承受着上层液体的压力，而容器底部则承受整个液体的压力。

如果在一个圆筒的下端口上紮一个橡皮膜，再往筒里灌水，就可以看到水的压力使橡皮膜向下面凸出来。水愈灌得高，橡皮膜凸出也就愈厉害，这就表明液面愈高，加在容器底部的压力也就愈大。

如果像圖 3 那样，在圆筒的侧壁上鑽几个高度不同的孔，并往容器里面灌水，水就从容器侧壁的小孔中喷出。如圖中所表示的，位置愈低的小孔，水喷出的距离愈远。这說

明液体不但对于容器底部有压力，而且对于容器侧壁也有压力，压力的大小也是随着液体的深度而增加的。正是由于这个道理，水利工程的攔河坝才修筑成圖 4 那样，愈往下面愈厚，这样才能够抵抗得住水的压力。

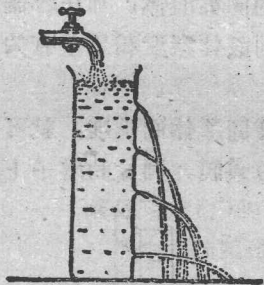


圖 3 水柱愈高，水从小孔噴出的距离愈远

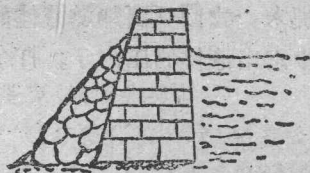


圖 4 攔河坝

液体对于容器的压力同液体的重度也有很密切的关系。例如水銀的重度比水的重度大，因而当两个相同的容器分別裝了水銀和水时，虽然液面的高度一样，但由于水銀比水重，所以裝有水銀的那个容器，其底部受到的压力要比裝水的容器底部受到的压力大。

容器底部所受压力的大小同容器的形状并没有什么关系。例如圖 5 所示的几个形状不同的容器，用水在各个容器中灌注到同样的高度时，容器底部所受到的

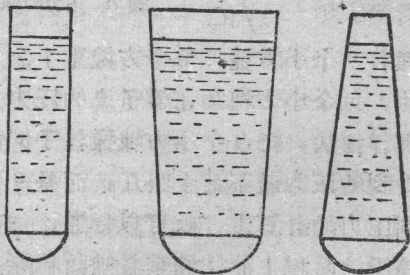


圖 5 形状不同的容器，在液面高度相同时，容器底部承受的压力总是一样的

压力大小是相同的。

第 4 节 液体压力的計算

前面已經講过，液面高度一样的同类液体，加在容器底部的压力是相等的，压力的大小只同液体深度和比重有关，同容器的形状没有关系。

那末，我們只要知道液体的深度同液体的重度，就可以进一步求出液体的压力了。打个比方來說，圖 6 的盤子上，

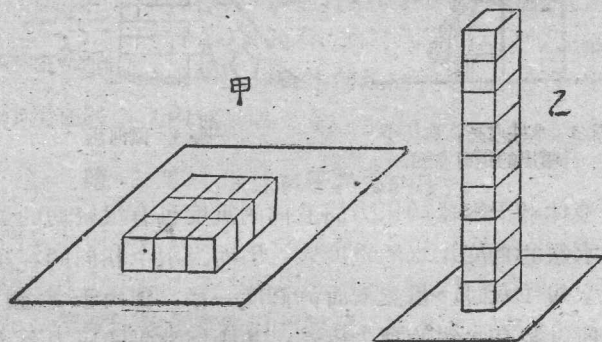


圖 6 压力的計算

摆着 9 个小方塊，每个方塊重 1 公斤。如果像圖 6 甲那样摆法，每个小方塊加在盤子上的压力是 1 公斤。如果像圖 6 乙那样摆法，把 9 个小方塊像柱子似的叠起来，这时方柱下面受到的压力就不是 1 公斤，而是 9 公斤了。把这个办法应用到压力的計算上，就可以知道，加在某一面积上液体的压力等于这面积上液柱的重量被面积除，而液柱的重量等于液柱的体积乘重度，液柱的体积又等于液体的面积乘高度。懂得了这种种关系，就可以列出下面的算式：

$$\begin{aligned}\text{液体的压力} &= \frac{\text{液柱的重量}}{\text{面积}} = \frac{\text{体积} \times \text{重度}}{\text{面积}} \\ &= \frac{\text{面积} \times \text{高度} \times \text{重度}}{\text{面积}} = \text{高度} \times \text{重度}.\end{aligned}$$

式中 液柱高度(h)的單位是公分;

面积的單位是平方公分;

体积的單位是立方公分;

重量的單位是克;

液体重度(γ)的單位是克/立方公分;

压力(P)的單位是克/平方公分或公斤/平方公分。

[例題]油罐中裝有重度 0.75 克/立方公分的汽油，汽油在油罐中的深度为 3 公尺，求罐底的压力。

[解]罐底的压力 $P = h \times \gamma$

$$= 300 \times 0.75 = 225 \text{ 克/平方公分}$$

$$= 0.225 \text{ 公斤/平方公分}.$$

第 5 节 流体靜力学的基本方程式

如果在靜止液面下有深度不同的甲乙兩点，甲点的深度是 5 公尺，乙点的深度是 2 公尺。在这种情况下，

甲点的压力 = 5 公尺 $\times$ 重度(克/立方公分);

乙点的压力 = 2 公尺 $\times$ 重度(克/立方公分)。

很明显，因为甲点比乙点深，所以甲点的压力比乙点大，而且压力的相差是同深度的相差成正比的，甲乙兩点的压力差 = (5 - 2) 公尺 $\times$ 比重。用公式表示就是：

$$P_1 - P_2 = (h_1 - h_2) \times \gamma.$$

式中：

P_1, P_2 ——甲乙兩点的压力，克/平方公分；

h_1, h_2 ——甲乙兩点液面的高度，公分；

γ ——液体的重度，克/立方公分。

用文字来表示就是：靜止液体中不同深度兩点的压力差，等于这兩点的深度差乘以液体的重度。这便是流体靜力学的基本方程式。

[例題]油罐中裝有重度为 0.82 克/立方公分的油，如果罐中兩点垂直距离相差 3 公尺，問这兩点的压力差多大？

[解]根据流体靜力学基本方程式：兩点压力差

= 兩点垂直距离 $\times$ 液体的重度

= 300 公分 $\times$ 0.82 克/立方公分

= 246 克/平方公分。

第 6 节 巴斯噶定律

如果我們把流体靜力学的基本方程式 $P_1 - P_2 = (h_1 - h_2) \times \gamma$ ，按代数方法移項，就得到了下面的等式：

$$P_1 = P_2 + (h_1 - h_2) \times \gamma.$$

在这个等式中，如果等号一边的数值增加了 n ，根据等量加等量其和必相等的原理，等号另一边的数值也要加上 n 。如果等号一边的数值乘上 n 倍，那末，根据等量乘等量其积必相等的原理，等号另一边的数值也必然会增大 n 倍。如果是相減或相除，也是同样地变化。

这就是說，当液体內任意一点的压力(例如 P_1)有任何数量上的改变时，液体內部所有其他各点上的压力(例如 P_2)也有同样的改变。这就是有名的巴斯噶定律。根据这个定律，就可以从理論上証实我們在第 2 节里曾談到的液体压力

傳送的規律是正确的：加在液体上的压力能够以同样的大小傳送到液体的各个方向。

水压机便是运用巴斯噶定律的原理制成的。如图7所示，水压机机体内有大小两个圆筒，筒内各装有活塞。

提起小活塞时，液体进入圆筒，压下小活塞时，圆筒下部的閥被关死，液体便經管道压送到大活塞，压力傳送到大活塞上，將大活塞推起。大活塞的横截面积

比小活塞大很多倍，根据巴斯噶定律的原理，作用在大活塞上的力也比作用在小活塞上的力大許多倍。在工業中，水压机常用来做机械上的压型、榨油、压書、棉花打包和举起重物等工作。

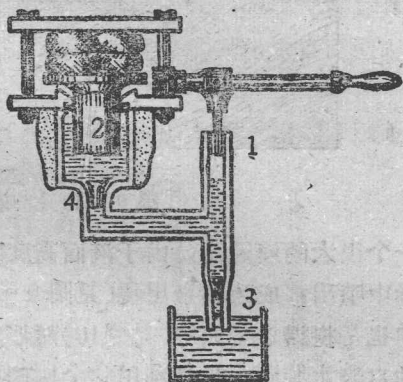


圖 7 水压机

1—小活塞；2—大活塞；3—小圓筒閥；
4—大圓筒閥。

第 7 节 連 通 器

連通器是兩個或几个底部互相連通的容器。在連通器中，如果只裝有一种液体，各个容器液面的高度始終是一致的，如图8所示。如果連通器各部分液面高度不相同，液体就要流动，一直流到平衡为止。



地球地壳內透水的砂岩層好像

圖 8 連通器

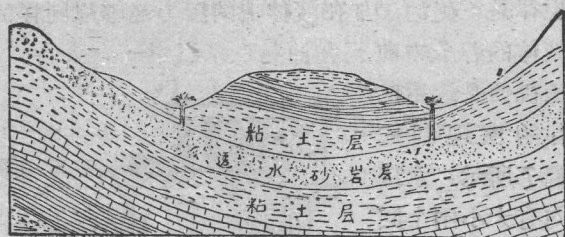


圖 9 地下水的流动

一个很大的連通器，由于液面高度不同，地下水就从地下裂缝中噴出，成为噴泉出現(見圖 9)，石油从油井中噴出，有的也是根据这个原理(見圖 10)而形成的。近代城市和工業区的自来水裝置，也是利用这个原理，將水用泵輸送到較高的水塔上，通过管綫，把整个供水系統組成像一個大的連通器而供水的。石油工業中油罐用的量油管和蒸汽鍋爐上的液面計，也都是根据連通器的原理設計的。如圖 11 所示，由于相同液体在連通器中总要保持一定的液面高度，所以通过量油管中液面的指示，就可以知道油罐中液面高度。

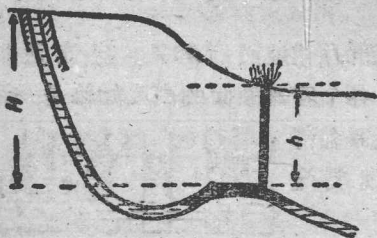


圖 10 石油从油井中噴出

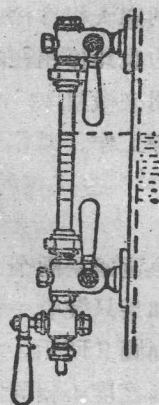


圖 11 計量油罐內液面高度的量油管

第 8 节 大气压力

地球的表面包圍着一層空气，叫做大气。因空气本身具有重量，所以空气也有压力。地球周圍因空气的重量所造成的压力叫做大气压力。

地球表面所承受的大气压力究竟有多大呢？我們可以通过下面的实验計算出来。如图 12 所示，在一根長約 1 公尺，一端封閉的玻璃管里裝滿水銀，然后用手堵住管口，把玻璃管的开口朝下立在水銀槽里，松开手指，玻璃管里的水銀就下降，下降到管子里的水銀面高出水銀槽的水銀面 760 公厘(76 公分)时，水銀就不再下降了。

从这个試驗里可以看出，玻璃管上端是密閉的，空气进不去，也就不会对管子里的水銀柱产生压力，因而只能是地球表面的大气压力，使管子里的水銀柱保持了 760 公厘的高度。換句話說，就是地球表面承受的大气压力相当于 760 公厘高的水銀柱压力。

如果把水銀柱換成水柱，因为水銀的重度比水的重度大 13.6 倍，就得把 760 公厘乘上 13.6，則水柱的高度是 10336 公厘，有 10.336 公尺高。因为 1 立方公分的水在 4°C 时重量

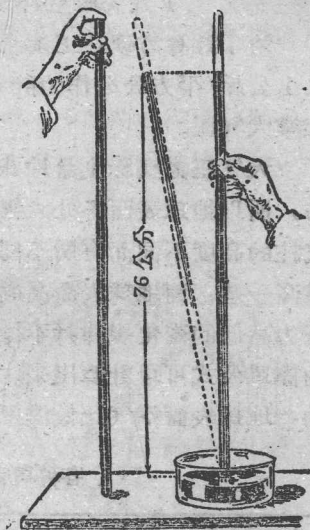


圖 12 大气压力的測定