

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

科学的今天和明天



前 言

本书是为在联合王国和国外欲通过普通科学或综合科学的 O-级 (O-level) 或 CSE 考试 (CSE examination) 的学生, 选修一门研究课程而编写的。

全书共 92 章, 教材内容包括生物学、化学、物理和地球科学, 每章讨论一个专题。各章包括基本事实、概念、实验说明以及自学与检验用的习题。

本书的编排可作为两年的研究课程, 但这决不意味着必须按照本书的顺序进行讲授。事实上, 我们曾设想, 教师们会以多种方式大大丰富本书的课题, 因此我们的着眼点是使学生能够方便地获得书中所列各简明标题的有关知识。为了强调各学科之间的基本联系, 在适当的地方我们作了相互参照, 然而, 由于学生们受到了各分学科的“熏陶”, 我们希望为未来的专家研究各分学科开辟道路。

M.A. 阿瑟顿

T. 邓肯

D.G. 麦克恩

Olevel-Ordinarylevel, 意为 (中学生) 普通级考试。

CSE-CertificateofSecondaryEducation 的缩写, 意即中学教育证书。——译者注

科学的今天和明天

物质

§ 1 物质的分离

纯净物和混合物

我们身边某些物质是混合物，它们由两种或两种以上的物质组成，而仅由一种物质组成的物质称为纯净物。土壤、空气、牧草、啤酒和牛奶都是混合物，糖则是一种纯净物。

有时，很容易观察到混合物中的不同物质，例如，玉米和蚕豆组成的混合物以及土壤就是如此。但是，许多混合物看上去好象只是由一种物质组成，如啤酒。对啤酒这样的混合物，只有将其分离成它的组成物，才能证明它是混合物。

通过检验物质的性质，可以查明该物质是纯净物还是不纯物。每一种纯净物均具有其区别于其它任一纯净物的一系列性质。例如纯水之所以不同于其它液体，这是因为它是唯一在 0 时凝固，在 100 时（海平面上）沸腾和密度为 1 克/厘米³的物质。

如果所取的水样在 102（在海平面上）沸腾，且密度大于 1g/cm³，这就可以知道，该水样肯定是水和其它物质的混合物。尽管有时混合物看起来好象是一种纯净物，但混合物的某些性质肯定与组成该混合物的纯净物的性质有所不同。

某些分离物质的方法

图 1.1 表示如何从纯砂粒、食盐和水所形成的混合物，将其三种组分分离开来。在此图中有几个重要的名词术语，读完本章即可理会它们的含义。

过滤和蒸发

如果将食盐同水混合振荡，则食盐“消失”掉。

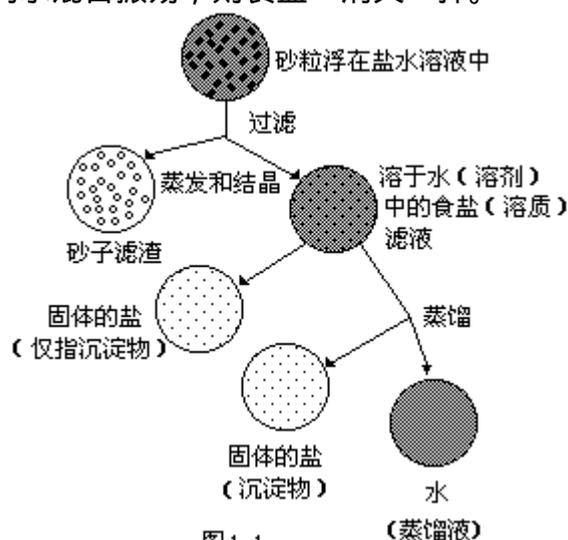


图 1.1

我们把这种现象说成是食盐溶解于水形成了溶液。但是，如果把砂子加入水中，就会看到砂粒或“悬浮”在水中，或沉到容器底部形成砂层。食盐可溶于水而砂子不能溶于水。

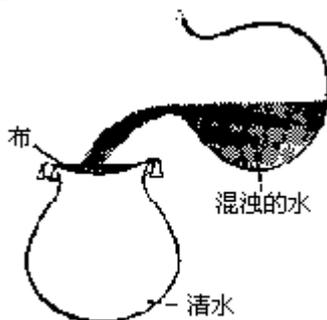


图 1.2

过滤是把不溶性固体与液体分离开来的一种方法。在一些农村里，就是利用过滤的方法来清洁含有泥沙的河水。如图 1.2 所示，在水桶口蒙上一块布，然后将混浊的河水倒入桶内，泥沙不能透过布面上的细孔，而水却能够穿过布进入水桶。

我们常用的自来水往往经水厂进行过滤净化处理。当水缓缓流过由砂石构成的颗粒床时，水中夹带的颗粒物质被截留，清水由床底流出。

蒸发是把可溶性固体物质从其溶液中分离出来的一种方法。加热溶液，把液体（溶剂）蒸发掉，就可得到固体物质（溶质）。

如果只是蒸发掉溶液中的部分溶剂，那么可获得浓度较大的溶液，使这部分溶液冷却，就可得到溶质的晶体，这种过程称为“结晶”。结晶之所以发生，是因为在相同体积的溶剂中，较低温度时只能溶解少量的溶质，因此，未被溶解的溶质则以固体结晶析出。

实验 1 分离砂子和食盐的混合物

把砂子和食盐的混合物放入盛有水的烧杯并进行搅动，然后用图 1.3 所示的装置进行过滤，滤纸的作用与图 1.2 中布的作用相同。

现在从食盐溶液（滤液）中提取固体的食盐。把滤液倒入蒸发皿中（图 1.4a）加热，直到里面剩下很少量的溶液为止。然后把剩下的滤液放在蒸气浴上加热（图 1.4b）。观察蒸发皿边缘上的食盐晶体。

蒸馏

由滤液制得固态食盐可用图 1.4 所示的两种方法。这两种方法都

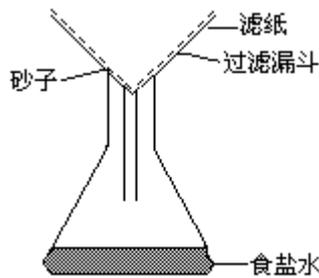


图 1.3

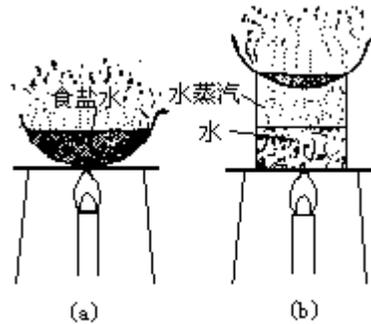


图 1.4

是把两种物质的混合物分离成溶剂和溶质两部分。然而，蒸馏不同于蒸发，蒸馏可获得两种而不只是其中的一种物质，其原因是在蒸馏中人们把从液体中挥发出来的蒸气“收集”后，又在其它容器内将其冷凝成了液体。

实验 2 由食盐水制取纯水

允许品尝本实验所用的液体，但决不许可品尝实验室里的任何其它物品，因为许多物质对人体是有害的。

在约 25cm^3 的水中溶入一勺食盐，品尝溶液的味道。把溶液倒入一可加热的试管中，并加入少许浮石。然后用图 1.5 所示的装置对溶液进行加热。当溶液开始沸腾，即把火关小，以使液体缓缓地沸腾。

· 试管内可观察到什么现象？

继续加热，直到试管内收集到液体约为 2厘米^3 为止。

· 这时试管内的液体尝起来是咸味的吗？

· 此刻食盐到哪里去了？

在所有的蒸馏过程中，较易挥发的物质（沸点低的物质）首先汽化，剩下较难挥发的物质。随着温度的升高，较难挥发的物质也被汽化。但是，象食盐这样的“不挥发”物质只有在很高的温度下才能汽化。

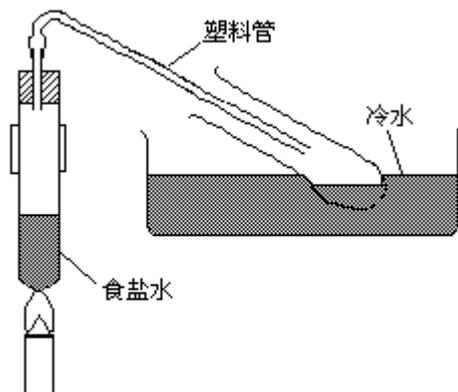


图 1.5

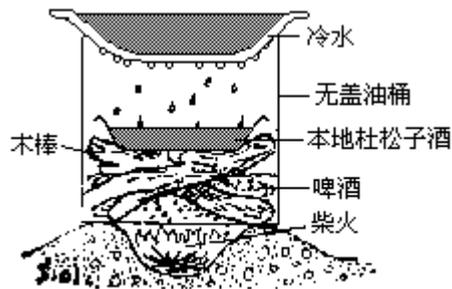


图 1.6

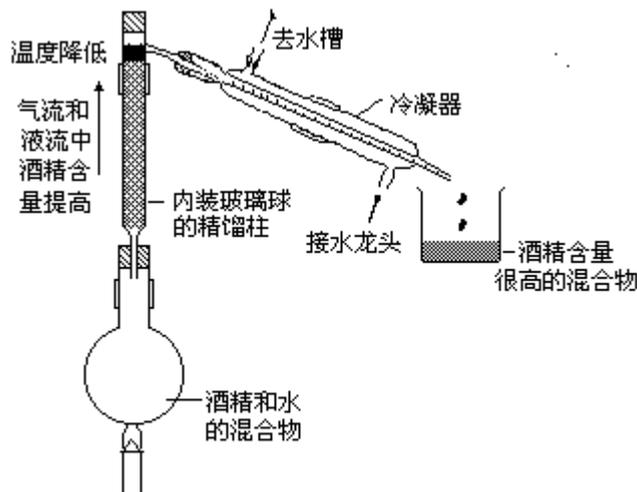


图 1.7

用一般的蒸馏方法很容易将一种可挥发物质（如水）和一种不挥发物质（如食盐）完全分离开，但要分离两种挥发性接近的物质却要困难得多。通常出现的情况是，馏出物中仍同时含有两种物质，只不过所含的易挥发物质比原混合物中多一些。

图 1.6 示出了非洲的一些农村自制的用来蒸馏啤酒（酒精和水的混合物）的装置。“本地杜松子酒”作为馏出物收集起来，尽管其中还含有大量的水，但酒精含量要高于啤酒。

用这类装置不能使酒精和水完全分离，当希望从酒精和水的混合物中分离出高纯度的酒精时可采用一种称为精馏的特殊蒸馏方法（图 1.7）。蒸馏柱内装有许多玻璃球，混合物沿此柱上升过程中，酒精的浓度越来越高。在柱顶液体中酒精浓度可达 95%。

纸上色层分析

墨水挥发至干会剩下固态物质，这就是使墨水呈现一定颜色的物质。下面的实验证明了染料不是单质而是一种混合物。

实验 3 分离墨水中的染料

将一滴墨水滴加到置于蒸发皿上的一张滤纸的中心部位（图 1.8）。然后用滴管小心地在墨迹处滴上几滴水，让水慢慢将纸渗透，不要让水溢到别处，否则就不能得到理想的实验结果。

部分染料随水在滤纸上扩散开去，但它们扩散到的范围有所不同，这样，若干条不同颜色的色带就出现在距墨迹中央不同距离的地方。

这种方法可用来分离混合物中含有的少量的物质，人们称这种方法为纸上色层分析。实验结束，将滤纸裁下，从而将一种染料与其它染料分开。

习题

1. 下面是一段关于岩盐的短文，试把下面的词填入短文的空白处。

晶体，溶解，蒸发，过滤，滤液，不纯，纯净，溶液

世界上许多地方发现一种形状与岩石类似的盐,称为岩盐。岩盐的_____见图 1.9。从地下采掘的岩盐常夹带有砂石,因此这种盐是_____的。

为了由岩盐制得_____的食盐,首先要将岩盐中的岩石粉碎,然后将岩盐放入水中。盐可_____于水但砂石却不能,_____这种混合物,把盐_____作为_____收集

在长颈瓶内。然后,对长颈瓶内的液体进行_____,以除去所含的水,剩下的即为食盐。

2.说明如何借助家用器具由食盐水制取纯净的水。

3.蔗糖是多种物质的混合物,其中一些物质(如糖本身)可溶于水,而有些物质则不溶于水。

说明如何借助家用器具由蔗糖制取可溶物质的溶液。怎样由这种溶液提取出固体物质?

4.图 1.10 是生长在肯尼亚高原上的几种白花,用己烷作萃取剂可从这些花中提取出一种称作“除虫菊”的杀虫剂。

试叙述:

(a) 怎样由这种白花制取含除虫菊的己烷溶液?

(b) 怎样由己烷溶液制取除虫菊(提示:己烷的沸点远低于除虫菊的沸点)。

5.本地杜松子酒(§1)是无色液体,而由此酒制取的啤酒却呈咖啡色,解释二者呈现不同颜色的原因。

6.原油是由具有不同沸点的多种液体组成的混合物。炼油厂用精馏方法将

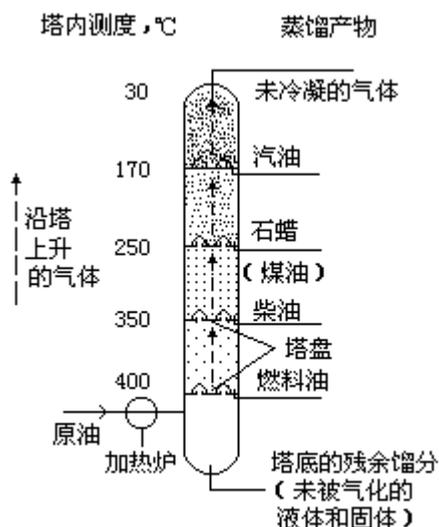


图 1.11 蒸馏塔简图

原油分离成不同的组分（馏分）。其工艺流程示于图 1.11。

本题中的蒸馏塔在结构上要比图 1.7 中的塔复杂。易挥发的液体汽化成气体，然后沿塔上升、部分气体在塔的不同部位凝成液体并在塔盘上聚集后溢出，一小部分未凝成液体的气体上升到塔顶。

- (a) 塔内温度由塔底到塔顶有什么变化？
- (b) 为什么不同的气体要在不同的塔盘上凝成液体？
- (c) 比较汽油和燃料油挥发性的大小。
- (d) 那些上升到塔顶仍不凝结为液体的物质，其沸点高低如何？
- (e) 为什么一些液态的残余馏分汇集在塔底？

§ 2 物质的分解

由木材制取木炭

世界上许多地方用木炭作燃料。在少量空气存在的条件下加热木材，木材不能燃烧起来却可制得木炭。由于木炭的性质与木材的性质完全不同，故可以肯定木材在加热过程中发生了化学反应。

所有物质，不管是固体、液体还是气体，都是由无数微粒构成的。木炭与木材的性质很不相同，因此，构成两种物质的微粒也必然有区别。

如果微粒的种类发生变化从而生成了新的物质，那么这种变化就叫做化学反应。

制取木炭时，木材总是减少部分质量，如 100 公斤木材约可制取 25 的木炭，恰好减少了 75 公斤。图 2.1 解释了出现这种现象的原因，原来，木材失去的这部分质量以液体和可燃气体的形式从木材中放出了。这一化学反应可用文字方程式简单表示如下：



图 2.1 所示实验的结果表明，木材中肯定含有液体物质和气体物质，而木炭中却不含这两种形式的物质。因此，木材和木炭不可能是同一种物质。木材由很大且很复杂的微粒构成，加热木材时，这种微粒就分解成木炭、液体和气体，它们比原来的微粒小得多，也简单得多。

硫酸铜晶体的变化

如图 2.2 所示，试管内正在加热蓝色的硫酸铜晶体，试管事先密封好，使试管内外没有物质的交换。过一会儿就可看到，试管内的蓝颜色晶体不见了。留下的是白色固体，并且距火焰稍远的试管内壁上有无色的液滴凝聚。

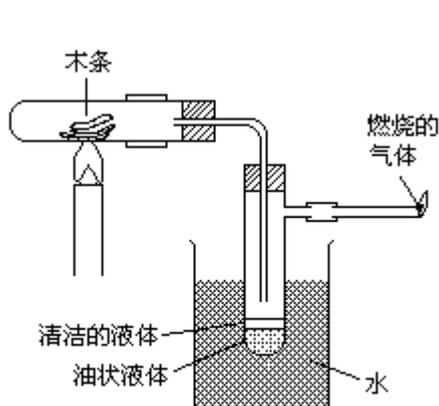


图 2.1

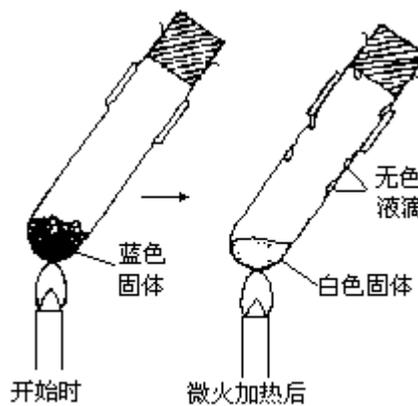


图 2.2

这个实验表明，蓝色固体由白色固体和无色液体构成，并且，蓝色固体与无色液体不是同一种物质（图 2.3）。本实验表明这种变化是另一种化学反应。

可以验证，加热前后试管与试管内所装物质的总质量相等。白色固体与无色液体两者质量的和等于蓝色固体的质量。

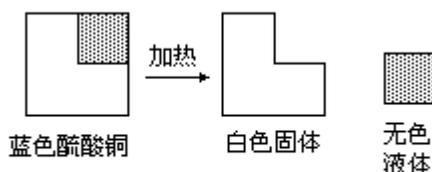


图 2.3

在所有的化学反应中，相互反应的物质总质量等于所生成物质的总质量。

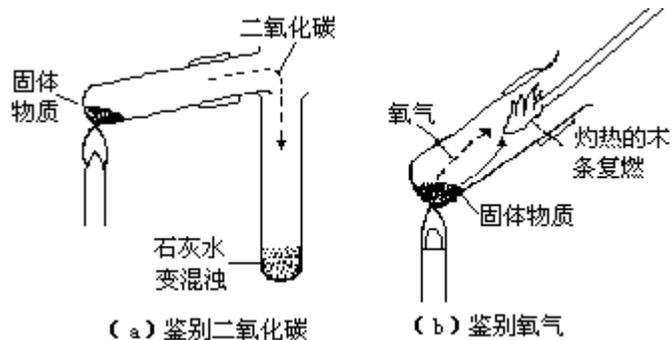
这一重要结论称为质量守恒定律。

所有在加热时质量减少的固体，必然有气体放出。质量守恒定律表明，放出的气体的质量总是等于固体减少的质量。

其它固体物质的加热

做下面的实验之前，首先要知道如何鉴别气体。和所有物质一样，每种气体都有一些特殊的性质，依据这些性质就可确定该气体为何物质。鉴定有颜色的气体很容易，但许多气体由于没有颜色不好识别。鉴别这些气体就要通过实验。这种实验要根据气体的一些固有性质来进行。

图 2.4 示出了如何进行鉴别氧气和二氧化碳两种无色气体的检验



气体名称	颜色	鉴别	鉴别的性质
二氧化碳	无色	将气体通入石灰水	石灰水变混浊
氧气	无色	把灼热的木条放入气体中	灼热的木条复燃

图 2.4

方法。在这个试验里，人们可以发现被加热固体是否会分解成新的物质。实验时注意检查下列内容：

- (i) 固体物质颜色的变化；
- (ii) 放出的气体；
- (iii) 固体物质质量的变化。

在实验中，如果固体物质由于放出气体减少了质量，那么就一定生成了由不同微粒构成的新物质。

实验 1 一些固体物质加热时的现象

每组实验至少应利用下列固体物质中的任意两种：

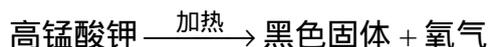
碳酸铜，氯化钾，高锰酸钾，碳酸氢钠

首先，试管内装入两刮勺固体物质，称出试管的总质量；然后加热试管，并观察试管内物质的变化情况。如考虑有气体放出，可用上面介绍的方法鉴别。最后让试管冷却下来，重新称量试管的总质量。

· 抄下如下的表格，并将实验结果逐项填在表格内。

加热前的质量 (克)	加热后的质量 (克)	加热前的颜色	加热后的颜色	放出的气体 (如果有的话)

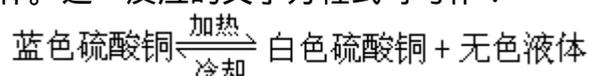
· 用文字方程式表示每一个所发生的化学反应。例如，加热高锰酸钾的反应可写作：



对固体物质加热使之分解成新物质的化学反应称为热分解。本实验中有三种物质可发生这种反应，而另一种物质加热时不发生任何变化。

朝两方向进行的化学反应

一些变化是可逆的，即这些变化可朝两个方向进行。如果冷却图 2.2 中的试管，则管壁上凝集无色液体又会返回白色固体中，从而白色固体又变成原来的蓝色固体。这一反应的文字方程式可写作：



如将无色液体收集起来（图 2.5）并检验它的性质，就会发现这种无色液体实际上是纯净的水。

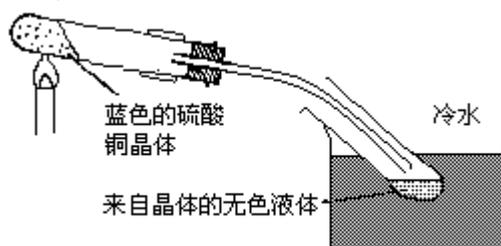


图 2.5

还有许多其它的晶体加热时可放出水，这样的晶体称为水合物，除去水后生成的新的固体物质称为无水化合物。

“固结”在水合物晶体内部的水称为结晶水，它总可通过对晶体/TITLE>加热的方法除去。在少数情况下，让晶体在空气中暴露几天也可除去其中的结晶水，如水合碳酸钠就是这样的晶体。

从化合物到元素

图 2.6 和图 2.7 示出了两种分解物质的方法。如图 2.6 所示，加热

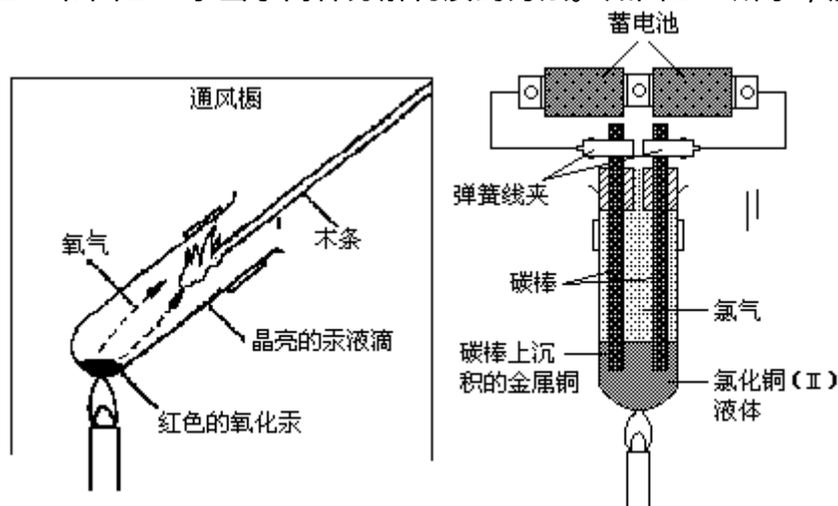


图 2.6

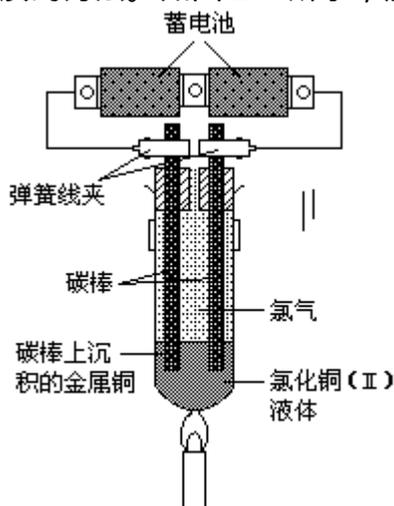


图 2.7

红色的氧化汞就变成了灰色发亮的汞液滴，和无色的气体（氧气），该气体可使灼热的木条复燃（注意：本实验中放出有毒的汞蒸气）。

分解物质的另一种方法是把物质熔化后通以电流。图 2.7 中为已熔化成液体的绿色氯化铜，通电时，氯化铜液体产生有黄绿色有刺激味的气体（氯气），并有一层红色的固体物质（金属铜）沉积在碳棒周围。

不论采取什么方法都不能使汞、氧、氯和铜再进一步分解，甚至给汞和铜通以电流，二者也并不发生变化。上述四种物质称为元素，构成这些元素的微粒称为原子。

元素是最简单的物质，它可通过化学反应获得，元素只由一种原子构成。

红色的氧化汞和绿色的氯化铜都是由两种元素所构成的化合物（图 2.8）。

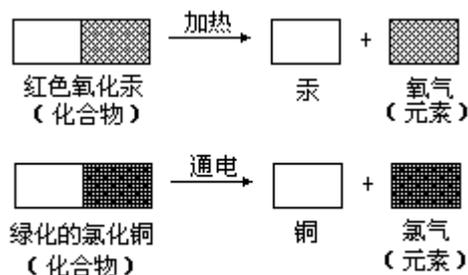


图 2.8

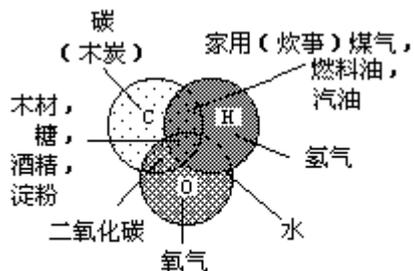


图 2.9

化合物通常可分解成较简单的物质：化合物由两种或两种以上的元素的原子构成。

并非所有化合物都可通过加热或通以电流直接分解成组成该化合物的元素，许多化合物往往可分解成较简单的化合物或分解成元素与较简单化合物的混合物。例如，木材分解成木炭（碳、一种元素）、液体（简单化合物的混合物）和气体（简单化合物的混合物）。

生活材料中的元素

生活材料中的许多化合物（或由生活材料构成的许多化合物）仅由碳、氢和氧三种元素构成。图 2.9 给出了其中一些例子。位于中心区域的物质由上述三种元素构成，位于两环重叠部分的物质只由其中两种元素构成。

习题

1. 下面是关于蓝色硫酸铜的一段短文，选取下列适当的词填入空白处，完成短文。

无水（的），晶体，水合（的），质量，结晶水

缓慢加热蓝色的硫酸铜_____时，由于蓝色硫酸铜析出了所含的_____，故其_____要减少，结果生成白色固体物质，称为_____硫酸铜。如果给这种白色固体滴入水滴，则它又恢复原状，变成_____硫酸铜。

2. 硫酸铈是黄色固体，对其加热，黄色固体变成橙色固体，并有无色液

体在试管壁上生成。

用水合物、无水物和结晶水的概念解释发生这种现象的原因。怎样才能使橙色固体再变成原来的黄色固体？

3. 碘化铅是由两种元素构成的固体化合物。

(a) 说出这两种元素的名称。

(b) 叙述一个可将碘化铅分解的方法。

4. 人们习惯认为水是一种元素，你认为用什么实验可以证明水是化合物？

5. 写出一化学反应进行过程中可能发生的三个变化，其中两个变化是固体所发生的，另一变化则是其它一类所观察到的现象。

§ 3 混合与结合

再论化学反应

有时，两种物质混合时可发生化学反应，有时却不发生。图 3.1 解释了化学反应的实质，这种解释不是利用装在试管或烧杯内的物质微粒发生反应，而是利用装在盒子里的模型进行说明。

可以看到，在简单的混合过程中，虽然把两种模型混合在一起，但两种模型并没有结合在一起；然而在化学反应中，这两种模型却彼此结合在一起构成一全新的模型。构成这种新模型的新微粒不同于原来物质的微粒。



图 3.1

假如用图 3.2 所示的装置使水与食盐（氯化钠）混合，食盐被水浸湿，但温度计只显示出很小的温度变化或没有变化。这说明，该实验中没有生成新的物质。

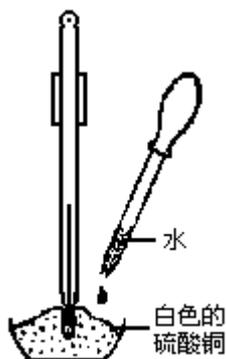


图 3.2

现假定坩埚内盛有白色的固体硫酸铜，往坩埚内加适量水，则白色固体会变成干燥的蓝色固体，并且温度会升高许多。这就是发生了化学反应。在该反应中，水与白色的硫酸铜结合在一起生成一种新物质——蓝色的硫酸铜。

伴有温度上升的化学反应称为放热反应。在放热反应中，反应物把热量传给环境。并不是所有的化学反应都是放热反应，但反应中放出的热量却是一个标志，它表明反应物彼此结合生成新物质的过程正在进行。

从元素到化合物

通过所谓的合成过程可以使元素组成化合物。前面（§2）曾讲过给化合物加热或通电可使其分解，现在所讲的合成过程正是前面所讲分解过程的逆过程。有时，可按图 3.3 所示的方法直接由元素合成化合物，但往往这种工艺流程很长，且相当复杂。

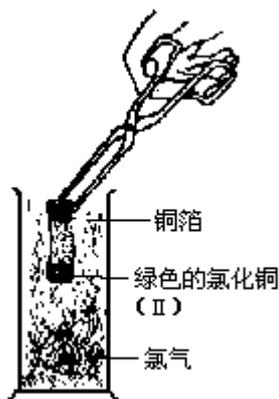


图 3.3

在下面的实验中，你可看到由铁和硫直接合成另一种化合物。

实验 1 铁和硫的混合与结合

给定铁屑和硫粉的混合物，铁屑为 7 克，硫粉为 4 克。让磁铁停留在混

合物的上方，观察所发生的现象。

· 哪种元素被吸附在磁铁上？

给试管注入甲苯约 25 毫升，然后加入一刮勺铁屑和硫粉的混合物，用木塞子塞紧试管口并摇晃（注意：甲苯易燃，使用甲苯时避免明火）。将混合物过滤，注意观察液体及滤出的混合物。分别只用铁屑和硫粉按上述步骤再各实验一次。

把滤出的混合物放入一硬质玻璃管内，用试管夹夹紧试管，并使其保持水平。加热该混合物，一旦混合物开始灼烧，就撤去本生灯。

· 混合物出现什么现象？

观察加热后剩下的固体物质。

· 磁铁对它有什么作用？

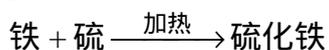
把观察到的现象填入下面表格。

物 质	外 观	磁铁对其作用情况	甲苯对其作用情况
-----	-----	----------	----------

“物质”一栏可填铁屑、硫粉、铁屑和硫粉的混合物以及加热后生成的固体物质。

如何辨别加热铁和硫的混合物时所发生的化学反应？

图 3.4 给出了本实验的一些结果。铁和硫组成的化合物称为硫化铁，所发生的化学反应可用文字方程表达为：



铁、硫混合物与硫化铁的性质完全不同，虽然混合物和化合物都是由铁原子和硫原子组成，但混合物中两种原子一直是彼此分离的，而在化合物中它们却结合在一起（图 3.5）。

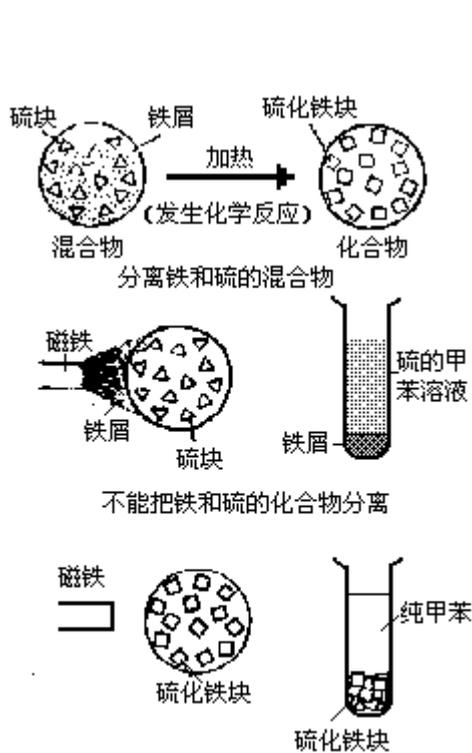


图 3.4

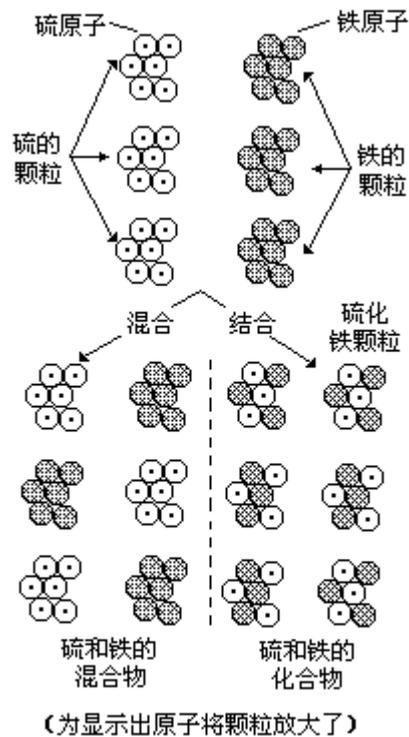


图 3.4

铁和硫发生的化学反应改变了这两种元素的性质。通过刚才对硫化铁的观察并不能够推断出它是由铁还是由硫所构成的。但是它一定含有这两种元素，因为硫化铁可以由这两种元素构成。

上面实验所用混合物中含有 7 克铁和 4 克硫，这是由于按这样的数量比例进行实验，恰好可使两元素反应完全（如用 14 克铁、8 克硫；或用 21 克铁、12 克硫情况相同，依此类推）。如果把 8 克铁和 4 克硫放在一起加热，生成的固体物质中尚有 1 克铁未参加反应。

本实验说明了化合物的两个重要事实。

化合物与组成该化合物的各元素的性质完全不同。

元素按固定的比例组成化合物，即化合物有固定的组成。

第二个事实是，一种化合物中一种元素总是按一定的比例与其它元素结合在一起。不论组成的是什么化合物，这一结论总是成立的。化学家称之为“组成不变定律”。

习题

1. 一份（以质量计）锌与 4 份（以质量计）碘完全反应后生成物只有碘化锌。假设让 4 克锌与 18 克碘反应，回答下列问题：

- 本题第一句话说明了哪一重要化学定律？
- 哪种元素未完全反应？
- 反应后该元素剩下多少？

- (d) 生成多少碘化钾？
- (e) 回答问题 (d) 要用化学上哪一重要定律？

2. 下面是日常生活中常碰到的现象，你认为哪种现象是化学反应？回答并说明理由（回答问题时可以与老师讨论）。

- (a) 混凝土（湿砂和水泥）的凝固
- (b) 铁的生锈
- (c) 用小苏打治疗胃酸
- (d) 牛奶变馊
- (e) 食物的腐烂
- (f) 木材的燃烧

3. 写出混合物不同于化合物的两个重要方面。

§ 4 物质的粒子性质

物质有三种形态——固态、液态和气态。所有物质都是由小得不能用肉眼直接观察到的微粒构成的，一些物质的微粒可通过一种科学仪器看到，这种仪器称为电子显微镜。本章开头的照片就是用这种仪器观察到的，照片显示出了构成蛋白质的微粒。在这类特殊的物质当中，微粒就是集合在一起的原子称为分子。许多物质是由分子构成的，还有一些物质是由另一种微粒构成，这种微粒留待以后讨论。

下面的简单实验证明了两个事实：

- (i) 物质由微粒构成。
- (ii) 构成物质的微粒在不断地运动着。

晶体

实验 1 晶体的长大

a. 当盐的热浓缩溶液冷却时，便有晶体生成。把这类热浓缩盐溶液放在显微镜的载片上，然后把载片置于显微镜下，即可观察到晶体的形成（图 4.1）。

b. 观察该盐的一些体积较大的晶体。

值得注意的是，一个小晶体长成大晶体后，其形状并不改变。有时候可在大晶体内部观察到“生长线”。这些线就是原来较小晶粒的晶界。晶体的这种规则的生长方式可以用粒子的概念加以解释。晶体中的粒子以规则方式聚集在一起，某一特定晶体的粒子其组合方式相同，晶体内加入的新粒子总是与该处原有的粒子组合方式相适应（图 4.2）。

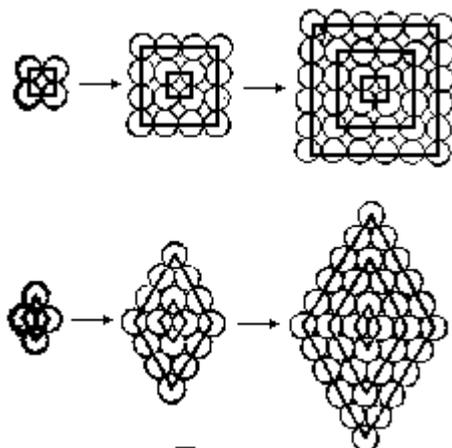


图 4.2

扩散

气味，不管它是否令人喜欢，都能很快传播。气味的传播是由于分子的运动引起的，气体的这种传播称为扩散。

实验 2 观察扩散

a. 往集气瓶内滴几滴液体溴，另取一集气瓶，扣在上一集气瓶上。约过 30 分钟，就可发现两个集气瓶内均充满了溴蒸气，见图 4.3。考虑到溴蒸气的密度要比空气的密度大五倍多，因而这种现象令人十分惊奇。在本实验中，溴蒸气不只是向空间扩散，同时也与空气混合。这种现象用粒子的概念很容易解释，假设一种气体的分子之间有很大的空隙，那么其它气体物质的分子就可进入这些空间与该气体混合。

b. 把一装有空气的多孔容器连接到压强计上，然后给容器外围空间充入氢气（图 4.4），这时就可看到压强计中的液柱沿箭头所指的方向运动。这是由于氢分子比空气分子轻，运动速度也比空气分子快，因此，氢分子向容器内扩散的速度就要比空气分子由容器内向容器外扩散的速度快。

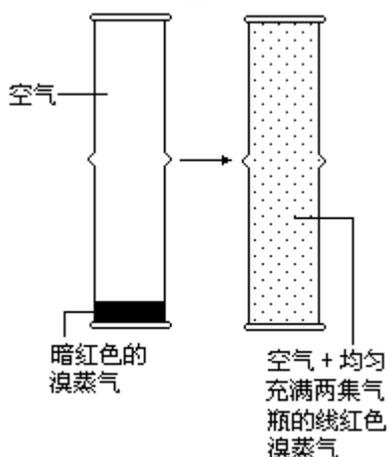


图 4.3

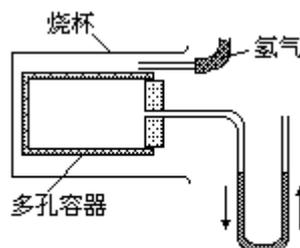


图 4.4

如果给容器壁外围通入二氧化碳，则出现与上述现象相反的情况，这是

为什么？

c.把重铬酸钾晶体放在烧杯底部，几小时后，根据烧杯中的液体被染成的橙色就可看到晶体向液体中的扩散。这说明液体肯定也是由运动的粒子所构成的。粒子在液体中要比其在气体中的扩散速度慢得多，因而，粒子在液体中的运动速度也要比其在气体中的运动速度慢得多。

实验 3 布朗运动

图 4.5 为实验所用装置。实验时，首先点着用纸卷成的吸管，然后将其吹熄使其产生烟雾。把产生的烟雾充入玻璃容器内，用盖板盖上容器口。把玻璃容器置于显微镜的工作台上，打开电灯，这时玻璃棒起着透镜的作用，使灯光在烟雾中聚成一焦点。

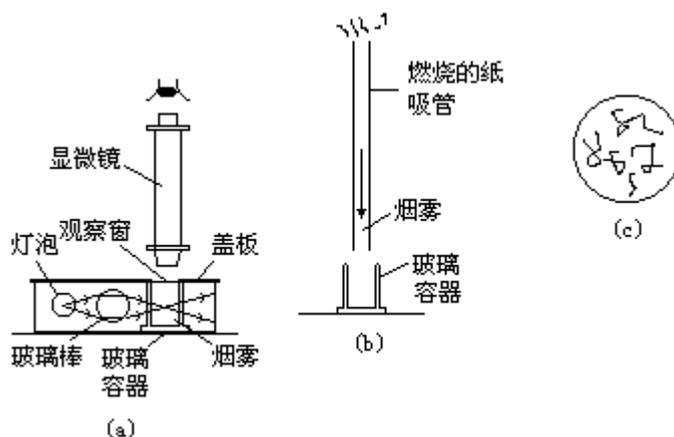


图 4.5

仔细调节显微镜，直到可清楚地看到无数明亮的小颗粒作无规则的随意跳动。借助被反射回来的光线所看到的这些小颗粒就是烟雾微粒。这些微粒之所以做无规则的运动是由于它们与容器内的空气分子相互碰撞的结果，同时，它们也与容器壁相碰撞。微粒的这种效应称为“布朗运动”。悬浮在液体中的小微粒也作布朗运动。布朗运动是植物学家罗伯特·布朗于 1827 年观察漂在水中的花粉时首先发现的。应该注意到，一个悬浮在液体中的较大的物体是不可能观察到其作布朗运动的，原因是，由分子相互碰撞使物体产生的运动速度实在太小了，故很难观察到。

物质的分子运动论

固体、液体和气体虽然可以由同种基本粒子构成，但三者之间却有一些明显的差别。例如：

- 固体保持一定的形状，液体的形状由容纳该液体的容器的形状决定，而气体却向四周扩散，充满可占据的空间。
- 固体和液体的密度总是远大于气体的密度。
- 只有气体可通过加压大幅度地压缩其体积，即只有气体可被压缩。

由 (a) 可知，固体的分子间作用力最大，气体的最小；由 (b) 和 (c) 可合理地推断出气体物质分子间的距离远大于固体物质和液体物质分子间的距离。这里还可补充一句话，所有物质的分子都在不停地运动。

分子彼此靠近时，相互间会产生一种很强的静电力，其中既包括吸引力，也包括排斥力。吸引力使分子紧挤在一起，并抵抗拉伸力；排斥力的作用是阻止物体被压缩。关于固体、液体和气体的存在形式，可利用分子运动论作如下解释：

a. 在固体中，原子彼此挤得很紧，相邻原子间的吸引力和排斥力处于平衡，每个分子只在其固定位置附近来回振动，因此，固体具有规则的重复排列的分子构型，即呈晶体状。因而固体的形状是确定的。

b. 液体分子间的距离比固体分子间的距离稍大些，分子振动的位移也稍大，同时，液体的分子可迅速地移动一小段距离。但是，液体分子始终不能固定在另一分子附近形成一规则的构型，因此，液体具有流动性，并且其形状取决于容器的形状。

c. 与固体和液体相比，气体分子间的距离要大得多（约为 10 倍）。分子以很高的速度（空气分子速度为 500m/s）在所占据的空间内到处碰撞。但是，只有当分子相互碰撞或分子与器壁碰撞的一瞬间，分子间力才起作用。而在其它时间内这种分子间力小得可以忽略不计。

图 4.6 简单绘出了粒子在三种物质形态中可能有的排列方式。

图 4.7 用模型示意性地解释了物质的三种形态。如果使箱子来回运动(图 4.7 (a))，并不断加速，这时，小球的形运动就可表示每种物质形态的粒子的运动。图 4.7 (b) 是气体的模型，如把聚苯乙烯塑料球

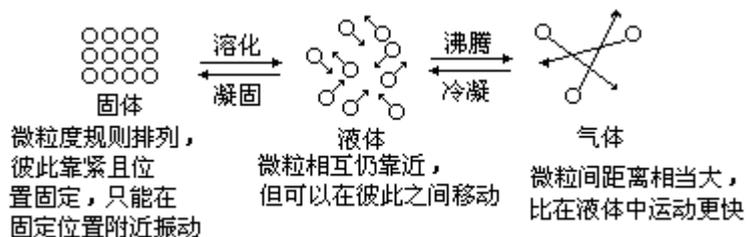


图 4.6

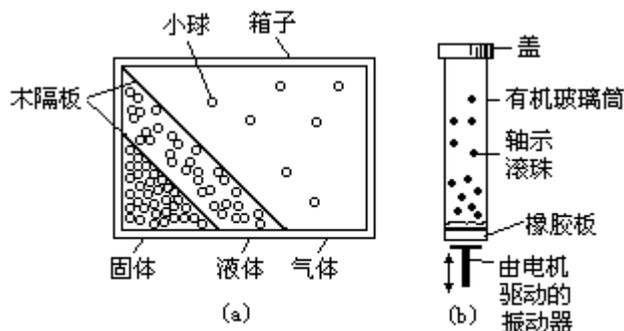


图 4.7

(相当于“烟雾粒子”)放入筒内，塑料球就会与金属球(相当于“气体分子”)碰撞而作不规则的运动(布朗运动)。

上面一系列实验揭示了一些事实和规律，为了对此进行解释并使其成为科学，我们提出了分子运动论这一理论，依据分子的运动理论，人们就可理解并在实践中应用物质的许多性质。

习题

1. 某种物质可能是固体、液体或气体，你如何确定它处于哪种状态？各举一例说明。

2. 有一种物质，当它呈一种特殊形态(固体、液体或气体)存在时是我们所最熟悉的，但常可将其由一形态改变为另一形态。说出水的另外两种形态，并说明怎样得到水的这两种形态。

3. 下列名词可说明物质的什么性质？(a) 晶体 (b) 扩散
4. (a) 观察布朗运动时发现了什么现象？(b) 这种现象是由什么引起的？
5. 分子运动理论怎样说明了物质的固态、液态和气态三种存在形式？

空气、地球、火和水

§ 5 空气

燃 烧

物质燃烧，意味着它参加了一种特殊的化学反应，在该反应中，有大量的热产生。燃烧是一个放热过程。

某些化合物在加热时，一般会分解成较简单的化合物，有时也会分解成元素（§ 2）。假如使元素镁或硫燃烧，当看到图 5.1 所示的现象时，就表明生成了新物质，但生成的新物质并不比原来的元素简单。

下面是两组实验的结果，在每个实验里，都是使 0.30 克的金属完全燃烧。

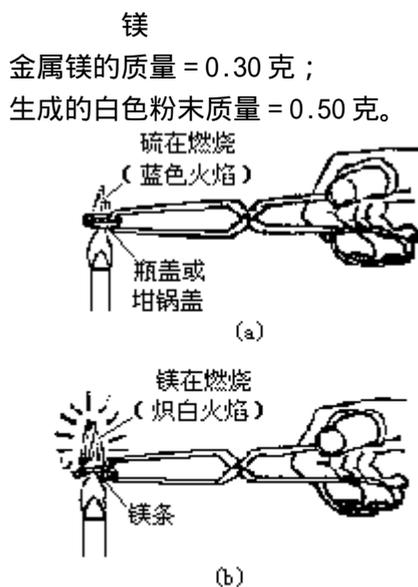


图 5.1

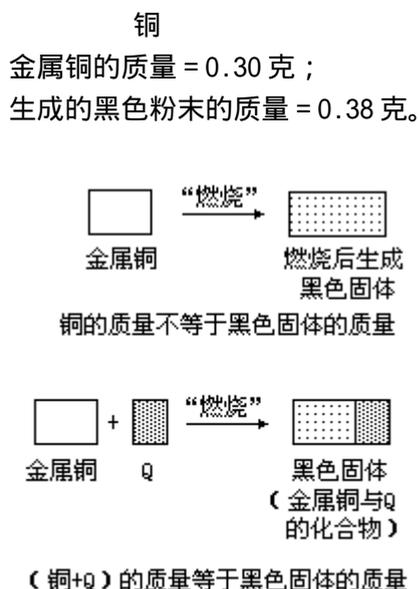


图 5.2

在这两个实验中，燃烧后生成物的质量均增加了，这表明金属物质一定与其它某种物质（在图 5.2 中记作“Q”）发生了反应，从而生成了金属与“Q”的化合物。通过分析图 5.3 所示的实验结果，可知 Q 一定是空气。当把试管内的水加热到沸腾时，水变成水蒸汽，这些水蒸汽把试管内的空气排到试管外面，这时，铜片的颜色完全没有变化，关紧弹簧夹，从水中拿出橡胶管，然后打开弹簧夹，使空气进入试管，这时可看到，由于铜片“燃烧”生成了新物质，热铜片出现了黑色（对铜进行这种实验，放出的热量不足以使铜片着火燃烧）。什么是空气？

空气不是纯净物，它由几种气体混合而成。其中一些气体是元素，另一

些气体是化合物。如果阅读或亲手做下面的实验，就会更清楚这个问题。

把一根燃着的蜡烛固定在一块浮在水面的浮板上，然后用烧杯将蜡烛罩住（图 5.4）。过一段时间，蜡烛熄灭，而烧杯内的水面却上升了。这是由于烧杯内剩下的空气不能维持蜡烛继续燃烧，其原因可能有两个方面：

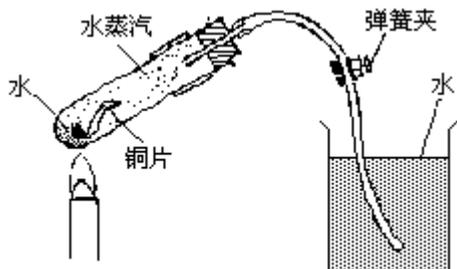


图 5.3

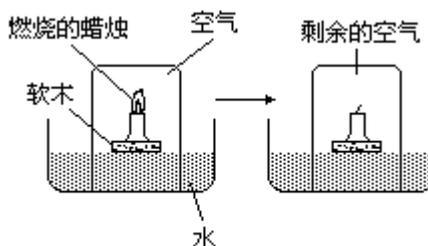


图 5.4

(i) 空气中只有部分气体被用于燃烧；

(ii) 燃烧产物使蜡烛熄灭。

上述两个原因在此都是正确的。

为确定空气中是否只有一部分气体被用来燃烧，应选择一种燃烧后生成新的固体的物质来进行实验，这样，燃烧产物就不会再是使蜡烛熄灭的原因。

用图 5.5 所示的唧筒进行实验可证明空气中可支持燃烧的只是部分气体。一唧筒内充有 50 厘米³空气，把铜丝加热到高温。接着，借助柱塞使空气来回流经此热铜丝。铜丝在空气中“燃烧”的同时，本身变黑了。化学反应结束后，让装置冷却，这时发现，空气最终的体积

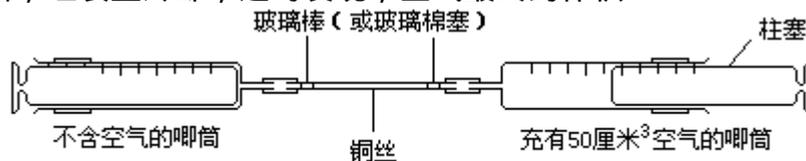


图 5.5

只有 40 毫升。从而可知，原有的 50cm³ 空气中只有 10 毫升空气与铜发生了反应。即占空气体积五分之一（20%）的气体是“活泼”的，而其余五分之四（80%）的空气是“不活泼的”。因此，空气至少是由两种气体组成的混合物。

“活泼的”空气

如果把一小块金属钠放在瓶盖上加热，可以看到先是钠熔化，随后钠着火燃烧。几乎与其它所有金属一样，钠也在“活泼”空气中燃烧从而生成黄色的新物质。这种黄色固体物质也是由钠和“活泼”的空气组成。用强火加热该固体物质可使其分解，生成一种无色的气体。这种无色气体可使灼热的木条复燃，因此可肯定它是氧气。

图 5.6 所示的实验说明了氧气就是所谓的“活泼”的空气。加热试管，

试管内的高锰酸钾分解并放出氧气。然后让氧气流过热铜丝，可以看到铜丝所发生的变化与在空气中加热铜丝时所发生的变化相同，因此，氧气就是所谓的“活泼”空气。

实验 1 氧与铜的反应

实验装置如图 5.6 所示。加热高锰酸钾直到可使放在玻璃管口处的灼热木条复燃，这时，氧气充满了试管，管内的空气已全部被排除。用大火加热铜丝，直到再不能看到铜丝发生变化为止。

- 该化学反应有热放出吗？
- 反应后的固体物质其外观与在空气中加热铜丝时剩下的固体相同吗？
- 在氧气中加热铜丝与在空气中加热铜丝有区别吗？
- 你认为“活泼”空气是氧气吗？

空气中的其它气体

空气中的两种主要气体是两种元素气体——氧（“活泼”部分）和氮。还有数量极少的其它气体。氧和氮两种气体可通过下面的实验鉴别出来。

实验 2 空气中另外两种气体

- 在表玻璃上放一些在空气中呈澄清状态的石灰水，并保持几小时。
 - 石灰水表面出现什么现象？

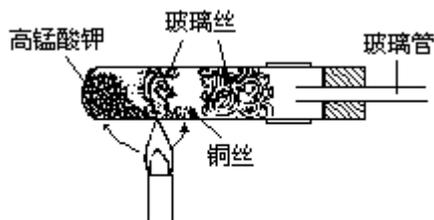


图 5.6

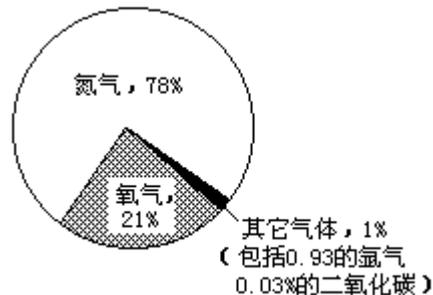


图 5.7

- 如何解释你所看到的现象？
- 在表玻璃上放一些白色的硫酸铜，然后求出硫酸铜与表玻璃的总质量。把硫酸铜曝露于空气中，直至下一堂课。
 - 硫酸铜固体的颜色有什么变化？
- 求出这时表玻璃和其上物质的总质量。
 - 如何解释实验结果？

图 5.7 示出了干燥空气的组成。空气中水蒸汽的百分含量随气候条件变化，范围一般为 0~4%。干空气（不是氧气或氮气）中有 1% 的量主要由一组称为“惰性气体”的元素组成，这些元素在其惰性方面与氮气相似。空气中的惰性气体混合物中氩占 99% 以上。

再谈氧气

当物质在空气或纯氧气中被加热而起反应时，它们生成氧化物。

氧化物是指由氧和其它元素组成的化合物。

实验室制取氧气的一个最好的方法是利用一种称为过氧化氢的不常见氧化物。这种氧化物是一种水溶液，对其加热，可放出氧气。如果在过氧化氢水溶液中加入黑色的氧化锰，可加快放出氧气的速度。氧化锰在化学反应中起催化剂的作用。

催化剂是一种可使化学反应加速进行而自身不消耗的物质。

实验 3 氧气的再次实验

实验装置如图 5.8 所示。小心地给放有黑色氧化锰的试管内加入过氧化氢溶液，一次可加几滴。把放出的氧气收集于五只试管内，并用木塞塞住试管口。

· 你认为氧气极易溶于水吗？

把下列元素——木炭（碳）、铁屑或钢丝、锰条、硫粉、锌粉分别放入燃烧匙内加热，直到开始着火燃烧，然后把燃烧匙伸进充满氧气的试管内（图 5.9）。

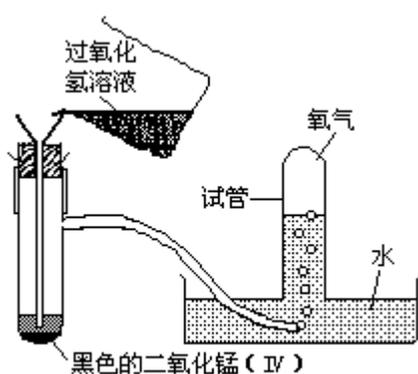


图 5.8

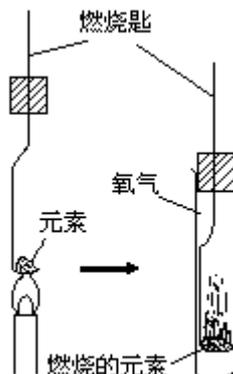


图 5.9

· 各元素出现什么现象？

本实验所生成氧化物的详细内容可参阅 § 15。

大量制取氧气

空气是制取氧气的最廉价的资源。图 5.10 表明了怎样把氧气与其它气体分离开来而制得纯净的氧气。

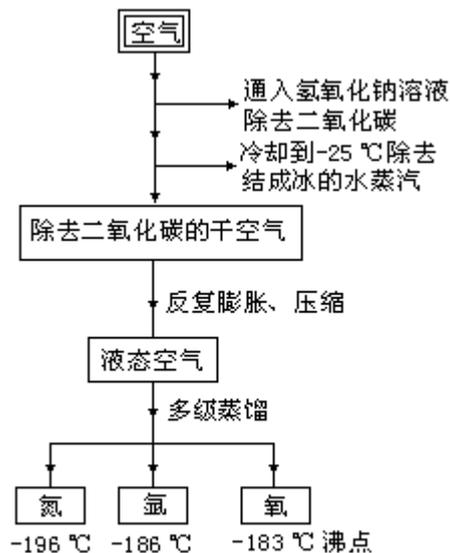


图 5.10

首先从空气中除去二氧化碳和水蒸汽，然后让除去了二氧化碳的干空气迅速膨胀，促使它冷却而变成液体，这种液体是液态氧和液态氮的混合物（还有少量的惰性气体）。当蒸馏这种液体时，可首先把较易挥发的氮气（在图 5.10 中氮气的沸点最低）分离出来。

将氮和氧分离与 § 1 中讲到的使乙醇和水部分分离相似，不过，两个多级蒸馏所用的温度相差很大。

氧气的用途

用上面的方法制取的氧气大部分在炼钢工业上用来烧除钢水中的杂质（§ 12）。氧气的其它用途是：与一种气体例如氢气或乙炔燃烧产生用于焊接与切割的高温火焰；用于火箭运行，通过与煤油或氢气燃烧产生火箭所需的推力；帮助呼吸。通常情况下，空气中所含的氧气足够呼吸使用，但医院里一些病人却需要输入氧气。此外，登山者和潜水员也需要携带氧气瓶。

习题

1. 当放在瓶盖或坩锅内的硫粉在空气中燃烧时，你估计其质量会有什么变化？解释实验结果为何和质量守恒定律不矛盾。

2. 把一矩形铜箔对折几次后锤平成“信封”样，然后在空气中对其用大火加热，等冷却后拆开使之恢复成原来形状。

叙述并解释你估计会观察到的现象。

3. 在图 5.4 所示的实验中，蜡烛熄灭后烧杯内还剩有约七分之六的“空气”。问：(a) 你原来估计会剩下几分之几的“空气”？(b) 解释为何(a) 的答案小于七分之六。

4. 未加热过的白磷会在空气中缓慢燃烧，因此通常把白磷存放在水中。

描述一个用一小块白磷来证明白磷燃烧时需要 20% 的空的实验，并绘

出实验装置图。

5. (a) 设计可从空气中除去水蒸汽、二氧化碳和氧气的几套装置，并说出除去这几种气所用到的物质。

(b) 实验结束后剩下什么气体？如何收集这些气体？

6. 我们呼出的气体中约含有 17% 的氧气，4% 的二氧化碳。

(a) 氧气和二氧化碳的百分含量与我们吸进的空气中这两种气体的百分含量有何不同？

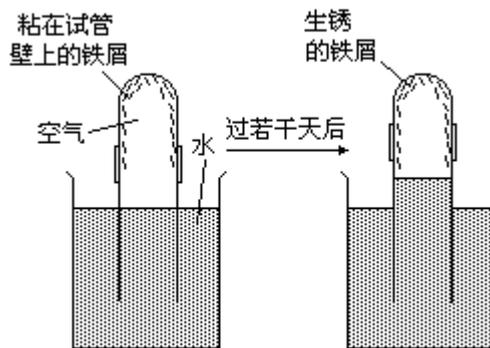


图 5.11

(b) 解释出现这种差异的原因，从而说明为什么呼吸对于维持生命是最重要的。

7. 放置在空气中的铁器会慢慢变成深褐色粉末，这就是铁的锈蚀现象。图 5.11 所示的实验说明了铁生锈的过程。

(a) 解释实验结果；

(b) 什么物质使得铁的生锈过程与物质的燃烧有共同之处？

§ 6 矿 物

矿物的描述

矿物是存在于岩石中的一种简单物质。岩石可仅由一种矿物质构成，但通常情况下岩石是由几种不同的矿物构成的。

同种矿物的不同样品外形看起来很相象（或许颜色除外），而且在实验时也表现出相同的性质。如同实验室的橱窗内陈列着的固体物质一样，人们通常也给每种矿物确定唯一的化学名称，但所有的矿物也都有其俗称。

图 1.9 所示矿物的俗称是岩盐，化学名称是氯化钠。许多矿物在从地下挖出来时并不是绝对纯净的，岩盐也是如此，杂质的存在会影响到它的颜色。因此，纯净的岩盐是无色或呈白色，而当其中含有泥沙等杂质时岩盐往往呈褐色或橙色。

图 6.1 ~ 6.4 示出了一些矿物的晶体，根据这些晶体的形状可以对它们

进行鉴别。但并不总是具有完备的样品，因此，鉴别矿物还要观

察其它方面。

硬度试验是矿物一项很有用的试验。表 6.1 列出了一些矿物的莫氏硬度顺序。对于每一个硬度值，均采用一种矿物作为标准物质与之比较。三种日常生活中常见物质的硬度值也在表中列出。

表 6.1 几种矿物的莫氏硬度

硬度		矿物
硬度增大 ↑	10	金刚石
	9	刚 玉
	8	黄 玉
	7	石 英
	6	长 石 刀片(硬度 $5\frac{1}{2}$)
	5	磷灰石
	4	氟 石 10便士硬币(硬度 $3\frac{1}{2}$)
	3	方解石 指甲($2\sim 2\frac{1}{2}$)
	2	石 膏
	1	滑石

矿物劈裂方式的试验也是很有用的。如图 6.5 所示，把锋利的刀片沿某特定方向楔入一块方解石（碳酸钙）中，就可以得到一定形状而体积较小的方解石，并且此种形状由三组劈裂面所构成。有时，裂块的形状与矿物晶体的形状相同，岩盐就是这样。在其它情况下，例如方解石，裂块和晶体的形状就有很大差别。

有些矿物的劈裂没有规则的方式，这是由于这些矿物没有劈裂性。尽管这样，它们碎裂时仍然按一定的方式，根据这种方式就可以鉴别该矿石。石英就是一个很好的例子，它碎裂后形成的碎块表面呈曲面状，且带有棱纹，恰象海里的贝壳。

实验 1 比较两种矿物

本实验选择了两种呈白色或不带色的矿物，从而外观上相象。实验目的

是找出鉴别二者的方法。两种矿物均按下述步骤做完实验，然后将结果填入表中，表格的表头如表 6.2。

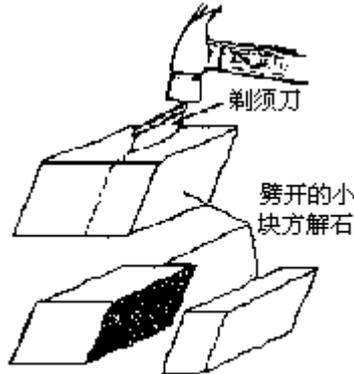


图 6.1

a. 晶体形状和劈裂性；用放大镜观察矿物的端面，该端面也许

表 6.2

矿物	晶体形状和劈裂性	硬度	颜色与光泽	条纹	与酸的反应	相对密度
A						
B						

是晶面，也许是劈裂面，或同时是二者。

- 画出你观察到的晶体的形状。

- 此矿物是否显示出劈裂面？如果答案是肯定的，共有几组劈裂面？彼此之间构成的角度是多少？

- 该矿物是否有不规则的碎裂现象？

b. 硬度：试一下是否可用手指甲、硬币或小刀在矿物上刻下痕迹。每次这样做时，要用手蘸水将刻痕处擦净，并用放大镜观察，以便确定痕迹是否真是新产生的，而不是由于矿物颗粒松散所形成或以前有人用硬币或小刀所刻出的。

- 根据表 6.1 大致确定两种矿物的莫氏硬度。

- 两种矿物中，哪种矿物更硬些从而可在另一种矿物上刻下痕迹？通过实验验证你的预断是否正确。

c. 颜色与光泽：

- 此矿物呈什么颜色？

- 此矿物是透明（可以透视过该矿物）、半透明（光线能穿过但眼睛不能透视过）还是不透明（光线不能穿过）的？把矿物拿到灯下可看清其光泽。

d. 条纹：让矿物与未上釉的瓷片（条纹板）擦划显出条纹。

- 如获得一记号，该记号呈何颜色？
 - 条纹的颜色是否与整个矿物的颜色一样？
- e. 与酸的反应：在矿物上加几滴稀盐酸。
- 有否标志发生化学反应的气泡（矿物表面冒泡）出现？
- 在常见的矿物中，只有方解石与酸发生反应。
- f. 密度：按 § 31 所示的方法求出矿物的密度。
- 这两种矿物中哪个密度大？

本实验说明了下列两方面的内容：一是有关矿物的基本知识；二是如何区分两种矿物。为鉴别一种未知的矿物，需要知道本实验各项实验内容的结果，并把这些结果与矿物学教科书给出的许多矿物的有关内容进行比较。

矿石

多数矿物是由若干种元素组成的化合物，这些元素中往往含有一种金属元素。

矿石是可从中提炼出金属的矿物。

图 6.1 ~ 图 6.4 中有两种矿物是矿石。黄铜矿是一种矿石；方铅矿是一种铅矿石，两种矿石都是它们相应金属的主要原料。

有时通过进行简单的化学实验能够鉴定出矿物中的金属。

实验 2 矿石的焰色试验

本实验应用粉末状矿石样品。

把镍铬合金导线浸入浓盐酸中清除表面的污物（注意不要让盐酸溅到衣服或皮肤上）。用无光（non-luminous）本生灯进行强火加热。一直到火焰中不再出现由于镍铬丝燃烧而发出的颜色为止。然后用盐酸把导线浸湿，将其埋进矿石粉末中，再大火加热（图 6.6）。

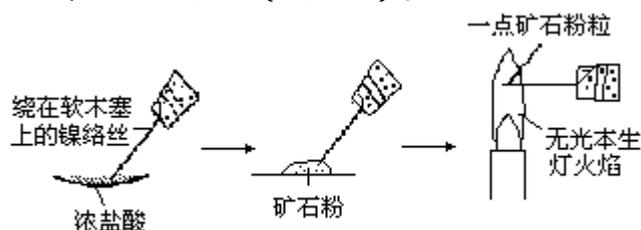


图 6.6

- 本生灯火焰显现出何种颜色（如果有的话）？
- 根据表 6.3 中的知识鉴定矿石所含的金属。

表 6.3

化合物主要元素	火焰颜色	化合物主要元素	火焰颜色
钡	绿	锂	胭红
钙	砖红	钾	淡紫色（易被钠杂质遮住）； “透过蓝色玻璃为紫红色”
铜	蓝-绿		
铅	蓝	钠	稳定的黄色
		锶	鲜红

作为对实验结论的检查，可再进行一次火焰试验，所用的化合物可从化学药品柜里拿取，但该化合物必须含有要鉴定的那种金属。

习题

1. 在空白处填上给出的名词，把这段叙述石英的文字补充完整。

劈裂性，晶体，硬度，金属，矿物，矿石

石英是一种_____，它由硅和氧两种元素构成。根据石英_____的形状，并利用石英的莫氏_____为了这一事实可以对石英进行鉴定。此外，因为石英没有_____，故受到打击时会发生不规则的断裂。

硅和氧都不是_____，因而石英也不是_____物质。

2. 能否把石英楔入方解石中，说明理由。

3. 说明如何用简单试验鉴定一未知的白色矿物。

§ 7 岩石

岩石的层状结构

在没有土壤和植物覆盖的地表面可看到岩石，例如采石场的石头、陆地上的悬崖和大海中的礁石。在图 7.1 中你可看到呈现出明显层状结构的岩石。其实，许多岩石都是层状的，几乎所有的沉积岩都是层状结构的岩石。

为了解沉积岩的形成过程，首先考虑一个简单的实验。顺次把几把颜色各异的砂子放入一盛有水的集气瓶中（图 7.2），每把砂子均在瓶底沉积成一层，这样就形成了大致规则的砂层。

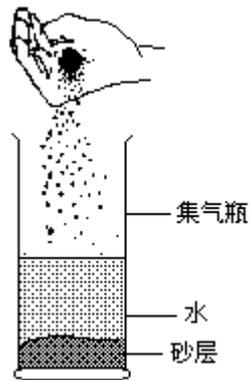


图 7.2

许多种沉积岩是由物质颗粒在水下沉积成层状而形成的。河水把大量的沉积物带到海里或湖中，于是这些沉积物就慢慢地在海底或湖底一层层地沉积起来，经过几百万年后，沉积层硬化成为岩石层，从海面上隆起而形成陆地。

通过做下面的实验就可发现松散的砂层（沉积物）是如何进一步变为石头（岩石）层的。

实验 1 由砂子制备“岩石”

a. 给小型塑料注射器装满用水调湿（图 7.3a）的砂子（图 7.3b），用大拇指压紧注射器截断的一端，推动柱塞把砂子压实（图 7.3c），最后将压实的砂块由注射器中推出置于一块瓷砖上（图 7.3d）。

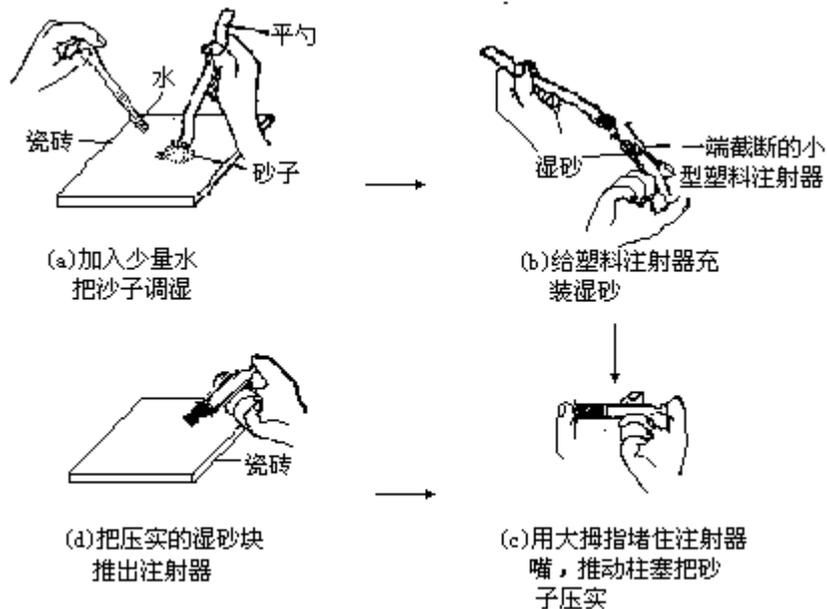


图 7.3

· 与松散的砂子相比，压实后的砂子是否粘结更结实了？压实的砂子风干后会发什么现象？

b. 把砂子和粘土混合后用水调湿，二者体积混合比例为 3（砂子）：1（粘土），按步骤 a 重新实验一次。把制得的“岩石”放置几天，最后用放大镜观察。

· 粘土有利于砂粒粘结在一起吗？

c. 重新按 a 做实验。与上两次实验不同，这次采用砂子和熟石膏的混合物，二者按体积比例 3（砂子）：1（石膏）混合后用水调湿。“岩石”制好后静置几分钟，然后用放大镜观察。

· 将 a、b 和 c 中制得的“岩石”按照“岩石”颗粒的粘牢程度排列顺序（最不易散碎的岩石排在首位）。

图 7.4 中的照片是显微镜下观察到的砂岩的形状。这种岩石主要由砂粒组成，同时砂粒之间夹杂着其它物质，这些夹杂物起着“粘结剂”的作用，从而使砂粒构成一个不易散碎的整体。在上面的实验中，粘土或熟石膏就是“粘结剂”。在自然界的砂岩中，碳酸钙、硫酸钙以及许多铁的化合物往往起着“粘结剂”的作用。

由砂子转变为砂岩有两个要素：

（i）砂粒被紧密地挤压在一起；

（ii）砂粒间生成一种“粘结剂”。

在上面的实验中，对砂子施加压力用的是注射器柱塞；在自然界中，这种压力来自于物质层间的挤压，即上面的物质层挤压下面的物质层。显然，这种物质层间压力远大于注射器活塞所能施加的压力，而且它的作用时间不是几秒钟，而是上百万年。

在沉积岩中发现的化石为证明许多沉积岩形成于水下提供了又一证据。岩石中的化石使我们能了解古代生物的一些情况，图 7.5 所示石灰岩中的一些化石酷似于现代的海贝壳，很明显，这种石灰岩是由海底的贝壳层形成的。

来自地层深处的岩石

图 7.6 所示为海边悬崖的岩石，它完全不同于图 7.1 所示的岩石。尽管这种岩石也有许多竖直的裂隙（节理），但完全观察不到它有水平的岩层。这类岩石称为花岗岩，它属于火成岩类，与前面讲过的岩石种类完全不同。

如图 7.7 所示，花岗岩岩石的光面是闭合的，这表明花岗岩是靠交错结合的晶体构成其整体，而不是依靠类似“粘结剂”的物质把砂粒粘结在一起。十八世纪，一些科学家认为这种晶体是从海中随海水慢慢蒸发而形成的，但我们现在已知道这种观点是错误的，花岗岩的形成是由于地层深处的熔融物质缓慢冷却的结果。

实验 2 由熔融物制备晶体

试管内放一些萨罗（水杨酸苯酯），把试管放于温度为 50 ~ 60 的水槽内并对水槽加热，一直加热到试管内的萨罗全部熔化。然后迅速地在处于室温的显微镜载片上滴一滴熔融液，同时也在刚从冷藏箱内取出的显微镜载片上滴一滴，用放大镜观察两块载片上的晶体形成过程。

· 两载片上的晶体尺寸大小有何差别？

凉载片上形成的晶体的尺寸远小于热（室温）载片上形成的晶体的尺寸，这是因为凉载片上的萨罗比热载片上的萨罗冷却得快，而快速冷却形成的晶体小，缓慢冷却生成的晶体大。

花岗岩（图 7.7）晶体的尺寸大说明花岗岩形成时熔融物的冷却速度肯定缓慢；而火成岩（图 7.8）的晶体尺寸很小，只能在显微镜下观察到，这明显说明火成岩形成时的冷却速度肯定是很快的。

熔融物质冷却得快慢取决于其在地球上所处的位置。由于地壳内部的温度高，故深埋在地下的物质冷却得慢；而通过活火山（图 7.9）口喷出的物质（熔岩）却很快被空气冷却。因此，花岗岩是在很深的地壳内部形成，而火成岩却是在地球表面受冷却后形成的。

习题

1. 下表对三种岩石进行了简短的描述

花岗岩	石灰岩	砂岩
彼此交错的大尺寸晶体	方解石晶体粘贝壳化石	“粘结剂”粘结起来的砂粒

(a) 石灰岩中虽含有一些晶体但它却仍是沉积岩，我们是如何知道？

(b) 认为花岗岩不是由火山熔岩冷却形成的证据是什么？

(c) 你认为下列岩石中会含有化石吗？

(i) 花岗岩，(ii) 砂岩

对答案进行解释。

(d) 在一块石灰石上滴几滴稀盐酸，会有何现象出现？

2. 解释沉积岩的层状结构是如何形成的。你能否想出使火山喷出的岩浆形成层状结构的方法？

3. 花岗岩是在很深的地层下形成的，但在地球表面一些地方却可以看到这种岩石。

你认为这是怎么回事？

§ 8 土 壤

土壤的组成

土壤是一种由下列物质组成的混合物：(a) 砂土和粘土颗粒；(b) 腐

殖质；(c) 水；(d) 空气；(e) 溶解盐；(f) 细菌和其它微生物。

(a) 砂土和粘土颗粒 这两种土粒来源于岩石，是岩石在经过风、雨、河水或冰川的风化和剥蚀后形成的。砂土粒比粘土粒大，且二者有不同的化学组成。砂粒的主要成分是氧化硅，而粘土则是氧化铝和氧化硅的混合物。土壤团粒由腐植质把砂土和粘土的颗粒粘结在一起而构成，这种团粒结构对土壤的渗水性、空气含量及一般的肥力都有影响。

(b) 腐殖质 腐殖质由正在腐烂的有机物质如动、植物残体和动物的粪便形成。腐殖质这一名词曾广泛用于描述粗劣的有机物质，例如主要成分是腐叶的土壤、泥炭或堆肥。但对于土壤学家来说，腐殖质却是一种无结构的优质有机物质，它构成了土壤团粒的一部分。在两种情况下腐殖质的起源是一样的，腐殖质的作用是土壤提供氮、磷等元素，改善土壤的保水性能，并把粘土和砂粒结合在一起构成土壤团粒。

(c) 水 在潮湿的土壤中，水浸透了土壤团粒而在土粒上面形成水膜(图 8.1)。水借助“毛细吸附作用”得以保持在土粒中，植物的根须伸入土壤中必须克服这种毛细作用才能吸收水分。

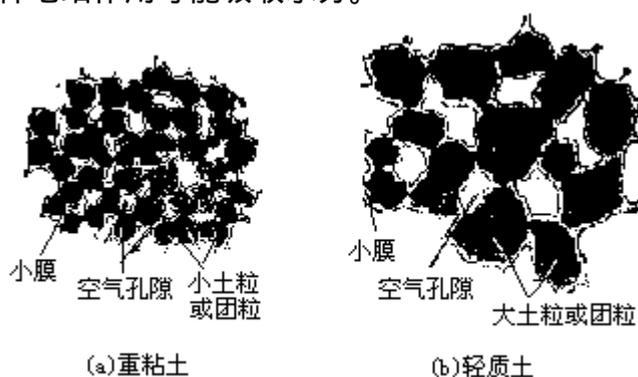


图 8.1

(d) 空气 土壤团粒间的孔隙中充满了空气。团粒越大，空气孔隙越大。孔隙中的空气提供氧气以满足土壤中有有机物和植物根部呼吸的需要。田里涝水后，空气孔隙充满了水，从而不能提供足够的氧气。

(e) 矿物盐 钾盐、铁盐、镁盐以及磷酸盐、硫酸盐和硝酸盐都以溶液状态存在于土壤水中。这些盐的出现是细菌对土壤中的有机物及腐植质作用的结果(见 § 26 “氮的循环”)。这些盐为植物根部吸收后构成植物的细胞组织。

(f) 细菌 土壤中生活着许多种小动物，例如螨、昆虫和蚯蚓，还有大量的微生物，如真菌和细菌。这些生物影响土壤的结构和性质，尤其是细菌对土壤的影响更为显著。它们与动植物的有机残体发生作用，将其分解成细腐植质，同时产生植物所需要的盐。

粘重土和轻质土

粘重土

粘重土中粘土颗粒占有很高的比例，这部分原因是由于粘重土粒的粒度较小，故粘重土粒周围的水膜可使这种粘土粒能比砂粒更牢固地粘结在一起。潮湿情况下，粘重土变得很粘，难于挖掘或耕作；干燥后，形成难于破碎的大土块。此外，由于粘重土粒间的孔隙较小，减少了其所能储存的空气，同时也减缓了土壤水的泄出。有良好团粒结构的粘重土并不一定都表现出上述的全部缺点，原因是团粒的性质与大颗粒砂粒的性质相似。此外，水的蒸发速度慢可以保证干旱时期土壤中储有足够的水分，同时还可避免土壤中溶解的盐分被雨水冲洗掉。

给粘重土中掺进腐植质或石灰可使粘重土的粘性减轻而易于耕作。石灰的作用是使粘重土颗粒成团，从而使土壤团粒间有较大的孔隙。

轻质土

轻质土中砂粒多于粘粒，轻质土土粒间的孔隙大，因而其排水性与通气性均好。砂粒彼此易于分离，故易于挖掘或耕作。给轻质土掺进腐植质可改善其保水性能，同时为土壤提供矿物盐。

壤土

对于许多农作物来说，这类土壤是最好不过了。这类土壤中的粘粒和砂粒其含量相当，并含有丰富的腐殖质，团粒结构也良好。

土壤实验

实验 1 土壤水的质量

把一块土壤样品放入称量过的蒸发皿内，然后再将蒸发皿称量一次。将其放进 100 的烘箱内保持两天，以除去土壤水，最后重新称量蒸发皿和土样。再实验一次，直到两次称量得出同一结果，这表明土壤水已全部被蒸发掉了。

最先和最后两次称量结果的差值就是原来存在于土壤中水的质量。注意不要让烘箱温度超过 100 ，否则土壤中的腐殖质会着火燃烧从而使质量出现额外的损失。

土壤样品的计算：

蒸发皿的质量 = 200 克

蒸发皿和湿土的质量 = 250 克所以，土样的质量 = 250-200 = 50 克

蒸发皿和干土的最后质量 = 240 克

失去的质量 = 250-240 = 10 克

湿土中水的百分含量 = $\frac{10 \times 100}{50} = 20\%$

实验 2 土壤中腐殖质的质量

把由实验 1 得到的干土装入一个金属盘中用本生灯加热，当盘中土壤不再冒烟且烧焦的有机物消失、只剩下灰色或红色的矿物质颗粒时，即停止加

热。待冷却后重新称量土样。减少的质量是由于有机物质燃烧后生成气体逸出了(二氧化碳和水)。

土壤样品的计算：

干土样的质量 = 40 克

燃烧后干土样的质量 = 38 克

所以腐殖质的质量 = 40 - 38 = 2 克

$$\text{干土中腐殖质的百分含量} = \frac{2 \times 100}{40} = 5\%$$

实验 3 土壤中空气的体积

给大玻璃瓶灌满水，记下此时的水线 A。从瓶内舀走一满铁桶水后水线下降到 B (图 8.2 (a))，把桶内的水倒入量筒测出其体积。让小铁桶口朝下，用力按压使其没入土壤，直到土壤恰好与桶底平齐，这样就装满了一桶土。从土中挖出铁桶，抹去多余的土，使土线与铁桶的顶端平齐(图 8.2 (b))。这样，铁桶中土壤的体积就与从玻璃瓶内取走的水的体积相等。把铁桶内装的土壤弄松转倒入大玻璃瓶内，注意同时要把一些大的土团破碎(图 8.2 (c))。土壤倒入玻璃瓶后会使得瓶内的水线再次上升，但由于空气从土壤中逸出，水线不会再回复到 A，因此，要使水线回复到 A，就要将量筒内的水倒一些给玻璃瓶

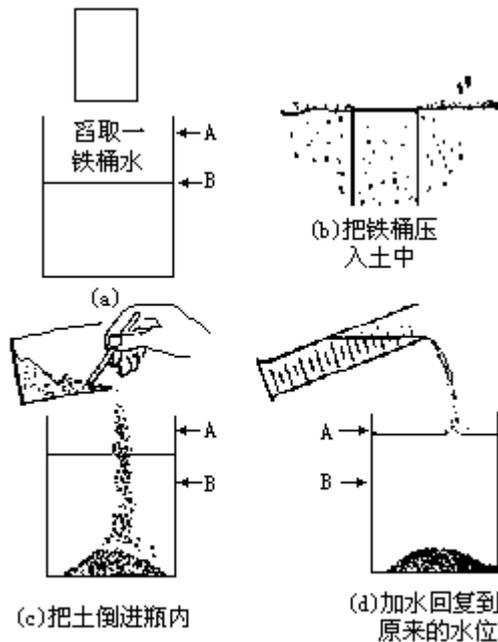


图 8.2

(图 8.2d)。倒入水的体积就是从土壤中逸出的空气的体积。

土壤样品的计算：

铁桶的容积 = 200 厘米³

加入瓶内水的体积 = 28 厘米³

所以，200 厘米³土壤中空气的体积 = 28 厘米³

$$\text{土壤中空气的体积百分数} = \frac{28 \times 100}{200} = 14\%$$

实验 4 土壤的渗透性

渗透性是测量水渗透过土壤的能力。利用图 8.3 所示的装置可以比较两种土壤的渗透性。用玻璃纤维将两个漏斗塞住，并在两漏斗中放入体积相等的两种土壤。两漏斗内均注入水，并使水位在整个实验中保持相同，这意味着两漏斗内水的压力相等。在一定的时间内把由漏斗渗下来的水收集在量筒中。砂土的渗透性比粘土的好，在一定的时间内可渗过较多的水。

实验 5 土壤的毛细作用

把两根直径为 1 厘米或稍粗、长约 50 厘米的玻璃管绑扎在一起，管内灌满干燥的砂子，其中一管中砂粒细小，另一管中砂粒较粗大。用玻璃纤维将管端塞紧，然后把管子垂直插入盛有水的烧杯中（图 8.4）。由于毛细管吸力的作用，管内的水顺着砂子上升，在水上升到的高度，砂子的颜色变暗，借此可进行观察。一天后，测量两管的水位并进行比较。

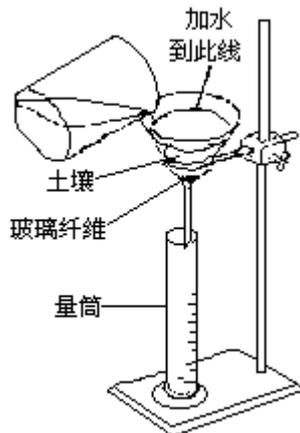


图 8.3

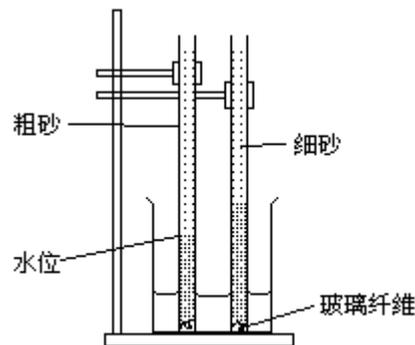


图 8.4

实验结果表明，水在细砂中传输较快，土粒越小，毛细管吸力越大。

习题

1. 土壤具备哪些条件才能成为适于土壤微生物活动的环境？
2. 写出下列农事活动在生物学上的意义。
 - (a) 把农肥（动物粪便和稻草秆）翻进土壤中
 - (b) 给土壤中掺入石灰
 - (c) 往田里撒硫酸铵
3. 测定土壤中腐殖质的含量为何必须由干燥的土壤着手？
4. 什么样的农事活动和气候条件会影响土壤中空气的含量？
5. 你能从原理上讲出采取什么方法可改善土壤的肥力吗？

§ 9 来自水的两种化学物质：氧和氢

水是什么物质？

因为通过电解可使水分解，因此可肯定水是一种化合物。为加快电解速率，常给水中加入少许稀硫酸。电解产物是两种气体——氢气和氧气。

本实验不只是为了证实水是由氢、氧两元素构成的化合物。这个事实将通过把氢和氧成功地合成水来加以证实。

图 9.1 表明，水可由纯的干氢气在空气的氧中燃烧来合成。水的另一名称是氧化氢。

该化学反应可写成下列文字方程式：



氢气由分子构成，每一分子含有两个结合在一起的氢原子。氧分子也是由两个结合在一起的氧原子构成，两个氢原子和一个氧原子结合在一起构成一个水分子。

图 9.2 用分子模型图解释了水合成的过程。注意，生成两个水分子需要一个氧分子，两个氢分子。理由是在方程式两边的氢原子总数

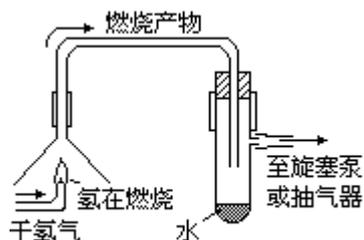


图 9.1

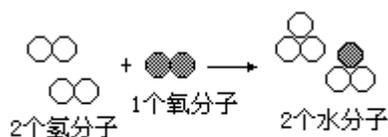


图 9.2

及氧原子总数必须相等。图 9.2 可以用下列化学方程式表示：



这里“g”和“l”分别代表气体和液体。

争夺水中的氧

一些金属可与水反应，水分子中的氧与金属结合生成一种氧化物，水分子中的氢作为气体放出。这种反应可表示成下列文字方程：



一些金属氧化物与水反应，生成金属的氢氧化物。实验 1 钙与冷水的反应所用装置如图 9.3 所示。收集一试管氢气，把一点燃的木条移近试管口。

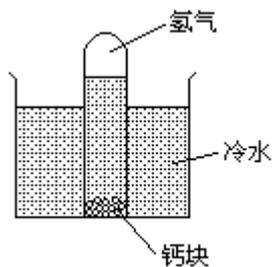


图 9.3

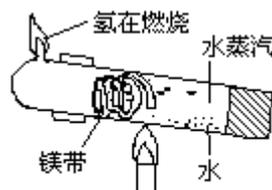
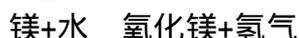


图 9.4

这是对氢气进行检验。

- 有什么现象出现？
- 氢气在空气中爆燃时生成什么物质？

镁与冷水的反应只能以很慢的速度进行，但却很容易与水蒸汽反应（图 9.4）。该化学反应的文字方程式可写成：



该反应的化学方程式是：



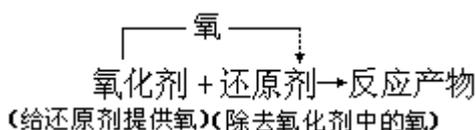
式中“s”表示“固体”。

镁与氢都可与氧气发生反应，但镁与氧的反应要比氢与氧的反应更易于进行。争夺氧时，镁夺得了水中的氧。氧化和还原当一种物质在氧气中燃烧或氧化物失去氧时，就说发生了氧化和还原。

物质得到氧的化学反应称为氧化。

物质失去氧的化学反应称为还原。

在镁与水蒸汽的反应中，镁得到了水蒸汽中的氧，这就是氧化，从另一角度描述这一同一反应，即镁从水蒸汽中除去氧，这就是还原。在一个化学反应中，氧化和还原是同时发生的。在下面的化学反应中，镁称为还原剂，水蒸汽称为氧化剂。



该文字方程式表明，氧化和还原总是同时发生的。这类化学反应往往被称为氧化还原反应（氧化-还原反应）。

对氢气进行细致的观察

所有的酸都是氢与一种或几种其它元素组成的化合物。有时如把一些金属加入到酸中，就可“除去”酸中的氢。

实验 2 制取并检验氢气

按图 9.5 安装好实验装置。至少收集四只试管的氢气，并用木塞将试管口塞紧。

注意，做本实验时不要点燃本生灯。检验氢气也只能在全部清除装置中的物质后才能进行。

用下列物质对气体进行检验：

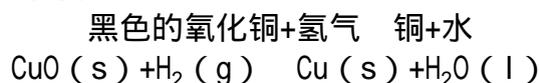
(i) 石灰水若干毫升；

(ii) 点燃的木条，将木条置于试管口部。

另外，设法证明氢气的密度远小于空气的密度（空气的密度约为氢气密度的 15 倍）。

如果氢与氧的反应较某些金属与氧的反应更易进行，则氢气可夺走这些金属氧化物中的氧。

图 9.6 表示的是干燥的氢气与黑色的高温氧化铜的反应，黑色的固体物质变成了浅红色的金属铜，并且有水滴出现在燃烧管内的右边部位。这一化学反应可表示成下列方程：



这又是一个氧化-还原反应，黑色的氧化铜把氧提供给氢，是氧化剂，氢是还原剂。

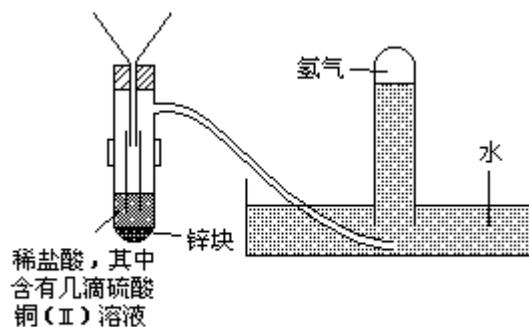


图 9.5

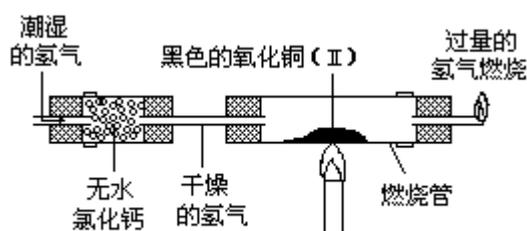


图 9.6

习题

1. 受热的锌与水蒸汽反应产生氢气。

(a) 试画出一套利用该化学反应制取和收集氢气的装置图。

(b) 如何证明收集到的气体是氢气？

(c) 分别用文字方程和化学方程表示这一反应（氧化锌写作 ZnO ）。

(d) 指出氧化剂和还原剂，并解释该反应中氧发生了什么变化。

2. 在图 5.3 所示的实验中，如用镁条代替铜箔，实验就不会做成功，试解释原因。

3. 让氢气通过黄色的氧化铅 (PbO)，会生成金属铅和水。

(a) 写出这一反应的文字方程式和化学方程式。(b) 该反应中哪种物

质（氢气和黄色的氧化铅）是氧化剂？哪种物质是还原剂？解释你的答案。
(c) 实验过程中可观察到固体物质（黄色的氧化铅）发生什么变化？

元素和化合物的分类

§ 10 金属和非金属

元素的分类

下列元素均可在学校的实验室里找到：

铝、溴、钙、碳、铜、氢、碘、铁、铅、镁、汞、氮、氧、磷、钾、钠、硫、锌。

如何将这些元素进行分类呢？按固体、液体和气体将它们进行分类是很明显的方法。与这一出发点相联系，还可按元素的熔点或沸点来分类。但图 10.1 却表明，这些元素的沸点相差很大，故很难按沸点将这些元素分成几类。在图 10.1 中，一种极限情况是铝、铜和铁具有很高的沸点；另一种极限情况是氮、氢和氧的沸点却很低，而大部分元素的沸点介于这两种极限情况之间。

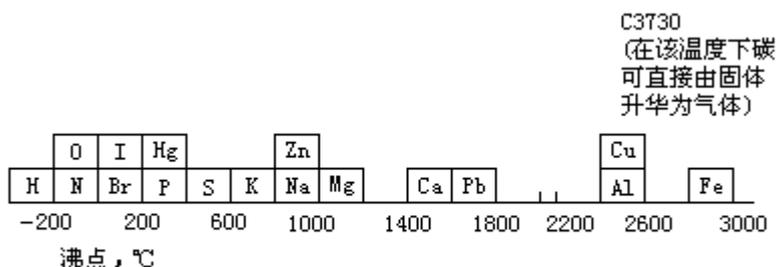


图 10.1

一个比较简单且较重要的元素分类方法是把元素分成金属和非金属两大类。下面的实验可帮助我们按这种分类方法把一些元素分类。

实验 1 金属和非金属的一些性质

利用下列元素：碳（石墨棒）、硫（块）、铜、铅、锌和铝（二者均为箔）、碘（晶体）。

- 将全部实验结果填入具有下列表头的表格中。

元素	颜色	有否光泽	是否易弯或易碎	导电性是否好
----	----	------	---------	--------

为找出导电的元素，可按图 10.2 制作一套装置进行实验。

- 如果元素导电，会发生什么现象？

· 哪几种元素可称为金属？哪几种元素可称为非金属？根据实验结果，将金属和非金属的主要性质归纳成一个表。有两种很危险的元素难以进行实验，表 10.1 列出了它们的一些性质，红磷显然是一种非金属，但对钠进行归类却不太容易，因为通常情况下金属不会软到可以用小刀切割的程度，但钠表面有光泽，并导电，根据这两方面的情况可肯定钠是一种金属。

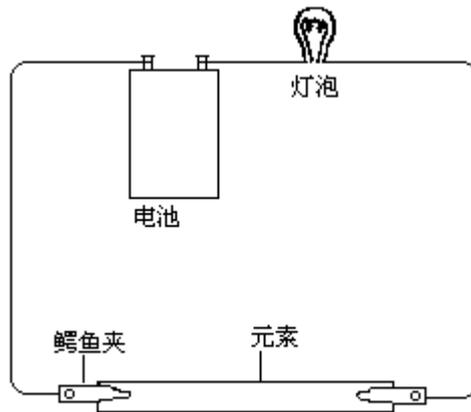


图 10.2

金属和非金属在性质上的一些区别列于表 10.2 中，在其它方面，尤其是参与化学反应的性质，金属和非金属还有区别。例如，金属往往可与稀酸反应，而非金属却不与稀酸反应；此外，金属物质和非金属物质燃烧后生成的氧化物也不同。

表 10.1

元素	外观	硬度	导电性
红磷	红色粉末，无光泽	易碎	不导电
钠	新切开的断面有光泽，并呈银灰色	易用小刀切割	导电性好

表 10.2

性质	金属	非金属
熔点和沸点	通常很高	通常很低
外观	常有金属光泽，敲击时可鸣响	固体无特定的外观形状，往往无光泽，敲击时无鸣响
导电性	好（温度上升，导电性下降）	差
导热性	好	差

碳——一种特殊的非金属

碳精棒是一种导电性能良好的导体，因此常将其用作电极，将导

表 10.3

性 质	金 刚 石	石 墨
外 观	白色或无色，透明	灰色，有金属光泽
导 电 性	差	好
莫氏硬度	10	1 ~ 2
密度(克\厘米 ³)	3.51	2.25
燃点()	800 ~ 900	约 700

线上的电流传给正在进行电解的物质(§ 16)。然而，从其它方面来看，碳显然是一种非金属。

碳精棒中的碳称为石墨。同许多非金属一样，石墨也是一种很脆的物质，并且用小刀刮削亦不费力。但另一种形式的纯碳在外观上完全不同于石墨，这就是金刚石(表 10.3)。

可以说碳表现出了同素异形现象，即有同素异形的碳存在。金刚石和石墨就是碳的两种同素异形体。两种同素异形体的一些主要性质列入表 10.3。

二者的性质差异之大简直令人不能想象金刚石和石墨是由同种原子构成的。然而，二者可发生同样的化学反应，如金刚石和石墨都可在氧气中燃烧生成同一种氧化物——二氧化碳。二者出现差别的原因在于碳原子在两晶体中的排列方式不同。

习题

1. 钠质地软但它是金属。写出钠与其它金属共有的两种金属性质。
2. 下面是部分固体元素的熔点：

铝	660	钾	64
碳	3730	钠	98
铜	1083	硫	113
铁	1535	锌	420
磷	44		

这些元素的熔点间有何联系？每种元素是金属还是非金属？哪种元素的熔点最出乎你的预料？

3. (a) 列出金刚石和石墨性质不同的三个方面。
- (b) 解释名词“同素异形体”的意义

§ 11 金属的反应

金属的活泼性顺序

一些金属在空气或氧气中燃烧时会放出大量的热能和光能，而另外一些金属与氧气的反应则不明显。这表明，有些金属可与氧进行剧烈的反应，而

有些金属则不然。我们说前者更易与氧进行反应。换句话说，这些金属与氧有更大的亲和力。

现在考察镁与空气或与氧气的反应。把镁带加热到某一足够高温度时，镁带即与氧发生迅速的反应，同时产生大量的热能和光能。镁带燃烧部位放出的热量必须能把相邻部位的金属加热到足够高的温度从而使整个反应能迅速进行下去。镁和氧的反应放出大量的热能这一现象表明了镁和氧有较大的亲和力，也就是说，镁和氧比较容易进行反应。

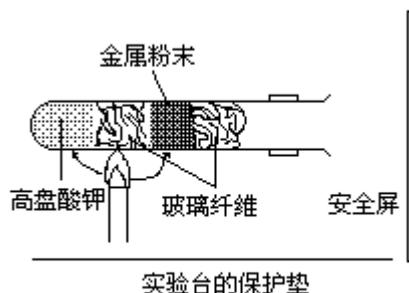
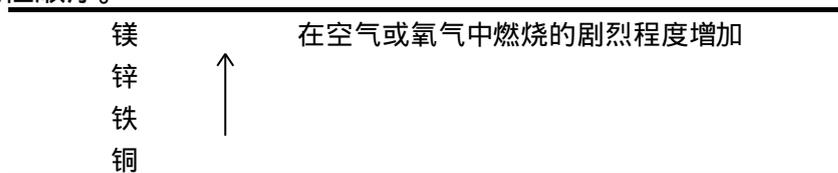


图 11.1

再来考察铜与空气或与氧气的反应。此反应进行缓慢，并且放出热能的现象不明显。该反应需要供给大量的热，这是由于铜和氧的亲和力小，即铜与氧的反应性低，铜与氧发生反应的部位放出的热量不足以维持邻近区域的铜继续进行反应。

图 11.1 所示的实验可以比较一些金属和氧的反应性。为使比较合理，所有金属必须是同一状态，如都是粉末。实验时，首先对高锰酸钾加热制得氧气，然后让氧气流过灼热的金属粉末。通过观察金属灼烧的剧烈程度或者观察软质玻璃试管开始出现弯曲的先后时间就可确定每种金属的反应性。

借助这一实验可以把某些金属的反应活泼性顺序排列出来，排列时，反应性最强的金属放在上部，反应性最差的金属放在下部，下面就是一简短的反应性顺序。



其它金属例如钠和金也可排入这一顺序，实际上，钠可在空气中剧烈地燃烧，不管预先是否对钠加过热，因此，要防止钠在空气中着火燃烧，就要把钠储藏在油中。但金即使在相当高的温度下也绝不会在空气中燃烧。这样，在活泼性顺序中，可把钠排在镁的上面，而金则放在铜的下面。

与水和酸反应的金属

金属活泼性顺序的观点，除用以说明它们与空气或氧的反应以外，也可用来说明金属与其它物质进行反应时的强弱程度。

一些金属在与水或水蒸汽反应时所观察到的现象列于表 11.1 中。由该表可看出，金属与水或水蒸汽反应时的反应顺序与金属与空气或金属与氧气反应时的顺序非常相似。

实验 1 金属与酸反应时的活泼性顺序

本实验需要用下面三种浓度的酸各约 25 毫升。

表 11.1

金 属	与水或水蒸汽的反应
钠	与冷水发生的反应有危险性；放出大量的热能
钙	与冷水的作用是放热反应（不如钠与水反应剧烈）
镁	恰好可与冷水反应；加热后的镁与水蒸汽反应时放出大量的热能和光能
锌	与水蒸汽反应时有较弱的灼烧现象，并放出部分热能；不与冷水反应
铁	
铜	不能与水或水蒸汽发生反应
金	

(a) 很稀的盐酸

(b) 稀盐酸

(c) 中等浓度的盐酸

注意：如果酸液溅到皮肤或衣服上必须立刻用大量的清水冲洗干净。

还需要 10 平方毫米（或带状）的镁带，以及铜、铅和铝箔，铁试样可用一根小铁钉。

取三种浓度的酸液各若干厘米³，分别加入放有同一种金属的三个试管内。

· 怎样鉴别试管内是否发生了化学反应？

如果某种金属与冷酸反应，则可判定该金属也与热酸发生反应。对于稀酸，如果不发生反应，可用微火对试管加热。加热时不要让试管口朝向人。

· 此时是否发生了反应？

不要把沸腾与气体（氢气）在金属表面逸出这两种现象相混淆。

· 填表，表格及填写格式如下表，你认为已经发生了反应，就在表格中画一勾号“”。说明你是如何做的实验时可画一条直线。

金属	酸 (a)		酸 (b)		酸 (c)
	冷	热	冷	热	冷
镁					

- 哪些金属最容易与酸反应？打勾多的还是打勾少的？
- 按金属的活泼性顺序排列这些金属？最易反应的排在第一位。
- 金属和氧或金属和水的活泼性顺序与本实验排列出的活泼性顺序相同吗？

从溶液中制取金属

在硫酸铜溶液中放入一枚铁钉，铁钉表面就会覆盖上一层红色的固体物质（图 11.2）。这种物质是金属铜，它被金属铁从硫酸铜中“排挤”（置换）出来。该反应可用下面的方程来描述：

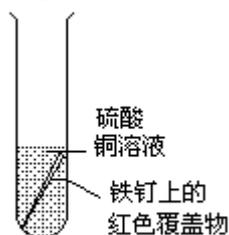
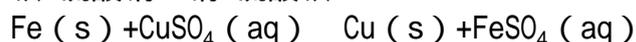


图 11.2

铁+硫酸铜 铜+硫酸铁



式中“aq”是“aqueous”的缩写，意为水溶液，它说明硫酸铜和硫酸铁均为水溶液。

这类反应称为置换反应。如果知道了金属的活泼性顺序，就能预测一种金属能否从另一种金属的溶液中将该金属置换出来。例如，铁在顺序表中的位置排在铜的上面，故铁可从硫酸铜溶液中置换出铜。

实验 2 某些置换反应的验证

所用的金属和溶液列于表 11.2 中。在每种情况下，都是把一片干净的金屬（箔或钉）放入盛有几毫升溶液的试管内。

是否可观察到金属表面上出现新的沉积物（镀层）？

如果金属表面未立刻发生变化，可将试管直立放在试管架上静置几分钟，然后再重新观察。

· 抄表 11.2 并在相应的表格内标以记号，如认为已经发生反应，则标以“”，反之则标以“x”（表中已标有一“”和一“x”）。

表 11.2

金 属	溶 液	硫酸铜	硫酸铁	硝酸铝	硫酸镁	硫酸锌
铜		-	×			
铁			-			
铅				-		
镁					-	
锌						-

- 在这些置换反应中金属的活泼性顺序是怎样的？
- 这个顺序与金属与酸反应的顺序一致吗？

习题

1. 假如给你一块金属锡，叙述确定其在金属活泼性顺序中位置的方法。回答时应叙述几个不同的实验。

2. 下面是铅的一些性质：

(a) 加强热时，铅可与空气缓慢反应生成氧化物。

(b) 铅可和沸腾状态的中等浓度盐酸反应，但不和稀盐酸反应。

回答铅是否比下列金属 (i) 镁，(ii) 铜，(iii) 铁更容易进行反应，说明你的理由。

如果提供给你下列实验物质：铅屑、硝酸、铅溶液、铜屑、硫酸铜溶液、铁钉、硫酸铁溶液、镁带和硫酸镁溶液，你怎样利用这些物质验证你的答案。

3. (a) 金属金和银常作为什么应用？

(b) 你认为这两种金属在活泼性顺序中什么位置？

(c) 解释 (a) 和 (b) 的答案间的联系。

4. 描述一个可说明镁粉比铁粉更易与硫酸反应的实验。

§ 12 金属的应用

金属和合金

金属是热和电的良导体。许多金属的强度及韧性也很好，可弯曲成各种形状也不会断裂。图 12.1 到图 12.3 所示的金属的三种用途与这些性质有不可分割的联系。

有些场合要求所用的金属纯度很高，例如，制作铜导线时，要求铜有很高的纯度（约为 99.98%），目的是保证导线有较好的导电性能。但某些场

合却要求应用两种或两种以上金属的混合物。生产这些混合物（称为合金）时，先使这些金属熔合在一起，然后让其冷却结晶。合金的性质不同于组成该合金的金属的性质。今天，科学家们已经能制作出具有特殊性质的合金以满足特殊工作的需要。

一般说来，合金与组成合金的金属相比，硬度高，但熔点低。而且也更耐腐蚀（见后面）。

表 12.1 列出了一些常用合金的性质和用途，表中“用途”一栏还

表 12.1

合 金	组成 (%)	主要性质	用 途
黄铜	Cu 60 Zn 40	比铜硬,但耐蚀性相差不多	
青铜	Cu 85 Sn 15	类似黄铜	雕塑、装饰用 板、舰船的螺旋桨
铜镍合金	Cu 75 Ni 25	性质类似黄铜,外观象银	钱币
硬铝	Al 95 Cu 4 Mn、Mg 微量	密度和铝或镁差不多, 但强度要好得多,且 更耐腐蚀	飞机结构
镁铝合金	Al 70 Mg 30		
焊锡	Pb 67 Sn 33	比铅硬,但熔点低于铅	
钢	Fe 98 C 1 其它元素微量	强度比铁好得多	
铁镍合金	Fe 63 Ni 36 C 微量	膨胀系数远低于铁	用在恒温器和钟 摆上
不锈钢	Fe 85 Cr 14 Ni 1	比普通钢硬,且耐蚀性比普 通钢好得多	

留有一些空格，这些空格留待以后读者在自己的笔记本上填完。

人们最熟悉的合金是钢，钢由铁和一种非金属（碳）组成，而不是两种金属。在现代的炼钢工艺中，炼钢炉中盛有熔化后的铁水，氧气吹向铁水表面。杂质被氧化后或作为气态氧化物放出，或与氧化钙（加入的石灰石）结

合生成炉渣浮在铁水的表面。当铁水达到一定的纯度时，就开炉出钢。如果要冶炼合金钢（不锈钢、铁镍合金钢等），那么在此阶段应加入所需要的金属。

金属的腐蚀

人们都知道，铁制物品暴露在大气中时，其表面会长出一层松脆的褐色铁锈。生锈是铁与大气中的氧气和水反应的结果。

还有许多金属会受到大气的腐蚀。因为金属受到腐蚀后不仅失去了其原有的光泽，有时还改变颜色，借此可辨别腐蚀现象。如随着腐蚀过程的进行，铜制贮水罐和青铜雕象的表面会失去原来铜所特有的颜色，而是慢慢变成褐色，再变成灰色，最后成绿色。

大部分金属表面的腐蚀产物是一层金属氧化物或金属的碳酸盐。这些物质不同于铁锈，通常不会很快剥落。相反，它们附着在金属表面，起到了阻止腐蚀层下的金属再被空气侵蚀的作用。这样，这些金属就在自身保护下免受腐蚀。有些金属（如铝）即使它在活泼性顺序中的位置在铁的上面，但却比铁更耐腐蚀，其原因就在于此。

要想绝对避免铁和普通钢材的生锈是相当困难的，不过通常采用的往工件上喷漆或涂以润滑油等措施有助于防止生锈。制作铁和其它金属的合金是防止铁生锈的一个最好的方法，不锈钢（表 12.1）就是一很好的例子。

但是合金钢要比普通钢的价格高得多。不会有人考虑用不锈钢来铺设地下管线或用不锈钢造大船，然而，由于土壤中的酸和海水中的盐会大大加速钢材的腐蚀过程，在这种情况下采用普通钢材很快就会腐蚀。

用其它方法也可防止普通钢材的腐蚀，如将一种比铁更活泼的金属（如锌）与钢材连结在一起。下面的实验说明了这种作法的道理。

实验 1 铁钉生锈的试验

本实验用到三根洁净的铁钉。用一小片铝箔把约 1cm 长的铁钉包起来，同法将另一根铁钉用一块小铜片包上（注意：不要被边角锐利的锌片和铜片弄伤手）。第三根铁钉不包任何东西。

把铁钉分别放入三个盛有氯化钠溶液的培养皿中，并让氯化钠溶液浸没铁钉（图 12.4）。因为溶液溶解有空气并含有氯化钠，因此，铁钉表面会出现铁锈。

铁钉在培养皿中至少保持一天，然后，观察每根铁钉的生锈情况。

- 哪根铁钉锈蚀最严重？哪根铁钉锈蚀最轻？

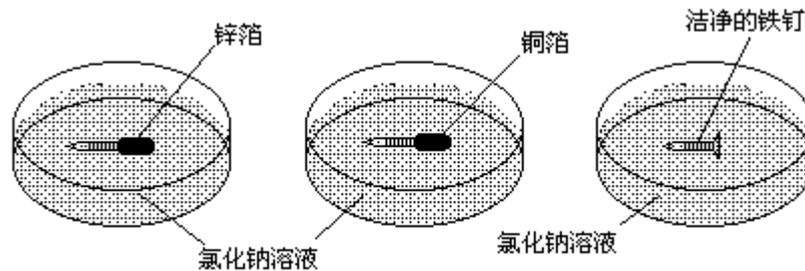


图 12.4

这三种金属与氧反应的活泼性顺序（反应性最强的排在首位）是：锌、铁、铜。如果给铁钉包上一比铁更活泼的金属，该金属便与溶解的空气中的氧反应。因此，用锌片包紧的铁钉不生锈。但是，如果铁钉上包的是反应性比铁差的金属，则铁钉就会很快生锈，而反应性差的金属（在此情况下是铜）则根本不发生变化。

习题

1. (a) 什么是合金？
 (b) 为什么在家庭及工业多种场合下应用合金往往要比应用纯金属好？
 (c) 为什么有些合金性能良好而未得到广泛的应用？说出一个理由。
2. 制造铅字的金属是一种合金，其组成百分比为：铅（Pb）80%，锑（Sb）15%，锡（Sn）5%。它有下列特点：质地坚硬，熔点低（240 ），凝固时体积膨胀，因此，印刷工业上应用这种合金。
 (a) 铅字合金和焊锡的成分有何不同？
 (b) 说出铅字合金和焊锡共有的一种性质。
 (c) 你预计纯铅的熔点是高于还是低于 240 ？说明理由。
8. (a) 找出你能找到的防止钢或铁生锈的方法，并将这些方法列成一表。
 (b) 解释下列钢铁制品不易生锈（如有的话）的理由：刀具，汽车挡板，食品罐头盒，金属桥梁。
4. 燃烧过程和锈蚀过程有一些共同点，将二者的共同点和不同点各列一表。

§ 13 元素的族

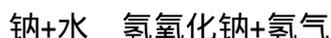
一些特殊的金属

钠和钾两种金属非常相似，但它们与其它金属却有很大差别。钠和钾质地都很软，而且受热时会迅速燃烧。两种金属都要保存在油中以便使它们与大气中的氧或水汽隔绝。

令人惊讶的是钠与水的反应。反应时，一个熔融的金属球浮动在水面

上，并很快消失。图 13.1 所示的实验表明该反应中有氢气放出。当钠反应完后，给水中加几滴通用指示剂溶液，可发现水变成了蓝色，这表明水此刻呈碱性。纯水是中性的，必有某种物质溶于水后才使得水呈碱性。所得到的溶液就是氢氧化钠，金属钠溶于水就制得了该溶液。

该反应的文字方程式可写成：



钾与水的反应比钠与水的反应更为剧烈。反应时，水面上飞溅着体积很小的钾粒并很快消失。反应中有氢气放出，其次，给溶液中加入几滴通用指示剂溶液后水溶液变蓝。

金属锂在外观上与钠和钾相似。在下面的实验中你就会发现锂和钠、钾在化学反应上的相似性。

实验 1 锂的两个反应

a 在一个马口铁盖内加热一小块锂（不大于米粒），观察所发生的现象。铁盖上盖有金属网（图 13.2）。

b 给盛有冷水的烧杯内加入一小块锂（不大于米粒）（注意：锂是活泼金属）。

· 你看到什么现象？

用几滴通用指示剂溶液检验最后获得的溶液。

· 溶液呈酸性还是呈碱性？

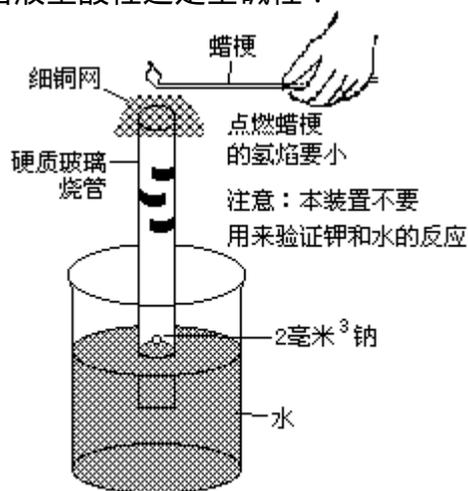


图 13.1



图 13.2

· 锂和钠哪一个易于与水反应？

锂、钠和钾属于同一个称为“碱金属”的化学族中，这三种金属之所以可放在同一金属族中是因为它们有许多共同的性质而彼此之间又没有太大的差别。就象人们观察人类家庭中的一些成员那样，人们只要粗略观察一下，就可发现这三种元素有很密切的联系。

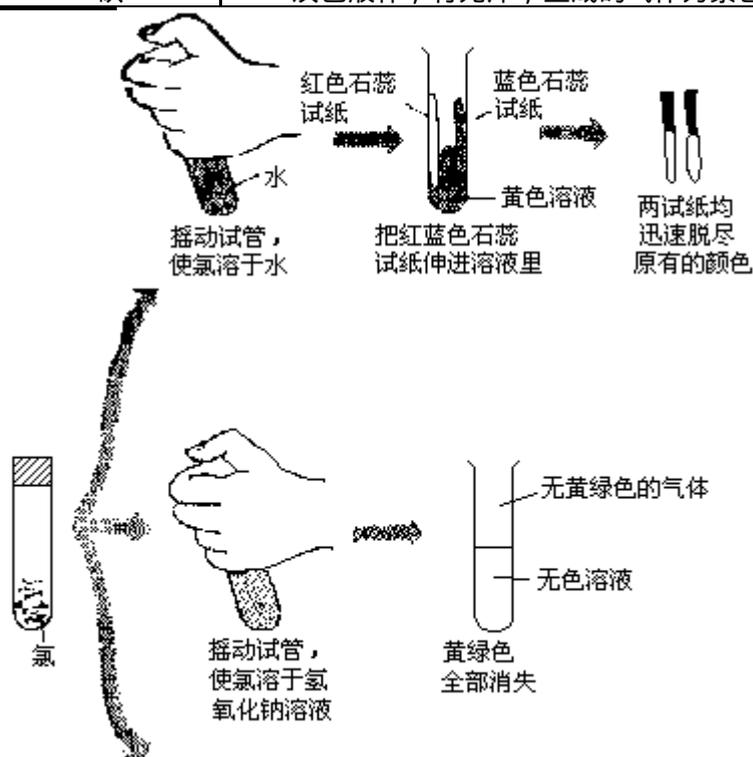
非金属族

氯、溴和碘都是非金属（见表 13.1），你可能认为这三种非金属不太相

近，但它们确实是有某些共同之处。如它们都能够以气体状态

表 13.1

元素名称	外 观
氯	黄绿色气体
溴	深红色液体，蒸发出的气体为棕红色
碘	灰色液体，有光泽，生成的气体为紫色



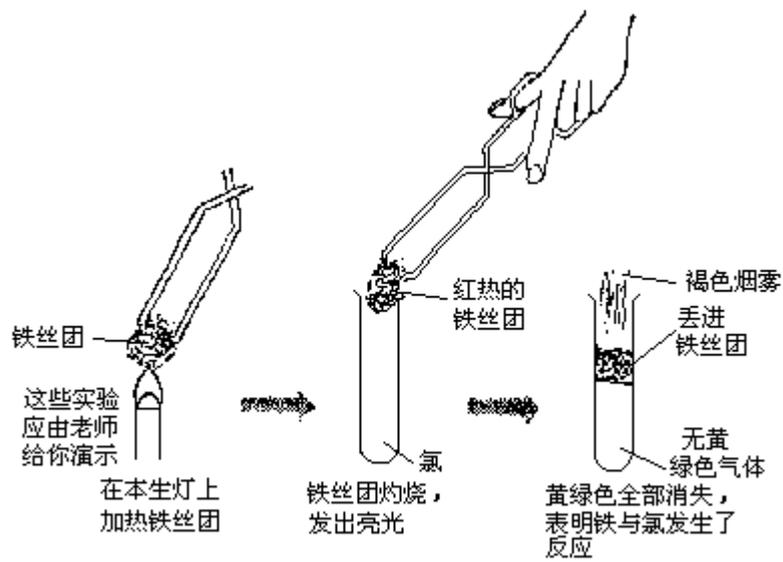
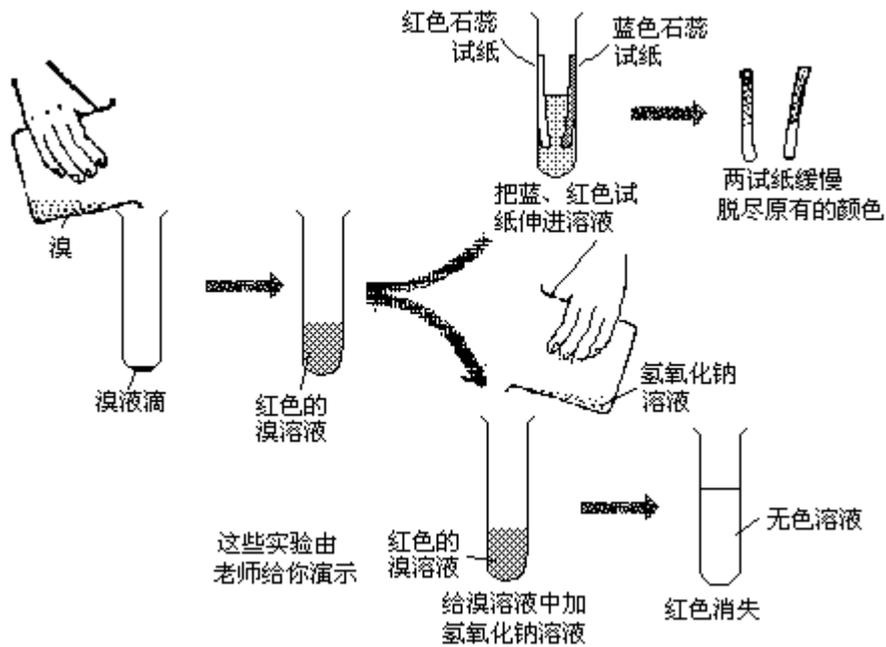


图 13.3



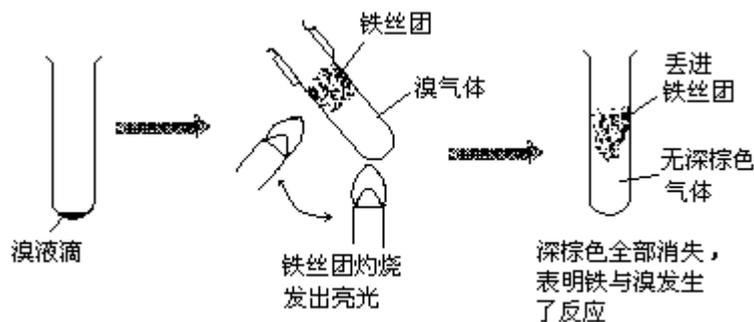


图 13.4

存在，气体都有颜色并有臭味。

氯由于有灭菌作用，故用于室内游泳池的消毒。溴也有类似的作用，碘酒是碘溶于甲基化酒精后制成的溶液，常用作消毒剂以避免伤口感染。这就又一次说明了这三种非金属有共同点。

图 13.3 示出了关于氯的三个实验。观察这几个实验并研究了图 13.4 中关于溴的实验后，就可得出结论 氯和溴可发生相同的化学反应，且二者之中，氯是更活泼一些的元素。

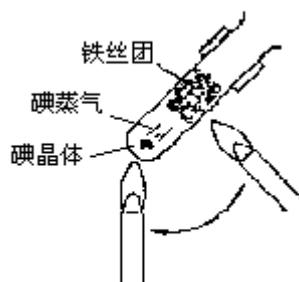


图 13.5

实验 2 试验碘是否与氯、溴的性质相似

- a. 用镊子夹一小块碘晶体，放入盛有半管水的试管中，充分摇晃试管。
 - 碘是否已经溶解？对试管内的水加热。
 - 有更多的碘溶解吗？将蓝色、红色石蕊试纸各一条伸进水中。
 - 有无漂白现象？
- b. 用镊子夹一小块碘晶体、放入盛有半管氢氧化钠溶液的试管中，用微火加热。注意不要让试管口朝向人。
 - 有何现象出现？
- c. 在图 13.5 所示的装置上用强火加热铁丝团，然后把本生灯移到碘晶体下面对碘加热，使产生的碘蒸汽通过铁丝团。
 - 有何现象出现？
 - 实验结束后铁丝团上留有什么物质？

氯、溴和碘三种元素有密切的关系，都属于称为卤族的非金属族。尽管室温下一种是气体，一种是液体，另一种是固体，但它们仍为一族。从外观上看，卤族元素不象碱金属彼此之间那样相似，卤族元素的相似性反映在它

们的化学反应上。

这正如一些人的家庭，开始时看不出这个家庭的成员之间的相似之处，但是，一旦当你较为仔细地观察他们的特征时，就会发现这个家庭的成员中间的一些不太明显的相似性。

碱土金属

镁和钙是两种外观相象的金属，两种金属在新鲜状态时都呈灰白色，有金属光泽，且质地较软。曝露在空气中后，它们的表面会生成一层无光泽的白色或灰白色的氧化物。后面这一事实表明镁和钙都是活泼金属，但它们的反应性却明显不如碱金属，因此，不必将它们放在油中贮存。

镁和钙都可在空气中燃烧，并且可与水或水蒸汽反应（表 11.1）。它们与水或水蒸汽的反应也不如碱金属与水或水蒸汽反应时剧烈。镁和钙属于碱土金属族。

元素周期表

科学家们总是设法进一步找出我们周围事物的存在规律，化学上最重要的规律之一就是元素周期表（见封底）。

元素周期表是一种将所有元素按一种方式进行排列的表格，按这种方式排列，各元素的性质、特点就由它们在表中占据的位置表现出来。一般情况下，元素在表中出现的顺序是由它的相对原子量的大小来决定的，当然，其中也有个别例外（原子量见封底）。

从表中可以找到包含在表中的各化学族，它们是表中的竖行。碱金属和碱土金属分别是表中左侧的第 1 族和第 2 族，卤素则位于表右侧的第 17 族。从表中还可看出下列特点？金属一般位于表的左侧或中部，非金属一般位于表的右侧。

习题

- 下面是关于元素铷（Rb）的几个问答题。
 - 铷属于什么元素族？
 - 你推断铷的性质与哪些元素相似？
 - 将一块铷放入冷水中，可能发生什么现象？当在形成的溶液中加入几滴红色石蕊溶液时，你推断会看到什么现象？
- 根据你学到的知识，试证明氯是比碘更活泼的元素。
- 根据氟（F）在元素周期表中的位置回答下列问题。
 - 氟属于什么元素族？
 - 室温下氟可能处于何种状态：气态、液态还是固态？
 - 根据你的推断写出可能与氟反应的两种物质。

指示剂

柑桔类水果例如桔子、柠檬、橙子等都有一种强烈的味道。这种味道是由水果汁液中的酸（柠檬酸）引起的。假如把从柑桔类水果中榨出的汁液滴到蓝色的石蕊试纸上，试纸则变成红色。这是因为石蕊是一种与酸接触后可改变本身颜色的物质——即石蕊是一种酸的指示剂。

除了上面提到的柑桔类水果外，还有许多物质呈酸性，并能使蓝色的石蕊试纸变红（表 14.1），你所在的实验室中也许就有表中列出的一些酸。

表 14.1 一些常见的酸

酸	说 明
石炭酸	化学名称是酚，用作消毒剂
碳 酸	把二氧化碳溶于水可制得苏打水，雨水是一种很稀的碳酸溶液
柠檬酸	柑桔类水果中所含的
醋酸（乙）酸	醋即醋酸的很稀溶液；酒变酸时就生成了醋酸
乳 酸	酸奶中含有乳酸，人们经过长期的体育锻炼后，其肌肉中含有这种酸
酒石酸	由该酸制得的一种物质（称为“酒石”）作为酸性成分放在发酵粉中
盐 酸	实验室中三种重要的酸
硝 酸	
硫 酸	

与酸相对的物质是碱，这种物质可使红色的石蕊变蓝。此外，你所在的实验室内或许还有一些碱性物质，其中一些碱性物质的名称带有“氢氧”二字（表 14.2）。

使用实验室中的酸和碱时必须给以高度注意。尽管有些酸对身体无害，例如柠檬酸，但绝大部分酸却对身体有很大危害，因此，绝对禁止用口尝，也绝不允许与皮肤接触。

石蕊出自于西部非洲生长的一种地衣（一种植物）。植物、蔬菜

表 14.2 一些常见的碱

碱	说 明	碱	说 明
氨 水	用在家用清洁剂中	碳酸钠	用作洗涤碱
氢氧化钙	其溶液称为石灰水	碳酸氢钠	作粉状胃药
氢氧化镁	俗称“镁乳”	氢氧化钠	常称苛性钠
氢氧化钾	常称苛性钾		

和花中的许多带颜色的颜料都是很好的指示剂。

实验 1 制作并试验一种指示剂

从一些蓝色或红色的花上拔下一些花蕊，将其撕碎后放进研钵内，并加入几毫升乙醇（酒精），用研杵在研钵里研捣，直到乙醇变为深颜色为止（乙醇对花蕊中颜料起一种溶剂的作用），然后将乙醇溶液倒入一支试管。

检查所制得的指示剂在酸和碱中所呈的颜色。

指示剂可用来检验气体。一些酸性气体例如二氧化碳可使湿润的蓝色石蕊试纸变红；一些中性气体如氧气和氢气则对蓝色的石蕊试纸或红色的石蕊试纸不产生效应；常用气体氨（§ 65）是碱性的，因而可使湿润的红色石蕊试纸变蓝。

在这类实验中很重要的一点往往就是所使用的石蕊试纸应是湿润的，只有有水存在时，颜色才会发生变化。

中和作用

酸、碱可对石蕊产生相反的效应。通过下面的实验你会看到酸和碱相互作用的情况。

实验 2 酸碱中和

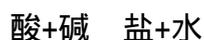
给一支试管中注入稀硫酸约 2 毫升，然后加几滴石蕊溶液。把一支量程为 -10 ~ 110 的温度计插入混合液中并记下这时的温度。然后，用滴管给试管内加入稀氢氧化钠溶液，直到试管内颜色不再发生变化为止。每次加入溶液时的量要小。

- 石蕊的颜色发生什么变化？
- 你能否断定随着化学反应发生，混合物的温度会发生什么变化？

再实验一次，这次往试管中加入 2 毫升稀盐酸，并用滴管加入稀氢氧化钙溶液。

- 你能在第二个反应中观察到与第一个反应相同的现象吗？

碱与酸彼此中和的化学反应称为中和反应。实际上，上述实验最后生成的溶液往往并不呈中性而是呈碱性，这是因为很难保证在达到中和点的一瞬间停止加入碱液。反应产物是盐（§ 18）和水，这样，所有中和反应的文字方程便可表述为：



pH 值

通用指示剂是由若干种指示剂组成的混合物，它是借助于所显示的颜色

来表明一种物质的酸性或碱性的。科学家们已经发现用一种数值标度来说明某物质的酸碱性要远比使用颜色容易。这种标度称为 pH 标度，其数值称为 pH 值。

图 14.1 示出了 pH 标度及所对应的通用指示剂的颜色。强酸的 pH 值为 0 ~ 1 ;弱酸的 pH 值在 4 ~ 6 范围内 ;强碱的 pH 值从 13 到 14 ;弱碱的 pH 值在 8 ~ 10 的范围内。酸碱中和后的中性溶液，其 pH 值为 7。



图 14.1

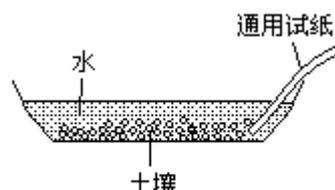


图 14.2

图 14.2 表明了如何确定固体物质 pH 值的方法。日常生活中你可能会用到下列物质：糖、盐、土壤、木灰或炭灰以及肥皂等，也许你还想检验一些日常使用的液态或气态物质的 pH 值。假如你要检验气体的 pH 值，记住首先要用中性的水浸湿试纸。不论实验是在家里进行还是在学校里做，实验前要经常请教老师，以便知道检验哪些物质是安全的。

图 14.3 给出了一些物质 pH 值的检验结果，大部分土壤的 pH 值基本上接近于 7，对大部分植物来说，生长在 pH 值为 6.5 的土壤中最为合适，当然，有些植物喜欢酸性较大的土壤，有些植物喜欢碱性较大的土壤。

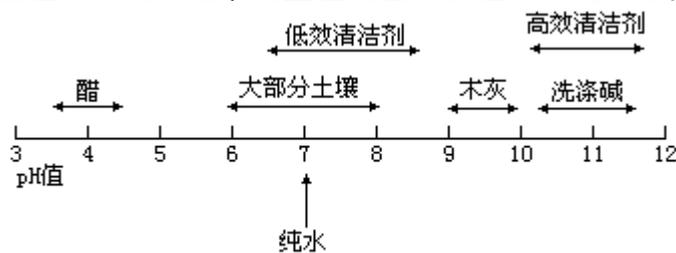


图 14.3

燃烧植物材料例如木料或海藻所得灰烬的 pH 值相当高，这是由于灰烬中存在一种称为“碳酸钾”的物质。以前，人们利用碳酸钾制造肥皂就是因为碳酸钾是一种碱。

首先制造肥皂的是地中海沿岸的国家，方法是把动物油脂或菜油与一种称为“苏打”的碱放在一起加热，所用的苏打取自尼罗河流域的自然界。但据当时的记载介绍，罗马人曾利用山羊脂（脂肪）和山毛榉木灰来制作肥皂，现在生产肥皂是利用菜油和氢氧化钠。

一些清洁剂的 pH 值很高，称为高效清洁剂，它可洗净很脏的衣物，但

遗憾的是这种清洁剂会使衣物脱色，并对皮肤有害。其它清洁剂的 pH 值要低得多，称为低效清洁剂。在洗涤油污弄得很脏的衣物时效果不十分理想，但它的优点是会使所洗的衣物脱色，也不会引起皮肤发炎。

鲜牛奶的 pH 值约为 6.5，牛奶变酸后，其 pH 值约下降为 5.5，这说明在化学反应过程中生成了一种酸。

习题

1. 给预先加入几滴通用指示剂的碱液中缓慢滴入一种稀酸，问会发生什么现象。
2. 为什么不慎洒在书上的酸液往往会使书封面和墨迹的颜色发生变化？
3. 用什么物质来中和土壤中的酸？中和酸的过程叫做什么过程？
4. 几种熟悉的气体是：氨、二氧化碳、氢气、氮气、氧气。试按照这些物质在用湿润的石蕊试纸检验时呈现出的酸性、碱性和中性对它们进行分类。

§ 15 氧化物

酸性氧化物和强碱性氧化物

一种元素（或一种化合物）在空气或氧气中燃烧时会生成氧化物。对氧化物的分类可按它们对湿石蕊试纸的效应来进行。

实验 1 用试纸检验氧化物

利用图 5.8 所示的装置（§ 5）或氧气瓶给五支试管充入氧气，并用木塞塞紧。为制得氧化物，可按 § 5 描述的方法灼烧下列元素：木炭粉（碳）、铁屑或钢丝团、洁净的镁条、硫粉以及锌粉。

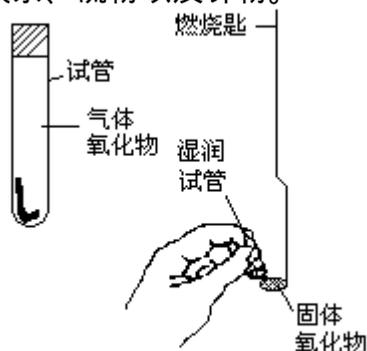


图 15.1

燃烧停止后，立即用湿润的通用试纸检验生成的氧化物。图 15.1 示出了对固体氧化物或气体氧化物使用的检验方法。按下面的表头制一表格，将实验结果填入表内。

元素名称	其氧化物是气体还是固体	其氧化物是酸性、强碱性还是中性
------	-------------	-----------------

表 15.1 对另外一些元素的氧化物进行了说明。从实验结果来看，这些氧化物可分成三类，一类氧化物（通常为

表 15.1

元素	氧化物	对湿润试纸的效应
金属	氧化钙	均溶于水，湿润试纸检验呈强碱性
	氧化钾	
	氧化钠	
	氧化铜	
非金属	五氧化二磷	溶于水，湿润试纸检验呈酸性

气体) 溶于水形成酸性溶液，一类氧化物（通常为固体）溶于水后形成强碱性溶液，第三类氧化物（通常也为固体）用湿润试纸检验呈中性。

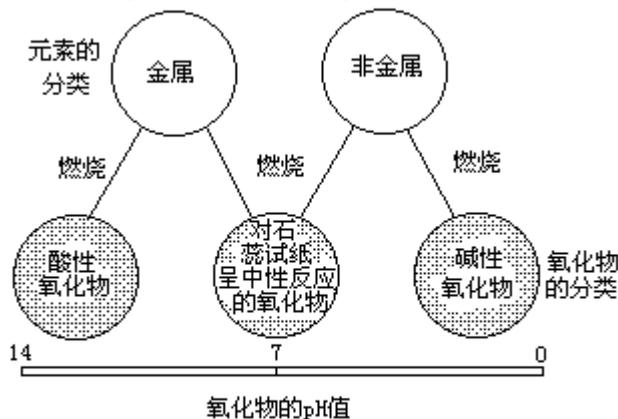


图 15.2

被燃烧元素的种类和所生成的氧化物的种类间（图 15.2）有一种联系，一些金属生成碱性氧化物，另一些金属生成的氧化物则对湿润的试纸无反应；一些非金属生成酸性氧化物，而有一些非金属则对湿润试纸无反应。

氧化物溶于水形成酸性或碱性溶液时，通常有化学反应发生。

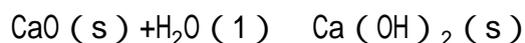
实验 2 氧化钙与水的反应

在表玻璃上放一小块氧化钙，然后用滴管在上面滴几滴水。密切注视所发生的现象，并用手试着触摸表玻璃放置氧化钙部位的背面。

· 你观察到什么现象，从而说明化学反应正在进行？

如果将几滴水加在其它强碱性氧化物（如氧化镁或氧化钠等）上，也可得出与上面实验相同的结果。它们都可与水反应生成金属的氢氧化物，并且这些金属的氢氧化物都是强碱。这样，氧化钙与水反应的化学方程式可写作：





碱性氧化物

许多金属氧化物（如氧化铜和氧化铁）不与水发生反应而生成碱，因而它们对湿润试纸的反应呈中性。不过它们可按另一种方式进行反应，这种反应的结果是生成碱性氧化物。

实验 3 金属氧化物与酸的反应

在一试管内加入几毫升稀盐酸并进行加热（注意不要加热到沸腾，也不要让试管口朝向人）。然后用刮勺尖部将微量的黑色氧化铜加入到热酸液中，并用玻璃棒搅拌。

- 黑色的固体物质出现什么现象？
- 溶液的颜色有什么变化？
- 把表 15.2 抄在笔记本上，并在相应的空格内填上本次实验的结果。

表 15.2

酸 \ 金属氧化物	黑色的氧化铜	氧化镁
稀盐酸		
稀硝酸		
稀硫酸		

按表 15.2 给出的金属氧化物和酸的配对形式重新实验一次。

- 每种情况下都有化学反应发生吗？

可与酸反应的氧化物称为碱性氧化物。碱性氧化物通常由金属和氧构成。

一些金属氧化物（如氧化镁等）是碱性氧化物，但是它也可与水反应生成碱，因而强碱性氧化物是一种特殊的碱性氧化物（图 15.3）。

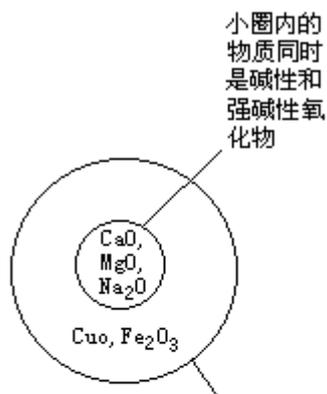


图 15.3

分子式的意义

CaO 氧化钙

MgO 氧化镁

Na₂O 氧化钠

CuO 黑色氧化铜

Fe₂O₃ 红色氧化铁

以圈内的物质是碱性氧化物

性质不同的金属氧化物

恰如一些复杂的物质，下面的实验表明，某些金属氧化物也不仅是碱性氧化物。

实验 4 某些金属氧化物与酸、碱的反应

a. 对盛有少量黄色氧化铅（约一匀尖量）和几毫升稀酸的试管加热。

· 氧化物发生反应吗？

利用氧化锌和稀硝酸再实验一次。

b. 按步骤 a 再做两次实验，所用的氧化物与 a 的相同，但加热氧化物的物质是稀氢氧化钠溶液而不是酸。

· 每种氧化物都发生反应吗？

这两种氧化物既与酸反应也与碱反应，它们与酸反应时，表现出碱性氧化物的性质；当它们与碱反应时，其行为却类似于酸性氧化物。根据与它们混合的物质不同，这类氧化物可以有完全不同的性质。

既有碱性氧化物的性质又有酸性氧化物的性质的氧化物称为两性氧化物。

氧化物和金属的活泼顺序

金属氧化物的归类和金属在活泼顺序表中的位置之间有一定的联系（§ 11）。

很活泼的金属（如钠和钙）形成强碱性氧化物；在活泼顺序表中位置较低金属可形成碱性氧化物，或在某些情况下形成两性氧化物。

习题

1. 详细解释下列各种说法有什么错误。

- (a) 并非所有强碱性氧化物都是碱性氧化物。
- (b) 非金属在空气或氧气中燃烧时通常生成碱性氧化物。
- (c) 氧化钠溶于水形成一种溶液，氧化物和水之间没有发生化学反应。
- (d) 所有的金属氧化物都是碱性氧化物。

2. 把水逐滴加到一块氧化钙上，可以观察到什么现象以说明化学反应正在进行。

3. (a) 叙述一个可以证明氧化锌是两性氧化物的实验。

(b) 一种碱性氧化物和一种两性氧化物在性质上有什么重要区别？

§ 16 电流对化合物的效应

固体和液体的导电

尽管一些固体元素（金属和石墨）导电性能良好，但所有的固体化合物却都是非导体（绝缘体）。

元素汞是一种可导电的液体。汞是一种金属，因而我们会料到它是会有这种性质的。下面实验的目的是想弄清楚纯净的化合物（液体或溶液）是否也是良好的导电体。

实验 1 观察电流对一些液体和溶液的效应

a. 制备如图 16.1 所示的装置。碳棒的作用是把电流导入液体，称为电极。如果液体导电，电流就可由一电极传到另一电极，从而构成电流回路，灯泡就会发亮。

依次把下列液体放进烧杯进行实验：自来水，蒸馏水，乙醇（酒精）。·用这些液体实验时灯泡都能发光吗？

b. 现对一些固体物质的水溶液进行实验。所用的固体物质有：绿色的氯化铜、溴化铅、碘化钾、氯化钠（食盐）和糖。水的体积约为 50 毫升，让固体物质充分溶解后将溶液倒入烧杯（注—溴化铅微溶于水）。

- 用这些溶液实验时灯泡都能发光吗？
- 如果给溶液通入电流，溶液内会有什么现象出现？

c. 最后验证稀酸和稀碱液是否可导电。

- 溶液中有何现象出现？

水本身的导电能力很差，但将一些物质溶于水后形成的溶液却具有好或较好的导电能力。

溶于水后其水溶液可导电的物质称为电解质。河水、海水、湖水以及自来水都能导电，这是因为这些水中含有可溶解的固体物质。由于水导电，故用湿手触摸电气设备是很危险的。

电解质不仅能让电流通过，而且在每种溶液中还会发生一些现象，如有时可在一电极或两个电极上观察到气泡；有时电极周围出现一种液体或一种固体物质。很明显，这时生成了新的物质。

电解质溶液可让电流通过，同时，电流使电解质溶液发生了化学变化。这种化学反应称为电解。

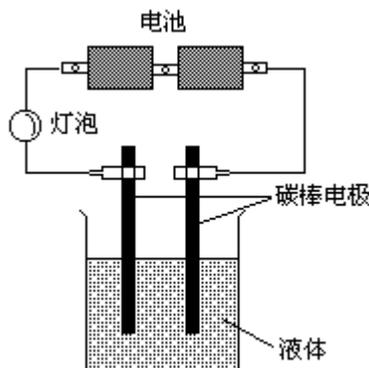


图 16.1

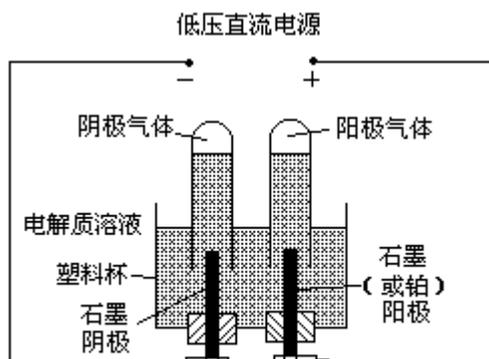


图 16.2

电解是在电流作用下分解化合物的过程。

图 16.2 示出的装置可用来收集电解某种溶液时从电极上逸出的气体。与电池的负极相联接的电极是阴极；与电池的正极联接的电极是阳极。

对某些溶液进行电解的结果列于表 16.1 中。对某些电解液来说，电极上生成的新物质来自于溶液中溶解的固体物质，因此，电解氯化铜溶液时生成的铜和氯肯定来自氯化铜本身。

表 16.1

电解液	电解产物		电解液	电解产物	
	阴 极	阳 极		阴 极	阳 极
碘化钾	氢 气	碘	硫酸锌	锌和氢气	氧气
氯化钠	氢 气	氯气和\或氧气	溴化铅	铅	溴
硝酸镁	氢 气	氧气	氯化铜	铜	氯气和\或氧气

注：石墨阳极上观察不到有氧气逸出，这是因为氧和碳发生了化学反应生成了二氧化碳。因此，表内的一些电解产物只能在使用其它阳极时才能得到，例如铂阳极。

但在电解其它一些溶液时，即使溶于水中的固体只含有氢或氧或根本不含有这两种元素，也会在阴极产生氢气，在阳极产生氧气。在这种情况下，一定是电流将水分解为其组成元素。

表 16.1 中的电解液是按照金属活泼顺序中的位置排列的，反应性最强的金属的溶液居于顶部。从阴极生成的元素中可看出这种排列方式，顶部电解液的阴极产物总是元素氢，底部电解液的阴极产物总是金属。中间部分电解液的电解产物是金属和氢气。

熔融物质的导电

通过下面的实验可以检验在熔融态时可以导电的固体化合物。

实验 2 观察电流对一些熔融物质的效应

本实验使用下列固体物质：绿色的氯化铜、溴化铅、碘化钾、氯化钠(食盐)、糖、石蜡。在两靠得很近的石墨电极间放上某种固体物质，量不宜多(图 16.3)，然后用大火对其加热，直到熔化。

- 此刻灯泡发光吗？
- 该固体物质在熔融态时是导体还是非导体？

用其它固体物质重复进行该实验。



图 16.3

固体物质溶于水后是电解质，则在熔融态时也是电解质。所有这些固体物质均属于一类化合物，这类化合物称为盐 (§ 18)。

用图 16.3 所示的装置电解一熔融态的电解质时所生成的新物质是不易鉴别出来的。但是任何由两元素组成的化合物熔化时总可分解成两种元素，在阴极得到的元素是金属，在阳极得到的另一种元素是非金属，前面提到的电解熔融态的氯化铜就是一个很好的例子。

小 结

图 16.4 示出了本节涉及到的主要概念。

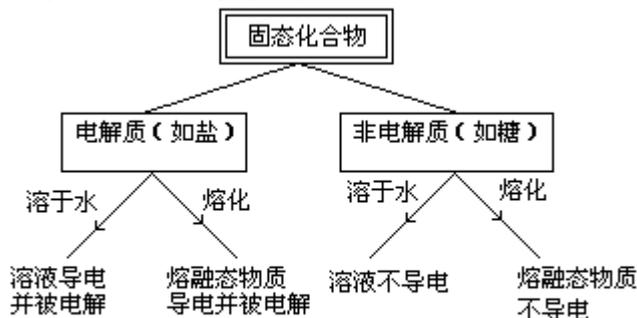


图 16.4

习题

1. 汞是导体，但不是电解质。熔融态的氯化钠是导体，也是电解质。试解释之。

2. 电解下面两种溶液时，阳极和阴极可得到什么产物。

(a) 溴化铜溶液

盐	阴极生成物	盐	阴极生成物
硝酸铅	铅	硝酸银	银
硝酸镁	氢气	硝酸钠	氢气

(b) 氯化钾溶液

3. 给几种盐的水溶液通入电流后可获得下列产物：

(a) 对表中给出的盐进行分类，一类通电后在阴极得到金属，另一类通电后在阴极得到氢气。

(b) 阴极得到的金属位于金属活泼顺序表中的什么位置？

(c) 给硝酸锂溶液通电后可能在阴极得到什么物质？解释你的答案。

§ 17 再谈酸

酸的性质

酸是重要的化学物质，本书许多章节都涉及到酸的反应问题。这里就一种典型酸的主要性质作了总结。酸在下面任一情况下都是溶解于水中，如果酸与水完全脱离开，就不能显示出其酸性。

一种典型的酸：

——pH 值小于 7 (§ 14) ；

——与许多金属反应放出氢气 (§ 11) ；

——与碱反应生成新的化合物——盐 (§ 14) ；

——与碳酸盐或碳酸氢盐反应放出二氧化碳 (§ 18) ；

——与碱性氧化物反应生成盐 (§ 18) ；

表 17.1

酸的名称	酸中的元素	分子式
盐 酸	氢 和 氯	HCl
硝 酸	氢、氮和氧	HNO ₃
硫 酸	氢、硫和氧	H ₂ SO ₄

——是一种电解质 (§ 16) 。

金属是元素，由于把金属加入酸中时往往产生氢气，故很明显，酸是由氢与其它一种或多种元素构成的 (表 17.1) 。

氧 化 性

在学校实验室常见的三种稀酸中，稀硝酸有点特殊。稀盐酸和稀硫酸与许多金属反应都放出氢气，而稀硝酸与金属反应同时还放出其它气体。

实验 1 稀硝酸与铜和铁的反应

将稀硝酸若干毫升加入放有铜屑的试管中，如果不发生反应，或反应进行很慢，可用微火加热，注意不要让试管口朝向人体。

用下列方法对气体进行检验：

(i) 把灼烧的木条移近试管口；

(ii) 用通用试纸检验。

同时，密切注视试管内物质是否有颜色变化（为便于观察，可在试管后面置一小块白纸）。

· 根据什么事实可以证明放出的气体不是氢气？

用铁屑重新实验一次。

· 用铁屑实验时放出的气体与用铜屑实验时放出的气体相同吗？

稀盐酸和稀硫酸只能与位于金属活泼顺序表中、上部的金属反应，因此，这两种酸与铁或镁反应时放出氢气，而与铜却不发生反应。

稀硝酸可与大多数金属反应，包括象铜这种位于活泼顺序低部的金属。但生成的气体一般不是氢气。

图 17.1 表明了铜和稀硝酸反应时的情况。如果你密切观察试管，会发现只有酸液面以上某一距离处的气体带有颜色。这是因为酸液面上产生的气体是无色的一氧化氮（NO），它与试管上部空气中的氧气反应生成了棕黄色的二氧化氮（NO₂）。

要想观察上面这一反应中发生的现象可参阅图 17.2 所示的实验。该实验中，玻璃纤维用作催化剂，通过加热将浓硝酸分解。红棕色的

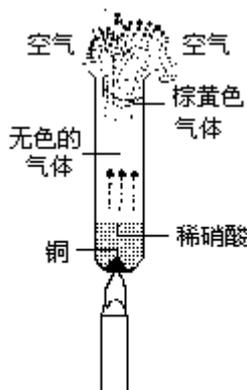


图 17.1

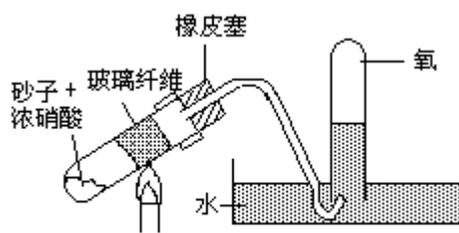
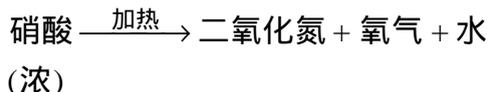


图 17.2

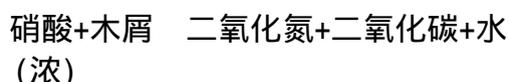
二氧化氮蒸汽在通过玻璃纤维时恰好可被观察到，氧气收集在倒置的试管内。该反应的文字方程式可表示为：



硝酸由氢、氮和氧三种元素组成，在一定条件下，硝酸可将其中的部分氧放出转移到其它物质上，从而起到氧化剂的作用（§9）。

老师可能还要给你演示验证硝酸氧化作用的实验，采取的方法是把浓硝

酸小心地滴入热的木屑（碳、氢和氧的化合物）中。这时，可以看到木屑立即开始燃烧，并且放出大量的棕色二氧化氮气体。这一反应的文字方程可写成：



浓硝酸是氧化剂，木屑是还原剂。酸中的部分氧与木屑结合，而木屑分解成二氧化碳和水，硝酸还原成二氧化氮。

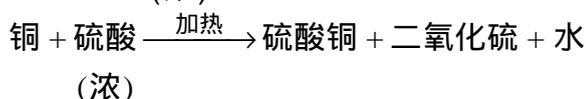
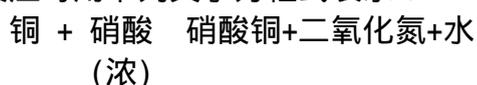
在稀硝酸或浓硝酸的反应中都有二氧化氮放出，这表明硝酸具有氧化剂的性质。因此，在上面进行的硝酸与铜或铁的实验中，稀硝酸显示了氧化性，而不是一般的酸所具有的酸性。

表 17.2 总结了实验室三种常用酸的一些主要性质。

表 17.2

酸		与很活泼或活泼金属反应可生成氢气	氧化剂
盐酸	稀	是	不
	浓	是	不
硝酸	稀	与活泼金属反应有时可放出氢气	是
	浓	不	可使金属、碳、碳化物（如木材）和硫氧化
硫酸	稀	是	不
	浓	不	可使金属、碳和硫氧化

铜（及其它许多金属）除了可被稀硝酸氧化外，还可被浓硝酸和浓硫酸氧化，这类反应可用下列文字方程式表示：



其次，当浓硝酸释放一些氧给铜时，有二氧化氮生成。浓硫酸由氢、硫和氧三种元素组成，这种酸也可释放其中部分氧给铜从而自身被还原成一种酸性气体，这种气体称为二氧化硫。脱水性

往浓硫酸内倒水是非常危险的。稀释浓酸的正确方法是将酸缓慢而小心地加入大量的水中。由于这两种物质混合时会放出大量的热，所以，如果操作方法不正确，就会发生剧烈的反应。

浓硫酸有强烈的脱水作用，如果给蓝色的硫酸铜晶体加入几滴浓硫酸，由于结晶水被浓硫酸吸收，硫酸铜固体立刻就变成白色。从一种化合物中脱去水（或水的组成元素氢和氧）的过程称为脱水。浓硫酸是一种脱水剂。其

它两种实验室常用的酸（不论浓度大小）都不是脱水剂。

实验室制备或收集气体时常应用浓硫酸的脱水性对气体进行干燥。

习题

1. 详细解释下面每种说法的错误是什么。
 - (a) 所有酸都含有氧。
 - (b) 在电解时，每一种可在阴极放出氢气的电解液中一定含有一种酸。
 - (c) 所有金属与稀酸反应都放出氢气。
2. 说出下列每两种物质混合时放出气体的名称。
 - (a) 碳酸钙和稀盐酸
 - (b) 铜和浓硝酸
 - (c) 锌和稀硫酸
 - (d) 碳酸氢钠和稀硝酸
 - (e) 铜和浓硫酸
3. 白色（无水）的硫酸铜固体加水后会变为蓝色，该过程称为“水合作用”，它是一个化学反应，在该反应中水以“结晶水”的形式固定在固体内。
 - (a) 上述反应的逆反应即将结晶水从蓝色硫酸铜除去的过程称为什么过程？
 - (b) 要进行这一反应需要给蓝色的硫酸铜中加入什么物质？
 - (c) 叙述将蓝色硫酸铜转变为白色硫酸铜的另一种方法。
4. “稀硝酸和浓硝酸都可以作为氧化剂”。
解释这句话，并各举出一些例子。

§ 18 制 盐

金属和盐

金属与稀盐酸或稀硫酸反应时，放出氢气，而金属溶解形成溶液。在下面的实验中，你可以进一步考察这种溶液。实验选择镁和稀硫酸的反应。

实验 1 考察金属与酸的反应

a. 在试管内放入一些清洁的镁带，然后注入几毫升稀硫酸，静置直到反应停止。假如反应后试管内无镁带剩下，则再加入一些镁带，直到反应停止。照此办法进行，直到混合物中出现过剩的镁带为止。

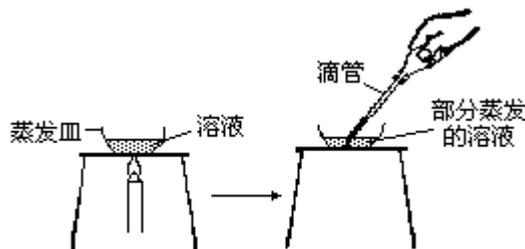


图 18.1

现在，把试管内的溶液倒入小蒸发皿，试管内留下过剩的镁带。蒸发溶液，使其体积减至原来体积的一半（图 18.1）。

用滴管吸取少许热溶液放于显微镜的载片上，通过显微镜进行观察。你所观察到的晶体呈何形状，它们与照片（图 18.2）上的晶体是否相似？

b. 教师会提供给你一些按方法 a. 制得的晶体。用少量蒸馏水把这些晶体溶解在试管内，并充分摇晃试管，使固体物质完全溶解。将一半溶液倒进另一支试管。

给第一支试管加入两滴稀盐酸，然后再加入氯化钡溶液（注意：氯化钡有毒），加入的溶液在试管内深约为 1 毫米。

- 这时可观察到什么现象？
- 对于被溶解的晶体来说，这个现象意味着什么（表 18.1）？

给第二支试管加两滴试镁灵试剂，再加两滴氢氧化钠溶液。

- 这时能观察到什么现象？
- 对被溶解的晶体物质来说，这一结果说明了什么（表 18.1）。

镁与稀硫酸反应产生氢气并生成硫酸镁，金属镁“推走”（置换）

表 18.1

试验内容	观察到的现象
氯化物 加稀硝酸，然后再加入硝酸银溶液	白色混浊物 (证明是氯化物)
硫酸盐 加入稀盐酸，再加氯化钡溶液	白色混浊物 (证明是硫酸盐)
镁 加试镁灵，再加氢氧化钠溶液	蓝色 (证明是镁)

了酸中的全部氢（图 18.3），酸的另一部分（本例中是硫酸根）与镁结合在一起。

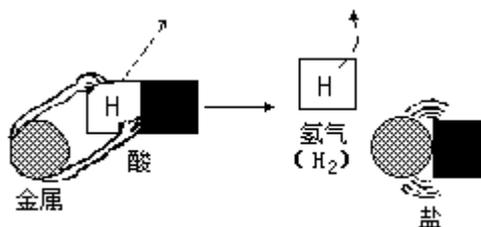
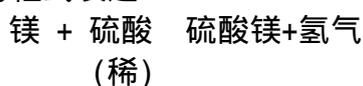


图 18.3

该反应可用如下的方程式表达：





什么是盐？

硫酸镁是称为盐一类化合物的例子。大多数盐都是由金属和酸根两部分组成，每种盐有其特殊的形状，依靠化学分析按上述实验方法 b 鉴别盐的种类是通常采取的方法。由硫酸生成的盐称为硫酸盐；由盐酸生成的盐称为氯化物；由硝酸生成的盐称为硝酸盐。

盐类名称中往往带有一个“酸”或“化”字，如带“化”字则说明该盐的酸根部分只有一种元素。例如，氯化钠只由钠和氯两种元素组成。但如盐中带有“酸”字，则说明盐中也同时含有氧。例如，硫酸钠由钠、硫和氧三种元素组成。

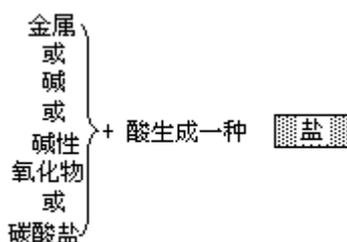


图 18.4

图 18.4 表明，制盐可通过多种方法，但若采用两种物质制盐的方法，则两物质中必有一种物质是酸，这种情况可以用另一种说法表达：只要酸被图 18.4 中各类物质中的一种所中和就生成盐。

回顾 § 16 的内容就会发现，电解实验中所用的许多物质都是盐。所有的盐在其溶于水或在熔融状态时都是电解质。

制盐的其它方法

并不是所有的盐都可由金属置换酸中的氢而制得，一个原因是有些金属加到稀酸中后根本不与酸发生反应；另一个原因是把极活泼的金属加到酸中后与酸发生的反应很危险。这就是为什么我们熟知的盐（氯化钠）从来不是通过把金属钠加到稀盐酸中来制取的原因。

在下一个实验中，采用了通过酸碱中和的安全方法来制取氯化钠。

实验 2 通过酸碱反应制盐

把蒸发皿置于白瓷砖上，往蒸发皿内倒入 20 毫升稀氢氧化钠溶液。再缓慢往溶液中加入稀盐酸，并随时用玻璃棒搅动混合溶液（图 18.5）。

在蒸发皿旁边的白瓷砖上放上几块蓝色石蕊试纸（或通用试纸），把玻璃棒从混合液中取出，把玻璃棒上的溶液点在试纸上，这样反复进行，直到点在纸上的液滴恰好能使试纸变红为止。

然后，蒸发掉溶液中部分水，并按实验 1 中的 a. 项对硫酸镁溶液实验的方法进行实验。

· 显微镜下的晶体呈何形状？

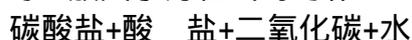
你所看到的晶体形状与图 1.9 所示岩盐的晶体形状很相象。

用碱中和酸可以制得多种盐，如果你按 § 65 所述方法制取化肥就可以用

碳酸盐	稀酸	有二氧化碳放出吗？ (或 ×)	生成溶液的颜色
碳酸铜	硫酸		
碳酸铜	硝酸		
碳酸镍	硫酸		
碳酸镍	硝酸		
碳酸锌	硫酸		
碳酸锌	硝酸		

· 每种情况下都能发生反应吗？

碳酸盐与酸反应时的一般文字方程式可写作：



金属的碳酸盐可以看成金属氧化物与二氧化碳的结合物(图 18.7)，如图 18.6 所示，酸与碳酸盐混合时，金属氧化物部分生成一种新盐和水，同时放出二氧化碳，二氧化碳以气体形式逸出。

例如，由碳酸铜和稀硫酸制备硫酸铜的文字方程式和化学方程式分别是：

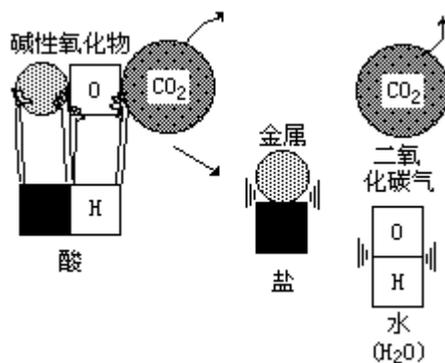
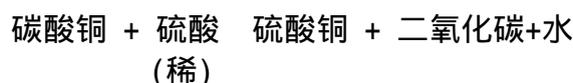


图 18.7

你应该懂得如何由该反应制备的溶液制得硫酸铜晶体。

习题

1. 详细解释下列每种说法的错误何在？

- 把铜和稀盐酸混合在一起可制得氯化铜。
- 铅和氮是硝酸铅中仅有的两种元素。
- 因为氯化铅不溶于水，故它不能电解。

2. (a) 如果由碳酸铜和稀硫酸制备硫酸铜晶体，请说明如何在两步内完成这一过程。首先说明如何制取硫酸铜溶液，其次说明如何由硫酸铜溶液

制得硫酸铜晶体。

(b) 再一次制备硫酸铜晶体，这次给出的物质是铜粉和稀硫酸，且实验室内无其它化学物质可用。简要解释如何制备硫酸铜晶体，重点指出本方法与 (a) 的制备方法有何不同。

3. 填充下列文字方程中的空白处：

(a) 锌+硫酸+.....

(b) 氧化铅 + 硝酸+水
(稀)

(c)+盐酸 氯化镁+二氧化碳+水
(稀)

(d) 氢氧化钾+..... 硫酸钾+水

§ 19 可溶的和不可溶的盐

把盐加入水中

多数盐都可溶解于水，表 19.1 表明所有的硝酸盐都溶于水，而只有少数几种氯化物和硫酸盐不溶于水。

表 19.1

	硝酸盐	氯化物	硫酸盐
溶 水	全部	大多数	大多数
不溶于水	无	氯化铅 氯化银	硫酸钡 硫酸钙 硫酸钾 硫酸铅

实验 1 盐溶于热水和冷水

a. 试管内加约 5 毫升的冷水，再加几平勺硝酸钾，然后用玻璃棒搅动混合物，直到固体不再溶解。这时，试管底部剩下的未溶解的固体应该是很少的。

安装如图 19.1 所示的装置，把水浴内的水加热到约 40 温度。再给试管内的硝酸钾溶液加入一平勺硝酸钾，并搅拌混合物使之溶解。继续用平勺给试管内加入硝酸钾，直到加入的硝酸钾固体不再溶解为止，记下所加入硝酸钾的量。

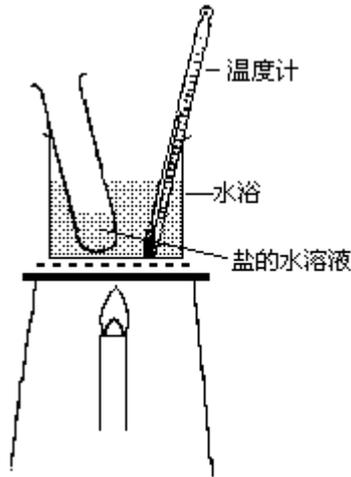


图 19.1

· 在 40℃ 水中溶解的硝酸钾要比其在室温水中的溶解量多多少？

现在，加热水浴中的水到 60℃，然后求出在 60℃ 水中硝酸钾的溶解量和其在 40℃ 水中溶解量的差值。

b. 用氯化钠代替硝酸钾按上述全部步骤重新实验一次。

· 氯化钠在热水中的溶解量大还是在冷水中的溶解量大？

在不同温度的水中，盐类的溶解能力要发生变化，只有少数几种盐的溶解能力随水温下降而提高，而大部分盐在水中的溶解能力与硝酸钾相似。当然，其它种类的盐在低温和高温时溶解能力的差别不象硝酸钾的那样大（见图 19.2）。

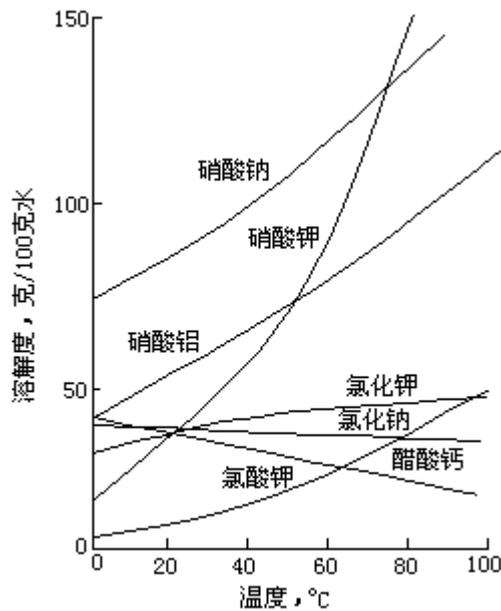


图 19.2

实验 2 把溴化铅加入水中

注意！溴化铅有毒。

试管内加入约 15 毫升冷水，用平勺尖取微量溴化铅或碘化铅，然后将其加入试管内。摇晃试管，并用强火加热，以使水接近沸腾。让混合物冷却，以灯光为背景对混合物进行观察。

- 溴化铅在冷水和热水中是否均可溶解？
- 热溶液冷却时你能观察到什么现象？

溶解度

一种固体物质溶解于水时，总能到达这样一个阶段，该阶段的特征是，由于溶液达到饱和即溶液中含有的被溶解固体的量不能再增加，固体物质不能再溶解，过量的固体物质仍保持未溶解时的状态，并沉积在容器的底部。

溶液中固体物质所占的量的比例称为溶解度。例如，在 20 时，36 克氯化钠可溶于 100 克水，则氯化钠的溶解度就是每 100 克水 36 克。

在不同温度下对同一物质所做的溶解度实验，可发现溶解度也不同。图 19.2 示出了一些盐类（包括氯化物）的溶解度随温度变化的情况。可以把你在本节第一个实验中对硝酸钾、氯化钠所做实验的结果与图 19.2 中的相应数据加以比较。

盐的混合溶液

几种可溶的盐在水中混合时，一般无反应发生，但有几种可溶的盐在混合时可发生化学反应。

实验 3 氯化钙溶液和硫酸钠溶液的反应

给盛有几毫升硫酸钠溶液的试管内加入几毫升氯化钙溶液。

- 可观察到什么现象？

本实验表明，只有两种可溶的盐反应生成一种不可溶的盐，这两种可溶的盐之间才能发生化学反应，这时溶液中会出现沉淀。所谓沉淀是指分布于整个溶液中的不溶固体颗粒，或是聚集在容器底部的不溶固体颗粒物质。反应中一旦形成沉淀，反应混合物就变得混浊。

上面反应中形成的沉淀物是硫酸钙。两种可溶的盐相互交换了原来的“合作者”，硫酸钠中的硫酸根与钙重新结合，而原来与钙结合的氯则又与钠重新结合（图 19.3）。由于硫酸钙是不可溶的盐，故以沉淀形式存在，而氯化钠是可溶的盐，故仍留在溶液中。

化学分析中要用到沉淀反应。将硫酸镁、氯化钡（§ 18 第一个实

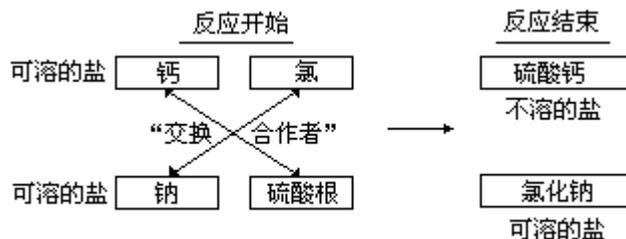
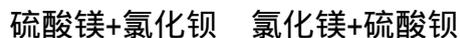


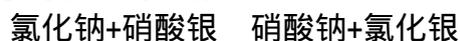
图 19.3

验)两种溶液混合在一起可得到白色沉淀。互相交换原子团后生成的氯化镁是可溶的盐,仍留在溶液中;硫酸钡不溶于水,故生成沉淀。本反应的文字方程式为:



不仅硫酸镁如此,任何一种可溶的硫酸盐与氯化钡溶液反应都会有白色沉淀生成。因此,可用氯化钡来鉴别硫酸根。

另外,硝酸银溶液可用来鉴别氯化物(表 18.1),这是因为此反应中相互交换原子团后生成氯化银,这种盐不溶于水,这样,把硝酸银溶液和一种可溶的氯化物溶液混合在一起就能得到白色的氯化银沉淀。例如,氯化钠和硝酸银溶液反应的文字方程式可写作:



中性水中的盐

把海水和自来水两种水样完全蒸发后可得到固体残余物质,且蒸发海水所得残余物的量远大于蒸发自来水所得残余物的量,这是因为海水中所含可溶盐的浓度比自来水所含的高。

为鉴别海水或自来水中溶解的盐是否是硫酸盐或氯化物可用沉淀反应。虽然中性水中盐的浓度没有实验室内许多溶液那样高,仍可应用这种分析方法。

实验 4 分析海水和自来水

应用表 18.1 给出的方法分别对海水或自来水(可以是河水)样品的硫酸盐或氯化物进行鉴别。

- 你知道哪种盐约占海水中全部可溶盐的四分之三?
- 你估计自来水中是否也含有这种盐?

习题

1. 解释为何将某两种可溶的盐溶液混合在一起会生成沉淀,而其它一些盐的混合液却不能产生沉淀。

2. 硫酸铅不溶于水而硝酸铅溶于水,设下列几种物质分别组成两种混合物:

- (a) 碳酸铅和稀硫酸;
- (b) 碳酸铅和稀硝酸。

你预料两种情况下各会有什么现象出现?

哪种混合物可以制得铅盐溶液。

3. 利用表 19.1 给出的溶解性表,预测下列每两种溶液混合时是否有一种不溶性盐的沉淀生成。

- (a) 硝酸钙和硫酸钾溶液;
- (b) 硝酸铅和硫酸钠溶液;
- (c) 氯化镁和硫酸锌溶液;
- (d) 硝酸银和稀盐酸溶液;
- (e) 氯化钡和硝酸铜溶液;

如果你认为会生成一种沉淀，请命名之，并写出该反应的文字方程式。
4. 叙述化学分析中常用的两种沉淀反应。写出其中一反应的文字方程式。

§ 20 盐的分解

许多盐在加热时会分解生成一些较简单的化合物，甚至有时生成元素，在本节内，你会发现盐分解的难易与金属在活泼顺序中的位置有关系。

加热碳酸盐

碳酸盐是由碳酸生成的盐，它们与稀酸反应生成二氧化碳和另一种盐，加热时还会放出二氧化碳。但有些碳酸盐只能在高温下才能放出二氧化碳，而另外一些碳酸盐则可在学校实验室很易实现的温度下放出二氧化碳。

实验 1 碳酸盐和活泼顺序

本实验所用物质有：碳酸铜、无水碳酸钠和碳酸锌。每种碳酸盐各取少量，并用同一本生灯加热，图 2.4a 为所用的装置。

找出三种碳酸盐中哪两种可放出二氧化碳，其中哪一种更容易放出二氧化碳。

按加热时分解的难易排列这三种碳酸盐，完全不能被分解的排在首位。

这一顺序与三种金属（铜、钠和锌）在金属活泼顺序中的位置有什么联系？

本实验表明，活泼金属的碳酸盐远较不活泼金属的碳酸盐难分解，活泼金属与碳酸盐中其它金属的结合力也远比不活泼的金属与碳酸盐中其它金属的结合力强。

加热硝酸盐

你现在可以找出金属活泼顺序和硝酸盐加热时分解难易的关系。一些硝酸盐可放出下列两种气体：二氧化氮（棕色的酸性气体）和氧气（可使灼热的木条复燃），一些硝酸盐在加热时只能放出氧气。

实验 2 硝酸盐和活泼顺序

做本实验要用到硝酸铜、硝酸钠和硝酸锌。取每种硝酸盐晶体少量，分别放入一支小试管，然后依次在同一本生灯上用强火加热（注意：本实验要在通风橱中进行且不得吸入放出的气体）。

用下列物质对气体进行鉴别：

(i) 灼热的木条：

(ii) 湿的试纸

- 加热时哪种晶体放出结晶水？
- 加热时哪两种硝酸盐可放出两种气体？只放出一种气体的是什么物质？
- 按加热时分解的难易顺序排列三种硝酸盐。

· 这一顺序与金属在活泼顺序中的位置有何联系？

加热氧化物

对于盐及所有金属的化合物来说，如果这些盐或金属的化合物中所含的金属在金属活泼性顺序中所占的位置较低，则该盐或该化合物就较易加热分解。氧化物就是一很好的例子，大多数氧化物不能通过加热分解，但汞和银的氧化物却很易于被分解成金属和氧（见图 2.6）。

小 结

表 20.1 对碳酸盐、硝酸盐和氧化物的加热实验结果进行了归纳，注意到不活泼金属（如银）的化合物加热直接分解为金属。

表 20.1

金属活泼 顺序	加热对下列物质的作用		
	氧化物	碳酸盐	硝酸盐
钾	加热不分解	加热不分解	分解成金属的亚硝酸盐和氧
钠			分解成金属氧化物、氧和二氧化氮
钙	加热不分解	分解成金属氧化物和二氧化碳	分解成金属、氧和二氧化氮
铝			
锌			
铁			
铅	分解成金属和氧	分解成金属、氧和二氧化碳	分解成金属、氧和二氧化氮
铜			
汞	分解成金属和氧	分解成金属、氧和二氧化碳	分解成金属、氧和二氧化氮
银			

注：在低于 800 的温度下对固体进行加热，可获得表中的结果，许多在该温度下不能发生的化学反应可在更高的温度下顺利完成化学反应。

习题

1. 金属碳酸盐加热分解成氧化物和二氧化碳的难易程度取决于该金属在活泼性顺序中的位置。

(a) 按分解时大概的难易顺序排列下列碳酸盐；将最难分解的放在最前面：碳酸铜、碳酸铅、碳酸镁、碳酸钠、碳酸锌。

(b) 提出一种用实验来检验 (a) 中顺序是否正确的方法，并详细解释你所观察到的实验结果。

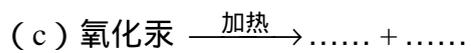
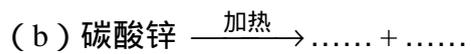
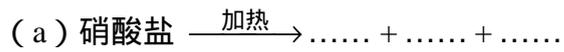
2. 微火加热绿色的硫酸铁晶体时，生成白色残留物，和在试管较冷的部位有无色的液体出现，这种液体可使白色的硫酸铜粉末变蓝。

如果继续加热（这一次用强火），则白色固体变为红色并放出一种气体，该气体与湿的试纸呈酸性反应。红色固体与稀硫酸反应形成一种盐溶液，无

气体放出。

- (a) 解释为何由上面的叙述可知绿色的硫酸铁是一种水合盐。
- (b) 白色残留物的化学名称是什么？
- (c) 白色残留物被强火加热时有什么变化？
- (d) 红色固体物质属于哪一类化合物？
- (e) 酸性气体可能是什么物质？

3. 完成下列文字方程式：



生物体

§ 21 生物体的特征

生物学是研究生命（希腊语 bios = 生命，logos = 学科），换句话说，就是研究生物体。大多数动物不停地运动，摄取食物保持活力，以适应它们所在环境的变化情况，从而可发现这些动物是活的。植物的生命过程不甚明显，对于象细菌和病毒这样的微生物，有生命的和无生命的区分往往只能由训练有素的生物工作者来进行。

生物体和非生物体之间的主要区别总结如下。

呼吸

作为有机体内化学反应的结果，呼吸是一个生产能量的过程。有机体内最常见的化学反应是食物与氧结合时的化学分解。呼吸过程不是一个特别明显的现象，但通过这一过程却很容易说明，活的生物吸入空气后，吸收空气中一部分氧气，从而增加空气中二氧化碳的含量。关于这方面的实验见 § 23。较为简单地说来就是，生物体吸入氧气，排出二氧化碳，这一过程有时可表现为明显的呼吸运动。呼吸也引起温度的升高。

排泄

生物的生命过程中要涉及到包括呼吸在内的大量的化学反应。其中许多反应完成后所生成的物质在达到一定浓度时具有毒性。从有机体内排除掉这些有毒物质的过程称为排泄。人的排泄过程将在 § 74 中讲述。

喂养

因为能量首先来源于食物，所以该过程是实现呼吸过程之前需要做的第一步。植物的喂养远不如动物明显，后者为了找寻食物需要积极的活动，而植物的喂养主要是一个所谓的光合作用过程，该过程将在 § 24 中讲述。动物进食首先要有消化系统（见 § 71）。

生长

严格地说，生长只是生物体大小的增加，但通常情况下，随着生物体长大，生物体本身会变得更加复杂，其活动也就更富有成效。§ 30 内对植物的根和苗的生长过程进行了实验。

运动

动物的整个躯体都可运动，而植物的运动却通常限于一定的部位，例如花瓣的开闭或生长方向的改变。§ 77 叙述了动物肌肉和骨骼产生运动的机理。

繁殖

生物体不能长生不死，但是，尽管个体生物迟早得死亡，然而通过繁殖却将生命赋予了新的生物个体。这样就使得物种能延续下去。植物的繁殖见

§ 29, 人的繁殖在 § 76 中讲述。

感受

指对于刺激作用的反应能力。动物感受的明显特征是在其听到噪声、与某物接触或看见侵敌后开始运动, 如果我们给发育正常的植物施加一种刺激, 看不出该植物有何反应, 但对嫩芽的生长部位来说, 这种反应却可观察到, 如根会改变生长方向, 最后生长方向与重力的作用方向一致, 而嫩芽却沿与重力相反的方向生长, 且朝向阳光。

人类的感受将在 § 78 中叙述, 反应机理将在 § 79 中讲述。

§ 22 细 胞

细 胞 结 构

如果将生物体的某一部位切成薄片放在显微镜下检验, 可以看出这一部位是由若干分隔开来的小室组成, 这样的小室称为细胞。在植物中, 这些微小的小室看上去象紧密堆积的一个个小盒子(图 22.1)。对于动物, 细胞的分隔不太明显, 但在某些组织中还是易于分辨出来(图 22.2)。成千上万个这类细胞按一定的方式规则排列起来, 构成了生物有机体的组织, 如动物的皮肤、骨骼和肌肉或植物的叶茎组织等。细胞有各种不同的形状和尺寸, 例如, 肌肉细胞和神经细胞就很长(见图 79.3)。但是, 所有的细胞均是由细胞膜组成, 细胞膜包容着一种生命物质称为细胞质, 细胞质中包着细胞核。

细胞膜

这是一个围绕在细胞外的韧性层, 据认为只有几个分子厚。尽管它如此之薄, 却可防止细胞物质逸出或与外界的物质混在一起。细胞膜还对进入或离开细胞的物质起着控制作用。细胞质

在通常的显微镜下观察, 细胞质具有粒状凝浆流体的外观。但是, 用电子显微镜扫描观察时, 也揭示出了细胞膜的复杂结构, 细胞质内含有酶, 酶则控制着细胞膜内进行的化学反应, 还含有许多微观结构, 这些结构对构成新的细胞质、生产细胞外围所用的物质或对生



图 22.1

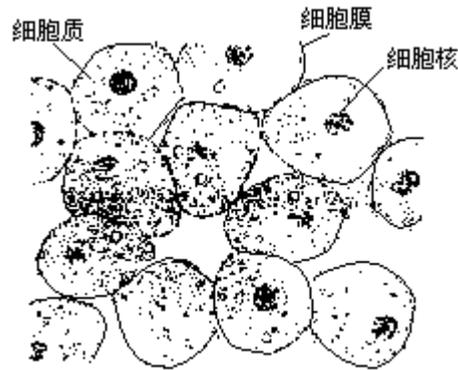


图 22.2

产能量的食物进行加工都有一定的作用。细胞质还有贮存食物如淀粉或油液的作用。

细胞核

每一细胞都含有一个核，在通常情况下细胞核是一包容在细胞质中的球形结构，不过不同的细胞核之间也有差别。细胞核的任务是控制或指挥细胞质内发生的化学反应。例如，它控制着细胞构成的蛋白质的种类以及制造出这种蛋白质的时间。

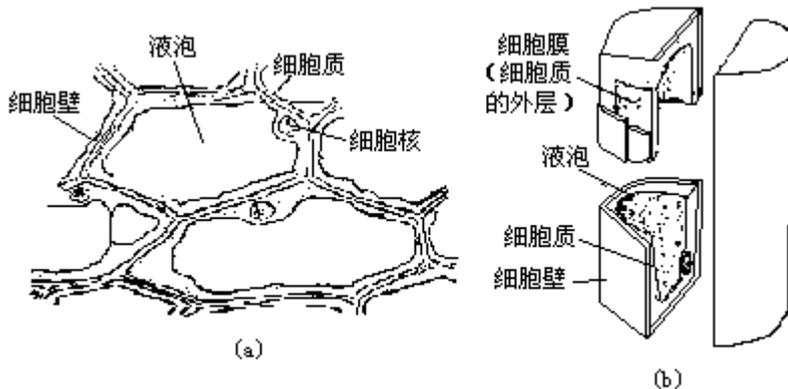


图 22.3

细胞核还可促成细胞的分裂，如图 22.5 所示。无核的细胞不能进行再生。当一细胞发生分裂时，核内的化学物质就确定了所生成细胞的种类，例如，血细胞或肝细胞。

植物细胞

植物细胞(图 22.3)在许多方面不同于动物细胞，植物细胞的细胞膜外面有一层细胞壁。细胞壁是呈半透明状、颇为坚硬的无生命物层，这就是纤维素。它容许液体和液体中的溶解物流进与流出。在显微镜下可容易观察到植物细胞有较大的差别(图 22.4)。许多植物细胞还含有一个很大的充满液体的空腔称为空液泡。液泡内含有细胞液，它是糖、盐有时还包括色素的水

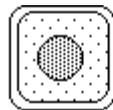
溶液。这个位于中心的大液泡将细胞质限定在细胞壁内侧很薄的衬壁里面，液泡对细胞质和细胞壁的向外压力使植物的细胞和其组织牢固地结合在一起（§ 27）。

细胞的分裂

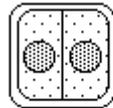
植物和动物生长时，它们的细胞在生长区内要发生分裂。所谓典型的生长区是指骨骼的末端、皮肤的细胞层、根梢以及胚芽。每一个细胞可分裂成两个子细胞，两个子细胞还可再分解下去，但通常的情况是，其中一个细胞继续生长发育，改变了自身的形状，专门执行某些特定的功能从而失去再继续分裂和使组织继续发育生长的能力。因此，生长是细胞分裂和细胞扩展的结果。

图 22.5 示出了植物细胞的分裂过程。动物细胞的分裂过程与此相似，但由于动物细胞内没有细胞壁，只是细胞质向中间收缩而分裂为两个细胞核，过程中无析稀现象出现。

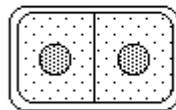
细胞与生物体的关系



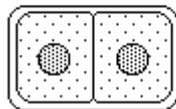
(a) 待分解的植物细胞，
有一大的细胞核，无空液泡



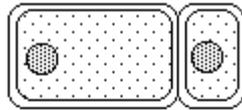
(b) 细胞核的第一次分裂



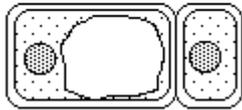
(c) 中间薄层扩展，
将两细胞分开



(d) 细胞质在中间薄层的
两侧形成纤维素层



(e)一个细胞长出空液泡并进一步长大，另一细胞仍有两次分裂的能力



(f)具有空液泡的细胞进一步变化，执行特殊功能

图 22.5

一些由一单个细胞组成的微生物可以进行本身存在所需要的各种过程。但是，较大动植物的个体细胞却不能依靠自身生存下去。如肌肉细胞就不会获得自身需要的血液和氧气。供肌肉细胞生存的血液和氧只能由肌肉中其它专门细胞供给。假如所有的个体细胞不是大量的组合在一起进行工作，则这些细胞就不会长期生存下去。

组织是由一类或几类成千上万个细胞组成，例如动物的骨骼、神经或肌肉或植物的表皮层、韧皮部或木髓等组织都是如此。每一类细胞的结构和功能相似，从而决定了组织有特定的功能，例如，神经传递刺激，植物的韧皮部输送植物需要的养分。图 22.6 示出了细胞构成组织的情况。

器官是由若干组织构成，这些组织组合在一起形成执行某种功能的小单位。例如，肌肉就是一种器官，它含有很长的肌肉细胞，这些细胞由联结组织维系在一起，并布满血管和神经。使传来的神经脉冲引起肌肉纤维收缩，利用由血管输送来的养分和氧气以提供所需的能量。对植物来说，根、茎和叶子都是器官。

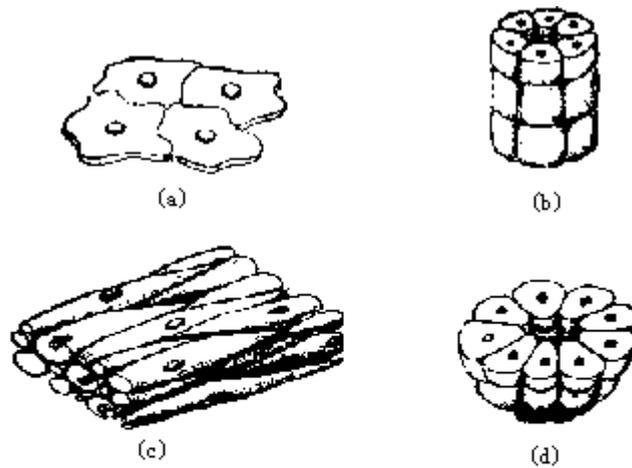


图 22.6

- (a)构成上皮的细胞，上皮是一薄层组织，例如衬在口腔内的上皮；
 (b)构成微细管的细胞，如肾的细管（见图74.3）；
 (c)构成片状肌肉组织的肌肉细胞，内部有血管、神经纤维和联结组织
 (d)构成腺的部分细胞，细胞制造化学物质，这些化学物质被排放到中间的空间，然后由（b）图中所示的管子排走

系统常指一系列器官的总和，它起协调作用，使生物体的活动更有效果。例如，心脏、血管形成了血液循环系统；大脑、脊髓和神经构成了神经系统。

若干器官和系统有效的协调统一构成了生物体。对于个别的器官或系统来说，它仍可产生出分离的生存物，还可再生产出自身。

细胞的特殊化作用

一定组织中的细胞往往出现特殊化而执行特定的任务。这种情况往往是指特殊化后的细胞有一特征的形状，其细胞质具有特殊的化学性质。神经细胞很长，因此细胞质内的化学反应使其能很有效地传输电脉冲；肌肉细胞也是伸长的，因而它的细胞质可以收缩。习题 5 将使你了解一些有关特化细胞的例子。

习题

1. 植物细胞在哪些方面 (a) 与动物细胞相似？(b) 与动物细胞不同？
2. 本书后面讲到的红血细胞在哪些方面与其它大部分动物细胞不同？
3. 在图 25.5 中，植物细胞的哪些特征未被画出？
4. 将下列物质按细胞、组织和器官进行分类：肺、皮肤、根须、叶肉、多极神经元。
5. 研究第 119, 130, 145, 431, 465 页上的图形，叫出一些看来已特化为具有某些特殊功能的细胞。说出它的功能是什么？并解释细胞结构为何具有这种功能？

§ 23 细胞的活动

使生物体充满活力的活动发生在生物体细胞的内部。例如，在肌肉中，

正是肌肉细胞的收缩才使运动得以实现。依靠神经的个体细胞，使电脉冲可以传送。每个肝细胞要参加把葡萄糖转化成糖原以便贮存的化学反应。所有这些过程都需要能量，而且因为细胞中含有酶，所以这些过程都进行得很快。

酶

酶是由细胞构成的化合物。虽然酶有多种，但都是蛋白质。一些酶用于构成细胞膜系统，而另一些酶却以溶液状态存在于细胞质中。酶的作用与催化剂相同，可使细胞内的化学反应加速但本身并不消耗。在试管内进行一个化学反应可能要经历数小时或几天的时间，但当有合适的酶存在时，整个反应只需几秒或几分钟。没有酶，由简单

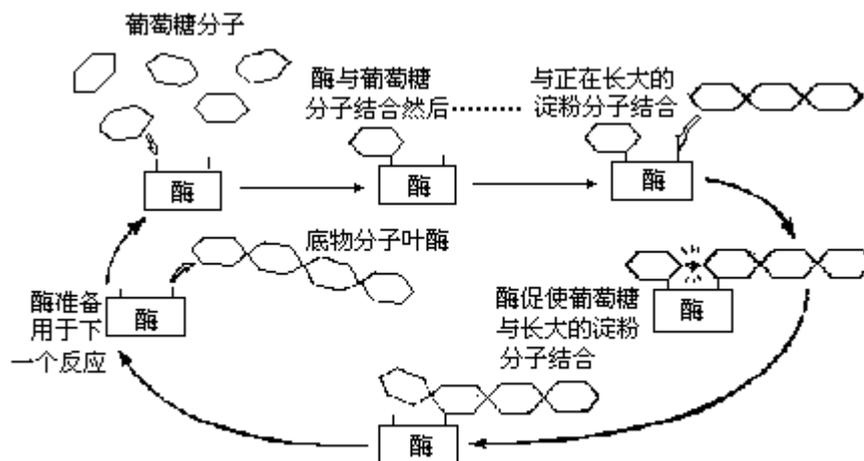


图 23.1

物质生成复杂物质的反应或许就根本不能进行。例如，仅依靠一种酶，就可将植物叶细胞内的葡萄糖分子合成相对大得多的淀粉分子。图 23.1 是人们认识到的该反应的过程。酶所作用的物质（上面例子中是葡萄糖）称为底物。底物与酶暂时结合在一起使其更为活泼，这种活泼的底物-酶络合物很容易与其它底物分子结合在一起。同时，酶游离出来，重新参加类似的反应。

酶的分类

上面提到的反应是合成反应，反应中有物质合成。在这类反应中起催化作用的酶可称为合成酶。还有一些酶可促使化合物加速分解成较简单的化合物。例如，在多数细胞内，在有氧分子时，糖分子被分解成二氧化碳和水，并放出能量。对这类氧化反应起催化作用的酶称为氧化酶。酶的名称还说明了它可催化哪一类反应。

多数酶在对反应起催化作用时是在细胞内部进行的，这样的酶称为胞内酶。但有少数几种酶，虽然这些酶也存在于细胞内部，但却是被排放或分泌到细胞外部来实现催化作用，这类酶称为胞外酶。消化酶就是胞外酶的例子，它是在消化腺细胞内产生的，但当它帮助消化食物时却是分泌在消化道

内。

酶的特征

(a) 温度升高温度可使许多反应(包括由酶催化的反应)加速进行。但是,由于酶是蛋白质,在高于 50 的温度下,其化学结构会遭到破坏(变异)。这就是许多生物在高于 50 的温度下会死去的一个原因。这时,生物体内的酶失去作用,因而生物体停止进行化学反应,或虽在进行反应但速度太慢不能维持生命。

(b) 酸性和碱性每种酶都会有一定的酸性或碱性(pH 值)条件下有最高的效率。多数细胞内的 pH 值约为 7,即呈中性。但胃中却呈酸性(pH = 2),这种酸性气氛对胃蛋白酶是较适宜的,但却抑制了唾液中的酶即淀粉酶的活动。

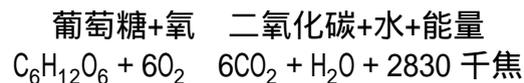
(c) 专一性就是说一定的酶只能对一定的底物起作用,例如,一种对淀粉起作用的酶不会对蛋白质起作用。大多数酶的专一性甚至更为突出,胃蛋白酶只对蛋白质分子的一定部位起作用,将它分解成肽。而要将肽分解成氨基酸,则需要其它种酶。

来自呼吸的能量

细胞内发生的许多过程都需要能量。肌肉细胞的伸缩、神经细胞的电活动及肝细胞的化学合成都是需要能量的过程。这部分能量由细胞吸收的养分提供,并通过呼吸过程获得。

呼吸是在有氧的情况下将食物分解并放出能量的过程(需氧呼吸)。

食物内常含有碳和氢,因此,食物氧化后的产物是二氧化碳和水,最常见的按这种方式氧化的食物是糖类和脂肪。其反应可用下述方程表示:



2830 千焦是将一摩尔(180 元)的葡萄糖完全氧化成二氧化碳和水所能获得的能量。在细胞中,这些能量不是立即全部放出。进行的反应要分成若干个小阶段,每一阶段有特定的催化剂对其加速。虽然能量可用来推动上面所讲的各种化学反应的进行,但也有一部分能量以热量的形式表现出来。对于“热血动物”,这部分热量用来维持体温,使体温高于环境温度;在冷血动物和植物中,这些热量几乎是以和其产生时的相同速度传到大气中去。

实验:呼吸

图 23.2 示出了呼吸的方程,该方程指出了应如何通过实验研究呼吸过程。如果能够显示出一种生物正在吸入氧气,放出二氧化碳,消耗了食物或放出了热,就可假设该生物正在进行呼吸。水蒸汽的产生并不是呼吸的很好证明,因为非生命物质也可有蒸发水的过程,如水分从绳子上晾晒的衣服上蒸发。

实验 1 干重的下降（食物消耗）

如果生命物质将食物转化为二氧化碳（二氧化碳会扩散到大气中去），自身重量就会下降。但是，生命物质或非生命物质都会由于水分的蒸发而减少重量，故必须测定它们的干重。

把 100 粒种子在水中浸 12 小时，然后用沸水将其中的 50 粒烫死作为对照物，把 50 粒活种子放在一个盘子里，盘内放上浸湿的棉絮。让 50 粒死种子处于与 50 粒活种子同样的条件之下。每天分别从两个盘内取出 10 粒种子或籽苗，放在炉膛内加热到 120 并保温 12 小时以便将种子所含的水分全部蒸发掉。如此连续进行 5 天，最后称量两组种子样品。按这种方法所称量出的只是种子内部的固体物质，如果种子在呼吸，则由于一些养料氧化成二氧化碳，种子内部贮存的养料重量将会减少。

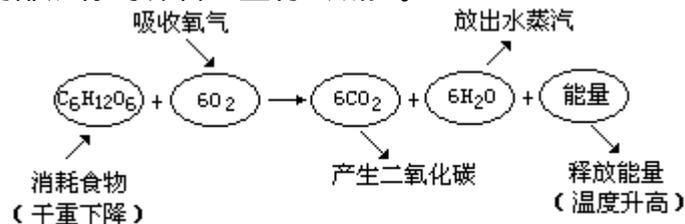


图 23.2

实验 2 吸收氧气

组装成如图 23.3 所示的实验装置。5 分钟后，两试管内就会与烧杯内的水有相同的温度，这时关紧螺旋夹。如果种子在呼吸，则会以与吸收氧气相同的速度放出二氧化碳，从而试管内气体的体积不发生变化。但是，由于产生所有的二氧化碳为碱石灰吸收，这样，试管内气体体积的改变就是由于吸收氧气所致，如果氧气为活种子吸收，则毛细管内液面会在约 20 分钟的时间内升上去。如果试管内温度发生变化也会导致试管内空气膨胀或压缩，从而使毛细管内的液面发生变化。这种情况可能会与由于种子吸收氧气产生的液面变气相混淆，但烧杯内的水可减少温度的变化，由于温度变化对两试管有同样的影响，故通过把本实验中测得的液面高度与对照试管中的液面高度作比较，就可发现单独由于氧气吸收所引起的体积改变。这样，有了实验对照标准，由于温度变化而引起的体积变化就可求出，还可用来表

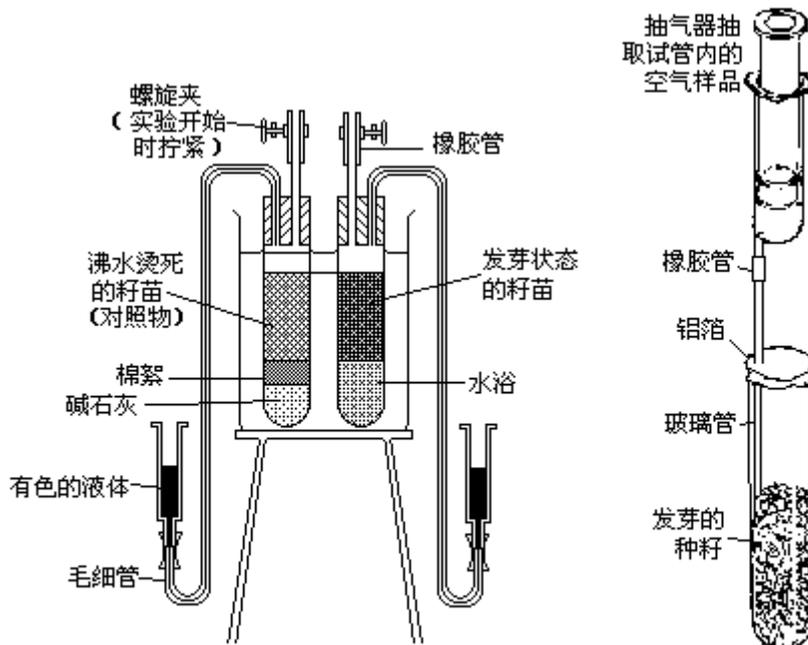


图 23.3

图 23.4

明，吸收氧气不只是由于种子的物理吸收所致，而是由于发芽的种子的生命过程。

实验 3（小生物体）二氧化碳的产生

大试管内放些绿头苍蝇蛆或正在发芽的麦粒，然后用铝箔将试管口封上。在另一试管内装入用沸水烫死的种子或与此体积相等的小玻璃珠从而建立起该实验的对照物。过 15~20 分钟，按图 23.4 所示的方法从装有活的生物的试管内抽取空气样品。并让抽取的空气在装有少量石灰水的试管内鼓泡。对装有参照物的试管重复做这一实验。

结果从盛有对照物的试管内抽出的空气对石灰水没有作用，但从盛有生物的试管内抽取的空气样品却可使石灰水变混浊，这证明该试管内有二氧化碳存在。

解释 活的生物肯定产生了二氧化碳，因此活的生物发生呼吸过程。而对对照物做实验的结果却表明并没有二氧化碳从大气或试管内的其它物质所产生。

实验 4（较大生物体）二氧化碳的产生

容器 C 中放一动物（图 23.5），用设置在 E 处的滤泵缓慢抽取装置中的空气。A 处的碱石灰吸收了进入装置的空气所含的二氧化碳，B 处的石灰水就会呈清洁状态，从而证明进入容器 C 的空气中不含二

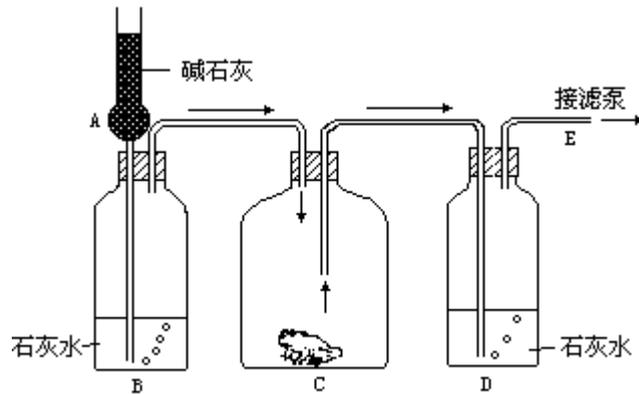


图 23.5

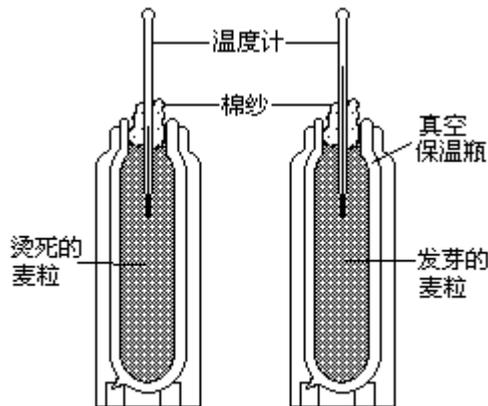


图 23.6

氧化碳。如果生物体排出了二氧化碳，过一段时间后，D 处的石灰水就会呈浑浊状态。与对照物进行实验时，可将过滤泵操作同样长的时间，但容器 C 内不放动物，实验结果是 D 处的石灰水呈清洁状态。

实验 5 发芽的种子放出的能量

释放能量的明显标志是有热量产生。量取数量足够的麦粒，分别放入两个小真空瓶中。让种子在水中浸泡 24 小时，然后将其一半煮沸 10 分钟杀死。接着，让两批种子在氯酸钠溶液（I）中浸泡 15 分钟，以杀死种子外表皮上生长的霉菌。再在水中漂洗后，分别将可成活的种子与烫死的种子放进两个真空瓶内，插好温度计并用棉纱塞紧瓶口（图 23.6）。

结果几天后，盛有活的麦粒的真空瓶内的温度会显著高于盛放参照物（烫死的麦粒）的真空瓶内的温度。

解释麦粒在发芽过程中放出了能量，这就是我们料到的种子呼吸时可能会出现的情况。

习题

1. 构成胞外酶（淀粉酶）的唾液腺中存在细胞，你认为这些细胞也能构成胞内酶吗？解释你的答案。

2. 据认为，唾液中含一种消化淀粉的酶，有人把淀粉和唾液混合在一起

进行实验，结果，五分钟后淀粉消失。参照实验是利用煮沸过的唾液。煮过的唾液不能消化淀粉，因此，人们就认为第一个反应之所以能进行是由于其中含有酶。解释这一结论的原理。

3. 给出下列过程所用的酶的名称 (a) 把磷酸盐加到其它分子上；(b) 除去分子中所含的氢气。

4. 你根据什么判断生物组织正在进行呼吸？

5. 呼吸发生在生物体的哪一部分？

6. 生物在获得葡萄糖和氧后才能进行呼吸，动物是怎样获取这些物质的？

7. “呼吸”和“吸气”的区别在什么地方？

8. 实验 2 中，种子吸入 5 毫升的氧，放出 7 毫升的二氧化碳。在下列情况下种子吸入和放出的气体体积有何变化？(a) 没有碱石灰；(b) 有碱石灰。

9. 实验 5 中，不论把种子放在烧杯内还是放在真空瓶中，所放出热量是相同的，解释为何本实验利用真空瓶？

10. 做完实验 5 后，如果发现种子已经霉烂，则实验结果就不可靠，解释其中的原因。

试剂

本尼迪特 (Benedict) 的溶液 (1 升)

将 173 克柠檬酸钠晶体和 100 克碳酸钠晶体溶于 800 毫升热蒸馏水中，另外，再把 17.3 克硫酸铜晶体溶解在 200 毫升冷蒸馏水中，在不断搅拌的情况下将硫酸铜溶液加入到第一种溶液中。

注：(1) 本尼迪特 (Benedict) 溶液优于费林 (Fehling) 溶液，原因是前者碱性小，且保存时不易变质。

(2) 在有关糖类的实验中，覆在试管内的红色氧化铜 (I) 可用稀盐酸除去。

碘溶液 (1 升)

在研钵内将 10 克碘和 10 克碘化钾两种固体捣碎，捣碎过程可不断加少量的水，然后将两种物质溶于 1 升水中。作为教学使用，溶液还应进一步稀释，如可在 100 毫升水中加 5 毫升这种溶液。

植物的研究

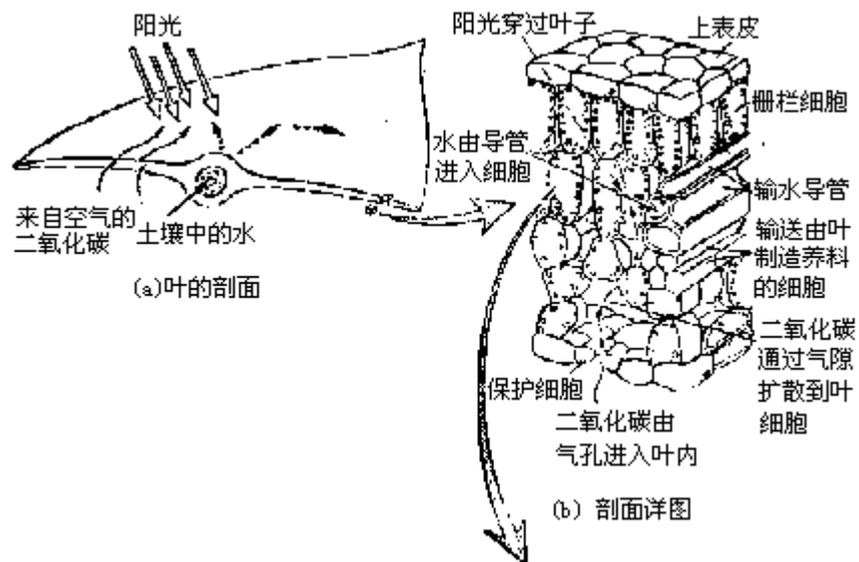
§ 24 植物的光合作用与营养

所有活的生物都需要养料。生物为了生长，需要将养料作为原料，由其构成新的细胞和组织。养料还是生物的能量、一种“燃料”，通过对养料的利用来进行基本的生命过程和化学变化。

动物摄取食物并消化，然后利用消化后所得到的物质来构成其组织或产生能量。另一方面，植物首先制造出它所需要的养料，然后才将其作为能源和生长需要的物质加以利用。植物制造其养料的过程称为光合作用。

光合作用

植物可将空气中的二氧化碳和土壤中的水合成糖类物质。糖分子中含有碳、氢和氧三种元素（例如葡萄糖 $C_6H_{12}O_6$ ）。二氧化碳分子提



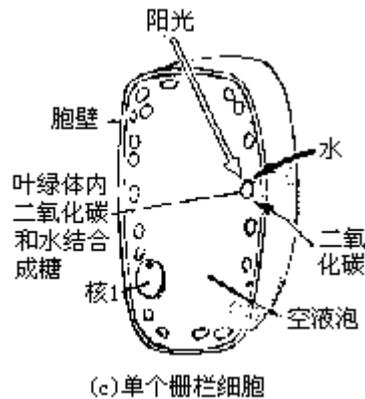


图 24.1

供碳和氧，水分子提供氢。植物由这两种简单的化合物就可合成糖分子。这一过程需要有酶，并需要供给能量，所需要的酶含在细胞内，所需要的能量由阳光得到。光合作用过程主要是在树叶的细胞内部发生的，图 24.1 对这一过程进行了总结。根从土壤中吸收水分后，通过小型输水导管——叶脉输送到植物的茎、叶。通过气孔吸收空气中的二氧化碳。二氧化碳和水在叶细胞内结合生成糖。该反应所需的能量来源于绿色素——叶绿素吸收的太阳光。叶绿素存在于叶细胞的叶绿体内，反应正是在叶绿体内发生。叶绿素这种物质使植物的叶和茎带上绿色，它的特点是可吸收光能，并可将吸收到的光能用于把水和二氧化碳合成为糖的化学反应。

光合作用就是通过绿色植物、利用叶绿体吸收阳光的能量将水和二氧化碳合成为糖。

光合作用的化学方程式是：

二氧化碳+水 葡萄糖+氧



不过该方程式只能表达出反应过程的始末状态，而不能反映出其中许多中间步骤。

可以看出，光合作用的“废品”是氧，因此，绿色植物在白天进行光合作用时，吸收二氧化碳而放出氧气。气体的这种转变恰好与呼吸相反。但是，绝对不能认为绿色植物不进行呼吸。除了光合作用过程外，绿色植物在其生存过程中所需的能量均由呼吸提供，呼吸对于植物来说是始终进行着的，在呼吸过程中消耗氧并放出二氧化碳。

植物在白天既进行光合作用同时又进行呼吸过程，由呼吸产生的二氧化碳均用于进行光合作用，而呼吸需要的全部氧均由光合作用过程提供。只有当光合作用的速率快于呼吸过程进行的速率时，植物才会吸收二氧化碳并放出过量的氧气。

叶对光合作用的适应

§ 25 给出了叶的结构详图。尽管不同植物的叶有很大差别，但可以看

到，多数的叶子在下列几方面是彼此相似的。

a. 叶面呈宽、扁平形状，这为其吸收阳光和二氧化碳提供了大的表面积。

b. 多数叶子很薄，这样，二氧化碳由气孔穿过叶片扩散到叶肉细胞的距离就很短。

c. 叶肉细胞间的空隙大，为二氧化碳的扩散提供了便利的通道。

d. 通过下表皮的许多气孔与大气交换二氧化碳和氧气。

e. 栅栏细胞内的叶绿体多于海绵叶肉细胞内的叶绿体。上叶表面的栅栏细胞接收的阳光最多，这些阳光在没有被太多的起干预作用的细胞壁的吸收情况下可为叶绿体所利用。

f. 网状叶脉广泛分布，为进行光合作用的细胞提供了充足的水分。细胞均离水导管不远。

光合作用实验

光合作用过程可以通过实验验证。设计实验时，可采用“如果……，那么……”的推论方法。例如生物学家说的：“如果植物利用二氧化碳可合成糖，那么除去植物内的二氧化碳后，植物就不能制造出糖”。如果实验结果表明除去植物内的二氧化碳后，植物不能制造出糖，那么就证实了光合作用理论。但是如果实验结果表明，植物不利用二氧化碳也可制造出糖，则说明该理论有错误，因而必须以新的理论代之。

在下面的实验中，依次不让叶受到光照，除去叶子的叶绿素和不让叶吸收二氧化碳，观察叶子是否还能制造出糖。在设计该实验时，很重要的一点就是只能改变一个条件。例如，如果同时不让叶受到光照和吸收二氧化碳，那就不能确定到底是由于缺乏光照还是由于缺少二氧化碳才抑制了糖的产生，在这里要注意的是，所设计的实验最多只有一个条件与对照实验不同。所谓对照实验，除了缺少某个实验条件，如阳光、二氧化碳或叶绿素之外，是与设计实验完全相同的。

尽管糖是光合作用首先制造出的一种碳水化合物，但很快叶子就将其转化为淀粉。检验叶内的淀粉要比检验叶内的糖容易得多。因此，叶子含有淀粉可以看成是发生光合作用的证据，倘若叶内不含淀粉，那么光合作用就将开始进行。

除去植物的淀粉。为保证实验开始时叶内不含淀粉，必须对植物进行脱（淀粉）浆处理。对于盆栽植物可将其置于黑暗的柜厨中 2~3 天，户外植物的脱浆处理可在实验的前一天进行。叶内的大部分淀粉可在夜间由叶内除去。其较好的方法是将待检验的叶子包在铝箔内放置两天，然后对一片叶子检验，可以观察到叶内不含淀粉。

检验叶内的淀粉

a. 摘取叶子并将其浸泡于沸水中半分钟。这样由于破坏了其中的酶而将细胞质杀死，从而防止发生进一步的化学变化。同时这也可使细胞更易于透

过碘溶液。

b. 在水浴中煮沸浸在含甲醇酒精液里的叶子(图 24.2), 直到叶内的叶绿素全部溶出。这时叶子变成白色, 并由于淀粉和碘的相互作用, 使得更易于观察颜色的变化。

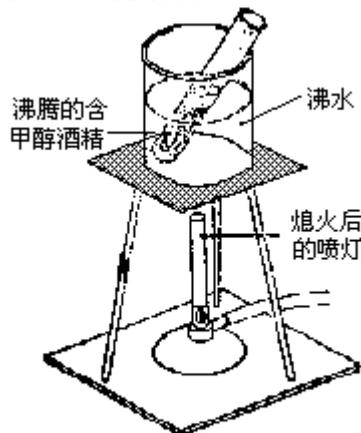


图 24.2

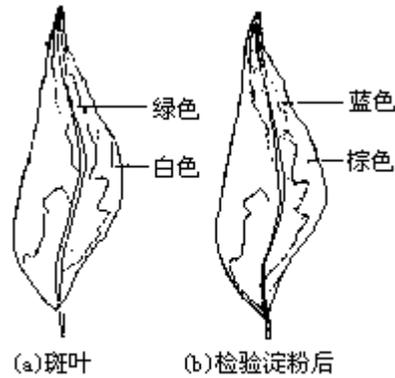


图 24.3

c. 酒精使叶子变得硬而脆, 这时可再将其浸到沸水中使其软化, 然后将其平铺在白色瓷板的表面上。

d. 在叶子上洒些碘溶液, 则变蓝的部位含有淀粉, 否则, 叶子只能被碘染成黄色或棕色。实验 1 光合作用需要叶绿素吗?

要想把一片树叶中的叶绿素提取出来就要破坏该树叶, 因此, 实验时可采用一片完整的树叶或采用含有叶绿素的碎叶片。图 24.3 a, 所示为一片斑叶, 实验利用其白色部分, 绿色部分作为对照物。

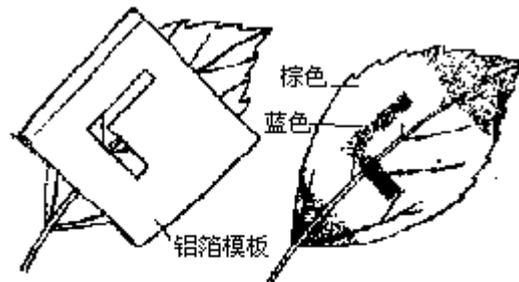
不要把树叶从植物上取下, 除去其中的淀粉, 并让其在阳光下曝晒几个小时。摘下树叶仔细描绘其形状以表明叶绿素的分布情况。按上面讲过的方法检验叶内所含的淀粉。

结果 只有原来呈绿色的部位遇碘后变为蓝色, 原呈白色的部位被碘染为棕色(图 24.3 b)。

解释 由于只有原来含叶绿素的部位含有淀粉, 因此, 光合作用需要叶绿素的假设看来是合理的。但是, 必须记住, 对该实验可能还有其它的解释, 例如, 淀粉可能是在绿色部位制造出来的, 而糖可能是在白色部位制造出来的。通过进一步的实验也可以验证这些不同的解释。

实验 2 光合作用需要光吗?

从一片铝箔上剪上一个简单图形制成一个模板, 然后把此模板贴在一片脱过浆的叶子上面(图 24.4)。让叶子在阳光下曝晒 4~6 小时后, 摘下叶子并进行淀粉检验, 确定是否只有接收了光照的区域遇碘后变蓝。



(a)仍长在树上的叶子 (b)进行淀粉检验后

图 24.4

解释 如果光线未照射到的区域没有产生淀粉，就可以假设光在植物制造淀粉的过程即在光合作用过程中起着重要的作用。当然，可以认为出现这种现象是由于铝箔抑止了叶子吸收二氧化碳，使叶子中缺少这种气体而不是缺少可抑止进行光合作用的光线。与此相反，还可坚持认为叶子由于本身的呼吸制造出了二氧化碳。然而，可用一种透明材料代替铝箔模板再建立对照物来检验这种想法。实验 3 光合作用需要二氧化碳吗？

给两盆经脱浆处理的盆栽植物浇上水，然后用聚氯乙烯塑料袋罩住。其中一盆（作实验用）放入碱石灰以吸收空气所含的二氧化碳，另一盆（作对照物用）内放上碳酸氢钠溶液以产生二氧化碳（图 24.5）。让光线照射两盆植物若干小时，然后分别从每株植物上剪一片叶，检验叶子所含的淀粉。

结果 二氧化碳被夺走的叶子不会变蓝，而置于大气中含有二氧化碳的叶子则变为蓝色。

解释 不能吸收二氧化碳的叶子不能制造出淀粉这一事实说明，要进行光合作用就需要有二氧化碳。对对照物进行实验所得的结果也排除了塑料袋内的高湿度或温度可抑制进行正常光合作用的可能性。

实验 4 光合作用产生氧吗？

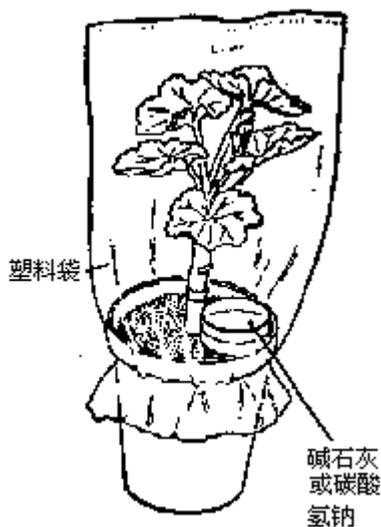


图 24.5

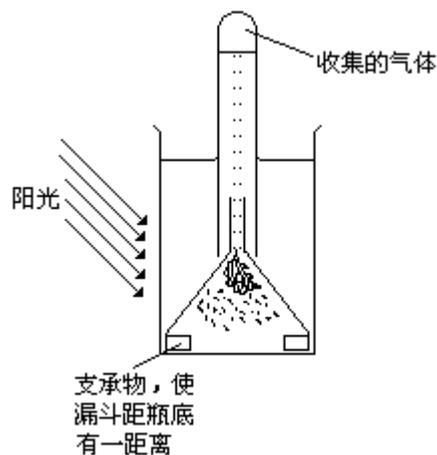


图 24.6

在盛有水的烧杯中放些加拿大角果藻，上面再放一短柄漏斗，使充满水的试管朝下扣在漏斗柄上（图 24.6）。漏斗距杯底有一定距离，以便于水作自由循环流动，然后将这套装置放在阳光下。

结果 漏斗柄切口处出现气泡，气泡上升后集结在试管内。待收集到足够的气体后，取下试管并向试管内插入一灼热的木条，木条燃烧出现火焰，这表明收集到的气体含有占很大比例的氧气。对照实验应按类似方法进行，不过要将实验装置放入黑暗的柜橱里。结果试管内几乎收集不到气体。

解释 灼热的木条复燃不能说明收集到的气体是纯净的氧气。不过，这确实说明，这种特殊的植物在光的作用下放出了一种气体，该气体中所含的氧气要比通常的空气所含的氧气多。

光合作用产物的利用

到目前为止，我们只讨论了糖（如葡萄糖）的制造，另外，植物还需要其它许多物质，如细胞壁需要纤维素，细胞膜需要脂类物质，细胞质和酶需要蛋白质，花瓣需要色素等。所有这些物质均由光合作用制造的糖分子中制取。

让成百个葡萄糖分子接合起来就可构成纤维素的长链分子而添加

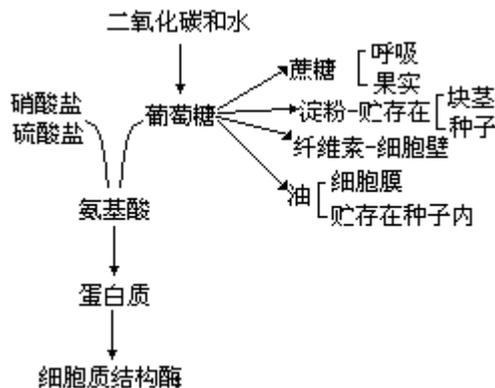


图 24.7

到细胞壁中。氨基酸的产生也取决于糖分子的形成。随后这些氨基酸结合在一起构成蛋白质。氨基酸合成中的氮气来自硝酸盐，而硝酸盐是植物的根从土壤中吸收到的。同样，植物还可从土壤水中吸收其它矿物盐例如硫酸盐和磷酸盐，这些盐均用于细胞结构和树突的主要分子。例如，叶绿素分子需要镁，镁就是从土壤中获得。植物中的一些糖要被转化为淀粉贮存在根或茎内，如土豆就是如此，而对另一些植物来说，一些糖则转化为内部的蔗糖而贮存于果实内。

进行上面这些化学过程需要能量。能量一般是由呼吸过程提供的，在呼吸过程中，一些糖氧化成二氧化碳和水。光合作用过程中制取的葡萄糖的用

途总结在图 24.7 中。

习题

1. 绿色植物需要吸收何种物质才能制造 (a) 糖、(b) 蛋白质？细胞内必须有何物质存在才能使反应 (a) 和反应 (b) 进行？
2. (a) 举出植物细胞内进行的两个需要供给能量的过程实例。
(b) 绿色植物把阳光作为能源使用的目的何在？
(c) 什么过程可给植物细胞内进行的大部分反应提供能量？
3. 植物和动物在获取养料的方式上有什么本质的区别？
4. 在光线很强的条件下，有些植物闭上了气孔，从而使二氧化碳的供给过程中断，讨论这时是否光合作用也停止了。
5. 说出伸长状的栅栏细胞在光合作用过程中一个可能的有利条件。
6. 用碘检验时，绿色植物的叶子总是不能给出确切的反应，然而却有其它证据可说明光合作用正在进行。解释这种现象的原因。
7. 试讨论采用植物脱浆的方法是否一定能得到本节实验 2 的结果？
8. 为检查实验方案是否影响二氧化碳的吸收，实验 2 中建立了一对照物。讲述如何对对照物进行实验及在下列条件下预料可能出现的情况。(a) 如果模板确实可抑制叶子吸收二氧化碳；(b) 如果模板不能抑制叶子吸收二氧化碳。
9. 实验 4 适用于角果藻而不适用于陆地生植物，对此你是怎样认识的？这种选择在哪些方面限制了实验结果的应用？

§ 25 植物的结构

植物在地面以上的部分是枝苗，它由茎、叶、芽和花构成。地面下的部分称为根系（图 25.1）。

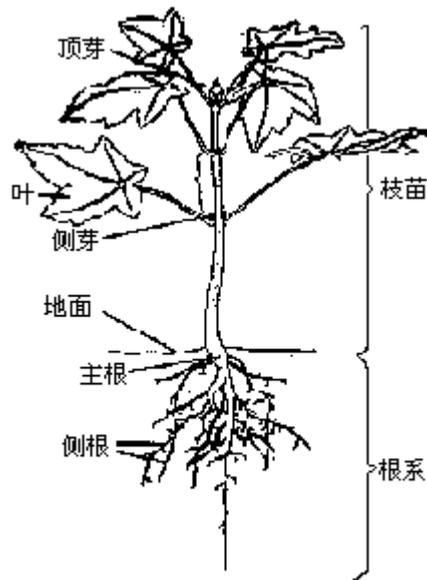


图 25.1

枝 苗

茎

多数茎干都是直立生长，支承着叶子和花。但有些植物如草莓却贴着地面生长。甚至还有一些植物如匍匐冰草和欧洲蕨在地下与地面平行着生长。茎有如下几种作用：(i) 把土壤中的水和盐输送给叶；(ii) 将叶制造的养料输送给植物的其它部分；(iii) 对于直立生长的植物来说，茎可支撑和使叶子扩散开来以获得尽可能多的阳光；(iv) 把花支持住，以利于昆虫或风的授粉和种子的散播。

图 25.2 表明了植物茎的内部结构。外部一层细胞构成表皮。表皮的作用是保持茎的形状并减少水分的蒸发。

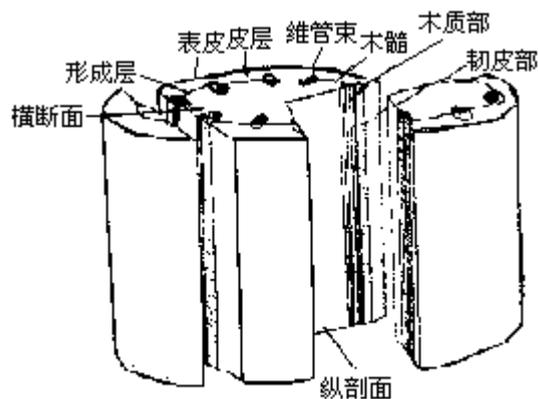


图 25.2

沿茎长度的方向有若干维管束或“叶脉”，它们的作用是上下输送养料、盐分和水分。维管束里面的部分为木质部。木质部含有大量的细管称为导管，导管的作用是将水或溶盐由根部输送到叶内。维管束的外部是韧皮部，韧皮部内有伸长的细胞，这些细胞作用是将叶内制造的养料沿茎向上或向下输送给植物的其它部分。

表皮和维管束间的组织称为皮层。茎的中心部位的组织称为木髓，皮层和木髓之间有一层细胞分隔开，称为形成层。当形成层细胞分裂时，茎就会长粗。

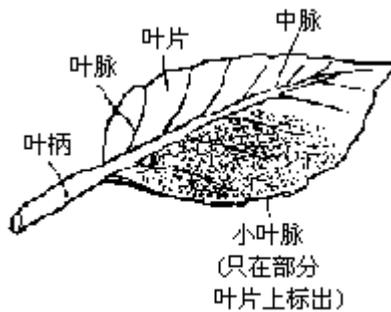


图 25.3

叶

典型的叶子有宽而且薄的叶片，叶片由叶脉网络支撑着。叶脉网络中往往有一根主叶脉，称为中脉，它从叶子的正中央穿过。中脉与叶柄连结在一起，叶柄则将叶子连结到茎上（图 25.3）。中脉和叶脉穿过叶柄与茎中的维管束连系起来，给叶子输送养料和水或从叶子中取走养料和水。

图 25.4 示出了构成叶片细胞的形状和分布情况。表皮由一单层细胞组成，该层细胞的作用是使叶子保持其形状，减少水分的蒸发并防止有害的生物体的侵入。在下部的表皮层有称之为气孔的通道，其的作用是使叶子与外界的空气交换氧气、二氧化碳和水蒸汽。每个气孔

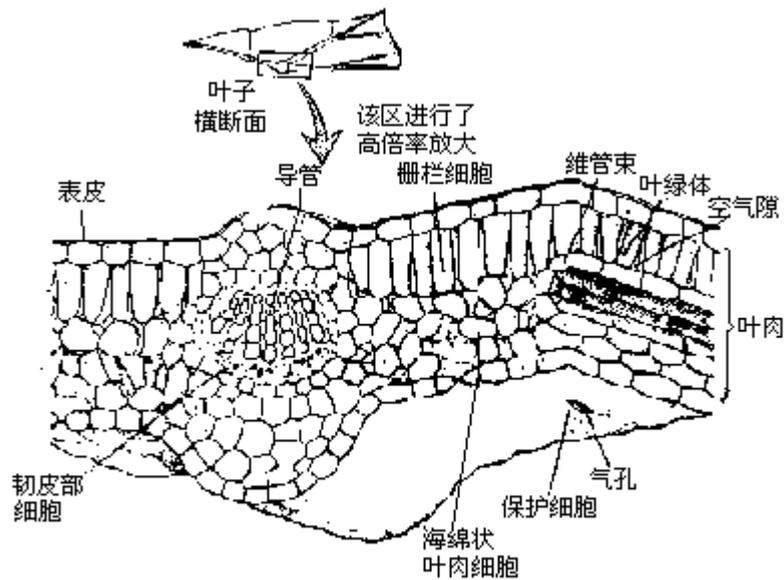


图 25.4

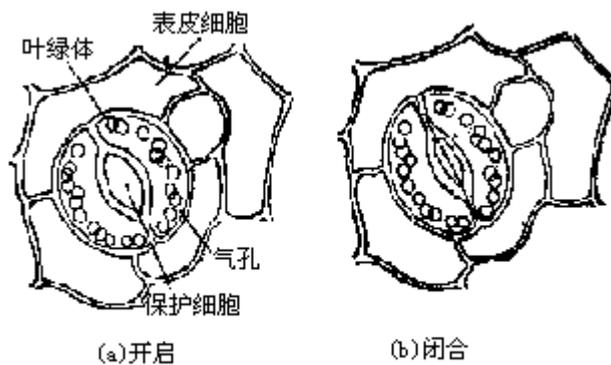


图 25.5

均有一对起保护作用的细胞（图 25.5），这对细胞通过改变其形状来开启或闭合气孔。一般说来，气孔在白天开启而在夜间闭合。

上、下表皮间的组织称为叶肉，分为栅栏叶肉和海绵状叶肉两个区域。栅栏细胞往往呈伸长状并包含称为叶绿体的结构（图 25.6）。叶绿体的作用是吸收阳光，并通过光合作用过程制造养料。海绵叶肉细胞的形状往往发生变比，这些细胞只是疏松地结合在一起，其间留有许多的气隙即胞间隙。这些胞间隙可使氧气、二氧化碳和水蒸汽扩散至叶肉细胞或反向扩散。海绵叶肉细胞也含有叶绿体，并制造养料。维管束内的木质部导管把水带给叶肉细胞以进行光合作用，韧皮部则用来输送叶肉细胞所制造的养料。

叶的作用是吸收阳光，通过光合作用制造养料。这个过程以及叶为适应该过程所具有的结构已在 § 24 中讲过。

芽

长在苗顶的芽称为顶芽。其它芽则长在茎上，位置恰好位于叶与

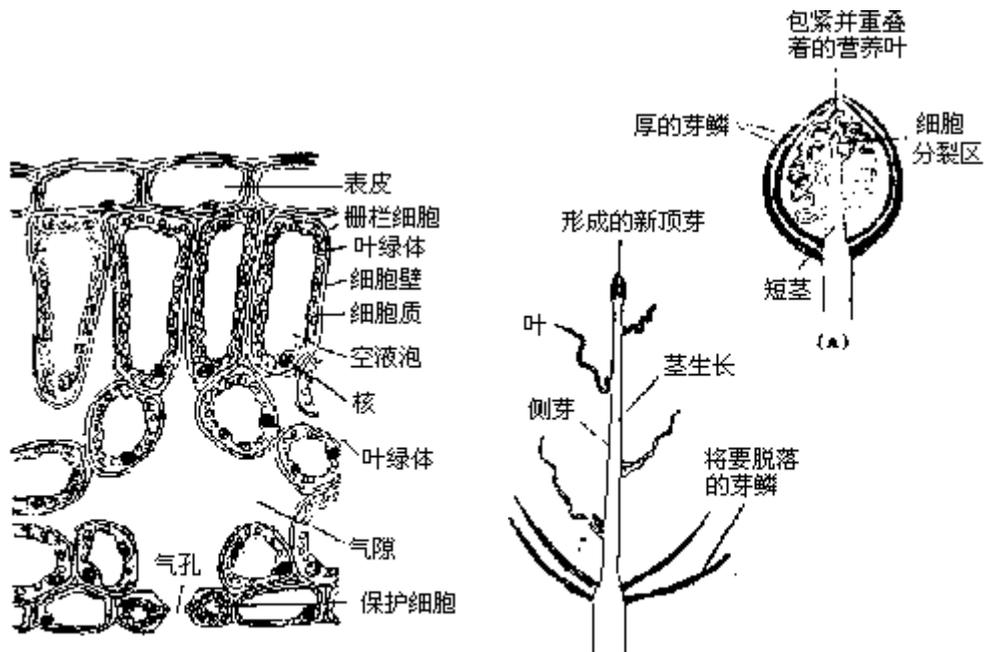


图 25.6

图 25.7

茎接触的点的上面，这种芽称为侧芽。顶芽和侧芽都是长在一很短的茎上，由相互交叠并包得很紧的叶子组成。外部的叶子称为芽鳞，芽鳞通常厚且坚韧，以防止内部的叶子干缩或避免昆虫的侵袭。茎芽开始抽芽时，芽鳞脱落，茎开始伸长，增大叶子间距，叶子就得以伸展并变绿（图 25.7）。顶芽抽芽则侧芽也跟着生长，侧芽生长则分出枝条。两种芽均可开花。

根

图 25.8 示出了两类根系，如果只能看到一个为主的根，则这类根系称为主根系（图 25.8a）。如果所有的根粗细大小差不多，则称之为须根系（图 25.8b）。两类根系中，侧根是围绕垂直向下生长的根四散生长的。

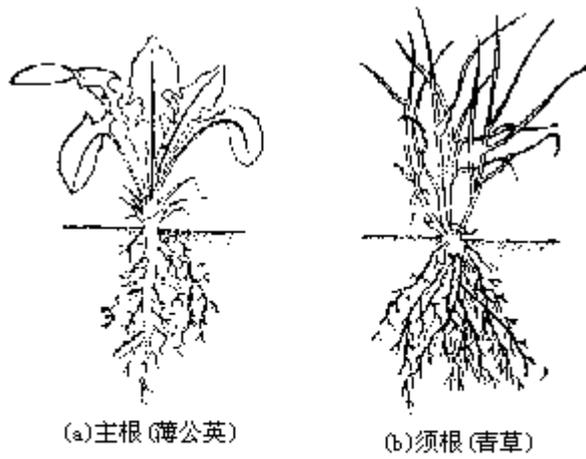


图 25.8 两类根系

(a)主根(蒲公英) (b)须根系(青草)

根使植物固定在土壤中，防止倒地或被风吹跑。根还可吸收土壤中的水分或盐分并将其输送给植物的其余部分。对这些 § 26 将给予更完整的叙述。根系不间断地生长，并且每一根尖均有根冠细胞保护，根冠细胞随着根系向土壤中深入，不断被削弱和替代。根冠后面有一区域，细胞正是在该区域迅速分解，而在该区域以外，细胞则吸收水分并长大。当细胞停止长大时，根外部的细胞则使微根毛成长，根毛吸收土壤中的水分和盐分(图 25.9)。维管束位于根的中心(图 25.10)本质部将水分和盐分提供给茎，而韧皮部则将叶制造的养料供给根部。

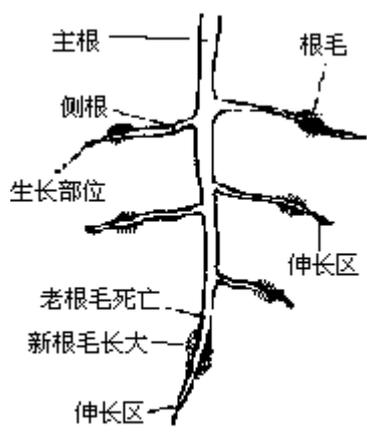


图 25.9

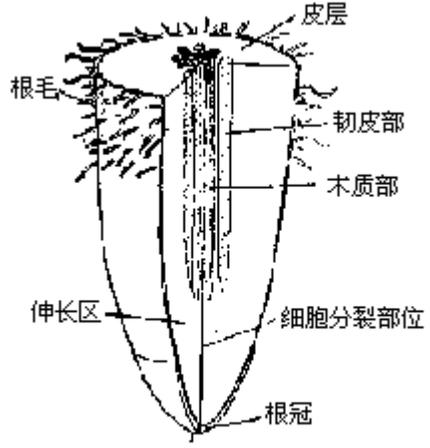


图 25.10

习题

1. 简要说明下列各部位的作用：本质部、栅栏细胞、根毛、胞间隙、根冠、气孔。
2. 假如给你一块从植物某部位切下来的圆木，你怎样辨别它是茎还是根

呢？

3. 假如剪下图 25 - 7 所示的顶芽，试画一张图，表明在下一年生长期结束时所看到的苗的大概形状。

4. 讲述空气中的二氧化碳分子和土壤中的水分子相聚在叶的栅栏细胞内需要经过的路径。

5. 你认为根毛仅在已停止生长的根系部位生长的理由是什么？

6. 讨论是否有可能在花瓣内发现维管束？

7. 观察图 25.6 解释为什么光合作用不会在表皮细胞内发生？

§ 26 生物的相互依存关系

食物链

许多动物以植物为食，这样的动物称为食草动物，例如兔子。以捕食其它动物为生的动物称为食肉动物，食肉动物（如狐狸）以被它们捕获的动物（如兔子）为食。食腐肉动物以食肉动物吃剩的动物残体为食。不论动物吃什么，最终所有动物均以植物为食。狐狸可以吃兔子，而兔子却吃草。鹰吃蜥蜴，蜥蜴恰好吃蝗虫，而蝗虫又吃草叶。这种关系称为食物链。其它例子如：

莴苣 蜗牛 鹁 食雀鹰

位于食物链始端的生物通常数量很多但个体小，而食物链末端的动物通常体形大而数量少。图 26.1 所示的食物链金字塔表明了这种关系。池塘内生存着数以百万计的微小的单细胞绿色植物。这些绿色植物为较大但数量较少的水蚤吃掉。然后这些水蚤又成为小鱼如小鲤鱼或刺鱼的食物。而几百条小鱼最后只足以作为四五个较大的食肉动物如狗鱼或河鲈的食物。

事实上，由于动物捕食的生物体种类相当多，因而食物链并非如此简单。例如，狐狸并不只是捕食兔子，它还捕食甲虫、老鼠甚至黑浆果。

为了把这种关系更完整地表达出来，下面画出一食物网（图 26.2）。

进一步运用食物链的概念，我们可以看出。所有活的生物都要依赖阳光和光合作用。绿色植物通过光合作用（光合作用需要阳光）制造出自身需要的养料。由于所有动物都以植物为食，因此，动物就间接地依赖于阳光。下面给出人类依赖光合作用的几个例子。

面包 面粉 麦粒 小麦靠光合作用生长

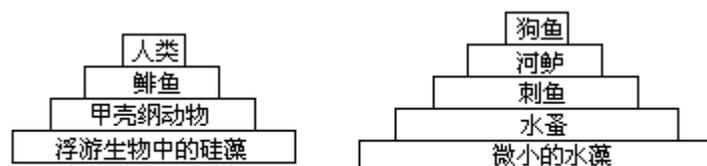


图 26.1

乳酪 牛奶 奶牛 草 草靠光合作用生长
 蜂蜜 蜜蜂 花蜜 花 植物靠光合作用生长

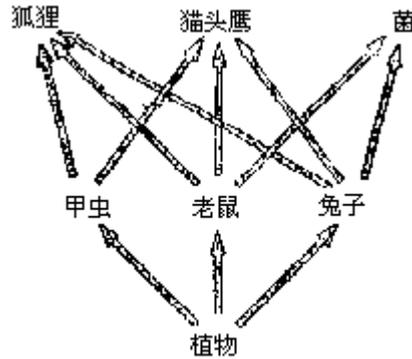


图 26.2

食物链网或食物链中还有一类数量很大的生物未被列入，这类生物就是腐生菌。它们不进行光合作用，也不捕食活的动植物。相反，而是以死的或正在腐烂的物质为食例如土壤中烂掉的叶子或腐朽的树干。最主要的腐生菌是真菌，例如食用伞菌、毒菌或霉菌，尤其是生活在土壤中的细菌。这些菌制造出可消化腐烂生物的胞外酶，然后，将可溶的物质吸收进其细胞。这样，植物或动物死后的残余物就被这些腐生菌消除了，否则这些残余物质就会聚集在地球表面。腐生菌还可将动植物残体分解成可为其它生物利用的物质。例如，动植物残体的蛋白质被一些细菌分解后释放出硝酸盐，然后这些硝酸盐就可被植物的根吸收，并在根内形成新的氨基酸和蛋白质。生物界中物质的这种利用和再利用的过程称为再循环。

碳的循环

碳是生物体所有化合物中的最基本元素。植物中的碳来源于大气中的二氧化碳。动物体中的碳则从植物中获得，因此，碳的循环主要与二氧化碳的状态有关（图 26.3）。

除去大气中的二氧化碳

绿色植物可通过光合作用消除大气中的二氧化碳。首先，二氧化碳中的碳构成碳水化合物例如糖或淀粉，然后再转化为细胞壁的纤维素、蛋白质、色素及植物的其它有机物质。植物被动物吃下去后，植物的有机物质就会被消化、吸收并构成制造动物组织的化合物。这样，植物中的碳原子就成了动物体的一部分。

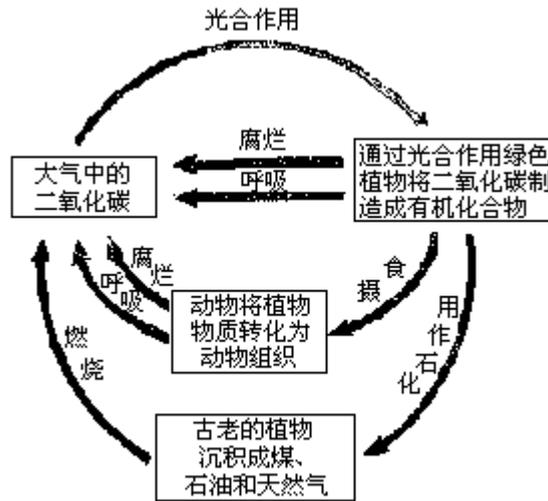


图 26.3

给大气增加二氧化碳

(a) 呼吸植物和动物是通过在其细胞内将碳水化合物氧化成二氧化碳和水来获得能量的。二氧化碳和水被排泄出体外，则二氧化碳再次回到大气中。

(b) 消化腐生菌尤其是细菌和真菌将动植物残体含的有机物用作能源。这些微生物将动植物物质分解，将其中的含碳化合物转化为二氧化碳。

(c) 燃烧在含碳的燃料如木材、煤、石油和天然气的燃烧过程中，碳则氧化成二氧化碳。碳氢燃料产生于如史前森林那样的植物群，这些植物群虽被埋在地下经过了数百万年，但却只有部分物质发生分解。

因此，今天还是空气二氧化碳分子中一员的碳原子明天就可能成草叶细胞壁的纤维素分子中的一员。草被牛吃掉后，该碳原子就可能成为牛肌肉蛋白质许多分子中的一分子。该蛋白质分子用来进行呼吸时，碳原子则又一次以二氧化碳的形式进入大气中。地球上几乎所有的元素都会进行类似的循环，虽然这一过程无新的物质产生，但原子要进行重新排列。构成人类肌体的大量原子，在某个时刻也会变为其它生物体的一部分。

今天，这些循环受到了人类活动的影响。例如，人的排泄物中的氮不会重新回到为人类提供养料的土地；含碳的燃料被大量燃烧，减少了碳的资源，并给大气增加了过多的二氧化碳。

氮的循环

由于细菌的作用，动植物死亡后其组织要发生分解。其中一种主要的分解产物是氨，将氨施入土壤，可在土壤中形成铵的化合物。

给土壤增加硝酸盐的过程

硝化细菌 这类细菌生活在土壤中，以正在腐烂的生物中的氨为能源。细菌在利用氨中能量的过程中产生硝酸盐。尽管植物的根可吸收铵盐，但更易吸收硝酸盐，这样，有硝化作用的细菌通过使植物利用硝酸盐而增加了土

壤的肥力。

固氮细菌 这是一类特殊的硝化细菌，它能吸收土壤空隙中的气态氮，并将其构成氮的化合物。气态氮是一种不活泼的元素，因而不能为植物利用。但一旦将其构成氮化物，就可被硝化细菌很容易地转化为氨和硝酸盐。将气态氮构成一种化合物的过程称为固氮。土壤中生活着一些固氮细菌。还有一些固氮细菌生活在碗豆科植物（豆科植物）的根内。固氮细菌使豆科植物的根膨胀（称为根瘤），由于根瘤内的固氮细菌使氮的化合物可为植物吸收利用，所以这些豆科植物在缺少硝酸盐的土壤中也茂盛地生长。豆科植物还可实行轮作种植（见下面）以提高土壤中的含氮量。

从土壤中除去硝酸盐的过程

被植物吸收 植物的根吸收土壤中的硝酸盐并将用于制造蛋白质。

淋洗 硝酸盐很易溶于水，因此，雨水渗到土壤中，就使硝酸盐溶解，从而可把硝酸盐排走或渗到更深的土层中去。这种过程称为淋洗。

脱氮细菌 这类细菌靠分解硝酸盐为气态氮而获得能量，气态氮逸到大气中。

这些过程可总结成图 26.4。虽然该图仅以氮为例来进行说明，但对硫、磷酸盐、钾及其它矿物质也可画出类似的这种循环图。

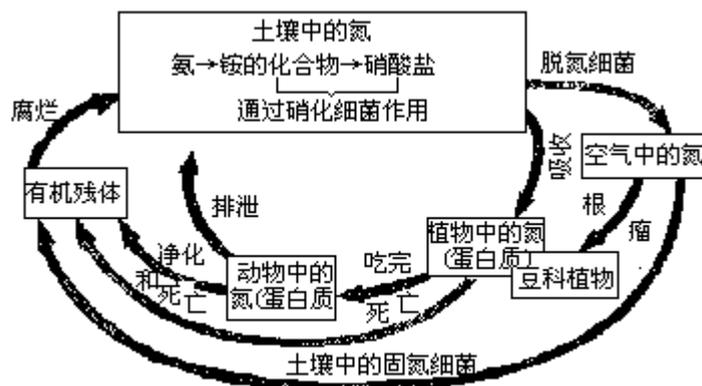


图 26.4

施肥和庄稼轮作

施肥 在天然的植物林或动物群落内部，从土壤中除去硝酸盐和给土壤增加硝酸盐两个过程是处于平衡的。在农业上，庄稼通常全部收割，这时往往不存在供硝化细菌活动的有机物。在混合农场即既有动物又有植物的农场，把动物粪便与稻草秸秆混合在一起翻进土壤，这就使被庄稼除去的硝酸盐又返回土壤。同时，这一过程还可保持土壤结构，改善土壤的保水性质。

当没有数量足够的动物粪便时，可施用人造化肥。化肥是工业上生产的矿物盐，例如硝酸铵（提供氮）、硫酸铵（提供氮和硫）、碱渣（提供氧化钙和磷酸盐）和过磷酸盐（提供磷酸盐）。这些化肥按严格计算好的用量撒在土壤中可以提供矿物质，尤其是植物需要的氮、磷和钾。图 26.5 表明了

施用化肥对增加粮食产量的影响情况，当然，化肥对保持土壤结构并无多大作用。

庄稼轮作不同的庄稼需要不同的土壤，例如土豆和西红柿要求土壤中含有大量的钾。通过每年改换种植的庄稼种类，土壤中一定的矿物质就不会被耗尽。豆科植物例如苜蓿草和蚕豆，由于它们的根瘤内含有固氮细菌，从而有助于土壤贮存氮。

由于上面所述的种种原因，施用化肥后就没必要实行庄稼轮作。然而，在可耕土地上种植一到两年草确实可改善土壤的团粒结构，因而可改善土壤的保水性和其它性质。轮作还能减少有害病的坏影响，这些病可通过土壤进入庄稼内部。例如，在同一块地里连续几年种植土豆会使土壤中的真菌大量增加，这些真菌会使土豆产生“枯萎病”。种植其它庄稼几年后再种植土豆证明可减少这种病的发病率。

习题

1. 试述下列物种间所有可能的生物学上的相互依存方式：草、蚯蚓、乌鸦、橡树、土壤。

2. 下列食物均作为光合作用的最终产物，说明它们的产生过程：酒、黄油、鸡蛋、蚕豆。

3. 电机、汽车发动机、赛马均可产生能量。表示出这些能量是怎样最终由太阳光产生的？地球上哪种形式的能量不是从太阳获取的？

4. 图 26.3 和 26.4 表明了自然界中碳和氮进行再循环的过程。对氢构造一个类似的循环，循环中涉及下列物质或过程：水（ H_2O ）、碳水化合物（ $C_6H_{12}O_6$ ）、光合作用和呼吸。

5. 概述二氧化碳分子中的碳原子在下列过程中可能经过的途径：二氧化碳进入土豆叶的气孔，成为土豆块淀粉分子中的一部分，土豆被人吃掉。最后，碳原子以二氧化碳的形式再次被呼出到大气中。

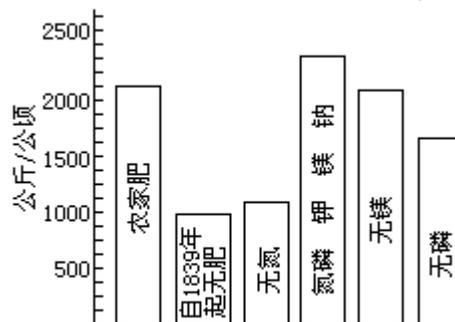


图 26.5

6. 图 26.5 标出了某试验农场一块土地的小麦平均年产量，由此图表判断哪种矿物元素对小麦产量的影响最显著，并加以解释。

§ 27 扩散和渗透

扩散

许多物质都是由称为分子的微粒构成，例如，二氧化碳分子就是由一个碳原子和两个氧原子结合而成。在二氧化碳这类气体中，分子间距很大并且朝各个方向迅速地动来动去（图 27.1），彼此之间互相碰撞并与盛放它们的器壁碰撞。

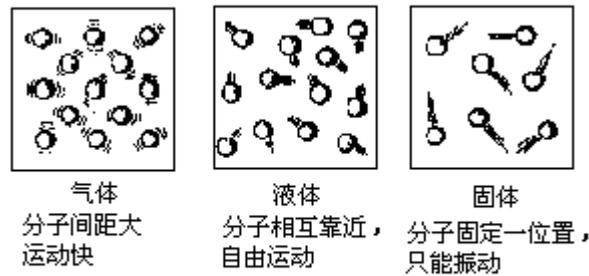


图 27.1

如果一些二氧化碳从放在屋角的一个容器内逸出，二氧化碳分子就会作无规则的运动。最终分子分散于整个房间。导致分子均匀分布的分子的无规则运动称为扩散。扩散是一个缓慢的过程，但是如果两

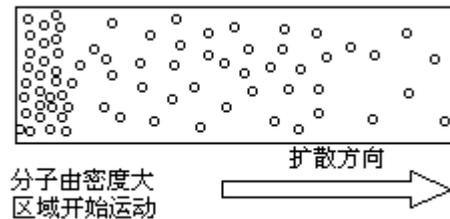


图 27.2

点间分子的浓度相差很大，就会加速扩散过程的进行。例如，图 27.2 中分子会从左边扩散到右边，如果左边分子较多，而右边分子较少，则扩散就会进行得更加迅速。

植物和动物体中气体的扩散

植物与大气交换氧气和二氧化碳几乎全部依靠扩散过程。夜间，叶细胞进行呼吸因而消耗掉氧，结果，叶气隙内氧气的浓度就会下降到低于叶外空气中氧气的浓度。这样，氧气就通过气孔扩散到叶内。呼吸细胞同时又产生二氧化碳，因此，叶内二氧化碳的浓度就会增加，这些二氧化碳就会通过气孔向外扩散到空气中。白天，植物进行迅速的光合作用，要消耗二氧化碳并在叶内产生氧。在这些循环中，氧气由叶内向叶外扩散，而二氧化碳则从叶外扩散到叶内。

扩散进行的速度完全可满足植物的需要，这是因为氧气或二氧化碳需要扩散过的距离很短，例如，大部分叶子的厚度小于 1 毫米。

许多动物（如昆虫和蜘蛛）依靠扩散来获取氧气并排泄出二氧化碳。对

许多小的动物来说，由于需要扩散的距离很小，因此扩散的速度可满足自身的需要。较大的动物都有一种类似肺的特殊器官，通过肺可将新鲜的空气吸入体内。但是，即使在肺中，交换气体的最后阶段也是通过扩散。

溶液中的扩散

一种固体溶于一种液体时，固体（或溶质）分子在液体中作无规则的运动，最后均匀扩散开来（图 27.3）。与气体扩散的情况相同，被溶解的分子也是从高浓度区域向低浓度区域运动。

生活在水中的小动物靠扩散获得氧气和排除二氧化碳。这种情况与在空气中的扩散过程相同，只是氧和二氧化碳两种气体均溶解在水中。

植物可通过扩散吸取土壤中的盐，例如，如果土壤水所含硝酸盐的浓度高于根中所含硝酸盐的浓度，则硝酸盐就会扩散到根内。事实上，植物吸取矿物盐的过程还未被人们充分认识，扩散在该过程中可能起着一定的作用。但是，另有观点则认为细胞质内进行着一种特殊的过程，即使根外部盐的浓度低于根内部盐的浓度，细胞质也能有选择地将盐吸收到细胞中来。该过程称为主动运输，进行这种过程需要利用来自呼吸的能量。主动运输和扩散从不同的角度说明了被溶解物质进入或排出细胞和从一细胞进入另一细胞运动过程的原因。

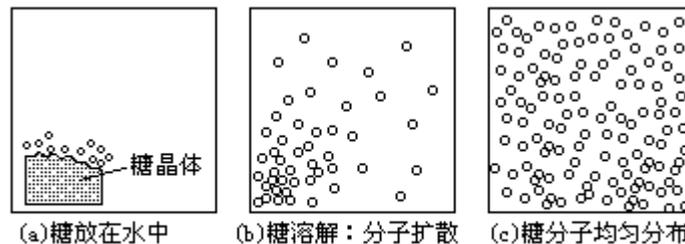


图 27.3

渗 透

渗透是水穿过膜的扩散过程。相比之下，水分子较溶解物分子易透过膜。具有这种性质的膜称为选择渗透膜。图 27.4 示出了引起渗透过程的原因。溶液 A 是浓糖水溶液，图中的糖分子表示成灰色而水分子则表示成白色，水分子被糖分子吸附因而减少了可自由扩散的水分子的数目。B 是稀溶液，其中处于自由状态的水分子比 A 溶液中的多，因而，水分子会透过膜由 B 扩散到 A。如果渗透膜具有选择渗透作用则水分子比糖分子更容易通过渗透膜。由于水分子由 B 运动到 A，A 中液面就会上升，B 中液面就会下降。水的这种穿过膜的流动称为渗透，可通过实验 1 加以说明。

渗透是水穿过选择渗透膜由较稀溶液扩散到较浓溶液的运动。

实验 1 渗透实验

将一段赛璐玢管的一端扎住，然后往里注入浓糖水溶液，注到超过玻璃

毛细管的下端一段长度后，用橡皮筋将赛璐玢管扎紧在玻璃管上，并将毛细管按图 27.5 所示的方式固定住，赛璐玢管要浸在烧杯的水中。

结果 几分钟后，可观察到糖液沿毛细管上升了一段距离。

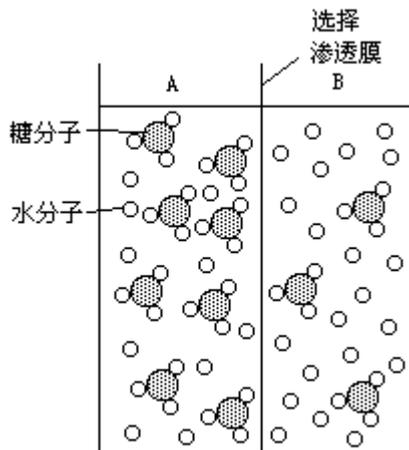


图 27.4

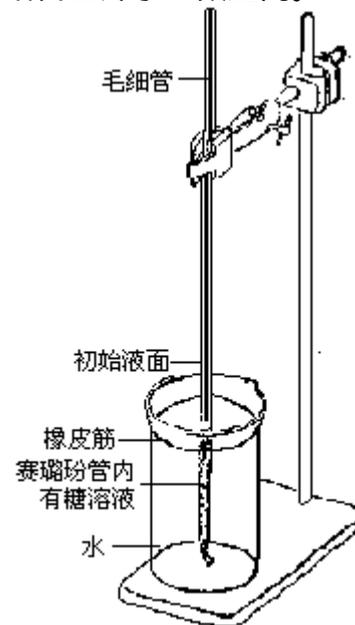


图 27.4

解释 纯水中含有水分子所能达到的最大浓度，而糖溶液中含有的自由水分子的浓度要低得多，因此，水分子会穿过赛璐玢管渗透到糖溶液中去，使溶液的体积增加，迫使毛细管中的液面上升。赛璐玢管有选择渗透作用，水分子要比糖分子更易透过它，因此，几乎没有糖分子渗过膜进入烧杯。而使烧杯内水分子的浓度变稀。

植物内的渗透

膨压 水和其中溶解的物质均可渗透过植物细胞纤维素壁。但是，衬在细胞内的细胞质却有选择渗透的性能。液泡内的细胞液是盐和糖的水溶液，如果细胞为水所包围，就会发生渗透，水就会进入到液泡里面。液泡里增加大量的水后会使液泡涨大。使细胞质抵紧胞壁（图 27.6）。

这跟自行车胎充气后产生的效果相似，车外胎坚韧但不能伸缩，

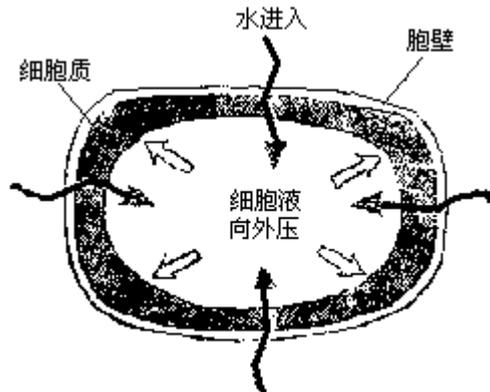


图 27.6 植物细胞内的膨压

(1)细胞液含有溶解的盐和糖；(2)水借助渗透作用穿过细胞壁和有选择渗透作用的细胞质进入细胞内；(3)细胞液体积增加，对细胞壁产生一向外的压力从而使细胞处于紧张状态

内胎柔软富有弹性但不能透气。跟水分子通过渗透进入细胞一样，用泵给车胎打气，直到压力使内外胎紧紧顶在一起形成一坚实的结构。细胞处于这种状态时，就说核细胞处于膨胀状态，当叶内的所有细胞均呈膨胀状态时，整个叶子才会坚实饱满。但是，如果细胞失去水分的速度快于它所能吸收水分的速度，液泡内的压力就会下降。细胞就会失去膨压，叶子就变得软弱无力，这时就说该植物呈枯萎状态。对植物来说，正是其细胞内的膨压才维持茎秆直立生长。

生长 根在生长过程中，其根尖发生快速的细胞分裂，产生许多无液泡的细胞。在根尖后部，细胞液泡长大，通过渗透吸收水分。在这一阶段，细胞壁富有弹性，可沿纵向伸长。由于液泡的膨胀引起细胞进一步涨大（图 22.5）。成百个这类细胞在同时间内的涨大，导致了根尖后部的根迅速延伸（图 27.7）。

根吸收水 根的某些区域（图 27.7）的最外层细胞要产生类似头发的旁根，称为根毛。根毛生长在土壤颗粒中间从而与环绕在土壤颗粒周围的水膜密切接触（图 27.8）。由于根毛细胞液的浓度大于土壤水的浓度，从而就有水渗透进根毛。增加的这部分水提高了液泡的压力，从而有部分水被压出根毛细胞而进入与之相邻的另一个细胞内水就是按照这种方式经过一个个细胞到达根的中部。事实上，大部分水没有进入液泡，而是在细胞壁内或经过细胞壁间穿过根的。如果植物的膨压由于某种原因下降，细胞就可通过渗透接水的这种运输方式吸收水分。

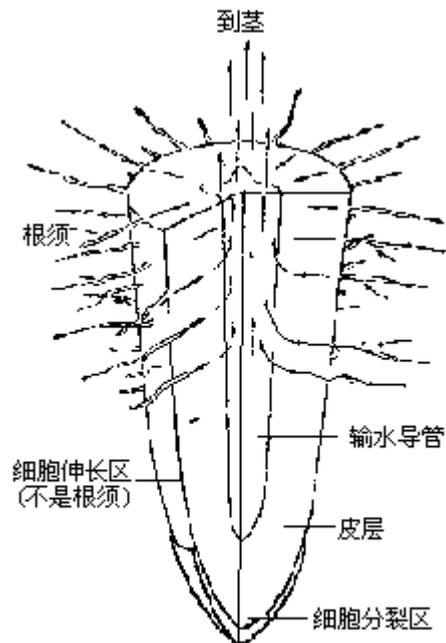


图 27.7

叶中水的运动图 27.9 示出了一片叶的叶肉细胞（也可参看图 28.1）。栅栏细胞（a）的水由蒸发进入细胞间的气隙，这样就会降低细胞的膨压同时，也使细胞液浓度进一步增大。与（a）相邻的细胞（b）的膨压较大，且细胞液浓度较小这样，细胞（b）中的水就会渗透到细胞（a）中去。从而降低细胞（b）的膨压，水分就由细胞（c）渗入细胞（c）又不断吸收细胞（d）中的水。细胞（d）靠近叶子叶脉的水导管，又靠渗透从导管中吸收水。叶子靠渗透吸收水的比例是相当小的，大部分水都不是经过液泡而是经过细胞壁间进入叶子的（图 28.2）。

实验 2 生物体组织中的渗透

从大黄茎上的发红部分削下一很薄的表皮层，如图 27.10a。显微镜载片上滴上一滴水，将表皮组织放在此滴水上，并用盖板盖住（如图 27.10b）。用显微镜观察载片找出有显著不同的细胞且细胞液呈红色的表皮区。用滴管在载片齐着盖板的左边缘处滴两滴糖液，然后用一小片吸墨纸将盖板下面溶液吸出，如图 27.11 所示，观察细胞 2~3 分钟。

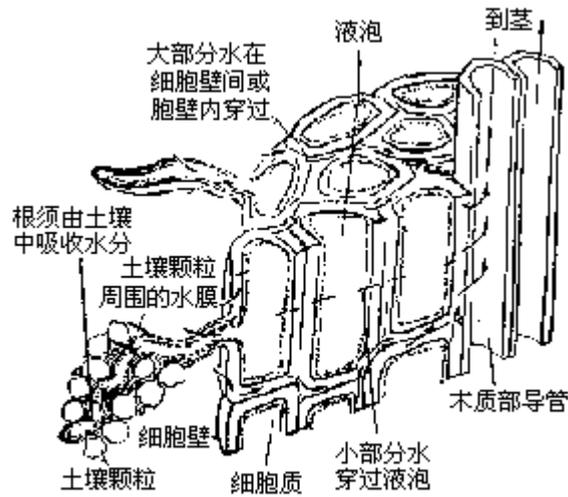


图 27.8

结果 红色的液泡发生收缩，从而使细胞内缘的细胞质与细胞壁脱离开。

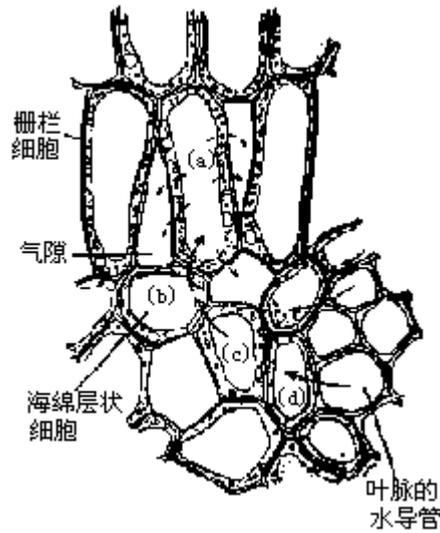


图 27.9

解释糖溶液比细胞液浓，故水要通过渗透由液泡进入糖溶液，从而引起液泡收缩。可以看到，细胞液越浓，细胞液的颜色也就越深。如果吸去盖板下面的水，使这一过程按反方向进行，液泡会重新

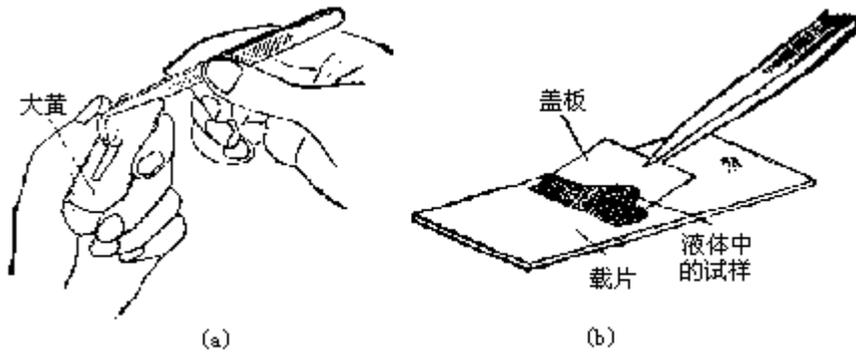


图 27.10

胀满细胞。

习题

1. 氧分子可以通过水扩散，试问水分子可通过空气扩散吗？举例并解释你的答案。
2. 研究图 73.2a 和 b。解释为什么需要用肺来交换空气而不全部依靠扩散。
3. 如果人为的增加叶外二氧化碳的浓度，会对叶细胞内光合作用的速率产生什么影响。解释你的答案。
4. 动物海葵靠扩散获得氧气，岩洞中的水运动对海葵吸收氧气的过程可能会有怎样的帮助？
5. 你怎样加速实验 1 中的渗透过程？
6. 如果给图 27.5 中的赛璐玢管充入糖溶液，扎住两端并放入水中，解释会发生何现象？
7. 在图 27.6 中，细胞被水环绕着，解释如果细胞被比细胞液浓度大的糖溶液所围绕，会有什么现象发生。
8. 如果将过量的硝酸盐化肥放入土壤中，植物就会枯萎，解释为何会发生这种现象。

§ 28 植物中物质的运输

有花植物需要把土壤水和溶盐输送给叶，此外，叶内制造的糖或其它物质也要被输往生长区或贮藏器管。植物内水和盐的运动主要是在木质部以蒸气流的方式进行的。植物制造的化合物则经过韧皮输送，韧皮还可输送部分盐。

蒸腾流

它是水和溶盐由根，经过茎最后到达叶子的流动，是由所谓的蒸腾过程引起的。

呈水蒸汽状态的水，从植物叶子蒸发到大气的过程叫做蒸腾。

前面叙及了 (i) 渗透过程如何使植物细胞产生膨压, 并 (ii) 解释了水由一细胞移动到另一细胞的原理。图 28.1 为一小块叶片的断面 (也可见图 27.9)。叶细胞内细胞液的压力迫使水通过细胞壁流出, 于是水由此而蒸发进入细胞间的空隙, 这样, 叶肉的胞间隙水蒸汽的浓度提高, 就导致了水分子通过气孔向外扩散到大气中。

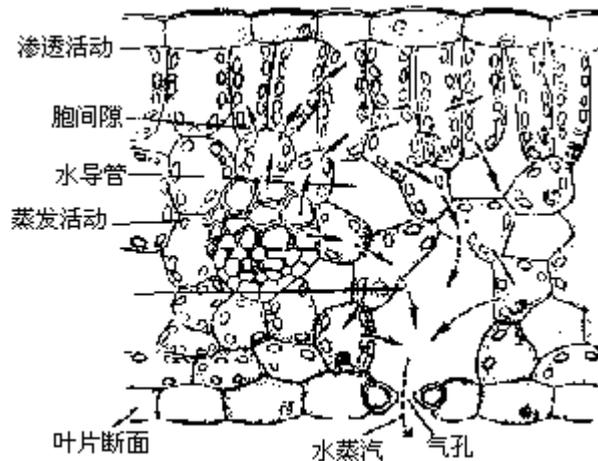


图 28.1

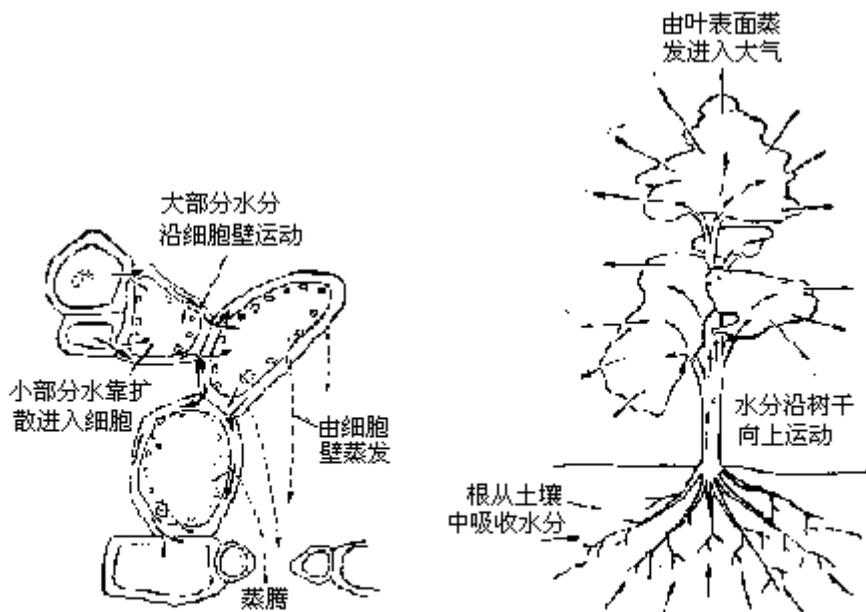


图 28.2

图 28.3

该叶细胞失去水分后降低了叶细胞的膨压, 于是就有水分由邻近细胞渗透到该细胞内, 同时, 一部分水还沿可渗透的细胞壁运动 (图 28.2)。不论是哪种情况, 细胞最终还是由叶脉吸收水分, 结果进一步把水分向上“拉”,

使水分通过茎，产生蒸腾流(图 28.3)。大部分水以蒸腾流形式穿过植物由叶面蒸发而损失于大气中，只有一小部分水分用于维持光合作用和维持细胞的膨压。尽管如此，蒸发引起蒸腾流，而蒸腾流则可将溶解的盐由根输送到叶，再由叶子利用来构造蛋白质、叶绿素和其它一些主要的物质。

蒸腾作用产生的另一效果是水由叶蒸发时可产生一种冷却效果。叶子长期曝露于阳光下要吸收热量，如果没有蒸腾作用所产生的冷却效果，叶的温度就会升高，就会将其中的细胞杀死。

蒸腾速率

既然蒸腾是水分由叶面向空气的蒸发过程，那么，任何改变可增加或减少蒸发的条件就会得到与发生蒸腾作用相同的效果。

(a) 光的强度光的强度本身不影响蒸发，但在白天，叶子的气孔是张开的，因此叶中的水蒸汽扩散到大气中；夜间，当气孔闭合时，蒸腾速率大为下降。

(b) 湿度如果大气很潮湿，亦即大气中含有大量的水蒸汽，那么它可从植物接受的水汽就很少，因而植物的蒸腾作用就减慢。而在干燥的空气里，水蒸汽从叶子向大气的扩散速率就将增加。

(c) 空气流动在静止的空气里，水蒸汽在发生蒸腾作用的叶子周围达到饱和状态，因而不可能有更多的水蒸汽从叶子逸出。在这样的条件下，蒸腾作用将减慢。而在流动的空气里，水蒸汽将以其从叶子向外扩散的相同速度被刮离底面，这将导致蒸腾作用的加快。

(d) 温度 (i) 热空气中含有的水蒸汽比冷空气所含的多，因此，水蒸汽就会很迅速地蒸发或蒸腾进入热空气。(ii) 叶子受到阳光照射时，会吸收热和光使叶子温度升高，从而加快蒸发的速率。

实验 1 比较蒸腾速率

本实验用到蒸腾计(图 28.4)。给装置充满水，并按图示将一新剪下来的枝条插进橡皮管的一端。于是枝条蒸腾并吸收装置中的水，使毛细管内的水柱向左移动。枝条吸收水的速率通常足够快，因而毛细管内水的运动很易观察到，记下水柱在 2 分钟内移过的距离。当水柱流到标尺尽头时，可开启弹簧夹使其恢复到开始状态。这时，水从蓄水器流出，充满毛细管。

对应于上述所列(a)至(d)的不同情况用这套装置重复进行实验。

(a) 比较在阳光明、暗两种情况下装置的吸水速率。阳光可使水的吸收速率显著加快。

(b) 给枝条套上一透明的塑料袋，使叶周围的空气为水蒸汽饱和。塑料袋可降低吸水速率。

(c) 将枝条放在静止空气或风扇的前面，用实验设备比较两种情况下的吸水速率(当然这种条件难以同时达到)。

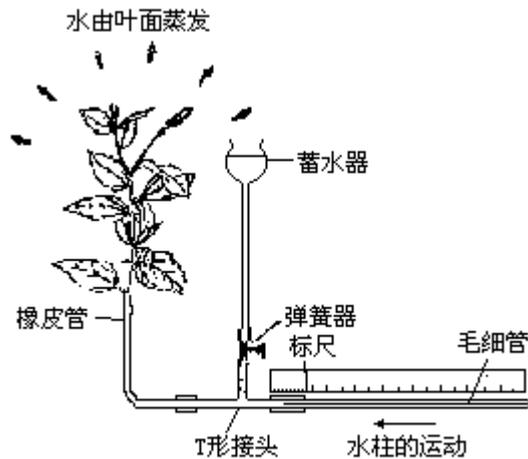


图 28.4

在做上面的每一个实验时，必须注意只能改变一个条件。例如，如果把实验装置由室内移到室外，则光线的强弱、湿度、温度和空气的运动情况几个条件都发生了变化，这就不能说明是哪一条件影响的。

蒸腾计的限度

由蒸腾计吸收的水分并非全部蒸发，部分水要用于进行光合作用或使叶细胞达到最大的膨压。另一方面，如果植物长在野外，则其在蒸腾过程中失去的水分要多于它从蒸腾计吸收的水分。实际上，即使吸水速率并不完全与蒸腾速率相同，这种差别也是很小的。两个速率成比例而且彼此很接近。但是，严格地说来，蒸腾计只能用于比较吸收水分的速率，并不能测定出蒸腾的真实速率。

实验 2 测定蒸腾速率

蒸腾就是植物失去水蒸汽的过程，所以，测定蒸腾速率必须每隔一定时间称量植物看其失去多少水分。例如，给一盆栽植物浇完水后，用塑料袋将盆和其中的土壤套住扎紧，将茎留在外面（图 28.5）。这样做就使得失去的水分是由于茎的蒸发而不是土壤的蒸发。隔一定时间称量植物，如果植物在 4 小时内失去 56 克的重量，则蒸腾速率就是每小时 14 克水。这一结果是基于重量的改变完全是由蒸腾作用所导致的假定。事实上，由于光合作用吸收二氧化碳其重量略有增加，或由于呼吸作用呼出二氧化碳，其重量则略有减少。实践表明，在几小时的时间内这些变化与由于蒸腾失去的重量相比是微不足道的。

实验 3 确定叶的哪一表面蒸发出更多的水蒸汽

在 5% 的氯化钴溶液中浸入滤纸。然后使滤纸干燥后，将其切成边长为 5 毫米的小方形。干燥的滤纸呈蓝色，而潮湿的滤纸变为桃红色。用镊子夹取两张氯化钴小方纸片，在台灯或本生灯火焰上烘烤，直到氯化钴纸片均呈现蓝色为止。然后，用透明胶带将纸片贴在叶面上，一片贴在叶子的上表面，另一块贴在叶子的下表面（图 28.6）。当叶子上的水蒸汽润湿浸有氯化钴的

纸片后，纸就呈现出粉红色，具有较多气孔的叶面放出水蒸汽的速率较快，因此，在叶子的这一面，滤纸首先变成桃红色。对于许多种树和灌木，只有叶子的下表面有气



图 28.5



图 28.6

孔。而草及其类似植物的叶子两面都有气孔。

实验 4 维管束内的运输过程

将一些多叶植物的枝条放在 1% 的亚甲基蓝溶液内，然后取出，放在阳光下晒 30min 左右。对于某些植物，经此步处理后，叶脉里一般就会有蓝色出现。如果将一些叶脉切断，就会看到封闭在维管束内的颜色（见图 25.2）。这一结果表明，色彩或者水分是在维管束内输送给植物的。进一步的研究还会发现，这些液体物质是经过木质部导管输送的。

韧皮部内的运输过程

植物根部制造的氨基酸是以蒸腾流的形式通过木质导管输送给植物的。然而，植物制造的大部分有机物质都是经韧皮部细胞输送的。尤其是叶子在光合作用过程中制造碳水化合物。这些物质均以糖或淀粉的形式在叶内出现，而叶子不利用的那些物质则以蔗糖的形式经过韧皮部输送出去。这样，蔗糖就可沿茎向下运动再转换成淀粉在根内贮存下来（如胡萝卜）或贮存于茎内（如土豆）。蔗糖和氨基酸可沿茎向上运动以给生长旺盛的芽或枝条提供能源或养料，这些养料还可沿茎向上或向下运动输送给正在发育长大的种子或果实。

溶解物质在韧皮内运输过程的机理尚不清楚。目前已有几种理论，不过，这几种理论没有可令人信服的足够的证据。但是，人们已认识到这种运输过程与韧皮内细胞的生命过程有关。影响细胞质生命过程的化学物质或高

温会减慢韧皮内养料的运输过程。

习题

1. 什么气候条件可达最大的蒸腾速率？
2. 将一多叶枝条插入盛有 275 克水的烧杯内，两小时后烧杯水重 260 克。而一盛有水但不插枝条的同样烧杯经过相同时间后减少 3 克，问枝条的蒸腾速率是多少？
3. 如果你想用蒸腾计比较两种不同植物（例如橡属植物或冬青属植物）枝条的蒸腾速率，为获得正确的比较结果应采取什么预防措施？
4. 在实验 3 中，(a) 为什么考虑到用镊子处理氯化钴滤纸？(b) 为什么滤纸改变颜色是由于叶中的水蒸汽所致，而并非空气中的水蒸汽所造成？
5. 本章叙述了蒸腾过程，初看起来好象只有叶子才发生这种过程似的，是否植物的其它部位也可发生蒸腾？你怎样通过实验检验？
6. 用蒸腾计对多叶植物的枝条进行实验。在取得三个相似的水吸收数据后，涂上凡士林，将叶子覆盖起来，解释这样做对水的吸收会产生什么效果？
7. 水分子中的氢原子被植物根吸收后，过一段时间还会作为蔗糖分子的一部分回到原来的根中。说明这段时间内植物的根有什么现象发生。
8. 树皮含有韧皮。木质部分全部是木质。从树干上切下一圈树皮，木质仍能给叶输送水和盐，而叶子仍能通过光合作用制造养料。然而，这时树会死去，解释这个现象的原因。

§ 29 花、受精与果实

花是植物的繁殖机构，它含有可产生雄性或雌性性细胞的性器官。雄性细胞在花粉粒内，而雌性细胞在子房内。受精后，雌性细胞就构成种子的胚胎，子房发育成果实。

花的构造

花的基本构造如图 29.1 和图 29.2 所示。

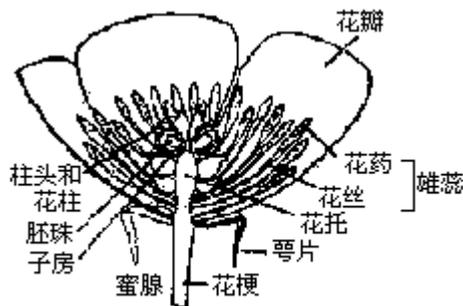


图 29.1 毛茛属植物的半片花

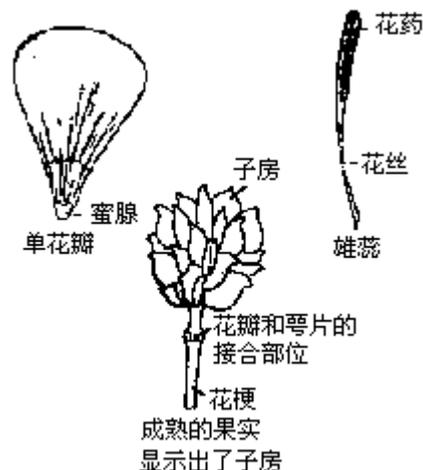


图 29.2 毛茛属植物花的一部分

花瓣

花瓣通常带有鲜艳的颜色，有时还有香味。往往排列成环形（毛茛属植物）或圆筒形（郁金香属植物）。大部分花瓣分成五到十瓣，有时这些花瓣相互叠在一起构成一个管（洋地黄），因此，不能看到个体的花瓣。花瓣的颜色或香味可吸引昆虫对花进行受精。

萼片

花瓣外部包着一圈萼片，萼片常带绿色且面积远小于花瓣。萼片的作用是保护处于芽期的花瓣。

雄蕊

雄蕊是花的雄性繁殖器官。每根雄蕊都由一梗即花丝构成，花丝末端有花药。毛茛属植物和野蔷薇的花有许多雄蕊，其它植物如羽扇豆属植物的雄蕊数目就少，常与花瓣或萼片的数目相当。花药由四个花粉束组成，花粉束通过细胞分裂产生花粉。花药成熟后，花粉囊裂开放出其中的花粉。

子房

子房是花的雌性繁殖器官。毛茛属植物和黑莓有多个子房，而其它植物如羽扇豆属植物（图 29.3）只有一个子房。子房内有一个或多

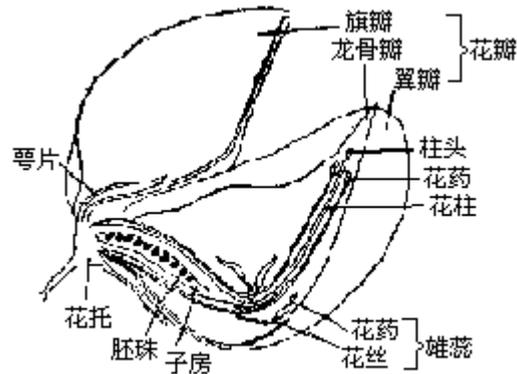


图 29.3 羽扇豆属植物的半片花

个胚珠。毛茛属植物的子房含有一个胚珠而羽扇豆属植物的子房含有若干个胚珠。胚珠受精后，发育成种子，从而整个子房发育成果实。子房的突出部位是花柱和柱头，柱头表面有粘性，受精期间花粉可以粘到上面。花柱可以很短（毛茛属植物）也可以很长（羽扇豆属植物）。

花托

上面讲到的花其整个结构均系在花梗的膨大端，这部位称为花托。少数情况下，受精后该部位发育成果肉可以食用，例如草莓、苹果和梨。

双花植物

毛茛属植物

毛茛属植物（图 29.1）是很容易看到花结构的一个例子。图 29.1 画出了它的半片花，它是沿中间竖直切开后花的形状。这样，有五个花瓣的毛茛属植物就只能在图中显示出两个半花瓣。花瓣的根部突出，该部位称为蜜腺。蜜腺产生一种糖液称为花蜜，它可由昆虫采集。毛茛属植物有五片萼片，但萼片及花瓣均不连结在一起，雄蕊大

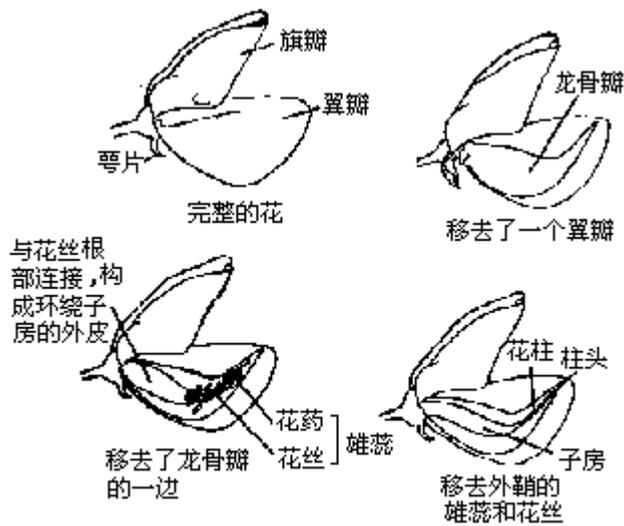


图 29.4 羽扇豆属植物花的解剖图

约有六十个，有三十到四十个子房，每个子房有一个胚珠。

羽扇豆属植物

羽扇豆属植物（图 29.3、图 29.4）有五个萼片，这五个萼片连接起来形成一个短管。五个花瓣的形状和大小均不相同。最上面的一个称为“旗瓣”，呈竖直状。边上的两个花瓣称为“翼瓣”，翼瓣部分搭接在一起。翼瓣里面有两个以上的花瓣搭接在一起形成一个船形的“龙骨瓣”。

子房长而狭窄，形似豆荚，里面约有十个胚珠。长长的花柱的柱头终止在“龙骨”的尖端。有十个雄蕊，五个长的五个短的。花丝与雄蕊的基础部分形成围绕子房的外鞘。

授 粉

将花粉由花药传给花柱柱头的过程称为授粉。花药裂开暴露出细碎的花粉粒（图 29.5），然后，这些花粉由昆虫传播或靠风力扩散，最后到达另一朵花的柱头上。在自花授粉的花中，传到柱头上的花粉来自同一朵花。在异花授粉时，花粉由一朵花的花药传到另一朵花的柱头（指同一类植物）。由昆虫传粉的花通常带有鲜艳的色彩并可分泌出花蜜。靠风传粉的花，例如榛子絮和草，“花瓣”小而且绿，也不产生花蜜。

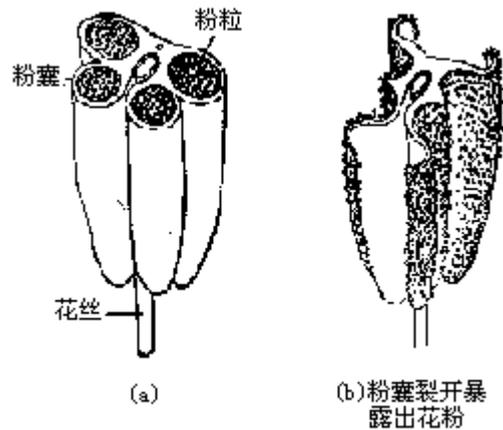


图 29.5

羽扇豆属植物的传粉

羽扇豆属植物的花没有花蜜。蜜蜂飞临这种花的目的是采集这些花粉将其带回蜂房作食物。羽扇豆属植物中有些植物的花可产生花蜜，例如三叶草。

蜜蜂降落到翼瓣上后，其身体的重量将两个翼瓣和龙骨瓣向下压，于是花药内的花粉集结到龙骨瓣的尖梢，柱头和长长的花蕊将花粉推出龙骨瓣，与蜜蜂的脚接触（图 29.6）。这时，粘有花粉的蜜蜂又飞向另一朵花，如果这一朵花的开花时间早于第一朵花，则该花已放出了它的花粉，因此，当蜜蜂由于身体重量而把龙骨瓣压向下的时候，只有柱头伸出来与蜜蜂的身体接触，带有粘着力的柱头粘下蜜蜂身上的花粉。

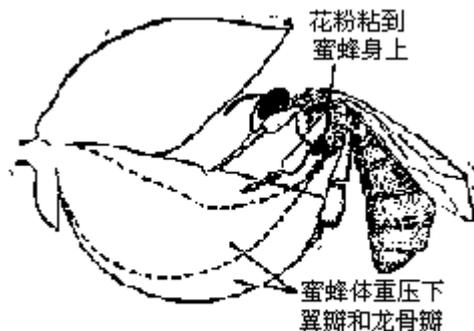


图 29.6 羽扇豆属植物或香豌豆花的传粉

受精和果实的形成

受精

花粉吸收来自柱头的液体后，长出一根微型的花粉管（图 29.7）。花粉管沿花柱向下直通到子房里面，然后进入胚珠里面的一个小洞即珠孔（图 29.8）。花粉粒的核沿花粉管向下运动进入胚珠内，在此与雌性核结合。雄

性核和雌性核的这种结合称为受精，而且只要胚珠发

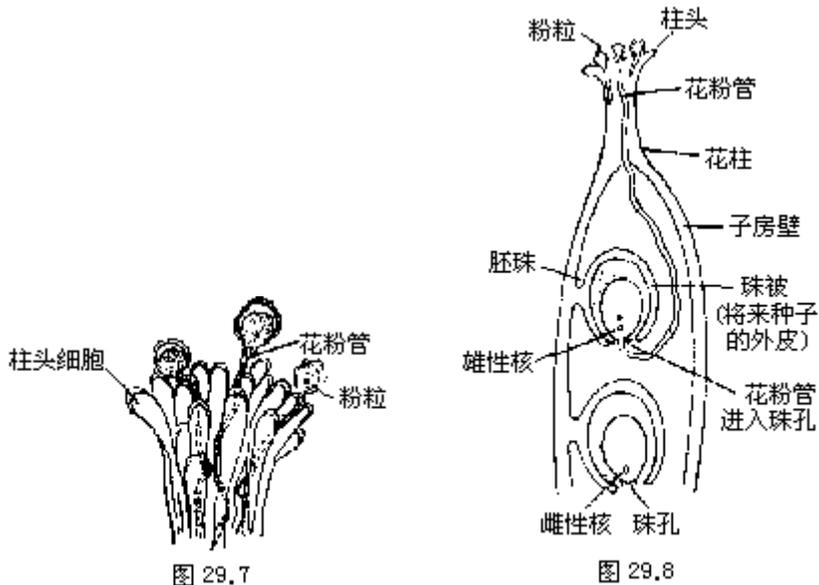


图 29.7

图 29.8

育成种子就要有受精过程。每一胚珠需要有单一的花粉粒来此受精。

虽然胚珠受精肯定要有传粉过程，但传粉不一定会导致受精。例如，如果毛茛属植物的花粉传给羽扇豆属植物的柱头上，就不会长出花粉管，这时就说花粉不合适。对一些花来说，从传粉到受精要经过十二个月，而对另一些花来说，传粉后十六小时即可受精。

从上面对于羽扇豆属植物传粉过程的描述，可以明显知道，尽管同一种花的粉粒与柱头密切接触，但不会长出花粉管，因此，不会发生花的自身受精。

果实和种子的形成

花粉受精以后，在胚珠中迅速发生细胞分裂，形成一种初具形状的植物——胚胎。这时，养料输送给胚珠贮存在称为子叶的结构里面。胚珠的外壁变得较厚且较硬，形成种子的外衣即种皮。

随着种子的长大，子房变得较原来大得多，且花瓣和雄蕊枯萎脱落（图 29.9），这时的子房就称为果实。

果实就是受过精的子房，它不一定可以食用。

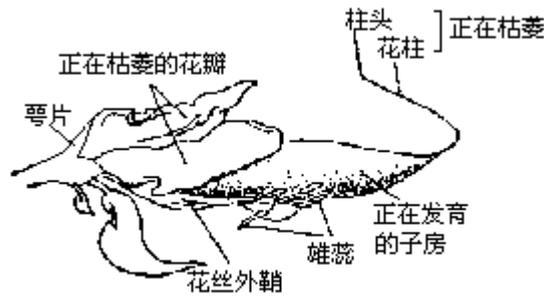


图 29.9 受精后的羽扇豆属植物的花

对于羽扇豆属植物，受精后的子房形成一个干燥而坚硬的豆荚，但类似的植物如红花菜豆，子房壁多肉且可以吃。西红柿、黄瓜、李子均是一些果实可以食用的例子。

果实和种子的散布

开花阶段过后，种子就成熟了。这时全部果实或个别的种子就由母株落到地面上，以便再一次发芽。但许多植物的果实或种子不是垂直落到地上，而是被分散到距母株有相当远距离的地方。这就有助于减少同类植物间对光和水的争夺，还可借助植物来开垦新的土地。

植物种子具有的一些特点有利于种子被风和动物散布。此外，一些植物有可爆裂的荚或荚膜，从而可使种子散布；另外一些植物的果实利于被水分散。

风的散布

(a) 香炉结构白剪秋罗、罌粟(图 29.10)及金鱼草散布种子就是依靠种子的这种结构。通常情况下，这些植物的花柄很长，因而子房成为一个中空的干蒴果，上面带有一个或多个小孔，风力吹动花柄时，种子就通过蒴果上的开孔向四方散布。

(b) “降落伞形”的果实和种子铁钱莲属植物、蓟属植物、柳树和蒲公英(图 29.11)的种子或果实是降落伞形。果实或种子上突出来的羽毛状发须增加了果实或种子的外表面积，因此运动时受到

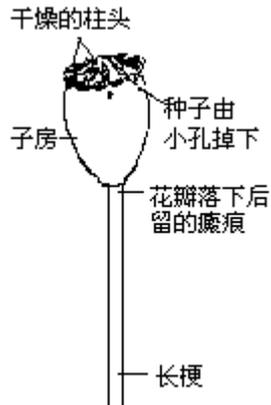


图 29.10 罂粟



图 29.11 蒲公英

的空气阻力就很大。这样，它降落到地面上就要很长时间，而且很可能随风飘到离母株很远的地方。

(c) 带翼的果实酸橙 (图 29.12)、埃及榕树 (图 29.13) 和桉树的果实均有突出于子房壁或花柄上结构象叶的伸出部位，从而形成了“翼”。由于这些翼的作用，当果实落下时就会在空中打旋，从而延长了落下的时间，并增加了它被风吹走的可能性。

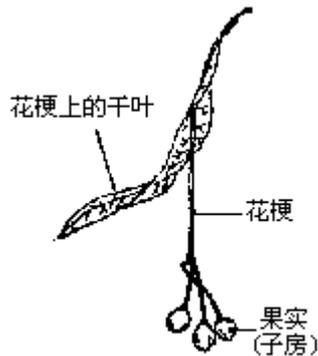


图 29.12 酸橙

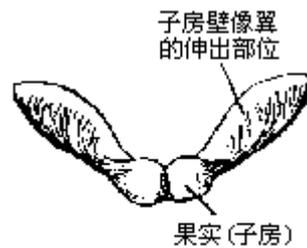


图 29.13 埃及榕树

动物散布

(a) 哺乳动物——有钩的果实在草本植物、龙牙草 (图 29.14) 和牛筋草的花柱、花托或子房壁上均长有许多钩刺，这些带钩刺的果实钩在来往哺乳动物的皮毛上或挂在行人的衣服上，就可将果实分散开去。

然后，这些果实被动物从身上抓挠下来，落在距母株有一定距离的地方。

(b) 鸟——肉质果鸟类吃下象黑莓、接骨木浆果等果实后。包在果核里面的果仁却不能被消化掉，它随鸟的粪便排出，留在远离母株的地方。即使这些种子没有被鸟吃下去，在其落地之前也往往被鸟衔到很远的地方去，如蔷薇果。可以认为，质地柔软、颜色艳丽的果实就是靠这种方法散布的。
可爆裂的果实

碗豆属植物如荆豆、金雀花、羽扇豆和巢菜的花荚被阳光晒干后出现皱缩，种子外壳上坚韧的植物纤维卷曲并产生张力。当果实沿两条结合力薄弱的线裂开时，两半外壳突然翘曲将种子弹出去（图 29.15）。



图 29.14 龙牙草

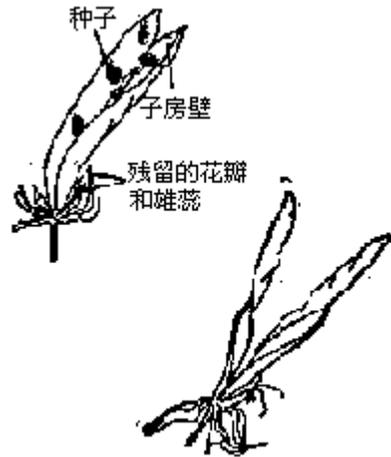


图 29.15 羽扇豆属植物

习题

1. 说出一朵花由外到内各部位的名称。
2. 花的什么特征可吸引昆虫？
3. 羽扇豆属植物的花和毛茛属植物的花有何不同？
4. 如果植物生长在昆虫不能进入的温室里，你怎样确定花已经传过粉了？
5. 大的昆虫如蜜蜂可以给羽扇豆属植物传粉，而小昆虫如苍蝇却不能给这种植物传粉，对此你是怎样理解的？
6. 在什么阶段才可以说传粉结束并开始受精？证明你的说法是正确的。
7. 用简练的文字给花的受精下一定义。
8. 西红柿花的哪一部分 (a) 长成果实；(b) 受精后脱落；(c) 留在果实上。
9. 植物的种子散布在广阔的地域有何优点？存在什么缺点？10. 哪种散布种子的方法可使种子散布的距离最远？解释你的答案。

§ 30 种子的发芽

前面一节讲述了受精后花的胚珠如何发育成为种子，以及随后由母株散布到较远地方的过程。如果种子落在一个合适的地方就会发芽，长成为一株成熟的植物。为理解种子的发芽过程，这里首先讨论玉米和菜豆两种种子的结构。菜豆的结构和发芽过程与羽扇豆的结构相似，由于菜豆的种子要大得多，因而易于研究。

种子的结构

菜豆

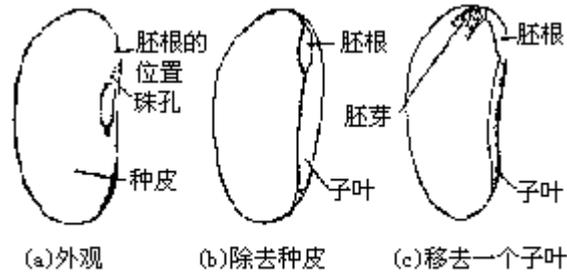


图 30.1

菜豆的种子（图 30.1 和 30.2）里面包含着雏形的植物即胚胎，胚胎由根或胚根和枝条即胚芽组成。两片称为子叶的叶子与胚胎相连，子叶里面含有养料，因而显得鼓涨。子叶贮存的养料主要是淀粉，供胚胎生长。胚胎和子叶外包一个坚韧的种皮。花粉管通过的珠孔在种皮上留有一个小孔，该小孔可使种子在发芽前吸收水份。

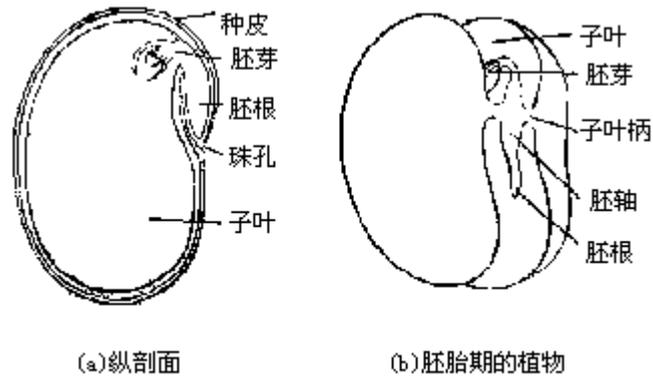


图 30.2

玉米种子

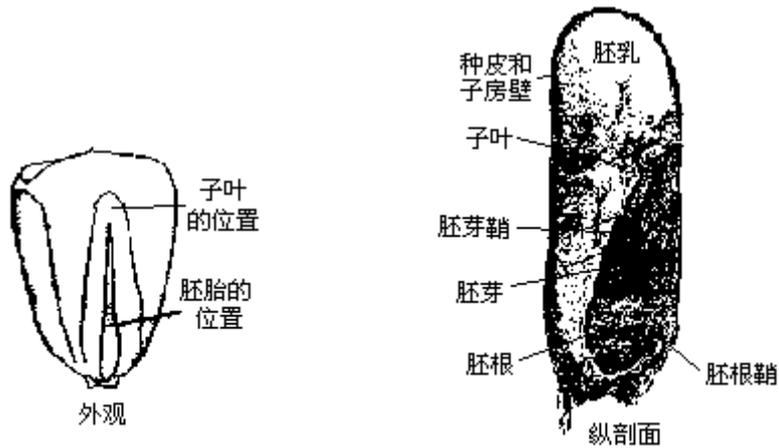


图 30.3 外观

图 30.4 纵剖面

与菜豆种子的胚胎一样，玉米种子（图 30.3 和图 30.4）的胚胎也有一个胚芽和胚根，只是胚芽和胚根均包藏在起保护作用的鞘内，包住胚芽的鞘称为胚芽鞘，胚根包在胚根鞘内。与菜豆不同，玉米种子只有一个子叶与胚胎相连，且子叶里面贮存的养料很少，养料即淀粉包含在子叶的外部的胚乳里面，子叶的功能是消化这些淀粉，并在胚胎开始发芽生长时输送给正在生长的胚胎。

胚胎、子叶及胚乳均包在种皮里面，种皮由一薄薄的子房壁层所覆盖。因此，严格地说，玉米种子就是含有一个大单粒种子的果实。

实验 1 菜豆种子子叶的作用

将四粒红花菜豆种子浸在水中 24 小时，剥去种皮并将子叶分开。

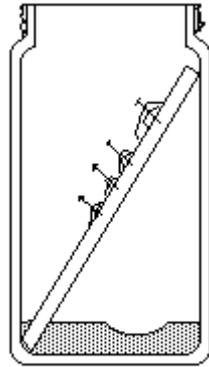


图 30.5

将不与胚胎连在一起的子叶去掉，然后用大头针将第一片子叶钉在一块平摊开的聚氯乙烯塑料板上，塑料板包上一层吸墨纸，让胚胎恰好与吸墨纸接触（图 30.5）。第二片子叶可切去四分之三，然后将剩下的部分钉在聚氯乙烯塑料板上，仍使胚胎与吸墨纸接触，第三片子叶尽可能多切除一些，只剩下一块与胚胎接触的子叶，并钉在聚氯乙烯塑料上。将第四片子叶上的胚胎从子叶上切下钉在聚氯乙烯塑料板上。

将钉有子叶的塑料板放进一个盛有少量水的螺口高瓶内（如图 30.5），时间为一星期。

结果：单纯的胚胎长的很少，不如其它带有子叶的胚胎长得多，且胚胎按照与它所带的子叶的多少成比例生长。但是，要想观察到全部子叶和部分子叶对胚胎生长的影响差别，还需再花一星期的时间。

解释：胚胎的生长速率看来与子叶的数量有关。这可能是由于子叶可给胚胎供应养料或胚胎内含有促进其生长的物质之故。

发 芽

菜豆

菜豆的种子（图 30.6）吸收水分后开始膨胀，三到四天后长出胚根，胚根顶破种皮扎入土壤中，穿过土壤颗粒和小石子间的间隙向下生长。分根或侧根由主根的侧边长出，协助主根将植物固结在土壤中。不论主根或侧根都长根毛，根毛是根最外部细胞上的一些小突起，它的作用是和土壤颗粒密切接触，从而吸收土粒间的水分。

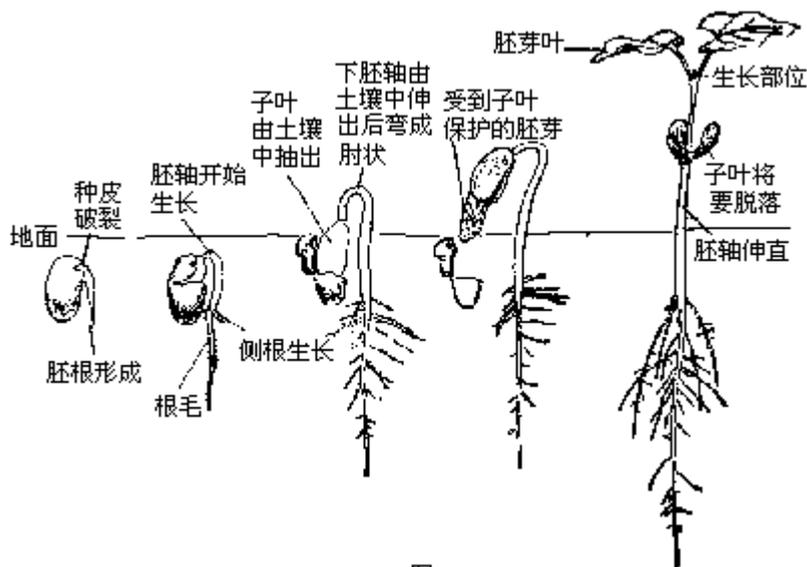


图 30.6

此时，胚根上部的胚胎茎，胚轴区开始伸长，到这时，胚根也已牢固地扎入土壤中，因而迅速生长的胚轴穿出土壤后成一向上凸的拱形，同时抽出子叶。有时，子叶从种皮中脱出，将种皮留在地下；有时子叶仍在种皮内包一段时间。在这两种情况下，由于胚芽居于子叶之间受到保护，故胚芽在从土壤中长出的时候不会受到伤害。子叶一出土，胚轴就伸直向上生长，两个胚芽也张开。到这时，制造新细胞和产生能量所需要的养料就开始由正在枯萎和脱落的子叶供给。胚芽变绿伸展，并通过光合作用吸收的光制取自身需要的养料。胚芽叶子间是一生长点，该点的生长保证了茎的连续向上生长并长

出新叶，此刻胚胎长成了一独立的植物，吸收土壤中的水分和矿物质，并通过叶吸收大气中的二氧化碳制造所需要的养料。

玉米种子

玉米种子（图 30.7）吸水后长出胚根，胚根穿出胚根鞘、种皮及

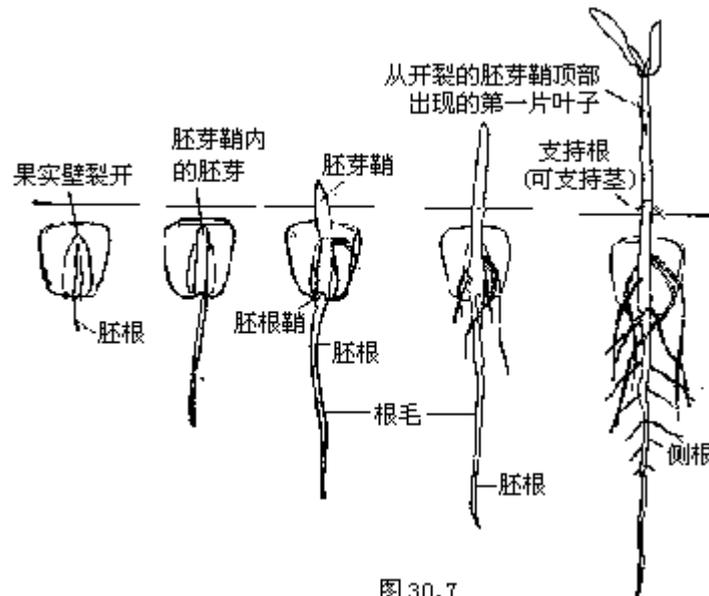


图 30.7

子房壁扎入土壤中。胚根扎入土壤后，从一些已停止伸长的根的某些部位开始长出根毛。这时胚芽生长，但仍旧不能穿出胚芽鞘，而是胚芽鞘迅速长出土壤，从而保护里面娇嫩的叶芽免受伤害。侧根从茎上长出，附根也生长。

胚芽鞘一出土，胚芽叶的叶尖就开始伸展随之长大变绿，并开始进行光合作用制造养料。为给生长中的胚胎提供制造新细胞的能量和原料，子叶一直在消化胚乳中的淀粉并将淀粉输送给正在生长的胚胎。当贮存的这部分能量用完后，玉米粒的种皮和子叶就开始枯萎。

发芽的条件

水 所有种子都需要供给水，以保证它们能发芽和继续生长，这一点与芽苗和雏形植物一样。

氧 多数种子发芽时需要氧，通常这部分氧来自土壤表层中的气隙。如果土壤被水浸泡或压的很密实，种子由于缺氧就不会发芽。

温度 在低温下种子的发芽可减缓或停止，通过实验可以很容易地来证实这种现象。把用水浸泡过的豌豆分成两批，分别放入 4℃ 的冰箱和室温 18℃

的地方，在种子下面铺一层湿棉絮。两三天后，在室温环境下的大部分豌豆长出约 10 毫米长的胚根，而放在冰箱里的那些豌豆却未发芽。但是，如果将冰箱内的豌豆取出，在室温下放置两天后还会发芽生长。

继续生长的条件

当芽苗消耗完子叶或胚乳内贮存的养料时，就开始利用自身的叶子制取

养料。为此，就需要太阳的能量、大气中的二氧化碳以及土壤中的水和矿物盐。

生长区

实验 1 根部生成区

取一些豌豆在水中泡一天，然后将它们卷进一卷吸墨纸内，如图 30.8 所示。三天后，豌豆种子长出约 10 毫米长的胚根。选一些胚根长得直的芽苗，每隔 2 毫米画一条墨水线作为记号，图 30.9 表明了这样做的方法。

在皮特皿内放两或三块湿棉絮，然后在两块湿棉絮间放上二、三颗芽苗，放棉絮是为了固定住芽苗。但是，不要把胚根放入棉絮，要让胚根暴露出来以便于观察（图 30.10 和图 30.11）。用橡皮筋把皮特皿盖与皮特皿身固定在一起，然后让皮特皿边缘着地，胚芽根向下放置两天。

结果 在恰好位于根梢后部的区域，墨线变得最为粗大（图

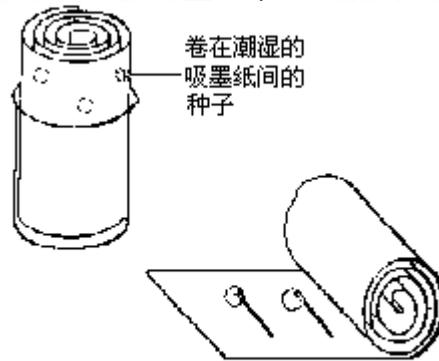


图 30.8

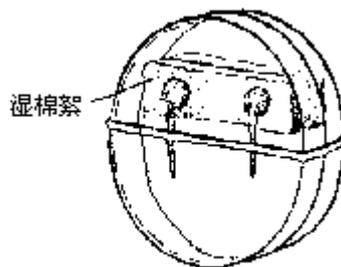


图 30.11

30.12)。

解释 墨线的间隙宽说明胚根生长最快的区域恰好是根梢后部区域。事实上，人们知道，尽管细胞分裂发生在根梢，但细胞的长大却是在根梢后部一较小距离处发生的（见图 27.7）。

实验 2 嫩芽的生长区

把菜豆种子在水中泡一天，然后按图 30.8 所示的方法卷入吸墨纸

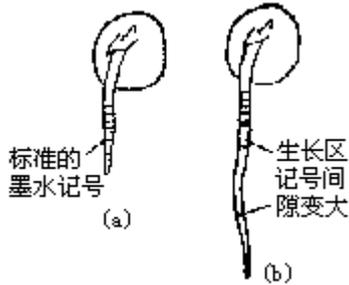


图 30.12

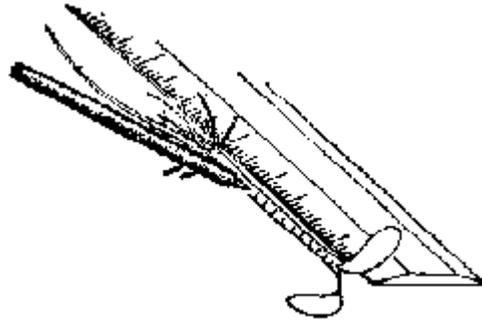


图 30.13

中，并在潮湿的状态下保持 12 天。此后，嫩芽就会穿出吸墨纸而生长。用一支毡尖笔在嫩芽上间隔 2 毫米做些墨记（图 30.13）。将嫩芽放回烧杯，用新的吸墨纸卷好，注意要把枝条露出来。然后放在柜橱中两三天，在这期间，吸墨纸要保持潮湿。

结果和解释 墨水记号在生长最快的区域的间隔最宽。在幼芽中，子叶下部区域还有一定程度的生长，但子叶上部的茎中都是生长量最大的区域。在较老的植物中，生长量最大的部位却是位于嫩芽梢下部的茎。

习题

1. 玉米种子和菜豆在它们的 (a) 胚芽，(b) 胚根和 (c) 子叶的结构中有何区别？

2. 根毛和侧根有何不同？

3. 在下列两类种子发芽期间，胚芽是怎样在出土时受到保护而免于受到伤害的：(a) 菜豆，(b) 玉米？

4. 芽苗发育到什么阶段能够不依赖其子叶或胚乳提供养料？

5. 发芽的种子将胚乳或子叶内贮存的养料作为何用途使用？

6. 一粒正在发芽的种子，在其嫩芽开始生长前，胚根曝露一段时间可能有什么好处？

7. (a) 从原理上讲，你怎样设计出一个实验，以检验一定的种子的发芽是否需要氧？

(b) 为什么看起来种子发芽时对光不是最需要的？

8. 图 30.12b 表明了确定根部最快生长区的实验结果。画一张图表明发生下列情况时会出现何种结果。(a) 根部的生长只是根梢增加新细胞。(b) 根部的生长主要发生在根与子叶相连部位以下的点。

力和能

§ 31 测 量

在进行任何测量之前，必须选择一个标准或量的单位。然后需要有用此单位来标记读数的仪器。图 31.1 表示一架飞机和在飞机驾驶舱内所用的多种测量仪器。在科学领域里采用 SI 国际单位制。这是一种十进位单位制，在该

单位制中的各单位除以或乘以 10，即可得到更小 T 或更大的单位。

长度、质量和时间是三个必须测量的最重要的基本量。

长度

长度单位为米 (m)，进一步还可分为厘米 (cm) 和毫米 (mm)。

1 厘米=1/100 米=0.01 米 100 厘米=1 米

1 毫米=1/1000 米=0.001 米 1000 毫米=1 米即

1 毫米=1/10 厘米=0.1 厘米 10 毫米=1 厘米

对于较长的长度，采用千米 (km) 为单位。

1 千米=1000 米 (约 5/8 英里)

很多长度是用直尺来进行测量的。读直尺的正确方法如图 31.2 所示。

其读数为 7.6 厘米 (或 76 毫米)。

实验 1 测量长度

用以厘米和毫米刻度的直尺来进行测量

a. 测量不同物体的长度。按表中所示给出测量结果。

测量项目	结 果
铅笔的长度	12 厘米 4 毫米=12.4 厘米
书的宽度	
手拃宽度	
脚长	
身高	

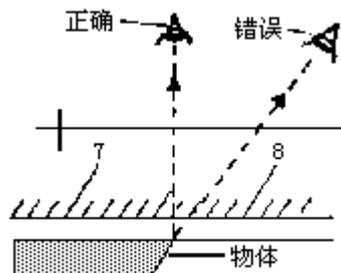


图 31.2

b. 测量硬币厚度

- 如何得到一个更准确的结果呢？

c. 将一段导线在铅笔上紧紧地绕 10 圈（图 31.3），各圈之间不要有空隙；这样就可以测量出导线的厚度（直径）。

游标卡尺

当读数在测量仪两个刻度线之间时，可以估计读数的位置，从而得到一个比较合理的估计值。如果测量仪有游标刻度的话，就可以得到更精确的读数。人们可以用游标卡尺测量管子的内、外径（图 31.4a）。

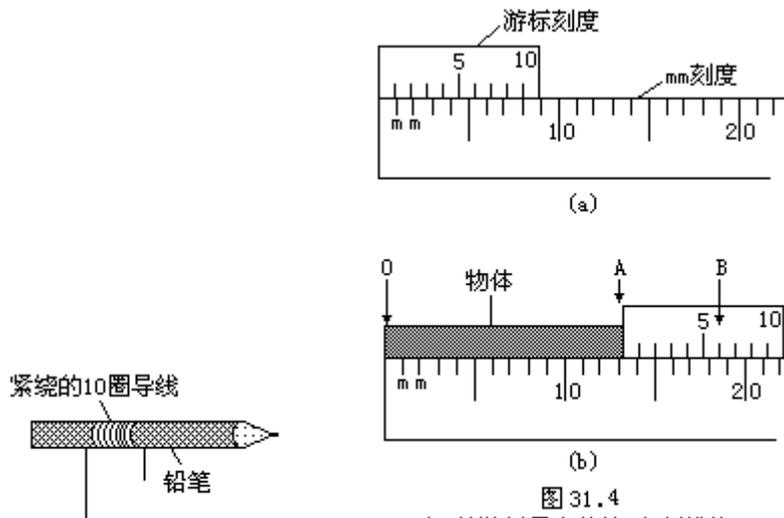


图 31.3

图 31.4

在B处游标尺上的第6条刻线恰好与毫米刻度上的一条刻线相对齐

与毫米尺配合使用的游标长 9 毫米，并被分为 10 等份（图 31.4b）。

1 游标等份=9/10 毫米=0.9 毫米

在图 31.4b 中所测量的物体，其长在 13 毫米到 14 毫米之间，即 $13 \cdot x$ 毫米长。x 为与毫米尺刻线正好相重合（或最接近）的游标读数。这里是第 6 条线与毫米尺刻线相对齐，所以读数为 13.6 毫米。因为：

$$\begin{aligned} OA &= OB - AB = 19.0 - 6 \times 0.9 \\ &= 19.0 - 5.4 = 13.6 \text{ 毫米} \end{aligned}$$

螺旋千分尺

螺旋千分尺用来测量很小的长度，如导线的直径（图 31.5）。如果将与螺杆相连的旋钮转动一圈，那么被打开的钳口宽度为轴上的 1 个刻度，通常每一刻度为 0.5 毫米。此外，旋钮上一圈有 50 个刻度，所以每转 1 刻度，钳口就打开 $0.5/50=0.01$ 毫米。图中所示物体的厚度 t 为：

$$\begin{aligned} &2.5 \text{ 轴上的厚度} + 33 \text{ 旋钮上的刻度} \\ &= 2.5 + 3.3 \times 0.01 \\ &= 2.5 + 0.33 \\ &= 2.83 \text{ 毫米} \end{aligned}$$

面积

图 31.6a 中的正方形，各边长均为 1 厘米，面积等于 1 平方厘米（ 1cm^2 ）。

在图 31.6b 中的矩形，边长分别为 2 厘米和 1 厘米，面积等于 2 平方厘米，因此它包含两个面积为 1 厘米²的正方形。在图 31.6c 中的矩形，长为 4 厘米，宽为 3 厘米，它包含 4 × 3 = 12 个面积为 1 厘米²的正方形，因此面积为 12 平方厘米。

求正方形和矩形的面积很简单，即为长乘宽。对于矩形

$$\text{面积} = \text{长} \times \text{宽}$$

测量面积的单位有平方厘米 (cm²)，平方米 (m²)，平方千米 (km²) 等。

体积

体积占有一定的空间。SI 单位制中，体积的单位是立方米 (m³)。

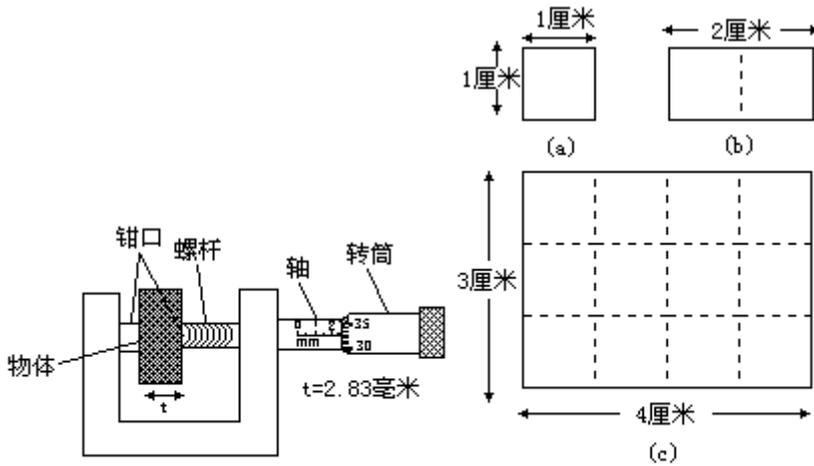


图 31.5

图 31.6

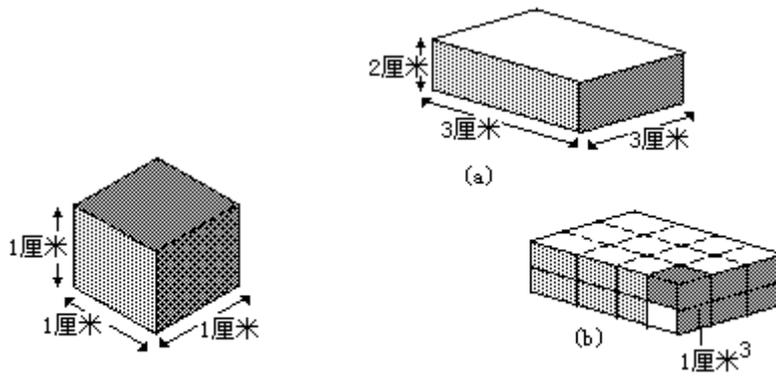


图 31.7

图 31.8

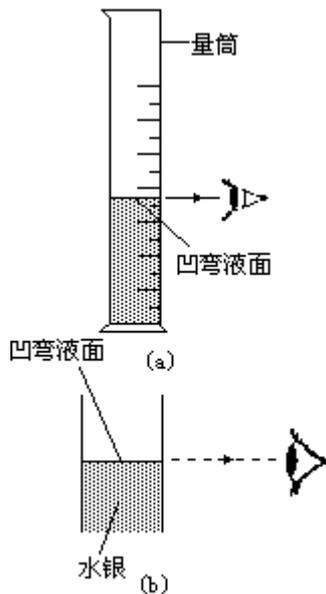


图 31.9

对有些物体采用立方米的单位是太大了一点，因此可改用立方厘米（ cm^3 ）。各边长为 1 厘米的立方体，其体积等于 1 厘米³（图 31.7）。

(a) 规则固体象盒子一样的规则物体，测量其长、宽、高，即可求出物体的体积。在图 31.8(a) 中盒子的体积为 4 厘米 \times 3 厘米 \times 2 厘米 = 24 厘米³。在图 31.8b 中可以看到，盒子可以分解成体积为 1 厘米³ 的若干个小立方体，总体积等于所含单位立方体的数目。

对于立方体或长方体：

$$\text{体积} = \text{长} \times \text{宽} \times \text{高}$$

(b) 液体将液体倒入量筒中，即可量得液体的体积（图 31.9）。读数时，以量筒内液体水平面为基准，眼睛与量筒液面内弯的底端成水平（图 31.9a）。水银形成的弯液面，与其它液体正好相反。用同种方法测量水银体积时，需读弯液面的上部读数（图 31.9b）。

液体的体积单位用升（l）或立方分米（ dm^3 ）表示。

$$1\text{l} = 1\text{立方分米} = 1000\text{厘米}^3 \left(\text{约} 1\frac{3}{4} \text{品脱} \right)$$

质量

可以认为质量是对物体所含物质量的度量。一个物体的质量与其

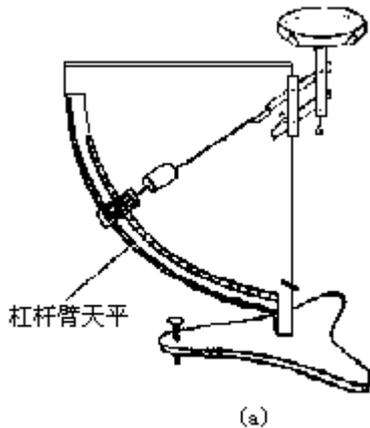


图 31.10

重量并不相同。重量是地球对物体的吸引力。而质量通常则用天平称量，这一过程称为秤重，所以有些人常将两者混淆。

质量的单位是千克 (kg)。克 (g) 是千克的千分之一。

$$1 \text{ 克} = \frac{1}{1000} \text{ 千克} \quad 1 \text{ 千克} = 1000 \text{ 克 (约 } 2 \frac{1}{4} \text{ 磅)}$$

重量是作用在物体上的力。经验表明，一个 1 千克质量的物体，地球对它的吸引力约为 (10 牛顿)，因此，1 千克重约 10 牛顿。

天平的种类很多，最易学和最易使用的是杠杆式天平 (图 31.10a)。它有两个量程 (即 0~250 克和 0~1000 克，从一个量程变到另一个量程，只需简单调节。图 31.10b 所示为高精度现代顶盘式电测天平。

密度

俗话说，钢比木头重。但这并不意味着钢针的质量大于树干的质量，而是指钢的质量比具有与它同体积木头的质量大。科学用语必须准确，而所谓“重”是相对各种物体单位体积的质量或密度而言的。

钢的密度是每立方厘米 8 克 (简写为 8 克/厘米³)。它的意思是 1 厘米³ 体积的钢块质量为 8 克，2 厘米³ 体积的钢块质量为 16 克等。

如已知物体的质量和体积，则物体的密度可由下式求得：

$$\text{密度} = \frac{\text{质量 (M)}}{\text{体积 (V)}}$$

例如，如果一铅块质量为 550 克，体积为 50 厘米³，那么：

$$\text{铅的密度} = \frac{\text{质量}}{\text{体积}} = \frac{550}{50} = 11 \text{ 克 / 厘米}^3$$

密度的国际单位制为每立方米千克 (kg/m³)。对于固体和液体，用千克/米³ 表示密度，数值大很不方便 (例如，钢和水的密度分别为 8000 千克/米³ 和 1000 千克/米³)，将单位由千克/米³ 变为克/厘米³ 需除以 1000，如水的密度是 1000 千克/米³ = 1 克/厘米³。

实验2 测量密度

(a) 规则固体 (如一块玻璃) 用天平称出固体的质量。用尺测量固体的长、宽和高。

$$\begin{aligned} \text{固体的质量} &= \text{克} \\ \text{体 积} &= \text{长} \times \text{宽} \times \text{高} \\ &= \text{厘米} \times \text{厘米} \times \text{厘米} \\ &= \text{厘米}^3 \end{aligned}$$

$$\text{固体的密度} = \frac{\text{质量}}{\text{体积}} = \text{克} / \text{厘米}^3$$

(b) 不规则固体 (如卵石) 称出固体的质量, 选取图 31.11 之 (a)、(b) 所示方法之一测量固体的体积。在图 (a) 中, 第 1 个与第 2 个读数之差, 即为固体的体积; 在图 (b) 中, 量筒中所收集水的体积, 即为固体的体积。测量完毕, 即可求出固体的密度。

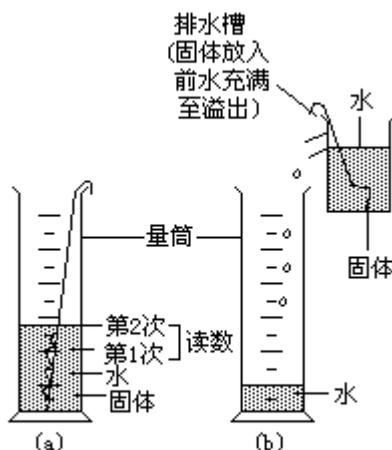


图 31.11

(c) 液体 (如水) 将液体倒入量筒中, 测量其体积, 然后倒入已知重量的烧杯中再称重, 即可求出液体的质量。

$$\begin{aligned} \text{空烧杯的质量} &= \text{克} \\ \text{烧杯} + \text{液体的质量} &= \text{克} \\ \text{液体的质量} &= \text{克} \\ \text{液体的体积} &= \text{厘米}^3 \\ \text{液体的密度} &= \text{克} / \text{厘米}^3 \end{aligned}$$

空气密度

我们知道气体分子间距大于固体和液体的分子间距, 因而空气 (一种气体混合物) 的密度是很小的。空气密度的近似值可按实验 3 中所述的方法测定。

实验3 测量空气的密度

用精密的天平秤出容积为 500 厘米³ 圆底烧瓶 (充满空气) 的重量, 然

后用一优质高真空泵将烧瓶内的空气抽出，再秤瓶重，两次读数之差，即为烧瓶内空气的质量。

将烧瓶充满水，其液面与烧瓶顶橡皮塞接触，然后将水倒入量筒中，测量出水的体积。此体积即为空气的体积。

由所测得的质量和体积这两个量即可求出空气的密度。

相对密度

上述测定密度的方法都需要对质量和体积分别进行测量。通常体积的测量不象质量的测量那样精确。所以引用了相对密度的概念，就有可能借助只需秤重的方法来测量并得到较为可靠的密度。

某物质的相对密度的定义为：

$$\text{相对密度} = \frac{\text{物质的密度}}{\text{水的密度}}$$

铝的密度是 2.7 克/厘米³，水的密度是 1.0 克/厘米³，铝的相对密度等于 2.7/1.0=2.7。请注意相对密度没有单位，但在数值上等于该物质以克/厘米³为单位的密度。实际上，测量相对密度就是测量密度。由上述方程，我们可以得到一个用于相对密度的新方程

$$\begin{aligned}\text{相对密度} &= \frac{\text{物质的密度}}{\text{水的密度}} \\ &= \frac{\text{物质的质量}}{\text{物质的体积}} \div \frac{\text{水的质量}}{\text{水的体积}} \\ &= \frac{\text{物质的质量}}{\text{物质的体积}} \times \frac{\text{物质的体积}}{\text{水的质量}}\end{aligned}$$

如果物质和水的体积相同，则

$$\text{相对密度} = \frac{\text{物质的质量}}{\text{相同体积水的质量}}$$

实验 4 用相对密度瓶测量液体密度

密度瓶有一具有良好密封性能的玻璃塞，塞上有一细长孔(图 31.12)。向瓶内充水直到多余的液体沿小孔上升溢出为止。当液面保持在小孔上端面时，瓶内体积保持不变。

称出带有瓶塞的空的干密度瓶的重量，而后称出充满甲基化酒精液体的瓶重。做完上述工作，将液体倒入贮存瓶，用水充满密度瓶，再称重。在此过程中，要始终保持瓶外是干燥的。

测量数据如下，结果由相对密度方程求得。

空瓶的质量 = 克

充满液体瓶的质量 = 克

液体的质量 = 克

瓶内充满水的质量 = 克

同体积水的质量 = 克

漂浮与沉降

物体在比其本身密度小的液体中沉降，反之，则部分或全部漂浮在液面上。例如，密度为 2.5 克/厘米³ 的一块玻璃，在水（密度为 1.0 克/厘米³）中沉降，但却在水银（密度为 13.6 克/厘米³）液面上漂浮。一个铁钉在水中下沉，但轮船却漂浮于水中，这是因为船体包含空气，船体和空气的平均密度比水小，所以船体不下沉。

图 31.13 所示盛有液体的容器。虚线圈出一小部分液体。设这部

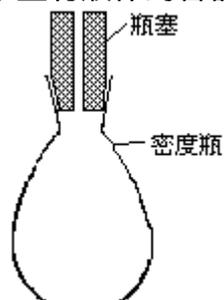


图 31.12

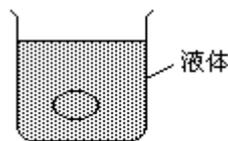


图 31.13

分液体保持在一定的位置，若将其它液体取出，则这部分液体将下沉；在液体中，这部分液体受到一个与它本身重量相同的向上的力（浮力）的作用。

假设先称出石头的重量（图 31.14 (a)）然后将这块石头投入液体中，石头下沉排开液体，并受到一个向上的力的作用，这个力等于石头所排开的液体的重量。虽然石头重量不大，但所受的浮力仍然小于石头的重量，所以石头下沉[图 31.14 (b)]。一个浸在液体里的木塞，总要浮在液体的表面上，这是因为液体的浮力大于木塞本身的重量[图 31.14 (c)]。

密度计算的公式

如果我们用 d 表示密度、 m 表示质量、 V 表示体积，则可得到下列公式：

$$d = \frac{m}{V} \quad (1)$$

此公式也可写成另外两种形式：

$$m = dV \quad (2)$$

及
$$V = \frac{m}{d} \quad (3)$$

时间

时间的单位是秒 (s)。在钟表里，时间的测量是利用某种恒定重复的作用来实现的。很多钟表里就有这种重复摆动的小摆轮。现代钟表，其运动是利用石英晶体的振荡来控制的。摆钟是由钟摆的摆动来控制的。

实验 5 单摆

单摆由一根线和一个金属球组成，其线的一端固定，另一端与金属球（也称作摆锤）连接。

单摆的周期 (T) 是指单摆完成一次全摆动所需要的时间, 即单摆从 O 到 A 又回到 O, 再从 O 到 B 又回到 O 所用的时间 (或从 A 到 B 再返回到 A) (图 31.15)。

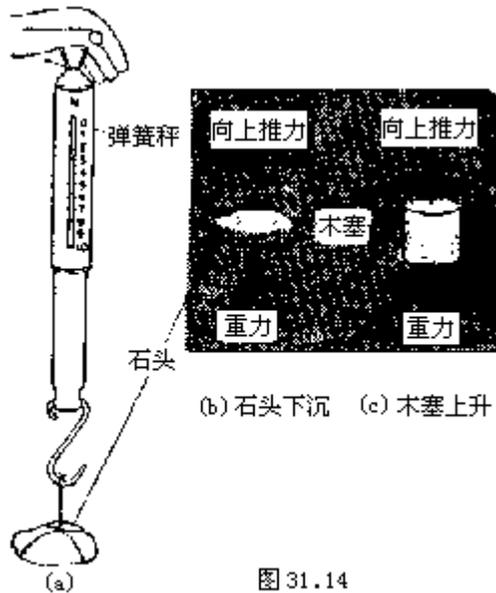


图 31.14

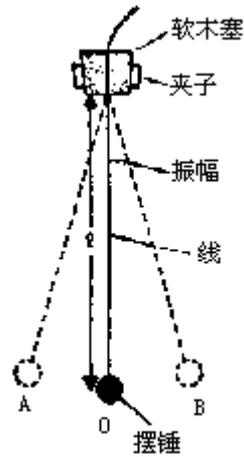


图 31.15

摆长 l 是指从支撑架下端到摆锤的中心。

振幅 是指摆锤的平衡位置与摆锤向某一侧摆动时所能达到的最远位置的夹角。

如图 31.15 所示的单摆, 其摆长约 25 厘米。

(a) 振幅的影响当 $\theta = 10^\circ$ 时, 测量完成 100 次全摆动所需要的时间, 用秒表示。其操作是先将摆锤推到一边, 使其与平衡(垂直)位置成 10° 角, 角度可用量角器测量。然后使摆锤运动, 当它沿同一方向通过零点时计数 3, 2, 1, 0, 1, ...100。计时由 0 开始到 100 为止。所计时间表示为 $100T$ 。

当 $\theta = 20^\circ$ 和 30° 时, 重复上述实验, 并将其结果记在下表。

	100T	T
10°		
20°		
30°		

· T 与 有关吗?

(b) 摆长的影响 将摆长 l 增到 50 厘米, 并测量 $\theta = 10^\circ$ 时, 完成 100 次全摆动所需要的时间。对 $l = 100$ 厘米的情况, 重复试验。将实验结果汇列于下表。

l	100T	T
25 厘米		
50 厘米		
100 厘米		

· 当 l 增加时, T 有何变化?

(c) 摆锤的影响求当 $l=100$ 厘米, $\theta=10^\circ$, 摆锤的重量增加或减少时完成 100 次全摆动所需要的时间。

100 次全摆动的时间 (100T) = 秒

T = 秒

· 摆锤的质量对 T 有影响吗?

通过实验应能观察到:

a. T 与 无关 (除非 很大);

b. 当 l 增加时, T 也增加;

c. T 与摆锤的质量无关。

习题

1. 下列数据是多少毫米: (a) 1 厘米, (b) 4 厘米, (c) 0.5 厘米, (d) 6.7 厘米, (e) 1 米?

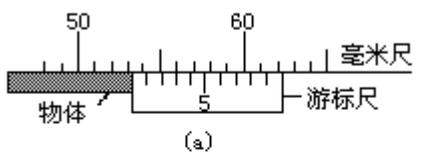
2. 以米 (m) 为单位, 写出下列长度: (a) 300 厘米, (b) 550 厘米, (c) 870 厘米, (d) 43 厘米, (e) 100 毫米。

3. 写出图 31.16 所示的物体的长度。

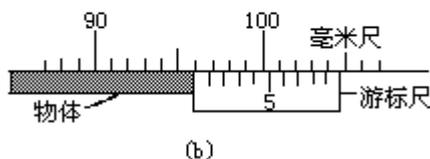
4. 写出图 31.17 中螺旋千分尺的读数。

5. 一矩形金属块各边长为 10 厘米 \times 2 厘米 \times 2 厘米, 求其体积? 由它可形成多少个 2 厘米 \times 2 厘米 \times 2 厘米的金属块?

6. 在 4 米 \times 2 米 \times 1 米的空间, 能贮存多少个 1 米 \times 0.5 米 \times 0.2 米的箱子?



(a)



(b)

图 31.16



(a)

(b)

图 31.17

7. 一有机玻璃盒子, 其底面各边长为 6 厘米, 内盛 7 厘米高的水 (图 31.18)。

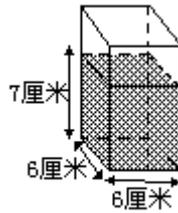


图 31.18

- (a) 水的体积为多少？
- (b) 把一块石头完全淹没在水里、水向上升到 9 厘米，求排出水的体积？
8. (a) 如果木头的密度是 0.5 克/厘米^3 ，则木头的体积分别为 (i) 1 厘米^3 ，(ii) 2 厘米^3 ，(iii) 10 厘米^3 时的质量是多少？
- (b) 求物体的密度，(i) 质量为 100 克，体积为 10 厘米^3 ，(ii) 质量为 9 千克，体积为 3 厘米^3 ？
- (c) 黄金的密度是 19 克/厘米^3 ，质量分别为 (i) 38 克，(ii) 95 克的黄金的体积各是多少？
9. 求体积为 12 厘米^3 ，质量为 96 克钢块的密度，其单位用 (a) 克/厘米³，(b) 千克/米³？
10. 求体积为 5 米^3 ，密度为 3000 千克/米^3 的水泥的质量？
11. 若空气的密度为 1.3 千克/米^3 ，求 $10 \text{ 米} \times 5 \text{ 米} \times 2 \text{ 米}$ 的房间内空气的质量？
12. 一有机玻璃盒，其正方形底面边长为 10 厘米，内盛 10 厘米高的水。将一个质量为 500 克的岩石块浸没在水中，其水位上升到 12 厘米，
- (a) 岩石块排开水的体积是多少？
- (b) 岩石块的体积是多少？
- (c) 试计算岩石块的密度。
13. 一空密度瓶质量为 70 克，充满水时为 90 克，充满某液体时为 94 克，问该液体的相对密度是多少？

§ 32 力的概念

力是作用于一物体的推力或拉力。力的作用结果：

- 使物体由静止到运动；
- 改变运动物体的运动速度或方向；
- 改变物体的形状。

一个举重运动员，当举起哑铃时，先用拉力，而后再用推力。如图 32.1 所示。

有些力，象人体肌肉作用的力，必须与物体相接触，才能发挥其作用。

还有一些力不直接作用在物体上，而是通过空间起作用的，这类力称为超距作用力。如磁力和电力就是这种形式的力。重力（万有引力）也是超距作用力。

重量

由实践人们认识到重力即地球引力。由于地球引力的作用，使没有支撑的物体从静止状态掉落到地上。

物体的重量就是地球作用其上的重力。

物体离地心越近，则地球对它的引力就越大。因为地球不完全是球形，所以一个物体的重量在地球表面各处是不同的。物体在两极的重量比在赤道处的重量为大。

力的单位：牛顿

力的 SI 单位是牛顿（N）。它的定义见 § 36。定义的依据是作用在物体上的力能改变物体的运动速度。重量是一种力，所以应该用牛顿作单位来计量。一个中等大小的苹果的重量大约是 1 牛顿。

将物体悬挂在以牛顿为单位的弹簧秤上，物体拉伸弹簧可以测量物体的重量（图 32.2）。拉力越大，弹簧拉伸得越长。地球上质量为 1 千克的物体，其重量等于 9.8 牛顿，通常用 10 牛顿表示；质量为 2 千克的物体，其重量为 20 牛顿，依此类推。物体的质量在地球上任何位置是不变的，而重量则取决于物体所处的位置。

质量是由杆式秤、梁式天平或托盘秤来测量的；重量则是由弹簧秤测量的。弹簧秤是以千克或克为标记的；读数为 1 千克相当于 10 牛顿，读数为 100 克相当于 1 牛顿（在地球上）。

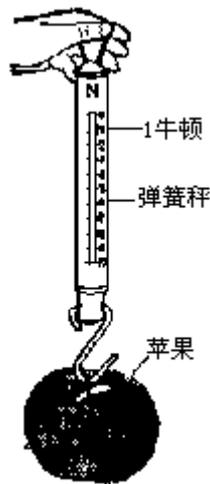


图 32.2

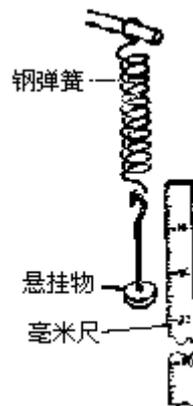


图 32.3

实验 1 拉伸弹簧

如图 32.3 所示，安装一弹簧装置，读出悬挂物下端所对应的直尺刻度。加 100 克的负荷，记录读数；加 200 克、300 克的负荷，重复试验。将每次读数记入下表。

负 荷	直尺读数	总伸长量 (伸长部分)
克	毫米	毫米
0		
100		
200		
300		

· 拉伸弹簧时，弹簧状态如何？其结果符合哪一定律？

有时将实验结果作图，可以容易地得到科学定律。做实验获得沿 y 轴负荷的读数和沿 x 轴弹簧总伸长量的读数。每一对读数都有一对应点，此点用小十字叉表示。通过这些点作光滑曲线。

· 该曲线是什么形状？

虎克定律

大约 300 年前，一个名叫罗伯特·虎克的人对弹簧作了研究。他发现如下的规律：

只要弹簧不是永久被拉伸，则弹簧总伸长量与拉力（负荷）成正比。

意思就是作用在弹簧上的力增加一倍，弹簧的伸长量也增加一倍；力增加两倍，伸长量也增加两倍。依次类推。用数学符号表示虎克定律，可写成：

$$\text{总的伸长量} \propto \text{拉力}$$

上式只有在弹簧没有超过它的弹性极限，也就是除去作用在弹簧上的力后，弹簧能恢复到原来的形状时才是正确的。

图 32.4 中的曲线表示弹簧已被拉伸并超过了弹性极限 E。

OE 是通过原点 O 的直线，这条直线遵循虎克定律。如果弹簧受力拉伸到 A 点，当外力撤消后，存在残余伸长量 OS。

图 32.4 中超过弹簧秤工作范围的是哪一部分？

摩擦力

摩擦力是物体相对平面运动或试图在另一物体上运动时的接触力。摩擦力是一个很有用的力。例如，走路时它是必不可少的，当脚向后蹬地面时，摩擦力反作用于脚上。如果摩擦力大大减少，如脚踩上油布或香蕉皮，人就可能摔倒——这就是没有摩擦力的结果！

还有许多应用摩擦力的例子，道路上行驶的自行车和其它交通工具的轮子，静止在稍倾斜斜面上的物体、制动器，甚至举起或握住物体，都离不开摩擦力。

摩擦力也是有害的，尤其使机械设备中的运动部件产生磨损，为了减小摩擦力，工程师在摩擦位使用如油类的润滑剂。

图 32.5 所示的木块放在桌面上，用弹簧秤拉动木块。拉力 P 逐渐增加。开始木块不动，这是因为施加的力等于作用在木块与桌面间方向相反的摩擦力 (F)。随着 P 的增加，F 也增加，在任何情况下 P=F。

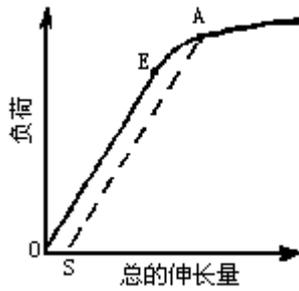


图 32.4

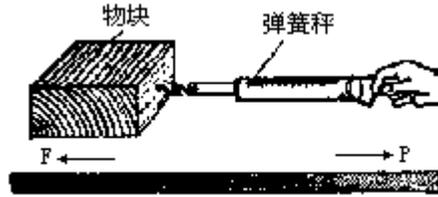


图 32.5

如果 P 增加超过一定值，木块开始运动。当木块刚发生运动之前， F 达到最大值，这个最大值称为静摩擦力或极限摩擦力。当木块恒速运动时，弹簧秤的读数略有减小，说明滑动摩擦力或动力摩擦力比静摩擦力小。

如果在木块上添加重物，正压力增加，静摩擦力和滑动摩擦力也增加。

表面张力

虽然钢针比水的密度大，但却能够浮在纯净的水面上。将漏斗垂直倒插在净化的溶液中，在把它提起来时可形成薄膜（图 32.6 (a)）。在图 32.6 (b) 中，当线环内的薄膜破碎时，线环就形成一个完整的圆圈（图 32.6 (c)）。

由这些观察现象可以认为在容器里或薄膜上的液体表面上好象覆盖了一个试图收缩的弹性外壳，这种效应称表面张力。如果往液体中加入“污染物”，那么表面张力就会减小，例如把清洁剂加入水中，则原来浮在水面上的钢针就会下沉。

表面张力是由于在液体表面中的分子间距略大于其它部位的分子间距而产生的，如同伸展的导线。

粘着力和聚合力

同种物质分子间的吸引力称为聚合力。异种物质分子间的吸引力称为粘着力。水对玻璃的粘着力大于水的聚合力。溢到纯洁玻璃上的水，借助薄膜伸展浸湿玻璃表面。相对而言，溢在玻璃上的水银，只形成很小的球滴或较大的扁平块，因为水银的聚合力大于水银对玻璃的粘着力。

清洁剂的清洁作用取决于它削弱水的聚合力的能力。清洁剂常用来清洗织物上的油污，这是由于它使水不能形成液滴，而是渗透到织物里，所以能清除油污。

毛细现象

如果把一个很细的玻璃管（一个毛细管）插在水里，那么管内水面可上升几厘米的高度（图 32.7 (a)）。管子越细，水面上升得越高。因为水与玻璃之间的粘着力大于水分子间的聚合力，所以液面形成向上的曲线且水上升。

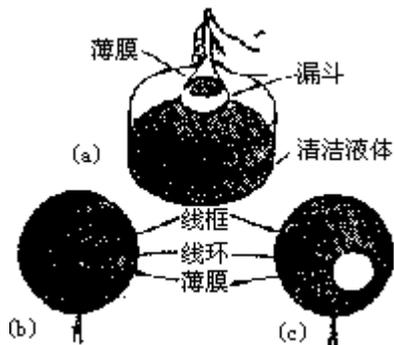


图 32.6

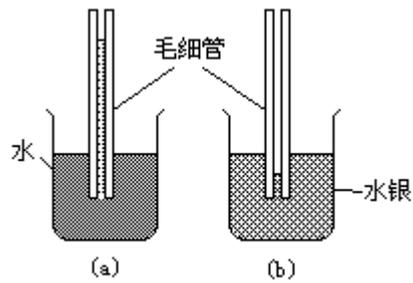


图 32.7

吸水墨纸的作用就是在纤维之间狭小的空间里存在毛细作用。燃油灯的油沿灯芯上升也同样靠毛细作用。一栋房子的防湿层，即在地面上地板下墙壁中的无孔材料层，它的作用就是防止由于毛细作用而使地表水进入砖内气孔中，达到防潮作用。

水银中聚合力比粘着力大得多，这就是为什么在毛细管中的水银下降的原因（图 32.7 (b)）。

习题

1. 为什么气体比液体或固体更容易压缩？
2. 为什么水蒸汽的密度小于水的密度？
3. 说明下列问题：(a) 为什么气体比液体的扩散速度要大？(b) 为什么即使是在气体中扩散仍是很缓慢的（气体的分子运动很快）？
4. 一根小针能浮在少量的清洁的水面上。请解释原因：(a) 钢的密度大于水的密度，为什么钢针能浮在水面上？(b) 若水表面添加清洁剂，那么钢针下沉，为什么？
5. 将盐放入标准容量瓶中（图 32.8），加水至 250 厘米³的刻线处。振动容量瓶，直到盐全部溶解为止。请解释为什么水位会下降？



图 32.8

§ 33 力和旋转效应

当物体受力作用绕支点或枢轴转动时，如门，即发生旋转运动。力的旋转效应不仅与力的大小有关，而且还与力到支点的距离有关。例如：门的把手总是安在门外沿，这样开关门才方便。若把手距门轴很近，则要很大的力才能开或关门。同理，拧松螺帽，用长臂扳手要比用短臂扳手省力。

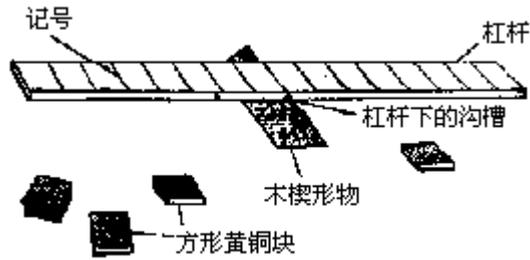


图 33.1

运用杠杆原理，在中点支承小跷跷板可使其平衡，由此我们可以看到更多的旋转效应。

实验 1 杠杆定律

将中间带有沟槽的杠杆板放在一楔形支撑物上（图 33.1），在杠杆的适当部位粘一些橡皮泥，使杠杆平衡（或近似平衡）。将一方形黄铜块放在杠杆中点左边第一个记号上，并在右边加一同等重量的黄铜块（图 33.2 (a)）以保持平衡。最好将后边的方块放置在对应的记号上。

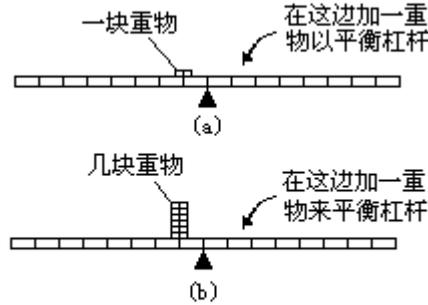


图 33.2

现在在左边第一个记号处依次再放上第 2、第 3、第 4 块黄铜等。每加一块就在右边移动原有的那一黄铜块，以使杠杆保持平衡（图 33.2 (b)）。记录每次结果，进行比较。将左边黄铜块放置在其它位置再做实验，右边也用铜块来平衡。

左边黄铜块数						右边黄铜块数									
7	6	5	4	3	2	1	由中心的标号		1	2	3	4	5	6	7
						1									
						1									
						2									
						3									
						M									

· 当杠杆平衡时，你能由支点两边的黄铜块数和它们到支点的距离得出什么结论？

力矩

力的旋转效应或力矩既与力的大小又与力的作用点到支点的距离有关。因此，用力与距离的乘积来表示力矩。但应注意距离是指作用力到支点（或转轴）的垂直距离。

力矩=作用力 × 力到支点的垂直距离

力矩的单位是牛顿·米（N·m）。图 33.3 (a) 中 AB 是跷跷板，作用于 A 点的力矩引起 AB 绕 O 点逆时针转动，其值为 $400 \times 3 = 1200$ 牛顿·米。

如果有另外一个作用力 F 作用在如图 33.3 (b) 中所示位置，要保持杠杆平衡，就要使 F 的力矩绕 O 点顺时针方向转动，且大小等于 400 牛顿力所产生的逆时针转动的力矩的大小。F 绕 O 点的力矩大小为 $F \times 2$ 牛顿米，因此：

$$F \times 2 = 400 \times 3$$

$$\therefore F = \frac{400 \times 3}{2} = \frac{1200}{2} = 600 \text{ 牛顿}$$

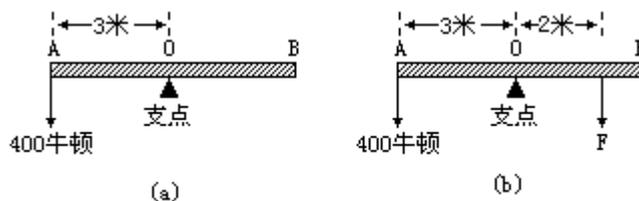


图 33.3

一般来说，若杠杆处于平衡状态，那么，对于任一支点所有顺时针方向的力矩和等于所有逆时针方向的力矩和。这就是所谓的杠杆定律或称力矩定律，这是个很重要的法则。

例题

1. 一个体重 300 牛顿（30 千克）的女孩坐在距中心支点 2 米远的跷跷板上，一个 400 牛顿（40 千克）的男孩应坐于何处，才能使跷跷板平衡（图 33.4）？

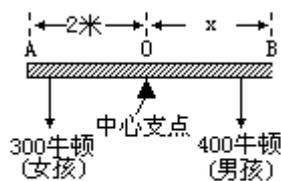


图 33.4

对支点 O 的力矩：

逆时针力矩 = $300 \times OA$

$$= 300 \times 2 = 600 \text{ 牛顿·米}$$

顺时针力矩 = $400 \times OB = 400 \times x$ 牛顿米

根据杠杆定律，跷跷板平衡时，必须

顺时针力矩 = 逆时针力矩

$$400 \times x = 600$$

$$\therefore x = \frac{600}{400} = \frac{6}{4} = 1.5 \text{米}$$

2. 图 33.5 所示的跷跷板处于平衡状态，当体重为 320 牛顿的 Sue 在 A 点，体重为 540 牛顿的 Tom 在 B 点，体重为 W 的 Harry 在 C 点时求 W。

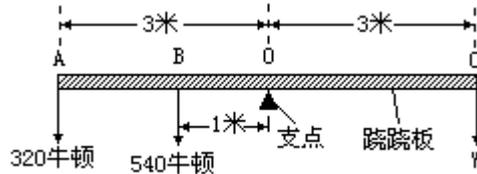


图 33.5

对支点 O 的力矩：

$$\text{逆时针力矩} = 320 \times 3 + 540 \times 1 = 1500 \text{ 牛顿} \cdot \text{米}$$

$$\text{顺时针力矩} = (W \times 3) \text{ 牛顿米}$$

根据杠杆定律：

$$\text{顺时针力矩} = \text{逆时针力矩}$$

$$3W = 1500$$

$$W = 500 \text{ 牛顿}$$

杠杆

杠杆是一能绕支点转动的工具，在杠杆中被称作有效力的力是用来克服作用在杠杆另一端的作用载荷的。

我们用撬杠移动重物时（图 33.6 (a)），手在杠杆的一端施加作用力，而另一端是载荷的作用力。如果到支点 O 的距离如图所示，且载荷为 1000 牛顿，那么所需要的力，可根据杠杆定律求得。当重物刚要移动时，则对于 O 点的力矩为：

$$\text{顺时针力矩} = \text{逆时针力矩}$$

$$\text{作用力} \times 200 = 1000 \times 10$$

$$\text{作用力} = 50 \text{ 牛顿}$$

撬杠的作用在于使作用力放大了 20 倍，但作用力距支点的距离必须比载荷距支点的距离要远得多。

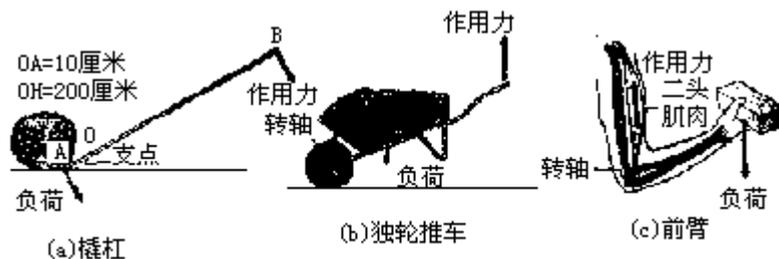


图 33.6

应用杠杆的其它例子，如图 33.3 (b) 和图 33.3 (c) 所示。在图 (b) 中，载荷位于作用力与支点之间，这种情况如同 (a) 的情形，作用力小于

载荷；在图 (c) 中，作用力（由二头肌肉收缩产生）位于载荷与支点之间，比载荷大，但载荷作用点距支点的距离大于作用力作用点距支点的距离。

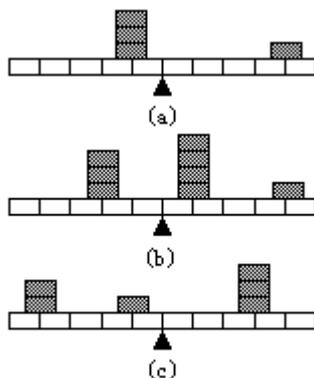


图 33.7

习题

1. 将相同的硬币置于记号间隔为 10 厘米的米尺上，如图 33.7 所示。请回答在 (a)、(b)、(c) 三种情况下，尺是顺时针转动，还是逆时针转动，或者是保持平衡？

2. (a) 在图 33.8a 所示的情况中，杠杆平衡吗？

(b) 如果图 33.8b 中的杠杆平衡，求 F 值。

3. 在一测试小孩体重的实验中，一 6 米长的平板，其中心为支点。小孩站

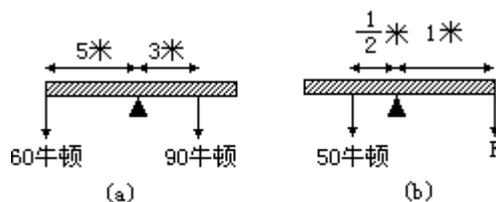


图 33.8

在板上距支点 0.4 米处，板的另一端放置一 80 牛顿(8 千克)的载荷来平衡，那么小孩的体重是多少？

4. 在图 33.9 中， $XY=XZ$ ，当杠杆平衡时，求图示两种情况下的力 F。

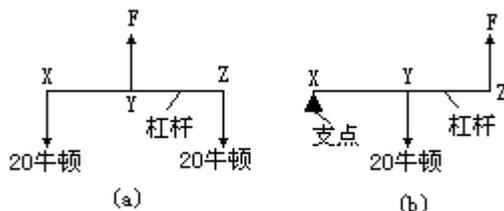


图 33.9

§ 34 重 心

设物体的全部重量都集中于一点，则该点称为重心（ $c \cdot g$ ）（虽然地球的引力作用于物体的每一部分）。直尺的重心在其中心，当以中心为支点时，直尺就平衡（图 34.1（a））。若任取另外一点作支点，则由于其自重 W 绕支点的力矩不等于零，直尺将发生倾斜（图 34.1（b））。

人体的重心总是在人体的中心位置，而且重心到地面的垂直线必须在双脚掌之间的面积内，否则人就会跌倒。不妨试一试，将身体一



图 34.1



图 34.2

侧紧靠墙壁（图 34.2），而后，试着抬起外侧的腿。

· 你能做到不跌倒吗？

一个走钢丝绳的演员必须时刻保持重心在绳子的正上方。有些演员手握一根长杆来控制平衡（图 34.3）。演员们利用长杆可将重心均匀地分布，当他向一侧倾斜时，就将杆子移向另一侧。

密度均匀规则形状的物体的重心都是在物体的中心。其它情况，重心可通过实验求得。

实验 1 用吊锤线找重心

设找一个不规则形状的薄纸片的重心。

在薄纸片 A 点钻一小孔，将它悬挂于墙上的钉子上，使其可以自由摆动。当其重心处于 A 点的正下方时，即可保持静止不动。在 A 点再挂一吊锤（线和重物组成）（图 34.4），沿吊锤线在薄片上做一记号 AB，重心一定在 AB 线上。

在另一位置 C 作与上相同的工作，标出吊锤线的记号 CD，纸片的重心一定在 CD 上，而且就是 CD 与 AB 的交点。还可钻第 3 个孔重复上述实验，以检验所找到的重心是否正确。也可用手指支于该点，看纸片是否处于平衡。

倾倒

物体重心的位置决定物体是否易于倾倒。这一点在设计高型运输车辆

(它们在转弯时容易倾倒)、赛车、台灯乃至茶杯时极为重要。

当物体的重心铅垂线落在其基线以外时(图 34.5 (a)), 物体倾倒。反之, 则保持稳定(图 34.5 (b))。

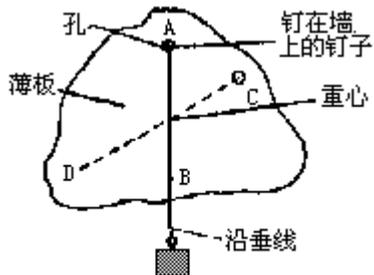


图 34.4

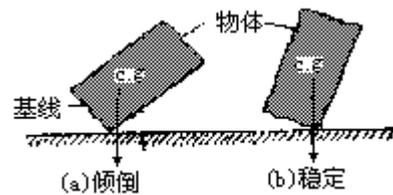


图 34.5

倾倒现象可这样测试: 将一空罐头盒放在表面粗糙的平板上, 将平板慢慢地翘起。当罐头翻倒时, 记下倾斜角。若在罐头盒内放上 1 千克的重物, 再重复上述实验。

· 这样做对重心位置有何影响?

用同等高度而宽度增大的罐头盒, 再做一次实验。我们可以看到, 重罐头盒在更大的倾斜角时才被翻倒。

因此, 可以通过以下方式增加物体的稳定性:

- (i) 降低物体的重心;
- (ii) 增大物体的底面积。

图 34.6 (a) 中正在测试拖拉机的重心。对于一台崭新设计的拖拉机, 测量其重心是非常重要的。因为拖拉机经常在凹凸不平的地面上行驶, 所以必须考虑稳定性问题。图 34.6 (b) 是测一双层客车的稳定性。当客车仅在上层坐满乘客时(测试时以沙袋代替乘客), 必须保证倾斜角达到 28° , 客车也不致于倾斜。赛车重心低, 轮胎宽。

稳定性

有关稳定性的三种情况

(a) 若将物体稍稍移出平衡位置, 放手后, 物体能自己回到平衡位置, 称稳定平衡。图 34.7 (a) 中, 球放在下凹器皿中就是这样的例子。当球移动时, 其重心升高, 由于物体的自重绕其接触点产生一个力矩, 使其返回原来位置。

(b) 若将物体移出平衡位置, 放手后, 物体离平衡位置越来越远, 称不稳定平衡。图 34.7 (b) 所示就是这样的例子。当图中物体稍稍移动时, 则其重心下降。

(c) 当物体移出平衡位置后, 在新的位置物体仍能保持平衡, 称为随遇平衡(图 34.7 (c))。它的重心即不升高, 也不降低。

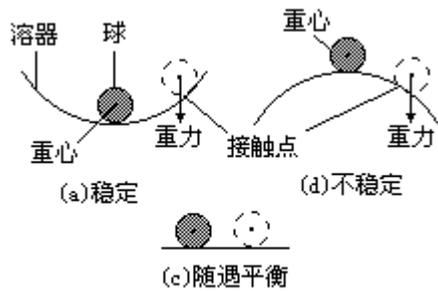


图 34.7

习题

1. 一不规则形状的薄纸片，依次在 A、B 两点自由悬挂。标出图 34.8 中薄纸片的重心位置。画出在 C 点悬挂时相应的铅垂线。

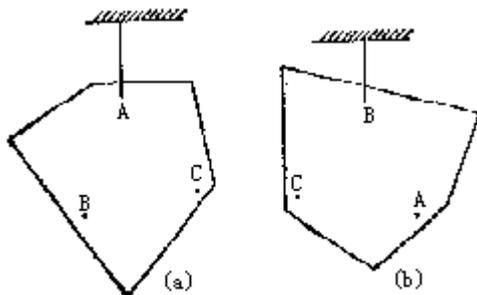


图 34.8

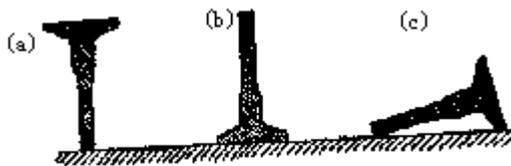


图 34.9

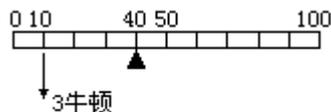


图 34.10

2. 如图 34.9 所示的本生 (Bunsen) 灯有三种放置方法。请回答各为何种稳定状态。(a) 稳定平衡，(b) 不稳定平衡，(c) 随遇平衡。

3. 在图 34.1 (c) 中均匀棒的重量为 10 牛顿 (厚度均匀)，棒是平衡，还是向左或向右倾斜？为什么？

§ 35 力和压强

压强

要说明作用在物体上的力所产生的某些效果，不仅要研究力，而且还要研究力作用的面积。例如，穿戴上滑雪橇就可防止滑雪者陷入松软的雪中，这是由于人体重量分布在面积较大的滑雪板上。因此可以说，压强是小的。

力的作用面积越大，压强就越小。所以具有较宽履带的拖拉机能通过土

质松软的地带。当面积小时，压强就大，因此钉子制成尖头。

压强实际就是作用在单位面积上的力，其计算式为：

$$\text{压强} = \frac{\text{力}}{\text{面积}}$$

压强的单位是帕斯卡 (Pa)；帕斯卡等于 1 牛顿每平方米 (N/m^2)。这是一个很小的压强单位。手中的一个苹果就产生大约 1000 帕的压强。

同样的盒子，(a) 立放在地板上，(b) 平放在地板上，它对地板的压力不同，如图 35.1 所示。

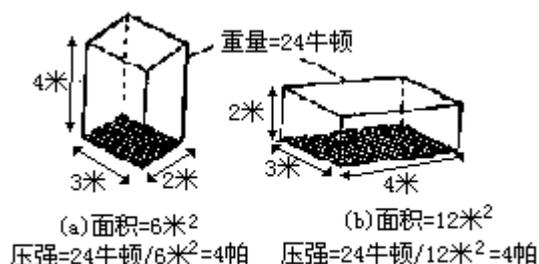


图 35.1

液体压强

(a) 液体压强随深度的增加而增加从图 35.2 中看出，最底下的孔水喷出得最远、最快，因为越向下，液体上的重量越大。

(b) 同一深度处液体作用于任意方向的压强相等图 35.3 为一盛水容器，在容器内同一水平面的器壁上开许多大小相等的小孔，从这些小孔流出的水，速度和射程均相同。所以在同一深度，液体所产生的压强在任何方向都是相等的。



图 35.2

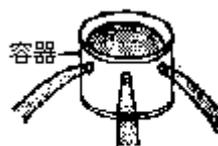


图 35.3

(c) 自调液平面在图 35.4 (a) 所示的 U 型管中，P 处液体压强大于 Q 处液体压强，因为左侧液柱高于右侧液柱。当打开夹子时，液体由 P 流向 Q，直到两侧压强和水平面相等时为止，即液体自动调节液面。尽管此时 Q 处液体重量大于 P 处液体重量，但由于管 Q 较粗，其压力是作用在较大的面积上。

在图 35.4 (b) 中，每个管内的液面高度都相同，因而可以证实：对液柱底部的压强只取决于液体的垂直深度，而与管子的尺寸和形状无关。

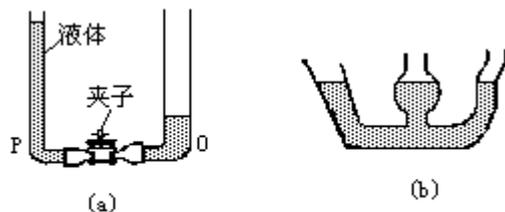


图 35.4

供水系统

一个城镇的供水经常是由高位水库提供的。水通过管道输送到位于水库水位以下的自来水站处或贮水槽中（图 35.5）。待供水的位置越低，则水的压强越大。



图 35.5

· 为什么高层建筑物必须安装水泵，并把水先打入顶部的一大贮水槽中？

供水的水库或水力发电站常建在山间里，在山谷的一端建一水坝。由于底部的水压大，所以水坝底部的厚度必须大于顶部的厚度（图 35.6）。

液压机械

液体几乎不可压缩（也即液体的体积不能通过挤压减小），但液体可以传递压强。这点已被液压机械的使用所证明。图 35.7 显示了它们的工作原理。设 1 牛顿向下的力作用在面积为 $1/100$ 米²的活塞 A 上，通过液体传递的压强是：

$$\text{压强} = \frac{\text{力}}{\text{面积}}$$

$$\frac{1}{1/100} = 100\text{Pa}$$

这一压强作用在面积为 $1/2$ 米²的活塞 B 上，则总的向上的力或作用在 B 上的推力为：

$$\text{力} = \text{压强} \times \text{面积}$$

$$= 100 \times \frac{1}{2} = 50\text{N}$$

这样一来，1 牛顿的力产生了 50 牛顿的力。

在液压千斤顶（图 35.8）活塞 B 上有一平板，在车库里它可用来支承汽

车。当活塞 A 上下往复运动时，两个阀门只向右边打开，从而

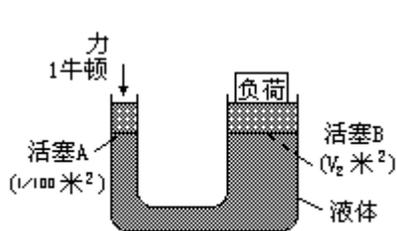


图 35.7

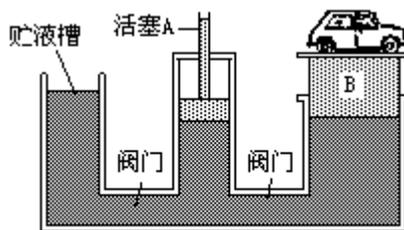


图 35.8

使得 B 可以向上移动一段距离。液压叉式起重机工作原理与此相似。在液压机中，B 上有一固定板，如图 35.9 所示的一种液压机，在 B 与板之间放置一薄钢板冲压成汽车车身。液压汽车制动器如图 35.10 所示。当踏动制动器踏板时，主汽缸活塞对刹车油施加压力，使得压强等量地传递到另外八个活塞上（图中只显示四个活塞），最终迫使制动块或凸缘阻止车轮转动，直至停车。

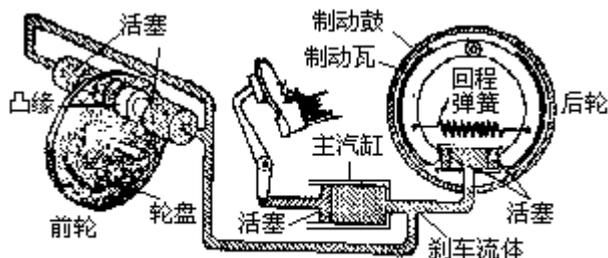


图 35.10

泵

喷射器

医生使用注射器给病人注射，园林工人使用喷雾器向植物喷洒液体。喷射器由圆筒内密封活塞组成（图 35.11）。向上拉动活塞，则插入液面下的喷嘴可将液体吸满圆筒。因为向上拉动活塞时，圆筒内的空气压减小，所以在大气压力作用下，液体进入圆筒。向下推动活塞时，液体则由喷嘴喷出。

抽水机

很早以前，人们从井里提水就已使用抽水机了，现在有些农村仍然采用这种方法提水。提升机有两个阀门，一个在活塞上，另一个在圆筒底部。阀门打开，水只能向上流动。阀是一块皮革，受金属圆盘重力的作用，正常情况下是关闭的。

抽水机使用之前，先把水倒入其活塞面上，以防止空气渗入。抽水机经几个冲程后圆筒内充满水，结果产生以下作用。

向上冲程（图 35.12(a)），阀门 A 关闭，活塞下部圆筒内的压强降低。

大气压力作用在井水表面上，此时推动井水经管道通过阀门 B 向上流动，活塞上部的水被提升并从喷嘴流出。

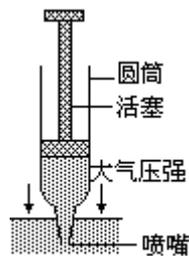


图 35.11

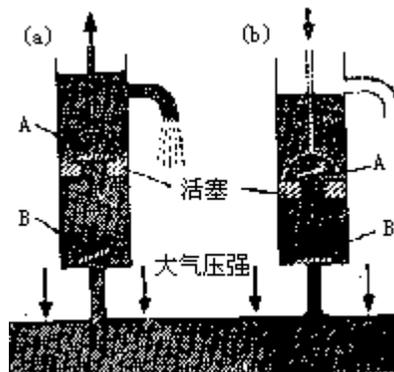


图 35.12

向下冲程（图 35.12 (b)），阀门 B 由于其上水压的作用而关闭，阀门 A 打开，水通过阀门进入活塞上部的圆筒内。

大气压强只能达到 10 米水柱高，这是抽水机所能达到的最大高度。事实上，由于阀门和活塞的渗漏，实际高度比 10 米水柱要低。

压力泵

如果泵本身 10 米高的水柱，那么压力泵的扬程可超过 10 米。

在向上的冲程中（图 35.13），阀门 A 关闭，在大气压强的作用下，水通过阀门 B 进入泵体。

在向下的冲程中，阀门 B 关闭，水通过阀门 A 压入储水室 C，并流出喷口 D。C 中的空气被压缩，在进行下一个向上冲程时，C 中的空气膨胀，以保持水不断地从 D 中流出。

自行车打气筒

当推动气筒柱塞时，柱塞和轮胎阀之间的空气被压缩，使得皮碗边缘与筒壁形成密封圈，起密封作用（图 35.14）。当皮碗和阀之间的空气压强超过轮胎内的压强时，空气通过轮胎阀进入轮胎。

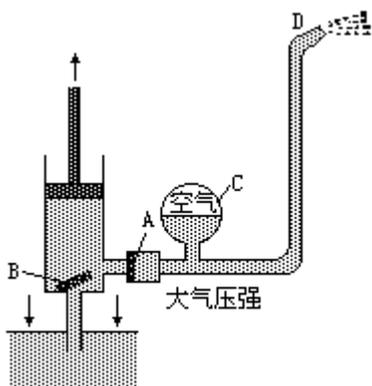


图 35.13

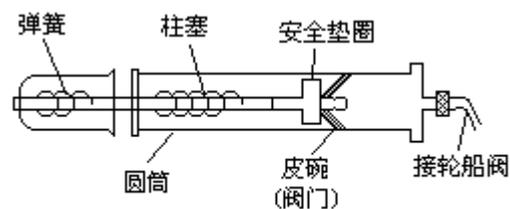


图 35.14

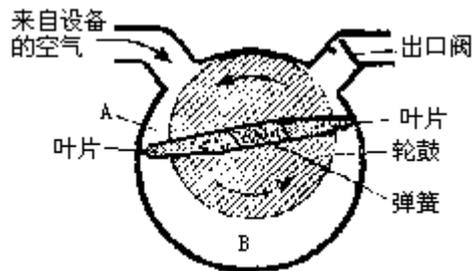


图 35.16

当拉回柱塞时，轮胎内较大的压强使轮胎阀关闭，皮碗与筒壁不再起密封作用，且在大气压力的作用下，空气通过皮碗进入筒体。

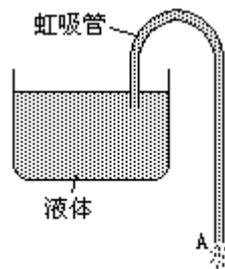


图 35.17

真空泵

现代真空泵如图 35.15 所示。图 35.16 揭示了真空泵是怎样工作的。图 35.16 中的轮鼓和叶片由电机带动旋转。空间 A 的体积增加，压强减小，抽出设备中的空气；空间 B 中的空气被压缩，排气阀打开。这种现象每旋转半圈发生一次。直到空气被几乎排尽为止。

虹吸管

通常只靠虹吸管就能将空器中的液体排空。为了启动虹吸管，管内必须先充满液体，且尾端 A 必须低于容器内的液面（图 35.17）。

大气压强

构成地球大气层的空气向上延绵很长的距离。空气有重量。在一普通房间里的空气重约 500 牛顿，与人体重量相当。

空气分子向各个方向不停地运动。它们与各种物体碰撞，对物体产生压力。因为存在如此多的分子，所以海平面上的压力很大，且在各个方向都相同。

我们平时感觉不到大气压力的作用，这是因为我们身体内部的压强几乎与外界压强相等。但如果空气从一个地方移向另一个物体，此时就会注意到大气压强的作用。

如果将空气全部(或近于全部)从某一空间抽出,那么该空间称为真空。
空气压强的演示实验

(a) 压扁容器如果用真空泵将容器内空气抽出(图 35.18(a)),那么容器就要被压扁。这是因为容器内部压强小于外部压强(图 35.18(b))。

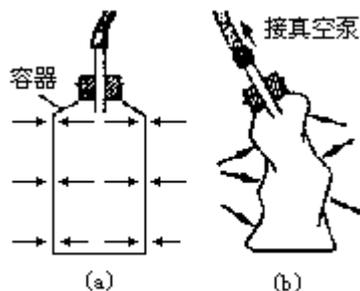


图 35.18

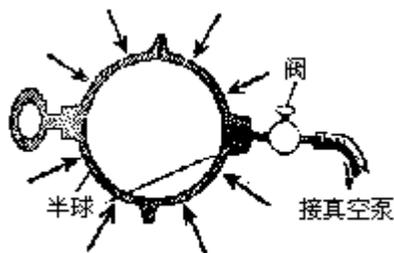


图 35.19

(b) 马德堡半球真空泵是由马德堡市市长 Von Guericke 发明的。大约 1650 年, Von Guericke 将两个较长的空心金属半球内的空气抽掉,从而组成一个密封球。被抽真空了的两个半球接合得相当牢固,以致须在两边各用八匹马组成的拉力,才能将其分开。结果证明,他的真空泵质量很好。类似的实验可由两个人用小黄铜半球来做(图 35.19)。

空气压强的利用

(a) 吸麦秆(图 35.20)当你吮吸麦秆时,空气通过麦秆进入肺里,使肺部膨胀。此时,向下作用在液体表面的大气压强大于麦秆里的空气压强,压迫液体通过麦秆进入嘴里。

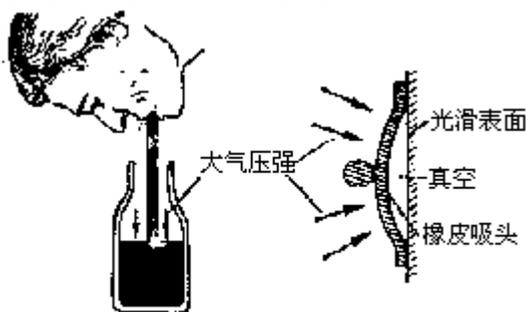


图 35.20

图 35.21

(b) 橡胶吸头(图 35.21)把橡胶吸头弄湿并压贴于光滑的平面上,将其内的空气挤掉。于是大气压强把它牢牢地紧贴在这个表面上。因此,吸头可以用做支持物,在家里用来挂毛巾,在汽车里将驾驶执照挂在挡风板上,在工业中用来提升金属块。

实验 1 测量空气压强

把刻度为 0~100 牛顿的弹簧秤与一个被弄湿且牢固地贴在光滑平面上的橡皮吸头相连接。平稳而缓慢地拉动弹簧秤。当吸头脱离平面时,记下弹簧秤的读数(F 牛顿)。重复几次试验,取其平均值。

用下列两种方法之一来求得吸头的面积 (A 厘米²)，即在一张厘米方格纸上绘出吸头的轮廓，并估计它所包含的 1 厘米² 的方格数，或者是量出吸头的半径 r ，并计算出 r^2 (圆面积)。于是，空气压强= F/A 牛顿每平方米。这只是估算值。

· 引起误差的原因是什么？

在海平面，空气压强约 10 牛顿/厘米² 或 100000 牛顿/米² (因为 1 米²=100×100 厘米²) 或 100000 帕 (100 千帕)。

压力计

压力计是用来测量由流体 (即液体或气体) 产生的压力的。

(a) 布尔登压力计布尔登压力计操作就象图 35.22 (a) 中的玩具。人越用力吹纸管，则原来卷着的纸管就越展开。在图 35.22 (b) 所示的布尔登压力计中，当施以流体压强时，弯曲的金属管试图伸直，并将带动刻度盘上的指针转动。汽车油压计和气缸压力计都是这种类型的。

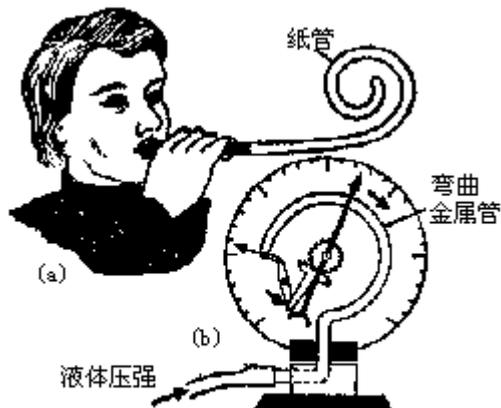


图 35.22

(b) U 型管压力计在图 35.23 (a) 系统中的各液面都受到相同的大气压强的作用，因而液位也相同。如果系统一端与供气系统相连接，见图 35.23 (b)，那么气体对 A 面施加压强并使 B 液位上升至：

$$\text{气体压强} = \text{大气压强} + \text{液柱 BC 的压强}$$

因此，液柱 BC 的压强等于超过大气压强的那部分气体压强，它等于 $10hd$ (帕)，其中 h 表示 BC 垂直高度 (米)， d 表示液体的密度 (千克/米³)。高度 h 称为液体压头，有时压强的单位不用帕，而是说它有多少厘米水柱 (或对于较大的压强用汞柱)。

水银气压计

气压计是测量大气压强的一种压力计。用一小漏斗将约 1 米长的厚壁玻璃管装满水银，这样就制得一个简易的气压计。如用手指堵住玻璃管开口端，将管子缓慢颠倒几次，则水银中大空气泡会上下移动并将小气泡聚集在一起。

然后用手指堵住充满水银的管子，将其倒置在水银槽内。当抽出手指时，管内水银下降，直到以槽内液面的基准管内水银柱高约 760

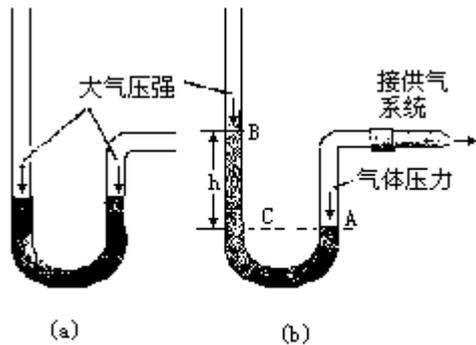


图 35.23

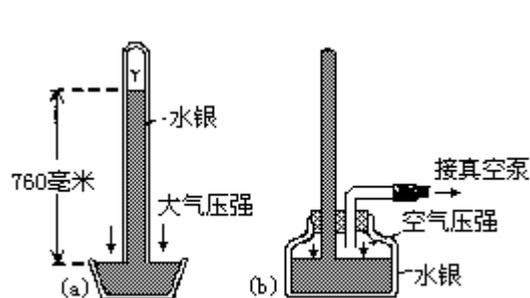


图 35.24

毫米时为止，见图 35.24 (a)。在 X 处，水银柱 XY 的重量所产生的压强等于槽中水银面上的大气压强。XY 就是所测量的大气压强，单位为毫米汞柱 (mmHg)。

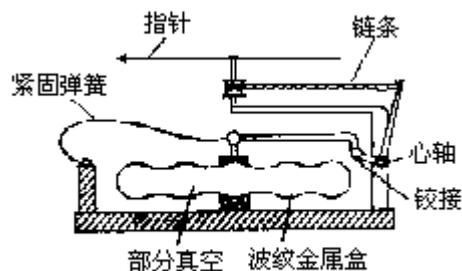


图 35.25

如果将管子倾斜，液柱垂直高度仍然不变。管子直径变大会出现不同情况吗？为什么？管内水银上方空间为真空（除少量水银蒸气外）。

· 你怎样做这个试验？

可以使用图 35.24 (b) 的装置来证实图中支撑液柱的是大气压强。当瓶中水银上方的空气被抽出时，液柱下降。

膜盒气压计

膜盒（无液体）气压计是由部分为真空的表面带有波纹的薄壁金属盒组成，波纹是为了增加膜盒的强度，结构见图 35.25。

靠一强力弹簧可以防止盒子塌陷。如果大气压强增加，盒子会轻微凹下去；如果大气压强降低，则弹簧就会将它向外绷紧。连杆系统将此位移放大并通过链条带动刻度盘上的指针转动。

膜盒气压计可用作晴雨表，高压为晴天。膜盒气压计也可用作测量飞机上升高度的测高计，因为随高度增加压强降低。

习题

1. 一个穿着掌有铁钉的细高跟鞋的女孩，对木地板的损坏程度似乎要比一只大象还要厉害，试解释这是为什么？（鞋后跟上的铁钉几乎是作用在一

点上。)

2. (a) 当 50 牛顿的力作用在如下面积的表面上时，其压强是多少？(i) 2 米^2 ，(ii) 100 米^2 ，(iii) 0.5 米^2 。

(b) 10 帕的压强作用在 3 米^2 的面积上，那么作用在这个面积上的力是多少？

3. 一个重 800 牛顿的实心方块，其底面是一个边长为 2 米的正方形，那么它作用在地面上的压强是多少？

4. (a) 图 35.2 (b) 中物块的体积是多少？

(b) 若物块的密度是 2000 千克/米^3 ，那么它的质量是多少？

(c) 此物块的重量是多少（设 1 千克质量为 10 牛顿重）？

(d) 此物块作用在地面上的压强是多少？

(e) 如果此物块是用有阴线的平面着地，那么下述两点将会产生什么影响？(i) 物块对地面的作用力，(ii) 物块对地面的压强。

5. 在液压机中，一个 20 牛顿的力作用在面积为 0.2 米^2 的活塞上，另一个活塞的面积为 2 米^2 。(a) 通过液体传递的压强是多少？(b) 作用在另一活塞上的力是多少？

6. (a) 在液压机械中，为什么“流体”必须是液体，而不是气体？

(b) 液压机械与液体的另一个什么重要性质有关？

7. 海水的密度为 1150 千克/米^3 ，试问在其海平面下 100 米处的压强是多少？

8. 如图 35.27 所示的充满水的虹吸管置于两个水容器中。画出在各容器中的水位，以使得水从 X 流入 Y 中。

9. 如果把自行车打气筒一端锯断，并将橡皮碗倒装，则打气筒就可当真空泵使用。借助简图说明其工作原理。

10. 一个简单的水银气压计如图 35.28 所示。

(a) 管内水银保持多少？

(b) A 称为什么？

(c) 气压计中所示大气压强值是多少？

(d) 如果管子 (i) 变宽，(ii) 倾斜，其大气压强是否有变化？

(e) 如果把气压计置于山上，则大气压强受何影响？

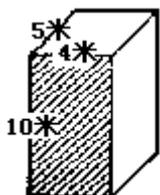


图 35.26

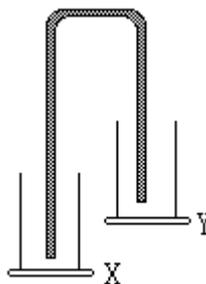


图 35.27

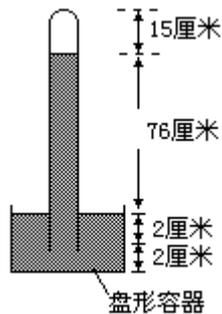


图 35.28

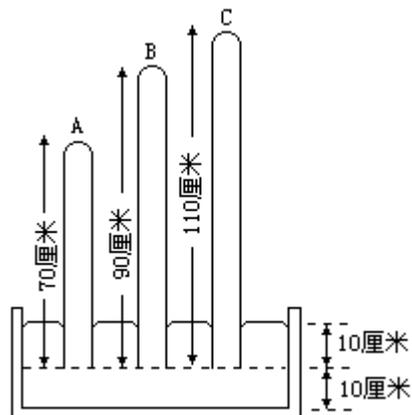


图 35.29

11. 三个一端封闭的厚玻璃管 A、B、C，长度分别为 70 厘米、90 厘米和 110 厘米，全部充满水银，然后倒过来放置在水银槽内，如图 35.29 所示。大气压强为 75 厘米汞柱。

(a) 画出简图，指出每支管内水银发生什么变化，并标出管中水银的高度。

(b) 管 B 再插进容器 5 厘米，管内水银液位发生什么变化？

(c) 如果将管 c 从容器内向上提高 5 厘米，会发生什么变化？

12. 膜压塑料的一种方法，就是利用空气压强使塑料板成型。先加热使塑料板变软，然后再加工成复杂形状，如碗、盆等。用图 35.30 解释利用大气压强的加工过程是如何进行的？

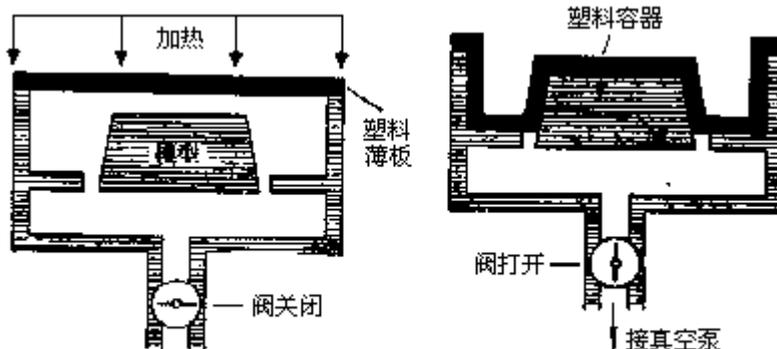


图 35.30

13. 称出一金属块在下述几种情况下的重量：(a) 在空气中，(b) 一半浸在水中，(c) 全部浸在水中，(d) 全部浸在浓盐溶液中。

获得的读数是 5 牛顿、8 牛顿、10 牛顿、6 牛顿，它们没有按顺序排列，请指出这四个读数的每一个是在哪种情况下获得的？

14. 体积为 50 厘米³、密度为 0.6 克/厘米³ 的木块浮在水上。(a) 木块的质量，(b) 所排开水的质量，(c) 浸在水中的体积，各是多少？(水的

密度=1 克/厘米³)

§ 36 力和运动

速率

如果汽车在 5 小时内行驶了 300 公里，那么它的平均速率为 $300/5=60$ 公里/小时。在整个行程中，速度计并不总是指到 60 公里/小时，而是可以有相当大的数值变化。这就是我们用平均值表示的原因。如果汽车在 5 小时内，以 60 公里/小时的恒速行驶，那么汽车的行程仍就是 300 公里，其表达式是：

$$\text{平均速率} = \frac{\text{行驶距离}}{\text{所需时间}}$$

$$v = \frac{s}{t}$$

欲求出任意时刻的真实速率，则必须知道物体在一很短的时间间隔里所经过的距离。

速度

速率是指物体单位时间内运动的距离，而速度是指物体在单位时间内以一定方向运动的距离。如果两辆汽车以 60 公里/时的速度向正北行驶，它们的速率都是 60 公里/时，向正北行驶的速度也都为 60 公里/时。如果其中一辆向正北行驶，另一辆向正南行驶，那么它们的速率相同，而速度则不同，因为它们的运动方向不同。

$$\text{速度} = \frac{\text{以一定方向运动的距离}}{\text{所需时间}}$$

如果物体沿直线以恒速率运动，那么它的速度就是均匀的(或恒定的)。如果物体沿曲线运动，那么它的运动方向时时都在改变，其速率不变，但速度时刻在变化。

速率和速度的单位相同，可为公里/时，米/秒，而且，
 $60 \text{ 公里/时} = 60000 \text{ 米}/3600 \text{ 秒} = 17 \text{ 米/秒}$

加速度

当物体的运动速度增加时，就称物体加速了。如果汽车由静止开始向正北行驶，1 秒钟后速度达到 2 米/秒，则汽车的速度在 1 秒钟内增加了 2 米/秒，它向北的加速度是每秒 2 米/秒，我们可以写成 2 米/秒^2 (m/s^2)。

加速度是单位时间内速度的变化。

$$\text{加速度} = \frac{\text{速度变化}}{\text{速度变化所需时间}}$$

在 5 秒钟内速度由 40 米/秒均匀增加到 70 米/秒，则

$$\text{加速度} = \frac{70-40}{5} = 6 \text{米/秒}^2$$

加速度、速度都是矢量，它们的大小和方向都应加以指明。然而，在这里我们只考虑直线运动，所以速度的大小等于速率，而加速度的大小等于单位时间内速率的变化。

在笔直的公路上汽车加速行驶，速度计读数显示如下：

时间（秒）	0	1	2	3	4	5	6
速率（公里/时）	0	5	10	15	20	25	30

每秒钟速率增加 5 公里/时，那么我们就说加速度是恒定的。

如果速度增加，加速度就是正的；如果速度降低，加速度就是负的。负的加速度也叫负加速度或减速度。

例题

汽车的速率是 50 公里/时，5 秒钟后，它的速率达到 60 公里/时。

(a) 以公里/时每秒为单位，汽车的加速度是多少？

(b) 如果汽车的加速度不变，那么 2 秒后汽车的速率是多少？

(c) 汽车的加速度不变，汽车速率达到 80 公里/时时，所需时间是多少？

解：

(a) 已知

$$\begin{aligned} \text{加速度} &= \frac{\text{速度的变化}}{\text{速度变化所需时间}} \\ &= \frac{60-50}{5} \\ &= \frac{10}{5} = 2 \text{公里/时每秒} \end{aligned}$$

(b) 汽车速率每秒钟增加了 2 公里/时，因此，2 秒钟后汽车增加的速率是 4 公里/时。

新的速率=60+4=64 公里/时

(c) 汽车速率达到 80 公里/时时，增加的速率为 (80-64) =16 公里/时。如果速率每秒增加 2 公里/时，那么

$$\text{所需时间} = \frac{16}{2} = 8 \text{秒}$$

纸带记时器：纸带图

利用纸带记时器(图 36.1)我们能测得速率，因而也能得到加速度的值。纸带记时器有一个每秒振动 50 次的钢条，并在通过它的纸带上每间隔 1/50 秒打一小圆点，1/50 秒就叫做一个“信号”。

两相邻小圆点间的距离等于纸带运行的平均速率，也就是说，每

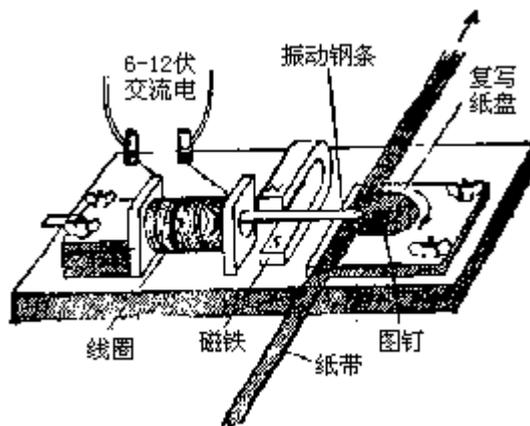


图 36.1

1/50 秒走多少厘米，即每一个信号若干厘米。每 10 个信号 (1/5 秒) 也可用来表示一个时间单位。因为每个信号点和每 10 个信号点都是很短的时间，所以可省略“平均”字样，就叫做“速率”。

纸带图是由打在纸带上的连续记号组成的，通常每 10 个信号为一段，段段相拼构成纸带图。

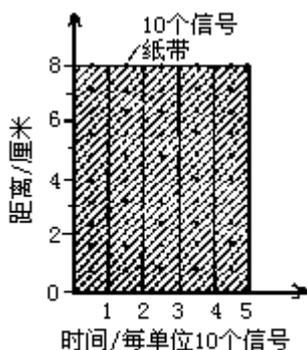


图 36.2

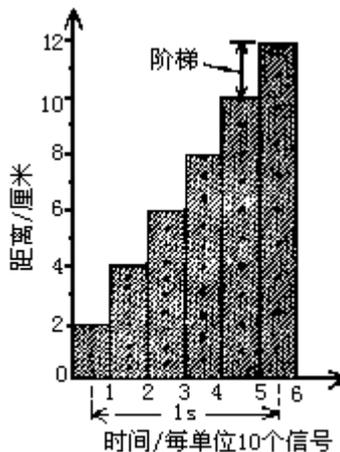


图 36.3

图 36.2 表示物体匀速运动的情况。因为每 10 个信号物体运动的距离都相等。

图 36.3 中的纸带图表示匀加速度：图中各阶梯大小相等，表示在每 10 个信号的间隔内速率的增加都相等。加速度 (平均) 可由图 36.3 求得。

图中第1段10个信号间的速率是 $2 / \frac{1}{5}$ 或 10 厘米 / 秒，等 6 段 10 个信号间的速率是 $12 / \frac{1}{5}$ 或 60 厘米 / 秒。因此，这 5 段 10 个信号间，即 1 秒钟速率的

变化是 (60-10) 厘米/秒=50 厘米/秒。

$$\text{加速度} = \frac{\text{速率的变化}}{\text{所需时间}}$$

$$= \frac{50}{1}$$

$$= 50 \text{厘米} / \text{每二次方秒}$$

$$= 50 \text{厘米} / \text{秒}^2$$

实验 1 研究运动

a. 手动通过纸带计时器向外快速移动一 2 米长的纸带，然后放慢速度，再重新加速，直到最终停止为止（图 36.4 (a)）。

将纸带按每 10 个信号一段段剪开，而后组成纸带图，并用记号标出在何处加速、减速等。

b. 在倾斜滑道上的小车。把一段纸带挂在小车上，并将小车由滑道最高处放开（图 36.4 (b)）。开始时，那些很密集的点可以忽略，其后以每 10 个信号为一段切割纸带，组成纸带图。

· 此加速度是恒定的吗？

速度-时间图

如果以物体的运动速度和相应的时间作图，则所得到的图就称为速度-时间图。它提供了解决运动问题的一种方法。纸带图只是粗略的

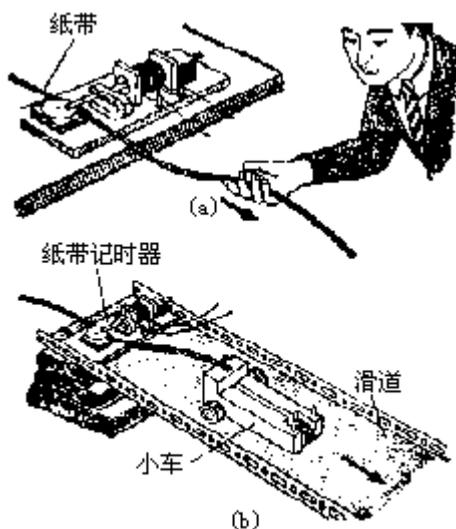


图 36.4

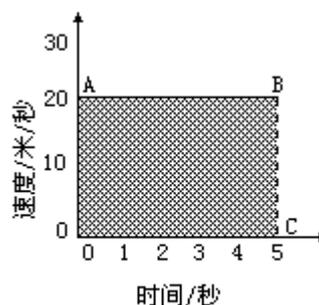


图 36.5

速度-时间图，它所表示的速度变化是跳跃式的，而不是如实际情况那样是连续的。

在速度-时间图下面的面积表示物体运动的距离。

在图 36.5 中 AB 是物体以 20 米/秒的均匀速度运动时的速度-时间图。

因为距离=平均速度×时间，所以经5秒后物体移动的距离为 $20 \times 5=100$ 米。这就是速度-时间图下面有影线部分的面积，也就是矩形OABC。

在图36.6中PQ是一个匀加速运动物体的速度-时间图。物体初速度为20米/秒，但5秒后速度均匀增加到40米/秒。如果距离等于PQ直线下的面积，即影线部分的面积OPQS，则：

$$\begin{aligned} \text{距离} &= \text{矩形面积 OPRS} + \text{三角形面积 PQR} \\ &= OP \times OS + \frac{1}{2} \times PR \times OR \\ &\left(\text{三角形面积} = \frac{1}{2} \times \text{底边} \times \text{高} \right) \\ &= 20 \times 5 + \frac{1}{2} \times 5 \times 20 \\ &= 100 + 50 = 150 \text{米} \end{aligned}$$

注意：

- (a) 计算曲线下面积时，两坐标轴的时间单位必须一致。
- (b) 如果加速度不是恒定的，求运动距离这种方法也是适用的。

速度-时间图的斜率或梯度表示物体的加速度。

图36.5中AB斜率等于0，也就是加速度等于0；图36.6中PQ的斜率等于 $QR/PR=20/5=4$ ，也就是加速度等于4米/秒²。

距离-时间图

匀速运动的物体，在相同的时间内所走的路程相同。它的距离-时间图是一条直线，如图36.7中OL直线对应的速度为10米/秒。直线的斜率 $=LM/OM=40/4=10$ ，即为速度的数值。一般说来，以下说法

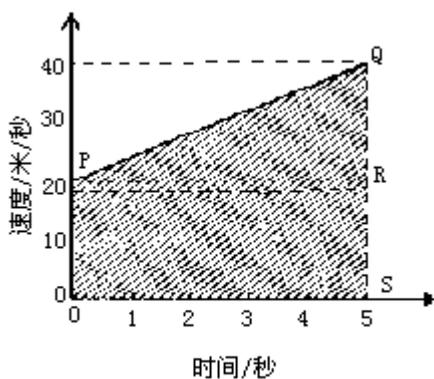


图 36.6

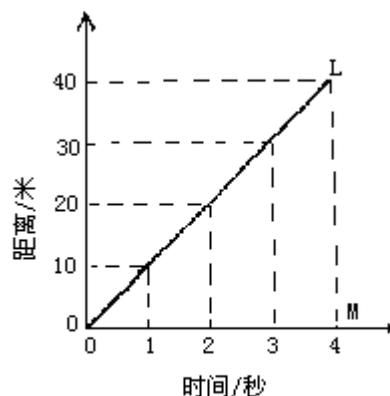


图 36.7

是正确的。

距离-时间图的斜率或梯度表示物体的运动速度。

当物体的速度变化时，距离-时间曲线的斜率也变化（图36.8）

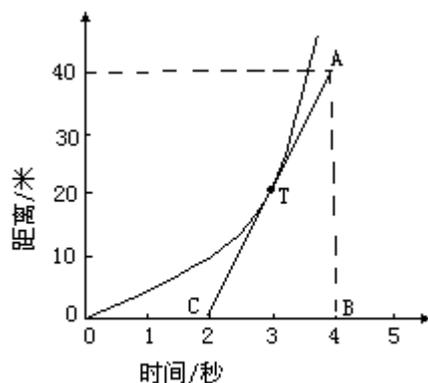


图 36.8

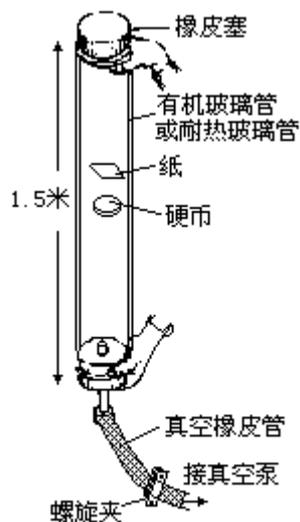


图 36.9

且在任一点等于切线的斜率。例如，在 T 点切线的斜率等于 $AB/BC=40/2=20$ 。因此，与 T 点对应的瞬时速度等于 20 米/秒。

自由落体

在空气中，硬币比纸片下降得快。在真空中，它们下降的速度相同，并可由图 36.9 中的装置来表示。区别是由于轻物体所受空气阻力大于重物——轻物体往往具有较大的面积。

然而，无论重物的形状如何，它们只稍受空气阻力的影响。有这样一个现在看来未必真实的故事，16 世纪意大利科学家伽利略站在意大利的比萨斜塔顶端向下抛一个很小的铁球和一个重量是铁球 10 倍的大空心球（图 36.10）。目击者预料空心球先到达地面，但使目击者吃惊的是两个球几乎同时到达地面。

实验 2 自由落体运动

建立一个如图 36.11 所示的装置，并使质量为 100 克的物体从大约 2 米高处自由落下，观察其运动情况。

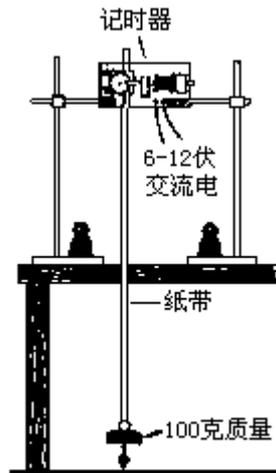


图 36.11

利用纸带记号长度组成纸带图。由于开始时圆点太密集，所以选择能看清楚的第一个圆点为“ ”点。

· 此纸带图可以说明自由落体的运动具有什么性质？

重力加速度

若忽略空气阻力（即上述纸带图中“阶梯”都相同），那么由于重力的作用所有物体都是以匀加速度自由落下。

这个加速度称为重力加速度，并用斜体字母 g 表示。在地球上它的值是变化的，但大约都是 9.8 米/秒^2 ，或近似等于 10 米/秒^2 。因为自由落体的速度每秒要增加 10 米/秒 。如果用 30 米/秒 的速度向上抛一球体，则因每秒钟速度下降 10 米/秒 ，故到达最高点需要 3 秒钟 。

例题

一块石头从一高塔的顶端落下，求：

- (a) 2 秒后石头的速度是多少？
- (b) 2 秒后石头下降了多少距离？

忽略空气阻力，取 $g=10 \text{ 米/秒}^2$ 。

(a) 因为 $g=10 \text{ 米/秒}$ ，石头开始处于静止状态，即初速度为 0 ，并且以每秒钟增加 10 米/秒 的速度运动，那么：

- 1 秒钟后石头的速度= 10 米/秒
- 2 秒钟后石头的速度= $10+10=20 \text{ 米/秒}$

(b) 在头 2 秒内的平均速度

$$= \frac{\text{初速度} + \text{末速度}}{2} = \frac{0 + 20}{2} = 10 \text{ 米/秒}$$

然而 平均速度 = $\frac{\text{下降的距离}}{\text{所需时间}}$

$$10 = \frac{\text{下降的距离}}{2}$$

下降的距离= $10 \times 2 = 20$ 米

牛顿第一运动定律

当汽车发动机被关闭时，由于摩擦力和空气阻力的作用，使得汽车最终停止运动。我们相信，如果不存在摩擦和阻力的话，那么物体一旦处于运动状态，则它将以匀速度直线运动下去。

这个概念是伽利略提出的，归结为牛顿第一定律。

如果没有外力的作用，则处于静止或运动的物体将保持其原来的静止状态或匀速直线运动状态。

人们提出这样一个问题，是什么原因使运动的物体不能保持原来的运动，而是改变或停止其运动。阻止运动物体的外力越小，所需要保持物体匀速运动的力也就越小。对于浮在空气垫上的气垫车摩擦力大大减小。

质量和惯性

第一定律的另一种叙述方式是，即一切处于静止或运动状态的物体都具有一种固有的反抗运动或改变其运动的性质。物质的这一特性称为惯性。

坐在汽车里的乘客，当汽车突然刹车时会感觉到惯性的作用，因为人们仍然要保持向前运动的趋势而前倾。静止的物体反抗运动可由放在手指上的一张卡片上的一大硬币来做试验（图 36.12）。如果用另一只手将卡片快速弹出，则硬币仍保持静止不动。

物体的质量越大，惯性也就越大，即物体由静止到运动或由运动到静止就越困难。由于这个原因人们考虑用物体的质量来测量物体的惯性。用这种方法定义质量比前边用物体的“量”表示要好。

实验 3 力、质量和加速度

如图 36.13 所示的装置，对该装置中小车的作用力，是通过一段



图 36.12

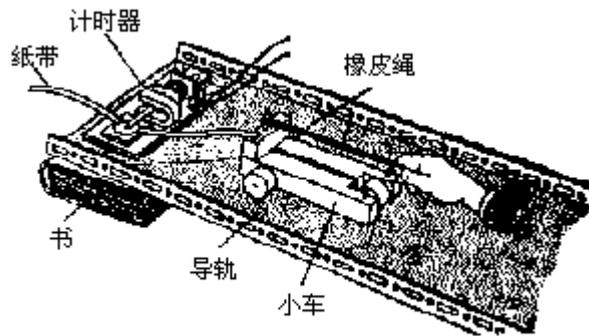


图 36.13

拉紧的橡皮绳来施加的。小车的速度由计时器获得。

首先将导轨的一端升高以补偿其摩擦，直到当给小车一个推力，它就能以匀速度下滑为止。纸带上的圆点间距应相等。此时小车所受合力为零，而以后的任一加速度都仅仅是由于橡皮绳的作用力而产生的。

a. 力和加速度（质量一定）橡皮绳一端固定在小车后车身的棒上，使橡皮绳的另一端与小车前车身成水平。连接纸带前，实际拉动小车沿导轨向下

运动时，橡皮绳保持相同的拉伸程度。经几次试验后，就可产生稳定增长的力，然后连接纸带。

改换新的纸带，并先用两根，再用三根同样的橡皮绳合并起来，拉伸相等长度以施加两倍和三倍的作用力，重复进行实验。

作出每个力对应的纸带图，并用它来求所产生的加速度，单位用厘米/(10点)²。去掉纸带开始部分(圆点符号太密集)和末端部分(力可能不稳定)。

· 恒力产生恒加速度吗？将结果填于下表。

力 (F) (橡皮绳数目)	1	2	3
加速度 (a) (厘米/(10点) ²)			

· 由这些结果能得出 a 与 F 之间的关系吗？

b. 质量和加速度(力一定)用两根橡皮绳(即力一定)做试验，先是使一个小车加速运动，然后使两个小车(把一个放在另一个的上面)加速，最后使三个小车加速。每次实验都需升高导轨以抵销摩擦的影响。

由纸带图求加速度，并将结果填入下表。

· 由这些结果能得出 a 与 m 之间的关系吗？

质量 (m) (小车的数目)	1	2	3
加速度 (a) (厘米/(10点) ²)			

牛顿第二运动定律

前述实验可粗略地表明加速度 a 具有以下性质：

(i) 对于一定的质量，a 与作用力 F 成正比，即 $a \propto F$ ；

(ii) 对于一定的作用力，a 与质量 m 成反比，即 $a \propto 1/m$ 。将 (i) 和 (ii) 结果合为一个方程式，即得：

$$a \propto F/m \quad \text{或} \quad F \propto am$$

因此

$$F = kma$$

这里的 k 是比例常数。

使 1 千克的质量具有 1 米/秒²加速度的力被定义为 1 牛顿。

因此，如果 m=1 千克，a=1 米/秒²，那么 F=1 牛顿。代入 F=kma 中，我们得到 k=1，所以可以写成

$$F = ma$$

这就是牛顿第二运动定律。使用时需注意两点。首先，F 是产生加速度 a 的总(或不平衡)力。其次，所用单位 F 必须是牛顿，m 是千克，a 是米/秒

²，否则 k 不为 1。

例题

用 5 牛顿的力推动一个质量为 2 千克的物块沿桌面作恒速运动。当推力增加到 9 牛顿时，(a) 合力，(b) 加速度，各是多少？

当物块恒速运动时，作用在其上的力被抵销。因此，阻碍物块运动的摩擦力也必须是 5 牛顿。

(a) 当推力增加到 9 牛顿时，作用于物块的合力 (不平衡) F 是 $(9-5)$ 牛顿=4 牛顿 (因为摩擦力仍然是 5 牛顿)。

(b) 加速度 a 可以由 $F=ma$ 式求得，其中 $F=4$ 牛顿， $m=2$ 千克。

$$=F/m=4/2=2 \text{ 米/秒}^2$$

牛顿第三运动定律

如果物体 A 对物体 B 施加一力，那么物体 B 对物体 A 也施加一大小相等但方向相反的力。

该定律表明力不能单独存在，它总是成对地作用在两个物体之间。例如，当向前迈步时，脚由静止开始向后蹬地面，则地面对脚也有一大小相同而方向相反的作用力。在这里包含了两个物体和两个力。人对大质量的地球所施加的很小的力只能产生微不足道的加速度。但同样大小的力作用在质量小得多的人体上，就会产生加速度。



图 36.14

注意这个大小相等而方向相反的力并不是作用在同一物体上，如果是那样的话，就不会有任何合力，因而加速度也成为不可能的了。

当你跳离一个划艇 (如图 36.14) 时，就会感受到第三定律的作用，并期望有摩擦的效果。你给划艇一个向后的推力，尽管划艇也给你一个大小相等的向前的推力，但划艇本身却向后运动 (因为它与水的摩擦阻力很小)，因而使得你向前的运动也减少了相等的距离——这样你就有可能掉进水中！

空气阻力

当小实心球，如滚动轴承，在空气中下落时，空气阻力可以忽略不计。因此我们看到这些物体是以 9.8 米/秒^2 的加速度下降的。但是，对于轻物体，如雨点，或对于具有较大表面积的物体，如降落伞或在

自由降落中的跳伞造型 (图 36.15) 来说，空气阻力却是值得重视的。在这

些情况下，随着降落物体速度的增大，空气阻力也增大，并使其加速度减少。最后向上作用的空气阻力等于向下作用的物体的重量，此时合力为零，物体将以一恒定速度（称为它的末速度）降落。

圆周运动

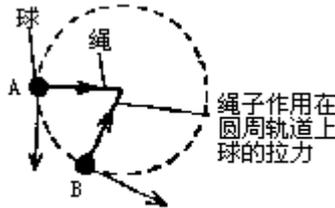


图 36.16

在图 36.16 中，系在绳上的球在水平圆周内旋转，它的运动方向是随时间变化的，速度也是变化的。因为如果物体的速度和运动方向都不变化，那么物体只作匀速直线运动。所以，虽然球的速率是恒定的，但它总是在加速。

绳子作用在球上的向内拉力引起加速度，这个力叫做向心力。当任一物体在圆周（或曲线轨道）上运动时，必定有一个向心力作用于物体上。汽车转弯时，地面对汽车轮胎有一个向内的摩擦力。

习题

1. (a) 某人在 3 小时内行走了 15 公里，(b) 一个田径运动员 5 小时跑了 40 公里，(c) 一个骑自行车的人 2 小时骑了 30 公里。以公里/时为单位，那么各自的平均速度是多少？

2. 一辆汽车在平直的公路上以 80 公里/时的恒速行驶，90 分钟行驶的距离是多少？以这一速度行驶 240 公里，所需时间是多少？

3. 一辆摩托车由静止开始运动，均加速行驶 3 秒后速度达到 6 米/秒，求摩托车的加速度。

4. 一列火车以 60 公里/时的速度运行，5 秒后速度达到 70 公里/时。

(a) 以公里/时每秒为单位，求火车的加速度。

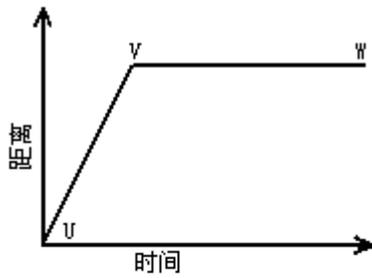
(b) 如果加速度保持恒定，又过 2 秒后火车的速度是多少？

(c) 以这个加速度运行，火车速度达到 105 公里/时，所需的时间是多少？

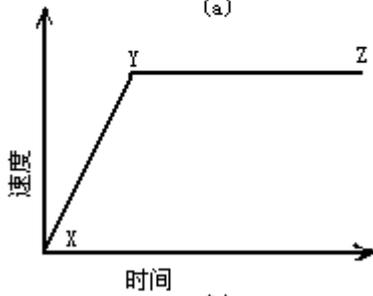
5. 一架以 600 公里/时的速度飞行的飞机以每秒 10 公里/时稳定加速，当在飞机的飞行高度处声速为 1100 公里/时时，问达到这个速度需花多少时间？

6. 图 36.17 (a) 表示一运动物体的距离-时间图，而图 36.17 (b) 表示另一运动物体的速度-时间图。

描述这两个物体在 (a) UV，(b) VW，(c) XY，(d) YZ，范围内的运动情况（如果有运动的话）。



(a)



(b)

图 36.17

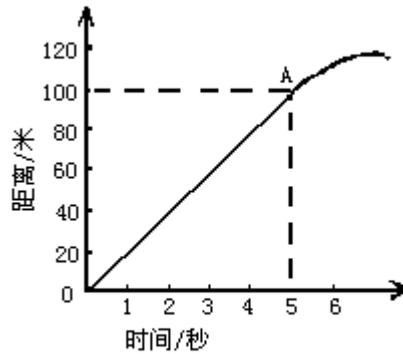


图 36.18

7. 图 36.18 中的曲线代表汽车行驶的距离相对时间的曲线。

- 汽车 5 秒钟行驶多远？
- 前 5 秒钟里汽车的速度是多少？
- 在 A 点后行驶的汽车发生什么变化？

8. 图 36.19 表示一个男孩跑 100 米距离的不完整的速度-时间图。

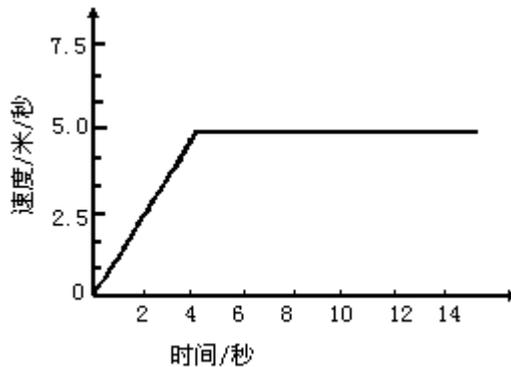


图 36.19

- 在前 4 秒内他的加速度是多少？
- 在 (i) 前 4 秒内，(ii) 接着的 9 秒内这个男孩跑过的距离是多少？

(c) 假设男孩的速度保持如图中水平线段所示的恒定值，画出完整的速度-时间图，以清楚地表示出在什么时间他跑完了 100 米的距离。

9. 在悬崖上，物体由静止以 10 米/秒^2 的加速度降落。

- 在 (i) 1 秒，(ii) 2 秒，(iii) 3 秒，(iv) 4 秒，(v) 5 秒后，物体的速度分别是多少？

(b) 利用 (a) 的答案, 描绘物体降落过程中前 5 秒的速度-时间图。
 (c) 由速度-时间图, 求经过 (i) 1 秒, (ii) 2 秒, (iii) 3 秒, (iv) 4 秒, (v) 5 秒后, 物体下降的距离。

10. 将一个球用 20 米/秒的速度垂直向上抛。如果重力加速度是 10 米/秒², 那么球在经过 (a) 1 秒, (b) 2 秒后, 速度各是多少?

11. 在图 36.20 中, 哪个简图表示力的组合使物块 M 能得到最大的加速度。

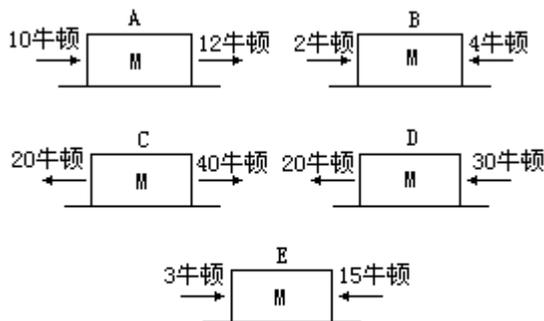


图 36.20

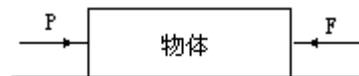


图 36.21

12. 在图 36.21 中, 如果 P 是一 20 牛顿的力, 且物体匀速运动, 那么反向作用力 F 值是多少?

13. (a) 合力为多少时, 才能使质量为 1000 千克的汽车产生 5 米/秒² 的加速度?

(b) 若合力为 30 牛顿, 质量为 2 千克, 其加速度是多少?

14. 质量为 500 千克的汽车, 在 20 秒内由静止恒加速到 40 米/秒。

(a) 它的加速度是多少?

(b) 产生这个加速度的合力是多少?

(c) 实际上所用的力要比 (b) 计算的合力大些, 为什么?

15. 对于

(a) 放在转动圆盘上的硬币,

(b) 绕地球作圆周运动的航天舱,

试问: 它们的向心力是由什么提供的?

§ 37 能 量

动物和植物之所以能生存和成长, 是因为它们具有能量。机器也只有在提供能量的情况下, 才能做许多有益的工作。一般情况下, 人们容易认识到, 在做一项工作时, 也在使用能量。然而能量具有多种形式, 要知道物体具体的能量并非易事。例如, 对于 1 加仑汽油就看不出具有什么明显的能量。然而当它燃烧时释放出的足够的能量, 可使 1 吨汽车高速行驶 60 公里。

大部分以光照和热辐射形式的能量来源于太阳。热能维护动植物生存的

温度，光使得我们能看见周围的事物。光能也被植物生存所利用，并合成人们食用的物质（见光合作用一节）。现代文明主要依赖于象石油和煤那样的“矿物燃料”，它是在几百万年前由动物和植物吸收太阳的能量而形成的。这些燃料在不久的将来会用完枯竭，因此现在的许多研究都与寻找适合的代用能源有关。

能量形式

(a) 动能（简称为 K.E.）任何运动着的物体都具有动能。物体运动得越快，动能就越大。当运动物体停止运动时，如一个锤子撞击在螺钉上，或者汽车刹车时，大部分动能都转变为热能。

(b) 机械势能（简称为 P.E.）机械势能具有两种形式：

弹性势能是通过拉长或挤压物体所贮存的能量。如拉长的弓和弹射器就具有弹性势能。该能量可转变为发射体的动能。与此相似，卷紧的发条可用来驱动钟表。

升高的物体具有重力场势能。放在建筑物顶上的石头比放在其低部的石头具有更多的能量，因为石头被放开后会落下，它具有的势能将转变成动能。贮存在大坝里的水比低水位的水具有更多的势能。一旦闸门打开，水则失去势能得到动能，该动能可用于驱动发电机发电。请注意：水的能量最初来自太阳。来自太阳的热量将水蒸发，水汽上升形成云，然后作为雨降落到高处。

机械势能和动能通常称为机械能。

(c) 化学势能食物和燃料是化学能之仓库。作为体内化学反应的结果，食物释放出能量。在标准人体中，约有 25% 的化学能可转变为机械能，其余的能量作为热释放出来，以维持稳定的体温。

燃料燃烧时，主要以热的形式释放能量。该热量可用于驱动发动机，如汽油发动机（汽车上）、燃气轮机（飞机上）或蒸汽机（船上或电站）。

(d) 其它形式的能量热能可引起构成物质的粒子的内能的变化。光能和红外辐射（热辐射）是电磁能。

电磁能既可以势能形式又可以动能形式存在。带电云团具有电势能。当通过光放电时，运动的带电粒子（电流）就呈动能的形式。因为电能容易通过导线传输，且能简便地转变为其它形式的能量。所以多数能量在传输和使用前都先转变为电能。

声能发自振动着的物体（如空气）。人耳是很灵敏的，所以即使感到声音很吵闹，其能量还是小的。

核能是西方世界电能的主要来源之一。在核反应堆中，铀 235 或钚的重原子被中子轰击后碎裂（裂变）为较小的原子。这种碎裂放出部分原子核的势能，该能量驱动蒸汽机，蒸汽机再驱动发电机。

能量的变化

使能量由一种形式转变成另一种形式的装置很多。

图 37.1 中的装置可用来表示一个电池把化学能转变为电能，而电能又在电动机里转变为动能。电动机升起重物，赋予它重力场势能。如果转换开关接到灯泡上，让重物下落，则重物驱动马达，此时后者的作用如同一个发电机。这样就有电流流过灯泡，发出热和光。

图 37.2 给出了能量转变的其它例子。

经验表明，对很多能量转变过程，能量最终形式都是热。一般是传递到低温热源。以稳定速度行驶的汽车，将其所用汽油的化学能转变为热，并使其周围空气变得微热。当汽车开到车站时，制动器、轮胎、道路和空气都被加热。

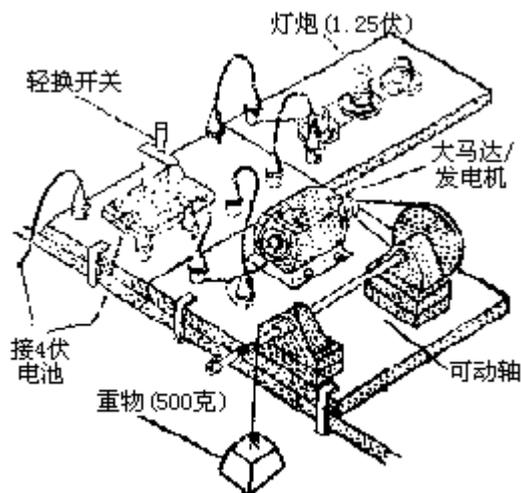


图 37.1

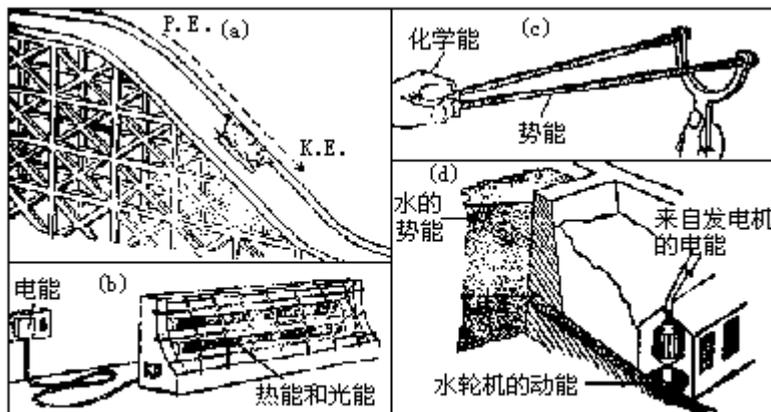


图 37.2

大多数形式的能都转变为热是令人遗憾的。因为热，尤其是低温热源的热不易转变为其它形式的能。低温热源存在较普遍，有时称为低质热。如果我们有机会利用海洋热源的话，那么就可满足我们所需要的全部能量。

功

在科学中，功是指能量的变化量或传递量。

为了科学地测量功，我们可举如下的事实，即能量的变化往往会产生一种力，该力推动物体移动一段路程。例如：如果把 3 千克的重物举到 2 米高处（图 37.3），人体肌肉的化学能就传递给了重物。因为重物的质量是 3 千克，所以它的重量大约是 30 牛顿。要把它举高 2 米，就必须用 30 牛顿的力。那么所做的功是 30×2 ，即为 60 牛顿米（ $N \cdot m$ ）。据此，我们就说 60 牛顿米的化学能转变成了机械能。因此，功或从一种形式到另一种形式的能量变化可这样计算：

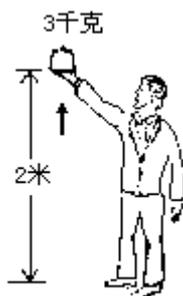


图 37.3

$$\text{功} = \text{力} \times \text{在力的方向上移动的距离}$$

能量颇象金钱，而所做的功就象支付的发票。发票表明有多少金钱从一个人手中转到另一个人手中。

功的单位是焦耳（J），即 1 牛顿（N）的力移动 1 米（m）所做的功。例如，用 50 牛顿的力把一个箱子沿力的方向一直移动 3 米，所做的功是：

$$50 \times 3 = 150 \text{ 牛顿米} = 150 \text{ 焦耳}$$

即

$$\text{焦耳} = \text{牛顿} \times \text{米}$$

所有形式的能量，以及功都用焦耳来度量。

能量守恒

能量守恒原理认为：能量不能消失，只能从一种形式转变为另一种形式。

如果在一个变化过程中“失去”了一些能量，那么这些“失去”的能量常常是变成了热。例如当一辆行驶着的摩托车靠制动器停止下来时，由于摩擦“失去”的动能转变成了制动器和轮胎上的热。下落的砖，其势能变成了动能，掉到地面时，动能的大部分变成了热，小部分变为声音。

尽管总能量保持不变，我们仍不断地使用如矿物燃料一样的有用能源，同时转而得到低温（低度）热。图 37.4 示出了一种代用能源——太阳能、风和潮汐——目前正在进行这种能源的研究。

功率

使用能量的物体（如马达）的功率，即其把能量从一种形式转变为另一种形式的速率。功率与做功的速率相同，也就是每秒所做的功。汽车的功率越大，其转变为有用能量的速率也越大。

$$\text{功率} = \frac{\text{能量的变化}}{\text{所用时间}} = \frac{\text{所做的功}}{\text{所用时间}}$$

功率的单位是瓦特（W）。1 瓦特表示每秒做 1 焦耳功的速率。1 瓦特=1 焦耳/秒。如果某机器 10 秒内转变了 500 焦耳的能量，则其功率为：

$$P = \frac{500}{10} = 50 \text{焦耳 / 秒} = 50 \text{瓦特}$$

较大的功率单位是：

$$1 \text{ 千瓦 (kW)} = 1000 \text{ 瓦}$$

$$1 \text{ 兆瓦 (MW)} = 1000000 \text{ 瓦}$$

1 个 5 千瓦的电炉，以每秒 5000 焦耳的速率把电能转变为热。

习题

1. 说出实现下列能量转变的装置的名称：(a) 电能变为光；(b) 声音变为电能；(c) 化学能变为电能；(d) 势能变为动能；(e) 电能变为动能。

2. 当把一个质量为 3 千克（重量为 30 牛顿）的物体垂直向上举高 6 米时，所做的功是多少？

3. 一个质量为 50 千克的男孩，爬到 2 米高的墙上，然后跳到地面上，

(a) 他的重量是多少牛顿？

(b) 爬到墙上时，他做了多少功？

(c) 这个男孩在刚刚落到地面之前，他具有什么形式和多大的能？

(d) 他到达地面后，这个能量发生什么变化？

4. 在下述每种说法中，能量发生什么变化，并以焦耳为单位计算功。

(a) 一台由柴油机带动的起重机，把一个受 400 牛顿地心引力的包装箱垂直举高 8 米。

(b) 一个人用 250 牛顿的力，推一汽车一直沿着水平道路前进 100 米。

5. 一个体重为 600 牛顿的男孩，在 15 秒钟内，跑上一 10 米高的楼梯，问平均功率是多少？

§ 38 简单机械

机械是一种装置，它使得能作用在某点的力（有效力）去克服作用在其它点的力（载荷）。杠杆是一种简单机械。同样，滑轮、齿轮等也是简单机械。通常简单机械组合成如图 38.4 所示的起重设备一样的更为复杂的机械。

定义

如果机器提供 10 牛顿的作用力使一个 50 牛顿的载荷运动，那么机器的

机械效益是 $50/10=5$ 。

$$\text{机械效益 (M.A.)} = \frac{\text{载荷}}{\text{作用力}}$$

借助 M.A. 大于 1 的机械可以用较小的力移动较重的载荷。但作用力移动的距离必须比载荷移动的距离要远。因此，我们定义：

$$\text{传动比 (V.R.)} = \frac{\text{作用力位移}}{\text{载荷位移}}$$

V.R. 由机械设计限定，而 M.A. 必须由实验求得。图 38.1 中杠杆的 V.R. 是 10。举起载荷所必需的作用力可由绕支点 O 的力矩求得。请读者完成这个计算(忽略杠杆的重量)。

· 图 38.1 中杠杆的 M.A. 是多少？

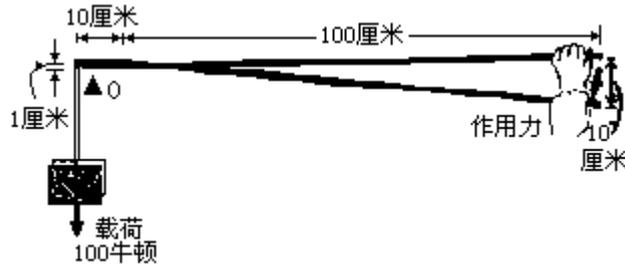


图 38.1

机械效率

机械做功比较容易。没有一种机械是完美无缺的，而且实际上力作用于机械的功要大于机械作用于载荷的功。功用来测量能量的传递（或变化），因此，也可以说输入机械的能量要大于机械输出的能量。有些能量总是用来克服摩擦力和使机械部件本身产生运动。图 38.1 中在支点处有摩擦，杠杆本身也有重量，因此作用力将大于 10 牛顿。我们定义：

$$\text{效率} = \frac{\text{输出能量}}{\text{输入能量}} = \frac{\text{载荷做的功}}{\text{作用力做的功}}$$

效率用百分数表示而且总是少于 100%。

M.A.、V.R. 和效率之间有很大关系。由上述方程可知，前面提到的功 = 力 × 距离

$$\text{效率} = \frac{\text{载荷} \times \text{载荷移动的距离}}{\text{作用力} \times \text{作用力移动的距离}} = \text{M.A.} \times \frac{1}{\text{V.R.}}$$

$$\text{效率} = \frac{\text{M.A.}}{\text{V.R.}} \times 100\%$$

滑轮

(a) 单个定滑轮 (图 38.2) 定滑轮使我们有可能用向下的力 E 很方便地提起载荷 L。E 只需略大于 L。如果滑轮轴的摩擦可忽略不计，则 $E=L$ ，且 $\text{M.A.}=1$ 。

· V.R.是什么？

(b) 单个动滑轮 (图 38.3) 如果作用于绳子自由端的力是 E ，则作用于滑轮上总的向上的力为 $2E$ ，因为绳子的两端都支持着滑轮。如果不计滑轮与绳子的重量和摩擦力，则可以举起 $L=2E$ 的载荷。即 $M.A.=2$ (但在实际中很少如此)。

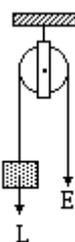


图 38.2

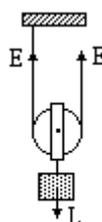


图 38.3

为使载荷上升 1 米，则需绳子两边各缩短 1 米。即绳子的自由端必须收缩 2 米，因此 $V.R.=2$ 。

(c) 滑轮组这种类型的滑轮系统应用在起重设备 (图 38.4)

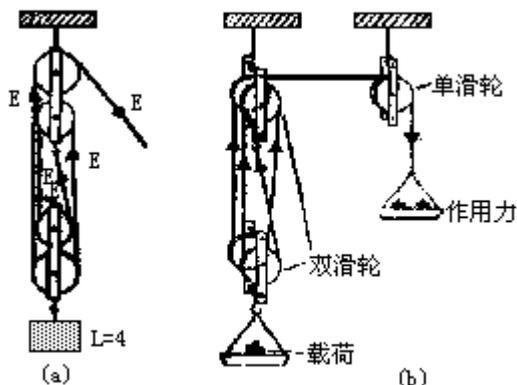


图 38.5

和升降机中。它是由两个滑轮组组成，每组有 1 个或 1 个以上滑轮。为清楚起见，在图 38.5 (a) 的分布中表明滑轮组的滑轮 1 个在另 1 个的上方，但在实际应用中，它们并列排在同一个轴上 (图 38.5 (b))，而绳子则轮流在每个滑轮上绕过。

较低的一组滑轮总的向上的力是 $4E$ ，因为同时受到 4 根绳子的作用，因此能提起 $L=4E$ 的载荷。如果滑轮都是无摩擦和无重量，则 $M.A.=4$ 。同理，在图 (b) 中可以看出 $V.R.=4$ ，即为绳子从一个滑轮通过另一个滑轮次数。

实验 1 滑轮系统的效率

安装如图 38.5 (b) 所示的系统或类似的系统。开始时，在载荷托盘内有 50 克的砝码，然后在作用力托盘内添加砝码，直到载荷刚好稳定上升时为止。在下表中记录载荷与作用力的大小 (100 克具有 1 牛顿的重量)。加大载荷，重复实验。

载 荷 N	作用力 N	M.A.	效率 = $\frac{M.A.}{V.R.} \times 100\%$

V.R. 如前述求得。由所记录的每一组载荷和作用力的读数，可求得 M.A. 和效率。

注意：

a. 下面的滑轮组和载荷托盘，由于力的作用也上升，但它们并不包含于载荷之内。随载荷的增加，它们变得更不重要了，故 M.A. 和效率都随之而增加。对特定的系统 V.R. 保持恒定。

b. 效率小于 100% 是由于系统存在摩擦力和运动部分具有重量。

其它简单机械

(a) 轮轴改锥和汽车方向盘 (图 38.6) 都是利用轮轴原理。在图 38.7 (a) 中显示了该作用原理。对缠绕于轮子上的绳索施加一作用力，则载荷通过绕于轴的相对一侧的另一根绳索而被提起。轮子旋转一周，作用力便移动 $2R$ 的距离，即轮子的周长，而载荷上升 $2r$ 距离。因此：

$$V.R. = \frac{2\pi R}{2\pi r} = \frac{R}{r}$$

由图 38.7 (b) 考虑绕 O 点力矩可证明，无摩擦力的轮轴的 M.A. 也是 R/r 。

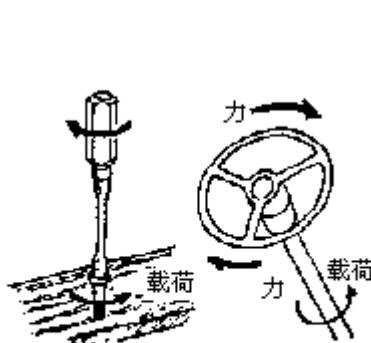


图 38.6

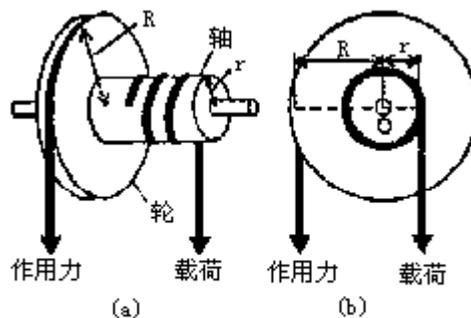


图 38.7

(b) 斜面沿着木板将圆筒推上卡车要比垂直提升容易。图 38.8 中，载荷 L 提升的垂直高度为 h，若所用的作用力 E 较小，则移动距离 d 较大，d 即斜面的长度。

$$V.R. = \frac{\text{斜面长度}}{\text{斜面高度}} = \frac{R}{r}$$

整个斜面的 M.A. 可通过能量守恒原理来计算，假设：

对载荷所做的功=作用力所做的功

即

$$L \times h = E \times d$$

$$M.A. = \frac{L}{E} = \frac{d}{h}$$

事实上，由于摩擦力的存在，M.A.将减小。

(c) 千斤顶汽车千斤顶有一螺杆穿过带臂的螺帽，臂支撑于汽车的底盘下(图 38.9a)。当力作用于螺杆顶部的操纵杆使其旋转一周时，螺杆(和载荷)上升一个螺距，即相邻螺纹间的距离(图 38.9(b))。

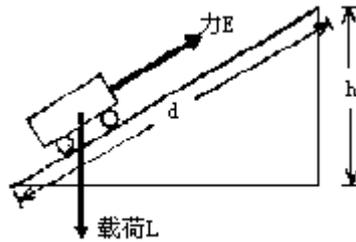


图 38.8

$$V.R. = \frac{\text{作用力旋转的周长}}{\text{螺距}}$$

设能量守恒，也可以算出千斤顶的 M.A.。

(d) 齿轮 齿轮可以改变机械的 V.R.和 M.A.。在图 38.10 中，一个 20 齿的齿轮旋转一周，则 10 齿的齿轮就要旋转两周。因此，如果对小齿轮施加作用力带动大齿轮，则 V.R.为 2。因此：

$$V.R. = \frac{\text{从动轮的齿数}}{\text{主动轮的齿数}}$$

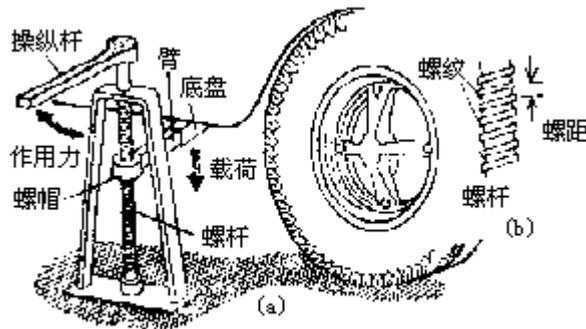


图 38.9

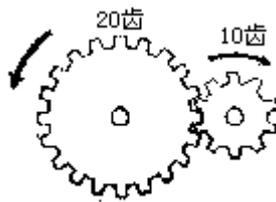


图 38.10

习题

- 用 V.R. 为 6 的机械提起重 250 牛顿的载荷，其作用力为 50 牛顿。
(a) 该机械的 M.A 是 (i) 1/5, (ii) 4, (iii) 5, (iv) 10, (v) 50?
(b) 该机械的效率是 (i) 50%, (ii) 65%, (iii) 75%, (iv) 83%, (v) 110%?
- 通过滑轮系统，用 250 牛顿的作用力将 1000 牛顿的载荷提升 5 米。如果作用力移动 30 米，问 (a) 提升载荷所做的功是多少？(b) 作用力所做的功是多少？(c) 滑轮系统的效率是多少？
- 计算图 38.11 中每组滑轮系统的 (i) M.A, (ii) V.R., (iii) 效率。

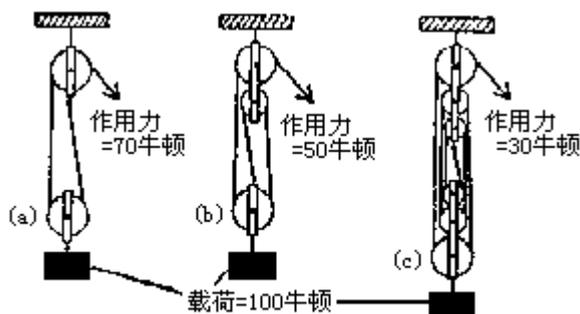


图 38.11

- 某机械由一半径为 50 厘米的轮和半径为 10 厘米的轴组成。用它来提升 400 牛顿的载荷，作用力为 100 牛顿。试计算系统的 (a) M.A., (b) V.R., (c) 效率。
- 将一重为 10 牛顿的手推车，从图 38.8 中的斜面的底部恒速拉至顶部，作用力为 2 牛顿。若 $h=2$ 米和 $d=20$ 米，(a) M.A., (b) V.R., (c) 效率，各是多少？
- 如果齿数为 30 的齿轮 A 带动齿数为 75 的齿轮 B，那么 B 旋转一周，A 须旋转几周？

§ 39 热 机

热机是一种将燃料燃烧时产生的热能转变为动能的机械。在内燃机如汽油机、柴油机、喷气发动机中，燃料在气缸或燃烧室内燃烧，能量转变也在此进行。其它发动机，如汽轮机，则不然。

几种类型的热机

汽油发动机

图 39.1 说明了汽油发动机的工作原理。在进气冲程阶段，活塞下移（由于汽车发动机或摩托车反冲式发动机带动曲轴）从而减轻气缸内的压力。进气阀打开，汽化器中的汽油-空气混合物受大气压力作用进入气缸。

在压缩冲程阶段，两阀门均关闭，活塞上移，压缩混合物。

在做功冲程段，火花通过火花塞嘴喷出，混合物爆炸，迫使活塞向下移动。

在排气冲程段，排气阀打开，活塞上移，将废气排出。

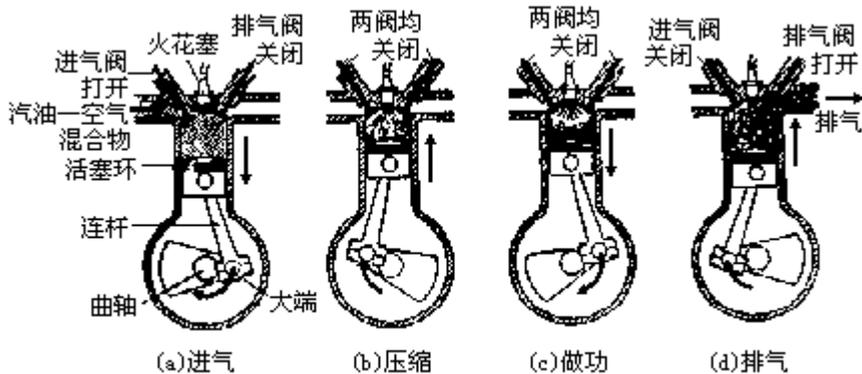


图 39.1

曲轴带动飞轮（一个很重的轮子）转动，由于飞轮的动量使活塞在两次做功冲程之间也能保持运动。

多数汽车在同一曲轴上至少有四个气缸（图 39.2）。每个气缸按

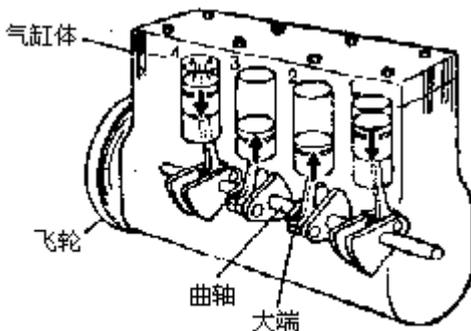


图 39.2

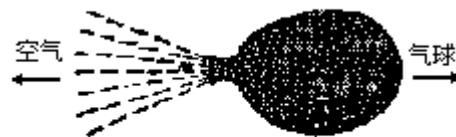


图 39.3

1 - 3 - 4 - 2 的顺序轮流“点火”，曲轴每旋转半周，产生一个做功冲程。这样往复循环得以运转。

喷气式发动机（燃气轮机）

如果将一个充气的气球口打开放气，那么气球就会朝放出气体的相反的方向飞行（图 39.3）。这就是喷气式发动机和火箭的发射原理。

喷气式发动机有多种类型，图 39.4 是涡轮喷气机的简图。

为启动发动机，用电动机促使压缩机旋转。压缩机就象风扇，它的叶片吸入空气并在发动机的前部使其压缩。空气在进入燃烧室前，通过压缩温度

升高。再将燃料（煤油即石蜡油）注入到燃烧室中，燃料燃烧产生高速热气流，从发动机尾部排出，从而推动喷气机向前运行。排出的气体也推动涡轮（另一风扇）。一旦发动机启动，涡轮驱动压缩机，因为它们在同一曲轴上。

涡轮喷气机的发动机具有高功率-重量比（即相对其重量可产生很大的功率），这一点用于飞机上是极为理想的。同样，也可用于轮船、火车和汽车。

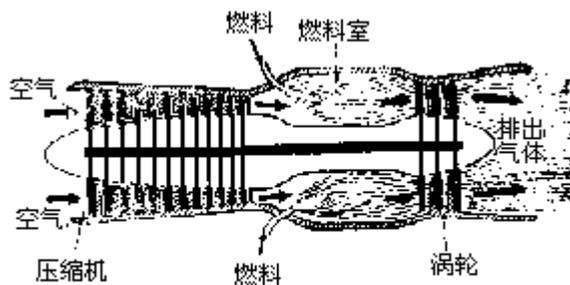


图 39.4

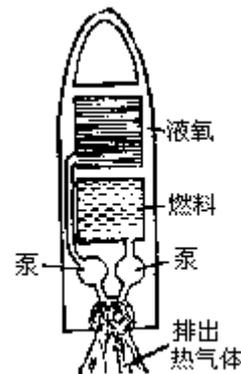


图 39.5

火箭

火箭与喷气式发动机相似，它把燃料燃烧所产生的热气喷出，从而获得推力。然而，火箭能在没有空气的地方运行，因为它自携带燃烧所用的氧气，喷气式发动机则不然，它燃烧时是从大气中获取氧气。宇宙火箭使用液氧（温度为 -183°C ）。一般燃料为煤油和液氢（温度为 -253°C ），但也可以使用固体燃料。图 39.5 是火箭的简图。

蒸汽轮机

蒸汽轮机用于发电站和远洋客轮中，如伊丽莎白 2 号（图 39.6），其效率约为 30%。

蒸汽轮机的动作类似于水车的动作，但引起运转的是流动的蒸汽而不是流动的水。在单独的锅炉中产生的蒸汽进入涡轮机，并通过定子（固定的叶片组）导入转子（在可以旋转的曲轴上的叶片组）。转子旋转，带动与之相连的发电机或轮船用推进器等。蒸汽通过涡轮机时将膨胀，而叶片组的尺寸沿涡轮机方向是增大的，以达到蒸汽膨胀的目的。图 39.7 展示了一个蒸汽轮机的转子。

象蒸汽轮机这样的转缸式发动机比活塞式（往复式）发动机运转平稳。

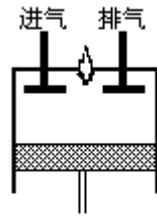


图 39.8

习题

1. 在汽车发动机中化学能转变成机械能，另外还产生什么形式的能？有些机械能不能充分利用，这是为什么？试说明刹车时能量的变化。
2. 图 39.8 为四冲程汽油发动机气缸。如果火花塞正在点火，该图有什么错误？
3. 为什么火箭在大气层外运行的更好？

热能、光能和声能

§ 40 温度计

任何物体的温度都能反映出其热的程度，并且用温度计测量，通常用摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）表示。温度计有不同的种类，每一种适用于一定的工作。

液体温度计

在这种温度计中，液体置于一玻璃泡内，当玻璃泡受热时，其内的液体向上膨胀进入毛细管中。此液体必须是容易看见的，而且在一个宽的温度范围内能迅速膨胀（或收缩）。并且此液体一定不能粘附在管子的内壁，或者当温度正在降低时，其读数也随之下降。

通常管内液体使用水银和有色酒精。水银凝固点为 -39°C ，沸点为 357°C ；有色酒精凝固点为 -115°C ，沸点为 78°C ，因此，更适用于低温测量。

温标

温标和温度的单位是通过选择两个固定点间的温度来获得的。在这两个温度之间划分出若干相等的刻度或度。

摄氏温标（是以其发明者瑞典科学家 Celsius 的名字命名的），下边固定点为融化纯冰的温度，并取为 0°C 。含杂质的冰的熔点低于纯冰的熔点。

上边固定点的温度为在 760mmHg 的标准大气压下沸腾水上面的蒸汽温度，并取为 100°C 。之所以不采用沸腾水本身的温度，是因为水中的任何一种杂质都会使其沸点升高。而蒸汽的温度却不受其影响。

求固定点的方法如图 40.1 (a)，(b) 所示。当标出两固定点温度后，将两点间温度 100 等分（图 40.2），此时，温度计就有一个经校准的或等分的刻度了。

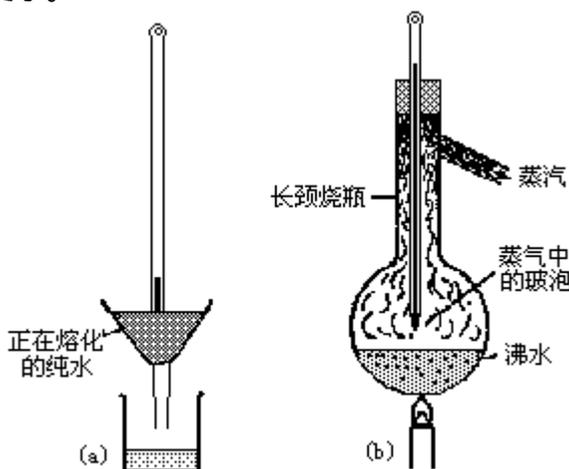


图40.1

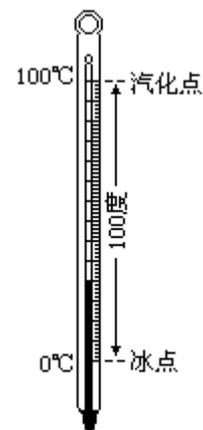


图 40.2

医用温度计

这是医生和护士使用的一种特殊类型的水银温度计。它的刻度只限于正常体温 37 上下几度的较小范围内（图 40.3）。

这种温度计恰好在玻璃泡以上处有一缩颈（即较细部分）。当温度计放在病人舌头下面时，水银膨胀并通过缩颈。当温度计从嘴中拿出时（1 分钟），玻璃泡中的水银冷却并收缩，在缩颈处将水银线断开。在缩颈以上的水银停留于管内并指示出人体的温度。使用后，用手轻轻甩动温度计，水银便返回到玻璃泡内。

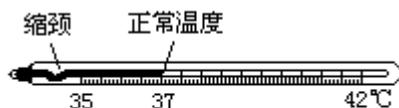


图 40.3

热量和温度

物体的温度与热能是两个不同的概念，不可将两者混淆，热能可以从物体中获得。例如，生火时产生的红热火花比锅中沸水的温度高。如果火花落在沸水中，尽管这锅沸水可提供的热能比火花多得多，但热量仍将由火花传给水。

温度决定热流的方向，如同压力决定液流的方向一样。热流很自然地由高温物体流向低温物体。液流也是自动地从高压流向低压。

习题

1. 从下面所列温度中，选择出最适合下列各种情况的温度：（a）健康人的体温，（b）纯冰的熔点，（c）一所房子内暖室的温度，（d）炼钢炉的温度。

1600 ， 100 ， 60 ， 37 ， 20 ， 10 ， 0 ， -10 。

2. 如果温度计的毛细管的直径很小，则它就能更准确地测量出较小的温度变化，这是为什么？

3. （a）为什么医用温度计在紧靠玻璃泡处有一很狭窄的缩颈？

（b）为什么医用温度计决不能用热水冲洗？

§ 41 固体和液体的膨胀

固体、液体和气体受热膨胀，受冷则收缩。

实验 1 固体的膨胀

（a）如图 41.1 放置一根铁棒，用 1 千克的重物使铁棒的一端压在指针上，用煤气灯沿铁棒长度方向强烈加热。铁棒在指针的这一端最容易膨胀，指针滚动，带动吸引软管转动，这就表明发生了很小的膨胀。

（b）将一铸铁试杆插入支架内侧的铁棒孔内，进行断裂实验，如图 41.2

所示。当调紧滚花螺母时，试杆紧贴在对面的支架上。对铁棒强烈加热，它将膨胀并产生很大的力，以致试杆断裂。

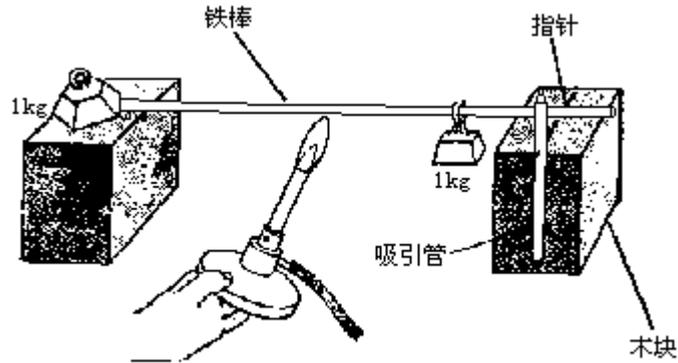


图 41.1
铸铁试杆

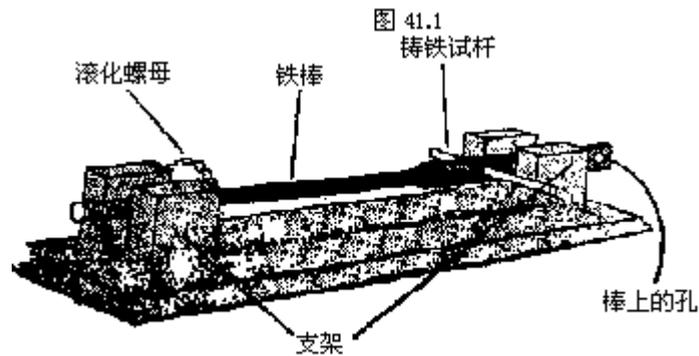


图 41.2

(c) 拿一个新的铸铁试杆放置在支架外侧的铁棒孔内，进行断裂实验。把滚花螺母移至支架外侧，并强烈加热铁棒几分钟，拧紧螺母并用冷水洒在铁棒上，此时试杆也会突然断裂。

防止膨胀的措施

固体的膨胀有时会造成危害。所以科学家们认为必须采取措施，防止出现危害。

a. 铁路线夏季铁轨长度允许有一定的膨胀量，所以铁轨间预先留有间隙，这样火车通过时就有喀咧喀咧的声音。

现今的铁轨都是锻接成约 1 千米长，并且用能够经受巨大力作用而不发生弯曲的混凝土枕木来支撑的。每一段铁轨的端部都是逐渐变细而且可互相搭接的（图 41.3a）。这样就可以得到较平滑的铁路线，

而且允许每段铁轨相邻端有一定的膨胀。

b. 桥梁一端固定，另一端则支撑在可以滚动的滚柱上（图 41.3b）。

膨胀的应用

(a) 铆接金属板一个白热的铆钉放在板材的钻孔内，一端用锤子敲平。冷却时，铆钉收缩将板材挤压在一起(图 41.4)。钢板铆接在一起可用于制造轮船和锅炉。

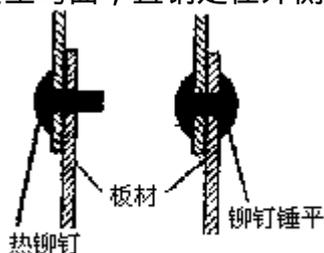


图 41.4

(b) 双金属恒温器双金属带是由长度相同的两种不同的金属组成，例如，由铜和铁铆接在一起而成，以致它们不能各自移动(图 41.5(a))。在相同温度下加热时，铜金属带比等长的铁金属带膨胀得多一些。因此，双金属带发生弯曲，且铜是在外侧(图 41.5(b))。



图 41.5

恒温器能保持室温或保持一定的温度。图 41.6 中的结构是在电加热系统中使用的双金属带，如电熨斗。

当熨斗达到所需要的温度时，双金属带向下弯曲，在接触器处切断电回路，并关掉加热器。冷却一段时间后，双金属带可重新接触并再次接通加热器，结果使其温度接近平稳。

如果向下调节控制旋钮，金属带必须产生更大的弯曲才能切断加热回路，这就需要较高的温度。

液体的膨胀

将试管放在热水中，其内液体膨胀。这种现象可由图 41.7 中毛细

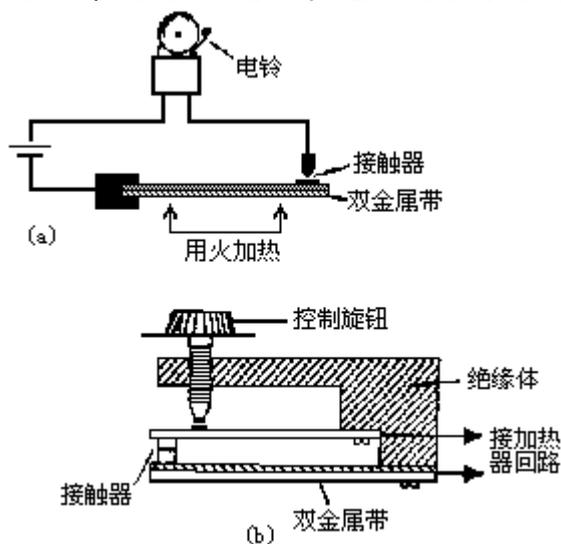


图 41.6

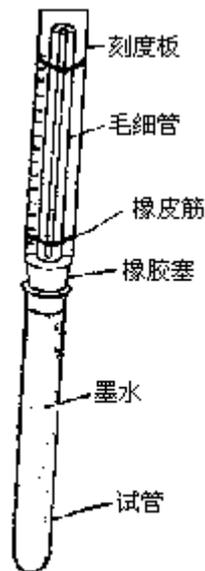


图 41.7

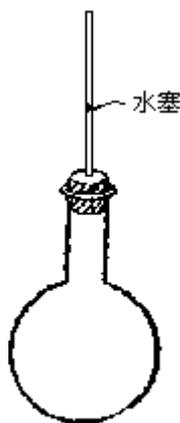


图 41.8

管内液位的变化来显示。不同的液体，膨胀量不同。

众所周知，水冷却到 4°C 时体积收缩。但是当水在 4°C 到 0°C 之间时，体积略有膨胀。达到 0°C 水凝固，同时体积发生较大的膨胀，每 100厘米^3 的水变成 109厘米^3 的冰——这就是在寒冬季节水管破裂的原因。

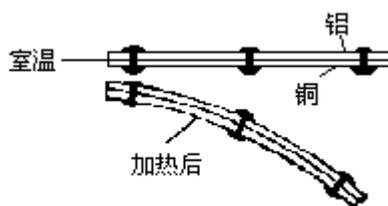


图 41.9

气体膨胀

用手握住烧瓶使其内的空气受热膨胀，就可发现气体膨胀比液体膨胀厉害得多，如图 41.8 所示。气体的膨胀可将水塞顶出瓶外。

习题

1. 请回答下列问题：(a) 如果将带金属盖的广口玻璃瓶放在很热的水中，几秒钟后，瓶盖就很容易被打开，为什么？(b) 室内家俱经过一个暖和的白天后，在夜间有可能吱嘎作响，这是为什么？(c) 混凝土马路每段之间用沥青联接，为什么？

2. 一个双金属带是由铝和铜构成的。当加热时，此带弯曲的方向如图 41.9 所示。若升高相同的温度，哪一种金属膨胀得多些？如果冷却至室温以下，此双金属带会出现什么现象？画出简图说明。

§ 42 气体定律

一定质量气体（如空气）的体积与其本身的温度和压力有关。为了探寻温度和压力这两个量中任何一个量对于体积有何影响，就必须固定一个量，而改变另一个量。

玻意耳定律（体积和压力）

通常人们用图 42.1 中的装置来分析压力与体积的关系。图中玻璃管上方空气的体积 V 可由放在后面的刻度板直接读出。而压力的变化是由踩动式压力泵来控制的。压力泵首先将空气压进储油器，迫使储油器内更多的油压入玻璃管，从而增大了玻璃管中空气的压强 p 。 p 由波尔登管式压力计测定。

如果 p 增加一倍，则 V 减小一半，也就是说， V 与 p 成正比。

$$V \propto 1/p \quad \text{或} \quad V = \text{常数} \times 1/p$$

$$pV = \text{常数}$$

如果相对应的几组读数为 p_1V_1 、 p_2V_2 等，则：

$$p_1V_1 = p_2V_2 = \text{常数}$$

玻意耳定律指出：如果温度保持恒定，则一定质量气体的体积与压力成反比。

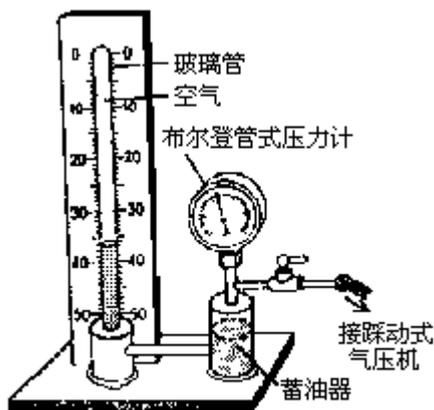


图 42.1

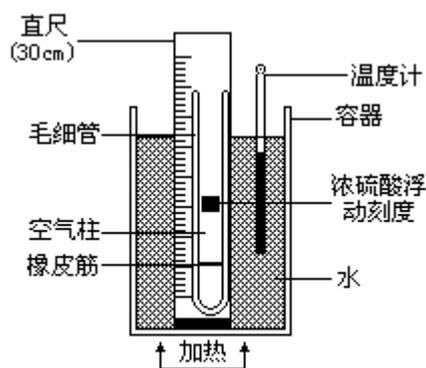


图 42.2

实验 1 查理定律（体积和温度）

图 42.2 中所示的装置是用浓硫酸液滴来密封干燥空气进行测量气柱的实验。调整毛细管，使气柱底部对应直尺的基线，则浓硫酸液滴浮动时对应的直尺刻度，即为气柱高度。

记录下不同温度时气柱的高度（以液滴下标为准）。需注意的是记录前，停止加热并搅动以使空气的温度真正达到水的温度，而后将结果记录在表中。

绘制以体积（空气柱的高度表示体积的大小，单位为厘米）为 y 轴，温度（单位为 $^{\circ}\text{C}$ ）为 x 轴的曲线图。

绝对零度

气体的体积-温度图（由上述实验得到）是一条直线（图 42.3）。这条直线说明气体是随着水银温度计所测得的温度均匀膨胀的，即相等的温度增高引起相等的体积增大。

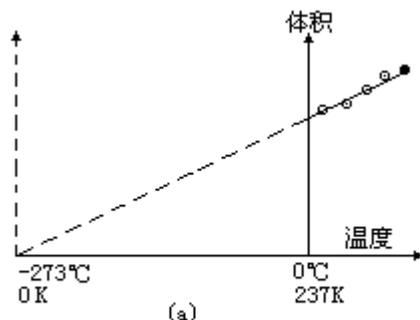


图 42.3

该直线并不通过摄氏温度原点（0℃）。如果将其向下延伸，则它与温度轴在约-273℃处相交。这个温度称为绝对零度。因为这是可能达到的最低温度。它是绝对温标或开尔文温标的零点。

在此种温标里的度数称为开尔文，并用 K 表示。单位的大小与摄氏温度一致，即 1℃ = 1K。因为 -273℃ = 0K，所以由 ℃ 换算成 K 需加 273。例如：

$$0℃ = 273K$$

$$15℃ = 273 + 15 = 288K$$

$$100℃ = 273 + 100 = 373K$$

开尔文温度或绝对温度用字母 T 表示，若摄氏温度用 t 表示，则：

$$T = 273 + t$$

气体定律

如果采用绝对温度，则气体定律可以表示为通用的计算形式。

(a) 查理定律 在图 42.3 中，如果温度用开尔文温标测量，则体积-温度直线通过原点，也就是 0K 为原点。因此我们说体积 V 与绝对温度 T 成正比，即 T 增加一倍，V 也增加一倍。因此：

$$\begin{aligned} V \propto T \quad \text{或} \quad V = \text{常数} \times T \\ \text{或} \quad V/T = \text{常数} \end{aligned} \quad (1)$$

查理定律可以叙述如下：

如果压力保持恒定，则一定质量的气体的体积与其绝对温度成正比。

(b) 玻意耳定律

$$pV = \text{常数} \quad (2)$$

(1)、(2) 两个方程组合，得：

$$\frac{pV}{T} = \text{常数}$$

这个公式很有用，当 p 、 V 、 T 由 p_1 、 V_1 、 T_1 变到 p_2 、 V_2 、 T_2 时，则：

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (3)$$

(c) 压力定律当气体体积保持恒定时，由实验可知，气体的压力是如何随温度而变化的。因此，压力定律可叙述如下：

如果气体体积保持恒定，则一定质量的气体的压力与其绝对温度成正比。

如果用 p 表示压力， T 表示绝对温度，则：

$$p \propto T \quad \text{或} \quad p = \text{常数} \times T$$

即

$$\frac{p}{T} = \text{常数}$$

实例

一容积为 50 厘米³ 的循环泵，其内空气温度为 17 °C，压力为 1.0 大气压。试求当空气体积压缩到 10 厘米³，温度达到 27 °C 时的压力。

解： $p_1 = 1.0$ 大气压 $p_2 = ?$

$$V_1 = 50 \text{ cm}^3 \quad V_2 = 10 \text{ cm}^3$$

$$T_1 = 273 + 17 = 290 \text{ K} \quad T_2 = 273 + 27 = 300 \text{ K}$$

由方程 (3) 得：

$$p_2 = p_1 \times \frac{V_1}{V_2} \times \frac{T_2}{T_1}$$

代入数值得：

$$p_2 = 1.0 \times \frac{50}{10} \times \frac{300}{290} = 5.2 \text{ 大气压}$$

注意事项：

a. 所有的温度必须以 K 表示。

b. p 、 V 可使用任一单位，但方程两边必须相同。

c. 在某些计算中，气体的体积必须是在 s. t. p. (标准温度和压力) 状态下的体积，也就是温度为 0 °C，压力为 760 毫米汞柱。

气体和运动理论

当气体的温度提高时，气体分子的平均速度也提高。由于气体的分子撞击容器器壁而产生压力。

习题

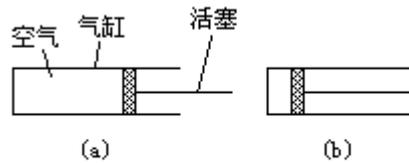


图 42.4

1. 在图 42.4 (b) 中推动活塞，使空气压缩，活塞处于气缸长度[图 42.4 (a)]的四分之一的位罝。请回答下列问题 (a) 空气的体积发生了什么变化？ (b) 空气的压力有什么变化？ (c) 空气的分子数有什么变化？

2. 如果在 1×10^5 帕压力下，一定量的气体的体积为 30 厘米^3 ，那么当压力为 (a) 2×10^5 帕， (b) 5×10^5 帕时，气体的体积是多少？

3. 在恒压情况下，某气体在 27°C 时体积为 2 米^3 ，那么 (a) 加热到 327°C (b) 冷却到 -123°C 时，气体的体积各为多少？

4. 在 27°C 和 1 大气压下，气体的体积为 150 厘米^3 。试计算在下列情况时气体的体积， (a) 恒压，绝对温度提高两倍， (b) 恒温，压力提高两倍， (c) 压力为 2 大气压，温度为 127°C 。

§ 43 传导、对流、辐射

在冬季或夏季为了保持建筑或室内的适宜温度，人们需要热如何传递的知识，当然，这样做即要保证经济合理，又要传热效率高。

传 导

将金属匙放在热饮料中，匙柄一会就发热，这是因为热沿匙柄传递，即为传导。

传导是指热通过物质由高温位置流向低温位置，而在传递过程中物质作为一个整体并不发生运动。

图 43.1 中是一个简单的演示实验，它说明不同金属具有不同的传导能力。图中用熔化的石蜡将火柴棍固定在各金属棒的一端。棒的另一端用热源加热。当离热源较远的一端温度升高达到石蜡的熔点时，火柴棍将掉下来。通过观察可知：铜棒上的火柴最先落下，说明铜是

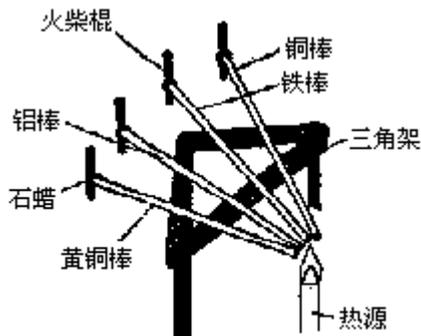


图 43.1

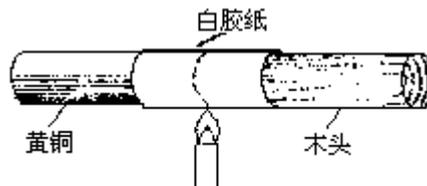


图 43.2

最好的导体，其余依次为铝、黄铜、及铁。



图 43.3

大多数金属都是热的良导体，其它材料如木头、玻璃、软木、塑料及纤维都是不良导体。图 43.2 中的装置说明了黄铜与木头之间的区别。如果把图中的棒放在火焰上通过几次，那么缠绕在木头上的纸焦化，而缠绕在黄铜上的纸不焦化。这是因为黄铜能迅速将热传递出去，以防止达到纸的燃烧温度；相反，木头只能很慢地传热。

用手接触低于体温的金属物体就会感觉比接触不良导体时更凉一些，因为金属将手上的热迅速传递出去，即使所接触的所有物体都具有相同的温度，感觉也是不同的。

液体和气体也可传热，但速度很慢。水是极不良导体，如图 43.3 所示。在试管底部的冰熔化之前，在试管顶部的水可以被煮沸。

导体的应用

(a) 良导体在任何场合，凡需要将热通过某些物体迅速传递时，就要使用良导体。水壶、蒸锅、锅炉及暖气片都是由金属如铝、铁和铜制成的。

(b) 不良导体（绝缘体）茶壶、水壶和蒸锅的把手都是由木头或塑料制成的。软木通常用来作桌垫。

空气是最不良的导体之一，即是最好的绝缘体。这就是为什么房屋建筑带有空心墙壁（即两墙由空气夹层分开），以及装双层玻璃窗的缘故。其目的是保持室内冬暖夏凉。

能集存空气的材料，如木头、毛毡、皮毛类、羽毛类、聚苯乙烯、玻璃纤维都是最不良导体。有些材料可以做绝热水管的“外套”、热水筒，烘箱、

冰箱或房屋顶棚（墙），另外也可以做防寒服。

对 流

液体的对流

对流是热通过流体（液体或气体）传递的一种常用的方法。通过一细管将少量的高锰酸钾晶粒滴落到装有水的长颈瓶的底部。当把细管移走并用小火在瓶下面加热瓶中晶粒时（图 43.4），水中紫红色条纹上升，直到上部呈扇形向外分开。

随多股暖流移动的流体称作对流流束。对流的产生是当一种流体被加热时，因其膨胀变得较稀疏，并受周围较冷和较密集流体的向上作用力，而较密集的流体在其下移动。我们说“热水（或热空气）上升”。暖流体的行为就象放在水下的软木，软木较轻故向上浮起。不过，在对流中是流体浮在流体中，而不是固体在流体中浮动。

对流是通过一流体借助其本身的运动从高温区到低温区的
空气的对流

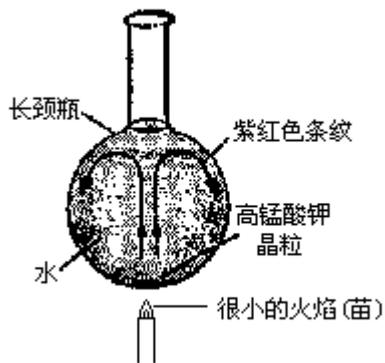


图 43.4

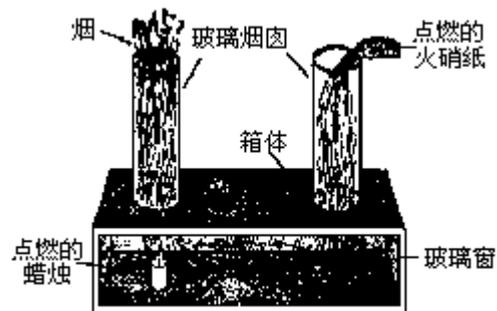
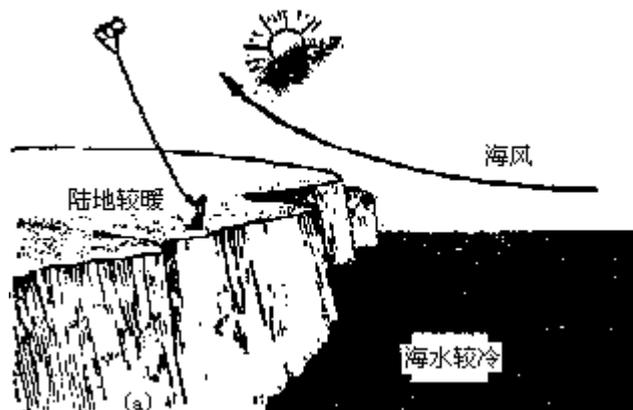


图 43.5



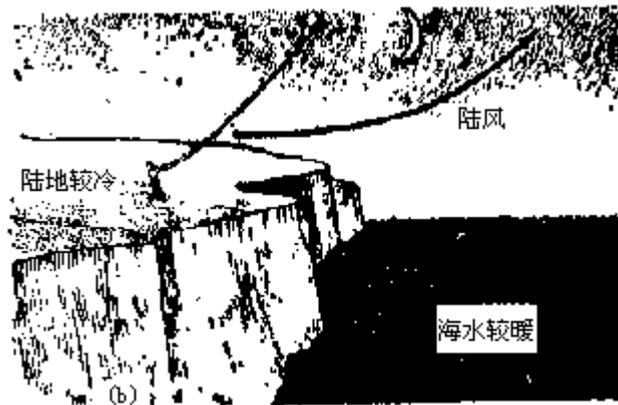


图 43.6

在灯或散热器上方的墙或天花板上往往会出现黑色的斑记。它们是由于炽热的灯或散热器使空气产生对流气流而将灰尘向上带起所造成的。

在空气中对流气流的实验室试验可利用图 43.5 中的装置进行。蜡烛所产生的对流气流的方向，可由火硝纸（可用褐色纸在浓硝酸钾溶液中浸泡并干燥来制备）的烟气观察到。

由电炉、煤气炉和油炉所产生的对流气体可供室内取暖。许多所谓的“散热器”实际上都是对流加热器。

自然对流气流

(a) 海风白天陆地的温度比海水温度升高得快（因为陆地的比热容很小）。在陆地上方的热空气上升，并被来自海上的较冷空气所代替，结果形成海风（图 43.6 (a)）。

在夜晚发生相反的现象。海水具有更多的热量可供释放并且冷却较慢。海面上的空气比陆地上的空气温暖，来自陆地的风吹向海面（图 43.6 (b)）。

(b) 滑翔运动 滑翔机包括“悬挂的滑翔者”（图 43.7），其滑翔状态取决于称为热泡的热空气流。滑翔机从一个热气流飞到另一个热气流，可以在空中停留几个小时。

辐 射

辐射是热传递的第三种方式，但是，它不象传导与对流那样必须有物质才能产生，它可以在真空中产生。来自太阳的热量就是靠辐射的方式达到地球上的。

辐射具有电磁波的一切性质，例如它以无线电波的速率传递。当辐射在物体上时，它部分被反射，部分继续传播，部分被吸收；被吸收部分使物体温度升高。

辐射是借助电磁波从一个位置传递到另一个位置的热流动。

辐射主要是由红外辐射组成，但如果物体很热（如象太阳），那么可见光和紫外线也同时存在辐射。

良吸收体和不良吸收体

黑色无光泽的表面比白色有光泽的表面具有更好的辐射吸收能力（后者是良好的辐射反射体）。这就是为什么在炎热的国家里，建筑物经常涂刷成白色和在夏天穿浅色的服装的原因。装在电炉上的反射器是由抛光金属构成的，因为它们具有良好的反射性能。

良发射体和不良发射体

当某些物体受热时，其中有些表面比另一些表面发射辐射的性能好。如果将你的两只手背靠近一面抛光一面发黑的加热铜板的两侧，那么会发现无光泽的黑表面比有光泽的表面是更好的辐射发射体（图 43.8）。

被抛光的茶壶或水壶是不良发射体，因而可以较长时间地保持它们的热度。通常，良辐射吸收体的表面受热时是良发射体。

真空瓶

一个真空瓶或恒温瓶能保持热液体的温度和冷液体的温度。它很

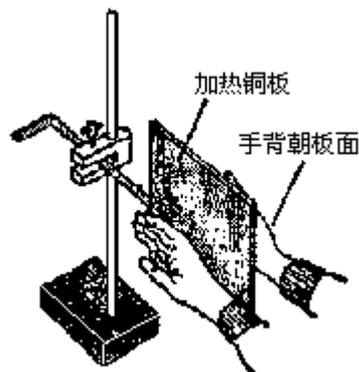


图 43.8

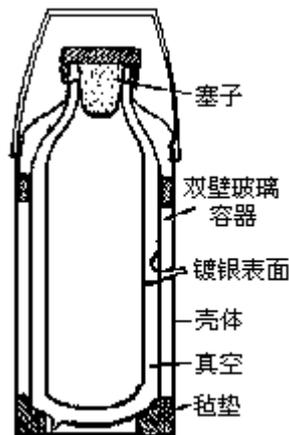


图 43.9

难将热输入瓶内或将热输出瓶外。

由于制造这种瓶子是两壁间为真空的双壁玻璃容器，所以通过传导和对流传递的热是最小的（图 43.9）。在真空区两壁镀银，使辐射减少。例如，如果一种热液体被贮存起来，那么来自热内壁的小量辐射被镀银的外壁反射回来和穿过真空区。轻微的热损失是由于瓶壁和瓶塞的热传导所产生的。

习题

1. 请解释原因：（a）包装纸既能保持热物体又能保持冷物体原来的温度，（b）如果将穿旧了的皮毛外衣里面翻向外，仍能保暖，（c）即使穿由线编织的带有很多孔眼的马甲也能保持人体的温度。

2. 如果将开水倒在玻璃杯里，为什么杯子很可能要破裂？

3. A 只在固体中, B 只在液体中, C 只在气体中, D 在固体和液体中, E 在液体和气体中。在上述五种情况中哪些可以发生对流?

4. 我们能够感觉到来自火中的热量, 这是因为 A 对流, B 传导, C 再凝结, D 扩散, E 辐射。

5. 三个烧杯尺寸及形状均相同: 一个涂无光泽黑色, 一个涂无光泽白色, 一个涂有光泽白色。烧杯中都装满开水。问哪一个烧杯中水冷却得最快? 说明理由。

6. 如图 43.10 中的门雨棚, 当其受辐射照射时, 黑白表面间的区别明显地表现出来。请解释这是为什么?

§ 44 状态的变化

固体受热时, 可熔化并改变其状态变成液体。例如, 冰受热变成水; 反之, 液体固化时, 发生冷凝过程。

纯物质在称为熔点的固定温度下熔化; 它在相同温度——冰点下

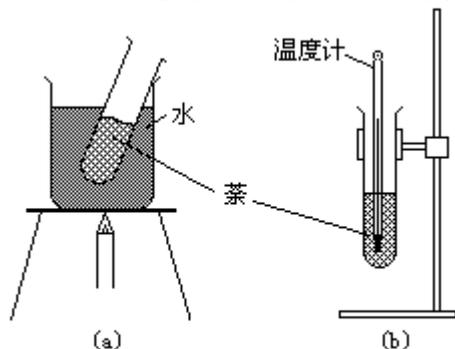


图 44.1

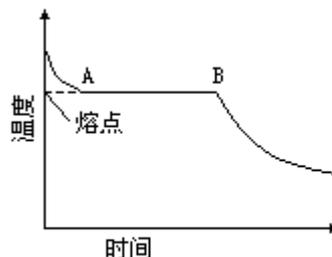


图 44.2

凝固。

实验 1 萘的冷却曲线

把装有半管萘 (樟脑丸) 的试管插入盛有水的烧杯中 (图 44.1 (a)), 加热水直到萘全部熔化为止。

取出试管按图 44.1 (b) 安装, 并将温度计插入液萘中。每分钟记录一次温度, 直到温度降到 70 为止。

画出温度对时间的冷却曲线。

· 萘的冰点 (熔点) 是多少?

熔解潜热

上述实验表明, 液萘温度下降直到开始凝固时 (80) 为止, 而且在液萘全部固化以前温度保持恒定。图 44.2 是纯物质的冷却曲线; 水平线段 AB 出现在物质固化时的熔点处。

在固化期间, 物质对环境放出热量, 但本身温度并没有下降。

当固体熔化时, 吸收热量, 但并不引起温度升高。例如, 充分搅拌的冰

-水混合物的温度始终维持在 0°C ，直到冰全部熔化为止。

固体熔化时所吸收的热量或液体固化时所放出的热量，称为熔解潜热 (Latent heat of fusion)。Latent 意思是潜在的，fusion 意思是熔解。潜热不引起温度变化，它似乎消失了。

蒸发潜热

将液体变为蒸气也需要潜热。尽管沸水是从加热源不断吸收称为蒸发潜热的热量，但是沸水中的温度计的读数始终保持恒定。

当水蒸汽冷凝变成液体水时，放出潜热。这就是为什么被蒸汽烫伤比沸水烫伤还要严重的原因。

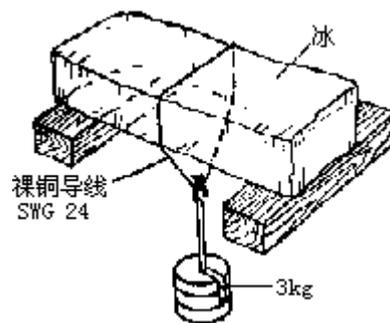


图 44.3

压力对熔点的影响

增加对冰的压力将降低其熔点。这一现象可通过图 44.3 演示实验来说明。在此实验中，载有重量的铜丝穿过冰块，而冰块未被切成两部分。

在铜丝下面，冰块受到一巨大的压力，熔点降低，因而 0°C 的冰由于其温度高于其的新熔点而熔化。铜丝穿过水，因水不再受到力的作用，熔点回复到 0°C ，所以在铜丝上面的水结成冰。水在凝固时发出熔解潜热，并通过铜丝传导到下面的冰使其熔化。

这一效果称为复冰 (重新结冰)。复冰将会引起雪花聚结在一起而形成雪球。这可能也是冰川运动的原因。

杂质对熔点的影响

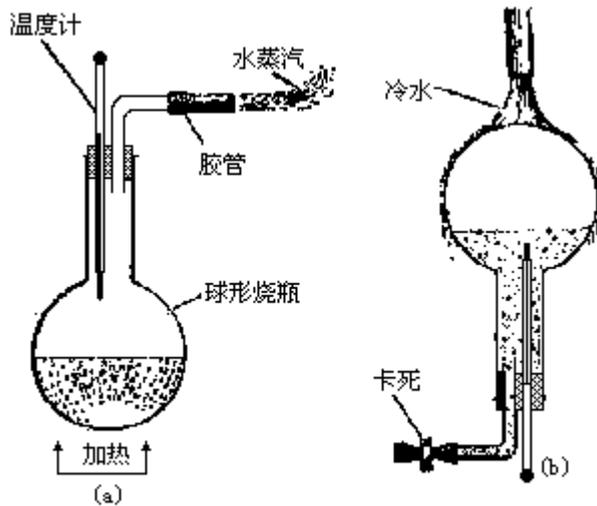


图 44.4

充分搅拌的冰-水混合体系的温度一般为 0°C ，但加入杂质，如盐，则其温度可降到 -20°C 。这样所形成的冰水混合体系可用于冷却。

温度下降是由于盐降低了冰的熔点。但是冰仍处于 0°C ，即高于它的新熔点。因此，冰从其混合体系中吸收潜热而熔化，直到体系的温度降低到新的熔点。

这一影响说明了为什么汽车散热器使用防冻剂和为什么往结冰的道路上撒盐水（或海边沙子）。“杂质”降低了混和物的冰点，因此可用于防冻。

压力对沸点的影响

当增加水面上的压力时，水的沸点也提高。利用图 44.4 (a) 装置，夹住胶管可以提高压力，保持一段时间后就可见到温度计的读数上升。

还可看到，压力降低，水的沸点也降低。将水煮沸几分钟，以便水蒸汽把大部分空气赶出烧瓶。然后停止加热，并夹住胶管，用冷水浇在倒过来的烧瓶上（图 44.4 (b)），这样冷凝水蒸汽留在烧瓶内，使得水面上的压力降低，水开始沸腾。如果以同样方法继续冷却，则沸点可降低到 40°C 左右。

杂质对沸点的影响

“杂质”如盐加到水中，将提高水的沸点。

蒸发

液体在未达到它的沸点时也可蒸发变为蒸汽。道路上的一摊水可蒸发掉，而且在下述情况下可加速其蒸发：(i) 刮风，(ii) 太阳照射，(iii) 空气中仅有少量的水蒸汽。

蒸发与沸腾的比较如下：

蒸 发	沸 腾
1. 在任何温度下都可进行	1. 在一定的温度（沸点下）才沸腾
2. 蒸发在液体表面进行，不产生气泡	2. 沸腾在液体内部进行，有气泡产生

这两个过程都需要汽化热。在蒸发过程中，液体从周围环境中吸收潜热，这可由图 44.5 中的装置来说明。

乙醚是易挥发的物体，因为它的沸点低（35℃），在室温下迅速蒸发，特别是当空气吹过时蒸发的更快。醚蒸发所吸收的潜热首先是从醚自身获得的，随后从容器中的水获得。水很快结冰，使容器和木块冻结在一起。

易挥发液体溅到手上时，会感到很凉，这种液体用来生产香料。

出汗时，水份从人体皮肤表面蒸发，这就是人体排除多余热量的方式，并使得体温保持恒定。剧烈运动后会感觉过冷对人体是有害的，特别是在通风的地方，这样会减少抗感染的能力。

蒸发冷却

在一定温度下，液体分子有一平均运动速度，但有些分子比另外一些分子运动速度快。快速运动的分子从液体表面逸出时，便发生蒸发。剩下的液体分子的平均运动速度，即平均动能（K.E.）降低，从而使液体的温度降低。

电冰箱就是利用蒸发冷却原理。

电冰箱

在电冰箱中，致冷剂在一处吸热，在另一处放热，并由泵输送循

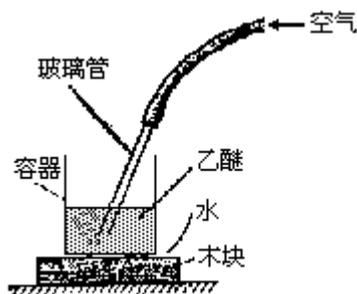


图 44.5

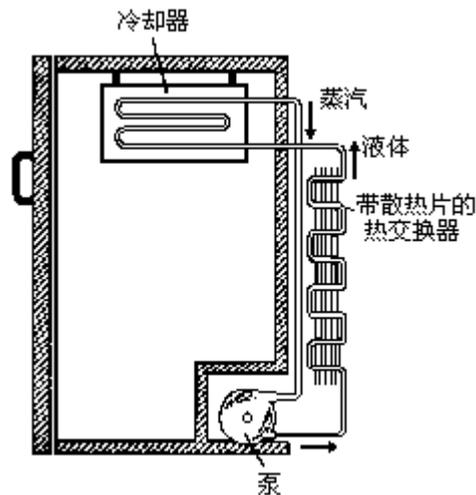


图 44.6

环，如图 44.6。

在电冰箱顶部，在环绕冷却器的蛇形管中含有易挥发液体。液体从周围环境吸收潜热蒸发，因而产生致冷效果。电动泵排出蒸汽（由于压力降低，液体的沸点也降低，促进了蒸发，甚至沸腾）进入到热交换器（在电冰箱后面外部带有散热片的管子）。此时蒸汽被压缩、液化，并向环境空气放出汽化潜热。液体返回到环绕冷却器的蛇形管，进行重复循环。

有一个可调节恒温器的开关控制泵的启动和停止，从而也控制蒸发速率和电冰箱中的温度。

空气湿度

(a) 露点空气中总含有水蒸汽，这是因为海、河、湖等水的蒸发。空气中水蒸汽的含量取决于空气湿度。如果出现冷却，温度达到所谓的露点时，这时空气中的水蒸气足以达到饱和；进一步冷却，将会引起水蒸汽的冷凝。如果在一个温暖的白天之后，寒冷而晴朗的夜晚来临，那么过量的水蒸汽往往在地面上形成露珠。

(b) 相对湿度在潮湿的大气中人们会感到身体“发粘”，这是因为水份从皮肤向外蒸发缓慢的原因。蒸发速率并不完全取决于空气中水蒸汽的含量，而取决于空气中水蒸汽的饱和程度，即空气的相对湿度 (R.H.)。

$$R.H. = \frac{\text{一定体积空气中水蒸气的质量}}{\text{在同一温度下，同体积空气达到饱和状态时所需要的水蒸汽的质量}}$$

相对湿度可由湿度计来测得。

习题

1. 解释下列现象：

- (a) 在十分寒冷的天气里滚不成完好的雪球。
- (b) 在雪地上行走时，雪会结块并粘在鞋底上。
- (c) 在高山上沏不出一杯好的茶水来。

2. 将具有渗透能力的材料（如帆布）制成的袋子装水，悬挂起来，放置在通风处。试解释为什么水温低于周围空气的温度。

§ 45 测量热量

比热容

如果将 1 千克的水和 1 千克的石蜡用同一加热器以相同的时间轮流加热，则石蜡上升的温度大约是水温的两倍。由于加热器对每种液体提供的热量相等，因此，可以说，相同质量的不同物质，要达到相同的温度，如 1 千克的物质温度升高 1，需要不同的热量。

测量某种物体所“吸收”的热量，可用该物质的比热容（符号为 c）。

所谓比热容是单位质量的某种物质，使其温度上升（或下降）1 所吸收（或放出）的热量。

如同其它形式的能量一样，热是用焦耳（J）为单位来测量的，比热容的单位是焦耳/千克·（J/kg·）。

在物理学中，单词“比”意味着所考虑的是“单位质量”。

热方程式

如果某种物质的比热容为 1000 焦耳/千克·，则：

- 1000 焦耳使 1 千克该物质温度提高 1
- 2 × 1000 焦耳使 2 千克该物质温度提高 1
- 3 × 1000 焦耳使 3 千克该物质温度提高 1

因此，6000 焦耳使 2 千克该物质温度提高 3 。我们可由它们的乘积得到答案。

- (i) 质量以千克为单位；
- (ii) 温度以 为单位；
- (iii) 比热容以焦耳/千克· 为单位。

如果该物质的温度降低 3 ，那么所放出的热量也是 6000 焦耳。一般情况下，我们可写出“热方程式”为：

吸收或放出的热量=质量×温度的变化×比热容

例如，质量为 5 千克，比热容为 400 焦耳/千克· 的铜，温度从 15 上升到 25 ，则吸收的热量为

$$\begin{aligned} \text{吸收的热量} &= 5 \times (25 - 15) \times 400 \\ &= 5 \times 10 \times 400 = 20000 \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

实验 1 比热容

这个实验使用一个 12 伏的已知功率的浸没式电加热器。一个 40 瓦的电热器每秒钟能把 40 焦耳的电能转变成热能。如果此电热器没有标明功率，那么请先求出它的功率¹。

(a) 水 将 1 千克的水加入容器中，即铝

设电热器放出的热量等于水吸收的热量，按下式求水的比热容（焦耳/千克· ）：

水吸收的热量（焦耳）=电热器功率（焦耳/秒）×加热时间（秒）



图 45.1

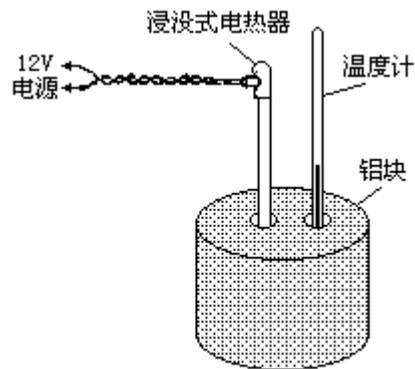


图 45.2

整理“热方程式”得到：

$$\text{水的比热容} = \frac{\text{水吸收的热量 (焦耳)}}{\text{质量 (千克)} \times \text{升高的温度 ()}}$$

¹ 可以将浸于水中的电热器与 12 伏直流电源相联，测量其电流（通常 3~4 安），求其功率。功率为瓦=伏×安。圆筒中：记录水温，插入电热器（图 45.1）接通 12 伏电源。搅拌水，5 分钟后切断电源，继续搅拌，记录所达到的最高温度。

试分析本实验产生误差的原因。

(b) 铝 一个重 1 千克的铝块，在其上面钻两个孔。在中心孔插入浸没式电热器，在另一个孔中插入温度计（图 45.2）。

记录温度，将加热器接到 12 伏电源上。加热 5 分钟，当温度停止上升时，记录此时的最高温度。

比热容计算同前。

例题

1. 一个盛有 60 千克的水容器，用 3 千瓦的浸没式电热器加热。已知水的比热容为 4200 焦耳/千克·℃，计算水温从 10℃ 提高到 60℃ 时所需要的时间。

2. 千瓦的加热器每秒提供 3000 焦耳的热量。

设 t = 水温升高为 $(60 - 10) = 50$ ℃ 所需要的时间（秒）

则在时间 t 内供给水的热量 = $3000 \times t$ 焦耳

根据“热方程式”得到：

水吸收的热量 = $60 \times 4200 \times 50$ 焦耳

设 提供的热量 = 吸收的热量

$$3000 \times t = 60 \times 4200 \times 50$$

$$\text{则 } t = \frac{60 \times 4200 \times 50}{3000} = 4200 \text{ 秒 (70 分钟)}$$

3. 一质量为 0.5 千克的铝块被加热到 100℃，然后放到 0.4 千克 10℃ 的水中，如果混合后的温度为 30℃，已知水的比热容为 4200 焦耳/千克·℃，求铝的比热容。

当温度不同的两种物质混合时，热由高温物质流向低温物质，直到两种物质的温度达到相同时（混合温度）为止。如果不计热损失，那么在该条件下：

铝放出的热量 = 水吸收的热量

根据“热方程式”设 c 为铝的比热容（焦耳/千克·℃），则可得到：

放出的热量 = $0.5 \times c \times (100 - 30)$ 焦耳

吸收的热量 = $0.4 \times 4200 \times (30 - 10)$ 焦耳

$$0.5 \times c \times 70 = 0.4 \times 4200 \times 20$$

$$c = \frac{4200 \times 8}{35} = 960 \text{ 焦耳 / 千克} \cdot \text{℃}$$

比熔解潜热

某种物质的比熔解潜热是指单位质量的固体在温度不变的条件下由固态变为液态所需的热量。

测量单位是焦耳/千克或焦耳/克。

实验 2 冰的比熔解潜热

将一已知功率的浸没式电热器接到 12 伏的电源上插在过滤漏斗中，周

围是一些小冰块（图 45.3）。接通加热器加热 3 分钟。求烧杯中收集的水的质量。结果表示如下：

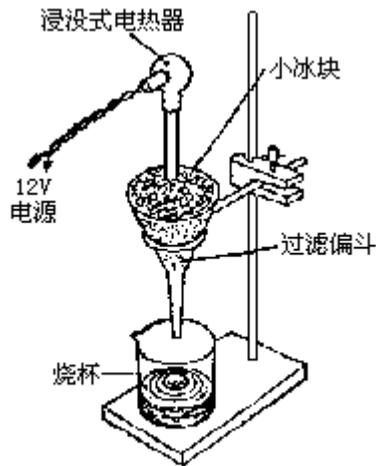


图 45.3

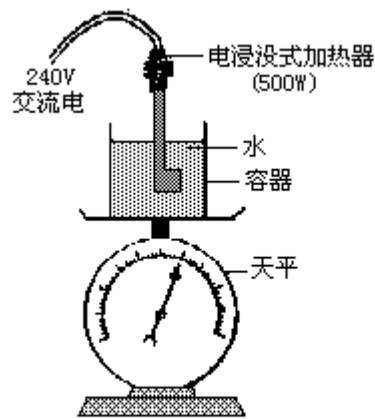


图 45.4

浸没式电热器的功率 = 瓦 (焦耳/秒)
 加热时间 = 秒
 供给冰的热量 = 焦耳
 空烧杯质量 = 克
 烧杯+熔化的冰的质量 = 克
 熔化的冰的质量 = 克

计算熔化 1 克冰所需要的热量。

· 在此实验中，引起误差的因素是什么？

比汽化潜热

比汽化潜热是指单位质量的液体在温度不变的条件下由液态变为气态时所需的热量。

利用图 45.4 中的装置可估算水的比汽化潜热值。将一个浸没式加热器夹牢并使其被罐内的水覆盖。当水沸腾产生气泡时，记录天平的读数，并开始启动停表。记下 50 克水沸腾完所需的时间。

设用一 500 瓦的加热器加热，汽化时间为 4 分钟（240 秒），那么：

$$\begin{aligned} 240 \text{ 秒提供的热量} &= 500 \text{ 焦/秒} \times 240 \text{ 秒} \\ &= 120000 \text{ 焦耳} \end{aligned}$$

允许值为 $2300 \text{ 焦耳/克} = 2300000 \text{ 焦耳/千克} = 2.3 \times 10^6 \text{ 焦耳/千克} = 2.3 \text{ 兆焦耳/千克}$ 。由于容器和水向环境散失热量，所以产生误差。

潜热和分子运动理论

(a) 熔解 因为能量使固体分子相对固定位置的振动变成在较大范围内的液体分子的运动，所以分子运动理论解释了熔解潜热。当加热引起温度升高时，分子的势能增加而平均动能不增加。

(b) 汽化 如果液体分子克服使它们相互聚集在一起的吸引力，象气

体分子那样自由运动，这就需要很大的能量。可以认为此能量就是汽化潜热，如同熔解潜热一样，汽化潜热增加分子的势能 (P.E) 而不增加它们的动能 (K.E)。在液体汽化发生体积膨胀的过程中，汽化潜热也能使分子具有推回周围大气所需的能量。

例题

已知下列值

	水	冰	铝
比热容 (焦耳/克·)	4.2	2.0	0.90
比潜热 (焦耳/克)	2300	340	

1. 20 克 0 的 冰 变成 100 的水蒸汽，需要多少热量？

此变化过程可分为三个步骤：

20 克 0 的 冰 变成 0 的水所需热量

$$= \text{冰的质量} \times \text{冰的比潜热}$$

$$= 20 \times 340 = 6800 \text{ 焦耳}$$

20 克 0 的水 变成 100 的水所需热量

$$= \text{水的质量} \times \text{水的比热容} \times \text{升高的温度}$$

$$= 20 \times 4.2 \times 100 = 8400 \text{ 焦耳}$$

20 克 100 的水 变成 100 的水蒸汽所需热量

$$= \text{水的质量} \times \text{水汽化的比潜热}$$

$$= 20 \times 2300 = 46000 \text{ 焦耳}$$

因此 总的供热量

$$= 6800 + 8400 + 46000 = 61200 \text{ 焦耳}$$

2. 一个质量为 100 克的铝容器，盛有 200 克的水，它们的初始温度为 15，将它们放置在 -5.0 的冰箱中。试计算使铝容器及水的温度降至 -5.0 所必须放出的热量是多少？

容器的温度从 15 下降到 -5.0 的热损失

$$= \text{容器的质量} \times \text{铝的比热容} \times \text{降低的温度}$$

$$= 100 \times 0.90 \times [15 - (-5.0)] = 100 \times 0.90 \times 20$$

$$= 1800 \text{ 焦耳}$$

水的温度从 15 下降到 0 的热损失

$$= \text{水的质量} \times \text{水的比热容} \times \text{降低的温度}$$

$$= 200 \times 4.2 \times 15 = 12600 \text{ 焦耳}$$

由 0 水 变成 0 冰的热损失

$$= \text{水的质量} \times \text{比潜热}$$

$$= 200 \times 340 = 68000 \text{ 焦耳}$$

冰的温度从 0 下降到 -5.0 的热损失

$$= 200 \times 2.0 \times 5.0 = 2000 \text{ 焦耳}$$

因此 总的传热量

$$=1800 + 12600 + 68000 + 2000=84400 \text{ 焦耳}$$

习题

1. 一比热容为 300 焦耳/千克· 的 5 千克物体，温度升高 10 需要多少热量？

2. 加热 1 千克石蜡，其温度升高 1 需要能量为 2000 焦耳，那么加热 3 千克石蜡，温度升高 10 ，所需的热量是多少？

3. 三种不同质量的物质 A、B 和 C，提供相同的热量，每种情况温度的升高如下表所示，计算 A、B 和 C 的比热容。

物质	质量 (千克)	供热量 (焦耳)	温度升高 ()
A	1.0	2000	1.0
B	2.0	2000	5.0
C	0.5	2000	4.0

4. 当质量为 2 千克，比热容为 440 千焦耳/千克· 的铁球，从 300 冷却到 200 时，放出多少热量？

5. 一个 2 千瓦的加热器，在 (a) 10 秒，(b) 1 分钟内能提供多少焦耳的热量？

6. 一个电热水加热器，加热 0.5 千克的水，每分钟温度升高 30 。水的比热容为 4200 焦耳/千克· ，设无热损失，那么加热器的功率是多少？

7. 欲得到一个 50 的水浴，必须向 60 千克 80 的热水中加入多少 10 的冷水？忽略热量损失，并取水的比热容为 4200 焦耳/千克· 。

8. (a) 10 克 0 的冰变成 0 的水，吸收的热量是多少？

(b) 20 克 0 的水变成 0 的冰，须放出多少热量？

9. (a) 5 克 0 的冰变成 50 的水，需要多少热量？

(b) 如果冰箱在 10 分钟内使 200 克的水从 20 冷却至冰点，那么每分钟从水中放出的热量是多少？

10. 用一 50 瓦的加热器熔解 50 克 0 的冰，需要多长时间？

11. 一些小铝铆钉总质量为 170 克，在 100 时注入到一大块 0 的冰块孔中。

(a) 铆钉的最终温度为多少？

(b) 冰熔解了多少？

12. (a) 4 克 100 的水变成 100 的水蒸汽，需要的热量是多少？

(b) 当 10 克 100 的水蒸汽冷凝并冷却为 50 的水时，放出的热量是多少？

13. 一个 3 千瓦的电热水壶，在使水开始沸腾后仍保留 2 分钟。问在这

段时间里，有多少质量的水被煮沸汽化？

§ 46 光 线

只有来自物体的光进入人们的眼睛时，才能看见物体。有些物体如太阳、电灯以及蜡烛都是自身发光，我们称这类物体为（发）光源。

我们见到的大多数物体自身并不发光。但却能反射来自光源的光。这类物体称为非发光物体。这里可以人和月亮为例。在图 46.1 中所示的是另外一些物体。

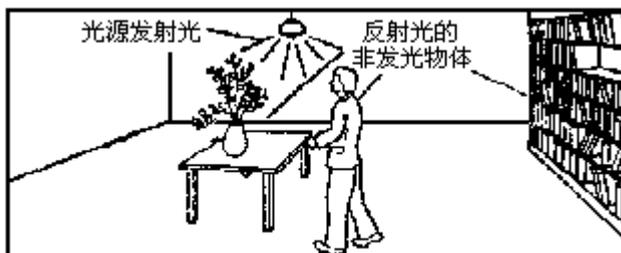


图 46.1

当光源原子接受能量而处于“激发”态时，它便幅射光。例如，白炽灯泡的能量来自电。在多数光源中，被“激发”的原子任意地发射出光。

与普通光源不同的激光发明于 1960 年。激光中被“激发”的原子一起作用，发射出又窄、又亮的光束，这个光束可在千分之一秒内穿透 2 毫米厚的金属板（图 46.2）。激光也用于工业和医疗方面。

光线的性能

光线和光束

太阳光束穿过树木照在树林中（图 46.3），从电影放影机发出的光沿其路径投到屏幕上，这两个例子都表明光是沿直线传播的。因为空气中的尘埃将光反射到人们的眼睛内。所以这两种情况下的光束是可见的。

光传播的方向称为光线，作图时用一带箭头的直线来表示光线。光束是一缕光线，并可用若干光线来表示；光束可以是平行的、发散的（扩散）或收敛的（收缩）（图 46.4）。

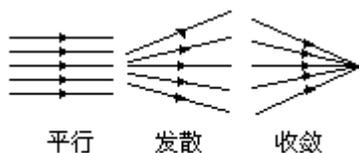


图 46.4

实验 1 针孔照相机

如图 46.5 (a) 所示的箱体，在其黑纸中心开一小针孔，形成暗室。伸直手臂托住箱体，让针孔端离发光体（即弧光灯或蜡烛）最近约 1 米。在屏幕上看其映像（映像与物体相似，而不必是准确的复写）。

- 你能看见同一物体三种不同的映像吗？
- 移动照相机靠近物体的结果是什么？

使针孔扩大一些。

· 针孔扩大 (i) 映像的亮度，(ii) 映像的清晰度，(iii) 映像的尺寸发生什么变化？

在大孔周围开几个小孔（图 46.5 (b)），再观察映像。

- 你看到了什么？

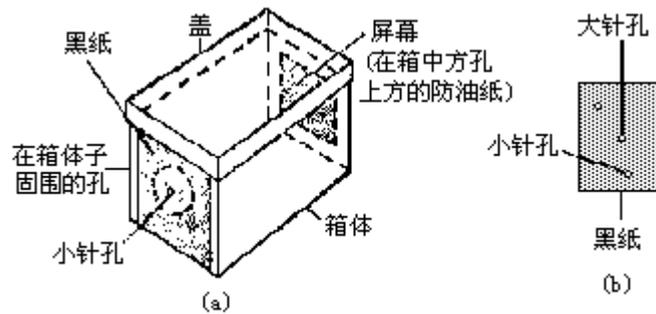


图 46.5

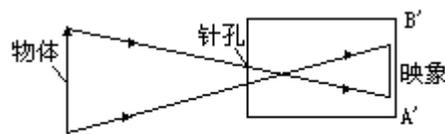


图 46.6

针孔照相机成像方法如图 46.6 所示。

阴影

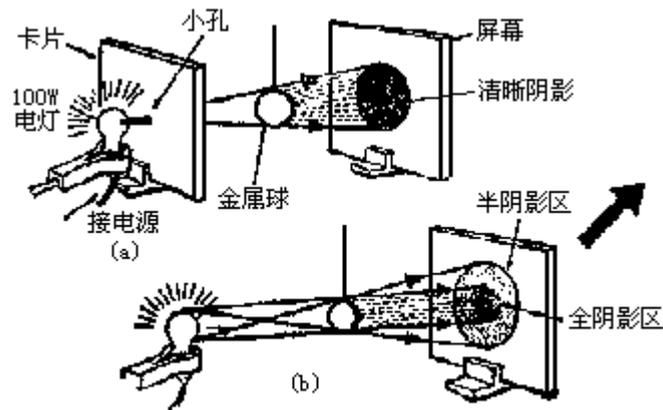


图 46.7

因为光沿着直线传播，所以能形成阴影。一个称为点光源的很小的光源，可以形成相同暗度的清晰的阴影。这可由图 46.7 (a) 来说明，图中小卡片上的小孔可作为点光源。

如果移开卡片，则灯可作为大光源或散光源 (图 46.7 (b))，那么阴影就比较大，且中心有黑暗区 (即本影)，它由部分阴影环 (半阴影) 围绕。部分光线能到达半阴影区，人们能看见但不能到达本影区。

日食

当太阳、月亮和地球在一条直线上时，月亮遮挡住太阳发生日食。太阳是一个散光源 (如图 46.7 (b) 中的灯泡)。在图 46.8 中的 B 处，即月亮阴影的本影区的人能看到日全食 (也就是他们根本看不见太阳)，在半阴影区 A 处的人可以看到日偏食 (仍可看见一部分太阳)。

有时月亮远离地球 (月亮不是绕地球作完全圆周运动)，那么本影区的边缘不能到达地球 (图 46.9)。当这种现象发生时，A 处的人仍能看见日偏食，而 B 处的人能看见日环食 (太阳中心区被遮掩，但外侧部分未被遮挡住)。

在一个地方看日全食最长可达 7 分钟，在这期间，尽管还是白天，但天空黑暗，星星可见，温度下降，鸟儿停止了歌唱。

习题

1. 如果针孔相机制造得更长一些，那么它所成映像的尺寸和清晰度怎样变化？

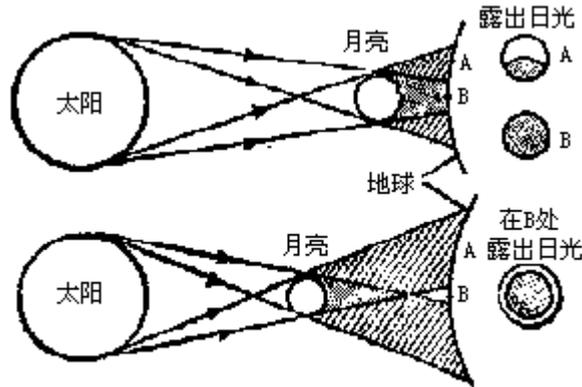


图46.8、46.9

2. 如果针孔相机的单孔被下列情况所代替，即 (a) 四个靠近的小孔，(b) 1 个直径为 1 厘米的孔。那么所成映像有什么变化？

3. 画图表示从地球上看见日食时，月亮的可能位置。

§ 47 光的反射

反射

如果知道光被反射时的行为，那么我们就可以利用镜子来改变光传播的

方向。这种现象在潜望镜中发生。

普通镜子是由一块玻璃在一面镀一薄层银，并刷上涂料保护层而制成的。银——镀在玻璃的背面——用作反射面。

实验 1 平面镜的反射

在纸板上画一条直线 AOB，并在其上用量角器标出角度。从重线 ON 开始测量角度，ON 垂直于 AOB。在 AOB 上放置一平面镜作为反射面。

(a) 射线法将一束狭窄的光的射线沿 30° 照射到镜子上 (图

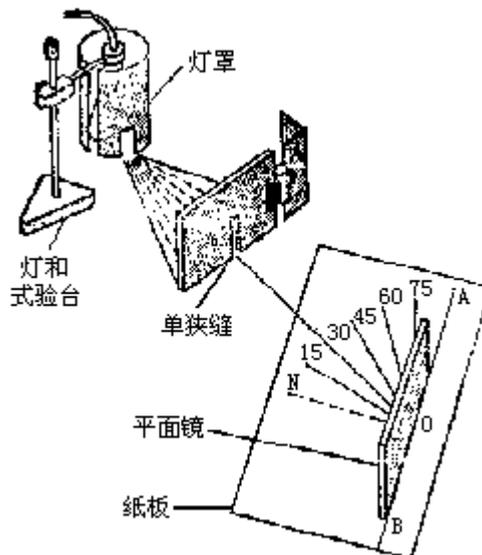


图 47.1

47.1) 标出反射线的位置，移动镜子，测量反射线和 ON 之间的夹角。对其它角度的射线重复实验。

· 通过实验，你能得出什么结论？

(b) 钉子法 在 30° 角的直线上钉两个钉子 P_1 和 P_2 (图 47.2)，用此表示照射到镜子上这个角的光线。向镜中观察并插上两个测视钉 P_3 和 P_4 ，以使它们是在 P_1 和 P_2 的反射线 (像) 上。 P_3P_4 给出 P_1P_2 反射后的“光径”。

移动 P_3 和 P_4 ，并用十字叉标出它们的位置 (与上 P_3 、 P_4)。移动镜子，通过 P_3 和 P_4 划一条直线与镜子相交，其交点为 O。测量 P_4ON 的角度。重复其它角度的实验。

· 通过实验，你能得出什么结论？

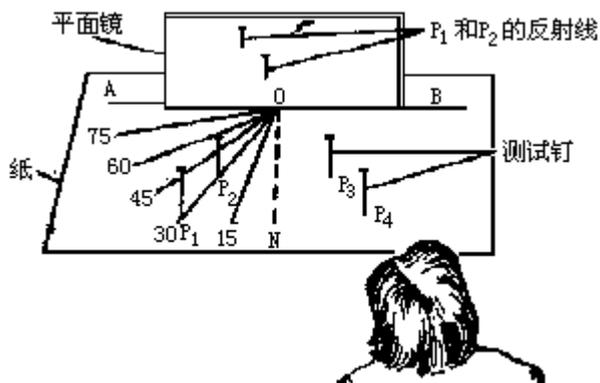


图 47.2

反射定律

在图 47.3 中表示与反射有关的术语。在入射线与镜子的交点处，与镜子垂直的直线称为法线。注意入射角 i 是入射线与法线之间的夹角；与此类似，反射角 r 是反射线与法线之间的夹角。

反射定律有两条：

入射角等于反射角；

入射光线、反射光线和法线在同一平面内（这就意味着可将它们画在同一张纸上）。

潜望镜

简易潜望镜是由包括两个平面镜的一根管筒组成的，且这两个平面镜平行固定。每个镜面与两镜面间的连线均成 45° （图 47.4）。从物体发射的光经每次反射产生 90° 的转向，因而观察者就可以看到上面的人群（如图 47.5）或看到障碍物顶端上面的东西。

用于潜艇中的高精密的潜望镜是用棱镜代替平面镜。

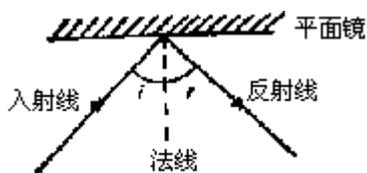


图 47.3

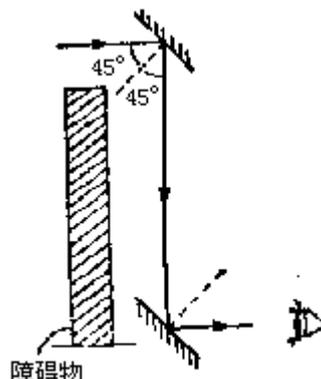


图 47.4

单向反射与漫反射

如果平行光束照射在平面镜上，则它以平行光束反射（图 47.6 (a)），我们就说发生了单向反射。但是，大多数表面的反射光却是不规则的；入射

平行光束中的各条光线是沿着很多方向反射的（图 47.6 (b)）。

不规则反射或漫反射是由于物体表面不象镜面那样光滑。对于物体表面每一点来说都遵守反射定律，但入射角与反射角的值却是各点互不相同的，所以反射光线任意扩散。通过漫反射可以看出大多数物体表面都是粗糙不平的。

平面镜

当房间里挂一平面镜时，可在镜中看到房间的图像；这就好像存在着另外一个房间一样。餐厅有时在一面墙上挂一个很大的镜子，使人们感觉到场面扩大。你可能会说，下次实验会出现更大的。

由镜子形成图像的位置取决于物体的位置。

实验 2 图像的位置

设将一块很薄的玻璃垂直地放在工作台上，见图 47.7。距玻璃约 10 厘米处放置一个小纸片箭头 0。玻璃起镜子的作用，0 的映像可以在玻璃中看到；工作台越暗，则映像越清晰。

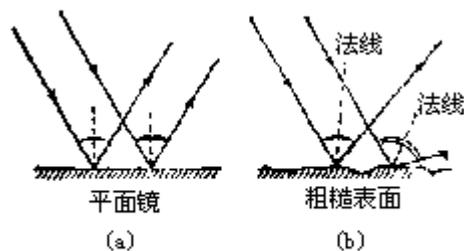


图 47.6

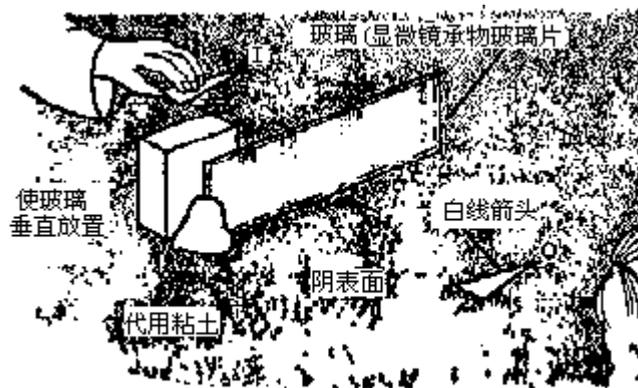


图 47.7

· 试比较 0 与映像的大小？

把一个与 0 大小相等的箭头 I 放置在这块玻璃后面的工作台上；移动箭头 I，直到 I 与 0 的映像相吻合为止。沿着连接 0 和 I 的直线，测量 0 和 I 到玻璃的距离。

· 试比较 0 和 I 至玻璃的距离，情况如何？

O 处于另外一个距离，重复上述实验。

实像和虚像

光线通过屏幕，在其上产生的图像为实像。

虚像不能在屏幕上形成，虚像的形成看来象光线通过屏幕，实际上不通过屏幕而形成的。平面镜中的图像是虚像。从物体上某一点发出的光在镜子上反射，当产生反向延伸相交时，眼睛看到的那一点似乎来自于镜后（图 47.8）。光线 IA 和 IB 并不存在，它们是虚的，故用虚线表示。

横向颠倒

如果你闭上左眼，在平面镜中的图像好象是闭上了右眼。在镜中的图像左和右交换了位置，图像称作横向颠倒。无论何时，反射光所成的图像都是这种结果；如果在镜中观察图像，这种现象是很明显的（图 47.9）。

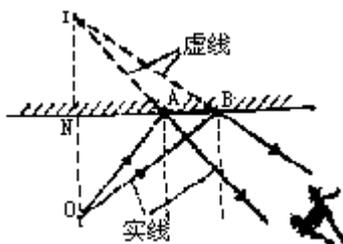


图 47.8

· 如果在潜望镜中存在两次反射，发生什么现象？

图像的性质

在平面镜中的映像是：

(i) 物体和映像连线垂直镜面，且镜后映像的距离与镜前物体的距离相等。

(ii) 映像的大小与物体相同。

(iii) 虚像。

(iv) 横向颠倒。

平面镜的利用

平面镜除人们每天使用外，还可提高科学仪器的精度。

仪表的刻度盘上有一移动的指针，只有当眼睛直接对准指针时，读取的数据才是正确的。在其它任何位置都存在误差，此误差称为视差。〔两个物体间存在视差（这里指的是指针和刻度盘）当你向一边移动头部时，它们似乎向相反的方向移动。物体不重叠时，发生这种现象；如果物体重叠，它们就一起运动。〕

如果平面镜镶嵌在刻度盘上，那么移动头部直到平面镜中指针的图像隐藏在指针后，此时的位置才是读取准确数据的位置（图 47.10）。如果与直尺不成直角，那么由于它有一定的厚度，当读取数据时，同样会产生误差。

相互垂直的两个平面镜

互成 90° 的两个平面镜可以使在它们之间的一个物体产生三个映

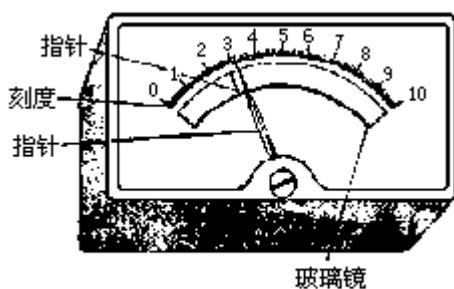


图 47.10

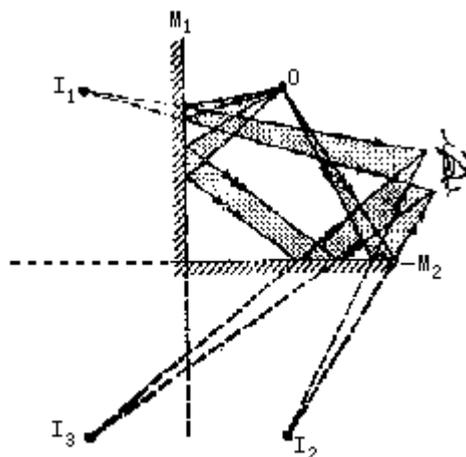


图 47.11

像。在图 47.11 中的 M_1 和 M_2 是两个平面镜， O 是物体。映像 I_1 是由 M_1 反射形成的；映像 I_2 是由 M_2 反射形成的；而映像 I_3 是由 M_1 和 M_2 共同反射所形成的，如图所示。

我们可以认为 I_3 ，或者是把 I_1 作为镜子 M_2 （向左延伸）的“物体”所得到的映像，或者是把 I_2 作为镜子 M_1 （向下延伸）的“物体”所得到的映像。在所有情况下，在镜后的映像是与镜前的“物体”是等距离的。

曲面镜

对于某些目的，曲面镜比平面镜更为有用。你能在抛光匙的两面看到给出的图像。

凹面镜曲面向内，象一个凹槽（图 47.12 (a)），凸面镜曲面向外（图 47.12 (b)）。许多曲面镜都具有球面，且这种镜面的主轴是过 P 极或镜中心到镜子的曲率中心 C 的连线。 C 是镜面为部分球面的中心；它在凹面镜的前边，而在凸面镜的后面。

曲率半径 r 是距离 CP 。

主焦点

当平行主轴的光线经凹面镜反射时，反射定律成立，且光线汇聚于主轴上一点，这点称为主焦点 F 。因为光线通过主焦点，所以这点是实焦点，并且能在屏幕上获得。凸面镜在镜后有一虚的主焦点，从凸面镜反射的光线是发散的。

焦距 F 是距离 FP ，实验和理论表明： $FP=CP/2$ 或 $f=r/2$ 。即

$$\text{焦距} = \text{曲率半径的一半}$$

这些论述仅适用于小镜面，或光束靠近主轴时也适用于大镜面。大镜面不能使较宽的平行光束会聚成一个焦点，但可使反射光变成曲线，这些曲线称作散焦线。散焦线可以在茶杯中茶叶表面看到（图 47.13），为什么？

射线图

事实上，由球面镜形成的图像可由下面画出的两条射线求得。

- (a) 一条平行于主光轴的射线，经反射后通过主焦点 F。
- (b) 一条经镜子曲率中心 C 的射线，一般是射到镜子上并沿其

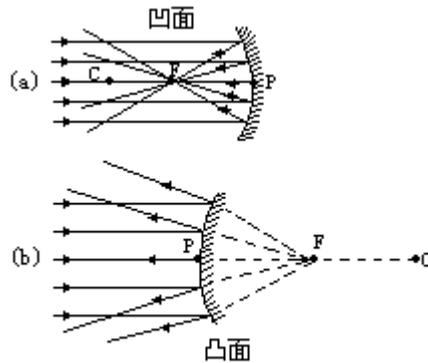


图 47.12

自身光径反射（球面半径垂直于此射线射到的平面）。

- (c) 一条通过主焦点 F 的射线，其反射线平行于主光轴。

在图中用直线表示曲面镜。因此能显示一定尺寸的物体，并且可以认为来自该物体的光线会聚于焦点，也就是说曲面镜起到一个小镜子的作用。在数值计算中，水平距离有时必须按比例缩小。

凹面镜的图像

图 47.14 中的射线图表示四个物体位置的图像。在每种情况下，两条光线都从物体 OA 的顶点 A 画起，它们经反射后相交，得到像 IB

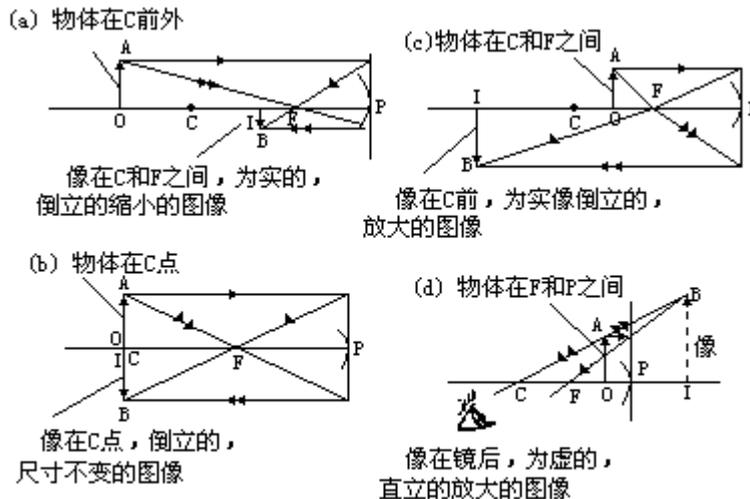


图 47.14

的顶点 B。每个图像的底部 I 在轴线上，因为光线 OP 垂直射到镜子上，并沿轴线反射回来。在图 47.14 (d) 中有虚线表示的射线，因而图像是虚的（不是实的）。

实验3 凹面镜的 f

我们知道这样一个事实，当物体放在凹面镜曲率中心 C 时，在 C 点形成一个实像（图 47.15 (a)）。

如图 47.15 (b) 的装置，移动镜子，直到在屏幕上得到清晰的十字准线图像为止。测量从屏幕到镜子的距离 r ，那么 $f=r/2$ 。

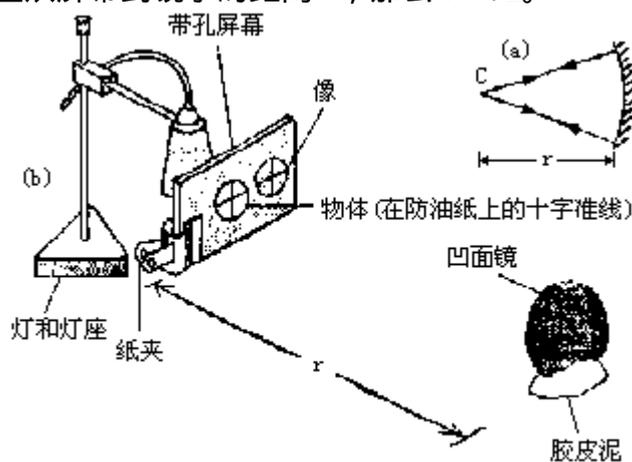


图 47.15

曲面镜的应用

(a) 刮面镜 这种镜子通常是凹面镜，它使得在 F 以内的物体

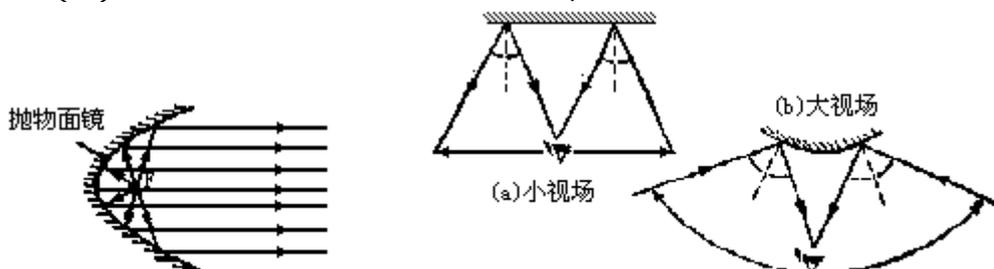


图 47.16

图 47.17

形成一个放大的虚的、直立的图像（图 47.14 (d)），但观察是有限的。(b) 反射镜 当点光源在凹面镜的主焦点上时如果镜子很小，则反射光线是平行的。如探照灯要获得较宽的平行光束镜面必须是抛物面（图 47.16）。

(c) 反光镜 凸面镜视场比相同尺寸的平面镜的视场要宽（图 47.17 (a) 和 (b)）。由于此原因，并因为它总是给出一个直立的（但是缩小的）图像，所以它被用来作汽车驾驶反光镜。

习题

- 在图 47.18 中，光线 AO 照射在 XY 镜上， ON 是镜子的法线。
 - 在 XY 上光线 AO 的入射角是多少？
 - 画图表示光线 AO 由 XY 反射后的光径，在图上标出反射角的值。
- 在图 47.19 中， PQ 和 QR 是两个互相垂直的镜子， BO 是入射光线， NO

是 PQ 的法线。

- (a) 从 (i) PQ, (ii) QR, 反射光线的反射角是多少?
 (b) 画图表示光线 BO 经两个镜子反射后的光径来。

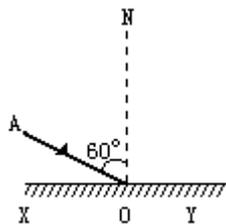


图 47.18

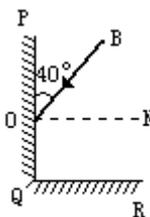


图 47.19

3. 图 47.20 表示一种特技, 它使得点着的蜡烛好象是在一杯水中燃烧。

(a) 距离 x 必须是多少?

(b) 达到这种效果, 玻璃对光起什么作用?

4. 如果把一个用点代替数字的钟放在镜子的前边, 那么当钟指示 11 15 时 (图 47.21), 钟在镜中的图像所显示的时间是多少?

5. 画图表示 (a) 凸面镜, (b) 凹面镜。如果焦距是 (a) 3 厘米, (b) 4 厘米, 那么在主轴上标出主焦点 F 和曲率中心 C。

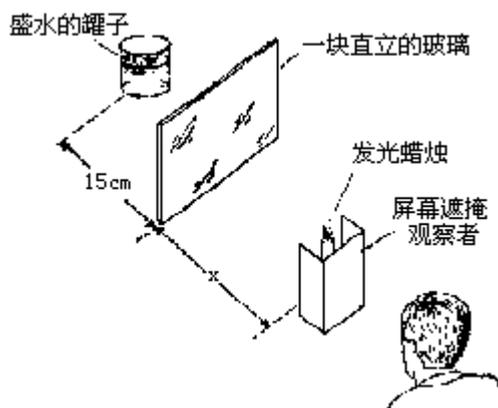


图 47.20



图 47.21

6. 凹面镜焦距为 3 厘米, 而高 2 厘米的实物放置在距镜 7 厘米的地方。通过绘制准确的全尺寸图, 求图像的位置, 并测量图像的高度。

§ 48 光的折射

折射

如果在空杯中投入一硬币，向后移动杯子，直到看不见硬币为止；如果有人慢慢地将水倒入杯中，你会发现意外的结果。不妨试试。

虽然光在透明物质，如空气中直线传播，但如果光进入不同的物质，如水中，则它在两物质界面处要改变其传播方向，即光发生偏折。当光从一种物质（介质）射入另一种物质时，光的偏折称为折射。它引起的效果如同放置硬币所显示的技巧。

实验 1 在玻璃中的折射

a. 射线法 以一定角度发出的光线照在玻璃块上（在玻璃块下表面涂上白色的或无光泽的涂料）（图 48.1）。在玻璃底下的纸板上画出玻璃块 ABCD 的外轮廓线，标出光线在空气和玻璃中各自的位置。

移动玻璃块，在纸板上画出光线进入 AB（见图 48.1）和离开 CD 那点的法线。

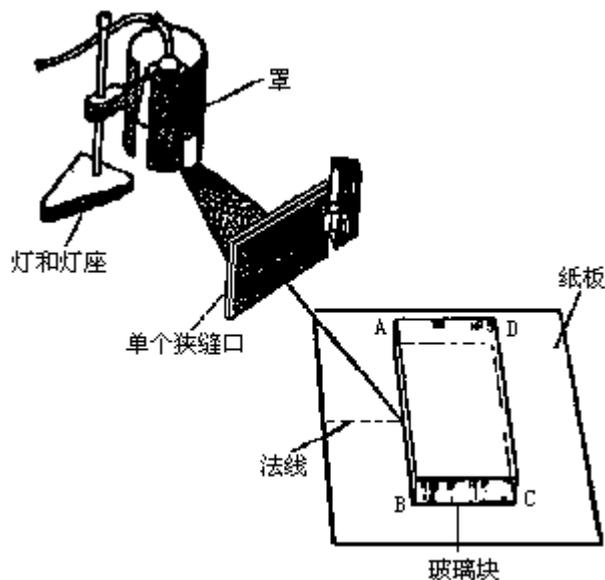


图 48.1

· 光线照在 AB 上发生两种什么现象？
· 光线在 AB 处进入玻璃时，在玻璃块中，光线偏折是靠近还是远离法线？

- 光线在 CD 处如何偏折？
- 照在 AB 上的光线的方向和离开 CD 的光线的方向说明了什么？

b. 图钉法 在纸板上画出玻璃块的周边 ABCD，并标出法线 ON 和与法线成 45° 角的直线（图 48.2）。在此直线相距一定距离的两个点上按图钉 P_1 和 P_2 。通过玻璃块观察，在 P_1 和 P_2 的图像 I_1 和 I_2 的直线上按另外两个图钉 P_3 和 P_4 。

移开四个图钉，用小十字叉标出图钉的位置。然后移动玻璃块，通过 P_1

和 P_2 画直线，与 AB 交于 O 点： P_1P_2 表示照在玻璃块上的光线；通过 P_3 和 P_4 也画直线，与 CD 交于 L 点： P_3P_4 表示从玻璃块中射出的光线。连接 O 与 L： OL 表示在玻璃中的折射光线。

· 光线 P_1P_2 在 AB 处进入玻璃时，在玻璃块中，光线的偏离是

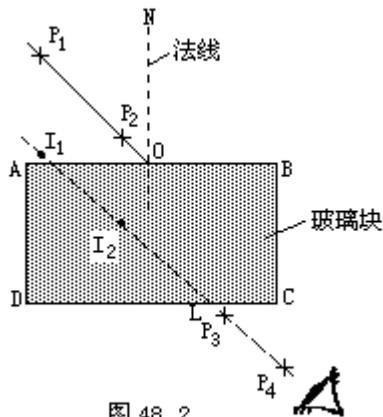


图 48.2

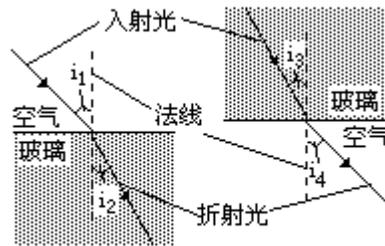


图 48.3

靠近还是远离法线？

- 光线在 CD 处如何偏移？
- 光线 P_1P_2 和 P_3P_4 的方向说明了什么？

折射定律

在图 48.3 中说明了光折射时使用的术语和两个定律。

当光以一定角度进入光密介质中时，光偏移靠近法线；当光以一定角度进入光疏介质时，光偏移离开法线。

入射光线、折射光线和法线在同一平面内。

真实深度和表观深度

从水池底点 D 发出的光线在水表面处被折射，其折射光线远离法线，因为光线是进入光疏介质，即空气（图 48.4）。进入眼睛的光仿佛来自 O 上面的 I 点；I 是由于折射所形成的 O 的虚像。水池的表观深度小于真实深度。

折射率 (n)

如果 i_1 是空气中法线与光线的夹角， i_2 是介质中法线与同种光线

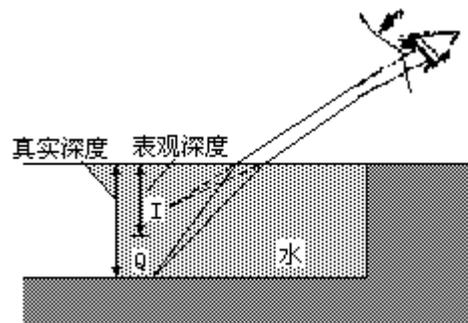


图 48.4

的介质，那么试验研究表明对于任何一对 i_1 和 i_2 值都有

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \text{常数}$$

这是斯涅耳 (Snell) 折射定律，不管光线是从空气到物质或从物质到空气都实用。这个常数叫做物质的折射率 (n)。对于玻璃 n 约为 $1.5 (3/2)$ ，水约为 $1.33 (4/3)$ 。对于一种物质来说， n 越大，则它对光的折射程度就越大。

· 当光线从水射入玻璃时，将如何折射？

在图48.3中 $n = \sin i_1 / \sin i_2 = \sin i_4 / \sin i_3$ 。

棱镜的折射

在一个三角形玻璃棱镜中 (图 48.5 (a))，在第一个表面处所产生的偏折加到第二个表面处所产生的偏折上 (图 48.5 (b))。在一个平行边的棱镜块中，由棱镜边射出的光线相对于入射光来说，虽然发生了位移，但是相互平行，因此两次偏折并不相互抵消。



图 48.5

全内反射

当光线，以小入射角从光密介质射入光疏介质，例如从玻璃射入空气时，有一强折射光和一在光密介质中弱的反射光 (图 48.6 (a))。增大入射角，折射角也增大。

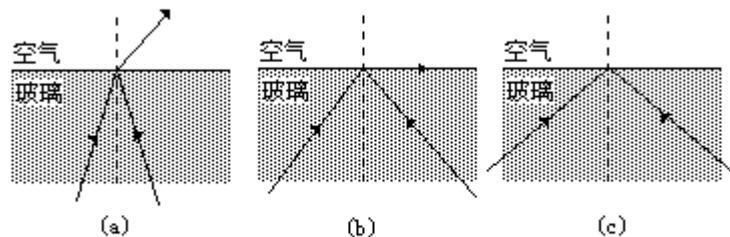


图 48.6

当入射角为一定值，即为临界角 c 时，折射角为 90° (图 48.6 (b))。对于大于 c 的入射角，折射光消失，所有的入射光在光密介质中被反射 (图 48.6 (c))。光线不穿过界面，我们就说光线发生了全内反射。

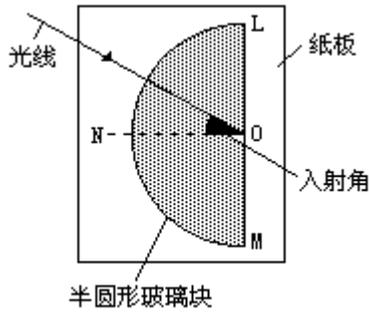


图 48.7

实验 2 玻璃的临界角

在一个纸板上放置一半圆形玻璃块（图 48.7），画出轮廓线 LOMN，O 是圆心，ON 是 O 对 LOM 的法线。一束狭窄的直线光（约 30° 角）沿半径指向 O。

· 为什么在曲面上光线不能折射？

注意折射光在 LOM 外的空气中，而弱的内反射光在玻璃中。

缓慢转动纸片，使入射角增加，直到刚好发生全内反射为止。标出入射光线，测量入射角它等于临界角。

镜中的多重图像

一个背面镀银的普通镜子可形成一个物体的几个图像，这是因为在玻璃中发生重复反射的结果（图 48.8 (a) 和 (b)）。这些重像使得主图像 I（它是镀银层一次反射形成的）变得模糊不清，特别是玻璃厚时更是如此。在镜前镀银可消除这种现象，但镜子易损坏。

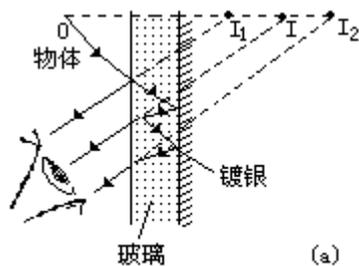


图 48.8

全反射三棱镜

如果使用 45° 直角三棱镜，可以克服镜子的缺陷。普通玻璃的临界角大约为 42° ，而垂直照射在这种三棱镜的 PQ 面上（图 48.9 (a)）。的光线穿过表面与 PQ 成 45° ；发生全内反射，光线转过 90° 。全反射棱镜在高精度潜望镜中代替平面镜。

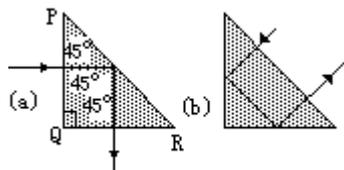


图 48.9

光也能通过棱镜经 180° 反射 (图 48.9 (b)) ; 这种情况发生在双目望远镜中。

海市蜃楼

在炎热的日子里, 人们往往可以看到, 在道路前方某远处仿佛有一水池倒映出“海市蜃楼”的景色。一种解释是, 当来自天空的光线穿过贴近受热地面稀薄的热空气层时, 它发生了逐渐偏离法线的折射。热空气具有比冷空气略小一些的折射率, 因而当光线射入空气层, 大于临界角时, 它会发生全内反射 (图 48.10)。对于观察者来说, 天空的反射就好像路上有一潭池水。



图 48.10

光导管

光线可以通过全内反射而被截留于一根弯曲的玻璃棒内壁并沿着弯曲的路径“传播” (图 48.11)。一根很细的玻璃纤维具有相同的行为。如果将数千根这样的玻璃纤维聚集成一挠性的光导管, 那么就可以利用光导管来观察难以观察到的点。



图 48.11

折射率和临界角

由图 48.6 (b) 和折射率的定义

$$n = \frac{\text{空气中光线与法线夹角的正弦}}{\text{玻璃中光线与法线夹角的正弦}}$$

$$n = \frac{\sin 90^\circ}{\sin c} = \frac{1}{c} \quad (\sin 90^\circ = 1)$$

如果 $n=3/2$, 那么 $\sin c=2/3$, $c=42^\circ$ 。

习题

- 图 48.12 表明光线直接进入矩形玻璃块中。
 - 画图标出入射点的法线。
 - 画出光径通过物块在另一边射出的近似草图。
- 由河中一条鱼上的一点画两条射线, 以表示出在岸上欲瞄准这条鱼的人应站在何处。
- 图 48.13 表示光线 XY 通过玻璃棱镜。在 A 到 D 的几条光线中, 哪条是正确的离开棱镜的光线。

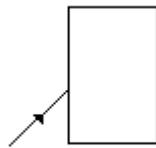


图 48.12

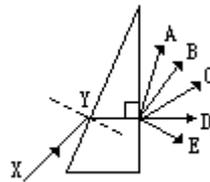


图 48.13

4. 在图 48.14 中，表示出了两条进入半圆形玻璃块的射线。

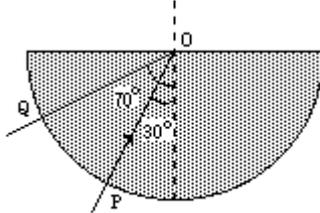


图 48.14

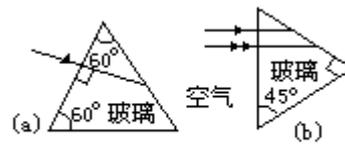


图 48.15

- (a) 为什么光线在 P 和 Q 点不发生偏折？
 (b) 近似画出每条光线到达 O 点后发生的现象。
 5. 完成图 48.15 (a) 和 (b) 中光径的其它部分。

§ 49 透 镜

透镜在许多光学仪器中使用，它们通常为球面，且有两种形式。一种为凸透镜，中间最厚，因为这种透镜使光线偏向中央（图 49.1 (a)），也叫会聚透镜。凸透镜可用作放大镜（图 49.2 (a)）或用作取火镜。另一种是凹透镜或发散透镜，中间最薄，使光向外扩散（图 49.1 (b)），它总是给出一个缩小的图像（图 49.2 (b)）。

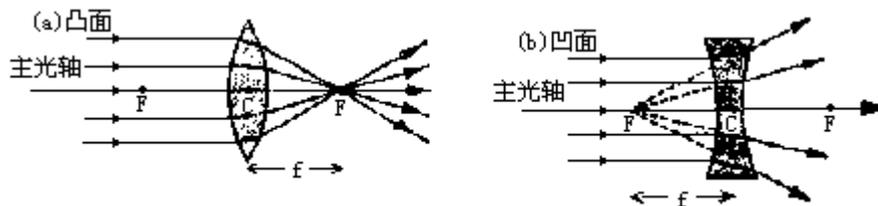


图 49.1

透镜的中心是它的光心 C，通过 C 点垂直于透镜的直线是主光轴。

主焦点

当平行于主光轴的光束通过凸透镜被折射时，会聚于主光轴上的点叫做主焦点 F。这是一个实焦点。凹透镜在其后有一个虚焦点，折射光束好象是从它发散出来的。

因为光线能射到透镜的两个表面上，所以它有两个主焦点，且在透镜的两侧，到 C 点距离相等。距离 CF 是透镜的焦距，它是透镜的

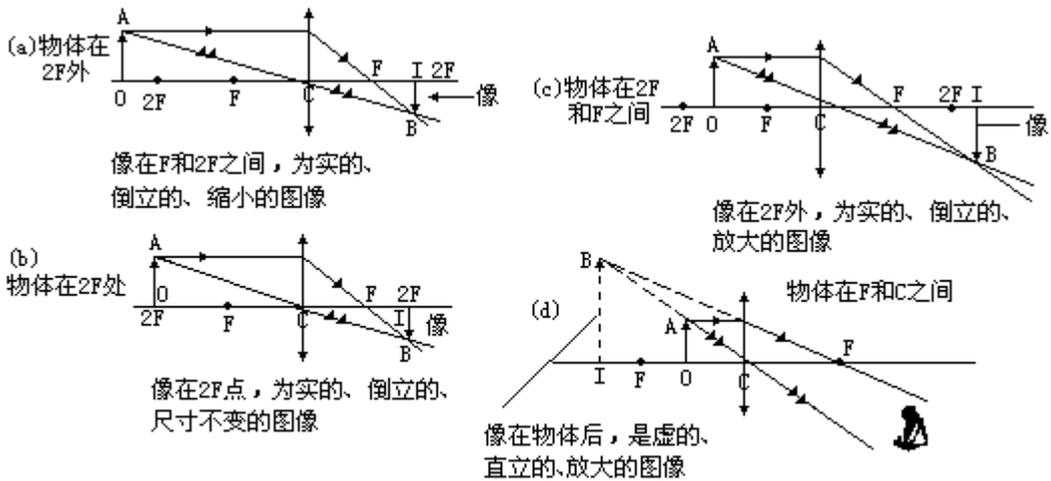


图 49.3

一个重要参数。

射线图

关于透镜成像的画法可以通过画出下列光线中的任意两条来获得。

一条平行于主光轴且通过主焦点 F 折射的光线。

一条通过光心的光线是不改变方向的（透镜中心部分相当于一个小平行物块，这个小物块稍许偏离，但通过的光线不偏离，对于薄透镜位移可不计）。

一条通过主焦点 F 的光线，折射后平行于主光轴。

画图时，薄透镜用一条直线表示，在其上所有的光线都发生折射。在一些问题中，水平距离有时按比例缩小。

凸透镜成像

由透镜形成图像的过程中，在主光轴上有两个重要的点，它们是 F 和 $2F$ ； $2F$ 是距离 C 点 2 倍的焦距。

在如图 49.3 的每一个线图中，从物体 OA 的顶点 A 画两条射线，它们折射后相交，得到像 IB 顶点 B 。每个图像的底部 I 都在轴上，因为光线 OC 经透镜不改变方向。在 d 中的点划线和像是虚的。

实验 1 凸透镜的 f

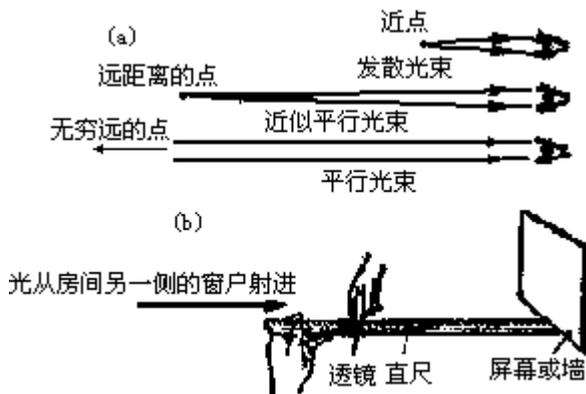


图 49.4

a. 物距法 可以认为,从无穷远物体上的一点发出的光近似平行(图 49.4 (a))。

移动透镜,如图 49.4 (b) 装置,直到房间另一侧窗户的清晰图像能在屏幕上得到为止。

· 为什么透镜与屏幕之间的距离近似 f ?

b. 平面镜法 利用图 49.5 (a) 中的装置,移动透镜,直到物体清晰的图像(即透明十字准线)在屏幕上物体旁边形成为止。当发生这种现象时,从物体发出的光必须沿近似相同的光径向后传递,并垂直射到镜子上(图 49.5 (b))。

· 为什么物体在透镜主焦点 F 上?

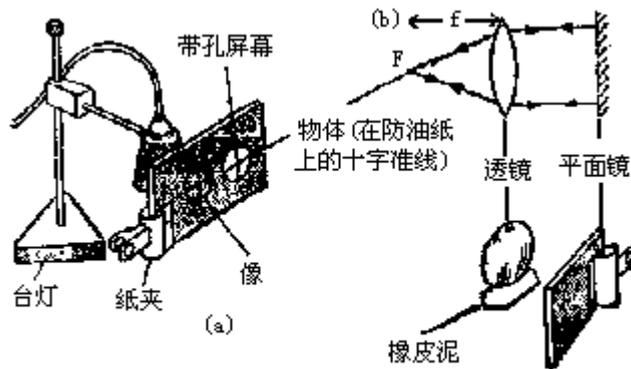


图 49.5

放大率

线性放大率 m 可由下式求得:

$$m = \frac{\text{图像的高度}}{\text{物体的高度}}$$

由图 49.3 (d) 可看出在任何情况下三角形 OAC 和 BIC 相似,因此

$$m = \frac{IB}{OA} = \frac{IC}{OC} = \frac{\text{图像到透镜的距离}}{\text{物体到透镜的距离}}$$

习题

1. 在图 49.6 中，画出并完成通过透镜的各条光线的光径。

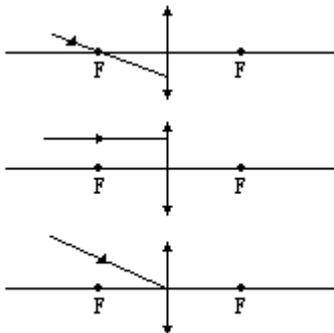


图 49.6

2. 物体 AO 高 1 厘米，放置在焦距为 10 厘米的会聚透镜前 25 厘米的地方。由 A 点画出光线的光径，并求出图像的位置、尺寸，说明图像的性质。（提示：在主光轴上取 O 点，用 1 厘米表示水平距离 5 厘米。）

3. 如果物体在透镜前 5 厘米，所形成的实像在透镜后 20 厘米的屏幕上，那么透镜的放大率是多少？

§ 50 光学仪器

照相机

照相机是一个不透光的盒子，其内凸透镜在胶片上形成一个真实的图像（图 50.1）。胶片含有化学药剂，在光线下暴露发生变化，将其“冲洗”就得到一张底片。相片是由底片“印制”而得的。

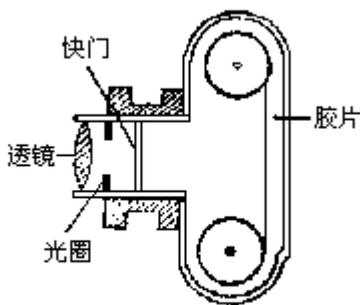


图 50.1

(a) 调整焦距在结构简单的照相机里透镜是固定的，而所有远距离的物体，即 2 米以外物体，都是在一定的焦点内。

如果透镜焦距是 5 厘米，那么胶片到透镜大约是多少距离？

在另外种类的相机里，对一定距离处物体的准确调焦是通过改变透镜的

位置来实现的。对于近物体，移动透镜远离胶片，其正确的位置可由调焦环上的刻度表示出来。

(b) 快门当照相时，打开快门保持一定时间，让光线进入相机使胶片曝光。曝光时间可以改变，常以秒的分数给出，例如 $1/1000$ ， $1/60$ 等。高速移动的物体曝光时间要短。

(c) 光圈 胶片上像的亮度取决于快门打开时通过透镜的光的多少，并可以由光圈的孔径大小来控制。有些照相机中光圈是固定的，但是在另外一些照相机里(图 50.2)对阴暗的景物选用大光圈，对明亮的景物选用小光圈。

光圈可用 f -数字表示。 f -数字为 8 的光圈的孔径是透镜的焦距的 $1/8$ ，因此 f -数字越大，孔径越小。 f -数字是这样选择的，使之从一个数字到下一个较高的数字，例如从 8 到 11，其光圈的面积减半。

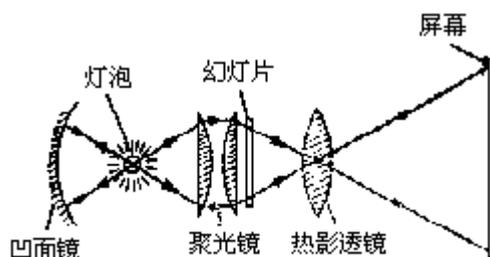


图 50.3

人类的眼睛

人类的眼睛作用与照相机相似。对于这一点的全部叙述请见 § 78。

投影仪

投影仪在幻灯机的屏幕和电影放映机的银幕上都形成一个真实的图像。图像往往被高度放大，而且如果要图像明亮的话，就需要对幻灯片或电影胶片采取很强的照明。这可以由一小而功率高的灯泡，借助如图 50.3 装置的一个凹面镜和一个聚光透镜系统，使光线直接射到“物体”上来实现。图像是由投影透镜产生的，而该透镜可以在其支架上向里和向外移动以获得清晰的图像。

如在图 50.4 的幻灯机中，幻灯片应如何放置才能得到一个直立的图像？

放大镜

钟表工人使用的放大镜如图 50.5 所示。铁轨下的枕木具有相同的长度，但距离较近的似乎较长，这是因为在人们的眼里，近处的枕木形成的视角大于远处枕木形成的视角，因此，在人们的视网膜里图像是比较大的，以致使得枕木好象增大了。

一个物体放在主焦点 F 内时（如图 50.6 (a)），凸透镜得到一个放大

的，直立的虚像。这个透镜起放大镜的作用，因为在近点所形成的图像在眼睛中产生的角 β 比在近点没有放大镜直接观察物体时的视角 α 大（图 50.6 (b)）。

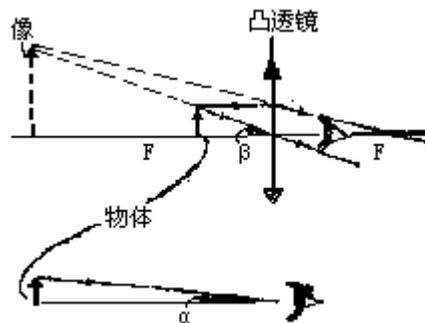


图 50.6

凸透镜越厚（越弯曲），其焦距就越短，放大倍数也越大。但是曲率太大，会使图像失真。

习题

- 如图 50.7 (a) 所示的照相机是调节一个靠近它的物体。
在图 50.7 (b) 中的照相机是调节一个离它更近的还是更远的物体？
- 如果移动幻灯机，使其远离本来已呈现幻灯片清晰图像的屏幕。试述 (a) 此时图像将发生的三种变化，(b) 为了使图像清楚应如何调节投影透镜？
- (a) 现有三个会聚透镜，其焦距分别为 4 厘米，40 厘米和 4 米。你将选用哪一个作为放大镜？
(b) 通过一个焦距为 8 厘米的会聚透镜观察一个 2 厘米高的物体，从透镜到物体距离为 4 厘米。借助射线图，求图像的位置、性质和放大率。

§ 51 色散与颜色

白光光谱

丰富多彩的服装、彩色电视机，以及夜总会闪烁的彩色灯都能使人们感到生活的快乐。1666 年，牛顿装置了路灯，使人们懂得如何使灯呈现彩色。利用阳光（白光）射到三棱镜上（图 51.1）呈现出颜色的现象，牛顿制造出彩色灯。这样得到的彩色光带称为光谱。牛顿作出的结论是 (i) 白光是由棱镜可分离出来的许多彩色光组成的复合光，(ii) 因为不同颜色光的折射角不同，所以产生光谱。白光分离为



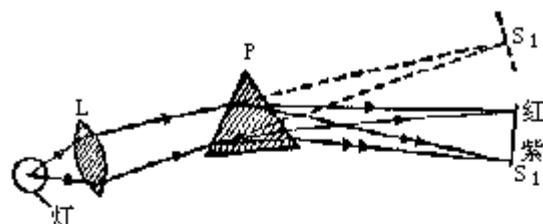
图 51.1

光谱的现象称为色散。

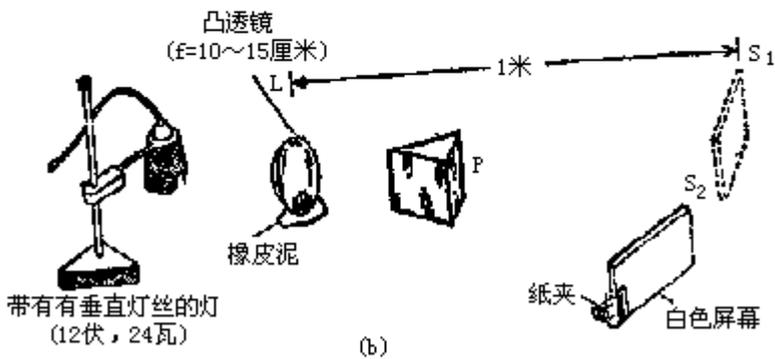
实验 1 纯光谱

当只使用一个三棱镜时，可产生颜色不重叠的纯光谱。为看到各种颜色，需要一个透镜，如图 51.2 (a) 所示。

放置透镜 L (图 51.2 (b))，以便使在 1 米远处的 S_1 屏幕上形成白热丝灯的垂直图像。灯丝起窄光源的作用。插入一个 60° 的三棱镜 P，并将屏幕移动至 S_2 ，使其到 L 的距离不变，得到光谱；移动 P 直到光谱为纯光谱为止。



(a)



(b)

图 51.2

在 P 和 S_2 之间放置不同颜色的滤光镜，并记录结果。

光谱的复合

用下述方法可使光谱的各种颜色重新组合成白光：

(i) 放置第二个棱镜，使其光线的偏折方向与第一个棱镜的偏折方向正好相反 (图 51.3 (a))。或

(ii) 用电动机带动高速旋转的圆盘，这个圆盘上涂有呈扇形分布的光

谱颜色 (图 51.3 (b))。(所得到的白色稍发灰; 因为涂料颜色。不纯)。

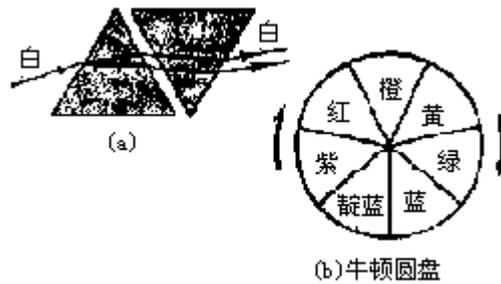


图 51.3

物体的颜色

物体的颜色取决于 (i) 照射在物体上的光的颜色, (ii) 物体所透过或反射的光的颜色。

(a) 滤光镜 滤光镜只能通过一定颜色的光, 它是由玻璃或赛璐珞制造的。例如, 一个红色滤光镜主要透过红光和吸收其它色光, 因此当白光通过时, 它产生红光。

(b) 不透明物体 这些物体不透过任何光, 但它们反射光。一个白色物体反射所有的色光, 所以在白光中呈现白色, 在红光中呈现红色, 在蓝光中呈现蓝色等。一个蓝色物体在白光中呈现出蓝色, 因为白光中的红、橙、黄、绿和紫色被吸收, 而只有蓝光被反射。也可看到, 蓝色物体在蓝光中呈蓝色, 而在红光中却呈黑色, 因为没有光反射, 表明黑色缺乏色彩。

混合彩色光

在科学领域中, 红、绿和蓝是基色 (这并非指艺术家的基色), 因为它们中的任何一种都不能由另外的颜色光产生。但当它们适当混合时, 却可以得到其它的颜色。

在白色屏幕上照射红、绿和蓝光, 并使它们部分重叠时 (图 51.4 (a)), 这样即可以使基色混合。其结果如图 51.4 (b) 中的“彩色三角形”所示。

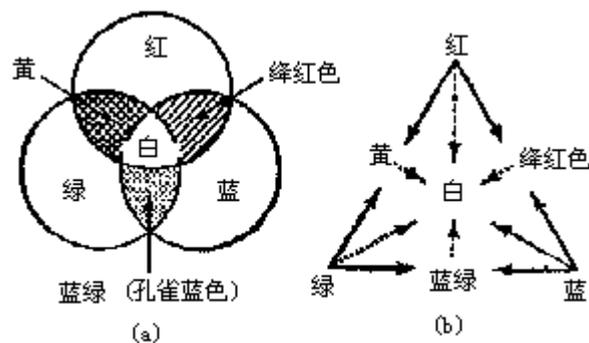


图 51.4

由两种基色组合在一起所形成的颜色称作次色; 它们是黄、蓝、绿 (青绿色或孔雀蓝色) 和绛红色。由三种基色组合给出白光, 正如由三种次色组合得到白光一样。

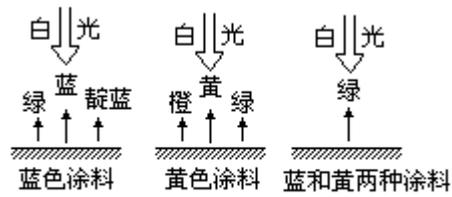


图 51.5

为什么一种基色同它在彩色三角形中与之相对的次色可以组合给出白色？

任何两种可以产生白光颜色都是互为补色，如蓝和黄。

混合彩色颜料

颜料是一类能使涂料和染料具有颜色的材料，它只反射一定颜色的光，而吸收其它所有颜色的光。大多数的颜料是不纯的，即它们反射一种以上的颜色。当它们混合时，被反射的颜色是它们所共有的颜色。例如，蓝色和黄色的涂料给出绿色，因为蓝色涂料反射出靛蓝色和绿色（在光谱中蓝光的附近）以及蓝色，而黄色涂料反射绿色、黄色和橙色（图 51.5），仅有绿色是这两种涂料都反射出来的。

混合彩色颜料是一个减小颜色的过程；而混合彩色光是一个加和颜色的过程。

习题

1. 在图 51.6 (a) 中，光线 AB 是红光，在图 51.6 (b) 中，光线 PQ 是一种由红光和蓝光混合的光。画出每个草图，标出记号 (a) 光通过三棱镜时光径，(b) 在屏幕上看见了什么现象？

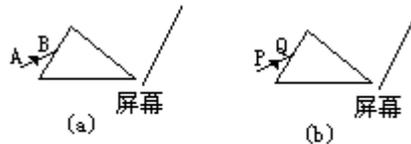


图 51.6

2. 透过一块红玻璃来看一条白色手帕，它显红色，请解释原因。

3. 对一本在白光中呈现蓝色的书，如果在 (a) 红光中，(b) 绿光中来观察，那么它将呈现什么颜色？

§ 52 波

波的种类很多。把一根绳子（或弹簧）的一端固定，摇动绳子的另一端就可以产生波（见图 52.1）。由波峰和波谷所形成的波沿绳子运动，但是绳子的每一部分与波的方向成 90° 角方向往返运动，这种波叫做横向波。

波的描述

图 52.2 可以帮助我们解释一些与波有关的各种名词。

(a) 波长 用希腊字母 λ 表示。它是两个连续的波峰之间的距离

(b) 频率 用 f 表示。它是每秒钟内产生的完全波的数目。如果一秒钟内绳子一端上下摇动两次，在这期间内就产生两个波，所以此波的频率就是每秒钟振动两次或叫 2 赫兹 (2Hz; 赫兹是频率的单位)。也就是说，波的频率与它的发源数目相等。

波的频率也是每秒钟内通过某选定点的波峰的次数。

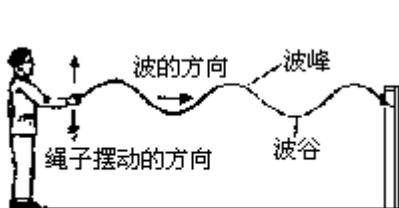


图 52.1

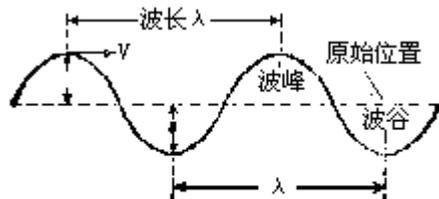


图 52.2

(c) 波速 用 v 表示。波速是波上的一个波峰或波上的任意点一秒钟内走过的距离。

(d) 振幅 用 a 表示。振幅是从载波物体的原始位置测量的波峰高度或波谷深度。这里的载波物体是绳子。

波动方程

频率、波长和波速之间存在着关系式，这个关系式对各种波都适用。

假设波长 $\lambda = 20$ 厘米的波沿一个长绳移动，每秒经过某一点的波峰数为 3，即频率 $f = 3\text{Hz}$ 。如果图 52.3 代表了这种波的运动，那么某一时间波峰 A 位于 P 点，一秒钟后，它就位于 Q 点，Q 点距离 P 点为 3 个波长的长度，即 $3 \times 20 = 60$ 厘米。波速 $v = 60$ 厘米/秒，所以：

$$\text{波速} = \text{频率} \times \text{波长}$$

或

$$v = f \lambda$$

实验 1 波纹箱

水波的行为可以在一个波纹箱内进行研究。它包括一个透明箱，箱内有水，上面有一个灯，下面有一个白色屏幕（见图 52.4）。

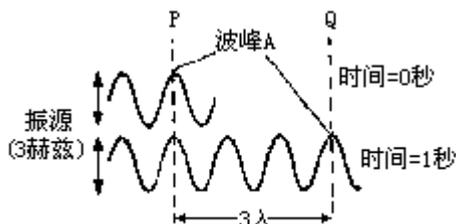


图 52.3

将手指插入水中就能得到环形波的波纹脉冲。同样，用一根直尺插入水中就能得到线形波的波纹脉冲。靠装在一根棒上的电动机即可产生连续的波纹，如果此棒刚好与水面接触，则得到线形波纹，而如果棒提起，让安装其上的小球与水面接触，则产生环形波纹。

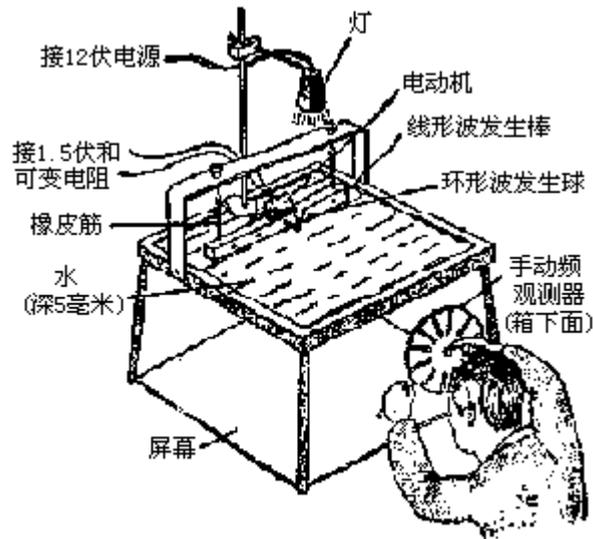


图 52.4

如果通过一个带等距观察缝的圆盘来观察屏幕，连续波就会呈静止状态（冻结），这样研究波就容易得多。这个用来观察的圆盘就是手动频闪观测器，它可以用手转动。

a. 波的反射 在图 52.5 中线形水波直接传到一个金属板上，金属板以 60° 角放在箱内，也就是说，波传动方向与金属板的法线之间的夹角 i 为 60° ，同波阵面与金属板之间的夹角相等。反射角为 60° 。以

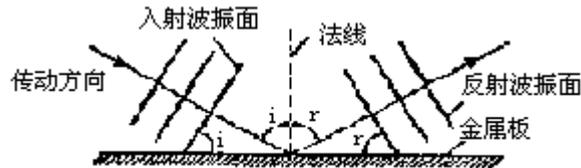


图 52.5

其他角度入射的波其结果表明，反射角总是等于入射角。

b. 折射 如果在箱中放置一块玻璃板，并使水没过玻璃板的深度约为 1 毫米，而在水中有 5 毫米，可以发现连续线形波在浅水区的波长要比在深水区的波长短（图 52.6 (a)），这两种状态波的振动棒的频率相同。因为 $v=f\lambda$ ，所以，当 f 不变时，如果 v 降低，则 λ 也降低。因此，浅水区的波传播速度要低一些。

如果玻璃板与波成一定角度（图 52.6 (b)），则波在浅水区传播的方向要向法线方向偏折（图 52.7），即产生了折射。

习题

1. 图 52.8 所示的直线代表线形波的波峰。

(a) 其波长是多少？

(b) 如果波峰 5 秒前在 A 处，现在在 F 处，问波的频率为多少？

(c) 波速是多少？

2. 图 52.9 所示的线形波 ABC 朝 XY 墙传播，画出草图表示 B 到达墙时波的位置，以及 C 到达墙时波的位置。在每一个图中标出 30° 的角。

3. 波纹箱的一面 ABCD 微微提起 (图 52.10)，用一个手指在 P 点形成一个

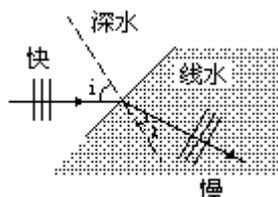


图 52.7

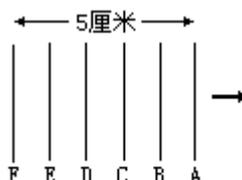


图 52.8

波纹，1 秒以后，波形如图所示。

(a) 为什么不形成圆形？

(b) 波纹箱的哪一边被提起？

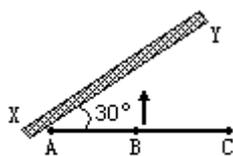


图 52.9

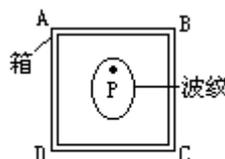


图 52.10

§ 53 电磁波谱

电磁波谱的成员如图 53.1，它类似于波的辐射，且携带能量。它们在空气中以 3×10^8 米/秒的速度传播，也就是以光速传播。其波长 λ ，频率 f 以及速度 v 之间的关系表示为 $v = f \lambda$ 。

虽然电磁波谱中的每一部分以不同的方式产生，但都有一个电的起源。由于这种原因以及它们在真空中具有传播能力（如从太阳到地球），它们被认为是传播的电场和磁场的组合物，且其数值不断变化，它们彼此相互正交，且与传播方向垂直。即它们是横波（图 53.2）。

红外辐射

在来自太阳或白炽灯灯丝的辐射中存在着红外辐射（简称为 i.r.），它可以用光传感器来检测。光导体可置于由棱镜形成的光谱中红光端外（如图 53.5）。人体可感受到所谓“辐射热”或“热辐射”的影响。

任何热的不发光物体（如在 500 以下），只释放红外辐射。大约在 500，某物体变得红热放出红光及红外辐射；电炉加热元件就是这类例子。大约在 1000 时，物体如白炽灯灯丝，是白热的，并释放红外辐射和白光，即包括光谱中各种颜色。

红外辐射也可用特殊的感光胶片来检测，因此可以在黑暗中拍照如图

53.4 中的汽车；白色部分是最热的部位。在汽车制造工业中，红外灯用来干燥涂层，同时也可用于治疗肌肉损伤。

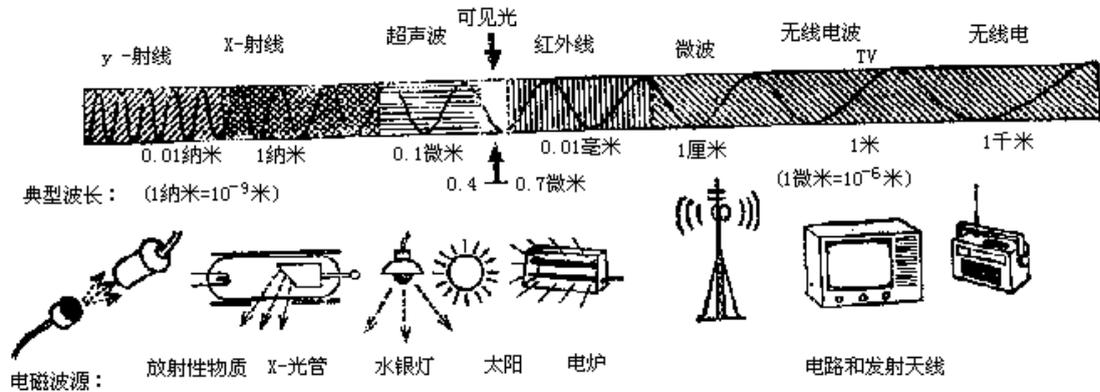


图 53.1

紫外辐射

紫外线（缩写为 u.v）的波长比可见光短，可以用荧光纸在光谱（来自太阳或白炽灯）紫端外一点被检测到。紫外线能使皮肤晒黑和在皮肤中产生维生素，但超过剂量却是有害的，特别是对眼睛。

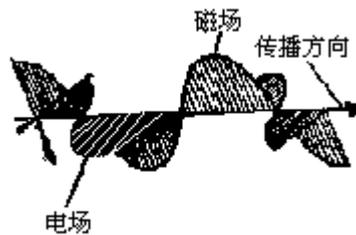


图 53.2

紫外线使牙齿、手指甲、荧光涂料以及在清洗剂中洗过的衣服产生荧光，即它们通过再辐射，以光的形式放出它们吸收的紫外光能量。新鲜鸡蛋的蛋壳带有淡红色的荧光，而“坏”鸡蛋的蛋壳出现紫色。

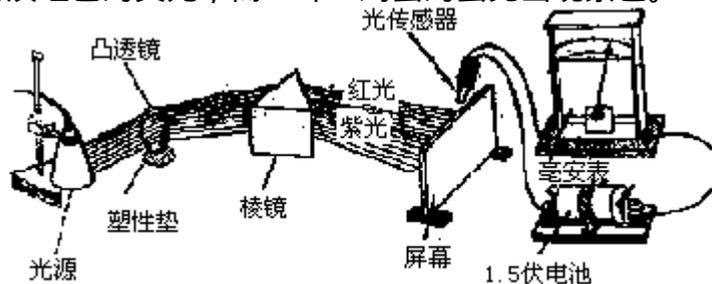


图 53.3

用于科学和医学目的紫外灯含有水银蒸汽，当电流通过便放出紫外线。日光灯管也含有水银蒸气，灯的内表面涂有荧光粉，当受紫外光照射时，它

们就发射出可见光。

无线电波

无线电波的波长在几毫米到几千米之间变化，最短的无线电波称为微波。它们通过如图 53.5 中的那些“碟形盘状”的天线来发射。它们用于无线电探测，以及用作新的烹调方法，能快而好地烹调食物。VHF 和 TV 信号具有几米长的波长，并且从发射台到接收台以直线传播。远距离的无线电传送依赖于大气电离层的“反射”它是由地球上 80 到 400 公里之间的带电气体层所构成的。对于卫星通讯，必须使用波长小于 10 米的无线电信号，因为只有它们才能穿透大气电离层。

X-射线

X-射线具有比紫外线更短的波长。它们能穿透固体物质并使胶片感光；图 53.6 是一张 X 光照片，它表示一个正在用电动剃刀刮胡须的情景。具有强穿透能力的 X-射线，在医院里用来杀死癌细胞。但它们对健康细胞也有杀伤作用，所以需要 X-射线管用铅仔细屏蔽。穿透能力较小的 X-射线波长较长，只能穿透肌肉，不能穿透骨骼。

在工业中 X-射线用来探测不合格的焊缝。

γ-射线来自放射性物质，它比 X-射线具有更强的穿透能力和危害性。

习题

1. 举出所有电磁波共有的三个性质。
2. 说出下列电磁波的类型：(a) 使皮肤晒为黑褐色，(b) 从地球的上层大气反射，(c) 穿透薄铅板，(d) 用于薄雾中拍照。

§ 54 声 波

声源如鼓、吉他，以及人发出的声音等都有振动的部分。声音通过空气传播到人们的耳朵里，所以能够听到。如果抽出正在发声的电铃玻璃罩内的空气（图 54.1），就会发现撞锤还在撞击铃体，但却听不到声音。所以，声音不能象光那样在真空中传播。

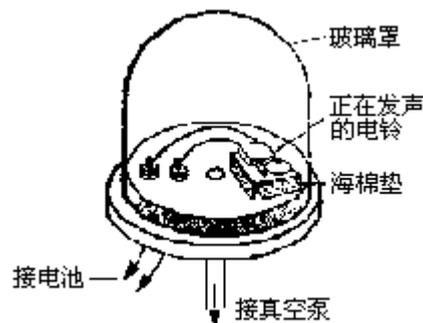


图 54.1

其它物质，包括固体和液体也能传播声音。

声波及其性能

纵波

在纵波中，传播介质的质点的振动方向与波的传播方向相同，而不象横波那样，振动方向与传播方向成直角。将弹簧一端固定在工作台上，用力推拉、自由端，则纵波可以通过弹簧传播，C处被压缩（此处弹簧圈相距较近），R处稀疏（弹簧圈相距较远）（图 54.2），这说明波沿弹簧传播。

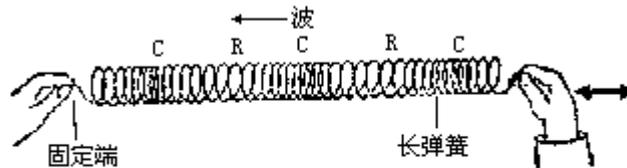


图 54.2

例如，在空气中，扬声器产生的声波是由一系列压缩和稀疏的波列组成的（图 54.3）。扬声器有一个喇叭，它可以在电流的作用下来回振动。当喇叭振片向外移动时，压缩前面的空气；当振片向里移动时，空气稀疏（即变得更“稀薄”）。波通过空气传播，但空气作为一个整体并不流动。波通过空气时，空气粒子只在很小范围内前后振动。这就是当波传到人们耳朵里时能听到声音的原因。

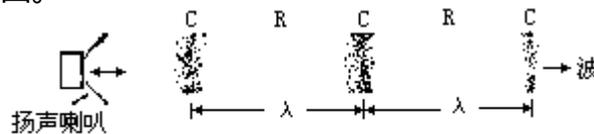


图 54.3

每秒钟产生的压缩次数是声波的频率 f （等于振动片的频率），两相邻压缩部分的距离是波长 λ 。同横波一样，波速 $v=f\lambda$ 。

人们所能听到的声音，其频率仅为 20 赫兹到 20000 赫兹（20 千赫兹）。这是听觉范围，它随人们年龄的增加而下降。

反射和回声

声波在遇到坚硬平面物体，诸如墙或山崖时，象光一样遵守反射定律。反射的声音形成回声。

如果反射面比 15 米还要近些，回声与原声接合，所以听起来象声音的延长。这一现象叫混响。有些混响可在音乐厅产生理想的声响效果，但回声太大也会引起“混淆”。

声速

如果你站在距离墙约 100 米处拍手，就能听到回声。当拍手的速度是使每次拍手与前一次的回声相一致时，那么在两次拍手的时间间隔即一个音程

内，声音传播到墙并被反回来。用一个秒表记录 30 次音程所需时间，且已知到墙的距离，那么就可以粗略地计算出声速。

空气在 0 时的声速大约为 330 米/秒，并随温度升高而增加。在钢中，声速为 6000 米/秒。

音符

无规则振动产生噪声。有规则振动，如管弦乐器发生的振动，则产生音符。音符有三个特性——音调、音量和音色。

(a) 音调一个音符的音调由到达耳朵的声波频率来决定的，即取决于声源的频率。一个高音音符，具有高频率和短波长。中音 C 的频率是每秒中振动 256 次或 256 赫兹，而高音 C 的频率是 512 赫兹。如果一个音符的频率是另一个音符频率的两倍，则音符相隔八度。

已知频率的音符可以在实验室中用一交流 (a.c) 信号发生器通过扬声器来产生。扬声器的振子以交流电的频率振动，交流电频率是可以改变的并可从信号发生器的刻度盘上读出，也可以用一个具有一定频率的音叉来产生。音叉 (图 54.4) 有两个钢叉，当撞击它时钢叉产生振动，这两个叉股一起来回运动，即产生压缩和稀疏作用。(b) 音量 当每秒进入人们耳朵里的并由大振幅振源引起的声能提高时，音符变得更响亮。如果小提琴的弦被强有力地拉奏，那么琴弦的振动振幅增加，所得到的声波和听到的音符的音量也增加，因为有更多的能量用于产生音量。

(c) 音色 由不同乐器发出的同种音符，听起来也是不相同的，我们就说这些音符具有不同的音色或音品。这种差别的产生是由于没有一种乐器 (音叉和信号发生器除外) 能够发出“纯粹”的音符，即单一频率的音符。音符都是由一个主频率或基频和其它称为泛音的频率相混合而组成的，泛音通常较弱，其频率为基频的整数倍。泛音的数目和强度决定了音符的音色。小提琴比钢琴具有更多和更强的高泛音。256 赫兹 (中央 c) 的泛音为 512 赫兹、768 赫兹等。

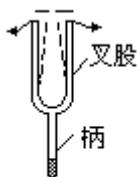


图 54.4

管弦乐器

(a) 弦乐 在弦乐器中，如吉他，它的“弦”是拉得紧紧的金属线或肠线。当拨动吉他时，弦振动，而产生音符的频率 (音调) 取决于：

- (i) 长度——短线产生高音符；
- (ii) 单位长度的质量——细线得出高音符；
- (iii) 张力——拉紧的线产生高音符。

(b) 管乐 在管乐器中，管内空气柱振动产生音符。例如在风琴中，振

动是由于撞击音片的气流产生的。空气柱越短，音符越高。

习题

1. 如果闪电和雷声相隔 5 秒，那么风暴距此地多远？（声速 = 330 米/秒。）
2. 不改变吉他弦的长度，如何能使其音调升高？

分子式、反应式及化合物

§ 55 关于原子的其它问题

元素中的微粒

铁块是由许许多多微粒组成的。因为铁是一种元素，所以这些微粒就是原子。科学家们已经发现，铁原子（暂且假定这些原子是完全相同的）的直径大约为 0.0000001 毫米（ 1×10^{-7} 毫米），质量大约为 $0.000000000000000000000009$ 克（ 9×10^{-23} 克）。真是太小了！

因为不同元素的原子不同，因而不同元素所具有的性质也就不同。表 55.1 列出了一些元素的原子质量和直径。

表 55.1

元素名称	质量, 克	直径, 毫米	元素名称	质量, 克	直径, 毫米
铝	4.5×10^{-23}	2.86×10^{-7}	金	33×10^{-23}	2.88×10^{-7}
钙	6.7×10^{-23}	3.94×10^{-7}	铅	34×10^{-23}	3.50×10^{-7}
碳	2.0×10^{-23}	1.54×10^{-7}	硫	5.3×10^{-23}	2.08×10^{-7}
铜	11×10^{-23}	2.56×10^{-7}			

注： 10^{-23} 即 $1/10^{23}$ ； 10^{-7} 即 $1/10^7$ 。

有少量元素是由分子而不是由独立的原子组成的。而元素的分子是由少量相同的原子牢固结合而形成的能独立存在的微粒。

由一个原子组成的元素称为单原子元素，由两个相同原子结合而成的分子组成的元素称为双原子元素（如图 55.1 所示）。还有一些元素，其分子是由两个以上相同原子结合而成的，如硫分子就是由八个硫原子结合而成的。

元素的分子有时可以分解成独立的原子，但由于原子之间的结合力很强，因而达到这一目的往往很困难。

化合物中的微粒

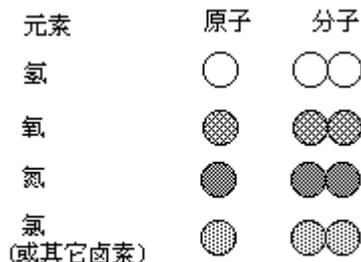


图 55.1

不同元素的原子常常可以结合成为分子。室温下的化合物（或为液体或为气体）是由分子组成的，图 55.2 即为其中一些例子。

二氧化碳是由分子组成的，其中每个分子都是由一个碳原子和两个氧原子结合而成的。水是液体，其分子是由两个氢原子和一个氧原子结合而成的。但从图 55.2 中可以看出，水分子不同于二氧化碳分子，因为水分子的原子不成直线排列。

并不是所有的化合物都是由分子组成的，如硫化铁就是其中之一例。它含有两种原子——铁原子和硫原子，但并不含有硫化铁分子。固体硫化铁是由铁原子和硫原子紧密排列而成的。图 55.3 表明，与每一个铁原子或每一个硫原子“接触”的硫原子数目或铁原子数目都大于 1。

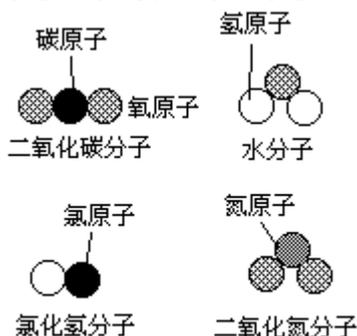


图 55.2

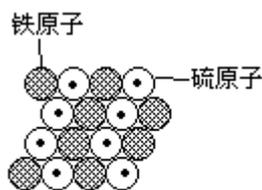


图 55.3

事实上，人们在科学研究过程中遇到的许多化合物都不是由分子组成的。§ 56 将阐述构成所有电解质的特殊微粒的有关问题。

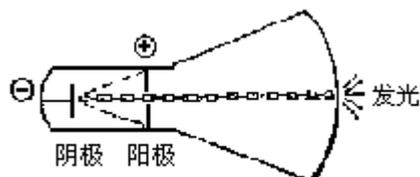


图 55.4

原子的内部结构

科学家们曾一度把原子看作微小而又坚硬的球体，不能再分为更小的部分。但是他们现在认识到，原子是由更小的微粒——原子微粒组成的。

有一种原子微粒，称为电子。电子存在的根据由美国物理学家 J.J. 汤姆森 (J.J. Thomson) 于 1897 年首次获得。他当时所用的装置简图如图 55.4 所示。

在图 55.4 中，管内充有压力很低的气体，而阴极在电荷通过时得到加热。当在阴极和阳极之间施加高压时，管内就有电流流过，并在阳极外侧的屏幕上出现微弱的绿色光点。从近处看，可以发现这一绿色光点是由数千条光线组成的。

汤姆森断定这些光线是由带负电荷的微粒从加热的阴极发出的，同时被

吸向阳极。其中一些微粒通过阳极上的孔后继续前进，直至击中屏幕。

无论阴极采用什么金属，也无论管内充入什么气体，都会产生同一种微粒。这种微粒即为电子。表 55.2 列出了电子的质量和电量。很明显，电子的质量比任何原子的质量都要小得多。

原子是电学上的中性，也就是说，它们既不带净的负电荷也不带净的正电荷。如果原子含有电子，也就一定含有足够的带有正电荷的微粒，以中和电子所带的负电荷。这些带有正电荷的微粒称为质子。表 55.2 表明，质子的质量和氢原子的质量是相同的，其电量和电子的电量大小相等。

表 55.2

原子微粒的名称	微粒的质量 (与氢原子的质量相比, H = 1)	质量, 克	相对电量	电量, 库仑
电子	1/1840	9.11×10^{-28}	-1	-1.60×10^{-19}
质子	1	1.67×10^{-24}	+1	$+1.60 \times 10^{-19}$
中子	1	1.67×10^{-24}	0	0

因为电子所带的负电量和质子所带的正电量相等，所以任何中性原子所含的电子数和质子数一定相等。元素的原子所含有的质子数称为元素的原子序数。我们可以很容易地知道任何元素的原子序数，因为它和元素在元素周期表中的位置序号是相同的。

实验进一步表明，原子中还存在另外一种原子微粒，即中子。其质量和质子的质量相等，但不带电荷。除氢以外的任何原子都含有中子。

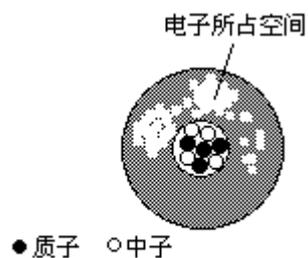


图 55.5

和本图表示的原子相比，原子核要小得多

起先我们假定电子、质子和中子组合在一起，并形成一固体球。但当检查下列实验的结果时，就必须改变这种假设。

盖格—马斯登 (Geiger - Marsden)

实验

在很薄的金箔片上发射带正电荷的高速 粒子，可以发现：

a. 大多数 粒子在运动过程中几乎不改变方向或根本不改变方向。

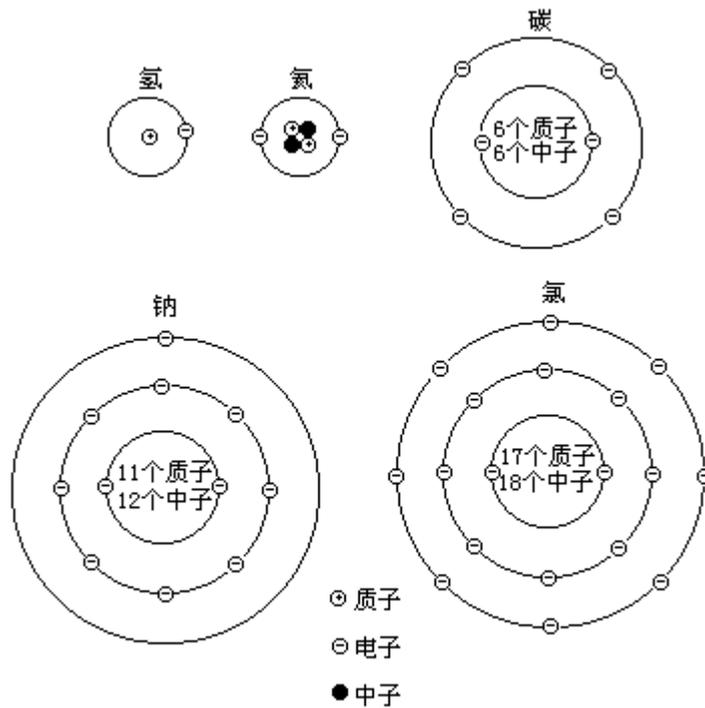


图 55.6

b. 只有很少一部分 粒子方向改变很大，有的甚至垂直反弹回去。

对于上述结果，拉瑟福德（Rutherford）做了如下解释：

a. 即使是很薄的金箔片，其厚度也相当于数百个原子的直径。每个原子的大部分区域都是空间。

b. 带有正电荷的微粒只有在强大排斥力的作用下，才可能垂直反弹回去。只有当原子带有独立的正电荷，也就是说，原子中的质子和中子被明显地分离时，这种排斥力才有可能产生。

从这一论点出发，拉瑟福德建立了一个原子模型，如图 55.5 所示。因为原子核内含有所有的质子和中子，因此几乎所有的质量都集中在原子核上。

电子沿着原子核周围的轨道运动，就象行星绕着太阳运动一样。原子类似于行星系，大部分区域都是空间。借助于比例尺，假设原子核相当于网球那样大，那么距原子核最近的电子也有 4 公里远。

图 55.6 是前面遇到过的一些原子的简图。可以看出，原子核周围的电子数和原子核内含有的质子数是相等的。图 55.6 还表明，原子核周围电子轨道的级别是逐渐增加的，这些级别可以简单地表明电子具有不同的能量。电子具有的能量越高，其级别也就越高，也就是说其轨道半径越大。如果给原子施加能量（例如给原子加热或使原子通过电子发射装置），电子就会从较低的能级移到较高的能级上。事实上，当所加的能量足够大时，某些电子就能够脱离原来的原子而逸出。我们将在 § 91 中讨论具有这种能力的电子的

应用。

习题

1. 氩是单原子气体，氮是双原子气体。试用简图表示其分子结构，并解释这句话的含义。

2. 一氧化碳和二氧化氮是两种由分子组成的气体。试用其名称判别其分子中各原子的数目。

3. 在下列术语中选择合适的字填入句子的空白处，完成下面这段论述原子的短文。每个术语均可用多次。

电荷，电子，能级，中子，原子核，微粒，质子

任何原子都含有位于原子中心的____，而____是由两种渺原子____组成的。一种叫做____，且带正____；另一种叫做____，但不带____。

第三种渺原子____叫做____，全部位于原子核周围的____上，且带负____，和同一____上的其它电子所带的电量大小相等。

在拉瑟福德的著名实验中，当金箔片发射的一些带正电荷的微粒接近任何一个原子的____时就会反弹回去。

§ 56 带电微粒

关于电解实验

图 56.1 所示的装置中正在进行绿色铬酸铜的电解。明胶使溶液起到胶状物的作用，并阻止溶液因扩散而混合。电解开始几分钟后，阴极一侧绿色胶状物上面的空间变蓝，而阳极一侧的空间则变黄。1~2 个小时后，可以看到两个明显的环带，阴极一侧呈蓝色，阳极一侧呈黄色。

至此，铬酸铜绿色溶液已分离成为两部分，蓝色部分向阴极方向移动，而黄色部分向阳极方向移动。如将少许等量的蓝色和黄色溶液混

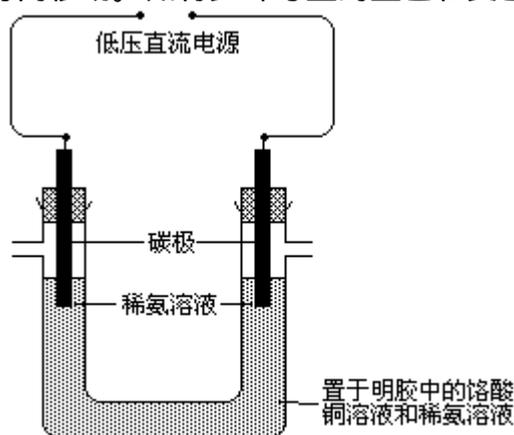


图 56.1

会重新得到绿色铬酸铜溶液。

上述结果可以用带电微粒的概念来解释。产生蓝色的微粒肯定带正电荷，因为它们被吸向带负电荷的阴极；产生黄色的微粒肯定带有负电荷，因为它们被吸向带正电的阳极。

因为绿色铬酸铜呈电中性，因此蓝色部分和黄色部分必须以一定的比例混合，从而使两部分的电量完全相等，得到中和。

所以说铬酸铜溶液是由两种带电微粒组成的，一种带正电荷而另一种带负电荷。这些带电微粒就称为离子，其中阳离子带正电荷并向阴极移动，而阴离子带负电荷并向阳极移动（见图 56.2）。

硫酸铜溶液和硝酸铜溶液均呈蓝色，而铬酸钠溶液和铬酸钾溶液却呈黄色，这样就似乎可以说，蓝色部分是由铜离子引起的，而黄色部分是由铬酸根离子引起的。

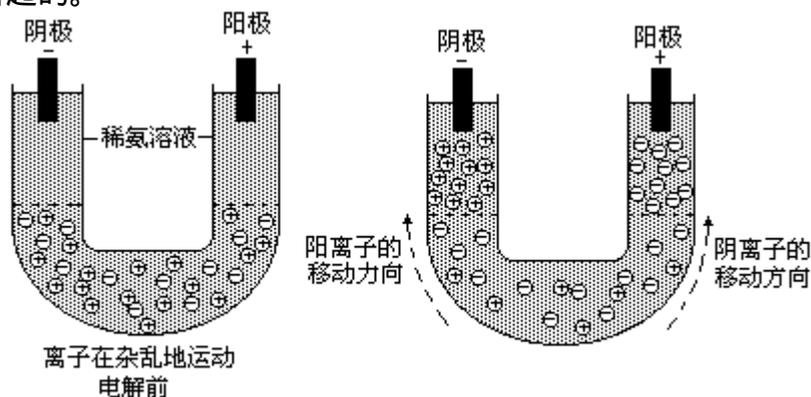


图 56.2

图 56.3 表明了另一种研究电解过程中有色离子运动的方法。用水将条状过滤纸浸湿，并将一块高锰酸钾晶体置于其中间。当用作电极的两个鳄鱼夹之间有电流通过时，就有一块紫色斑点缓慢地移向阳极。

高锰酸钾呈紫色，因而初看时，似乎觉得整个物体都在向阳极移动。但高锰酸钠也呈紫色，其情况也完全相同。所以，认为只有物质的高锰酸根部分向阳极移动则更合适些。因此，高锰酸钾是由高锰酸根离子和钾离子组成的。钾离子也肯定在向阴极移动，但由于它没有颜色，所以看不见。

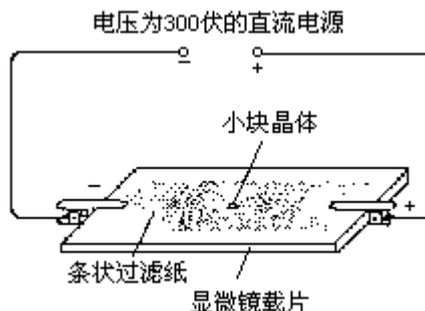


图 56.3

解释电解

图 56.4 描述了电解实验时电路各部分所发生的变化。

在金属线路中有电子流，电子从电池流向阴极，再从阳极流回电池。在电解质溶液中，有离子流过，阳离子流向阴极，阴离子流向

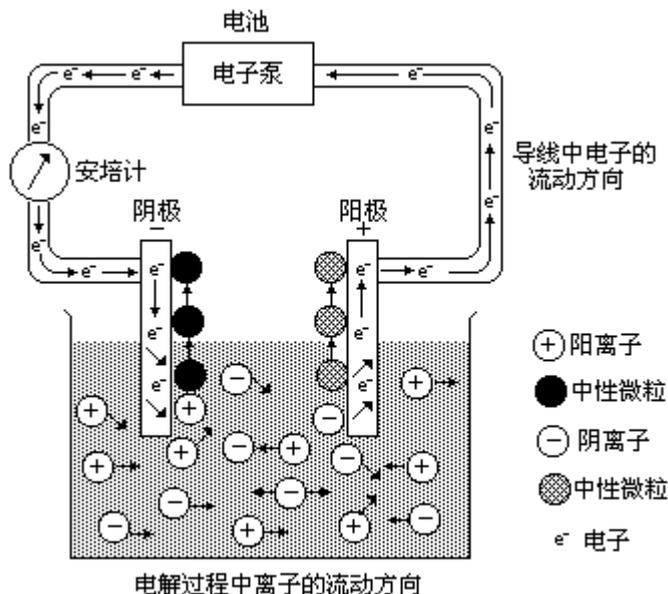
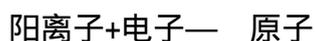


图 56.4

阳极。

所以带正电荷的离子从电解质溶液中聚集到阴极附近，而带负电荷的电子从电池流向阴极。阳离子与电子结合形成中性微粒：

阴极处：

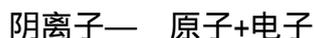


(带正电荷的离子) (在阴极处放出) (在阴极处形成)

若电解质为熔融状态的溴化铅，则铅离子与电子结合形成铅原子，因此可看到阴极上有铅沉淀产生。若电解质为稀硫酸或氯化钠溶液，则氢离子与电子结合形成氢原子，而氢原子又结合成氢分子，因此可看到阴极处有氢气放出。

带负电荷的离子聚集在阳极处，电子由阳极流向电池。当阴离子抵达阳极时，就将电子给予阳极，成为中性原子。

阳极处：



(带负电荷的离子) (在阳极处形成) (传给阳极)

若电解质是熔融状态的溴化铅，则溴离子向阳极流动，当抵达阳极时，就将电子传给阳极，形成溴原子。溴原子又结合成溴分子，因而可在阳极处看到有溴气放出。

离子所带的电荷

中性原子所含的质子数和电子数是相等的。许多离子就是带电的原子。而原子之所以带电，是由于原子的质子数比电子数多或电子数比质子数多的缘故。

图 56.5 所示为几个带电原子的例子。若原子有一个多余的质子，则其对应阳离子所带的电荷即为+1；若有两个多余的质子，所带的电荷即为+2；以此类推。若原子有一个多余的电子，则其对应阴离子所带的电荷即为-1；若有两个多余的电子，所带的电荷即为-2；等等。

表 57.6 列出了一些离子及其所带的电荷数。

电解质和离子

所有的酸、碱和盐溶于水或处在熔融状态下都是电解质。但当它们

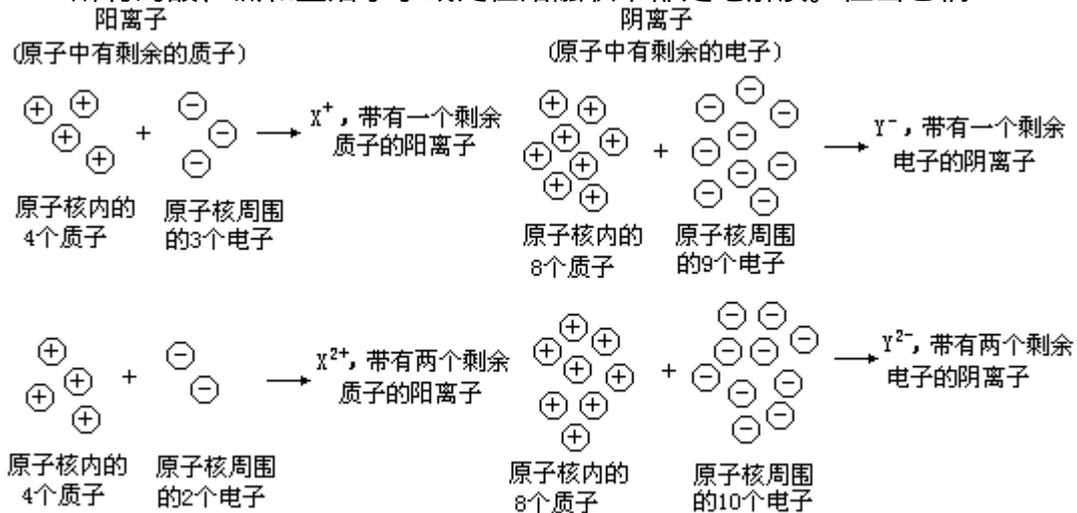


图 56.5

处于固态时却不能电解，因为电解只有在离子处于游离状态时才能发生。

固态盐（如氯化钠）是由离子组成的。但象任何固体中的微粒一样，这些离子是紧密结合在一起的，其唯一可进行的运动就是在其固定位置附近振动。当固体融化时，离子仍然相距很近，但此时它们可以在其周围的空间中运动（见图 56.6），因此熔融状态的盐可以进行电解。

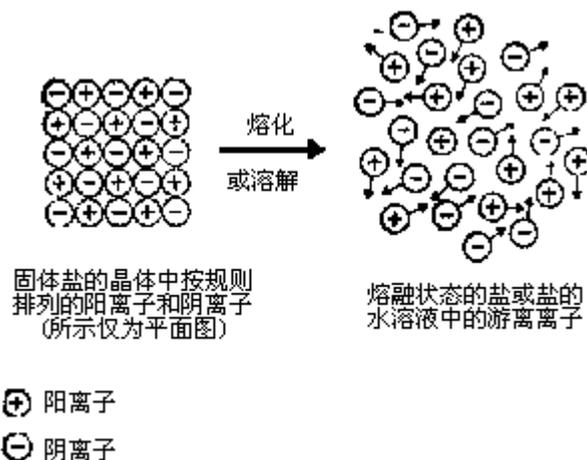


图 56.6

在盐溶于水的过程中，水分子受晶体边缘离子的吸引。这种吸引力有助于离子脱离晶体进入水中，从而形成溶液。另一方面，产生的离子可在电解质中自由运动，所以盐的水溶液能被电解。

习题

1. 试用质子和中子的概念解释钠原子和带有一个正电荷的钠离子之间的区别。

2. 固态盐和固态糖均不导电，糖的水溶液也不导电，但盐的水溶液却能电解。试解释这一事实。

3. 为什么电流通过时引起的电解质变化（如气体的逸出）只发生在电极处而不发生电解质中？

4. 当深紫色高锰酸铜溶液在 U 型管中电解时，阴极周围会出现蓝色，而阳极周围会出现浅紫色。

(a) 引起蓝色的微粒带有什么性质的电荷？

(b) 引起浅紫色的微粒带有什么性质的电荷？

(c) 分别写出引起蓝色和引起浅紫色的离子的名称。

(d) 高锰酸铜的分子式是 $\text{Cu}(\text{MnO}_4)_2$ ，你能说出其两种离子所带电荷的相对大小吗？

§ 57 化学分子式

什么是分子式？

封三列出了一些常用元素的元素符号。这是一种很有用的“化学速记”符号。有些符号正好是元素名称的第一个字母，或前两个字母，或第一和第三个字母。

有些元素符号看起来和其元素名称一点也不相干，因为这些符号是以另

一种语言（如拉丁语）的元素名称为基础而得到的。例如，钠的拉丁语名称为 Natrium，钾的拉丁语名称为 Kalium。

科学家常用元素符号来书写化合物的分子式。下面是铜的两种化合物的分子式：



每个分子式都是将金属的元素符号置于非金属的元素符号之前而形成的。但在绿色氯化铜的分子式中还有另外一种现象，即符号 Cl 之后有一数字 2。

分子式可以说明两个问题：

- (1) 化合物是由哪些元素的原子结合而成的；
- (2) 相对于化合物中其它元素而言，每种元素的原子数有多少。

黑色氧化铜是由铜原子和氧原子结合而成。分子式 CuO 还表明，每有一“份”铜原子，就有一“份”氧原子；而分子式 CuCl_2 表明，每有一“份”铜原子，就有两“份”氯原子。

对大多数元素而言，其元素符号和其分子式是相同的。如铁的元素符号为 Fe，碳的元素符号为 C。而只有少数非金属元素，其元素符号和分子式是不相同的，因为它们是由含有两个或更多个原子的分子组成的。如氢、氧、硫的分子式分别为 H_2 、 O_2 、 S_8 。

化合物分子式的类型

表 57.1 中，由于金属氯化物中与一“份”金属原子结合的氯原子的“份数”不同，所以其分子式有三种形式。有些金属如铁，因为一“份”铁原子能和两种不同“份数”的氯原子相结合，所以它有两种氯化物。

表 57.1 金属氯化物

LiCl	MgCl_2	AlCl_3
NaCl	CaCl_2	FeCl_3
KCl	CuCl_2	
AgCl	FeCl_2	
	PbCl_2	
	ZnCl_2	

金属溴化物和金属碘化物的分子式同金属氯化物的分子式相类似（见表 57.2）。

表 57.2 金属溴化物和碘化物

	KBr	FeBr_2	FeBr_3		KI	FeI_2	FeI_3
溴化物				碘化物			
	AgBr	PbBr_2			AgI	PbI_2	

金属氧化物的分子式中还有另一种类型（见表 57.3），但它不同于金属

氯化物的分子式，请读者试着把这些分子式分为三类。硫化物的分子式类似于氧化物的分子式，只需用S取代式中的O即可。

表 57.3 金属氧化物

Al_2O_3	CaO	Cu_2O	CuO	FeO	Fe_2O_3	Li_2O	Na_2O
-------------------------	--------------	-----------------------	--------------	--------------	-------------------------	-----------------------	-----------------------

要记住所有这些分子式是不容易的，但我们可以借助于元素周期表来表达这一目的。表 57.4 列出了位于元素周期表左侧的一些元素的氯化物和氧化物的分子式。至少这些元素的氯化物的分子式中，氯原子的“份数”和元素所处的族数是相同的。

表 57.4

族数	I			
元素名称 (第三行)	Na	Mg	Al	Si
氯化物的分子式	NaCl	MgCl_2	AlCl_3	SiCl_4
氧化物的分子式	Na_2O	*	Al_2O_3	SiO_2
元素名称 (第四行)	K	Ca	Ga	Ge
			(镓)	(锗)
氯化物的分子式	KCl	CaCl_2	GaCl_3	GeCl_4
氧化物的分子式	K_2O	CaO	Ga_2O_3	GeO_2

当你做了本章后面镁在空气中燃烧的实验后，就会写出此分子式。

氧化物分子式的类型比较复杂，但如果认为一“份”氧原子相当于两“份”氯原子，也就比较易于理解。例如，四“份”氯原子和一“份”碳原子化合成 CCl_4 ，那么两“份”氧原子就可以和一“份”碳原子化合成 CO_2 。

表 57.5 所到化合物的分子式中含有三种或更多种原子，非金属部分全部是原子团。如碳酸氢根 (HCO_3)、氢氧根 (OH)、硝酸根 (NO_3)、碳酸根 (CO_3) 和硫酸根 (SO_4)。碳酸氢根中含有一“份”氢原子、一“份”碳原子和三“份”氧原子，依此类推。

碳酸氢盐、氢氧化物和硝酸盐的分子式和氯化物的分子式 (见

表 57.5

族数			
元素名称 (第三行)	Na	Mg	Al
碳酸氢盐的分子式	NaHCO_3	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	—
氢氧化物的分子式	NaOH	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	$\text{Al}(\text{OH})_3$
硝酸盐的分子式	NaNO_3	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Al}(\text{NO}_3)_2$
碳酸盐的分子式	Na_2CO_3	MgCO_3	
硫酸盐的分子式	Na_2SO_4	MgSO_4	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_2$

表 57.1) 相似, 不同之处就在于当其非金属原子团的角标为 2 或 3 时, 必须用括号将原子团括起来。分子式 $Mg(NO_3)_2$ 就意味着它是由一“份”镁原子和两“份”硝酸根原子团化合而成的。

碳酸盐和硫酸盐的分子式与氧化物的分子式 (见表 57.3) 相似。同样, 当原子团有角标时就必须用括号将其括住。

电解质的离子和分子式

如果知道电解质 (酸、碱、盐) 中阳离子和阴离子所带的电荷, 就可以得到其分子式。表 57.6 列出了一些常用离子所带的电荷。其中, 有些离子属于“复合离子”, 也就是说, 它们所含的原子种类大于 1, 这就是上述的原子团。

表 57.6

电荷, + 1	阳离子		阴离子	
	电荷, + 2	电荷, + 3	电荷, -1	电荷, -2
铵 NH^+	钡 Ba^{2+}	铝 Al^{3+}	溴 Br^{-1}	碳酸根 CO_3^{2-}
铜 (I) Cu^+	钙 Ca^{2+}	铁 () Fe^{3+}	氯 Cl^{-1}	氧 O^{2-}
氢 H^+	铜 () Cu^{2+}		碳酸氢根 HCO_3^-	硫酸根 SO_4^{2-}
钾 K^+	铁 () Fe^{2+}		氢氧化物 OH^{-1}	硫 S^{2-}
银 Ag^+	铅 Pb^{2+}		酸氢根 HSO_4^-	亚硫酸根 SO_3^{2-}
钠 Na^+	镁 Mg^{2+}		碘 I^-	
	锌 Zn		硝酸根 NO_2^+	

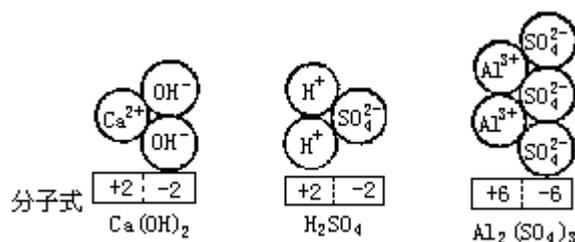


图 57.1

本图仅仅表明阳离子和阴离子结合时的比例, 并不代表 $Ca(OH)_2$ 、 H_2SO_4 或 $Al_2(SO_4)_3$ 的微粒

电解质中不含净电荷, 其阳离子所带的正电荷必须和阴离子所带的负电荷相平衡。图 57.1 可以表明图中三类不同的电解质是如何得到平衡的。

若将硫酸铝的分子式写成 $AlSO_4$, 则其净电荷即为 $+3 - 2 = +1$, 所以这一分子式是不正确的。 $Al_2(SO_4)_3$ 表示分子式中应有两个 +3 电荷 (总电荷为 +6) 和三个 -2 电荷 (总电荷为 -6)。

有些元素出现在不同的两栏中, 这表明它们可以形成两种带有不同电荷的离子。在这种情况下, 我们书写或谈到这些离子时, 就在元素名称的后面

加一数字。例如， Cu^+ 叫做铜（ ）离子， Fe^{3+} 叫做铁（ ）离子。

在命名某些化合物时，常常将这一数字包括进去。这样我们就可以明瞭化合物中存在哪种离子，不致于造成混淆。所以，红色氧化铜的分子式(Cu_2O)就叫做氧化铜（ ），而黑色氧化铜的分子式(CuO)则叫做氧化铜（ ）。

当只存在一种离子时，就没有必要使用数字。所以， Ca^{2+} 就不称为钙（ ）离子，因为没有 Ca^+ 或 Ca^{3+} 与之混淆。

摩尔原子

从下面的实验中，你可以亲自得到氧化镁的分子式。要做到这一点，必须知道氧化镁中有几“份”镁原子和几“份”氧原子。

原子的确很小，不可能直接用天平来称得单个原子的质量，因此

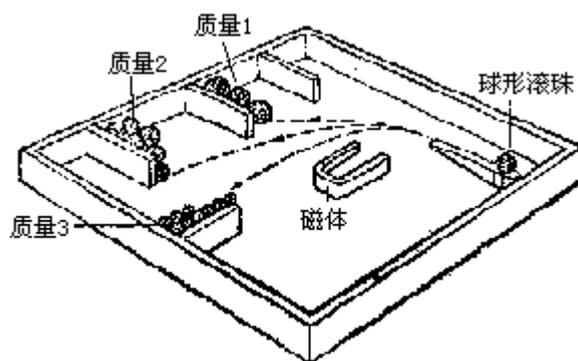


图 57.2

科学家们使用一种叫做质谱仪的仪器来比较不同原子的质量。

假定图 57.2 所示的装置可根据球形滚珠质量的不同将其分为三类。当球形滚珠以相同的恒定速度通过一个马蹄形强磁铁时，由于其质量不同，因而其方向偏离的程度也不同，从而形成不同的曲线。其中，质量最大的滚珠方向偏离最小，而质量最小的方向偏离最大。

质谱仪的工作原理与此相似。先将元素的原子电离成离子（在这里为阳离子），然后使之通过磁场（图 57.3）。若离子所带的电荷都相等且速度也大致相同，那么其偏离程度就决定于其质量的大小。

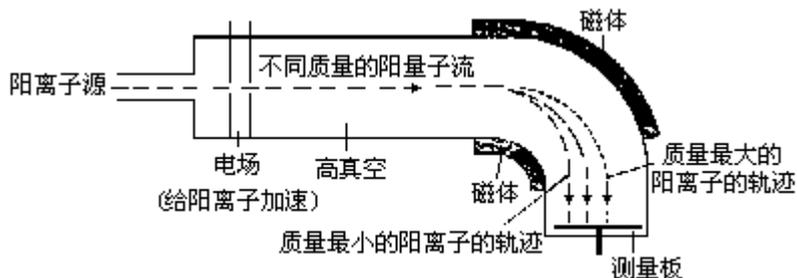


图 57.3

在所有的原子中，氢原子质量最小，因为它只含有一个质子（和一个电子）。所以其它原子的质量要比这一最小质量大许多倍。表 57.7 表明，镁

原子的质量是氢原子质量的 24 倍，氧原子的质量是氢原子质量的 16 倍。

表 57.7 还表明镁原子的质量是氧原子质量的 1.5 倍，铜原子的质量是氧原子质量的 4 倍。

原子的质量可以和选定的任一原子的质量进行比较，但现在我们将所有原子的质量都和碳原子质量的 $1/12$ 相比，这和表 57.7 中所列的数字并无区别。封三上的元素周期表中列出了所有元素的相对原子量。

科学家谈到的通常是 1 摩尔镁原子而不是 1 “份” 镁原子。1 摩尔镁原子的质量为 24 克，1 摩尔氧原子的质量为 16 克。可用元素周期表

表 57.7

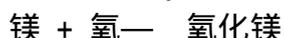
元素符号	相对原子量	元素符号	相对原子量
H	1	S	32
C	12	Cl	35
O	16	Cu	64
Mg	24		

所有这些相对原子质量都取其最接近的整数

中所列的相对原子量来确定其它元素 1 摩尔原子的质量。

通过实验获得分子式

镁带在空气中燃烧即可获得氧化镁。这个化学反应的文字反应式为：



在做实验之前，先猜想将要得到的一些结果。如果测得和 16 克氧化合的镁的质量为 48 克，这就意味着氧化镁是由 2 摩尔镁原子和 1 摩尔氧原子化合而成的，因而氧化镁的分子式就是 Mg_2O 。如果测得和 16 克氧化合的镁的质量为 24 克，就会得到氧化镁的分子式是 MgO 。

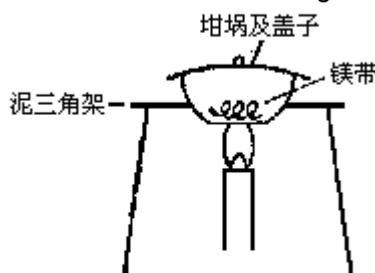


图 57.4

实验 1 镁和氧化合量的测量

先将 0.24 克（精确值）干净的镁带（大约 24 厘米长）放入一已知质量的坩埚内，然后将坩埚放在泥三角架上急剧加热，直到镁带开始燃烧（如图 57.4 所示）。

用钳子频频掀开锅盖，以便使空气进入，但不能使任何一点白色灰烬（氧

化镁)逸出。同时,经常缓慢地给热镁带吹风,并在每次吹风之后迅速移动锅盖,以保证镁完全反应。

当坩埚冷却之后,将其放到天平上,即可测得坩埚和白色灰烬的总质量。

- 生成氧化镁的质量是多少?
- 和 0.24 克镁化合的氧的质量必须是多少?
- 按下述步骤计算:
 1. 按比例计算和 24 克镁化合的氧的质量。
 2. 计算所得的氧的质量大约相当于多少摩尔氧原子?
 3. 24 克镁相当于多少摩尔镁原子?
 4. 比较氧原子和镁原子的摩尔数,然后写出氧化镁的分子式。

化合物的摩尔数

氧化铜()和氧化铜()的分子式分别为 Cu_2O 和 CuO 。按图 57.5 可以计算出这两种化合物的摩尔质量。

	氧化铜 (I)	氧化铜 (II)
分子式	Cu_2O	CuO
各类原子的摩尔数	2 摩尔铜原子 1 摩尔氧原子	1 摩尔铜原子 1 摩尔氧原子
相应摩尔的质量	$2 \times 64 = 128$ 克 16 克	64 克 16 克
总质量	144 克	80 克

因此 1 摩尔 Cu_2O 的质量为 144 克, 1 摩尔 CuO 的质量为 80 克。

图 57.5

氢 氧 化 钙	
分子式	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
原子或原子团的摩尔数	1 摩尔钙原子 2 摩尔氢氧“原子团”
这些摩尔的质量	40 克 $2 \times 17 = 34$ 克
总质量	74 克

因此 1 摩尔 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的质量为 74 克, 其相对分子质量为 74。

图 57.6

如果这些数值没有单位(克),则称之为化合物的相对分子质量。氧化铜()的相对分子质量为 144,氧化铜()的为 80。

有些化合物的分子式带有括号,因而计算其相对分子质量就比较困难—

点(见图 57.6)。

有关其它计算

要获得化合物的分子式,就必须首先知道其所有元素的质量比。上述实验表明,对于任何特定化合物的试样,这些比值都是相等的,这就是所谓的恒组成定律。

下面举例说明:

80 克氧化铜() 试样中含有 64 克铜和 16 克氧,而 40 克氧化铜() 中含有 32 克铜和 8 克氧,依此类推。

氧化铜() 中各成分的质量百分组成为: $64/80 \times 100\%$ 铜(80%铜), $16/80 \times 100\%$ 氧(20%氧)。

下面我们将看到如何由化合物中各成分的质量百分组成来求得其分子式。

计算示例:

氧化铜() 中铜的质量百分数为 80%, 求其分子式。(相对原子质量为: $\text{Cu}=64$, $\text{O}=16$)

100 克氧化铜() 中含有 80 克铜和 20 克氧。

第一步: 将元素的克数变成摩尔数。

a. 64 克铜为 1 摩尔铜原子, 1 克铜为 $1/64$ 摩尔铜原子, 因此 80 克铜就相当于 $80/64=1.25$ 摩尔铜原子。

b. 16 克氧为 1 摩尔氧原子, 1 克氧为 $1/16$ 摩尔氧原子, 因此 20 克氧就相当于 $20/16=1.25$ 摩尔氧原子。

第二步: 计算各元素间的最简摩尔整数比。

1.25 摩尔铜原子和 1.25 摩尔氧原子化合成氧化铜(), 因此铜和氧最简单的摩尔整数比为 1:1。

故氧化铜() 的分子式为 CuO 。

这样计算而获得的分子式有时称为经验式。许多物质只有一种分子式, 而这一分子式往往是通过成分的质量百分组成计算而获得的。但有一些物质也具有另外一种分子式。

硫的分子式可写成 S , 也可写成 S_8 。化学式 S 只表明硫仅仅是由硫原子组成的元素, 而化学式 S_8 则表明硫是由分子组成的, 每个分子含有 8 个硫原子。第二种化学式称为分子式。

有些化合物既有经验式又有分子式。

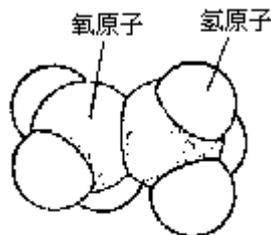


图 57.7 乙烷分子 (C_2H_6) 的模型

计算示例：

乙烷气体中含有 80% 的碳和 20% 的氢，试求出其分子式。（相对原子质量为： $C=12$ ， $H=1$ ）

第一步：

a. 80 克碳相当于 $80/12 = 6.7$ 摩尔碳原子。

b. 20 克氢相当于 $20/1=20$ 摩尔氢原子。

第二步：

碳和氢的最简摩尔整数比为 1 : 3。

故乙烷的经验式为 CH_3 。

另外一种实验表明，乙烷的相对分子质量为 30，所以 1 摩尔乙烷的质量为 30 克。

但 1 摩尔 CH_3 的质量为 $12+3=15$ 克，因此经验式有可能和分子式不同。

因为 30 是 15 的 2 倍，所以分子式一定是经验式的 2 倍。换句话说，乙烷的分子式是 C_2H_6 （见图 57.7）而不是 CH_3 。

习题

1. 参考表 57.6，写出下列电解质的分子式。

(a) 碘化钠，(b) 氢氧化钙，(c) 氯化铜 ()，(d) 硫酸铁 ()，(e) 氢氧化锂，(f) 碘化铅，(g) 碳酸氢钠，(h) 碳酸钾，(i) 硫酸铵，(j) 硝酸铁 ()。

2. 将 7.4 克锌粉加入 25.4 克的碘中，并加入几滴乙醇，直到不再发生化学反应为止。其产物碘化锌溶于乙醇中，而将过量的锌粉滤出并使其干燥，发现化学反应结束后仍剩有 0.9 克锌。（相对原子质量为： $Zn=65$ ， $I=127$ 。）

(a) 试计算出和 25.4 克碘反应的锌的质量。

(b) 参加反应的锌相当于多少摩尔锌原子？

(c) 25.4 克碘相当于多少摩尔碘原子？

(d) 试写出碘化锌的分子式。

(e) 由 (d) 预测氯化锌和溴化锌的分子式。3. 溴化钙中钙的质量百分数为 20%，试求出其分子式。（相对原子质量为： $Ca=40$ ， $Br=80$ ）4. 试用丁烷 (C_4H_{10}) 气体说明分子式和经验式的区别。

§ 58 反应式

什么是反应式？

在本书中，化学反应式用两种方法——文字反应式和符号反应式表达。文字反应式仅仅给出了参加反应的物质（反应物）和反应后得到的物质（生成物）的名称。而符号反应式不仅表明了反应物和生成物，而且还含有一些其它重要的意义。

镁和蒸汽之间的化学反应，用符号反应式表达即为：



这里“s”代表“固体”，“g”代表“气体”。在此式中的四种分子式不仅仅是该物质名称的一种速记方法，而且还代表1摩尔该物质。因此该反应式表明，1摩尔Mg和1摩尔H₂O发生反应，生成1摩尔MgO和1摩尔H₂气。

并非所有的反应式都象该反应式一样简单。下面再来研究镁和稀盐酸发生化学反应的反应式：



这里“aq”代表“水溶液”，即表明HCl和MgCl₂都是以水溶液形式存在。该反应式和上述反应式的重要区别就在于其中一个分子式的前面有一数字2。这就表明2摩尔HCl和1摩尔Mg发生反应，生成1摩尔MgCl₂和1摩尔H₂气。在反应式中位于分子式之前的数字表明该物质参加化学反应的摩尔数。

符号反应式的配平

质量守恒定律的含义是在化学反应中，反应物的总质量必须等于生成物的总质量，即既没有新物质产生，也没有旧物质消失。因为物质是由原子组成的，因此该定律也就表明，在化学反应中，原子既不可能产生也不可能消失。

配平符号反应式就意味着要保证反应式两端各类原子的数量相等。下面以镁在空气中燃烧形成氧化镁为例来加以说明。配平前的符号反应式为：



配平后，反应式变成：

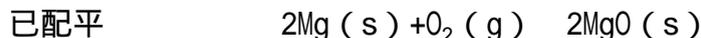


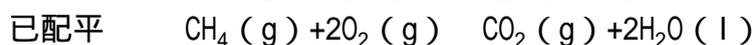
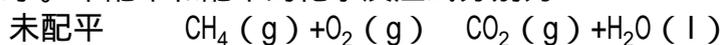
图 58.1 表明配平后的反应式才是正确的，因为反应式两端的 Mg 原子和 O 原子的摩尔数都分别相等。

	反应式左端			反应式右端		
	反应物	Mg 原子的 摩尔数	O 原子的 摩尔数	生成物	Mg 原子的 摩尔数	O 原子的 摩尔数
未配平	1 摩尔 Mg 原子 1 摩尔 O ₂ 分子	1		1 摩尔 MgO	1	
已配平	2 摩尔 Mg 原子 1 摩尔 O ₂ 分子	2	2	2 摩尔 MgO	2	2

表明原子的摩尔数不平衡

图 58.1

下面再举一个例子，即天然气（主要是甲烷——CH₄）燃烧，生成二氧化碳和水。未配平和配平的化学反应式分别为：



这里“l”代表“液体”。

图 58.2 表明第二个化学反应式中 C 原子、H 原子和 O 原子的摩尔数都完全得到了平衡。

	反应式左端			反应式右端				
	反应物	C 原子 的摩尔 数	H 原子 的摩尔 数	O 原子 的摩尔 数	生成物	C 原子 的摩尔 数	H 原子 的摩尔 数	O 原子 的摩尔 数
未配平	1 摩尔 CH ₄ 1 摩尔 O ₂ 分子	1			1 摩尔 CO ₂ 1 摩尔 H ₂ O	1		2 1 总数=
已配平	1 摩尔 CH ₄ 2 摩尔 O ₂ 分子	1	4	4	1 摩尔 CO ₂ 2 摩尔 H ₂ O	1	4	2 2 总数=4

表明原子的摩尔数不平衡。

图 58.2

从实验到反应式

首先，化学反应式常常由实验来确定。下面我们来研究金属铜和硝酸银溶液之间的化学反应式的有关问题。金属银被铜所取代，而铜本身则进入溶液中。下面的实验表明 0.64 克铜将置换出 2.16 克银。

64 克铜是 1 摩尔 Cu 原子，因此 0.64 克铜就是 1/100 摩尔 Cu 原子。108 克银是 1 摩尔 Ag 原子，因此 2.16 克银就是 2/100 (1/50) 摩尔 Ag 原子。

这个结果表明，1/100 摩尔 Cu 原子将置换出 2/100 摩尔 Ag 原子，因而 1 摩尔 Cu 原子将置换出 2 摩尔 Ag 原子。

该化学反应的部分反应式可写成：



硝酸银溶液是另一反应物，其分子式为 AgNO_3 。要生成 2 摩尔 Ag 原子，就需要 2 摩尔 AgNO_3 。所以反应式变成：



由化学分析可知，唯一的其它生成物是硝酸铜 () —— $\text{Cu (NO}_3)_2$ 。这也是通过比较反应式两端的化学符号而得到的，因为反应式右端缺少符号 Cu 和 2NO_3 。因此完全配平后的方程式是：



图 58.3 可以说明该式已达到配平的原因。值得注意的是，我们只需检查反应式两端的 NO_3 原子团（其实为 NO_3^- 阴离子）是否相等。而不必对氮和氧单个元素进行检验。

反 应 式 左 端			反 应 式 右 端		
反应物	Cu 原子 的摩尔数	Ag 原子 NO ₃ 原子团 的摩尔数 的摩尔数	生成物	Cu 原子 的摩尔数	Ag 原子 NO ₃ 原子团 的摩尔数 的摩尔数
1 摩尔 Cu 原子	1		2 摩尔 Ag 原子		2
2 摩尔 AgNO_3		2 2	1 摩尔 $\text{Cu(NO}_3)_2$	1	2

图 58.3

含有气体的反应

对铜和硝酸银溶液之间发生的化学反应来说，通过测量铜和银的质量，很容易获得其摩尔数。而对气体来说，要获得其摩尔数就比较困难，因为在学校实验室的容器里收集的气体质量很小。但幸运的是还有另一种方法可用于测量参加化学反应的气体摩尔数。

在给定的温度和压力下，1 摩尔任何气体所占有的体积都相等。

当气体位于海平面高度时，该体积大约为 24 升 (24000 立方厘米)。但表 58.1 表明，当气体所处的位置远高于海平面时（此处的空气压力远低于 760 毫米汞柱），该体积变大。

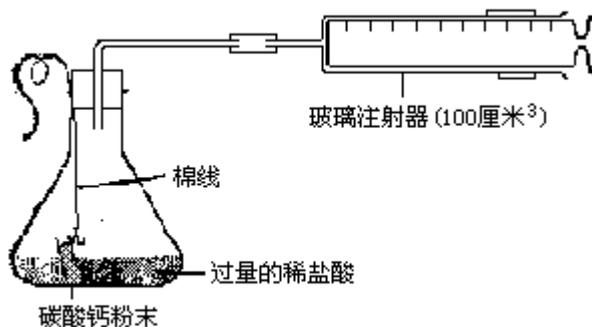
在图 58.4 所示的实验中，碳酸钙粉末正在和稀盐酸发生化学反应，生成二氧化碳。气体收集在玻璃注射器中，并在反应完毕后测量其体积。结果发现，0.10 克碳酸钙放出的二氧化碳气体为 24 立方

表 58.1

空气压力, 毫米汞柱	550	600	650	700	725	750	775
1 摩尔气体的体积, 升	33	30	28	26	25	24	23

在不同的空气压力下, 1 摩尔任何气体所占的体积都是在室温条件下测得的。当实验室的温度高于 25 时, 表中各体积必须加上 1 升。海平面处的正常空气压力为 760 毫米汞柱。

厘米。



100 克 CaCO_3 的摩尔数为 1 (见图 58.5), 所以 0.10 克就是 1/1000 摩尔的 CaCO_3 。

在同样的温度和压力下, 1 摩尔 CO_2 的体积为 24000 立方厘米, 所以体积为 24 立方厘米 CO_2 的摩尔数为 1/1000。这些结果表明, 1/1000 摩尔 CaCO_3 放出的 CO_2 气体为 1/1000 摩尔, 因而 1 摩尔 CaCO_3 放出的 CO_2 气体为 1 摩尔。

碳 酸 钙	
分子式	CaCO_3
各原子的摩尔数	1 摩尔 Ca 原子 1 摩尔 C 原子 3 摩尔 O 原子
这些摩尔的质量	40 克 12 克 48 克
总质量	100 克

图 58.5

该化学反应的部分反应式可写成：



另一反应物为盐酸 (HCl)。实验表明, 化学反应完后剩下的溶液中仅含有氯化钙 (CaCl_2)。因此反应式变成：



按实际情况来说该反应式含有明显的某些错误。反应式右端的 2 摩尔 Cl 原子需要用左端的 2 摩尔平衡, 这只需在 $\text{HCl} (\text{aq})$ 前加一数字 2 即可。但

难以解决的问题是反应式右端根本没有氢原子和左端相配，而且反应式两端的氧原子也示平衡。

完全配平的反应式（见图 58.6）中有水（H₂O）。水是第三种生成物。

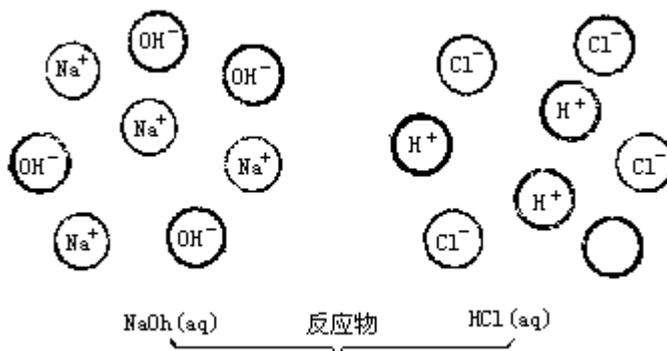


反 应 式 左 端					
反应物	Ca 原子的 摩尔数	C 原子的 摩尔数	O 原子的 摩尔数	H 原子的 摩尔数	Cl 原子的 摩尔数
1 摩尔 CaCO ₃	1	1	3		
2 摩尔 HCl				2	2
反 应 式 右 端					
生成物	Ca 原子的 摩尔数	C 原子的 摩尔数	O 原子的 摩尔数	H 原子的 摩尔数	Cl 原子的 摩尔数
1 摩尔 CaCl ₂	1				2
1 摩尔 CO ₂		1	2		
1 摩尔 H ₂ O			1	2	

图 58.6

反应式中的离子

酸-碱反应



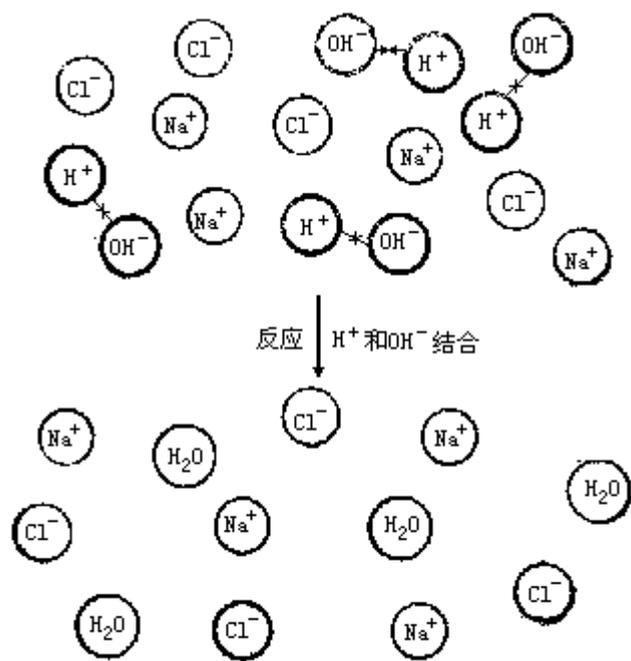
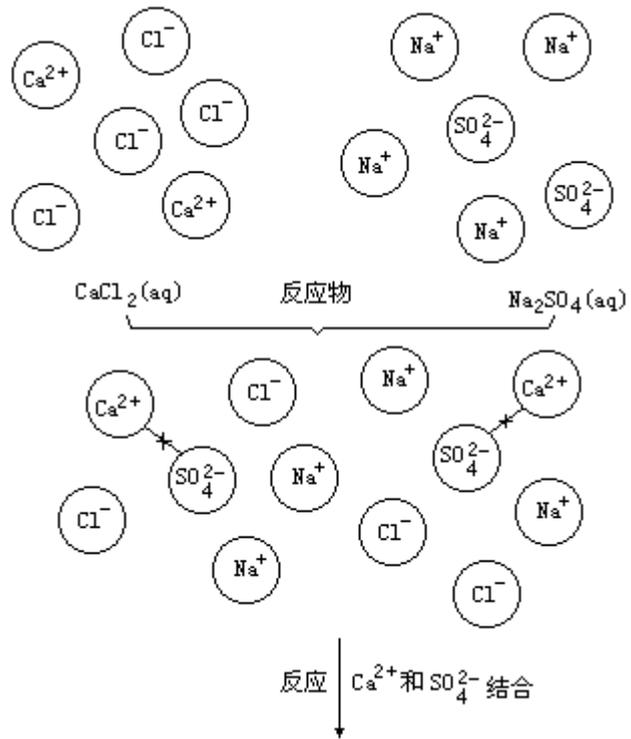


图 58.7

注：本图仅仅表明在化学反应中生成了水分子



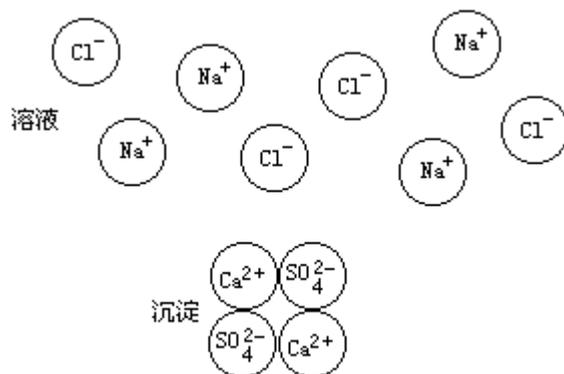
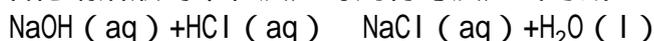


图 58.8

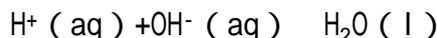
稀盐酸和氢氧化钠溶液的中和反应可用符号反应式写成：



但酸、碱和盐都是由离子组成的电解质，因此，还可用另外一种方法，即用离子而不用完整的分子式来写出其反应式。

图 58.7 以图的形式描述了该中和反应。H⁺和 OH⁻离子结合成为水分子，而 Na⁺和 Cl⁻离子仅仅停留在溶液中，不发生任何变化。

因此该化学反应的离子反应式为：



没有必要写出 Na⁺和 Cl⁻，因为它们无任何变化。

该化学反应式对所有的酸-碱反应都是相同的，因为任何酸都含有 H⁺，任何碱都含有 OH⁻。

沉淀反应

当两种可溶性盐混合时，如有不溶性盐沉淀，则该化学反应也可用离子反应式表达出来。

图 58.8 以简图的形式描述了氯化钙溶液和硫酸钠溶液之间的化学反应。

另外，该图还可用于书写离子反应式。Ca²⁺和 SO₄²⁻离子结合成 CaSO₄²⁻（沉淀），而 Na⁺和 Cl⁻离子仅仅停留在溶液中，不发生任何变化。

所以该化学反应的离子反应式可写成：



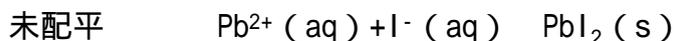
没有必要写出 Na⁺和 Cl⁻离子，因为它们无任何变化。

配平离子方程式

对任何电解质之间的化学反应，均可用离子写出其符号反应式。配平离子反应式要比配平一般符号的式子复杂些，因为有两项内容（而非一项）需要检查，一般符号反应式只需配平原子的摩尔数，而离子反应式不仅需要配平原子的摩尔数，而且需要配平反应式两端的电荷。

将含有铅离子（Pb²⁺）的溶液和含有碘离子（I⁻）的溶液混合，来研究

碘化铅 (PbI_2) 的沉淀。配平之前的离子反应式为：



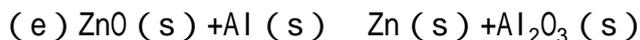
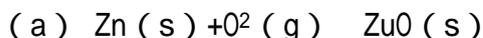
该反应式不仅碘的摩尔数未得到平衡，而且电荷也未达到平衡：反应式右端不带电荷，而左端的电荷为+2和-1之和，总电荷为+1。

完全配平的反应式为：

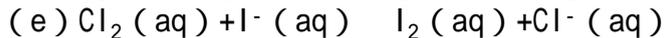
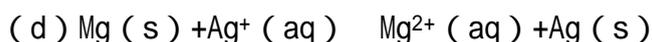
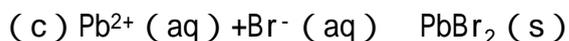
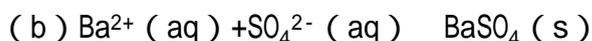
$$\text{已配平} \quad \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{I}^{-}(\text{aq}) \rightarrow \text{PbI}_2(\text{s})$$
 现在，不仅原子的摩尔数得到了平衡，而且电荷也得到了平衡。反应式左端的电荷为+2和-2之和，总电荷为零，而右端的总电荷也为零。

习题

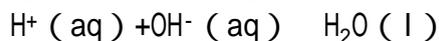
1. 配平下列反应式中各类原子的摩尔数。（注：除给出的生成物之外，无其它生成物）。



2. 配平下列离子反应式中各类原子的摩尔数和反应式两端的电荷。（注：除给出的生成物之外，无其它生成物）其中有一个反应式已完全配平，试指出该反应式，并使其保持原状。



3. 硝酸和氢氧化钠之间及盐酸和氢氧化钾之间的中和反应都可用下面同一个离子反应式表达。试解释其原因。

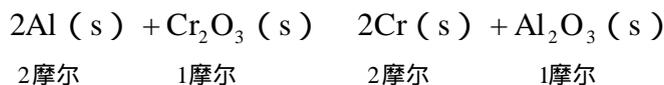


§ 59 利用化学反应式进行计算

质量-质量计算

符号反应式表明参与反应的每种物质或生成的每种物质各有多少摩尔。由各物质的摩尔数可计算出其质量。化学家就是利用化学反应的这一性质来计算反应物应有的混合比例，并可预计产物的量（产量）。

100 千克氧化铬（ Cr_2O_3 ）将生成多少金属铬呢？下面我们就来进行计算。以铝作为还原剂进行化学反应，其符号反应式为：



各生成物和反应物的质量（以克为单位）为：

2 × 27 克 152 克 2 × 52 克 102 克

因此 152 克氧化铬（ ）将生成 104 克铬，或者说 152 千克氧化铬（ ）将生成 104 千克铬。

下一步计算 100 千克氧化铬（ ）将生成多少千克铬。

152 千克氧化铬（ ）生成 104 千克铬，因此 1 千克氧化铬将生成 104/152 千克铬，那么，100 千克氧化铬（ ）将生成 100 × 104/152 = 68.4 千克铬。

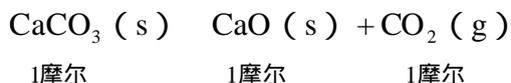
该类题目的计算步骤如下：

1. 应用已配平的化学反应式写出反应物和生成物的摩尔数。
2. 利用 1 摩尔的反应物和生成物的质量（可通过相对分子质量进行计算）将其摩尔数换算成克数。
3. 利用反应式的性质将 2 中的克数换算成所需要的质量。

质量-体积计算

计算化学反应中所生成的气体的产量与上述质量-质量计算有所不同。因为气体是以体积来度量的。对气体来说，知道其体积要比知道其质量更为重要。

加热 10 吨石灰石（碳酸钙）将生成多少二氧化碳呢？下面我们就来进行计算。该化学反应的符号反应式为：



固体的质量（以克为单位）为：

100 克 56 克

因为在室温和大气压力下，1 摩尔任何气体所占的体积都是 24 升，所以 100 克石灰石在常温常压下将生成 24 升二氧化碳，那么，100 吨（100000 千克或 100000000 克）石灰石将生成 24000000 升二氧化碳。

最后还必须计算出 10 吨石灰石生成的二氧化碳有多少升。

100 吨石灰石生成 24000000 升二氧化碳，因此 1 吨石灰石将生成 24000000/100 升二氧化碳，那么，10 吨石灰石将生成 10 × 24000000/100 = 2400000 升二氧化碳。

该类题目的计算步骤如下：

1. 应用已配平的反应式写出反应物和生成物的摩尔数。
2. 将固体和液体的摩尔数换算成克数（利用各物质 1 摩尔的质量），而将气体换算成升数（利用 1 摩尔任何气体所占的体积）。
3. 根据方程式将 2 中的质量和体积换算成所需要的质量和体积。

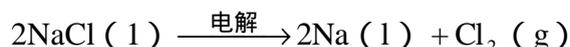
习题

1. 锌和稀盐酸之间的反应方程式为：



把 13 克锌加入过量的稀盐酸中，将生成多少体积的氢气？（相对原子量为：Zn=65；假定在实验条件下，1 摩尔任何气体所占的体积都为 24 升。）

2. 熔融氯化钠的电解反应式为：



试计算：

(a) 金属钠的质量。

(b) 在室温和大气压力下，分解 234 千克氯化钠将生成的氯气的体积。

（相对原子量为：Na=23，Cl=35.5；假定在室温和大气压力下，1 摩尔任何气体所占的体积都是 24 升。）

3. 乙烯气体的分子式为 C_2H_4 ，它在氧气中燃烧生成二氧化碳和水。

(a) 乙烯的相对分子量是多少？

(b) 乙烯的经验式是什么？

(c) 在乙烷分子式中，原子是以离子键还是以共价键的形式结合在一起的（见 § 60）？

(d) 试写出乙烯在氧中燃烧的 (i) 文字方程式和 (ii) 完全配平的符号反应式。

(e) 试用已配平的反应式，计算在室温和大气压力下，14 克乙烯将生成多少升二氧化碳。

（相对原子量为：C=12，H=1；假定在室温和大气压力下，1 摩尔任何气体所占的体积都是 24 升。）

§ 60 化学键

什么是化学键？

要拉伸固体，就必须供给能量，以克服微粒之间强吸引力而使微粒移动。所提供的能量形式可以是机械能，也可以是热能。

构成分子的原子也是难于彼此分离的，因此，将分子分解成原子也必须施加能量。由此可见，分子中的原子之间肯定有吸引力存在。

将微粒——固体中的离子或原子，分子中的原子——结合在一起的力称为化学键。为了了解化学键存在的原因，我们再看一下原子的结构。

当原子相互接近时，是其最外部分发生相互作用。根据此种发生的相互作用即可说明化学键是怎样形成的。

原子中的电子

假定原子是由一个很小的带正电荷的密实原子核和一个绕核含有带负电荷的电子空间所组成。实验证明，电子是以一定的形式排列的，即排列在距原子核不同距离的称为能级的“电子壳层”上。象氢这样非常简单的原子，只有一个被电子占据的能级；但象钠和氯这样

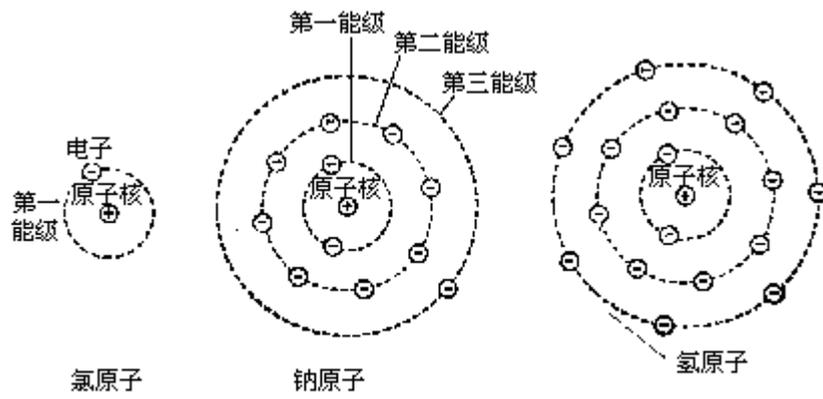


图60.1

表 60.1

元素名称	原子序数 (总电子数)	外层电子数	外层能级	内层电子数
氢	1	1	第一层	0
氦	2	2		0
锂	3	1	第二层	2
铍	4	2		2
硼	5	3		2
碳	6	4		2
氮	7	5		2
氧	8	6		2
氟	9	7		2
氖	10	8		2
钠	11	1	第三层	10
镁	12	2		10
铝	13	3		10
硅	14	4		10
磷	15	5		10
硫	16	6		10
氯	17	7		10
氩	18	8		10
钾	19	1	第四层	18
钙	20	2		18

比较复杂的原子，则有数个能级（见图 60.1）。

位于不同能级上的电子，其能量不同，但位于同一能级上的电子，其能量基本相同（虽然并不总是完全相同）。电子和原子核之间有吸引力存在。

对任何一种原子来说，其总电子数以及其最外层能量上的电子数（外层电子）都是已知的。表 60.1 列出了元素周期表中前二十种元素的有关这方面的数值。

当元素按照其原子序数排列时（见图 60.2），其外层电子数有一定的形式。

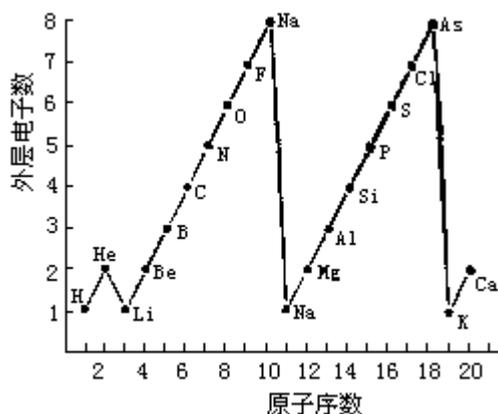


图 60.2

元素的性质是由其原子中的外层电子数决定的，因为正是这些电子使元素之间产生了化学键（见下面）。所以，锂、钠和钾有着类似的性质，因为它们都只有一个外层电子；氟、氯的性质与碱金属的性质有着很大的差异，因为它们具有不同的外层电子数；但氟、氯的性质非常相似，因为它们具有相同的外层电子数（7）。

因此在周期表中，元素按族排列的方式是其原子中的外层电子数随原子序数而呈规则变化的结果。

对许多元素来说，其原子中的外层电子数和元素在周期表中所处的族数相等。

离子之间的化学键

当钠和氯发生反应生成氯化钠 (Na^+Cl^-) 时，每个钠原子必须失去一个电子以形成钠离子，而每个氯离子必须获得一个电子以形成氯离子。在这些原子和离子中的电子数见表 60.2。

表 60.3 列出了惰性气体原子中的总电子数和外层电子数。很明显，钠离子和氖原子、氯离子和氩原子具有相同的电子数。

很难将氯化钠分解成其元素。换句话说，也就是很难将钠离子转变成钠原子，和将氯离子转变为氯原子。氖和氩也一定是非常稳定的，因为它们属于非常不活泼的元素之列，称为惰性气体。因此，钠

表 60.2

原子或离子	原子序数	在一个原子或离子中的总电子数	原子或离子	原子序数	在一个原子或离子中的总电子数
Na	11	11	Cl	17	17
Na^+	11	10	Cl^-	17	18

表 60.3

元素	原子序数	一个原子中的总电子数	外层电子数	元素	原子序数	一个原子中的总电子数	外层电子数
He	2	2	2	Kr	36	36	8
Ne	10	10	8	Xe	54	54	8
Ar	18	18	8	Rn	86	86	8

离子和氯离子也是非常稳定的，因为它们分别具有和氖原子和氩原子相同的电子数。

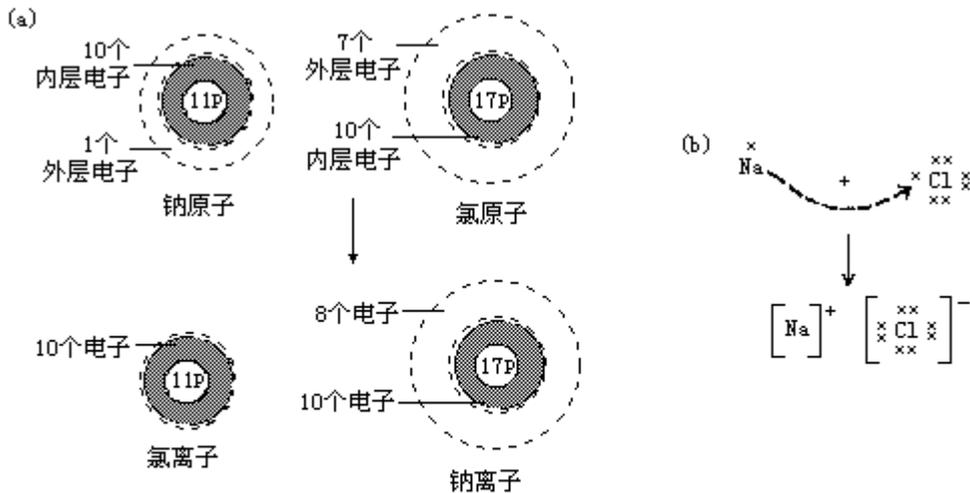


图60.3

注：图(b)不包括内层电子。内层电子并不参与形成化学键，故在此并不重要。

图 60.3 所示为钠原子和氯原子如何形成钠离子和氯离子的一种描述方法。每个钠原子失去一个电子，并传给氯原子。

在固体氯化钠中，每个钠离子都被氯离子所包围，每个氯离子也都被钠离子所包围（见图 60.4）。所以邻近的离子因带有相反的电荷而相互吸引。这种带相反电荷离子之间的强静电吸引力称为离子键。在氯化钠晶体中，这种吸引力贯穿于整个晶体结构。

原子之间的化学键

在所有分子中，氢分子（ H_2 ）最为简单。一个氢原子有一个质子和一个电子。当氢原子结合成氢分子时，这两个电子将发生变化。图 60.5 即表明了一种描述该变化的方法。

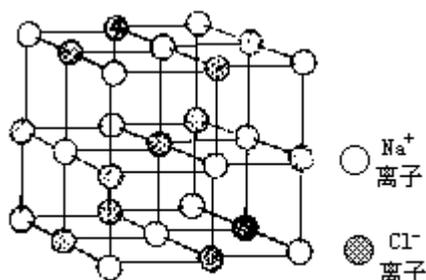


图60.4 氯化钠的圆球-辐条结构模型

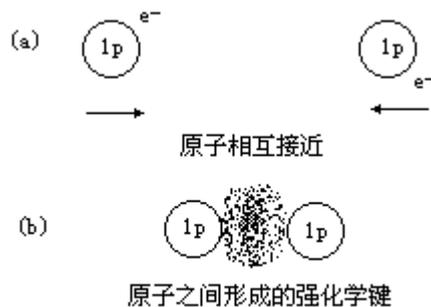


图60.5

当两个原子相距很远时，电子仅受到各自原子所含质子的吸引。当原子相距较近时，每一个电子同时受到两个质子的吸引，而两个电子以及两个质子却相互排斥。

当原子相距足够近时，就形成了牢固的化学键。电子出现机率最大的区域就是电子同时受到两个质子的吸引力最强的区域。该区域是图 60.5 中的影线部分。

还可用另外一种方法来讨论氢原子之间的化学键：这两个原子都力图获得与氢原子相同的电子数。它们可以从对方得到一个额外的电子。但这两个原子都不可能完全控制两个电子。相反只能共同享有位于其间的两个电子（见图 60.6）。

此时，尽管这对电子是共有的，但实际上两个原子都有两个外层电子。

由于两个原子核吸引并与之结合的是同一共有电子对，因此原子结合成分子。上述两种方法（图 60.5 和图 60.6）描绘出的氢分子的图形相似。

要把氢分子分解成原子是非常困难的，这不仅因为原子之间的化学键很牢固，而且因为分子中的原子具有和氢原子相同的电子数，而惰性气体原子的电子排列是非常稳定的。

原子之间的这种化学键叫做共价键。共价键和离子键之间的区别，前者是由原子间的共有电子对形成的而不是从一个原子将一个或数个电子转移到另一个原子上。

这种区别类似于两家公司合并（共有）与一家公司接管另一家公司（转移）之间的区别（见图 60.7）。在合并中，每家公司都被看作拥有另一家公司，正象共价键中每个原子都被看作拥有原子之间的共有电子对一样。

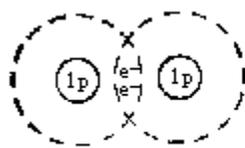


图60.6



接管

合并

图60.7

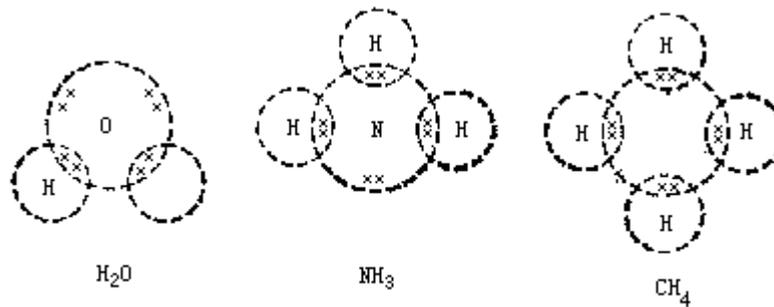


图60.8

注：在本图中，由于所有内层电子并不参与形成共价键，故将其省略
 化合物分子中的原子也是由共价键结合在一起的。图 60.8 表明了水、氨和甲烷等分子外层电子的排列情况。在图示各种例子中，因为其它电子（内层电子）并不参与形成共价键，故将其省略。

习题

1. 试举两个简单的例子，说明离子键和共价键之间的区别。
2. 为什么说氯化钠分子是错误的？应该怎样说？
3. 图 60.9 表明 (a) 氯化镁，(b) 氯分子是怎样形成的。在图示各种例子中，说明物质中存在着何种化学键，并解释其形成过程。

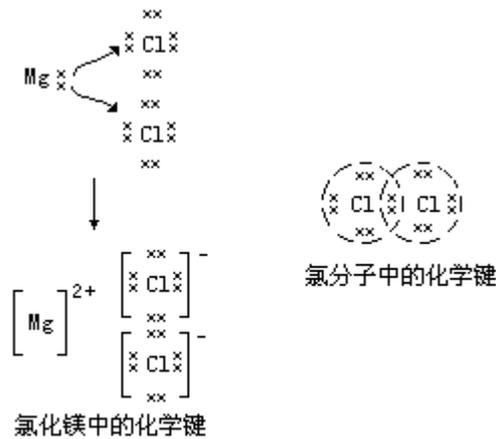


图60.9

注：图中仅仅绘出了原子的外层电子

自然界中的化学物质

§ 61 由矿石制取金属

金属和矿石

虽然有些矿石是金属元素，但在通常情况下多为金属化合物。金和银常常以元素状态存在于矿石之中。但在活泼顺序中位于金和银之上的金属却常常以化合物状态存在。

从金属化合物中提取金属的化学反应称为还原，即使这种化合物并非氧化物。与 § 9 中的叙述相比较，此处是还原一词的又一种新的应用。

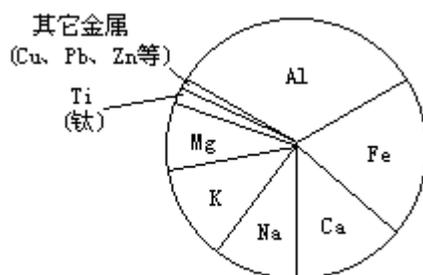


图 61.1

图 61.1 给出了几种最常见的金属，它们或是单独存在于矿石之中，或是和其它元素结合在一起。许多众所周知的金属，如铜、铅和锌等，实际上是相当稀少的。某些科学家认为，如果以现有的速度使用这些稀有的金属，那么只需数十年，我们会耗尽所有能够勘探到的矿源。

从铜矿中提取铜

含铜的矿石有两种，一种叫做孔雀石，另一种叫做黄铜矿。孔雀石中只含有铜一种金属，是一种碳酸盐；而黄铜矿中既含有铜又含有铁，是一种硫化物。

使化合物分解的方法主要有三种（见图 61.2）。加热孔雀石时，

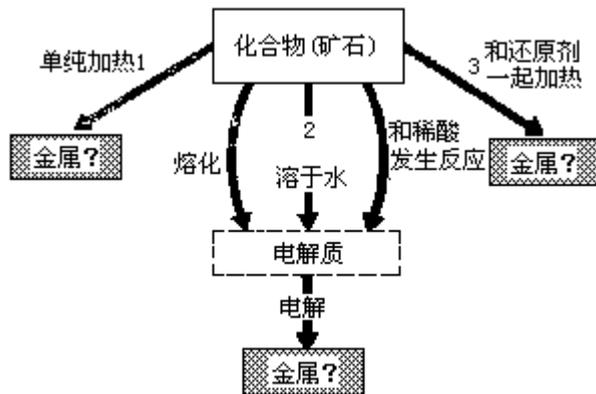


图 61.2

它分解为二氧化碳、水和氧化铜（ ）。因此仅仅通过加热是不能获得金属铜的。

孔雀石本身并不是电解质，因为它既不溶于水，加热时也不能熔化。但孔雀石可以和稀酸发生反应而制成溶液，便进行电解。

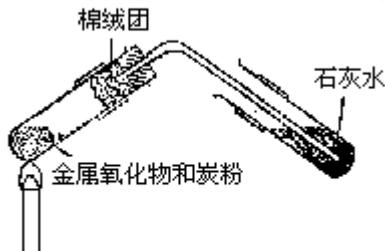


图 61.3

图 61.2 还表示了还原化合物的第三种方法。氢可以将氧化铜（ ）还原成铜，也可以将加热了的孔雀石还原成铜。但使用更方便和更安全木炭（碳）为还原剂。

实验 1 用碳还原几种金属的化合物

取少量氧化钙、氧化铜（ ）、氧化铅（ ）和氧化铁（ ），试用图 61.3 所示的装置确定那种化合物能够和炭一起加热而发生还原反应。

如果发生还原反应，氧化物的颜色将由于金属的形成而发生变化。

- 如果碳将氧化物中的氧除去，则可能形成什么气体？
- 该气体在石灰水中有什么作用？

炭能够很容易地还原在活泼顺序中位置较低的金属氧化物，因为这些金属与氧结合不牢固。但对于活泼性较强的金属的氧化物，就必须采用其它还原方法。

实验 2 从孔雀石中提取铜

取少量孔雀石粉末，用本章中学到的知识，找出两种提取铜的方法。请向老师索取你所需要的其它化学药品和装置。

金属提取和活泼顺序

表 61.1 列出了四种常用金属从其常见矿石中提取出来的方法。这些金属的排列顺序就是它们的活泼顺序。

在活泼顺序中，位置较低的金属有时仅仅通过加热就可以提取出来（见图 61.2 中的方法 1）。当碳以焦炭的形式存在时，它常常用作提

表 61.1

金 属	矿 石	提取方法
钠	岩盐（氯化钠） 铝土矿（氧化铝）	电解熔融矿石
铝		
铁	赤铁矿（氧化铁）	用焦炭（碳）还原矿石
铜	黄铜矿（硫化铜铁）	在空气中加热矿石

注：焦炭是在缺氧的情况下将煤强烈加热而制成。

取在活泼顺序中位于中部或下半部的金属的还原剂。而对最活泼的金属来说，主要提取方法是电解其熔化状态的矿石。

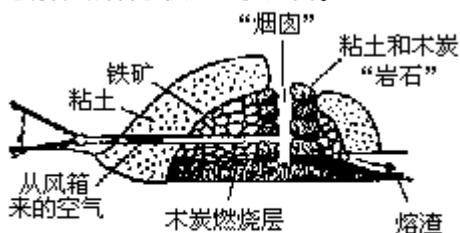


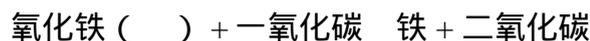
图 61.4

提取铁

在实验室里，从铁矿石中提取铁要比从孔雀石中提取铜困难些，因为铁在活泼顺序中位于铜之上，因而铁在其矿石中同其它元素的结合力就强些。

即使这样，在工业上，如果将混合物的温度保持在 1200 左右，也可用焦炭将铁提取出来。空气被输入熔炼炉（见图 61.4）中和热焦炭发生反应，生成一氧化碳。一氧化碳是极好的还原剂，因此，是一氧化碳而不是碳将铁矿石还原成铁。

如果铁矿石为赤铁矿（氧化铁（ ），上述提取过程的文字和符号方程式分别为：



人类使用铁的历史已经很久了。第一批高炉和图 61.5 所示的高炉相比要小得多，而且内部填充的是木炭而不是焦炭。在非洲的某些地方，年老的乡下人仍然记得提取铁的方法。图 61.4 所示为旧式熔炼炉的内部结构。

木炭是加热炉子的一种燃料，但也能和从风箱中打入的空气发生反应生成一氧化碳（还原剂）。熔渣是在化学反应过程中形成的，它通过木炭燃烧床而流出炉子。化学反应结束时，可将炉子打开取出灼热的固体铁。把铁放入水中冷却后，它就用来制造各种形状的工具。每炉一次可提取数千克的铁。

提取活泼金属

多数还原剂的“还原能力”都不足以使活泼金属的矿石还原，因为这些金属在其矿石中和其它元素之间的结合力很强。但是靠电解的方法可以使熔融状态的矿石分解。

通过电解熔融氯化钠可将钠提取出来，而通过电解熔融氧化铝又可将铝提取出来。不仅分解化合物需要电能，而且保持电解质处于熔融状态也需要电能，因此电解过程中就必须提供强大的电流。水力发电通常是比较便宜的电源，具有较大的优越性。

在电解过程中常常加入助熔剂，这种物质可降低矿石的熔点，而不影响电解的进行。氯化钙可用作提取钠的助熔剂，它可将氯化钠的熔点从 801 降至 600 左右。冰晶石（另一种铝矿）可用作提取铝的助熔剂，它可将氧化铝的熔点从 2000 左右降至 950 。

在上述提取金属的过程中都存在着一个问题，就是在操作温度下，在阴极所形成的金属能够很容易地和阳极产物（氯或氧）发生反应，生成原化合物。所以将熔融金属同阳极气体分离开来就显得特别重要。在提取钠的过程中，这项工作是通过在阴极和阳极室之间放置一金属丝网来完成的。

电解提取法常常可以获得高纯度的金属。例如，用电解提取法制得的铝的纯度高达 99.9%。

习题

1. (a) 试指出两种气体和一种固体的名称，它们可以用作从金属矿石提取金属的还原剂。

(b) 在这三种物质中，哪种物质可在实验中将孔雀石还原成铜？并说明其理由。

(c) 应用 (a) 中指出的还原剂会产生什么公害（如果有的话）？

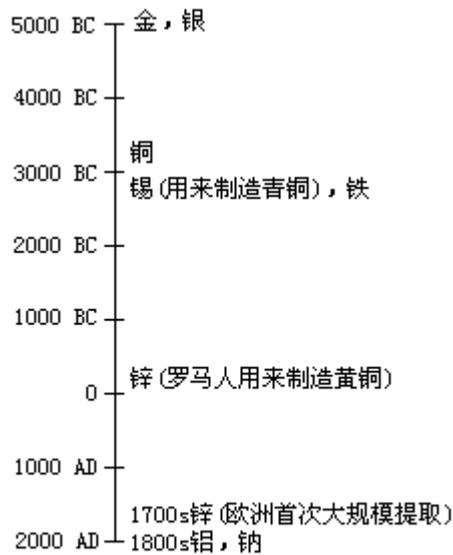


图 61.6

2. 图 61.6 给出了金属提取历史中的某些数据。它们和金属的活泼顺序有何联系？

3. 下面是四种金属提取方法的有关情况。

金 属	提 取 方 法	金 属	提 取 方 法
铬	用铝还原氧化铬	镁	电解熔融氯化镁
铅	用焦炭还原氧化铅	钛	用镁还原氯化钛

- 哪两种金属是用更活泼的金属作为还原剂来提取的？
- 对这两种金属还可用别的什么方法来提取？
- 表中给出的第三种提取方法是什么？
- 运用表中提供的信息和你掌握的活泼顺序方面的知识，写出上述四种金属的活泼性顺序，将最活泼的金属放在首位。

§ 62 利用石灰石制造化学品

图 62.1 所示的流程图概括了本章所要提及的化学反应。在学习本

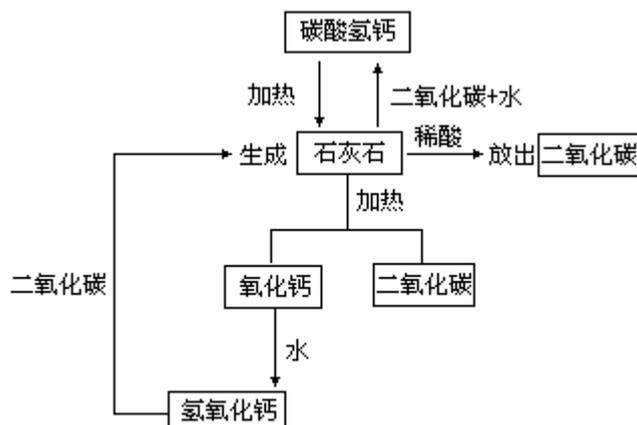


图 62.1

章的过程中，请加以仔细研究。

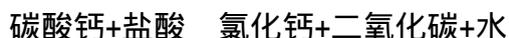
石灰石是什么？

石灰石是一种沉积的岩石。一部分石灰石是在海底的壳层中形成的，另一部分是在沿着远古热带海岸线的珊瑚礁内形成的。无论在哪种情况下，都是一点一点物质被巨厚的新物质覆盖，因而常常在颗粒和壳体之间形成一种“胶泥”物质。

表 62.1 对石灰石进行了化学分析。碳酸钙溶解于稀盐酸之后，释放出二氧化碳。

表 62.1

实验项目	结果	结论
将稀盐酸倒入石灰石中	石灰石发出嘶嘶声：放出一种气体。此种气体（二氧化碳）使石灰水变浑浊。	石灰石中含有碳酸盐
将少许碎石灰石固定在镍铬合金丝上，然后置于本生灯的火焰上	一会儿，火焰变成砖红色	石灰石中含有钙的化合物



可以利用此反应来发现石灰石试样中除含有碳酸盐外，是否还含有其它物质。这种多余物质可能是和酸发生反应但不能放出二氧化碳的物质，也可能是反应结束后剩下的某种固体。

实验 1 确定石灰石的纯度

a. 采用图 58.4 所示的装置。精确量出 0.30 克纯碳酸钙加入锥形瓶里的小试管中。当反应结束且不再有气体进入注射器时，从其刻度上读取所收集气体的体积数。

b. 使用 0.30 克极细的石灰石粉末，将此实验再做一遍。

- 这次能得到多少体积的二氧化碳？
- 当气体全部放出后，将混合物加以过滤。
- 滤纸上是否有固体滤渣？
 - 从 a、b 的答案中，是否能够推断出所用的石灰石是纯碳酸钙？

有关二氧化碳的其它问题

实验 2 二氧化碳的制取及检验

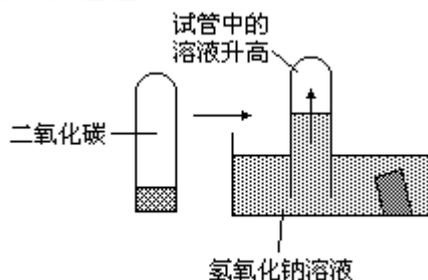


图 62.2

本实验的装置与制取氢的实验装置（见图 9.5）相同，但所用的化学药品是碳酸钙（如石灰石（大理石）屑）和稀盐酸。因为二氧化碳只微溶于水，所以也可用收集氢的办法来收集二氧化碳。

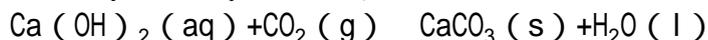
应至少收集五试管气体，并用塞子将试管一一封闭，然后用下列物质或方法对二氧化碳进行试验。

- 潮湿的通用指示试纸和潮湿的蓝色石蕊试纸；
- 数立方厘米的石灰水；
- 将一燃烧的木柴放入试管中。

再找出一种方法说明二氧化碳的密度高于空气的密度。

二氧化碳是一种酸性气体。当它溶于水时形成碳酸。图 62.6 表明二氧化碳易溶于氢氧化钠溶液，酸通常能和碱发生反应。

把二氧化碳通入石灰水中，形成一种白色固体。将白色固体滤出，并使之与稀酸发生反应，则再次生成二氧化碳。这说明白色固体是一种碳酸盐。因为它是由氢氧化钙（石灰水）生成的，因而肯定是碳酸钙。



石灰石的应用

往往在地表面下可以发现许多石灰石矿场（图 62.3）。并可采用人工凿孔将岩石炸开和运走。

石灰石具有许多用途。它可以被凿成块，用作建筑石料；还可以

将其破碎成小块，用于铺柏油碎石路的路面。另外，较纯的石灰石还可用于工业上制造其它化学品。

实验 3 由石灰石制取生石灰和熟石灰

使用图 62.4 所示的装置急剧加热一小块石灰石（大理石块）。

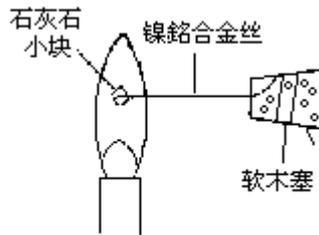


图 62.4

· 在加热过程中能够观察到什么现象？

大约 15 分钟后，将加热后的固体冷却。该固体就是生石灰。将生石灰置于玻璃板上，然后滴上一滴水。（注意：生石灰能引起灼伤，不要与皮肤和眼睛接触）。

· 有什么现象发生？

继续往生石灰上滴加水，直到化学反应结束。这时，所得干燥的固体即为熟石灰。

取少量熟石灰置于试管中，然后加水并一起摇动。待混合物沉淀后，测取溶液的 pH 值。之后，将二氧化碳气体通入清澈的溶液中。

· 有什么现象发生？

· 熟石灰的化学名称是什么？

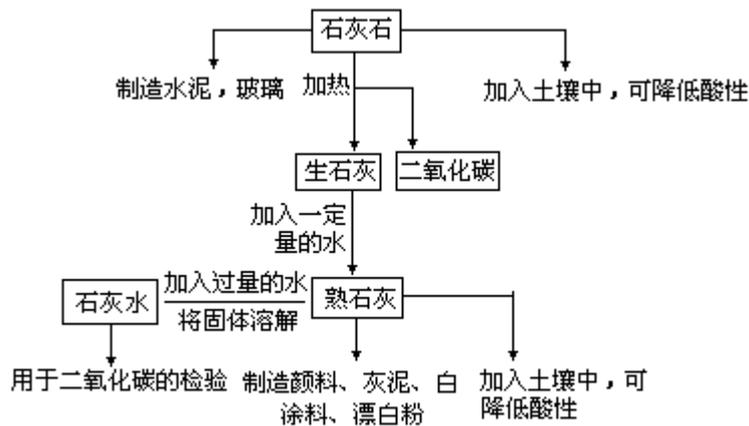
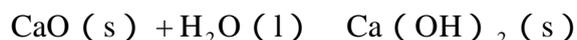
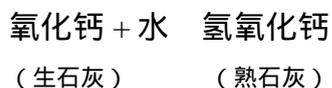
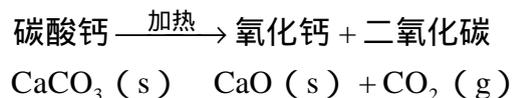


图 62.5

图 62.5 表明，以石灰石为原料可制取哪些物质。试将本图和图 62.1 所示的流程图进行比较。

石灰石加热的反应和生石灰加水熟化的文字和符号化学方程式为：



石灰石的循环再生

图 62.6 中一部分石灰石已经溶解。这一点很容易明白，因为岩石“块与块”之间的裂缝要比岩石初形成时之间的裂缝宽得多。但图 62.7 却给出了产生“新石灰石”的例子：逐渐从石灰石洞的顶部和底部增长着的钟乳石和石笋都是由碳酸钙组成的。

实验 4 石灰石的溶解及沉淀

a. 取一小块石灰石（大理石）。把它加到苏打水（加压情况下

的二氧化碳水溶液）的瓶子中，然后立即拧紧瓶盖，以保证气体不逸出。把瓶子放在阴凉处，并至少保存一周。之后，取出石灰石，将其干燥后，称取其质量。

· 有石灰石溶解吗？

b. 把 a 实验结束后剩下的苏打水几厘米³加到试管中，然后缓缓加热，直到沸腾。

· 有什么现象发生？

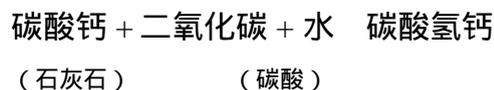
取少量新鲜的苏打水试样，把该实验再做一遍。我们会发现，实验中观察到的效果与 a。中石灰石的溶解程度有关。

c. 用 b. 中第一次获得的沸腾小苏打水，也就是 a. 中使用的苏打水。然后不断将二氧化碳气体从发生器中通入该冷却混合物中，直到发生化学变化。

· 白色浑浊物发生了什么变化？

此时，即可获得和 a 结束时获得的一样清澈的溶液。

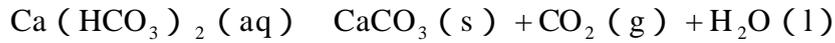
石灰石可溶于含有二氧化碳的水（即碳酸）中，因为二者能够发生反应生成氢氧化钙。



在图 62.6 所示的场合下，雨水和通过石灰石的裂缝而渗漏出来的土壤水中都发现有二氧化碳。

上述反应式表达的化学反应还可以通过加热碳酸氢钙而进一步进行。形成的白色浑浊物是碳酸钙沉淀。

碳酸氢钙 $\xrightarrow{\text{加热}}$ 碳酸钙 + 二氧化碳 + 水



在自然界里碳酸氢钙溶液并不被煮沸以形成碳酸钙的。相反，当点点滴滴的溶液缓缓流过山洞并开始蒸发或失去其部分二氧化碳时，便形成了图 62.7 所示的钟乳石和石笋。此外，许多生长在海里的动物还可以从含有碳酸氢钙的水中吸取碳酸钙来逐步增长其躯体。

习题

1. 石灰石区常常显得非常干燥，在其表面几乎没有小溪和河流，而地下山洞里却有水流过。试解释这种现象的原因。

2. 称为白垩的岩石是一种非常纯净的石灰石。试设计一个能够证明该论点的实验。

3. (a) 试举出两个例子，说明石灰石是一种沉积岩。

(b) 试举出石灰石的两种用途（不包括把石灰石变成另一种化学品）。

(c) 试写出石灰石和稀硝酸发生化学反应的符号方程式。

(d) 假定在一定的温度和压力下，把 100 克石灰石加入过量的稀硝酸中，结果放出 20 升二氧化碳。该石灰石是纯净的还是非纯净的碳酸钙？试解释之。（相对原子量：Ca=40，C=12，H=1；在本题给定的温度和压力下，1 摩尔任何气体所占的体积都是 24 升）。

4. 熟石灰可用于制造石灰砂浆。石灰砂浆有时可用于砖石建筑物中。新石灰砂浆不和稀盐酸发生化学反应，但旧石灰砂浆却和稀盐酸发生反应并放出二氧化碳。

(a) 旧石灰砂浆中大至含有什么化合物？

(b) 运用符号方程式，解释在空气中的一种气体的作用下，怎样使新石灰砂浆的熟石灰变成该化合物？

§ 63 由盐制取化学品

图 63.1 所示的流程图概括了本节将要阐述的化学反应。在学习本章的过程中请加以仔细研究。

由海水和湖水制取盐

将海水蒸发后，总有固体盐结晶下来。1 立方米海水中大约含有 27 千克氯化钠，5 千克镁盐和 1 千克硫酸钙。因为地球表面的三分之二都是由海洋覆盖的，这就意味着可以大量生产化学品。

在许多热带国家里，食用盐都来自于海洋，因此在靠近海洋的地方总需要有大面积平坦的场地，并在由太阳能将海水蒸发。该场地被分成许多浅“池塘”（见图 62.2），海水从一个“池塘”缓缓流向另一个“池塘”，其浓度越来越大。在最后一个“池塘”里，将盐的晶体积蓄起来并堆成堆，待其干燥。

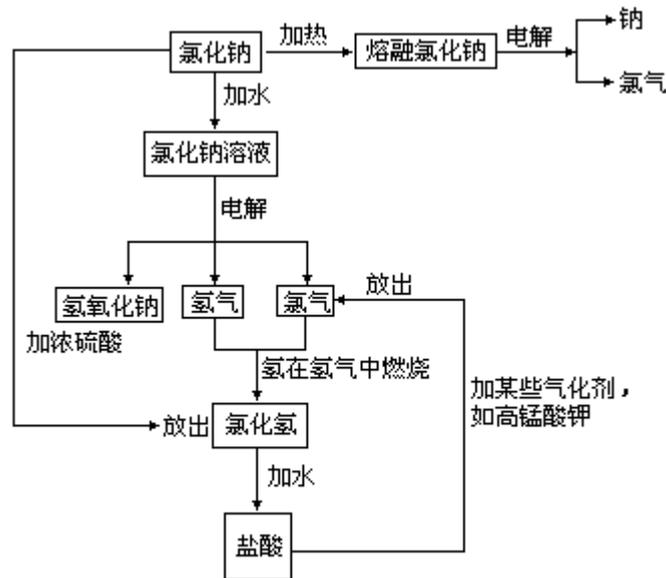


图 63.1

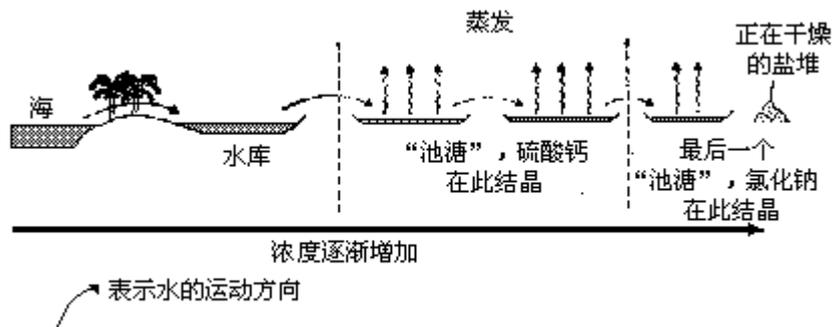


图 63.2

因为海水在到达最后一个“池塘”之前，难溶性盐（如硫酸钙）先结晶出来。而较易溶解的盐（如镁的化合物）则大多保留于经过“池塘”的水中。

也可以从某些湖水中制取盐。大多数湖是由“淡”水组成的，只含有低浓度的可溶性盐。但在东非的某些湖，如乌干达的卡推（Ka-twe）湖和肯尼亚的马加迪（Magadi）湖，含盐量却很高。这是因为流入这些湖的小溪中含有盐，并且随着湖水在太阳能的作用下蒸发，盐的浓度越来越大。上述两湖都可用作氯化钠的来源。

大约二亿五千万年前，美国的气候就象现在马加迪湖附近的气候一样，又热又干燥。在这个国家里，既有含盐量很高的湖，又有含盐量很高的海湾。有时（但并不经常），大雨为湖提供充足的水源。另外，含盐量低的水也偶尔从邻近的海洋里流入到海湾中。

许多年之后，在湖底和海底形成一层很厚的盐的晶体。以后，这些晶体逐渐被砂子和粘土覆盖，并在冲压的条件下得以硬化，形成地下岩盐矿（见图 1.9）。

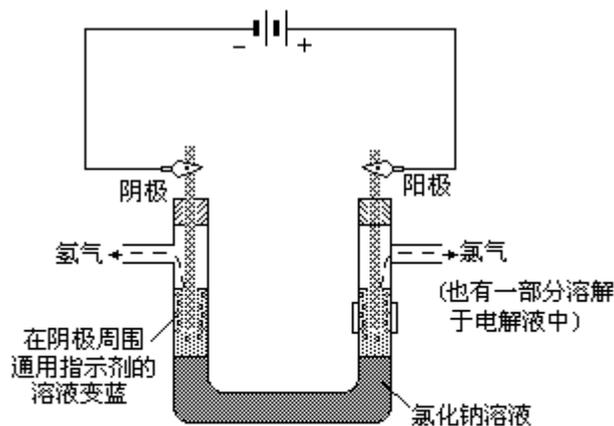
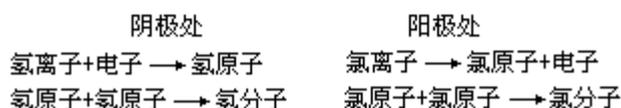


图 63.3



电解氯化钠溶液

如果氯化钠溶液的电解是在 U 型管中进行的，则阴极一侧溶液的 pH 值将以原来的 7 开始升高（见图 63.3）。这是因为随着水中的氢离子和电子结合成氢原子（之后形成氢分子），氢氧根离子（存在于一切碱的水溶液中）的浓度也逐渐增加。氯离子移向阳极，并在阳极处失去电子，形成氯原子（之后形成氯分子）。

工业上，该电解过程采用浓度很高的氯化钠溶液（又称为盐水）进行，阳极由碳棒制成，阴极是一流经电解槽槽底的水银流。虽然该电解槽和图 63.3 所示的 U 型管的使用方法不完全相同，但三种产物仍然是相同的。

这三种产物都具有重要的用途：氢气可用于制造氨；氯气可用于农药、塑料和溶剂的制造；氢氧化钠（苛性钠）可用于纸张和肥皂的制造。

氯化氢

实验 1 氯化氢的制取和检验

图 63.4 表明如何用氯化钠和中等浓度的硫酸来制取氯化氢。（注意：浓硫酸的腐蚀性很强。）

假定氯化氢气体稳定流动约 10 秒钟装满一试管。收集四支试管气体，并用塞子将试管一一封闭。

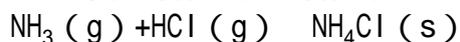
用如下物质或方法对氯化氢进行试验：

- (i) 潮湿的通用指示剂；
- (ii) 将一燃烧的木梗放入试管；
- (iii) 装有几立方厘米氨溶液的开口试管。

用图 63.5 所示的方法，可证明氯化氢易溶于水。

氯化氢是一种酸性气体，溶于水生成盐酸。这就是它和碱性气体氨生成氯化铵（一种盐）白“烟”的原因。

氨 + 氯化氢 氯化铵



氯化氢可由氯分子和氢分子合成(见图 63.6)。该反应可用文字方程式和符号方程式表达,也可用分子简图表达(见图 63.7)。

氢 + 氯 氯化氢

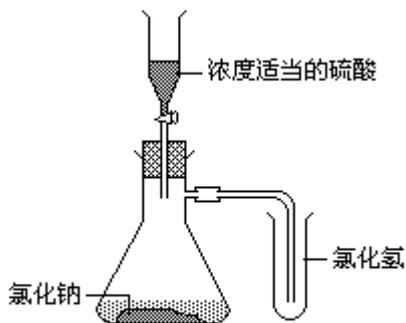
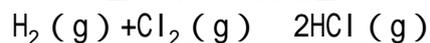


图 63.4

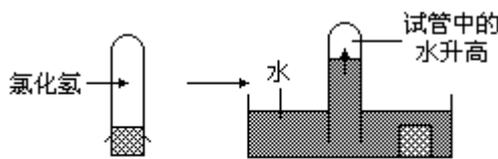


图 63.5

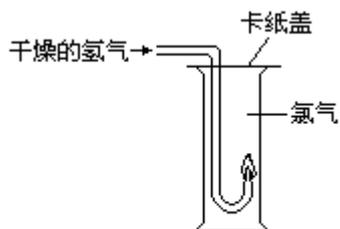


图 63.6

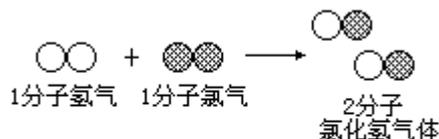


图 63.7

盐酸的氧化

浓盐酸可和某些氧化剂(能把自身所含有的部分或全部的氧传给另一种物质的物质)发生反应,因此它可用作还原剂来接收这些氧。

图 63.8 所描述的方法为一种浓盐酸被氧化时所发生的变化。盐酸中的氢和高锰酸钾中的氧结合成水,从而剩下氯。如能发现混合物中有氯气放出,就能判别出浓盐酸是否被氧化。对浓盐酸来说,高锰酸钾(KMnO_4)是一种合适的氧化剂。

氯气

实验 2 氯气的制备与检验

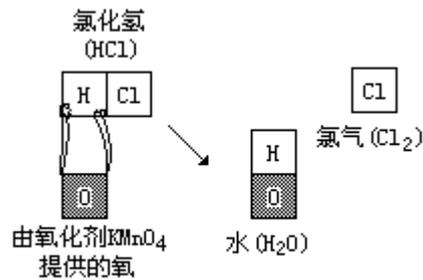


图 63.8

采用图 63.4 所示的装置，但用高锰酸钾代替氯化钠，用浓盐酸代替中等浓度的硫酸。（注意：千万不要往高锰酸钾中加入浓硫酸；浓盐酸也具有腐蚀性。）

收集五支试管氯气，并用塞子将试管一一塞紧。由试管中的颜色（氯气呈绿黄色）可判别出试管是否盛满。

用下列物质或方法对氯气进行试验：

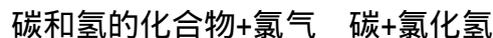
- (i) 潮湿的通用指示试纸或潮湿的蓝色石蕊试纸；
- (ii) 将一燃烧の木梗放入试管中；
- (iii) 几立方厘米氢氧化钠溶液；
- (iv) 将一点燃的蜡烛放入试管中；

(v) 用钳子夹住一团烧热的铁丝，放入试管中。（某些试验在图 13.3 上已经表示过。）

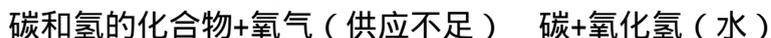
氯气和水反应生成两种酸——盐酸和次氯酸（ HClO ）。盐酸使通用指示试纸或蓝色石蕊试纸变红，而次氯酸是一种漂白剂。因此，如果将指示试纸放入气体中足够长的时间，由于次氯酸的漂白作用，所有的颜色都要被退掉。

氯气同元素之间的化学反应可以和这些元素在氧气中的燃烧相比较。例如，氢气在氯气中燃烧生成氯化氢，就象氢气在氧气中燃烧生成水一样。

燃料也能在氯气中燃烧，就象在氧气中燃烧一样。蜡烛或蜡纸里的石蜡是一种碳和氢的化合物，当它在氯气中燃烧时，就生成碳（烟灰）和氯化氢。



当空气供应不足时，燃料在氧气中燃烧生成碳。（当空气供应充足时，则生成二氧化碳和水。）



在上述两种化学反应中，燃料被分解，而其中的氢和氯气或氧气发生了反应。当燃料在氧气中燃烧时，因为氧加入燃料中，所以该过程称为氧化。但对于同一个化学反应，另一种描述方法则称燃料中的氢被氧所除掉。

现在可以对氧化和还原下一新的定义。

在一个化学反应里，氢从某一物质中去掉，则发生氧化。

在一个化学反应里，氢被加到某一物质中去，则发生还原。

因此，燃料在氯气中燃烧也可称为氧化。而且如同氧一样，氯也是一种氧化剂。

现在，可以用氢从一物质转移到另一物质的概念（而不是氧的转移）来解释浓盐酸被高锰酸钾氧化的反应。

习题

1. (a) 为什么海水所含的可溶性盐的浓度比流入大海的河水中所含的浓度高得多？

(b) 为什么中东的几个湖如“死海”（见图 63.9）内所含的可溶性盐的浓度比海水中所含的浓度高？

2. 氯化氢和锌反应生成白色固体和氢气。

(a) 试写出该化学反应的符号方程式。

(b) 为了使该化学反应得以进行，并能从过量的氯化氢中收集氢气，应采用何种装置。试用简图表示。3. 当氢和氯的混合物被放置数天之后，绿色会逐渐消失，并生成一种酸性气体。但如果将这种混合物通过灼热的铂丝则绿色会很快消失。（注意：该实验会产生危险的爆炸。）

(a) 随着绿颜色的消失，混合物发生了什么变化？

(b) 铂丝对混合物起到了什么作用？

(c) 铂丝的作用可用什么术语来描述？

(d) 该化学反应合成了什么气体？

(e) 试述合成此种气体的另外一种方法。

4. 把氯化钠固体作为仅有的含氯化合物，并由此出发，拟出两种制取几支试管氯气的方法。

§ 64 由硫制取化学品

硫是少数几个能在矿石中以单质状态存在的元素之一。它也可以和一种或多种金属结合存在于矿石中，如方铅矿（硫化铅， PbS ）和黄铜矿（硫化铜铁， CuFeS_2 ）。§ 6 中有这两种矿石的照片。

图 64.1 所示的流程图概括了本章将要阐述的以单质硫的矿石或金

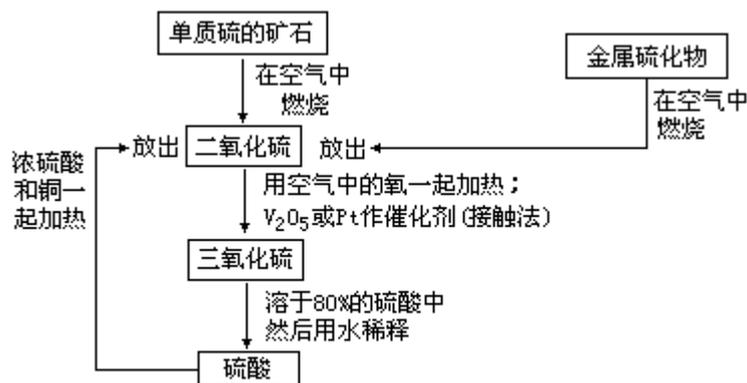
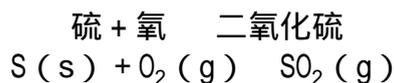


图 64.1

属硫化物为原料进行的化学反应。读者可通过本章认真研究这些反应。

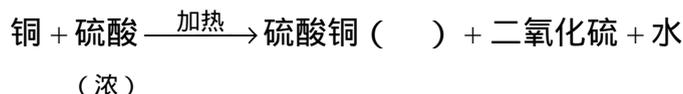
二氧化硫

当硫或金属硫化物在纯氧（或空气）中燃烧时，生成一种令人窒息的酸性气体，即二氧化硫。



试验二氧化硫的最常用方法是将一张在酸化的重铬酸钾溶液中浸泡过的滤纸放入二氧化硫气流中，溶液则由橙色变为淡绿色。其它令人窒息的气体，如氯化氢，对酸化的重铬酸钾溶液没有这种作用。

另一种制取二氧化硫的方法是加热带有铜的浓硫酸，并将气体转移和收集于气瓶或试管中。在该化学反应中，浓硫酸是作为氧化剂，它使铜变成硫酸铜（ ），因而放出二氧化硫。



硫酸

硫酸是一种非常重要的化学品，可用来制造一系列有用的物质——化肥、颜料、人造纤维、肥皂、清洁剂、染料、炸药以及其它许多物质。

在硫酸的制造过程中，接触法是一主要方法，它是在催化剂的作用下二氧化硫和氧气生成三氧化硫（SO₃）的化学反应。

在足够的高温、大气压力以及氧化钒（V₂O₅）催化剂的作用下，可以以很快的速度大量生产三氧化硫。

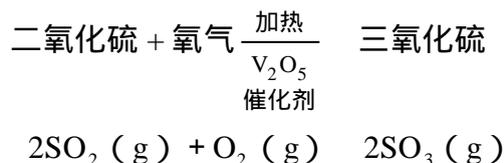


图 64.2 提供了在实验室中用二氧化硫制取三氧化硫的方法。因为生成的三氧化硫与水的反应很剧烈，所以要求二氧化硫和氧气必须是完全干燥的。

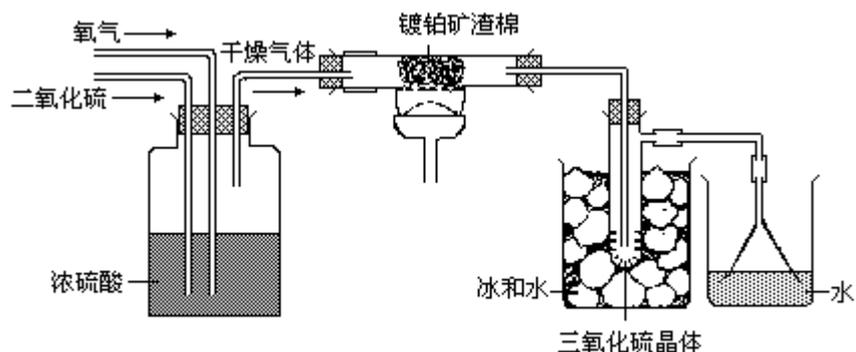
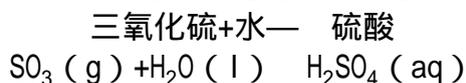


图 64.2

使二氧化硫和氧气（大约以 2 : 1 的体积比）从镀铂矿渣棉（用作催化剂）上通过。然而流经 0 的冷却管，形成有光泽的白色三氧化硫晶体。

催化剂铂很容易吸附气体中的杂质，因而不适合用于工业生产中。催化剂的这种“中毒”现象使它在加速化学反应方面所起的作用很小。

当三氧化硫晶体和水蒸汽作用时，会在潮湿的空气中冒烟。将三氧化硫晶体直接加入水中是非常危险的，因为该化学反应能放出大量的热。因此在工业生产中，首先将三氧化硫气体溶于浓硫酸中，然后再加水将溶液稀释到所需要的浓度。整个化学反应可用下列方程式表示：



该反应式表明，三氧化硫与潮湿空气相遇生成的白色浓烟是极小的硫酸液滴。吸入到人体肺中的硫酸是非常有害的，这就是千万不要去闻三氧化硫的原因。

空气中硫的化合物

空气总含有氮、氧、水蒸汽、二氧化碳和惰性气体。此外，地球上凡是有人居住的地方，其空气中还含有污染物质。

硫的化合物，特别是二氧化硫，是空气的主要污染物质之一。某些燃料中含有硫，如煤和燃料油中硫的含量可达 3%，汽油中硫的含量大约为 0.05%，因此当它们燃烧时，就放出二氧化硫。在空气中加热硫矿提取铜时，也有二氧化硫产生。

这些污染物质在空气中的含量不太高，1 立方米空气中的二氧化硫含量平均低于百万分之一克（ 10^{-3} 克）。但在城市的上空，二氧化硫的含量要高得多，在主要污染源附近，甚至可达每立方米千分之一克（ 10^{-3} 克）。

这些含量似乎并不算高，但极少量的二氧化硫就能破坏植物的枝叶，影响植物的生长，或者使人们患严重的呼吸病。另外，空气中还有部分二氧化

硫被氧化成硫酸。硫酸对植物和动物也是有害的，并且能侵蚀建筑物的石料部分，特别是石灰石（见图 64.3），使其碎裂。

此外，人们还发现空气中的二氧化硫对工业城市图书馆中所收藏旧书的内页和封面也都有缓慢的影响：内页逐渐变黄，变脆，以致损坏。

实验 1 二氧化硫对金属的作用

按图 64.4 组成两套装置。两套装置唯一的区别在于一个箱子里面装有普通空气，而另一个箱子里面装有的空气含二氧化硫较多。将一些金属箔片放入两个箱子中，并至少保留一周时间。

· 含有二氧化硫的箱子中的箔片发生了什么变化？将这些箔片的

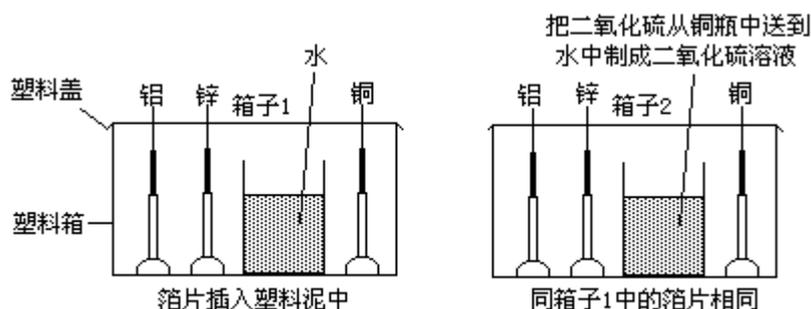


图 64.4

表面和另一箱子中箔片的表面作一比较。

可以认为，金属在含有二氧化硫的空气中的腐蚀是由硫酸引起的。腐蚀是发生在金属的表面，而且硫酸还能够与金属保护层发生反应。金属一旦失去保护层并暴露于空气中，腐蚀就会更快地发生。

对许多金属来说，其保护层是该金属的氧化物或碳酸盐。这两类化合物都同酸发生反应生成盐，所以这种腐蚀的最终产物是硫酸盐。

习题

1. 二氧化碳和二氧化硫都能使石灰水变浑浊。试用一种方法（除了嗅闻）将二者区别开来。
2. 某一国家储存有原油和黄铜矿。试绘出以这两种物质及空气、水为原料，大规模生产肥料“氨的硫酸盐”（硫酸铵）的流程图。
3. 如何以金属铜和浓硫酸为原料制取硫酸铜（ \quad ）晶体，试写出该化学反应的符号方程式。
4. 列举几种人类用来减少空气污染的方法。

§ 65 化学品和食品

图 65.1 所示的流程图概括了本章将要阐述的化学反应。读者可通过本章认真研究这些反应。

食品的分解

食品是用来食用的，但为了研究食品中的有关元素，就必须将它

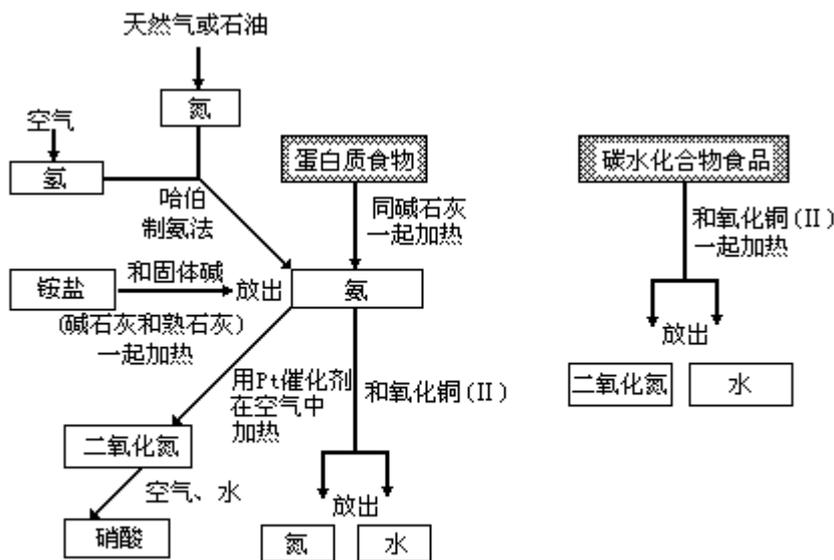


图 65.1

所有的食品受强热均会变黑。木头和纸也都发生这种现象：木头变为木炭。一些由有生命材料制得的物质，包括食品、木头和纸张，是碳和其它几种元素的化合物。当它们受强热分解时，其它所有元素都以液体或气体状态放出，最后只剩下碳。

实验 1 和氧化铜 () 一起加热某些食品

采用图 65.2 所示的装置，并且要求氧化铜 () 是干燥的。

从下列食品中选择一种：蚕豆，面包屑，小麦或玉米面粉，糠。

- 加热混合物时，石灰水会发生什么现象？
- 该现象表明所用的食品中一定含有哪些元素？
- 哪种元素既可来自所用的食品，也可来自氧化铜 () ？

用白色硫酸铜喷洒在一团棉花上，然后用此棉花来检验试管中混合物上部形成的无色液体。

- 液体中哪种元素一定来自所用的食品？
- 哪种元素既可来自所用的食品，又可来自氧化铜 () ？

在本实验中，食品由于氧化而被分解，氧化剂是氧化铜 ()。氧化剂释放出氧，而氧又使食品中的化合物分解成更小分子的其它化合物。在这些过程中，氧化铜 () 本身变为金属铜。

某些食品还可用另外一种方法分解。

实验 2 和碱石灰一起加热某些食品

从下列食品中选择一种：乳酪，鸡或肉，果子冻，奶粉。

量出两勺食品和相同体积的碱石灰，并在试管中加以混合，然后在混合物的上部再另加一些碱石灰。在敞开的窗户附近将试管急剧加热。当有难闻

的气体放出时，用下列物质或方法对其加以检验：

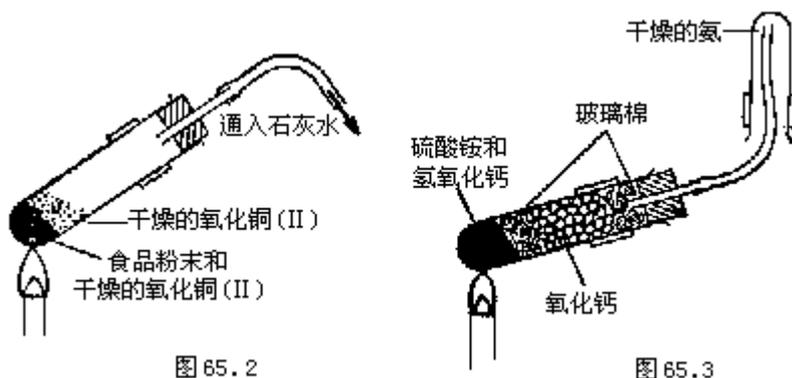
- (i) 潮湿的通用指示试纸；
- (ii) 将一燃烧着的木梗放置在试管口附近。

如果某些食品与碱石灰一起加热时，有碱性气体——氨放出，则具有这种性质的该类食品往往含有蛋白质。许多食品都含有蛋白质，但有时量很少。

许多食品还含有大量的碳水化合物，而且它们与碱石灰一起加热时并不放出氨。它们是由碳、氢、氧组成的，因而与氧化铜()一起加热时，放出二氧化碳和水蒸气。

氨

蛋白质与碱石灰一起加热时所放出的气体称为氨。它是氮和氢的



化合物，分子式为 NH_3 。因为碱石灰本身并不含有氮，所以该元素一定来自蛋白质。因此，蛋白质是由氮和其它一些元素，通常为碳、氢、氧等结合而成的。

实验 3 氨的制取与检验

往固体硫酸铵和氢氧化钙混合物中加入少量水，然后加热(见图 65.3)。生成的气体经氧化钙后得到干燥。制取大约四支试管的氨，并用塞子将试管一一封闭。

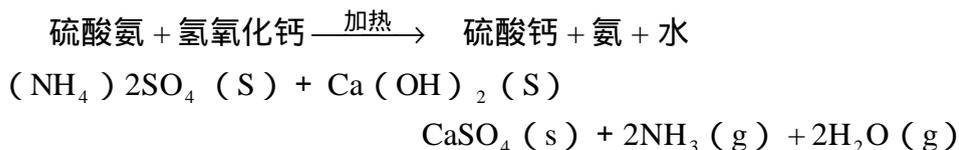
用实验 2 中相同的物质和方法来检验氨气。另外，还应给出一种方法，使其能够证明氨易溶于水。

用收集氨的方法证明：与空气密度比较而言，氨的密度如何？

此外，将另一敞口的氨气试管放置在含有几立方厘米浓盐酸的试管附近。

有什么现象发生？

制取氨的文字和符号方程式为：



事实上，任何铵盐和任何碱发生反应都能生成氨，并且可将这些反应与蛋白质（氮的化合物）和碱石灰（一种碱）之间的反应进行比较。

氨只是一种很普通的气体，可直接溶于水，形成 pH 值为 10 或 11 的溶液。氨的这一性质说明了氨和氯化氢发生反应的原因。

通过氧化而分解氨

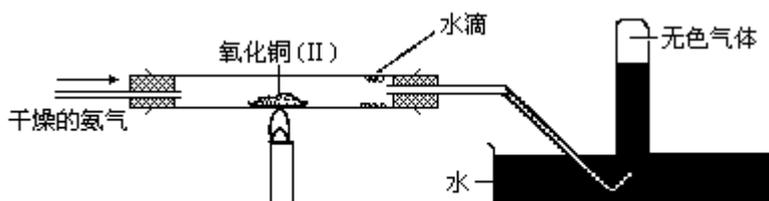
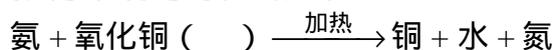


图 65.4

图 65.4 所示的实验可用氧化铜（ ）来氧化氨，从而达到分解氨的目的。虽然氨和氧化铜（ ）都是干燥的，但在燃烧管中却有水滴出现。因而可以断定：这些水滴是反应中生成的。

水滴中的氧来自氧化铜（ ）中，而氢来自氨中。可以看出：该化学反应生成的另一种无色气体是中性的，并不十分活泼，它就是氮，来自氨中。

该化学反应的文字和符号方程式如下：

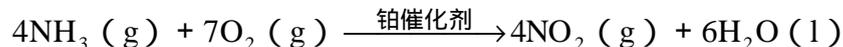
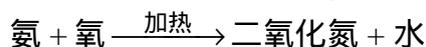


氨将氧化铜（ ）还原，生成铜；氧化铜（ ）放出氧，从而使氨分解成水和氮。因此，在该化学反应中，氨是还原剂而氧化铜（ ）是氧化剂。

工业上制取硝酸

图 65.5 所示为氧化氨的另一种方法，在该方法中使用的是空气中的氧。空气由旋塞泵吸入装置中，然后通过氨溶液，这时空气中就含有氨气。在氨和氧之间发生的化学反应中，灼热的镀铂矿渣棉用作催化剂。

装置右端的锥形瓶中收集的是棕色气体（二氧化氮）。



这是由氨制取硝酸生产中的第一步。在工业上，该化学反应是在

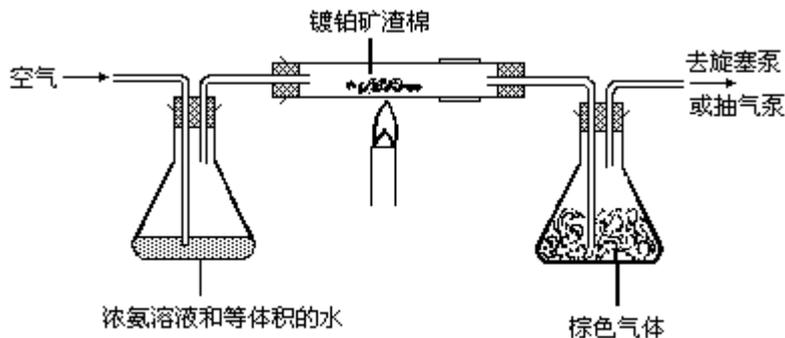


图 65.5

催化剂铂-铑丝网层的作用下进行的。铂-铑丝网层价格昂贵，但在化学反应过程中并无消耗。

该生产过程中的第二步是在水的存在下，二氧化氮进一步被氧氧化，生成硝酸。

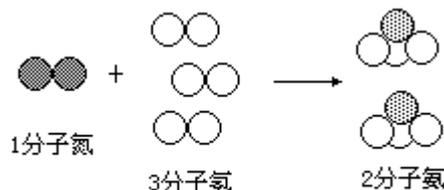
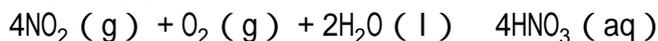


图 65.6

二氧化氮+氧+水 硝酸



该化学反应是浓硝酸加热分解的逆反应。

合成氨

在学校实验室中用氢和氮合成氨是非常困难的，但在工业上，该化学反应是应用哈伯制氨法大规模地进行的。此法是将氮和氢混合后，在铁催化剂和压力的作用下将其加热。该化学反应的文字和符号方程式如下：

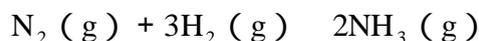
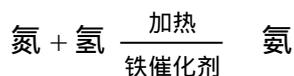


图 65.6 说明如何用分子简图来解释氨的合成。

如图 65.1 所示，在哈伯制氨法中，氮来自空气，而氢既可来自天然气（甲烷），又可来自石油（原油）。另外，还可使蒸汽通过灼热焦炭（碳），从而获得氢气。

氮的化合物对生命的重要性

氮是以各种化合物的形式或元素单质的形式在空气、土壤和生物体之间进行循环的。象碳一样，氮的周期循环运动对于维持生命是必需的。氮的循环已于图 26.4 中讨论过。

人类为了生产粮食，不得不对土地进行充分地利用。不然的话，土壤中被植物用去的氮量就会与因为固氮过程和动植物蛋白质的腐烂而回到土壤中的氮量保持平衡。因为种植农作物对土壤的充分利用，所需要的固定氮量要多于自然过程中能够提供的氮量，所以，只有向土壤中施加含氮量大的化肥，才能在土壤中进行大规模地粮食生产。

实验 4 以氨为原料生产化肥

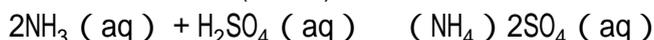
向一蒸发皿中加入约 20 立方厘米稀硫酸，然后一边加入稀氨溶液，一边搅拌，直到闻到蒸发皿的液体中有轻微的氨味放出为止。

然后开始蒸发溶液，并不时用玻璃棒的一端蘸取少量溶液试样，使其冷却。如果有晶体结出，即停止蒸发，并盛出已部分蒸发过的溶液，使其结晶。

结晶出的白色晶体为硫酸铵（“氨的硫酸盐”），是一种氮肥。



(稀溶液)



硫酸铵是一种盐，因而该化学反应属于酸和碱（氨溶液）之间的中和反应。硫酸铵（和所有其它铵盐）的特殊之点就在于它不含有金属，而含有 NH_4^+ 阳离子。

习题

1. 试解释哈伯制氨法在现代食品生产中如此重要的原因。
2. 禽蛋中含有大量蛋白质。当蛋粉与 (a) 氧化铜 ()，(b) 碱石灰一起加热时，会放出何种或哪些气体？试对答案加以解释。
3. 干燥的氨通过灼热的氧化铅 () 时，会发生化学反应。
 - (a) 试用简图表示制备干燥氨气的装置，该装置与氨和灼热氧化铅 () 反应的装置相连接，然后再连到能够用来收集该化学反应所生成的不可溶性气体的装置上。
 - (b) 试写出该化学反应的文字和符号方程式。
 - (c) 试用氧化和还原解释该化学反应，并说明哪种反应物是氧化剂，哪种反应物是还原剂。
4. 下面列出了几种化肥的名称和分子式。

硫酸铵	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
硝酸铵	NH_4NO_3
硝酸钙	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
碳酰二胺(尿素)	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
氨	NH_3

- (a) 哪种元素是上述所有化肥所共有的？
- (b) 为什么说这种特殊的元素是植物生长所必需的？

(c) 哪种化肥属于盐类？

(d) 硫酸铵溶液的 pH 值大约为 5.5。为什么这对于作为化肥的物质来讲是不利因素？

(e) 上述所有化肥都溶于水。为什么这一性质是化肥所必需具备的？

化学能

§ 66 化学过程中的能量

热能和化学反应

假定一个化学反应非常剧烈，这就意味着下列两种有关化学反应的论述之一，或两者都是对的。

- a. 放出大量的热能（或者光能）。
- b. 该化学反应进行得很快（速率高）。

本章将着重讨论 a. 类型的反应。

就象位于山顶的人由于其高度而具有能量一样，可以认为所有化学品都贮存有化学势能。只有当某种变化发生以后——人开始冲下山去或化合物经混合而发生化学反应，这种能量才可能明显地表现出来。在化学反应中，所贮存的一部分化学势能常常以热能和光能的形式释放出来（见图 66.1 和图 66.2）。

化学反应放出（或吸收）的热能与有时为使化学反应开始进行所需要的热能是不同的，认识这一点很重要。使焦炭或煤开始燃烧需要大量的热能，但一旦其燃烧起来，又会向周围放出大量的热能。因此，焦炭或煤的燃烧是放热反应。

本书中有许多放热反应的例子。但在有的化学反应中，物质从周围（空气或容器中）吸收热能，从而使化学势能增加。这些化学反应称为吸热反应。

实验 1 两种吸热反应

在下述每个化学反应中，碳酸氢盐都和酸发生反应，放出二氧化碳。

a. 测出小烧杯中稀盐酸（25 立方厘米左右）的温度，并加入四勺碳酸氢钾。

· 温度计的读数有何变化？

b. 将大致等量的碳酸氢钠（“小苏打”）和柠檬酸晶体（柠檬中所含的酸）混合起来，并测量小烧杯中水（25 立方厘米左右）的温度，然后将固体混合物加入水中。

· 温度计的读数有何变化？

非化学变化也可能放出或吸收热能。把浓硫酸加入水中制取稀硫酸以及水蒸汽在温度较低的物体表面冷凝，都要放出热能。而当挥发性液体蒸发以及某些固体（如碘化钾）溶于水时，都要吸收热能。

光能和化学反应

燃料燃烧时所放出的火焰（见图 66.1）或其它化学反应所放出的火焰（见

图 66.2) , 不仅可以向外界提供热能, 也可以提供光能。对燃烧着的燃料而言, 火焰就是燃料放出的气体与空气中的氧发生反应的区域。由于这些气体的温度很高, 因此发出的光也非常强烈。就燃烧着的蜡烛而言, 石蜡与氧气之间的化学反应所产生的灼热的白色固体碳颗粒会使发出的光更加明亮。

对少数化学反应来说, 包括在萤火虫身上或尾巴上发生的化学反应, 以光的形式放出的能量要多于以热的形式放出的能量。

象热能一样, 光能也可用来引起化学反应。并非许多化学反应具有光敏作用, 但其中有一种化学反应是维持生命所必需的自然过程, 称为光合作用。

实验 2 一个光敏的化学反应

将等体积的硝酸银溶液和溴化钾溶液在试管中加以混合。

· 生成的沉淀物是什么? (提示: 溴化物具有与氯化物相似的溶解性。)

把混合物过滤后, 将包有沉淀物的滤纸展开, 并放在靠近窗口的长凳上。

· 有什么现象发生?

如果对该问题的答案不能肯定, 可以再配制少量新鲜混合物, 并将其沉淀物的颜色与滤纸上沉淀物的颜色相比较。

电能和化学反应

在电解过程中, 电能将转变成化学能而贮存起来。例如, 电解熔融状态的氯化钠生成钠和氯, 这两种元素所贮存的化学能的总和要多于氯化钠。当钠在氯气中燃烧时, 多出的这部分化学能又以热能和光能的形式释放出来。

化学能也可以直接转变成电能。因为电池中发生的化学反应使贮存的部分化学能转变成电能, 而电能又转变成光能及部分热能, 所以电池可使手电筒的灯泡发光。

虽然研究电池中发生的化学反应并不是件容易的事情, 但如果条件适当, 其它许多化学反应也可以产生电能。

实验 3 在一简易原电池中产生电流

按图 66.3 (a) 组成一装置。

· 如何知道烧杯中正在进行化学反应?

· 正在放出何种气体?

· 灯泡有何变化?

本实验所用的装置是一个原电池。由几个原电池组成的第一个电池组是由伏特 (Volta) 于 1800 年发明的, 并用他的名字命名为伏特电堆。伏特发现, 当把两种不同的金属用导线连接起来并放入电解质溶液中时, 总有电能产生。而电流是电子的流动, 因此, 在原电池中, 电子总是从较活泼的金属流向较不活泼的金属。

在图 66.3 (a) 所示的原电池中, 电子从镁片经过导线流向铜片。在图 66.3 (b) 所示的另一原电池中, 电子从锌片经过两金属片相互接触的部分

流向铜片。无论是在哪种情况下，都是较活泼的金属失去电子形成阳离子。

锌原子 — 锌离子 + 电子
 (在金属片中) (在电解质溶液中) (在导线中)

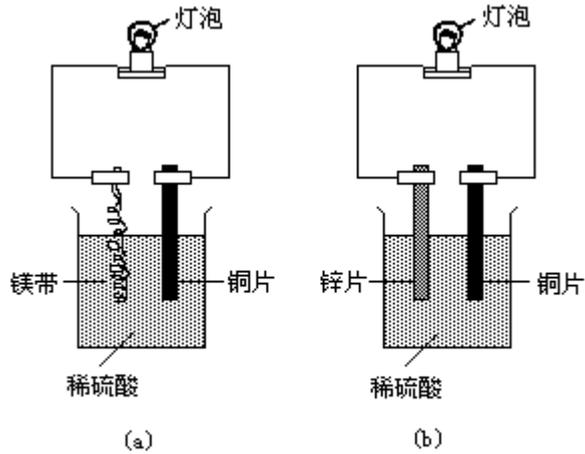


图 66.3

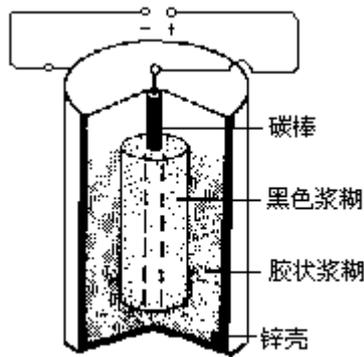


图 66.4

阳离子进入电解质溶液。随着化学反应的继续，较活泼的金属逐渐溶解。当金属完全溶解后，原电池即停止工作，不再产生电流。

手电筒所用的电池（见图 66.4 又称为“干电池”）要比图 66.3 所示的原电池复杂。在干电池中，不是用两种金属片，而是用一锌壳和一位于中心的碳棒代替。碳棒被氧化锰（ MnO_2 ）、碳和氯化铵的糊状物所包围。电解质是胶状的氯化铵浆糊。但干电池的工作原理仍然同原电池相同：锌原子变成锌离子，所放出的电子经过导线流向碳棒。

习题

1. 说明放热化学反应与吸热化学反应的区别，并各举一例。
2. 图 66.5 所示为一电柠檬。
 - (a) 灯泡为什么为发亮？
 - (b) 如果用一铜片代替锌片，灯泡还会亮吗？试对答案加以解释？



图 66.5

3. 把一长条锌片插入稀硫酸中，只有少量氢气放出（见图 66.6 (a)）。把一长条铜片和锌片并排插入同一溶液中，不发生其它任何现象（见图 66.6 (b)）。但如果移动铜片，使之与锌片接触，在铜片处会放出大量的氢气（见图 66.6 (c)）。

如果让图 (c) 中的反应进行几分钟，则锌片的质量要减小，而铜片的质量保持不变。

(1) 鉴于锌在活泼顺序中的位置，在实验 (a)、(b) 中，锌片和酸之间

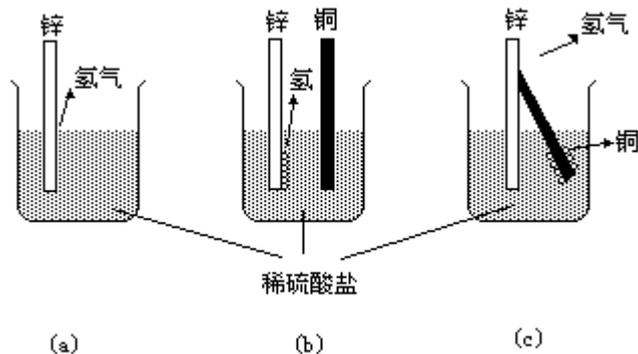


图 66.6

的化学反应有何现象使人感到意外？

(ii) 在实验 (c) 中，是哪种金属参与了化学反应，才使酸中的氢离子形成氢气？试举出答案的证据。

(iii) 实验 (c) 的装置组成一个原电池。电子是从锌片向铜片移动，还是从铜片向锌片移动？

(iv) 在实验 (c) 中，锌片的质量为什么减小？

§ 67 研究燃料

什么物质可作为好燃料？

化学燃料燃烧时释放的能量是现代文明世界所用全部能量的主要来

源。

燃料可以是固体（如煤、泥煤、焦炭和木材），液体（如石油、燃料油和煤油）或气体（如天然气）。特定的工作应选取特定的燃料。

如果要把动力运载火箭以每小时 40000 公里的速度推离地球表面，就必须使燃料产生巨大的动力。要做到这一点，就必须在很短的时间内产生大量的热能，以使所产生的气体迅速膨胀并很快地脱离火箭。另外，所产生气体的体积和质量应尽可能地大。

烧饭和取暖用燃料需要具有不同的性质。对它们来说，快速燃烧并不象对空间火箭那样重要，但燃料具有较高的热值（“卡值”）却十分重要。所谓热值是指单位质量的燃料放出的热能。如果燃料为气体，热值有时也指单位体积的燃料放出的热能。表 67.1 列出了某些燃料的热值。

家庭、实验室和工业用燃料除了具有较高的热值外，还应尽可能地便宜。所以我们很有必要了解放出等量能量的各种燃料的价格。选择两种当地最常用的燃料，并按下列步骤进行对比。

1. 了解每千克燃料的价格。甚至瓶装气体也是以质量为单位而不是以体积为单位出售的，因为它总是在一定的压力下贮存于容器中的。

2. 借助于表 67.1，获得燃料以千焦/克（kJ/g）为单位的热值，并换算成以千焦/千克（kJ/kg）为单位的热值。

表 67.1

燃料	热值, 千焦/克	燃料	热值, 千焦/克	燃料	热值, 千焦/克
固体		液体		气体	
焦炭	33	乙醇	30	甲烷（天然气）	55
煤	25 ~ 33	燃料油	45	丙烷（瓶装气体）	50
木材	17	石蜡	48	丁烷（瓶装气体）	50

3. 用 2. 的答案去除 1 的答案，以求出放出 1 千焦能量所需燃料的价格。

4. 两种燃料中，哪种燃料较便宜？如果该燃料应用并不广泛，请说明其原因。

燃料是由什么组成的？

燃料在空气中燃烧，生成氧化物。如果这些氧化物能被鉴别出来，则它们就能提供该种燃料所含元素的线索。

例如，焦炭燃烧的唯一产物是二氧化碳（见图 67.1），而二氧化碳分子是由碳元素和氧元素的原子组成的。因此至少可以说，二氧化碳中有部分氧原子来自空气，而所有的碳原子都来自焦炭。所以，焦炭中含有碳，这一点是很明显的（因为氧既可能来自空气，又可能来自焦炭，所以该结论并不能肯定焦炭仅仅是由碳组成的。但在本例中，所有的氧恰巧都来自空气）。

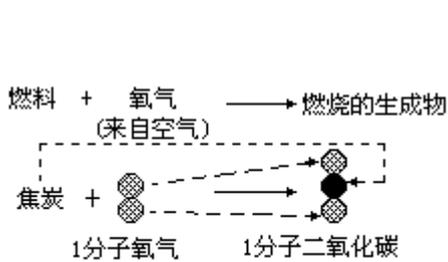


图 67.1

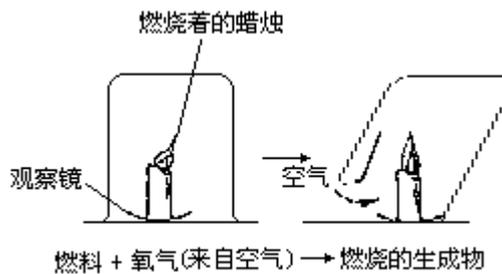


图 67.2

实验 1 对燃烧着的蜡烛进行研究

把一个大烧杯罩在一只燃烧的蜡烛之上 (见图 67.2)。当火焰开始熄灭时, 将烧杯的一侧掀起, 使外界的空气进入到蜡烛周围的空间。1~2 分钟之后, 将烧杯从实验桌上翻转过来, 并迅速注入一些石灰水。

- 有何现象发生?
- 该现象表明, 蜡烛中肯定会有哪种元素?

用一完全干燥的烧杯重做一遍这个实验。当烧杯的内侧收集到足够的液滴时, 将烧杯掀起, 并用一团洒有白色硫酸铜的棉绒擦拭烧杯的内侧。

- 有何现象发生?
- 烧杯内侧形成的液滴是什么?
- 作为燃烧的生成物, 该物质表明, 蜡烛中肯定含有哪种元素?

蜡烛燃烧, 生成两种不同的氧化物, 这意味着蜡烛至少是由两种元素组成的 (如图 67.3 所示)。事实上, 蜡烛并不含氧, 它仅仅是碳和氢的化合物。

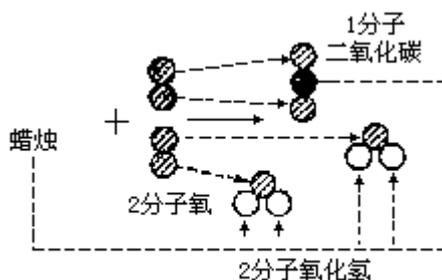


图 67.3

许多燃料是碳氢化合物 (仅仅是碳和氢的化合物) 或者是碳氢化合物的混合物。例如石蜡、天然气和瓶装气体等。天然气常常和原油 (石油) 一起在岩石中发现, 而其它碳氢化合物燃料则通过原油的分馏而获得。

碳循环

在图 67.4 中表示了包含燃料在内的部分碳循环。在各种形式的化合物中, 碳 (象氮一样) 在空气、地球表面以及地球表面之下的岩石之

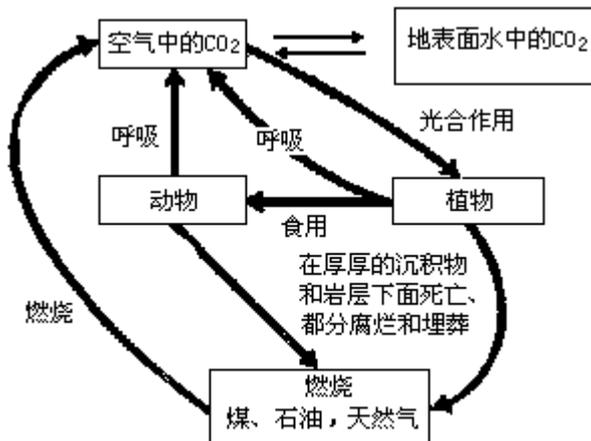
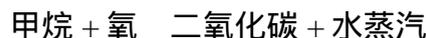


图 67.4

间循环。如地球表面的生物体中就存在着许多这样的化合物。由于这些生物体的死亡、部分腐烂和被埋葬，从而形成了煤、原油和天然气。

燃料和空气污染

当氧气供应充足时，碳氢化合物燃烧生成二氧化碳和水蒸汽。这两种气体也存在于空气之中。



(天然气)

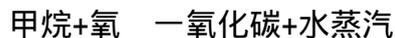


但当氧气供应不足时，就会生成其它物质。在实验 1 中，当从外界进入烧杯的空气不足时，可以在翻转过来的烧杯内壁上看到烟灰（碳）。其它燃料也可燃烧生成碳，而空气中的烟灰是一种污染物质（见图 67.5）。



在碳氢化合物燃料完全燃烧（生成二氧化碳）和不完全燃烧（生成碳）的两种极端情况之间存在着一个中间阶段。此时有足够的氧来氧化碳，但并非全部形成二氧化碳。该燃烧的生成物是一氧化碳和水

蒸汽。



一氧化碳是一种剧毒气体。如果人们在含有极小比例一氧化碳的空气中呼吸，那么在半个小时内就会死亡。一氧化碳可以通过降低血液的活动能力而将人体周围的氧气带走。

汽油（主要物质是辛烷，C₈H₁₈）在汽车发动机中燃烧时，会生成一些一氧化碳，并通过排气管排到空气之中。在繁华的城市中心，这种空气污染是

一个值得重视的问题。在情况最坏的地方，由于受污染的影响，交警只能进行短时间的工作。

习题

1. 木材和焦炭都可用作燃料。试按下列内容分别写出两种燃料的优点和缺点：热值、燃烧速度、燃烧清洁度（即生成多少灰末）和有效性。

2. 将盛有冷水的烧杯置于本生灯火焰上加热时，烧杯的外侧很快就有液滴生成。过一会之后，液滴消失，烧杯的外侧又变得干燥。试解释这些变化。

3. 设计一个自己可以进行的实验，以证明瓶装气体或天然气中含有碳。实验结果如何能够证明这一点？试加以解释。

4. 碳水化合物燃料在不同的条件下燃烧时，可以生成碳、一氧化碳或二氧化碳。

(a) 试解释为什么是这样的。

(b) 其中哪两种生成物是不受欢迎的？它们对我们周围的环境各有什么影响？

(c) 空气中已含有第三种生成物，因而它不是污染物质。这种物质是什么？

§ 68 矿物燃料

矿物燃料是怎样形成的？

在碳循环中，已经说明了形成煤、原油和天然气等燃料的方式（见图 67.4），它们都是矿物燃料。矿物（化石）一词表明这些燃料是由曾经有生命的材料所形成的。

煤在沉积的岩层之间形成薄层。石油和天然气也是在沉积的岩石中发现的，但和煤不同的是它们并不停留在自身形成的地方，而是通过岩石颗粒之间的空间向上移动。

实验 1 渗透性岩石和非渗透性岩石

采用图 68.1 所示的装置，其中岩石为脆性（易碎的）沙岩。用滴管将管子中充满水。· 水需要多长时间才能下降到看不见的位置？

使用其它沉积的岩石如石灰石和油页岩，也可使用板岩，将该实验再重复一遍。

· 水在何种岩石中渗入得快些？

· 水在何种岩石中渗入得很慢，如果能够渗透的话。

某些岩石的颗粒之间有足够的空间，因此用手指即能很容易地捻碎。只要这些空间能联合成为网络，石油和天然气就能很容易地通过。这种岩石称为渗透性岩石。

对原油和天然气来说，那些空间未能联合成为网络的岩石往往是非渗透性岩石。只有当这些岩石被较大的裂纹所分裂，并且能使石油和天然气通过

其裂纹时，它们才变成渗透性岩石。有些石灰石即属于这种类型的岩石，例如在图 62.6 中就能看到裂纹。

如果从地球表面往下穿过岩层钻孔，则我们就会发现有些岩层属于渗透性岩层，而其它岩层属于非渗透性岩层。这将由原油或天然气是否能向地球表面上升来决定。

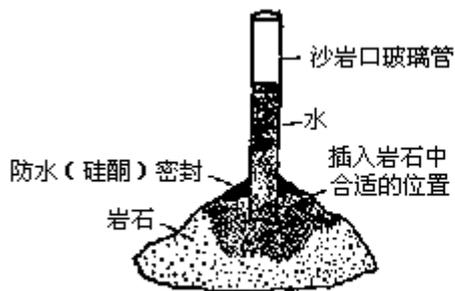


图 68.1

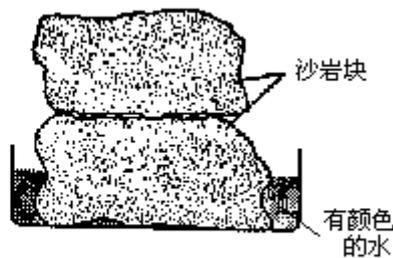


图 68.2

实验 2 岩层对流动液体的影响

把一小块脆性沙岩置于盛有颜色水的培替氏培养皿中。然后将另一块同样的沙岩放在第一块沙岩的上面（见图 68.2）。当水向上渗透时，注意对它进行观察。

· 当水到达两块岩石的“连接线”时，有什么现象发生？

按图 68.3 放置岩石：在另外两块沙岩之间夹入一页岩或板岩薄片。

· 当水到达页岩或板岩时，有何现象发生？

石油和天然气向地球表面的上升运动可能受到非渗透性岩层的阻碍。当然，液体也可能在页岩或板岩之下向一侧运动。

假定渗透性岩石被夹在倾斜的非渗透性岩层之间（见图 68.4）。石油或天然气即使不能进入上面的非渗透性岩层，也能穿过渗透性岩层



图 68.3

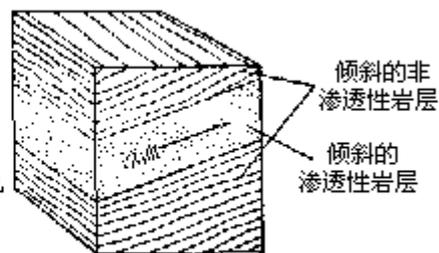


图 68.4

保持向上运动。但如果这种“夹心岩层”被交迭成一个岩层“小山”（见图 68.5），那么，石油或天然气就会被限制在某一地方，而不能向上或向一侧运动。如果渗透性岩石被非渗透性岩石障碍层所隔断，原油或天然气也会受到限制（见图 68.6）。

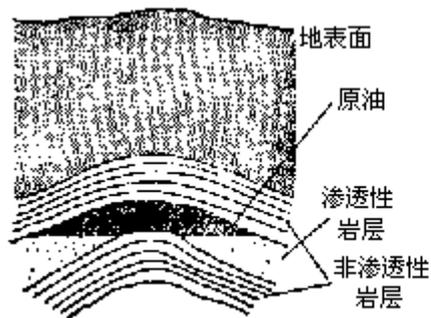


图 68.5

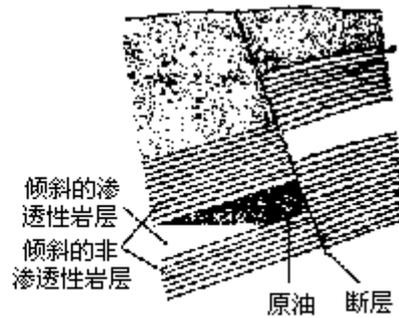


图 68.6

地下岩石“小山”称为背斜层，而岩石中的意外裂缝（见图 68.6）称为断层，这是石油和天然气最常见的两种类型的油（气）阱，但也有其它类型的储油（气）构造。

石油和天然气的勘探

对矿物燃料的研究遍及全世界，无论它们是位于陆地下面还是位于海底下面。早期的开发的石油和天然气矿场都是位于陆地下面的，但近年来随着技术的进步，发展了许多海底油田，如英国北海下面的油田。

石油勘探者的首要任务是探测可以构成油或气阱（图 68.5 和 68.6 所示）的岩层的确切分布。其方法之一就是进行地震勘测。

在陆地或海表面进行小型爆炸，由此引起的冲击波会穿过岩石传播。有一种波类似于在空气中传播的声波，它是一种能穿越岩石的“脉冲波”。这种波经某些岩石反射后又回到地表面，被探测器“接收”。图 68.7 所示的方法可用来判断地下岩石的构成。

一旦发现了某些有勘探价值的岩层构造，下一步任务就是用一端装有金刚石核头或钻头的 10 米长管子进行钻孔。当 10 米长的管子全部进入岩石之后，将另一根 10 米长的管子拧接上去（见图 68.8），然后继续钻探。金刚石核头或钻头的温度很高，所以必须将特制的“泥浆”向下打入钻管中，从而使核头或钻头得到冷却。

如果钻井用的是钻头，“泥浆”就会将凿碎的岩层带到地表面，并对其检验。如果用的是核头，整个岩心就会被吊到地表面。无论使用哪种方法，科学家的目的都是为了发现钻孔中的岩石构成以及判断其中是否含有矿物燃料或其它有用的燃料。

石油或天然气的钻孔可达数千米之深。如果在海上勘探，最主要的问题是在风浪中保持钻井塔完全稳定。

大多数钻孔根本得不到石油或天然气。但如果意外成功地发现了石油或天然气，那么下一步就是要在该钻孔的周围再钻几个孔，从而确定油田的大

小。另外，还要判断出挖掘石油或天然气的难易程度，这一点也是非常重要的。最后，做出是否投入全面开发的有关决定。

目前，寻找三类矿物燃料是一项非常大的生意。进行地震测量和钻孔需要大量开支，但勘探成功后获得的利润将更大。

习题

1. 原油在易碎沙岩中存在的可能性要比在坚韧的、结合牢固的沙岩中存在的可能性大得多，而根本不可能在花岗岩中存在。试用岩石的渗透性理论解释这些事实。

2. “石油、天然气等燃料和我们的食品中贮存有太阳能，而当我们在空气中点燃这些燃料或在我们的体内氧化这些食品时，上述能量又被释放出来”。

试写一短文阐述这一论点。

3. (a) 若你的国家有煤、原油或天然气储备，试借助于参考书并按所列项目完成下表。

矿物燃料种类	矿物燃料的来源地点	进行矿物燃料勘探的地点
--------	-----------	-------------

(b) 如果你的国家进口矿物燃料，说明哪些国家是主要出口国。

§ 69 化学反应速度

不同的化学反应——不同的反应速度

把水加入碳酸氢钠和柠檬酸的混合物时，混合物开始起泡并放出二氧化碳。虽然化学反应的温度下降（化学反应为吸热反应），但由于反应进行很快，所以仍然是非常强烈的化学反应。

化学反应速度（速率）和混合物发生反应放出或吸收的能量是不同的事情。虽然有许多化学反应（如锌和硫之间的化学反应，见图 66.2）的反应速度很快，同时也放出大量的热能，但上述结论仍然是正确的。

不同的化学反应以不同的反应速度进行。铁或钢的生锈是速度很慢的化学反应（虽然对汽车的主人来说是太快了！），由空气中的酸性气体引起的石料建筑物的破坏（见图 64.3）速度也只有每百年几个毫米。但从另一方面来说，我们在实验室中进行的化学反应的确是很快。

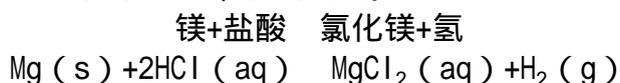
最快的化学反应在反应物混合的瞬间即可完成。许多在溶液中进行的化学反应，其反应速度都很快，特别是阳离子和阴离子结合成不

溶性盐的沉淀反应。

图 69.1 所示的沉淀反应不仅仅涉及到阳离子和阴离子的结合，因此其反应速度较慢，足以在实验室中进行研究。

化学反应的速度变化

镁和稀盐酸发生化学反应，放出氢气。



测出长条镁带“消失”于酸中所需的时间，就基本上能够定性地获得化学反应的速度。时间长，即意味着反应速度慢；时间短，就意味着反应速度快。

表 69.1

实验部分	温度	镁量	稀盐酸 的体 积立方厘米	水的体积 立方厘米
1	室温	30 毫米长的清洁镁带	(a)50	0
			(b)40	10
			(c)30	20
			(d)20	30
2	(a)30	30 毫米长的清洁镁带	30	20
	(b)40			
	(c)50			
	(d)60			
3	室温	(a)0.03 克镁粉	50	0
		(b)0.03 克镁屑		
		(c)30 毫米长的清洁镁带		
		(d)9 毫米长的清洁镁丝		

盐酸应具有通常实验所具有的浓度（即 2 摩尔）。

在下个实验中，我们可以看到：对于镁和稀盐酸之间的化学反应，若改变反应条件，就会增加或降低其反应速度。实验 1 镁和稀盐酸之间化学反应速度的变化对应于表 69.1 所示的每一独立的实验，把镁加入酸中并用停表测出金属完全溶解于酸中所需的时间。

在实验的第一部分中，盐酸和水在镁加入之前应充分混合。在第二部分中，考虑到化学反应过程中的冷却现象，可将盐酸加热至高于表中温度数值的 2 或 3 ，在镁加入之后，不要再对盐酸进行加热。在实验的第三部分中，不同镁试样的质量大致相等。

- 在各部分实验中，改变的条件是什么？
- 每一变化对反应速度有何影响？

通过下列方法可增加化学反应速度：

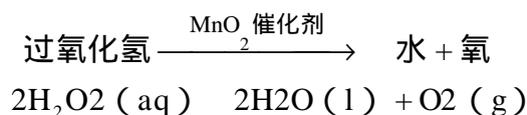
- (i) 升高温度；
- (ii) 使用晶粒尽可能细的镁金属；
- (iii) 增加盐酸溶液的浓度。

在某些情况下，还可用另一种方法（见下述）来提高反应速度。

催化剂

将某些物质（不是反应物）加入反应混合物中也能显著提高反应速度，这些物质称为催化剂。在工业上，广泛采用催化剂来提高化学反应速度，否则这些化学反应进行得非常慢，很不经济。本书曾列举了有关工业用催化剂的一些例子。

在实验室里制取氧气常常要用到催化反应。过氧化氢溶液分解，放出氧气，如果不使用催化剂（二氧化锰（ MnO_2 ）），该化学反应在室温下的反应速度将会很慢。



氧气的放出会引起溶液中“冒泡”，根据“冒泡”的多少即可大致得出化学反应的速度。

实验 2 催化反应速度的变化

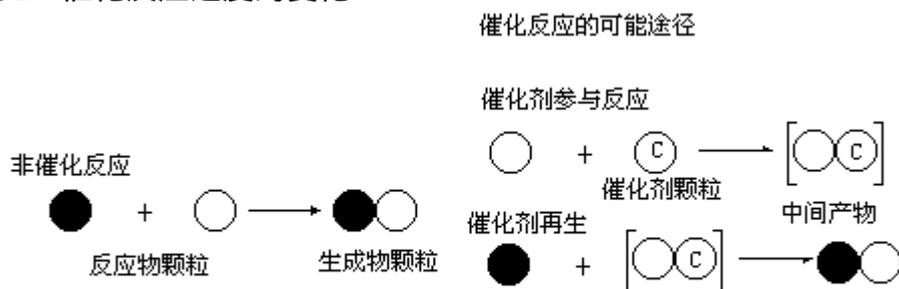


图 69.2

在实验进行之前，先把大约 5 立方厘米的过氧化氢溶液加入大约 45 立方厘米的水中，从而准备好稀过氧化氢溶液。

a. 将大约半勺的颗粒状二氧化锰加入盛有数立方厘米过氧化氢溶液的试管中，然后将大致等量的粉状氧化锰加入盛有等体积过氧化氢溶液的另一试管中。

哪种催化剂使化学反应进行得更快些？

b. 重复 a. 这次在第一个试管中加入一勺尖很少量的粉状二氧化锰（ MnO_2 ），而在第二个试管中加入半勺同样的粉状二氧化锰。

哪种量的催化剂使化学反应进行得更快些？

可用下述方法增加化学反应速度：

(i) 使用颗粒尽可能细的催化剂；

(ii) 增加催化剂的质量。

即使这样，催化剂也不同于真正的反应物，它在化学反应过程中并无损耗：它在反应结束时的质量总是和反应开始时的质量相等。

催化剂虽然在化学反应过程中起着积极的作用，但当反应结束时，它又

还原成原来的形式，因而其质量保持不变。催化剂和一种或更多种反应物发生反应，生成一种新的化合物，之后，该化合物迅速发生反应，生成产物以及原催化剂（见图 69.2）。

习题

1. 把日常生活中自然发生的化学反应制成表，并按快速反应（进行几分钟）、慢速反应（进行几天，甚至更长时间）和中速反应（进行几个小时）加以分类。

2. 碳酸钙和稀盐酸发生反应，放出二氧化碳。下列哪种条件的变化可增加该化学反应的反应速度？

- (a) 增加反应混合物的温度；
- (b) 应用和水进一步稀释之后的盐酸；
- (c) 应用粉状碳酸钙代替石灰石碎屑（大理石碎屑）。

3. (a) 设计一套自己可以进行的实验，推断下列各种固体对分解过氧化氢有何催化作用：氧化铜（）（ CuO ），氧化铅（）（ PbO_2 ）和氧化锰（）（ MnO_2 ）。

(b) 下列结果是经过对等体积等浓度的过氧化氢溶液进行一系列实验而获得的。

固体名称	被加入固体质量克	在反应开始后的第一分钟内放出的氧气的体积 立方厘米
粉状 MnO_2	0.1	24
粉状 MnO_2	0.2	56
颗粒状 MnO_2	0.1	3
粉状 PbO_2	0.1	90
粉状 CuO	0.1	0

(i) 上表中哪些固体在分解过氧化氢过程中起不到催化剂的作用。

(ii) 三种氧化锰（）的结果之间存在有区别，试加以解释。

(iii) 对于该化学反应来说，哪种固体是最有效的催化剂？

4. 对下列情况各举一例：

- (a) 用来增加两种气体之间化学反应速度的固体催化剂；
- (b) 用来加速从溶液中制取常用气体的化学反应的固体催化剂；
- (c) 两种溶液一经混合，就立即完成的瞬间反应。

人体生物学

§ 70 食物和饮食

食物的必要性

所有有生命的生物体都需要食物。植物与动物之间一个重要的区别在于植物能在它们的叶子内制造养料，而动物则必须吃植物或其它动物体这些“现成”的食物。在动、植物里，食物有下列用途。(a) 为了生长食物可以提供用来生成新的细胞和组织所必须的物质。

(b) 用来提供能量食物是有生命的生物体内进行化学反应的能量来源。当食物在呼吸过程中被分解时，所放出的能量可用来进行其它反应。运动、心脏搏动和神经冲动就是需要能量的动物活动的例子。

(c) 用于坏死和受损组织的更新由食物提供的营养物质可用来更新坏死的皮肤和修复创伤，更新每天破坏的几百万个红血细胞。

食物分类

食物分碳水化合物、蛋白质和脂肪三类。

碳水化合物

糖和淀粉是人们饮食中重要的碳水化合物。马铃薯、玉米、麦子、稻米和其它谷类中含有丰富的淀粉。我们饮食中出现的糖主要是加在饮料和许多食品如饼干和蛋糕中的蔗糖（块糖）。

尽管所有食物都为我们提供能量，但碳水化合物是最廉价、最容易得到的能量来源。碳水化合物含有元素碳、氢和氧（例如葡萄糖， $C_6H_{12}O_6$ ）。

为了提供所需要的能量，碳水化合物在呼吸过程中被氧化，分解成二氧化碳和水。如果我们吃的碳水化合物多于目前的能量需要，那么过量的碳水化合物就会在肝脏里转变成糖原和脂肪。糖原贮存在肝脏和肌肉里；脂肪贮存在肾周围的脂库里或皮下。

所有植物组织细胞壁里的纤维素对于食草动物如牛和羊来说是一种非常重要的碳水化合物。“纤维”或“粗糙食物”在人的饮食中也十分重要。

蛋白质

瘦肉、鱼、蛋白、牛奶和奶酪是重要的动物蛋白质来源。所有植物均含有一些蛋白质，而果仁、豆类和谷类是最好的植物蛋白质来源。

当蛋白质被消化时，可以提供构成细胞和组织如皮肤、肌肉、血液和骨骼所必需的化学物质。这一点是碳水化合物和脂肪所做不到的，所以在饮食中包括一些蛋白质十分必要。

当蛋白质被消化时，分解成为氨基酸。氨基酸被吸收进入血流并用于构成各种不同的蛋白质，这些蛋白质提供给细胞的细胞质及全身各组织。图 70.1 对此过程作了解释。

A — B — C — D — E — F — G — H — I — J — K

(a) 代表一种小分子蛋白质，字母表示氨基酸

F D A
 B J C G
 I H E K

(b) 蛋白质被消化并分解放出氨基酸

B — J — K — D — A — F
 |
E — C — G — H — I

(c) 同样的氨基酸构成不同的蛋白质

图 70.1

不用于制造新组织的氨基酸不能被贮存，但人体可把这些氨基酸转换成能贮存的糖原或使其氧化以提供能量。

在化学结构上，蛋白质与碳水化合物、脂肪不同，因为它含有氮、硫和碳、氢、氧。

脂肪

肉、牛奶、奶酪、奶油及蛋黄中含有动物脂肪。植物脂肪作为油存在于果实（棕榈油）和种籽中（向日葵籽），植物脂肪用于烹饪及制做人造黄油。

脂肪在人体中被用于形成细胞结构的一部分，如细胞膜。当脂肪在呼吸过程中被氧化时，它们提供的能量是碳水化合物的二倍，如上所述，脂肪可长期贮存在脂库中。

饮 食

一种平衡的饮食必须要满足下列要求。（a）足够的能量每天摄取的食物量要足以提供维持生存和进行活动所必须的能量。即便在睡觉时，身体也需要能量以保持血液循环和肺的吸气和呼气。在清醒时所需要的能量根据人的年龄和活动情况有所不同。例如体力劳动者需要的能量要比汽车司机多。如果饮食中所含的能量不足，那么就要动用储备的糖原和脂肪。当糖原和脂肪用尽时，人就不能保持其活动速度，最后为了维持生存，不得不氧化人体自身组织的蛋白质以提供必须的能量。

（b）恰当的蛋白质、脂肪和碳水化合物的比例为了人体的生长发育和组织结构更新，饮食中一定要包括一些蛋白质。怀孕妇女和正在成长的儿童尤其需要蛋白质，因为他们正在产生新的组织。幼儿蛋白质供应不足不仅使生长减慢，而且造成蛋白质缺乏病；同时由于不能生成足够的脑细胞，将造

成持久的智力发育迟缓。

饮食中缺乏碳水化合物和脂肪也会造成能量不足，但当这些物质过量时，过剩部分贮存在脂库中就可产生肥胖症。

(c) 无机盐人体血液里红细胞的血红蛋白需要铁；人体的骨骼需要磷酸钙；甲状腺需要碘而所有的细胞需要钠和钾。这些无机元素在正常情况下是从饮食中获得的，当然，如果有必要也可以用人工产品作补充。缺铁会引起贫血症；缺碘会引起甲状腺肿，这是一种颈部甲状腺肿大的疾病；缺少钙和磷会引起骨骼和牙齿疏松。

大多数混合膳食都含有充足的无机元素。例如牛羊肉含有铁；牛奶含有钙和磷。

(d) 维生素这是一类在人体基本化学反应中起作用但不能用来提供能量或构成细胞结构的化学物质。维生素常常具有与酶相结合的功能，我们能从氨基酸构成所需要的酶但却不能构成维生素，因而我们必须从饮食中获得维生素。一种混合膳食常常含有我们所需要的全部维生素，而主要由一种食物组成的膳食如米饭可能缺乏维生素。缺乏任何一种维生素都会引起只能用提供该种维生素才能治疗的疾病。

表 70.1 列出三种维生素（已知有 15 种或更多）的来源及其重要性。

表 77.1

维生素名称及来源	缺乏维生素引起的疾病和症状	备注
维生素 A 牛奶、奶油、奶酪、肝、 鱼肝油、新鲜绿色蔬菜	降低对疾病的抵抗力， 尤其是影响皮肤的疾病。夜 盲症	绿色蔬菜含有一种做 胡萝卜素的黄色物质，它 可被人体转变成维生素 A
维生素 C 桔子、柠檬、黑色葡萄干、 西红柿、马铃薯、绿色蔬 菜	关节皮肤下出血、牙龈肿 胀出血；伤口愈合不良， 坏血病的所有症状	当得不到新鲜食物时，就 可能发生坏血病。牛奶缺 乏维生素 C，所以婴儿需 添加其它来源的维生素 C
维生素 D 鱼肝油、奶油、牛奶、 奶酪、蛋黄、肝	儿童骨骼不完全变硬 引起畸形	皮肤里的脂肪通过阳 阳光可被转变成维生素 D

(e) 水大多数组织的 70%是由水组成的，水是细胞质的主要组分。由于血是一种水样的液体，所以它可以把一些物质输送到身体各部分。消化过程是在水中发生的。人体由于蒸发、出汗、排尿和呼吸而失去水，为了补充失去的水分，从饮食中摄取水是必要的。

(f) 纤维(粗糙食物)植物细胞壁里的纤维素不能被人体自身的酶所消化,但肠道里有一些细菌,可消化部分纤维素并产生一些有用的物质,这种纤维素即所谓“膳食纤维”,它们使食物体积增大,变成固体团,这样有利于肠道肌肉运送食物。丰富的膳食纤维有助于防止便秘及其它更严重的肠道疾病。

食物试验

淀粉试验 试管中放少许淀粉,加冷水振摇,然后煮沸制得清溶液,溶液冷却后加 3 或 4 滴碘溶液,出现深蓝色就是淀粉与碘之间发生反应的特征。

葡萄糖试验 如图 24.2 所示,安装一个水浴试管中放一些 Benedict 溶液,加少许葡萄糖,将试管放在沸水中。溶液由蓝色变色暗绿色、黄色,最后得氧化铜(II)红色沉淀。

除非把蔗糖用稀盐酸煮沸,再以碳酸氢钠中和,否则蔗糖不能与 Benedict 溶液发生反应。这一方法可用来鉴别蔗糖,因为这个原因,所以称蔗糖为非还原性糖。

蛋白质试验(缩二脲试验) 将 5cm³ 稀氢氧化钠(小心!此溶液有腐蚀性)和 5cm³ 1% 硫酸铜溶液加到 1% 蛋白质溶液中,出现紫色表明是蛋白质。

脂肪试验 干燥试管中放两滴食油和约 5cm² 乙醇,彻底振摇直至脂肪溶解,然后将此醇溶液倒入含有少量水的试管中,形成一浑浊的白色乳浊液。

食物试验的应用

如果有可能,你可把这些试验用于食物样品如牛奶、葡萄干、马铃薯、洋葱、蚕豆、蛋黄及磨细的杏仁上,你会发现每种食物里存在着什么样的食物成分。固体样品可放在研钵中磨碎用热水振摇以提取溶解产物,将磨碎的食物溶液和悬浮液进行试验。为了试验脂肪,首先必须将食物用乙醇(不是水)磨碎并过滤。

习题

1. 写出一张完全平衡的饮食需要表。
2. 对下述两种素食者来说,什么样来源的蛋白质是可用的?(a) 对吃动物食品但不吃肉的素食者。(b) 对只吃植物和植物食品的素食者。
3. 从理论上讲仅由肉组成的膳食能使你活下来吗?解释你的回答。这种膳食的缺点可能是什么?
4. 为什么所有饮食必须要含有一些蛋白质?
5. 从什么意义上说,你饮食中的脂肪对维持你的热量起一定的作用?
6. 维生素与蛋白质在体内利用方面有何不同?
7. 图 70.1c 与图 70.1a 中的蛋白质有何不同?
8. 讨论是否从事体力劳动的人(a) 需要较多的碳水化合物。(b) 需要

蛋白质比脑力劳动者多。

§ 71 食物的消化、吸收和利用

为使食物能被身体利用，我们通过口腔摄入的食物必须进入血流并分布到所有组织。消化是把由大分子组成的不溶食物分解成为小分子的可溶性化合物的过程。这些小分子在溶液中通过肠壁进入血流。消化和吸收在消化道内发生（图 71.1）消化是依靠酶来进行的，消化酶可加快食物的消化速度。酶能在几小时内消化蛋白质。假如没有酶，这个过程要花几年时间。

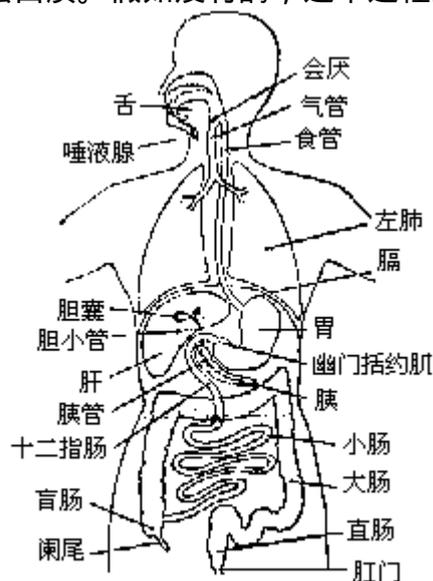


图 71.1

消化道是一条从口腔到肛门的肌肉性管道，内壁是腺体。消化道的某些部位具有特殊的功能因而有不同的构造。消化液从消化道内壁的腺体或从消化道外部的消化腺通过导管进入消化道。当食物通过消化道时，它被逐步分解直至所有能消化的物质均被分解和吸收，不能消化的残余物通过肛门排出。

食物通过消化道的运动

食入 这是使食物通过口腔进入消化道的动作。

吞咽（见图 71.2 和 3）吞咽时发生下列动作：（i）舌向口腔顶部的后上方压迫，把食物送到口腔后部；（ii）软腭关闭后面的鼻腔；（iii）围绕气管顶部的喉软骨被肌肉向上拉，结果使开放的气管位于舌背下；（iv）这种开放由于环肌的收缩而减小；（v）会厌，这是一种活动软骨，它引导食物经过开放的气管上方。以这种方式，食物能在气管上方通过，但不进入

气管。

然后食物通过蠕动被推进到食管。

蠕动（图 71.2）消化道壁含有肌肉纤维。依靠肌肉交替收缩和

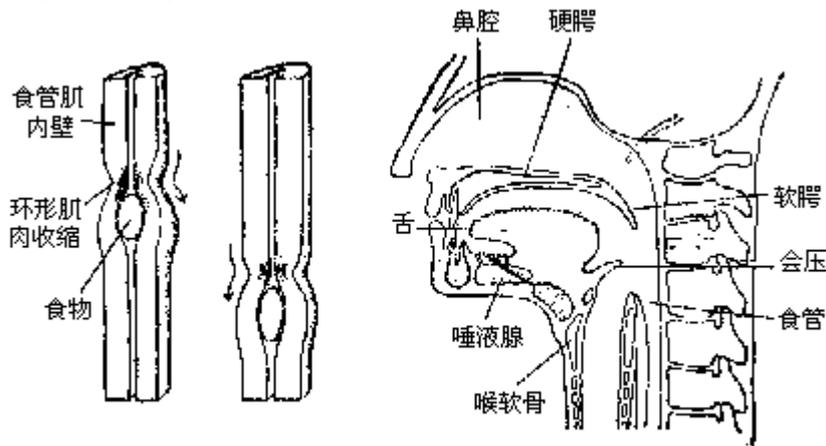


图 71.2

图 71.3

松弛，像波状运动一样，推动食物通过全部消化道。

排泄 这是指把未消化的食物残渣从消化道排出。

消 化

口腔

在口腔里食物经牙齿咀嚼并与唾液混合。唾液是一种消化液，它由三对腺体所产生，这三对腺体都有导管通入口腔（图 71.3）。唾液有助于湿润食物使嚼碎的食物粘附在一起。唾液里含有一种酶，叫唾液淀粉酶，这种酶可使食物中的淀粉分解成为可溶性糖。

胃

胃有柔韧的壁，当食物积聚时能扩张。胃底部的幽门括约肌能使食物的固体粒子停留。这样使得从饮食中得到的食物能在胃中贮存一段时间，然后再慢慢释放到消化道的其它部分。

胃壁内的腺体产生含有胃蛋白酶的胃液，胃蛋白酶作用于蛋白质，它使蛋白质分解成为可溶性的称为肽的化合物。胃壁也产生盐酸，它使胃液成为一弱酸溶液，这些酸为胃蛋白酶的工作和可能杀死从食物中带进的许多细菌提供了合适的酸度。

胃的蠕动运动节律约每 20 秒钟一次，这种运动使食物和胃液混和成奶油状液体。食物在胃中能保留多久取决于它的化学性质。水可在几分钟内从胃中通过；碳水化合物膳食如麦片粥保留不到 1 小时；含有蛋白质和脂肪的混合膳食可保留 1 或 2 小时。胃的每一次向下蠕动推动很少一部分已消化的液体通过狭窄的幽门括约肌进入小肠前部，这部分称为十二指肠。

小肠

从胰脏来的碱性消化液和从肝脏来的胆汁流入十二指肠。胰是位于胃下面的一种乳白色腺体，它能产生几种对各种食物起作用的酶：一种酶能分解蛋白质和多肽成为氨基酸；另一种酶作用于淀粉使其转化成糖；第三种酶可消化脂肪并使其转变为脂肪酸和甘油。胰液还含有碳酸氢钠，它能部分地中和由胃里来的酸液，这就为胰和肠的各种酶的工作创造了合适的 pH 值。

胆汁是在肝内分泌的一种像水一样的绿色液体，它贮存在胆囊内由胆管导入十二指肠。胆汁不含有酶，它的作用类似于洗涤剂对脂肪的作用，使脂肪分解成为极小液滴的悬浮液，这样可使脂肪更迅速地被消化。

到此，所有能消化的物质都被降解为能通过肠壁并进入血流的可溶性化合物。消化的最终产物是：

淀粉 葡萄糖

蛋白质 氨基酸

脂肪 脂肪酸和甘油 阑尾和盲肠

在人体中，阑尾和盲肠似乎是没有任何功能的小结构。然而在食草动物中如兔和马，阑尾和盲肠就大得多，大部分纤维素的消化在这里进行，这多半是由于细菌活动的结果。

吸 收

小肠

几乎所有已消化的食物的吸收是在小肠内进行的，并且在这里完全能充分吸收。这是因为：

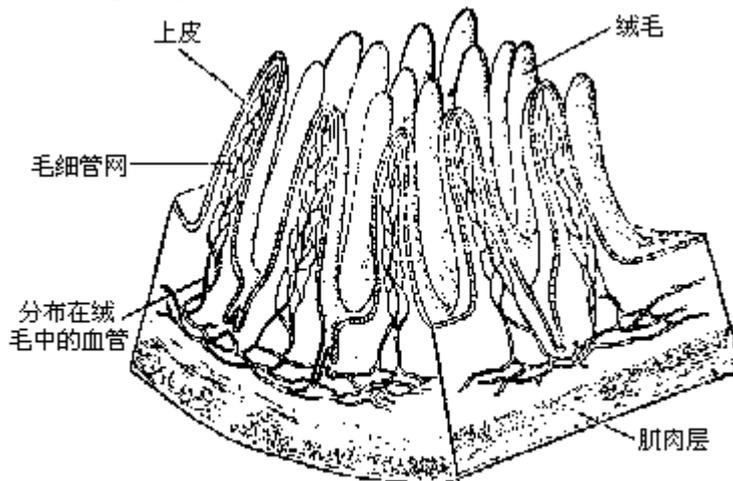


图 71.4

- (a) 小肠比较长，对已消化的食物来说有大量的吸收表面；
- (b) 由于有几千个像手指样的细小突起，这种突起称为绒毛(图 71.4)，从而使小肠的内部表面大大增加；
- (c) 内壁上皮很薄，能使液体快速通过；

(d) 在每个绒毛上有稠密的毛细血管网 (图 71.5)。

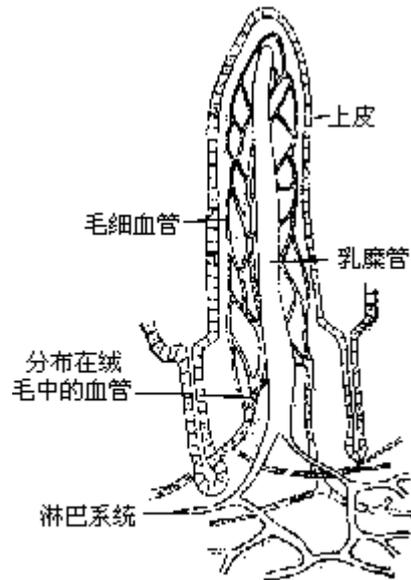


图 71.5

小分子葡萄糖和氨基酸通过上皮和毛细管壁进入血流，它们在毛细血管中被带走，这些毛细血管汇合成静脉，事实上这些血管汇合形成一大的静脉即肝门静脉。这条静脉将从肠子来的全部血液输送到肝脏，肝脏就可贮存或改变任何消化产物。当已消化的食物从肝脏里流出时，血液就进入体循环。

由脂肪消化而得的一些脂肪酸和甘油进入绒毛的毛细血管，但大部分可在肠壁又一次再结合形成脂肪，这些脂肪进入乳糜管 (图 71.5)。乳糜管内的液体进入遍及全身的淋巴系统，最终由淋巴系统进入血流。

大肠

进入大肠的物质是由水和未消化的食物、大量纤维素和蔬菜纤维 (粗糙食物)、细菌、粘液及消化道壁的坏死细胞所组成。大肠从未消化的残余物中吸收大部分水。这种半固体状的废料即粪便通过蠕动进入直肠，并间歇地由肛门排出。

已消化食物的利用

消化产物通过血液被输送到全身。从血液中细胞吸收和利用葡萄糖、脂肪和氨基酸。

(a) 葡萄糖在细胞呼吸时，葡萄糖被氧化成二氧化碳和水。这一反应所提供的能量可促使细胞内发生许多化学过程，例如合成蛋白质、肌肉收缩或神经内的电变化。

(b) 脂肪脂肪构成细胞膜和其它细胞结构。未按这种方式用于生长和维持的脂肪都被氧化成二氧化碳和水，并为细胞的生命过程提供能量。

(c) 氨基酸氨基酸被细胞吸收合成蛋白质，这些蛋白质可形成像细胞膜那样的组织结构，或者成为在细胞内控制和协调化学活性的酶。

已消化食物的贮存

如果摄取的食物量超过身体的能量需要或构成物质的要求，那么它就会按下列方式之一贮存起来。

(a) 葡萄糖不立即需要用来对细胞提供能量的糖可在肝脏和肌肉内转化成糖原。糖原分子是由合并许多葡萄糖分子成为一类似于淀粉分子的长链所构成的。这种不溶解的糖原中有一些贮存在肝内，其余则贮存在肌肉内。当血糖降到一定水平时，肝会将其贮存的糖原再转化成葡萄糖，并将它释放进入血液循环。肌糖原不再进入循环。但在肌肉活动过程中，它被肌肉当作一种能量来源使用。

肝糖原是一种“短期”贮存形式，贮存期约6小时。不作为糖原贮存的过量葡萄糖可转化成脂肪并贮存在脂肪库中。

(b) 脂肪脂肪贮存在特殊的细胞内，这些细胞在皮下或腹部形成脂肪组织。与糖原不同，脂肪贮存量没有限制，且由于其高能值，所以它是一种重要的“长期”供给能量的食物养料储备。

(c) 氨基酸氨基酸在体内不贮存。那些不用于构成蛋白质的氨基酸将会脱去氨基（见下述）。肝和组织的蛋白质能起蛋白质的贮存作用以保持血液中的蛋白质水平，但在饮食中缺少蛋白质会很快引起严重疾病。

体重

葡萄糖被氧化或转化成糖原和脂肪的速度是由激素控制的。当碳水化合物和脂肪的摄入量超过身体的能量需要时，过剩部分将主要作为脂肪贮存起来。有些人不管他们吃多少从不发胖；而另一些人当他们的摄入量只刚刚超过他们的需要量时就开始胖。体重增加确实是因为吃的食物量多于身体需要的结果，但不清楚为什么在这方面人们会有这么大的差别。一种解释可能是在一定程度上由遗传决定的激素的平衡。然而，设计一种通过减少食物摄入量以使体重减轻的饮食必须包括必不可少的蛋白质、无机盐和维生素。

肝

在消化作用、食物的利用和贮存章节中已多次提到肝。这些仅是肝的许多重要功能的一个方面，下面将摘要列出肝脏的某些功能。肝是一个大的红棕色器官，位于横隔膜之下并部分地与胃重叠。从消化道来的所有血液都通过肝，在血液被释放进入体循环之前肝脏先调节血液成分。

(a) 调节血糖进餐后，肝脏从血液中除去过量的葡萄糖并将其作为糖原贮存。在两餐之间，当血液中葡萄糖浓度开始下降时，肝脏就把它贮存的

部分糖原转化成葡萄糖并进入血流。以这种方式可使血液中糖的浓度保持在合适的稳定水平。

(b) 分泌胆汁肝细胞一直在制造胆汁。胆汁贮存在胆囊内，需要时才进入小肠协助脂肪消化。胆汁能使液态脂肪分裂成极微小的液滴（一种乳浊液），这样使脂肪易被消化和吸收。

(c) 脱氨不用于生成蛋白质的氨基酸在肝脏内被转化成糖原。在此过程中，氨基酸氨基部分含有的氮被除去，并转变成尿素，通过肾脏将其排泄。

(d) 贮存铁每天有几百万个红血细胞遭到破坏，红细胞血红蛋白中的铁是在肝中贮存的。

(e) 解毒作用当血液通过肝脏进入体循环时，由肠子吸收的大部分有毒化合物在肝脏内解毒成为无害的物质。

消化酶的实验

实验 1 唾液对淀粉的作用

必须用水漱口以除去微量食物。在二个试管里收集一些唾液、深约 15 毫米，试管分别表以 A 和 B。将 B 管内的唾液在一个小的本生灯上加热直至沸腾约 30 秒钟，然后将试管放在冷水龙头下用冷水冷却。向每一试管加 2cm^3 2% 淀粉溶液，振摇并放置 5min。

将试管 A 的内容物分到二个试管中，一个试管中加碘溶液，另一个与 Benedict 溶液加热煮沸，试管 B 的内容物以同样方式处理。

结果试管 A 的内容物与碘反应不产生蓝色，表明已没有淀粉；而另一半内容物与 Benedict 溶液反应生成红色沉淀，表明存在糖。

试管 B 的内容物与碘反应仍能显示蓝色，但与 Benedict 溶液加热煮沸不生成红色沉淀。

解释试管 A 的结果说明，唾液中有一种物质能将淀粉转变成糖。试管 B 中被煮沸的唾液无此作用的事实证实唾液内所含有的一种酶已发生了变化，因为酶是一种蛋白质，由于煮沸而遭到破坏。

实验 2 胃蛋白酶对蛋白中蛋白质的作用

将一只鸡蛋的蛋白放在 500cm^3 自来水中搅拌，并加热溶液到沸点再通过玻璃棉过滤以除去大的粒子，制得浑浊状的蛋白悬浮液。

将四只试管从 A 到 D 标上记号，每一试管内放 2cm^3 蛋白悬浮液，

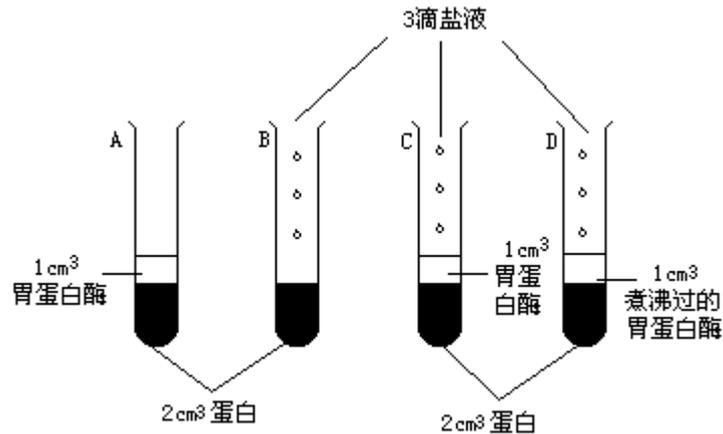


图 71.6

然后按下列顺序把胃蛋白酶溶液和/或稀盐酸加到试管中。

- A 蛋白悬浮液+1cm³ 胃蛋白酶溶液 (1%)
- B 蛋白悬浮液+3 滴稀盐酸
- C 蛋白悬浮液+1cm³ 胃蛋白酶+3 滴盐酸
- D 蛋白悬浮液+煮沸过的胃蛋白酶+3 滴盐酸

把四只试管放在盛有 35℃ 热水的烧杯中 10~15min, 注意试管 C 的液体变清亮, 其余仍为浑浊状。

解释 从浑浊状悬浮液变成清亮的溶液表明, 鸡蛋蛋白质的固体颗粒已被消化成可溶性产物。其余三个试管未变成清亮溶液表明:

- (a) 胃蛋白酶只在酸性溶液中起作用。
- (b) 起消化作用的是胃蛋白酶而不是盐酸。
- (c) 胃蛋白酶是一种酶, 其活性由于煮沸而被破坏。

习题

1. 为什么动物的食物必须经过消化? 为什么植物不需要消化系统?
2. 写下你的早餐和午餐 (或晚餐) 的菜谱。指出菜谱每一种成分中所存在的主要营养物质。叙述每一成分的最终消化产物及其对身体的用途。
3. 解释蛋白质从进食到其产物被用于构成肌细胞的细胞质的过程。
4. 研究酶的分类和特性。为胃蛋白酶提出一个更合理的名字。胃蛋白酶以什么方式显示了酶的特性?
5. 列出人体饮食中摄入的过量碳水化合物的贮存方式。
6. 如果你几天不进食, 你的身体, 例如你的心脏将如何满足对能量的需求?
7. 解释肝脏活动如何控制来自肠并进入体循环的物质?

§ 72 血液循环系统

成 分

血液是红细胞和白细胞在血浆里的一种悬浮液。成人体内有 5~6l 血液。

红细胞

红细胞是一种非常小的没有细胞核的圆盘状的细胞(图 72.1a 和 72.2)。红细胞是由一层弹性细胞膜包围的富有弹性的细胞质所组成。在细胞质里红色的是血红蛋白,它是一种与铁结合的蛋白质。当氧的浓度高时,血红蛋白易与氧结合。血红蛋白与氧的反应形成一种不稳定的化合物氧合血红蛋白;在氧浓度低的情况下,氧合血红蛋白分解并放出氧。这种性质使血红蛋白能有效地从肺输送氧到其它组织。红细胞的寿命大约为四个月,然后被破坏并在肝脏内分解。每天大约生成和破坏 2000 亿个红细胞。

白细胞

白细胞有几种不同的类型(图 72.1b 和 72.2),它们都有细胞核。有些白细胞由于其细胞质的流动作用而在活动,并通过毛细血管壁细胞之间的挤压从毛细血管中逸出进入组织。这种白细胞聚集在感染部位(例如围绕一个伤口)吞食和消化有害细菌(图 72.1c)。以这种方式白细胞能防止体内感染的扩散。相对每 600 个红细胞就有一个白细胞。

血小板

血小板是没有核的极小的细胞碎片,它有助于使受伤部位的血液凝结。红细胞、白细胞和血小板都是由短骨如肋骨、椎骨和胸骨的红骨髓制造的。

血浆

血液的液体部分称为血浆。它是由水和许多溶解在水中的物质如

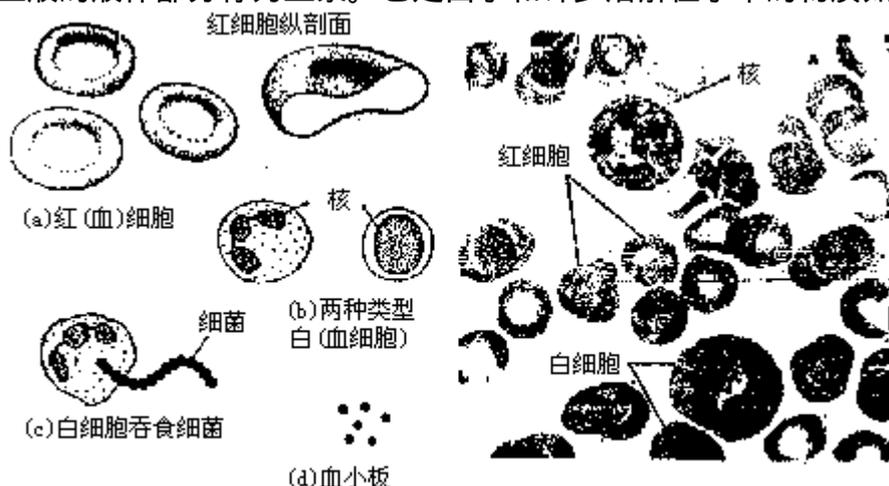


图 72.1

图 72.2 人体血液中的红细胞和白细胞

消化产物氨基酸、葡萄糖和盐组成的。还有一些含氮的废物如尿素,像肾上腺素样的激素和血浆蛋白。血浆蛋白在血液中有重要功用,但其它许多物质

只是简单地从一处被输送到另一处，即从肠到肌肉。

心 脏

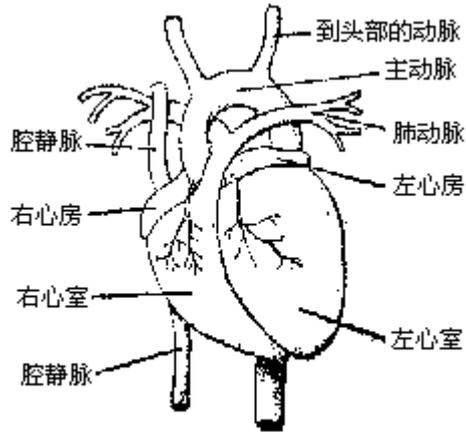


图 72.3

心脏推动血液通过围绕全身的循环系统。图 72.3 表示心脏的外观，而图 72.4 是一个纵剖面表示心脏的内部结构。因为这个图是面对着你的人体心脏解剖图，所以左侧被画在右侧。

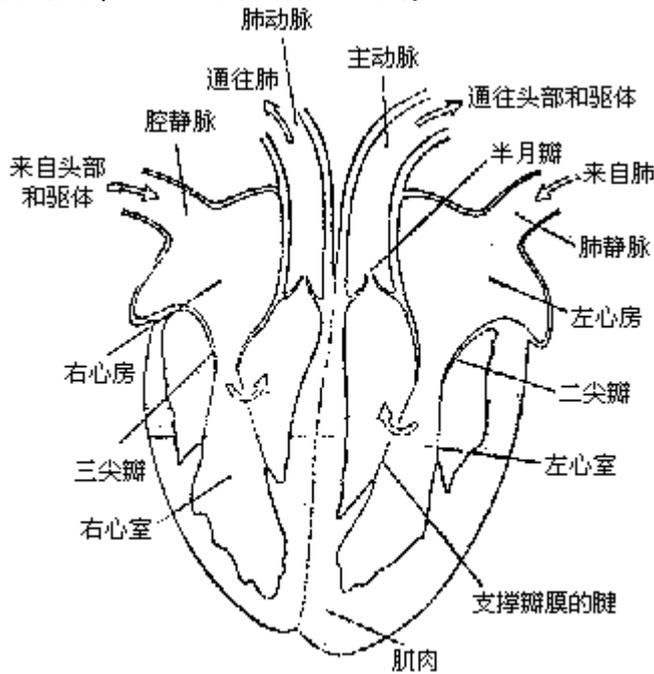


图 72.4

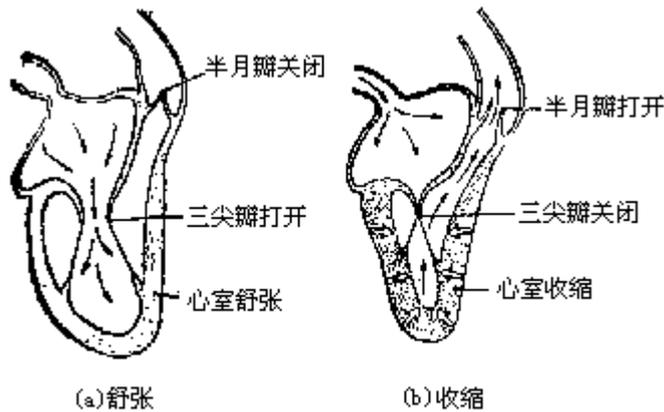


图 72.5

研究图 72.4 可以看到心脏有四个腔，上部薄壁腔是心房，每一个心房与下部的厚壁腔心室是相通的。

血液从静脉进入心房，肺静脉把含氧的血液从肺带入左心房；腔静脉把脱氧血从身体组织带入右心房。每一个心房的血液流入其相应的心室，心室再将血液压入动脉，从左心室将含氧血运输到身体各处去的动脉是主动脉，肺动脉把脱氧血从右心室运输到肺。

在压出血液时，心房和心室壁的肌肉收缩和舒张（图 72.5）。心房壁先收缩促使血液进入左右心室，然后心室收缩把血液压入动脉。两组瓣膜防止血液倒流。当心室收缩时，血液压力使二尖瓣和三尖瓣关闭，这样可防止血液倒流回心房。当心室舒张时，动脉内的血压使半月瓣关闭从而防止血液回流回心室。瓣膜的工作方式如图 72.6 所示。心房和心室间的瓣膜有一根像细绳样的腱以阻止瓣膜从里面翻出。

心脏一分钟大约收缩和舒张 60 到 80 次。当运动时，心率增加到超过 100 次，这样就增加了氧和养料对组织的供应。

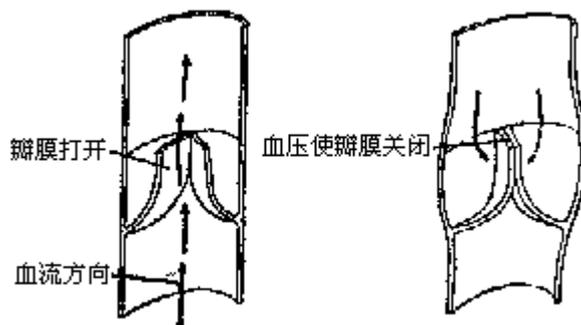


图 72.6

血液循环

由于心脏的推动，血液在全身血管内流动。血液从动脉离开心脏并从静脉回来。图 72.7 以图示方式表示循环途径。在一个完整的循环中血液两次通过心脏。一次是通过体循环而另一次是通过肺循环。一个红细胞平均以 45 秒钟完成一次体循环。脉动

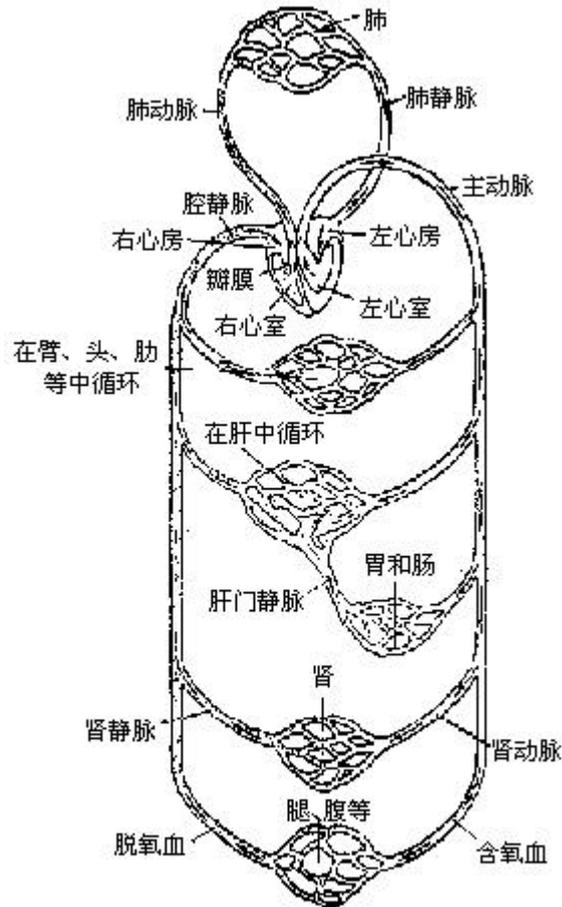


图 72.7

动脉血管管径较粗（图 72.8 a），它把血液从心脏输送到人体的肢体和器官。动脉管是厚壁的，肌性的和富有弹性，它必须承受由于心脏搏动所引起的高压脉冲。动脉分支成较小的血管称为小动脉。小动脉本身又反复分支直到形成一个在每个活组织细胞之间穿透的密集的极细的血管网。这些最后的分支称为毛细血管。

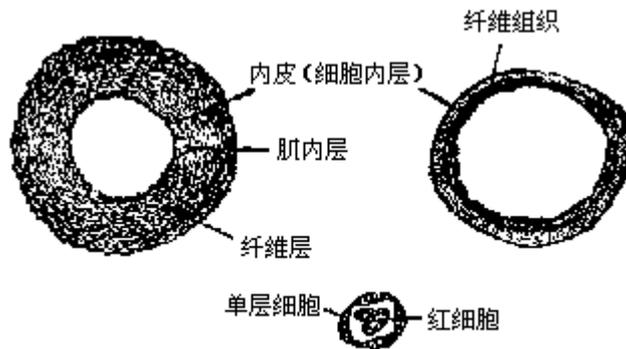


图 72.8

毛细血管

毛细血管非常小，其管壁通常只有一个细胞的厚度(图 72.8c 和 72.9)。尽管血液被限制在毛细管内流动，但毛细管壁是可渗透的，可以让水和溶解的物质进出。血细胞和血液蛋白不能通过毛细管壁。从毛细血管渗出的液体称为组织液，它为身体细胞提供所需要的已溶解的养料及盐分。氧从毛细血管里扩散进入身体细胞，由这些细胞产生的二氧化碳又扩散入毛细血管。一些组织液被吸收返回毛细血管，而另一些则进入淋巴系统(图 72.10)。

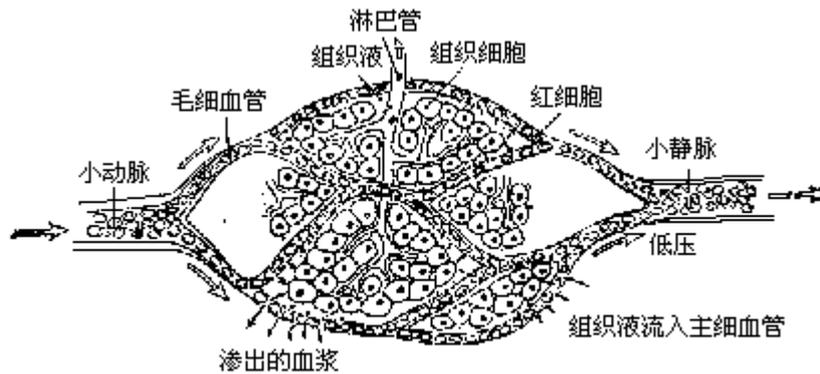


图 72.9

毛细血管是如此之密集，以致所有活的细胞都能得到氧和养料的供应。

最后，毛细血管联合成较大的血管——小静脉，小静脉汇集形成静脉，血液从静脉回到心脏。

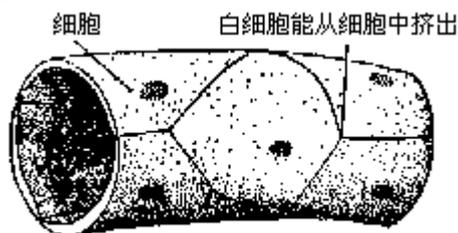


图 72.10

静脉

静脉把血液从组织送回到心脏。静脉内血压平稳，且较动脉内的血压低，静脉较动脉粗，管壁比动脉薄（图 72.8b），静脉内也有防止血液从心脏倒流的瓣膜（图 72.6）。

大多数静脉血含有较少的氧和养料，但含较多的含氮废物和二氧化碳；而大多数动脉血则含有较高浓度的氧和溶解的养料。

淋巴管

组织液不全部回到毛细血管，其中有一些进入到有一盲端的薄壁管，这种管称为淋巴管（图 72.9）。这些淋巴管与从小肠乳糜管来的淋巴管联接并使其内容物排空，进入心脏附近的循环系统。淋巴管内的液体与血浆及组织液类似，称为淋巴液。

血液的功能

身体所有的活组织都浸在从毛细血管逸出的液体中，这种组织液为细胞提供养料和氧，同时除去废物，围绕身体的血液循环再补充这些组织液，所以血液循环是起输送系统的作用。（a）从肺输送氧到组织肺里氧的浓度高，所以氧与红细胞的血红蛋白结合形成氧合血红蛋白，当这种含氧的血液到达氧正被用尽的组织时，氧合血红蛋白就分解并放出其中的氧给组织。含氧血液呈鲜红色，脱氧血液呈暗红色。（b）从组织输送二氧化碳到肺血液从呼吸细胞里摄取二氧化碳并把它运送到肺，在肺里，二氧化碳从血液中逸出并通过呼吸排出。（c）从肠输送已消化的食物到组织溶解的消化产物进入小肠绒毛内的毛细血管，这些消化产物由血浆在溶液中运送通过肝脏后进入体循环。例如，葡萄糖和氨基酸从毛细血管渗出进入身体细胞，葡萄糖在肌肉内被氧化，可为肌肉收缩提供能量；氨基酸将构成新的蛋白质和制造新细胞及组织。

（d）从肝脏输送尿素到肾脏氨基酸在肝脏内分解时产生一种称为尿素的含氮废物。尿素在血液中被输送到全身，当它到达肾脏时，肾脏将尿素从血液中取出并以尿的形式排出体外。

（e）输送激素激素是由体内某些腺体分泌的化学物质。血液运送从腺体里分泌的化学物质到器官，这些化学物质影响器官的活动速度。例如，在胰脏里分泌的胰岛素被血液运送到肝脏，胰岛素能控制肝脏里葡萄糖的贮存速度。

（f）输送热量肢体和头部向周围空气散发热量，而肌肉收缩和肝内的化学反应产生热量，血液把热量从体温较高处运送到较低处，这样可使身体各部位保持均匀的温度。皮肤、血液系统的血管舒张或收缩也有助于调节体温。

习题

1. 白细胞与红细胞它们在 (a) 结构上, (b) 功能上, 有哪些不同?
2. 你认为血红蛋白在身体什么部位与氧结合形成氧合血红蛋白? 你认为氧合血红蛋白在身体什么部位分解成氧和血红蛋白?
3. 为什么说“动脉运送含氧血, 静脉运送脱氧血”这一说法是否正确?
4. 氧合血红蛋白是不稳定化合物即容易分解, 这一点很重要, 为什么?
5. 为什么你认为 (a) 心室壁比心房壁强健, (b) 左心室的肌肉比右心室肌肉厚? (参考图 72.7)。
6. 哪一条重要的静脉没有在图 72.3 表示出来?
7. 为什么由于疾病使心脏瓣膜受损的人不能参加剧烈运动?
8. 毛细血管在 (a) 结构上, (b) 功能上, 与其它血管有何不同?
9. 血液在通过 (i) 肾, (ii) 肺, (iii) 活动的肌肉时, (a) 得到, (b) 失去什么物质? 记住在这些器官里都发生呼吸作用。
10. 详细叙述从 (a) 葡萄糖分子在肠内吸收 (b) 氧分子在肺内的吸收到二者会聚于腿部肌肉细胞的过程。

§ 73 呼吸

身体进行的各种生理过程, 例如运动, 生长、繁殖, 都需要能量。对于动物来说, 只能从吃的食物中获得能量。能量必须先从食物中的化学物质释放出来, 才能被体细胞利用。该过程包括氧气的利用和二氧化碳的产生。

人和其它动物可通过肺从空气中获得氧气。在肺部, 氧气溶解于血, 然后经循环系统分布到全身各组织。

肺的结构

肺位于胸腔内 (见图 73.5)。它呈海绵状样, 借助于胸廓运动扩

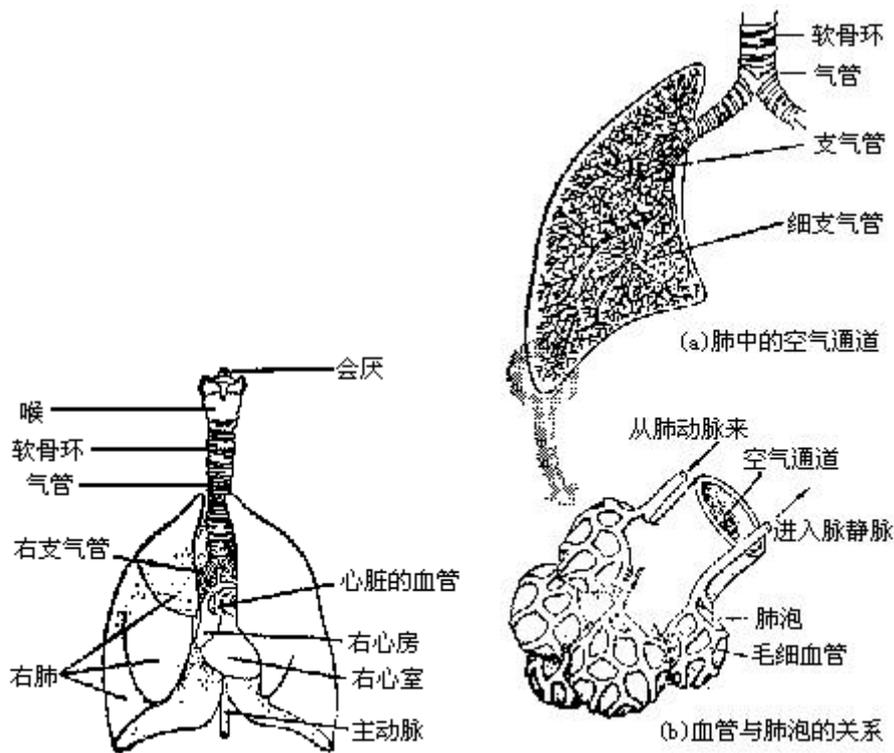


图 73.1

图 73.2

张和收缩。从而使空气吸入和呼出。肺通过气管与口腔后部相连。(图 73.1) 气管分成左、右两支进入肺，然后分为更小的分支，称为支气管，最后毛细支气管终止于一小的，薄壁的，袋状的囊泡，即肺泡(见图 73.2)。

吸气时，肺内压力降低，软骨环维持气管和支气管的通畅。吞咽时，气管上端的会厌能防止食物进入气道。

肺泡壁为一薄的，有弹性的单细胞层，即上皮细胞构成。上皮细胞下有密集的毛细血管网(见图 73.2(b))，它把从右心室经肺动脉泵出来的静脉血带到肺部(见图 72.4)。在人体内，肺的总吸收面积约为 90 平方米，有 3 亿 5 千万个肺泡。

肺通气

空气进出肺的过程称为肺通气，指在肺里进行氧气更新，并排出剩余的二氧化碳。肺本身并没有肌组织，而是通过肋骨和隔肌的运动来扩张和收缩的。

膈肌是一扁平的肌组织，它将胸腔与腹腔分开(图 71.1)。当膈松弛时，它微微向上隆起。位于相邻两肋骨间的肋间肌牵引肋骨运动

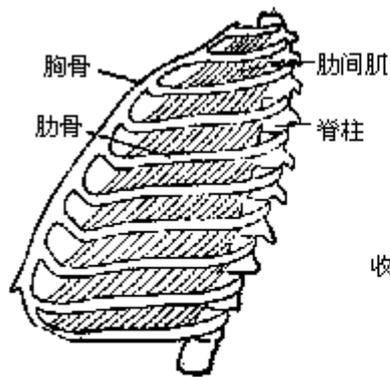


图 73.3

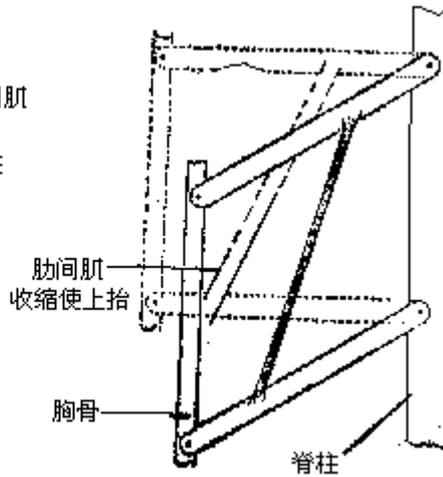


图 73.4

(图 73.3)。图 73.4 表示了肋间肌的收缩是如何使肋骨向上提起的。

吸气

a. 膈肌收缩，并下降。

b. 肋间肌收缩，并使肋骨上抬（图 73.6 (a)）。这两种运动使胸腔容积变大，这样，肺被扩张，气体经鼻和气管吸进来。

呼气

a. 膈肌舒张，恢复到原来的穹窿形（见图 73.5 (b)）。

b. 肋间肌舒张，肋骨由于它本身的重量而向下（见图 73.6 (b)）。肺弹性回缩到原来的状态，肺压增大，气体排出体外。

胸廓内壁和肺表面覆盖的一层组织称为胸膜（见图 73.5 (a)）。该膜在肺和胸廓内壁间分泌一薄层胸膜液。呼吸时，胸膜液润滑肺，减少肺和胸壁间的摩擦。

气体交换

甚至在肺处于松弛状态时，不管你怎样用力呼气，肺中仍含有 1 升半的空气不能排出。结果，肺通气时肺泡内的空气没有进行气体交

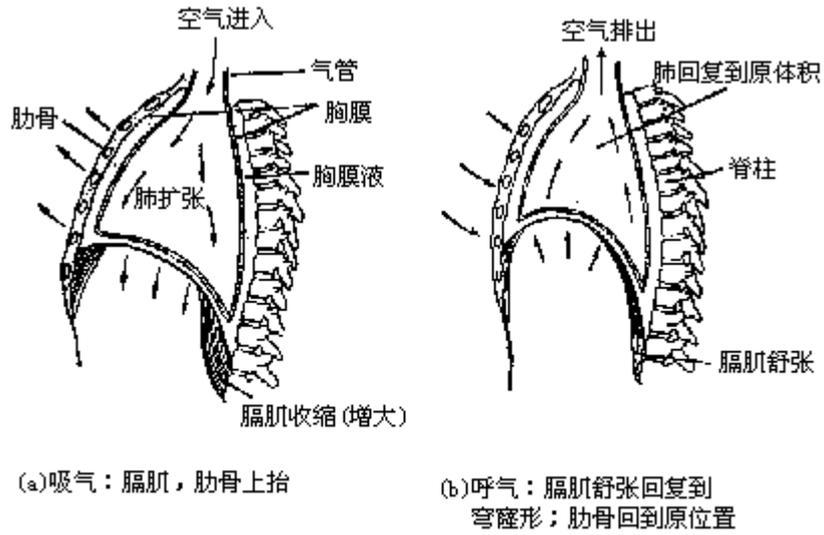


图 73.5

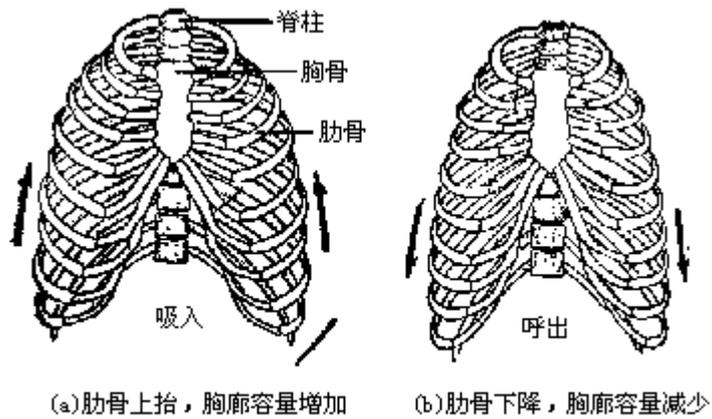


图 73.6

换，而氧气必须通过缓慢扩散进入毛细血管。图 73.7 显示氧气是怎样进入红细胞以及二氧化碳又是怎样从血中逸出来的。这些载着丰富氧气来自肺泡的血液毛细血管汇集拢来，形成肺静脉（图 72.7）回到左心

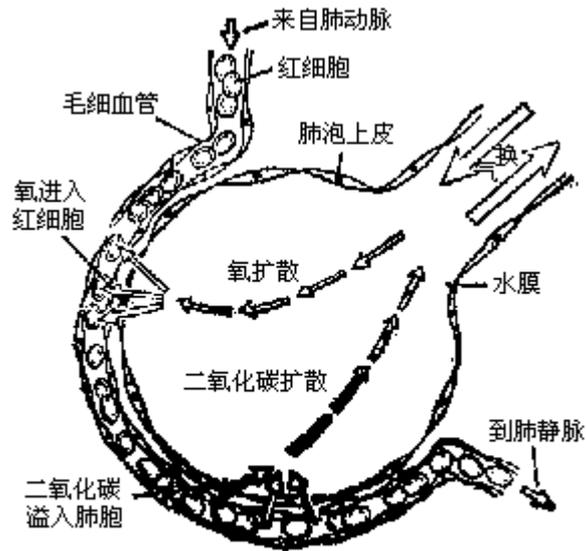


图 73.7

房。这些血液从左心房又进入左心室，进而被带到全身各部分，以供给各组织所需要的氧气。

在肺泡中气体交换的过程并不是空气中的全部氧气都进行了交换。吸入的空气中大约含 21% 的氧气，而呼出的空气中仍含有 17% 的氧气。

习题

1. 试述呼吸、气体交换和肺通气之间的主要区别。并说明一个过程与其它过程的关系如何？

2. 叙述从氧气吸入到部分含氧血液中的氧气进入心脏的过程中，作用于氧分子的力和氧分子的途径。

3. 小肠的功能之一是吸收食物，肺的功能之一是吸收氧气。指出这两种结构中，有助于加速吸收过程进行的基本类似点。

4. 按正确的次序把下面的过程排列起来：肺扩张、肋骨上抬、空气进入肺。肋间肌收缩、胸廓扩张。

5. 图 73.7 表示氧气和二氧化碳经肺泡的扩散过程。是什么原因引起它们向相反方向扩散。

6. 剧烈运动时，呼吸中的哪两种变化有助于增加对血液的供氧量？如果欲使额外的氧气能够迅速达到肌肉，那么必须发生什么其它变化？

7. 在“口对口”人工呼吸时，从抢救者肺中呼出的空气进入呼吸停止的人的肺内，这种“使用过”了的空气为什么有助于患者恢复？

§ 74 排泄

为了维持生命，活体细胞内进行着相当多的化学反应。有些反应生成的

分解产物是有毒的，必须从体内排出。例如细胞呼吸时，葡萄糖分解产生的二氧化碳，就通过血液的运输由肺排出。正如 § 71 解释的那样。过剩的氨基酸脱去氨基后生成糖原和尿素，尿素是有毒的，它必须通过血液从组织中移出，并经过肾脏排出体外。

进食过程中，可能摄入超过身体需要的水分和盐，因此这些过量的物质必须以同蓄积一样快的速度排出体外。

把体内化学反应产生的废物和饮食中摄入的过量的水和盐分排出体外的过程称为排泄。这个过程还包括排出由消化道摄入的和由血液吸收的药物和其它外来物质。排泄这个术语一般不指排出大便。这是因为大便中的大多数物质，例如未消化的纤维素，均没有参加体内组织的反应。

排泄器官

供给组织氧的肺也是排泄器官。因为它要排出过剩的二氧化碳。同时，肺还要丢失大量水蒸汽。但是此过程不调节体内的水含量。

肾脏排泄尿素和其它含氮物质，例如从血液中来的尿酸。它也排出过量的水、盐分、激素和药物。

肾 脏

结构

两个肾脏呈近似椭圆形的实体结构。呈红褐色，被半透明膜包裹，附着在腹腔后面（见图 74.1）。肾动脉从主动脉分出，把含氧血带到肾脏，肾静脉把静脉血带到腔静脉（见图 72.7）。从每侧肾脏伸出来

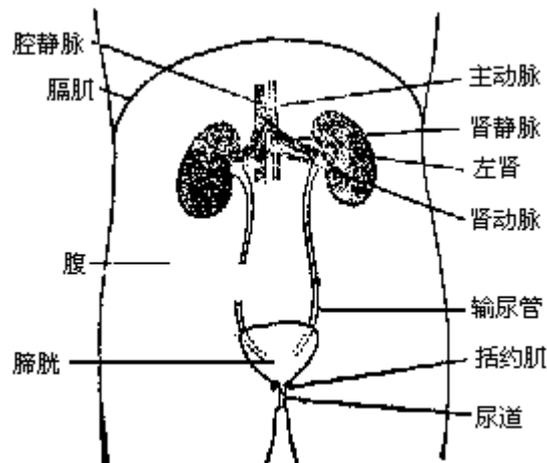


图 74.1

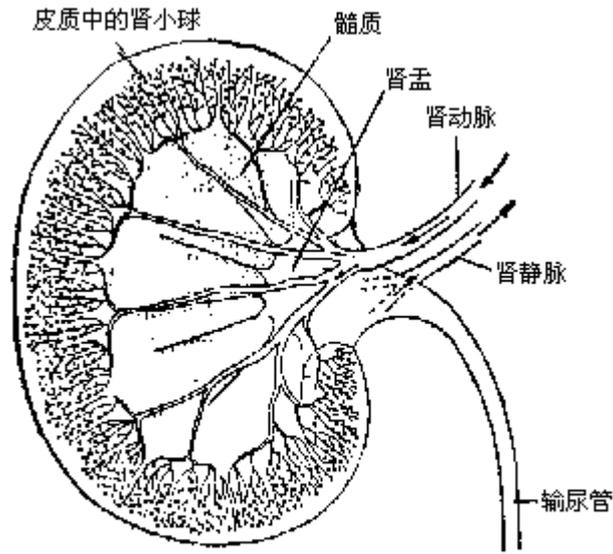


图 74.2

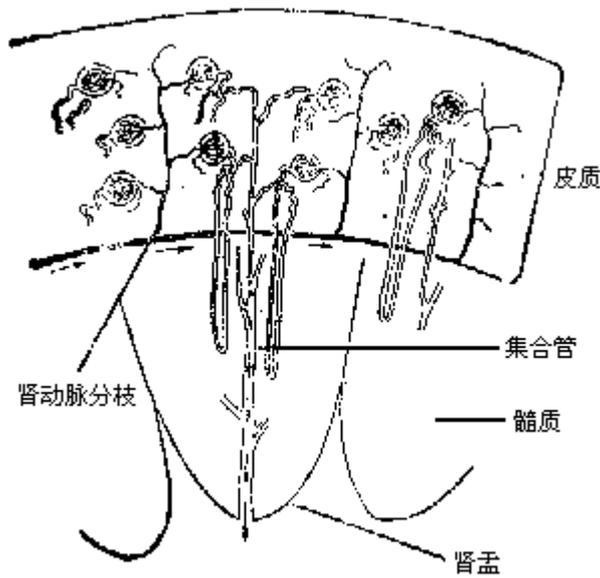


图 74.3

的小管就是输尿管，它和位于下腹部的膀胱的基底部相连。

肾组织是由许多毛细血管和叫做肾小管的微细小管组成的，并由结缔组织连接起来。假如把肾脏沿长轴切开（冠状切面），颜色较深的外层为肾皮质，颜色较浅的内层为髓质。输尿管离开肾脏的地方叫肾盂（图 74.2）。

肾动脉再继续分成许多小动脉和毛细血管（图 74.3），它们大多位于肾皮质内。每一小动脉通入一个肾小球，肾小球是一反复分枝屈曲盘绕的毛细血管，并形成的小血管球（图 74.4）。肾小球几乎完全被一杯形器官，包曼氏囊所包绕。该囊又直接与盘绕的肾小管相通。肾小管经过一系列的盘

绕和环行，和其它小管汇合，通过髓质，开口于肾盂。

功能

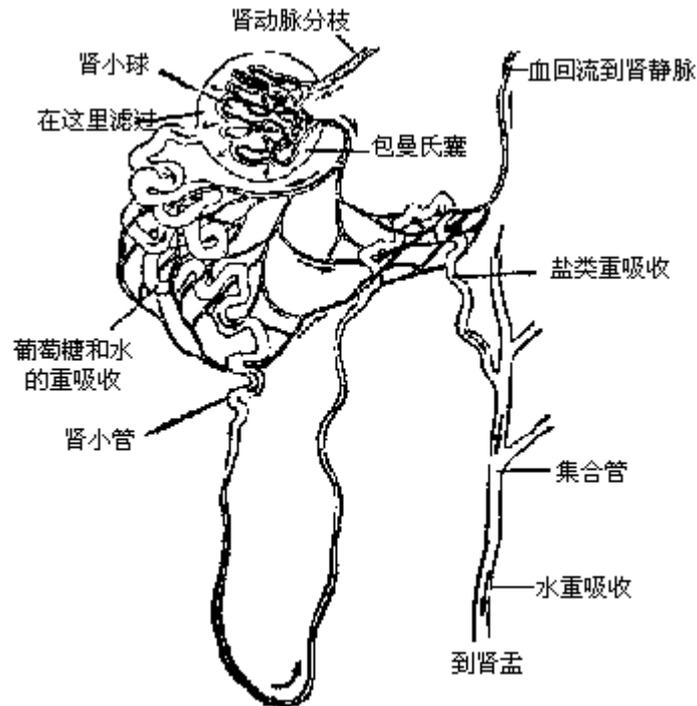


图 74.4

肾小球内的血压使血液通过毛细血管壁渗出。但是血细胞和血浆蛋白不能经毛细血管滤出，所以滤出液是没有蛋白的血清。这种液体主要是由水，可溶性盐、葡萄糖、氨基酸、尿素和尿酸所组成。从肾小球来的滤出液，由包曼氏囊收集，下移到肾小管（见图 74.3 和 74.4）。此后，包绕着肾小管的毛细血管又把身体所需要的物质重新吸收入血中。首先全部氨基酸、葡萄糖伴随部分水被重新吸收。然后，为了维持血液中盐分的正常浓度，部分盐类又重新被吸收。不需要的过量盐分加上剩余的尿素和尿酸通过肾小管排到肾盂。来此肾盂的液体就称为尿，它经过输尿管流入膀胱。

平均来说，每个人的膀胱可以扩张到容纳 0.4 升的尿。当膀胱基底部的括约肌放松，膀胱壁上的肌肉收缩时，把尿排到尿道。

肾脏也控制血中的含水量。如果血液太稀，则被肾小管重吸收的水份较少，以使较多的水进入膀胱。如果血液较浓稠，则吸收较多的水返回血中，以使较少的水流到膀胱。这个使血液能够保持恒定浓度的调节过程称为渗透调节。

习题

1. 水分是通过哪些途径从体内散失的？你认为哪些途径可称为排泄？并论证你的回答。

2. 尿的成份和血浆成分有什么区别？

3. 下列过程是在泌尿系统的什么部位发生的（尽可能准确回答）？滤过、选择性重吸收、尿液的贮存、尿液的运输、渗透调节。

4. 炎热季节，大量出汗后，排尿的次数减少，颜色变深。寒冷季节，出汗减少，排尿的次数增多，颜色发白。根据你现有的有关肾脏功能的知识，解释这些现象。

5. 画出尿素分子从肝脏产生，到它经尿液排出体外的过程。

§ 75 体温调节

热平衡

热量的获得

(a) 体内在细胞内进行的大多数化学反应都会释放热量，活动肌肉的收缩肌细胞和多数化学变化发生地肝细胞，是主要的热产生器。任何一种肌肉活动或肝内化学反应的增加都将导致体内产生更多的热量。

(b) 体外身体可以直接吸收来自太阳的热量。热的食物和饮料也是进一步的热源。

热量的散失

体热通过传导、对流、辐射等方式从裸露的体表面散失到空气中。皮肤的持续蒸发也是热量散失的一个原因。冷空气进入肺、冷的食物、冷的饮料进入胃，都会吸收体内的热量。

鸟类和哺乳类是“温血动物”。这就是说，在大多数情况下，它们的体温比周围环境的温度高。这些动物身上都覆盖着羽毛或毛皮，在身体周围形成一层不流动的空气以降低热的对流和传导。人们穿上衣服也是为了达到同样的效果。

在很大程度上，对于这些动物来说，体热的散失是与热量的吸收和产生相平衡的。但是外界温度变化或活动强度改变都会引起体温暂时的不平衡，人类主要是通过皮肤来进行调节的。

皮肤的体温调节

皮肤的结构

皮肤上参与控制体温的结构有小血管，汗腺，对有毛皮的动物来说，还有毛发（图 75.1）。

表皮附近的小动脉和毛细血管可以通过增加或减少它们的管径，从而增加或降低通过皮肤的血流量。血管管径增大称为血管舒张，管径缩小称为血管收缩。

当产热和散热平衡时，汗腺是不活动的。只要体温开始上升，位于真皮

层的腺体盘绕的管部分吸取毛细血管中的水分和盐分，通过汗腺导管和孔把汗液排到皮肤表面。

在寒冷季节，有毛皮的哺乳动物的毛由于立毛肌收缩，可以更加竖立。这样毛皮可保住更厚的气层，有助于减小体热的散失。然而，人类，立毛肌收缩，仅产生“鸡皮疙瘩”。

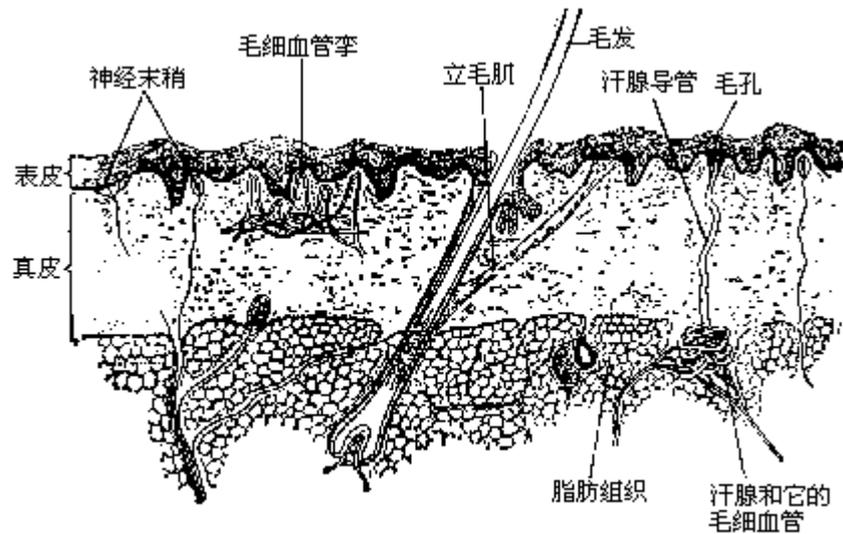


图 75.1

过热

假如身体获得和产生的热量比散失的快，就会发生下述过程：

(a) 血管舒张皮肤表面的血管扩张使更多温暖的血流到皮肤表面而散失更多的热量（图 75.2 (a)）。

(b) 出汗汗腺把汗液排到皮肤表面。当这层液体蒸发时，它从体内带走蒸发潜热，使身体变凉。

过冷

假如身体开始散热比产热快，就会发生下述变化：(a) 停止出汗这可以减少由于蒸发所引起的热量散失。(b) 血管收缩皮肤血管收缩，减少皮肤附近的温暖血液的流量（图 75.2 (b)）。(c) 寒颤四肢肌肉不可抑制的迅速收缩释放热量，出现寒颤，这是由于肌肉化学反应的结果。

体温的升高，会加速体内几乎所有化学反应的速度，因而“温血”动物有这样一个长处，即在一个有生命体系中，细胞内所发生的

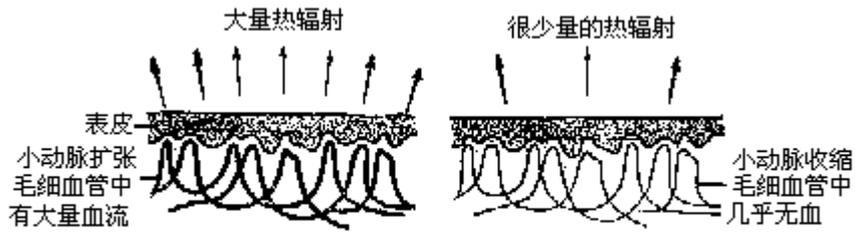


图 75.2

反应都是尽可能快地进行。机体不依赖外界环境的变化，而通过体温调节就能维持体温的相对恒定。寒冷季节，蜥蜴变冷了，不大活动了。但是哺乳动物的体温并无改变，所以体内的化学反应仍以平时一样的速度进行着。

习题

1. 列出一热量平衡表，列出人体能够获得和丧失热量的所有可能途径。
2. (a) 哺乳动物皮肤的哪种结构特点有助于减少体热的散失？
(b) 为了减少体热的散失，在人体的皮肤上会发生什么生理变化？
3. 什么是血管舒张？它如何有利于降低体温？
4. 你认为为什么在湿热的情况下比在干热的情况下，使身体保持凉爽更困难些？
5. 为了减少体热散失，人会进行哪些有意识的活动？

§ 76 有性生殖

有性生殖包括两个细胞的结合或融合。一个生殖细胞来自雄性动物，另一个则来自雌性动物。雄性生殖细胞叫精子，雌性生殖细胞称为卵子（图 76.1）。不管是雄性或雌性生殖细胞，都称为配子。

受精是指这两个细胞融合成一个能生长发育为一个新个体的合体细胞。

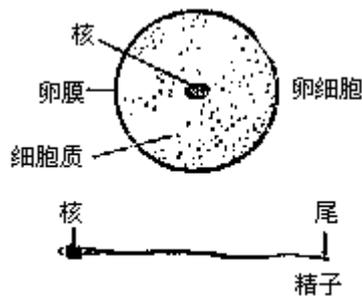


图 76.1 哺乳动物的精子和卵子 (未按比例)

生殖器官

雌性生殖器官

雌性生殖器官(图 76.2)指卵巢,它是两个苍白的、卵圆形的实体,有 3 至 4 厘米长。卵巢位于腹的下半部,子宫两侧。紧靠近卵巢的是宽大的喇叭形的输卵管的开口,当卵子从卵巢排出后便进入该管口。

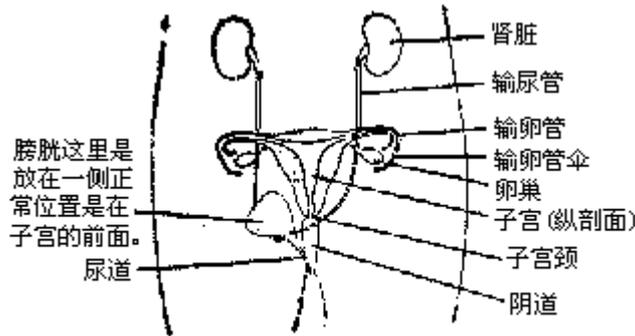


图 76.2

输卵管是一狭窄的管道,它开口于一宽大的管道,叫做子宫。子宫位于下腹部。当未怀孕时,子宫只有 80 毫米长。它通过一肌性管道即阴道与外界相通。子宫颈是一环形肌,与子宫下端相连,并与阴道连接。正常情况下,这里仅有一个很小的孔道使这两个器官相通。来自膀胱的尿道开口于阴道前方的外阴(见图 76.10)。

雄性生殖器官

雄性生殖器官(图 76.3)是男性腹腔外的睾丸,它位于一个叫做阴囊的特殊囊内。这里的温度低于身体的其余部分,这对产生精子有利。睾丸是由一团曲细精管组成的。这些小管汇合成与附睾相连的导管,附睾是一螺旋形的管道,位于每个睾丸的外侧,大约 6 米长。而附睾与另一肌性管道输精管连接。这两条输精管,各自从一侧睾丸引出,开口于刚离开膀胱的尿道顶部。每侧的输精管,在穿入前列腺前,分出一短的,弯曲管道,叫贮精囊,尿道在此被前列腺包绕。在不同时间,尿道既排出尿液又排出精液。尿道延长进入阴茎。阴茎具有丰富小血窦的结缔组织组成。

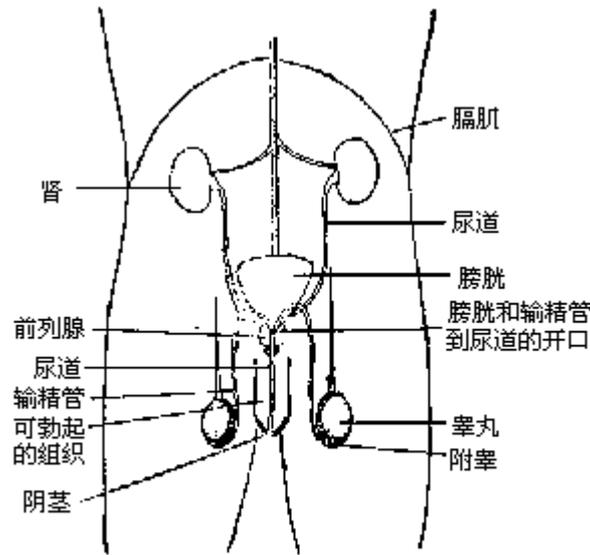


图 76.3

配子的生成

排卵

排卵是指从卵巢释放卵子的过程。未成熟的卵细胞从出生起就存在于卵巢内。在人的一生中不再形成，但在 11~16 岁（青春期）期间，卵细胞开始成熟，大约每隔 4 周释放一个。在成熟过程中，包绕卵子的细胞迅速分裂，最后形成一充满液体的囊。此囊称为卵泡。当卵泡发育成熟，卵泡向卵巢表面凸起象一个小水泡（图 76.4）。最后，卵泡破裂，卵子带着其周围的一些细胞被释放到输卵管漏斗中去。在管壁纤毛的作用下，卵子向下被运送到输卵管。假如卵子在输卵管内遇到精子，就可能同其中一个精子结合而受精。

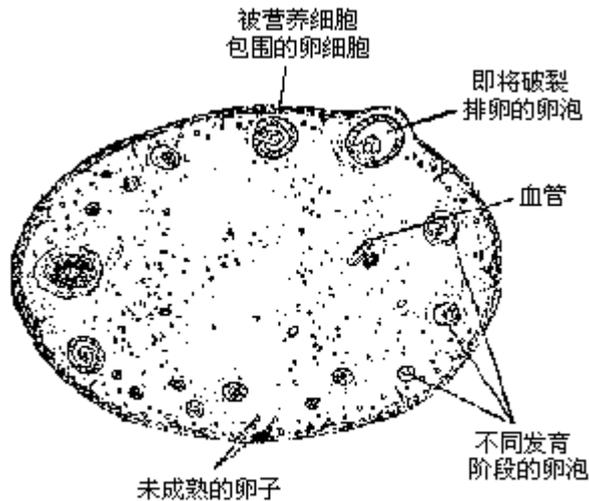


图 76.4 通过卵巢的剖面（在低倍显微镜下所见）

精子的产生

睾丸产生精子，贮存在附睾中。性交时，附睾和输精管收缩，迫使精子通过尿道排出。前列腺和精囊腺的分泌液和精子混合，这些含有精子的液体称为精液。阴茎把精子射出的过程称为射精。

性交和受精

性交

性刺激的结果，男子的阴茎变得勃起。这是由于血液进入尿道周围的勃起组织。女性阴道内壁产生一些粘液，使阴茎能够进入。由性交产生的感觉刺激引起男性反射性动作以致将精液射到阴道顶部。

受精

精子经过子宫颈和子宫而进入输卵管。这种运动部分是靠精子尾部的摆动来完成的，但精子是怎样通过子宫和输卵管现在仍不清楚。假如精子和一个卵子在输卵管中相遇，这么多精子中的一个可能与卵子相撞，并穿破它的表面。精子头部的雄性原核进入卵子的细胞质，并和雌性原核融合。这一瞬间就是受精，图 76.5 详细表示了该过程。虽然一次射精可能含有两亿或三亿个精子，然而实际上只有一个精子同卵子受精。其它精子的功能尚不清楚，但似乎大多数精子不能从阴道进入输卵管。

一般认为释放出来的卵子存活 24 小时，而精子或许可以在 2~3 天内同卵受精。每个月仅有 3 到 4 天这样短的时间，才有可能发生受精。

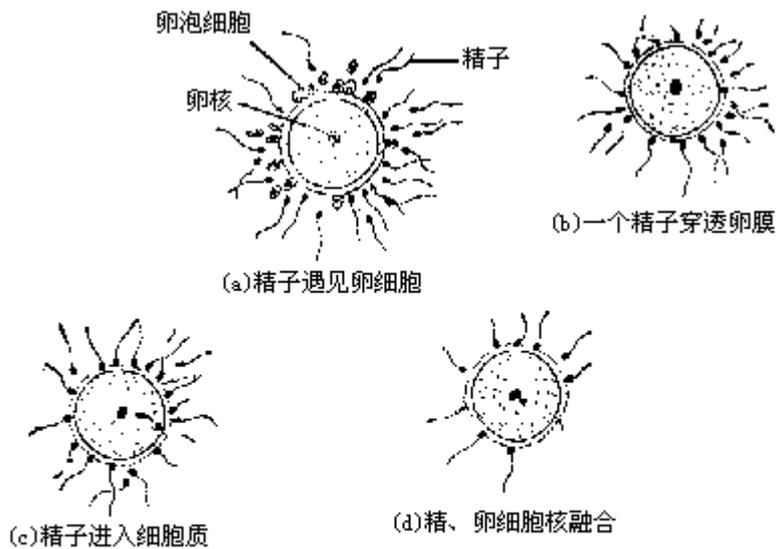


图 76.5 人卵的受精(图示为受精的设想，但进行的过程不确切了解)

妊娠和发育

受精卵首先分裂成两个细胞，每一个细胞又再次分裂，产生四个细胞。这些细胞按这种方式继续分裂，形成一个实心的细胞团，此时，向下离开输卵管，进入子宫。细胞团植入子宫内壁，在那里继续生长并产生新细胞，这样开始形成胚胎（图 76.6 (a)）。随着胚胎长大，为了容纳它，子宫也随之长大。在子宫里，胚胎包裹在一个充满液体的囊内，这囊称为羊膜囊或水囊，它保护胚胎免于损伤并防止不均衡的压力损害它(图 76.6 (b)和 76.7)。为了维护胚胎存活和生长，所需的氧气和养料通过胎盘从母血中获得。

胎盘

细胞团进入子宫后不久，其中有些细胞没有形成胚胎组织，而是发育成一盘状结构，称为胎盘。胎盘紧密附着于子宫内壁，并通过一

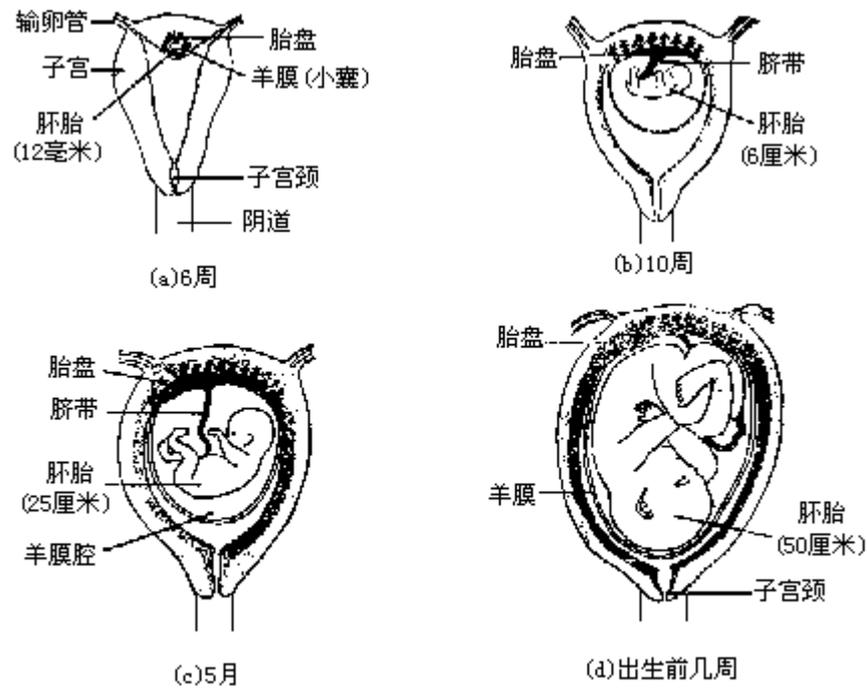


图 76.6 在子宫内的生长和发育 (未按尺寸画出)

称为脐带的管子与胚胎相通 (图 76.6 (c))。几周后, 胚胎的心脏开始发生, 并且血液在胚胎及其组织内循环着。胎盘的血管和子宫的血管密切接触, 这样, 氧气, 葡萄糖, 氨基酸和盐类能通过母体的血液进入胚胎 (图 76.8)。血液通过脐静脉从胎盘流到胚胎, 血里含有丰富的供胚胎组织生长发育所需的氧气和养料。同样, 胚胎血中的二氧化碳和尿素通过胎盘的血管释出, 再由子宫壁内血管中的母血带走 (图 76.9)。胚胎按同样的方式除去排泄物。母血和胎血之间, 彼此没有直接混合。物质交换是通过薄薄的血管壁进行的。这样, 母亲的血压不会损害胚胎娇嫩的血管, 并且对于胎盘来说, 是有可能选择一些物质进入胚胎血中的。

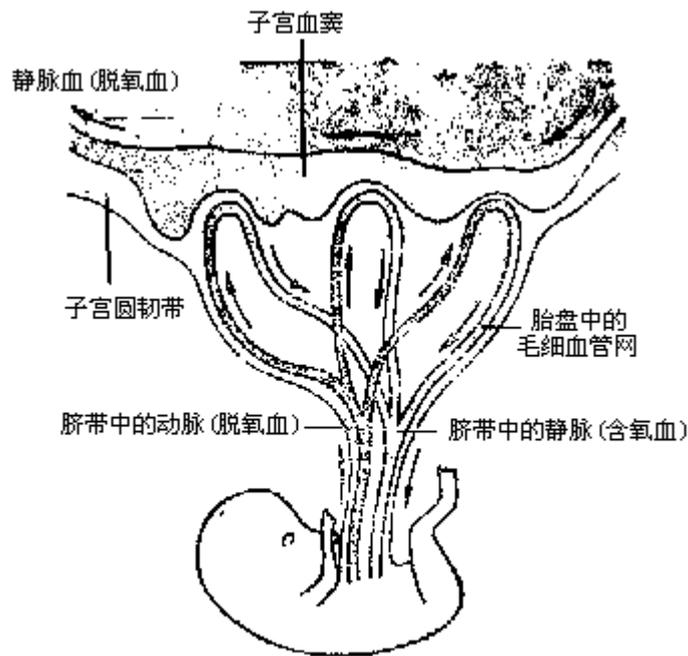


图 76.8

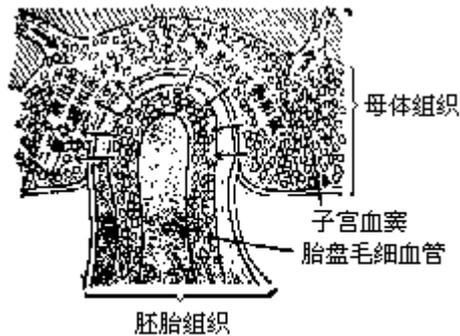


图 76.9

分娩

人类从受精到分娩大约需要 9 个月的时间。分娩前几周，胚胎在子宫内转为头向下，它的头恰好在子宫颈上方见图 76.6 (d) 和图 76.10。当分娩开始时，子宫开始有规律地收缩。这就是“分娩”发作了。这种节律性收缩越来越强，越来越频繁。宫颈口逐渐开大到允许胎儿头部通过。腹肌收缩迫使子宫收缩。在分娩的某一阶段，水囊破裂，液体通过阴道流出。最后子宫和腹肌的收缩驱使胎儿头部首先通过扩张的宫颈口和阴道。此时，应该将连接胎儿和胎盘的脐带结扎，截断。然后，胎盘作为独立的“胎衣”，从子宫剥离，并被排出。

新生儿由于感受到了温度的突然下降，从而被刺激作第一次呼吸，并且

往往伴随着啼哭。几天后，附着在婴儿腹部的脐带残端皱缩，脱落，在腹壁留下一个疤痕，称为肚脐。

习题

1. 精子和卵子在 (a) 结构，(b) 产生的数量，(c) 它们的活动性等方面，有何不同？

2. 就精子的产生和射精来说，依次排列下列结构：前列腺，输精管，附睾，尿道，睾丸。

3. 按正确次序列出，在精子与卵子汇合和受精之前，精子所必须通过的女性生殖系统部分。4. 准确地叙述受精时所发生的变化。

5. 为什么妇女每月仅有一个很短的时间，性交才能导致受精？

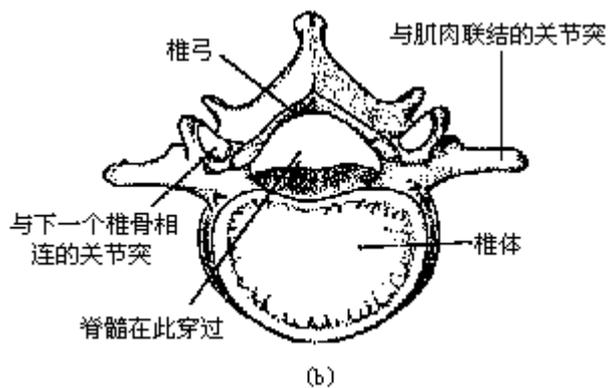
6. 母血经过胎盘时，其成分会发生什么变化？

§ 77 骨骼和运动

骨骼的功能

支持 骨骼可将身体支立在地上并保持它的形状，即便是在运动中当肌肉激烈收缩时也是如此。

保护 脑密封在头颅中而受到保护，以避免损伤。心脏、肺和肝由胸廓保护。而脊髓则位于脊柱内。



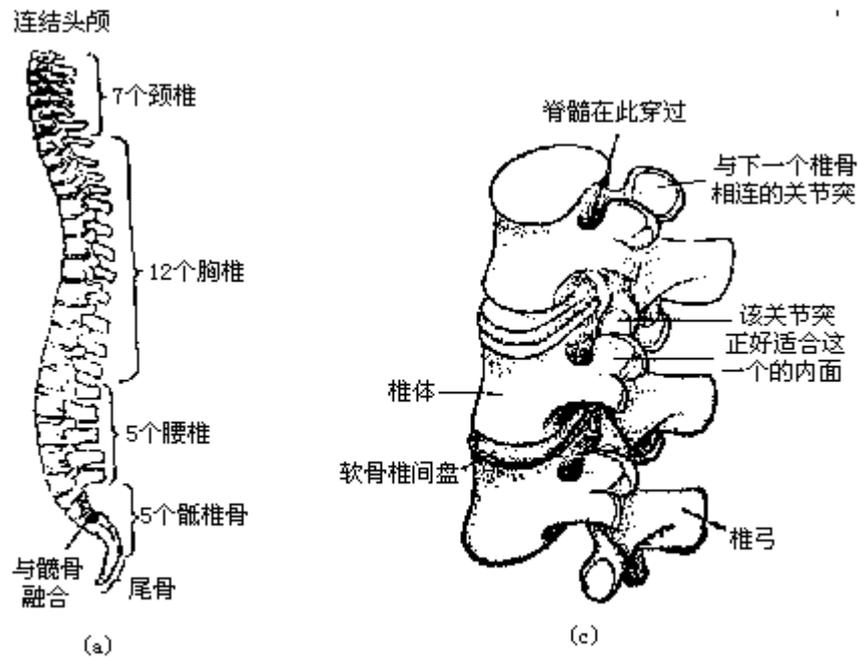


图 77.2

运动许多骨骼起着杠杆的作用。当肌肉牵拉这些骨骼时，它们产生运动，例如在呼吸时肋骨的提升或颌骨的咀嚼动作。肌肉要产生有效的运动，两端就必须附着牢固。而骨骼为肌肉的末端提供了合适的固有效定点。

骨骼的结构

头颅和脊柱形成骨骼的轴，髌骨把腿和脊柱相连，而手臂则用肌肉，通过肩胛骨和锁骨与脊柱相连（图 77.1）。

脊柱（图 77.2（a））是由约 30 个椎骨组成，椎骨之一如图 77.2（b）所示。每一椎骨由坚实的椎体和椎弓所组成。脊髓从中穿过，骨关节突自脊椎突出，用以将脊椎固定在一起，限制它们的活动（见图 77.2（c）），也为肌肉提供附着点，以便脊柱能弯曲或伸直。

在脊柱的不同部位脊椎功能略有不同，因而其结构也有不同。胸椎用以连接肋骨的关节突，而 5 个骶骨则融合在一起形成固定结构以与髌骨相连接。

椎骨之间为椎间盘软骨和结缔组织，可允许椎骨作轻微运动，从而亦使整个脊柱有一定的伸缩性。这些椎间盘亦起冲击减震的作用。

四 肢

手臂

上臂骨为肱骨，它通过一个球窝关节与肩胛骨联结。在肘处它通过滑车关节与下臂骨，即桡骨和尺骨相连（图 77.3）。桡骨和尺骨与一组小腕骨相联结，而腕骨又与五个掌骨和指骨相连。桡骨和尺骨可相互以对方为轴作部分转动，所以手掌得以屈和伸。

腿

在臀部，股骨通过髋关节与髌骨相连，在膝盖，它与胫骨构成滑车关节。腓骨与胫骨平行，但不参与构成膝关节。踝骨、跖骨和趾骨的连接类似于腕骨、掌骨和指骨的连接。

关节

两骨相遇形成关节。它可以是固定关节如像髌骨和骶骨之间的连

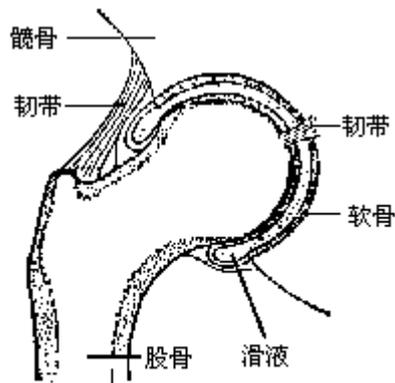


图 77.4 臀部的球窝和杵臼关节纵切面

结，或是活动关节如膝关节。上面提到两种重要类型的活动关节，它们是臀部或肩部的球窝关节或杵臼关节以及肘和膝的滑车关节。球窝或杵臼关节允许向前、后和侧边运动，而滑车关节则只允许在一个平面内运动。

在关节中的骨表面相互摩擦处，有平滑的软骨覆盖以减少其间的摩擦。这类摩擦又可被称之为滑液的一种润滑液进一步减轻（图 77.4）。在骨形成关节的地方，它们被叫做韧带的致密的、纤维带组织所固定。

活动和运动

肌肉和活动

肌肉是成束的长细胞，它们可以收缩而使整个肌肉缩短。上下肢肌肉的末端被拉长成不能伸缩的腱，后者使肌肉附着在骨的每一端上。

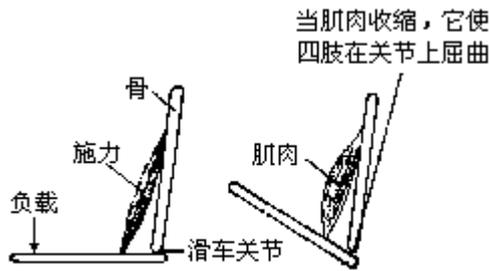


图 77.5

图 77.5 表示附着在四肢上的肌肉是如何使四肢在关节上屈曲。肌肉的一端是附着在骨骼的不活动部分，而另一端是附着在靠近关节的可活动的骨上。这种附着位置可保证肌肉小的收缩就可引起四肢末端产生大的位移。图 77.6 表示二头肌的收缩如何使肘关节处的手臂弯曲（或屈曲）而三头肌的收缩使手臂伸直（或张开）。像这样的四肢肌肉通常是由具有相反功能的肌肉成对排列的，因为（i）肌肉只能收缩或松弛，但它们不能伸长，因此在收缩后，需要三头肌拉回松弛的二头肌使其回到原来的伸展状态。（ii）为使四肢稳定，也需要二组肌肉同时保持紧张状态。

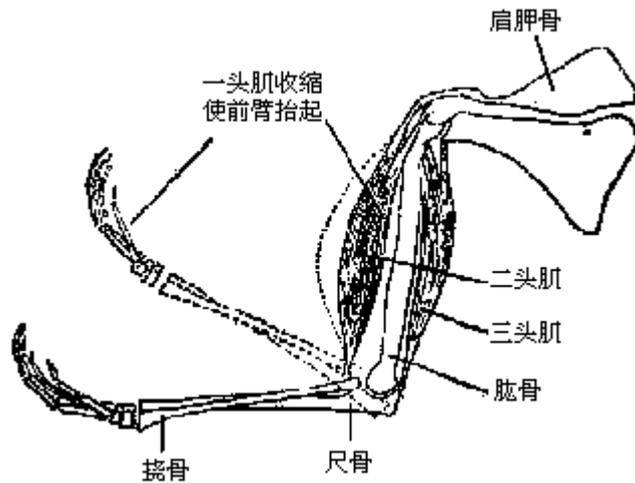


图 77.6

运动

运动是由四肢肌肉有秩序地（或协调的）收缩和松弛来完成的。图 77.7 表示腿上的一些肌肉是如何作用于下肢骨骼以使身体向前移动的。当肌肉 A 收缩，它拉动股骨后移。肌肉 B 的收缩使腿在膝关节处伸直。肌肉 C 收缩，牵动着脚在踝骨处下蹬。由于这三个动作就使力量从髋骨传递到脊柱而使身体向前冲去。

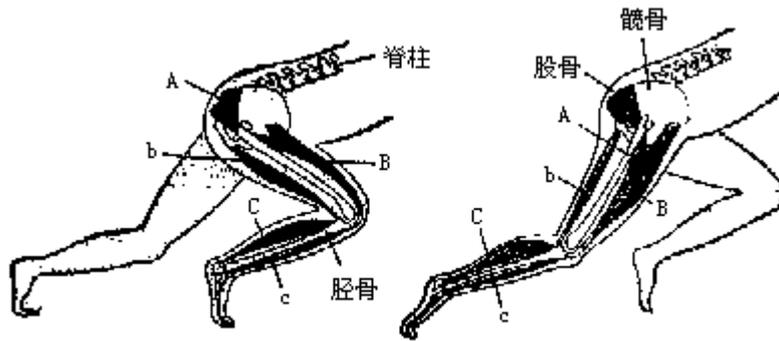


图 77.7

四肢肌肉在接收到神经冲动时，它们就会产生收缩。在神经中枢内脑发出冲动以协调肌肉的收缩，从而产生运动。例如，仅仅是向前抬起一条腿，在使下肢的肌肉收缩弯曲的同时，还必须使与它相对的肌肉松弛。

习题

1. 你认为 (a) 球窝关节 (b) 滑车关节位于身体的何处？给出除这两个关节外的其他一些关节的名称。
2. 韧带和腱有何不同？
3. 在关节上产生有效的活动所需要的结构和动作是什么？
4. 在图 77.7 中 (a) 肌肉 B 的一端附着的不活动的骨叫什么？(b) 哪一肌肉与 B 起相反作用？(c) 哪一肌肉未给出与它起相反作用的配对肌肉？(d) 你预期该未给出的肌肉收缩时产生什么动作？
5. 图 77.2c 中 (322 页) 你设想这些肌肉附着在椎骨的哪一部份可使脊柱向后弯曲？
6. (a) 你的腓肠肌 (b) 你大腿前面的肌肉 (c) 你前臂的肌肉的主要动作是什么？你如不知道答案，可试试让这些肌肉收缩并感觉哪一个腱被牵拉？
7. 通过测量图 77.6，计算二头肌使手提起 3 公斤物体时所需的力。

§ 78 感 觉

感觉可使我们觉察到我们周围环境的变化，在某种程度上亦能觉察到我们自身机体的变化。我们有感觉细胞，能对触动、光线、温度、振动（声音）和化学品起反应。能对这些刺激起反应的结构叫做感受器。一些感受器是均匀分布在皮肤上的，而另一些则集中在一些特定的器官例如眼睛和耳朵中。

皮肤感觉

在皮肤中有着数目极多的感觉神经末梢，它们能够感受到触觉、压觉、

热和冷的刺激，其中有些刺激亦可导致疼痛感觉。这些感觉神经末梢都很小，仅在用显微镜观察皮肤切片时才能够看到，而其中有

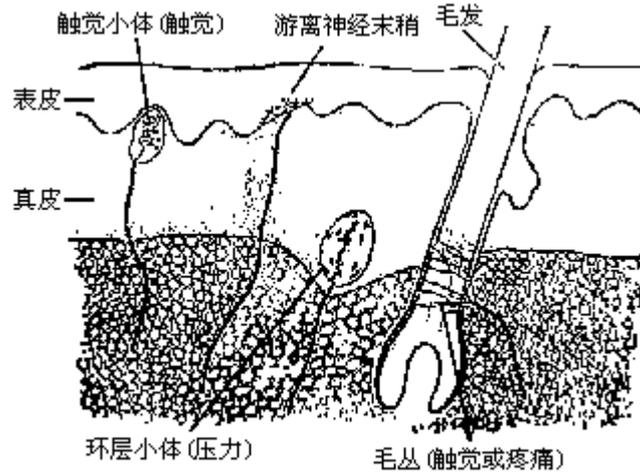


图 78.1

些还未能被确切的鉴别。

当神经末梢被刺激时，它发出神经冲动传到脑中，使我们产生感觉。一般认为，一种类型的神经末梢只对一种刺激起反应，例如，热感受器只有当皮肤温度上升时才发出神经冲动，但它对触觉却不起反应。图 78.1 表示一些皮肤感受器并指出了它们各自对哪些刺激起反应。

味觉和嗅觉

在鼻腔的内壁和舌上有着成组的感觉细胞能对化学品起反应。在舌上，这些成组的细胞叫做味蕾，他们位于舌头的上部表面，大多围

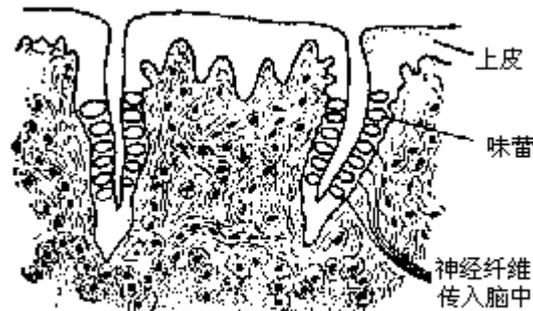


图 78.2

绕着小凸出物的基部沿着沟槽排列（图 78.2）。感受器细胞只能识别四类，即可引起甜、酸、咸和苦味的化学品。一般来说，味觉细胞只对一类或二类味觉特别敏感。物品要产生味觉就必须溶解在包围舌面的那层薄膜水层中。鼻腔中的嗅觉感受器则能识别范围广泛得多的存在于空气中的化学品，它并不要求化学品要溶在水中。我们称之为“嗅觉”（以区别“味觉”）的

这种感觉，即是由于食品的蒸气刺激了位于口腔后方的鼻腔里的感觉细胞之故（图 71.3）。

视 觉

眼

图 78.3 示眼的结构。巩膜是一个致密的外膜，在其前方变成透明而形成角膜。眼球含有透明的液体，它向外对巩膜施加压力以保持眼的球形。在眼球后室内的称之为玻璃体的液体呈冻胶状；而在前室的房水呈水样。晶状体为透明结构，被悬韧带所固定。与照相机和望远

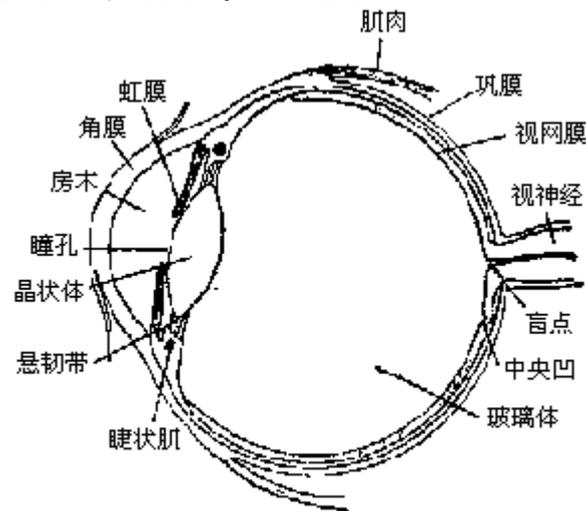


图 78.3

镜的透镜不同，眼球的晶状体是可塑的并能改变形状。在晶状体前面是一呈圆盘形的组织称为虹膜。当我们描述眼的颜色是兰的或是棕的时，指的就是虹膜的颜色。虹膜的中央有一圆孔称瞳孔，可让光线进入到眼球的其他部分。瞳孔呈黑色，这是因为所有进入眼球的光线都被吸收而不反射之故。虹膜的肌肉可根据光的强度的变化使瞳孔放大或缩小。

在眼球后部的内膜称为视网膜，它是由成千上万可对光起反应的细胞所组成的。当光线照射到这些细胞上时，它们可发出神经冲动并通过视神经的神经纤维传递到脑中，从而产生视觉。

视觉

图 78.5 (a) 解释了来自物体的光线如何在视网膜上产生清晰的图像。角膜和晶状体的弧面可“弯曲”或折射光束以使来自物体的每一个“光点”都在视网膜上作为“光点”重现，从而形成倒立的，比物体要小的图像。

被图像刺激了的感觉细胞可将这种形式的神经冲动传入到脑中。大脑可用它过去的经验和知识“翻译”这些冲动，从而又形成了真实大小，真实距离和直立的物体的图像。

在视神经离开眼球的那一点上没有感觉细胞，因此，落在这一“盲点”上的图象部分没有信息传到脑中（见图 78.4）。



图 78.4

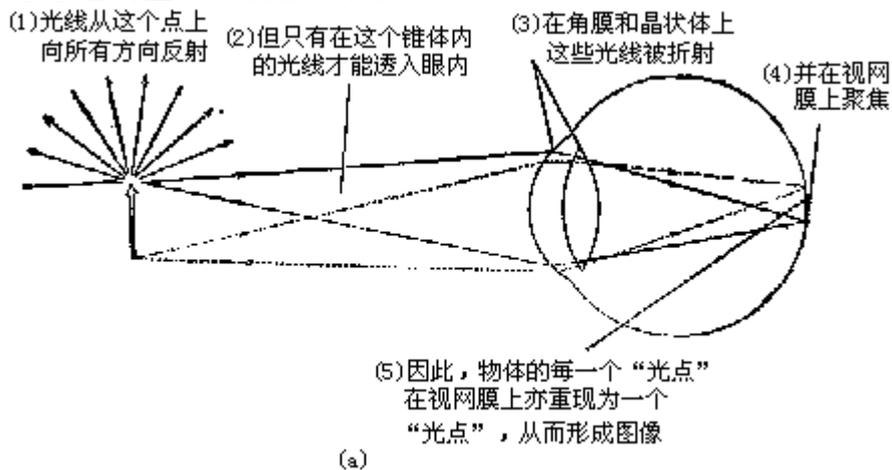
图 78.4 盲点

在距 60 厘米处持此图。闭上左眼并用右眼中注视在十字上，然后慢慢将图朝脸移近。当圆点的图象落在盲点上时，它就似乎消失了。

视网膜上数百万个对光敏感的细胞分为两类：视锥细胞和视杆细胞（按其外形）。视锥细胞使我们可区别颜色。据认为有三种视锥细胞。一类对黄光起反应，一类对绿光而另一类对蓝光起反应。如果此三种细胞都被等同刺激，则我们得到的是白色感觉。视锥细胞集中在视网膜的中央部分，称为中央凹（图 78.3）。当你在仔细观察物体时，你就是把该物体的图象落在中央凹上。

眼的调节

眼能对近处或远处物体产生清晰的图像。这是由于晶状体能改变其外形，对远处物体变薄而对近处物体变凸。这种外形的改变是由于围绕晶状体（图 78.7）的睫状肌（图 78.3）的收缩与松弛来完成的。当睫状肌松弛时，玻璃体对巩膜向外的压力拉紧了悬韧带，从而牵拉晶状体使其变薄，此即对远距离物体的调节（图 78.6a 和 78.7a）。为了对近物体聚焦，睫状体收缩，从而缩小了它的直径而使悬韧带放松



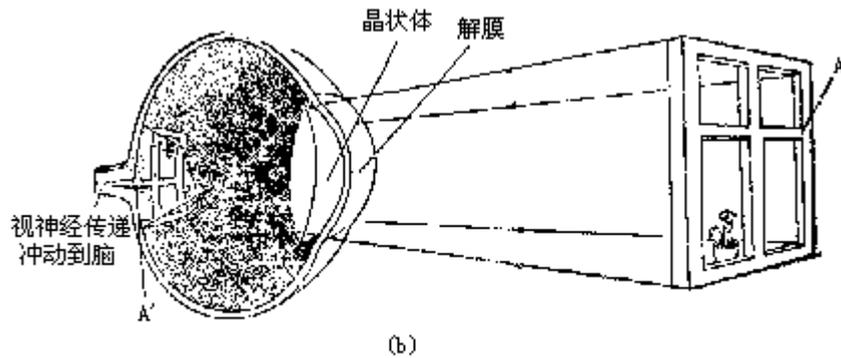
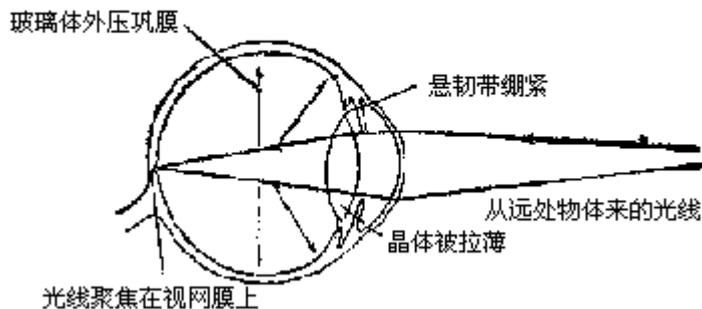


图 78.5

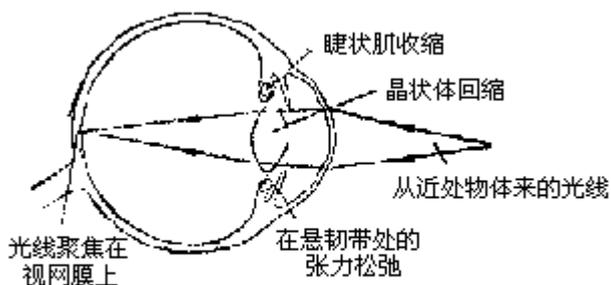
(图 78.6b 和 78.7b)，晶状体因自身弹性而凸出。这种形状可以更好的折射从近处物体发出的强烈分散的光线。

当我们衰老时，晶状体的弹性逐渐减退。因而对近处物体很难调节，为了阅读或进行其他工作就需要配戴眼镜。

(a) 眼球松弛 (远距离调节)



(b) 当眼球对近物体聚焦时



眼球的变形 (过度夸张了一些)

图 78.6

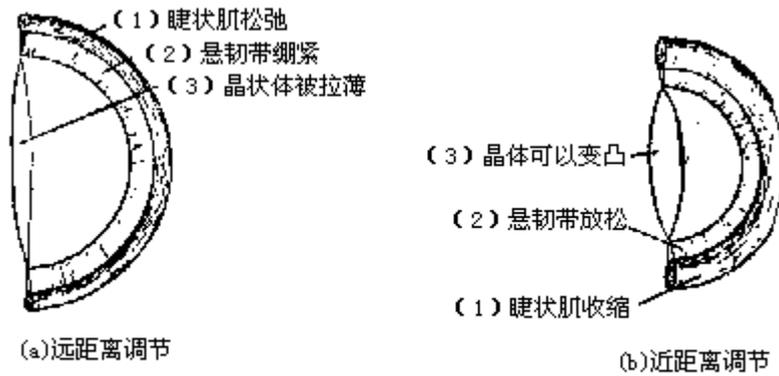


图 78.7

远视和近视

一些人的眼球大小与晶状体的屈光能力并不相称，例如，近视眼的人的眼球可能太长或者其晶状体屈光能力过强，致使远距离物体在视网膜前聚焦成像，而在视网膜上的图形反而模糊。图 78.8 解释了远视和近视的成因及其纠正法。

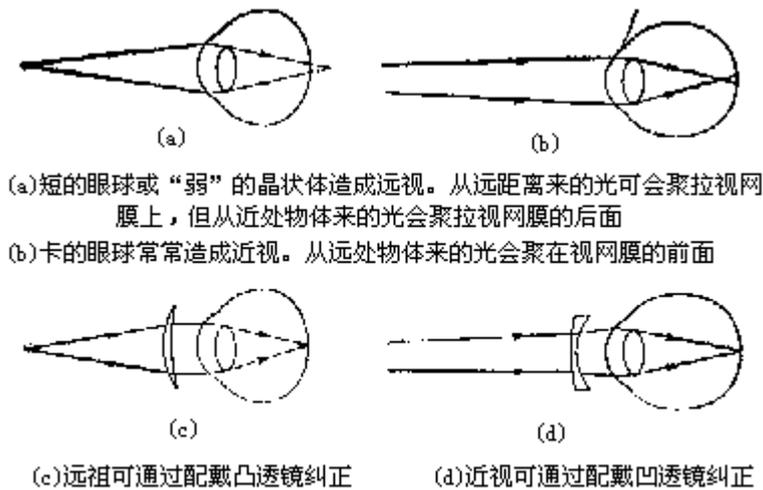


图 78.8

听 觉

听觉器官位于头颅内并在头部的两侧，通过一宽的管道与大气相通。图 78.9 示耳的结构。

外耳

声音是我们对由于空气振动产生感觉的一种称呼。这些振动，以压缩空气的冲动形式（见图 220）进入外耳道中并冲击鼓膜——它是封闭管道内端

的一层薄膜。空气的振动也可引起鼓膜的振动。如果压缩的冲动为每秒二百次，则鼓膜将以同等速度向前和向后振动中耳。

中耳

这是一个充满空气的小室，内有三个相连的听小骨组成的链。最

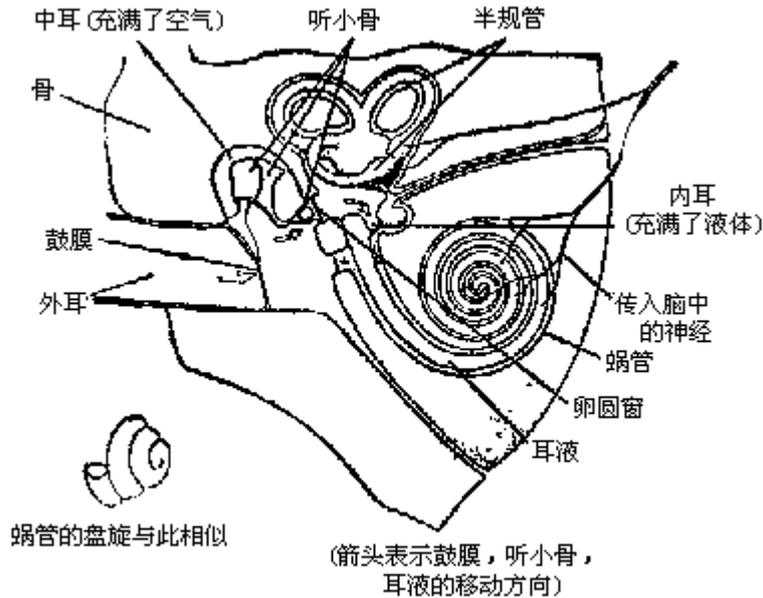


图 78.9

外一个听小骨与鼓膜相连，最里面的一个与颅内被称为卵圆窗的结构相连。当鼓膜前后振动时，它也推动听小骨以同样方式振动，因而最里面的听小骨就快速的前后移动，就像卵圆窗上的一个小活塞一样。

内耳

在这里振动被转换成神经冲动。内耳含有液体，听小骨的振动即传递到该液体中。内耳的敏感部位是蜗管——一个含有神经末梢的螺旋管。当蜗管中的液体被振动时，神经末梢即激发冲动到脑中。大致可以这么说，在蜗管的最终部位，神经末梢对低频率振动很敏感（低音），而在起始部位对高频率振动（高音）特别敏感。因而，如果大脑接收来自蜗管起始部位的神经冲动，它即把它“翻译”成为高音调音或高音符号音。

平 衡

半规管

它们位于内耳中（见图 78.9），但不参与听觉功能。有两个垂直的

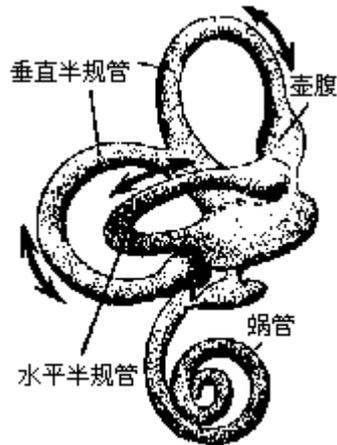


图 78.10

半规管互成直角而另一个呈水平。每一个管都在一端有一膨胀部分叫做壶腹（图 78.10）。当头旋转时，半规管内的液体移动得慢一些，因此刺激壶腹内的感觉神经末梢。产生的神经脉冲传入大脑，使其知道旋转的方向和速度。水平的半规管能更好的反应水平面内的转动，例如身体围绕着竖直方向的旋转运动，而竖直的半规管对身体向前、后、和侧面的倾斜移动特别敏感。从半规管以及中耳中的其他感觉器官传来的信息使我们得以在静立时保持姿势，而在移动时保持平衡。

习题

1. 如果将一小块冰压在皮肤上，很可能是哪一种感受器脑发出神经冲动？
2. 在舌上除了存在检测化学品的细胞外，还存在什么其他类型的感受器？
3. 味觉与嗅觉的区别是什么？
4. 图 78.5b 中未标出的眼的结构是什么？
5. 图 78.5 (a) 中，解释虚线代表什么意思？
6. “白内障”的眼疾是由于晶状体变成不透明之故。为了解除此病可摘除晶状体。绘出图来说明，没有晶状体的眼睛是如何借助于眼镜在视网膜上成像的。该手术导致的缺点将是什么？
7. 许多年过 50 岁的人阅读时必须配戴眼镜。这种眼镜需要哪一种透镜？解释你的答案。
8. 视网膜中的感觉细胞和蜗管中的感觉细胞在机能上有何不同。
9. 你认为 (a) 高音调和低音调，(b) 强音和弱音的区别何在？
10. 当你翻筋斗时哪一个半规管受到的刺激最大？当你做该动作时还有哪些感觉信息传到脑中？

图 79.1 为人的神经系统图。脑与脊髓共同组成中枢神经系统。神经将电冲动由中枢神经系统传递到身体的所有部位，并使肌肉收缩或使腺体产生酶或激素。神经也将冲动从身体的感觉器官带回到中枢神经系统。这些来自眼睛、耳朵、皮肤等的冲动使我们注意到周围环境或我们自身的变化。从感觉器官传递到中枢神经系统的冲动叫做感觉冲动；而从中枢神经系统传递到肌肉，引起某种动作的冲动叫做运动冲动。

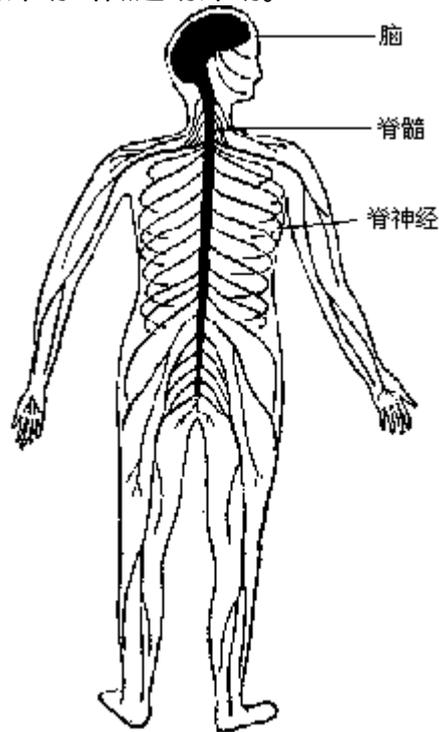


图 79.1

神经系统

神经细胞（神经元）

中枢神经系统和神经是由称之为神经元的神经细胞所组成。图 79.3 示三种类型的神经元。运动神经元将运动冲动由中枢神经系统传到肌肉和腺体。感觉神经元将感觉冲动由感觉器官传入中枢神经系统。多极神经元既不是感觉神经元、也不是运动神经元，但是，它起着联系中枢神经系统内部的其他神经元的作用。

所有神经元都具有细胞体，它是由细胞核及包围它的少量细胞质所组成。从多极或运动神经元的细胞体分枝出的突起称为树突，它与其他神经元联接。

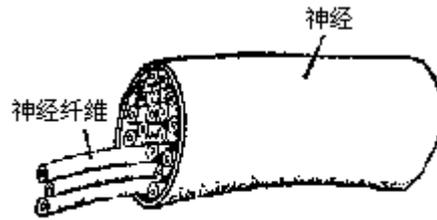


图 79.2

由感觉或运动神经元的胞体延伸出的细胞质的细长突起，被一绝缘的鞘所包围。该突起称为神经纤维。神经元的胞体大多数位于脑或脊髓中，而纤维则伸入到神经中（见图 79.8）。因此，容易见到的、白的、致密的、腺状结构的神经实际上是由成百条这种微细纤维集合成束而成的。图 79.2 以简单方式显示了这种结构。大多数神经同时含有感觉纤维和运动纤维。包围纤维的绝缘鞘可防止冲动由一个纤维横向传递到另一个纤维上。

一些神经纤维非常长。延伸到足的神纤维在脊髓中都有它们的胞体，而纤维在神经中可不中断地一直向下延伸至脚趾的皮肤或足的肌肉上。因而，一个神经细胞可以有长达约一米的纤维。

突触

虽然神经纤维被绝缘，但仍需要将冲动由一个神经元传递到另一个神经元。从手指尖的冲动传到脑之前至少必须通过三个神经元，然后才能产生意识感觉。冲动从一个神经元得以传递到下一个神经元的区域叫做突触。

在这些点上，一个纤维末端的分枝是与另一个神经元的胞体或树突紧密连接的（图 79.4）。当一个冲动传到突触时，它释放一种化学物质，该物质又使下一个神经元发生冲动。有时，在突触处需要到达多个冲动，才足以在下一个神经元引起冲动。

神经冲动

神经纤维并不传递疼痛或寒冷的感觉。这些感觉只在神经冲动到达脑时才出现。这些冲动本身只是一系列的电冲动，它顺着神经纤维

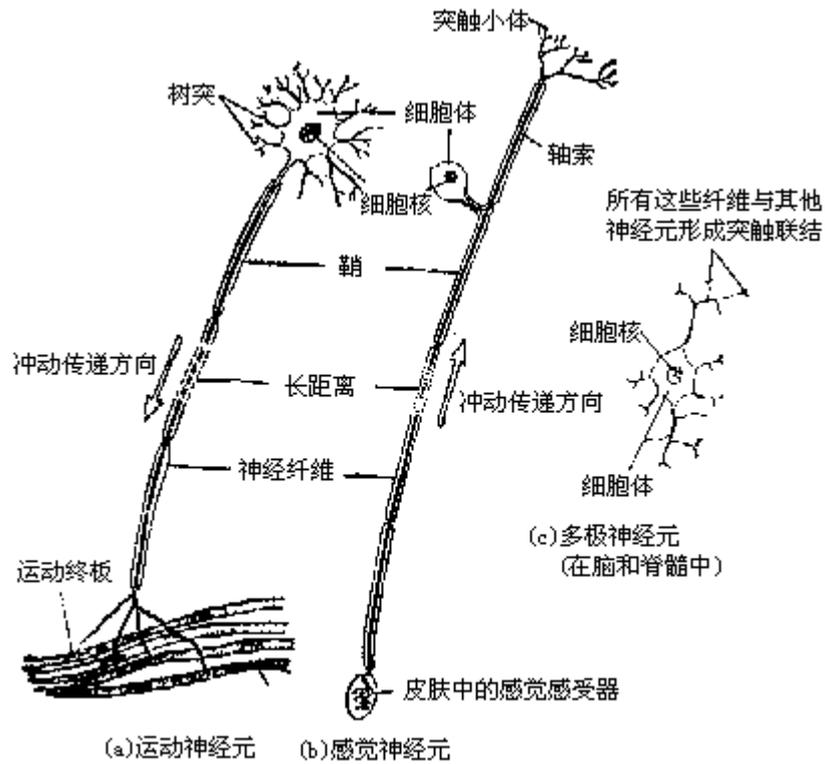


图 79.3

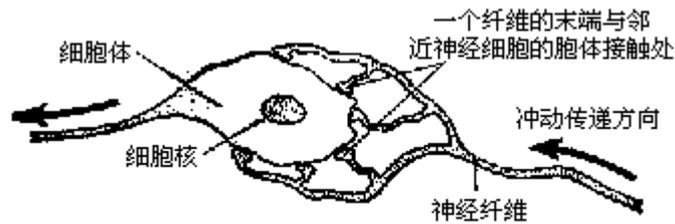


图 79.4

传递下去，就像摩尔斯电码一样。所有的神经冲动都是相似的。从眼睛、耳朵或手传来的冲动并没有什么不同。我们所以能对它们加以区别仅仅是因为这些冲动被传递到脑的不同部位。

反射弧

冲动通过突触传递从而产生动作的一个最简单情况是在反射弧中。反射动作是一个自动的反应而不能由意识控制。当一粒灰尘碰到你眼睛的角膜时，你会眨眼，而你不能让你的眼睛不眨。当一粒食物接触到气管的内壁时，可引起你不能抑制的咳嗽反射。当亮光照入你的眼睛，瞳孔就缩小。我们不能阻止这种反射，而且通常也并不注意到它的发生。

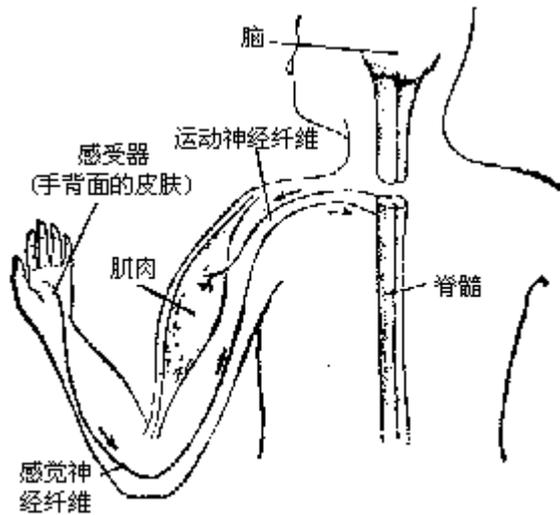


图 79.5

这种反射的神经通路叫做反射弧。图 79.5 显示了这样一个从手的感受器传到手臂的肌肉的神经通路。对运动冲动起反应的器官有时亦叫做效应器。在该例中，二头肌就是效应器。图 79.6 更加详细地表示了反射弧。在此图中，脊髓是按其横切面绘制的。脊神经在进入脊髓处分成二个根。所有的感觉神经纤维进入后根而运动神经纤维全部从前根穿出，但二者均在同一脊神经中。所有感觉神经纤维的胞体全都位于后根中并形成一隆起称为脊神经节（图 79.7）。

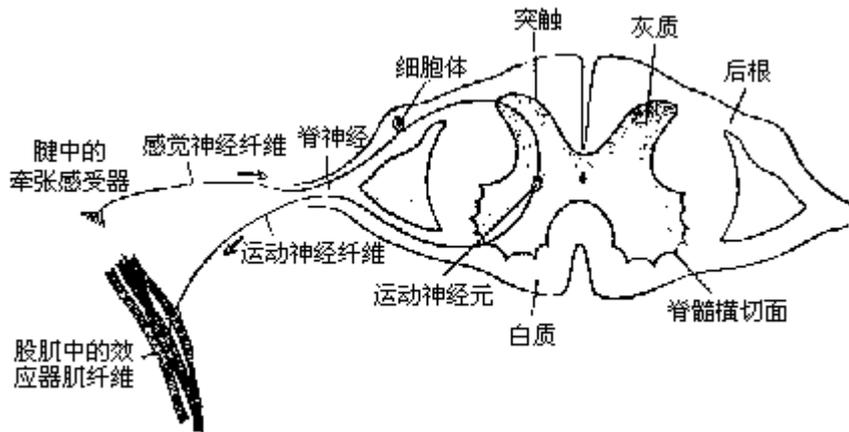


图 79.6

一个众所周知的反射是“膝跳”反射。将一个腿交叉放在另一个腿上并让肌肉全部放松。如果上面的腿的膝关节下的腱被突然叩击，反射弧就使股肌收缩并使腿的下面部分向前摆动。图 79.6 表示了该反射弧的通路。叩击肌腱使它的牵张感受器在感觉神经纤维引起一个冲动，该冲动由神经传到脊髓。在脊髓的中心部位，感觉神经纤维与运动神经元形成一个突触，运动神经元将冲动向下传递给运动神经纤维，再返回到股肌。冲动到达股肌使其收

缩并使下肢向前摆动。你能感觉此种膝跳反射（这说明感觉冲动一定到达了脑内），但你却不能阻止它的发生。

即使在最简单的反射活动中，也要涉及到比上面叙述更多的神经纤维、突触和肌肉。图 79.8 表示一个反射弧如何使一个人的手从疼痛刺激中离开。在脊髓的右侧所图示的一些传入感觉神经纤维与向脑发出的纤维神经元形成突触，这样脑便感知了身体所发生的活动。同时，来自脑的神经纤维与脊髓中的运动神经元形成突触，以使从脑来的命令传达到身体的肌肉。

上述的反射为脊反射。从理论上说，此种反射的发生并不需要大脑。在头部发生的反应，例如眨眼、咳嗽、虹膜收缩等的反射弧位于脑中。

随意动作

随意动作起始于脑中。它可以是外部事件的结果，例如看到地板上的书需要拾起，但产生的动作完全是自主的，并非被迫发生的。大脑通过神经纤维向脊髓发出运动冲动。这使与进入脊神经的运动神经纤维形成突触，从而与一组肌肉相连接使之能产生有效的动作。手臂、腿和躯干的多组肌肉参与了这一动作以便俯身弯腰并拾起书本，而在眼、脑和手臂之间的冲动可指导手到正确的位置并“告诉”手指何时握住书本。

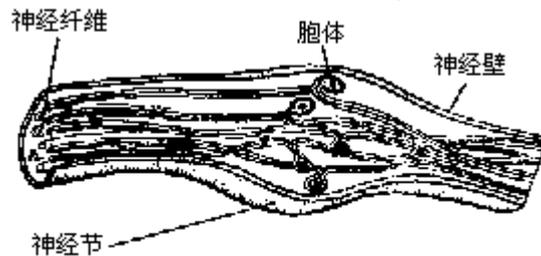


图 79.7

中枢神经系统

脊髓

与神经系统的所有部分一样，脊髓含有成千上万的神经细胞。图 79.8 为其结构示意图。图 79.6 为其横切面图而图 79.9 是这一切面的照片。所有这些图均未图示它们是如何被保护在一个密闭的脊柱中。

所有的胞体，除了一部分在后跟神经节外，全都集中在被称为灰质的中心区域中。白质是由神经纤维组成的，它们中的一部分可从灰质通到脊神经中，而另一部分则可沿着脊髓走行，将脊神经纤维与脑连接。因而，脊髓的功能是：（i）参与颈以下的躯体结构的反射活

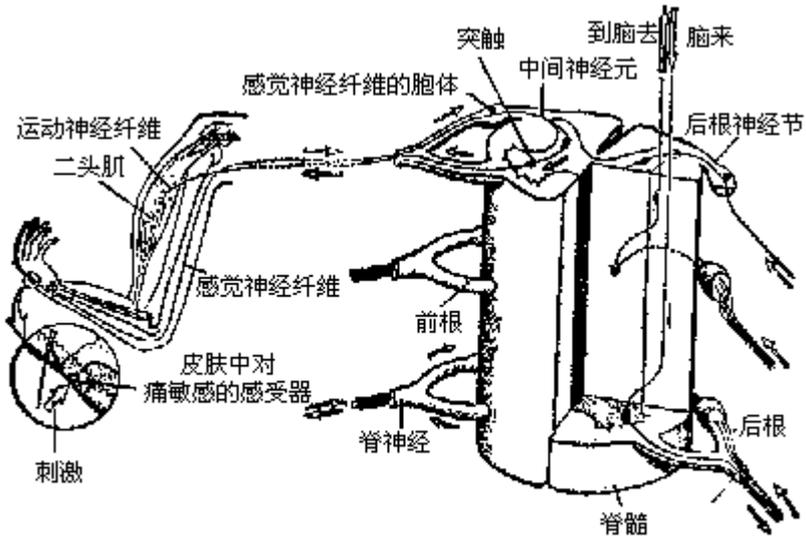


图 79.8

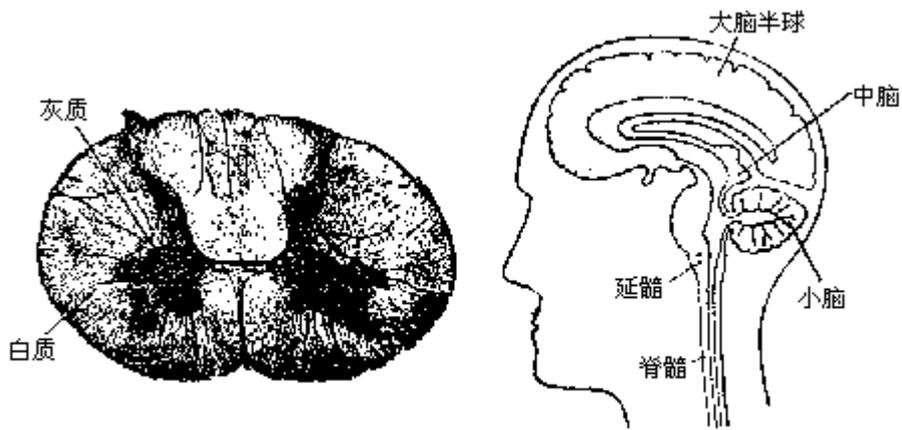


图 79.9

图 79.10

动；(ii) 将来自皮肤和肌肉的感觉冲动传入脑中；和 (iii) 将来自脑的运动冲动传出到四肢和躯干肌肉。

脑

脑可被看成为脊髓大大膨胀了的前端，它涉及所有来自耳、眼、舌、鼻和半规管的复杂的信息。图 79.9 给出脑的主要部分的纵切面简单示意图。延髓与心跳，体温和呼吸速率的调节有关。小脑控制平衡和运动。中脑处理与眼睛有关的反射。而脑的主要部分为大脑半球。在哺乳动物，特别是人类，大脑非常大并且高度发达，它被认为是与智力，记忆，推理能力和获得技能有关。

在大脑半球和小脑中，外层灰质叫做皮层，有着成千上万的多极神经元（图 79.3 (c)），它使得树突之间得以形成数目巨大的突触连结。

协 调

综上所述，你可以看到神经系统连结着或协调着身体的所有活动。没有这种协调，各种器官的功能就会完全没有联系。神经系统把来自眼的冲动和到达手臂肌肉的运动冲动协调起来，使我们得以拾起物体；它协调着心脏与机体活动，以便在锻炼时，当组织需要更多氧气时，心脏可以跳得更快以供应这种需要。四肢运动也是由神经系统来协调的，所以在行走时，腿是交替移动的而不是同时移动。嘴唇、会厌和舌头的动作一定要由神经系统加以协调以保证当食物被吞咽时，它是进入食道而不是进入气管中。

没有协调，机体的活动将成为混乱和杂乱无章。食物在通过消化道时，将由于酶不按时分泌而不被消化。跑步者将在起跑数米后由于缺氧而衰竭，这是由于他的心跳不能加速以满足对氧增长的需要，如此等等。

习题

1. 感觉神经元与运动神经元在(a)结构上(b)功能上有哪些方面相似？又有哪些方面不同？
2. (a)神经纤维，(b)神经，能否同时传递感觉和运动冲动？阐明你的答案。
3. 一个神经冲动能在神经纤维中传递而不穿过突触的最长距离是什么？
4. 解释为什么舌头可同时被看作既是感受器又是效应器。
5. 如果你能截获并“听到”在脊髓中传导的神经冲动，你能区别哪一个是从痛觉感受器而来，哪一个是从冷觉感受器而来的吗？解释你的答案。
6. 试讨论咳嗽是随意动作还是反射动作。
7. 画出当一粒尘土掉进眼睛时，引起的眨眼反应的反射弧的简单示意图（该题中可将脑简单地当作脊髓的一部分）。
8. 在锻炼中，一般来说神经系统是如何按照身体对氧的需求，来协调呼吸的深度和速率的？
9. 描述当你听到声音时，你会把头转向它所涉及的生理过程。

磁和电

§ 80 磁体和磁场

永久磁体

永久磁体用正规的处理不易失去磁性。第一块永久磁体是由钢（铁的合金）制成的。现代磁体有更强的磁性并分为两种类型。

a. 合金磁体含有金属，如铁、镍、铜、钴、铝等。其商品名称有如铝镍钴（永磁）合金和无碳铝镍钴（永磁）合金。

b. 陶瓷磁体是由称为铁氧体的化合物制成的，而铁氧体含有氧化铁和氧化钡。陶瓷磁体具有脆性。其中之一商品名称是马格纳多（Magnadur）永磁合金，即铁钡永磁合金。

磁体用于发电机、电动机、扩音器和电话。铁氧体粉末可以用塑料、橡胶结合起来制成挠性磁体，或其它任意形状的磁体。极细的铁磁体粉末的每个颗粒都可被磁化，因而用于录音机磁带。在大型计算机中，许多极小的陶瓷环磁体（每个磁体的直径大约为 1 毫米）交织在一起，起到记忆存贮器的作用。图 80.1 所示为一封闭的存贮器。

磁体的性质

（a）磁性材料磁体仅仅对某些被称为铁磁体的材料，如铁、钢、镍、钴和铁氧体等有强大的吸引力。

（b）磁极磁极存在于磁体中，对磁性材料（如铁屑）有吸引力。它们位于棒状磁体的两端，并以相同的强度成对出现。

（c）北极和南极如果把一磁体支承起来，那么它可以在水平面上旋转，待磁体停止旋转后，它的一个磁极——北极或 N 极总是大体上指向地球的 N 极。因此，磁体可用作指南针。

（d）磁极定律如果使一磁体的 N 极靠近一悬挂着的磁体的 N 极，就会相互排斥（见图 80.2（a）），同样，两个 S 极也相互排斥。相反，N 极和 S 极总是相互吸引（见图 80.2（b））。磁极定律对上述事实做了概述，即：

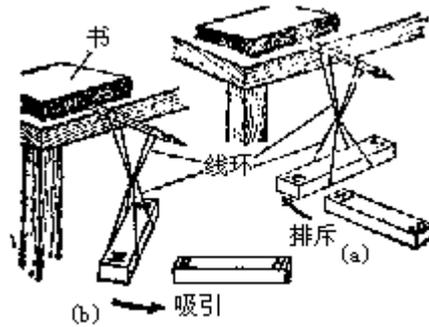


图 80.2

同性磁极相互排斥，异性磁极相互吸引。

磁体试验

使一永久磁体的两极轮流地靠近一悬挂磁体，其中必有一个磁极引起排斥。而未磁化的磁性材料靠近悬挂磁体的两极时，都被吸引。

对磁体来说，排斥是唯一可靠的试验。

磁体的制造

(a) 接触法图 80.3 (a) 和 (b) 所示的方法分别为单触法和双触法，可用来磁化钢丝编织针、发夹或钟表弹簧。采用单触法时，需要用永久磁体的同一极并沿着同一方向从钢片的一端擦划到另一端，大约要划二十次。双触法则比较好，它是同时用两块磁体的不同极从钢片的中部向外擦划过去。无论采用哪种方法，每次擦划完毕，都必须将磁体高举过钢片之上。

钢片产生磁极的端部，也就是触击结束的位置，具有和永久磁极相反的磁性。

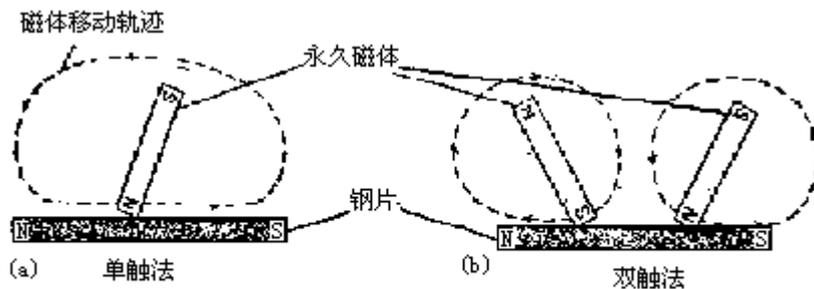


图 80.3

(b) 电流法将磁性材料放入称为螺线管的圆筒形线圈内，螺线管是由几百匝彼此绝缘的铜线缠绕而成的，铜线和 6~12 伏的直流电源相接（见图 80.4 (a)）。如果把电流接通一秒钟，然后断开，并从螺线管内取出磁性材料，就会发现它已被磁化。

磁体的极性与电流的方向有关，可用右手定则加以判断：即用右手的四指沿电流方向（即从电源正极流出的方向）握住螺线管，大拇

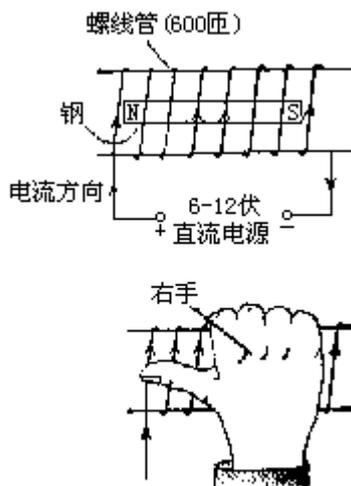


图 80.4

指所指的就是 N 极（图 80.4 (b)）。

实际上，由电流法制造磁体所用电流的强度很大，接通时间仅仅有十分之一秒。图 80.5 表示正在进行磁化的扩音器。

磁体去磁

将磁体放入螺线管内，而螺线管中通有交流电（图 80.6）。在继续通以电流的情况下，将磁体慢慢地从螺线管内取出至一定的距离。

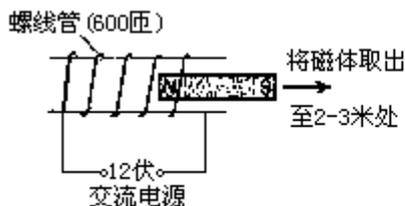


图 80.6



图 80.7

感应磁性

当一未磁化的磁性材料与一永久磁体的磁极接触或接近时，磁性材料本身也变成磁体；这时就说此磁性材料具有了感应磁性。图 80.7 表明磁体的 N 极将磁性材料较远的一端感应为 N 极。

该结论可通过以下过程加以检验：将两个铁钉悬挂在同一磁体的 N 极上，其较低的一端互相排斥（见图 80.8 (a)），且同时受到另一磁体的 N 极的排斥（图 80.8 (b)）。

铁和钢的磁性

小型铁质回形针和钢笔尖可被悬挂在磁体上，形成链状（见图 80.9）。由于感应现象，每个回形针或笔尖都使其下面的另一个回形针或笔尖磁化，从而形成不同的磁极并产生吸引。

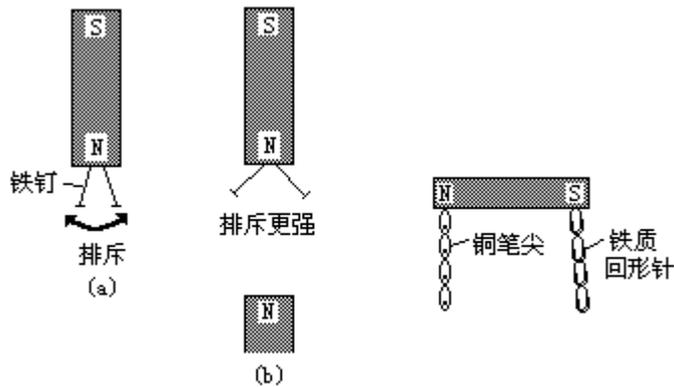


图 80.8

图 80.9

如果将铁链在最顶端的回形针从磁体上移去，铁链则脱散，这表明铁中的感应磁性是暂时的。用钢链来做同一实验，发现钢链并不脱散，这表明钢中的感生磁性是永久的。

铁类磁性材料很容易磁化，但不能保持其磁性，称为“软”磁性材料。而钢类磁性材料和铁类磁性材料相比不易磁化，但能保持磁性，称为“硬”磁性材料。两种类型的磁性材料都有其用途，其中很硬的磁性材料可用来制造永久磁体。

磁性理论

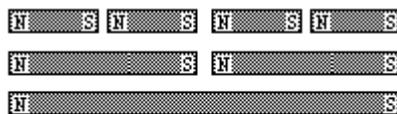


图 80.10

把一段磁化的钢质钟表弹簧或细杆切成许多更小的段，则每一小段都是具有N极和S极的磁体（见图 80.10）。因而，可以假定磁体是由许多连结在一起的“微型”磁体组成的，它们的N极指向同一方向（见图 80.11(a)）。在磁体的两端，“微型”磁体自由的磁极互相排斥并形成扇形，因而磁体的磁极位于磁体端部周围。

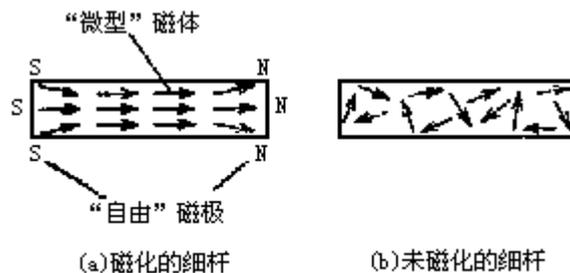


图 80.11

对于未磁化的钢质硬杆，我们可以认为其“微型”磁体各自指向不同的方向，其中每一磁体的N极都被另一磁体的S极中和。因而其磁性效果抵消，

且端部附近无“自由”磁极（见图 80.11 (b)）。

这些理论也可用来解释磁体的破坏。现做如下说明：

a. 磁性饱和任一磁体都具有磁性强度极限。当所有的“微型”磁体连接在一起时，此极限也就出现。

b. 加热去磁法或锤击去磁法这两种方法都会引起磁体内部的原子发生更加强烈的振动，从而扰乱“微型”磁体的直线排列。

有证据表明，“微型”磁体就是成百万个原子的集团，称为磁畴。在铁磁性材料中，每个原子都是一个磁体，而且在一特殊的磁畴里，各个原子的磁性效果都作用于同一方向。

磁体的存放

由于磁体端部附近“自由”磁极的相互排斥，使磁畴的排列反向，因而随着时间的推移，其磁性逐渐减弱。为了防止这一点，可将两条形磁体按异号磁极相对而存放，并在磁体的端部交叉放置两个软磁性铁条，称为衔铁（图 80.12）。

此时，衔铁成为感应磁体，其磁极中和了条形磁体的磁极。这样，在两条磁体和衔铁中的磁畴形成了无“自由”磁极的封闭链。

磁场

磁体在其周围的空间能产生磁力，该空间即称为磁场。利用图 80.13 所示的装置可以测定条形磁体周围的磁力，并表明磁力方向是变化的。若在条形磁体的 N 极附近放置一个可浮动的磁体，那么该磁体将被排斥到 S 极，而且运动是沿着称为磁力线或磁场线的曲线方向进行。倘如此浮动磁体的 S 极是向上的，则它沿着相反的方向运动。

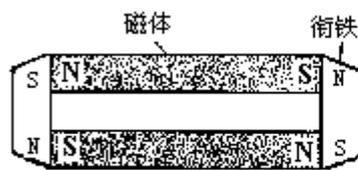


图 80.12

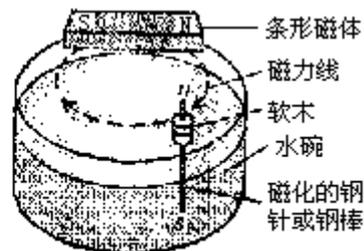


图 80.13

磁场具有方向，并可用磁力线来描述，认识到这一点是非常有用的。已经规定任何一点磁场的方向都与该点的 N 极磁力线的方向一致。为表示这一方向，可在磁力线上加上箭头，其方向从 N 极指向 S 极。

实验 1 磁力线的测绘

a. 指南针测绘法指南针测绘是一放置在具有黄铜筒壁的玻璃圆筒内装有枢轴的小型磁体（见图 80.14 (a)）。

将一条形磁体 NS 置于一张纸上（见图 80.14 (b)），然后把测绘用指南针放到某一点，例如磁体磁极附近的 A 点处。用铅笔将指南针 n、s 极的位置 A、B 两点记下来。移动指南针，使 s 极准确地位于 B 点上方，并用 C

点记下 n 极的新位置。

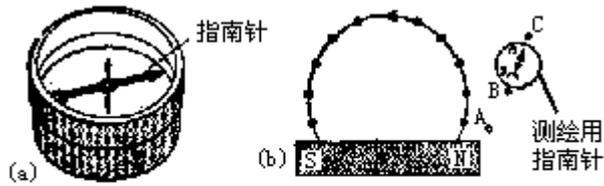


图 80.14

继续进行上述过程，直至达到条形磁体的 S 极。将这些点连接起来，即得到一条磁力线，然后加上箭头，即可表示出其方向。从磁体周围的其它不同点开始，即可测绘出其它磁力线。

这种方法进行的速度很慢，但对弱磁场来说还是适应的。

b. 铁屑法将一张纸置于条形磁体上面，象洒“胡椒面”一样地。在纸上洒上一层薄而均匀的铁屑。

用铅笔轻轻击纸，铁屑将形成磁力线的形状。每个铁屑都通过感应而被磁化，因而当敲击纸张时，都转向磁场方向。

这一方法进行的速度很快，但不适用于弱磁场。图 80.15 表明了两种磁体磁力线的典型形状。

它们为何不同？

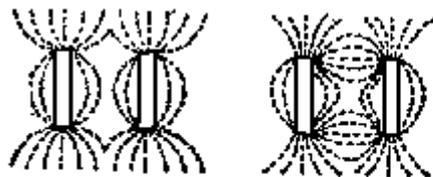


图 80.15

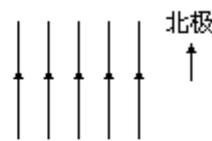


图 80.16

地球磁场

如果附近没有磁体，那么此时在纸上测绘磁力线时，将得到一组平行的直线。从地理位置来讲，这些磁力线大致从 S 极指向 N 极（见图 80.16），因而在水平面上描述了一小部分地球磁场。

图 80.17(a) 是由指南针测绘法得到的地球和 N 极指北的条形磁体的组合磁场。在标有 X 的点处，地球磁场和磁体磁场大小相等方向相反，因而最终磁场为零。这些点称为中性点，没有磁力线经过。在 A 点处，磁体磁场强于地球磁场；在 B 点处，磁体磁场弱于地球磁场。

当磁体的 N 极指南时，中性点 Y 位于磁体的中心轴方向上（见图 80.17(b)）。

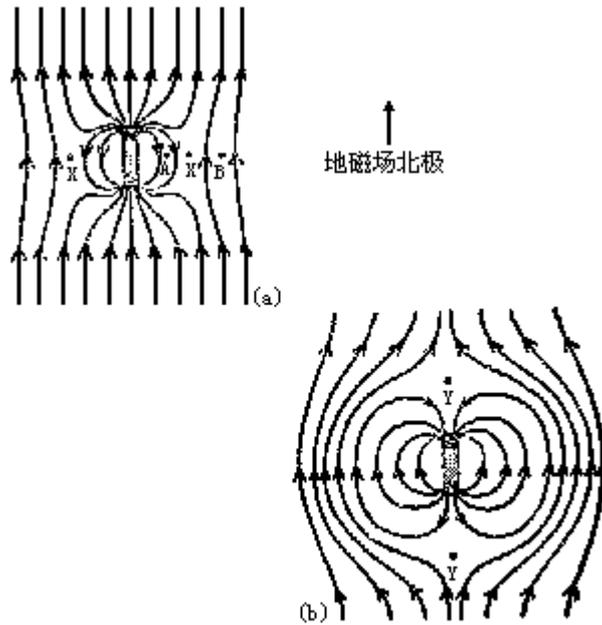


图 80.17

磁偏角和磁倾角

(a) 磁偏角在地球表面的大多数地方，指南针指向北偏东或偏西方向，即地球的地理北极和磁场 N 极不重合。磁场北极和地理北极之间的夹角称为磁偏角（见图 80.18）。1982 年伦敦的磁偏角是北偏西 7° ，并且正在逐渐下降。到大约 2140 年，磁偏角将变成 0° 。



图 80.18

(b) 磁倾角在重心处装有枢轴的磁体可在垂直平面内旋转，该磁体叫做磁倾角指针（见图 80.19）。当指针放于子午面，即包含磁北极和南极的垂直平面上时，其 N 极指向下方并与垂直方向有一角度，在伦敦，这一角度的数值大约为 67° 。指针在磁子午面内与水平方向的夹角叫做磁倾角。

在地球表面上，磁倾角可从地球磁场赤道处的 0° 变化至地球磁场的两极处的 90° 。这一结论可作如下解释：我们假设地球中心放有一强大的条形磁体，其 S 极指向地球磁场北极（见图 80.20）。

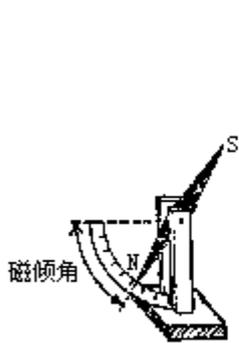


图 80.19

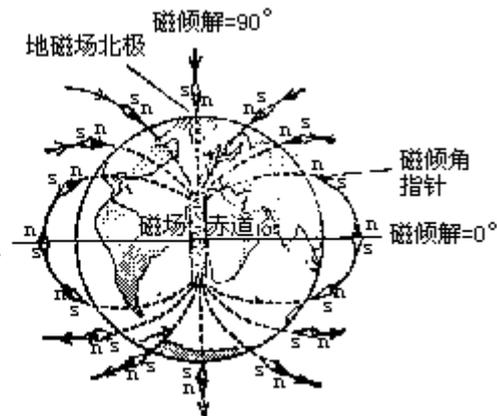


图 80.20

地球磁场可能是由其中心部位的液态地心的电流引起的，但这并不是普遍承认的理论。

习题

1. 磁体对下列哪种物质产生吸引力？

A 塑料, B 任意金属, C 铁和钢, D 铝, E 碳。

2. 如图 80.21 所示，用一磁体的 S 极来擦划一条形金属。

(a) 要使条形金属成为永久磁体，它必须是由什么组成的？

(b) 使用这一金属，A 端将产生何种磁极？

3. 如图 80.22 所示，XY 是位于线圈内侧的条形铁，线圈中的电流方向如图所示。XY 的哪一端将成为 N 极？

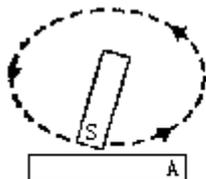


图 80.21



图 80.22

4. 如图 20.23 所示，悬挂在水平放置的条形磁体两端的磁针将互相倾斜，试解释其原因。

5. 图 80.24 为两种磁性材料的图形。

(a) 是 A 还是 B 将变成较强的磁体？

(b) 哪种材料更易于磁化？

6. 如图 80.25 所示的三个磁力线图中，指出 A、B、C、D、E、F 是北极还是南极。

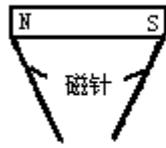


图 80.23

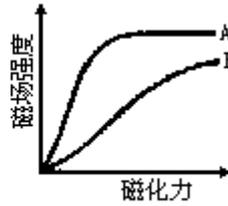


图 80.24

7. 试用简图解释下列术语。(a) 中性点, (b) 磁倾角, (c) 磁偏角。

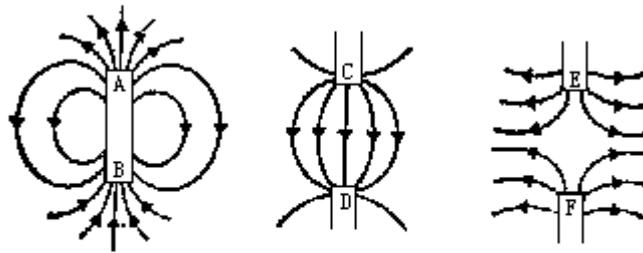


图 80.22

§ 81 静 电

脱掉尼龙衣服时常常发出劈劈啪啪的声音，我们说它“带有静电”。劈啪声是由在黑暗中能够看得见的微小的电火花引起的。由一定的塑料制成的钢笔和梳子与袖套发生摩擦时，就会带上电荷，从而吸起碎纸。

闪电是自然界中由静电作用而引起的最壮观的景象（见图 81.1）。

电 荷

正电荷和负电荷

聚乙烯棒（白色）与布发生摩擦时会产生电荷。如果将该聚乙烯棒悬挂起来，并将另一摩擦过的聚乙烯棒与之靠近，则发生排斥（见图 81.2）。而当一摩擦过的醋酸纤维素（清洁的）带与之靠近时，则产生吸引。

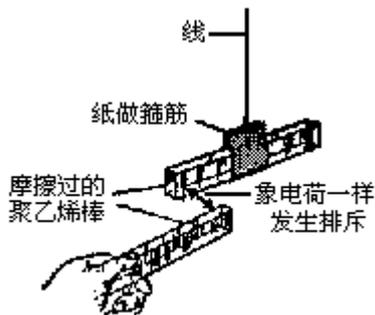


图 81.2

上述实验表明有两种电荷存在：醋酸纤维素棒的电荷为正 (+)，而聚乙烯棒的电荷为负 (-)。上述实验还表明：

同性电荷 (+和+或-和-) 相互排斥，异性电荷 (+和-) 相互吸引。

电荷、电子和原子

原子是由一个较小的含有正电微粒（即质子）的原子核及其周围的和质子数相等的带有负电荷的电子组成的。根据这一点，我们可以

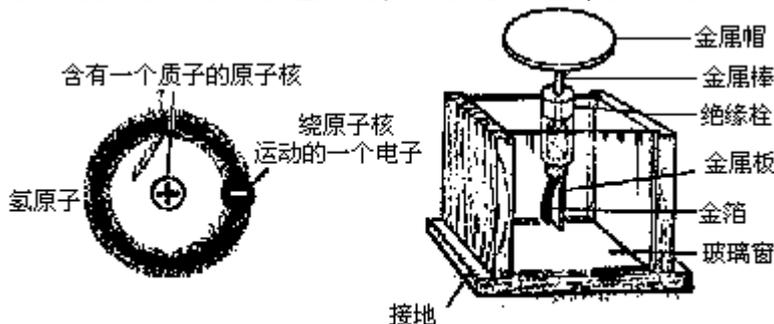


图 81.3

图 81.4

画出原子结构的示意图。一个质子和一个电子所带的电荷是相等的，因此原子从整体上来说通常是电中性的，即不带净电荷。

氢是最简单的原子，只有一个质子和一个电子（见图 81.3）。铜原子的原子核内有 29 个质子，核周围有 29 个电子。任何原子核也都含有不带电荷的微粒即中子。

摩擦产生电荷可以理解为电子从一种材料到另一种材料的转移。例如，当摩擦醋酸纤维素时，电子从纤维转移到布上，因此纤维上缺少电子，即带正电荷。而布上所带的电子比质子多，从而带负电荷。注意，是电子在运动，而质子仍留在原子核内。

实验 1 金箔验电器

金箔验电器是由金属棒上的金属帽及金属棒下的金属板组成的，金属板上缚有一片金箔（见图 81.4）。金属棒是由塑料绝缘栓固定于一个带玻璃窗的箱内的，以保护箔片不被风吹动。

a. 检验电荷把一带电的聚乙烯棒靠近金属帽，箔片则升离金属板。如移

走带电的聚乙烯棒，则箔片又回到原来的位置。用一带电的醋酸纤维素棒重复上述实验。

b. 接触法充电用力将一带电的聚乙烯棒从金属帽的边缘拉过，箔片就会升起，而且当聚乙烯棒移走时仍保持不动。如果箔片不能停留在上方，就将上述过程再重复一遍，不过拉得要更有力些。于是通过与聚乙烯棒的接触，验电器已充上负电荷。

c. 电荷符号的检验对聚乙烯棒再次充电，并使其靠近带有负电荷的验电器的金属帽，则金箔将升得更高。

移去聚乙烯棒，而用带电的醋酸纤维素棒代替之，则金箔会略有下降。

用手接触金属帽，验电器所带的电荷消失。其电荷通过人体而传给地面，金箔则完全回到原来的位置。

用一带电的醋酸纤维素棒与验电器接触，验电器就充上正电荷。可以看到，当带电的醋酸纤维素棒靠近金属帽时，金箔进一步升高。当带电的聚乙烯棒靠近金属帽时，金箔落下。

由此可以得出结论：如果金箔进一步升高，则正在考察的电荷的符号与验电器所带电荷的符号相同。

如果金箔落下，并不总是带有相反符号的电荷与金属帽接近的结果。不带电的物体具有同样的效果，就象用手接近金属帽时所得到的效果一样。如箔片进一步升高，即进一步偏离，则这个试验是有把握的。

d. 绝缘体和导体用不同的材料如纸、金属丝、手指、梳子、手帕、木头、玻璃棒、塑料钢笔、橡胶管，接触带电验电器的金属帽，如果箔片落下，则电荷经过人体和与金属帽相接的材料流回或流出地面。如果箔片下降得快，则材料为良导体；如果箔片下降得慢，则材料为非良导体；如果箔片不变化，则材料为良绝缘体。将结果记录下来。

绝缘体和导体

在绝缘体中，所有电子与其原子都牢固地结合着。在导体中，某些电子能自由地从原子移向原子。在绝缘体中，因为所产生的电荷不能从产生摩擦的地方流出，即电荷是静止的，所以绝缘体可通过摩擦而带电。又要用绝缘手柄将导体夹住，导体就会充上电荷；否则，电荷通过人体流向地面。

塑料是良绝缘体，如聚乙烯、醋酸纤维素、有机玻璃、尼龙等。所有的金属和碳都是良导体。介于二者之间的材料既是非良导体（因为它们在某种程度上导电），又是非良绝缘体，如木头、纸张、棉花、人体、地球等。水也可导电，如果木头内部及玻璃的表面不存在水，这些材料则都是良绝缘体。干燥的空气也是绝缘体。

习题

1. 试用电子移动的概念加以解释：当聚乙烯棒与布接触带上负电时，将有什么现象发生？

2. 给一绝缘的金属球体加上一电荷。然后用手握住一条形物体的一端并

使它与绝缘体接触。如果条形物体是用下列材料制成的，球体所带电荷会发生什么变化？(a) 良绝缘体，(b) 非良绝缘体，(c) 良导体。

§ 82 电 流

电流是电荷的流动。如果将电池两极用导体连接成一完整的回路

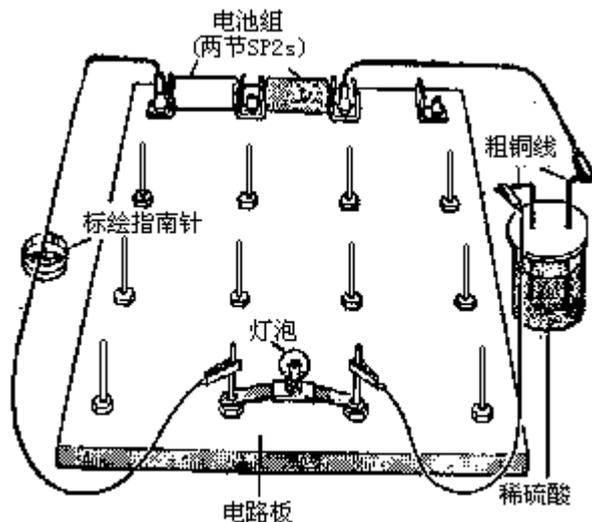


图 82.1

(即电路)，则电池就产生电流。电池一极叫做正极 (+)，另一极叫做负极 (-)。

因为铜是电的良导体，所以可用铜线将回路中的电池、电灯等连接起来。如果电线是用绝缘体如塑料包起来，那么在它们连接之前，就必须把电线端部的塑料去掉。

在金属中，电流是由缓慢漂移的电子所组成的，由于是从电池的负极流向电池的正极。

在发现电子之前，科学家们认为电流是在电路中流动的正电荷，其方向是从电池的正极到电池的负极。目前仍然保持着这种看法，改变这种看法将会引起混乱。

电流效应

电流有三种效应，每一种效应都是当电流在电路中流动时表现出来的。图 82.1 所示的装置可以表明所有这三种效应。

(a) 热效应和光效应灯泡由于电流的作用而发亮，从而使灯泡内的细丝 (叫做灯丝) 发出白热。

(b) 电磁效应当把测绘指南针放在导线周围由于电流产生的磁场中时，指南针发生偏转。

(c) 化学效应由于电流引起的化学作用，酸中导线附近有气泡放出。

§ 16 中进行过详细讨论。

安培和安培计

电流的单位是安培（符号为 A）。手电筒的小灯泡中流动的电流约为 $\frac{1}{4}$ A (0.25A)。

电流是由安培计来测量的（见图 88.8），安培计是利用电流的磁场效应工作的。操作安培计时应该仔细，它的一个接线柱标有加号或正号（+），有时涂上红颜色；另一接线柱上标有减号或负号（-），有时涂上黑颜色。这些符号将告诉人们怎样将安培计接入电路中（见下面的实验），以防止危险。

电路图

电路中各部件的符号如图 82.2 所示。电池组是由两节或更多节电

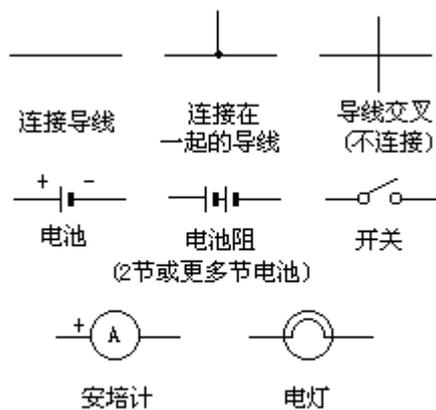


图 82.2

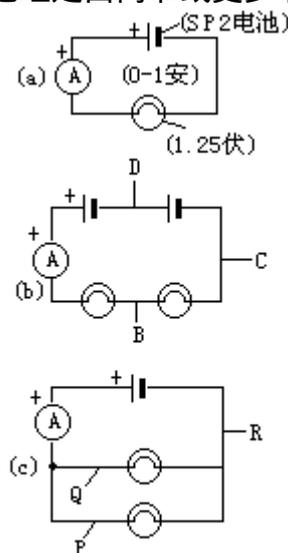


图 82.3

池组成的。当开关“断开”时，电路即断开；当开关“闭合”时，电路即闭合。

电路图中的箭头表示正电荷流动的方向，即所谓常规电流的流动方向。

实验 1 电流测量

a. 连接图 82.3 (a) 所示的电路（如果可能的话，在电路板上进行），保证电池的正极（钉在 SP2 上的金属）与安培计的正极（标有红颜色）相对。注意电流。

b. 连接图 82.3 (b) 所示的电路。电池是串联的（一个电池的-极与另一个电池的+极相连），灯泡也是串联的。在 A、B、C、D 处轮流断开电路，并接入安培计，以测得各点的电流。记下电流值。

· 发生了什么现象？

c. 连接图 82.3 (c) 所示的电路。电灯是并联的。测量 P、Q、R 处的电

流并记下电流值。

· 结论是什么？

串联电路和并联电路

在串联电路中，各点处的电流值是相等的，电流不被消耗。

在并联电路中，总电流等于各分支电路的电流之和。如图 82.3 (c) 中，P 点和 Q 点处的电流都是 0.2 安，那么 R 点处的电流就是 $0.2+0.2=0.4$ 安。

库仑

电量的单位库仑 (C) 是用安培这一术语定义的：

1 库仑就是 1 安的稳定电流在电路中的任一点流动 1 秒钟所流过的电量。

3 安的电流在 1 秒钟内流过每点的电量为 3 库仑。在 2 秒钟内，流过的电量为 $3 \times 2=6$ 库仑。一般来说，如果稳定电流 I (安) 流动的时间为 t (秒)，则流过任意一点的电量 Q 由下式给出：

$$Q=It$$

大约 6×10^{18} 个电子所带的电量为 1 库仑。

习题

1. 一电路中含有两节电池、两盏电灯、一个开关，试画出其电路图，使所有的元件都处于同一电路中，并当开关接通后使两盏电灯都达到正常的额定亮度。

2. 图 82.4 所示电路中的电灯和电池都是相同的。如果电路 a 中的电灯达到了正常的额定亮度，那么 b、c、d 中电灯的亮度如何？

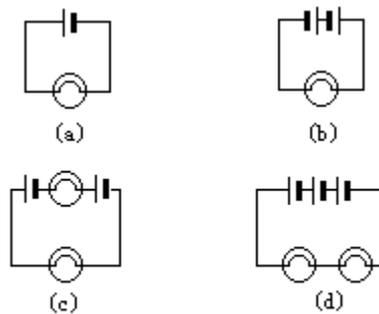


图 82.4

3. 图 82.5 所示电路中的电灯和电池是完全相同的。如果 A 的读数是 0.2 安，那么 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 何者的读数与之相等，何者比之较大，何者比之较小？

4. 试画出两个电路图，(a) 其中一个电路图是用三节电池使三盏灯都按额定值发亮，(b) 另一电路是用一节电池使一盏灯按额定值发亮。试问哪个电路中的电灯照亮的时长些？

5. 假定图 82.6 所示的电灯都是相同的，如果 A_1 的读数是 0.5 安，那么 A_2 和 A_3 的读数如何？

如果将灯泡 X 去掉，那么这三个安培表的读数各是多少？

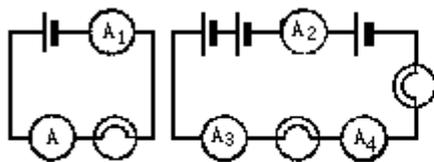


图 82.5

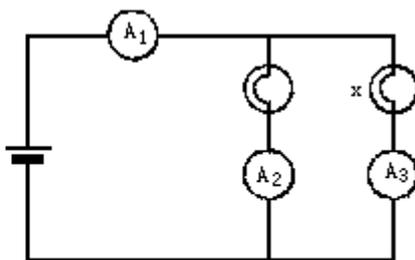


图 82.6

6. 按图 82.7 把电路图连接起来时，发现灯泡已达到了额定亮度，而安培计刻度盘上的指针并不发生移动。为什么？

7. 假定图 82.8 所示的灯泡都是相同的。如果 A_1 的读数是 0.5 安，那么 A_2 、 A_3 、 A_4 和 A_5 的读数如何？

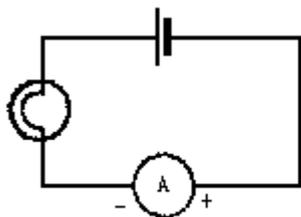


图 82.7

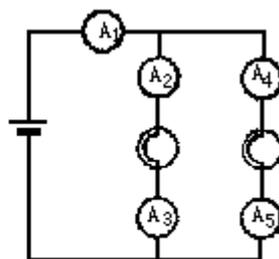


图 82.8

8. 如果流过一泛光灯的电流是 5 安，那么在 (a) 1 秒，(b) 10 秒，(c) 5 分钟内流过的电量各是多少？

9. 如果电路中流过各点的电量是 (a) 2 秒钟内的电量是 10 库仑，(b) 40 秒钟内的电量是 20 库仑，(c) 2 分钟内的电量是 240 库仑，那么电路中的电流是多少？

§ 83 电势差

热能够自然地由温度较高的一物体传到温度较低的另一物体上。液体能够自动地从压力较高的地方流到压力较低的地方。温度和压力分别是热和液体流动方向的决定因素。

对电来说，如果两点之间存在电压差，那么我们就认为电荷可从一点流到另一点。由于电池内部的化学作用，使负端的电子过剩，正端的电子缺少，因而两端之间产生电压差。这个电压差在电学中就叫做电势差或 p.d，并在连接电池两端的电路中引起电子流动。

电势差的度量单位是伏特（符号为 V），我们通常称电源的电势差为电压。在英国，家用电源的电压是 240 伏，汽车蓄电池的电压是 12 伏，一个 SP2 电池的电压是 1.5 伏。

电池和电池组

电池串联时，即一节电池的+极与另一节电池的-极相接形成一电池组时，将获得更大的电压。如图 83.1 (a) 所示，两节 1.5 伏电池 A、B 两端之间的电势差是 3 伏。

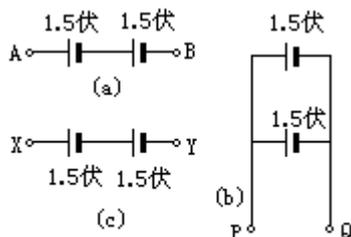


图 83.1

如果两节 1.5 伏电池并联连接（如图 83.1 (b)），P、Q 两端之间的电压仍然是 1.5 伏，但这种电池的组合相当于一个较大电池的作用，能使用更长的时间。

图 83.1 (c) 所示的电池方向相反，因而 X、Y 之间的电势差为零。

实验 1 电势差的测量

伏特计是测量电势差的仪器，其外形与安培计相同，但刻度盘是用伏特标记的。测量电流时，安培计是以串联的形式接入电路中的；而测取电路中某部分的电势差时，伏特计是连于该部分的两端的，即以并联形式连接的（我们在 § 88 中将会看到，伏特计应具有高电阻，而安培计应具有低电阻）。

为防止危险，伏特计的+接线柱（标有红颜色）必须与电池组的+极相接。

a. 按图 83.2 (a) 所示将电路连于电路板上。伏特计可用来测量灯泡两端的电势差。记下其读数。

b. 按图 83.2 (b) 连接成一电路。测量：

- (i) X 和 Y 之间的电势差 V ；
- (ii) 灯泡 L_1 两端的电势差 V_1 ；
- (iii) 灯泡 L_2 两端的电势差 V_2 ；
- (iv) 灯泡 L_3 两端的电势差 V_3 。

· V 与 $V_1+V_2+V_3$ 比较，其值如何？

能量转变和电势差

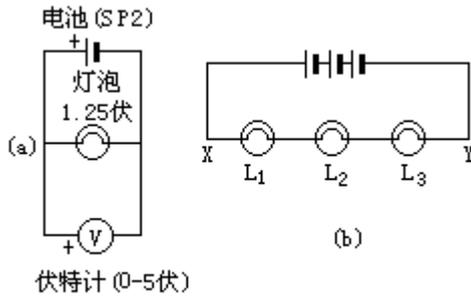


图 83.2

在电路中，电能是由电源如电池供应的，并通过电路中的装置转变为其它形式的能量。灯泡能生热放光。

将图 83.3 所示的电路连接起来，可以从安培计的读数中发现每个灯泡中的电流是大致相等的（0.4 安）。然而，当把 240 伏的电压加入电力灯泡时，电力灯泡发出的光和热要比 12 伏的汽车灯泡发出的亮。如果用能量这一术语的话，就是在 1 秒钟内电力灯泡转变的电能要比汽车灯泡转变的多。

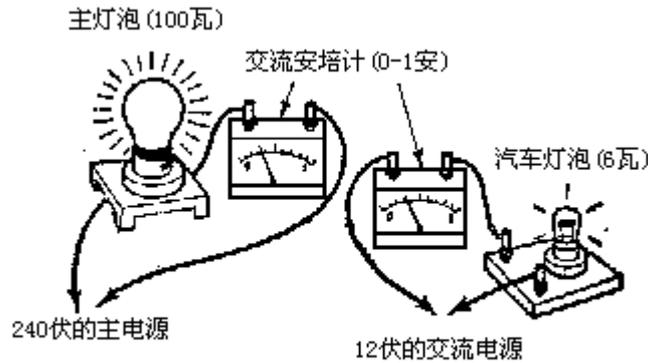


图 83.3

显然，装置两端的电势差影响其转变电能的速率。这就给了我们一种定义电势差单位——伏特的方法。

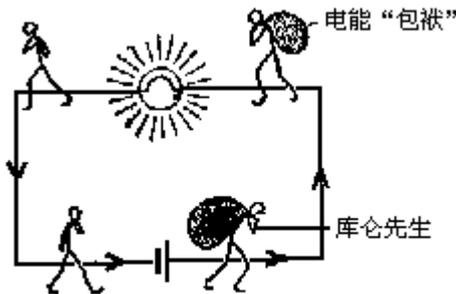


图 83.4

电路模型

如果把电路中的电流想象成由电“点”所形成，且每个电“点”的电荷都是 1 库仑，并带有大小相同的电能“包袱”，那么，这有助于理解伏特的

定义，即伏特是什么。在图 83.4 中，库仑 (Coulomb) 先生代表这样的—个电“点”。当电“点”沿着电路流动时，放出其所有的电能，并转变为其它形式的能量。注意，“耗掉”的是电能而不是电荷或电流。

在上述假想的描述图中，库仑先生沿着电路行走，并边走边将能量卸掉，大多数能量都卸在灯泡内。我们认为，他每次经过电池，就接收一份新的“包袱”，当然应假设他必须行走得很快。事实上，电子漂移的速度相当慢。电路—经接通，电能就通过连接导线中的电子而不是通过直接从电池中流出的电子立即释放给灯泡。这个模型对我们是有帮助的，但不是十分精确的描述。

伏特

图 83.3 的演示实验表明，电源两端的电势差越大，传给每一库仑的电能“包袱”就越大，电灯产生光和热的速率也就越大。

当 1 库仑的电量从电路中的—点流到另—点时，如果 1 焦耳的电能被转变为其它形式的能量，那么该两点之间的电势差就是 1 伏特。

这就是说，1 伏特即是 1 焦耳每库仑 ($1V=1J/C$)。若每库仑电量放出的能量为 2 焦耳，则电势差为 2 伏；若 2 库仑的电量通过时转换为 6 焦耳的能量，则电势差为 $6/2=3$ 伏。

习题

1. 图 83.5 所示的灯泡和电池都是相同的。若 a 中的灯泡达到正常的额定亮度

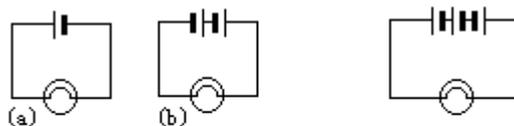


图 83.5

度，那么 b 和 c 中灯泡的亮度如何？

2. 三个伏特计 V 、 V_1 、 V_2 按图 83.6 连接起来。

(a) 若 V 的读数为 18 伏， V_1 的读数为 12 伏，那么 V_2 的读数如何？

(b) 复制图 83.6，并标出正确连接时，安培计和伏特计的正极接线柱。

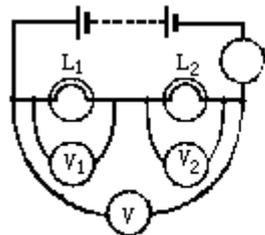


图 83.6



图 83.7

3. 图 83.7 所示灯泡两端的电势差为 12 伏。当 (a) 1 库仑的电量通过灯

泡时，(b) 5 库仑的电量通过灯泡时，有多少焦耳的电能转变为光和热？

4. 将三节 2 伏电池以串联形式连接起来，并用作一电路的电源。

(a) 电源两端的电势差为多少？

(b) 1 库仑的电量通过 (i) 一节电池，(ii) 所有三节电池时，能获得多少焦耳的电能？

§ 84 电 阻

将相同的电势差加在不同导体的两端，由于电子在其中流动的难易程度不同，因而流过的电流也就不同。导体对电流流动的阻碍作用叫做导体的电阻。对同一材料来说，因为给定电势差在细长导线中产生的电流较在粗短导线中的为小，所以细长导线比粗短导线具有更大的电阻。

良导体的电阻较小，非良导体的电阻较大。银是最好的良导体，铜次之，但由于铜比银要便宜得多，因而将铜用作电路中的导线和电缆线。静电的良绝缘体对流动的电来说仍是良绝缘体。

电阻器及其性质

设计成具有一定电阻的导体称为电阻器。电阻器可以是特殊合金的导线制成的，也可能是用碳制成的。可变电阻器（或称变阻器）在实验室实验中很有用途，它是由康铜（铜和镍的合金）线圈缠绕在管子上组成的，在管子上的金属杆上带有滑动触头（见图 84.1）。

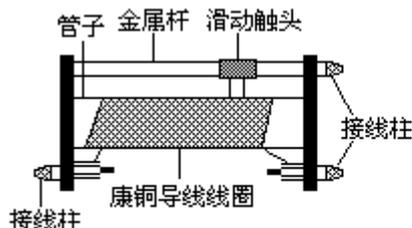


图 84.1

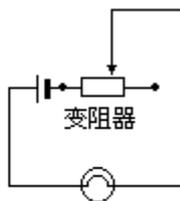


图 84.2

只须将变阻器的端部连接起来，并移动滑动触头，即可改变电路中的电流。图 84.2 中，如将滑动触头向左移动，则电阻减小，电流增加。

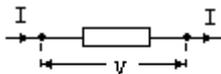


图 84.3

欧姆

若流过导体的电流为 I ，其两端的电势差为 V （见图 84.3），则其电阻 R 定义为：

$$R = \frac{V}{I}$$

这是测量电阻的一个合理的方法，因为对给定的 V 来说， I 越小， R 越大。

若 V 的单位为伏， I 的单位为安，则 R 的单位为欧姆（ Ω ：发音为欧米伽）。
 例如，若 $I=2A$ ， $V=12V$ ，则 $R=12/2=6 \Omega$ 。

如果一导体的两端的电势差为 1 伏，在导体中的电流为 1 安，则该导体中的电阻就为 1 欧姆。

实验 1 电阻测量

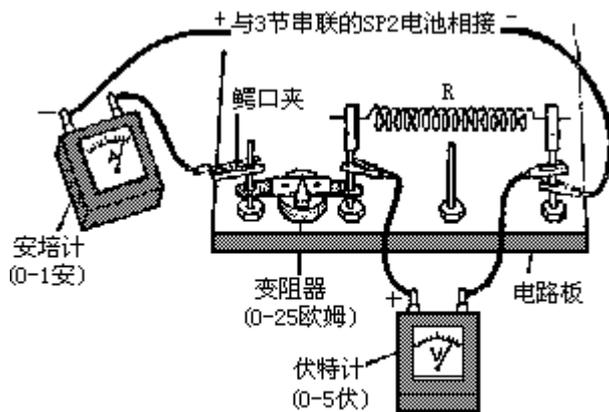


图 84.4

若测得加在导体两端的电势差为 V ，流过导体的电流为 I ，则用公式 $R=V/I$ ，即可求得其电阻 R 。这种方法叫做安培计-伏特计方法。

按图 84.4 将电路连接起来，其中未知电阻 R 为 1 米的 S.W.G. 34 康铜导线。改变电阻器，以使电势差 V 和电流 I 同时发生变化。在表中（有三栏）记下五个不同的电流值 I （如 0.10、0.15、0.20、0.25 和 0.30 安）及其对应的 V 值。

计算出每组读数对应的 R 值。

欧姆定律

实验表明，对金属导体来说，只要其温度不变，当 V 值发生变化时，对应的 I 值也就发生变化，但 V/I 值却总是保持不变。即，无论电压如何，金属导体的电阻总是恒定的。这里， V/I 是一常数，或 $I \propto V$ 。这就意味着，若 V 增加一倍， I 也就增加一倍，等等。

若金属导体的温度和其它物理条件不变，则流过导体的电流与其两端的电压成正比。这就是欧姆定律。它适用于金属和某些称为欧姆导体的合金。欧姆定律还可以写成：

$$\frac{V}{I} = R \quad \text{或} \quad I = \frac{V}{R} \quad \text{或} \quad V = IR$$

最后一个公式是最容易记忆的。所有的公式对欧姆导体的计算都是有用的。

对欧姆导体来说，因为 $I \propto V$ ，所以 I 对 V 的图形是一通过原点的直线（见图 84.5）。

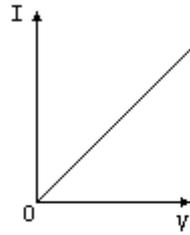


图 84.5

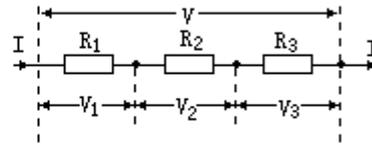


图 84.6

串联电阻

图 84.6 所示的电阻是串联的。对串联电阻来说，流过各电阻的电流 I 相等，三个电阻两端的总电势差 V 等于各电阻两端分电势差的总和，即：

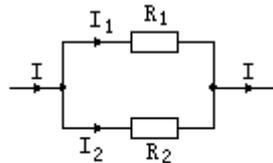


图 84.7

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

式中， $V_1 = IR_1$ ， $V_2 = IR_2$ ， $V_3 = IR_3$ 。若 R 是组合电阻，则 $V = IR$ 。这样：

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

两端同除以 I ，则：

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

并联电阻

图 84.7 所示的电阻是并联的。对并联电阻来说，各电阻两端的电势差 V 是相等的，总电流 I 等于各分支电流之和，即

$$I = I_1 + I_2$$

式中， $I_1 = V/R_1$ ， $I_2 = V/R_2$ 。若 R 是组合电阻，则 $V = IR$ 。这样：

$$V/R = V/R_1 + V/R_2$$

两端同除以 V ，则

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

重新整理，得：

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{\text{电阻之积}}{\text{电阻之和}}$$

计算例题

如图 84.8 所示，电池组加在电阻网络的电势差为 24 伏。

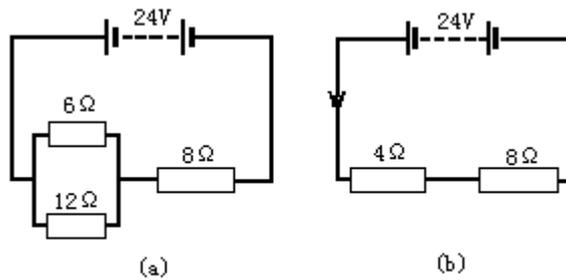


图 84.8

- (a) 6 欧姆和 12 欧姆并联的组合电阻是多少？
 (b) 8 欧姆电阻中的电流是多少？
 (c) 并联网络两端的电势差为多少？
 (d) 6 欧姆电阻中的电流是多少？

解：

- (a) 令 $R_1=6$ 欧姆和 12 欧姆并联的组合成电阻

$$\therefore \frac{1}{R_1} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{2}{12} + \frac{1}{12} = \frac{3}{12}$$

$$\therefore R_1 = \frac{12}{3} = 4 \text{ 欧姆}$$

(b) 令 $R=$ 电路的总电阻 $=4+8=12$ 欧姆。其等效电路如图 84.8(b) 所示，若其中的电流为 I ，因为 $V=24$ 伏，那么

$$I = \frac{V}{R} = \frac{24}{12} = 2 \text{ 安}$$

8 欧姆电阻中的电流等于 2 安。

- (c) 令 $V_1=$ 并联网络两端的电势差

$$V_1 = IR_1 = 2 \times 4 = 8 \text{ 伏}$$

- (d) 令 $I_1=6$ 欧姆电阻中的电流，因为 $V_1=8$ 伏，那么

$$I_1 = \frac{V_1}{6} = \frac{8}{6} = \frac{4}{3} \text{ 安}$$

习题

1. 若灯泡两端的电势差为 12 伏，其电流为 4 安，那么灯泡的电阻为多少？
2. 若流过 10 欧姆电阻的电流为 2 安，试计算其两端的电势差。
3. 若 4 欧姆电阻两端的电势差是 8 伏，那么流过其中的电流是多少？
4. 三个 10 欧姆电阻按图 84.9 连接起来，其等效总电阻是多少？

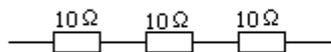


图 84.9

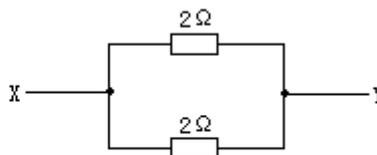


图 84.10

5. 如图 84.10 所示，试计算 X 和 Y 之间的等效电阻。
 6. 如图 84.11 所示，A 和 B 之间的有效电阻是多少？

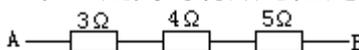


图 84.11

7. 图 84.12 所示三个电阻的组合电阻是多少？

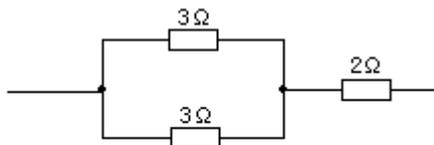


图 84.12

8. 一 4 欧姆的线圈和一 2 欧姆的线圈并联相接，流过两个线圈的总电流为 3 安。

- (a) 其组合电阻是多少？
 (b) 流过 2 欧姆线圈的电流是多少？

§ 85 电池：电动势

在电池中，化学能转变为电能。

简单电池（伏打电池）

简单电池是最先制造成的电池。简单电池的电压或电动势（e.m.f.——见后）大约为 0.1 伏，但由于“极化”，即铜板上氢气泡的集合，用过很短时间即停止工作。向电池中加入重铬酸钾，使氢氧化生成水，从而使电池去极化。简单电池的第二个缺点是“局部反应”。这是由锌中的杂质引起的，从而导致锌即使在没有电流的情况下也被耗掉。简单电池已被淘汰。

干（Leclanché）电池

干电池用于手电筒和晶体管收音机中，其电压（e.m.f.）为 1.5 伏。干电池的能源是锌和氯化铵之间的化学反应，但由于碳棒周围氢气的产生和集合，使干电池“极化”。二氧化锰用作去极化剂。在一段时间内，干电池可提供一稳定电流（例如 0.3 安）。

铅-酸蓄电池

这种蓄电池提供的电流要比干电池提供的电流大得多，而且通过反向通电可以使其再次充电，因而称为“二次”电池。简单电池和干电池都是“初

次”电池。汽车电池是由六个蓄电池串联而成的（见图 85.1）。

这种蓄电池的正极板为二氧化铅（棕色），负极板为铅（灰色），液体为硫酸。在放电过程中，当电流通过时，两个极板都转变为硫酸铅（白色），硫酸也变得更稀。当蓄电池得到完全充电时，硫酸的相对密度（由比重计测得）为 1.25。当蓄电池完全放电时，相对密度降为 1.18。

蓄电池的充电电路见图 85.2。电源必须是直流电（d.c.），其电压应大于被充电的蓄电池的电压。电源的正极与蓄电池的正极相接，

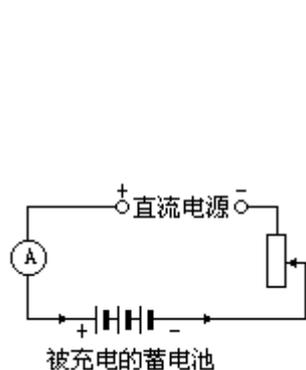
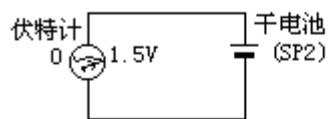
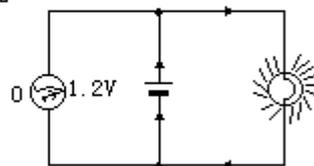


图 85.2



(a) 开路



(b) 闭合电路

图 85.3

并通过调节变阻器的电阻值来调节电流。在充电之前，蓄电池应“装满”蒸馏水，除非它是被密封的。

蓄电池的容量是用其在 10 小时放电时间内的安培-小时(Ah)来描述的。一个 30 安培-小时的蓄电池可以供 10 小时 3 安培的电流，但若电流为 1 安培则可供 30 小时以上，若为 6 安培则少于 5 小时。

电动势及端电势差

与电池两端连接的电压计可测得电池的端电势差。测得的读数与电路中的电流有关。当电池“开路”时，即无电流流过时，读数达到极大值（见图 85.3 (a)）。

当有电路与电池连接时，电池处于闭合状态，伏特计的读数较小（见图 85.3 (b)）。伏特计的读数随电路中电流的增大而减小，因而开路中电池的端电势差大于闭合电路中电池的端电势差。

若把电池看作提供电能的装置，我们就可以把电池在开路时的端电势差定义为电池给每库仑电量提供电能的焦耳数。若电池两端伏特计的读数为 1.5 伏，则电池为每库仑电量提供的电能就为 1.5 焦耳，因而也就说电池的电动势（e.m.f.，用 E 表示）为 1.5 伏。

电源的电动势就是电源开路时的端电势差。

测量电池电动势的伏特计必须具有很高的电阻。否则，伏特计中就有明显的电流通过，因而所测电池的端电势差就不是电池处于开路状态时的端电势差。

象电势差一样，电动势的单位也是伏特。电动势通常也称为“电压”。用同一材料制成的所有电池具有相同的电动势。

内电阻

闭合电路中电池的端电势差也就是加在外电路中的电势差。例如，当把伏特计连接在灯泡的两端而不是电池的两端时，其读数仍然相同（即 1.2 伏）（略去电池到灯泡之间连接导线的电阻，同样略去导线两端的电势差）。

在外电路中，电能被转变为其它形式的能量，因而我们把电池处于闭合电路中时的端电势差看作是外电路中由每库仑电量转变成电能的焦耳数。若闭合电路的端电势差为 1.2 伏，则每库仑电量转变的电能为 1.2 焦耳。

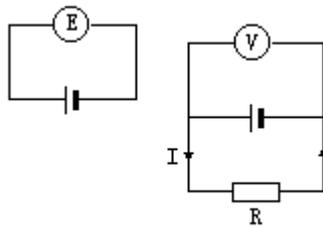


图 85.4

电池所提供的全部能量并非全部能量都转变成外电路中每库仑电量。由于电池本身具有电阻，每库仑电量都要损失“能量”。在上述例子中，为了通过电池本身，每库仑电量必须“浪费”一些能量——0.3 焦耳。因此，可供外电路使用的能量减少。电池的电阻称为电池的内电阻（ r ），它取决于电池的尺寸及其它因素。

电路方程

可用能量转换定律考察在一个含有电池的闭合电路中的能量转换情况：

电池为每库仑电量提供的能量=外电路中由每库仑电量转变的能量+每库仑电量消耗在电池内电阻上的能量。

或用电动势和电势差的定义加以解释：

$$\text{电动势} = \text{有用的电势差} + \text{“损失”的电势差} \quad (1)$$

因此，电路中的电动势等于外电阻两端的电势差与内电阻两端的电势差之和。

若 E 是内电阻为 r 的电池的电动势（见图 85.4 (a)），而 V 是当流过电阻 R 的电流为 I 时的端电势差（见图 85.4 (b)）。那么根据方程 (1)：

$$E = V + v \quad (2)$$

式中， v 为“损失”的电势差。它不能由伏特计直接测量，只能由 E 减去 V 获得。在方程 (2)（称为电路方程）中，因为通过整个电路的电流为 I ，因而我们可以得到 $V = IR$ 及 $v = Ir$ 。

设 $E = 1.5$ 伏， $V = 1.2$ 伏， $I = 0.30$ 安，代入 (2) 中：

$$1.5 = 1.2 + v$$

$$v = 1.5 - 1.2 = 0.3 \text{ 伏}$$

$$v = Ir$$

$$0.30 = 0.30 \times r$$

$$r = 1.0 \text{ 欧姆}$$

另外

$$V = IR$$

$$1.2 = 0.30 \times R$$

$$R = 1.2 / 0.30 = 4.0 \text{ 欧姆}$$

当突然起动汽车时，就可以看到内电阻的作用。设电动机起动发动机时需要的电流 $I = 100$ 安，电动机与电动势 $E = 12$ 伏、内阻 $r = 0.040$ 欧姆的电池组相接。当电池组为起动电动机提供的电流为 100 安时，其端电势差 $V = E - v = 12 - 4.0 = 8.0$ 伏。当灯泡两端的电势差为 12 伏时，灯泡达到额定亮度，当电势差为 8.0 伏时，象观察到的一样，灯泡将变暗。

习题

1. (a) 两个小灯泡串联在由干电池组成的电池组的电路中。开始时，灯泡很亮，但后来逐渐变暗。试解释其原因。

(b) 将电池组断开半个小时后重新接入电路中，灯泡又变亮。试解释其原因。

(c) 如何通过改变电路来增加灯泡的亮度，试加以解释，并阐述这种变化对电池组的寿命有何作用。

2. (a) 图 85.5 中流过的电流是多少？

(b) 电路中 3 欧姆电阻两端的电势差是多少？

3. 如图 85.6 所示，电动势为 6 伏、内电阻为 1 欧姆的电池组和一个 5 欧姆电阻串联。流过的电流是多少？



图 85.5

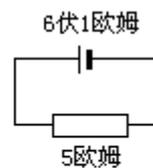


图 85.6

4. 当一高内电阻的伏特计接在处于开路中的电池组的两端时，其读数为 3.0 伏，当电路中流过灯泡的电流为 0.20 安时，伏特计的读数为 2.6 伏。(a) 电池组的电动势是多少？(b) 当电路中的电流为 0.20 安时，电池组的端电压是多少？(c) 灯泡两端的电势差是多少？(d) “损失”的电势差是多少？(e) 电池的内电阻是多少？(f) 灯泡的电阻是多少？

§ 86 电功率电路中的功率

前面已经提过，功率是能量从一种形式转变为另一种形式的速率。功率

的单位是瓦特 (W)，简称为瓦，它等于 1 焦耳每秒的能量转变速率，即 1 瓦=1 焦/秒。100 瓦的灯泡在每秒钟内转变为热和光的电能为 100 焦耳。较大的功率单位是千瓦 (kW)：1 千瓦=1000 瓦。

当两点间的电势差为 V 时，若流过的电流为 I ，则每秒钟转变的电能即功率 P 为：

$$P=VI$$

用单位表达，即为：

$$\text{瓦特}=\text{伏特} \times \text{安培}$$

因为 $V=IR$ ，因而 P 还可以写成：

$$P=IR \cdot I=I^2R$$

即，若电阻 R 上的电流为原来的两倍，每秒钟产生的热能则为原来的四倍。

电灯

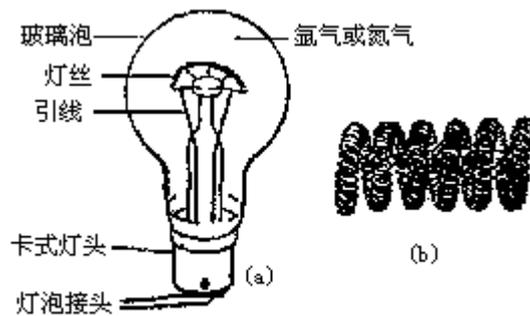


图 86.1

(a) 白炽灯 (见图 86.1 (a)) 白炽灯的灯丝为一小型钨丝线圈 (见图 86.1 (b))，当电流流过时，灯丝变得白热。灯丝的温度越高，电能转变为光的比例就越大。由于这个原因，灯丝用钨丝制成，其熔点高达 3400 。

大多数灯泡充有气体，而且含有氩气或氮气，但不是空气。这样就减小了钨丝的蒸发，否则钨丝将在灯泡上凝聚并使灯泡变黑。由于气体的对流作用，密绕线圈稍微得到冷却。

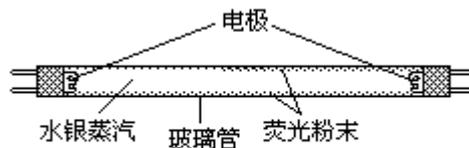


图 86.2

(b) 荧光灯 在白炽灯中，又有 10% 的电能转变为光能，而其余 90% 的电能都变成了热能。荧光灯的效率是白炽灯的三倍，因而白炽灯的寿命若为 1000 小时，荧光灯的相对寿命则为 3000 小时。荧光灯的安装成本高，但运转成本低。

图 86.2 为荧光灯的简图。当荧光灯被接通时，水银蒸汽放出紫外线辐射 (不可见)，使灯管内的粉末发出荧光，即发光 (可见)。粉末不同，发

出的光的颜色也不同。

电热

(a) 加热元件 在家用电器如辐射电炉、电炉、电壶、电熨斗中，加热“元件”(见图 86.3)是由镍铬耐热合金丝制造而成的。它是镍和铬的合金，当电流使之变得红热时并不发生氧化(因而也不会变脆)。

在辐射电炉中，加热元件处于红热状态的温度(约 900)，它放出的辐射线由抛过光的反射器照射到室内。在热空气循环对流加热器中，加热元件低于红热状态的温度(约 450)，用来加热由自然或强迫对流通通过加热器的空气。在贮存加热器中，加热元件在用电的“非高峰期”——深夜将耐火砖加热。次日，这些耐火砖逐渐冷却下来并放出所贮存的热能，从而将房间加热。

(b) 保险丝 保险丝是短型导线，具有较低的熔点(通常是镀锡的铜线)。当流过的电流超过一定的数值时，保险丝熔化，从而使

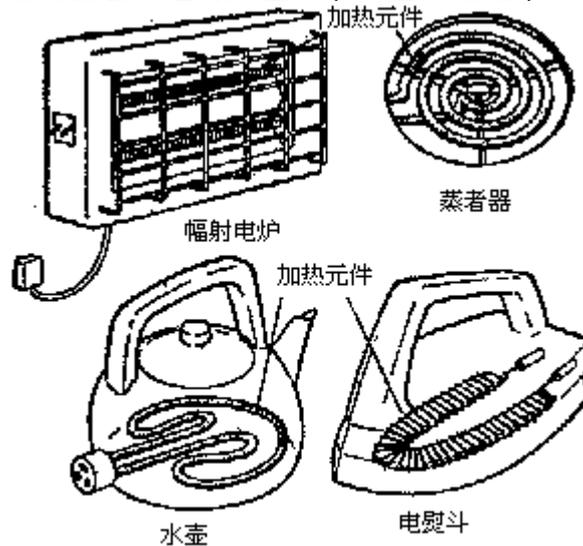


图 86.3

电路中断。由于连接导线绝缘体的损坏和电路的超载，从而造成“短路”，这是引起超额电流的两个原因。当出现这种情况时，如果没有保险丝，导线则变热，还会引起火灾。

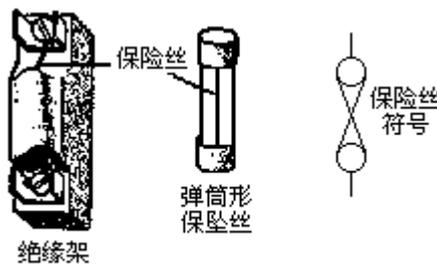


图 86.4

图 86.4 为两种类型的保险丝。

在更换保险丝之前一定要切断电源。

家用电路

电通常是由地下电缆引进家庭中的，电缆中含有两根导线，火线（L）和零线（N）。在当地变电站，零线接地。电源是交流电（a.c.），因而火线时正时负，交替出现。请仔细研究图 86.5 所示的现代家用电路。

（a）并联电路 在并联电路中，各电路与电源并联连接，即连

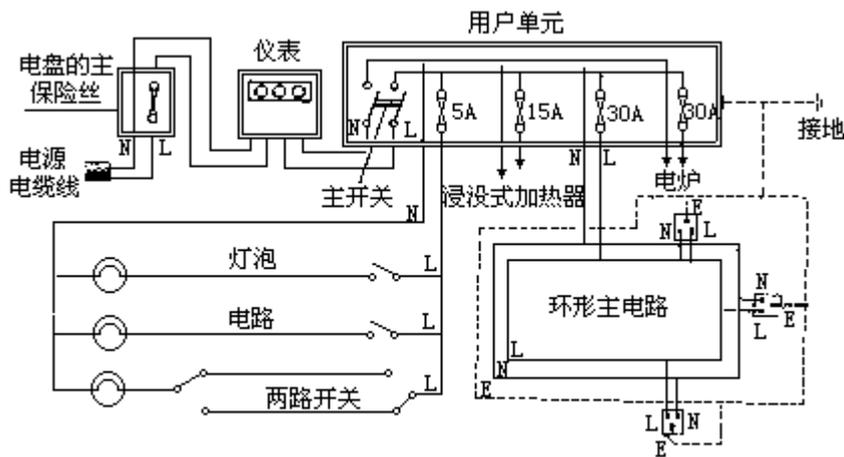


图 86.5

于火线和零线的两端，因而得到 240 伏的额定主电压。

（b）开关和保险丝 开关和保险丝通常接在火线上。若接在零线上，那么当开关断开或保险丝烧毁时，灯泡和电源插座仍是“带电”的。例如，当辐射电炉断开时，触击其加热元件仍然会受到致命的电击。

（c）楼梯间的控制电路 灯泡由两个地方的两个两路开关控制。

（d）环形电力线路 火线和零线绕房间构成两个完整的环形电路。电源插座从中分接出来，其额定电流均为 13 安。因为对每一个插座来说，电流都可由两条路径即在整个环形电路中流动，所以可以使用较细的导线。环形电路中装有一个 30 安的保险丝，因此，如果电路中有十个插座，只要其总电流不超过 30 安，则十个插座都可使用。

（e）保险丝插头 在一个环形电路中只能使用一种插头。插头用导线连接起来，并带有自己的保险丝管。额定电流为 3 安（蓝色）的适用于功率为 720 瓦的电器，额定电流为 13 安（棕色）的适用于功率介于 720 瓦和 3 千瓦之间的电器。

（f）接地及安全性 环形电力线路还有第三条导线，在所有的电源插座上，这条导线都和上端的插头相接（见图 86.6），并且通过和房间里的金属水管或者和供电电缆线的地线相接而达到接地的目的。万一电器出了毛病，这条导线就成为避免电击的安全预防工具。

三心插销上的接地引线和电器的金属外壳相接，这样，电器的金属外壳

就可以通过一个电阻几乎是零的路径和大地相接。例如，若电炉的加热元件断开、下沉或与外壳接触，就有一股强大的电流流入大地，从而将保险丝烧断。否则，电炉外壳就变成“火线”，任何与之接触的人都会受到电击（可能是致命的），特别是人站在水泥地板上或者正在旋动水龙头时。

电费收付

供电公司对其输出的电能是要收费的。一焦耳电能的量是非常小的，另一个较大的单位是千瓦时(kWh)。1千瓦时即1千瓦的电器运行1个小时所消耗的电能。一个3千瓦的电水壶工作2小时所消耗的电能为6千瓦时，通常称为6“度”。电表是用千瓦时来标记的，图86.7所示的电表上的读数为87939。当指针介于两个数字之间时，就要读取较小的数字，9和0除外。目前，一“度”电大约收费5便士。

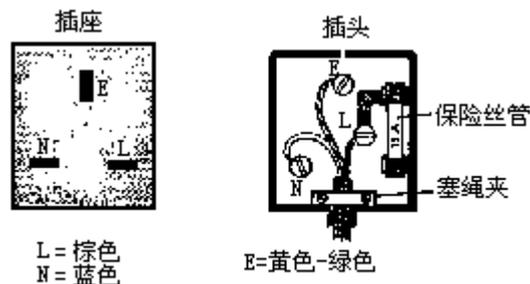


图 86.6

一些电器的常用功率为：

电灯泡	60, 100 瓦	电炉	1, 2, 3 千瓦
电冰箱	150 瓦	电(水)壶	2 ~ 3 千瓦
电视机	200 瓦	浸没式加热器	3 千瓦
电熨斗	750 瓦	电蒸锅	8 千瓦

习题

- 100 瓦的灯泡在 (a) 1 秒钟，(b) 5 秒钟，(c) 1 分钟内各消耗多少焦耳的能量？
- 额定电压和电流分别为 12 伏和 2 安的灯泡的功率为多少？
- 电源电压为 240 伏，其保险丝的额定电流为 5 安，以之为动力而安全运行的 60 瓦灯泡的最大电流是多少？
- 电源插座的额定电流和电压分别为 13 安和 240 伏，欲使电器与之安全连接，电器的最大功率是多少千瓦？
- 流过一个 2 欧姆电阻的电流为 3 安，试计算 (a) 电阻两端的电势差，(b) 该电阻所消耗的功率。
- 标有 12 伏 24 瓦字样的车灯，若接在 12 伏的电源上，(a) 流过的电流为多少？(b) 其电阻为多少？
- 一个 3 千瓦的电加热器工作了 10 个小时。

(a) 消耗的电能为多少度 (kWh) ?

(b) 若每度电价格为 5 便士, 则总费用为多少 ?

8. 一个电蒸锅含有一个 3 千瓦的烘箱、一个一千瓦的炉栅和四个 500 千瓦的回路。若每度电值 5 便士, 那么电蒸锅所有部件工作 30 分钟的电费是多少 ?

§ 87 电磁体

奥斯特 (Oersted) 的发现

1819 年, 奥斯特偶然发现了电流的磁效应。下面我们再重复一下他当时所做的实验: 将导线置于指南针 (指针指向北方和南方) 之上, 并使之与指南针平行 (见图 87.1), 当电流接通时, 指针即转动一个角度, 若改变电流的方向, 指针则指向相反的方向。

很明显, 带电导线周围存在着一个磁场。至于永久磁体形成的磁场, 我们则用磁力线来表示。磁力线上的箭头表示磁场的方向, 即 N 极所指的方向。

不同形状的导体形成不同形式的磁场。

直导线引起的磁场

如果将一直导线垂直穿过一块水平放置的纸板并接通电流, 然后轻轻敲击纸板, 纸板上的铁屑就形成以直导线为中心的同心圆 (见图 87.2)。

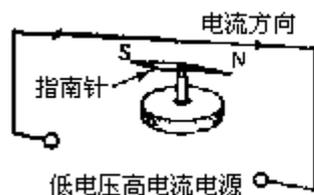


图 87.1

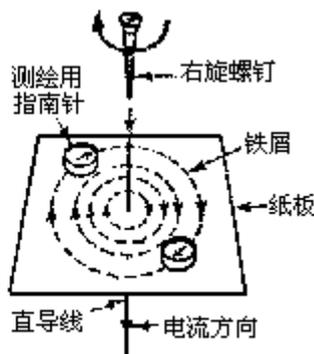


图 87.2

将测绘指南针沿着磁力线置于纸板上, 从而就可看出不同点的磁场方向。若改变电流方向, 指南针就指向相反的方向。这就表明, 磁场的方向随着电流方向的改变而改变。

若已知电流方向, 即可用右手螺旋法则判别其磁场方向: 若右旋螺钉前进的方向和电流方向相同 (习惯是这样), 则螺钉的旋转方向即为磁场的方向。

线圈引起的磁场

通电线圈周围的磁场形式如图 87.3 所示。在线圈的中心, 磁力线为直线, 且与线圈所在的平面形成直角。仍用右手螺旋法则来判别任意点的磁场

方向。

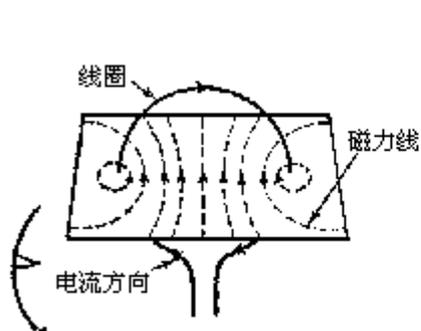


图 87.3

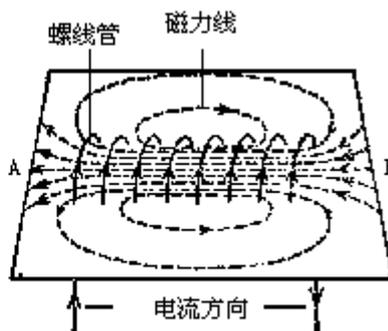


图 87.4

螺线管引起的磁场

螺线管是一长型的圆筒形线圈。它产生的磁场类似于磁条所产生的磁场，如图 87.4 所示，A 端的作用同 N 极，B 端的作用同 S 极。对于由一匝导线组成的长度很短的螺线管，可用上述右手螺旋法则判断其极性，或者由右手手法则（见 § 80）判断。

若螺线管的匝数很多，且导线中的电流也很大，就会在螺线管内部产生强度极大的磁场。在 § 80 中，我们已将它用于磁性材料中；使熔融的金属在磁场中凝固而制得永久磁体。

电磁体

电磁体是由线圈缠绕在软铁芯上构成的。电磁体和永久磁体不同，其磁性是暂时的，可以接通，也可以断开。电磁体有一个软铁芯，只有当电流流过线圈时，软铁芯才可能被磁化。

在下列条件下，电磁体的强度都将增加：

- (i) 线圈中的电流增加；
- (ii) 线圈的匝数增加；

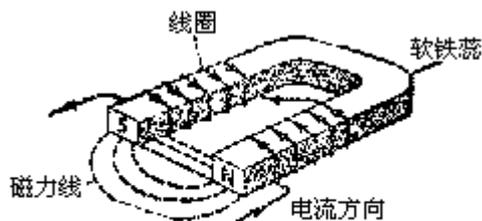


图 87.5

- (iii) 两个磁极更加接近。

当电磁体的铁芯为 C 形（或马蹄形）时，即可获得 (iii) 所要求的条件（见图 87.5）。注意，铁芯两支上线圈的缠绕方向是相反的。

电磁体除了用作起重机起吊塔器，可以提起铁件、废铁等以外（见图

87.6) 还是许多电器设备的基本元件。

电铃 (门铃)

(a) 铃 (见图 87.7) 电路闭合时, 电流在电磁体的线圈中流过, 使电磁体磁化, 从而吸引软铁片 (衔铁), 使锤子敲击铜锣, 并使回路在接触螺钉 C 处断开。

此时, 电磁体就失去了其磁性而不再吸引衔铁, 于是, 弹性金属片就将衔铁拉回原位, 使电路在 C 点接触而重新组成闭合回路。只要按下电铃按钮, 这一过程就会周而复始地进行, 从而不断发出铃声。

(b) 敲钟装置电路如图 87.8 所示。当按钮开关 (i) 按下时, (ii) 松开时, 试想一下会有什么现象发生。

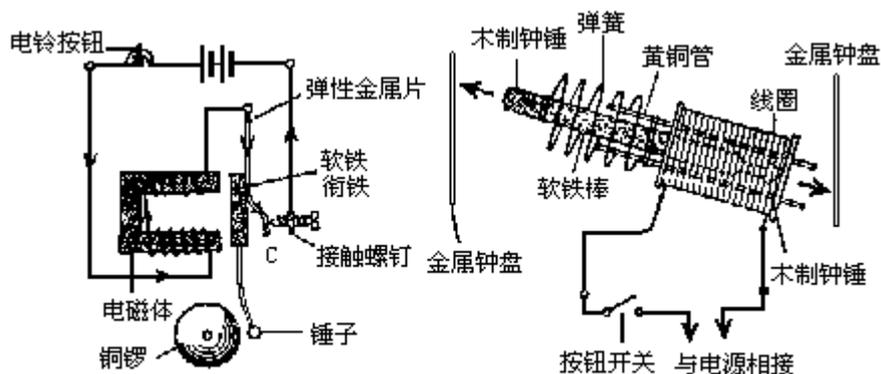


图 87.7

图 87.8

电话机

电话机由讲话端的传声器和听话端的接收器组成。

(a) 碳制传声器 (见图 87.9) 人讲话时, 声波引起电话机的膜片前后移动, 从而使碳粒上的压力发生变化, 这些碳粒介于前边的碳块 (系在膜片上) 和后边的碳块 (固定) 之间。当压力增加时, 碳粒挤得更紧, 从而其电阻减小。当压力减小时, 情况相反。当电流 (来自电池) 通过传声器时, 也要发生类似于声波振动的变化。

(b) 接收器 传声器将声能转变成电能, 而电能通过电话线后, 又被接收器 (见图 87.10) 转变成声能。

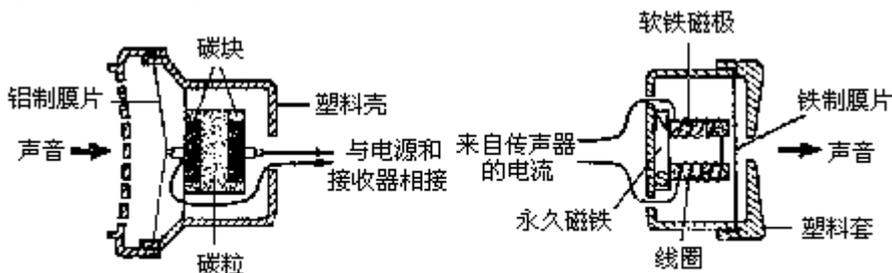


图 87.9

图 87.10

来自传声器的不断变化着的电流通过电磁体的线圈后，吸引膜片与电磁体靠拢，其距离的长短由电流的大小决定。这样，膜片即前后移动，从而产生声波。这种声波就是进入传声器的声波的复制品。

习题

1. 图 87.11 所示的垂直导线与纸板形成直角。当 (a) 导线中没有电流时，(b) 电流方向向上时，试问测绘指南针在 A 点指向何方？

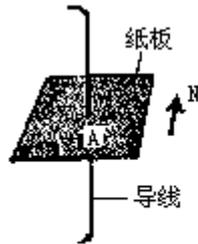


图 87.11

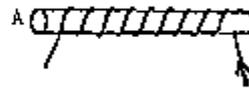


图 87.12

2. 如图 87.12 所示，螺线管缠绕在软铁芯上。电流（常用的）方向如图所示，问 A 端是 N 极还是 S 极？

3. (a) 为什么软铁比钢更适于用作电磁铁的芯子？

(b) 阐述两种方法，使制成的电磁铁的磁性更强。

§ 88 电动机和仪表

电动机用于电风扇、电梯、洗衣机和火车头等装置中。

电动机效应

磁场中的带电导体会产生力，从而使可动导体移动。

(a) 演示实验如图 88.1 所示，将一柔性导线活动地支承在 C 形磁体（永久磁体或电磁体）所形成的强磁场中。接通开关后，导线中通入电流，并向上移动。若改变电流方向或磁场方向，导线将向下移动。

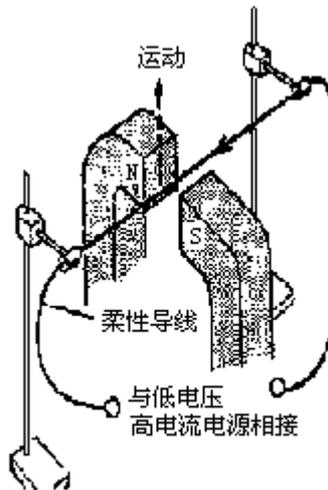


图 88.1

(b) 解释图 88.2 (a) 为导线和磁体所产生的磁力线的侧视图。导线所产生的磁力线为圆形，假定其方向如图 88.2 (a) 所示。虚线代表磁体所产生的磁力线的方向，方向向右。

将两个磁场给合在一起，结果得到一个合成磁场，如图 88.2 (b) 所示。导线下面的磁力线多于导线上面的磁力线，因为导线下面的磁力线方向相同，而导线上面的磁力线方向相反。如果把磁力线假想为被拉紧的橡皮线，那么下面的磁力线将试图伸直，从而在导线上施加一向上的力。佛兰芒 (Fleming) 左手法则



图 88.2

作用在导线上的力的方向可用左手法则来判断(见图 88.3):举起左手,使大拇指、食指和中指两两互相垂直,若食指指向磁场方向,中指指向电流方向,则大拇指指的即为推力方向。

若导线和磁场方向不垂直,作用力则变小;若导线和磁场方向平行,作用力则为零。

简单的直流电动机

简单的直流电动机是由安装在转轴上的矩形线圈组成的,转轴可在 C 形磁体的两个磁极间转动(见图 88.4)。线圈的两端分别与两个半圆铜环连接。半圆铜环又称为转换开关,它和线圈一起转动。两个碳块在此用作电刷,与

电源相接，在弹簧的压缩下轻轻地与转换开关接触。

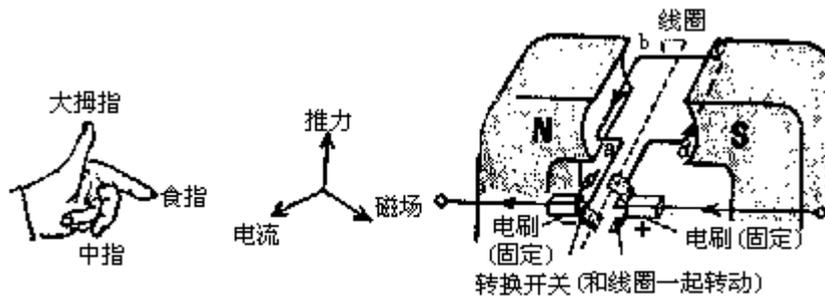


图 88.3

图 88.4

若将佛兰芒左手法则用于图示位置的线圈上，就会发现 ab 边产生方向向上的力，而 cd 边则产生方向向下的力。（ad 边和 bc 边和磁场方向平行，故其上没有力的作用。）这两个力形成一力偶，从而带动线圈以顺时针方向转动，直到成为垂直状态。此时，电刷和转换开关上的间隙处于同一条直线上，从而将电断开。然而，由于其惯性，线圈将超过垂直位置，并使转换开关的另一半由与一个电刷接触变化到与另一电刷接触。这样，就改变了线圈中的电流方向，从而改变了作用在线圈各边上的力的方向。此时，ab 边位于右边，受到向下的作用力，而 cd 边位于左边，受到向上的作用力。因此，线圈仍保持顺时针方向转动。

实用电动机

实用电动机有：

- a. 一个多匝数的线圈缠绕在软铁圆筒或芯子上，因此，二者一起转动。这样，就使线圈变得更为强大。线圈和铁芯组合在一起称为电枢（转子）。
- b. 几个线圈，每个线圈都安装在铁芯的沟槽内，并且都有一对转换开关断片。这样，就会得到更为强大的功率，更为光滑的转动。图 88.5 所示为电钻的电动机。

- c. 一块电磁体通常用来产生磁场，电枢在此磁场中转动。

实验 1 电动机模型

由如图 88.6 所示的一套部件可以制造一台电动机模型。

1. 将绝缘胶布（Sellotape）缠绕在金属管的一端，然后将金属管在木块中穿过。
2. 从细橡皮管上切掉两个橡皮环，装在金属管的绝缘胶布端。
3. 从绝缘层为 SWG26 聚氯乙烯、长为 $1\frac{1}{2}$ 米的铜线的一端去掉一段绝缘层，并将铜线固定在两个橡皮环的下方，以便能和绝缘胶布紧紧地贴住。这样，就形成了线圈的一端。
4. 将木块的沟槽中缠绕十匝线圈，同样将一端去掉聚氯乙烯绝缘层，并将其固定在与前者相对的橡皮环的下方，从而完成了线圈的另一端。线圈的

裸露端用作转换开关。

5. 将轴穿入木制基础上的金属管，以便木块能够自由地旋转。

6. 取两段长为 $\frac{1}{2}$ 米的导线用作电刷，并按如图所示与电源相接。调节

电刷，使之处于垂直状态，并当线圈处于水平位置时能与线圈的裸露端接触。如果不这样安装，电动机就不能转动。

7. 将基础放在具有相对两极的磁体中，然后与 3 伏电池（或其它低压直流电源）接通。这时，只要轻轻推动一下线圈，线圈就会高速旋转起来。

电刷（当线圈处于水平位置时，

每个电刷必须与一端接触）

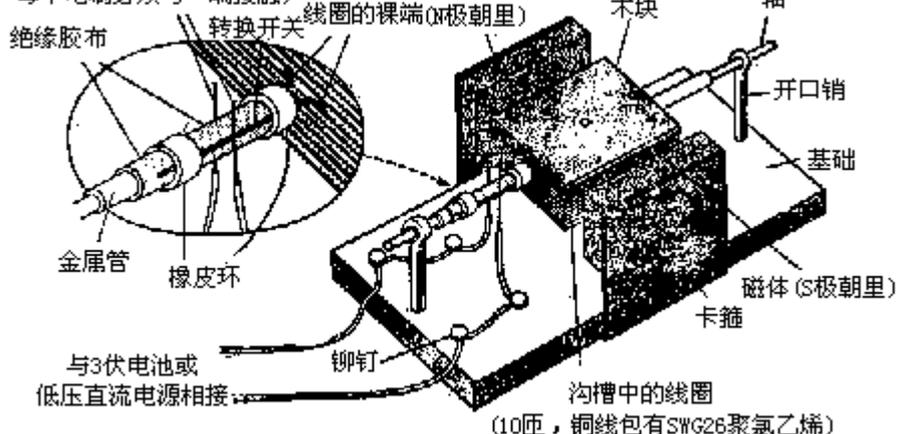


图 88.6

动圈式电流计

电流计可用来测量毫安 (mA) 级的弱电流。(1 毫安=1/1000 安=0.001 安。) 某些电流计甚至更敏感。

在动圈指针式电流计中，线圈在永久磁体两极之间安装于宝石轴承上（见图 88.7 (a)）。电流通过线圈上面和下面的游丝流入和流出线圈。当电流接通时，线圈上就有力偶作用（和电动机一样），从而引起线圈旋转，直到游丝使之停止。电流越大，指针（连接在线圈上）的偏离就越大。

位于线圈中央的软铁圆柱体是固定的，并和磁体的凹面磁极联合产生一个径向磁场（见图 88.7 (b)），即磁力线指向圆柱体的中心。电流计上的刻度是均等或线性的，即所有的间隔是相同的。

可通过下列方法来增加电流计的灵敏度：

- (i) 增加线圈的匝数；
- (ii) 使用更强的磁体；
- (iii) 采用更弱的游丝或将导线悬置；
- (iv) 将由线圈上的镜子反射而得到的一长光束作为指针。

后两种方法用于光束电流计中。在光束电流计上有微安 (μA) 刻度。(1 微安=1/1000000 安=0.000001 安。)

动圈式电流计只可测量直流 (d.c.) 而不可测量交流 (a.c.) 电流, 除非电流计上装有整流器。

安培计和分流器

可将电流计进行改装, 使之用作安培计。假定一动圈式电流计的电阻为 5 欧姆 (大部分是线圈的电阻), 满刻度 (f.s.d) 为 1 毫安 (0.001 安)。

要将上述电流计改装成一个读数为 0~1 安的安培计, 只须将一个电阻值较低的电阻与之并联, 作为一个旁路。该电阻即称为分流器。当被测量的电流是 1 安时, 只容许 0.001 安的电流流过电流计, 而使剩余的 0.999 安电流流过分流器 (见图 88.8)。

电流计和分流器是并联的, 因此:

电流计两端的电势差=分流器两端的电势差

$$0.001 \times 5 = 0.999 \times S \text{ 式中,}$$

S 是分流器的电阻值 (单位为欧姆)。

$$S = \frac{0.001 \times 5}{0.999} = \frac{5}{999} = 0.005 \text{ 欧姆}$$

分流器可以是短而粗的锰铜导线或锰铜带。锰铜是一种合金, 其电阻不因电流通过受热而变化。

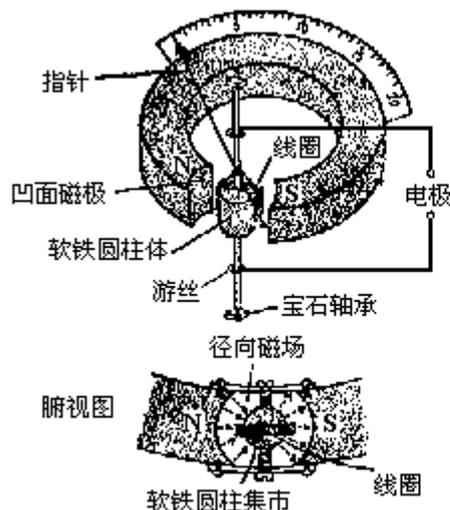


图 88.7



图 88.8

安培计是串联于电路中, 因此与电路的其它部分相比, 它必须有较低的电阻值, 否则将改变被测电流的大小。上述电流计和分流器的合电阻小于 0.005 欧姆。

伏特计和倍压器

把电阻为 5 欧姆, 满刻度为 1 毫安的动圈式电流计与一个高阻值的电阻串联, 即可将此电流计改装成读数为 0~1 伏的伏特计。

该电阻即称为倍压器。当施加于倍压器和仪表两端的电势差为 1 伏时,

倍压器必须使流过的电流为 0.001 安，即使仪表达达到满刻度（见

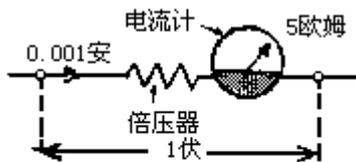


图 88.9

若用 M 代表倍压器的电阻值（单位为欧姆），那么，因为它与电流计是串联的，所以

$$\text{倍压器和电流计（满刻度）两端的电势差} = 0.001 \times (M+5) = 1$$

$$M+5 = 1/0.001 = 1000$$

$$M = 995 \text{ 欧姆}$$

倍压器可以是缠绕在线轴上的、涂有绝缘层的长而细的锰铜线。图 88.10 所示为带有分流器和倍压器的动圈式安培计。

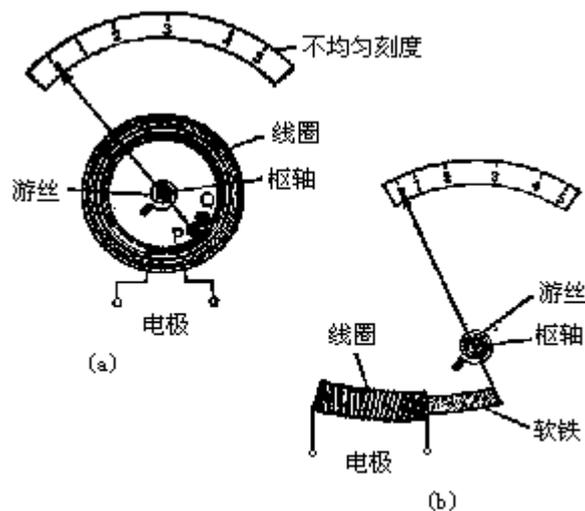


图 88.11

伏特计与电路中被测电势差的部分是并联的，因此与被测部分的电阻值相比应具有较高的电阻。否则，整个电路的总电阻将减小，从而改变所需要的电流和电势差。理想伏特计的电阻值为无限大。

动铁式仪表

在排斥式仪表（见图 88.11）中，当电流流过线圈时，两个小型软铁棒 P 和 Q 被同向磁化，因而互相排斥。 Q 是固定的，而 P 与装在枢轴上的指针相接，并沿远离 Q 的方向移动，直至被游丝停止其运动。电流越大，指针的偏离就越大。

采用合适的分流器或倍压器，就可将上述仪表改装成安培计或伏特计。无论电流以何种方式流过，上述仪表都可正常工作，因而可测量交流电和直

流电。其缺点是刻度不均匀；起初位置的刻度密一些。

习题

1. 如图 88.12 所示，作用在 XY 上的力的方向如何？

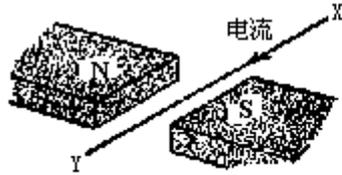


图 88.12

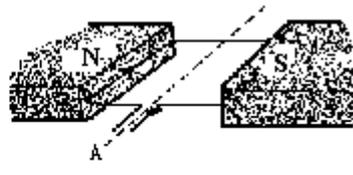


图 88.13

2. 如图 88.13 所示，从 A 端看出，线圈是顺时针旋转还是逆时针旋转？
3. 电阻值为 20 欧姆的电流计，其满刻度为 5 毫安。如何进行改装，才能使之用作 (a) 1.0 安的安培计，(b) 10 伏的伏特计？

§ 89 发电机和变压器

发 电 机

电流产生磁场。而由磁场产生电流的这种逆效应是在 1831 年由法拉第 (Faraday) 发现的，称为电磁感应，从而导致了能在发电站产生电能的发电机的问世。

电磁感应

在此用两种方法来研究这种感应效果。

(a) 直导线和 U 形磁铁 (见图 89.1) 首先将导线静止放置在磁体两极之间，并与电流计相接。然后，按如图所示的六个方向分别移动导体。只有向上 (方向 1) 和向下 (方向 2) 移动时，电流计的指针才发生偏转，表明导线中有感生电流产生。在上述两种情况下，指针偏转的方向正好相反，而且只有当导线处于运动状态时，指针才可能保持其偏转。

(b) 磁棒和线圈 (见图 89.2) 将磁棒插入线圈中 (首先插入一端)，并使之静止停留在线圈中。接着取出磁棒。当磁体向着线圈方向移动时，电流计就表明线圈中有感应电流产生，并沿着一个方向流动。当磁体背离线圈方向移动时，感应电流的方向则相反。当磁体静止时，电流计的指针不发生偏转。当磁体静止而线圈移动时，所得结果是相同的，即只需有相对运动即可。

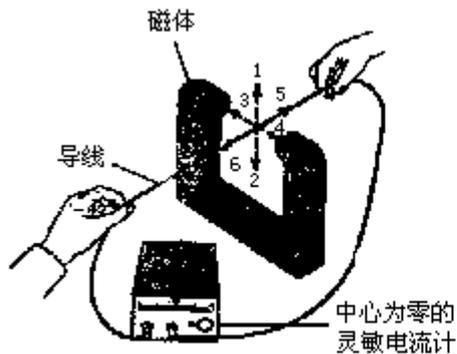


图 89.1

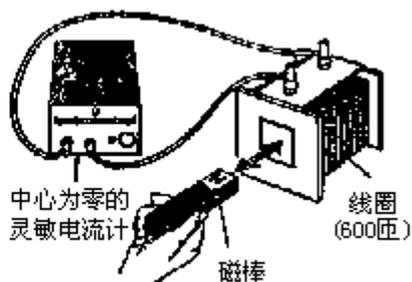


图 89.2

法拉第定律

为了解释电磁感应，法拉第提出：当导体切割磁力线，即穿过磁力线时，导体上有感应电动势产生；但当导体沿着磁力线方向运动或静止时，则没有感应电动势产生。若导体是一闭合回路的一部分，则也有感应电流产生。

法拉第发现，对类似于图 89.1 所示的装置，感应电动势随下列因素的增加而增加：

- (i) 磁体或线圈的运动速度；
- (ii) 线圈的匝数；
- (iii) 磁体强度。

上述事实使法拉第建立了下述定律：

感应电动势的大小与导体切割磁力线的速度成正比。

楞次 (Lenz) 定律

感应电流的方向可由俄国科学家楞次所发现的定律来判断：

感应电流的方向总是反抗引起感应电流的变化。

在图 89.3 (a) 中，磁体朝接近于线圈的方向移动，N 极在前。根据楞次定律，感应电流的方向应使线圈的顶端作为 N 极。线圈朝下运动时，感生电流的方向相反。

当取出磁体时，线圈的顶端应为 S 极 (见图 89.3 (b))，吸引磁体的 N 极，从而阻止磁体移去。此时所产生的感应电流与磁体靠近时的感应电流方向相反。

楞次定律是能量转换定律的一个例子。如果电流产生的磁极与应该产生的磁极相反，就会凭空产生电能。而事实上则是移动磁体的人提供机械能，以克服所产生的力。

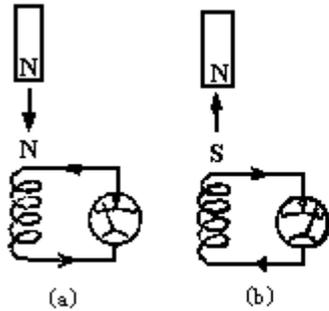


图 89.3

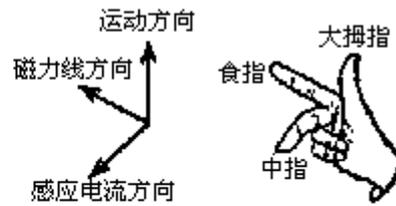


图 89.4

当直导线沿垂直方向切割磁力线时，可采用楞次定律的一种更有用的形式，即佛兰芒右手定律（见图 89.4）：

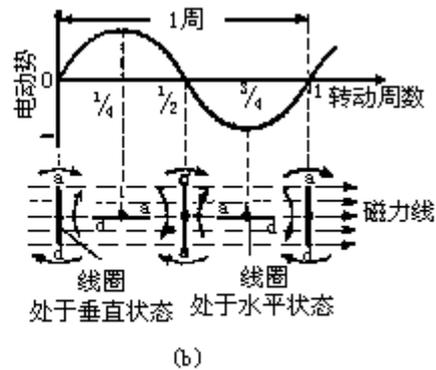
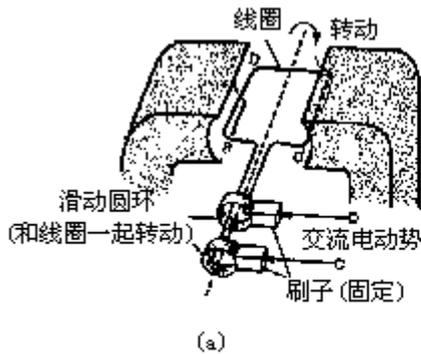


图 89.5

伸出右手，使大拇指、食指和中指两两互相垂直。若食指所指的方向为磁力线的方向，大拇指所指的方向为导线运动的方向，则中指所指的方向即为感应电流的方向。

简单的交流发电机

最简单的交流发电机是由位于 C 形磁体两极之间的矩形线圈构成的（见图 89.5 (a)）。线圈的两端与位于转轴上的两个滑动圆环相接，而滑动圆环又分别与两个碳刷相接触。

当线圈转动时，它切割磁力线，线圈内就产生感应电动势。图 89.5 (b) 表明当线圈完全转动一周时，电动势的变化情况。

当线圈以垂直状态移动时，ab 边位于最上面，ab 边和 cd 边的移动方向都与磁力线方向平行（bc 边和 da 边总也是如此），不切割磁力线，因而感应电动势为零。

经过第一个 1/4 周后，线圈变为水平状态，电动势增至最大值。此时 ab 边和 dc 边以最大的速度切割磁力线。

在第二个 1/4 周内，电动势又降低下来，并且当线圈处于垂直状态时（dc 边位于最上面），电动势又变为零。此后，感应电动势的方向变成与前面相

反，因为在下半周内，ab 边的运动方向朝上而 dc 边的运动方向朝下。

因为所产生的交流电动势的方向是变化的，因此必将在与电刷相接的电路内产生交流电。交流电的频率即为每秒钟内线圈转动的周数（周/秒），用赫兹（Hz）来度量，即 1 周/秒=1 赫兹。若每秒内线圈转动两周，则交流电的频率即为 2 赫兹。英国的主要电源为 50 赫兹的交流电。在实际发电机中，是将几个线圈缠绕在软铁圆柱体上尺寸相同的狭槽内，且常常用电磁体代替永久磁体。

互感

当线圈中的电流被接通或断开或发生变化时在相邻线圈中会有感应电动势和感应电流产生。这种效应称为互感，是不用永久磁体而产生电磁感应的一个例子。图 89.6 所示为产生互感的一种装置。线圈 A 为原线圈，线圈 B 为副线圈。

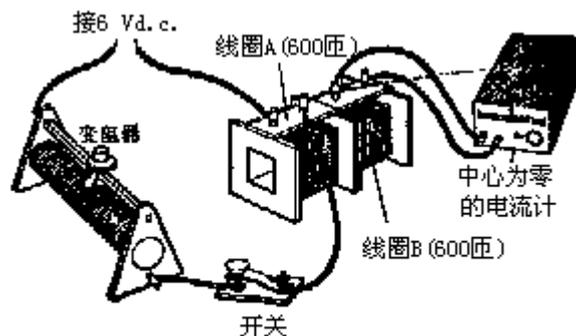


图 89.6

原线圈接通电流后，就建立了磁场；因为其磁力线伸出了原线圈，从而切割了副线圈。当原线圈中的电流达到稳定值后，副线圈中就产生了感应电动势。当原线圈中的电流断开后，磁场消失，我们可以想象磁力线消失时也切割了副线圈，因此副线圈中又产生了感应电动势。通过快速移动变阻器的滑动触头的方法来改变原线圈中的电流大小，也具有同样的效果。

在线圈内插入软铁棒会使感应电动势增加；若将线圈缠绕在封闭的铁环上，效果会更好。由于铁的磁化，会有更多的磁力线切割副线圈。

实验 1 交流电的互感效应

交流电总是变化着的。因此若原线圈中有交流电流过，则副线圈中就会产生感应交流电动势和电流。

按图 89.7 将电路连接起来。电压为 1 伏的高电流电源为原线圈输送交流电，而灯泡则用来检测副线圈中的电流。

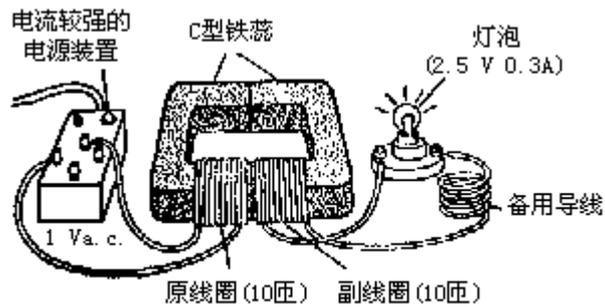


图 89.7

进行下列实验，看灯泡的亮度有何变化：

- (i) 慢慢地将 C 形铁芯拉开；
- (ii) 将副线圈的匝数增至 15 匝；
- (iii) 将副线圈的匝数降至 5 匝。

变压器方程式

变压器可将交流电势差（电压）从一个值变换为另一个更高或更低的值。变压器的原、副线圈都缠绕在封闭的软铁芯上，或是上下排列（见图 89.8 (a)），或是分别位于铁芯的分支上（见图 89.8 (b)）。

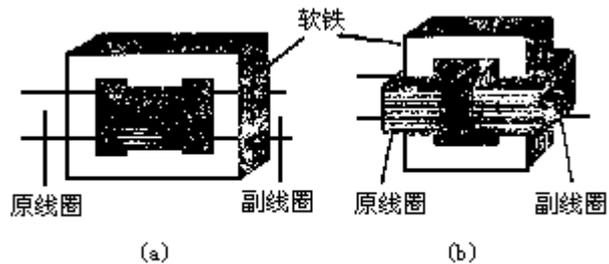


图 89.8

加在原线圈上的交流电压使副线圈中感应出交流电压，其值可由下式求出：

$$\frac{\text{副线圈电压 } (V_s)}{\text{原线圈电压 } (V_p)} = \frac{\text{副线圈匝数 } (t_s)}{\text{原线圈匝数 } (t_p)}$$

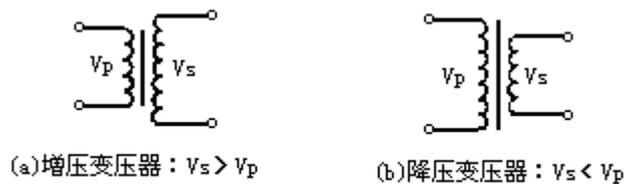


图 89.9

增压变压器副线圈的匝数比原线圈的多，因此 V_s 大于 V_p （见图 89.9 (a)）。例如，若副线圈的匝数是原线圈的两倍， V_s 即约为 V_p 的两倍。在降压变压器中，副线圈的匝数小于原线圈的匝数，因此 V_s 小于 V_p （见图 89.9

(b))。
电力输送

(a) 电力网系 这里所指的是电缆网，大部分架在铁塔上，电网将整个英国的 200 个发电站与用户连接起来。在最大的现代化发电站里，发出的电的电压为 25000 伏（25 千伏=25kV），并立即通过变压器将电压增至 275 或 400 千伏，以便通过超级电力网向远距离输送。之后，经变电所的变压器将电压降低，分配给当地的用户（见图 89.10）。

在地方控制中心，工程师直接控制着电力传送，并在发生断电时重新安排供电线路。这就使得供电更加可靠，并在非高峰用电期将效率低的小型发电站关闭，从而降低成本。

(b) 采用高交变电压 若需要通过电缆线来输送功率为 400000 瓦的电力，则可以采用 400000 伏、1 安的形式或采用 400 伏、1000 安的形式来达到目的（因为瓦特=安培 × 伏特）。但是由电能转化而来的人们并不需要的热量（由于电缆线的电阻而致）是与电流的平方成正比的，因此若以高电压、低电流的形式输电，功率损失（ I^2R ）就

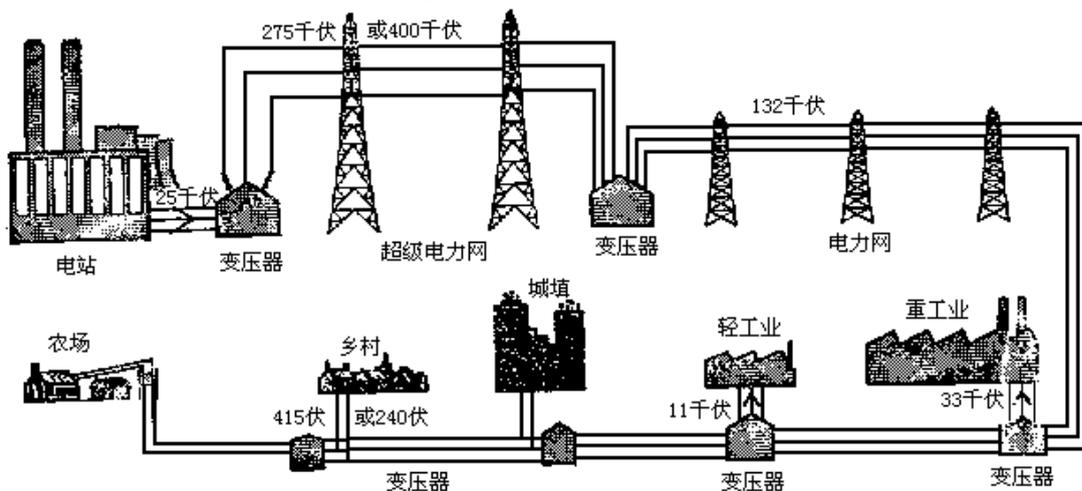


图 89.10

小。另一方面，高电压也需要有良好的绝缘体。之所以使用交流电而不使用直流电，主要是考虑到变压器使交流电动势升高和降低时的效率问题。

习题

1. 一线圈与一中心为零的电流计相接，当条形磁体的一极 (a) 先插入线圈时，(b) 停留在线圈内时，(c) 从线圈内拔出时，有何现象发生？

2. 图 89.11 为一简单的发电机。

(a) 试说出 A、B 的名称及其用途。

(b) 为了增大感应电动势，可采取什么方法？

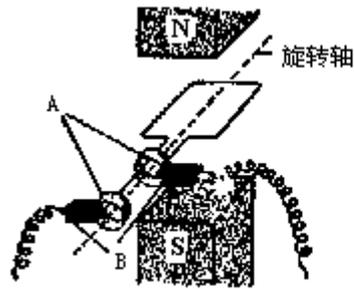


图 89.11

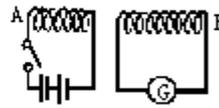


图 89.12

3. 将两组线圈 A、B 互相靠近(见图 89.12)，线圈 A 与开关和电池相接，线圈 B 与中心为零的动圈式电流计相接。

(a) 若将与线圈 A 相接的开关合上几秒钟后断开，那么和线圈 B 相接的电流计将会受到影响。按步骤解释并描述实际上有何现象发生。

(b) 若将一束软铁导线置于线圈中心，试判断有何现象发生？并加以解释。

(c) 若线圈 B 上缠有更多匝数的线圈，则有何现象发生？

4. 一降压变压器与 240 伏的电源相接，要为 12 伏的灯泡供电，若原线圈的匝数为 1000，试计算副线圈的匝数为多少？

原子物理

§ 90 电 子

电子的发现是物理学历史上的一个里程碑，它导致了巨大的技术进步。

热离子的发射

图 90.1 所示的真空管中含有一个小型线圈即灯丝和一个称为阳极的金属板，因为它与 400 伏的直流电源的正极相接。电源的负极与灯丝相接，因此灯丝称为阴极。灯丝由 6 伏电源（交流或直流）供给的电流加热。

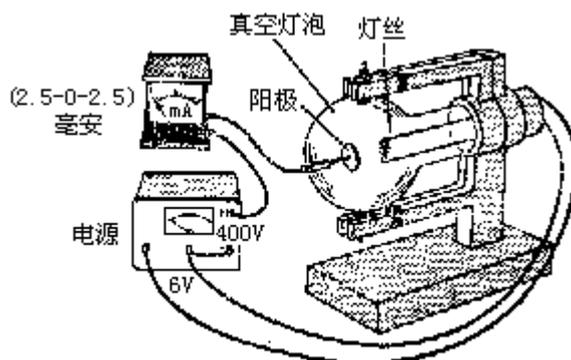


图 90.1

如图 90.1 的电路所示，当电流计的指针发生偏转时，表明电路（包括阳极和阴极之间的缝隙）中有电流流过。若将 400 伏电源反向相接，即使其负极与阳极相接，或者不将灯丝加热，电流都会停止流动。

上述事实证实了这样一个看法，即当灯丝被加热时，负电荷就以电子的形式从灯丝中逸出。这一过程称为热离子辐射。若阳极为正，则电子就受到阳极的吸引，又因为灯泡内为真空，因此电子可以抵达阳极。

阴极射线

高速运动的电子流称为阴极射线。其性质可用马尔特（Maltese）十字管来研究（见图 90.2）。被加热的阴极发射出的电子以加速度向阳极移动，但大多数电子通过阳极上的孔后继续沿管子运动。那些未击中十字头的电子，使屏幕发出绿色的荧光，并在屏幕上投下十字头的影子。显然，阴极射线以直线方向运动。

若将磁体的 N 极置于管子颈部下方，就会发现射线（及荧光影子）

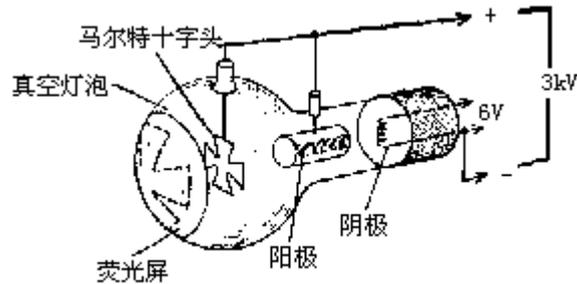


图 90.2

向上移动，原因是射线受到磁场的作用而发生了偏转。根据弗来明 (Fleming) 左手法则，我们可以看到射线就象从阳极流向阴极的普通电流（正电荷移动），也就象负电荷从阴极向阳极移动。

阴极射线示波器 (C.R.O.)

阴极射线示波器是研制成功的最重要的科学仪器之一。象电视机一样，阴极射线示波器也有一个阴极射线管，而阴极射线管又由三个主要部分组成（见图 90.3）。

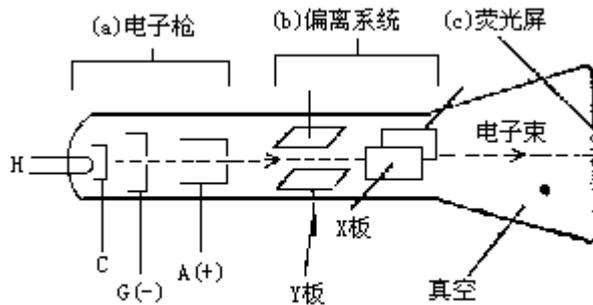


图 90.3

(a) 电子枪 电子枪由加热器 H、阴极 C、另一个称为栅极的电极 G 和两个或三个阳极 A 所组成。G 和 C 都为负，G 控制着穿过其中心孔而从 C 到 A 的电子数，称为光度控制。相对于 C 而言，阳极为正；阳极使电子沿着高度真空的管子加速运动，并使电子聚集成很细的一束。

(b) 偏转系统 在 A 的后面有两对可以施加电势差的偏转板。Y 板水平放置，使电子束发生垂直偏转。X 板垂直放置，使电子束发生水平偏转。

(c) 荧光屏 在光束击中荧光屏处，产生一个光点。

阴极射线示波器常用作“标图器”，可显示出表明电势差随时间而变化的波形。将电势差加在两个 Y 板上，并使阴极射线示波器内的电路闭合，该电路称为时基，它使两个 X 板间产生了电势差。时基使荧光点沿横向稳定地扫过屏幕，直至荧光点快速地“飞回”荧光屏左端。然后再重复这种运动。图 90.4 表明：(i) X 方向上只有时基作用；(ii) Y 方向上只有交流电作用；(iii) Y 轴上有交流电而 X 轴上有时基的联合作用时的轨迹。

实验 1 阴极射线示波器的使用

关于图 90.5 所示阴极射线示波器的使用说明。

a. 预调示波器与电源接通之前，先将旋扭做如下调整：

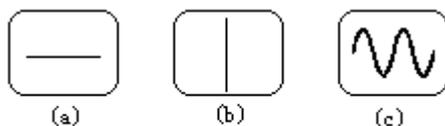


图 90.4

亮度——调至关；聚焦——调至中间位置；时基范围开关——调至关；A.C. -D.C. 开关——调至 D.C.；Y-位移——调至中间位置；Y-增益——按逆时针方向调至最小。

接通亮度开关，30 秒钟后，顺时针旋转开关，直到有亮点出现为止。调 Y-位移旋扭使亮点集中起来。

调节亮度和聚焦开关，以得到一小而明显的亮点，但当时基关闭或屏幕将要受损坏时，又不致使该亮点太亮。

b. 电势差的测量 将一 1.5 伏电池与输入旋扭（标有高和低）相接，然后调节 Y-增益旋扭，使亮点在刻度盘上偏转 1.5 个数字。然后将两节电池串联（3 伏），并注意亮点的偏转。将三节电池串联（4.5 伏），并重复上述过程。在此，阴极射线示波器就象伏特计一样得到校准。

拆除电池，并将 1 伏的交流电源与输入插座相接，所得轨迹的高度即为峰值电势差的两倍。

· 峰值电势差为多少？

c. 波形的研究 仍然将 1 伏的交流电源与输入插座相接，置时基范围开关到“2”，然后增加 Y-增益，以得到-波形轨迹。注意观察改变时基可控制旋扭时的效果。

将 1 伏交流电拆除而连接一个晶体传声筒。顺时针旋转 Y-增益旋扭至最大，并观察讲话或吹口哨时的波形。

习题

1. 如图 90.6 所示为一阴极射线示波器的简图。

(a) 为何必须有电子枪？试简述其工作原理。

(b) 管子为何必须有较高的真空度？

(c) 将本图再画一遍，但是应使 Y 板与电池相接，并使上板接正而下板接负。那么屏幕上的亮点将发生什么现象？并在图上注出电子束的新轨迹。

(d) 若 (i) 将电池反接，(ii) 将两节电池串联，则亮点将发生什么变化？

(e) 如将电池拆除而将 Y 板连接一交流电源，那么 (i) 电子束，(ii) 屏幕上的图象将发生什么变化？

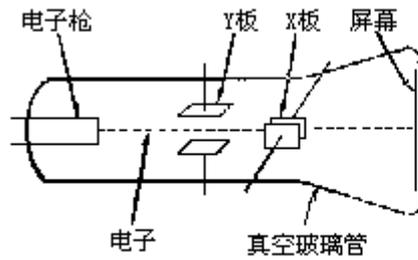


图 90.6

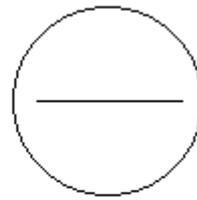


图 90.7

2. 调节阴极射线示波器上的时基,使之在 50 赫兹的频率下工作。图 90.7 所示为 Y 板上没有输入信号时屏幕上的图象。再画三个圆,并标明当输入插座与下述各电源相接时,将有何现象发生?

- (a) 电池,其负极与上板相接;
- (b) 50 赫兹的交流电源;
- (c) 100 赫兹的交流电源。

§ 91 放射性

1896 年,由于一个偶然的的机会,法国科学家贝克雷耳 (Becquerel) 发现了放射现象。他发现铀的化合物能放出射线,而射线 (i) 对于即使是被卷在黑纸中的照片底板也有影响;(ii) 可使气体电离。此后不久,居里夫人 (Madame Curie) 发现了镭。今天,放射现象已广泛用于工业、医学和科研之中。

我们都受到隐蔽射线的影响,这些射线部分由矿物、空气和人体中的放射性材料引起,部分由来自外层空间的宇宙射线引起。

射线的电离作用

当用点燃的火柴或镭放射源(夹在镊子中)靠近验电器的帽子时,带电的验电器就会放电(见图 91.1(a)、(b))。

在第一种情况下,火焰使其周围的空气分子的电子发生脱落。在第二种情况下,射线引起电离。若验电器的帽子所带电荷为负,它就将产生的带正电荷的空气离子吸引到其周围。若所带电荷为正,就将电子吸引到其周围。结果,验电器上的电荷得到中和,即验电器失去了电荷。

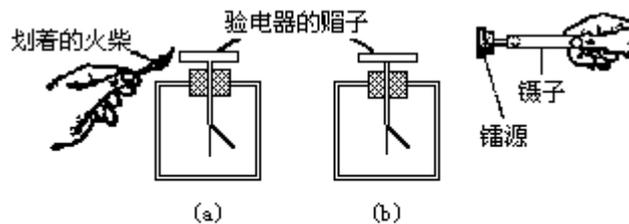


图 91.1

射线探测仪

电离作用可用来探测射线。

(a) 电花计数器 (见图 91.2) 在导线和金属纱网之间加上电势差, 直到有电花产生为止。然后, 降低电压, 直至电花停止 (通常约为 4.5 千伏)。

当把镭放射源 (夹在镊子中) 置于金属纱网上方 1 或 2 厘米时, 由于纱网和导线之间的空气发生电离, 因而可看到和听到有间隔不规则的电花产生。向上提高镭源的位置, 直至电花停止, 就可以发现射线作用的范围。

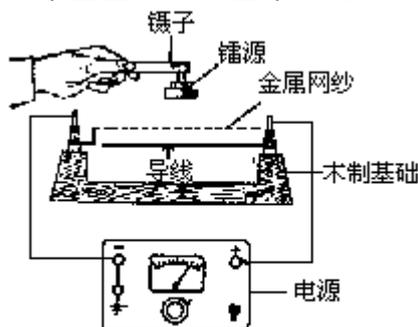


图 91.2

(b) 盖革-弥勒 (G - M) 计数器 (见图 91.3) 当射线穿过由云母制成的薄壁端窗, 或穿过管壁 (若射线的穿透力很强) 而进入管子时, 使氦离子和电子的数目增加。这些离子和电子加速向电极移动, 并通过和其它氦原子碰撞引起更多的电离。离子一达到电极, 即产生电流脉冲。电流脉冲经放大后被输入到脉冲计数器或辐射强度计中。脉冲计数器记下脉冲的次数并示出在某一给定时间内总的标准脉冲次数。辐射强度计具有一个刻有“每秒 (或分) 脉冲次数”的仪表, 从中可读取平均脉冲速率。仪表上通常

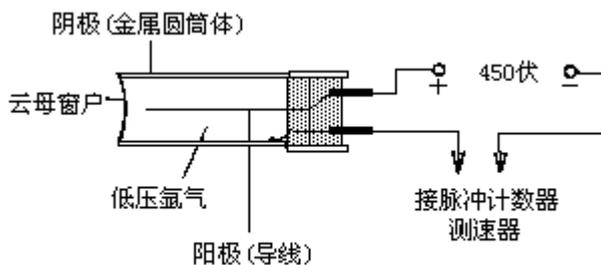


图 91.3

装有扬声器, 每次脉冲都发出一“卡嗒”声。

、 和 射线

研究穿透能力、电离能力以及磁场和电场的实验表明, 一种放射性物质可放出一种、两种或三种射线即 、 和 射线。

如图 91.4 所示, 依次在 G-M 管和铅板之间放置 (i) 一张厚纸 (这一步中, 镭放射源、铅板和管子必须相距很近), (ii) 一块 2 毫米厚的铅板, (iii) 一块 2 厘米厚的铅板, 通过观察上述方法对脉冲频率的影响效果,

从而可以对穿透能力进行研究。也可以采用钷、镅、钴等放射源。

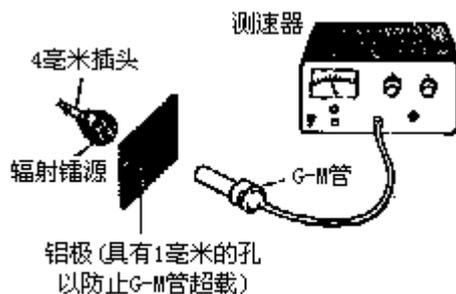


图 91.4

(a) 射线可被薄纸吸收，因而它在空气中的射程只有数厘米。射线在气体中会引起强烈的电离，并且在电场和强磁场的作用下会沿某一方向发生一定程度的偏转，据此可认为 射线是失掉两个电子的氦原子，即带有两个正电荷的氦离子。对一特定物质来说，射线的放射速度是相同的（约为光速的二十分之一）。

钷 (Pu239) 和镅 (Am241) 可用作只发出 射线的放射源。

(b) 射线可被几毫米厚的铝板吸收。某些 射线在空气中的射程可达数米。射线的电离能力大大低于 射线，在电场作用下会发生偏转，在磁场作用下更容易发生偏转。测量结果表明，象阴极射线一样， 射线为高能量的电子流，放射速度有一定的范围，最大可达到光速。

锶 (Sr90) 只放射 射线。

粒子在磁场中的偏转可用图 91.5 表示。在有 G-M 管而没有磁体的情况下，记下脉冲频率。当插入磁体时，脉冲频率减小；而当 G-M 管置于 B 处时，脉冲频率却又增加。

(c) 射线的穿透能力最强，只有数厘米厚的铅板才可将其吸

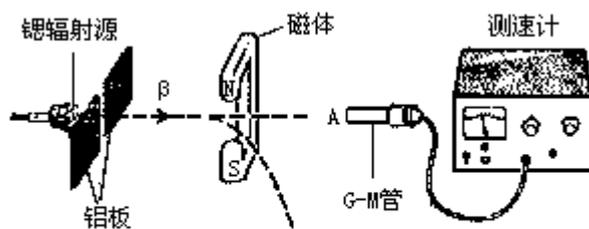


图 91.5

收。 射线电离气体的能力甚至比 射线还弱，并且在电场和磁场的作用下不发生偏转。 射线具有干涉作用，并以光速进行电磁辐射。 射线的波长和很短波长的 X 射线一样，二者的区别仅仅在于 射线是由原子核引起的，而 X 射线却来自原子核外部电子的能量变化。

钴 (Co90) 只放出 射线，镅同时放出 、 和 射线。

G-M 管可用来测量 α 、 β 射线及具有能量的 γ 粒子；象带有电荷的验电器一样，电花计数器只能探测 α 射线。三种射线都会引起荧光。

云室

当含有蒸汽，如酒精的空气得到足够冷却时，就会出现饱和状态。若具有电离能力的射线穿过空气，进一步的冷却就会导致饱和蒸汽在所产生的空气离子上冷凝。当受到照明时，由微小液滴组成的白线即显示出一条轨迹。

(a) 膨胀型 (见图 91.6) 通过快速抽回双轮泵 (具有反向皮革垫圈) 的活塞赶走空气就可产生急剧膨胀。结果云室内的酒精蒸汽得到冷却，并在由云室内的弱镭放射源产生的离子上得到冷凝。云室顶端和底端之间的高压 (如 1 千伏) 产生一电场，从而可以把不需要的离子清除掉。因此，当发生膨胀时，所看到的轨迹即为离开放射源的射线的轨迹。

(b) 扩散型 (见图 91.7) 毡环中的酒精蒸气后向下扩散，通过

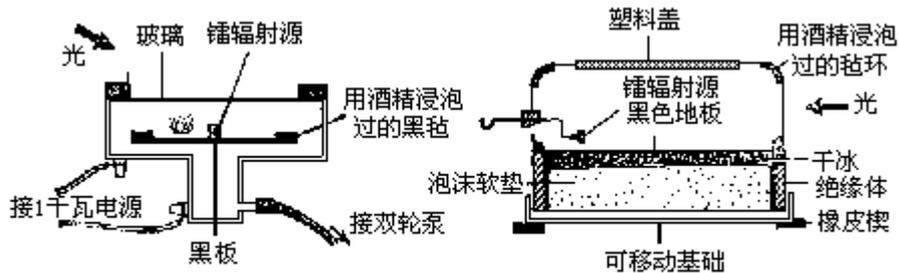


图 91.6

图 91.7

下部的干冰 (-78°C 的固体二氧化碳) 而受到冷却，并在黑色垫板附近，在云室内放射源的辐射所形成的空气离子 (靠近电极处) 上冷凝。如果电场是通过用布来频频摩擦云室塑料盖的方法建立起来的，则连续产生的轨迹就非常明显。

α 粒子的轨迹呈直线，并且很粗 (见图 91.8a)。速度极快的 β 粒子的轨迹较细，且很直；速度较慢的 β 粒子的轨迹则短而较粗，并且呈弯曲状态 (见图 91.8b)。 γ 射线可以从空气分子中激发出电子：电子象 β 粒子一样，也有自己的轨迹 (从射线中伸出)。

在研究工作中，气泡室 (在气泡室中，辐射在液态氢中留下了一串泡沫) 现在已取代了云室。

放射性衰变：半衰期

当发出 α 或 β 粒子时，放射性原子就转变成或衰变成不同元素的原子。这种衰变是自发的，不能人为地控制；并且无论是纯净的物质还是与其它物质化合而成的物质，都不影响衰变。

衰变速率不受温度的影响，但每种放射性元素都有其固定的衰变速率，用它的半衰期表示。半衰期是放射性物质衰变到原来原子数目的一半时所需要的时间。要知道物质完全失去放射能力的时间是困难的，但要知道物质的

放射能力降到原来数值的一半所需要的时间就要容易得多。

半衰期的变化范围很大。如镭的半衰期为 1600 年，因此若起初为 1 克的纯镭，经 1600 年后还剩下 $\frac{1}{2}$ 克，经 3200 年后还剩下 $\frac{1}{4}$ 克，等等。

如图 91.9 (a) 所示，用力挤压钷瓶三、四次，使部分钷气体（发出粒子）转移到烧瓶里去，通过这种方法就可获得钷的半衰期。然后把螺丝夹封闭，将钷瓶移走，并用 G-M 管代替塞子以封闭烧瓶顶部（见图 91.9 (b)）。

当辐射强度计的读数达到最大值并开始下降时，在起初 2 分钟内每隔 15 秒钟计数一次，在后几分钟内则每隔 60 秒计数一次。（将 G-M 管置于烧瓶中至少一小时，直至放射性都已衰变了为止）。

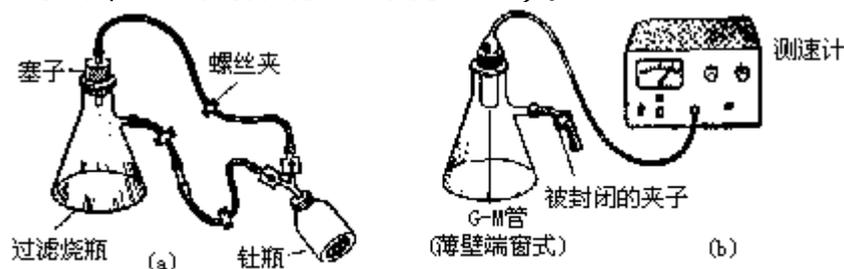


图 91.9

绘制辐射强度（除去由别的方法发现的本底强度）对时间的图，并由此图估算出半衰期为 52 秒。

放射性的应用

放射性物质（又称放射性同位素）现在可从核反应堆里制得，并具有多种用途。

(a) 测厚仪 如果把放射性同位素置于可调厚度的材料一侧，而将 G-M 管置于另一侧，若厚度增加，则强度就会降低。这一技术可应用于制造纸、塑料和金属板时自动控制其厚度（见图 91.10）。

(b) 示踪剂 在某一系统中注入少量弱放射性同位素后，可用 G-M 管或其它探测器进行“跟踪”。这种方法在医疗上可用于探测脑瘤，在农业上可用于研究植物对肥料的吸收效果，在工业上可用于测量管道中流体的流动。

(c) 放射疗法 在癌症治疗方面，从放射性极强的钷同位素中放射出来的射线正在逐步取代 X 射线。

(d) 考古学 植物和树木可以吸收存在于空气中的碳同位素，由此可以确定木制品和亚麻制品等遗物的年代。

危险和安全

除非射线源进入体内，粒子所造成的危险是小的。射线和射线能够引起辐射烧伤（即皮肤胀红及溃疡），耽误对癌症及眼球白内障的治疗效果。原子爆炸而产生的放射性尘埃包括具有很长的半衰期、放射性极强的

元素（如镭），而这种元素可被骨头吸收。

学校用的弱放射源应用镊子夹起，决不能靠近眼睛，并在不用时放入其盒内保存起来。工业上，放射源应用长夹子处理，并装在厚厚的铅盒内运输。操作工人则用铅壁和混凝土墙保护起来。

习题

1. 放射性物质放射出的是何种射线 (a) 带有正电荷，(b) 穿透力最强，(c) 在磁场作用下容易发生偏转，(d) 由波组成，(e) 能引起最强烈的电离，(f) 在空气中具有最短的射程，(g) 带有负电荷，(h) 在电场作用下不发生偏转。

2. 辐射线对 (a) 带电验电器，(b) 摄影胶卷，(c) 荧光屏的作用效果如何？

3. (a) 如何理解“本底辐射”这一概念？试举出两种该类型的辐射源。

(b) 试举出使用辐射源时观察到的三种安全保护措施。

(c) 试简述辐射源的两种应用。

(d) 一种辐射源仅仅放射 α 粒子，而另一种仅仅放射 β 粒子，如何区别这两种辐射源。

4. 一放射性试样的质量为 16 克，半衰期为 10 天。经 (a) 10 天后，(b) 20 天后，(c) 40 天后，原试样还剩下多少？

5. 若一种放射性气体的半衰期为 2 分，那么经过 8 分后，其放射能力将降至原数值的几分之几。A $\frac{1}{4}$ ；B $\frac{1}{6}$ ；C $\frac{1}{8}$ ；D $\frac{1}{16}$ ；E $\frac{1}{32}$ 。

§ 92 原子核能

原子的结构

质子和中子位于原子核内，称为核子。二者的质量即为原子核的质量（也是原子质量的大部分）；质子所带的正电荷即为原子核的正电荷。在中性原子中，质子的数目等于原子核周围电子的数目。

下表所列为几种原子所包含的粒子数目。氢最简单，只有 1 个质子和 1 个电子。惰性气体氦次之，有 2 个质子，2 个电子和 2 个中子。白色软金属锂有 3 个质子和 4 个中子。

	氢	氦	锂	氧	铜
质子数	1	2	3	8	29
中子数	0	2	4	8	34
电子数	1	2	3	8	29

原子的原子序数 Z 即为该原子的原子核由所包含的质子数，也即该原子的电子数。电子决定原子的化学性质，因此当 104 种元素（89 种天然元素和

19种人造元素)在元素周期表中按原子序数排列时,就构成了化学族。

原子的质量数 A 即为原子核中的核子数。

原子核可用符号表示。氢可写 ${}^1_1\text{H}$,氦可写成 ${}^4_2\text{He}$,锂可写成 ${}^7_3\text{Li}$ 。一般来说,原子 X 可写成 A_ZX 。这里 A 为原子量, Z 为原子序数。

原子的质量数 A 不同于相对原子质量 A_v (过去称为原子量),相对原子质量 A_v 定义为:

$$A_v = \frac{\text{原子质量}}{\frac{1}{12} \text{原子质量的十二分之一}}$$

把氢原子量作为1,可用来比较原子量。自从1960年以来,已采用碳12(${}^{12}_6$)作为标准。

同位素 (Isotopes)

元素的同位素是质子数相同而中子数不同的原子,即原子的原子序数相同而原子的质量数不同。

同位素因具有相同的电子数,并在元素周期表中占有相同的位置,所以具有相同的化学性质。(在希腊语中,isos表示相同,topos表示位置)。

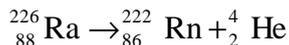
元素很少由同一原子组成,大多数都是同位素的混合物。氯有两种同位素,一种同位素的质子数为17,中子数为18(即 $Z=17$, $A=35$),因而可写成 ${}^{35}_{17}\text{Cl}$;而另一种同位素的质子数为17,中子数为20(即 $Z=17$, $A=37$),因而可写成 ${}^{37}_{17}$ 。在一般的氯中, ${}^{35}_{17}$ 和 ${}^{37}_{17}$ 的原子数比为3比1,因此氯的平均原子量为35.5。

氢有三种同位素。 ${}^1_1\text{H}$ 有1个质子,氘 ${}^2_1\text{D}$ 有1个质子和1个中子,氚 ${}^3_1\text{T}$ 有1个质子和2个中子。一般的氢中, ${}^1_1\text{H}$ 原子所占的比例为99.99%。由氘制成的水称为重水(D_2O),其密度为1.108克/厘米³,凝固点为3.8,沸点为101.4。

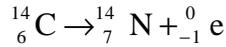
放射性衰变

原子核经放射 α 或 β 粒子后,形成了一种不同元素的原子,称为衰变产物,其本身是不稳定的。经过一系列变化后,最终得到一稳定的元素。

(a) 衰变 α 粒子是中子数为2,质子数为2的氦原子核。当一个原子因放射出 α 粒子而衰变时,它的质量数减少4,而原子序数减少2。例如,当质量数为226、原子序数为88的镭放射出 α 粒子时,它就衰变成质量数为222,原子序数为86的氡。该衰变可写成:



(b) 衰变在此一个中子转变成一个质子和一个电子。质子仍留在原子核内,而电子则作为 β 粒子放射出去。新原子核具有相同的质量数,而原子序数却增加了1,因为它多了1个质子。放射性碳,称为碳14,放射出 β 粒子后衰变成氮。



(c) 放射 某些原子核放射出 或 粒子后处于“激发”状态。因此原子核内的质子和中子重新排列，并释放一阵 射线。镭 226 就是这样。

原子核能

当原子核衰变时，能量就以 (i) 热，(ii) 辐射能的形式释放出来。该能量来自何处呢？经仔细测量后发现，当一个较大的原子核分解（裂变）时，部分质量“消失”了，而以能量的形式重新出现。

(a) $E = mc^2$ 。实际上，爱因斯坦预言质量和能量是相当的，其“变化率”可由下式给出：

$$E = mc^2$$

释放出的能量 = 质量的变化量 × (光速)²

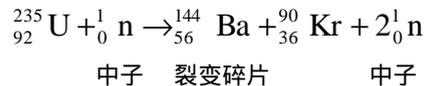
即，若 1 克 (0.001 千克) 的质量以能量的形式释放出来，得到的焦耳数即为：

$$E = 0.001 \times 3 \times 10^8 \times 3 \times 10^8 = 9 \times 10^{13} \text{ 焦耳}$$

这与燃烧 2000 吨燃料油得到的能量大致相同。

(b) 裂变 当放射性物质衰变时，其质量的变化确实很小，因此不能大规模地用作能源。但某些重元素的同位素可用中子轰击而分解（裂变）。

铀的同位素 ${}^{235}_{92}\text{U}$ (或铀 235) 即属于这种类型。该同位素的某些原子完全是自发地进行衰变，释放出高速中子。若其中一个中子轰击了相邻铀 235 原子的原子核 (中子不带电，因此不受原子核的斥力作用)，该原子核就可能分解 (裂变) 成两个近似相等的放射性原子核，通常为钡原子核和氪原子核，同时还产生 2 个或 3 个中子。



上述反应的质量亏损很大，大部分以裂变碎片的动能形式表现出来。碎片以很大的速度分开，然后与周围的原子发生碰撞，使其平均动能即温度升高，从而产生了热量。

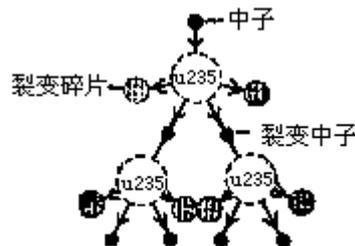


图 92.1

如果裂变中子引起其它铀 235 核发生裂变，就会引起链锁反应 (见图 92.1)。实际上，某些裂变中子在上述过程发生之前就从铀的表面逸失掉了。随着铀 235 质量的增加，逸失掉的中子数与引起裂变的中子数的比率减小。

因此，要使链式反应发生，该比率就必须超过某一临界值。(c) 核反应堆 核电站里，不是靠煤或油燃烧炉，而是靠核反应堆来为透平机产生蒸汽的。图 92.2 所示为一核反应堆的简化

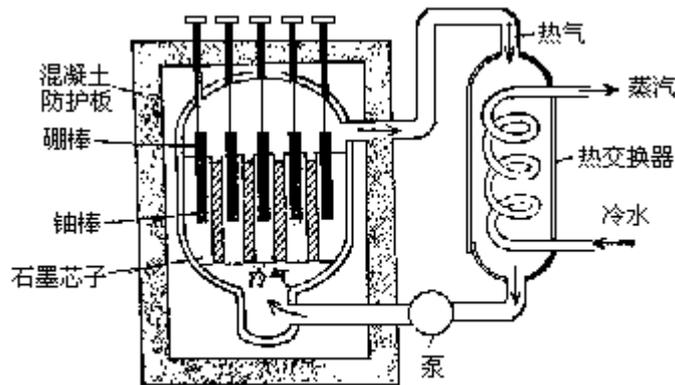


图 92.2

草图。

在铀棒中插入或抽出硼质中子吸收棒，可以控制链式反应进行稳定的速度。石墨芯子称为减速剂，用来降低裂变中子的速度：利用慢中子而不是快中子，可以使铀 235 的裂变更容易发生。二氧化碳气体通过石墨芯子抽出，并将热量传递给加热交换器，从而在热交换器中产生蒸汽。混凝土护罩可将射线及中子隔绝。

在原子弹中，当两块铀 235 结合在一起并超过临界质量时，就会发生一个不断增加和不受控制的链锁反应。

(d) 聚变 轻核结合成重核时也可能引起质量的亏损，结果释放出能量。目前，正在从事由氢的同位素（氘和氚）可控聚变成氦的研究。所需温度大约为 10000000 。可以认为裂变是太阳能的能源。

习题

1. 在原子中会发现什么粒子？它们的相对质量如何？如果这些粒子带有电荷的话，试说明各带什么电荷？

2. (a) 钴原子的原子序数为 27，质量数为 59。试简单描述钴原子的结构。

(b) 什么是同位素？

(c) 为什么说同位素很难用化学方法分离？3. 铀 238 和铀 235 是铀的“同位素”，并具有相同的原子序数 92。(a) 数字 238 和 235 代表什么？(b) (i) 数字 92 能告诉我们有关这两种原子的原子核的什么内容？(ii) 就整个原子来说，数字 92 还能告诉我们什么内容？(c) 铀 238 的原子核以什么方法区别于铀 235 的原子核？4. 如果放射性原子的原子核放射出 (i) 一个 α 粒子，(b) 一个 β 粒子，(c) 一个 γ 射线，那么其原子序数会发生什么变化（如果有变化的话）？5. 原子弹和原子反应堆都是通过链锁反应提

供大量能量的。(a) 试解释链锁反应意味着什么？(b) 在原子弹内进行得非常激烈的反应，在反应堆内是如何减慢的，试加以解释。

习 题 答 案

§ 3 混合与连接

1. (a) 组成不变定律, (b) 碘, (c) 2 克, (d) 20 克, (e) 物质不灭定律

§ 5 探测气流

3. (a) 4/5

(b) 生成的某些二氧化碳使蜡烛熄灭

§ 31 测量

1. (a) 10, (b) 40, (c) 5, (d) 67, (e) 1000

2. (a) 3, (b) 5.50, (c) 8.70, (d) 0.43 (e) 0.1

3. (a) 53.3 毫米, (b) 95.8 毫米

4. (a) 2.31 毫米, (b) 14.97 毫米

5. 40 厘米³; 5

6. 80

7. (a) 252 厘米³, (b) 72 厘米³

8. (a) () 0.5 克, () 1 克, () 5 克; (b) () 10 克/厘米³ () 3 千克/米³; (c) () 2 厘米³, () 5 厘米³

9. (a) 8 克/厘米³, (b) 8000 千克/米³

10. 15000 千克

11. 130 千克

12. (a) 200 厘米³, (b) 200 厘米³, (c) 2.5 克/厘米³

13. 1.2

§ 33 力和旋转效应

1. (a) 和 (b) 顺时针转动, (c) 平衡

2. (a) 不平衡, (b) 25 牛顿

3. 600 牛顿 (60 千克力)

4. (a) 40 牛顿, (b) 10 牛顿

§ 34 重心

2. (a) B, (b) A, (c) C

3. 向右倾斜

§ 35 力和压力

2. (a) () 25 帕, () 0.5 帕, () 100 帕; (b) 30 牛顿

3. 200 帕

4. (a) 200 米³, (b) 4000000 千克, (c) 4000000 牛顿, (d) 2000000 帕, (e) () 一个也没有, () 较小

5. (a) 100 帕, (b) 200 牛顿

7. 1150000 帕 (1.15×10^6 帕) (略去空气压力)

10. (c) 76 厘米

13. (a) 10 牛顿, (b) 8 牛顿, (c) 6 牛顿, (d) 5 牛顿

14. (a) 30 克, (b) 30 克, (c) 30 厘米³

§ 36 力和运动

1. (a) 5 公里/小时, (b) 8 公里/小时, (c) 15 公里/小时

2. 120 公里; 3 小时

3. 2 米/秒²

4. (a) 2 公里/小时/秒, (b) 74 公里/小时, (c) 17.5 秒后达到 70 公里/小时 5.50 秒

7. (a) 100 米, (b) 20 米/秒, (c) 降低

8. (a) 1.25 米/秒²; (b) () 10 米, () 45 米; (c) 22 秒

9. (a) () 10 米/秒, () 20 米/秒, () 30 米/秒, () 40 米/秒, () 50 米/秒; (c) () 5 米, () 20 米, () 45 米, () 80 米, () 125 米

10. (a) 10 米/秒, (b) 0

11. D 12. 20 牛顿

13. (a) 5000 牛顿, (b) 15 米/秒²

14. (a) 2 米/秒², (b) 1000 牛顿, (c) 由于摩擦

15. (a) 转台和硬币之间的摩擦

(b) 地球对金属帽的万有引力

§ 37 能量

2. 180 焦耳

3. (a) 500 牛顿, (b) 1000 焦耳, (c) 1000 焦耳的动能

4. (a) 3200 焦耳, (b) 25000 焦耳

5. 400 瓦

§ 38 简单机械

1. (a) (), (b) ()

2. (a) 5000 焦耳, (b) 7500 焦耳, (c) 67%

3. (a) () 10/7, () 2, () 71%

(b) () 2, () 3, () 67% (c) () 10/3, () 6, ()

56%

4. (a) 4, (b) 5, (c) 80%

5. (a) 5, (b) 10, (c) 50%

6. $2\frac{1}{2}$

§ 40 温度计

1. (a) 37 , (b) 0 , (c) 20 , (d) 1600

§ 42 气体定律

1. (a) 原来体积的 $\frac{1}{4}$, (b) 原来压力的4倍 , (c) 无任何现象
2. (a) 15 厘米³ , (b) 6 厘米³
3. (a) 4 米³ , (b) 1 米³
4. (a) 450 厘米³ , (b) 50 厘米³ , (c) 100 厘米³

§ 43 传导、对流和辐射

3.E

4.E

§ 45 热量的测量

1. 15000 焦耳
2. 60000 焦耳
3. A=2000 焦耳/千克·度 B=200 焦耳/千克·度 C=1000 焦耳/千克·度
4. 88000 焦耳
5. (a) 20000 焦耳 , (b) 120000 焦耳
6. 1050 瓦
7. 45 千克
8. (a) 3400 焦耳 , (b) 6800 焦耳
9. (a) 2750 焦耳 , (b) 8480 焦耳
10. 680 秒
11. (a) 0 , (b) 45 克
12. (a) 9200 焦耳 , (b) 25100 焦耳
13. 157 克

§ 46 光线

1. 较大, 亮度较小
2. (a) 4 张像 , (b) 较亮, 但模糊不清

§ 47 光的反射

1. (a) 60° , (b) 60
2. (a) () 50° , () 40°
3. (a) 15 厘米 , (b) 使部分光反射 , 其作用象一面性能不佳镜子
4. 12.45
6. 距镜子 5.2 厘米 , 1.5 厘米高

§ 48 光的折射

3.D

§ 49 透镜

2. 超过透镜 17 厘米 , 7.0 毫米高 , 真实的
3. 4

§ 50 光学仪器

1. 更远

2. (a) 更大, 模糊不清, 亮度更小; (b) 离幻灯片距离更近
3. (a) 4 厘米, (b) 透镜之后 8 厘米, 垂直的, 放大倍数为 2

§ 51 色散和颜色

3. (a) 黑色, (b) 蓝色

§ 52 波

1. (a) 1 厘米, (b) 1 赫兹, (c) 1 厘米/秒
3. (a) 水面上微波的移动速度取决于水的深度
(b) AB, 因为微波与之接近的速度较慢, 因而沿此方向的水较浅

§ 54 声波

1. 1650 米 (约 1 英里)

§ 56 带电微粒

4. (a) 正电荷, (b) 负电荷, (c) 铜离子引起蓝色, 高锰酸根离子引起紫色, (d) 铜离子所带的电荷是高锰酸根离子的两倍

§ 57 化学分子式

1. () NaI, () $\text{Ca}(\text{OH})_2$, () CuCl, () FeSO_4 , () LiOH,
() PbI_2 , () NaHCO_3 , () K_2CO_3 , () $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, () $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$

3

2. (a) 6.5 克, (b) 0.1 摩尔 Zn, (c) 0.2 摩尔 I, (d) ZnI_2 , (e)
 ZnCl_2 , ZnBr_2

3. CaBr_2

4. C_4H_{10} —分子式, C_2H_5 —经验式

§ 58 化学反应式

1. (a) $2\text{Zn}(\text{s})$, $2\text{ZnO}(\text{s})$
(b) $2\text{HCl}(\text{aq})$
(c) $2\text{AgNO}_3(\text{aq})$, $2\text{AgCl}(\text{s})$
(d) $2\text{Zn}(\text{NO}_3)_2(\text{s})$, $2\text{ZnO}(\text{s})$, $4\text{NO}_2(\text{g})$
(e) $3\text{ZnO}(\text{s})$, $2\text{Al}(\text{s})$, $3\text{Zn}(\text{s})$

§ 59 利用化学反应式进行计算

1. 4.8 升氢气 2. (a) 92 千克 Na (s), (b) 48000 升 $\text{Cl}_2(\text{g})$
3. (a) 28, (b) CH_2 , (c) 共价键, (e) 24 升 $\text{CO}_2(\text{g})$

§ 62 利用石灰石制造化学品

3. 非纯净的, 若是纯净的, 放出的二氧化碳气体将是 24 升

§ 69 化学反应速度

2. (a) 和 (c) 化学反应速度增加
3. (b) () 粉状 CuO, () 粉状 PbO_2

§ 80 磁体和磁场

1. c. 2. (a) 钢, (b) N

3.Y

4. 因为其端部的感应磁极具有相反的极性

5. (a) A, (b) A

6. A、C、E、F——北极, B、D——南极

§ 82 电流

2. (b) 比正常亮度亮, (c) 正常亮度, (d) 比正常亮度亮

3. A_1 的读数与之相等; A_2 、 A_3 、 A_4 的读数大于 0.2 安, 因为有三节电池而仅有两盏灯泡

5. A_2 和 A_3 的读数均为 0.25 安。若将灯泡 X 去掉, 则 A_1 和 A_2 的读数为 0.25 安, 而 A_3 的读数为 0

6. A 的接法错误

7. 读数均为 0.25 安

8. (a) 5 库仑, (b) 50 库仑, (c) 1500 库仑

9. (a) 5 安, (b) 0.5 安, (c) 2 安

§ 83 电势差

1. (b) 比正常亮度亮, (c) 正常亮度

2. (a) V_2 的读数为 6 伏

3. (a) 12 焦耳, (b) 60 焦耳

4. (a) 6 伏, (b) () 2 焦耳, () 6 焦耳

§ 84 电阻

1. 3 欧姆

2. 20 伏

3. 2 安

4. 30 欧姆

5. 1 欧姆

6. 12 欧姆

7. $3\frac{1}{2}$ 欧姆

8. (a) $\frac{4}{3}$ 欧姆, (b) 2 安

§ 85 电池: 电动势

2. (a) 3 安, (b) 9 伏

3. 1 安

4. (a) 3.0 伏, (b) 2.6 伏, (c) 2.6 伏, (d) 0.4 伏, (e) 2 欧姆, (f) 13 欧姆

§ 86 电功率

1. (a) 100 焦耳, (b) 500 焦耳, (c) 6000 焦耳

2. 24 瓦

3. 20

4.3.12 千瓦

5. (a) 6 伏, (b) 18 瓦

6. (a) 2 安, (b) 6 欧姆

7. (a) 30 千瓦小时, (b) 150 便士 8.15 便士

§ 87 电磁体

1. (a) 北方, (b) 东方

2. S 极

§ 88 电动机和仪表

1. 垂直向上

2. 逆时针

3. (a) 装上一个 0.1 欧姆的分流电阻, (b) 装上一个 1980 欧姆的倍加电阻

§ 89 发电机和变压器

4.50

§ 91 放射现象

4. (a) 8 克, (b) 4 克, (c) 1 克

5. D

