

第六章 质量与密度

在上海世博会湖南活动周庆典上，姑娘们穿着节日盛装，表演苗族银饰舞《苗山银月》。漂亮的苗银饰物把她们打扮得美丽、动人。你知道这些银白色的饰物是由什么材料制成的吗？我们怎样才能鉴别出来？



第1节 质量



地球上高山、大海、空气，有树木、花草、鸟兽，有人类赖以生存的衣、食、住、行所必需的物品。浩瀚的宇宙中有数不清的星体，如太阳、月亮等。这些物体尽管形态各异，但都是由物质组成的。

组成物体的物质有多有少，一个铁锤所含的物质就比一个铁钉所含的物质多。生产、生活中经常需要知道物质的多少，比如粮食的多少，金属的多少。古埃及人很早就用“天平”粗略地测量物质的多少了（上图）。

质量

物理学中，物体所含物质的多少叫做**质量**（mass），通常用字母 m 表示。

质量的基本单位是**千克**，符号是 kg 。常用的比千克小的单位有克（ g ）、毫克（ mg ），比千克大的单位有吨（ t ）。它们之间的关系是

$$1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$$

$$1 \text{ mg} = 10^{-3} \text{ g} = 10^{-6} \text{ kg}$$

$$1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$$

一些物体的质量

物体	质量 / kg	物体	质量 / kg
流感病毒	约 10^{-19}	成人	$(4\sim 9) \times 10$
细菌	约 10^{-11}	大象	可达 6.0×10^3
大头针	约 8.0×10^{-5}	鲸	可达 1.5×10^5
一元硬币	约 6×10^{-3}	大型远洋货轮	约 10^7
苹果	约 1.5×10^{-1}	地球	6.0×10^{24}
新生儿	约 $2\sim 5$	太阳	2.0×10^{30}

质量的测量

到市场买粮、买菜，售货员要称货品的质量。图6.1-1是常用的称质量的器具——秤。

在学校的实验室和工厂的化验室常用天平称质量。下面，我们将一边学习，一边操作，练习使用天平。



图6.1-1 秤

天平的使用

为了不使天平损坏，在操作之前要牢记下面的几条要求。

1. 每个天平都有自己的“称量”，也就是它所能称的最大质量。被测物体的质量不能超过称量。
 2. 向盘中加减砝码时要用镊子，不能用手接触砝码，不能把砝码弄湿、弄脏。
 3. 潮湿的物体和化学药品不能直接放到天平的盘中。
- 请你逐条分析，如果不按这些要求做，会出现什么问题。

用天平测量固体和液体的质量

测量橡皮、铅笔、瓶中水的质量。

观察天平的结构，并在练习使用天平的过程中，思考下面几个问题。

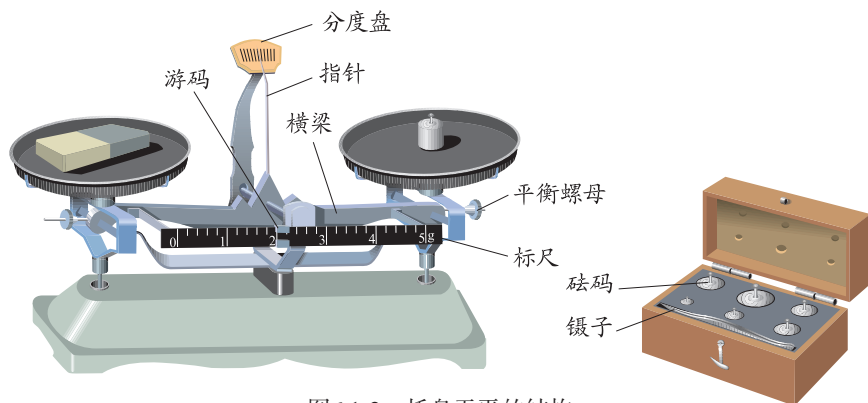


图6.1-2 托盘天平的结构

1. 天平应水平放置

你的天平有没有检查天平底座是否水平的装置？如果有，应该怎样调平？

2. 天平使用前要使横梁平衡

把游码放到标尺左端的零刻度线处。指针指在什么位置表示横梁平衡了？每台天平都有平衡螺母，用来调整横梁的平衡。你的天平的平衡螺母安装在什么位置？如果指针偏左，应该向哪个方向旋动平衡螺母？

你用的砝码盒中最小砝码的质量是多少？总质量是多少？

游码能够分辨更小的质量，相当于一个“砝码”，它在标尺上每向右移动一格，就等于在右盘中增加一个更小的砝码。在你用的天平标尺上，一个这样的小格相当于多大质量的砝码？

把被测物体放在左盘中，在右盘中加减砝码，并调节游码在标尺上的位置，直到横梁恢复平衡。这时盘中砝码的总质量加上游码在标尺上所对的刻度值，就等于被测物体的质量。

用天平称出橡皮、铅笔的质量。

用天平称出小瓶中水的质量（想想应该如何称量）。

想一想：

1. 在左盘放上准备称量的物体后，向右盘中尝试着加砝码时，应该先加质量大的还是先加质量小的？为什么？

2. 如果要称粉状物体（例如盐），应该怎样做？

上面所用的天平是一种机械天平，现在也常用电子天平（图6.1-3）来测量质量。有的电子天平精确度很高，对 $5 \times 10^{-11} \text{ kg}$ （相当于一个红血球的质量）大小的质量都能反应出来。

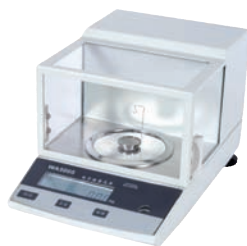


图6.1-3 电子天平



想想做做

1. 用天平称一个塑料瓶的质量，然后将其剪碎再放到天平上称，比较这个物体在形状变化前后的质量。
2. 称量一小杯水与一小匙白糖的总质量，然后使白糖溶于水，再称糖水的质量。比较两次称量的结果。

通过以上两个实验，你能得出什么结论？

如果把铁块压成铁片，虽然形状变了，但是所含铁的多少并没有变，所以质量也不会变。一块冰融化成水，虽然物态变了、体积变了，但是质量不会变。一盒罐头，不论放在地球上什么地方，或是被宇航员带到太空中，它的质量也不会变。物体的质量不随它的形状、状态和位置而改变。



图6.1-4 从地球带到太空的食品，质量变了吗？



科学世界

质量单位——千克的由来

自古以来，各国采用过各种不同的质量单位。例如，我国曾经用斤、两、钱做质量单位；英、美等国曾经用磅做质量单位。现在世界各国普遍采用国际单位制，在国际单位制中质量的基本单位是千克。

1791年，法国为了改变计量制度的混乱情况，在规定了长度的单位米的同时，在米的基础上规定了质量单位，即规定 1 dm^3 的纯水在 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 时的质量为 1 kg ，并且用铂制作了标准千克原器，保存在法国档案局。因此，这个标准千克原器也叫“档案千克”。

1872年，科学家们通过国际会议，决定以法国档案千克为标准，用铂铱合金制作

标准千克的复制品，分发给其他国家。1883年，在复制品中选了一个与“档案千克”质量最接近的作为国际千克原器，保存在国际计量局（设在巴黎）。1889年，第一届国际计量大会批准以这个国际千克原器作为质量的标准，沿用到现在。

这种作为质量测量标准件的具体实物，终会因为外界环境的变化而引起质量的变化。例如近年来科学家就发现国际千克原器质量大约减少了 5×10^{-5} g，相当于一小粒沙子的质量，具体原因仍旧是一个谜。目前，科学家正在寻找一种方式，能够在不使用具体实物的情况下定义质量单位。



图6.1-5 国际千克原器（复制品）

动手动脑学物理

1. 一艘船把货物从赤道运到南极，在运输过程中货物没有损失，这些货物的质量改变吗？

2. 如何称出一个大头针的质量？说出你的测量方法，并实际测一测。

3. 一块质量为100 g的冰熔化成水后，它的质量（ ）。

A. 仍是100 g B. 大于100 g C. 小于100 g

4. 某同学用天平测量一块金属的质量时，使用了3个砝码，其中1个100 g、1个50 g、1个20 g，游码在标尺上的位置如图6.1-6所示。这块金属的质量是多少？



图6.1-6

5. 有些商店里使用一种案秤（图6.1-7），它的工作原理与天平相同，不过两臂长度不等。这种案秤的哪两部分相当于天平的两个盘？什么相当于天平的砝码、游码？怎样判定它的横梁是否平衡？它的平衡螺母在什么位置？怎样调整才能使横梁平衡？

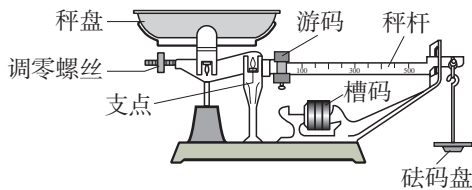


图6.1-7 案秤

第2节 密度

体积相同的木块、铝块和铁块，它们的质量并不相同。铁块质量最大，铝块较小，木块最小。而同一种物质，体积越大，质量越大。如果体积增大到原来的2倍，质量也会增加到原来的2倍吗？也就是说，同种物质的质量与它的体积成正比吗？

实验

探究同种物质的质量与体积的关系

我们用铝块做实验，研究铝块质量与体积的关系。取大小不同的若干铝块，分别用天平测量它们的质量，用直尺测量边长后计算出它们的体积，列出表来。然后以体积 V 为横坐标，以质量 m 为纵坐标，在坐标纸上描点，再把这些点连起来，看看它们是否大致为一条直线。

下面的表格可供参考。

	m/g	V/cm^3
铝块1		
铝块2		
铝块3		
铝块4		
……		

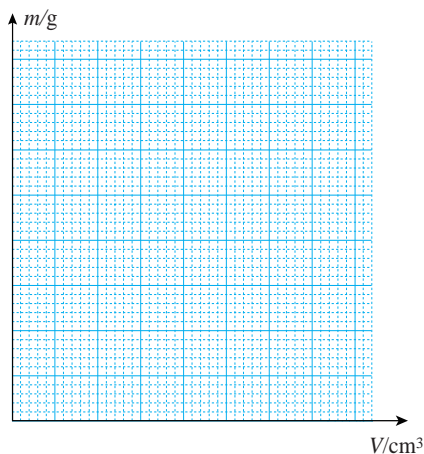



图6.2-1

 体积为0时质量也是0，所以根据 $m=0$ 和 $V=0$ ，也可以作出一个点。

通过所作的图象，可以直观地看到铝块的质量随体积的变化关系。你从中得到了什么结论？与你的猜想一样吗？

结论：铝块的质量跟体积_____。

在上面的探究中，铝块质量与体积的比值不变。如果是铁块或者木块，这个比值会跟铝块的一样吗？

密度

同种物质的质量与体积的比值是一定的，物质不同，其比值一般也不同，这反映了不同物质的不同性质。在物理学中，某种物质组成的物体的质量与它的体积之比叫做这种物质的密度（density）。如果用 ρ （读做rou）表示密度、 m 表示质量、 V 表示体积，那么用公式写出来就是

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

密度在数值上等于物体单位体积的质量。

密度 ρ 的单位是由质量单位和体积单位组成的。在国际单位制中，密度的基本单位是千克每立方米，符号是 kg/m^3 。有时候也用克每立方厘米做密度的单位，符号 g/cm^3 。这两个密度单位的关系是

$$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

小资料



1. 一些固体的密度（常温常压下）

物质	密度 / ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	物质	密度 / ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
钨	22.5×10^3	铝	2.7×10^3
金	19.3×10^3	花岗岩	$(2.6 \sim 2.8) \times 10^3$
铅	11.3×10^3	砖	$(1.4 \sim 2.2) \times 10^3$
银	10.5×10^3	冰 (0°C)	0.9×10^3
铜	8.9×10^3	蜡	0.9×10^3
钢、铁	7.9×10^3	干松木	0.5×10^3

2. 一些液体的密度 (常温常压下)

物质	密度 / (kg·m ⁻³)	物质	密度 / (kg·m ⁻³)
水银	13.6×10^3	植物油	0.9×10^3
硫酸	1.8×10^3	煤油	0.8×10^3
海水	1.03×10^3	酒精	0.8×10^3
纯水	1.0×10^3	汽油	0.71×10^3

3. 一些气体的密度 (0 °C, 标准大气压下)

物质	密度 / (kg·m ⁻³)	物质	密度 / (kg·m ⁻³)
二氧化碳	1.98	一氧化碳	1.25
氧	1.43	氮	0.18
空气	1.29	氢	0.09

例题 矗立在天安门广场的人民英雄纪念碑 (图 6.2-2) 碑身高 37.94 m, 由 413 块花岗岩石块砌成。碑心石是一块整的花岗岩, 长 14.7 m、宽 2.9 m、厚 1.0 m, 它的质量约为多少?

分析 碑心的巨石不能直接称量。如果从密度表中查出花岗岩的密度, 再用密度乘以碑心石的体积, 就能得到碑心石的质量。

解 碑心石的长、宽、厚 l_1 、 l_2 、 l_3 已经给出, 碑心石的体积

$$\begin{aligned} V &= l_1 l_2 l_3 \\ &= 14.7 \text{ m} \times 2.9 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} \\ &= 42.6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

查表可取花岗岩的密度

$$\rho = 2.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$



图6.2-2 人民英雄纪念碑

由密度的计算公式

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

可以得碑心石的质量约为

$$\begin{aligned} m &= \rho V \\ &= 2.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 42.6 \text{ m}^3 \\ &= 119.3 \times 10^3 \text{ kg} \\ &= 119.3 \text{ t} \end{aligned}$$

这道例题告诉我们，物体的质量等于它的密度与体积的乘积。因此，知道了物体的体积，查出组成物质的密度，就可以算出它的质量。对于不能直接称量的庞大物体，这种办法很方便。



动手动脑学物理

1. 一个澡盆大致是长方体，长、宽、高分别约为 1.2 m、0.5 m、0.3 m，它最多能装多少千克的水？
2. 猜一猜你们教室里空气的质量有多少。几克？几十克？还是几千克、几十千克？测出你们教室的长、宽、高，算一算里面空气的质量。你猜得对吗？
3. 人体的密度跟水的密度差不多，根据你的质量估算一下自己身体的体积。
4. 一个容积为 2.5 L 的塑料瓶，用它装水，最多装多少千克？用它装植物油呢？(1 L = 1 dm³)
5. 一捆铜线，质量是 89 kg，铜线的横截面积是 25 mm²，不用尺去量，你能知道这捆铜线的长度吗？它有多长？

第3节 测量物质的密度

生活、生产中常要知道某种物质的密度，那么如何进行测量呢？只要测出物体的质量和体积，通过 $\rho = \frac{m}{V}$ 就能算出物质的密度。液态物质的体积可以用量筒测出。

量筒的使用



想想做做

量筒的使用方法

观察你所用的量筒，思考下面几个问题。

1. 量筒是以什么单位标度的？是毫升（mL）还是立方厘米（ cm^3 ）？
2. 量筒的最大测量值（量程）是多少？
3. 量筒的分度值是多少？
4. 图 6.3-1 中画出了使用量筒读数时的几种做法。请指出哪种做法正确，哪种错误，错在哪里。

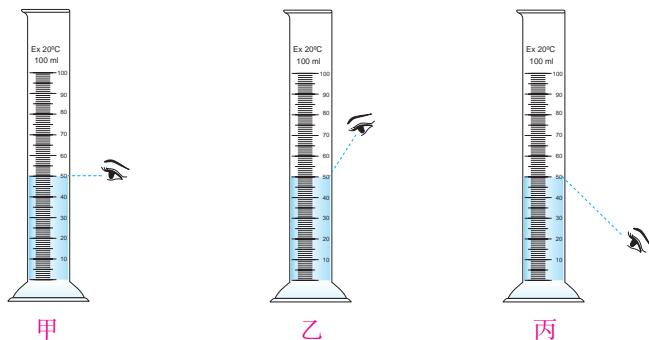


图6.3-1 哪种读数方法正确？

测量液体和固体的密度

要测出物体的密度，需要测出它的质量和体积。质量可以用天平测出。液体和形状不规则的固体的体积可以用量筒或量杯来测量。图6.3-2给出了用量筒测量不规则形状物体体积的一种方法。口头描述这种方法，与同学交流，然后用这种方法实际测量小石块的体积。

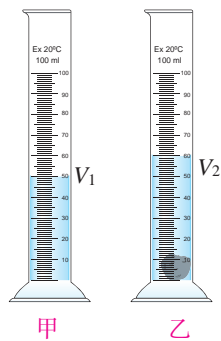


图6.3-2 用量筒测量不规则形状物体的体积

实验

测量盐水和小石块的密度

1. 一杯盐水因溶入不同质量的盐而密度不同。自己用盐和水配制一杯盐水，利用天平和量筒测量盐水的密度。将测量盐水密度时所得的数据及结果记录在下表中。

杯和盐水的质量 m_1/g	杯和剩余盐水的质量 m_2/g	量筒中盐水的质量 $m=(m_1-m_2)/g$	量筒中盐水的体积 V/cm^3	盐水的密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$

2. 用天平、量筒测量小石块的密度。

请你自己设计实验方案，画好记录实验数据的表格。然后做实验，测出不吸水的小石块的密度。

科学世界

细微差别中的重大发现

19世纪末，英国物理学家瑞利在精确测量各种气体的密度时，发现从空气中取得的氮的密度是 1.2572 kg/m^3 ，从氨中取得的氮的密度是 1.2505 kg/m^3 。虽经多次重复测量，仍然存在这个令人奇怪的差异。后来，他与化学家拉姆塞合作，于1894年在从空气中取得的氮里分离出另一种当时还不知道的气体——氩，这个谜才解开了。原来，氩的密度较大，空气中的氮混有少量氩，它的密度就比从氨中取得的纯氮的密度稍大。这是科学史上一个很有名的故事，它说明在科学实验中，精确的测量是多么重要。瑞利由于不放过这一细微差异而执着地研究下去，终于导致氩的发现，并因此荣获1904年的诺贝尔物理学奖。

动手动脑学物理

1. 一块长方形的均匀铝箔，用天平和尺能不能求出它的厚度？如果能，说出你的办法。

2. 建筑工地需用沙石 400 m^3 ，若用载重 4 t 的卡车运送，需运多少车 ($\rho_{\text{沙}} = 2.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)？

3. 长江三峡水库的容量约为 $3.93 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，这个水库的蓄水量是多少吨？

4. 为确定某种金属块的密度，首先用天平测量金属块的质量。当天平平衡时，放在右盘中的砝码和游码的位置如图 6.3-3 甲所示，则金属块的质量 m 为 _____ g 。然后，用量筒测量金属块的体积。将水倒入量筒，液面达到的位置如图 6.3-3 乙所示，再把金属块完全浸没在量筒的水中，水面升高，如图 6.3-3 丙所示，则该金属块的体积 V 为 _____ cm^3 。根据测量结果可知该金属块的密度为 _____ g/cm^3 ，相当于 _____ kg/m^3 。

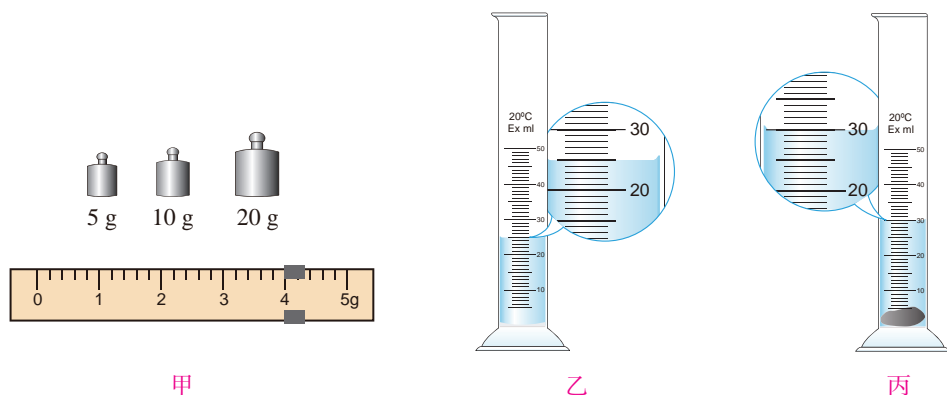


图6.3-3

第4节 密度与社会生活

密度与温度



想想做做

1. 在室温下，吹鼓两个气球。分别把它们放在冰箱的冷藏室内和炉火旁。过一会儿，你会发现什么现象？

2. 按图 6.4-1 做一个纸风车。如果把风车放在点燃的酒精灯上方，风车能转动起来。

你知道是什么推动了风车吗？

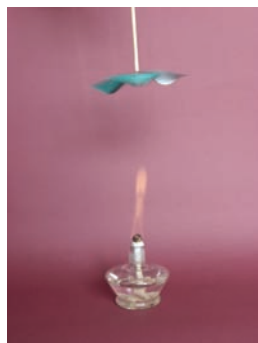


图6.4-1

在上述实验中，气体受热膨胀。由于密度 $\rho = \frac{m}{V}$ ，一定质量的气体体积膨胀后，密度变小而上升。热空气上升后，冷空气就从四面八方流过来，从而形成风。

温度能够改变物质的密度。在我们常见的物质中，气体的热胀冷缩最显著，它的密度受温度的影响也最大。一般固体、液体的热胀冷缩不像气体那样明显，因而密度受温度的影响比较小。

在我国的北方，冬天对自来水管的保护十分重要。如果保护不好，使水管内的水结了冰，不仅影响正常的生活用水，有时还会把水管冻裂，造成送水设备的损坏。那么，自来水管为什么会被冻裂？从密度表中，我们可以查到冰的密度比水的密度小，所以水冻成冰后体积增大就把水管胀裂了。

一般来说，同种物质温度越高密度越小，遵从热胀冷缩的规律，但是水比较特殊。水在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时密度最大。温度高于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，随着温度的升高，水的密度越来越小；温度低于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，随着温度的降低，水的密度也越来越小。水凝固成冰时体积变大，密度变小。图 6.4-2 为冬天湖水温度分布示意图。在寒冷的

冬天，湖面封冻了，较深湖底的水却有可能保持4℃的水温，鱼儿仍然可以自在地游动呢！

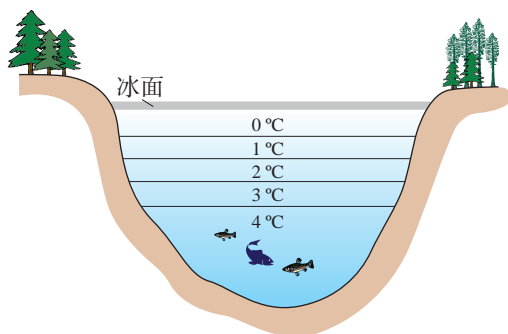


图6.4-2

密度与物质鉴别

如果测出某种物体的密度，把测得的密度跟密度表中各种物质的密度比较一下，就可以知道该物体可能是由什么物质做的了。

体育锻炼用的一个实心铅球的质量是4 kg，经测量知道它的体积是0.57 dm³。这个铅球是用铅制造的吗？

要想知道制造铅球的材料是否为纯铅，可以先求出它的密度，再与纯铅的密度进行比较。

此铅球的密度为

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{m}{V} \\ &= \frac{4 \text{ kg}}{0.57 \times 10^{-3} \text{ m}^3} \\ &= 7.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

由于铅的密度是11.3 × 10³ kg/m³，可知这个铅球不是纯铅制成的。

银饰品深受人们喜爱。但是银饰品不一定都用纯银制成，有些银饰品其成分除银之外，还可能有铜、镍等。测量密度可以对其是否为纯银做出初步判断。

不同物质的密度可能是相同的。例如，酒精和煤油都是液体，它们的密度都是0.8 × 10³ kg/m³，但是通过气味可以区分它们。因此，要准确地鉴别物质，常常需要多种方法并用。

密度是物质的基本性质之一，每种物质都有自己的密度。密度在我们的社会生活中还有其他重要的应用。例如，通过对样品密度等信息的采集，可以确定它的种类及其经济价值；鉴定牛奶、酒的品质，农业选种时配制盐水等，都要用到密度的知识。在工业生产中密度知识的应用也很广泛。航空器材常采用高强度、低密度的合金、玻璃钢等材料。坚若磐石的机床底座则需要用坚固、密度大的材料制成。可见，密度的知识与人们社会生活的关系十分密切。

材料与社会发展

我们周围的生活用品是由各种材料制成的：金属、陶瓷、玻璃、塑料等等。一般来说，不同的材料具有不同的物理性质，除密度外还有导热性、导电性、磁性、弹性、硬度、延展性等。生活、生产中，人们利用各种材料的优点，设计出所需的物品。

某一种新材料的问世及其应用，往往会引起人类社会的重大变革。

在群居洞穴的旧石器时代，人类通过简单加工获得石器，用来狩猎护身、维持生存。随着对石器加工制作水平的提高，



图6.4-3 商代后期用于蒸煮的青铜器——鬶(yǎn)

出现了原始手工业如制陶和纺织，人类进入了新石器时代。

青铜时代大约源于四千多年前。青铜是由铜、锡等元素组成的合金，它的熔点低、硬度高，比石器容易制作而且耐用。青铜器大大促进了农业和手工业的发展。

我国是世界上冶铁业出现最早的国家之一。春秋战国时代，由铁制作的农具、手工工具及各种兵器得以广泛应用。铁器时代的到来大大促进了社会的发展。随着钢铁、水泥等材料的出现和广泛应用，人类社会开始从农业和手工业社会进入了工业社会。

20世纪，半导体等新材料的出现和广泛应用，则把人类由工业社会推向信息社会。基于材料对社会发展的作用，人们将信息、能源和材料并列为现代文明的三大支柱。在三大支柱中，材料又是能源和信息的基础。



图6.4-4 沧州铁狮子



图6.4-5 气凝胶是世界上密度最小的固体。这种新材料具有隔热、耐高温等性能，在航天探测上有多种用途。



动手动脑学物理

1. 下表列出了几种金属的密度、熔点、导热性能及导电性能等物理特性。研究表中的数据,你有什么新的发现?

金属	全球年产量 (10^4 t)	密度/ $(10^3$ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	熔点/ $^{\circ}\text{C}$	导热性能 1表示最强 9表示最弱	导电性能 1表示最强 9表示最弱	市场价格 (元·吨 $^{-1}$) (大约)
铝	15 000	2.7	660	4	4	16 000
铜	8 000	8.9	1 083	2	2	58 000
金	2	19.3	1 063	3	3	350 000 000
钢铁	301 430	7.9	1 540	8	7	4 000
铅	3 000	11.3	327	9	9	15 000
镍	800	8.9	1 453	7	6	140 000
银	8	10.5	961	1	1	7 000 000

综合考虑表中各方面的因素,通过小组讨论,回答以下问题。不仅要阐明你的观点,还要说清楚理由。

(1) 哪两种金属的导电性能好? 在你认为导电性能好的金属中,哪种更适宜做导线?

(2) 哪一种金属的导热性能好? 生活中常用的各种锅是用什么金属做的? 为什么人们炒菜时宁愿用铁锅而不愿用铝锅?

(3) 哪一种金属的密度最小? 生活中什么地方使用这种金属? 综合评价为什么使用它。

2. 有一种1角硬币,看上去好像是铝制的。它真是铝制的吗? 请你想办法测量它的密度。写出你选用的实验器材、实验方法,你所采用的实验步骤。1角、5角和1元硬币所用的金属一样吗? 通过实验验证你的判断。

3. 1 cm^3 的冰融化成水后,质量是多少? 体积是多少?

4. 根据气体的密度随温度升高而变小的现象,试分析房间里的暖气一般都安装在窗户下面的道理。



1. 质量

物体所含物质的多少叫做质量。当物体的位置、形状、状态改变时，物体的质量不会改变。质量用字母 m 表示。质量的单位是千克，符号是 kg。

2. 质量的测量

质量可用天平、台秤等来称量。

使用托盘天平称量质量时，要把天平放在水平台面上；把游码放在标尺左端的零刻度线处，调节横梁两端的平衡螺母，使指针指在分度盘的中线处，这时横梁平衡；把被测物体放在左盘里，用镊子向右盘里加减砝码并调节游码在标尺上的位置，直到横梁恢复平衡。这时盘中砝码的总质量加上游码在标尺上所对的刻度值，就等于被测物体的质量。

3. 密度

某种物质组成的物体的质量与它的体积之比叫做这种物质的密度。密度的公式为 $\rho = \frac{m}{V}$ 。

测量物体的密度，可根据物体的质量和体积，利用公式 $\rho = \frac{m}{V}$ 计算。质量可以用天平测出，液体和形状不规则的固体的体积可以用量筒或量杯来测量。

4. 物质的鉴别

不同物质的密度一般不同，可以根据密度来鉴别物质。如果仅通过密度无法鉴别，就需要根据物质的其他性质，如颜色、气味、硬度、电学特性等进一步鉴别。

索引

(名词后面的数字是它第一次出现的页码)

A		镜面反射	75
凹透镜	91		
C		M	
超声波	33	漫反射	75
次声波	33	米	10
		密度	114
		秒	13
D		N	
地球	105	凝固	53
		凝固点	55
F		凝华	64
反射	73	P	
反射定律	74	频率	32
非晶体	55	Q	
沸点	59	汽化	58
沸腾	59	R	
分贝	43	熔点	55
		熔化	53
G		S	
光线	70	色散	85
光源	69	声波	29
		升华	64
H		实像	96
赫兹	32	速度	20
红外线	86	T	
		太阳	105
J			
机械运动	16		
焦点	92		
焦距	92		
介质	29		
晶体	55		

透镜	90	音调	32
凸透镜	90	音色	35
		银河系	105
W		宇宙	105
温度	47	匀速直线运动	21
物理学	3		
		Z	
X		噪声	42
响度	34	折射	82
像	77	振动	28
虚像	78	振幅	35
		蒸发	60
Y		质量	108
液化	58	紫外线	87