



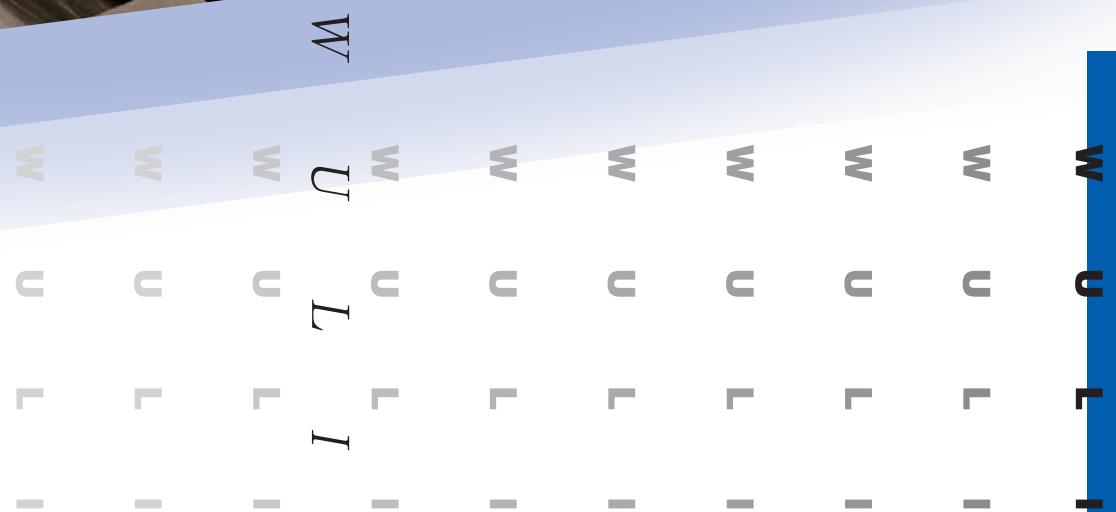
九年义务教育课本

物理

九年级 第一学期

(试用本)

上海教育出版社



九年义务教育课本

物 理

九年级第一学期
(试用本)



上海教育出版社



第六章 压力与压强

| | | |
|------|----------|----|
| 6.1 | 密度 | 4 |
| 6.2 | 压强 | 9 |
| 6.3 | 液体内部的压强 | 13 |
| 6.4 | 阿基米德原理 | 18 |
| *6.5 | 液体对压强的传递 | 23 |
| 6.6 | 大气压强 | 27 |
| *6.7 | 流体的压强和流速 | 33 |



第七章 电路

| | | |
|-----|---------|----|
| 7.1 | 电流 电压 | 40 |
| 7.2 | 欧姆定律 电阻 | 45 |
| 7.3 | 串联电路 | 50 |
| 7.4 | 并联电路 | 54 |

第六章 压力与压强

Pressure

- 6.1 密度
- 6.2 压强
- 6.3 液体内部的压强
- 6.4 阿基米德原理
- *6.5 液体对压强的传递
- 6.6 大气压强
- *6.7 流体的压强和流速

水库中，水在强大水压的作用下
从泄洪底孔中喷涌而出



海獭自由自在地浮
在海面上

借助滑雪板，滑雪者对雪地的压强变小，因而不会陷入雪地里



在我们的生活和生产中，压力和压强处处起着作用。从你每天背着的书包到巍然屹立的长江三峡大坝，从医院里的静脉输液到万吨水压机……所有这些都与压力和压强有关。古希腊的阿基米德发现了浮力原理，正是由于液体内部压强的存在才会产生浮力，浮力既能使海獭悠闲地浮在水面上，也能使巨轮航行于万顷碧波。17世纪中叶的马德堡半球实验，则让人们惊叹大气压强的存在。仔细观察周围的世界，你会发现压力和压强与我们的关系原来是这么密切！

6.1 密度

Density

为什么相同体积的水比油质量大，而冰比水质量小呢？

密度

我们知道，对于同一种物质来说，不论它的形状如何，只要体积相同，质量就相等。那么对于不同的物质，我们如何进行比较呢？平时我们常说水比空气重，或者说水的质量比空气的质量大。显然，这是将相同体积的水与空气相比较而言的。如果没有这一前提，就很难进行比较。例如，教室里空气的质量一般要比 10 大桶 20 升装饮用水的质量还大。因此，只有比较相同体积的不同物质的质量才有意义。

实验表明，通常情况下某种物质的质量与体积的比值是一个确定的值，这个值表示该种物质单位体积的质量，物理学中把它定义为该种物质的密度，即

$$\text{密度} = \frac{\text{质量}}{\text{体积}}。$$

物质的密度与物质的质量和体积大小均无关。对于不同的物质，密度通常是不同的。因此，密度表示了物质本身的一种特性。

如果用 ρ 表示密度， m 表示质量， V 表示体积，密度可表示为

$$\rho = \frac{m}{V},$$

式中质量 m 的单位是“千克”，体积 V 的单位是“米³”，密度 ρ 的单位就是“千克 / 米³”，读作“千克每立方米”。密度的常用单位还有“克 / 厘米³”，读作“克每立方厘米”。它们之间的换算关系是：

$$1 \text{ 千克 / 米}^3 = \frac{1}{1000} \text{ 克 / 厘米}^3 = 10^{-3} \text{ 克 / 厘米}^3;$$

$$1 \text{ 克 / 厘米}^3 = 1000 \text{ 千克 / 米}^3 = 10^3 \text{ 千克 / 米}^3.$$

不同的物质密度通常是不同的，所以我们可以用密度来区分不同的物质。

物质是由分子组成的，分子间存在间隙。如果分子的质量越大，分子的间隙越小，分子排列得越紧密，那么物质的密度就越大。所以，通常情况下气体的密度小于液体的密度，液体的密度小于固体的密度。例如，在常温常压下空气的密度是 1.29 千克 / 米³，水的密度是 1 000 千克 / 米³，铝的密度是 2 700 千克 / 米³。因此，一间体积 200 米³ 教室内空气的质量约为 258 千克，而 10 大桶 20 升装饮用水的质量为 200 千克。所以，教室里空气的质量一般要比 10 大桶 20 升装饮用水的质量还大。

一些常见物质在常温下的密度值

| 物质 | | | 密度值 | |
|-----------|-------|----|---------------------|---------------------|
| 固体 | 液体 | 气体 | 千克 / 米 ³ | 克 / 厘米 ³ |
| 金 | | | 19 300 | 19.30 |
| | 汞(水银) | | 13 600 | 13.60 |
| 铅 | | | 11 300 | 11.30 |
| 银 | | | 10 500 | 10.50 |
| 铜 | | | 8 900 | 8.90 |
| 钢铁 | | | 7 800 | 7.80 |
| 铝 | | | 2 700 | 2.70 |
| 花岗岩、玻璃 | | | 2 400~2 800 | 2.40~2.80 |
| 碎石混凝土 | | | 2 200 | 2.20 |
| 玻璃钢 | | | 1 600~1 900 | 1.60~1.90 |
| 碳纤维 | | | 1 800 | 1.80 |
| | 牛奶、海水 | | 1 030 | 1.03 |
| | 纯水 | | 1 000 | 1.00 |
| 石蜡、冰(0°C) | 植物油 | | 900~920 | 0.90~0.92 |
| 木材 | | | 400~900 | 0.40~0.90 |
| | 柴油 | | 850 | 0.85 |
| | 煤油、酒精 | | 800 | 0.80 |
| | 汽油 | | 700 | 0.70 |
| 软木 | | | 220~260 | 0.22~0.26 |
| 包装用硬质泡沫塑料 | | | 22~33 | 0.022~0.033 |
| | 二氧化碳 | | 1.98 | 0.001 98 |
| | 氧气 | | 1.43 | 0.001 43 |
| | 空气 | | 1.29 | 0.001 29 |
| | 氮气 | | 1.25 | 0.001 25 |
| | 天然气 | | 0.74 | 0.000 74 |
| | 氯气 | | 0.18 | 0.000 18 |
| | 氢气 | | 0.09 | 0.000 09 |

表中气体的密度值是在0°C和1标准大气压下测定的。

同一物质所处的状态不同，密度也会不同。例如氧气的密度为 1.43 千克 / 米³，降温加压后液态氧的密度为 1 140 千克 / 米³，约为常态时氧气密度的 800 倍。大部分物体都有热胀冷缩的特性，一定质量的物体温度升高时，体积变大，因而密度变小。但是，水在 4℃ 以下具有热缩冷胀的反常膨胀现象，所以水在 4℃ 时密度最大，为 1 000 千克 / 米³，而在其他温度时水的密度都要稍小些。

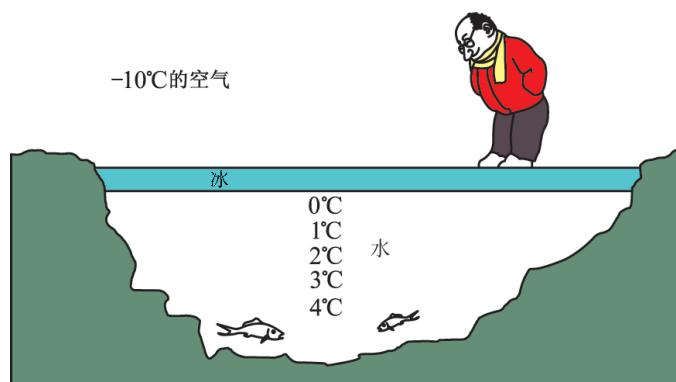


图 6-1-1 不同温度下水的密度不同

密度知识的应用

根据密度的定义，对于某个物体来说，在密度、体积和质量这三个物理量中，只要知道其中任意两个量，就能求出第三个量。这种方法在生活和生产技术中有着广泛的应用。

当密度已知（如可通过密度表查得），而物体的质量不易直接测量时，我们可以设法先测出或估测出它的体积，然后由 $m=\rho V$ 算出或估算出它的质量。例如在建造大坝等建筑物时，可以先根据大坝的规模估测所需混凝土的体积，查出混凝土的密度，便可估算出所需混凝土的质量；然后根据水泥在混凝土中所占的比例，便可估算出所需水泥的质量。

[例题 1] 通常情况下，一间卧室内空气的质量相当于以下哪个物体的质量？（ ）

- A. 一只鸡。 B. 一个成人。 C. 一张纸。 D. 一本书。

[分析] 先估测一般卧室的体积约为 $15 \text{ 米}^2 \times 3 \text{ 米} = 45 \text{ 米}^3$ ，近似取为 50 米^3 。再估算室内空气的质量：查密度表可知空气的密度约为 1.29 千克 / 米³，近似取为 1 千克 / 米³，故室内空气的质量约为

$$m = \rho V = 1 \text{ 千克 / 米}^3 \times 50 \text{ 米}^3 = 50 \text{ 千克。}$$

这相当于一个成人的质量。可见，只要记住了空气的密度约为 1 千克 / 米³，通过目测估测出室内的体积，就可很快估算出室内空气的质量。

[解答] B。

熟悉密度表中一些常见物质密度的大致数值，通过估测某些物体的体积，便可以很快估算出它们的质量。这是一种很有用的估测技巧。

当物体的质量和物质的密度已知，而体积较难测量时，可由关系式 $V = \frac{m}{\rho}$ 算出体积。

例如在运输一定质量的货物时，我们常常应用这个关系式估算出它的体积，以便准备恰当数量的运输设备来装载它们。

[例题2] 某加油站可存贮密度为700千克/米³的汽油50吨。某小型油罐车的容积为10米³,若用此油罐车来运输这些汽油,需运输多少次?

[解答] 该加油站可存贮汽油的体积为

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{50 \times 1000 \text{ 千克}}{700 \text{ 千克/米}^3} = 71.4 \text{ 米}^3,$$

$$\frac{71.4 \text{ 米}^3}{10 \text{ 米}^3} = 7.14, \text{ 所以用此油罐车需运输8次。}$$

应用密度知识还可以鉴别物质。例如,若不知某物体是由何种物质制成的,只要测出它的质量和体积,根据密度的公式 $\rho = \frac{m}{V}$ 便可算出它的密度,再与已知各种物质的密度进行比较,就大致可判断出它是什么物质了。用这种方法可鉴别矿石的种类或核实某些合金中所含不同金属的比例。

你知道吗?

自然界是由不同物质构成的,不同物质的密度往往差异极大。目前实验室能获得的超高真空中气体的密度仅为 10^{-17} 千克/米³。由几种物质组成的物体的质量与体积的比值叫做平均密度。太阳是一个炽热的高压气体球,它的平均密度为1.4克/厘米³。太阳系八大行星中地球的平均密度最大,约为5.5克/厘米³。目前宇宙中发现的密度最大的星体是中子星,它的平均密度约为 10^6 吨/厘米³,一颗蚕豆大小的中子星质量可达百万吨。

实验室内可获得的超高真空中的气体

单位:千克/米³

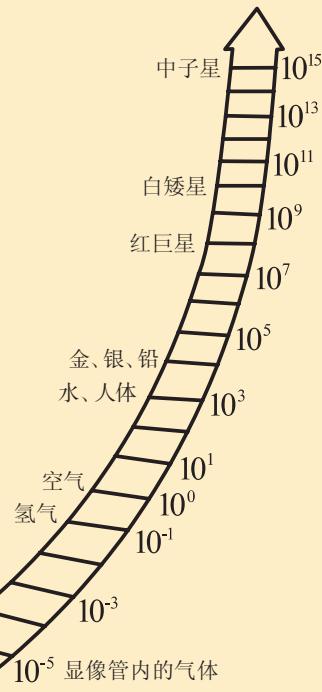


图 6-1-2

[例题3] 在实验室中,从勘探所得的矿石中提炼出380克某种金属,测得它的体积为50厘米³。试根据密度表判断这是什么金属?

[解答] 根据密度公式 $\rho = \frac{m}{V}$,可算出该金属的密度为

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0.38 \text{ 千克}}{5 \times 10^{-5} \text{ 米}^3} = 7.6 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3。$$

查密度表可知,铁的密度为 $7.8 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3$,与之最接近,由此可初步判断该金属是铁。

在制造业中常常需要应用密度知识,根据不同的用途来选择合适的材料。例如交通工具、航空器材中常采用高强度、低密度的合金材料或碳纤维、玻璃钢等复合材料;在产品包装中常采用密度很小的泡沫塑料作填充物,既轻又能防震。

思考与练习

1. 通常说“铁比木重”是指()
A. 铁的体积比木的体积小。
B. 铁受到的重力比木受到的重力大。
C. 铁的密度比木的密度大。
2. 完成下表:

| | ρ () | V () | m (克) |
|---|------------|---------|---------|
| 金 | 19.3 | | 19.3 |
| 铜 | | 10 | 89 |
| 铁 | 7.8 | 0.5 | |

3. 试估算教室里空气的质量。
4. 一只玻璃瓶的质量为0.5千克,装满水后质量为1.5千克。若用它来装煤油,则可装多少千克煤油?
5. 一只医用氧气瓶的容积为1.2米³,它可以装入密度为2.5千克/米³的压缩氧气多少千克?

6.2 压 强

Pressure

压力和压强

木块放在水平桌面上时，有一个垂直压在桌面上的力。书包放在倾斜的木板上，也有一个垂直压在木板上的力。这种垂直作用在物体表面并指向表面的力叫做压力，压力的方向总是垂直于受力面。我们可以从物体是否发生形变来判断物体是否受到压力，压力与形变是同时产生的。

木块放在海绵表面上会使海绵凹陷下去，车轮碾过泥地会留下深深的辙印。一切物体表面受到压力时，都会发生形变。但是，大小相同的压力所产生的形变效果却并不一定相同。例如用宽、窄不同的背带来背同样重的书包，背带对肩膀的压力是一样的，但压力使肩膀受力处下陷的程度却不同，人的感觉也大不一样。这表明压力产生的形变效果不仅跟压力的大小有关，还跟受力面积的大小有关。

你知道吗？

在人类登月之前，科学家通过观测研究发现，月球表面似乎遍布着粉末状的尘土。于是，设计着陆器时，在每个支脚底部都安装了一个面积较大的底盘（图 6-2-1）。这样，着陆器就不至于在可能很松软的月球表面上深陷下去。

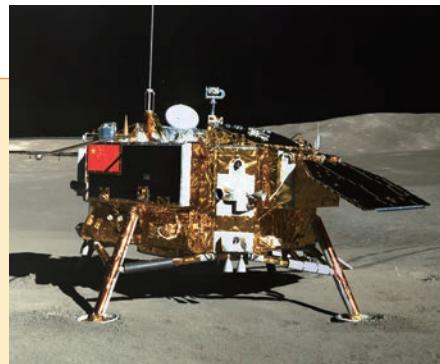


图 6-2-1 “嫦娥”四号着陆器

实验表明，当受力面积一定时，压力产生的形变效果随着压力的增大而增大。当压力增大时，单位面积上承受的压力随之增大，所以形变更大。当压力一定时，压力产生的形变效果随着受力面积的减小而增大。当受力面积减小时，单位面积上承受的压力即随之增大，所以形变更大。由此可见，压力产生的形变效果是由物体单位受力面积上的压力所决定的。

物理学上把物体单位面积上受到的压力叫做压强。因此，某个面上受到的压力跟该受力面面积的比值就等于该面受到的压强，即

$$\text{压强} = \frac{\text{压力}}{\text{受力面积}}。$$

如果用 p 表示压强， F 表示压力， S 表示受力面积，那么压强可表示为

$$p = \frac{F}{S}。$$

在 SI 制中，压强的单位是帕斯卡，简称帕，符号是 Pa。

$$1 \text{ 帕} = 1 \text{ 牛 / 米}^2。$$

一张报纸平整摊在水平桌面上，它对桌面的压强大约是1帕。由此可见，帕是一个很小的压强单位。

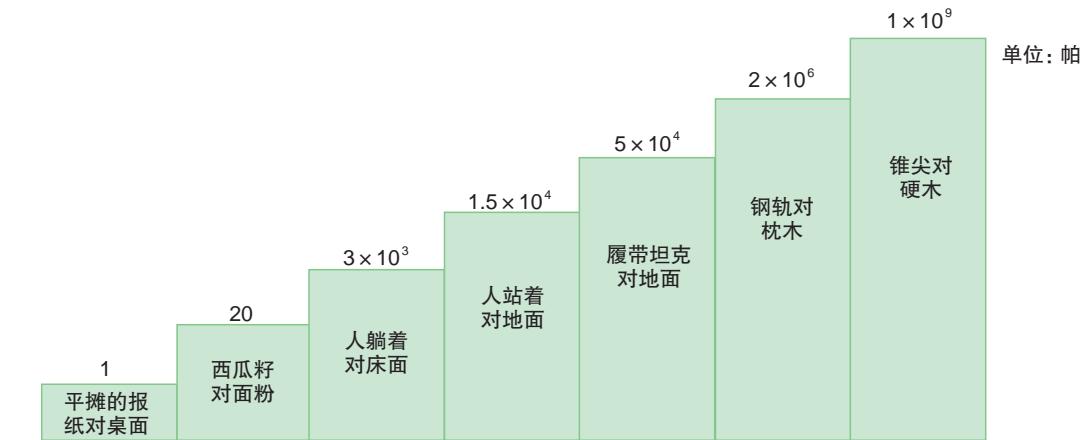


图 6-2-2 不同情况下的压强大小近似值

[例题 1] 一块豆腐放在水平板上，它对水平板的压强为 p 。现用刀将它竖直对半切开并取走半块后，剩下的半块对平板的压强为 p' 。甲同学说：“半块豆腐对平板的压力减小了一半，所以 $p' = \frac{1}{2} p$ 。”乙同学说：“半块豆腐的受力面积减小了一半，所以 $p' = 2p$ 。”请你判断一下，他们的说法对吗？

[解答] 根据压强的定义式可知，压强的大小等于物体单位受力面积上的压力，即压强不仅跟压力的大小有关，而且还跟受力面积的大小有关。

当长方体豆腐剩下半块时，虽然压力减小了一半，但同时受力面积也减小了一半，它们的比值，即单位受力面积上的压力并没有变化，所以压强是不变的。由此可见，在这两种情况下豆腐对水平板的压强是相同的 ($p' = p$)。所以，甲、乙两位同学的说法都不对。

改变压强的方法

在松软的雪地上行走，脚容易陷进雪地里。即使是干燥的硬泥路面，坦克履带同样也会轧出印痕来。

经验表明，所有材料能够承受的压强都有一定的限度，加在材料上的压强一旦超过这个限度，材料就会受到损坏。不同材料能够承受的最大压强值不同。



图 6-2-3 穿上雪鞋行走不容易陷入雪地里

几种材料能承受的最大压强值(单位: 帕)

| 实心黏土砖(MU10) | 混凝土(C30) | 花岗岩 | 工具钢(Cr12MoV) |
|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|
| 1×10^7 | 3×10^7 | 2.5×10^8 | 2.22×10^9 |

由压强的定义可知，减小压力或增大受力面积都可以减小压强。为了减小压强，避免材料表面受损，通常可采用增大受力面积的办法。例如，滑雪运动员脚蹬滑雪板或站在雪橇上，就不容易陷入雪中，可以在松软的雪地上纵横驰骋了。



图 6-2-4 运送重物的平板拖车通常装有几十个轮胎，这样可以防止轮胎被压爆



图 6-2-5 老虎、鳄鱼的犬牙像锥子一样尖锐，它们可以轻松地咬住猎物

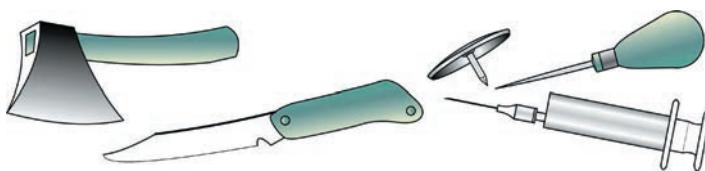


图 6-2-6 一些可以产生较大压强的工具

增大压力或减小受力面积都可以增大压强。为了增大压强，通常可采取减小受力面积的办法。例如，刀刃磨得锋利，锥子做得尖锐，可以减小接触面积，以便用较小的力就能产生很大的压强，易于割开或刺穿物体。

[例题 2] 一位质量为 70 千克的运动员背着 15 千克的装备在水平雪地上行进。假设他每只鞋底的面积为 0.03 米²，问：

- (1) 当他单脚着地和双脚着地时，对雪地的压强分别是多大？
- (2) 如右导图中，当他脚蹬滑雪板（每块滑雪板长约 1.5 米，宽约 12 厘米）在雪地上滑行时，不计滑雪板所受的重力，他对雪地的压强又为多大？

[解答] (1) 运动员单脚着地时，对雪地的压强为

$$p_1 = \frac{F}{S} = \frac{G}{S} = \frac{(m_1+m_2)g}{S} = \frac{(70+15) \text{ 千克} \times 9.8 \text{ 牛 / 千克}}{0.03 \text{ 米}^2} = 2.78 \times 10^4 \text{ 帕。}$$

无论运动员单脚还是双脚着地，他对雪地的压力 F 是相同的，但受力面积不同。双脚着地时受力面积是单脚着地时的 2 倍，所以压强就减小为原来的一半，即

$$p_2 = \frac{p_1}{2} = \frac{2.78 \times 10^4 \text{ 帕}}{2} = 1.39 \times 10^4 \text{ 帕。}$$

(2) 脚蹬滑雪板滑行时，受力面积为 $S' = 2 \times 1.5 \text{ 米} \times 0.12 \text{ 米} = 0.36 \text{ 米}^2$ ，即为单脚着地时受力面积的 12 倍。因此，此时他对雪地的压强应为 p_1 的 $\frac{1}{12}$ ，即

$$p_3 = \frac{p_1}{12} = \frac{2.78 \times 10^4 \text{ 帕}}{12} = 2.32 \times 10^3 \text{ 帕。}$$

你知道吗？

增大压强和减小压强的办法经常被同时应用在同一工具的不同部位上。例如锥子的尖端为了增大压强而刺穿物体，需要磨得很尖锐；而它的柄却很粗大，这是为了通过增大与手的接触面积来减小压强，避免手受伤。履带式雪地车以宽大的履带板增大了与雪地的接

触面积，从而减小了车子对雪地的压强，这样雪地车才不会陷入雪地；但履带板上又有突出的棱，这些棱能够增大对雪地的压强，这样雪地车前进时才不会打滑。又如滑冰鞋，脚与鞋的接触面积较大，因此脚受到的压强较小；而冰刀是以很窄的刀刃接触冰面，这样可以减小受力面积，增大压强，使刀刃楔入冰面而防止冰刀侧滑。



雪地车

图 6-2-7

思考与练习

1. 一块砖的长、宽、高分别为 20 厘米、10 厘米、5 厘米，重力为 20 牛。将它的某一面放在水平地面上，它对地面产生的压强最大值、最小值分别为多少？

2. 图钉帽的面积约为 1 厘米²，针尖面积约为 0.005 厘米²。当手指用 10 牛的力将图钉压进木块时，木块表面、手指表面承受的压强分别为多大？



图 6-2-8

3. 质量为 2 吨的大象，平均每一只脚的触地面积为 400 厘米²。某女士的质量为 50 千克，每只高跟鞋的触地面积都为 20 厘米²。试通过计算比较大象四脚着地和该女士单脚站在泥地上，谁会陷得更深些？

4. (1) 下表是某型号载重汽车的部分参数。若只考虑路面可承受的最大压强为 7×10^5 帕，则该汽车最多可以装运货物多少吨？

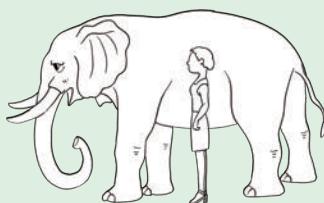


图 6-2-9

| | |
|--------------|---------------------|
| 自重 | 15 吨 |
| 车轮个数 | 12 个 |
| 每个车轮与地面的接触面积 | 0.04 米 ² |

(2)《中华人民共和国道路交通安全法》第四十八条规定：机动车载物应当符合核定的载质量，严禁超载。请结合所学的物理知识说明为何不能超载。

6.3 液体内部的压强

Pressure in liquids

液体内部压强的方向和大小



图 6-3-1 在盛水容器的同一深度处，位于不同方向的橡皮膜形变相同

液体没有一定的形状，而且具有流动性，所以液体内部的压强有其自己的特点，与固体产生的压强并不完全相同。例如水不只对盛水容器底部施加压强，而且对容器侧壁也施加压强，所以液体内部某处的压强指向上、下，左、右，前、后各个方向。因此，浸没在液体内的物体任何方向的表面所受的液体压强，总是与该物体表面相垂直。例如，潜水员所受水的压强与潜水服表面处处相垂直。实验证明，液体内部存在着向各个方向的压强，而且在同一深度处，各个方向上的压强相等（图 6-3-1）。例如，在游泳的时候，你会感到身体浸没在水中的部位受到了来自各个方向水的压强作用。实验又表明，液体内部的压强不受容器形状的影响；当液体深度相同时，它与液体所受的重力大小也无关。

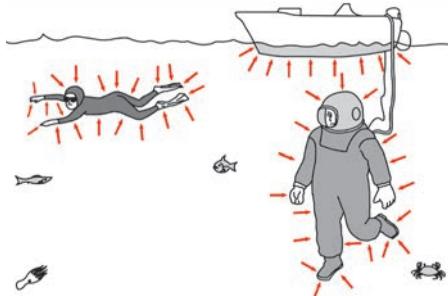


图 6-3-2

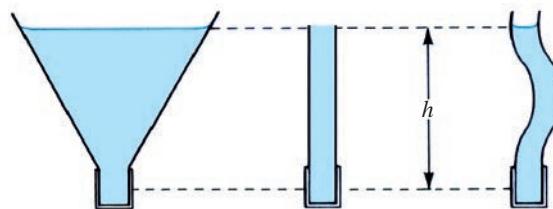


图 6-3-3 液体内部的压强不受容器形状的影响

潜水员为什么要穿上潜水服才能进入较深的水域中进行作业？这是因为液体内部存在由于液体所受重力而产生的压强。如图 6-3-4 所示，设想在距液面下 h 深处取一面积为 S 的水平液面，在该液面上方有一个体积为 Sh 的液柱，该液柱对此水平液面的压力 F 等于它所受的重力。如果液体的密度为 ρ ，则 $F=G=mg=\rho Vg=\rho gSh$ 。因此，该水平液面所受的液体压强大小为

$$p = \frac{F}{S} = \frac{\rho g Sh}{S} = \rho gh.$$

所以，在距液面 h 深处，由于液体所受重力而产生的压强大小为

$$p = \rho gh.$$



图 6-3-5 在盛水容器中，深度越大，开口处的橡皮膜形变越大

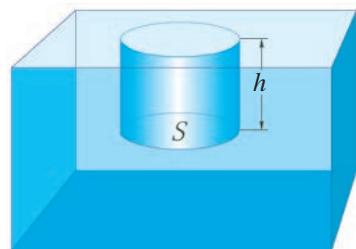


图 6-3-4

由此可见，液体内部的压强 p 取决于液体的密度 ρ 和液体内部的深度 h 。在同种液体内部，深度越大，该处液体压强也越大（图 6-3-5）；在不同液体内部同一深度处，密度大的液体压强大。

[例题] 假设三峡大坝水库的水深为 135 米, 试估算三峡大坝泄洪底孔处(章导图中所示)所受水的压强。

[解答] 泄洪底孔接近坝底, 距水库水面约为 135 米, 所以泄洪底孔处所受水的压强约为

$$p = \rho_{\text{水}}gh = 1 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克} \times 135 \text{ 米} = 1.32 \times 10^6 \text{ 帕。}$$

液体内部压强的规律在技术上有许多应用。例如水对堤坝下部的压强比上部大, 因此在设计堤坝时, 堤坝的下部应当比上部更为厚实。这样既能保证堤坝基部坚实, 又节省了材料。在潜水技术中, 潜水服和潜水器的形状和构造必须能承受水下深处很大的压强。为了探索深海的奥秘, 人们已研制出各种功能的深潜器, 其中最深的可潜至约 11 000 米深处的太平洋马里亚纳海沟的底部。我国首台自主设计和制造的作业型深海载人潜水器“蛟龙”号, 其动力系统、导航定位能力、水声通信、多种高性能作业工具等指标均处于国际先进水平, 下潜的最大深度可达 7 000 米。

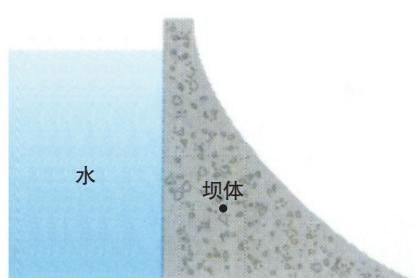


图 6-3-6 大坝

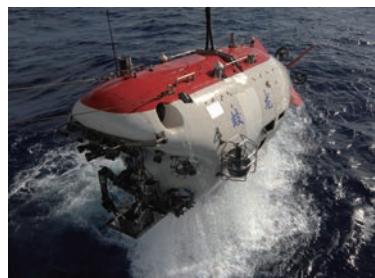


图 6-3-7 “蛟龙”号载人深潜器

人们发现, 在几百米的深海也存在着某些鱼类及生物。那里海水的压强约为海面处压强的几十倍, 这么大的压强, 鱼怎么没被海水压扁呢? 这是因为这些深海鱼类体内的压强与该处海水的压强是相等的。

你知道吗?

潜水方式有三种: 自由潜水、穿潜水服潜水和用深潜器潜水。三种潜水方式可达到的深度不同。其中穿潜水服潜水时主要靠压缩空气供给呼吸, 潜水员处在高压状态下作业, 一般不能在超过 50 米的深度下较长时间作业。当下潜和上浮过快时, 由于所受压强变化太快, 潜水员的血液循环会发生障碍而危及生命。而海洋动物对水压变化的适应能力比人要强得多。深潜器能承受深海巨大的水压, 舱中的人可以在常压下操纵机械手和摄像机对海底进行探测。

连通器

几个底部相通，上部开口或相通的容器组成了连通器，U形管是一种最简单的连通器。在U形管中注入液体，如图6-3-8所示，设想在U形管底部取一液片，假如两边管中的液面高度不同，液片两侧的压强就会不同。由于压力差，液片就会向压强小的一侧移动，直到两边管中的液面高度相同，液体才停止流动。因此，如果在连通器中注入同种液体，待液体静止后形状不同容器中的液面一定处于同一水平面上。

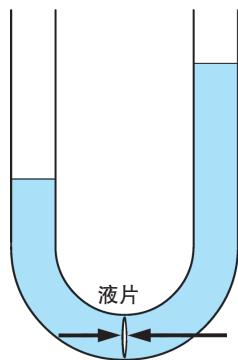


图 6-3-8 U形管

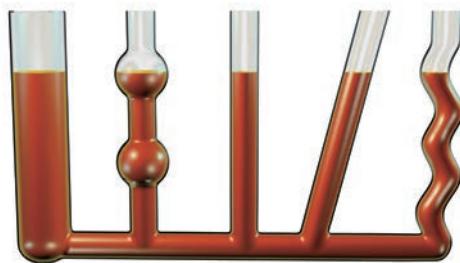


图 6-3-9 连通器

连通器现象在生活和生产中很普遍。由相连通的大江、湖泊、河流构成的水网，实际上就是一个天然的连通器。俗话讲“大河有水小河满”，当汛期来临时，大小河道中的水位都会全面上升，就是这个道理。在锅炉以及许多储液容器上都装有液位计，它的两端与容器上下部相连构成连通器，观察液位计中液面的高低，就可知道封闭容器中液面的高度了。水坝边上修筑的船闸（水闸）也是连通器应用的例子。

根据连通器原理制成的U形管压强计在实验室和生活中有着广泛应用。如图6-3-11(a)所示，如果U形管压强计的两臂都开口或压强相等，那么左右液面相平。如果两臂液面上方的压强不同，左右液面的高度就不同，如图6-3-11(b)所示。因此，根据液面的高度差就可知左右两液面上方的压强差，高度差越大，压强差也越大。最常见的血压计就是利用U形管压强计来测定人体血压的装置。



图 6-3-10 液位计

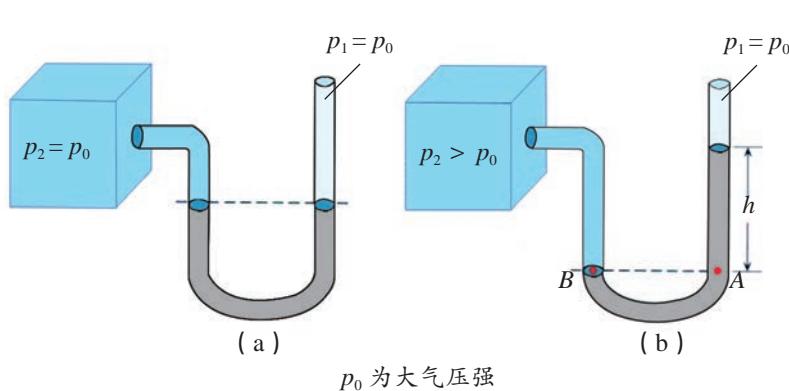


图 6-3-11 U形管压强计的工作原理



图 6-3-12 用血压计测血压

你知道吗？

人的内耳中有一个体平衡感受机构。两个充满液体的液囊与三个称为半规管的环形小管相连。半规管就是连通器，头部位置变化时，半规管中的液体就要流动以保持液面相平。这样就刺激了半规管中的敏感区域，通过神经向大脑发出信号。三个半规管互成角度，每一个都在“监视”着头部的运动。所以当你翻筋斗或运动时，大脑都能知道你身体位置的变化情况。

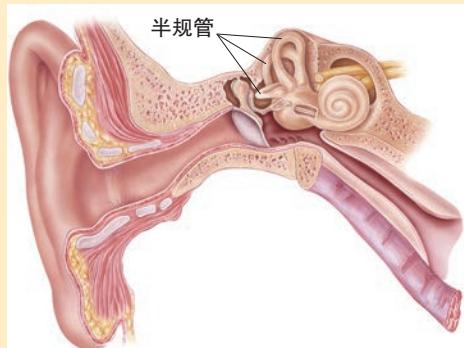


图 6-3-13 人耳中的连通器



船闸

建造水电站时要在河道中修筑大坝，使上游水库中的水位升高蓄水，利用上下游巨大的水位差发电。然而，为了保持水道航运畅通，必须在大坝边上再建一个船闸。船闸由上、下游闸门 A、B 和上、下游阀门组成。船从上游驶向下游时，先关闭两个闸门和下游阀门，仅打开上游阀门，闸室和上游水库构成连通器。水从上游水库流入闸室，闸室内的水位上升，当上升到与上游水库内的水位相平时，打开上游闸门 A，船就平稳地驶入闸室内[图 6-3-14 (a)]。然后，再关闭两个闸门和上游阀门，仅打开下游阀门，闸室又与下游河流构成连通器。水从闸室流向下游，闸室内的水位下降，当下降到与下游水位相平时，打开下游闸门 B，船就可以驶出船闸，向下游航行了[图 6-3-14 (b)]。想一想，当船从下游向上游航行时，应怎样开闭闸门呢？

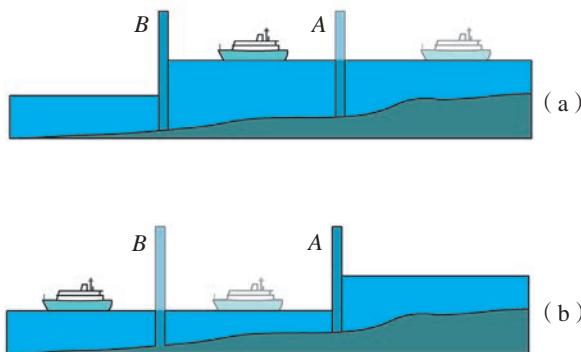


图 6-3-14 船通过船闸示意图



图 6-3-15 长江三峡的双线五级船闸

事实上，船闸都有好几级闸门，这样可分段构成连通器，从而保证闸内水位平稳地上升或下降。例如长江三峡就是双线五级船闸。它是世界上最大的船闸，全长6.4千米，其船闸主体长1.6千米，引航道4.8千米。每个闸室长280米，宽34米，单个闸室一次能通过一个万吨级船队或6艘3000吨级客轮。



三峡永久船闸实船试航成功

本报宜昌6月13日专电 今天上午11时55分，长江上最大的客轮长航集团“江渝15号”客轮驶出三峡永久船闸第一闸室进入上游的高峡平湖，三峡永久船闸首次试航获得成功。

今天三峡永久船闸首次实船试航工作水位上游为135.1米，流量2.2万立方米每秒，下游水位67.8米，上下游落差67.3米。

试航是从今天早晨8时30分开始的。“江渝15号”虽然没有装乘客，但在主甲板下的注水舱内装了几十吨水，相当于1000名乘客的体重，总重达到3376吨。9时10分，五闸室水位已经降到与

下游水位相同的67.8米，“江渝15号”客轮直接进入北线船闸第五闸室。随后，船闸管理人员关闭下闸门，输水系统充水抬高闸室水位，“江渝15号”随闸室水位上升而上升，25分钟后，当水位上升到85.4米与四闸室水位齐平时，5号闸门打开，船舶就好像爬过一级阶梯，轻松驶入上一级闸室。如此上升四级，历时3个小时25分钟，11时55分，“江渝15号”驶出北线船闸，进入高峡平湖。

重庆民生轮船公司的“民风号”大型集装箱船在“江渝15号”后面上行通过五级船闸。下午，这两艘轮船下行通过五级船闸。

据有关介绍，今天测试的一切工程正常，闸门运行工序、控制流程等指标符合要求。唯一的遗憾是几个闸门开启到位时有1分钟左右的间隔，原因是各小组操作上没有完全配合到位，但这不会影响16日的正式通航。

今年大江大河

据新华社北京6月13日电 今年入汛以来，我国局部地区发生洪涝灾害，但全国大江大河水势基本平稳，目前大江大河水位均在警戒水位以下。

截至6月10日，全国农作物洪涝受灾面积976千公顷，受

思考与练习

1. 如图6-3-16所示，连通器中盛有液体。下列说法中正确的是()

- A. P处的压强最大。
- B. Q处的压强最大。
- C. R处的压强最大。
- D. P、Q、R三处的压强相等。

2. 身穿潜水服、戴着头盔的潜水员在50米深的海水下作业，他所承受的海水压强约为多少帕？

3. 太平洋中最深的马里亚纳海沟深度约为11000米。如果有一个深潜器在海沟底部，求深潜器上面积为0.1米²的舷窗受到的海水压力。将此压力和一架质量为120吨的飞机所受的重力相比较，哪一个较大？

4. 假定一幢高楼底层水管中的水压为 4.0×10^5 帕，七楼水管中的水压为 2.0×10^5 帕，则该幢高楼每层的高度为多少米？

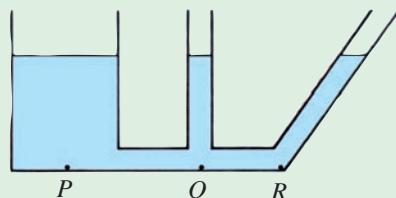


图6-3-16

6.4 阿基米德原理

Archimedes' principle

阿基米德原理

据说阿基米德在浴桶中洗澡时，他不仅找到了用溢水法测量王冠体积的办法，而且注意到：身体浸入水中越多，溢出的水越多（图 6-4-1），感到体重变得越轻。当你从游泳池的浅水区走向深水区时，你也会找到这种感觉。然而阿基米德能深入分析观察到的现象，他认为这是由于浸在水中的物体受到一个向上的浮力所致，这个向上的浮力部分平衡了物体受到的向下的重力。

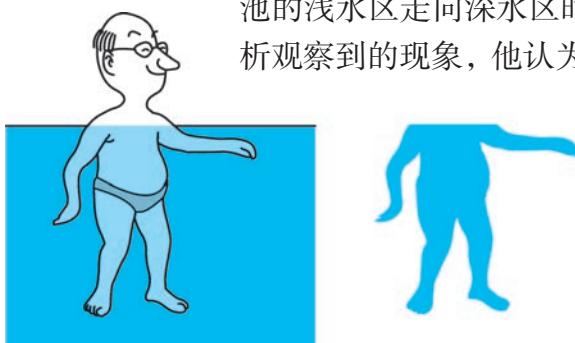


图 6-4-1 人体排开水的体积等于它浸没在水中部分的体积

阿基米德通过进一步实验，发现浮力的大小与溢出的水所受的重力之间存在着数量关系。他在《浮体论》一书中将这一规律总结为：当物体全部或部分浸在液体中时，它会受到向上的浮力，浮力的大小等于它所排开这部分液体所受的重力大小。这就是著名的阿基米德原理。

你知道吗？

相传曹冲称象的故事发生在距今 1800 多年前。一天，有人献给曹操一头大象。曹操想知道大象到底有多重，但当时没有能一次称量出如此巨型重物的大秤，许多人也想不出好办法。

此时，曹操的小儿子曹冲想出了一个妙法：先把大象牵到大船上，在水面处的船身上划一个记号（吃水线）；然后牵走大象，再往船上装石块，使船下沉到原记号处为止；最后只要分批称量出这些石块的总重，就可知大象有多重了。在科学的研究中，我们常使用曹冲称象这个故事中所用的“等效替代法”，来解决有时看似无法解决的问题。



图 6-4-2 曹冲称象

用 $F_{\text{浮}}$ 表示浸在液体中的物体受到的浮力，用 $G_{\text{排}}$ 表示它所排开的那部分液体所受的重力，则

$$F_{\text{浮}} = G_{\text{排}}$$

另一方面，如果用 $V_{\text{排}}$ 表示物体所排开的那部分液体的体积（显然，它就是物体浸没在液体中的那部分体积），用 $\rho_{\text{液}}$ 表示液体的密度，由于 $G_{\text{排}} = m_{\text{排}} g = \rho_{\text{液}} V_{\text{排}} g$ ，那么物体受到的浮力大小可表示为

$$F_{\text{浮}} = \rho_{\text{液}} V_{\text{排}} g$$

所以，物体在液体中受到的浮力大小仅取决于物体浸在液体中的那部分体积和液体的密度。上式中如果 $\rho_{\text{液}}$ 的单位为千克 / 米³, $V_{\text{排}}$ 的单位为米³, 那么 $F_{\text{浮}}$ 的单位就是牛。

阿基米德原理同样适用于空气中的物体受到的浮力问题。例如，热气球受到的浮力大小就等于它排开的空气所受的重力大小。



图 6-4-3 热气球

[例题 1] 一艘体积为 3 000 米³ 的潜艇，浮出海面的部分占全部体积的 $\frac{1}{5}$ ，求此时它受到的浮力大小。若潜艇全部潜入水中，它受到的浮力又为多大？

[解答] 潜艇浮出水面时，水下部分的体积为 $3\ 000 \text{ 米}^3 \times \frac{4}{5} = 2\ 400 \text{ 米}^3$ 。此时潜艇排开水的体积 $V_{\text{排}} = 2\ 400 \text{ 米}^3$ 。查密度表可知，海水的密度 $\rho_{\text{海水}} = 1\ 030 \text{ 千克/米}^3$ ，所以潜艇受到的浮力大小为

$$F_{\text{浮}} = \rho_{\text{海水}} V_{\text{排}} g = 1\ 030 \text{ 千克/米}^3 \times 2\ 400 \text{ 米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克} = 2.42 \times 10^7 \text{ 牛}。$$

若潜艇全部潜入水中， $V'_{\text{排}} = 3\ 000 \text{ 米}^3$ ，此时受到的浮力为

$$F'_{\text{浮}} = \rho_{\text{海水}} V'_{\text{排}} g = 1\ 030 \text{ 千克/米}^3 \times 3\ 000 \text{ 米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克} = 3.03 \times 10^7 \text{ 牛}。$$

[思考] 潜艇在深海潜航时受到的浮力大小，与它在浅海潜航时受到的浮力大小是否相等？为什么？

浮力产生的原因

阿基米德原理只说明了浮力大小所遵循的规律，并没有回答浮力是怎样产生的问题。现在利用液体内部压强的大小和方向的知识解释浮力产生的原因。

如图 6-4-4 所示，设想有一个浸没在液体中高为 h 、截面积为 S 的圆柱体，它的侧面受到的各个方向液体的压力相平衡；但上、下表面受到液体的压力并不能平衡，而且下表面受到液体向上的压力 F_2 比上表面受到液体向下的压力 F_1 大。这就是浸没在液体中的物体受到浮力的原因。

浸没在液体中的圆柱体上、下表面受到的压力差为

$$F_2 - F_1 = \rho_{\text{液}} g h_2 S - \rho_{\text{液}} g h_1 S = \rho_{\text{液}} g (h_2 - h_1) S = \rho_{\text{液}} g h S = \rho_{\text{液}} g V,$$

其中 h_1 、 h_2 分别表示圆柱体上、下表面距离液面的深度， V 表示圆柱体的体积。

而 $\rho_{\text{液}} V$ 就是圆柱形液柱的质量 $m_{\text{液}}$ ，所以， $F_2 - F_1 = m_{\text{液}} g$ 。显然，这个压力差就等于被圆柱体排开液体所受重力的大小。进一步的研究表明，对于浸没在液体中任何形状的物体，液体对它向上和向下的压力差就是它受到的浮力，而且浮力的方向总是竖直向上的。

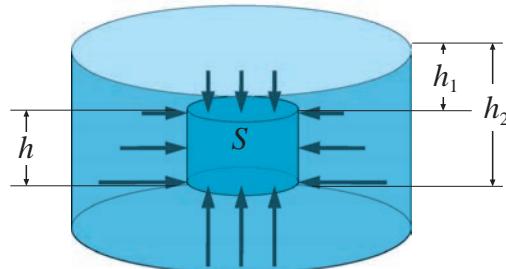


图 6-4-4



图 6-4-5 有“海上浮动油库”之称的超级油轮
重力。例如一艘排水量为 50 万吨的油轮，如果油轮自重为 6 万吨，那么它最多可装载 44 万吨的原油。

事实上，早在阿基米德之前，人类就建造了船。阿基米德原理的发现使人们更好地利用这一物理规律发展航运事业。人类文明的发展与科学理论之间的互动关系在这里得到了充分显现。

实验室和生产技术中广泛使用的液体密度计也是应用阿基米德原理的典型例子。液体密度计是一只下粗上细的玻璃管，在管中下端封有小铅粒作配重，使它能竖直浮在液体中。先将它放在各种已知密度的液体中，在与液面相平处的管壁上标出密度值；然后将它放在未知密度的液体中，于是就可在管壁上直接读出该液体的密度值了。由于密度计自身所受的重力大小一定，液体的密度越大，密度计排开的液体的体积就越小。所以，密度计的刻度值从上向下逐渐变大。液体密度计常用来测定啤酒、牛奶以及各种溶液的密度，从而判定其中的含水量。由于蓄电池充电前后其中硫酸的密度会发生变化，因此可以用液体密度计来判断蓄电池充电是否完成。

阿基米德原理的应用

根据二力平衡的条件，当物体全部或部分浸在液体中时，若物体受到的浮力大小等于它受到的重力大小，物体就会悬浮在液体中或漂浮在液面上，就像潜艇和轮船一样。巨大的轮船、潜艇、海上钻井平台和浮船坞都是用钢板焊接成的空心体，比起相同质量的实心钢材，它们能排开巨量的水，从而产生巨大的浮力来平衡船体和所载的货物所受的重力。

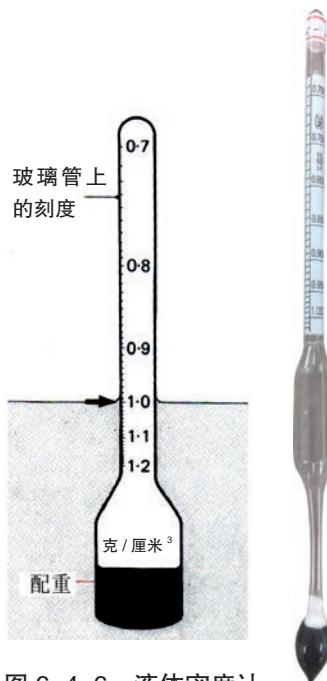


图 6-4-6 液体密度计

你知道吗？

为了航行安全，远洋轮船的船体上都标有国际航行载重线。船体标志的几条水平横线分别表示该船在不同水域及不同季节所允许的满载时的“吃水深度”。其中 F 表示轮船在淡水中航行时的“吃水线”；S 表示夏季轮船在海水 中航行时的“吃水线”；W 表示冬季轮船在海水中航行时 的“吃水线”。如果把船体想像成一个巨大的液体密度计，你就不难理解这几根吃水标志线为什么这样排列了。

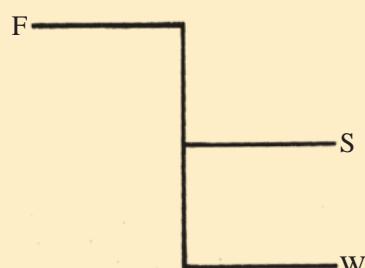


图 6-4-7 远洋轮船船体上的国际航行载重线

* 物体浮沉条件及应用

把木块和铁块浸没在水中，释放后发现木块会上浮，而铁块则下沉，这是为什么呢？

浸没在液体中的物体受到两个力的作用：一个是液体对物体向上的浮力，它的大小等于物体排开液体的重力；另一个是物体向下的重力。物体在液体中是上浮还是下沉，取决于它受到的浮力大小和重力大小哪个大。**如果浮力大于重力，物体上浮；如果浮力小于重力，物体下沉；如果浮力等于重力，物体悬浮**，这就是物体的浮沉条件。

物体的浮沉条件应用很广泛，例如潜艇就是靠改变自身重力实现下潜和上浮的。因为潜艇的两侧有水舱，水舱充入水后，艇重增大，重力大于浮力，潜艇就能下潜；当水舱中充入适量的水时，浮力与重力相等，潜艇就能悬浮在水中任何深度，进行水下航行；需要上浮时，用高压气体排出水舱中的水，艇重减小，浮力大于重力，潜艇便向上浮起。打捞沉船的一个办法是将灌满水的浮筒沉入水下，把它们拴在沉船上，然后用高压气体排出浮筒中的水，使沉船和浮筒所受的重力小于浮力，沉船便浮上来了。

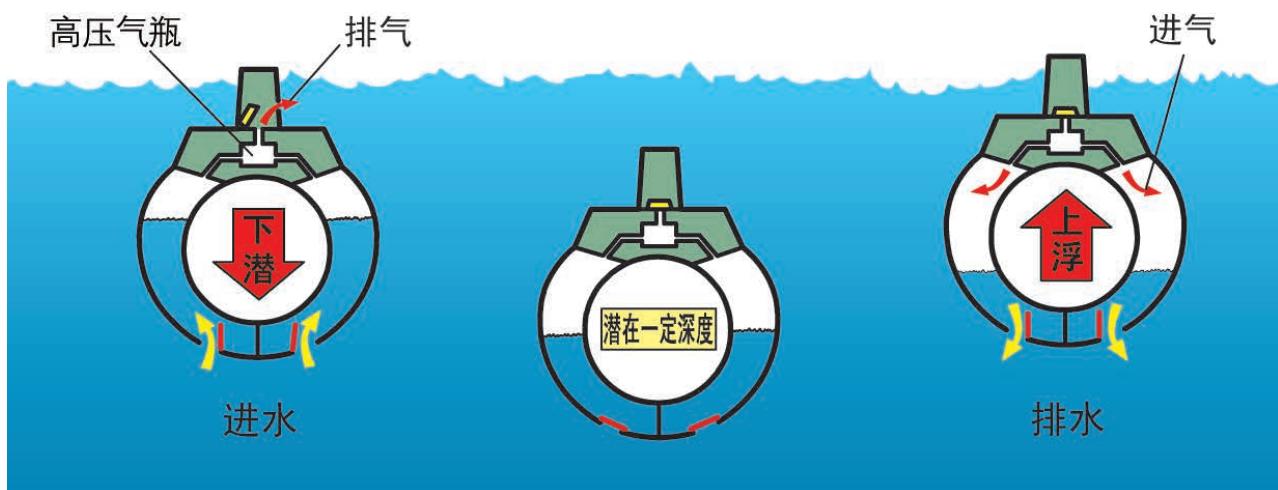


图 6-4-8 潜艇工作示意图

探空气球、热气球和飞艇等在空气中也会受到很大的浮力。探空气球中充的是氢气或氦气，热气球内是由燃烧器加热的热空气，飞艇中充的是氦气，这些气体的密度都比空气的密度小，所以它们受到的浮力都大于其所受的重力而升空。

[例题 2] 某氢气球的体积为 500 米³，质量为 200 千克，气球下拴着质量为 400 千克的仪器设备。假设地面附近空气的密度是 1.29 千克 / 米³，问这个气球能否升空？

[解答] 氢气球所受的浮力大小为

$$F_{\text{浮}} = \rho V_{\text{排}} g = 1.29 \text{ 千克 / 米}^3 \times 500 \text{ 米}^3 \times 9.8 \text{ 牛 / 千克} = 6321 \text{ 牛}.$$

气球和仪器设备所受的总重力为

$$G = (m+m')g = (200 \text{ 千克} + 400 \text{ 千克}) \times 9.8 \text{ 牛 / 千克} = 5880 \text{ 牛}.$$

因为 $F_{\text{浮}} > G$ ，所以这个气球能够升空。

思考与练习

1. 当你仰浮在水面上时，你的身体排开水的体积约为多少立方米？

2. 如图 6-4-9 所示，一块由松木板制成的边长为 4 米、厚为 0.3 米的正方形木筏浮在水面上，求它浸在水中的厚度 h 。已知松木的密度为 0.5×10^3 千克 / 米³。

3. 将一只体积为 45 厘米³、质量为 50 克的鸡蛋完全浸没在水中，求它受到的浮力。若往水中逐渐加入食盐，直到鸡蛋恰好悬浮在水中，求此时盐水的密度。

4. 冰山浮在海面上，水面上、下部分的体积分别为 V_1 和 V_2 。已知海水的密度为 1.03×10^3 千克 / 米³，冰的密度为 0.9×10^3 千克 / 米³。试计算冰山在水面以下部分的体积占其总体积的百分比。

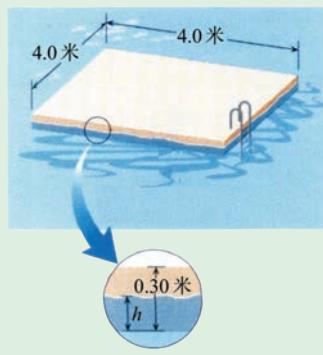


图 6-4-9

5. 如图 6-4-10 所示，一艘体积为 5 400 米³ 的飞艇，充以密度为 0.18 千克 / 米³ 的氦气后悬浮在空中。求飞艇和所载物件受到的总重力。要使飞艇降落，可采取什么方法？已知空气的密度为 1.29 千克 / 米³。

6. (1) 解释一下热气球为什么会上升；(2) 对“你知道吗？”中远洋轮船船体上的国际航行载重线的上下排列顺序，作出正确解释。



图 6-4-10

* 6.5 液体对压强的传递

Transmission of pressure in a fluid

在建筑工地上，挖掘机的驾驶员轻轻操纵按钮，庞大的工作臂便能稳稳地升高与下降，进行挖掘。大楼发生火灾时，消防车的控制器一打开，又高又重的云梯便会很快地竖起，消防员随即登上云梯用高压水枪灭火。

挖掘机中工作臂的移动和消防车云梯的升降，都需要很大的动力。这种巨大的力都是靠液体传递压强产生的，那么液体传递压强有什么规律呢？



图 6-5-1 挖掘机



图 6-5-2 消防车灭火

帕斯卡定律

帕斯卡球是一个壁上有许多小孔（小孔非常小）的空心球，球上连接一个圆筒，圆筒里有可以移动的活塞，如图 6-5-3 所示。在空心球和圆筒内灌满水，水不会从小孔流出；用力推动活塞，球内的水便会从各个小孔均匀喷出，如图 6-5-4 所示。这表明活塞向前推进时，对密闭的水产生的压强通过水向各个方向传递，并且压强的大小保持不变。

图 6-5-5 是一个充满液体的瓶子，当用力向下压瓶塞时，瓶塞对液体所产生的压强能通过密闭液体大小不变地沿各个方向传递到瓶壁

和瓶底上。

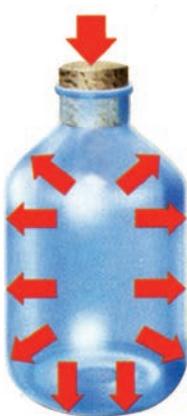


图 6-5-5

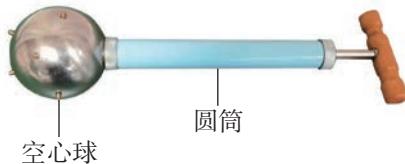


图 6-5-3 帕斯卡球

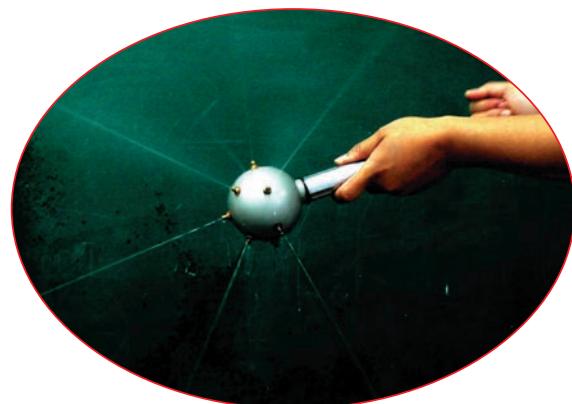


图 6-5-4 帕斯卡球实验

法国科学家帕斯卡经过反复研究后发现了液体传递压强的规律：加在密闭液体上的压强，能够大小不变地由液体向各个方向传递，这一规律叫做帕斯卡定律。



图 6-5-6 输油管道

有活塞的封闭管道中充以液体，这样的装置叫做液压系统。如果在液压系统的小活塞上作用较小的力，该力对液体产生的压强，由液体大小不变地向各个方向传递。由于大活塞的面积比小活塞的面积大很多，于是液体就对大活塞产生较大的压力，这种利用液体来传递动力的方式叫做液压传动。

帕斯卡定律的应用 液压传动

在寒冷地区长距离的输油管道中（见图 6-5-6），原油会变得非常黏稠而不易流动。为此每隔一段距离需进行升温、加压，其中的加压装置，也是利用了帕斯卡定律。

帕斯卡定律在生产技术中最典型的应用是液压传动。如图 6-5-7 所示，在两端装



图 6-5-7 液压传动原理示意图

[例题] 图 6-5-8 为汽车的液压刹车系统示意图， S_1 和 S_2 是液压系统中的两个活塞，面积分别为 $S_1=5 \text{ 厘米}^2$ 、 $S_2=20 \text{ 厘米}^2$ 。

(1) 试解释汽车液压刹车系统的刹车原理。

(2) 若驾驶员踩下刹车踏板后，加在小活塞 S_1 上的力为 $F_1=500 \text{ 牛}$ ，则每个刹车片对制动盘产生的压力为多大？

[解答] (1) 当驾驶员踩下刹车踏板，根据帕斯卡定律，作用在小活塞 S_1 上的力产生的压强，由密闭液体大小不变地进行传递，所以在大活塞 S_2 上产生一个很大的压力，通过刹车片使制动盘停止转动。

(2) 小活塞 S_1 上的外加压强为

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1} = \frac{500 \text{ 牛}}{5 \times 10^{-4} \text{ 米}^2} = 1 \times 10^6 \text{ 帕。}$$

根据帕斯卡定律，大活塞 S_2 上的压强为 $p_2=p_1=1 \times 10^6 \text{ 帕}$ 。

大活塞 S_2 上产生的压力大小为

$$F_2=p_2 S_2=1 \times 10^6 \text{ 帕} \times 20 \times 10^{-4} \text{ 米}^2=2 \times 10^3 \text{ 牛。}$$

所以每个刹车片对制动盘产生的压力均为 $2 \times 10^3 \text{ 牛}$ 。

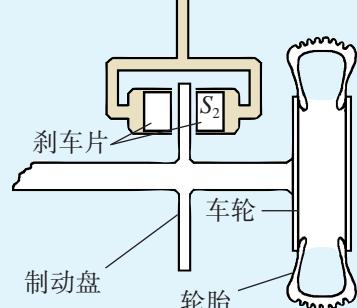
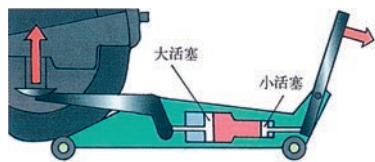
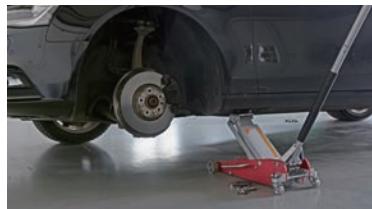


图 6-5-8
汽车的液压刹车系
统示意图

液压千斤顶，大型液压机，汽车制动系统，现代大型船舶中的操纵舵机、起重设备的控制、起锚机等都利用了液压传动。本节开始提到的挖掘机和消防车的控制也都利用了液压传动。



液压千斤顶的小活塞与杠杆相连，因此，只要对杠杆施加较小的作用力，就可以顶起一辆小汽车

图 6-5-9 液压千斤顶

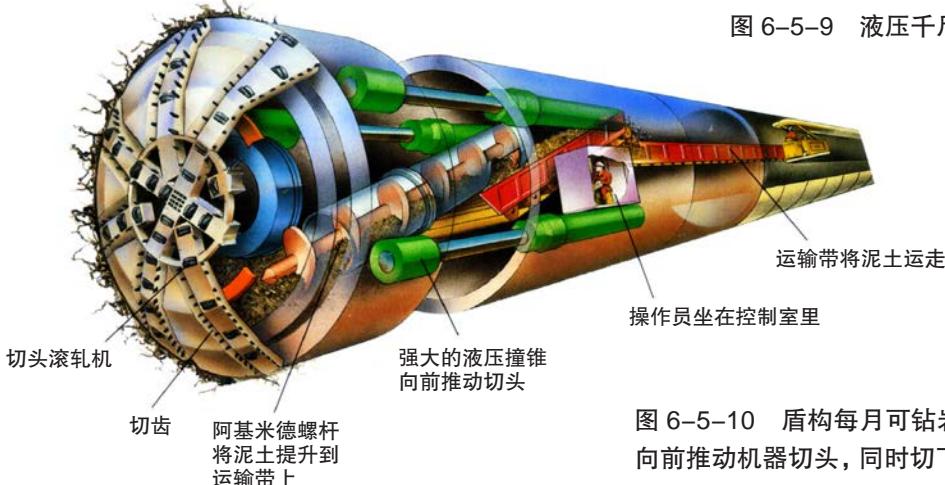


图 6-5-10 盾构每月可钻岩石 1 千米，强大的液压撞锤向前推动机器切头，同时切下岩石

你知道吗？

液压传动具有工作平稳、噪声低、机动灵活及传递动力大等优点。某些生物体内也存在许多利用液压传动的功能，例如我国南方的猪笼草、含羞草，它们的花瓣、枝叶就是由液压传动来完成开合等动作的。蜘蛛的脚内有一种特殊的体液，它能灵活地改变体液的压强，从而快速、准确地控制脚部动作。受到蜘蛛等昆虫的启发，科学家制造出了“仿生机器人”。



图 6-5-11 蜘蛛



图 6-5-12 仿生机器人

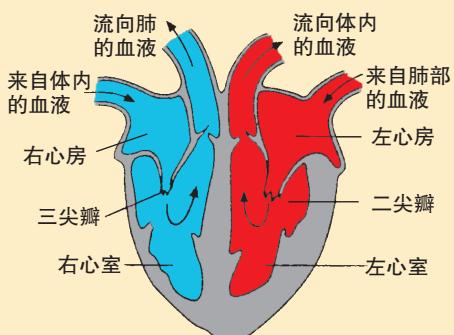


图 6-5-13 心脏的工作原理示意图

人和动物的心脏，是一个跳动不止的肌肉泵。它就是利用液压传动的原理，将血液输送到全身，从而实现血液循环和新陈代谢。如图 6-5-13 所示，左、右心房肌肉收缩时，心室肌肉舒张，血液由左心房压入左心室、右心房流入右心室。左、右心室肌肉收缩时，心房肌肉舒张，右心室的血液流向肺部，获得氧气，左心室的血液则流向人体各部分进行新陈代谢。

思考与练习

1. 根据图 6-5-14 汽车的液压刹车系统示意图，简要说明挖掘机中撑杆的液压传动工作原理。

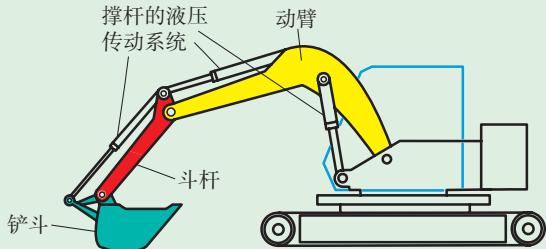


图 6-5-14

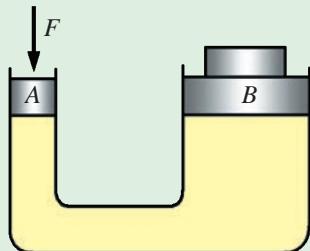


图 6-5-15

2. 如图 6-5-15 所示，活塞 A、B 的面积分别为 $S_A = 0.01 \text{ 米}^2$ 、 $S_B = 0.2 \text{ 米}^2$ 。若 10 牛的力作用在活塞 A 上，问活塞 B 能举起多重的物体？(活塞本身重力不计)

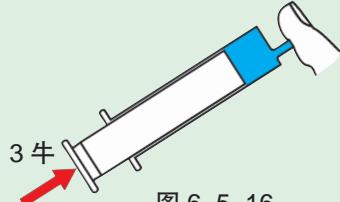


图 6-5-16



图 6-5-17

4. 上海音乐厅是上海现有为数不多的具有西方古典风格的建筑。由于城市发展，需要将重达 5 650 吨的音乐厅平移 66 米。工程中要用 59 台大型液压千斤顶在计算机的控制下，以每分钟 2 毫米的速度将音乐厅顶高 1.7 米，然后再平移。假设每台千斤顶承受重物的活塞面积为 1 米²，求每台液压千斤顶中的液体所传递的压强大小。

6.6 大气压强

Atmospheric pressure

大气压强的存在

我们的地球被一层厚度约为80~100千米的大气层包围着。如果把地球设想成一只苹果大小，那么苹果皮就相当于大气层。同海水和一切其他物体一样，大气也受到地球的引力作用，因此这层大气不会逃逸到宇宙中去。如果把空气比作海洋，我们就生活在这层海洋的底部。我们周围每立方米空气质量约为1千克，由于大气也受到重力作用，大气会对处于其中的物体产生压强，我们称它为大气压强。

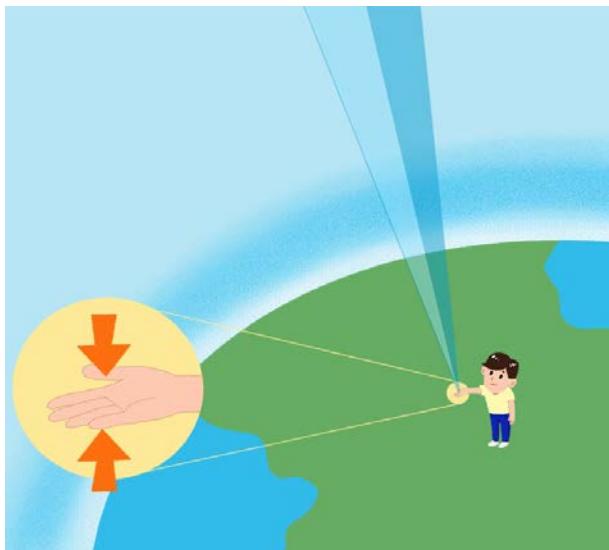


图 6-6-2 手掌受到约 1 000 牛的大气压力

地球表面物体受到的大气压强很大。伸出手掌，你能想像你的手掌大约会受到 1 000 牛的大气压力吗？你的手掌怎么能支撑得住如此大向下的大气压力呢？这是因为空气“海洋”内的压强和液体内部的压强一样，也是指向各个方向的，并且在同一深度处大小相等。所以，你的手背也受到一个方向向上、大小相等的大气压力。作用在你手

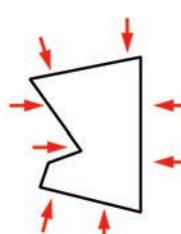
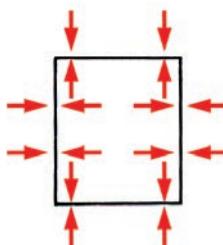


图 6-6-1 将地球比作一只苹果，大气层的厚度仅相当于苹果皮的厚度



图 6-6-3 人体并没有被大气压强压瘪

上的向下和向上的大气压力相平衡（图 6-6-2）。你的身体怎么没有被四面八方巨大的大气压力压瘪呢？就像海底的鱼儿不会被海水的巨大压强压瘪一样，这是因为你体内也存在着压强，这种体内压强正好与大气压强相平衡（图 6-6-3）。



气体抽出前

气体抽出后

图 6-6-4 桶内的气体被抽出前后的情形

1654年，德国马德堡市的市长公开演示了一个令人惊讶的实验，用有趣的方式让更多的人确信了大气压强的存在：他制作了两个直径约为36厘米的空心铜半球，密合后抽去里面的空气。于是市民们看到，这两个铜半球结合得如此紧密，居然要用16匹骏马向两边使劲拉才能将它们分开。但是如果抽去两个密合铜半球内的空气，只需用手轻轻一拉就能将它们分开。这就是著名的马德堡半球实验。现在，我们可以通过许多有趣的实验来证明大气压强的存在。

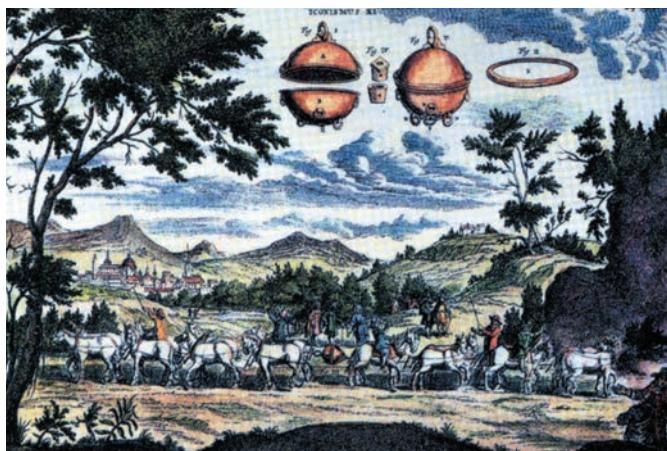


图 6-6-5 马德堡半球实验

大气压强的测定

大气压强究竟有多大呢？1644年，意大利科学家托里拆利首先用实验测定了大气压强的值。他在一根一端封闭、长度约为1米的直玻璃管中灌满水银，然后用手指堵住管口，将玻璃管竖直倒插在水银槽中，再松开手指。此时水银柱会下降，但是托里拆利发现，当水银柱下降到管内外水银面高度差约为76厘米时就不再下降了。他由此判定，大气压强的值可以用它能支撑住76厘米高的水银柱这一事实来表示。

设想在管内取一与管外水银面相平的液面。由于同一水平面的液面处压强大小相等，而管外水银面上方是空气，所以该液面下方受到的压强大小等于大气压强，方向向上。另一方面，该液面上方是76厘米高的水银柱，水银柱上方又是真空的。因为该液面此时静止不动，所以它受到的上下方向的压力相平衡，而液面上、下面的面积相等，故此大气压强在数值上恰好等于76厘米高的水银柱产生的压强。根据液体内部的压强公式，可得大气压强的值

$$p_0 = \rho_{\text{水银}} gh = 13.6 \times 10^3 \text{ 千克} / \text{米}^3 \times 9.8 \text{ 牛} / \text{千克} \times 0.76 \text{ 米} \approx 1.01 \times 10^5 \text{ 帕}。$$

通常把相当于760毫米水银柱所产生的压强值叫做1标准大气压。1标准大气压也可近似取为 1×10^5 帕，即在每平方厘米面积上承受10牛的压力，这约相当于一头质量为200千克的猪，四脚站立时对地面产生的压强。

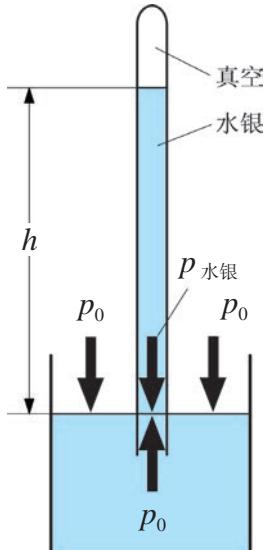


图 6-6-6 托里拆利实验的原理

[例题1] 能否用水代替水银来做托里拆利实验？为什么？

[解答] 如果用米来做托里拆利实验，设大气压强能支持 h 米高的水柱。此时，因为 $p = \rho_{\text{水}}gh = 1.01 \times 10^5$ 帕，所以

$$h = \frac{p}{\rho_{\text{水}}g} = \frac{1.01 \times 10^5 \text{ 帕}}{1000 \text{ 千克/米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克}} \approx 10.31 \text{ 米。}$$

即大气压强能支持10.31米高的水柱。这就需要用一根比10米还要长的玻璃管来做实验，显然这是有困难的。

[例题2] 游泳池最深处为5米，池底所受的压强为多少标准大气压？

[解答] 池底所受的总压强 p 等于大气压强 p_0 与5米高的水柱产生的压强之和，即

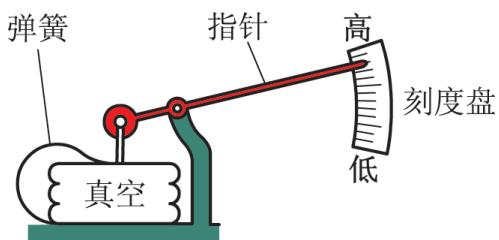
$$\begin{aligned} p &= p_0 + \rho_{\text{水}}gh = 1.01 \times 10^5 \text{ 帕} + 1000 \text{ 千克/米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克} \times 5 \text{ 米} \\ &= 1.5 \times 10^5 \text{ 帕} \approx 1.49 \text{ 标准大气压。} \end{aligned}$$

此题也可用以下方法来估算：根据例题1可知，1标准大气压相当于水下约10米深处水产生的压强，因此5米深处的池水所产生的压强约为0.5标准大气压，所以池底所受的总压强约等于1.5标准大气压。

大气压强可用气压计来测量。常用的气压计有两种：(1)根据托里拆利实验制成的水银气压计，这是一种精密的气压计，常用在实验室中。(2)无液气压计，用它可直接读出大气压强的值。它的内部有一个抽成真空的薄金属盒，靠弹簧支撑而不致被压扁。大气压强的变化会引起盒厚度的微小形变，然后通过杠杆放大后显示出来。



(a) 实物图



(b) 原理图

图6-6-7 水银气压计

图6-6-8 无液气压计

大气压强的变化和利用

大气压强的大小与海拔高度有关，海拔高度越高，空气越稀薄，大气压强就越小。测量结果表明：海平面附近的大气压强约等于1标准大气压；海拔5~6千米处的大气压强只有0.5标准大气压；海拔8千米处的大气压强只有约0.3标准大气压。根据这一规律，无液气压计经重新标度后可直接显示海拔高度，此时称为高度计。例如，热气球上常用这种高度计来显示热气球上升的高度。

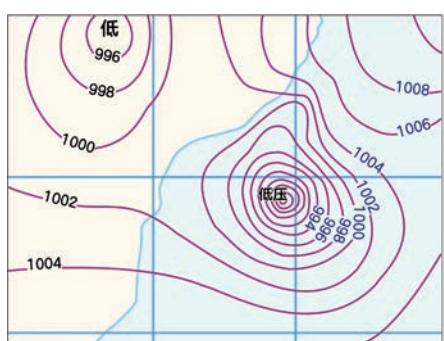


图 6-6-10 等气压线

除了高度，空气的温度和湿度也会影响大气压强的大小。气象站用气压计自动记录不同地点的大气压，并将收集到的数据绘成等气压线，如图6-6-10所示。空气从高气压处向低气压处运动就形成了风，分析气压的变化可以判断大气环流的方向，预报台风等气象情况。

大气压强还有许多方面与日常生活和技术密切相关。例如平时我们用吸管吸饮料的过程，实际上是大气压强把饮料通过吸管压出来的过程。利用大气压强的关键是产生比大气压强低的区域，依靠大气压强和这些区域之间的压强差来工作。离心式水泵和抽水机、吸尘器和扫街机、脱排油烟机、各种真空吸盘，乃至中国传统医疗中的拔火罐都是依据这一原理工作的。

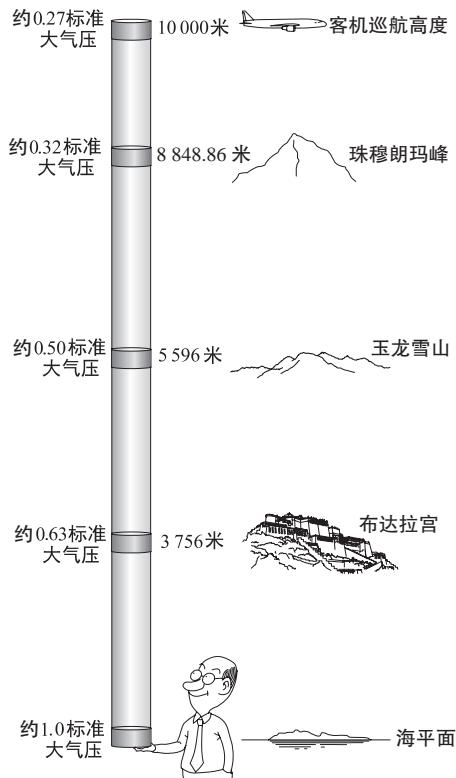
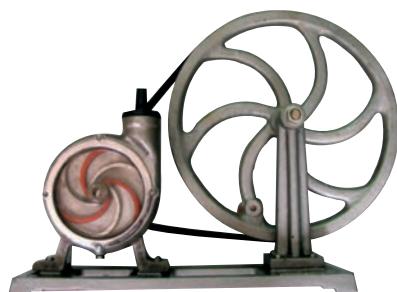


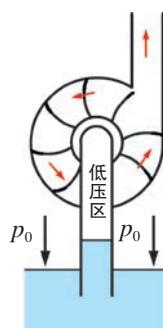
图 6-6-9 从海平面到高空的压强变化



图 6-6-11 用吸管吸饮料



(a) 模型图



(b) 原理图

图 6-6-12 离心式水泵



图 6-6-13 拔火罐

你知道吗？

人体内部的压强与大气压强相平衡，所以我们感觉不到大气压强的存在。一旦大气压强发生较明显的变化，人体就会产生生理反应。例如在秋高气爽的日子里或在低海拔处，气压较高，空气中的氧气能较顺利地通过肺泡渗入动脉血液中，人就会感到呼吸顺畅。而在闷热潮湿的日子里或高海拔处，气压较低，氧气就不易进入血液，人就会因缺氧而感到胸闷气急。

但是并非气压越高对人体越有利。在深水中作业的潜水员必须供给与水下压强相等的压缩空气，在高气压下，空气中的氮气、氦气会渗透溶进血液。如果潜水员很快上浮，会由于体外气压骤降，使原先溶入血液中的气体变成气泡，阻塞血管，甚至危及生命。因此，在深水中长时间工作的潜水员必须在加压舱中通过缓慢减压，使溶入血液中的氮气、氦气通过循环系统慢慢排出体外。

* 虹吸现象

在日常生活中，人们常常用一根弯曲的软管给鱼缸换水，汽车司机也利用类似的软管从油桶中吸出汽油或柴油。这种在大气压强的作用下液体从液面较高的容器中通过弯管越过高处而流入液面较低容器的现象叫做虹吸现象。

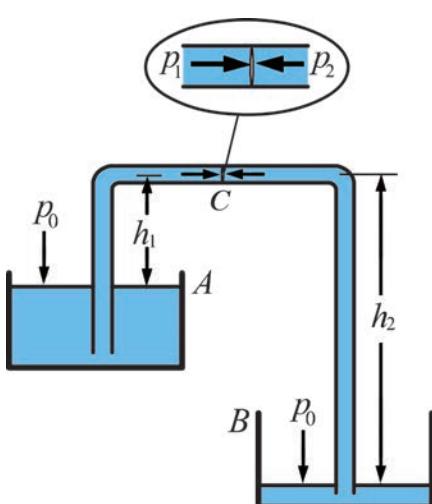


图 6-6-15

虹吸现象是水先上后下的自行流动，并不需要动力。由于大气压强能支持的水柱高度约为 10 米，因此从理论上讲，虹吸管能跨越 10 米左右的高度将水向外引流，所以农业上常利用虹吸现象进行农田灌溉。我国黄河流域及其他一些地区的河床高于地面，因此就常利用虹吸现象进行水利灌溉。

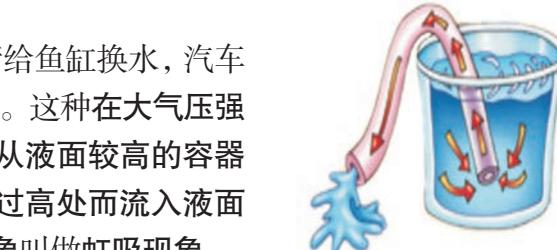


图 6-6-14 虹吸现象

如图 6-6-15 所示，盛水容器 A、B 放在不同高度处，一根弯管灌满水后倒插在两容器中，A、B 两容器内的水面离弯管顶端的高度分别为 h_1 和 h_2 。在弯管顶部取一竖直小液片 c，小液片 c 左、右两边受到的压强分别为 p_1 、 p_2 ；根据托里拆利实验的原理，则有 $p_1 = p_0 - \rho_{\text{水}}gh_1$ ， $p_2 = p_0 - \rho_{\text{水}}gh_2$ 。由于 $h_1 < h_2$ ，所以 $p_1 > p_2$ ，因此小液片 c 左边的压力大于右边的压力，于是小液片就向右运动。这样，整个管内的水自动地从高处容器 A 沿着弯管流向低处容器 B。



图 6-6-16 果农采用虹吸方式浇灌樱桃园

利用虹吸现象给鱼缸换水也极为方便和节水，将软管的一端插到鱼缸底部，从另一端吸出管内空气并堵住，然后让该端开口向下并置于低于缸底处，放开端口，鱼缸底部的水及杂物就会自动通过软管抽出。生产生活中，在很难从一些固定或很大的容器中倒出液体时，人们也常采用类似方法让液体自动流出，例如从大油桶中取油。



图 6-6-17 利用虹吸管为鱼缸换水

思考与练习

1. 画出托里拆利用来测量大气压强的水银气压计的简图，在图上标出水银柱高，并回答以下问题：
 - (1) 如果将玻璃管直径加粗，管中水银柱的高度怎样变化？为什么？
 - (2) 如果将玻璃管倾斜，管中水银柱的竖直高度怎样变化？为什么？
 - (3) 如果有少量空气泡进入玻璃管内，管中水银柱的高度怎样变化？为什么？
 - (4) 如果在水银槽上盖上密封盖，并用抽气机把槽内的空气抽去，管中水银柱的高度怎样变化？为什么？
2. 至少用多大压强的气体才能在一个 3 米深的游泳池底部把气球吹大？
3. 研究以下日常生活中利用大气压强的实例，在简图帮助下用简要的文字说明大气压强的作用。
 - (1) 吸盘挂钩；
 - (2) 吸尘器；
 - (3) 用吸管吸瓶中的饮料。

* 6.7 流体的压强和流速

Pressure and speed of fluid

我们已经学习了静止液体内部压强和大气压强的一些规律,那么,流动着的液体或气体——流体的压强大小有什么规律呢?

流体的压强和流速

液体或气体在流动过程中,在不同截面处流速大小通常是不相同的,相应的压强大小也是不同的。

在图 6-7-1 所示实验中,水从横截面积较大的玻璃管流向横截面积较小的玻璃管,由于同一管中不同截面处水的流量是相同的,因此玻璃管横截面积较大处水的流速小,横截面积较小处水的流速大。实验装置中,竖直细管与水平管相通,竖直细管中液面的高低显示了水平管中液体压强的大小。从图中可以看到,横截面积较大处竖直细管中的液面比横截面积较小处竖直细管中的液面高,这表明流体的压强与流速有关,在流速小的地方压强较大,在流速大的地方压强较小。例如:在河道狭窄处河水流得快,压强小,在宽阔处流得较慢,压强较大;两幢靠近的高楼之间风速大,这里的压强就比其他地方小。

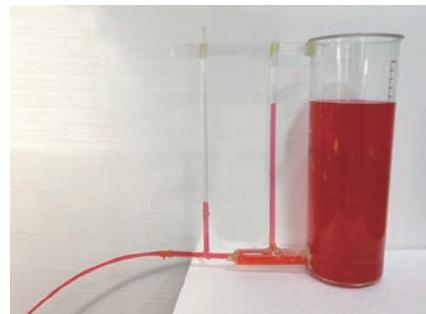


图 6-7-1

抛出的玩具
飞碟能够飘得很远 [图 6-7-2 (a)]; 大风中的雨伞会被向上吸起来 [图 6-7-2 (b)]; 大

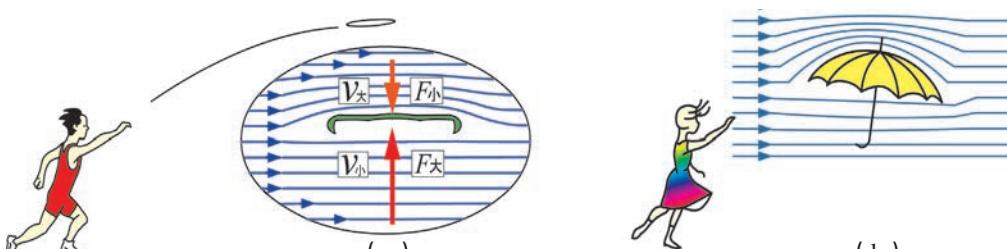


图 6-7-2

风吹过大楼时,未插上插销的窗户会向外推开,同时窗帘也会被吸向外面;巨大的飞机也能升空飞行。所有这些现象都跟流体的压强规律有关。

通常机翼的横断面形状是上凸下平的,当飞机在空气中前进时,气流掠过机翼的上、下表面。由于机翼上表面凸起,机翼上方的气流速度比下方的大,所以机翼上方的气压便比

下方的小。于是,机翼的上、下表面存在着压力差,向上的压力大于向下的压力,机翼便获得了向上的举力,当举力跟飞机所受的重力相平衡时,飞机便能在空中自由翱翔了。

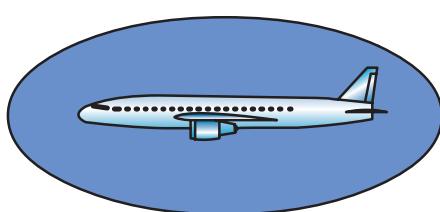


图 6-7-3

你知道吗？

根据流体的压强和流速的关系可知，高速行驶的车辆附近气压低，靠近这个区域的人身体前后存在着压力差，会有被“吸”过去的危险，所以，不要靠近高速行驶的车辆，尤其是在铁道口等候列车通过时，行人要站在安全栏以外。高速同向行驶的船舶如果靠得太近，两船之间的水流速大，压强小于船外侧的压强。水流的压力差会使两船相互“吸引”而发生碰撞事故，因此，高速同向行驶的船舶要保持一定的距离。

历史上也曾发生过因两船相吸而导致碰撞的事故。1911年9月20日，排水量高达5万多吨的邮轮“奥林匹克”号离开英国南安普顿港口，开始了它的第五次跨大西洋之旅。当时，排水量近8000吨的巡洋舰“霍克”号行驶至附近海域，舰长发现前方“奥林匹克”号正在左转驶出港区，便命令舵手将“霍克”号稍稍偏向右方，为巨轮让出转向出港的空间。在完成转向后，“奥林匹克”号开始加速前行。此时，“霍克”号与“奥林匹克”号处在平行的航线上，并肩前行。然而意想不到的事情发生了：“霍克”号航向无故向左偏移，虽

尽力向右转向，但其舰首仍一头扎入“奥林匹克”号的尾部。事后调查发现，两船在海面上平行疾驶时，它们之间的水面狭窄，流速较大，因此压强较小，而两船外侧的水面宽阔，水流较缓，压强较大。在水流压力差的作用下，两船就会靠得越来越近，最后碰到一起，引发撞船事故。

时至今日，在航运过程中仍会出现类似的险情或事故。2015年4月7日晚，航行于厦门港东渡航道的杂货船“开米”轮因主机失控，无法控制船速，致使追上并与前方航行的集装箱船“智利科尔科瓦多”轮贴行近一个小时。厦门海事局沉着应对，妥善处理，险情最终成功化解。

思考与练习

1. 水翼船有类似机翼的水翼，它在高速航行时，船体会被抬高从而减小了水对船体的阻力。试根据流体压强和流速的关系解释，船体为什么会被抬高。

2. 试用流体的压强和流速的关系，说明自制雾化器（学习活动卡中）为什么能把液体雾化。

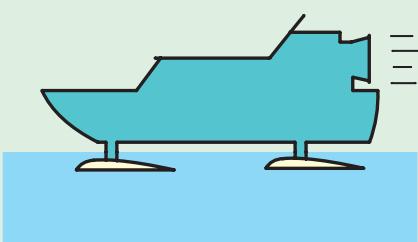
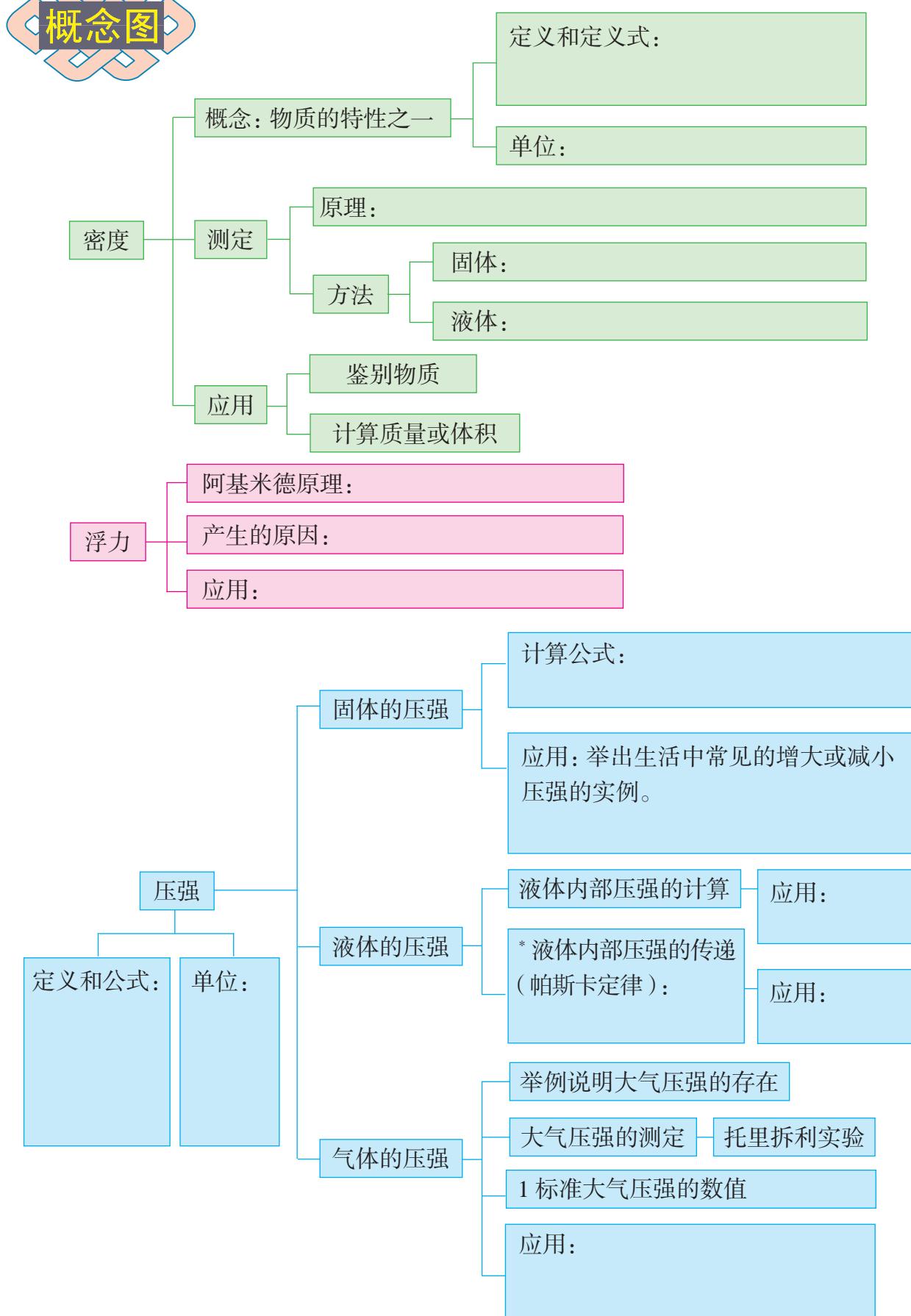


图 6-7-5 水翼船

概念图



物质的密度据说最早是由古希腊的学者阿基米德提出的，相传这里有一个有趣的故事。

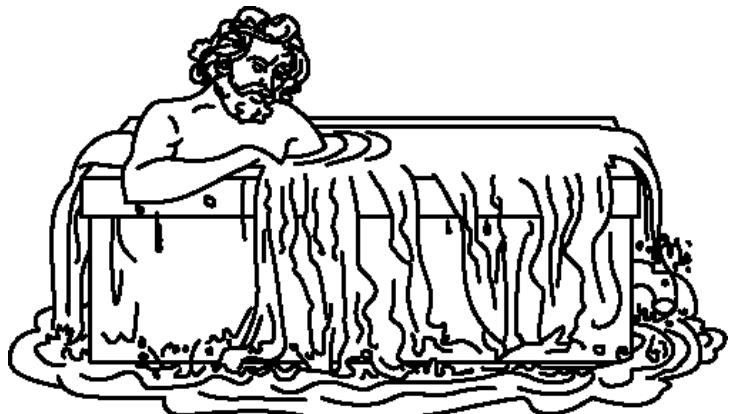
公元前200多年，古希腊叙拉古国王给工匠一锭称过质量的金块，让他做一顶纯金王冠。尽管制成的王冠质量和所给金块的质量相等，国王还是怀疑工匠用银子偷换了一部分金子，他要阿基米德查出王冠是不是用纯金制成的，但不能损坏它。一开始阿基米德想：王冠里面是否掺假，只要求出它的体积，并和国王所给金块的体积相比较，就清楚了。

但是王冠上刻有花纹，形状复杂，无法直接算出它的体积。为此阿基米德冥思苦想，坐卧不安。

一天，阿基米德去浴室洗澡，当他跨入盛满水的浴桶，随着身子浸入，一部分水就从桶边溢出。他注意到身体浸入水中越多，溢出的水就越多。看到这个现象，他顿时大悟：物体浸没在水中排开的水，只取决于物体体积的大小，而与其质量、形状无关。他忘记了自己裸露着身子，从浴桶中一跃而出，狂呼着“我找到了！找到了！”奔向王宫。在王宫里，他当着国王的面做了一个实验：把盛满水的瓦罐放在大瓦盆里，然后把质量相等的金块和银块分别放入两个盛满水的瓦罐中，看有多少水排出。他向国王解释，虽然金块和银块的质量相等，但是银块排开的水要多些。接

着，他把与王冠质量相等的金块放进盛满水的瓦罐里，测量溢出的水；再把王冠放入另一只盛满水的瓦罐里，看一看溢出的水是否一样多，问题就解决了。

阿基米德在解决王冠之谜时，首先提出了一个重要的假设：如果王冠是由纯金制成的，那么质量相等的金块和王冠一定应该有相等的体积。开始令阿基米德苦恼的是，他无法用几何学的方法测出形状不规则的王冠的体积。而当他浸入浴桶时看到水从桶中溢出，这使他一下子想到一种测量不规则物体体积的实验方法。接着他就用这一方法解决了王冠是否由纯金制成的难题，并由此引入了密度（当时称为比重）的概念。





1.《小牛顿实验王——大气压力》，小牛顿科学教育有限公司编著，化学工业出版社。2018年11月，第1版。

2.《流动中力量·图解流体力学》，[日]小峰龙男著，高丕娟译，科学出版社。2012年1月，第1版。

3.《珠峰简史》，徐永清著，商务印书馆。2017年1月，第1版。

4. CCTV10（科教频道）

（1）《原来如此》

这是一档以实验体验为特征的科普栏目，它针对生活中人们熟视无睹或似是而非的科学疑点和困惑，通过科学实验、实际验证等，给出科学、正确、权威的解答，最终给人以“原来如此”、豁然开朗式的顿悟，进而普及科学知识，提高科学素养，倡导科学生活。

登录央视网CCTV10，观看以下视频：

20170806“负压空间”；

20180830“竹蜻蜓与直升机”；

20180401“水中浮潜”；

20180415“插上翅膀”。

（2）《走近科学》

该栏目针对新闻热点背后的科学问题、社会生活中的焦点问题等，给予科学的解释，引发观众对科学的兴趣，弘扬科学精神，提倡科学方法，传播科学知识。

登录央视网CCTV10，观看视频：

20190120“深海探索”。

5. 参观地点：上海市青少年校外活动营地——东方绿舟、江南造船博物馆。

第七章 电路

Circuit

7.1 电流 电压

7.2 欧姆定律 电阻

7.3 串联电路

7.4 并联电路

即使再复杂的电路，也是由一些最基本的元件
通过串联、并联等基本方式连接而成的



爱迪生于 1879 年首次研制成功的白炽灯泡，它采用碳化的灯丝，
可以连续点亮 40 小时



闪电

“从欧姆所做的工作来看这个电路定律，几乎没有哪一个实验科学的分支能有如此多的和不同的现象用一个如此简单和概括的方式表达出来。”——惠斯通是如此评价欧姆的。事实上，电路是全部电学实际应用的基础。

7.1 电流 电压

Current voltage

电荷 电流

今天，我们的生活已越来越离不开电，那么究竟什么是电？人类对电最初的认识来自摩擦使物体带“电”，这里的“电”就是指电荷，研究不同物体摩擦后所带电荷的性质，发现自然界存在正、负两种电荷。近代科学进一步研究发现，物体是由原子构成的，原子是由带正电荷的原子核和带负电荷的核外电



摩擦后，玻璃棒失去电子，带正电；丝绸获得电子，带负电

摩擦后，橡胶棒获得电子，带负电；毛皮失去电子，带正电

图 7-1-1

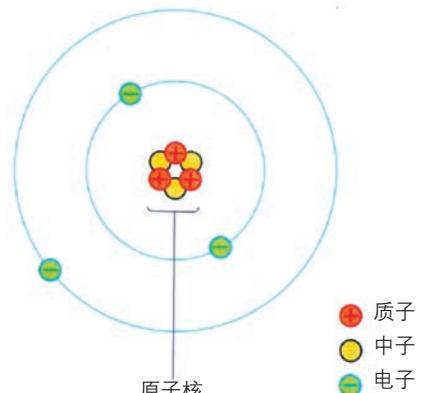


图 7-1-2

子组成的。但在通常情况下，原子核内的正电荷跟核外电子所带的负电荷的总量相等，整个物体并不带多余的正、负电荷，呈中性。但在摩擦或发生化学变化等情况下，物体中的电子可能会转移到另一个物体上，于是得到电子的物体因有了多余的负电荷而带负电，失去电子的物体因有了多余的正电荷而带正电。

物理学中，把电荷的多少叫做电荷量。电荷量用 Q 表示，它的单位是库仑，简称库，用符号 C 表示。物体带电是因为得失电子，因此电荷的基本单元是电子，物体所带的电荷量 Q 应该都是电子电荷量的整数倍。

1 库的电荷量相当于 6.25×10^{18} 个电子所带的电荷量，而每秒钟通过一只 200 瓦灯泡的灯丝横截面的电子数约为 5.68×10^{18} 个。这个过程是怎样发生的呢？

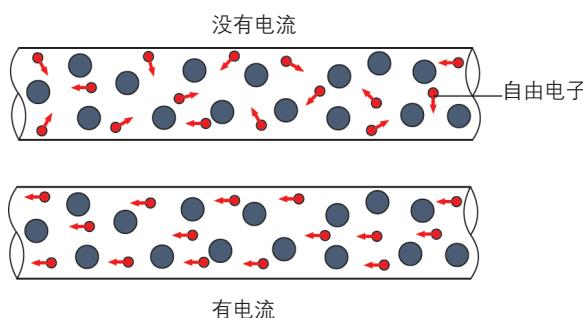


图 7-1-3 金属导体中电流的形成示意图

我们知道大部分金属和某些电解液都是导体，通常导体本身并不带有多余的电荷，即导体是电中性的。

然而，在金属导体中有大量脱离原子核束缚、可在原子外自由移动的电子（叫做自由电子），在电

解液中有大量可自由移动的正、负离子（叫做自由离子）。如果把导体两端与电源正、负极相连，大量自由电荷便会在电源

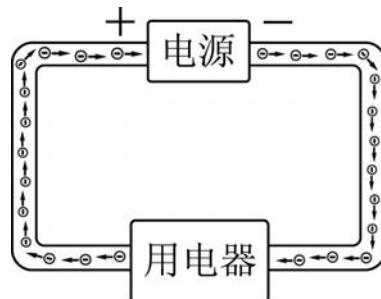


图 7-1-4 金属导体中自由电子的定向移动示意图

的驱动下同时向一个方向移动(叫做定向移动),这些定向移动的自由电荷便在导体中形成了电流。例如,将一段金属导体(包括用电器)与电源正、负极相连,由于电源的作用,导体中的自由电子便会同时向电源的正极移动。物理学中规定正电荷定向移动的方向为电流的方向,这一规定沿用至今。在电路中,电流从电源的正极流出,经过导体流向负极。所以,金属导体中电流的方向恰好与自由电子定向移动的方向相反。

怎样来比较电流的大小呢?物理学中用电流这个物理量来表示,符号为 I ,它等于每秒钟内通过导体横截面的电荷量,即

$$I = \frac{Q}{t}$$

在SI制中,电流的单位是安培,简称安,用符号A表示。如果1秒内通过导体横截面的电荷量为1库,那么导体中的电流就规定为1安,即 $1A = 1C/s$ 。电流的常用单位还有毫安(mA)和微安(μA)。 $1mA = 10^{-3}A$, $1\mu A = 10^{-6}A$ 。

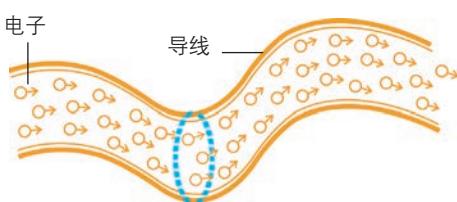


图 7-1-5 当电流为1安时,每秒通过导线横截面定向移动的电子约为 6.25×10^{18} 个

不同用电器正常工作时电流的大小

| 电器 | 电流 |
|-------|-----------|
| 电子手表 | 约2微安 |
| 小型手电筒 | 约0.2安 |
| 小型收音机 | 约0.4安 |
| 电视机 | 约0.5安 |
| 电吹风 | 约2.5安 |
| 电饭煲 | 约3安 |
| 电热水壶 | 约6安 |
| 电焊机 | 约100~200安 |

测量电流的仪器是电流表,使用时应将它串联在被测电路中并选择适当的量程,电流从电流表的“+”接线柱流入,从“-”接线柱流出。不能把电流表直接连在电源的两端,否则会造成电源短路,使电源和电流表损坏。记录电流值时,应按所选量程读数。

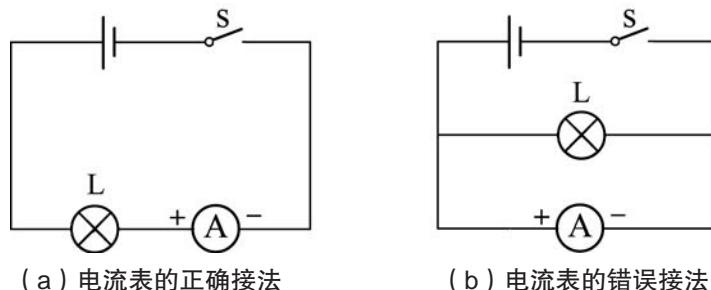


图 7-1-6

你知道吗？

我们的生活已离不开电，但若不注意用电安全，会发生触电，轻则被电击，重则会危及生命。

目前所说的触电，是指一定强度的电流流过人体所引起的伤害事故。一般情况下，当1毫安左右的电流通过人体时，会产生麻的感觉；电流超过10毫安时，人会感到剧痛，甚至出现神经麻痹，呼吸困难，有生命危险；电流达到100毫安时，3秒钟就可使人窒息，心脏停止跳动。因此，要注意用电安全。

电源 电压

为什么导体要接通电源后，导体中才会形成电流呢？因为电源能提供导体中的自由电荷做定向移动所需的动力，这就像水管中的水需要水压才能流动一样，导体中的自由电荷需要电压才能做定向移动，而电源就是为电路中的导体提供持续电压的装置。

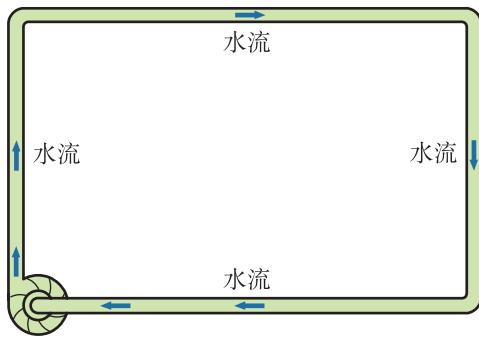


图 7-1-7

电压的符号为 U 。电压的单位是伏特，简称伏，符号用 V 表示，以纪念世界上首次制成能连续供电电源的物理学家伏打。电压的其他常用单位还有千伏 (kV) 和毫伏 (mV)。

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}, 1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}.$$

不同情况下电压大小的比较

| | | | |
|--|---------|------------|--|
| | 闪电 | 约 10^8 伏 | |
| | 高压输电 | 500 千伏 | |
| | 动力电路 | 380 伏 | |
| | 家用照明电路 | 220 伏 | |
| | 干电池、蓄电池 | 1.5 伏、2 伏 | |
| | 脑电波 | 约 0.05 毫伏 | |

在日常生活中，一些小的用电器（如手电筒、小型收音机等），它们正常工作时所需要的电压约为3伏、6伏等。所以，我们常采用几节干电池串联在一起组成电池组使用。每节电池的电压为 U ，

若用 n 节相同的电池串联成电池组，其提供的电压可达 nU 。这样利用不同数目的电池组成电池组，就可以满足不同用电器的使用要求。

测量电压的仪器是电压表，使用时应将它并联在被测导体的两端并选择适当的量程。电压表的“+”接线柱应与被测导体靠近电源正极的一端相连。记录电压值时，应按所选量程读数。

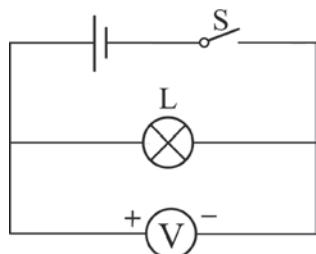


图 7-1-9 电压表的正确接法

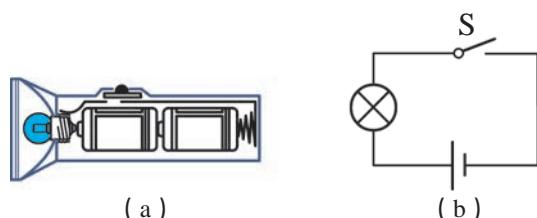


图 7-1-8 手电筒的结构示意图和电路图

你知道吗？



图 7-1-10 锂电池

我们过去大量使用的各种化学电池废弃后不能随意丢入垃圾中，这是因为废电池中的重金属和电解液会严重污染环境。随着技术的改进，近年来涌现的镍氢电池、锂电池和燃料电池等化学电池对环境的污染正在逐步减小。其中，最具发展前途的燃料电池可以将燃料的化学能直接

转变为电能，它以氢或含氢物质作为燃料，通过燃料与氧化合产生电和水。燃料电池从外形看虽然像蓄电池，但实质上却是一个小型“发电厂”。燃料电池效率高，无污染，而且产生的水还能继续使用，真正实现了“零排放”。作为一种高效清洁的新型发电方式，燃料电池可灵活地为交通工具、家用电器、航空航天等提供动力。

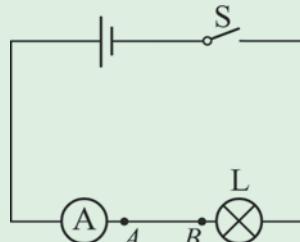
2018年9月27日，上海首条燃料电池公交车线路在嘉定114路投入运营。这些公交车只需三五分钟便可加满21千克氢气，一般可以匀速行驶560千米，排放物为干净的水，是“零排放、零污染”的新能源车辆。安亭加氢站为这些燃料电池公交车提供加氢服务，它是国内首座固定式加氢站，利用压缩机将氢气以高压形式储存在储罐中，通过加注机完成氢气加注。经过十多年的发展，上海已初步形成以嘉定为核心的燃料电池汽车研发、以临港为核心的燃料电池汽车制造以及以金山化工区为核心的氢能供给三大产业集群，初步形成了燃料电池汽车全产业链，未来将带动社会能源和动力转型。



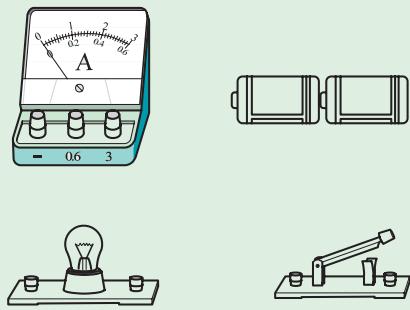
图 7-1-11 燃料电池公交车

思考与练习

- 夏天，暴风雨常常伴有电闪雷鸣，每次闪电电流一般可达 10 000 安。假设一次闪电时间为 0.1 秒，则这次闪电放出多少电荷量？
- 某蓄电池放电电流的大小是 1.2 安，可以使用 10 小时；若将放电电流的大小调节为 0.8 安，则该蓄电池可使用多少小时？
- 按电路图 7-1-12(a) 将图(b) 中的实物用笔线代替导线连接起来。若将开关 S 闭合，其中图(a) 中 AB 段导线中电子定向移动的方向是_____。



(a)



(b)

图 7-1-12

- 将某电压表连接在电路中，其指针位置如图 7-1-13 所示，则加在该电路两端的电压可能为多少？

- 如图 7-1-14 所示，用电压表测灯泡 L_1 两端的电压，下列接法正确的是()

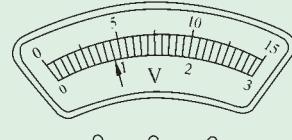


图 7-1-13

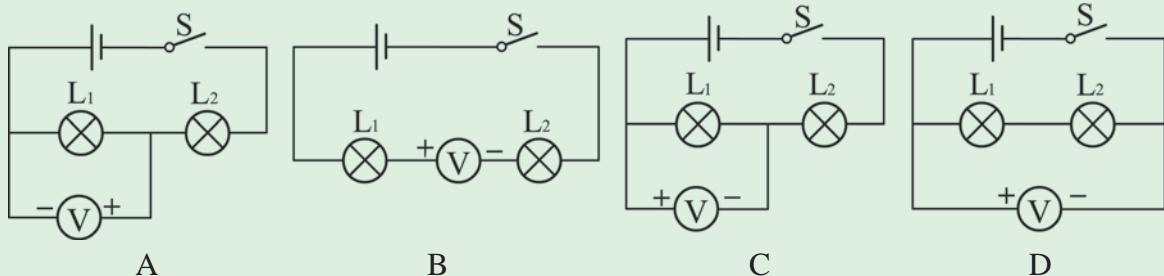


图 7-1-14

7.2 欧姆定律 电阻

Ohm's law Resistance

欧姆定律 电阻

1826年，德国物理学家欧姆用不同材料的金属导体做实验，研究了通过导体的电流与导体两端的电压之间的关系。实验时，他保持某导体的温度不变，改变导体两端的电压 U ，导体中的电流 I 也随之变化，它们之间的关系可以用 $U-I$ 图线来表示。实验表明，通过导体的电流 I 和导体两端的电压 U 之间的关系，在 $U-I$ 坐标系中是一条通过原点的倾斜直线。这说明 I 与 U 成正比，即 $\frac{U}{I}$ 的比值是一个常数。欧姆当时就

将导体两端的电压 U 与通过导体的电流 I 的比值叫做这段导体的电阻，它的数值等于当导体中通过的电流为1安时，需在导体两端加的电压值。电阻用 R 表示，即

$$R = \frac{U}{I}。$$

电阻的单位为 $1V/A$ ，后被命名为欧姆，简称欧，用符号 Ω 表示。

$$1 \Omega = 1V/A。$$

通过实验，欧姆得出如下结论：

对于某导体来说，通过它的电流与它两端的电压成正比，这就是欧姆定律。欧姆定律用数学公式可表示为

$$I = \frac{U}{R}。$$

用不同导体进一步做实验发现：对于不同导体，它们的 $U-I$ 图线都是过原点的倾斜直线，但它们的比值并不相同，也就是说它们的电阻不同。

从欧姆定律可以看出：在不同导体两端加上相同电压 U 时，通过导体的电流与导体的电阻成反比，即导体的电阻 R 越大，导体中的电流 I 就越小；反之，电阻越小，则电流就越大。这表明，导体的电阻反映了导体对电流的阻碍作用。从微观结构上看，自由电子在金属导体中做定向移动时会与其他粒子频繁碰撞，所以电流通过导体时会受到阻碍作用。导体的电阻是导体本身的一种物理性质，一般情况下，它并不随导体两端的电压和通过它的电流的变化而变化。

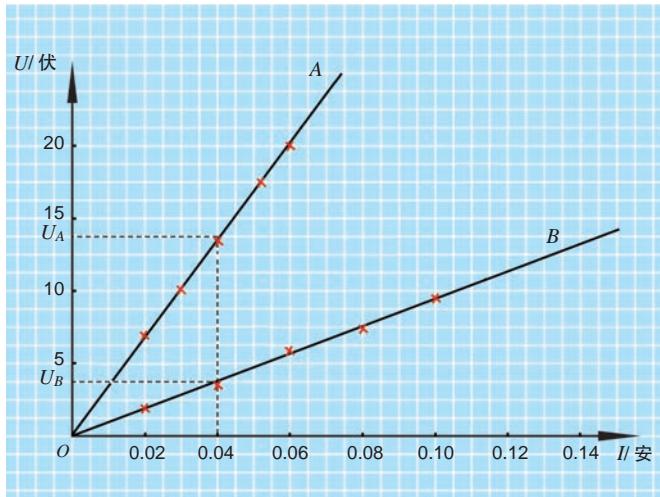


图 7-2-1 通过相同的电流时， $U_A > U_B$ ，所以 $R_A > R_B$

我们已经知道，某导体的电阻等于它两端的电压除以通过它的电流，所以测定某导体电阻最基本的方法是伏安法。只要用电压表测出该导体两端的电压 U ，用电流表测出通过导体的电流 I ，它们的比值 $\frac{U}{I}$ 即为该导体的电阻。此外，只要知道电阻、电压、电流三个量中任何两个，根据欧姆定律便可求出第三个量。当然，这三个量是对同一导体而言的。

电阻的其他单位还有千欧($k\Omega$)和兆欧($M\Omega$)。

$$1 k\Omega = 10^3 \Omega, 1 M\Omega = 10^6 \Omega.$$

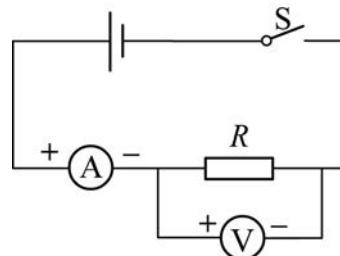


图 7-2-2 伏安法测电阻电路图

一些物体的电阻大小



| | |
|------|---------|
| 小电珠 | 约 10 欧 |
| 电熨斗 | 约 100 欧 |
| 人体 | 约 10 千欧 |
| 电热蚊香 | 约 10 千欧 |



[例题 1] 某导体两端的电压为 3 伏时，通过它的电流为 300 毫安，则该导体的电阻多大？当电压升至 6 伏时，求该导体电阻。(假设导体的温度不变)

[解答] 根据欧姆定律 $I = \frac{U}{R}$ 可得，

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3 \text{ 伏}}{0.3 \text{ 安}} = 10 \text{ 欧}.$$

在一定温度下，改变导体两端的电压，通过它的电流与它两端所加的电压成正比， $\frac{U}{I}$ 不变，即导体的电阻保持不变，仍为 10 欧。

[例题 2] 某电子线路板上有一个标有阻值为 R 的电阻，它的一端通过印刷板上的线路与电池正极相连。现有一只电压表，保持线路板工作，即不断开通电电路的情况下，如何测定通过该电阻的电流？

[解答] 在电路通电情况下，在该电阻两端并联一电压表，电压表的“+”接线柱跟电阻与电池正极相连的那一端连接，测得它两端的电压为 U 。

$$\text{通过该电阻的电流 } I = \frac{U}{R}.$$

必须注意欧姆定律成立的条件，如果导体的温度或某些外界物理条件发生明显变化时， U 和 I 的比值不再是常数，即导体的电阻会发生变化。此外，欧姆定律并不适用于所有导体，例如气体导电时就不适用。

变阻器 欧姆定律的应用

那么，导体的电阻大小由什么因素来决定呢？实验表明：导体的电阻取决于它的材料、长度、粗细（横截面积）和温度。导体越长，它的电阻越大；导体越细，它的电阻越大；大多数金属导体的电阻随温度升高而增大。长度、粗细都相同的不同材料的导体，电阻大小一般不同。

长为 1 米、横截面积为 1 毫米² 的不同材料的金属丝在 18°C 时的电阻值

| | |
|------|---------------|
| 银 | 0.016 欧 |
| 铜 | 0.017 欧 |
| 铝 | 0.027 欧 |
| 钨 | 0.053 欧 |
| 铁 | 0.099 欧 |
| 锡 | 0.11 欧 |
| 康铜 | 0.50 欧 |
| 镍铬合金 | 1.09 ~ 1.12 欧 |

[例题 3] 将一粗细均匀的金属丝接在电压恒为 3 伏的电源两端，通过金属丝的电流为 1.2 安。若将该金属丝的长度剪去一半后（其电阻将变为原来的 $1/2$ ），仍接在该电源两端，求通过该金属丝的电流。

[解答] 原金属丝的电阻 $R = \frac{U}{I} = \frac{3 \text{ 伏}}{1.2 \text{ 安}} = 2.5 \text{ 欧}$ ，

金属丝剪去一半长度后的电阻 $R' = \frac{1}{2} R = 1.25 \text{ 欧}$ ，

则 $I' = \frac{U}{R'} = \frac{3 \text{ 伏}}{1.25 \text{ 欧}} = 2.4 \text{ 安}$ 。

所以金属丝剪去一半长度后，仍接在该电源两端，通过它的电流是 2.4 安。

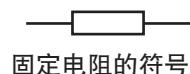
利用影响电阻大小的因素，通过改变导体的材料（例如碳膜或电阻丝）、粗细和长度，可制成不同阻值的固定电阻，如图 7-2-3, 7-2-4 所示。利用电阻随导体长度的变化，可制成阻值可变的变阻器，如图 7-2-5 所示。与固定电阻不同，滑动变阻器有三个引出端，两边是



图 7-2-3 碳膜电阻



图 7-2-4 线绕电阻



固定电阻的符号



图 7-2-5 滑动变阻器

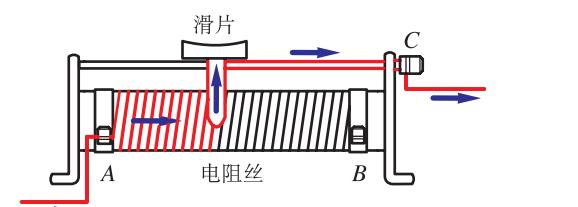


图 7-2-6 移动滑片可以改变滑动变阻器接入电路的电阻

固定接线柱，中间是金属滑片移动端。当滑片沿着电阻丝滑动时，它与任一固定接线柱之间的导体长度就会变化。因此，只要将变阻器从任一固定接线柱和滑片移动端引出，就可使它的阻值在 0 欧到两固定接线柱间的最大阻值范围内变化。实验室里常用的滑动变阻器和各种电器中广泛使用的旋转式、拉杆式变阻器（又叫做电位器），尽管外形不同，但原理都一样。

根据欧姆定律，利用变阻器可以改变电路中的电流。例如，当电压不变时，变阻器接入电路中的阻值增大，电路中的电流就会减小。图 7-2-8 是汽车油量表及其工作原理图。杠杆的一端与油箱中的浮标相连，另一端带动变阻器的滑片 P 可以上下移动。你能根据欧姆定律说明它的工作原理吗？



(a)

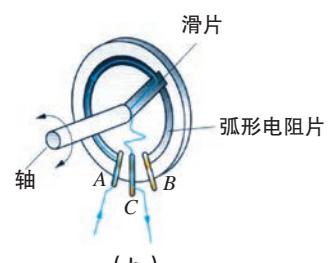


图 7-2-7 旋转式变阻器

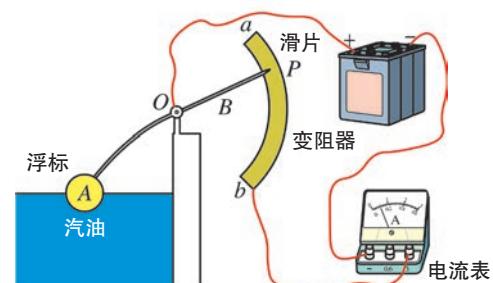


图 7-2-8 汽车油量表及其工作原理

由某些材料制成的电阻，阻值会随外界温度或光照强度的变化而发生明显变化，这类电阻叫做热敏或光敏电阻。它们可以作为将温度或光照强度转换成电阻变化的传感元件，应用在温控或光控电路中，例如路灯的自动开关。

思考与练习

- 当电热水壶接在 220 伏电源上时，通过发热元件的电流为 6 安。若不考虑电阻随温度变化，问：
 - 该电热水壶发热元件的电阻是多少？
 - 如果将该电热水壶接在 110 伏的电源上，通过发热元件的电流是多少？
- 在图 7-2-7 (b) 中，旋转式变阻器的哪一段电阻连入电路？请用色笔标出来。若逆时针转动轴，连入电路的阻值如何变化？
- 解释教科书中图 7-2-8 所示汽车油量表的工作原理，分别说明当油箱中汽油很满和很浅时，油量表示数变化的原因。



图 7-2-9

- 图 7-2-10 中， A 、 B 所表示的电阻值哪一个大？为什么？如果将这两个电阻分别接在 10 伏的电源上，在图线上分别找出通过它们的电流。如果要使通过它们的电流均为 100 毫安，在图线上分别找出加在它们两端的电压。

- 牧场围栏上通有电，若围栏与地面之间的电压为 700 伏，牲畜身体的电阻约为 4×10^4 欧。如果有一头牲畜接触到围栏，它会因受到一次短暂的电击（约为 0.1 秒）而离开围栏。那么，在这次短暂的电击中通过牲畜身体的电荷量为多少？

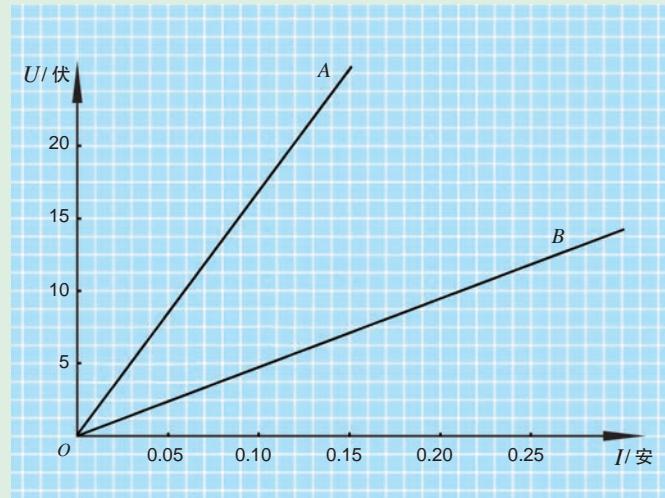


图 7-2-10

7.3 串联电路

Series circuits

在一个电路中，有两个或两个以上的用电器时，它们最基本的连接方式有两种：一种是串联连接，另一种是并联连接。下面我们先来探究串联电路。

串联电路的特点

夜晚，当你漫步在繁华的大街上，你可能会被商店门口一串串闪闪发光的小灯——“满天星”所吸引，它们犹如天上的星星下落到人间，给人一种温馨的感觉。“满天星”里的许多小灯是用导线串联后接在电源上工作的。

用导线把用电器逐个顺次连接起来组成的电路叫做串联电路。串联电路有什么特点呢？

串联电路中电流只有一条路径，各用电器不能单独工作。若有一处断开，各处的电流都等于零，各用电器均不能工作。

实验表明：串联电路中各处的电流都是相等的。在图 7-3-2 中，如果电路中的电流为 I ，通过两个电阻的电流分别为 I_1 和 I_2 ，则有

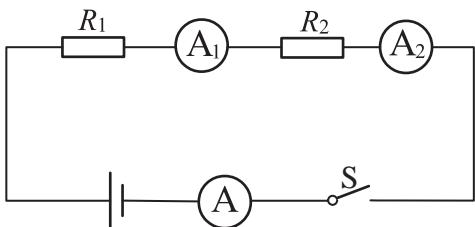


图 7-3-2

$$I = I_1 = I_2.$$

串联电路两端的总电压等于各串联电阻两端的电压之和。在图 7-3-3 中，如果电源两端的总电压为 U ，两个电阻两端的电压分别为 U_1 和 U_2 ，则有

$$U = U_1 + U_2.$$

若用另一个电阻 R 来替代图 7-3-3 中的两个串联电阻 R_1 和 R_2 ，且使通过这个电阻的电流与原来的相同，我们就把

这个起替代作用的电阻 R 叫做这个串联电路的总电阻，如图 7-3-4 所示。那么， R 与 R_1 、 R_2 之间有什么关系呢？

根据欧姆定律可得， $U = IR$ 、 $U_1 = I_1 R_1$ 、 $U_2 = I_2 R_2$ 。

因为 $U = U_1 + U_2$ ，所以 $IR = I_1 R_1 + I_2 R_2$ 。

又 $I = I_1 = I_2$ ，故

$$R = R_1 + R_2.$$

上述结果表明：串联电路的总电阻等于各串联电阻之和。



图 7-3-1 装饰用的小彩灯通常是串联的

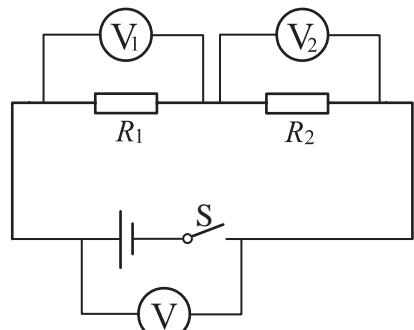


图 7-3-3

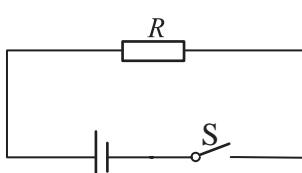


图 7-3-4

由 $U = U_1 + U_2$ 可以看出，两电阻串联时，各串联电阻两端的电压 U_1 和 U_2 都是从串联电路的总电压 U 中分得的。那么， U_1 和 U_2 的大小与串联电阻的阻值 R_1 和 R_2 之间有什么关系呢？

因为 $I_1 = \frac{U_1}{R_1}$ 、 $I_2 = \frac{U_2}{R_2}$ ，又 $I_1 = I_2$ ，所以

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} \text{，即 } \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}。$$

上式表明：串联电路中各电阻两端的电压跟它们电阻的大小成正比；总电压等于分电压之和，而分电压则是根据电阻的大小按比例分配的，总电压不变时，阻值越大（小）的电阻，它两端分得的电压也越大（小）。例如，当电阻 R_1 和 R_2 串联时，若 $R_1 > R_2$ ，则 $U_1 > U_2$ 。

因此，串联电路具有分压作用。只要任何一部分电阻发生变化，整个串联电路中各部分的电压分配也会相应地发生变化。若有多个用电器串联，各用电器就会按它们电阻的大小从总电压中获得分电压。

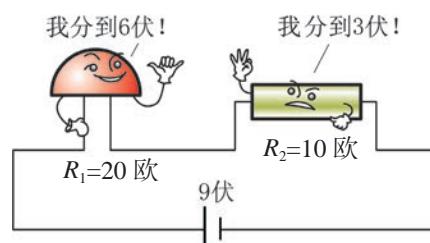


图 7-3-5

串联电路的应用

串联电路在生活和生产中的应用非常广泛。例如，某些用电器的指示灯与用电器是串联的，当用电器工作时，指示灯总是亮着；当用电器出现断路故障时，指示灯就会熄灭。

在由用电器和变阻器组成的串联电路中，调节变阻器的阻值，可以改变用电器两端的电压。例如，当变阻器接入电路的阻值变大时，总电阻变大，因为电源电压不变，根据欧姆定律可知电路中的电流变小，再由欧姆定律可得用电器两端的电压变小。因此，变阻器常作为控制元件，广泛应用在各种电器装置和电子仪器中，如照明灯的调光、电动机的调速、发热元件的调温等。

[例题 1] 在迎新晚会上，为了衬托欢乐的气氛，全班 46 位同学每人购买了一只灯丝电阻为 2 欧、电流为 0.1 安的小彩灯，然后把它们串联成美丽的装饰彩灯。问这一串联彩灯需要接在总电压为多大的电源上才能正常发光？

[解法一] 先计算每只小灯两端的电压，

$$U_1 = I_1 R_1 = 0.1 \text{ 安} \times 2 \text{ 欧} = 0.2 \text{ 伏}。$$

然后根据串联电路中总电压等于各分电压之和，可得总电压

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_{46} = 46U_1 = 46 \times 0.2 \text{ 伏} = 9.2 \text{ 伏}。$$

[解法二] 先计算 46 只小灯的总电阻，

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_{46} = 46 \times 2 \text{ 欧} = 92 \text{ 欧}。$$

然后根据串联电路中各处电流相等的特点和欧姆定律，可得总电压

$$U = IR = I_1 R = 0.1 \text{ 安} \times 92 \text{ 欧} = 9.2 \text{ 伏}。$$

由例题1可以看出： n 个相同的电阻串联后，总电阻 $R_{\text{总}}$ 等于每个电阻的阻值 R 乘以电阻的个数 n ， $R_{\text{总}} = n R$ ；总电压 $U_{\text{总}}$ 等于每个电阻两端的电压 U 乘以电阻的个数 n ，即 $U_{\text{总}} = n U$ 。

[例题2] 某LED灯正常工作时，灯两端的电压为3伏，通过灯的电流为0.2安。已知某USB接口电源电压为5伏，要使灯正常工作，则需要串联一个多大的电阻？

[解答] 设需要串联的电阻为 R_2 。

LED灯的正常工作电压为 $U_1 = 3$ 伏。

该串联电阻 R_2 需要分担的电压为

$$U_2 = U - U_1 = 5 \text{ 伏} - 3 \text{ 伏} = 2 \text{ 伏}。$$

根据欧姆定律 $I = \frac{U}{R}$ ，可得电阻 R_2 的阻值

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{2 \text{ 伏}}{0.2 \text{ 安}} = 10 \text{ 欧}。$$

例题2表明，在电路中增加一个串联电阻，能够“分担”总电压中的一部分电压。利用这个特点，在电源电压高于用电器正常工作电压的情况下，可以通过串联电阻的方法使用电器正常工作。

思考与练习

1. 如图7-3-6所示，长度相同、横截面积不同的同种金属棒AB和BC连在一起，通过AB的电流 I_{AB} 与通过BC的电流 I_{BC} 之间的关系为 I_{AB} _____ I_{BC} ；AB两端的电压 U_{AB} 与BC两端的电压 U_{BC} 之间的关系为 U_{AB} _____ U_{BC} 。（两空均选填“=”“>”或“<”）

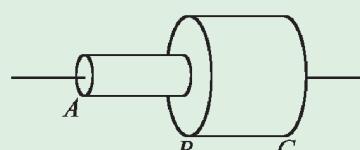


图7-3-6

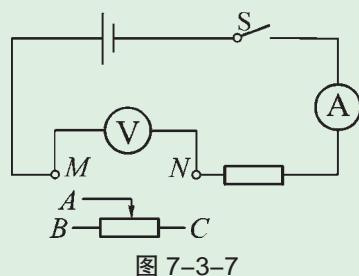


图7-3-7

2. 图7-3-7中，A、B、C是滑动变阻器的三个接线柱。将A、C分别与图示电路中的接线头M、N相连，闭合开关S后，当滑片向右移动时，电流表的示数将_____（选填“变大”“变小”或“不变”）；若将接线柱C与N相连、接线柱_____与M相连，则闭合开关S后，当滑片向左移动时，电压表的示数增大。

3. 如图 7-3-8 所示, 电阻 R_1 和 R_2 串联在电压为 U 的电路上。为了计算通过 R_1 的电流大小, 某同学写出了以下公式, 试判断其中哪几个关系式是错误的?

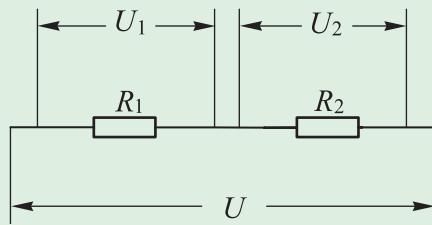


图 7-3-8

$$(1) I_1 = \frac{U}{R_1}$$

$$(2) I_1 = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

$$(3) I_1 = \frac{U_1}{R_1}$$

$$(4) I_1 = \frac{U_2}{R_1}$$

$$(5) I_1 = \frac{U_2}{R_2}$$

$$(6) I_1 = \frac{U_1}{R_2}$$

$$(7) I_1 = \frac{U_1}{R_1 + R_2}$$

$$(8) I_1 = \frac{U_1 + U_2}{R_1 - R_2}$$

$$(9) I_1 = \frac{U_2 - U_1}{R_2 + R_1}$$

4. 如图 7-3-9 所示, 电源电压为 6 伏, 滑动变阻器的最大阻值为 20 欧。闭合开关 S, 当滑动变阻器的滑片在中点 c 时, 电压表的示数为 2 伏。

(1) 求定值电阻 R 的阻值;

(2) 当滑动变阻器的滑片在 b 端时, 电压表的示数为多少?

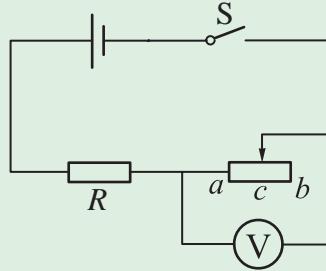


图 7-3-9

7.4 并联电路

Parallel circuits

并联电路的特点

你见过上海外滩迷人的夜景吗？成千上万盏彩灯勾勒出雄伟建筑物和浦江游船的轮廓，构成了一幅美丽的风景画，你知道这些彩灯是如何连接的吗？仔细观察后你会发现，虽然有个别彩灯是熄灭的，但是其余的彩灯都是亮的。由此可见，成串的彩灯并不是串联的。

用导线把用电器并列接在电路中的两点之间，由此组成的电路叫做并联电路。并联电路有哪些特点呢？

并联电路中的电流不是只有一条路径，而是有多条路径，并联的各用电器能彼此单独工作。



图 7-4-1 浦江游船上的彩灯是并联的

实验表明：并联电路中各支路两端的电压都相等。如图 7-4-2 所示，如果并联电路两端的电压用 U 表示，开关 S 闭合后各支路两端的电压分别用 U_1 、 U_2 表示，那么

$$U = U_1 = U_2。$$

并联电路干路中的电流等于各支路中的电流之和。如图 7-4-3 所示，如果用 I 表示干路电流，用 I_1 、 I_2 分别表示各支路电流，那么

$$I = I_1 + I_2。$$

并联电阻对电流的阻碍作用，也可用一个电阻来替代使干路中的电流与原来的相同。如图 7-4-4 所示，这个起替代作用的电阻 R 叫做并联电路的总电阻。

根据欧姆定律可得， $I = \frac{U}{R}$ 、 $I_1 = \frac{U_1}{R_1}$ 、 $I_2 = \frac{U_2}{R_2}$ 。

因为 $I = I_1 + I_2$ ，所以 $\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$ 。

又 $U = U_1 = U_2$ ，故 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ 。

上述结果表明：并联电路的总电阻的倒数，等于各并联电阻的倒数之和。

由 $I = I_1 + I_2$ 可以看出，当两电阻并联时，支路电流 I_1 和 I_2 都是从干路电流 I 中分得的。那么， I_1 和 I_2 的大小与各并联电阻的阻值 R_1 和 R_2 之间有什么关系呢？

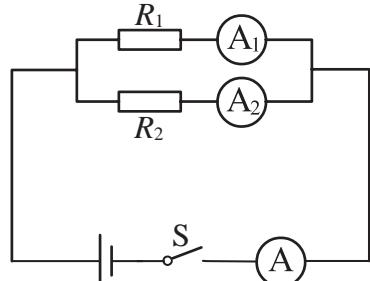


图 7-4-3

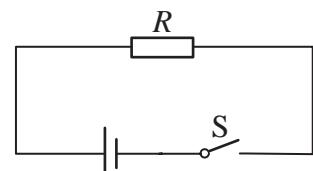


图 7-4-4

由于 $U_1 = I_1 R_1$ 、 $U_2 = I_2 R_2$, 又 $U_1 = U_2$, 可得 $I_1 R_1 = I_2 R_2$, 即 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$ 。

这表明：并联电路中各支路两端的电压都相等，各支路的电流跟支路电阻的大小成反比；总电流等于各支路电流之和，而且各支路的电流是根据各支路电阻的大小按反比例分配的，阻值越大（小）的支路中电流越小（大）。因此，并联电路具有分流作用。

由 R_1 和 R_2 组成的并联电路，当 R_1 的阻值逐渐减小时，通过 R_1 的电流逐渐变大。若 R_1 的阻值变为零，它就相当于一段导线，此时总电流就全部从 R_1 （导线）上通过。这种现象称为电阻 R_2 被短路。

在并联电路中，只要有一个电阻被短路，电源就被短路了，这时通过电源的电流非常大，会烧坏电源。因此通常必须严格防止这种电源短路发生。在串联电路中，如果有一个电阻被短路，叫做局部短路。

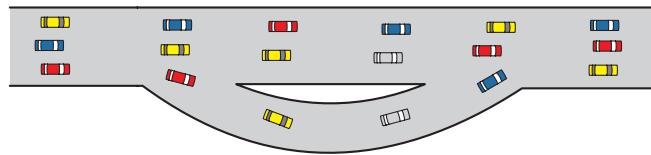


图 7-4-5 并联电路的分流作用可用道路中两条支路按其宽窄分流来形象比拟：宽的支路（相当于阻值小的电阻），分到的车流多；窄的支路（相当于阻值大的电阻），分到的车流少

[例题 1] 阻值为 30 欧和 60 欧的两个电阻并联在电路中。现用一个电阻来替代这两个电阻，使电路中的总电压和总电流都保持不变，则此电阻为多大？

[解答] 本题实际上是求两个并联电阻的总电阻，根据 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ 可得

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{30 \text{ 欧}} + \frac{1}{60 \text{ 欧}}, R = 20 \text{ 欧}.$$

由例题 1 可以看出，并联电路的总电阻比任何一个并联电阻都小。

[例题 2] 小灯甲的电阻为 5 欧，小灯乙的电阻为 20 欧。将它们并联后接在电压为 6 伏的电源上，求此并联电路的总电阻、总电流，以及通过甲、乙两只小灯的电流。

[解答] 因为总电压与每只小灯两端的电压相等，所以

$$I_{\text{甲}} = \frac{U}{R_{\text{甲}}} = \frac{6 \text{ 伏}}{5 \text{ 欧}} = 1.2 \text{ 安},$$

$$I_{\text{乙}} = \frac{U}{R_{\text{乙}}} = \frac{6 \text{ 伏}}{20 \text{ 欧}} = 0.3 \text{ 安},$$

$$I_{\text{总}} = I_{\text{甲}} + I_{\text{乙}} = 1.2 \text{ 安} + 0.3 \text{ 安} = 1.5 \text{ 安}.$$

$$R_{\text{总}} = \frac{U}{I_{\text{总}}} = \frac{6 \text{ 伏}}{1.5 \text{ 安}} = 4 \text{ 欧}.$$

注意在表述时，应正确使用 U 、 I 和 R 的脚标来区分不同导体的电压、电流和电阻值。由例题 2 可以看出，并联电路中阻值小的支路中电流大，阻值大的支路中电流小。

并联电路的应用

并联电路在生产和生活中应用也十分广泛，工厂、学校和家庭中的电路大多采用并联电路。

家用电路都是并联电路。进户线都采用较粗的导线，从而允许较大的电流通过；墙上的插座、房间里的灯以及各种用电器都是并联的。



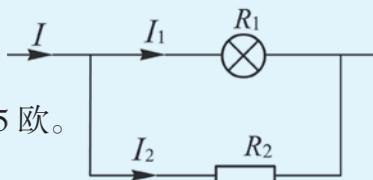
图 7-4-6 图示家庭电路中由多条并联支路构成

[例题 3] 某一电路要求保持 1 安的恒定电流。现有一只灯丝电阻为 10 欧的小灯，正常工作电流为 0.6 安，问应如何设计电路才能使小灯正常工作？

[解答] [解法一] 设小灯灯丝的电阻为 R_1 ，通过它的电流为 I_1 。利用并联电路的分流作用，在 R_1 两端并联一个电阻 R_2 ，则 R_2 分得的电流为

$$I_2 = I - I_1 = 1 \text{ 安} - 0.6 \text{ 安} = 0.4 \text{ 安}。$$

$$\text{由 } \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}, \text{ 可得 } R_2 = \frac{I_1 R_1}{I_2} = \frac{0.6 \text{ 安} \times 10 \text{ 欧}}{0.4 \text{ 安}} = 15 \text{ 欧}。$$



[解法二] $U_{\text{灯}} = I_1 R_1 = 0.6 \text{ 安} \times 10 \text{ 欧} = 6 \text{ 伏}$

由于 R_2 与灯并联，所以 $U_2 = U_{\text{灯}} = 6 \text{ 伏}$ ， $I_2 = I - I_1 = 1 \text{ 安} - 0.6 \text{ 安} = 0.4 \text{ 安}$ 。

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{6 \text{ 伏}}{0.4 \text{ 安}} = 15 \text{ 欧}。$$

图 7-4-7

[例题 4] 图 7-4-8 为一种节能型电烙铁的结构示意图和电路图，发热电阻丝 R 与小灯 L 组成串联电路，烙铁柄上有一个常开按钮 S_2 。试分析它的节能原理。

[解答] 闭合开关 S_1 ，发热电阻丝 R 与小灯 L 组成串联电路，电阻丝 R 分得的电压低于电源电压 U 。此时，电烙铁处于预热状态而维持一定温度，电路消耗的电能较少，这时 L 兼作指示灯。

当需要焊接时，手握烙铁柄，将常开按钮 S_2 闭合，此时 S_2 与小灯 L 并联。由于 S_2 支路的电阻非常小，相当于小灯 L 被短路，电阻丝 R 直接接在电源两端，电流增大，产生的热量增多，温度上升至焊丝的熔点，可进行焊接。由于焊接时间一般少于恒温等待时间，因此这种电烙铁能有效地节省电能。

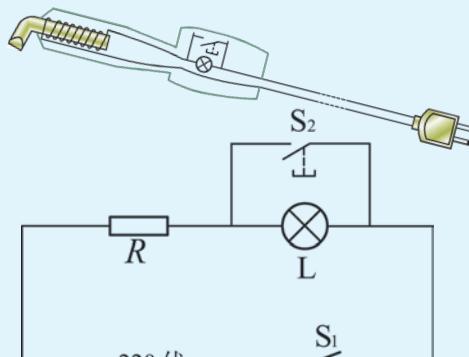


图 7-4-8

你知道吗？

串联电路和并联电路是电路最简单的连接方式。多个电学元件还可以按串联和并联的组合等方式组成复杂电路。随着人们对电路运行的可靠性的要求日趋提高，以及科学技术的发展，电路的设计也越来越复杂，用导线将电子元件连接的方式逐渐被集成电路所取代。集成电路就是在由硅片制成的芯片上，用特殊工艺做成的复杂电路。例如，1厘米²的芯片上可以集成几亿甚至几百亿个晶体管、电阻等电子元件。集成电路技术已成为现代科技的核心。

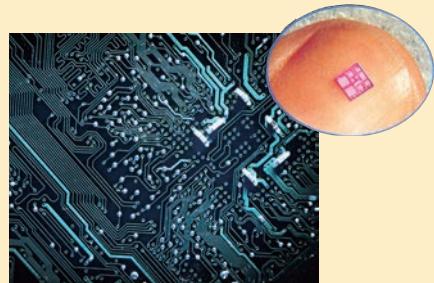


图 7-4-9 比指甲还要小的芯片
上集成了成千上万个电子元件

思考与练习

1. 由同种材料制成的长度相同、横截面积不同的两段导体 AB 和 CD 连接在一起，如图 7-4-10 所示。在 A 、 B 两端加上电压 U ，问通过哪段导体的电流大？为什么？

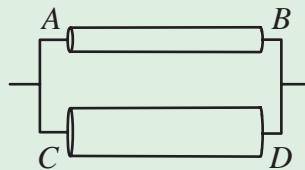


图 7-4-10

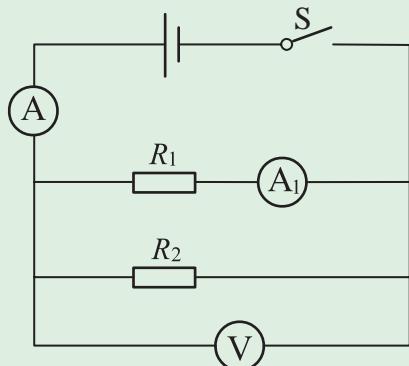
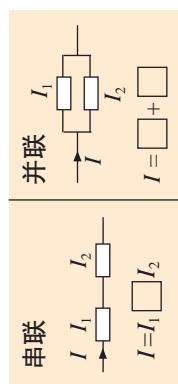


图 7-4-11

2. 如图 7-4-11 所示电路，闭合开关 S 后，电压表 V 的示数为 6 伏，电流表 A_1 的示数为 0.5 安， $R_2=6$ 欧。求：(1) 电流表 A 的示数；(2) 电路的总电阻。

概念图



概念：大量_____的_____移动
定义式 _____
单位：_____，接人方式_____
测量：仪表_____，接人方式_____

导体两端
电压 U 一定时
 $\square = \frac{U}{\square}$ 。式中
_____是常量，_____和_____是
变量，_____和_____成
_____比关系

电流 I

$\square = \frac{U}{R}$ 。
式中 R 是常量， U 和 I 成
_____比关系。

公式：
表述：

欧姆定律

电压 U

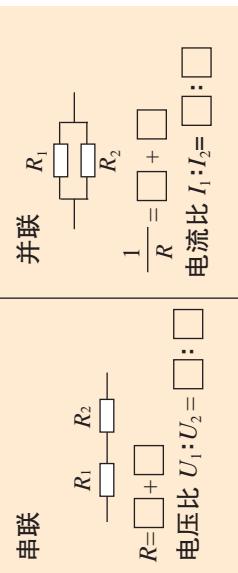
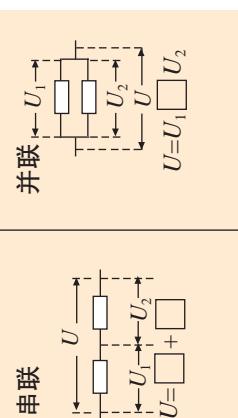
概念：电压是产生_____的必要条件，
_____是为电路提供_____的装置。
单位：_____，接人方式_____
测量：仪表_____，接人方式_____

电阻 R

通过导体的电流 I 一定时，
 $\square = I \cdot \square$
式中 I 是常量， \square 和 \square 成
_____比关系。

概念：导体对电流的_____作用，
取决于导体的_____、_____和_____
以及_____，其应用是_____。

单位：_____，
测量：根据公式 $R = \square$ ，用_____法测定



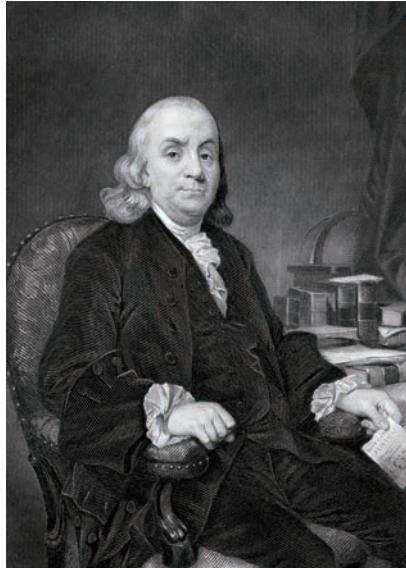
富兰克林和他的“捕捉雷电”实验

现在我们知道，电荷定向移动形成电流，电流通过电路时会产生许多效应：使电路中的灯泡发光，使电动机转动，使电冰箱、洗衣机、空调机工作，使蓄电池充电……强大的电流从电厂发出，通过输电线路送到工厂、农村、学校，进入千家万户。可以说，现代生活已经越来越离不开电了。

但是在富兰克林（1706~1790）那个时代，人类对于电的研究才刚刚开始，研究领域仅局限于摩擦起电等一类“静电”现象。富兰克林通过他著名的“风筝实验”证明了雷电与摩擦电在本质上的一致性，这不仅彻底破除了人们对雷电的迷信，而且大大拓展了电现象的研究领域。

那时人们不知道雷电是什么。由于雷电的破坏性很大，人们对它往往产生惊奇恐惧心理。从宗教上说，雷电是“上帝之火”，是天神发怒的结果。富兰克林却不相信这种说法，他常常思考这样一个问题：雷电和摩擦电在本质上是否一样。当时他正热衷于用荷兰莱顿大学的物理学家刚发明不久的“莱顿瓶”做静电实验。莱顿瓶通常是一只里外两面均贴有金属箔的玻璃瓶，另有一金属竿从瓶塞插入，金属竿上端是一个金属球，下端接有一条金属链，使之与内层金属箔接触，用以带电或放电。在一次试验中，他夫人丽达进来观看，不小心碰倒了莱顿瓶，突然闪过一团电火，随着一声轰响，丽达被击倒在地，不省人事，经抢救才脱险，足足在家躺了一个星期。这起事故给富兰克林留下了深刻印象，那伴有轰鸣声的电火使他立即联想到暴风雨中的雷电，于是觉得很有必要将雷电收集起来，看看它是否与摩擦电有同样的性质。

1752年7月的一天，阴云密布，电闪雷鸣，一场暴风雨即将来临。富兰克林和他的儿子威廉一道，带着装有一根细铁丝的风筝来到空旷地带，风筝线的下端拴了一把铜质钥匙。刹那，雷电交加，大雨倾盆，他们一起将风筝放到高空中，此时刚好一道闪电从风筝上空掠过，富兰克林顿时感到一阵恐怖的麻木感。他抑制不住内心的激动，大声呼喊：“威廉，我被电击了！”这时风筝线上松散的毛毛头向四周撒开，天电终于抓了下来！富兰克林又将风筝线上的电引入莱顿瓶中，回到家后用雷电进行了各种电学实验，终于证明天上的雷电与人工摩擦产生的电具有完全相同的性质。



富兰克林画像



富兰克林的风筝实验

风筝实验的成功使富兰克林在科学界名声大振。英国皇家学会给他送来了金质奖章，聘请他担任皇家学会会员。其实富兰克林的实验有很大危险性，之所以未酿成人身事故，完全是一种侥幸。第二年，俄国科学院院士利赫曼为了验证富兰克林的实验，不幸被雷电击死，为人类的科学事业贡献出了自己的生命。

在弄清楚了雷电的本质后，富兰克林提出了用避雷针保护建筑物的设想。1754年，避雷针开始应用。但有些人认为这是不祥之物，违反天意，会带来旱灾。然而科学终将战胜愚昧，一场雷电交加的暴雨过后，有尖塔的教堂被雷电击中了，而装有避雷针的高层房屋却安然无恙。事实教育了人们，人们相信了科学，避雷针终于普及到了全世界。

在电学方面的研究除了著名的风筝实验外，富兰克林还首先提出了正、负电荷的概念，认为摩擦起电是一种电荷转移的过程。此外，富兰克林的研究范围极其广泛，在热学、光学，以及数学、气象、地质、声学及航海等方面也都取得了不少成就，被誉为18世纪美国最伟大的科学家。

富兰克林出生于美国波士顿的一个蜡烛制造工家庭，他母亲生了十个孩子，富兰克林排行第八。由于孩子多，父亲收入有限，富兰克林只读了两年书，十二岁时就当了学徒，做了近十年的印刷工人。尽管工作时间长，但他仍然利用业余时间刻苦自学。富兰克林自小聪明好学，热爱自然科学。然而在四十岁前，终日为生活奔波，没有时间进行研究，他在科学上的成就大多是在四十岁以后取得的。

富兰克林还是美国建国之初一位杰出的政治家，是美国革命时期重要的领导人之一，参与了美国独立宣言和宪法等多项重要文件的制订工作。富兰克林在1790年4月17日逝世，埋葬在费城一家教堂的墓地里，他的墓碑上刻着：“印刷工富兰克林。”他生前于1771年动笔历时17年完成的《富兰克林自传》长期以来对美国年轻人的影响极大。2006年是富兰克林诞生300周年，虽然他作古已久，但大家对他的长相并不陌生，现在美国发行的百元美钞上印有他的画像。



1. 《中国儿童百科全书·科学技术》，中国儿童百科全书编委会编，中国大百科全书出版社。2015年4月，第2版。

2. CCTV 10（科教频道）

《原来如此》

这是一档以实验体验为特征的科普栏目，它针对生活中人们熟视无睹或似是而非的科学疑点和困惑，通过科学实验、实际验证等，给出科学、正确、权威的解答，最终给人以“原来如此”、豁然开朗式的顿悟，进而普及科学知识，提高科学素养，倡导科学生活。

登录央视网CCTV10，观看以下视频：

20170723 “锂电池的秘密”；20171222 “避雷神器”；20180107 “温暖背后的隐患”；20180318 “不起眼的静电”。

说 明

本册教材根据上海市中小学(幼儿园)课程改革委员会制定的课程方案和《上海市中学物理课程标准(试行稿)》编写,供九年义务教育九年级第一学期试用。

本教材由华东师范大学、浦东新区社会发展局主持编写,经上海市中小学教材审查委员会审查准予试用。

本册教材的编写人员有:

主编:张越 徐在新 分册主编:曹磊

特约撰稿人(按姓氏笔画排列):汤清修 张溶菁 陈颂基 曹磊 蔡吟吟

修订主编:贾慧青

修订人员(按姓氏笔画排列):王春浩 朱建波 刘展鸥 沈文萍 张俊雄 张溶菁
胡静雯 戴金平

本册教材图片提供信息:

图片由 VEER 图库、图虫创意、新华通讯社等,以及教材编写人员提供;插图绘制:陈颂基、郑艺、麦詠恩、金一哲。

声明 按照《中华人民共和国著作权法》第二十五条有关规定,我们已尽量寻找著作权人支付报酬。著作权人如有关于支付报酬事宜可及时与出版社联系。



经上海市中小学教材审查委员会审查
准予试用 准用号 II-CB-2022004

责任编辑 李 祥

九年义务教育课本

物 理

九年级第一学期

(试用本)

上海市中小学(幼儿园)课程改革委员会

上海世纪出版股份有限公司出版
上海教育出版社

(上海市闵行区号景路159弄C座 邮政编码:201101)

上海新华书店发行 上海中华印刷有限公司印刷

开本 890×1240 1/16 印张 4

2019年7月第1版 2024年7月第6次印刷

ISBN 978-7-5444-9301-7/G·7663

定价:9.75元

(本册含学习活动卡)

价格依据文件:沪价费〔2017〕15号

如发现内容质量问题,请拨打 021-64319241;

如发现印、装问题,请拨打 021-64373213, 我社负责调换。



绿色印刷产品

ISBN 978-7-5444-9301-7



9 787544 493017 >