国家教材委员会专家委员会审核通过
2024

物理



人民教育出版社

义务教育教科书

物理

九年级

全一册

人民教育出版社　课程教材研究所　编著

人民教育出版社
·北京·

顾　　问：孙昌璞
主　　编：彭前程
副 主 编：黄恕伯
分册主编：谷雅慧

编写人员：（以姓氏笔画为序）
王显峰　方贵荣　谷雅慧　邹丽晖
张　颖　符东生　彭　征　穆良柱

责任编辑：魏　昕
责任设计：房海莹
责任校对：王　苗
责任印制：王　超

义务教育教科书　物理　九年级　全一册
人民教育出版社　课程教材研究所　编著

出　　版　人民教育出版社
（北京市海淀区中关村南大街 17 号院 1 号楼　邮编：100081）
网　　址　http://www.pep.com.cn
重　　印　×××有限公司
发　　行　×××有限公司
印　　刷　×××有限责任公司
版　　次　××××年×月第 1 版
印　　次　××××年×月第 1 次印刷
开　　本　787 毫米×1092 毫米　1/16
印　　张　13.5
字　　数　205 千字
书　　号　ISBN 978-7-107-×××××-×
定　　价　　元
价格依据文件号：×××

版权所有·未经许可请勿擅用本书制作各类出版物·违者必究
如发现印、装质量问题，影响阅读，请与×××公司联系。电话：×××-××××××××

目录

第十三章　内能 …… 1

第1节　热量　比热容 …… 2
第2节　分子动理论的初步知识 …… 8
第3节　内能 …… 13



第十四章　内能的利用 …… 19

第1节　能量的转化与守恒 …… 20
第2节　热机 …… 25
第3节　热机的效率 …… 30
第4节　跨学科实践：制作简易
　　热机模型 …… 35



第十五章　电流和电路 …… 39

第1节　两种电荷 …… 40
第2节　电流和电路 …… 44
第3节　串联电路和并联电路 …… 50
第4节　电流的测量 …… 55
第5节　串、并联电路中电流的规律 … 60





第十六章　电压　电阻 …… 66

第1节　电压 …… 67
第2节　串、并联电路中电压的规律 … 72
第3节　电阻 …… 77
第4节　变阻器 …… 82
第5节　跨学科实践：制作简易调光台灯 …… 87



第十七章　欧姆定律 …… 92

第1节　电流与电压、电阻的关系 …… 93
第2节　欧姆定律 …… 98
第3节　电阻的测量 …… 101
第4节　欧姆定律在串、并联电路中的应用 …… 105



第十八章　电功率 …… 110

第1节　电能　电功 …… 111
第2节　电功率 …… 114
第3节　跨学科实践：为家庭节约用电提建议 …… 118
第4节　焦耳定律 …… 120

第十九章　生活用电 …… 127

第1节　安全用电 …… 128
第2节　家庭电路的基本组成 …… 134
第3节　跨学科实践：为家庭电路做设计 …… 141

第二十章　电与磁 …… 146

第1节　磁现象　磁场 …… 147
第2节　电生磁 …… 152
第3节　电磁铁　电磁继电器 …… 157
第4节　电动机 …… 161
第5节　跨学科实践：制作简易直流电动机 …… 165
第6节　磁生电 …… 167

第二十一章　电磁波及其应用 … 174

第1节　电磁波的海洋 …… 175
第2节　广播、电视和移动通信 …… 179
第3节　卫星通信和光纤通信 …… 183









第二十二章　能源与可持续发展 …… 188

第1节　能源利用的现状和面临的挑战 …… 189

第2节　新能源的发展 …… 194

第3节　跨学科实践：为节约能源设计方案 …… 200

索引 …… 207

第十三章　内能

远处的山峰上火光冲天、烟雾弥漫，炽热的岩浆犹如一条火龙。这是火山在爆发。

地球内部有高温、高压的岩浆。在极大的压力下，岩浆会从地壳薄弱的地方喷涌而出，无情的火舌毁坏它途经的一切，大量火山灰冲上万米高空……

火山爆发时，炽热的岩浆携带着大量与热有关的能量，那么覆盖火山的皑皑白雪是不是与岩浆一样，也具有与热有关的能量？在本章，我们将尝试从能量角度对热现象的性质进行描述并寻找规律。

第1节 热量 比热容

问 题

在学习物态变化时，我们经常说物体吸热或放热。例如在烧水（图13.1−1）的时候，水会吸热。我们怎样才能知道水吸收的热的多少呢？



图13.1−1 烧水

热量

加热水的过程就是热传递的过程。在热传递过程中，传递的热的多少叫作**热量**（quantity of heat）。热量的单位是焦耳。1 g水温度升高1 ℃时吸收的热量约为4.2 J。

大家都有这样的经验：烧开一壶水比烧开半壶水需要的热量多，把一壶水烧开比把它烧成温水需要的热量多。可见，水吸收的热量和它的质量有关，也和它升高的温度有关。水的质量越大、温度升得越高，它吸收的热量就越多。别的物质也是这样。

不同的物质，例如水和食用油，在质量相等、升高的温度相同时，吸收的热量是不是一样多呢？

演 示

比较不同物质吸收热量的情况

如图13.1−2和图13.1−3所示，利用相同的电加热器加热质量相等的水和

食用油，使它们升高相同的温度。电加热器每秒放出的热量是一定的，当它浸没在液体中时，可以认为液体每秒吸收的热量相同。



图13.1-2　用电加热器加热水



图13.1-3　用电加热器加热食用油

比较水和食用油，哪个吸收的热量多？

实验表明：质量相等的水和食用油，升高的温度相同时，水吸收的热量比食用油多。

比热容

大量实验表明：不同物质，在质量相等、升高的温度相同时，吸收的热量一般不同。

怎样表示不同物质这种性质上的差别呢？物理学中引入了比热容这个物理量。一定质量的某种物质，在温度升高时吸收的热量与它的质量和升高的温度乘积之比，叫作这种物质的**比热容**（specific heat capacity）。比热容用符号 c 表示，它的单位是**焦每千克摄氏度**，符号是 J/(kg·℃)。

1 kg的某种物质，温度降低1 ℃所放出的热量，与它温度升高1 ℃所吸收的热量相等，数值上都等于它的比热容。

比热容是反映物质自身性质的物理量。不同的物质，比热容一般不同。

小资料

表13.1-1　一些物质的比热容

物质	比热容 $c/[\mathrm{J\cdot(kg\cdot℃)^{-1}}]$	物质	比热容 $c/[\mathrm{J\cdot(kg\cdot℃)^{-1}}]$
水	4.2×10^3	铝	0.88×10^3
酒精	2.4×10^3	干泥土	约0.84×10^3
煤油	约2.1×10^3	铁、钢	0.46×10^3
冰	2.1×10^3	铜	0.39×10^3
色拉油	约1.97×10^3	水银	0.14×10^3
沙子	约0.92×10^3	铅	0.13×10^3

质量相同的不同物质，当吸收或放出同样的热量时，比热容较大的物质温度变化较小。因此，比热容大的物质对调节温度有较强的作用。从表中可以看出，水的比热容较大。当环境温度变化较快的时候，水的温度变化相对较慢。生物体内水的比例很高，有助于调节生物体自身的温度，以免温度变化太快对生物体造成严重损害。

水的比热容是沙子的4倍多。质量相同的水和沙子，要使它们上升同样的温度，水会吸收更多的热量；如果吸收或放出的热量相同，水的温度变化比沙子小得多。夏天，阳光照在海上，尽管海水吸收了许多热量，但是由于它的比热容较大，所以海

水的温度变化并不大，海边的气温变化也不会很大。而在沙漠，由于沙子的比热容较小，吸收同样的热量，沙子的温度会上升很多，所以沙漠的昼夜温差很大（图13.1-4）。



图13.1-4　海边昼夜温差比沙漠小

想想议议

我国北方楼房中的暖气用水作为介质，把燃料燃烧时产生的热量带到房屋中。用水作为输送热量的介质有什么好处？生产生活中，还有没有用水来加热或散热的情况？

拓展实验

用传感器比较不同物质的比热容

如图13.1-5所示，用铁夹将温度传感器及分别盛有质量相同的水和食用油的两支试管固定在铁架台上，温度传感器的探头部分要分别与试管内的水和食用油接触良好。温度传感器通过数据采集线与计算机相连接。

在计算机上打开与此仪器配套的专用软件，点击“开始记录”，同时打开红外加热器的开关，对盛有水和食用油的试管进行加热，在计算机上可以得到水和食用油的温度—时间图像，进而比较它们的比热容。

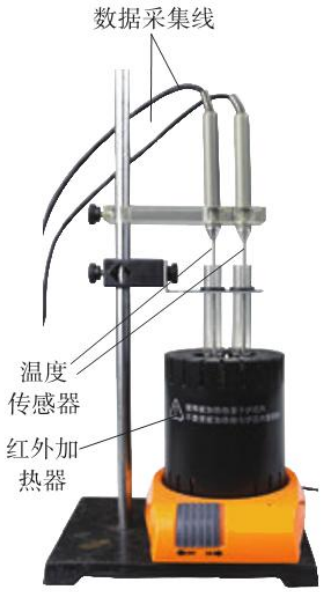


图13.1-5　比热容实验装置

热量的计算

比热容在数值上等于1 kg的某种物质温度升高1 ℃所吸收的热量。如果知道一种物质的比热容，再知道这种物质的质量和升高的温度，就能计算它吸收的热量。

想想议议

沙子的比热容约为0.92×10^3 J/(kg·℃)，这表示质量是1 kg的沙子温度升高1 ℃时吸收的热量约为0.92×10^3 J。把质量是2 kg、温度为20 ℃的沙子加热到30 ℃，沙子吸收的热量约为多少？利用这些热量给质量是2 kg、温度为20 ℃的水加热，水的温度会上升到大约多少摄氏度？

如果以$Q_{吸}$代表物体吸收的热量，c代表物质的比热容，m代表物体的质量，t_0和t分别代表物体初、末状态的温度，那么通过上面的计算，我们可以总结出一个计算物体吸收热量的公式：$Q_{吸}=cm(t-t_0)$。

如果要计算物体降温时放出的热量$Q_{放}$，则$Q_{放}=cm(t_0-t)$。

科学·技术·社会·环境

地球的温室效应

太阳通过热辐射把能量输送到地面，温暖了地球，养育了万物。

地表受热后，也会通过热辐射向外传递热量。地球表面大气层中的二氧化碳等气体会吸收这种向外的热辐射，因此地表的温度会维持在一个相对稳定的水平。这就是温室效应。适度的温室效应是维持地球上生命生存环境的必要保证。

大气层中的大部分二氧化碳是自然产生的，然而现代工业大量燃烧煤炭和石油，产生了过量的二氧化碳。另外，人类大量砍伐森林，削弱了植物因光合作用对二氧化碳的消耗。这些都加剧了地球的温室效应。过度的温室效应是近年来全球气候变暖的重要原因。

如果地球表面的温度过高，将会导致两极的冰川融化（图13.1-6），使得海平面上升，有些沿海城市面临建筑被淹和海水侵蚀等严重问题，大片良田盐碱化。温度的升高还会影响全球气候，使得一些地区暴雨成灾，而另外一些地区干旱少雨，土地变成了荒漠。

以“温室效应”等为关键词在因特网上进行搜索，了解我国为应对温室效应所采取的措施。

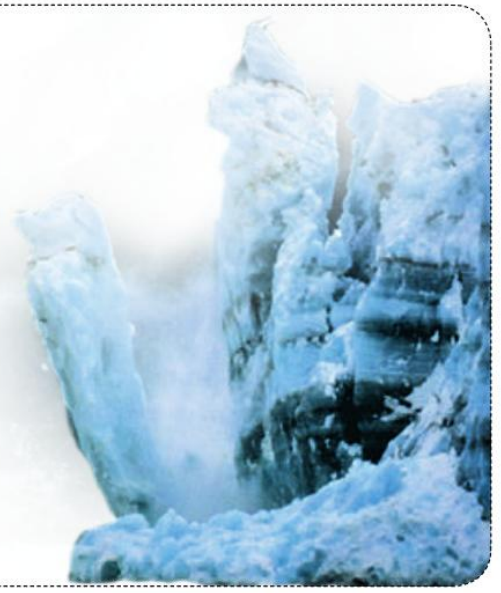


图13.1-6　冰川融化

练习与应用

1. 在标准大气压下，水的沸点是100 ℃，某种牛奶的沸点是107 ℃。加热条件相同时，加热质量相等、初温相同的水和牛奶，牛奶比水先沸腾。请根据比热容的定义讨论，水和牛奶哪个的比热容大。
2. 有同学根据 $c=\frac{Q}{m(t-t_0)}$ 认为：比热容跟物体吸收或放出的热量有关，而且物体的质量越大，它的比热容越小。这种认识正确吗？说说你的看法。
3. 质量为2 kg的某种物质，当温度从20 ℃升高到40 ℃时，吸收的热量是1.88×10^4 J。该物质的比热容是多少？
4. 相同质量的铝块和铜块，吸收了相同的热量，哪个的温度上升得较高？说说你的推断过程。
5. 有一根烧红的铁钉，温度是800 ℃，质量是1.5 g。当温度降低到20 ℃时，它放出了多少热量？
6. “早穿皮袄午穿纱，守着火炉吃西瓜。”这句谚语生动描述了新疆一些地区一天中的温度变化。请从比热容的角度分析，与沿海地区相比，新疆这些地区昼夜温差大的原因是什么。

第2节 分子动理论的初步知识



图13.2-1 绽放的梅花

问题

“墙角数枝梅，凌寒独自开。遥知不是雪，为有暗香来。”这首诗描绘了梅花不惧严寒、傲然独放的情境（图13.2-1）。你知道花香是怎么传播到远处的吗？

物质的构成

物质是由什么组成的？两千多年前，古希腊思想家德谟克利特认为，万物都是由极小的、不可分割的微粒——“原子”[①]组成的，人可以闻到不同的气味，是因为这些气味的“原子”飘到了人的鼻子里。现代科学研究发现，常见的物质是由极其微小的粒子——**分子**（molecule）、**原子**（atom）等构成的。

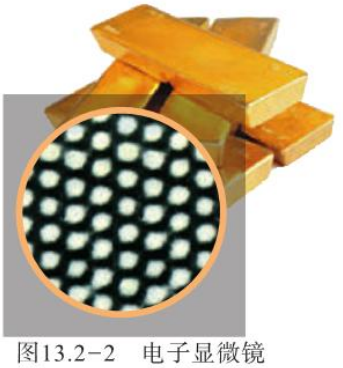


图13.2-2 电子显微镜下的金原子

在研究与热学有关的问题时，这些微观粒子可以不必区分，都看作分子。如果把分子看成球形的，一般分子的直径只有百亿分之几米，人们通常以10^{-10} m为单位来量度分子。分子如此之小，人们用肉眼甚至光学显微镜都分辨不出它们。不过，电子显微镜可以帮助我们观察到这些微小的粒子（图13.2-2）。

构成物质的分子是静止的还是运动的？相互之间有没有作用力？虽然用肉眼不能直接观察到分子，但人们可以通过物体的一些宏观表现来推断构成它们的分子的情况。

① 这里所说的原子与现代物理学中的原子不同，现代物理学中的原子是有结构的。

分子热运动

演示

气体的扩散（录像）

二氧化氮的密度比空气大。在装着红棕色二氧化氮气体的瓶子上面，倒扣一个空瓶子，使两个瓶口相对，之间用一块玻璃板隔开（图13.2-3）。抽掉玻璃板后，观察发生的现象。

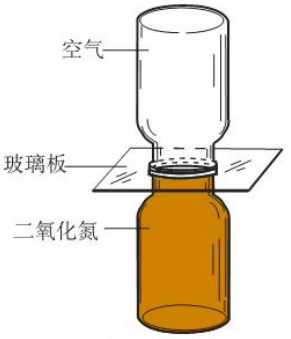
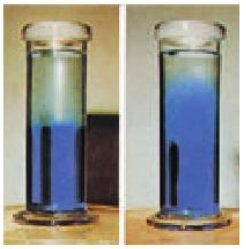


图13.2-3　气体扩散实验装置

二氧化氮能进入上面的瓶子里吗？

由实验可以看到，两个瓶子内的气体会混合在一起，最后颜色变得均匀。像这样，不同的物质在互相接触时彼此进入对方的现象，叫作**扩散**（diffusion）。

扩散现象也可以发生在液体之间。在玻璃筒里装一半清水，用细管在水的下面注入硫酸铜的水溶液。由于硫酸铜溶液的密度比水大，会沉在玻璃筒的下部，因此可以看到无色的清水与蓝色硫酸铜溶液之间有明显的界面。静放几天，界面就逐渐变得模糊不清了（图13.2-4）。


开始时　　10日后

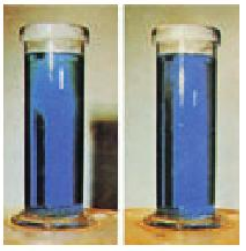

20日后　　30日后

图13.2-4　液体扩散实验

固体之间也能发生扩散。有人曾经把磨得很光滑的铅片和金片紧压在一起，在室温下放置5年后再将它们切开，可以看到它们互相渗入约1 mm深。

演示

墨水扩散快慢与温度的关系

在一个烧杯中装半杯热水，另一个同样的烧杯中装等量的冷水。用相同的滴管同时分别向两个烧杯中滴入一滴墨水，观察哪个烧杯中的墨水扩散得快。扩散的快慢与温度有什么关系？

扩散现象等大量事实表明：**一切物质的分子都在不停地做无规则的运动**。这种无规则的运动叫作分子的**热运动**（thermal motion）。分子运动越剧烈，物体的温度越高。

分子间的作用力

既然分子在不停地运动，那么为什么固体和液体中的分子通常不会飞散开，而总是聚合在一起，保持一定的体积呢？

演 示

铅柱间的作用力

如图13.2-5所示，将两个铅柱的底面削平、削干净，然后紧紧地压在一起，两个铅柱就会结合起来，甚至下面吊一个20 kg的重物都不能把它们拉开。

你觉得不能把两个铅柱拉开的原因是什么？



图13.2-5　铅柱吊起重物

两个铅柱没有被重物拉开，主要是因为两个铅柱的**分子之间存在引力**。固体和液体的分子之间存在引力，这种引力使得固体和液体的分子不致散开，因而固体和液体能保持一定的体积。

从扩散现象还可以看出，物体的分子不是紧密地挤在一起，而是彼此间存在间隙。既然如此，那么为什么压缩固体和液体很困难呢？这是因为除了引力，**分子之间还存在斥力**。

分子之间既有引力又有斥力。当固体被压缩时，分

子间的距离变小，作用力表现为斥力；当固体被拉伸时，分子间的距离变大，作用力表现为引力。固体分子间的距离小（图13.2-6），不容易被压缩和拉伸，固体具有一定的体积和形状。

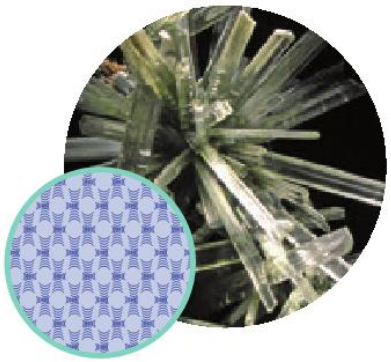


图13.2-6　组成固体的分子

如果分子相距很远，作用力就变得十分微弱，可以忽略。气体分子之间的距离就很远（图13.2-7），彼此之间几乎没有作用力，因此，气体具有流动性，容易被压缩。

通常，液体分子之间的距离比气体小很多，比固体略大（图13.2-8）。液体分子之间的作用力比固体小。液体分子没有固定的位置，运动比较自由。这样的结构使得液体较难被压缩，没有确定的形状，具有流动性。



图13.2-7
组成气体的分子

通过以上分析及相关研究发现：常见的物质是由大量分子构成的，物质内的分子在不停地做热运动，分子之间存在引力和斥力。这就是人们用来解释热现象的分子动理论的初步知识。

各种热现象的微观本质都是分子的热运动。例如，将一个充满空气的气球放入温度约为−196 ℃的液氮中，气球会变扁平。这是因为在常温常压下，气球内气体分子的无规则热运动比较剧烈，能够挣脱相互作用的束缚，处于一种“自由”的状态。在液氮中，分子热运动急剧减弱，分子间的相互作用将分子束缚在一起，空气变成了液体。空气从气体变为液体时，体积大大减小。

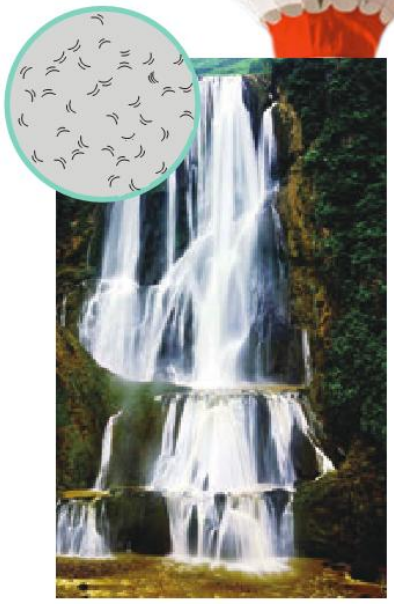


图13.2-8　组成液体的分子

练习与应用

1. 把分子看成球体，将它们一个挨一个地紧密平铺成一层，组成一个单层分子的正方形，边长为 1 cm。这个正方形中约有多少个分子？

2. 扩散现象跟人们的生活密切相关。它有时有用，如腌制鸭蛋就是通过扩散使盐进入蛋中的；它有时又有害，如人造木板黏结剂中的甲醛扩散到空气中造成环境污染。请你分别列举一个扩散现象有用和有害的实例。

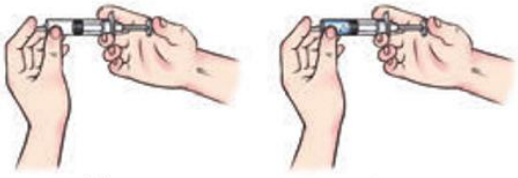
3. 两个杯子中分别盛有质量相同的冷水和热水，向其中分别放入同样的糖块，经过相同的时间后（两杯中的糖块都还没有全部溶解），请推断哪一杯水会更甜。为什么？

4. 把干净的玻璃板吊在弹簧测力计的下面（用吸盘吸住玻璃板或用细线绑住玻璃板），读出测力计的示数。使玻璃板水平接触水面，然后稍稍用力向上拉玻璃板（图 13.2-9）。弹簧测力计的示数有什么变化？解释产生这个现象的原因。



图13.2-9

5. 在图 13.2-10 甲中的注射器里封有空气，图 13.2-10 乙中的注射器里封有相同体积的水。用手推动活塞可以压缩空气，但很难压缩水，说说为什么。



甲　　乙

图13.2-10

6. 下表归纳了物质固、液、气三态的微观特性和宏观特性，请完成这个表格。

物态	微观特性		宏观特性	
	分子间距离	分子间作用力	有无固定形状	有无固定体积
固态		很大		
液态	较大	较大		
气态	很大			

第3节 内能

问 题

装着开水的暖水瓶，有时瓶塞会弹起来。推动瓶塞的能量来自哪里？

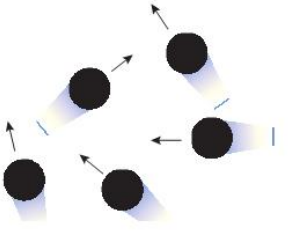
内能

我们举高一个物体，即对物体做功，会改变该物体的机械能。这是机械运动中与能量有关的现象。在热现象中，保持一个物体不动，对其加热或者做功（例如摩擦该物体），这个物体的能量会不会发生改变呢？如果有能量的改变，这种能量以什么形式存在呢？

我们知道，运动的物体具有动能，运动的分子也同样具有动能（图13.3-1）。构成物质的分子在不停地做热运动，温度越高，分子热运动的速度越大，它们的动能也就越大。



甲 运动的足球具有动能



乙 运动的分子具有动能

图13.3-1 动能

除此之外，由于分子之间存在类似弹簧形变时的相互作用力，所以分子也具有势能。这种势能叫作分子势能（图13.3-2）。



甲　弹簧形变时具有势能　　乙　互相排斥和吸引的分子具有势能

图13.3-2　势能

构成物体的所有分子，其热运动的动能与分子势能的总和，叫作物体的**内能**（internal energy）。内能的单位也是焦耳，各种形式能量的单位都是焦耳。

飞在空中的足球，由于离开地面而具有重力势能，由于在空中飞行还具有动能。空中运动的足球除了整体具有机械能，同时还具有内能。机械能与整个物体的机械运动情况有关，而内能与物体内部分子的热运动和分子之间的相互作用情况有关。内能是不同于机械能的另一种形式的能。



图13.3-3　铁水和冰块都具有内能

一切物体，不论温度高低，都具有内能。炙热的铁水具有内能；冰冷的冰块，温度虽然低，但是其中的水分子仍然在做热运动，所以也具有内能（图13.3-3）。

热传递和内能的改变

如果把烧热的工件放到冷水中，工件会凉下来，而冷水会变热，这是因为在此过程中发生了热传递。发生热传递时，高温物体放出热量、内能减少，低温物体吸收热量、内能增加。物体吸收或放出的热量越多，它的内能改变越大。热传递可以改变物体的内能。

冬天用热水袋取暖，人体逐渐感觉暖和，热水袋慢慢凉下来。人轻度发热时用冷毛巾给头部降温，过一段时间后，毛巾温度升高，头部温度降低。这些都是热传递改变物体内能的例子。



甲　为什么冬天人们经常搓手？

做功和内能的改变

除了热传递，还有什么途径可以改变物体的内能？结合图13.3-4思考、讨论。

图13.3-4所示的情形说明摩擦可以产生热，这部分内能是从哪里来的呢？

摩擦时物体克服摩擦力做了功，这部分内能是物体克服摩擦力做功转化而来的。



乙　下滑时有什么感觉？

图13.3-4　摩擦可以产生热

演示

做功改变空气的内能

1. 如图13.3-5甲所示，在一个配有活塞的厚玻璃筒里放一小团脱脂棉，把活塞迅速压下去，观察发生的现象。

2. 如图13.3-5乙所示，在烧瓶内盛少量水，并盖紧瓶塞。向瓶内打气，当瓶塞跳起时，观察瓶内的变化。



甲　空气被压缩时内能增加



乙　空气推动瓶塞时内能减少

图13.3-5　做功改变内能

在上述实验中，通过什么途径改变了玻璃筒和烧瓶内空气的内能？

在图13.3-5甲所示的实验中，脱脂棉燃烧起来，是因为活塞压缩气体做功，使空气的内能增加，温度升高，达到脱脂棉的燃点。在图13.3-5乙所示的实验中，瓶内水上方存在着无色透明、无法看到的水蒸气；当瓶塞跳起时，可以看到瓶内出现白雾，说明水蒸气液化成了可以看到的小水滴。在这个过程中，气体膨胀对外做功，内能减少，温度降低。

类似的现象还有通过搅拌让水温升高，通过捶打使铁块变热等。这些过程都伴随着做功。由此可见，做功也可以改变物体的内能。

有了内能的概念后，我们就能理解，对一个物体加热或者做功，就是使能量“流入”了物体的内部，物体的内能增加。能量通过这种方式被储存起来。反过来，物体也可以对外放热或者做功，从而释放内能。

练习与应用

1. 张老师在火车站乘电梯时随自动扶梯匀速上行，他所携带的背包的重力势能增大，背包的内能是否也增大？为什么？他坐在高铁内将书放在小桌板上，列车启动后的一段时间内车速越来越快，书的动能增大，它的内能是否也增大？为什么？
2. 在以下过程中，小孩、火箭箭体和子弹的内能是在增大还是在减小？机械能是在增大还是在减小？
   （1）小孩在滑梯上匀速滑下的过程中，臀部与滑梯摩擦后温度升高。
   （2）火箭在从地面向上发射的过程中，火箭外壳和大气摩擦后温度越来越高。
   （3）子弹击中一块木板，子弹温度升高。
3. 请说明“烤火取暖”和“钻木取火”分别通过什么方式改变物体的内能。
4. 把图钉按在铅笔的一端，手握铅笔使钉帽在粗糙的硬纸板上来回摩擦，然后用指尖感觉钉帽温度的变化，并解释发生这种变化的原因。（操作时要注意安全！）

复习与提高

1. 1 mL水大约有20滴，每滴水大约含有2×10^{21}个水分子。如果我们1 s数3个水分子，多少年才能数完1 mL水中所含的水分子？

2. 在做图13.2-5所示的实验时，测得两个铅柱的接触面积为1.5 cm^2，当下方悬挂20 kg的重物时，铅柱仍然未被拉开。请根据实验数据说明，大气压的作用不是铅柱能悬吊重物的主要原因。

3. 用相同的电加热器同时加热质量相等的水和另一种液体，二者初温均为20 ℃。一段时间后，测得水的温度为40 ℃，另一种液体的温度为42.1 ℃。另一种液体的比热容是多少？

4. 某同学做实验时所用的电加热器1 s内放出的热量为700 J。加热1 min能使200 g的水温度升高多少？

5. 地球上海水的总质量约为1.4×10^{21} kg，比热容约为4.2×10^3 J/(kg·℃)。如果这些海水温度降低1 ℃，放出的热量约是多少？这些热量约是2021年全球总发电量的多少倍？已知2021年全球总发电量相当于1×10^{20} J。

6. 图13-1是我国古籍《天工开物》中描绘的造纸时“透火焙干”的情景。将一张张湿纸膜贴在砖墙上，在巷中生火，砖的温度升高，湿纸膜上的水分逐渐蒸发，干透后揭下来就是成品纸了。在你看来，“透火焙干”涉及哪些物理知识？

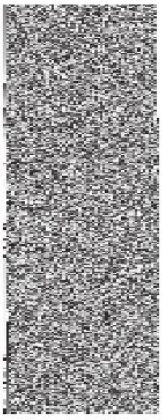


图13-1

第十四章　内能的利用

火能驱散寒冷和黑暗，带来温暖和光明。摩擦生火第一次使人支配了一种自然力量，而蒸汽机的发明则给人类带来了巨大的动力。

将内能转化成机械能的各种热机广泛使用在汽车、火车、轮船、飞机和火箭上。热机是怎样将内能转化成我们需要的能量的？学习完这一章，你就会清楚了。



第1节 能量的转化与守恒

问 题

通过前面的学习，我们已经发现可以通过做功将其他形式的能量转化为内能。生活中的风能、太阳能（图14.1-1）、电能、水能、化学能等，也可以相互转化吗？



图14.1-1 风能和太阳能

能量的转化

想想做做

完成下面一组小实验。

1. 来回迅速摩擦双手。

2. 用黑塑料袋盛些水，插入温度计后系好袋口，放在阳光下。

3. 将太阳能电池连在小电扇上，并使太阳能电池对着阳光。

4. 将塑料笔杆在头发或毛衣上摩擦后靠近细碎的纸片。

……

观察实验中的现象，讨论发生了哪些能量转化。

你还能指出一些事实，说明力现象与热现象有联系、力现象与电现象有联系、电现象与热现象有联系吗？最好把现象演示给大家。

自然界中的各种现象都是互相联系的。科学家们经过长期探索，发现能量转化非常普遍。在一定条件下，各种形式的能量是可以相互转化的：摩擦生热，机械能转化为内能；水电站里水轮机带动发电机发电，机

械能转化为电能；电动机带动水泵把水送到高处，电能转化为机械能；植物吸收太阳光进行光合作用，光能转化为化学能；燃料燃烧时发热，化学能转化为内能……图 14.1–2 中给出了两个实例，请你来补充一些吧。

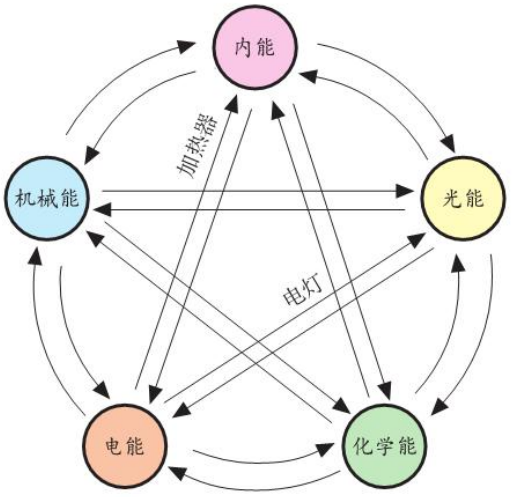


图14.1–2　各种形式能量的转化

能量守恒定律

想想议议

停止用力，摆动的秋千会越摆越低；掉在地上的弹性小球会跳起，但是越跳越低（图 14.1–3）。

讨论秋千和小球在运动中的能量转化。

为什么它们到达的高度会逐渐降低？是否丢失了能量？

你认为减少的机械能到哪里去了？



图14.1–3　小球在地面弹跳的频闪照片

在秋千和小球的运动中，看似能量减少了，其实是在运动过程中，有一部分机械能转化成了内能。

大量事实表明：**能量既不会凭空消失，也不会凭**

空产生，它只会从一种形式转化为其他形式，或者从一个物体转移到其他物体，而在转化和转移的过程中，能量的总量保持不变。这就是**能量守恒定律**（law of conservation of energy）。

能量守恒定律是自然界最普遍、最重要的基本定律之一。大到天体，小到原子核，无论是物理学的问题还是化学、生物学、地理学、天文学的问题，所有能量转化的过程，都遵循能量守恒定律。从日常生活到科学研究、工程技术，这一定律都发挥着重要的作用。例如，在行驶的燃油汽车中，燃料的化学能通过燃烧转化为燃气的内能，再通过发动机做功把内能转化为机械能。在这个过程中，燃料的化学能一部分转化为机械能，一部分转化为发动机和周围环境的内能，能量的总量不变。

不少人曾经设想制造一种不需要动力就可以源源不断地对外做功的机器，人们把这种机器叫作永动机。然而，在科学技术发展的历史上，从来没有一种永动机成功过。能量守恒定律的发现，使人们认识到：任何一部机器，只能使能量从一种形式转化为其他形式，而不能无中生有地制造能量。因此，根本不可能造出永动机。

想想议议

图 14.1-4 是一种设想中的永动机，它通过高处的水流冲击叶片，使叶片转动来对外做功，同时带动抽水机将水从低处抽到高处，从而循环工作。你能不能从能量守恒的角度说明它为什么不能一直工作下去？

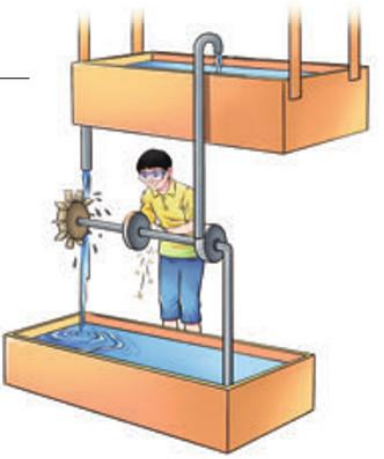


图14.1-4　一种设想中的永动机

科学世界

对热的本质的认识过程

热是一种常见的现象。热是什么？

17世纪以后，根据摩擦生热的现象，不少物理学家都认为热是一种特殊的运动形式，但是这种看法由于缺乏精确的实验证据，还不能形成科学的理论。

热质说将热看成一种没有质量或不可称量的流质——热质，认为热质不生不灭，存在于一切物体之中，物体的冷热程度，取决于其中所含热质的多少。到了18世纪，热质说由于能够解释某些实验结果，因而在当时获得了承认。热质说对摩擦生热的解释是，摩擦并没有改变热质的总量，但物质在摩擦时比热容降低了，因此摩擦可以使物体的温度升高。

1798年，英国物理学家伦福德发现钻孔钻下的金属屑具有极高的温度，甚至可以使水沸腾。伦福德认为，由摩擦所生的热，来源似乎是无穷无尽的，要用热质说解释摩擦生热现象，钻下的金属屑的比热容要改变很大才行。于是他设计并做了一系列实验，发现钻下的金属屑的比热容在摩擦时并没有降低。根据实验结果，伦福德断言热质说不足为信，应当把热看成一种运动形式。热质说的统治地位开始动摇了。

1799年，英国化学家戴维做了更加严格的实验，有力地打击了热质说。

此后，科学家进一步研究了热和做功的关系，特别是英国物理学家焦耳做了大量实验，定量地研究了热和功的关系，证明做了多少机械功，就有多少机械能转化成与热相关的能量。焦耳的工作表明热不是一种特殊的物质，同时为能量守恒定律奠定了基础。

能量守恒定律的建立，彻底否定了热质说，同时为分子动理论的发展开辟了道路。人们认识到：宏观的热现象原来是物体内部大量分子的无规则运动的表现，物体内部的能量就是前面讲过的内能。热量不表示物质所含“热质”的多少，而表示在热传递过程中传递的能量的多少。

透过表面现象追求背后的本质，这是科学家寻根究底、追求真理精神的体现。

练习与应用

1 用水发电时，水从高处流下冲击水轮机，水轮机转动并带动发电机发电。在这个过程中发生了哪些能量转化？

❷ 图14.1-5展示的是“风光互补”景观照明灯。它的最上端是一台风力发电机，灯柱上还配有太阳能电池板，底部的蓄电池可以储存电能。请说明这种景观照明灯在储能和照明时有哪些能量转化。

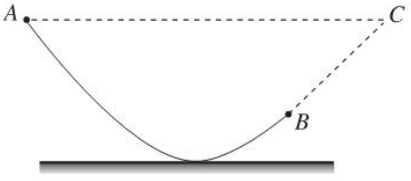


图14.1-5

❸ 图14.1-6甲是运动员在2022年北京冬奥会自由式滑雪大跳台训练的情景。运动员从60 m高的跳台上的A点自由滑下，从B点冲出，如图14.1-6乙所示。运动员在空中能否达到与A点高度相同的C点？为什么？



甲



乙

图14.1-6

❹ 食物（图14.1-7）也是一种“燃料”，葡萄糖等营养成分在人体细胞里与氧结合，提供细胞生命活动所需的能量。这种过程没有火焰，但化学能同样可以转化为内能。从能量守恒的角度看，食物提供的化学能还转化为哪些能量？

人体摄入的能量（营养师常称之为热量）过多或过少，都有损于健康。对于正在长身体的初中学生，每天应该摄入多少能量？应该如何调整饮食？查阅资料、进行调查，写一篇科学报告，并与同学交流。



图14.1-7



图14.1-8

❺ 如图14.1-8所示，轻轻推倒第一块小木板就会产生连锁反应，使最后一块大木板被推倒。有人认为，实验说明了用很少的能量可以产生较多的能量，所以能量守恒定律不成立。你认为他的说法正确吗？说说理由。

第2节 热机

问 题

18世纪第一辆汽车问世时，它的速度只有几千米每小时，而目前最快汽车的速度已经超过了声速（图14.2-1）。汽车是如何获得机械能的呢？



图14.2-1 超声速汽车

热机

演 示

不同形式能量之间的转化

如图14.2-2所示，在试管内装些水，用橡胶塞塞住管口，将水加热一段时间，观察现象。讨论这个过程中不同形式能量之间转化的情况。

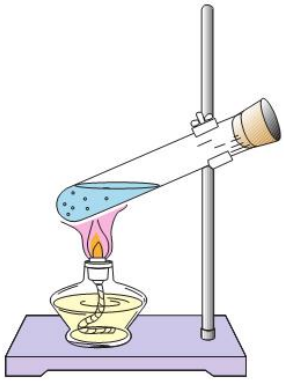


图14.2-2 加热试管中的水

在这个实验中，燃料燃烧时产生的热量传给水和水蒸气，塞子受到水蒸气的压力而冲出去，水蒸气的内能转化为塞子的机械能。

这个实验虽然简单，却基本展示了蒸汽机的工作原理。

人们发现内能可以做功，由此制造了各种利用内能做功的机械——**热机**（heat engine）。热机的发明及广泛使用，使人类迈入了工业化社会，对人类社会的发展起到了重要的作用。蒸汽机、内燃机、汽轮机、喷气发动机等都是热机。

燃料直接在发动机气缸内燃烧产生动力的热机，叫作内燃机。内燃机是现代社会中最常见的一种热机。燃油汽车作为我们生活中的重要交通工具，它的主要动力机械之一就是内燃机。图 14.2−3 是一种内燃机的剖面图。

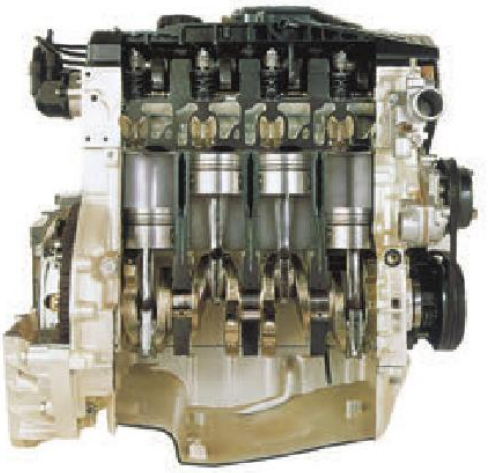


图14.2−3　一种内燃机的剖面图

内燃机分为汽油机和柴油机两大类，它们分别用汽油和柴油作为燃料。

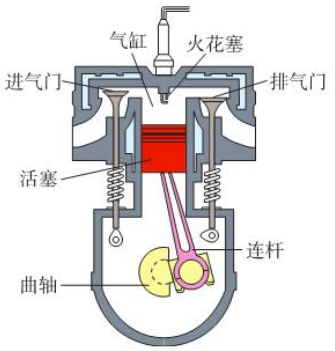
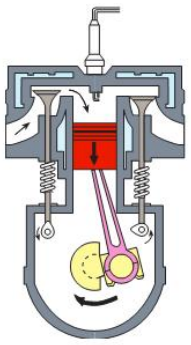


图14.2−4　四冲程汽油机剖面图

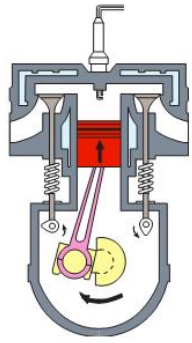
汽油机

图 14.2−4 是四冲程汽油机的剖面图。气缸上部有进气门和排气门，顶部有火花塞，下部有活塞，活塞通过连杆跟曲轴相连。汽油在气缸里面燃烧时生成高温高压的燃气，推动活塞做功。活塞运动带动曲轴转动。

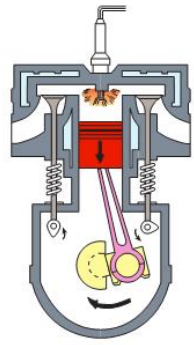
要使汽油机连续工作，活塞必须能在气缸内往复运动。活塞在气缸内往复运动时，从气缸的一端运动到另一端的过程，叫作一个冲程。多数汽油机是由吸气、压缩、做功、排气四个冲程的不断循环来保证连续工作的。图 14.2−5 是四冲程汽油机的工作示意图。



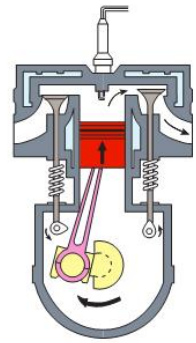
甲　吸气冲程：进气门打开，排气门关闭，活塞向下运动，汽油和空气的混合物进入气缸。



乙　压缩冲程：进气门和排气门都关闭，活塞向上运动，燃料混合物被压缩。



丙　做功冲程：在压缩冲程结束时，火花塞产生电火花，使燃料猛烈燃烧，产生高温高压的气体。高温高压的气体推动活塞向下运动，带动曲轴转动，对外做功。



丁　排气冲程：进气门保持关闭，排气门打开，活塞向上运动，把废气排出气缸。

图14.2–5　四冲程汽油机工作示意图

想想议议

1. 在四个冲程中，压缩冲程和做功冲程各发生了怎样的能量转化？
2. 哪个冲程使汽车获得动力？
3. 哪个冲程排出了气缸的废气？

柴油机

柴油机的构造和汽油机相似，但是柴油机通过压缩空气直接点燃柴油，因此柴油机气缸顶部没有火花塞，而有一个喷油嘴。

柴油机的工作过程也分为吸气、压缩、做功、排气四个冲程。在吸气冲程中吸进气缸的只有空气。在压缩冲程中，活塞把空气的体积压缩得非常小，使得空气的温度很高。在压缩冲程结束时，气缸内空气的温度已经超过柴油的燃点，此时从喷油嘴喷出的雾状柴油遇到热空气便立刻燃烧起来。在做功冲程中，燃烧放出的热使得气体的温度急剧升高、压强急剧增大，从而推动活塞对外做功。

由于柴油机对空气的压缩程度比汽油机高，因此在做功冲程中气体的压强也大于汽油机，因而可以输出更大的功率。

由于柴油机工作过程中气体的压强较大，要求各有关零件具有较高的结构强度，因此早期的柴油机比较笨重，主要应用在载重汽车、拖拉机、坦克、火车、轮船上，有的地方还用它带动发电机发电。随着近年来柴油机技术的发展，其体积、噪声和污染等方面的问题都逐步得到了改善。

科学世界

现代汽车

汽车已经成为现代生活中不可缺少的一部分。

燃油汽车由发动机、底盘、车身和电气设备四大部分组成。发动机把燃料燃烧产生的内能变为机械能，再通过底盘上的传动机构，将动力传给车轮，使汽车行驶（图14.2-6）。电气设备的作用主要是产生电火花以点燃气缸中的可燃气体、启动发动机时用电机带动飞轮旋转、提供照明等。



图14.2-6　汽车的动力系统

燃油汽车一般采用三缸、四缸或六缸等多缸发动机（图14.2-3所示为四缸发动机），每个气缸都进行四冲程循环，由于各个气缸交替做功，所以发动机运转比较平稳。

随着电子技术的发展，许多燃油汽车已经采用了电子燃油喷射系统。微电脑可以根据内燃机的工作状态和空气的温度等多种因素精确控制喷油的数量和时机，以提高燃烧效率，减少有害气体的排放，降低燃料的消耗，同时提高发动机的功率。电子技术的应用，使燃油汽车有了更广阔的发展空间。此外，利用电能、氢能等的各种新能源汽车也在快速发展。未来的汽车将更加节能、安全，对环境的影响会更小。

练习与应用

1. 图14.2–7展示的是我国传统的走马灯。点燃底部的蜡烛，上升的热空气驱动扇叶转动，带动纸片小人转动。在这一过程中，不同形式的能量是如何转化的？这一能量转化过程与四冲程汽油机的哪个冲程相似？



图14.2–7

2. 除了飞机、汽车、摩托车，你还知道哪些地方用到了热机？你列举的热机中哪些是内燃机？

3. 在图14.2–8中，图甲为四冲程内燃机吸气冲程的示意图，图中画出了吸气冲程中活塞、曲轴的位置和进气门、排气门的开闭情况。请在图乙、丙、丁中，分别画出压缩、做功、排气冲程中活塞、曲轴的位置和进气门、排气门的开闭情况。

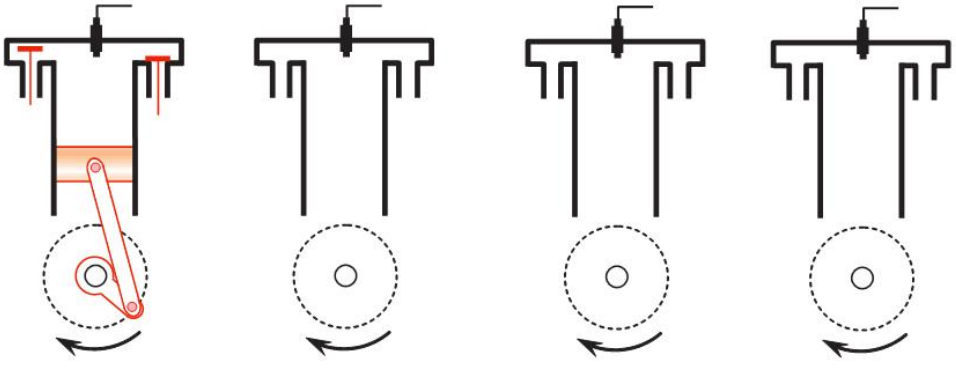

甲　吸气冲程　　乙　压缩冲程　　丙　做功冲程　　丁　排气冲程

图14.2–8

4. 从能量转化的角度看，一台四冲程内燃机在一个循环中：
   （1）哪个冲程存在着化学能转化为内能的过程？
   （2）哪个冲程存在着内能转化为机械能的过程？
   （3）哪个冲程具有很明显的机械能转化为内能的过程？

5. 某同学看到爸爸启动汽车时，转速表如图14.2–9所示。转速表中的示数反映了发动机曲轴每分钟的转动次数。如果汽车用的是四冲程汽油机，请根据图中信息计算此时发动机一个气缸每分钟完成做功冲程的次数。



图14.2–9

6. 柴油机和汽油机的工作过程有什么相同点？有什么不同点？

第3节 热机的效率

问 题

热机工作时需要消耗煤、汽油、柴油等燃料，对外做功的目的是将燃料中的化学能转化为机械能。热机中燃料燃烧释放的热量能被完全利用吗？

燃料的热值

人类在原始社会时就知道燃烧柴薪来取暖、烧饭。在现代社会，人类所用能量的很大一部分依然是从燃料的燃烧中获得的。

想想议议

燃料的种类很多，固体燃料有木柴、煤等，液体燃料有汽油、酒精等，气体燃料有煤气、天然气等（图14.3-1）。根据你的经验，相同质量的不同燃料，燃烧时放出的热量是否相同？要找出事实来支持你的观点，并进行分析。



图14.3-1 几种燃料

燃烧相同质量的不同燃料，放出的热量通常是不同的。例如，燃烧1 kg煤放出的热量，是燃烧1 kg干木柴放出热量的两倍多。

我们把某种燃料完全燃烧放出的热量与其质量之比，叫作这种燃料的**热值**。

热值在数值上等于1 kg某种燃料完全燃烧放出的热量。热值的单位由热量的单位和质量的单位组合而成。在国际单位制中，热量的单位是焦耳，质量的单位是千克，则热值的单位是**焦每千克**，符号是J/kg[①]。

根据燃料的热值，我们就能计算出燃料完全燃烧放出的热量。例如，从表中可以查到汽油的热值为4.6×10^7 J/kg，所以如果给汽车加30 kg汽油，完全燃烧放出的热量为

$$4.6\times10^7\ \text{J/kg}\times30\ \text{kg}=1.38\times10^9\ \text{J}$$

如果完全燃烧同样质量的柴油，能放出多少热量？



小资料

表14.3-1　一些燃料的热值

燃料	热值	燃料	热值
干木柴	约1.2×10^7 J/kg	柴油	4.3×10^7 J/kg
烟煤	约2.9×10^7 J/kg	煤油	4.6×10^7 J/kg
无烟煤	约3.4×10^7 J/kg	汽油	4.6×10^7 J/kg
焦炭	3.0×10^7 J/kg	氢气	1.4×10^8 J/kg
木炭	3.4×10^7 J/kg	焦炉煤气	约1.7×10^7 J/m^3
酒精	3.0×10^7 J/kg	沼气	约1.9×10^7 J/m^3

热机的效率

燃料很难完全燃烧，放出的热量往往比按热值计算出的要少，而且有效利用的热量又比放出的热量要少。

① 对某些气体燃料，其热值在数值上等于在标准状态下1 m^{3}燃料完全燃烧放出的热量，单位是焦每立方米，符号是J/m^3。

例如用煤烧水，有效利用的热量只是被水吸收的热量，高温的烟气带走了相当一部分热量，还有一部分热量直接散失掉了。

通常锅炉的燃料利用率比较低，因此在节约能源上有很大的改造潜力。例如，对于取暖用的小型锅炉，如果把煤磨成煤粉或煤粒，以加大煤与氧气的接触面积，再把空气吹进炉膛，就会比煤块燃烧得更充分，从而提高燃料的利用率。



图14.3-2　燃料化学能的转化

对于热机而言，燃料燃烧释放的热量只有一部分用来做有用功，还有相当一部分能量散失了（图14.3-2）。用来做有用功的这部分能量，与燃料完全燃烧放出的热量之比，叫作热机的**效率**。要想知道热机的效率，就要先知道燃料完全燃烧放出的热量。

蒸汽机的效率很低，只有6%~15%。内燃机中，燃料是在气缸内部燃烧的，而且燃料与空气混合充分，燃烧得比较充分，所以内燃机的效率比蒸汽机高。汽油机的效率为20%~40%，柴油机的效率为30%~45%。

热机的效率是热机性能的重要指标。在做功同样多的情况下，效率高的热机消耗的燃料少，从而节约能源、减少污染。在设计和制造热机时，要不断改进和创新，以减少各种能量损失，提高效率。

在热机的能量损失中，废气带走的能量最多。设法利用废气的能量，是提高燃料利用率的重要措施。大型发电机常常由蒸汽轮机推动，为了提高燃料的利用率，人们利用蒸汽轮机排出的废气来供热，这就是热电站。这种既供电又供热的热电站，比起一般的火电站，燃料的利用率大大提高。

科学·技术·社会·环境

从火车到火箭

生产的发展需要强大的动力。17 世纪，人类发明了热机。最早的热机是蒸汽机。在锅炉里把水烧成水蒸气，水蒸气在汽缸里推动活塞做功。原始的蒸汽机不便于使用，后来许多人对它不断改进，其中贡献最大的是英国人瓦特，他在1782年发明了往复式蒸汽机，使蒸汽机成为可以广泛使用的动力机。这种蒸汽机在之后的一百多年里对工业的发展起了极其重要的作用。斯蒂芬森以此为基础最先研制了“火箭号”蒸汽机车（图14.3-3）。

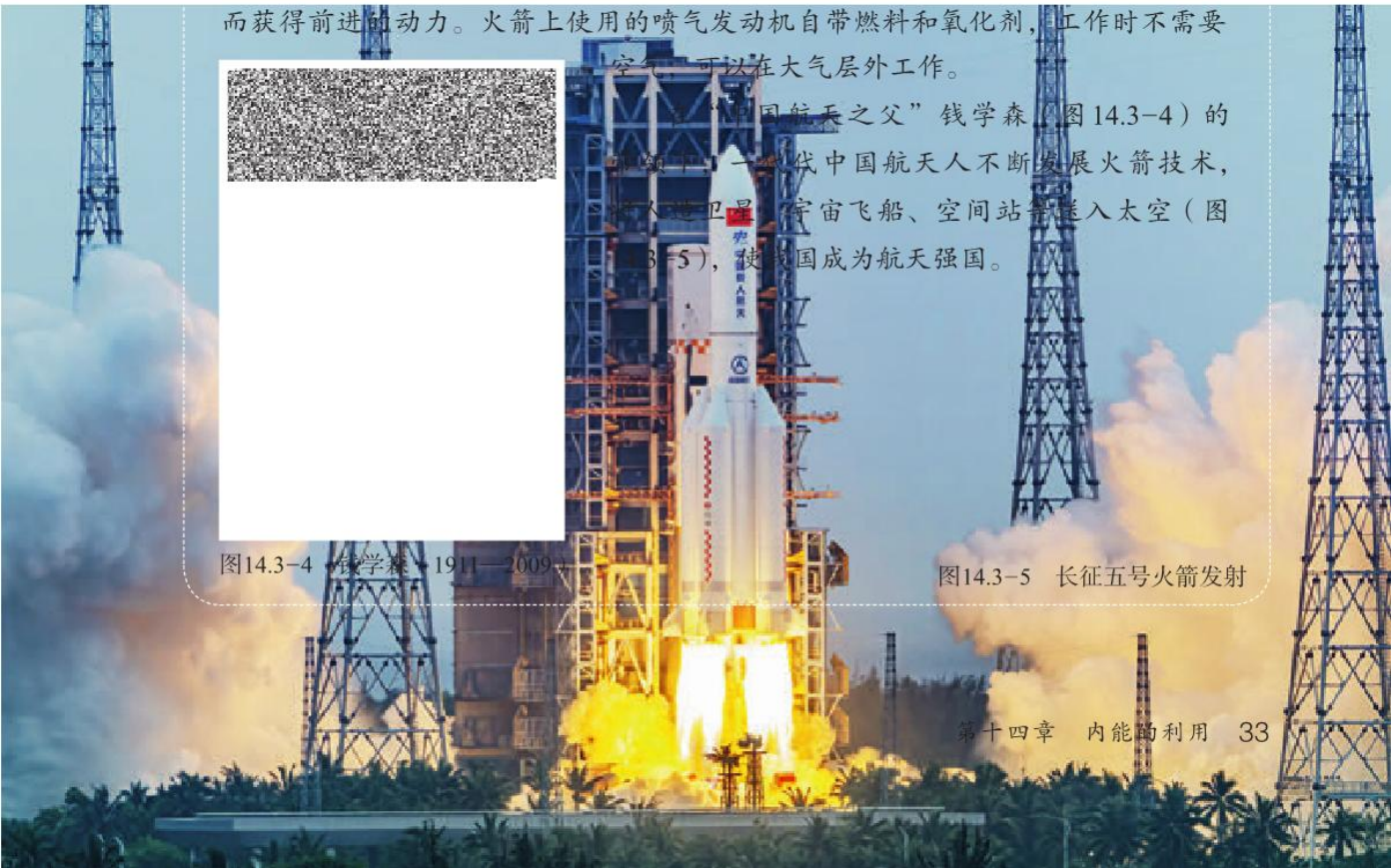


图14.3-3 “火箭号”蒸汽机车

电力工业的发展需要功率巨大的热机来带动大型发电机。1884年出现的蒸汽轮机满足了这个需要。大型锅炉产生的高温高压水蒸气直接喷射到蒸汽轮机的叶片上，使蒸汽轮机转动。

交通运输的发展迫切需要比较轻便的热机，于是内燃机应运而生。内燃机有汽油机和柴油机两大类。汽油机是1883年发明的，柴油机是1892年发明的。内燃机运行时不需要携带很多水和煤，不但轻便，效率也提高了很多。内燃机的出现和不断改进，对交通运输事业的现代化起到了决定性的作用。

早期的飞机是由内燃机提供动力的。从20世纪40年代开始，飞机上越来越多地使用空气喷气发动机，它需要用大气中的氧气来助燃，向后喷出高速气体，从而获得前进的动力。火箭上使用的喷气发动机自带燃料和氧化剂，工作时不需要空气，可以在大气层外工作。

图14.3-4 钱学森（1911—2009）

“中国航天之父”钱学森（图14.3-4）的[illegible]一代代中国航天人不断发展火箭技术，[illegible]卫星、宇宙飞船、空间站等送入太空（图14.3-5），使我国成为航天强国。

图14.3-5 长征五号火箭发射

练习与应用

1. 有人认为，无烟煤的热值比干木柴大，完全燃烧时无烟煤放出的热量比干木柴多。你认为呢？说说理由。
2. 某人提着一袋质量为5 kg的大米，从1层步行至5层，每层楼的层高为3 m，他对这袋大米做了多少功？要使一定量的汽油完全燃烧放出的热量和他所做的功数值相等，则需要多少汽油？
3. 如果干木柴跟煤油完全燃烧时放出的热量相等，那么干木柴的质量应该是煤油质量的几倍？请列出相关计算式来说明理由。
4. 全球汽车保有量在迅速增长，截至2022年底，我国燃油汽车保有量约为3亿辆。假设每辆汽车每年耗油1.8 t，汽车内燃机的效率平均值取30%。如果能把内燃机效率提高1%，我国每年可以节约多少燃油？
5. 提高热机的效率具有哪些积极意义？请列出回答这个问题的提纲。

第4节 跨学科实践：制作简易热机模型

项目提出

热机是人们获得动力的重要机械，例如燃油汽车中的汽油机、大型轮船使用的柴油机或汽轮机、有些飞机使用的喷气发动机等。热机在生产生活中非常重要，如果我们能尝试制作一个热机模型，就可以更好地了解热机的工作原理，包括热机中的能量是如何转化的，热机中各部分是如何协调工作的。

请同学们在学过的热机知识基础上，进一步查找相关资料，了解不同热机的工作原理，制作一个简易热机模型。

项目分析

汽油机属于内燃机，它的工作物质是气缸内的空气和汽油的混合物。蒸汽机工作时，燃料燃烧使水变成水蒸气，水蒸气推动活塞运动产生动力。蒸汽机的燃烧室在汽缸外，属于外燃机，蒸汽机的工作物质是水蒸气。要完成热机模型的制作，需要考虑下面一些主要问题。

1. 用什么作热源？
2. 工作物质是什么？
3. 如何将内能转化成机械能？

通常而言，制作采用燃烧燃料加热水产生蒸汽（或

⚠ 制作简易热机模型时会遇到高温蒸汽、锋利的物体等，要注意安全。

直接加热空气）来做功的外燃机，比制作在封闭缸体内燃烧燃料来做功的内燃机要安全，材料也相对易得，建议优先考虑前者。

项目实施



图 14.4-1　简易汽轮机模型

请根据自己的设计，制作一个简易的热机模型。下面展示的是一个简易的汽轮机模型，供参考。

准备以下材料：一个空易拉罐，一支去掉笔芯和尾塞的中性笔，一台小风扇，一个酒精灯。

向易拉罐内部注入大约半罐水。将笔的尖端朝外，另一端插入易拉罐内，用胶将罐的开口处密封。将易拉罐如图 14.4-1 所示放置在支架上，笔的尖端对准小风扇的扇叶。点燃易拉罐下面的酒精灯，当有蒸汽喷出时，扇叶就转动起来。

上面提供的只是一个非常简易的汽轮机模型，同学们可以制作不同类型的热机模型。只要大家积极地行动起来，一定会制作出更多有创意的热机模型。

展示交流

1. 请大家展示自己的热机模型，看看谁的模型制作精细、运行顺畅，更有创意。

2. 在展示交流中，谈谈你的热机模型的工作原理，以及制作过程中的难点，说一说你在制作过程中的心得体会，想一想在哪些方面还可以做得更好。

复习与提高

1. 枪虾（图14–1）的大螯猛地合上时，能挤出速度很大的水柱，水柱产生的微小气泡在破裂瞬间会产生高温并发出很大的声音，还会发出一道极短的光。在这个过程中，有哪些形式的能量转化？



图14–1

2. 有些地铁站间的轨道高度比地铁站台低，即列车从一个站台开出时是下坡的，行驶到接近下一站时是上坡的。从能量转化的角度看，这种设计有什么好处？

3. 我国古人曾发明一种点火器，以牛角为套筒，把艾绒黏附在木质推杆前端，其结构如图14–2所示。取火时一只手握住套筒，另一只手向内猛推推杆，推杆前端的艾绒就会被点燃，拔出推杆后，吹吹艾绒就有火苗产生。艾绒被点燃的过程中有哪些形式的能量转化？这一过程与四冲程汽油机的哪个冲程相似？

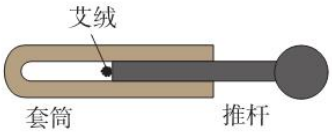


图14–2

4. 1 kg的氢气和多少千克的煤油完全燃烧时放出的热量相同？

5. 请从能量转化的角度，具体说明以下效率的意义。

（1）某太阳能电池工作的效率是16%。

（2）某电动机工作的效率是83%。

（3）某锂电池充电的效率是99%。

（4）某柴油机工作的效率是35%。

（5）某电热水器工作的效率是87%。

6. 一辆质量为2 t的汽车在水平路面上匀速行驶时，所受阻力为车重的$\frac{3}{50}$。如果汽油完全燃烧所产生的热量有35%用来克服阻力做功，那么汽车行驶100 km要消耗多少升汽油？已知汽油的密度为0.73×10^3 kg/m^3，g取10 N/kg。



图14−3

7 图14−3所示的是我国自行设计研制的AG600“鲲龙”水陆两栖飞机。飞机使用四台相同的发动机，每台发动机的输出功率可达3 120 kW，效率可达60%。在这种情况下，飞机飞行1 h消耗燃油多少吨？已知燃油的热值为4.3×10^7 J/kg。

8 某同学家自来水的温度为15 ℃，他洗澡时把燃气热水器的温度设定为40 ℃，通过查看水表得知自己洗澡用了0.02 m^3的水。如果燃气热水器的效率是95%，他这次洗澡消耗了多少天然气？天然气的热值取4.0×10^7 J/m^3。

9 垃圾分类有利于资源的回收再利用，焚烧垃圾可以实现综合热利用。图14−4展示的是我国最大的垃圾焚烧发电站，日处理生活垃圾6 000 t。如果1 t垃圾焚烧时能产生2.16×10^9 J的电能，这些电能相当于完全燃烧多少千木柴所放出的能量？干木柴的热值取1.2×10^7 J/kg。



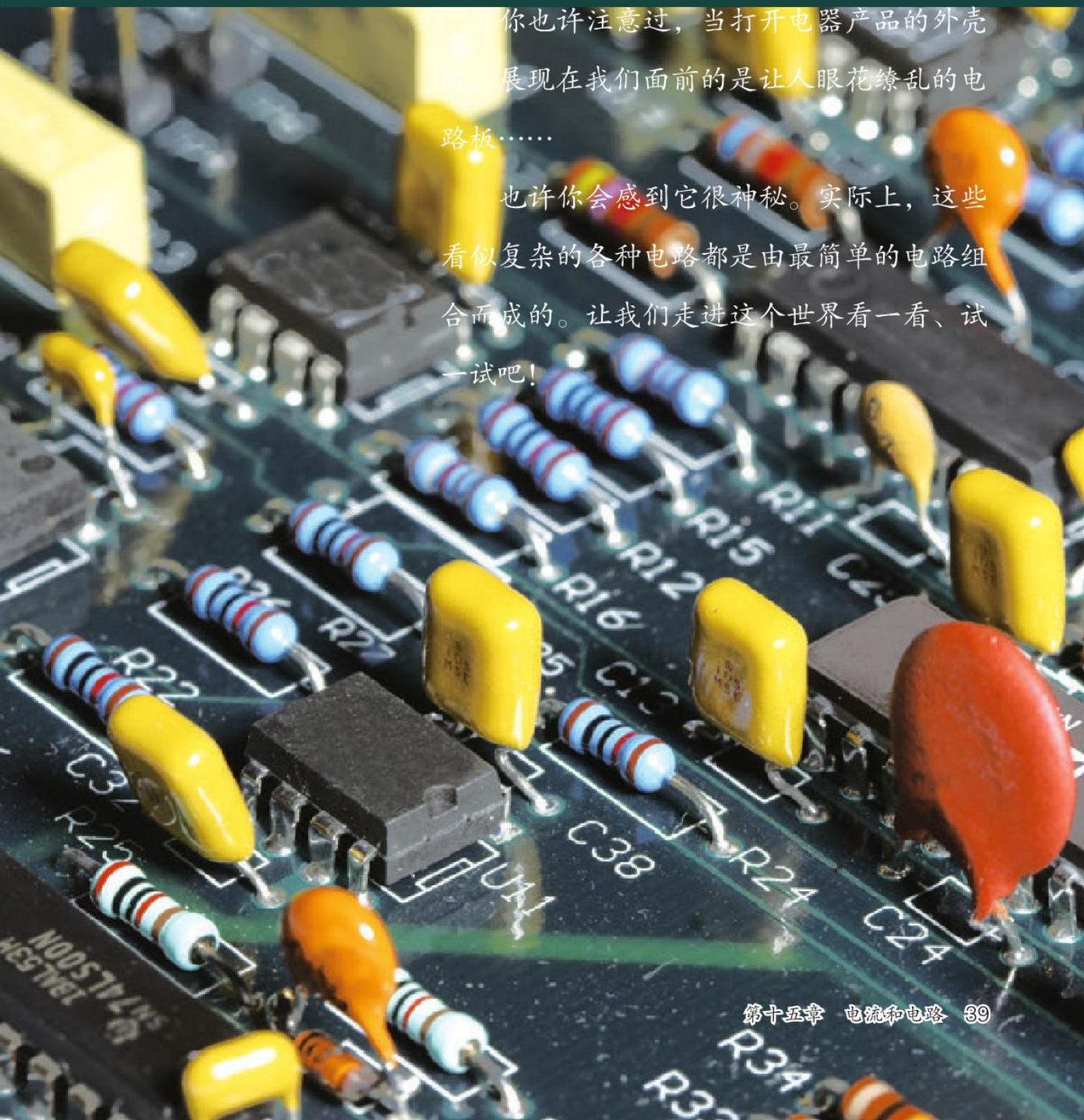
图14−4

第十五章　电流和电路

我们的学习和生活离不开“电”，地铁、家用电器、电脑、手机等都需要电才能工作。

你也许注意过，当打开电器产品的外壳时，展现在我们面前的是让人眼花缭乱的电路板……

也许你会感到它很神秘。实际上，这些看似复杂的各种电路都是由最简单的电路组合而成的。让我们走进这个世界看一看、试一试吧！



第1节 两种电荷



图15.1-1 摩擦过的气球吸引头发

问题

与头发摩擦过的塑料梳子，能吸起纸屑；用气球摩擦头发，头发会随着气球飘起来（图15.1-1）……为什么会出现这些现象呢？

出现上面的现象是因为摩擦过的物体带了“电”，或者说带了**电荷**（electric charge）。用摩擦的方法使物体带电，叫作**摩擦起电**。带电的物体间存在怎样的相互作用呢？

电荷间的相互作用

演示

电荷间的相互作用

1. 用丝绸分别摩擦两根玻璃棒，手持其中一根玻璃棒，靠近另一根被吊起的玻璃棒（图15.1-2）。观察有什么现象发生。

2. 手持用毛皮摩擦过的橡胶棒，靠近被吊起的用丝绸摩擦过的玻璃棒。观察有什么现象发生。

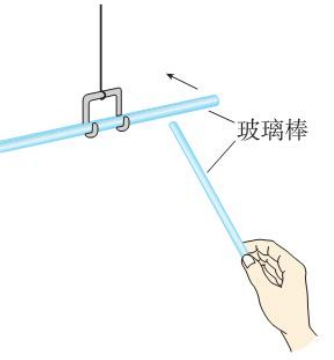


图15.1-2 玻璃棒间的相互作用

实验发现，用丝绸摩擦过的两根玻璃棒之间相互排斥，用丝绸摩擦过的玻璃棒与用毛皮摩擦过的橡胶棒之

间相互吸引。

进一步的实验发现，电荷间有相互作用，相同电荷及不同电荷间相互作用不同。

人们还发现，无论用什么方法带电，物体所带的电荷或者与用丝绸摩擦过的玻璃棒带的电荷相同，或者与用毛皮摩擦过的橡胶棒带的电荷相同。**自然界只有两种电荷**。人们把用丝绸摩擦过的玻璃棒带的电荷叫作**正电荷**（positive charge），把用毛皮摩擦过的橡胶棒带的电荷叫作**负电荷**（negative charge）。**同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。**

物体所带电荷有多有少，电荷的多少叫作**电荷量**。电荷量的单位是**库仑**（coulomb），简称**库**，符号是C。上述实验中的玻璃棒或橡胶棒，摩擦后所带的电荷量大约只有 10^{-7} C。

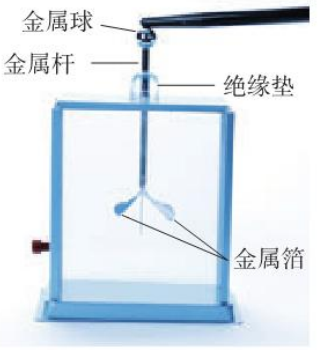


图15.1-3　验电器

实验室里常用验电器（图15.1-3）来检验物体是否带电。用带电体接触验电器的金属球，就有一部分电荷转移到验电器的两片金属箔上，这两片金属箔带同种电荷，由于互相排斥而张开。

摩擦起电的原因

通过前面的学习我们知道，常见的物质是由分子、原子等构成的。

20 世纪初，科学家发现原子也有内部结构，它的中心是原子核，有一定数目的**电子**（electron）在原子核外运动。电子是带有最小负电荷的粒子，所带电荷量为 1.6×10^{-19} C。

原子核带正电。在通常情况下，原子核所带的正电荷与核外所有电子所带的负电荷在数量上相等，原子整

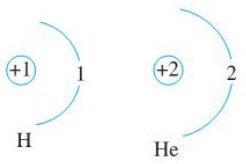


图15.1-4　氢原子和氦原子的结构

体不显电性，物体对外也不显电性。

氢原子的结构最简单，原子核带1个正电荷（其电荷量与电子电荷量相等），核外有1个电子。氦原子核带2个正电荷，核外有2个电子（图15.1-4）。

不同物质的原子核束缚电子的本领不同。当两个物体摩擦时，哪个物体的原子核束缚电子的本领弱，它的一些电子就会转移到另一个物体上。失去电子的物体因为缺少电子而带正电，得到电子的物体因为有了多余的电子而带等量的负电。摩擦起电并不是创造了电荷，只是电荷从一个物体转移到另一个物体，使正、负电荷分开。

摩擦起电只是使物体带电的一种方式，以后我们还会学习其他使物体带电的方式。


图15.1-5　静电释放器

静电的防止和利用

空气干燥时，人们在穿脱化纤类衣物时会产生火花，这是由于衣物摩擦后聚集了大量的电荷，电荷间发生剧烈的作用而引起的。这是一种静电现象。生活中遇到易燃、易爆物品时，要注意防止静电的产生（图15.1-5）。


图15.1-6　静电拖把

有时我们也需要利用静电。例如，静电拖把（图15.1-6）就利用摩擦使地面上的毛发等碎屑和拖把上的静电除尘纸带电，碎屑被静电除尘纸吸附带走，从而达到清洁的目的。静电喷漆时使被喷涂的金属件与油漆雾滴带异种电荷，这样能使油漆与金属表面结合得更牢固。

练习与应用

1. 用塑料梳子梳干燥的头发时会发现，头发越梳越蓬松。这是因为梳子与头发摩擦，使头发带上了静电，由于同种电荷互相排斥，所以头发变得蓬松。生活中还有很多与静电有关的事例，除了课本上的，请你再举一例并加以说明。
2. 有甲、乙、丙三个带电体，甲物体排斥乙物体，乙物体吸引丙物体。如果丙物体带正电荷，甲物体带哪种电荷？
3. 金属锡的原子核带 50 个电荷量与电子相等的正电荷，它的原子核外有多少个电子？这些电子总共带多少库仑的电荷量？为什么金属锡对外不显电性？
4. 我们知道，用毛皮摩擦过的橡胶棒带负电荷，用丝绸摩擦过的玻璃棒带正电荷，那么摩擦后的毛皮和丝绸分别带什么电荷？说说你的理由。
5. 如图 15.1–7 所示，用一段细铁丝做一个支架，竖直的部分作为转动轴。把一根中间戳有小孔（没有戳穿）的饮料吸管放在转动轴上，吸管能在水平面内自由转动。用餐巾纸摩擦吸管使其带电。


图15.1–7

（1）把某个物体放在带电吸管一端的附近，发现吸管向物体靠近，由此是否可以判断这个物体已经带电？

（2）把用丝绸摩擦过的玻璃棒放在带电吸管一端的附近，观察发生的现象，并回答：吸管带哪种电荷？餐巾纸带哪种电荷？为什么？

（3）吸管和餐巾纸摩擦起电时，哪个失去了电子？哪个得到了电子？

6. 把一段塑料绳撕成细条，中间打结固定在塑料管上，用干燥毛巾反复摩擦塑料细条，摩擦过的塑料细条张开，如图 15.1–8 所示。动手做一做，说说摩擦过的塑料细条为什么张开。如何判断它带哪种电荷？


图15.1–8

第2节 电流和电路

问 题

如图15.2-1所示，取两个相同的验电器A和B，使A带电、B不带电。用带有绝缘柄的金属棒把A和B连接起来，A的金属箔张开的角度减小，B的金属箔由闭合变为张开。这表明，有一部分电荷通过金属棒从A移动到了B。但是，电荷移动会很快结束。怎样才能使电荷持续不断地流动呢？

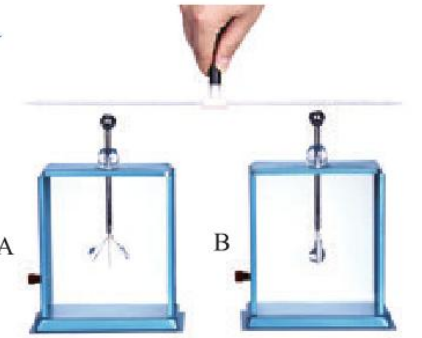


图 15.2-1 用金属棒连接验电器

正在发光的电灯、转动的风扇都需要有电荷持续不断地流动。我们通过下面的活动看看，想要电荷持续地流动需要满足哪些条件。

想想做做

有如下器材：小灯泡、小电动机、蜂鸣器各一个，一个开关、两节电池（图15.2-2）以及一些导线。先后三次连接电路，分别使小灯泡发光、小电动机转动、蜂鸣器发声。小灯泡、小电动机、蜂鸣器要受开关的控制。

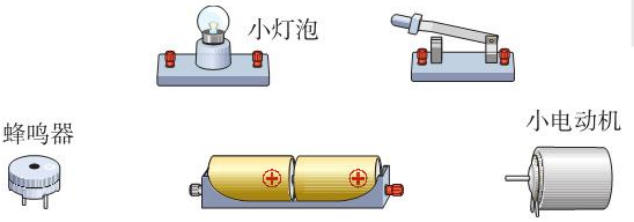


图15.2-2 连接电路的主要器材

不能把电池的两端用导线直接连在一起！



小灯泡、小电动机、蜂鸣器持续工作，说明有电荷持续流过它们。实验结果表明，要想使小灯泡等有电荷持续流过，就必须要有**电池**（cell），还要用导线将它们与电池连接成闭合的电路。

电流

导线、小灯泡的灯丝都是用金属做的，电荷在金属中可以定向移动，电荷的定向移动形成**电流**（electric current），类似水定向移动形成水流。

电荷有正、负两种，回路中有电流时，发生定向移动的电荷可能是正电荷，也可能是负电荷，还可能是正、负电荷同时向相反方向发生定向移动。在19世纪初，物理学家刚刚开始研究电流时，并不清楚在各种情况下究竟是哪种电荷在移动，当时就**把正电荷定向移动的方向规定为电流的方向**。

按照这个规定，当电池、导线、小灯泡组成的电路闭合时，在电池外部，电流的方向是从电池正极经过小灯泡流向负极（图15.2-3）。

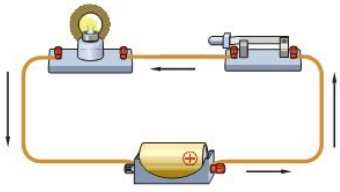


图15.2-3　电流的方向

想想做做

发光二极管（LED）是一种电子元件，它的两根引脚中较长的为正极，较短的为负极。当电流由正极经过LED流向负极时，LED发光，表明它处于导通状态；反之，电流不能从负极流向正极，此时LED不会发光（图15.2-4）。所以，根据LED发光与否可以判断电路中是否有电流及电流的方向。

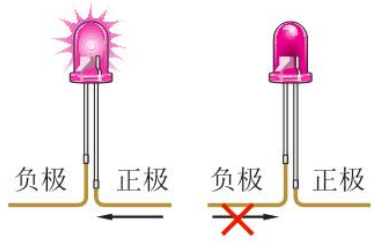


图15.2-4　发光二极管具有单向导电性

请你将LED接入某电路中，闭合开关，观察LED是否发光，判断电路中电流的方向。

导体与绝缘体

用金属丝将小灯泡和电池连成闭合的电路，小灯泡就会发光；如果用橡皮筋将小灯泡和电池连接起来，小灯泡就不会发光。这说明金属可以导电，橡皮筋不可以导电。容易导电的物体叫作**导体**（conductor），金属、人体、大地、石墨、食盐水溶液等都是导体。不容易导电的物体叫作**绝缘体**（insulator），橡胶、玻璃、塑料等都是绝缘体。

在金属中，部分电子可以脱离原子核的束缚而自由移动，这种电子叫作自由电子。金属之所以能导电，靠的就是自由电子。平时金属内自由电子运动的方向杂乱无章，但是接上电池之后，它们就会做定向移动。

电路的构成

物理学中将电池（图15.2-5）这类提供电能的装置叫作**电源**（power supply），将灯泡、电动机、蜂鸣器等这类消耗电能的装置叫作用电器。电源、用电器，再加上导线，往往还有开关，组成了电流可以流过的路径——**电路**（electric circuit）。

只有电路闭合时，电路中才有电流。

发电机也是一种常见的电源，家庭电路中的电流是靠远方电站中的发电机来维持的。



图15.2-5　各种电池

电路图

画图时如果把电源、用电器等元器件原样画出，既麻烦又不清楚。为了便于研究，人们通常用符号来表示这些元器件[①]（图15.2-6）。

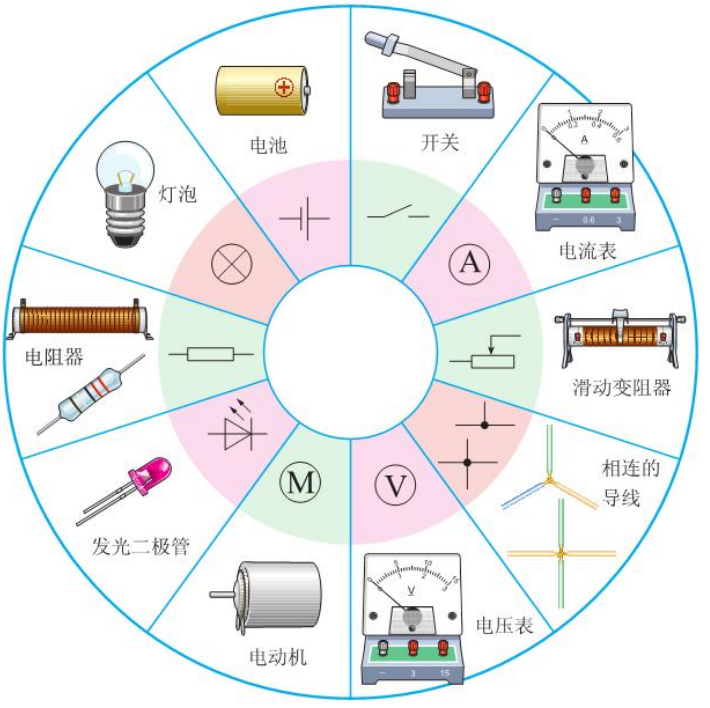


图15.2-6　几种常用的元器件及其符号

用符号表示电路连接的图，叫作**电路图**。电路图是对实际电路的有效抽象。有了元器件的符号，我们就可以用它来方便地替代实物电路了（图15.2-7）。

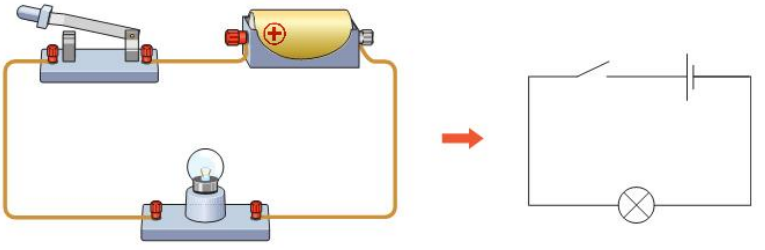


图15.2-7　电路和电路图

① 图15.2-6是根据国家标准GB/T 4728绘制的一些常用的电路元器件及其对应的符号。

通路　断路　短路

正常接通的电路，即用电器能够工作的电路叫作**通路**。电路中如果某处被切断，电路中就不会有电流通过，这种情况叫作**断路**。直接用导线将电源的正、负极连接起来，这种情况下电源被**短路**，电路中会有很大的电流，可能把电源烧坏，这是不允许的！

如果电路是接通的，但用电器两端被导线直接连通，这种情况下该用电器被短路，不能工作。

演示

小灯泡被短路

图 15.2-8 是由两个小灯泡、两节干电池、一个开关组成的电路。闭合开关，小灯泡发光。

把导线接在一个小灯泡的两端，你会看到这个小灯泡熄灭了，而另一个小灯泡还发光。想一想这是为什么。

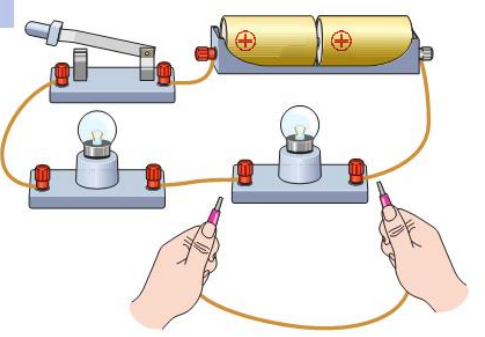
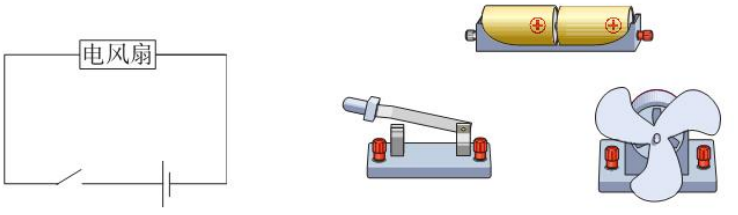


图15.2-8 小灯泡被短路

实验现象表明，小灯泡被短路而熄灭，这是因为电流通过外加导线而绕过了小灯泡。

练习与应用

1. 图 15.2-9 甲是把电池和玩具电风扇连接起来的电路图。请在图 15.2-9 乙中用笔画线表示导线，连接相应的电路。



甲　　乙

图15.2-9

❷ 在图 15.2-10 中有电子门铃、电源和开关，请用笔画线表示导线把它们连起来，使电子门铃能够正常工作，并画出相应的电路图。

电子门铃可以用 —|电子门铃|— 这样的符号表示。

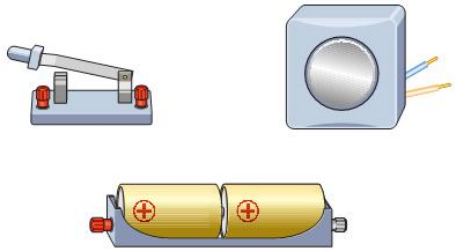


图15.2-10



图15.2-11

❸ 观察图 15.2-11 所示的手电筒结构图。按下按键时，电路是怎样接通的？请在图中画出电流通过的路径。另外再画出手电筒的电路图。

❹ 图 15.2-12 是某人连接的电路，小电动机能转动吗？如果不能，请在接错的那根导线上画一个“×”，表示不要这根导线，再把正确接法的导线画出来，并在三根导线上分别标明电流的方向。

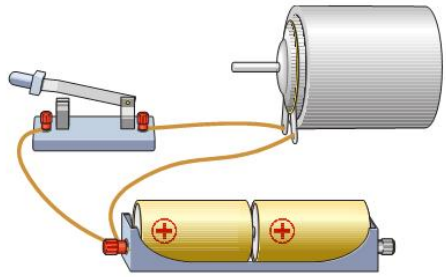
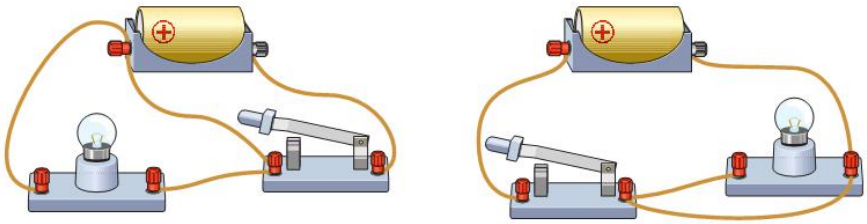


图15.2-12

❺ 在图 15.2-13 甲、乙中，各有一根导线接错而使小灯泡和电源被短路。请分别把这根导线找出来，在上面画一个“×”。



甲　　乙

图15.2-13

第3节 串联电路和并联电路

问 题

用一个电源、两个小灯泡、一个开关和一些导线组成电路。要想让两个小灯泡都发光，可以有几种接法？

串联和并联

如图15.3-1所示，将两个小灯泡依次相连，然后接到电路中。我们说这两个小灯泡是**串联**（series connection）的。

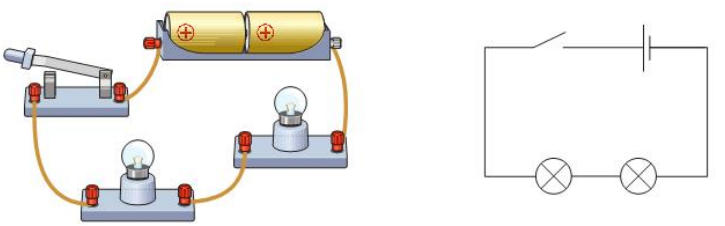


图15.3-1 两个小灯泡的串联

如图15.3-2所示，将两个小灯泡的两端分别连在一起，然后接到电路中。我们说这两个小灯泡是**并联**（parallel connection）的。并联电路中两个用电器共用的那部分电路叫干路，单独使用的那部分电路叫支路。

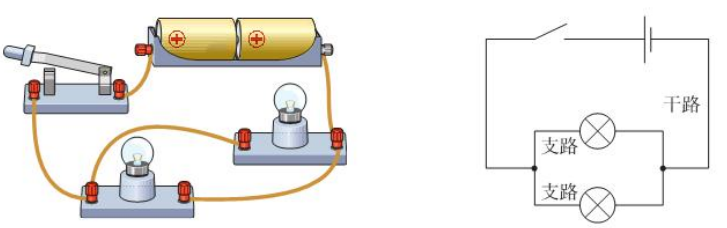


图15.3-2 两个小灯泡的并联

连接串联电路和并联电路

在串联电路中，开关的位置改变了，它的控制作用是否也会改变？在并联电路中，干路开关和支路开关对各用电器的控制作用有什么不同？

实 验

连接串联电路和并联电路

1. 按照图15.3-3连接串联电路，观察开关控制两个小灯泡发光的情况。还可以把开关改接到电路中的不同位置，观察开关控制两个小灯泡的情况是否有变化。

2. 按照图15.3-4所示的电路图连接电路，观察各开关控制小灯泡的情况。例如，闭合干路开关S，依次断开两个支路开关S_1、S_2等。

3. 用箭头在图15.3-3和图15.3-4中标出电路闭合时电流的方向。

连接电路后，要先确认电路连接无误，然后方可闭合开关。

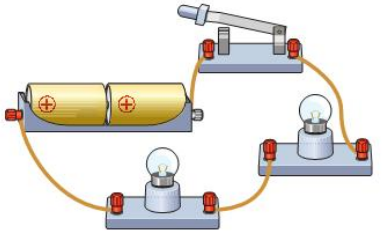


图15.3-3　观察开关对串联电路的影响

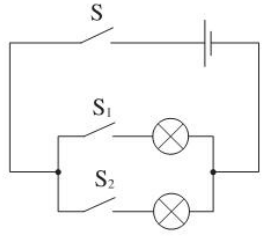


图15.3-4　观察开关对并联电路的影响

实验结果表明：在串联电路中，开关可以控制所有用电器，开关位置的改变并不影响它对用电器的控制作用；在并联电路中，干路开关可以控制所有用电器，支路开关只能控制其所在支路的用电器。

生活中的电路

串联电路和并联电路都是最基本的电路，实际生活中的电路都是由它们组合而成的。家庭中的电灯、电吹风机、电视机、电脑等用电器大多是并联在电路中的。

想想议议

图15.3-5是一幅简化的玩具警车的电路图。学习了串联电路和并联电路的知识，你能看懂这幅电路图吗？电路图中的小灯泡与小电动机是串联还是并联的？

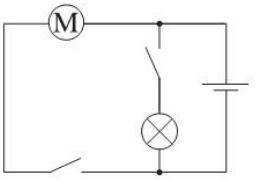


图15.3-5　玩具警车的简化电路图

练习与应用

1. 傍晚时分，街边的路灯会同时亮起来，它们是串联还是并联的？请说出你的理由。
2. 如图15.3-6所示，要用两个开关分别控制两个小灯泡，应该怎样连接电路？请用笔画线表示导线在图中连线。
3. 按照图15.3-7甲的电路图，用笔画线表示导线，把图15.3-7乙中的实物连接起来，并用箭头在电路图中标出干路和两个支路在开关闭合时的电流方向。

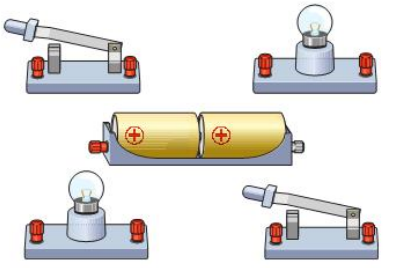
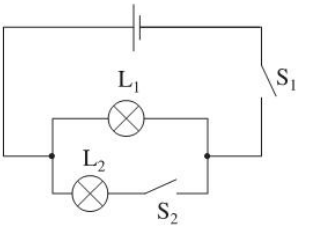
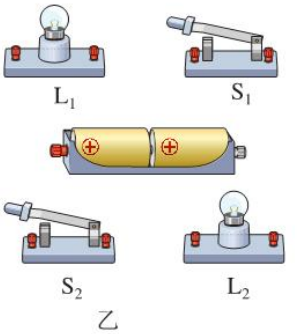


图15.3-6



甲



乙

图15.3-7

❹ 请分别根据图 15.3-8 甲、乙所示的两个实物电路画出它们的电路图。

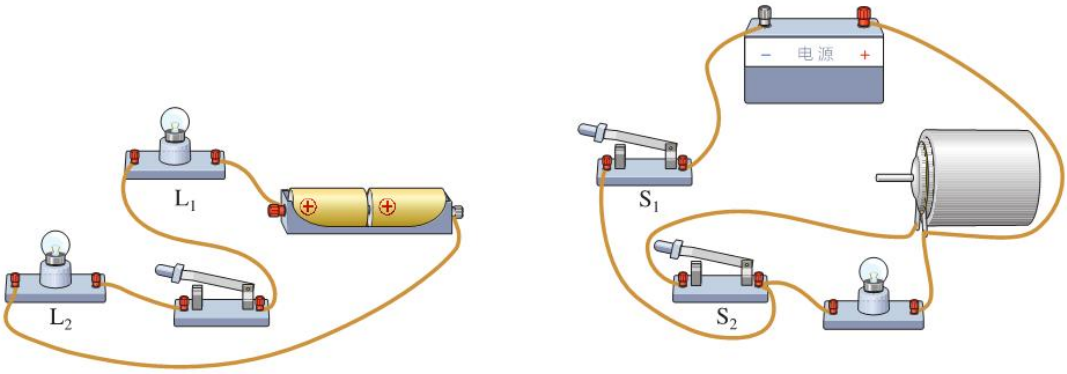


图15.3-8

❺ 如图 15.3-9 所示，学校有前、后两个门，在前、后门各装一个开关，学校传达室有甲、乙两盏灯和一个电源。要求：前门来人闭合开关时甲灯亮，后门来人闭合开关时乙灯亮。请设计电路图，并用笔画线表示导线在图中连线。

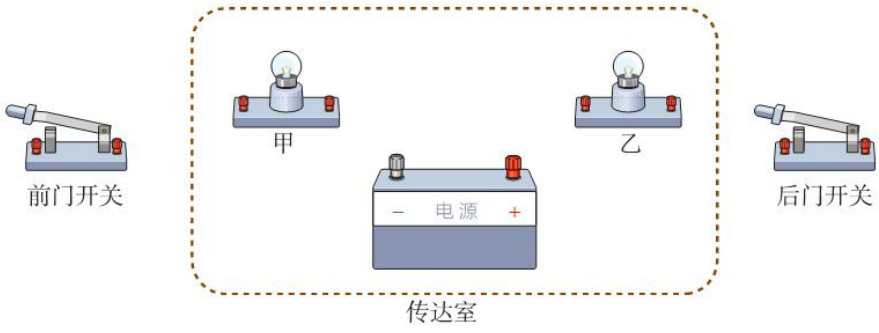


图15.3-9

❻ 居民楼的楼道里，夜间只是偶尔有人经过，若电灯总是亮着就会浪费电。但是，如果有人夜晚出来，没有灯又很不方便。现在有一种自动控制的楼道灯，当有人走动发出声音时，电路才会接通，电灯发光。不过，只有天黑之后灯才能亮。白天，不论发出多大的声音，电灯也“无动于衷”。这是因为在控制开关中装有“声敏”和“光敏”装置。

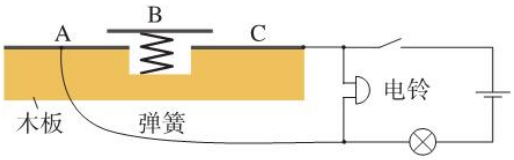
“声敏”和“光敏”的自动装置都是比较复杂的，我们不妨分别用—声—和—光—这样两个符号代表它们。实际上，这就是两个开关：有声音时—声—是闭合的，环境光非常暗时—光—是闭合的。怎样连接电路可以实

现上面的功能？请画出电路图。家庭电路中的电源可用“电源”两字表示。

7 图15.3−10甲展示的是一种具有报警功能的文物展示台。假设该展示台的结构如图15.3−10乙所示，由木板，弹簧，金属片A、B、C，以及报警电路组成，文物放置在金属片B上。请你根据图15.3−10乙说明这个展示台是如何实现防盗报警功能的。



甲



乙

图15.3−10

第4节 电流的测量

问 题

如图15.4–1所示，小灯泡在电路中发光。若把电路中的一节电池换成图中的两节电池，小灯泡的亮度明显增强，这是通过小灯泡的电流增大所致的。我们怎样测量电流的大小呢？

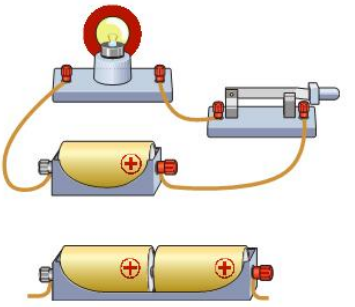


图15.4–1 把小灯泡接到不同电源上

电流的强弱

表示电流强弱的物理量是电流，通常用字母 I 表示，它的单位是**安培**（ampere），简称**安**，符号是A。

有些设备中电流很小，这时我们常使用比安培小的单位毫安（mA）、微安（μA）。它们同安培的关系是

$$1\ \text{mA}=10^{-3}\ \text{A}$$

$$1\ \mu\text{A}=10^{-6}\ \text{A}$$

例如，维持电子表液晶显示器的工作，只需几微安的电流。

小资料

表15.4–1 常见的电流

手机	电视机	电饭锅	笔记本电脑	电动车充电	雷电
50~100 mA	0.2~1.4 A	2.3~4.6 A	3.5~5.3 A	10~400 A	可达2×10^5 A

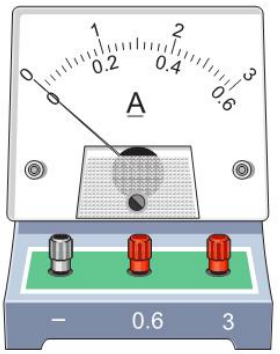


图15.4–2　电流表

电流的测量

电路中的电流可以用电流表测量。图15.4–2是学生实验中常用的一种电流表。当左端标有“–”号的接线柱和中间标有“0.6”的接线柱连入电路中时，表的测量范围为0~0.6 A，此时电流的大小要按指针所在位置的表盘下排的数值读取；当左端标有“–”号的接线柱和右端标有“3”的接线柱连入电路中时，表的测量范围为0~3 A，此时要按表盘上排的数值读数。下面我们通过实验来学习怎样使用电流表测量电流。

实　验

用电流表测量电流

1. 电流表的连接

第一，必须将电流表和被测的用电器串联（图15.4–3）。如果误将电流表和被测的用电器并联，那么电流表指示的就不是流过用电器的电流，而且很容易损坏电流表。

第二，必须让电流从红色（“+”号）接线柱流进，再从黑色（“—”号）接线柱流出。否则电流表指针反向偏转，无法读数，而且容易损坏电流表。

为避免电流过大而损坏电流表，在不能事先估计电流的情况下，可以先闭合开关，然后迅速断开（这叫作“试触”）。这样就可以看看指针偏转所到的位置是否在测量范围之内。

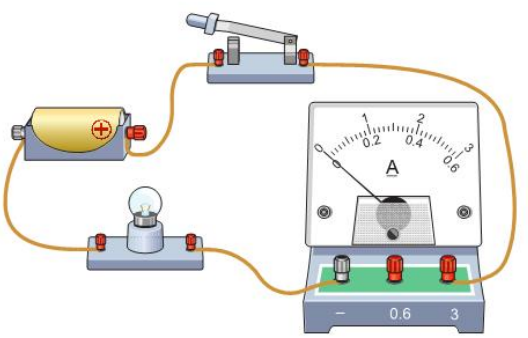


图15.4–3　电流表的连接

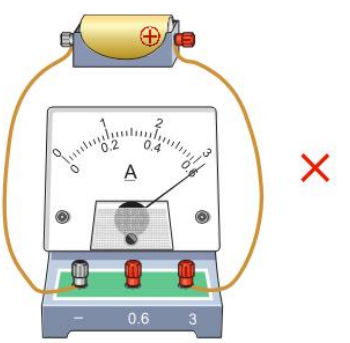


图15.4–4　电流表不能直接连到电源两极

第三，必须正确选择电流表的测量范围。如果被测电流超过电流表的最大测量值，就无法读数，而且有可能损坏电流表，这时应该改用更大的测量范围。

第四，不允许把电流表直接连到电源的两极（图15.4-4）！否则，电流表将被损坏。

2. 电流表的读数

第一，明确所选电流表的测量范围。例如，0~0.6A或0~3A。

第二，确定电流表的分度值，即表盘的一个小格所代表的电流大小。例如，电流表的测量范围是0~3 A，表盘上从0到最右端共有30个小格，那么每个小格就代表0.1 A（图15.4-5）。如果电流表的测量范围是0~0.6A，每个小格代表多少安？

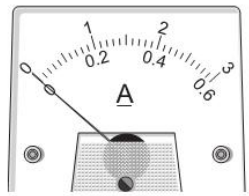


图15.4-5　电流表表头

第三，接通电路后，看看指针向右总共偏转了多少个小格，就能知道电流是多大了。

3. 用电流表测量电流

按照图15.4-6甲所示的电路图连接电路，测量这种情况下电路中的电流。如图15.4-6乙所示，改变电流表在电路中的位置，测量这种情况下电路中的电流。实验中，为减少电池损耗，读取电流表的示数后要尽快断开电路。

比较电流表两次的示数是否有变化。

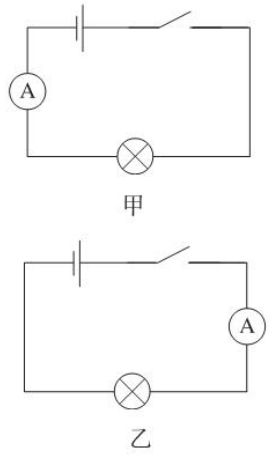


图15.4-6　用电流表测量电流

科学世界

生物电

不但在输电线路中有电流，生物体内也有电流。例如，人体心脏的跳动就是由电流来控制的。在人的胸部和四肢连上电极，就可以在仪器上看到控制心脏跳动的电流随时间变化的曲线，这就是通常说的心电图（图15.4-7）。通过心电图可以了解心脏的工作是否正常。

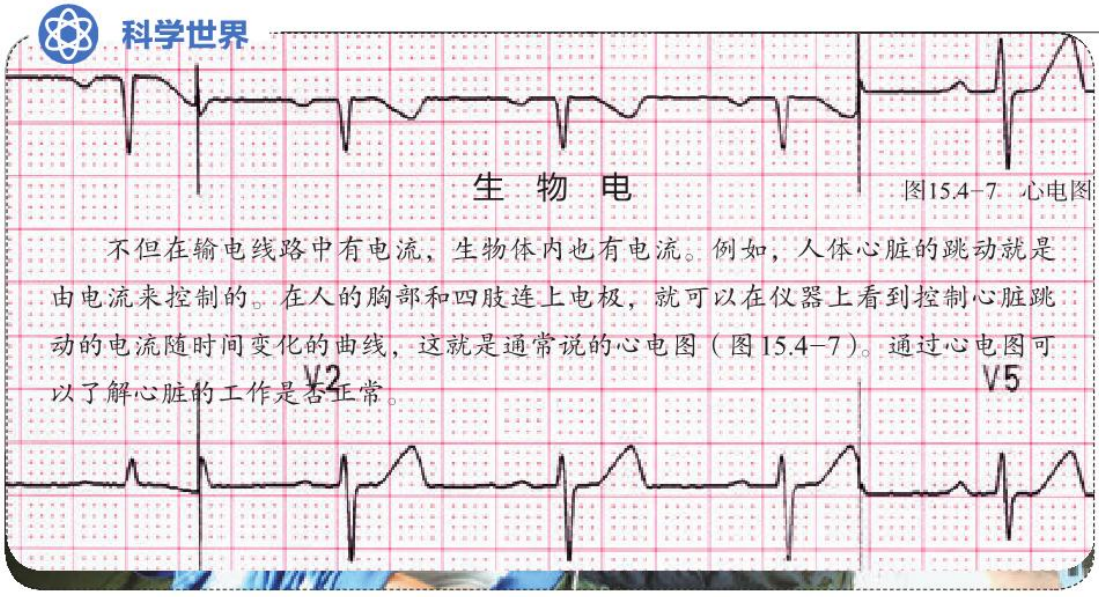


图15.4-7　心电图

练习与应用

1. 通过某手电筒小灯泡的电流大约是 0.25 A，等于多少毫安？某半导体收音机电池的供电电流最大可达 120 mA，等于多少安？

2. 某同学练习用电流表测量不同的电流。闭合开关前，电流表指针指在零刻度线处。测量时电流表的指针如图 15.4–8 所示。这时应该怎样操作？

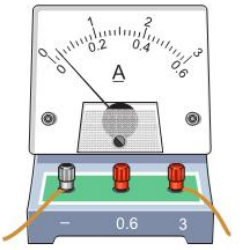
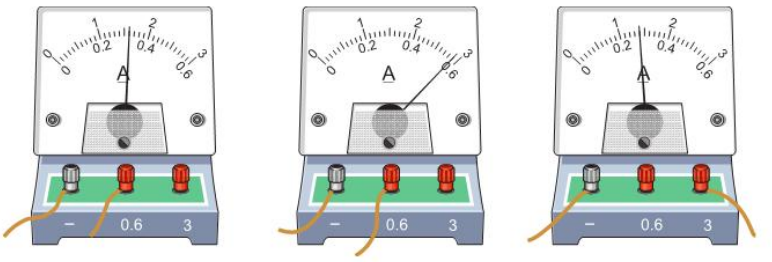


图15.4–8

3. 图 15.4–9 中电流表的示数各是多少安？



甲　　乙　　丙

图15.4–9

4. 用笔画线表示导线连接下面的实物图（图 15.4–10），使小灯泡能够发光并且电流表能够测出通过小灯泡的电流（估计为 0.1 ~ 0.3 A）。

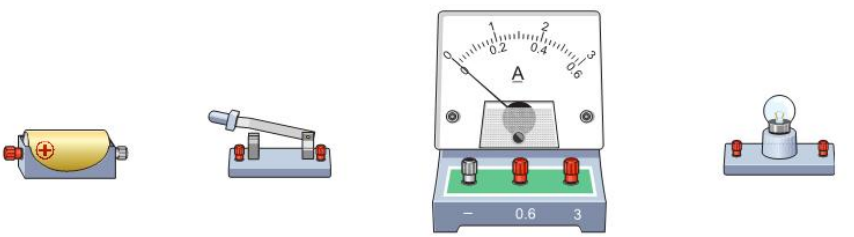
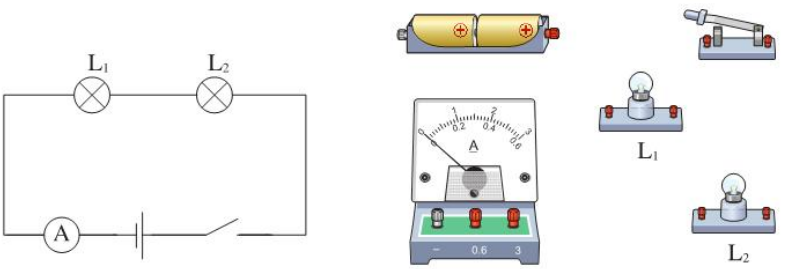


图15.4–10

5. 请按照图 15.4–11 甲所示的电路图，用笔画线表示导线，把图 15.4–11 乙中的实物连接起来。



甲　　乙

图15.4–11

⑥ 如图 15.4−12 所示，哪个电路中电流表的连接是错误的？连接正确的电流表测量的是通过哪一部分的电流？

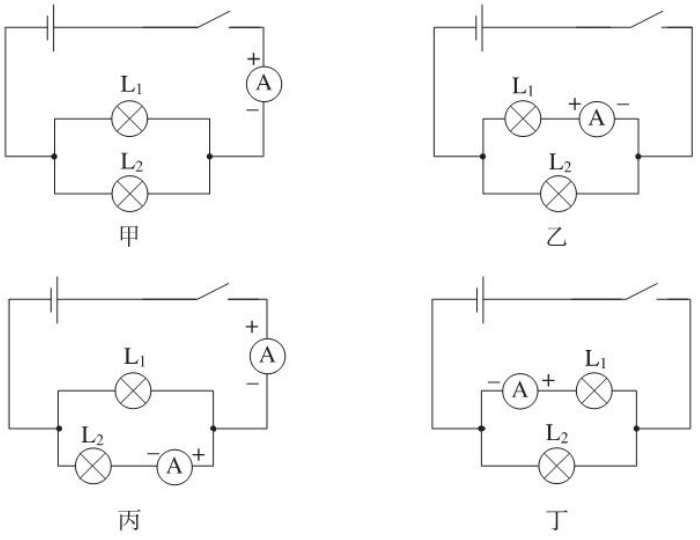


图15.4−12

⑦ 请用笔画线表示导线把图 15.4−13 中的实物连接起来，并画出电路图。要求：两个小灯泡并联，开关同时控制两个小灯泡，电流表测量通过小灯泡 L_2 的电流，导线不能交叉。

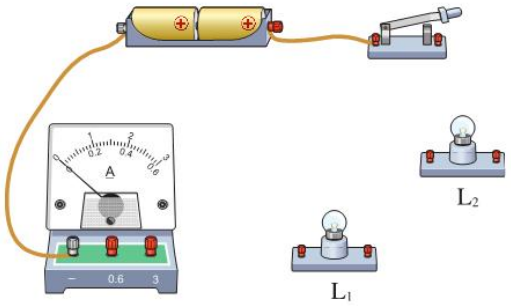


图15.4−13

第5节 串、并联电路中电流的规律

问 题

通过前面的学习我们知道，实际电路中有些用电器之间是串联的，有些用电器之间是并联的。如图15.5−1所示的串联电路，流过小灯泡L_1和L_2的电流大小有怎样的关系呢？

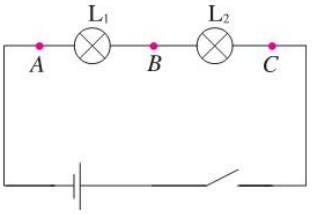


图 15.5−1 两个小灯泡串联

为了回答上述问题，需要通过实验来进行探究。

串联电路的电流规律

实 验

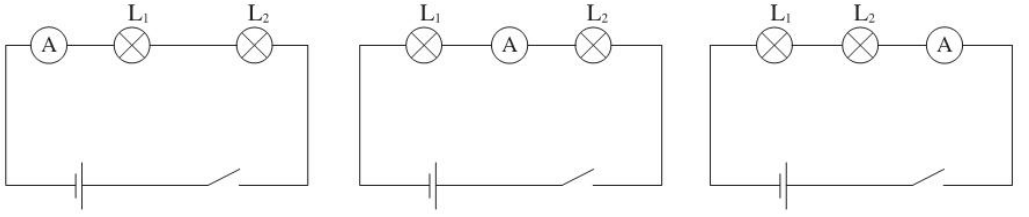
探究串联电路中各处电流的关系

实验思路

怎样得到串联电路中各处电流的关系呢？通过上一节的学习我们知道，在图15.5−1所示的电路中，只要在*A*、*B*、*C*三点接入电流表，分别测出不同位置的电流大小，便能得到该电路中电流的关系。

实验过程

1. 设计实验电路。如图15.5−2所示，它们分别是测量图15.5−1中*A*、*B*、*C*三点电流的电路图。



测量*A*点电流　　测量*B*点电流　　测量*C*点电流

图15.5−2 探究串联电路中电流的关系

2. 根据电路图连接电路，并进行测量。

3. 把测量数据记录在表格中，并把操作中出现的问题简明扼要地写下来。

4. 换上另外两个规格不同的小灯泡，再次测量并记录各点的电流。

小灯泡规格	A点电流I_A / A	B点电流I_B / A	C点电流I_C / A
小灯泡L_1、L_2			
……			

实验结论

请用你自己的语言描述串联电路中各处电流的关系。

研究表明：在串联电路中，电流处处相等。

并联电路的电流规律

上面我们探究了串联电路中电流的规律，你认为并联电路中电流会有怎样的规律呢？

实 验

探究并联电路中干路电流与各支路电流的关系

实验思路

怎样得到并联电路中各处电流的关系呢？根据并联电路的特点，可以通过实验，在并联电路中接入电流表，分别测量支路和干路中的电流大小，即测量图15.5-3中通过A、B、C三点的电流大小来判定它们之间的关系。

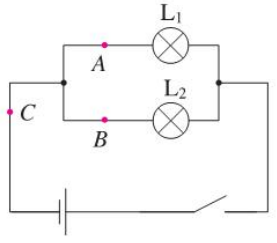


图15.5-3　探究并联电路中电流的关系

实验过程

1. 设计实验电路。请分别画出用电流表测量A、B、C三点电流的电路图。

2. 根据电路图连接电路，并进行测量。

3. 把测量数据记录在表格中，并把操作中出现的问题简明扼要地写下来。

4. 换上另外两个规格不同的小灯泡，再次测量并记录各点的电流。

小灯泡规格	A点电流I_A / A	B点电流I_B / A	C点电流I_C / A
小灯泡L_1、L_2			
……			

实验结论

请用你自己的语言描述并联电路中各处电流的关系。

研究表明：在并联电路中，干路中的电流等于各支路中的电流之和。

练习与应用

1. 课堂上按图15.5-2做“探究串联电路中各处电流的关系”的实验时，每个实验小组只有一个电流表。实验完成后，某同学借来其他小组的电流表，同时测量三个位置的电流以验证探究的结果。图15.5-4中有三个电流表和两个小灯泡，请你按他的设计，用笔画线表示导线在图中连线，注意连线不要交叉。

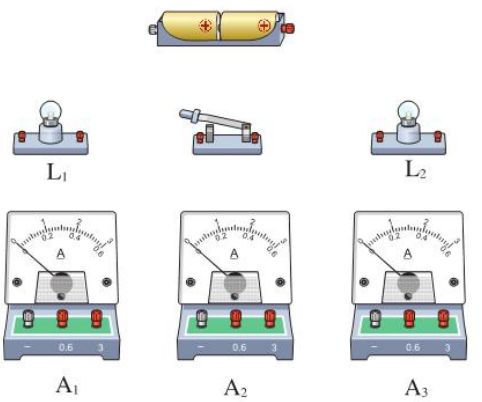


图15.5-4

2. 如图15.5-5所示，当开关闭合后，电流表A_1的示数为0.3 A，那么通过小灯泡L_1的电流是多少？电流表A_2的示数是多少？

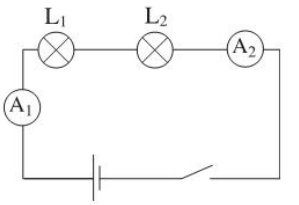


图15.5-5

3. 按图15.5-3做“探究并联电路中干路电流与各支路电流的关系”的实验。

（1）连接电路时，开关应处于什么状态？

（2）某同学记录的实验数据如下页表所示。第二次换用不同规格的小灯泡，实验中I_B的大小如图15.5-6所示。你认为通过这两组测量数据所得到的结论一致吗？为什么？

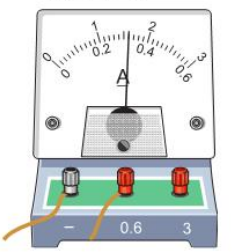


图15.5-6

实验序号	I_A/A	I_B/A	I_C/A
1	0.14	0.20	0.34
2	0.24		0.56

④ 某同学用三个电流表和两个小灯泡做实验，检验并联电路中干路电流是否等于各支路电流之和，他连接的电路如图 15.5–7 所示。这个电路中有一根导线接错了，请在这根导线上画“×”，然后画出正确的连接导线。

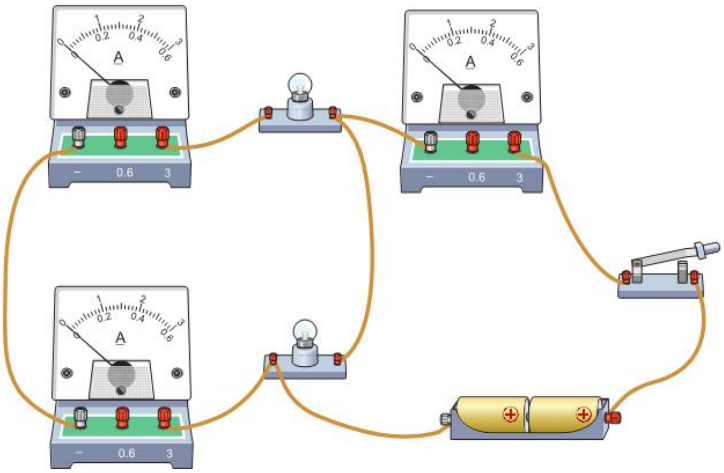


图15.5–7

⑤ 根据图 15.5–8 甲所示的电路图，用笔画线表示导线在图 15.5–8 乙的实物图中连线。在闭合开关后，如果电流表 A_1 的示数为 0.5 A，电流表 A_2 的示数为 0.3 A，那么通过小灯泡 L_1、L_2 的电流分别是多少？

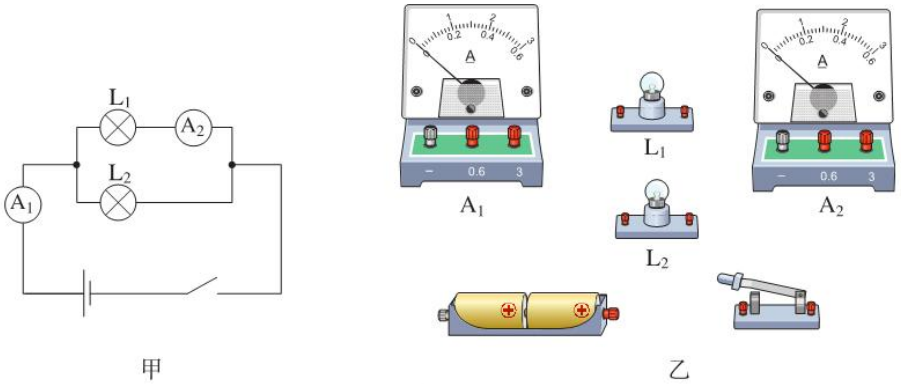


图15.5–8

复习与提高

1. 某同学用干毛巾擦窗户时发现，用力反复擦拭后，玻璃表面会吸附线绒。请解释这一现象。
2. 氧原子有8个电子，氢原子只有1个电子，那么一个水分子有多少个电子？这些电子一共带有多少电荷量？
3. 汽车在转弯前，司机拨动转向横杆，汽车同侧的前、后两个转向灯就会同时闪亮，如果一个灯损坏，另一个灯仍能正常工作。这两个转向灯是串联还是并联的？转向横杆相当于电路中的什么元件？
4. 某同学想为学校储藏室的电动门设计一个控制电路，只有当两名管理员同时启用各自的钥匙时才能接通电源，使电动机工作把门打开。如果启用钥匙相当于闭合开关，请帮助他画出电路图。
5. 某款吸尘器上有两个开关，其中一个只控制照明用的灯泡，另一个只控制吸尘用的电动机。请画出符合上述设计要求的电路图。
6. 图15−1是一种防倾斜报警电路原理图，通过电铃、灯泡提示被检测装置的倾斜情况（电铃和灯泡的工作电流相同）。图中S为重力开关，金属棒a可绕悬挂点O自由转动。报警电路固定在某一物体上。当物体处于竖直方向时，a在导线A、B中间；当物体向左偏离竖直方向时，灯泡L_1亮、电铃响；当物体向右偏离竖直方向时，灯泡L_2亮、电铃响。请按上面的要求把电路连接完整。

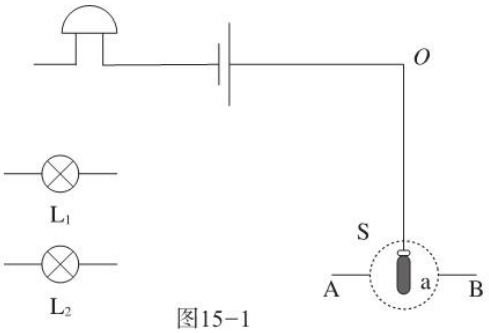


图15−1

7. 某同学想把小灯泡L_1和L_2并联，并想用电流表测量通过L_2的电流，他连接的电路如图15−2所示。其中有一根导线连接错误，请你在这根导线上画“×”，然后画出正确接法的导线。

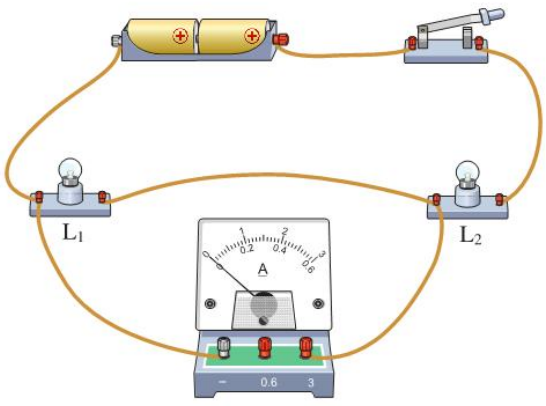


图15−2

8 按图15.5-1探究串联电路中各处电流的关系。

（1）请按照电路图，用笔画线表示导线，把图15-3中的实物连接起来。要求电流表测量B处的电流，导线不能交叉。

（2）通过正确的操作可以得到的结论是什么？

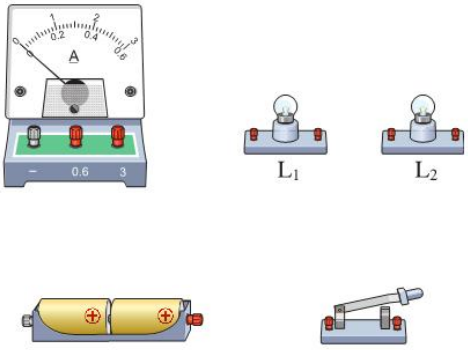


图15-3

9 请根据图15-4所示的实物电路画出对应的电路图。如果闭合开关后，电流表A_1的示数为0.3 A，电流表A_2的示数为0.5 A，那么通过小灯泡L_1、L_2的电流分别是多少？

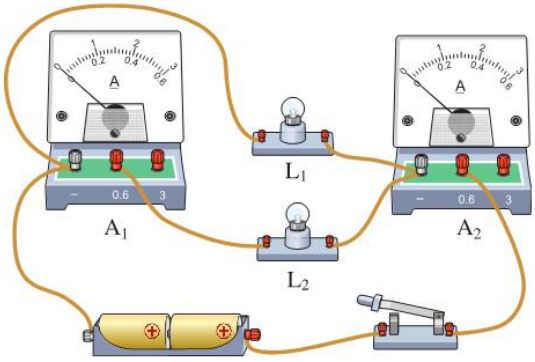


图15-4

第十六章　电压　电阻

我国西部地区的水能和煤炭资源丰富，可以用来大量发电。为了把这些电能输送到数千千米以外电力紧缺的东部地区，同时减少损耗，人们采用了一种叫作特高压输电的方式。2018年，我国新疆昌吉至安徽古泉建成了目前世界上电压等级最高、输送容量最大、输送距离最远、技术最先进的特高压直流输电工程。

通过这一章的学习，我们将了解电压是什么，它有什么作用。



第1节 电压

问 题

通过上一章的学习我们知道，要使用电器能够工作，电路中必须有电源。电源是如何使电流持续流过用电器的呢？

让我们类比水流的情形来认识这个问题。

电压

在图16.1-1所示的装置中，容器A中的水位高于容器B。打开阀门，就会形成由A经过水管流向B的水流。要想让水管中的水连续不断地流动，就必须使容器A中的水位一直高于容器B，即保持A、B之间的水压。我们可以用抽水机不断地把低水位容器中的水抽到高水位容器中去，来保持水压。抽水机是提供水压的装置。

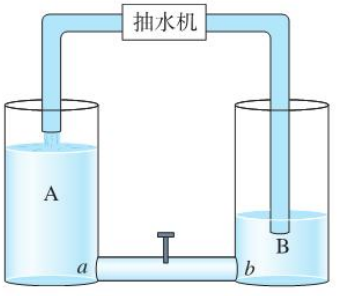


图16.1-1 用抽水机保持水压

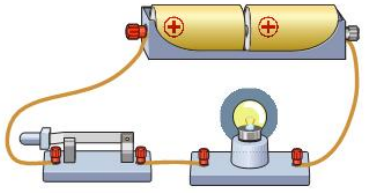


图16.1-2 电源给用电器提供电压

与此类似，要使电荷在电路中定向移动，电路的两端就必须要有**电压**（voltage）。电源的作用就是给用电器两端提供电压（图16.1-2），从而能形成持续的电流。

方法点拨

水压使水定向运动，从而形成水流。电流和水流都可以看作某种物质的“流动”，根据这一相似性我们可以推测：电压使电荷定向移动，从而形成电流。这里利用了类比的方法。

不同的电源可提供不同的电压，一节干电池提供的电压远低于家庭电路的电压。通常用字母 U 表示电压，它的单位是**伏特**（volt），简称**伏**，符号是V。

当电压较高时，常用千伏（kV）作单位；当电压较低时，常用毫伏（mV）作单位。它们的换算关系是

$$1\ \text{kV} = 1\ 000\ \text{V} = 10^3\ \text{V}$$

$$1\ \text{mV} = 0.001\ \text{V} = 10^{-3}\ \text{V}$$

小资料

表 16.1-1　常见的电压

常用干电池	1.5 V	手机电池	3.7 V
电子手表用氧化银电池	1.5 V	我国的家庭电路	220 V
铅蓄电池	2 V	大型发电机	6.3~18 kV
特高压输电	大于1 000 kV	闪电时云层间	可达10^6 V

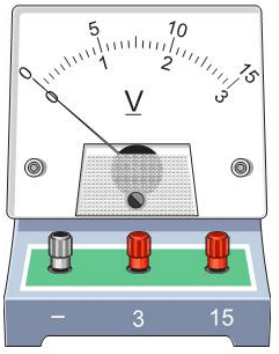


图16.1-3　电压表

电压的测量

电压的高低可以用电压表测量。图16.1-3是一种学生用的电压表。阅读说明书可以学习它的使用方法。

小资料

×××× 型直流电压表使用说明书（节选）

用直流电压表测量某元器件两端的电压时，电压表应与这个元器件并联。应该使标有“−”号的接线柱靠近电源的负极，另一个接线柱靠近电源的正极。所选测量范围的最大测量值必须大于被测电路两端的电压。

在预先不知道被测电压大约值的情况下，如果判定被测电压不会超出15 V，可以先选用最大测量值为15 V的测量范围。如果测得的电压不超过3 V，为提高读数的准确性，最好改用最大测量值为3 V的测量范围。

实 验

用电压表测量电压

请你读完上面的说明书后，回答下面的问题。

1. 电压表的连接

第一，电压表应该跟被测用电器串联还是并联？

第二，电压表标有“–”号的接线柱应该连接在什么位置？另一个接线柱应该连接在什么位置？

第三，什么情况下使用标有“3”字样的接线柱？什么情况下使用标有“15”字样的接线柱？在预先不知道被测电压的大小时，为了保护电压表，应先选用大的测量范围还是小的测量范围？

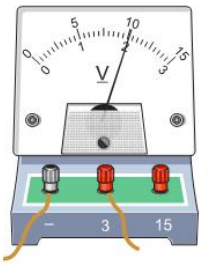


图16.1–4　练习读电压

2. 电压表的读数

图16.1–4所示电压表的示数是多少？参照电流表读数的相关知识，你能说出电压表的读数步骤吗？

第一步：

第二步：

第三步：

……

3. 用电压表测量电压

如图16.1–5所示，先将电压表接在小灯泡两端，接通电路，读取的数据是_____V；再将电压表接在电源两端，接通电路，读取的数据是____V。

电压表两次的示数是否相同？

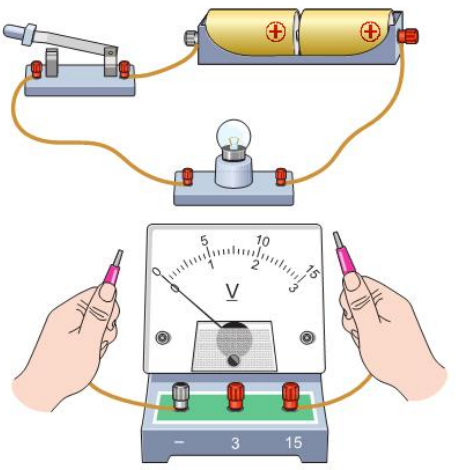


图16.1–5　测量电压

实验结果表明，电压表两次的示数是相同的，即在只有一个用电器的电路中，用电器两端的电压与电源两端的电压相等。

想想议议

如图16.1-6所示，电压表已与小灯泡并联。如果要把这三个串联着的小灯泡与电源连接，哪端应该接电源的正极？哪端应该接电源的负极？请在图上标出电流的方向。

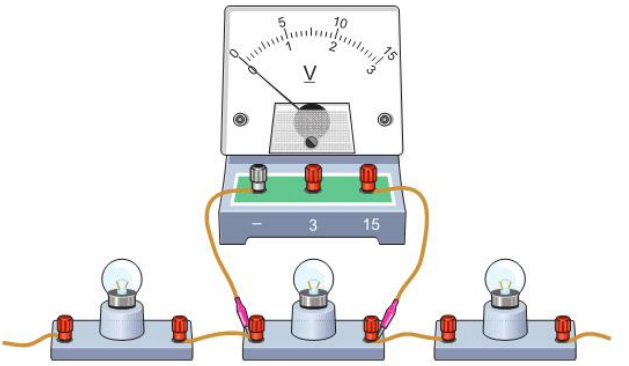


图16.1-6　将电源正确接入电路

练习与应用

1. 在烧杯中加入盐水，将铜片和锌片放在盐水中，就可以制成一个电池。试着用电压表测量这个自制电池的电压，如图16.1-7所示。这个电池的电压是多少？哪个金属片是电池的正极？



图16.1-7

2. 在图16.1-8中，请用笔画线表示导线来连接实物图，使小灯泡能够发光并且电压表能够测出小灯泡两端的电压（估计为2~3 V）。

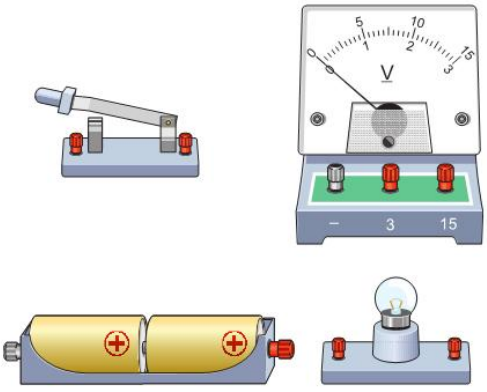
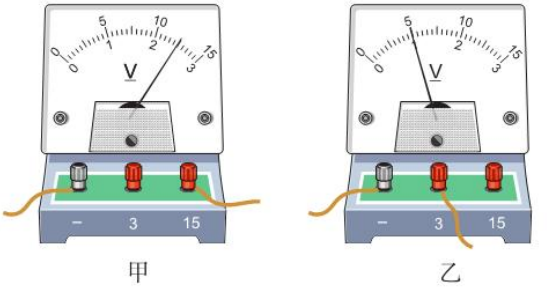


图16.1-8

3. 图16.1-9中，两个电压表的示数各是多少？



甲　　乙

图16.1-9

④ 图16.1-10是一位同学所连的电路，他要测量小灯泡L_2两端的电压。图中有一根导线接错了。

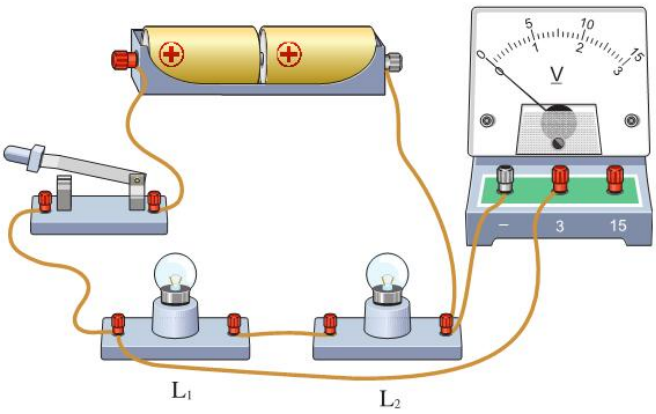


图16.1-10

（1）请你找出这根接错的导线，在它上面画“×”，并用笔画一根正确连接的导线。

（2）画出正确连接的电路图。

第2节 串、并联电路中电压的规律

问 题

家用电器通常要并联在电路中，而节日小彩灯（图16.2–1）有的是串联，有的是并联。小彩灯串联时，电压之间有什么关系？并联时电压之间又有什么关系？



图16.2–1 节日小彩灯

要想知道上述问题的答案，我们需要研究串、并联电路的电压规律。

串联电路的电压规律

我们知道，在只有一个小灯泡的电路中，小灯泡两端的电压与电源两端的电压是相等的。在由两个或两个以上用电器组成的串联电路中，各用电器两端的电压与电源两端的电压有什么关系？请作出猜想。

实 验

探究串联电路中用电器两端电压与电源两端电压的关系

实验思路

想一想：在图16.2–2中，电压U_{AB}、U_{BC}、U_{AC}分别代表哪个元件两端的电压？

分别测出图16.2–2中小灯泡L_1、L_2以及电源两端的电压，分析这些电压之间的关系，就可以找出串联电路中电压的规律。

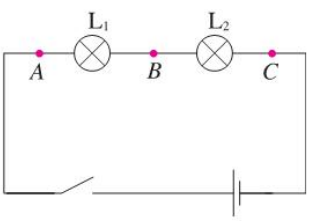


图16.2–2 探究串联电路的电压

实验过程

1. 设计实验电路并在下面的空白处画出电路图。

2. 选用不同规格的小灯泡L_1、L_2连接电路。

3. 将电压表的两端分别连接A与B、B与C、A与C，测量电压U_{AB}、U_{BC}、U_{AC}，并设计表格记录数据。

4. 换用不同规格的两个小灯泡，重做上述实验。

实验结论

分析你测得的数据，尝试用自己的语言描述串联电路的电压规律。

进一步的实验结果表明：在由两个小灯泡组成的串联电路中，电源两端的电压等于各小灯泡两端的电压之和。这个结论也适用于由多个小灯泡组成的串联电路。

想想做做

生活中常常把一节电池的负极和另一节电池的正极连在一起组成电池组。用这样的办法可以把两节、三节或更多节电池串联起来使用（图16.2-3）。

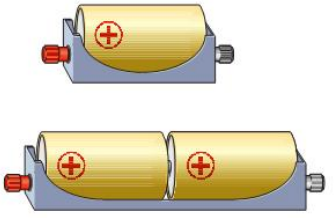


图16.2-3　电池和电池组

分别测量每节电池两端的电压，然后测量这个电池组两端的电压。它们之间有什么关系？

实验结果显示，串联电池组两端的电压等于每节电池两端的电压之和。

并联电路的电压规律

如果两个或两个以上的用电器并联，那么各支路用电器两端电压与电源两端电压的关系如何？这种关系与并联电路中电流的关系一样吗？与串联电路中电压的关系一样吗？请你作出猜想。

实 验

探究并联电路中各支路用电器两端电压与电源两端电压的关系

实验思路

分别测出图16.2−4中小灯泡L_1、L_2以及电源两端的电压，就可以找出并联电路中各支路用电器两端电压与电源两端电压的关系。

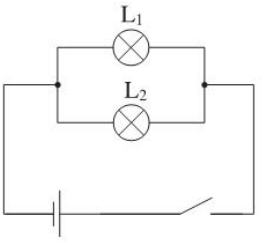


图16.2−4　探究并联电路的电压

实验过程

1. 设计实验电路并在下面的空白处画出电路图。

2. 选用不同规格的小灯泡L_1、L_2连接电路。

3. 测量L_1、L_2以及电源两端的电压，并设计表格记录数据。

4. 换用不同规格的小灯泡，重做上述实验。

实验结论

分析实验数据，你得出了什么结论？

进一步的实验结果表明：并联电路中两个支路上小灯泡两端的电压与电源两端的电压相等。这一结论也适用于由多个小灯泡组成的并联电路。

练习与应用

1. 某同学在按图16.2-5测量出小灯泡L_1两端的电压后，还需要测量小灯泡L_2两端的电压。为节约时间，他准备把电压表接在A接线柱的导线改接到B接线柱，让电压表跟L_2并联。这种做法是否可行？为什么？

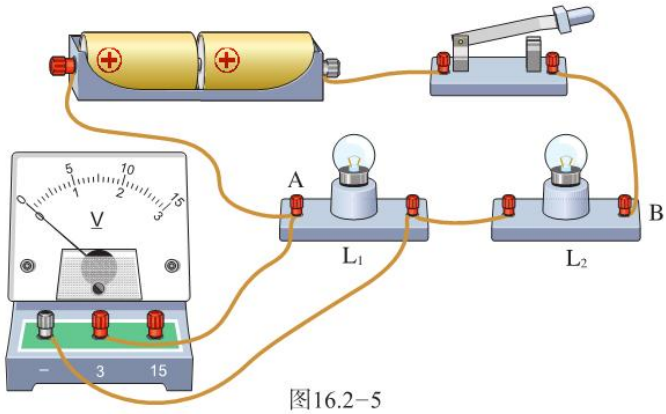
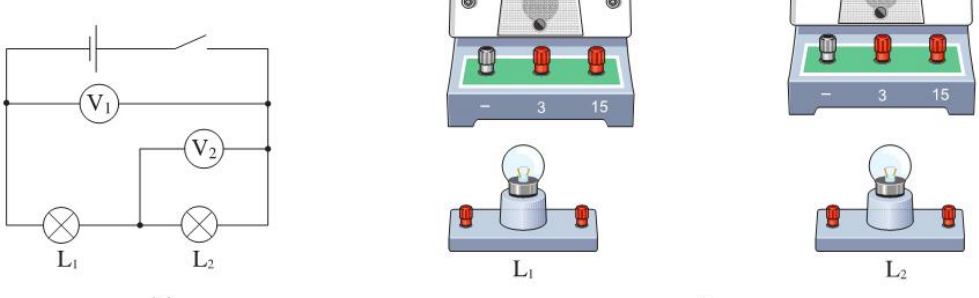


图16.2-5

2. 一个用电器正常工作时，要求电源电压是6 V。如果用全新的干电池作为电源，需要把几节串联起来？如果用铅蓄电池作为电源，需要把几块串联起来？

3. 在如图16.2-6甲所示的电路图中，电源电压为6 V，请用笔画线表示导线在图16.2-6乙中按电路图连线。如果电压表V_2的示数为2.4 V，灯泡L_1两端的电压是多少？



甲　　乙

图16.2-6

❹ 如图16.2-7所示，在探究并联电路电压的关系时，某同学想把两个小灯泡并联起来，用电压表测量并联电路的总电压，请你用笔帮他画出连接的电路。

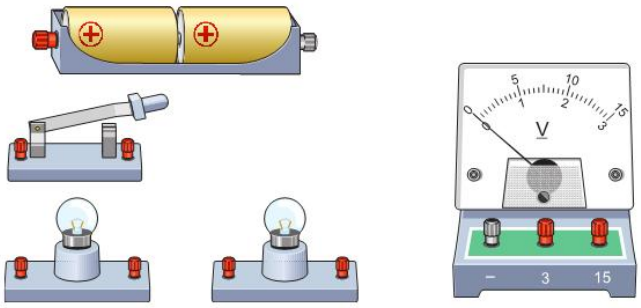


图16.2-7

❺ 在图16.2-8甲所示的电路中，闭合开关后电压表V_1的示数为2.5 V，V_2的示数应为_____V，V的示数应为_____V。在图16.2-8乙所示的电路中，闭合开关后电压表V_1的示数为2.5 V，V_2的示数为3.8 V，V的示数应为_____V。

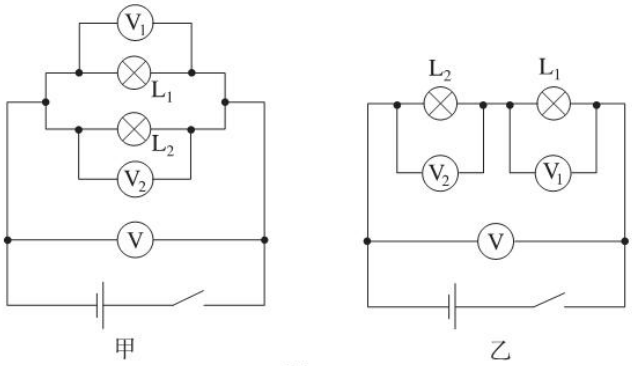


图16.2-8

❻ 请你设计一个表格，对比电流表和电压表在使用方面的相同之处和不同之处。

❼ 某同学按图16.2-9连接好电路，闭合开关后把电压表依次接在a、b，b、c，c、d，d、e，e、a两端，测得的电压分别为0、3 V、0、0、3 V。

（1）此时a、c两端的电压是多少？

（2）此时b、d，b、e，a、e两端的电压分别是多少？

（3）若要测量图中小灯泡两端的电压，电压表有哪几种连接方式？

（4）你能否对第（3）问中的各种方式形成一个概括性的结论？

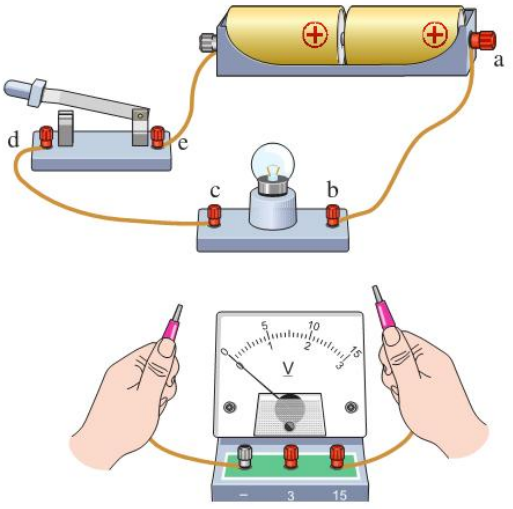


图16.2-9

第3节 电阻



图16.3-1 用铜制成的导线

问 题

导线多是用铜或铝做的（图16.3-1），特别重要的电气设备的导线还要用昂贵的银来做。铁也是导体，既多又便宜，为什么很少用它来做导线呢？

铜、铝和铁都是导体，但它们的导电性能不同。我们通过研究不同材料的导电性来回答这个问题。

电阻

想想做做

将电池、电流表、小灯泡、开关和一小段细铁丝如图16.3-2所示串联起来，观察电流表的示数和小灯泡的亮度。把细铁丝换成其他导体，例如铅笔芯，电流表的示数和小灯泡的亮度是否发生变化？

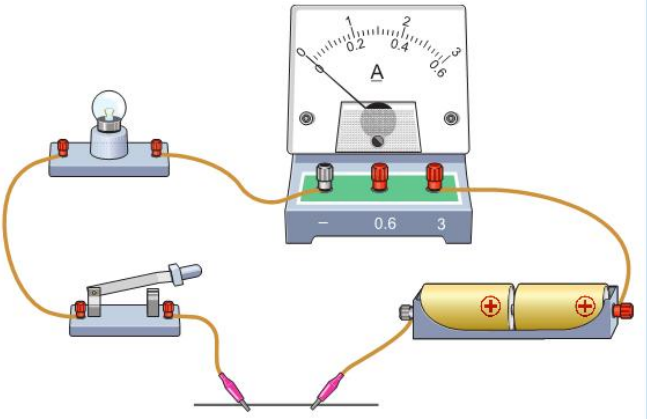


图16.3-2 用细铁丝连接电路

在上面的实验中，电池提供的电压是相同的。当电路中接入不同的导体时，电流表的示数通常不同。为什么会有这种差别呢？

原来，导体虽然容易导电，但是对电流也有一定的阻碍作用。在物理学中，用**电阻**（resistance）来表示导体对电流阻碍作用的大小。导体的电阻越大，表示导体对电流的阻碍作用越大。导体的电阻通常用字母 R 表示，单位是**欧姆**（ohm），简称**欧**，符号是 Ω。比较大的单位有千欧（kΩ）、兆欧（MΩ）。它们之间的换算关系是

$$1\ \text{k}\Omega = 1\ 000\ \Omega = 10^3\ \Omega$$

$$1\ \text{M}\Omega = 1\ 000\ 000\ \Omega = 10^6\ \Omega$$

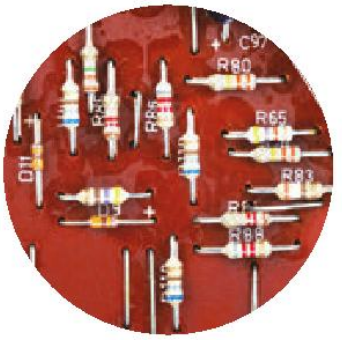


图16.3-3　常用的电阻器

实验室小灯泡中灯丝的电阻通常为几欧姆到十几欧姆；日常用的电炉丝的电阻为几十欧姆；长 1 m、横截面积 1 mm^2 的家用铜导线，电阻为百分之几欧姆，通常可以略去不计。

我们经常要用到具有一定电阻的元件——电阻器（图 16.3-3），它也叫作定值电阻，在电路图中用符号 —□— 表示。

影响电阻大小的因素

不同导体的电阻通常不同，那么导体的电阻与哪些因素有关呢？

镍铬合金常用来制作电阻器。我们通过下面的演示实验，看看镍铬合金丝的电阻与哪些因素有关。

演 示

影响导体电阻大小的因素

1. 电阻的大小是否跟导线的长度有关？

选用横截面积相同、长度不同的两根镍铬合金丝，分别将它们接入电路（图 16.3-4）中，观察电流表的示数。比较通过长短不同的镍铬合金丝的电流大小。

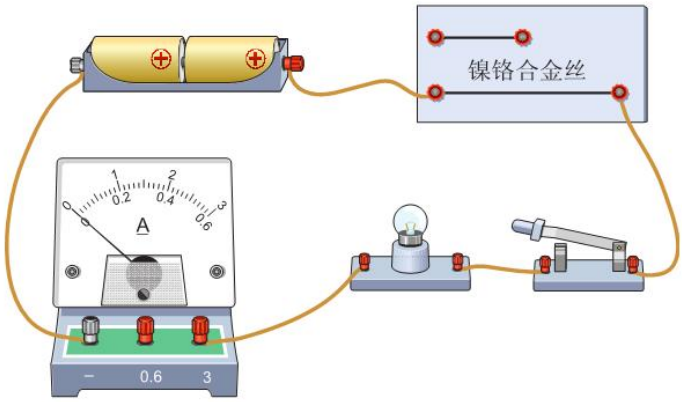


图16.3-4　研究电阻大小与导线长度的关系

2. 电阻的大小是否跟导线的横截面积有关？

选用长度相同、横截面积不同的两根镍铬合金丝，分别将它们接入电路中，观察电流表的示数。比较通过横截面积不同的镍铬合金丝的电流大小。

从实验中可以看到：横截面积相同时，较长的镍铬合金丝中电流较小；长度相同时，横截面积较小的镍铬合金丝中电流较小。这表明导体的电阻跟它的长度和横截面积有关。

研究表明，材料不同，导电性能也不同。天然橡胶棒的电阻，大约是长度、横截面积相同铁棒的 2×10^{16} 倍！图16.3-5显示的是不同材料在导电性能上的排序，从下至上，材料的导电性能依次增强。铜的导电性能优于铁。对于长度、横截面积相同的铁丝和铜丝，铁丝的电阻是铜丝的近6倍，所以一般不用铁制作导线。

导体的电阻是导体本身的一种性质，它的大小取决于导体的材料、长度和横截面积等因素。



图16.3-5　不同材料的导电性能

科学世界

1. 半导体

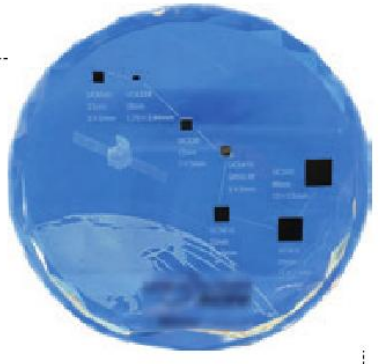


图16.3-6　北斗导航卫星上的一些芯片

导体导电性能好，绝缘体导电性能比较差。有一些材料，例如锗、硅，导电性能介于导体和绝缘体之间，常常称作半导体。温度、光照、杂质等外界因素对半导体的导电性能有很大影响。

利用半导体材料可以制作二极管、三极管。如果把很多二极管、三极管和电阻器、电容器等元件直接做在基片上，就可以制成集成电路（俗称芯片）。集成电路是20世纪最重要的发明之一，已经广泛应用于各行各业。电视机、计算机、手机以及其他数字电器中都有集成电路。图16.3-6展示的是我国自主研制的北斗导航卫星上的一些芯片。

没有半导体技术的发展，就没有我们今天的现代化生活。

2. 超导现象

各种金属导体中，银的导电性能是最好的，但还是有电阻存在。20世纪初，荷兰物理学家昂内斯发现，当温度降低到某个临界值时一些金属的电阻会突然消失，这种现象叫作超导现象。零电阻和完全抗磁性是超导体的基本特性。



图16.3-7　赵忠贤（1941—）

金属和合金出现超导现象的临界温度低于−250.15 ℃。1986年，瑞士科学家在铜氧化物材料中发现35 K（−238.15 ℃）左右的超导现象。1987年，中国科学家赵忠贤（图16.3-7）和华裔美国籍科学家朱经武的团队各自独立发现临界温度超过90 K（−183.15 ℃）的钇－钡－铜－氧系材料。2008年，继日本科学家发现26 K铁基超导体之后，中国科学家将铁基超导体的临界温度提高到40 K以上，直至55 K的最高纪录，实现了高温超导研究领域的第二次突破。在高温超导研究领域，我国科学家作出了突破性的贡献，持续推动了国际高温超导研究的进展。科学家还在不断探索，寻找具有更高临界温度的超导材料。

超导技术已经得到实际应用，如用于核磁共振成像、高能加速器、磁约束核聚变装置等的超导磁体，检测微弱电磁信号的超导量子干涉仪和移动通信基站的超导滤波器等。超导技术还应用于有色金属加工、污水处理、超导磁悬浮列车、超导量子计算等方面，未来将进一步造福人类。

练习与应用

1. 有一个定值电阻的电阻为24 000 Ω。24 000 Ω =_____kΩ =_____MΩ。

2. 如果要用图16.3-8所示的电路比较小灯泡和电阻器的电阻大小，请你用笔画线表示导线，把电路连接完整并画出电路图。怎样比较小灯泡和电阻器的电阻大小？

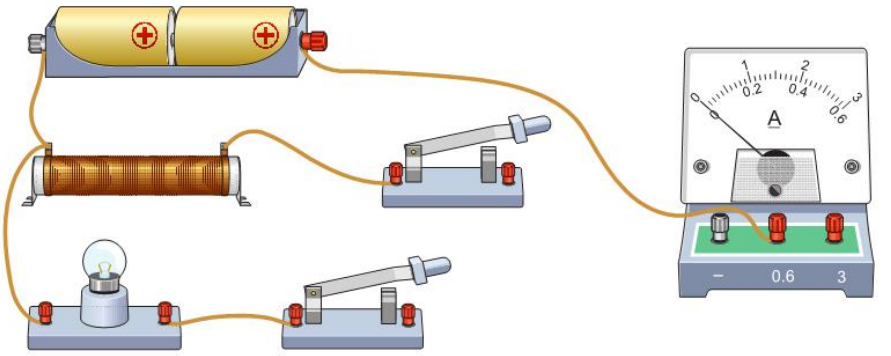


图16.3-8

3. 在通过实验研究影响导体电阻大小的因素时，分别对导体电阻跟它的长度、横截面积、材料有关的猜想进行了实验检验。某实验小组准备实验时对每一个猜想都用三组实验数据进行对比，下表中给出了可供选择的几种导体，分别用A~G七个字母代表。请你按该小组的要求选用。

（1）为检验“导体电阻跟长度有关”的猜想，应选用哪三种导体？

（2）为检验“导体电阻跟横截面积有关”的猜想，应选用哪三种导体？

（3）为检验“导体电阻跟材料有关”的猜想，应选用哪三种导体？

说出你选择的理由。

导体代号	长度/m	横截面积/mm^2	材料
A	1.0	0.2	锰铜合金
B	1.0	0.4	锰铜合金
C	1.0	0.6	锰铜合金
D	0.5	0.4	锰铜合金
E	1.5	0.4	锰铜合金
F	1.0	0.6	镍铬合金
G	1.0	0.6	铁

4. A、B是两根完全相同的导线，长度都是1 m。把A剪去一半，剩下的一半跟B相比，哪个的电阻大？把A剩下的一半再拉长到1 m，跟B相比，哪个的电阻大？

第4节 变阻器

问 题

选取一根自动铅笔芯，按图16.4-1连接电路。使铅笔芯一端的夹子固定，移动另一端的夹子，观察小灯泡的亮度。

小灯泡的亮度怎样变化？为什么会这样变化？

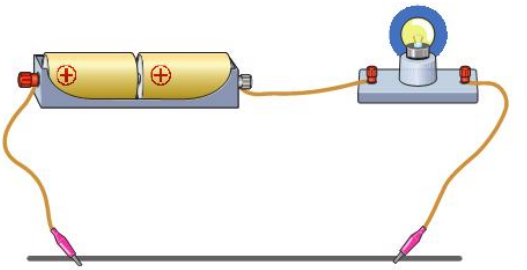
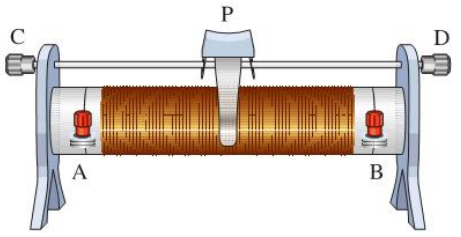


图16.4-1 用铅笔芯控制小灯泡的亮度

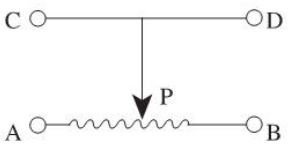
在上面的实验中，随着夹子在铅笔芯上移动，小灯泡的亮度会发生变化。接入电路中的铅笔芯越短，电阻越小，小灯泡越亮。

变阻器

能改变接入电路中电阻大小的元件叫作变阻器。例如，图16.4-2是学生实验中常用的滑动变阻器。电阻丝外面涂着绝缘层，密绕在绝缘管上。图中电阻丝上水平方向的一条白线表示这里的绝缘层已经刮掉，电阻丝可以与滑片P相连，而电阻丝的两端连在A、B两个接线柱上，滑片P通过金属杆和接线柱C、D相连。滑片移动到不同位置时，A、C（或者B、C）两个接线柱间电阻丝的长度不一样，这样就可以改变接入电路中电阻的大小。



甲 实物图



乙 原理图

图16.4-2 滑动变阻器

滑动变阻器在电路图中用符号表示。

滑动变阻器的使用

实 验

练习使用滑动变阻器

1. 观察滑动变阻器的结构

观察时，请思考以下问题。

为什么与滑片接触处的电阻丝的绝缘层被刮去？

哪两个接线柱之间的电阻是不变的？

哪两个接线柱之间的电阻很小？

移动滑片时，哪两个接线柱之间的电阻随着改变？

2. 连接滑动变阻器

要使滑动变阻器和用电器中的电流相同，滑动变阻器应该与用电器串联。按图16.4–3连接电路，闭合开关，观察电路是否接通。

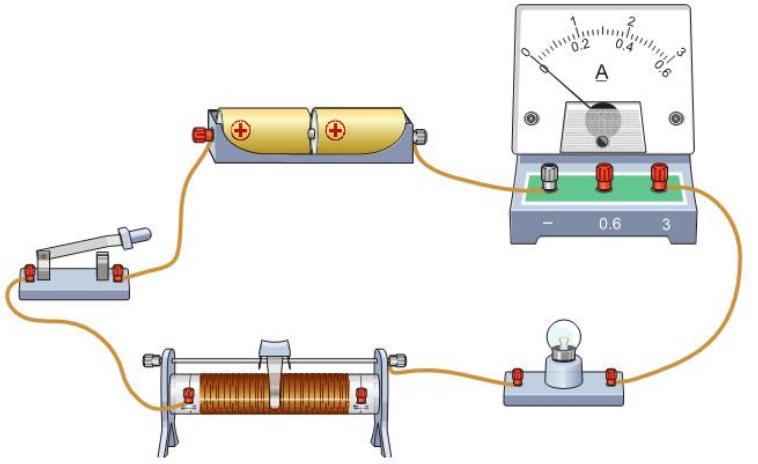


图16.4–3　连接滑动变阻器

3. 用滑动变阻器改变小灯泡的亮度

若要使小灯泡由暗变亮，图16.4–3中滑动变阻器的滑片应向哪个方向移动？尝试移动滑片，观察电流表的示数或小灯泡的亮度变化。

想一想：接通电路前应将滑片放到什么位置？

在实验报告中列出选用的仪器、设计的电路、实验操作步骤及你对上面几个问题的回答。实验过程中你又发现了哪些新问题？请和同学们交流。

4. 用滑动变阻器控制定值电阻两端的电压

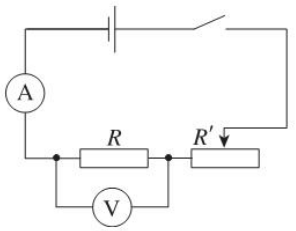


图16.4-4　控制定值电阻两端的电压

按图16.4-4连接电路，其中定值电阻的电阻是R，滑动变阻器的电阻是R'。

（1）闭合开关，调节滑动变阻器的滑片，使定值电阻两端的电压成整数倍地变化，如2 V、4 V、6 V等。

（2）换用不同的定值电阻，使电阻R成整数倍地变化，如5 Ω、10 Ω、15 Ω等。闭合开关，调节滑动变阻器的滑片，保持每次接入定值电阻两端的电压不变。

滑动变阻器上通常标有最大电阻和允许通过的最大电流，使用时要根据需要进行选择，不能使通过的电流超过最大值，否则会烧坏滑动变阻器。通常，在使用前应将滑动变阻器的电阻调节到最大。

在电路中，滑动变阻器的主要作用是通过调节其电阻来改变电路中的电流。



变阻器的应用



图16.4-5　一种电位器的结构

滑动变阻器一般只在实验室中应用。有些家用电器中，用于音量调节的器件也是一种变阻器，通常称为电位器。图16.4-5是一种电位器的结构图。它通过机械式旋钮调节电阻的大小。电位器也可以用在其他电器上，例如可调亮度的电灯，可调音量的音箱、调音台，等等。


图16.4-6　利用数字电位器调节耳机音量

除机械式电位器外，数字电位器的使用越来越广泛。数字电位器是一种用数字信号控制电阻的器件（集成电路）。与机械式电位器相比，数字电位器具有可用程序控制改变电阻、耐震动、噪声小、寿命长、抗环境污染等优点，因而已在自动检测与控制、智能仪器仪表、消费类电子产品等许多重要领域得到应用（图16.4-6）。

练习与应用

1. 图16.4-2甲展示的是一个滑动变阻器，它的哪些地方是导体？哪些地方是绝缘体？

2. 请用笔画线表示导线，连接图16.4-7中的实物，使滑动变阻器能够控制小灯泡的亮度。在你连接的电路中，要使小灯泡越来越亮，滑动变阻器的滑片应该向哪个方向移动？

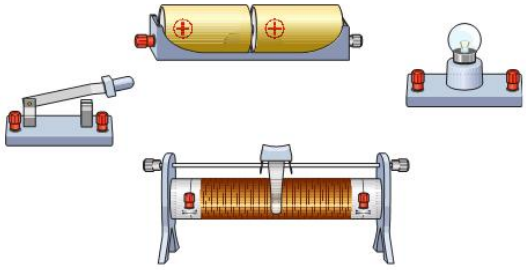


图16.4-7

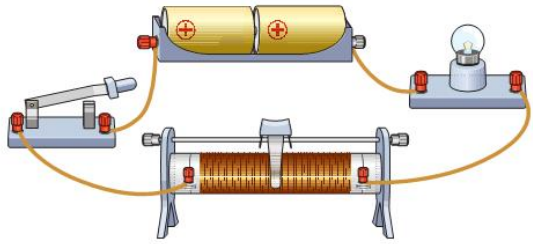


图16.4-8

3. 图16.4-8是某同学按照上题要求所连的电路。这个电路能不能满足题目的要求？为什么？按照这个电路进行操作时，实验现象是怎样的？

4. 图16.4-9是滑动变阻器连入电路的示意图。当滑片P向右滑动时，连入电路的电阻变小的是哪幅图？请用彩笔标出电流通过滑动变阻器的部分。

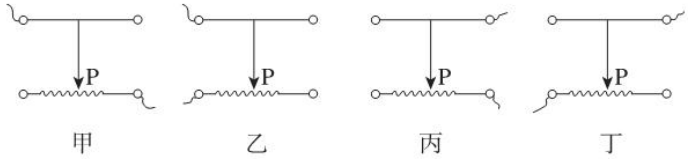


图16.4-9

5. 图16.4-10中电源、开关、小灯泡之间已经接好导线，留了A、B两根导线准备跟滑动变阻器连接，1、2、3、4是滑动变阻器的四个接线柱。当A和1连接、B和4连接后闭合开关，小灯泡很亮；当A和3连接、B和4连接后闭合开关，小灯泡有点暗；当A和3连接、B和2连接后闭合开关，小灯泡不发光。根据上述现象，你认为这个滑动变阻器可能哪个地方有故障？

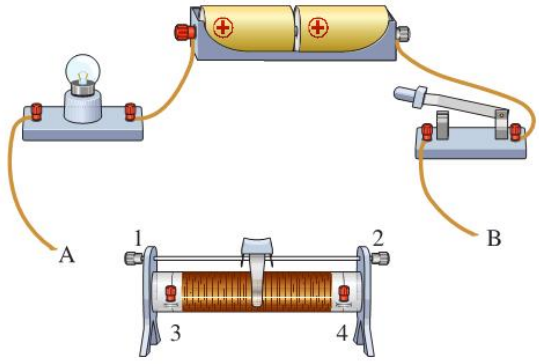


图16.4-10

⑥ 滑动变阻器的电阻可变，但不显示此时的电阻是多少。如图16.4-11所示的电阻箱也是一种变阻器，不仅电阻可以变化，还可以从中读出电阻的数值。图甲是电阻箱的外形图，通过两个接线柱把它接入电路，转动四个旋钮可以改变电阻箱的电阻。例如，图乙中的电阻箱的电阻是2 093 Ω。





甲　　乙　　丙　　丁

图16.4-11

（1）请你由此推断图丙和图丁中电阻箱的电阻各是多少。

（2）这个电阻箱的最大电阻是多少？

⑦ 图16.4-12是一种测量油箱内油量的装置示意图。其中滑动变阻器的滑片跟滑杆连接，滑杆可以绕固定轴O转动，滑杆的一端固定着一个浮子。油箱中的油量减少时，油面下降，浮子随油面落下，带动滑杆使滑动变阻器的滑片向上移动，从而改变电路中电流表的示数。因此，电流表上一定的示数对应着油面的一定高度。如果把电流表刻度盘上的数值改为相应的油量体积数，就可以直接读出油箱中的油量。请问：在这个装置中，电流表的示数越大，表示油箱中的油量越多还是越少？请说明理由。

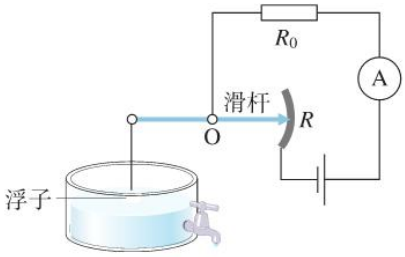


图16.4-12

第5节 跨学科实践：制作简易调光台灯

项目提出

当人们在台灯下看书时，如果感觉灯光太亮，有点刺眼，可以通过调光装置改变台灯的亮度。实际的调光台灯电路是比较复杂的。你可以运用本章所学的知识制作一盏简易调光台灯，达到调节灯光亮度的目的。

项目分析

要制作简易调光台灯，需要重点考虑以下几个问题。

1. 选择哪种光源？
2. 怎样改变光源的亮度？
3. 可以从哪些方面加强台灯的实用性？

项目实施

1. 设计台灯

（1）选择光源。实验室用的小灯泡可以作为光源。另外，市面上很容易买到各种型号的发光二极管，也可以作为光源。

（2）选择变阻器。制作简易调光台灯的关键是改变台灯的亮度，这可以通过改变灯泡两端的电压来实

现。在串联电路中，利用变阻器能够改变电路中的电阻，从而改变灯泡两端的电压，由此改变灯泡的亮度。根据前面的学习，你选择哪种器件来作为变阻器？理由是什么？

（3）设计电路。设计调光台灯的电路，选择合适的电源、小灯泡和变阻器，电源电压和小灯泡的规格要匹配。

（4）设计支架和灯罩。画出你设想中台灯的草图，各个器件要安排紧凑，使台灯美观、结实，便于移动。尽量选用方便易得的材料作为台灯支架，使做出的台灯能稳定地立在桌上。灯罩需要具有较好的反光性能。

2. 制作台灯

按照设计方案安装各个器件，连接电路。检查电路，闭合开关，看看怎么调节变阻器会使小灯泡越来越亮。



图16.5-1　一种简易调光台灯

图16.5-1是一位同学制作的简易调光台灯，供你参考。他把电池盒、开关、电位器固定在一个底座上，找一根金属（或塑料）管，管的一端固定小灯泡，使小灯泡的导线从管中穿过，管的另一端也固定在底座上。最后还制作了一个灯罩，扣在小灯泡上。

展示交流

1. 向其他同学展示介绍你的作品。

2. 与其他同学交流，看看谁做的台灯既实用又漂亮，还有哪些地方需要改进。

复习与提高

❶ 图16–1是某台电饭锅的工作原理示意图。电饭锅的加热板内有电阻为R_0的电阻器，闭合开关后电饭锅处于加热状态，断开开关后电饭锅处于保温状态。在加热和保温两种状态下，电阻为R_0的电阻器两端的电压有何不同？

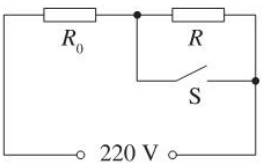


图16–1

❷ 在如图16–2所示的电路中，电源电压为3 V，闭合开关后电压表的示数为1.2 V，小灯泡L_1两端的电压是多少？断开开关后电压表的示数是多少？请根据实物电路画出电路图。

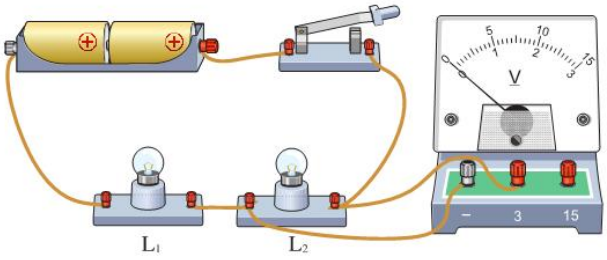
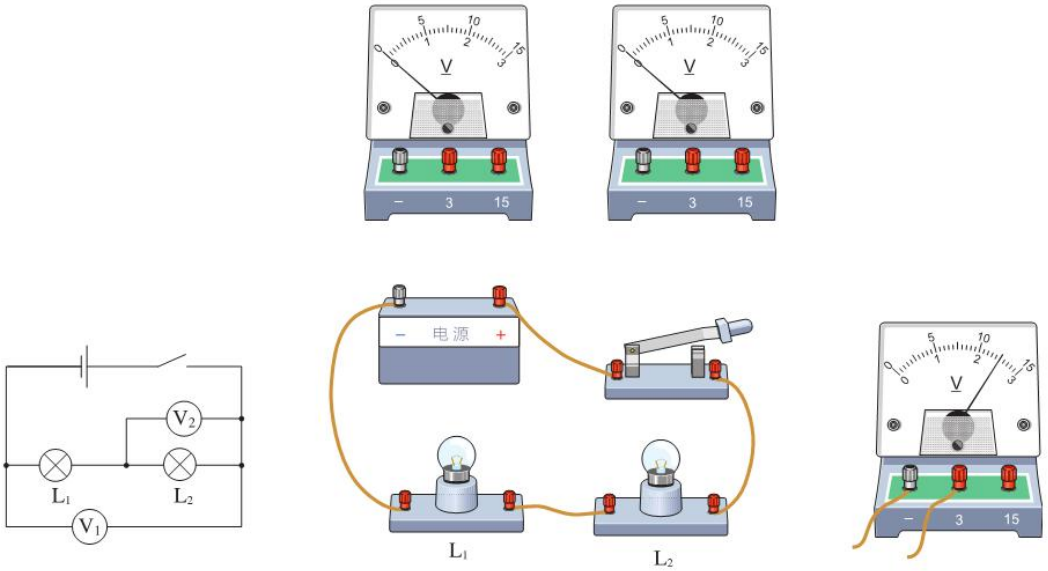


图16–2

❸ 根据图16–3甲所示的电路图，请在图16–3乙的实物图上用笔画线表示导线，把电路连接完整。闭合开关后电压表V_2的示数如图16–3丙所示，小灯泡L_2两端的电压是多少？



甲　　乙　　丙

图16–3

4 用图16–4所示的电路比较两个小灯泡L_1、L_2电阻的大小。请在虚线框中画出电表符号，并说明怎样比较小灯泡L_1、L_2的电阻大小。

5 在按图16–5所示的电路做实验时，闭合开关后发现两个小灯泡均不亮，电流表无示数。如果是小灯泡L_1、L_2中的一个出现故障，怎样利用电压表找出这个小灯泡？

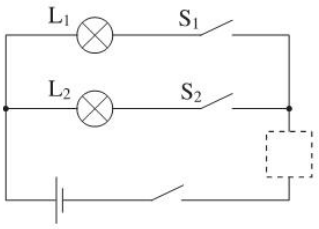


图16–4

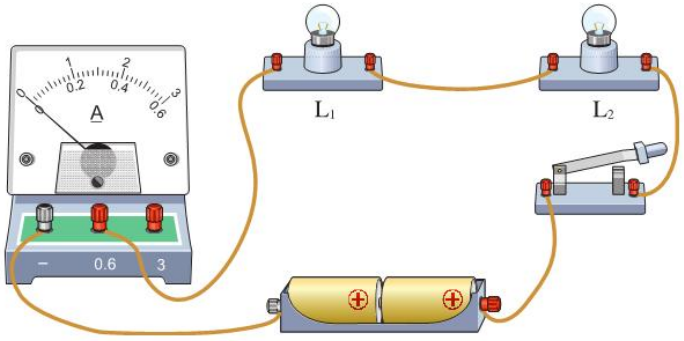


图16–5

6 某同学连接了如图16–6所示的电路。闭合开关S、断开开关S_1，电流表测量的是通过哪个小灯泡的电流？再闭合S_1，电流表和电压表的示数是否有变化？如果有，怎样变化？

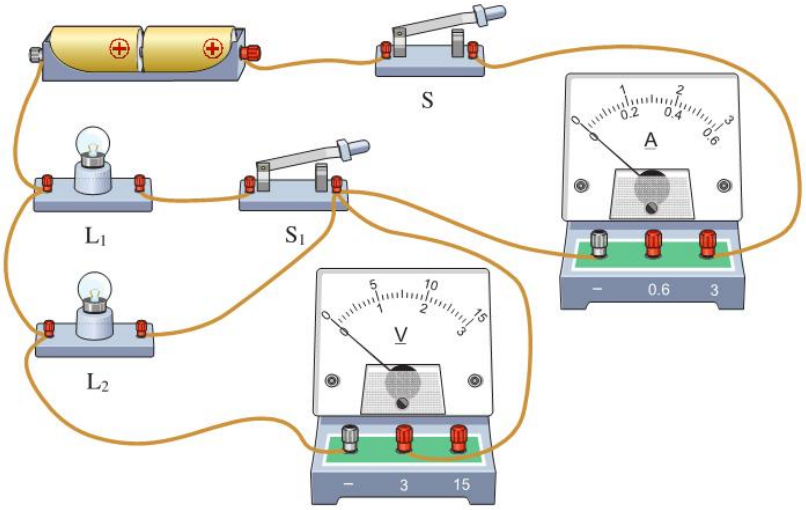
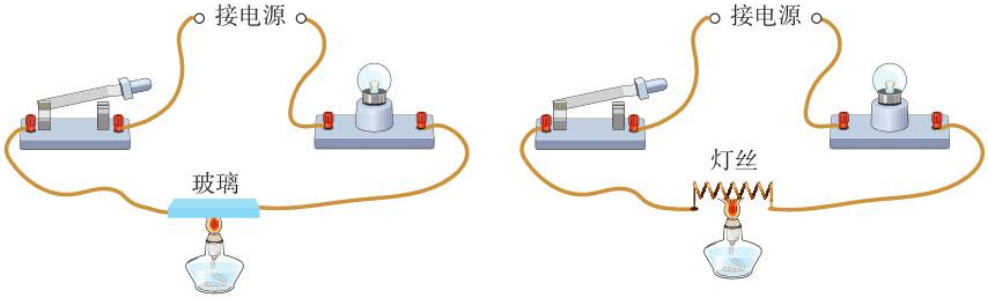


图16–6

7 课堂上老师先后演示了两个实验。

（1）如图16–7甲所示，闭合开关后小灯泡不亮。用酒精灯灼烧玻璃，随着玻璃温度升高，小灯泡逐渐亮起来。由此可以初步得出的结论是什么？

（2）如图16–7乙所示，将灯丝接入电路，闭合开关后小灯泡发光。给灯丝加热，小灯泡立刻变暗。由此可以初步得出的结论是什么？



甲　　乙

图16–7

8 有些材料的电阻随温度的升高而增大，有些则随温度的升高而减小。在图16–8所示的电路中，如果想让电流表的示数增大表示温度升高，电流表的示数减小表示温度降低，应该选用电阻随温度怎样变化的材料？为什么？

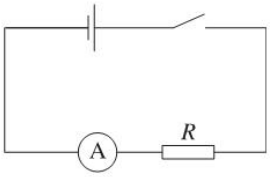


图16–8

9 在通过实验研究影响导体电阻大小的因素时，在电路中可以接入任意长度的金属丝。现有三根金属丝和一把1 m长的刻度尺，金属丝的材料、规格都记录在下表中。

编号	材料	长度/m	横截面积/mm^2
A	镍铬合金	1.0	0.4
B	锰铜合金	0.8	0.4
C	铜	0.5	0.4

（1）要研究导体材料对导体电阻的影响，应该怎样操作？

（2）要研究导体长度对导体电阻的影响，应该怎样操作？

第十七章　欧姆定律

夜幕下，灯光照亮了古镇。电灯发光时，电流在电路中静静地“流淌”。你是否想过，电流的流动遵循怎样的规律？电流、电压、电阻各自扮演着什么角色？它们之间的关系又如何呢？现在就让我们来探究其中的奥秘。



第1节 电流与电压、电阻的关系

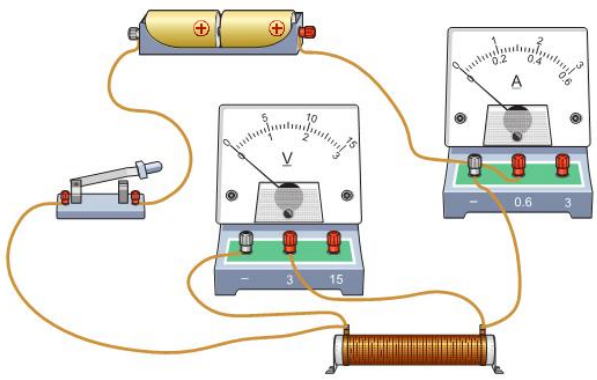


图17.1-1 探究电流与电压、电阻的关系

问 题

在如图17.1-1所示的电路中，当通过增加电池的节数来增加电阻器两端的电压时，我们会发现通过电阻器的电流增大。另外，通过前面的学习我们知道：电阻表示导体对电流的阻碍作用，当电压一定时，电阻越大，电流越小。通过导体的电流与加在它两端的电压及导体的电阻之间存在怎样的定量关系呢？你有怎样的猜想？

我们可以通过实验来寻找三者之间的关系。电压、电阻的改变都会引起电流的变化。实验时，应先保持某一个量不变，如电阻不变，研究通过导体的电流与导体两端电压的关系，然后保持导体两端的电压不变，研究通过导体的电流与电阻的关系。

实 验

探究电阻一定时电流与电压的关系

实验思路

可以用定值电阻进行实验。要研究通过定值电阻的电流I怎样随着它两端的电压U的变化而变化，需要确定改变定值电阻两端电压的方法。


图17.1-2 实验电源

利用如图17.1-2所示的实验电源可以方便地



图17.1-3　设计电路图

改变电压。也可以用干电池作为电源，通过增减串联电池的节数来改变电压，或把滑动变阻器与定值电阻串联来改变定值电阻两端的电压。思考一下这些方法各有什么优劣。

请你参照图17.1-1所示的实验电路，在图17.1-3的方框中画出能够改变电压并可以同时测量电压和电流的电路图。

实验过程

按设计的电路图连接电路，测量并记下几组电压和电流值，将它们填写在表中。

R=_____Ω

数据序号	1	2	3	4	5	……
电压U/V						
电流I/A						

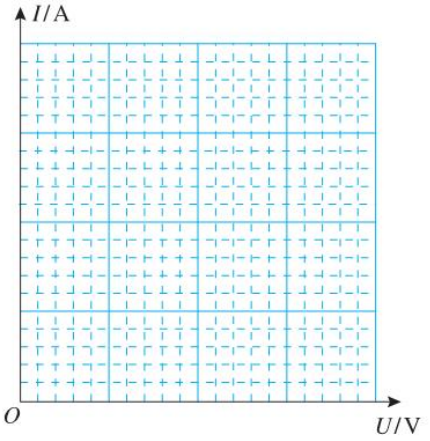


图17.1-4　I-U图像

1. 分析表中的数据，看看在电阻一定时，电流与电压之间存在怎样的定量关系。

2. 也可以采用图像的方法分析数据，这样会更直观地看出两个量间的变化关系。请根据表中的数据，在图17.1-4中描出各组数据对应的点，然后将各点平滑地连接起来。

不同小组可以使用不同的定值电阻做实验。

实验结论

通过分析所作的图像，你得到了什么结论？与你的猜想一样吗？

大量实验表明：在电阻一定的情况下，通过导体的电流与导体两端的电压成正比。

实 验

探究电压一定时电流与电阻的关系

实验思路

要探究电压一定时电流与电阻的关系，需要知道导体的电阻和通过导体的电流。可以将不同阻值的定值电阻接入电路中，以改变电阻，测量通过每个定值电阻的电流，找出电流与电阻的关系。

实验时还需要考虑保持定值电阻两端电压不变的方法。

请你根据以上思路，设计实验的电路图，并画在图17.1−5的方框中。

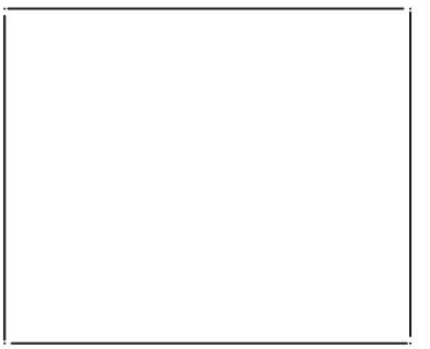


图17.1−5　设计电路图

实验过程

按你设计的电路图连接电路，测量并记录定值电阻两端的电压及几组电阻和电流值。

U=_____V

数据序号	1	2	3	4	5	……
电阻R/Ω						
电流I/A						

实验结论

分析表中的数据，看看在电压一定时，通过导体的电流与导体的电阻之间存在怎样的定量关系，给出你的结论。

大量实验表明：导体两端的电压一定时，通过导体的电流与导体的电阻成反比。

练习与应用

❶ 在“探究电阻一定时电流与电压的关系”的实验中，可以分别用1节、2节、3节……干电池作为电源来改变定值电阻两端的电压，也可以用滑动变阻器来改变电压。与改变电池数量的方法相比，使用滑动变阻器的优点是什么？

❷ 在“探究电阻一定时电流与电压的关系”的实验中，得到的实验数据如下表所示。

数据序号	1	2	3	4	5	6
电压U/V	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8
电流I/A	0.08	0.15	0.23	0.25	0.38	0.45

（1）为分析电流与电压的定量关系，请你在图17.1-6中建立坐标系，根据表中的数据在坐标系中描点。

（2）某同学说，从图中可以看出，这些数据中有一个明显是错误的，跟其他数据的规律完全不同，可能是读取这个数据时粗心所引起的，分析时需要把它剔除掉。这是哪组数据？

（3）剔除错误数据后，作出电阻一定时电流随电压变化的图像。根据这次实验的数据，能得到的结论是什么？

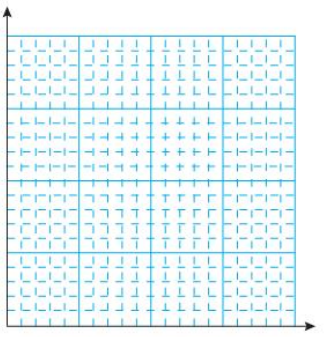


图17.1-6

❸ 在“探究电阻一定时电流与电压的关系”的实验中，甲同学把定值电阻、电流表、电压表、滑动变阻器、开关和电源连接成如图17.1-7所示的电路，正准备闭合开关时，旁边的乙同学急忙拦住他，说导线接错了。

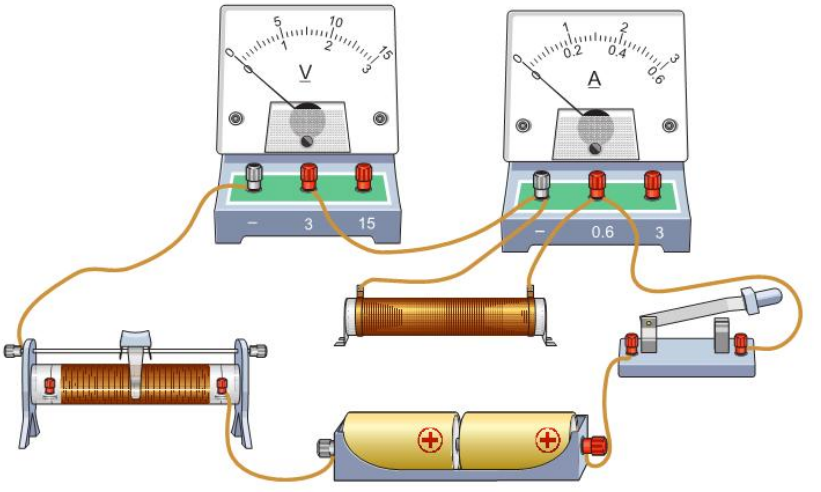


图17.1-7

请你检查一下电路，错在哪里？乙同学发现只要改接一根导线就可以，请把接错的那根导线找出来，画上“×”，再用笔画线把它改到正确的位置上。

4 在探究电流与电压的关系和探究电流与电阻的关系时，可以采用相同的电路（图17.1-8），但操作过程不同。请分别写出这两个实验的具体操作过程。

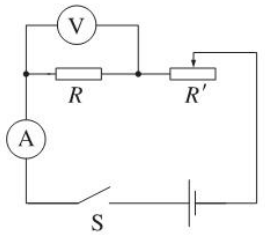


图17.1-8

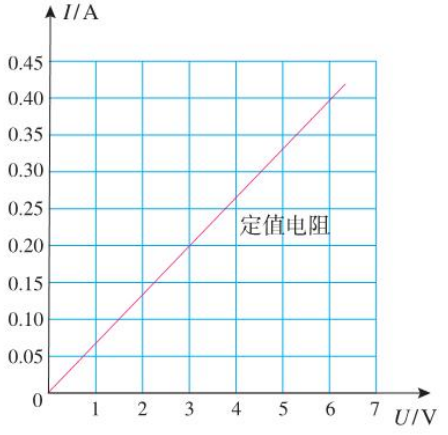


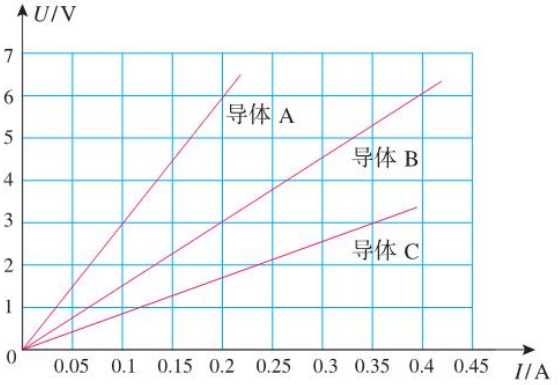
图17.1-9

5 某同学完成“探究电阻一定时电流与电压的关系”的实验后，得到如图17.1-9所示的I-U图像。根据图像回答以下问题。

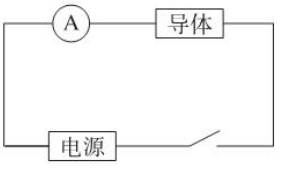
（1）当定值电阻两端的电压为3 V时，通过它的电流是多少？

（2）如果通过定值电阻的电流是1 A，它两端的电压是多少？

6 图17.1-10甲是分别探究导体A、B、C两端电压与所通过电流的关系时所得到的实验图像，现在把它们分别接在图17.1-10乙中导体的位置上，电源电压为3 V。请判断哪个导体接入电路时电流表的示数最大，哪个导体接入电路时电流表的示数最小。你的判断依据是什么？



甲



乙

图17.1-10

第2节 欧姆定律

问 题

通过上节的探究可以发现，通过导体的电流跟导体两端的电压成正比、跟导体的电阻成反比。这是不是普遍规律呢？



图17.2-1 欧姆（G. S. Ohm，1789—1854）

人们经过进一步的研究发现，对大多数导体而言，上面的规律是成立的，并归纳得出了下面的定律。

导体中的电流，跟导体两端的电压成正比，跟导体的电阻成反比。

如果用U表示导体两端的电压，R表示导体的电阻，I表示导体中的电流，那么用公式表示就是

$$I=\frac{U}{R}$$

其中U的单位为伏特（V），R的单位为欧姆（Ω），I的单位为安培（A）。

实际上早在19世纪20年代，德国物理学家欧姆（图17.2-1）就对电流跟电阻和电压之间的关系进行了实验和理论研究，得出了上面所述的规律。为了纪念欧姆，人们把上面的规律称为**欧姆定律**（Ohm's law）。

例 题

如图17.2-2所示，闭合开关后，电阻为R的电阻器两端电压为6 V，通过电阻器的电流为0.3 A。

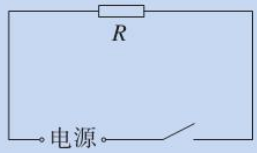


图17.2-2　例题电路图

（1）计算电阻器的电阻R。

（2）调节电源电压，当电阻器两端电压变为原来的2倍时，通过电阻器的电流为原来的几倍？

解　（1）电阻器两端电压U=6 V，通过的电流I=0.3 A。

根据欧姆定律，可以得出电阻器的电阻

$$R=\frac{U}{I}=\frac{6\text{ V}}{0.3\text{ A}}=20\ \Omega$$

（2）根据欧姆定律，当电阻不变、电压变为原来的2倍时，通过电阻器的电流为原来的2倍。

科学世界

酒精测试仪

根据世界卫生组织的统计，50%~60%的交通事故与酒后驾驶有关。我国刑法规定，从2011年5月1日起，驾驶员醉酒后驾车要负刑事责任。目前，世界大多数国家都采用呼气式酒精测试仪（图17.2-3）对驾驶员进行现场检测。

有一种酒精测试仪中装有酒精气体传感器。酒精气体传感器是一种气敏电阻，它的阻值随酒精气体浓度的变化而变化，从而引起电路中电流和电压的变化。这样测试仪就能显示出驾驶员呼出的酒精气体浓度。



图17.2-3　一种呼气式酒精测试仪

练习与应用

1. 一个电熨斗的电阻是80 Ω，接在电压为220 V的电路中，通过它的电流是多少？
2. 一个定值电阻的电阻是10 Ω，使用时通过的电流是200 mA，加在这个定值电阻两端的电压是多大？
3. 某小灯泡工作时两端的电压是2.5 V，用电流表测得此时的电流是300 mA，该小灯泡工作时的电阻是多少？
4. 图17.2-4是某同学在探究电流与电压的关系时，根据实验数据画出的I-U图像。他实验时使用的电阻器的电阻是多大？

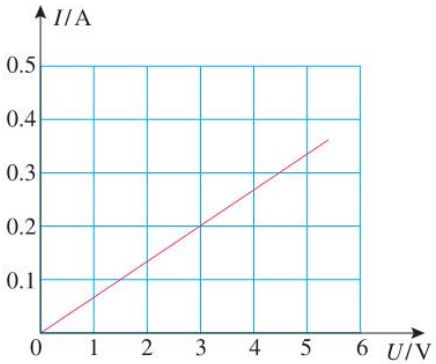


图17.2-4

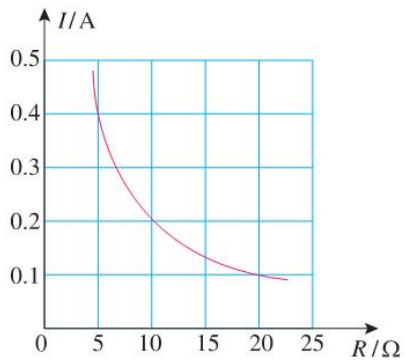


图17.2-5

5. 图17.2-5是某同学在探究电流与电阻的关系时，根据实验数据画出的I-R图像。实验时控制的电压是多大？
6. 某同学认为："由$I=\frac{U}{R}$变形可得$R=\frac{U}{I}$。这就表明，导体的电阻R跟它两端的电压成正比，跟电流成反比。"这种说法对吗？为什么？

第3节 电阻的测量

问 题

如图17.3–1所示，实验室里有一个电阻器。如果你不知道它的电阻，用什么办法可以测量得到呢？



图17.3–1 电阻器

根据上节学过的欧姆定律我们知道，可以通过测量电阻器两端的电压和通过的电流来间接地测量电阻器的电阻。这种测量电阻的方法，有时简称为伏安法。

实 验

用电流表和电压表测量电阻

实验思路

根据伏安法测量电阻的原理设计电路，通过测量电阻器两端的电压和通过的电流，利用欧姆定律算出电阻。

为了减小误差，实际测量中要改变待测电阻器两端的电压，多次测量电压及电流，并分别算出相应的电阻，最后求出电阻的平均值。也可以用图像处理的方法求出电阻。

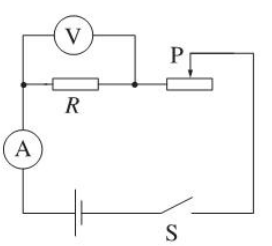


图17.3–2 测量电阻的电路

你觉得应该怎样改变电阻器两端的电压？可以采用如图17.3–2所示的电路，用滑动变阻器来改变待测电阻器两端的电压。

实验过程

1. 按图17.3-2把待测电阻器、电压表、电流表及滑动变阻器等接入电路。注意选择电压表和电流表的适当测量范围。

2. 使用滑动变阻器之前要先想好，朝哪个方向移动滑片时电路中的电流变大。闭合开关之前应该先移动滑动变阻器的滑片，使电路中的电流在开始测量时最小。改变滑动变阻器滑片的位置，多测几组电压、电流数据。

3. 将测量的数据记录在自己设计的表格中。

4. 根据每组数据算出相应的电阻，然后求出电阻的平均值，得到电阻器的电阻。

想想做做

将上述实验中的电阻器换成小灯泡，用同样的方法测量小灯泡的电阻。多测几组数据，根据实验数据分别计算出小灯泡的电阻，比较计算出的几个数值。每次算出的电阻相同吗？有什么变化规律吗？

如果出现的情况和测量电阻器的电阻时不同，你如何解释？与同学交流一下。

拓展实验

数字多用表

电流可以用电流表测量，电压可以用电压表测量，那么电阻的大小是否能用仪器直接测量呢？

图17.3-3是一种数字多用表，可以用它测量电阻。

1. 观察多用表，猜猜哪个挡位是测量电阻的。阅读说明书，看看你的猜测是否正确。用这个数字多用表测一测小灯泡通电前的电阻是多少，与前面实验测



图17.3-3 数字多用表

得的数据比较一下。

2. 说明书给出的一些参数如表格所示。观察这些参数，并选择合适的挡位，用数字多用表测一下干电池两端的电压。

基本功能	测量挡位
直流电压	200 mV、2 V、20 V、200 V、1 000 V
交流电压	2 V、20 V、200 V、750 V
直流电流	20 μA、200 μA、2 mA、20 mA、200 mA、20 A
交流电流	2 mA、20 mA、200 mA、20 A
电阻	200 Ω、2 kΩ、20 kΩ、200 kΩ、2 MΩ、20 MΩ
电容	20 nF、2 μF、200 μF
工作温度	0~40 ℃

练习与应用

1 图 17.3-2 是用伏安法测量电阻的电路图。

（1）根据电路图，用笔画线表示导线，将图 17.3-4 所示的实物连接起来。

（2）读出图 17.3-5 所示电流表和电压表的示数。

（3）算出被测定值电阻的电阻测量值。

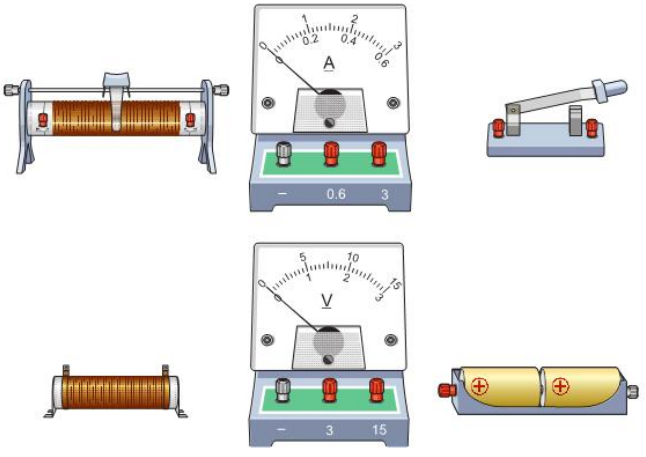


图17.3-4

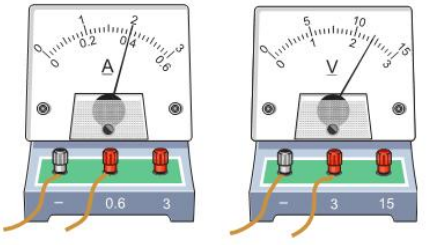


图17.3-5

2 一个小灯泡上标着“2.2 V　0.25 A”，表明这个小灯泡正常工作时的电阻是 8.8 Ω。图 17.3-6 是某同学为测量这个小灯泡的电阻而连接的实验电路。他的连接有三处错误，请你指出分别错在哪里，并改成正确的连接。

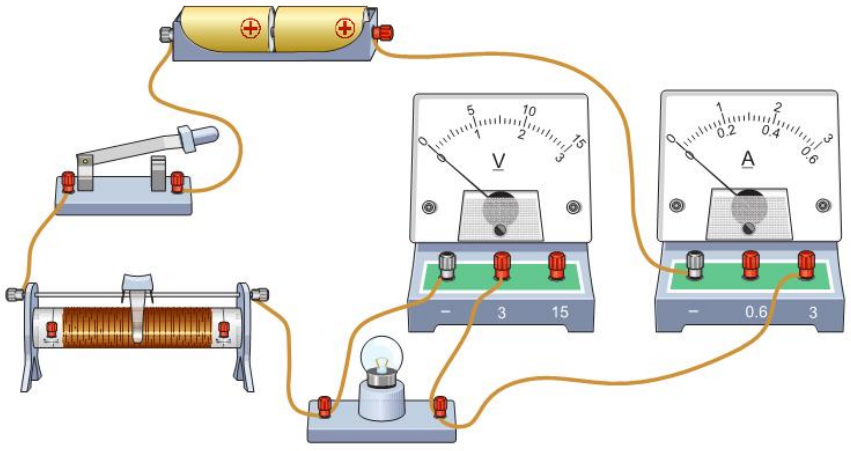


图17.3−6

❸ 在测量标有电压为2.5 V的某小灯泡电阻的实验中，第一次测量时的电压等于2.5 V，小灯泡正常发光，以后调节滑动变阻器，让电压逐次下调，使灯丝温度不断降低，小灯泡变暗直至完全不发光。测量的数据如下表所示。

数据序号	1	2	3	4	5	6	7
电压U/V	2.5	2.1	1.7	1.3	0.9	0.5	0.1
电流I/A	0.28	0.26	0.24	0.21	0.19	0.16	0.05
电阻R/Ω	8.9						

（1）请你根据表中电压和电流的数据，计算每次小灯泡的电阻，填在表格中。

（2）对比不同电压下小灯泡的电阻，你有什么发现？把你的发现变成一句具有概括性的结论。

❹ 某同学用伏安法测量通过盐水柱的电流和其两端的电压，表格中是他记录的实验数据，根据实验数据在坐标系中描绘的点如图17.3−7所示。

数据序号	1	2	3	4	5	6
电压U/V	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.6
电流I/A	0.10	0.12	0.16	0.18	0.20	0.25

（1）请你帮他完成$U-I$图像。

（2）通过分析实验数据和图像，判断欧姆定律是否适用于盐水。请说明理由。

（3）实验所用盐水柱的电阻是多少？

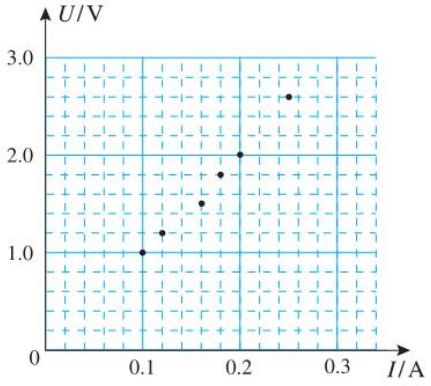


图17.3−7

第4节 欧姆定律在串、并联电路中的应用

问 题

欧姆定律是电学的基本定律之一，应用非常广泛。实际电路虽然比较复杂，但是往往可以简化为串联电路、并联电路或它们的组合。我们如何运用欧姆定律解决串联和并联电路中的问题呢？

例题 1

为开展科技活动，某同学设计了一个用开关S_2控制电阻为R_1的电阻器两端电压的工作电路，如图17.4−1所示，电源电压为18 V。此外，利用实验测得通过电阻为R_1的电阻器的电流与其两端电压的关系如图17.4−2所示。

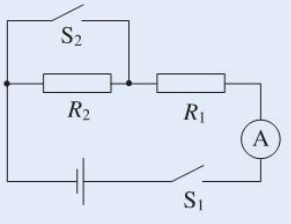


图17.4−1 例题1的电路图

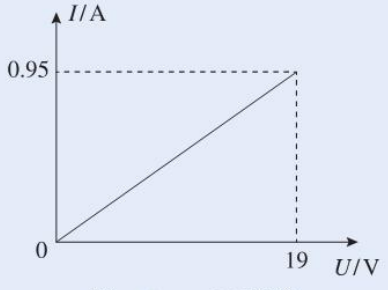


图17.4−2 I−U图像

（1）电阻R_1是多少？

（2）闭合开关S_1，要使开关S_2断开时电阻为R_1的电阻器两端的电压变为16 V，另一个电阻器的电阻R_2应为多少？

解 （1）从图17.4−2可知，电阻为R_1的电阻器两端的电压U'为19 V时，通过它的电流I'为0.95 A。由欧姆定律可得

$$R_1=\frac{U'}{I'}=\frac{19\ \text{V}}{0.95\ \text{A}}=20\ \Omega$$

（2）S_2断开后，电阻为R_1的电阻器两端的电压U_1为16 V。根据欧姆定律，此时通过电阻为R_1的电阻器的电流

$$I_1=\frac{U_1}{R_1}=\frac{16\ \text{V}}{20\ \Omega}=0.8\ \text{A}$$

由于S_2断开时电阻为R_1的电阻器和电阻为R_2的电阻器是串联的，因此它们两端的电压之和等于电源电压U。此时电阻为R_2的电阻器两端的电压

$$U_2=U-U_1=18\ \text{V}-16\ \text{V}=2\ \text{V}$$

因为串联电路中各处的电流相等，所以此时通过电阻为R_2的电阻器的电流

$$I_2=I_1=0.8\ \text{A}$$

由欧姆定律可得

$$R_2=\frac{U_2}{I_2}=\frac{2\ \text{V}}{0.8\ \text{A}}=2.5\ \Omega$$

例题 2

如图17.4-3所示，一个电阻器的电阻R_1为10 Ω，开关S_1闭合、S_2断开时，电流表的示数为1.2 A，再把S_2闭合后，电流表的示数变为1.5 A。

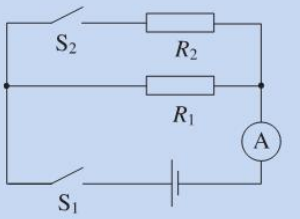


图17.4-3　例题2的电路图

（1）开关S_1闭合、S_2断开时，电阻为R_1的电阻器两端的电压是多少？

（2）另一个电阻器的电阻R_2是多少？

解　（1）开关S_1闭合、S_2断开时，电流表的示数等于通过电阻为R_1的电阻器的电流I_1。由欧姆定律可得此时电阻为R_1的电阻器两端的电压

$$U_1=I_1R_1=1.2\ \text{A}\times 10\ \Omega=12\ \text{V}$$

（2）由于两个电阻器是并联的，它们两端的电压相等，即$U_2=U_1=12$ V，且电流表的示数等于通过两个支路的电流之和I，因此S_2闭合后通过电阻为R_2的电阻器的电流

$$I_2=I-I_1=1.5\ \text{A}-1.2\ \text{A}=0.3\ \text{A}$$

由欧姆定律可得

$$R_2=\frac{U_2}{I_2}=\frac{12\ \mathrm{V}}{0.3\ \mathrm{A}}=40\ \Omega$$

欧姆定律公式中的电压、电流、电阻是对同一个研究对象而言的，因此在应用欧姆定律解决问题的时候，必须明确：公式中的三个量是不是这个研究对象的？而串、并联电路中的电流关系、电压关系，描述的是不同研究对象之间的相互联系。

在解决串、并联电路的问题时，我们可以先选择某个导体为研究对象，用欧姆定律求解通过它的电流或它两端的电压，再通过该导体与其他导体的串、并联关系求得题目的答案。我们也可以先通过两个导体的串、并联关系求得通过某一个导体的电流或它两端的电压，再以该导体为研究对象，用欧姆定律求解题目的答案。

练习与应用

1. 把电阻分别为5 Ω、15 Ω的两个电阻器和一个电流表串联起来，接在电源上。电流表的示数是0.3 A，电源的电压是多少？

2. 把电阻分别为R_1与R_2的两个电阻器并联后接入电路，两端所加的电压为24 V。如果R_1为80 Ω，通过电阻为R_2的电阻器的电流为0.2 A，电路中的总电流是多少？电阻R_2是多少？

3. 有一个电阻是40 Ω的电阻器，允许通过的最大电流是0.2 A。若将它接在20 V的电源上，它能正常工作吗？为使它正常工作，应串联一个电阻是多大的电阻器？

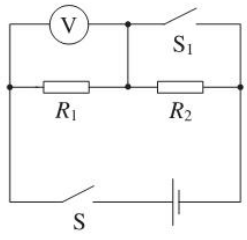


图17.4-4

4. 如何用一个电压表和一个已知电阻的电阻器来测量某个电阻器的电阻？某同学设计了如图17.4-4所示的电路。实验时，已知R_1为40 Ω。闭合开关S、断开S_1时电压表的示数是2.0 V，闭合S_1时电压表的示数是2.8 V。整个实验过程中，电源的电压不变，求待测电阻器的电阻R_2。

复习与提高

❶ 如图17–1所示，A、B是两位同学做实验时根据实验数据画出的I–U图像。他们所用的电阻器的电阻分别是多少？

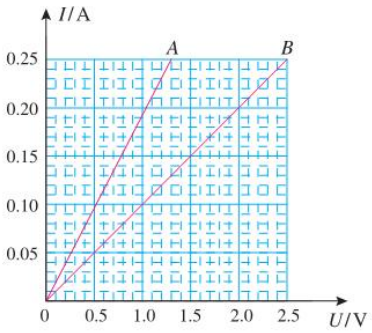
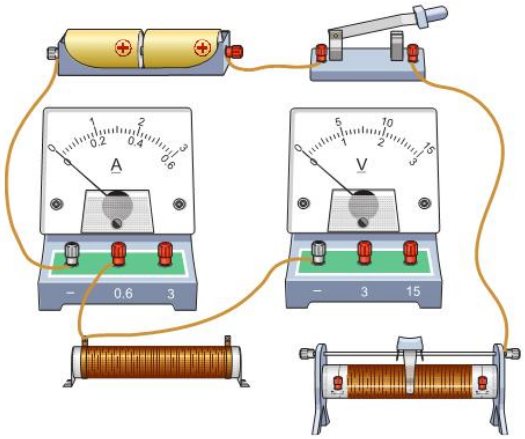


图17–1

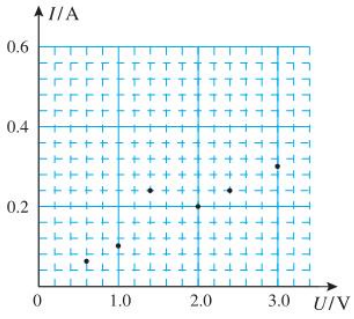
❷ 某同学用图17–2甲所示的器材探究电阻一定时电流与电压的关系，根据实验数据在坐标系中描出的点如图17–2乙所示。

（1）请用笔画线表示导线，把图17–2甲的实物电路连接完整。

（2）请你帮助他在图17–2乙中画出I–U图像，在作图时应注意什么？



甲



乙

图17–2

❸ 甲同学和乙同学做“探究电压一定时电流与电阻的关系”的实验时，记录的实验数据如下所示。

甲同学的实验记录

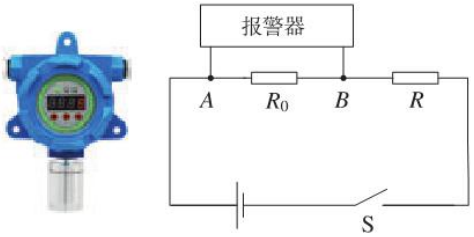
数据序号	1	2	3	4	5
电阻R/Ω	5	10	15	20	25
电流I/A	0.50	0.24	0.16	0.12	0.10

乙同学的实验记录

数据序号	1	2	3	4	5
电阻R/Ω	5	10	15	20	25
电流I/A	0.40	0.20	0.14	0.10	0.08

甲同学和乙同学在实验时，定值电阻两端的电压分别是多少？说说你判断的依据。

❹ 图17–3甲所示的是一种家用天然气泄漏检测仪，其内部简化电路图如图17–3乙所示，工作电压为4.5 V，定值电阻的电阻R为100 Ω，天然气气敏电阻的电阻是R_0。当报警器两端的电压达到3 V时报警，此时R_0是多少？



甲　　乙

图17–3

❺ 将一个定值电阻接到电压为6 V的电源上，通过定值电阻的电流是0.4 A，定值电阻的电阻是多少？若把一个电阻为50 Ω的定值电阻换接到这个电源上，通过它的电流是多少？

❻ 已知通过一个电阻为242 Ω的灯泡的电流是0.91 A。如果在灯泡两端再并联一个电阻为165 Ω的电烙铁，那么并联电路的总电流变为多大？

❼ 如图17–4所示，某同学用滑动变阻器改变小灯泡的亮度。已知所用电源是两节新的干电池，小灯泡正常发光时两端的电压为2.5 V，通过的电流为0.3 A，此时滑动变阻器接入电路中的电阻是多少？为防止小灯泡被烧毁，移动滑片时应注意观察什么？

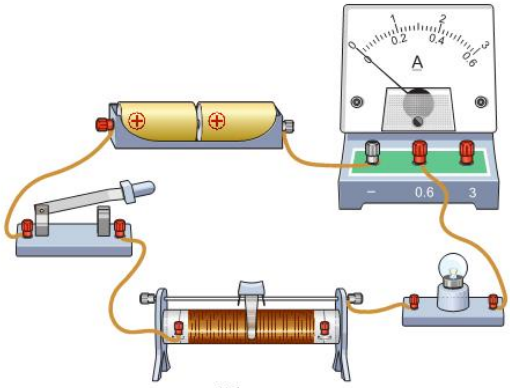


图17–4

❽ 图17–5是一种能在家中使用的移动插座，其指示灯为一个发光二极管。发光二极管正常工作时两端的电压为2 V，通过的电流为10 mA。为了使指示灯正常工作，需要串联一个电阻器，这个电阻器的电阻应为多大？



图17–5

❾ 请应用欧姆定律和串、并联电路的电流、电压规律，推导下面的结论。

（1）在由两个导体组成的串联电路中，导体两端的电压与它们的电阻成正比。

（2）在由两个导体组成的并联电路中，通过导体的电流与它们的电阻成反比。

❿ 电流表的电阻非常小，它是跟被测对象串联的；电压表的电阻非常大，它是跟被测对象并联的。请用欧姆定律说明：如果电流表跟用电器并联，电压表跟用电器串联，将会产生什么后果？

第十八章　电功率

从林海雪原到江南水乡，从大漠戈壁到东海之滨，我国的高速铁路横跨江河湖泊、穿越崇山峻岭、通达四面八方，深刻地改变了人们的生活和出行方式。在京沪高铁、京津城际铁路、成渝高铁等线路上，复兴号动车组已达到350 km/h的商业运营速度。

牵引供电系统是高速铁路运输的动力来源，复兴号动车组一小时消耗的电可以让一台家用空调工作约一年。我们怎样计算用电器消耗了多少电能？



第1节　电能　电功

问题

巨大的门式起重机通电后正常工作，就能够将集装箱吊起，再准确地放到列车上（图18.1-1）。集装箱被吊起后重力势能增加，增加的重力势能从何而来？



图18.1-1　门式起重机

电能

门式起重机通电后电动机转动起来，就可以把集装箱吊起。在这个过程中电源提供了**电能**（electric energy），电动机将一部分电能转化为集装箱的重力势能。生活中电能的利用无处不在。电灯把电能转化为光能，为我们照明；电动机把电能转化为动能，使电力机车飞驰；电热水器把电能转化为内能，使水升温……

同学们可能听父母说过上个月家里用了多少“度”电。这里说的“度”，就是电能的单位，它的学名叫作**千瓦时**，符号是kW·h。在物理学中，常用的能量单位是焦耳。1千瓦时比1焦耳大得多，它们之间的关系是

$$1\ \text{kW}\cdot\text{h}=1\times10^{3}\ \text{W}\times3\ 600\ \text{s}=3.6\times10^{6}\ \text{J}$$

我们使用的电主要由电网提供，不同家庭的用电



图 18.1-2　一种电能表

量往往不同。供电单位通过电能表来计量每家消耗的电能。图 18.1-2 是一种电能表，电能表可以显示从表开始计数到读数时为止用户消耗的电能。为了计量一段时间内消耗的电能，要记录这段时间起始和结束时电能表上计数器的示数，两次示数之差就是这段时间内的用电量。例如，家中电能表在上周一的示数是 3 246.8 kW · h，本周一的示数是 3 265.4 kW · h，这周家里的用电量就是 18.6 kW · h。在实际生活中，为了计算电费方便，读数时常常只读整数，略去小数。

电功



图 18.1-3　一种电热取暖器

电能可以转化成其他形式的能量。电能转化为其他形式的能的过程也可以说是电流做功的过程，有多少电能发生了转化就说电流做了多少功，即**电功**（electric work）是多少。例如，电动机工作时，我们可以说电能转化成了机械能，也可以说电流做功使电动机能够向外输出机械能；电热取暖器（图 18.1-3）工作时，可以说电能转化成了内能，也可以说电流做功使电热取暖器的内能增加……在日常生活中，我们常说消耗了多少电能，也可以说此过程中电流做了多少功。

电流做功的多少与哪些因素有关呢？

容易想到，用电器工作时，通电时间越长，电流做功就越多。电流做功的多少还跟电流的大小和电压的高低有关，加在用电器两端的电压越高、通过的电流越大，电流做功也越多。研究表明，当电路两端的电压为 U，电路中的电流为 I，通电时间为 t 时，电功 W（或者说消耗的电能）为

$$W=UIt$$

当用电器两端的电压为1 V，通过用电器的电流为1 A，通电时间为1 s时，用电器消耗的电能为1 J，电流做的功也是1 J。

练习与应用

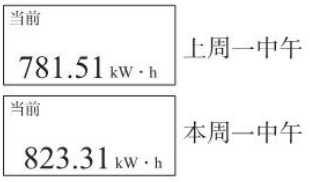


图18.1-4

1. 某同学家中一周前、后电能表示数如图18.1-4所示，他家所在地区每度电的费用是0.6元，请你估算他家每个月需要付多少电费。记下你家电能表今天的示数，和一周后的示数对比。根据你家所在地的电费标准，估算一个月应交多少电费。
2. 在一个小灯泡的两端加2.5 V电压时电流是0.3 A，它在这种情况下通电2 min，电流做了多少功？消耗的电能是多少？
3. 有一块手机用的锂电池，铭牌上面标明电压为3.7 V，容量为4 600 mA·h（可以在4 600 mA电流下工作1 h）。它充满电后，大约储存了多少焦耳的电能？如果我们要了解一块锂电池充满电后所储存的电能，应该从铭牌上寻找哪些信息？
4. 某台灯正常工作时的电压为220 V，通过台灯的电流为0.04 A。台灯正常工作30 min，将消耗多少电能？

第2节 电功率

问题

电风扇（图18.2-1）利用扇叶的转动吹出了风，扇叶转动的机械能是通过电动机从电能转化而来的。把电风扇调到不同挡位，吹出的风有什么不同？电流通过电动机做功的快慢有什么不同？



图18.2-1 一台电风扇

电功率

我们知道功率表示做功的快慢。类似地，在物理学中用**电功率**（electric power）表示电流做功的快慢。电功率等于电功与完成这些电功所用的时间之比。电功率的单位和功率一样，也是瓦特。如果电功用W表示，完成这些电功所用的时间用t表示，电功率用P表示，则

$$P=\frac{W}{t}$$

将上节学过的电功$W=UIt$代入上式得

$$P=UI$$

不同用电器的电功率有所不同。家用电器的电功率一般不会很大。工农业中使用的用电器的电功率往往很大，这时就要用更大的单位——千瓦来表示。千瓦的符号是kW，它跟瓦的关系是

$$1\ \text{kW}=10^3\ \text{W}$$

将公式$P=\frac{W}{t}$变形后，可得到$W=Pt$，由此可以得到上节介绍的“千瓦时”：电功率为1 kW的用电器工作1 h所消耗的电能就是1 kW·h。

有时也需要用比瓦小的单位——毫瓦来表示电功率。毫瓦的符号是mW，它跟瓦的关系是

$$1\ \mathrm{W} = 10^3\ \mathrm{mW}$$

复兴号CR400动车组的电功率约为1万千瓦，神威·太湖之光超级计算机（图18.2-2）的电功率约为1.5万千瓦。图18.2-1所示的家用电风扇工作时，挡位由低到高对应的电功率分别为30 W、33 W、38 W，电冰箱、液晶电视的电功率一般是100~200 W，空调、电热水器的电功率通常是1 000~3 000 W。发光二极管的电功率约为50 mW。



图18.2-2　神威·太湖之光超级计算机

额定电压　额定功率

不同用电器的电功率一般不相同，同一个用电器在不同的电压下工作，它的电功率总是一样的吗？

演　示

小灯泡的电功率随电压变化

图18.2-3中小灯泡的螺口位置标有“2.5 V”，意思是小灯泡应在2.5 V电压下工作。如图18.2-4所示，我们用滑动变阻器控制小灯泡两端的电压，使小灯泡两端的电压分别等于、低于和略高于2.5 V，观察小灯泡的亮度，比较不同电压下小灯泡的电功率。

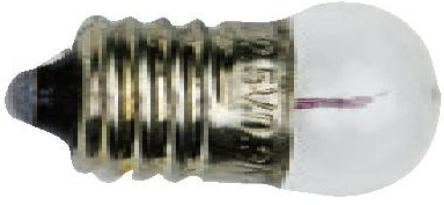


图18.2-3　小灯泡

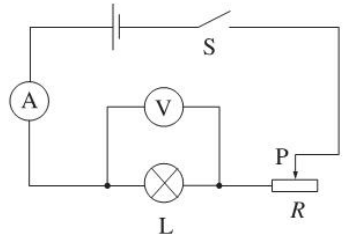


图18.2-4　改变小灯泡两端的电压

在不同的电压下，同一个小灯泡的亮度不同，电功率也不一样；小灯泡的电功率随着它两端的电压而改

变。既然如此，我们就不能泛泛地说一个用电器的电功率是多大，而要指明电压。用电器正常工作时的电压叫作**额定电压**（rated voltage），用电器在额定电压下工作时的电功率叫作**额定功率**（rated power）。



图18.2-5　一种稳压器

通常用电器的铭牌上标有额定电压和额定功率。电熨斗上标注的“220 V　500 W”，表示额定电压是220 V，额定功率是500 W。我们使用各种用电器时，一定要注意它们的额定电压，只有在额定电压下用电器才能正常工作。实际电压偏低，用电器的电功率低，不能正常工作。实际电压偏高，有可能损坏用电器。如果供电存在电压过低或过高等问题，就需要使用稳压器（图18.2-5）提供稳定的电压，使用电设备能正常工作。

例 题

某额定功率为1 800 W的电热水壶在220 V的额定电压下工作，加热一壶水至沸腾用了4 min。

（1）加热这壶水消耗了多少电能？

（2）加热时通过电热水壶的电流是多少？

解　（1）电热水壶的额定功率P =1 800 W，加热一壶水至沸腾的时间t=4 min，根据$P=\frac{W}{t}$可得消耗的电能

$$W=Pt=1\ 800\ \text{W}\times 240\ \text{s}=4.32\times 10^5\ \text{J}$$

（2）电热水壶的额定电压U=220 V，根据$P=UI$可得通过它的电流

$$I=\frac{P}{U}=\frac{1\ 800\ \text{W}}{220\ \text{V}}=8.2\ \text{A}$$

电功率的测量

电功率可以使用电力监测仪直接测量（图18.2-6），还可以通过测量用电器两端的电压和通过用电器的电流，由电功率公式$P=UI$计算得出。



图18.2-6　测量电功率

想想做做

把额定电压都为2.5 V的小灯泡和LED灯并联在电路中。闭合开关后，测量通过小灯泡和LED灯的电流和它们两端的电压，计算它们的电功率。

观察小灯泡和LED灯的发光情况，再结合它们的电功率看看哪种灯更节能。

练习与应用

1. 有甲、乙两个电热水壶，甲壶的容量为1 L，乙壶的容量为1.5 L。两壶各按上述容量烧开初温相同的一壶水，分别需要4 min和5 min，通过哪个电热水壶的电流做功快？为什么？
2. 1 kW·h的电能可以让一盏20 W的灯正常工作多长时间？
3. 一个电热水壶的铭牌上标着“220 V 1 000 W”的字样，它正常工作时，电流是多少？
4. 盛夏，某同学把空调的温度设置为26 ℃，发现空调的压缩机工作10 min后会停止5 min，之后再重新工作……周而复始。他从空调铭牌和说明书上获悉，压缩机制冷时空调的电功率为2 850 W，压缩机不工作时空调的电功率为150 W。空调正常运行时，每15 min消耗的电能是多少？
5. 一台“220 V 800 W”的电炉，正常工作时电炉丝的电阻有多大？假如电路中的电压降低到200 V，电炉丝的电阻不变，这时电炉实际的电功率有多大？
6. 某次雷电的电流约为2×10^4 A，电压约为10^6 V，放电时间约为0.001 s。这次雷电的电功率约为多少千瓦？释放了多少能量？

第3节 跨学科实践：为家庭节约用电提建议

项目提出

电能是生产生活中所需要的重要能源，我们要从身边的点点滴滴做起，注意节约用电。你的家中有没有浪费电的现象？请你了解家中的用电情况并提出节约用电的建议。

项目分析

要节约用电，首先要了解家中用电情况，然后才能提出有针对性的建议。具体任务如下。

1. 调查家中的用电情况。
2. 了解用电器的耗电情况。
3. 提出节约用电的建议。
4. 评估采纳节电建议后的效果。

项目实施

1. 调查家中的用电情况

我们可以通过电能表计算家中一段时间（例如一周）内消耗的电能，也可以通过上网等手段从电网公司直接了解家中每天或一段时间内消耗的电能。

2. 了解用电器的耗电情况

家中的电热水器、空调等用电器都会消耗电能。通

过设计表格等方法记录这些用电器的耗电情况，包括每天工作的时长、工作的状态、消耗的电能等。例如，对于电风扇就可以记录它每天工作的时长、处于的挡位等。

我们通过用电器的铭牌或说明书就能知道一个用电器工作时的电功率，再结合它的工作时间，就可以计算出它一天消耗的电能。

电热水器、空调等用电器的工作状态不同时，消耗的电能也不同。可以利用如图 18.3-1 所示的电力监测仪直接测量它们消耗的电能。



图 18.3-1　测量消耗的电能

3. 提出节电建议

根据调查结果，从用电器的使用时长、使用状态等角度，总结一些节约用电的建议。

例如，出门时应注意随手关灯；电热水器、电饭锅在保温或计算机在待机状态时也会消耗电能，若长时间不使用，应关闭电源；空调制热时温度设定太高或制冷时温度设定太低，就会消耗较多的电能，因此应合理设定空调温度，等等。

4. 评估节电建议的效果

总结节电建议，与家人商量后，按照节电建议实施一段时间，看看你家消耗的电能是否减少。若减少了，计算比采取节电措施前减少了多少。

展示交流

把家中的用电情况、节电建议以及实施效果整理后分享给其他同学，看看哪些同学的节电措施更全面、更有效。汇总同学们的发现、改进建议，形成一份综合性的研究报告，共同为家庭提供实用的节电建议。

第4节 焦耳定律

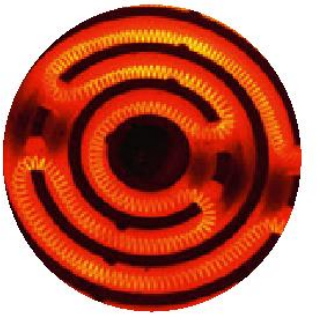


图18.4-1 通电的电炉丝

问题

电炉工作时，电炉丝通过导线接到电路里，为什么电炉丝热得发红（图18.4-1），而导线却几乎不发热？

电流的热效应

生活中，许多用电器接通电源后，都伴有热现象产生。电流通过导体时电能转化成内能，这种现象叫作电流的热效应。

电炉的电炉丝和导线中通过的电流相同，电炉丝热得发红，说明电炉丝的温度比导线高，电流在电炉丝上产生的热量更多。电流通过导体时产生热量的多少跟什么因素有关？

演示

电热与电阻的关系

如图18.4-2所示，两个透明容器中密封着等量的空气，U形管中液面高度的变化反映密闭空气温度的变化。两个密闭容器中都有一段电阻丝，右边容器中电阻丝的电阻比较大。

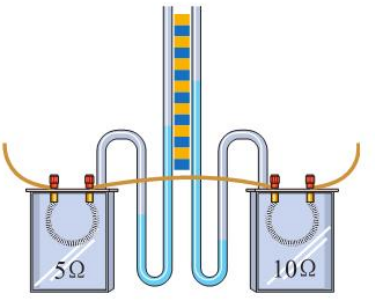


图18.4-2 电热与电阻的关系

两个容器中的电阻丝串联起来接到电源两端，通过两段电阻丝的电流相同。通电一定时间后，比较两个U形管中液面高度的变化。你看到的现象说明了什么？

实验表明：在电流相同、通电时间相同的情况下，一段电阻丝的电阻越大，这段电阻丝产生的热量越多。

演 示

电热与电流的关系

如图18.4–3所示，两个密闭容器中电阻丝的电阻一样大，在其中一个容器的外部，将另一段电阻丝与容器内的电阻丝并联，因此通过两个容器中电阻丝的电流不同。闭合开关，在通电时间相同的情况下，观察两个U形管中液面高度的变化。你看到的现象说明了什么？

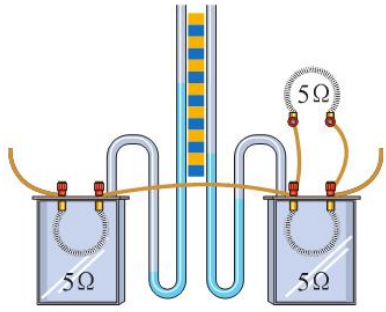


图18.4–3　电热与电流的关系

实验表明：在电阻相同、通电时间相同的情况下，通过一段电阻丝的电流越大，这段电阻丝产生的热量越多。

焦耳定律


图18.4–4　焦耳
（J. P. Joule，1818—1889）

英国物理学家焦耳（图18.4–4）做了大量实验，于1840年最先确定了电流通过导体产生的热量跟电流、电阻和通电时间的关系：**电流通过导体产生的热量跟电流的二次方成正比，跟导体的电阻成正比，跟通电时间成正比。**这个规律叫作**焦耳定律**（Joule's law）。

如果热量用Q表示，电流用I表示，电阻用R表示，通电时间用t表示，那么焦耳定律为

$$Q = I^2Rt$$

电流通过导体时，如果电能全部转化为内能，而没有同时转化为其他形式的能量，那么电流产生的热量Q就等于消耗的电能W，即$Q=W=UIt$。

再根据欧姆定律得出 $U=IR$，就得到 $Q=I^2Rt$。

可见，在消耗的电能全部用来产生热量的情况下，根据电功的公式和欧姆定律的公式推导出来的结论与焦耳定律一致。

如果用导线把电炉接到电路中，通过导线的电流全部通过电炉丝，导线中的电流跟电炉丝中的电流相等。通过前面的学习我们已经知道，导线的电阻很小，常见 1 m长的导线，电阻不过百分之几欧姆，而电炉丝的电阻为几十欧姆。所以，尽管通过的电流相等，电炉丝很热，而导线却不热。

若电流通过用电器，电能没有全部用于产生热量，例如电动机转动时消耗的电能大部分转化为机械能，则消耗的电能大于电流所产生的热量。

例 题

四个电阻器的电阻分别为 R_1、R_2、R_3、R_4。如图18.4-5甲所示，电阻为 R_1、R_2 的电阻器串联后接在电压为 U 的电路中；如图18.3-5乙所示，电阻为 R_3、R_4 的电阻器并联后也接在电压为 U 的电路中。已知 $R_1=R_3$，$R_2=R_4$，$R_1>R_2$。

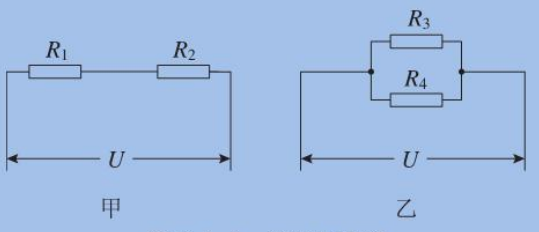


图18.4-5　例题电路图

（1）电阻为 R_1 和 R_2 的两个电阻器，在相同时间内哪个放出的热量多？

（2）电阻为 R_3 和 R_4 的两个电阻器，在相同时间内哪个放出的热量多？

解　（1）在串联电路中，通过电阻为 R_1 和 R_2 的两个电阻器的电流相等。根据焦耳定律 $Q=I^2Rt$，当 I、t 相同时，Q 与 R 成正比，由于 $R_1>R_2$，因此相同时间内电阻为 R_1 的电阻器放出的热量比电阻为 R_2 的电阻器多。

（2）在并联电路中，电阻为R_3和R_4的电阻器两端的电压相等。根据焦耳定律$Q=I^2Rt$和欧姆定律$I=\frac{U}{R}$，可得$Q=\frac{U^2}{R}t$。由公式可知，电压相同时，相同时间内导体放出的热量与它们的电阻成反比，且$R_3>R_4$，因此相同时间内电阻为R_4的电阻器放出的热量比电阻为R_3的电阻器多。

想想议议

额定电压相同的灯泡，额定功率越大，电阻越小，正常工作时单位时间内产生的热量越多。可是按照焦耳定律，电阻越大，单位时间内产生的热量越多。二者似乎有矛盾，这是怎么回事？

电热的利用和防止

生活中和许多产业中都要用到电热。家里的电热水器、电饭锅、电熨斗，养鸡场的鸡苗孵化器（图18.4-6），都是利用电热的例子。



图18.4-6　鸡苗孵化器

但是，很多情况下我们并不希望用电器的温度过高。过多的电热如果不能及时散失，会产生许多安全隐患。电子器件的工作温度直接决定其使用寿命和稳定性，要保证其稳定工作，就必须要有效地散热。例如，笔记本电脑通过安装风扇散热，一些手机利用铜片、石墨散热片、热管等散热。大数据服务器会产生大量电热，可通过多种方式进行散热（图18.4-7）。



图18.4-7　大数据基地的散热设备

练习与应用

1. 通过某电阻丝的电流为2 A时，测得它的电阻是2 Ω，该电阻丝1 min产生多少热量？
2. 一台额定功率是450 W的电饭锅，在额定电压下使用，1 min产生多少热量？
3. 一个电烙铁的额定电压是220 V，在额定电压下工作时的电阻是1 210 Ω，它的额定功率有多大？在额定电压下通电10 min产生多少热量？
4. 某校师生自制了一台电烤箱。电烤箱的电阻丝通过5 A的电流时，1 min可产生6.6×10^4 J的热量。求这台电烤箱的电功率和电阻丝工作时的电阻。
5. 一个电热水壶的容量为1 L，电功率为1 000 W，在标准状态下按上述容量烧开一壶初温为20 ℃的水，至少需要多长时间？
6. 电流的热效应有时对我们有益，我们利用它；有时对我们有害，需要减少电流导致的发热，或者尽快把发出的热散失掉。

   （1）列举两个生活或生产中利用电流热效应的实例。

   （2）列举两个生活或生产中为防止电流热效应产生危害而采取的措施。
7. 在家庭电路中，有时导线长度不够，需要把两根连接起来。有人把导线简单地拧在一起，这样会使得连接处电阻增大，导致连接处比别处容易发热，甚至引起火灾。这是为什么？

复习与提高

1. 某电动机铭牌上标有额定电压380 V、额定电流2.1 A。电动机正常工作1 min消耗的电能是多少？这些电能主要转化为什么形式的能？

2. 现在广泛使用的LED灯比荧光灯更节能。一盏与40 W的荧光灯亮度相同的某LED灯，功率只有18 W。把一盏40 W的荧光灯换成该LED灯，日均正常工作4 h，一年可以节约多少电能？

3. 某手机电池的容量为4 000 mA·h，可以理解为充满电的手机以4 000 mA的电流放电1 h，其电量显示将由100%下降为0。若该手机电量显示从80%降到70%的过程中，电池电压保持3.7 V不变，这个过程中消耗了多少电能？如果这些电能可以持续通话0.8 h或待机48 h，那么手机在通话和待机状态下的电功率之比是多少？

4. 图18–1是一种手持小风扇的铭牌。小风扇吹强风时以额定功率工作，它1.5 h消耗的电能是多少？如果这些电能可以让小风扇吹中等强度的风工作2.5 h，小风扇吹中等强度的风时电功率是多少？



图18–1

5. 图18–2模拟简易调光灯的调节过程。已知小灯泡的规格为“6 V　0.5 A”，电源电压为6 V。滑动变阻器滑片由最左端向右滑动时小灯泡逐渐变暗，当滑到最右端时电流表的示数为0.2 A。如果灯丝电阻不变，小灯泡实际电功率的范围是什么？

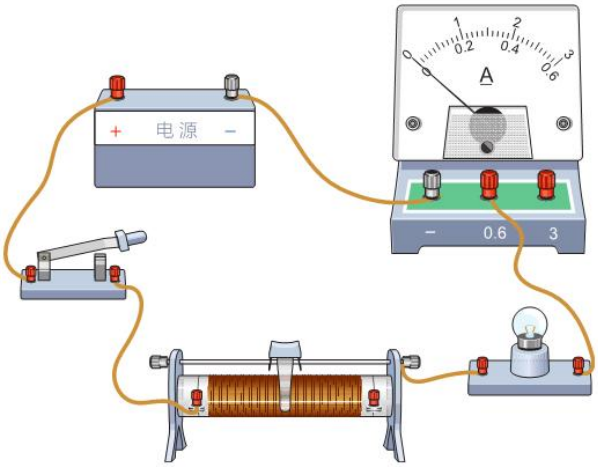


图18–2

⑥ 图18–3是一种电热水壶工作电路的示意图，其中电阻为R_1和R_2的电阻器都是用来加热的，S_1是总开关，S_2是挡位开关。当S_2接1时，电热水壶处于加热状态，电功率为1 100 W。当S_2接2时，电热水壶处于保温状态，此时电阻为R_1的电阻器的电功率为2.75 W。

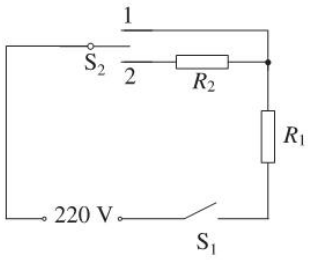


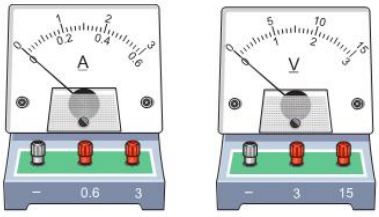
图18–3

（1）电阻R_1是多少？

（2）开关S_2接2时，电路中的电流是多少？

（3）电热水壶处于保温状态时的电功率是多少？

⑦ 某实验小组的同学用图18–4所示的器材测量小灯泡的电功率。已知待测小灯泡的额定电压为3.8 V，小灯泡的额定功率约为1.2 W。



（1）连接电流表时，应选用哪个测量范围？

（2）用笔画线表示导线，完成电路的连接。

（3）画出相应的电路图。

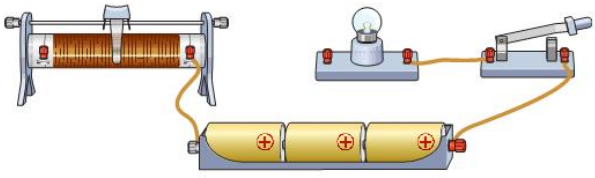


图18–4

⑧ 某同学看见机场有规定：“严禁携带额定能量超过160 W·h的充电宝搭乘飞机。”我们知道W是功率的单位瓦，h是时间的单位小时，所限定的160 W·h是指能量的大小。他带了一个充电宝，看见铭牌上写着“电池容量20 000 mA·h/3.7 V”。

（1）他能带这个充电宝搭乘飞机吗？

（2）假设把一个物体举高1 m所做的功恰好等于160 W·h，该物体的质量有多大？g取10 N/kg。

第十九章　生活用电

夜幕降临，华灯初上，璀璨的灯光点亮了一栋栋高楼大厦，夜晚的城市亮丽而温馨。下班了，放学了，一家人团聚在一起，看着电视，听着音乐，品尝着美食……

这样惬意的生活，电的作用功不可没！高压输电线翻山越岭，把电从遥远的发电厂送到城市和乡村的每个家庭。我们如何安全地享受电带来的便利？家庭中电路的设计非常重要。本章就让我们开启对安全用电及家庭电路的探索，并尝试提出你的电路设计方案。

第1节 安全用电

问 题

生活中，你有过同时使用多个用电器而断电的经历吗？是否遇到过用电器不慎进水后因接通电源而彻底损毁的情况？是否听说过触目惊心的触电事故？如何安全用电呢？

电给我们的生活带来了极大便利，但不规范用电却会带来很大危害，甚至会危及生命。影响家庭电路安全的常见用电问题有很多，例如用电器的总功率过大、短路和触电事故等。

电功率过大

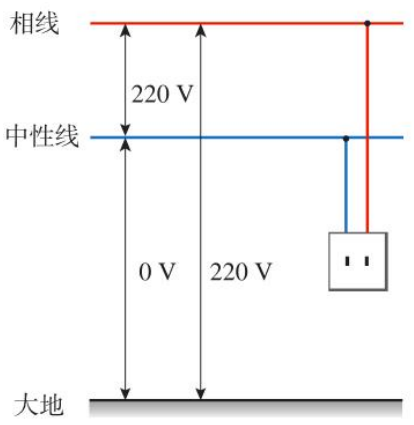


图19.1-1 家庭电路供电示意图

前几章我们做电学实验时，通常用干电池或学生电源来提供电能，而家庭中的电能一般是从发电厂通过输电线输送来的。我国家庭电路的电压是220 V，如图19.1-1所示，在进户的两条输电线中，一条叫作相线（用L表示），俗称火线；另一条叫作中性线（用N表示），俗称零线。

通常情况下，在家庭电路中，为了使各个用电器能够独立工作，各自的通断不影响其他用电器的通断，用电器采用并联的方式接在电路中。

根据电功率和电流、电压的关系式$P = UI$，可以得到$I = \frac{P}{U}$。家庭电路中的电压U是一定的，即$U =$ 220 V，所以电功率P越大，电路中的电流I就越大。

如果家里添置了新的大功率用电器，例如电热水器、空调，就可以用上面的公式估计一下通过它们的电流。由于各个用电器是并联的，家里用电线路上的总电流会随着用电器数量的增加而变大。因此，一定注意不要让总电流超过家里供电线路允许的安全值。即使每个用电器的电功率不算很大，但如果很多用电器同时使用，它们的总功率也会相当可观，电路中的总电流也可能超过安全值，导致线路故障，甚至发生火灾（图19.1−2）。



图19.1−2　用电器的总功率过大容易引发火灾

短路

家庭电路中有时会发生短路现象。例如，改装电路时不小心，使相线和中性线直接连通造成短路。电线绝缘皮被刮破，以及电线和用电器使用年限过长，导致绝缘皮破损（图19.1−3）或老化，也会使相线和中性线直接连通造成短路。用电器进水也会造成短路。

根据前面学过的知识可知，短路时电路中的电流非常大，会产生大量的热，使导线的温度急剧升高，很容易造成火灾。



图19.1−3　绝缘皮破损容易造成短路

触电事故

人体是导体。通常情况下，人的皮肤在干燥时电阻为10^3~10^5 Ω，在潮湿时皮肤的电阻会大幅降低。当成为闭合电路的一部分时，人体就会有电流通过。如果电流达

到一定值，就会发生触电事故。研究表明，电对人体造成的伤害程度与通过人体电流的大小及持续时间有关。



图19.1-4　高压电很危险

很低的电压不会对人体造成伤害。例如，我们可以用手直接接触1.5 V干电池的两极。加在人体两端的电压越高，通过人体的电流就越大，到一定程度就会有危险。我国家庭电路的电压是220 V，工厂用的动力电路的电压是380 V，输电线路的电压为10~1 100 kV，这些都远远超出了安全范围（图19.1-4）。人一旦触电，就会有生命危险。

如图19.1-5甲所示，假如人的一只手接触相线，另一只手接触中性线，于是导线、人体和电网中的供电设备就构成了闭合电路，大电流通过人体就会发生触电事故。

如图19.1-5乙所示，假如人的一只手接触相线，另一只手虽然没有接触中性线，但是由于人站在地上，相线、人体、大地和电网中的供电设备同样构成了闭合电路，因此电流同样会通过人体，从而发生触电事故。

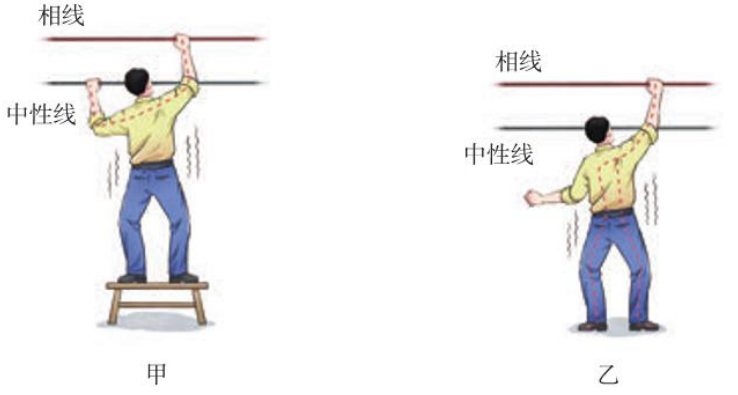


图19.1-5　低压触电

在触电事故现场，千万不要用手去拉触电的人，而是要立即安全地切断电源。切断电源后，必要时应该对触电者进行急救，同时尽快通知医务人员抢救。

家庭电路以外的防触电安全须知

防范高压触电 高压输电线路的电压高达几万伏甚至上百万伏，即使不接触也会有危险。高压带电体会在周围形成强大的电场，当人靠近时，容易产生电弧触电（图19.1-6甲）。

如果高压输电线掉落在地上，当人经过这个区域时，两脚之间存在相当高的电压，称之为跨步电压。这时电流从一条腿流入，从另一条腿流出，同样会发生触电事故（图19.1-6乙）。



甲　　乙

图19.1-6　高压触电

我们要远离高压带电体，比如不在高压输电线附近玩耍、钓鱼等。当发现有高压输电线掉落在地上时，千万不要靠近输电线落地点！一旦不小心跨入输电线落地点区域，可用单脚跳离或双脚并拢跳离等方法离开该区域，以避免构成闭合电路而发生触电事故。

注意防雷 雷电是大气中一种剧烈的放电现象。云层和大地之间的电压可达几亿伏，放电时的电流可达二十万安，产生很强的光和声。云层和大地之间的放电如果通过人体，能够立即致人死亡；如果通过树木、建筑物，巨大的热量和空气的振动都会使它们受到严重的破坏。

防雷的原理是为雷电提供一条低电阻的通道，或避免将自己连入雷电的通路中。高大建筑的顶端都有针状的金属物，通过很粗的金属线与大地相连，可以防雷（图19.1-7）。高压输电线最上面的两条导线也是用来防雷的（图19.1-8）。



图19.1-7　古建筑上加装的防雷装置



图19.1-8　高压输电铁塔上面有防雷导线

在雷电天气，人在开阔地行走时，不要举着雨伞或肩扛长的易导电物体，也不要在户外进行骑行等活动，更不可在大树下避雨。要及时进入室内躲避，或尽快躲入车内，并注意不要接触金属部分。

练习与应用

1. 如图19.1-9所示，在甲、乙两个电路中，当开关闭合后，输电线因电流过大而燃烧起来。甲、乙两个电路导致电流过大的原因是不同的，它们的原因各是什么？

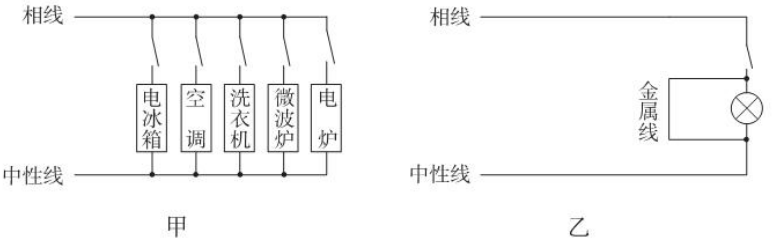
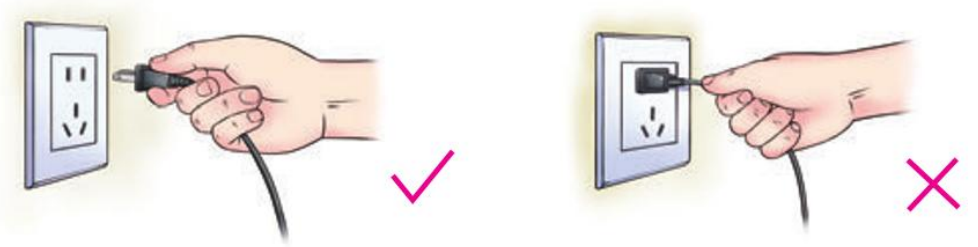


图19.1-9

2. 家庭常用的插线板如果使用不当，会存在安全隐患。假如你是生产厂家，请对用户写出三条安全使用插线板的建议。
3. 电焊利用电流的热效应将焊条熔化，从而使金属部件连接在一起。某电焊机输出电压为40 V、输出功率为2 000 W。各种橡胶绝缘铜芯导线在常温下的安全载流量（长时间通电时的最大安全电流）如下页表所示。从安全角度考虑，应选择哪种导线作为电焊机的输出导线？请计算后说明。

导线横截面积S / mm^2	2.5	4	6	10
安全载流量I / A	28	37	47	68

4 如图19.1−10所示，拔插头时要捏着插头把它从插座中拔出来，而不能拽着插头后面的电线把插头从插座中拔出来。如图19.1−10乙所示做法的安全隐患是什么？



甲　　乙

图19.1−10

5 观察如图19.1−5甲、乙所示的两种触电情况，说说它们的共同点。

6 请根据此节所学内容及生活中见到的实际情况，总结如何防止触电事故的发生。

第2节 家庭电路的基本组成

问 题

为了防范用电事故，家庭电路中一般设有哪些保护措施？相线和中性线是家庭电路的重要组成部分，如何辨别它们？家庭电路中还有哪些基本组成部分？

电流过大的防护

家庭电路中电流过大容易引发危险，有没有一种装置能在电流过大时自动切断电路以起到保护作用？

演 示

金属丝会熔断吗？

如图19.2-1所示，A、B两个接线柱间是一段铅锑合金丝，C、D两个接线柱间是一段铜丝。

移动滑动变阻器的滑片，当电阻减小时，电流增大，铅锑合金丝会熔断，而铜丝没有熔断。

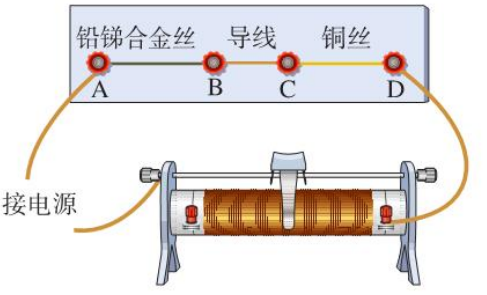


图19.2-1 观察金属丝的变化

长度、横截面积相同的铅锑合金丝的电阻比铜丝大得多，熔点比铜丝低得多。当电流过大时，铅锑合金丝由于温度升高而熔断，切断电路，起到保护电路的作用。而铜丝、铁丝等在这种情况下不能起到保护

作用。于是人们利用铅锑合金这类材料制成了熔断器（图19.2-2）中的核心部件（俗称保险丝）。

不同规格的保险丝有不同的额定电流。当通过保险丝的电流小于或等于额定电流时，电路正常工作；当通过保险丝的电流大于额定电流并达到或超过熔断电流时，保险丝熔断，从而切断电路。熔断器被广泛应用于高低压配电系统、控制系统以及用电设备中。



图19.2-2　熔断器

在很多居民楼的供电线路中，目前常采用低压断路器对电流过大的电路进行保护。图19.2-3所示的是一种常见的低压断路器，又称空气开关。当电路中的电流过大时，空气开关自动断开，切断电路，也就是我们常说的“跳闸”。在找出电流过大的原因并把问题解决之后，重新接通空气开关就可以了。



图19.2-3　一种常见的低压断路器

相线和中性线的辨别

由前面家庭电路中常见触电事故的分析可知，人体接入相线与中性线之间，或人体接入相线与大地之间，都会造成触电事故。因此，在家庭电路中，知道进户线中哪条是相线、哪条是中性线非常重要。常用的方法是用测电笔来判断。

一种测电笔的构造如图19.2-4所示。氖管中充有稀薄的氖气，两端是两个金属电极。当电极间的电压达到一定值时，氖气会导电，氖管会发出红光。

使用时，手指按住金属笔卡，用笔尖接触被测的导线（手指千万不能碰到笔尖）。如果被测导线是相线，电流经过笔尖、电阻器、氖管、弹簧，再经过人体流入大地，相当于构成闭合电路，氖管就会发光。

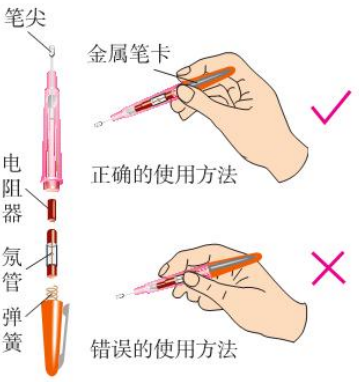


图19.2-4　一种测电笔及其使用方法



图19.2-5　螺丝刀式测电笔

测电笔通常也用来检查电气设备的外壳是否带电。

如果笔尖接触的是中性线，氖管中不会有电流，也就不会发光。

测电笔中电阻器的作用十分重要。氖管发光只需很小的电流，所以要在测电笔的电路中串联一个电阻很大的电阻器，其电阻约有一百万欧姆。由于电流很小，所以使用测电笔时尽管有电流通过人体，但人并没有感觉，也不会对人造成伤害。

另一种常见的测电笔形状如螺丝刀（图19.2-5），使用时要用指尖抵住上端的金属帽。

其他常见的测电笔还有LED彩光测电笔、数显式测电笔等。用这些测电笔辨别相线时，同样需要注意安全，手指切不可接触笔尖处的金属部分。

想想议议

如图19.2-6所示，额定电压为220 V的电灯要能正常工作且需要开关控制通断，请从安全角度思考：应该如何将电灯和开关接入家庭电路中？

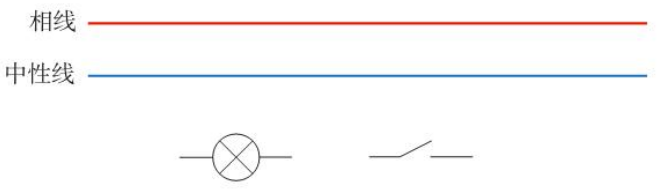


图19.2-6　将电灯和开关正确接入家庭电路中

用测电笔辨别出相线后，开关接入电路的方式有两种：一种是相线先连接开关，再连接电灯后与中性线相接；另一种是相线先连接电灯，再连接开关后与中性线相接。在维修、安装电灯时，手有可能会碰到灯座的金属部分或接线处，因此从安全角度考虑，控制电灯的开关要连接在相线和电灯之间。这样断开开关后，电灯接

线处与相线断开，从而避免触电事故。

保护线与漏电保护器的作用

家中有的插座有两个孔，一个孔接中性线，另一个孔接相线。有的插座有三个孔，相应的插头有三个脚。多出来的孔和脚是做什么用的呢？

如图19.2-7所示，在三孔插座中，除两个孔分别接相线和中性线外，还有一个孔是跟大地连接的，也就是接在保护线（用PE表示，俗称地线）上。用电器上三脚插头的“①”脚是与用电器的金属外壳接通的。这样，当把三脚插头插在三孔插座里，在把用电器连入电路的同时，也把金属外壳与大地连接起来。万一用电器内部相线绝缘皮破损或失去绝缘性能，使金属外壳与相线接通而带电，电流也会从保护线流走，即使人体接触外壳，一般情况下也不会造成伤害。

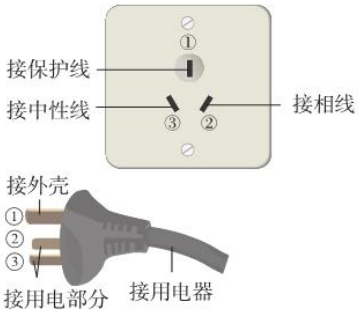


图19.2-7　三孔插座和三脚插头

虽然家用电器外壳接地对人有一定的保护作用，但是发生故障时并不能保证电路被及时断开，潜在的危险依然存在。一些家庭电路中还会在此基础上安装漏电保护器（图19.2-8），它也是一种断路器。在出现以上漏电情况时，它会迅速切断电路。如果站在地上的人不小心接触了相线，电流经过人体流入大地，漏电保护器也会迅速切断电路，对人身起到保护作用。


图19.2-8　漏电保护器

家庭电路的基本组成

通过前面的学习，我们已经了解到怎样解决家庭电路中电流过大的问题，以及如何避免家庭电路中的触电事故。请根据家庭用电的实际情况，综合考虑用电安全

等各方面因素，想一想：家庭电路应该有哪些基本组成部分？它们各自的功能是什么？

图19.2-9是简化了的家庭电路，由进户线、电能表、总开关（含保险装置）、插座、用电器、导线等组成。

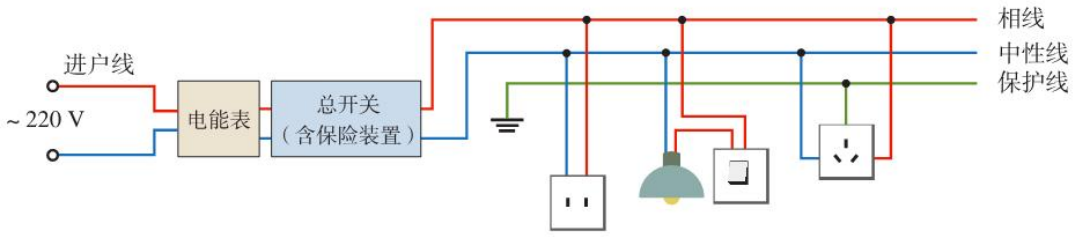


图19.2-9　家庭电路简化图

输电线进户后首先接到电能表上，电能表用来计量所消耗的电能，接下来是全户用电的总开关，如断路器等。当家庭电路需要修理时，必须断开总开关，这时室内全部电路与外面的输电线分离，可以保证施工人员的安全。

在电能表、总开关之后，可以连接用电器。电路中还可以安装插座，许多家用电器可以接在插座上。

为了能够更加合理、安全地分配电能以及方便用户维修操作，有的家庭还设有室内配电箱（图19.2-10）。根据实际用电需求，可将家庭电路规划为若干分支回路，由配电箱将导线引入各个房间内，进行供电。



图19.2-10　配电箱

想想议议

一种典型的家庭电路配电分支回路的设计方案如图19.2-11所示。结合你所掌握的家庭电路知识，你能说一说图中设计了几条分支回路吗？每条分支回路的主要用途有哪些？

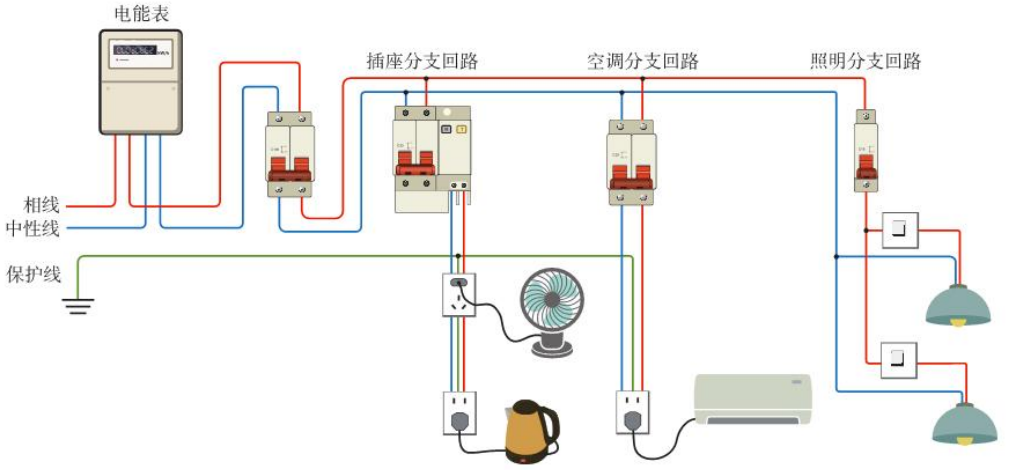


图19.2-11　家庭电路配电示意图

图19.2-11中的家庭电路分成了三条分支回路。将照明与插座分为两条分支回路；考虑到空调功率较大且用电时间较长，将空调插座与其他插座分开，另成一条专用分支回路。每条分支回路都有专门的开关控制通断，例如，在照明分支回路采用了空气开关，在插座分支回路加装了漏电保护器。当插座分支回路出现故障而被切断时，照明等其他分支回路不会受到影响。

还有一些更复杂的配电设计，例如会结合实际使用需求等因素，将卫生间、厨房等房间的插座另成回路，且加装漏电保护器，形成更多的分支回路，各分支回路之间互不影响。

练习与应用

1. 为什么要求保险丝的熔点较低、电阻较大？

2. 图19.2-12是某测电笔的外形图，A、B、C、D所指的部位如图中标注所示。

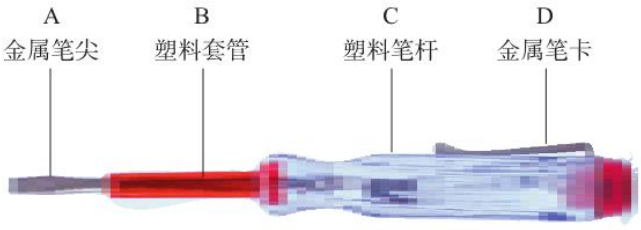


图19.2-12

（1）用测电笔辨别某裸露导线是相线还是中性线时，应该用手握着测电笔的哪个部位？用测电笔的哪个部位接触导线？依据什么现象判断裸露的导线是中性线还是相线？

（2）为什么要把塑料套管B套在金属笔杆上？

3. 根据课本提供的数据，利用欧姆定律，估算正确使用测电笔判断家庭电路相线时通过人体的电流。这个电流大约是25 W灯泡正常工作电流的多少分之一？

4. 请用笔画线表示导线，将图19.2-13中的电灯、开关和插座接入家庭电路中。

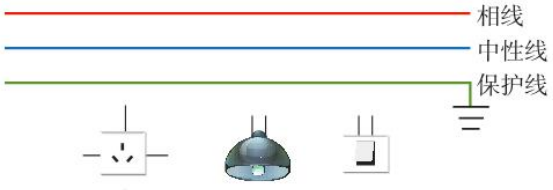


图19.2-13

5. 电灯的开关为什么要接在相线和电灯之间？接在中性线和电灯之间有什么危险？

6. 观察家里的三脚插头，它的三只“脚”中哪只更长？为什么要这样设计？

第3节 跨学科实践：为家庭电路做设计

项目提出

每个家庭的用电情况是不一样的，假如你家正在准备装修改造，请你根据家里的用电需求及前面的学习与研究，为你的家庭电路提出一个简单的设计方案。可以与同学分工合作，完成任务。

项目分析

为了使家庭电路更加安全、合理，设计时你觉得应该主要考虑哪些因素呢？首先可根据家里现有的用电器，初步估算家中的总体用电需求，然后合理规划并设计室内的配电分支回路。如果你有兴趣，最后还可对家庭电路中使用到的断路器、导线等配电器材进行选型，使器材之间相互匹配。

项目实施

1. 调查家庭用电需求

请你调查并记录目前家中主要用电器的使用情况，阅读各个用电器的铭牌或说明书，重点关注它们的功率信息。明确用电需求，为规划家庭电路的配电分支回路作准备。可以用表格（表1）或其他形式梳理。

表1　用电器调查细目表

家用电器	功率/kW	数量
洗衣机		
电冰箱		
电热水器		
电饭锅		
电灯1		
电灯2		
……		

观察配电箱时，一定要注意安全，切勿随意触摸！

2. 合理规划配电分支回路

请根据实际用电需求，结合家用电器的使用环境，进行小组讨论，设计家庭电路的分支回路或为家庭电路优化提出方案与建议。

一般来说，对于可能长时间使用的大功率家用电器（如空调、电热水器等），建议为其设计独立的分支回路。

如果你们小组同学的家中有室内配电箱，请在家长或技术人员的指导下进行观察，看看目前家中有几条分支回路，每条分支回路开关的额定电流是多少。如果没有观察室内配电箱的条件，请以图19.2-10中所示的配电箱作参考。

考虑到家中的用电器比较多，家庭电路可设计若干插座分支回路、照明分支回路和大功率用电器（如空调）分支回路等。具体设计可参考图19.2-11的形式，也可以采用户型电路示意图（图19.3-1）、列表（表2）等形式。

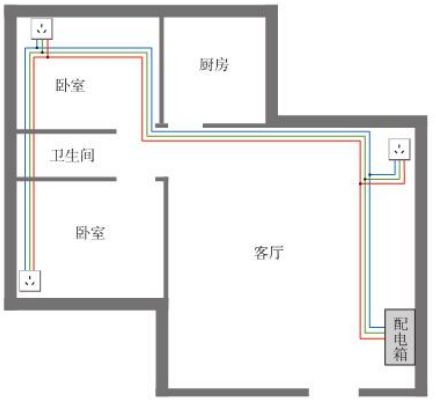


图19.3-1　某插座分支回路设计示意图

表2　分支回路设计示例

分支回路	用电器及数量	总功率
照明分支回路	节能灯12盏	
插座分支回路1	洗衣机1台、电冰箱1台……	
插座分支回路2	微波炉1台、电饭锅1台……	
空调分支回路	空调2台	

想想议议

通常情况下，导线的横截面积越大，长时间通电时所允许的最大安全电流也会越大。根据你所设计的各条分支回路的用电情况，总功率大的分支回路要选粗一些的导线，还是细一些的？家庭电路中的供电导线是不是横截面积越大越好？你认为在选择导线时，除了安全因素，还要考虑哪些因素？

展示交流

完成设计方案后，各小组之间进行展示与交流，可互检方案的可行性与安全性。有条件的话，也可邀请专业人员来对你们的设计方案进行评估。

最后，通过对这个项目的研究，请你谈谈对家庭电路的认识以及对安全用电的体会。可以结合家中用电器的调查和使用情况，尝试分析家庭用电安全隐患，总结出一些生活中的安全用电原则，例如：

- 尽量不同时使用多个大功率用电器。
- 不接触低压带电体，不靠近高压带电体。
- 更换灯泡、搬动用电器前应断开电源开关。
- 不弄湿用电器，不损坏绝缘层。
- 保险装置、插座、导线、家用电器等达到使用寿命时应及时更换。

……

虽然家庭电路中都安装了各种保险装置，但是它们也可能会出现故障。因此，最重要的是，我们在思想上要有安全用电意识，在行动上要遵守安全用电原则。只有这样，我们才能享受电所带来的便利。

复习与提高

1 图19–1甲所示的是一个常用的插线板。正常情况下，插线板上的指示灯在开关断开时不发光，插孔不能提供工作电压；在开关闭合时指示灯发光，插孔可以提供工作电压。某同学在使用时发现，即使指示灯损坏，在开关闭合时插孔也能提供工作电压。根据上述现象，你认为指示灯和开关是怎样连接的？请在图19–1乙中画出开关、指示灯和插孔的连接方式，并把插线板与电源线接通。



甲　　乙

图19–1

2 在图19–2所示的家庭电路中，开关闭合后灯泡不亮，用测电笔分别接触a、b、c、d四处时，测电笔氖管均发光。对故障原因有两种看法：甲同学认为这是灯泡短路了；乙同学认为是中性线的某处断路了，灯泡是正常的。你认为哪种说法正确？为什么？

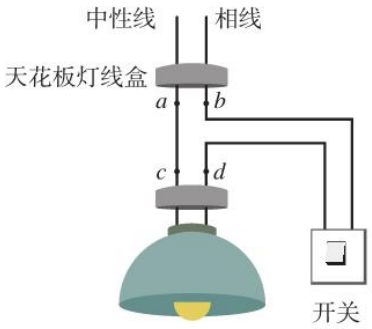


图19–2

3 下列哪些操作可能会导致空气开关跳闸？说说你的理由。

（1）开关中的两个线头相碰。

（2）灯座里连接灯泡的两个线头相碰。

（3）插座中的两个线头相碰。

（4）电路中同时使用几个大功率的用电器。

（5）插座接触不良。

4 在发生触电事故时，为什么不能用手去拉触电的同伴，而是要立即切断电源？

5 生活中如果用电器着火，应该怎么办？能不能用水灭火？为什么？

6 甲、乙两地相距40 km，在两地之间沿直线架设了两条输电线，已知每条输电线每千米的电阻为0.2 Ω。现在输电线在某处发生了短路，为确定短路位置，检修员在甲地利用电压表、电流表和电源连接成如图19−3所示的电路进行测量。当电压表的示数为3.0 V时，电流表的示数为0.5 A，则短路位置离甲地的距离为多少米？

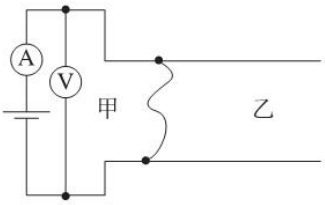


图19−3

7 观察校园内、家庭所在居民小区内的用电设施，了解它们是否存在安全隐患。如果有，请提出一条改进或优化的建议。

第二十章　电与磁

在地球南北极附近的高纬度地区，人们常常可以看到一种奇异的自然现象：巨大的天幕似乎被染上了各种颜色；这些颜色还会不断变化，从紫色到黄绿色，直至橘红色，耀人眼目。

这是天上的画家在挥笔作画，还是盛装的少女手持彩练在空中载歌载舞？古人对这种现象进行了种种猜测，直到近代，才有了科学的解释。科学家把这种现象叫作极光。极光的发生与地球的磁场有密切关系。

第1节　磁现象　磁场

问题

公元843年，在没有航标、没有明确航道的大海上，一艘帆船正在日夜不停地航行（图20.1-1）。一些聪明的中国人利用手中的罗盘指示方向，开辟了从浙江温州到达日本值嘉岛的航线。是什么神秘的力量驱动着罗盘，让它指示方向？



图20.1-1　航行的帆船

罗盘即平常我们说的指南针，它是我国古代的四大发明之一。公元1世纪初，东汉学者王充（27—约97）在《论衡》中有关于我国早期的指南针——司南的记载：“司南之杓，投之于地，其柢指南。”图20.1-2是一种司南的模型，它是把天然磁石琢磨成勺子的形状，放在一个水平光滑的“地盘”上制成的。



图20.1-2　司南（模型）

磁现象

在2 000多年前的春秋时期，我们的祖先就发现了天然磁铁矿石吸铁的性质。现在，人们利用这些磁铁矿石、钢或某些合金及人工合成材料，根据需要制成各种形状的磁体（图20.1-3）。



图20.1-3　各种各样的磁体

磁体能够吸引铁、钴、镍等物质。它的吸引能力最强的两个部位（图20.1-4）叫作**磁极**（magnetic pole）。能够自由转动的磁体，例如悬吊着的磁针，静止时指



图20.1-4　条形磁体两端的磁性最强

南的那个磁极叫作**南极**（south pole）或S极，指北的那个磁极叫作**北极**（north pole）或N极。磁极间相互作用的规律是：**同名磁极相互排斥，异名磁极相互吸引。**

有些物体在磁体或电流的作用下会获得磁性，这种现象叫作**磁化**（magnetization）。许多物体容易被磁化。机械手表磁化后，走时不准；钢针磁化后，可以用来制作指南针。你会磁化钢针吗？

磁场

我们看不见风，但可以通过它对树叶的吹动情况来认识它。在物理学中，对于一些看不见、摸不着的物质，可以通过它对其他物体的作用来认识它。

如果把磁针拿到一个磁体附近，它会发生偏转。磁针和磁体并没有接触，怎么会有力的作用呢？这是因为磁体周围存在着一种物质，能使磁针偏转。这种物质看不见、摸不着，我们把它叫作**磁场**（magnetic field）。磁场对磁针有力的作用，我们可以通过它对磁针的作用情况来认识它。像磁场这种物质，我们用实验可以感知它，所以它是确确实实存在的。



演示

用磁针感知磁场



图20.1-5　磁体附近的小磁针

如图20.1-5所示，在条形磁体附近的某点放一枚小磁针，观察小磁针N极的指向。换用其他小磁针放在该点，再做一次实验，观察小磁针N极的指向。

由实验可以看出，尽管小磁针不同，但是小磁针北极在磁体周围某个确定点的指向是不变的。在物理学中，把放在磁场中的小磁针静止时北极所指的方向规定为该点磁场的方向。

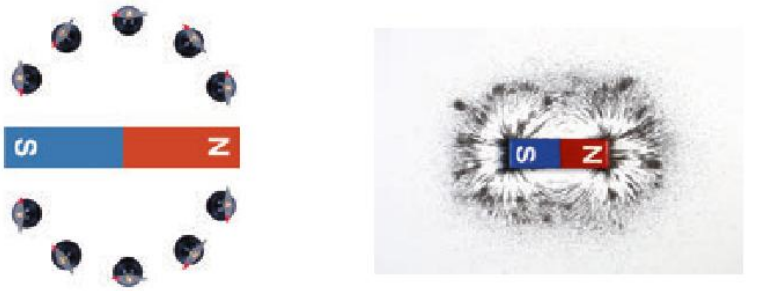
实 验

研究磁体周围磁场的方向

在条形磁体周围放置一些小磁针，如图20.1−6甲所示，观察小磁针N极的指向，画出各点的磁场方向。

磁场的分布是否有规律?

在磁体外部放置越多、越小的磁针，就能越清楚地看出磁场的分布情况。如图20.1−6乙所示，在条形磁体上面放一块玻璃板，在玻璃板上撒一层铁屑，铁屑被条形磁体磁化，就变成一枚枚“小磁针”。轻轻敲打玻璃板，你看到了什么?

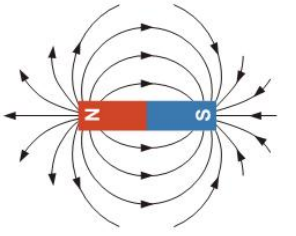


甲　　乙

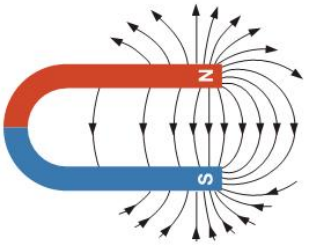
图20.1−6　条形磁体磁场的分布

我们看到，小磁针（或被磁化后的铁屑）在磁体周围磁场的作用下，有规则地排列起来。小磁针（或被磁化后的铁屑）在磁场中的排列情况启发我们，可以用一些带箭头的曲线，方便、形象地描述磁场，这样的曲线叫作**磁感线**（magnetic induction line）。

图20.1−7是用磁感线描述的条形磁体和蹄形磁体的磁场。从图中可以看出，在用磁感线描述磁场时，磁体外部的磁感线都是从磁体的N极出发，回到S极的。



甲　条形磁体



乙　蹄形磁体

图20.1−7　用磁感线描述磁体的磁场

地磁场

能水平转动的磁针就是指南针。拿来几枚小磁针放

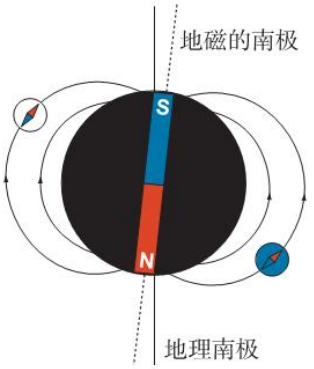


图20.1-8　地球是一个巨大的磁体

在桌面上，你可以发现，静止时它们都指向同一方向，即小磁针的N极总是指向北方。这说明，地球周围存在着磁场——**地磁场**。

在地球表面及空中的不同位置测量地磁场的方向，可以画出地磁场的磁感线，如图20.1-8所示。地磁场的形状跟条形磁体的磁场相似。

不过，地理的两极和地磁场的两极并不重合，磁针所指的南北方向与地理的南北方向略有偏离。世界上最早记述这一现象的人是我国宋代学者沈括（1031—1095），这个发现比西方早了400多年。

有些动物能够感觉到磁场，如绿海龟、鸽子等，它们能利用地磁场“导航”。地磁场究竟是怎样产生的？人们对这个问题已经研究了多年，至今还没有满意的结果。学习了下一节电流的磁场以后，也许你会为此多一份猜想。

练习与应用

1. 磁现象在生活中的应用给我们带来了方便。例如门吸，它由安装在墙上（或地上）的磁体和门上的吸板两部分组成，如图20.1-9所示。门打开后，磁体和吸板吸合，能够防止风吹或不小心触碰时房门关闭。请你再列举两个磁现象在生活中应用的实例。



图20.1-9

2. 如图20.1-10所示，在水平桌面上横放一根条形磁体，用弹簧测力计悬挂一个铁块置于磁体一端的上方，让铁块与磁体在相距一定距离的情况下保持平衡。在弹簧测力计沿水平方向朝另一端移动的过程中，它的示数是如何变化的？为什么？

3. 两根外形完全相同的钢棒，其中一根有磁性，另一根无磁性。没有别的器材，你如何把它们区别开来？

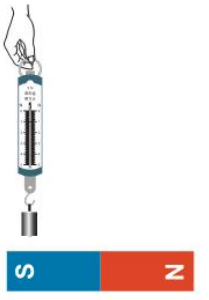


图20.1-10

4 图20.1-11中的两幅图分别画出了两个磁极间的磁感线。请在图中标出磁极的名称，并画出位于图中A点和B点的小磁针静止时北极所指的方向。

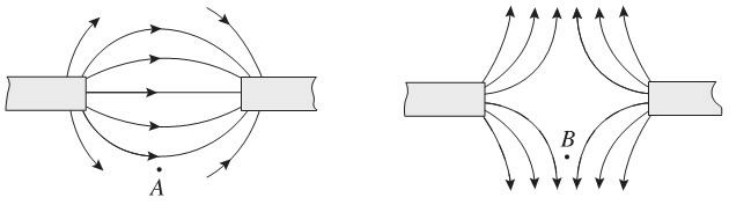


图20.1-11

5 如图20.1-12所示，将小磁针放置于条形磁体和蹄形磁体的周围，请分别画出甲、乙两图中A、B、C三点的小磁针静止时北极所指的方向。

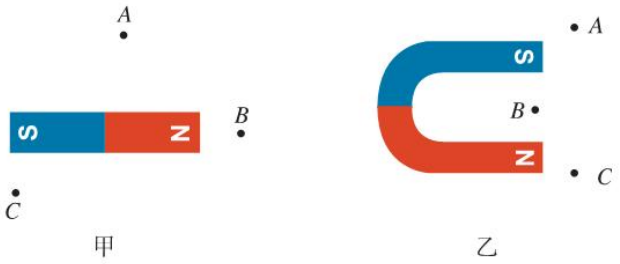


图20.1-12

6 请找两根缝衣针、一个按扣、一根大头针和一块橡皮泥，做一个指南针。用橡皮泥和大头针制作指南针的底座。使缝衣针磁化后，穿过按扣的两个孔，放在底座的针尖上，这就是一个小指南针，如图20.1-13所示。如果图中的指南针静止下来后，针尖指北，那么针尖是N极还是S极？为什么？

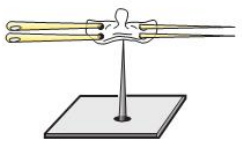


图20.1-13

第2节 电生磁

问 题

如图20.2-1所示，将一枚小磁针置于桌面上，在小磁针上方放一条直导线，使导线与电池触接，然后断开，看看电路连通时和断开后小磁针有什么变化。对调电池的正、负极，再做一次实验，继续观察小磁针的变化。

小磁针受到了磁场力的作用，这个磁场与电流有什么关系？

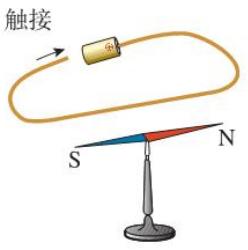


图20.2-1 观察小磁针的转动

电流的磁效应

在历史上相当长的一段时间里，人们认为电现象和磁现象是互不相关的。到了19世纪初，一些哲学家和科学家意识到，各种自然现象之间应该存在着相互联系。基于这种思想，丹麦物理学家奥斯特长时间用实验寻找这种联系。在多次失败之后，1820年，奥斯特在做实验时终于发现：当导线中通过电流时，它下方的磁针会发生偏转。这个发现令奥斯特极为兴奋，他怀着极大的兴趣又继续做了许多实验，终于证实电流的周围存在着磁场，在世界上第一个发现了电与磁之间的联系。

从图20.2-1的实验可以发现，如果导线在小磁针上方并且两者平行，当导线通电时，小磁针发生偏转；

切断电流时，小磁针又回到原位。这说明通电导线和磁体一样，周围存在磁场。实验还表明，当电路中的电流反向时，小磁针的偏转方向也相反。这说明电流产生的磁场方向跟电流的方向有关。

通电导线周围存在与电流方向有关的磁场，这种现象叫作电流的磁效应。

通电螺线管的磁场

既然电能生磁，为什么手电筒在通电时连一根大头针都吸不动？

这是因为它的磁场太弱了。如果把导线绕在圆筒上，做成螺线管（也叫线圈，图20.2-2），各圈导线产生的磁场叠加在一起，磁场就会强得多。

人们在生产和生活中经常要使用通电螺线管，通电螺线管周围的磁场应该是怎样的？



图20.2-2　一种螺线管

实　验

探究通电螺线管外部磁场的方向

实验思路

我们已经通过磁感线的分布了解了条形磁体、蹄形磁体周围的磁场，也可以用同样的方法来研究通电螺线管外部的磁场是怎样分布的。

首先观察通电螺线管外部的磁场与哪种磁体相似，然后找出通电螺线管的极性与环绕电流方向之间的关系。

要研究通电螺线管外部磁场的方向，需要哪些器材？

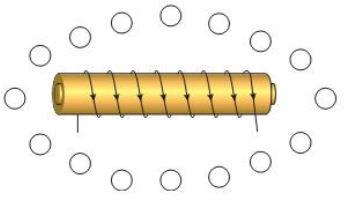


图20.2-3　在通电螺线管周围放置小磁针

实验过程

1. 按照图20.2-3布置器材。为使磁场增强，可以在螺线管中插入一根铁棒。把小磁针放到螺线管

四周不同的位置，观察并记录各个点小磁针N极的指向，这个方向就是该点的磁场方向。

如果有铁屑，你还可以怎样进行实验？

跟图20.1−7对比，通电螺线管外部的磁场跟哪种磁体的磁场相似？

2. 仔细观察螺线管的结构，把螺线管用导线跟电源连接，弄清螺线管导线中电流的环绕方向。用小磁针判断通电螺线管的N极和S极。改变螺线管导线中电流的环绕方向，再次判断螺线管的N极和S极。

不同的小组可以用不同绕线方式的螺线管进行实验。

根据你的实验，判断电流方向和图20.2−4中哪个相吻合。在图20.2−4上分别标出通电螺线管的N极和S极。

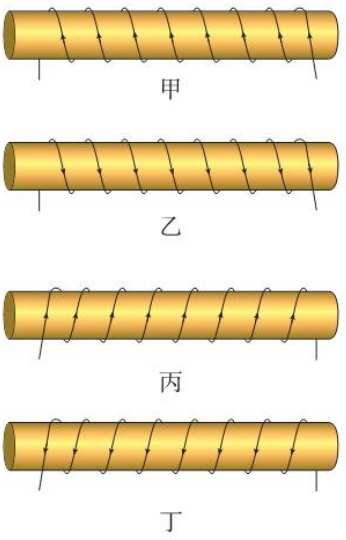


图20.2−4　通电螺线管有两种可能的电流方向

实验结论

根据实验结果说明：通电螺线管外部的磁场与哪种磁体的磁场相似？

通电螺线管的两端相当于条形磁体的两极，它们的极性可以根据实验中小磁针的指向来确定。改变电流方向，通电螺线管的N、S极正好对调，这说明通电螺线管两端的极性跟螺线管中电流的方向有关。

通电螺线管的极性跟电流方向有什么关系？用图20.2−5中牵牛花茎的缠绕方向与生长方向的关系进行类比，借用自己手指的关系，请你想一句话来概括通电螺线管的极性跟电流方向之间的关系。

我们可以充分发挥自己的想象和推理能力，得出一个描述通电螺线管的电流方向与N极位置关系的结论。在物理学习中不断产生新想法、发现新规律、解决新问题，就会一步步地提高我们的创新能力。



图20.2−5　牵牛花的茎

安培定则

实验表明，通电螺线管外部的磁场和条形磁体的磁场相似，通电螺线管的两端相当于条形磁体的两极。对于通电螺线管的极性跟电流方向之间的关系，我们可以用**安培定则**（Ampere's rule）来表述：

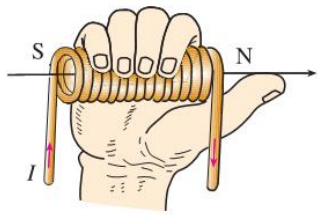


图20.2-6　安培定则

照图20.2-6那样，**用右手握住螺线管，让四指指向螺线管中电流的方向，则拇指所指的那端就是螺线管的N极。**

练习与应用

1. 在如图20.2-1所示的实验中，导线通电时，导线下方的小磁针会发生偏转，但当导线在某种方位下进行实验时却看不到这种现象，这是怎样的方位？为什么看不到这种现象？

2. 在如图20.2-7所示的实验装置中，小磁针位于通电螺线管的正上方。若开关闭合，请在图中画出一条通过小磁针的磁感线，并标明小磁针的N极。

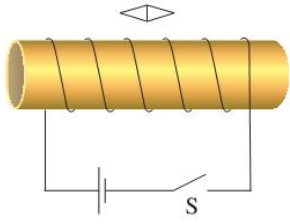


图20.2-7

3. 请你根据图20.2-8所示的通电螺线管中的电流方向，判定螺线管的N、S极。

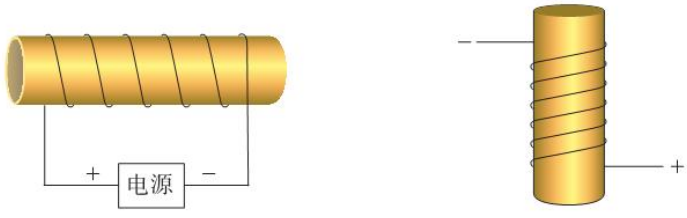
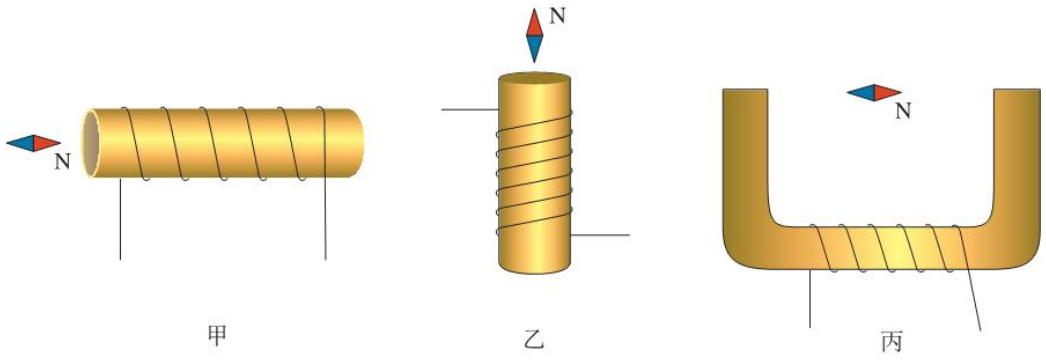


图20.2-8

❹ 如图20.2−9所示，按小磁针的指向判定螺线管的极性和电流的方向。



甲　　乙　　丙

图20.2−9

❺ 如图20.2−10所示，开关闭合后，位于螺线管右侧的小磁针的指向将怎样变化？

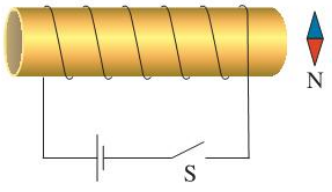


图20.2−10

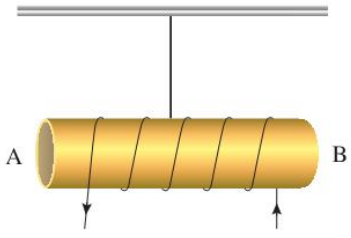


图20.2−11

❻ 如图20.2−11所示，把螺线管水平悬挂起来，给导线通电，螺线管就像指南针一样，静止时指向南北方向。请你判断通电螺线管的哪一端指向北方。

第3节　电磁铁　电磁继电器

问 题

一根条形磁体，它的周围存在着磁场。这种磁体是一种永磁体。螺线管通电后，也会成为一个磁体。这样的磁体与永磁体相比，有哪些优点？这些优点在实际中有哪些应用？

电磁铁

把导线绕成螺线管，再在螺线管内插入铁芯，当有电流通过时，它会有较强的磁性。我们把这种磁体叫作**电磁铁**（electromagnet）。



图20.3-1　电磁起重机

在工地、码头，以及一些车间、货场，人们常常可以看到电磁起重机在工作（图20.3-1）。电磁起重机的主要部件之一是电磁铁，电磁铁安装在吊车上，通电后吸起大量钢铁，移动到另一个位置后切断电流，钢铁被放下。大型电磁起重机一次可以吊起几吨钢材。

你能制作一个简易的电磁起重机吗？

想想做做

制作简易的电磁起重机

把一根较长的导线绕在一枚大铁钉上，就可以制成一个电磁铁（图 20.3–2）。把电源、电磁铁及滑动变阻器串联起来，闭合开关，观察你的“起重机”吊起了多少曲别针。

实际电磁起重机中的电磁铁磁性很强。如何使你制作的电磁铁磁性增强？

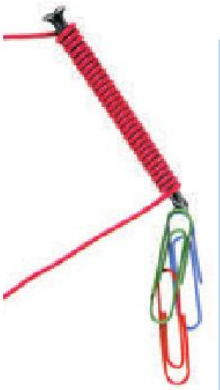


图20.3–2
自制的电磁铁

首先，电磁铁只有在线圈中通有电流时才有磁性，那么电流的大小应该会影响电磁铁磁性的强弱。怎样改变线圈中电流的大小？需要什么器材？

其次，构成电磁铁的主要部件是线圈，线圈的形状和匝数可能也会影响电磁铁的磁性强弱。对于外形相同的线圈，电磁铁磁性的强弱跟线圈的匝数会有怎样的关系？

思考上述问题并提出改进措施，让你的“起重机”能吸引更多的曲别针。

从以上实践活动中可以看出，匝数一定时，通入的电流越大，电磁铁的磁性越强；电流一定时，外形相同的螺线管，匝数越多，电磁铁的磁性越强。

电磁铁的优点是：它磁性的有无可由通断电来控制，磁性的强弱可由电流的大小来控制，它的磁极可以通过改变电流方向来改变。电磁铁的实际用途还有很多。在电动机、发电机里会用到电磁铁。全自动洗衣机的进水、排水阀门，卫生间里感应式冲水器的阀门，也都是由电磁铁控制的。

磁悬浮列车（图20.3–3）所用的磁体大多是通有强大电流的电磁铁。电磁铁通过磁体间的相互作用使列

图20.3–3　磁悬浮列车



车悬浮在轨道上，避免了来自车轮与轨道之间的摩擦，突破了以往列车的速度极限。

电磁继电器

驱动巨大机器的电流可能有几十安、几百安。在工厂里，我们常常看到工人师傅利用按钮来控制机器（图20.3-4），难道强大的电流就在按钮下面流过？不，用手直接控制强大的电流或操作高压电路是很危险的。我们能否利用电磁铁的吸引力来控制高电压、强电流电路的通断呢？电磁继电器就是利用电磁铁来控制这类电路的一种开关（图20.3-5）。



图20.3-4　工人师傅利用按钮控制机器



图20.3-5　一种电磁继电器

电磁继电器的结构如图20.3-6所示，它由电磁铁、衔铁、弹簧、触点等组成。工作时的电路由低压控制电路和高压工作电路两部分构成。

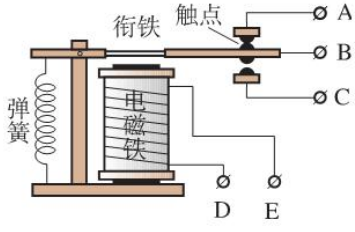


图20.3-6　电磁继电器的构造

当较低的电压加在接线柱D、E两端，较小的电流通过线圈时，电磁铁把衔铁吸下，使B、C两个接线柱所连的触点接通，较大的电流就可以通过B、C带动机器工作了。工人师傅所按的按钮只控制电磁铁电流的通断，而高电压、强电流电路的通断则由 B、C两个接线柱所连的触点控制，这样人们就可以安全、方便地操纵大型机械了。

练习与应用

1 为探究影响电磁铁磁性强弱的因素，用相同的细导线和铁钉绕制成两个电磁铁A、B，铁钉下方的盒子内有足够多的大头针。

（1）如图20.3-7甲所示，把铁钉下端插入大头针盒中，闭合开关，提起铁钉，铁钉下端将吸附很多大头针。把滑动变阻器的滑片逐渐向右移动，能观察到什么现象？说明了什么？

（2）如图20.3-7乙所示，闭合开关后移动滑动变阻器的滑片，无论滑片移到哪个位置，电磁铁B总能比电磁铁A吸附更多的大头针。这说明了什么？

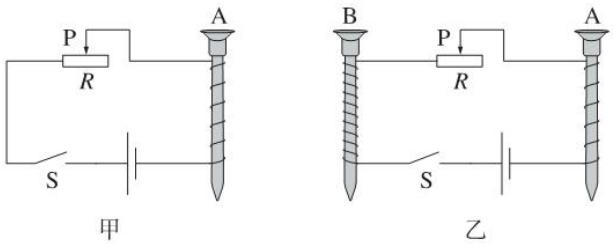


图20.3-7

❷ 图20.3-8是一种水位自动报警器的原理图。水位没有到达金属块A时，绿灯亮；水位到达金属块A时，红灯亮。请说明它的工作原理。注意：虽然纯净的水是不导电的，但一般的水都能导电。

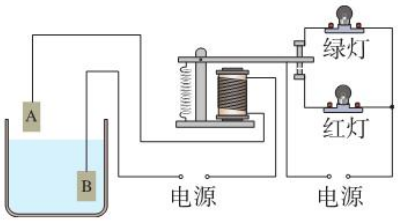


图20.3-8

❸ 图20.3-9是直流电铃的原理图。衔铁B与弹性片A相连，自然情况下弹性片是和螺钉接触的。接通电源后电磁铁吸引衔铁，敲击铃碗发声，同时弹性片与螺钉分离导致断电，电磁铁失去磁性后弹性片又和螺钉接触而通电，如此往复。

弄懂原理后，请你在图20.3-6所示的电磁继电器上把电源连在电路里，使衔铁能上下振动。

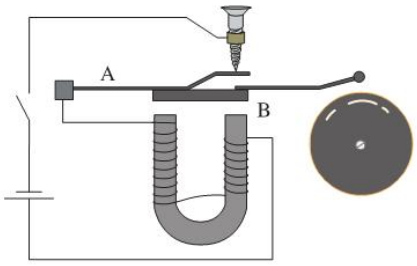


图20.3-9

❹ 法国科学家阿尔贝·费尔和德国科学家彼得·格林贝格尔由于发现了巨磁电阻（GMR）效应，荣获了2007年诺贝尔物理学奖。巨磁电阻效应是指某些材料的电阻在磁场中急剧减小的现象，这一发现大大提高了磁、电之间信号转换的灵敏度，从而引发了现代硬盘生产的一场革命。

图20.3-10是说明巨磁电阻特性原理的示意图，图中GMR是巨磁电阻。如果闭合开关S_1、S_2并使滑片P向左滑动，指示灯亮度会有什么变化？

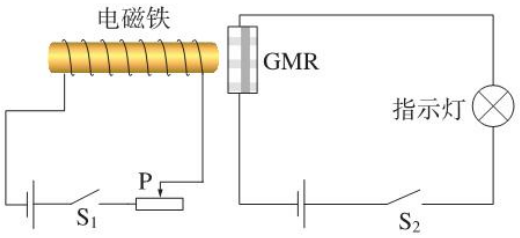


图20.3-10

第4节 电动机



图20.4-1 工业机器人

问 题

电力机车、电梯、电风扇、冰箱、洗衣机、机器人（图20.4-1），以及各种电动玩具都离不开电动机。电动机已经应用在现代社会生产生活的各个方面。给电动机通电，它就能够转动。这是为什么？

磁场对通电导线的作用

我们知道，磁体在磁场中会受到力的作用。磁体间通过磁场相互作用，通电导线周围有磁场，那么通电导线是不是也会在磁场中受到力的作用呢？

演 示

通电导体棒在磁场中运动

如图20.4-2所示，把导体棒放在磁场里，接通电源，让电流通过导体棒，观察它的运动。

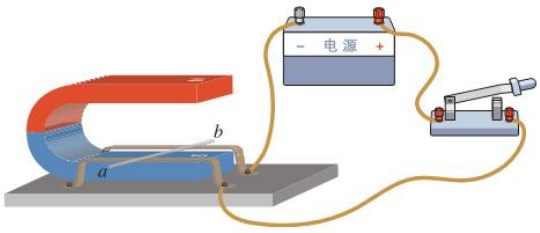


图20.4-2 磁场中的导体棒

把电源的正、负极对调后接入电路，使通过导体棒的电流方向与原来相反，观察导体棒运动的方向。

保持导体棒中的电流方向不变，但把蹄形磁体的上、下磁极调换一下，使磁场方向与原来相反，观察导体棒运动的方向。

如果电流的方向和磁场的方向都变得相反，通电导线受力的方向会怎样？

实验表明，通电导线在磁场中要受到力的作用，力的方向跟电流的方向、磁场的方向都有关系，当电流的方向或者磁场的方向变得相反时，通电导线受力的方向也变得相反。

如果把一个通电的线圈放到磁场中，它会怎样运动？

演示

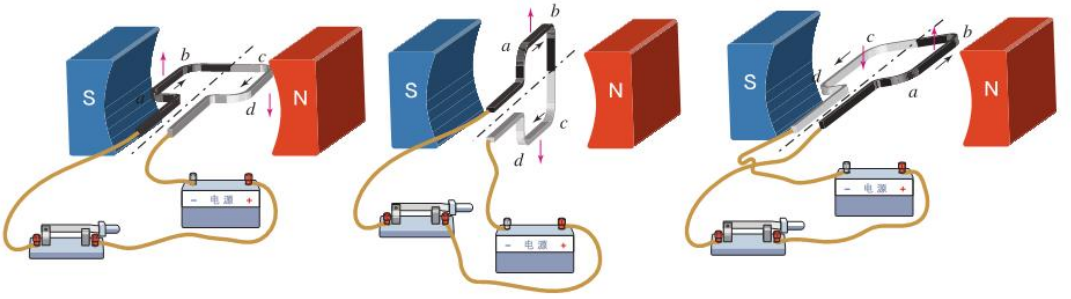
通电线圈在磁场中转动

如图20.4−3所示，使线圈位于磁体两个磁极间的磁场中。

1. 使线圈静止在图乙所示位置上，闭合开关，发现线圈并没有运动。这是由于线圈上、下两个边受力大小一样、方向却相反。这个位置是线圈的平衡位置。

2. 使线圈静止在图甲所示位置上，闭合开关，线圈受力沿顺时针方向转动，并由于惯性而越过平衡位置，但不能继续转下去，最后要返回平衡位置。线圈为什么会返回呢？

3. 使线圈静止在图丙所示位置上，这是线圈冲过平衡位置以后所到达的地方。闭合开关，线圈逆时针转动，说明线圈在这个位置所受的力阻碍它沿顺时针方向转动。



甲　线圈受到的力使它顺时针转动

乙　线圈由于惯性会越过平衡位置

丙　线圈受到的力使它逆时针转动

图20.4−3　通电线圈不能连续转动

线圈不能连续转动，是因为线圈越过了平衡位置以后，受到的力阻碍它的转动。如果在线圈越过了平衡位置后，设法改变线圈中电流的方向，线圈将会继续转动

下去。如何改变线圈中电流的方向呢？

实际的电动机可以通过换向器来实现这一目的。换向器的构造如图20.4-4所示。两个铜半环E和F跟线圈两端相连，可随线圈一起转动，两个半环中间断开，彼此绝缘。A和B是电刷，它们分别跟两个半环接触，使电源和线圈组成闭合电路。这样，无论线圈的哪个边，只要它处于靠近磁体S极的一侧，其中的电流就是从读者这边朝纸内的方向流去，这时它的受力方向总是相同的，线圈就可以不停地转动下去了。

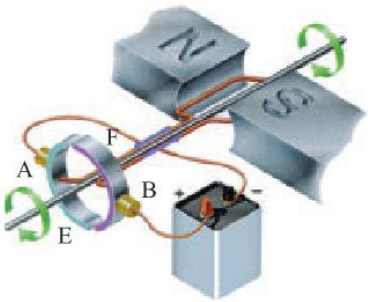


图20.4-4　换向器的构造

电动机的基本构造

电动机主要由线圈和磁体两部分组成，能够转动的部分叫作转子，固定不动的部分叫作定子。

实际的电动机都有多个线圈，每个线圈都接在一对换向片上，以保证每个线圈在转动的过程中受力的方向都能使它朝同一方向转动（图20.4-5）。



图20.4-5　一种直流电动机的转子

科学世界

扬声器是怎样发声的

学校的操场上挂着扬声器（喇叭），收音机、电视机、音响中都有扬声器。每天我们都能听到扬声器发出的悠扬声音，那么扬声器（图20.4-6）是怎样发出声音的呢？


图20.4-6　扬声器的结构

扬声器是把电信号转换成声信号的一种装置。图20.4-7是扬声器的构造示意图，它主要由固定的永磁体、线圈和锥形纸盆构成。当线圈中通有电流时，线圈受到永磁体的作用而运动；当线圈中的电流反向时，线圈向相反方向运动。由于通过线圈的电流是交变电流，它的方向不断变化，线圈就不断地来回振动，带动纸盆也来回振动，于是扬声器就发出了声音。

利用上述扬声器原理，可以制成头戴式耳机和小巧的入耳式耳机。

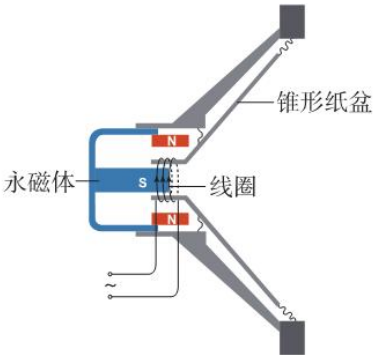
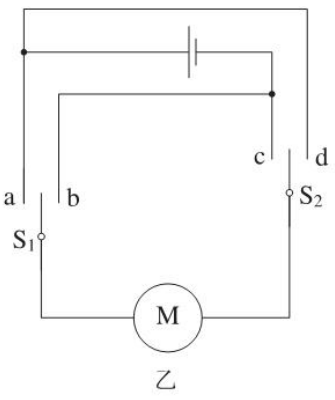


图20.4-7　扬声器构造示意图

练习与应用

1. 用图20.4-2所示的装置研究磁场对通电导体棒的作用时，如果闭合开关后导体棒向左运动，怎样操作可以使导体棒向右运动？
2. 电动机主要由哪两部分构成？电动机换向器的构造大体是怎样的？它有什么作用？
3. 电路中常用到单刀双掷开关，这是一种可以分别跟两个接线柱连接的开关。图20.4-8甲是它的外形图，图20.4-8乙中的S_1和S_2是它的符号。图乙用两个单刀双掷开关来控制电动机M，使电动机既能正转，也能反转。如果开关S_1与触点a接触、S_2与c接触时，电动机是正转的，怎样操作开关才能使电动机反转？
4. 一台电动机的额定电压是220 V，额定功率是5.5 kW，它正常工作时的电流有多大？连续工作2 h耗电多少？
5. 生活中很多地方都用到电动机，请列举五个电动机在生活中应用的实例。


甲



乙

图20.4-8

第5节 跨学科实践：制作简易直流电动机

项目提出

生活中有许多地方会用到直流电动机，例如很多玩具电动车就是用直流电动机来驱动的。利用前面学习过的直流电动机的工作原理，你可以制作一台简易的直流电动机。

项目分析

我们知道，电动机主要由线圈和磁体组成，要制作直流电动机，需要考虑以下问题。

1. 用什么样的导线绕制线圈？绕制的匝数多少为宜？

2. 哪部分作为转子？哪部分作为定子？

3. 如何保证通电线圈能在磁场中持续转动？

项目实施

根据每个人的个性化设计可以制作出不同的直流电动机。下面是一个比较简单的电动机设计和制作方法，同学们可以参考。

要制作这样的直流电动机，需要有以下材料：漆包线（刷有绝缘漆的铜导线）、强磁体、电池等。



图20.5-1　线圈

把一段粗漆包线绕成约3 cm×2 cm的矩形线圈（图20.5-1），作为转子。从线圈的两端各拉出约2 cm的漆包线作为转轴。用硬金属丝做两个支架，固定在硬纸板或电池盒上。两个支架分别与电池的两极相连。最后把线圈放在支架上，线圈下放一块强磁体作为定子。

在上节的学习中，我们知道，如果没有换向器，通电线圈在转到下半周时受到的力使线圈反向转动，线圈将不会持续转动。如果把这个反向转动的力去掉，也就是在线圈转动的上半周通电，下半周断电，线圈依靠惯性能否连续转动呢？

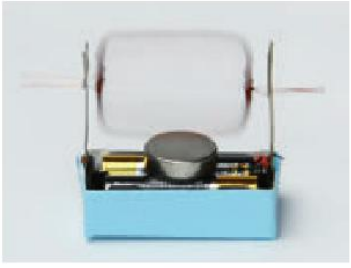


图20.5-2　简易电动机

我们用小刀刮去线圈两端引线的漆皮，把左端全部刮掉，右端只刮半周。组装好电动机，给线圈通电并用手轻轻推动一下，线圈就会不停地转动了（图20.5-2）。

调试自己制作的简易电动机，让它更好地工作起来。

展示交流

1. 请大家展示自己制作的简易直流电动机，并说明是怎样实现让线圈连续转动的，看看谁的电动机设计得更巧妙。

2. 你的电动机线圈匝数是多少？转子在转动时，转轴受到的摩擦情况如何？

3. 观察哪个电动机转动得更快，它们可以带动其他装置旋转吗？

第6节 磁生电

问 题

今天，无论是我们日常生活中使用的电还是工农业生产中使用的电，大多是由发电机产生的。发电机是如何发电的？

奥斯特发现电流的磁效应之后，许多科学家都在思索用磁来生电的问题。英国物理学家、化学家法拉第（图20.6-1）在10年中作了多次探索，1831年终于取得突破，发现了利用磁场产生电流的条件和规律。法拉第的发现，进一步揭示了电现象和磁现象之间的联系。根据这个发现，人们后来发明了发电机，使人类大规模用电成为可能，开辟了电气化的时代。

你能尝试用磁场获得电流吗？



图20.6-1 法拉第（M. Faraday，1791—1867）

磁生电

实 验

探究导体在磁场中运动时产生感应电流的条件

实验思路

尝试用磁来生电时，需要哪些器材？磁场可以由永磁体提供，如蹄形磁体。为了获得电流，应该用导线连成闭合电路，并将电流表连入电路中，以观察电流。

尝试使导线静止在磁场中，或在磁场中运动……看看电路中是否有电流。

实验过程

如图20.6-2所示，在蹄形磁体的磁场中放置一根导线，导线的两端跟电流表连接，导线跟电流表组成闭合电路。

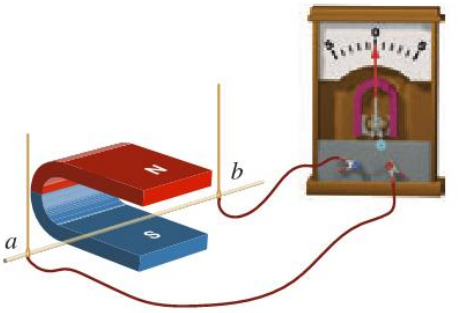


图20.6-2　把导线放在磁场中

1. 让导线在磁场中静止，能产生电流吗？换用不同强度的永磁体，看看电路中是否有电流。

2. 使导线在磁场中沿不同方向运动，看看电路中是否有电流。

……

如果把磁感线想象成一根根实实在在的线，把导线想象成一把刀，表达起来可能会方便些。

实验结论

分析实验中看到的现象，总结闭合电路中产生电流的条件。

闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁感线运动时，导体中就产生电流（图20.6-3）。这种由于导体在磁场中运动而产生电流的现象叫作**电磁感应**（electromagnetic induction），产生的电流叫作**感应电流**（induction current）。

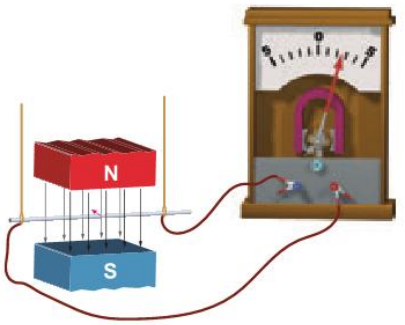


图20.6-3　导线在磁场中产生感应电流

发电机

导体切割磁感线会产生电流，人们可以根据这一原理制造发电机。

图20.6-4所示的是实验室用的手摇发电机。把一台手摇发电机跟灯泡连接起来，使线圈在磁场中转动，可以看到灯泡发光。这表明，电路中有了电流。如果把手摇发电机跟电流表连接起来，线圈在磁场中转动时，我们可以看到电流表的指针随着线圈的转动而左右摆动。这个现象表明，发电机发出的电流的大小和方向是变化的。

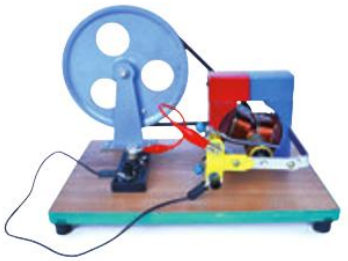


图20.6-4　手摇发电机

演示

手摇发电机发电

1. 观察手摇发电机的构造

磁极是什么形状的？线圈是通过哪些装置和灯泡连接起来的？摇把是通过什么带动线圈转起来的？

2. 观察发电机转速对小灯泡亮度的影响

用不同速度转动摇把，观察灯泡亮度的变化。

3. 检验手摇发电机电流方向的变化

把两个发光二极管极性相反地并联起来，并与发电机串联（图20.6-5）。转动摇把，观察二极管的发光情况。

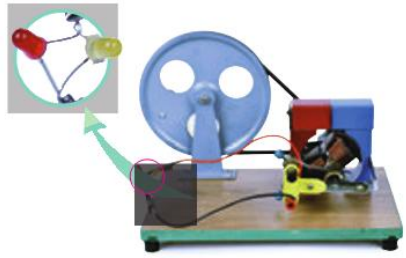


图20.6-5　手摇发电机电流方向的变化

其实，图20.6-2就是一个最简单的发电装置的示意图。当导线向左运动时，电流表指针偏转，表明电路中产生了电流；当导线向右运动时，电流表指针向另一个方向偏转，表明产生了另一个方向的电流。如果导线左右往复运动，电流表指针就来回摆动，电路中产生的是交变电流，简称交流。

之前我们学习的电路用电池供电，电路中的电流从电池的正极流向负极，方向不改变。这种电流叫作直流。

交变电流的频率在数值上等于电流在每秒内周期性变化的次数。我国电网以交流供电，频率为50 Hz。

在发电机中，用连续转动的线圈代替往复运动的导线。为了把线圈中产生的感应电流输送给用电器，还要用铜环和电刷把线圈和用电器连接起来（图20.6-6）。

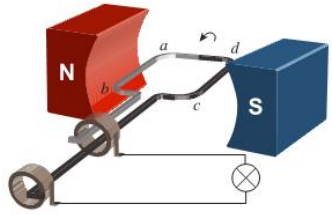


图20.6-6　交流发电机的原理

实际的发电机（图20.6-7）比图20.6-4所示的发电机复杂得多，但仍是由转子（转动部分）和定子（固定部分）两部分组成的。大型发电机发的

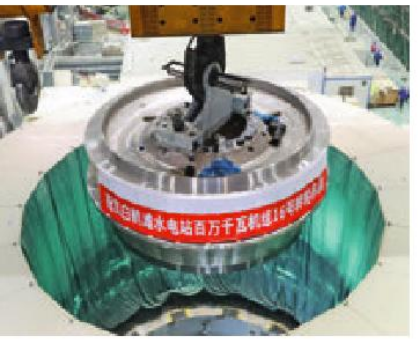


图20.6-7　白鹤滩水电站一台正在装机的发电机

电，电压很高、电流很强，一般采取线圈不动、磁极旋转的方式来发电，同时为了得到较强的磁场，还要用电磁铁代替永磁体。

白鹤滩水电站一共安装了16台水轮发电机，每台水轮发电机的发电功率都高达100万千瓦，是目前全球单台发电功率最高的水轮发电机。

发电机发电的过程是能量转化的过程。发电机靠内燃机、汽轮机、水轮机等机械带动，把燃料中的化学能或者水流的机械能转化为电能。

科学世界

磁记录

铁棒和钢棒本来不能吸引钢铁，当磁体靠近它们或者与它们接触时，它们便有了吸引钢铁的性质，也就是被磁化了。软铁被磁化后，磁性很容易消失，称为软磁材料。而钢等物质在被磁化后，磁性能够保持，称为硬磁材料。硬磁材料可以做成永磁体，还可以用来记录信息。

磁带式录音机的磁带上附有一层磁粉，就是由硬磁材料制成的小颗粒（磁粉）。录音时，声音先转变成强弱和方向都变化的电流，这样的电流通过录音磁头，产生了强弱和方向都变化的磁场。磁带划过磁头时，磁带上的小颗粒被不同程度地磁化，于是记录了一连串有关磁性变化的信息（图20.6-8）。

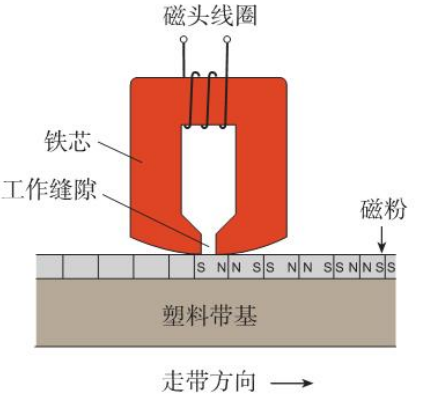


图20.6-8　录音磁头的工作原理

放音时，磁带贴着放音磁头运动，磁性强弱和方向都变化的磁带使放音磁头中产生变化的感应电流，电流经放大后使扬声器发声，就“读”出了磁带中记录的信息。

随着技术的不断进步，磁记录与人们的关系越来越密切。例如，由磁性材料制成的硬盘能够长久地保存大量信息。磁记录技术提高了工作效率，给生活带来了很大的方便。

练习与应用

1. 图20.6-9中的a表示垂直于纸面的一根导线，它是闭合电路的一部分。它在磁场中按箭头方向运动时，在哪种情况下会产生感应电流？

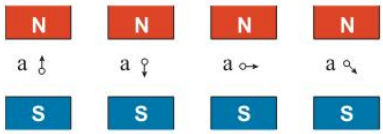


图20.6-9

2. 发电机的主要结构是怎样的？它是怎样产生电流的？

3. 观察与手摇发电机相连灯泡的发光情况和手电筒灯泡的发光情况，能看出它们有什么不同吗？

4. 当你参加歌咏比赛时可能要用到话筒（麦克风）。话筒的种类很多，图20.6-10是动圈式话筒和它的构造示意图。当你对着话筒说话或唱歌时，声音使膜片振动，与膜片相连的线圈也跟着一起振动，线圈处在磁场中。把线圈两端的导线接入扩音机，就能通过扬声器听到你的声音。请用“磁生电”具体说明动圈式话筒的原理。

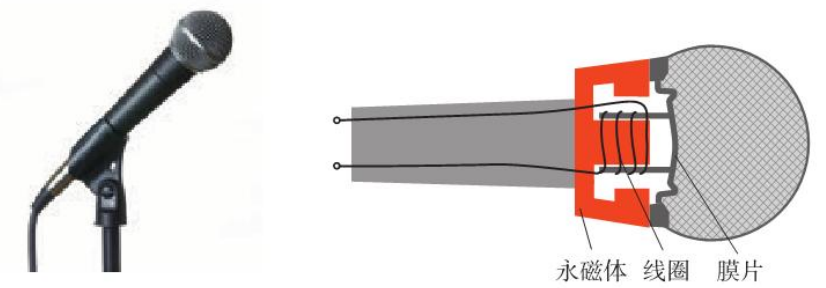


图20.6-10

5. 我国供生产和生活用的交变电流，频率是多少？电流方向在每秒内变化几次？

6. 除了发电厂里有发电机，还有哪些地方有发电机？尽可能多地说出来。这些发电机是靠什么带动的？把什么能量转化成了电能？

复习与提高

❶ 古籍《武经总要》中记载，将空腔鱼形铁烧红后，让铁鱼头尾指向南北放入水中冷却，随后使之漂浮在水中，就制成了“指南鱼”（图20−1）。铁鱼为什么能指示南北？



图20−1

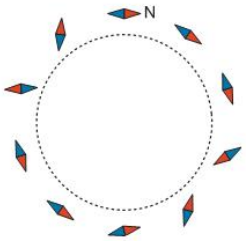


图20−2

❷ 如图20−2所示，请根据圆圈周围小磁针静止时的指向，在圆圈内大致画出条形磁体的位置并注明N、S极。

❸ 某同学想知道通电长直导线外部的磁场分布，他把小磁针摆放在导线周围，通电后小磁针的指向如图20−3所示。请你根据这一实验情景，猜想通电长直导线周围磁感线的分布情况。

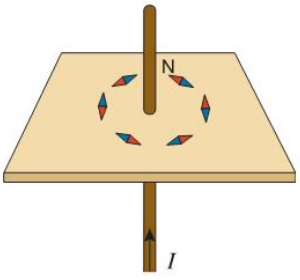


图20−3

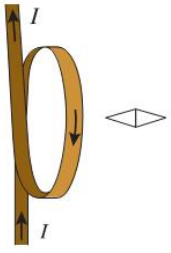


图20−4

❹ 图20−4是一环形电流，可以看成通电螺线管的一圈，圆环跟纸面垂直，其中的电流方向如图中箭头所示。请标出环形电流右侧小磁针静止时N极的位置。

❺ 某品牌空调内部用传感器和电磁继电器实现了自动控制，图20−5是简化的工作原理示意图。当空调制冷使室内温度降低到设定温度以下时，继电器使制冷系统的压缩机停止工作；当温度高于设定温度时，继电器使压缩机开始制冷。图中热敏元件的电阻随温度怎样变化？

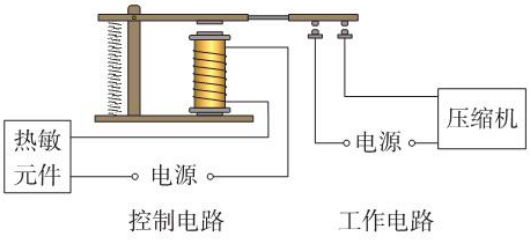


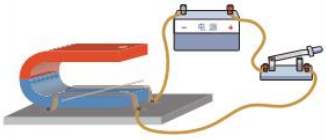
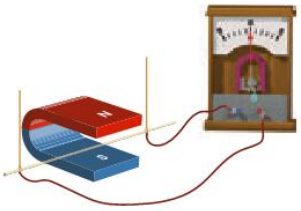
图20−5

⑥ 图20-6所示的是一种便携式按压手电筒。使用时按压手柄，内部的齿轮就会带动磁体转动，使小灯泡发光。这种便携式按压手电筒的工作原理是怎样的？工作中产生电能的主要部件是什么？

⑦ 某同学在比较电动机和发电机时，设计的表格如下。请将此表格补充完整。



图20-6

名称	实验装置	实验现象	工作原理	能量转化
电动机				
发电机				

第二十一章　电磁波及其应用

2020 年 7 月 23 日，长征五号遥四运载火箭搭载着中国火星探测器天问一号从海南文昌航天发射场升空。经过半个多小时的飞行，探测器成功与火箭分离，并进入地火转移轨道，开启了奔向火星的旅程。在数亿千米的漫长旅途中，天问一号探测器多次调整姿态和改变轨道，还要向遥远的地球发回照片。科学家通过电磁波控制探测器的航行，探测器也是通过电磁波与遥远的地面联络、传递信号的。

下面，我们就来研究这神奇的电磁



第1节 电磁波的海洋

问 题

打开收音机的开关，调至没有电台的位置，将音量开大。取一节旧干电池和一根导线，拿到收音机附近。先将导线的一端与电池的负极相连，再将导线的另一端与正极摩擦，使它们时断时续地接触，可以听到收音机发出“咔咔”声（图21.1-1）。收音机为什么会发出这种声音呢？



图21.1-1 收音机发出“咔咔”声

电磁波是怎样产生的

木棍在水面上振动会产生水波，说话时声带的振动在空气中形成声波。与水波、声波的形成类似，上面的实验中导线与电池时断时续地接触，产生迅速变化的电流，电能生磁、磁能生电，变化的电流在空间激起（产生）**电磁波**（electromagnetic wave）。收音机接收到电磁波，发出了“咔咔”声。广播电台、电视台以及移动电话靠复杂的电子线路来产生迅速变化的电流，发出电磁波。电磁波有许多用途，例如可以用电磁波来传递信息。

电磁波是怎样传播的

在一列水波的传播中，凸起的最高处，叫作波峰；凹下的最低处，叫作波谷。邻近的两个波峰（或波谷）的距

离（图21.1−2），叫作**波长**（wavelength）。在某确定位置，1 s内有多少次波峰或波谷通过，波的频率就是多少。



图21.1−2　波长

水波不停地向远处传播，用来描述波传播快慢的物理量叫作**波速**（wave velocity）。跟水波类似，电磁波也可用波长、频率和波速来描述。

声音的传播要靠固体、液体、气体等介质，电磁波的传播需要介质吗？

演示

真空罩中的手机能接到电话吗？

把一部手机放在真空罩中，抽掉空气后，给这部手机打电话（图21.1−3）。这部手机能接到电话吗？



图21.1−3　真空罩中的手机

由实验可以看到，放在抽掉空气的真空罩中的手机可以收到罩外传给它的电磁波。这说明电磁波在真空中也可以传播。太空中没有空气，声音无法传播。因为电磁波可以在真空中传播，所以航天员在太空可以用电磁波来通信。真空中电磁波的波速为c，大约为30万千米每秒。c是物理学中一个十分重要的常量，目前公认

$$c = 2.997\,924\,58 \times 10^8\ \mathrm{m/s}$$

电磁波的传播速度是不是看起来很熟悉？你由此产生了什么联想？

电磁波大家族

电磁波频率的单位也是赫兹。因为通常电磁波的频率都很高，所以常用的单位还有千赫（kHz）和兆赫（MHz）。这些单位间的换算关系是

$$1\ \text{MHz} = 10^3\ \text{kHz} \qquad 1\ \text{kHz} = 10^3\ \text{Hz}$$

想想做做

观察收音机的刻度板（图21.1−4），上面标有哪些数字和单位？它们都表示什么意思？打开收音机，转动调谐旋钮，调到可以收听到广播节目的位置，看看频率是多少。



图21.1−4　收音机刻度板

电磁波是个大家族。通常用于广播、电视和移动通信的是频率为数百千赫至数百兆赫的那一部分电磁波，叫作无线电波。日常生活中可以看到各种各样的天线，它们有的是发射电磁波的，有的是接收电磁波的。我们学过的可见光、红外线和紫外线也属于电磁波。X射线、γ射线是频率很高的电磁波。不同频率范围的电磁波在我们的生活中发挥着重要作用（图21.1−5）。

生活中常见的微波炉是用电磁波来加热食品的。微波炉内有很强的电磁波。这种电磁波的波长在无线电波中较短，叫作微波。食物的分子在微波的作用下剧烈

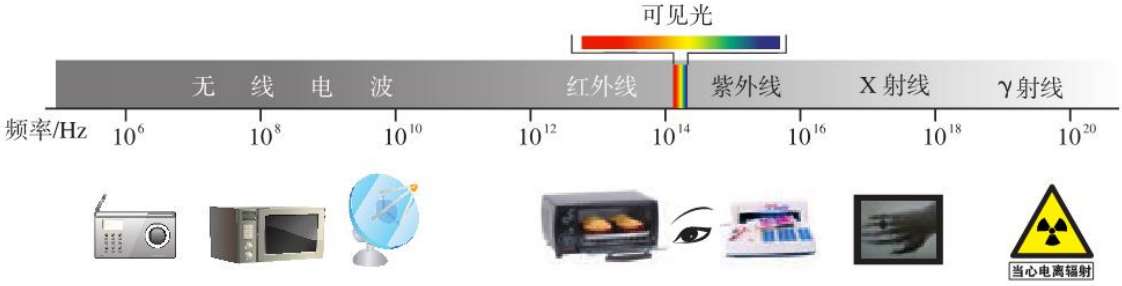


图21.1−5　不同频率范围的电磁波及其应用

振动，使得内能增加，温度升高。由于微波可以深入食物内部，所以用微波炉做饭时食物的内部和外部几乎同时变熟，省时、省电。

宇宙中存在的电磁波覆盖了整个电磁波段。我们除了可以在可见光波段用光学望远镜观测天体，还可以在无线电波段观测天体。在“天眼之父”南仁东的带领下，我国建成了世界上最大的500 m口径球面射电望远镜（FAST，图21.1-6），仰望星空，我们正在探索着宇宙的奥秘。

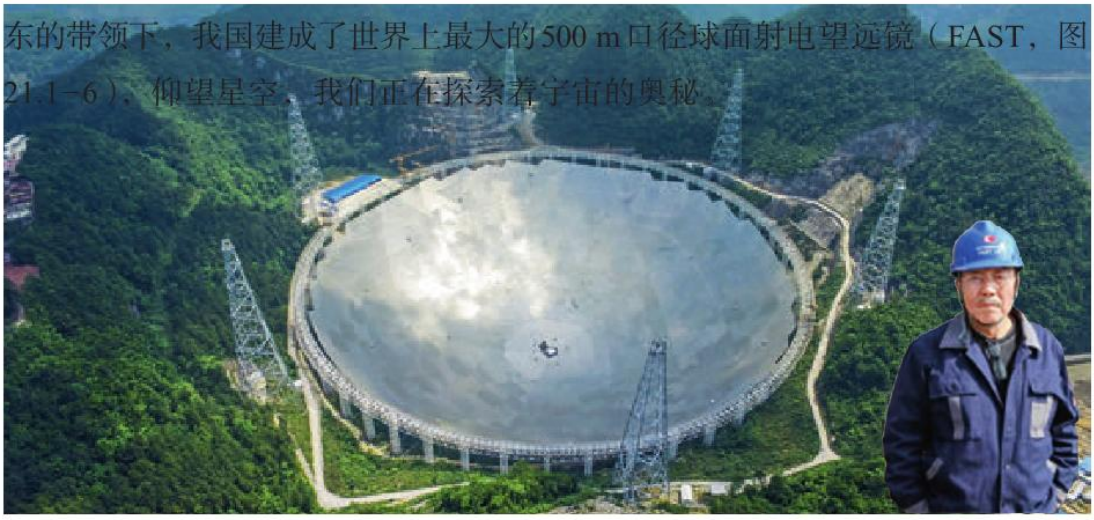


图21.1-6　南仁东（1945—2017）与中国天眼

练习与应用

1. 家中使用的电器很多都会用到电磁波，如微波炉、电视机等。你还知道哪些用电器也会用到电磁波？有什么事实支持你的看法？
2. 观察图21.1-4所示的收音机刻度板。当广播电台发射图中最高频率的电磁波时，线路中的电流方向每秒变化多少次？
3. 我国祝融号火星车安全到达火星表面并进行了巡视探测（图21.1-7）。祝融号通过什么传递火星的相关信息？如果祝融号发出信号时，信号恰好能直接发送到地球，且火星到地球的距离是3.2亿千米，那么信号由火星传到地球大概需要多长时间？



图21.1-7

4. 用红外线测距仪对准某一目标，发出一束红外线。这束红外线经目标反射后回到仪器时又被探测到。仪器测得红外线往返的时间为2.8×10^{-4} ms，这时目标与仪器之间的距离是多少？电磁波速度取3×10^{5} km/s。
5. 在我们的生活中，很多地方都应用了电磁波，如用于医疗诊断的X射线、烘烤食物的红外线、消毒的紫外线，以及收音机接收的短波和舞台效果中的红光、蓝光等。请你按照波长由长到短的顺序，对以上电磁波进行排序。

第2节 广播、电视和移动通信

问 题

我们打开电视机，听到的声音、看到的图像都是通过电磁波传来的（图21.2–1）；我们用智能手机浏览网页、打电话，也是靠电磁波来传递各种信息的。电磁波在信息的传递中扮演着非常重要的角色。这些信息是怎样被发射和接收的呢？



图21.2–1 发射电磁波的中央电视塔

无线电广播信号的发射和接收

无线电广播信号的发射由广播电台完成。人们先用话筒把播音员的声音信号转换成电信号，然后用调制器把音频电信号加载到高频电流上，再通过天线产生电磁波并发射到空中（图21.2–2 甲）。

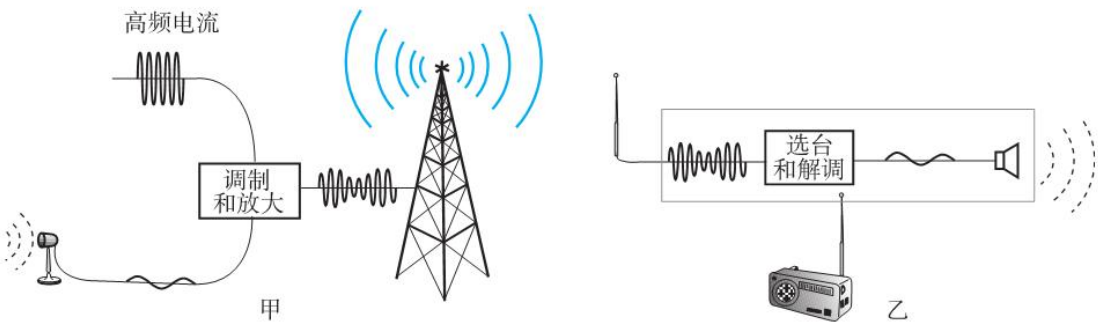


图 21.2–2 无线电广播的工作过程

信号的接收由收音机完成。收音机都有天线。老式收音机的天线很长，而且要架在室外很高的地方，以获

得更强的信号。现代收音机有很好的放大能力，天线可以隐藏在机壳内。

收音机的天线能接收到各种各样的电磁波。转动收音机调谐器的旋钮，可以从中选出特定频率的信号。由调谐器选出的信号含有高频电流成分，需要通过解调将其滤去，将音频电信号留下。音频电信号经放大后被送到扬声器里（图21.2-2乙）。扬声器把音频电信号转换成声音，我们就听到广播电台的节目了。

拓展实验

电磁波的发射和接收

电磁波的发射与接收可以用下列数字化实验设备来直观地显现。

如图21.2-3所示，电磁波发射器可以发射不同频率的电磁波，接收器接收到电磁波信号后，传感器、采集器将电磁波信号输入计算机，我们就可以在计算机屏幕上观察到电磁波信号。



图21.2-3　电磁波的发射与接收装置

连接好装置，把发射器置于某一波形挡，观察电磁波的波形。转动发射器上的旋钮，改变发射器发出的电磁波的频率，观察信号的变化。

电视信号的发射和接收


图21.2-4　电视直播北京冬奥会

电视用电磁波传递图像信号和声音信号。发射和接收图像信号的工作过程是：摄像机把图像变成电信号，发射机把电信号加载到频率很高的电流上，通过发射天线发射到空中。电视机的接收天线把这样的高频信号接收下来，通过电视机把图像信号取出并放大，由显示器把它还原成图像（图21.2-4）。声音信号的产生、传播

和接收跟无线电广播的工作过程相似。

此外，生活中常见的有线电视通过电缆等把电视节目传送到千家万户。

移动通信信号的发射和接收

手机已经很普及了。手机既是无线电发射台又是无线电接收台：它用电磁波把讲话的信息发射到空中，同时它又在空中捕获电磁波，得到对方讲话的信息。手机可以使你很方便地跟朋友通话，无论你的朋友在附近，还是远在别的国家。手机的体积很小，发射功率不大；它的天线也很简单，灵敏度不高。因此，它跟其他用户的通话要靠较大的固定无线电台转接。这种固定的电台叫作基站。城市中高大建筑物上常常可以看到移动通信基站的天线。图21.2-5为全球海拔最高的5G（第五代移动通信技术）基站，实现了珠峰峰顶5G网络覆盖。现在智能手机的功能非常丰富，可以用来视频通话、浏览网页、举办网络会议，等等。

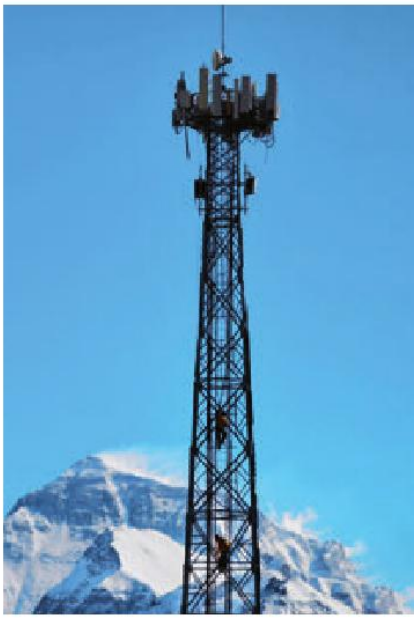


图21.2-5　珠峰大本营的5G基站

练习与应用

1. 无线电广播信号是由广播电台发送的，请在方框中将电磁波信号产生和发射流程中使用的装置补充完整。



2. 某同学用收音机收听中央广播电视总台1 008 kHz频道播放的钢琴节目，某时刻他听到演员弹奏频率为440 Hz的“6”音。

（1）在该时刻，话筒输出的音频电信号的频率是多少？

（2）此时收音机接收到的空中电磁波的频率是多少？

3. 如图21.2-1所示，中央电视塔的塔尖高耸入云，它的主要作用是什么？

❹ 老式电话的话筒中有一个装着炭粒的小盒子（图21.2-6甲），对着话筒讲话时由于声音的振动，膜片时紧时松地压迫炭粒，压紧时图中A、B之间的电阻变小，放松时电阻变大。在A、B之间加高频等幅电压（图21.2-6乙），对着话筒讲话（声波频率如图21.2-6丙所示），此时话筒中的电流大概是怎样的？若把该电流信号用电磁波发射出去，发射的电磁波中是否有讲话的声音信息？

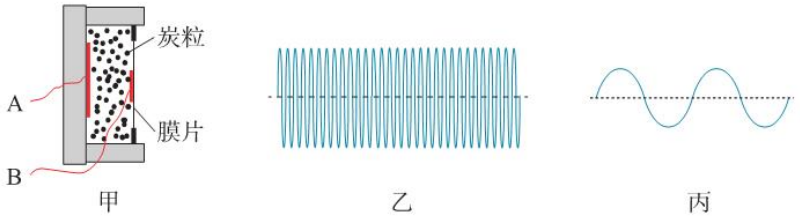


图 21.2-6

第3节 卫星通信和光纤通信



图21.3-1 微波通信接收装置

问 题

在无线电波中，微波的波长短，频率高。一条微波线路可以同时开通几千、几万路电话（图21.3-1）。微波的性质接近光波，大致沿直线传播，不能沿地球表面绕射。我们怎样才能把微波信号传递到远方呢？

卫星通信

由于微波大致沿直线传播，所以要想让它沿地球表面传播就要设中继站。通常每隔50 km左右就要建设一个微波中继站，把上一站传来的信号处理后，再发射到下一站去（图21.3-2）。要想使信号传递的距离越远，那么需要的中继站就越多。

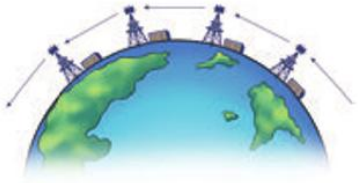


图21.3-2 微波中继通信示意

想想议议

在遇到雪山、大洋等根本无法建设中继站的情况时，又该怎么办？能不能利用地球的卫星——月球进行微波中继通信呢（图21.3-3）？



图21.3-3 用月球作为中继站实现微波通信的设想

月球是地球的卫星，可以反射微波，但它离我们太远了——38万千米！信号衰减、时间延迟，而且只有在当两个通信点同时见到月球时，才能完成这两点间的通信。

现在，人类可以用通信卫星作为微波通信的中继站来进行通信。通信卫星大多是相对地球静止的同步卫星，从地面上看，它们好像悬挂在空中静止不动。在地球的周围均匀地配置3颗地球静止卫星，就覆盖了几乎全部地球表面，可以实现全球通信（图21.3-4）。通过它们可以把从一个地面站接收的电信号，处理后再发送到另一个或几个地面站。现在通过卫星电视，一个地方出现的突发事件，全世界的人们几乎可以立刻看到现场的画面。

地球同步卫星绕地球转动的周期跟地球自转的周期相同，所以叫作“同步”卫星。

利用卫星来发射和接收电磁波信号的应用非常广泛。例如，北斗卫星导航系统是中国着眼于国家安全和经济社会发展需要，自主建设、独立运行的卫星导航系统，是为全球用户提供全天候、全天时、高精度的定位、导航和授时服务的国家重要空间基础设施（图21.3-5）。

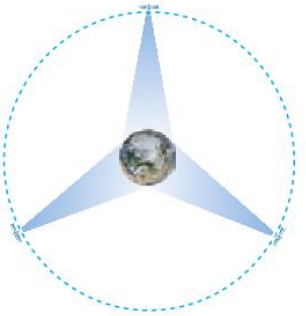


图21.3-4　用3颗地球静止卫星就可以实现全球通信



图21.3-5　使用北斗卫星导航系统的无人驾驶车辆

光纤通信

我们已经知道，电磁波的传播速度等于光速，实际

上光也是一种电磁波。与短波、微波相比，光的频率更高。如果用光来通信，相同时间可以传递更多的信息。不过，普通的光源包含了许多不同波长（频率）的光，难以用它携带信息。1960年，美国科学家梅曼制成了世界上第一台红宝石激光器，它能产生频率单一、方向高度集中的光——激光。物理学家提出用光纤通信的构想，这使得用光进行通信的梦想得以实现。通信用的激光一般在特殊的管道——光导纤维（简称光纤）里传播。

演示

水流导光

如图21.3-6所示，在塑料瓶的一侧开个小孔，塑料瓶内盛水，让激光从另一侧水平射向小孔。当水从小孔流出时，你会看到光随着弯弯的水流照到地面，在地面产生一个光斑。

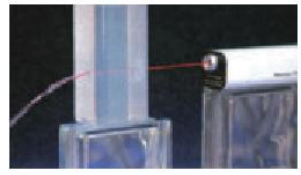


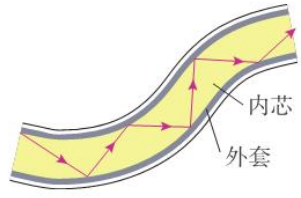
图21.3-6　水流导光

上面的实验模拟了激光在光导纤维中的传播。如图21.3-7所示，光从光导纤维的一端射入，在内壁上多次反射后从另一端射出，这样就把它携带的信息传到了远方。光导纤维是很细很细的玻璃丝，通常将数条光纤并成一束再敷上保护层，制成光缆，用来传递电视、电话等多种信息。由于光的频率很高，所以光在一定时间内可以传输大量信息。

我国光纤通信的发展十分迅速，光缆可以通达几乎所有地区，而且还与其他国家合作修建了跨越太平洋的海底光缆。随着互联网的进一步发展，移动通信网络的建设，物联网等新应用的不断涌现，光纤通信将迎来更广阔的发展空间。



甲　光导纤维实物



乙　光在光导纤维中的传播

图21.3-7　光导纤维

科学世界

激光的应用

除了通信，激光还有许多其他应用。激光束的方向性特别好，在传播很远的距离后仍能保持一定的强度。激光的这个特点使它可以用来进行精确的测距。对准目标发出一个极短的激光脉冲，测量发射脉冲和收到反射脉冲的时间间隔，就可以求出与目标的距离。激光测距雷达就是根据这个原理制成的。

激光还有一个特点是亮度高，也就是说它可以在很小的空间和很短的时间内集中很大的能量。如果把强大的激光束会聚起来照射到物体上，就可以使物体的被照部分迅速上升到极高的温度并熔化。因此，我们可以利用激光束来切割各种物质（图21.3-8）、焊接金属以及在硬质材料上打孔。医学上可以用激光作为“光刀”切除肿瘤，还可以用激光“焊接”脱落的视网膜。强激光可以在瞬间破坏敌人的飞行器，这是军事研究的重要方向。

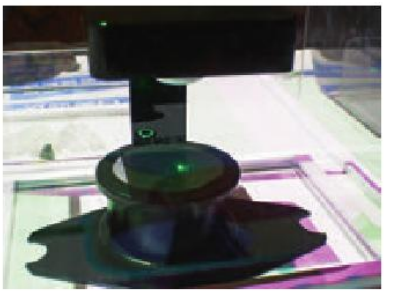


图 21.3-8　激光切割晶片示意

此外，利用几十阿秒（10^{-18}s）的激光脉冲可以“捕捉”原子内电子的运动，使人类对微观世界的观察接近极致。

练习与应用

1. 我们用地球静止卫星作为微波通信的中继站来实现全球通信，至少需要几颗地球静止卫星？要通过地球静止卫星适时地获得地球背面的信息，其信息传递路径大概是怎样的？
2. 现在许多长途电话是以地球静止卫星作为中继站的。打这种长途电话时，会感到对方的反应有些延迟。造成这种延迟的一个原因是，无线电波在射向卫星和从卫星返回时需要一定的时间。假设某人造卫星与地球的距离是36 000 km，请你估算延迟的时间。为什么打市内电话时没有这种延迟？
3. 我们的生活已经离不开信息的传递。我们不知不觉地把各种通信方式融入自己的生活和工作之中。请想一想，自己哪些地方用到了卫星通信和光纤通信。各举一个例子。

复习与提高

1. 在日常生活中有些电磁波会对广播的正常收听和电视的正常收看造成影响。你能列举有关的例子吗？你是怎么判断这是电磁波干扰造成的？
2. 我国自主建设的北斗卫星导航系统已投入使用。卫星导航系统能提供高精度的定位、导航等服务，这是应用了电磁波的哪些性质？
3. 中国天眼曾接收到距离地球1 351光年以外的星球发出的信号，这个信号的发射地到地球的距离是多少千米？
4. 某同学听爸爸说“5G手机比4G手机快”，你认为“快”指的是什么？
5. 全国有很多广播电台，每个电台使用的电磁波频率都不相同，为什么？
6. 电磁波在我们的生活中有着广泛的应用。例如，微波炉加热食物是利用电磁波传递能量，微波通信是利用电磁波传递信息。请你写出电磁波在生活中传递信息和传递能量的其他实例。
7. 随着科技的快速发展，汽车上的功能配置越来越多，如无人驾驶、自动泊车、车载导航、倒车雷达等。请你查阅资料了解，上述功能中哪些是利用电磁波实现的，哪些是利用超声波实现的。

第二十二章　能源与可持续发展

能源是人类文明进步的基础和动力，能源问题和我们每个人都息息相关。在本章的学习中，我们将从自己的家庭入手，调查能源使用情况，有针对性地制订优化能源使用的方案。

从身边的事做起，每个人都可以为全社会实现可持续发展作出贡献。快来试试吧！



第1节 能源利用的现状和面临的挑战

问 题

在前面的学习中，我们已经认识了各种形式的能量。生产和生活中利用的这些能量，是通过哪些能源提供的？

人类利用能源的历程

自从原始人发现使用火的方法以后，能源就成为人类文明发展的重要物质基础。钻木取火在人类利用能量的历史上非常重要。从利用自然火到利用人工火的转变，结束了远古人类的茹毛饮血，开启了以柴薪作为主要能源的时代。这个时代持续了近一万年。现在，柴薪仍是某些地区的生活能源。



图22.1-1 蒸汽机的利用

蒸汽机的发明是人类利用能源的新里程碑（图22.1-1）。人类从此逐步以机械动力代替人力和畜力，主要能源由柴薪转向煤，人类进入工业化社会。我们今天大规模使用的煤、石油和天然气，是千百万年前埋在地

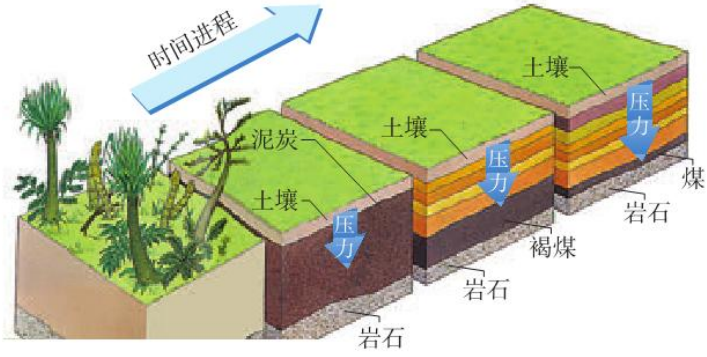


图22.1-2 煤的形成

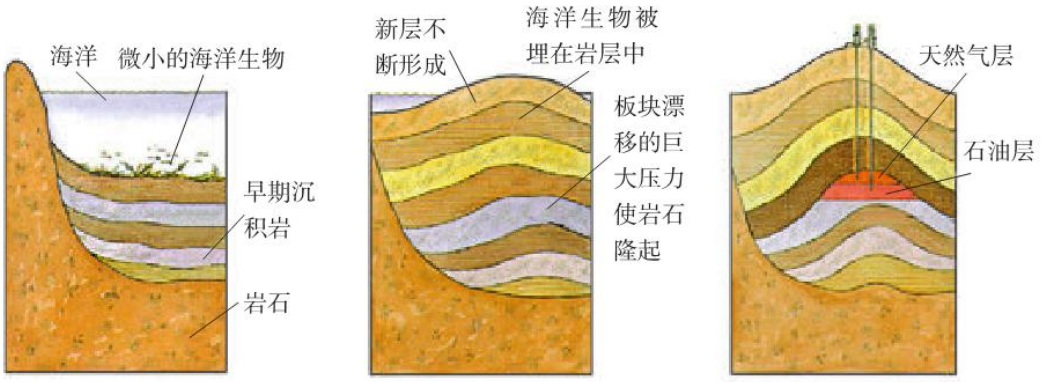


图22.1-3　石油、天然气的形成

下的动植物经过漫长的地质年代形成的（图22.1-2、图22.1-3），所以称为化石能源。

化石能源等不能在短期内从自然界得到补充，所以这类能源叫作**不可再生能源**。水能和风能等能源可以在短期内从自然界得到补充，叫作**可再生能源**。可再生能源与不可再生能源都是可以直接从自然界获得的能源，我们称这样的能源为一次能源。

电能是我们经常使用的能源。它通常是由其他能源转化而来的，最终还要转化为光能、内能、动能等其他形式的能量，为人类所用。为什么很多地方要使用电能，而不直接使用一次能源呢？这是因为电能便于输送和转化（图22.1-4）。现代社会离不开的各种各样的用电器，是将电能转化为其他各种形式能量的转化器。由于电能无法从自然界直接获取，必须通过消耗一次能源才能得到，所以称电能这样的能源为二次能源。



图22.1-4　电能便于输送和转化

能源利用面临的挑战

想想议议

我们已经知道能量是守恒的，为什么还要节约能源呢？

汽车制动时，由于摩擦，动能转化成了轮胎、地面和空气的内能，这些消耗的能量不能再自动地用来驱动汽车。同样，热量只能自发地从高温物体转移到低温物体，不能相反。如果要使热量从低温物体转移到高温物体，就需要消耗其他形式的能量，例如电冰箱就需要消耗电能。实际上，涉及热现象的能量转化和转移过程是有方向性、不可逆的。





图 22.1-5　汽车、飞机等需要化石能源

人们是在能量的转化或转移的过程中利用能量的。有些能量可以利用，有些则不能。因此，能源的利用是有条件的，我们所能利用的能源是有限的。化石能源是当今世界的主要能源，比如大多数汽车、飞机、轮船等交通工具都离不开它（图22.1-5）。

由于世界人口的增加和经济的不断发展，能源的消耗量持续增长。特别是近几十年来，能源消耗量的增长速度明显加快。如果把全世界的能源消耗量折合成热值为2.93×10^{7} J/kg的标准煤来计算，1950年为26亿吨，1987年为110多亿吨，2007年达到160亿吨，2022年达到205亿吨（图22.1-6）。如果长期大规模开采，化石能源最终将会消耗殆尽。

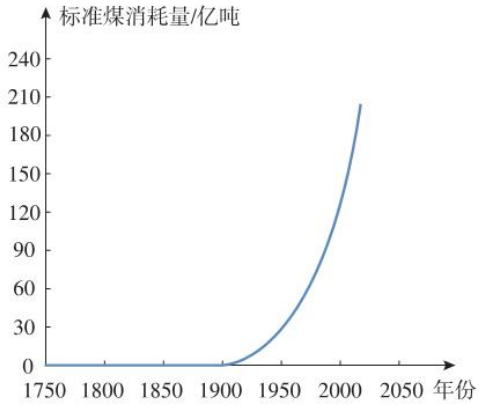


图22.1-6　人类能源消耗量急剧增长

在耗用各种能源时，不可避免地会对环境造成影响。例如，由于现代生活中化石能源的广泛使用，燃料的燃烧产生了大量的二氧化碳，加剧了地球的温室效应



（图22.1-7）。此外，煤、石油、天然气等燃料往往含有杂质，致使燃烧生成的气体中含有二氧化硫等有害物质。燃料的不完全燃烧还会产生粉尘和一氧化碳，对人和环境造成危害。开发新能源、更好地利用已知能源，是全球范围内的重要课题。

图22.1-7　汽车尾气

科学·技术·社会·环境

燃煤发电的清洁技术

我国火力发电的燃料主要是煤。煤发电的原理是：用煤燃烧产生的热量加热水，使之变成高温高压的水蒸气，然后推动汽轮发电机组发电。在现代化的发电厂中，会对水蒸气进行二次加热，使它继续推动发电机发电，提高发电效率。

为了降低污染，煤在燃烧前会经过洗选来去除杂质，在充分燃烧后，发电厂会对排出的烟气进行脱硫、脱硝、除尘等净化处理，减少二氧化硫等污染物的排放（图22.1-8）。



图22.1-8　清洁高效的火力发电

此外，碳捕集技术正在快速发展。碳捕集技术能够将烟气中的二氧化碳大规模收集起来，制成纯度为99.5%的工业级合格液态二氧化碳产品，对实现“碳达峰碳中和”目标具有重要意义。2021年1月，我国建成了燃煤电厂每年15万吨燃烧后二氧化碳捕集示范工程（图22.1-9）。2022年6月，另一个年产150万吨的燃煤电厂燃烧后二氧化碳捕集项目也正在加紧建设。



图22.1-9　碳捕集示范工程

练习与应用

1. 柴薪、煤、石油、天然气通过燃烧可以提供能量。请你再列举两种人们利用能源的实例。
2. 以下列出了各种形式的能源：柴薪、煤、石油、天然气，风能、水能、电能、太阳能、地热能。在这些能源中，哪些是化石能源？哪些是一次能源？哪些是二次能源？请填在以下表格中。

一次能源	
二次能源	
化石能源	

3. 蒸汽机的发明对人类利用能源有什么意义？电能的广泛使用对人类利用能源有什么意义？
4. 能源的使用，不过是一种形式的能转化为另一种形式的能而已。自然界的能量是守恒的，它既不能创生，也不会消失。既然如此，那为什么还要节约能源呢？
5. 某同学有个困惑：电能是可再生能源还是不可再生能源？他查了好几本书也没查到答案，请你告诉他怎么看待这个问题。
6. 我们经常听说“节能减排”，什么是“减排”？为什么要“减排”？“减排”为什么是和“节能”连在一起的？

第2节 新能源的发展

问 题

为了解决利用化石能源带来的问题，人们着手开发各种新能源。你知道的新能源有哪些？

核能

随着科学技术的发展，科学家发现了更多的新粒子，并发现质子、中子等本身也有自己的复杂结构。人们对微观世界的探索在不断深入。

我们知道，分子是由原子构成的，原子的中心是原子核，原子核周围有一定数目的电子在运动。科学家通过进一步的研究表明，原子核还有如图22.2-1所示的更精细的内部结构：原子核由质子和中子组成，质子带正电荷，其电荷量跟电子的电荷量相等，中子不带电；质子的质量大约是电子的1 836倍，中子和质子的质量几乎相同。质子和中子构成非常小的原子核，就像几颗豆粒挤在一个非常大的广场中央。

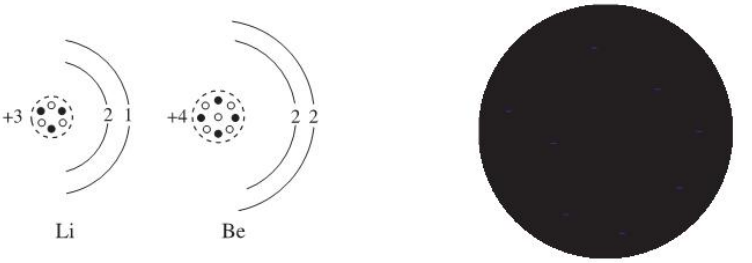


图 22.2-1 原子核及核外电子

质子、中子依靠强大的核力紧密地结合在一起，因此原子核十分牢固，要使它们分裂或结合是极其困难的。但是，一旦质量较大的原子核发生分裂或者质量较

小的原子核相互结合，就有可能释放出惊人的能量。这种能量就是**核能**（nuclear energy）。

裂变　20世纪30年代，科学家用中子轰击质量比较大的铀235原子核，使其发生裂变，变成两个质量中等大小的原子核，同时还会产生几个新的中子，这些中子又会轰击其他铀核……于是就导致一系列铀核持续裂变，释放出巨大的能量。这就是裂变中的链式反应（图22.2-2）。1 kg铀全部裂变，释放的能量相当于2 800 t标准煤完全燃烧时释放的能量。

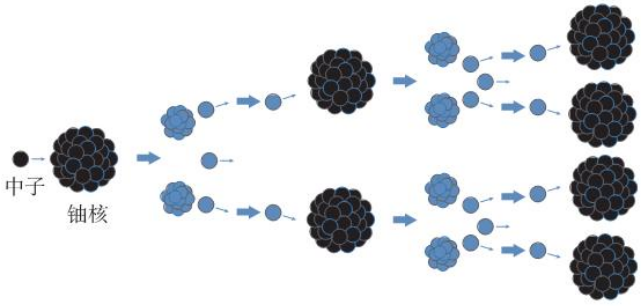


图 22.2-2　链式反应



图 22.2-3　1964年我国第一颗原子弹爆炸

如果对链式反应不加控制，那么大量原子核就会在一瞬间发生裂变，释放出极大的能量，例如原子弹的爆炸（图22.2-3）。



图 22.2-4　华龙一号核反应堆

如果链式反应可控，那么就可以控制核能的释放，例如核反应堆中发生的就是可控链式反应。核电站利用核能发电，它的核心设备就是核反应堆（图22.2-4）。核电站利用核反应堆产生的内能，通过汽轮机做功，带动发电机发电（图22.2-5）。随着我国具有完全自主知



图 22.2-5　核电站发电原理

识产权的第三代百万千瓦级核电技术机组——华龙一号的建成，我国的核能发电技术已居于世界先进地位。

聚变　如果使某些质量很小的原子核，例如氘核（由一个质子和一个中子构成）与氚核（由一个质子和两个中子构成），在超高温和高压下结合成新的原子核——氦核，也会释放出巨大的核能（图22.2-6）。这就是聚变，有时也称为热核反应。

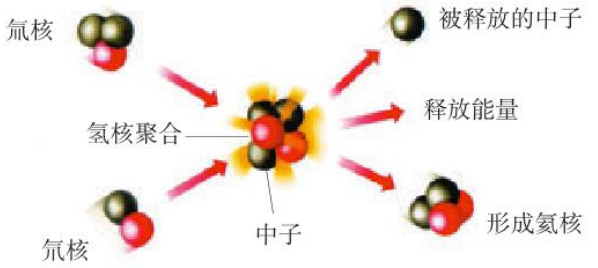


图22.2-6　氘氚聚变

氘核、氚核都是氢核的一种。大量氢核的聚变，可以在瞬间释放出惊人的能量。氢弹利用的就是这种能量。

在太阳内部，氢原子核在超高温下发生聚变，释放出巨大的核能。因此可以说，太阳核心每时每刻都在发生氢弹爆炸，比原子弹爆炸的威力更大。太阳核心释放的能量向外扩散，可以传送到太阳表面。太阳表面温度约为6 000 ℃，就像一个高温气体组成的海洋。大部分太阳能以热和光的形式向四周辐射出去。太阳这个巨大的“核能火炉”已经“燃烧”了近50亿年。目前，它正处于壮年，要再过50亿年才会燃尽自己的核燃料。那时，它将膨胀为一个巨大的红色星体……

如何实现可控核聚变，如何利用可控核聚变释放的核能，科学家正在积极地探索着。海水中蕴藏着丰富、可以实现聚变的氘核。科学家预言，通过可控核聚变来利用核能，有望彻底解决人类所面临的能源问题。我国

正在采用不同方式进行可控核聚变的研究，中国科学院建造的环流器（tokamak）EAST（图22.2-7）实现了1 000 s以上的长时间运行，中国工程物理研究院等单位建造了“神光Ⅲ”激光约束核聚变研究装置。

与化石燃料一样，核燃料在自然界中也是有限的，核能属于不可再生能源。

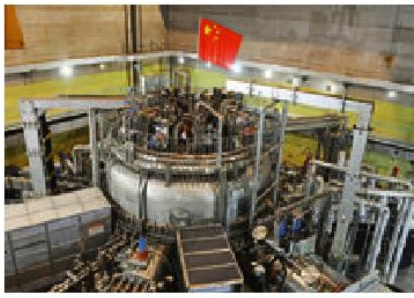


图22.2-7　中国科学院的环流器

太阳能

太阳照耀着我们的地球，人类除了间接利用储存在化石燃料中的太阳能，还设法直接利用太阳能。随着科学技术的进步，太阳能等可再生能源逐渐得到较为广泛的应用。目前直接利用太阳能的方式主要有两种，一种是用集热器把水等物质加热（图22.2-8），另一种是用太阳能电池把太阳能转化成电能（图22.2-9）。



图22.2-8　屋顶的太阳能集热器

平板式集热器的箱面是玻璃，内部有涂黑的吸热板，可以吸收太阳辐射并将其转化为内能，从而将集热器管道内的水流加热。太阳能电池具有使用寿命较长的优点。太阳能电池应用在航空、航天、通信等领域，在日常生活中也用于电灯、计算器、手表等用电器。



图22.2-9　太阳能电池阵列

风能和海洋能也是人们可以利用的新能源，它们都可以用来发电。我国建设了数座潮汐电站，也建成了许多“风车田”，场面蔚为壮观（图22.2-10）。



图22.2-10　壮观的“风车田”

核电站与核废料处理



图22.2-11　射线警告标志

核反应堆是通过可控裂变反应释放核能的设备。核反应堆内的铀核发生裂变时，会释放能量，也会产生射线。如果射线泄漏到反应堆外面，就会对人和其他生物造成伤害（图22.2-11），所以核反应堆都封闭在一个厚厚的钢筋混凝土壳中。

核电站一旦发生核泄漏事故，就可能产生严重的危害（图22.2-12），所以核电站的安全性应得到高度重视。为此，科学家们制定了严格的安全措施和安全标准。核电站使用过的核燃料称为核废料。由于核废料仍然具有放射性，所以一般将其放入特殊的容器封存后，深埋在人烟稀少的地方。某些发达国家将核废料运送到其他国家埋放，引起了广泛的抗议。

在化石能源供应日趋紧张之时，建设核电站是人类解决能源危机的一种可行方案。我国坚持安全有序发展核电。2021年10月，我国研发的全球首座球床模块式高温气冷堆并网发电，标志着我国成为世界少数几个掌握第四代核电技术的国家之一。高温气冷堆的安全性进一步提高，在发生异常情况时，可以在不需人为干预的情况下保持安全状态。2023年12月，我国建设的全球首座第四代核电站正式投入商业运营。迄今，我国在运核电机组总体安全状况良好。



图22.2-12　2011年日本福岛核电站因地震发生核泄漏

练习与应用

1. 原子、原子核、电子、中子、质子，它们之间有什么关系？哪些是不带电荷的？哪些是带电荷的？带的是哪种电荷？
2. 原子和原子核的尺寸究竟有多大？研究表明，若把它们都看成球体，原子半径的数量级为 10^{-10} m，原子核半径的数量级为 10^{-15} m。打个比方，如果原子的大小跟北京奥运会“鸟巢”体育场一样大，那么原子核该有多大？是相当于篮球、乒乓球，还是绿豆的大小？
3. 什么是原子核的聚变？人类关于聚变的应用已经取得的成就是什么？还有什么问题需要解决？
4. 有人说，我们现在开采的煤、石油等化石能源，实际上都来源于上亿年前太阳上的核能。请你说明这句话的道理。
5. 人类利用太阳能的实质，是将太阳能转化为其他形式的能量。太阳能转化为其他形式能量的方式有三种：一是光热转换，例如用太阳能集热器把水加热；二是光化转换，把太阳能转化为化学能；三是光电转换，把太阳能转化为电能。图 22.2−13 画出了这三种转化的框图。其中椭圆表示转化的装置或物体，菱形表示由太阳能转化成的另一种能量形式。请在图中的三个空白处填入相关的文字。

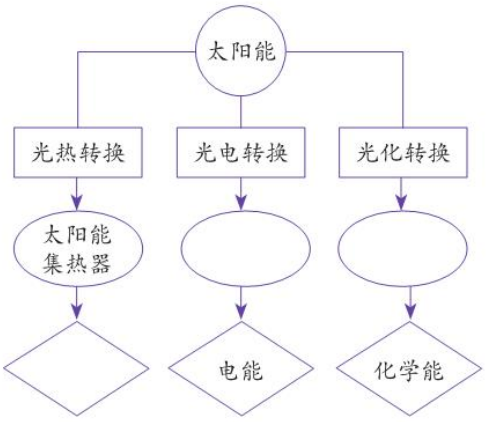


图22.2−13

第3节 跨学科实践：为节约能源设计方案

项目提出

人们在生产生活中都会使用各种能源。你在生活中都遇到过哪些浪费能源、污染环境的问题？想为节能和环保作出贡献，可以先从优化自己家中能源的使用入手，制订出一个优化家庭能源使用的具体方案。

项目分析

制订优化自己家庭能源使用的具体方案，首先应该了解家庭使用能源的具体情况，然后有针对性地提出优化方案，分析它的有效性和可行性，并与他人交流讨论，对方案进行改进。

项目实施

1．调查家中能源的使用情况

调查家中能源的用途、类型，估算这些能源的消耗量。表1是某同学以自己的家庭为例，列出的能源使用的主要情况。你可以参照此表，也可以根据自己的想法设计表格，统计自己家中能源的使用情况，并在表格中填写相应信息。

表1　某个家庭的能源使用情况

能源用途	采暖	做饭	生活热水	制冷	其他电器	交通
能源名称	天然气			电		汽油
能源类型	不可再生能源			约70%来自不可再生能源，约30%来自可再生能源		不可再生能源
消耗量（年）	200 m^3			1 000 kW·h		500 L

根据调查情况，可以了解家庭在一段时间内消耗能源的情况，估算每种用途的能源消耗量，确定哪些用途的能源消耗比较多。例如，现在家庭中的采暖、制冷、生活热水、交通等，都可能是家庭消费能源的主要方面。

2. 选取优化对象与确定改进方法

根据上面的调查结果，结合以下问题，思考如何选取优化对象，确定改进方法。

（1）根据实际的调查结果，思考家中在哪些方面的能源使用可以优化，其中又有哪些是要优先改进的。



图22.3-1　农村住宅加装的太阳能电池板

（2）优化能源使用的方法不止一种。例如，可以在家中使用太阳能等新能源（图22.3-1），也可以利用技术手段来提高现有能源的使用效率，还可以从自身做起，通过优化家庭用车等行为来节约能源、减少浪费……你想利用哪些方法？

（3）在确定节能方法时，需要从哪些角度分析？例如，如果打算用新能源汽车取代家中的传统燃油车，那么从是否节约能源的角度，应该收集哪些证据？怎么分析？从能否满足人们使用需要的角度，又应该收集哪些证据？怎样分析？

3. 制订与检验设计方案

方案一：为房屋加装保温层。有一组同学在调查各自家中能源的使用情况后，认为除了可以在夏季制冷

时适当调高空调温度、冬季采暖时调低暖气温度来节约能源，还可以对房屋进行改造来节约能源。这组同学制订方案的过程如下所示。

（1）明确思路。根据学过的知识可知，热量能自发地从高温物体传递到低温物体，因此我们要想保持房间的温度不变，就要尽可能减少房间与外界的热传递。怎样才能做到这一点？小组内有同学认为可以参考人们冬天穿羽绒服来保暖的方法，选择保温能力比较强的材料将房间“包裹”起来，以此减少房屋内部与外界的热量交换。

（2）选取材料。日常生活中的许多材料都可以用来保温，材料的保温性能与哪些因素有关？当为房屋选择保温材料时，还需要从哪些方面考虑？

查阅资料得知，材料的保温性能通常与它的厚度、热导率、干燥程度、与外界的接触面积，以及外界温度等有关。通常，材料厚度越大、热导率越小、与外界的接触面积越小，材料就越能减缓热量散失。表2列出了一些常见材料在室温和干燥环境下的热导率，也可以通过查找资料获得其他材料或不同条件下的热导率。

表2　不同材料的热导率

材料	热导率/［W·（m·℃）$^{-1}$］	材料	热导率/［W·（m·℃）$^{-1}$］
铝	236	木材	1.2
玻璃	1.1	混凝土	1.3
空气	0.2	聚苯板	0.03
纸张	0.03	……	……

在为房屋选择保温材料时，除了材料的热导率，还要从材料的环保性、价格、耐火性，以及是否容易安装等方面进行评估（表3）。如果你还有其他想法，可以补充到表3中，然后从中选出一两种材料作进一步的比较分析。

表3　对不同材料的评估

材料名称	热导率	环保性	价格	耐火性	易安装程度	……
材料1						
材料2						
材料3						
……						

（3）确定方案。在选定了保温材料后，先在小组内讨论设计方案。例如，在房间的哪些部位安装保温材料？保温材料的规格、尺寸应满足什么要求？门窗应该怎样进行保温处理？……然后围绕这些问题制订具体的设计方案（表4）。

表4　房屋保温的设计方案

安装位置	安装尺寸	所需材料	处理方式	备注
外墙1				
外墙2				
窗户1				
窗户2				
入户门				
……				

（4）制作模型与测试。在真正实施设计方案前，需要制作一个简易模型来模拟我们的家，通过测试来检验方案是否有效，并提出优化建议。小组内进行讨论：如何在测试中简单有效地模拟我们的家？给“家”安装哪些保温材料？怎样检验保温效果？

为了方便起见，可以选择身边容易获取、安装，与实际保温材料热导率相近的材料，将它安装在“家”中的相应部位。为了检验保温效果，可以将相同质量的冰

在工程技术中，方案最终实施前，通常需要制作简易模型来评估设计的可行性，以达到节约成本、保证质量的目的。

块装在塑料袋中，分别放入没有保温材料和装有所选保温材料的“家”中，将“家”放置在相同的环境下，经过相同的时间后将冰块取出并进行比较，通过比较冰块质量的变化来评估设计的保温效果。

方案二：为家庭用车提供建议。另一组同学认为自己家中的燃油汽车消耗的能源较多，而且排放的尾气还污染环境。为此，他们想要调查新能源汽车能否替代自己家中的燃油汽车，以减少能源消耗，并对环境更加有益。

他们准备按照以下思路开展调查和论证，提出相应的建议，并形成报告。

新能源汽车一般使用电能、氢能等，传统燃油汽车使用汽油、柴油。根据前面学过的知识，想想如何比较两类汽车的能耗。

（1）目前都有哪些种类的新能源汽车？与传统燃油汽车相比，新能源汽车是否更加节能和环保？例如，从某种新能源汽车中选出有代表性的分析对象，与燃油汽车对比分析能耗情况。在这个过程中，既要考虑两种汽车直接消耗的能源，也要考虑汽油、电力等在生产过程中的转化效率，以及两种汽车在生产中所消耗的能源，等等。

（2）与传统燃油汽车相比，新能源汽车是否满足人们的日常使用需要？还有哪些局限性，还需要如何改进？例如，纯电动汽车充电时间相对较长，温度对电池电量的影响较大，需要了解家中成员一般每天用车行驶的路程，所在地区的气候以及充电桩的分布情况，等等。推断当前纯电动汽车能否满足大部分需求，或是能够满足哪些地域、场景的需求。

（3）除了节能和环保，还有没有其他因素促进新能源汽车的发展？例如，我国的石油高度依赖进口。从能源安全的角度看，使用新能源汽车的意义是什么？

……

展示交流

在设计方案时不仅要提供具体的优化建议，还要有充分、确凿的证据以及合理的推理作为支撑。形成具体的方案后，需要与大家进行交流讨论，找出方案的不足和改进办法。交流的形式可以多种多样，既可以通过举办辩论会的方式进行，也可以通过制作展板、举办论坛的方式进行。

最后，归纳出一些具体的家庭能源使用的优化方法。请估算，如果你的家庭按照设计方案优化能源的使用，每年会节约多少能源？如果全国所有家庭都采取类似的节能措施，会节约多少能源？

可以上网查找组织辩论会、论坛等的流程，以及需要注意的事项等。

复习与提高

1. 请把电能、煤、柴薪、石油、核能等能源，按照人类开始使用的先后进行排序。
2. 能源家族中有柴薪、煤炭、石油、天然气、水能、风能、太阳能、核能等，其中哪些属于不可再生能源？哪些属于可再生能源？
3. 许多地方都在推广利用太阳能，交通指示灯及路灯照明系统已大量使用太阳能。白天，太阳能转化为电能，除供正常使用外，将多余的能量储存在蓄电池内，夜晚供交通指示灯及照明灯发光。请完成下面的方框图，反映这个过程中能量发生转化的情况。



4. 很多地方都安装有太阳能路灯（图22−1），它们无需外界供电，依靠太阳能电池板就可以实现自我供电。如果路灯的额定功率为50 W，平均每天正常工作10 h，一盏这样的路灯一年能够节约多少电能？



图22−1

5. 三峡水电站2020年的发电量达1 118亿千瓦时。如果由效率为36%的火力发电站提供同样的发电量，每年需要消耗多少吨标准煤？标准煤的热值取3×10^7 J/kg。
6. 低碳排放，保护地球。我国力争于2030年前二氧化碳排放达到峰值，2060年前实现碳中和。请你提出两个践行低碳生活的建议，并说明其中的物理原理。
7. 我国幅员辽阔，各地的自然条件有很大差异，这是发展各有特点的可再生能源的有利条件。请你列举三种不同的可再生能源，并说明我国在哪些地方有利于发展（或已经发展了）这些可再生能源。

索引

（名词后面的数字是该名词中、英文第一次出现的页码）

A
安培 55
安培定则 155

B
北极 148
比热容 3
并联 50
波长 176
波速 176

C
串联 50
磁场 148
磁感线 149
磁化 148
磁极 147

D
导体 46
电池 45
电磁波 175
电磁感应 168
电磁铁 157
电功 112
电功率 114
电荷 40
电流 45
电路 46
电能 111
电压 67
电源 46
电子 41
电阻 78

E
额定电压 116
额定功率 116

F
分子 8
伏特 68
负电荷 41

G
感应电流 168

H
核能 195

J
焦耳定律 121
绝缘体 46

K
库仑 41
扩散 9

N
南极 148
内能 14
能量守恒定律 22

O
欧姆 78
欧姆定律 98

R
热机 25
热量 2
热运动 10

Y
原子 8

Z
正电荷 41

后　记

本套教科书（八~九年级）由人民教育出版社课程教材研究所物理课程教材研究开发中心依据教育部《义务教育物理课程标准（2022年版）》编写。

本套教科书集中反映了基础教育课程改革的最新成果，总结了上一版《义务教育教科书　物理》的编写经验，凝聚了教育专家、学科专家、教材编写人员、教研人员及一线教师的集体智慧。本套教科书的统稿人为彭前程、黄恕伯，由张颖协助主编主持编写工作。参加本册教科书编写工作的还有魏昕。参加本册教科书习题编制的有梁秋丽、张爱霞、王亚莉、徐杰、王延钊、李友安。本套教科书封面设计由中央美术学院设计团队完成，人民教育出版社设计部制作。本册教科书版式设计为房海莹，内文插图绘制为潘伟、张傲冰，摄影为张朝平。我们感谢上一版《义务教育教科书　物理》的编写人员孙新、秦晓文等，感谢所有对教科书的编写、审读、试教、出版等提供过帮助与支持的同仁和社会各界朋友。

本册教科书出版之前，我们通过多种渠道与教科书选用作品的作者进行了联系，得到了他们的大力支持。视觉中国、IC PHOTO、全景视觉、中新图片等机构为本册教科书提供了图片素材。对此，我们表示衷心的感谢！但仍有部分作者未能取得联系，恳请入选作品的作者与我们联系，以便支付稿酬。

我们真诚地希望广大教师、学生及家长在使用本册教科书过程中提出宝贵的意见和建议。我们将本着精益求精的态度，集思广益，不断修订，努力使教科书日趋完善。

联系方式

电　话：010-58758386，58758866

电子邮箱：jcfk@pep.com.cn

中小学教材意见反馈平台：jcyjfk.pep.com.cn

人民教育出版社　课程教材研究所

义务教育教科书

物理

九年级 | 全一册

YIWU JIAOYU JIAOKESHU

WULI

绿色印刷产品

ISBN 978-7-107-38956-6

定价：12.50 元