国家教材委员会专家委员会审核通过
2024

义务教育教科书

（五·四学制）

物理

九年级 上册



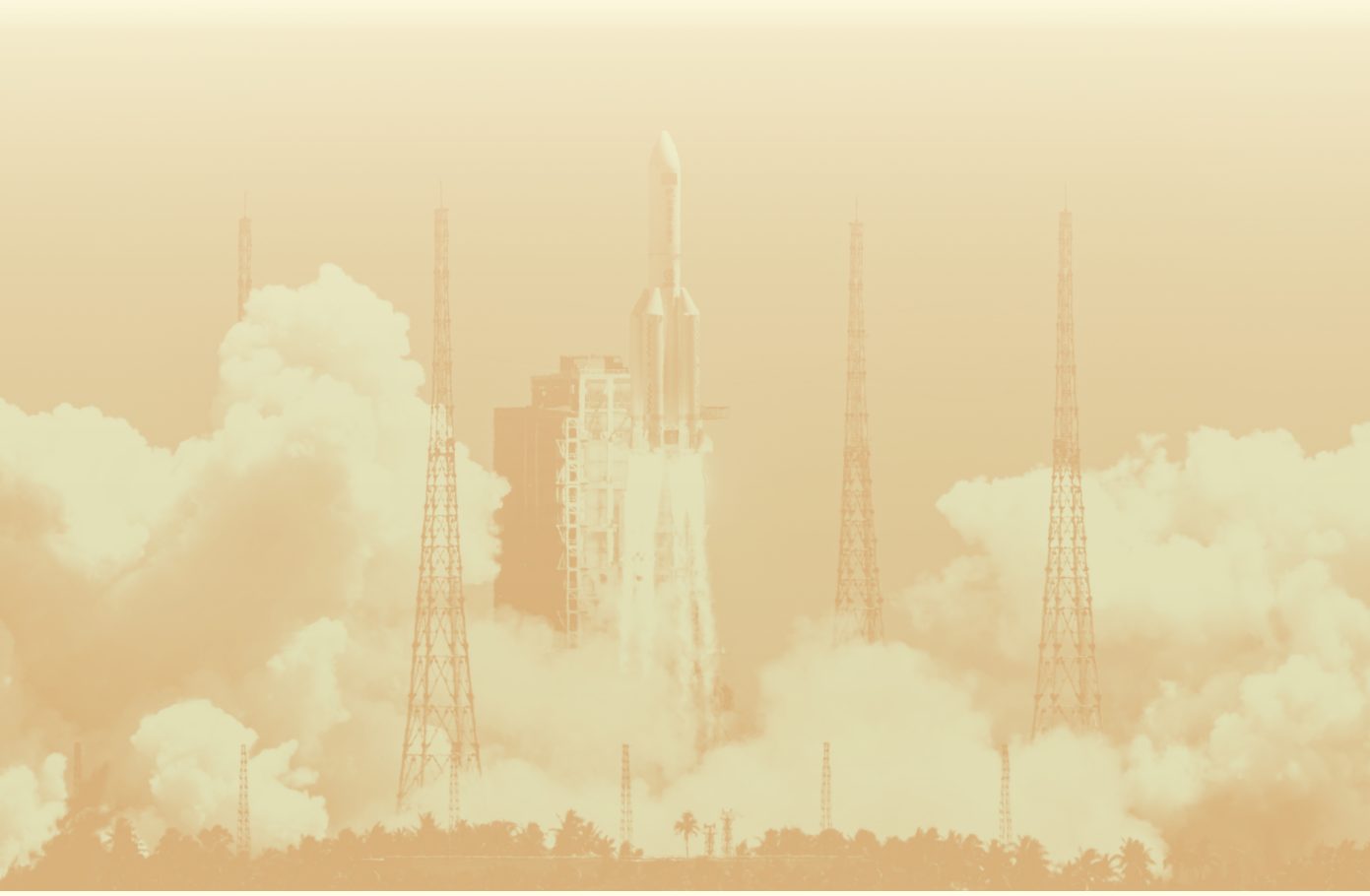
上海科学技术出版社

义务教育教科书

（五·四学制）

物理

九年级 上册



上海科学技术出版社

主　　编：高　景
执行主编：朱　臻

本册主编：贾慧青
核心编写人员：（以姓氏笔画为序）
刘展鸥　李希凡　张俊雄　周世平　秦欢珍

责任编辑：张　燕　李孟达　陈慧敏
美术设计：房惠平　诸梦婷

义务教育教科书（五·四学制） 物理　九年级　上册

出　　版　上海世纪出版（集团）有限公司　上海科学技术出版社
（上海市闵行区号景路 159 弄 A 座 9F–10F　邮政编码 201101）
发　　行　上海新华书店
印　　刷
版　　次　2025 年 8 月第　版
印　　次　2025 年 8 月第　次
开　　本　787 毫米 ×1092 毫米　1/16
印　　张　8
字　　数　130 千字
书　　号　ISBN 978–7–5478–7097–6/G·1352
定　　价
价格依据文号

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或使用本产品任何部分·违者必究
如发现印装质量问题或对内容有意见建议，请与本社联系。电话：021–64848025，邮箱：jc@sstp.cn

目录

第10章 内能 1

第1节 · 热量　比热容　2

第2节 · 内能　9

第3节 · 热机及其工作原理　14

第4节 · 热机的效率　19

跨学科实践 · 城市“热岛效应”的调研　24






第11章 静电与电流 30

第1节 · 简单的静电现象　31

第2节 · 电流　36

第3节 · 电压　44

第4节 · 串联电路和并联电路　49

第5节 · 串联电路和并联电路中电流、电压的特点　55






第12章 欧姆定律

66

第1节 · 电阻　变阻器　67

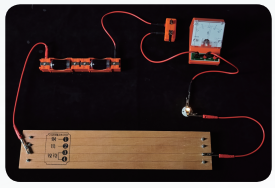
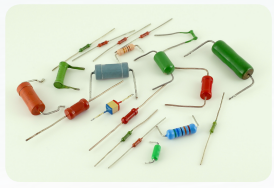
第2节 · 电流与电压、电阻的关系　74

第3节 · 电阻的测量　80

第4节 · 电阻的串联和并联　84

跨学科实践 · 半导体材料的应用　91



第13章 电功率

98

第1节 · 电功　99

第2节 · 电功率　104

第3节 · 焦耳定律　108

第4节 · 家庭电路　113








第10章 内能

18 世纪初到 19 世纪中叶，热机的出现和广泛使用促进了工业的迅速发展。热机的工作过程涉及内能及其转化。本章我们将学习热机所涉及的物理学基础知识。

通过本章内容的学习，你将了解热量、比热容、内能和热值等基本概念，知道热机的工作原理；感受热机的发明对提升社会生产力的作用和影响，增强节能和环保的意识；初步形成能量观念。



图 10–1–1 海滩

第1节

热量　比热容

盛夏时节，烈日暴晒下的海水和沙子的温度都会升高。当你赤足漫步在海滩（图 10–1–1）时，一定会感觉到沙子比海水的温度更高。为什么我们会有这种感受呢？

什么是热量？

能量从温度高的太阳辐射到温度低的沙子，又从沙子传导到温度更低的脚底，这些都是热传递现象。在物理学中，把物体在热传递过程中吸收或放出能量的多少称为**热量**（heat）。热量通常用 Q 表示。在国际单位制中，热量的单位与能量的单位相同，都是焦耳，简称焦，符号是 J。

夏日的海滩炽热滚烫，为什么穿着拖鞋踩在炽热沙子上却感觉不到烫脚呢？

自主活动

如图 10–1–2 所示，将粗细、长度均相同的木棒和铜棒安装在金属支架 O 处，然后在这两根棒上与 O 距离相同的位置处分别用凡士林粘上一根牙签。用酒精灯加热金属支架 A 端，观察哪根牙签先落下。

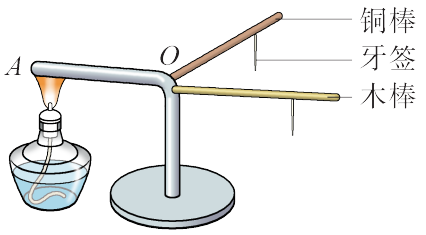


图 10–1–2　比较不同物质的导热性

通过上述实验发现，粘在铜棒上的牙签落下时，木棒上的牙签还牢牢地粘在上面。这说明铜棒的导热性比木棒的导热性强。

大量实验表明，不同物质的导热性一般不同。铜、铁、铝等物质容易导热，塑料、橡胶、木材等物质则不容易导热。

如图 10–1–3 所示，水壶的把手用塑料制成，可以防止提起水壶时手被烫伤。壶身则用容易导热的金属制成，可以将炉火的热量更快地传递给壶中的水。



图 10–1–3　烧水壶

物质的吸放热与哪些因素有关？

烧水时，加热时间越长，水吸收的热量就越多，水温就越高。即质量相同时，温度升高得越多，水吸收的热量就越多。烧开一壶水比烧开半壶水所需时间长，说明升高相同的温度，水的质量越大，吸收的热量越多。

相同的日照时间，海水升温少，沙子升温多，这是什么原因呢？

自主活动

如图 10–1–4 所示，利用红外加热器、温度传感器、电子天平、搅拌器、烧杯等器材，测量质量相同的水和干燥砂石吸收热量后温度变化的相关数据。加热器在相同时间放出的热量相等。

设计表格并将水和干燥砂石在加热过程中的温度与加热时间记录在表中，或者描绘两种物质的温度随加热时间变化的图像。

根据数据或图像所反映的情况讨论水和干燥砂石吸热性质的差异。



图 10–1–4　实验装置

在上述实验中，要使质量相同的水和砂石升高相同的温度，水需要加热的时间长，说明水吸收的热量更多。同样，质量相同的水和砂石降低相同的温度，水放出的热量也比砂石多。

大量实验表明，物质吸收或放出的热量与物质的质量、升高或降低的温度，以及物质的种类有关。

拓展视野

相对于固体和液体，气体的比热容更加复杂。当气体的压强一定时，吸收的热量不仅会导致气体温度升高，气体的体积也会膨胀；当气体的体积一定时，吸收的热量仅导致气体温度升高。所以，气体压强一定时的比热容比体积一定时的比热容大。

如何描述不同物质吸放热的性质？

为了描述不同物质吸放热的性质，物理学中引入了比热容这一物理量。

一定质量的某种物质，温度升高（或降低）时吸收（或放出）的热量与它的质量和升高（或降低）的温度乘积之比，叫做这种物质的**比热容**（specific heat capacity）。比热容用 c 表示，单位是焦 /（千克·摄氏度），符号是 J/（kg·℃）。与密度一样，比热容是反映物质自身性质的物理

量。如果用 m 表示物质的质量，Δt 表示物质升高或降低的温度，Q 表示物质吸收或放出的热量，物质的比热容 c 可表示为

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}$$

表 10–1–1 给出了一些常见物质的比热容。

表 10–1–1　一些常见物质的比热容

物质	比热容 c/ [J·（kg·℃）$^{-1}$]	物质	比热容 c/ [J·（kg·℃）$^{-1}$]
水	4.2×10^3	铝	0.88×10^3
酒精	2.4×10^3	干泥土	0.84×10^3
煤油	2.1×10^3	铁	0.46×10^3
冰	2.1×10^3	铜	0.39×10^3
砂石	0.92×10^3	汞	0.14×10^3

示例·将 2 kg 水从 15 ℃ 加热到 25 ℃，水的比热容 $c_{水}=4.2\times10^3$ J/（kg·℃）。问：

（1）水吸收了多少热量？

（2）砂石的比热容 $c_{砂}=0.92\times10^3$ J/（kg·℃），如果这些热量被质量相同的砂石完全吸收，砂石的温度升高多少？

解：（1）设水的质量为 $m_{水}$，其升高的温度为 $\Delta t_{水}$。在题设过程中，水吸收的热量

$$\begin{aligned} Q_{水吸} &= c_{水} m_{水} \Delta t_{水} \\ &= 4.2\times10^3 \text{ J/(kg·℃)}\times 2 \text{ kg}\times(25 \text{ ℃}-15 \text{ ℃}) \\ &= 8.4\times10^4 \text{ J} \end{aligned}$$

（2）由题意可知，砂石所吸收的热量

$Q_{砂吸}=Q_{水吸}=8.4\times10^4\ \mathrm{J}$

$m_{砂}=2\ \mathrm{kg}$ 的砂石吸收相同热量后的温度变化

$$\Delta t_{砂}=\frac{Q_{砂吸}}{c_{砂}m_{砂}}=\frac{8.4\times10^4\ \mathrm{J}}{0.92\times10^3\ \mathrm{J/(kg\cdot℃)}\times2\ \mathrm{kg}}$$

$$\approx 45.7\ ℃$$

想一想

同一天上海的日温差比新疆库尔勒小（图 10–1–5），你能用比热容的知识解释这一现象吗？



2021 年 10 月 1 日，上海 22 ～ 31 ℃



2021 年 10 月 1 日，新疆库尔勒 10 ～ 27 ℃

图 10–1–5　上海与新疆库尔勒同日温差对比

水的比热容相对较大，水的这一热学特性有许多实际应用。

夏季，城市道路通过洒水降温，这是因为水蒸发时要吸收热量。同时，由于水的比热容较大，路面上的水在温度升高时，会吸收大量的热量。

地球表面大部分面积被海水所覆盖。白天，来自太阳的热量大多被海水吸收；夜晚，海水放出大量的热量。因此，整个地表附近温度变化不大，适合生命生存。

汽车发动机及发电厂发电机线圈中的冷却剂通常都采用水或水溶液（图 10–1–6），可以大量吸收发动机、发电机工作过程中放出的热量。



图 10–1–6
汽车发动机常用乙二醇水溶液作冷却剂

我国自主研发的舱外航天服有六层，其中的液冷服和通风服用来帮助航天员出舱活动中散发过剩的体热。水在液冷服内部管道中的循环流动，使航天员的体温得以及时、有效的调节，对航天员起到保护作用（图 10–1–7）。

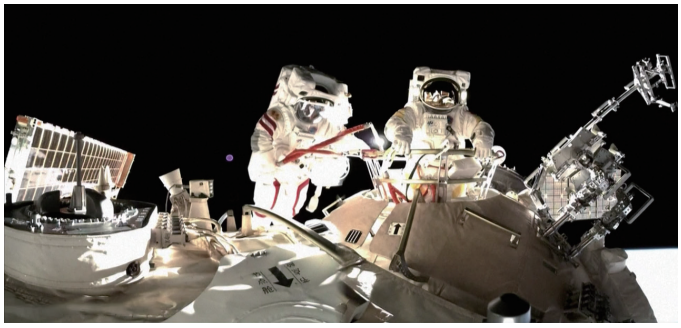


图 10–1–7　航天员身着“飞天”航天服进行舱外作业

练一练

1. 海陆风是出现于近海地区具有日周期性的地域性气流。昼夜交替过程中，海洋与陆地间的温差导致近地面大气密度和气压的差异。这种差异使气流由高压（低温）区域向低压（高温）区域运动。

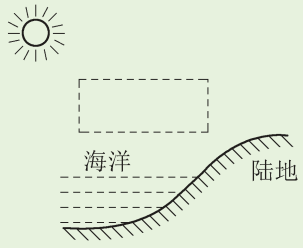


图 10–1–8

（1）在图 10–1–8 的虚线框内用箭头表示白天海陆风的风向，并简述理由。

（2）海陆风在白天和夜晚的风向会发生周期性的变化，简述理由。

2. 某袋装牛奶的标签上标明牛奶质量为 200 g，整袋牛奶从 10 ℃ 加热至 50 ℃，需吸收多少热量？［牛奶的比热容为 2.5×10^3 J/(kg·℃)］

3. 某同学在实验室利用加热器完成了冰的熔化实验，并描绘出冰的温度随加热时间变化的关系图像（图 10–1–9）。实验时，冰的质量为 0.5 kg，若相同时间内水和冰吸收的热量相同，且冰熔化成水的过程中质量保持不变。已知水的比热容为 4.2×10^3 J/(kg·℃)。求：

（1）水在 *CD* 段吸收的热量。

（2）冰的比热容。

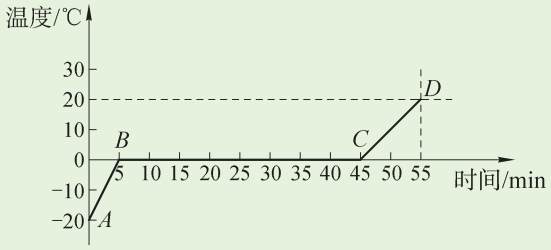


图 10–1–9

▶ 主题学习：水与热机 1

核电站机组工作时会释放巨大的热量，需要大量的冷却水来降温。冷却水一旦断供，反应堆堆芯会因过热而熔融，导致放射性物质逸出。因此，核电站通常建在海边，可利用海水对反应堆进行间接冷却。

（1）假如在反应堆冷却过程中，500 t 海水的温度从 16 ℃ 升高到 76 ℃，估算海水吸收的热量。（已知海水的比热容与水接近）

（2）为什么核电站选择海水作为冷却剂？



图 10–2–1 炙烤食物

第2节

内　能

火的使用在人类历史中具有非常重要的意义，“燧人氏钻木取火”是我国著名的古代传说之一。火为人类提供的更易消化的熟食，帮助人类抵御严寒。如图 10–2–1 所示，生鲜食材经火炙烤变得热气腾腾。食材吸收了炭火的热量后，自身的能量发生了怎样的变化？

什么是内能？

构成物体的分子都在永不停息地做无规则热运动，运动的物体具有动能，我们把分子因热运动而具有的动能叫做分子动能。分子之间存在着相互作用的引力和斥力，与弹簧被拉伸或压缩时产生的弹力类似，由于分子之间的相互作用而使分子具有的势能叫做分子势能。

在物理学中，把构成物体的所有分子的分子动能和分子势能的总和叫做物体的**内能**（internal energy）。在国际单位制中，内能的单位与功和机械能的单位相同，也是焦耳（J）。如图 10–2–2（a）所示，火山喷出的高温岩浆具有内能；而图 10–2–2（b）所示的冰山，虽然温度很低，也具有内能。一切物体，不论温度高低，都具有内能。



（a）　　（b）

图 10–2–2　火山和冰山

想一想

将一定质量 100 ℃的水，变成 100 ℃的水蒸气，内能发生变化吗？

食物被加热后温度升高，内能增加。物体的内能与物体温度有关。此外，内能还与物体的体积、状态有关。

如何改变物体的内能？



图 10–2–3　用“退热贴”降温

在寒冷的冬季，可以在身上贴“暖宝宝”取暖；发烧时，可以将“退热贴”贴在额头上（图 10–2–3）进行物理降温。这些过程都是通过热传递的方式使物体的内能发生改变。热传递过程中，高温物体放出热量，内能减少；低温物体吸收热量，内能增加。

自主活动

如图 10–2–4 所示，将少许易燃粉末放入密闭的厚壁玻璃筒底部，快速向下按压活塞 2 ～ 3 次，观察玻璃筒内发生的现象。



图 10–2–4　压缩气体改变内能

上述实验中，快速向下按压活塞，玻璃筒内的易燃粉末会燃烧。这是因为活塞对玻璃筒内的气体做功，气体的内能增加，温度升高，引燃粉末。可见，做功也是改变内能的一种方式。

钻木取火时，木头相互摩擦，使得干草等易燃物体温度升高，达到燃点而燃烧。近地空间大量的尘埃微粒和微小固体高速进入地球大气层时，会与大气发生剧烈摩擦而燃烧发光，形成美丽的流星（图 10–2–5）。这些现象中都存在做功改变内能的过程。



图 10–2–5　流星划过天空

天冷时，我们可以把手放在暖手袋上，通过热传递让双手变得温暖；也可以搓搓手，通过做功让双手暖和起来。热传递和做功在改变物体的内能上是等效的。它们的差异是，热传递是物体间内能转移的过程，做功是其他形式能转化为内能的过程。

科学与人文

1847 年，英国物理学家焦耳设计了如图 10–2–6 所示的实验。图中的密闭容器内盛有适量的水，实验时，砝码缓慢下降，带动轮轴和转轴使

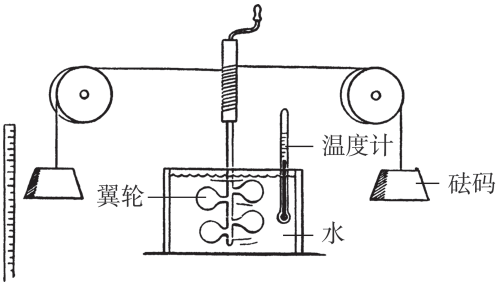


图 10–2–6　焦耳的实验示意图

翼轮搅动容器中的水，翼轮对水做功，使水温升高，内能增加。由于容器的导热性很差，所以容器中的水几乎不与外界发生热传递，水的内能增加完全来自砝码下降带动翼轮转动时重力所做的功。焦耳由砝码的质量和下落距离算出机械功，由水温变化算出内能的增加。焦耳发现，在实验误差许可的范围内，水的内能增加等于砝码重力所做的机械功。

在热现象的本质被揭示之前，人们并不清楚热、功、能量之间的关系，以至于热与功的单位都不一致。18 世纪末，热现象与运动之间关系的发现为焦耳对热与功对应关系的实验研究开辟了道路。在 1840 年到 1878 年近 40 年的时间内，焦耳不断改进实验，采用各种不同的方法、设备、材料研究热和功的对应关系，焦耳甚至用鲸脑油代替水重复了上述实验并得到相同的结果。焦耳的实验为能量守恒定律的建立奠定了基础。

练一练

1. 图 10–2–7 中，通过做功改变物体内能的实例是_____，通过热传递改变物体内能的实例是_____。（均选填序号）



① 小猫晒太阳



② 砂轮打磨工件



③ 饮料冰镇

图 10–2–7

2. 如图 10–2–8 所示，水平地面上有两个质量相同的铁块甲和乙，静止铁块甲的温度为 30 ℃；运动铁块乙的温度为 10 ℃。比较甲、乙的机械能和内能并简述理由。

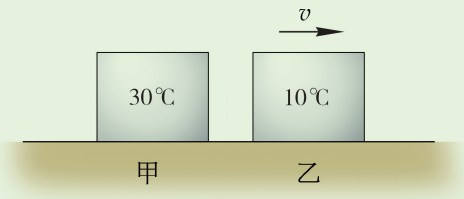


图 10–2–8

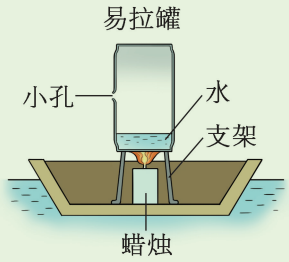


图 10–2–9

3. 图 10–2–9 为某校学生在科技节活动中展示的小船。易拉罐中的水吸热汽化所产生的大量水蒸气从小孔中冲出时，小船就能向前运动。这一过程中水蒸气的内能如何变化？它是通过哪种方式变化的？

▶ 主题学习：水与热机 2

大型载重货车在经过连续下坡路段时，为控制车速需要长时间刹车，这会使刹车系统因过热而失效。为避免这种情况发生，有两种解决方案。

一种是加装一个刹车喷淋装置，通过向刹车系统喷水使其降温。另一种是加装一台液力缓速器。如图 10–2–10 所示，货车下坡时同步带动翼轮在水箱中转动，水对翼轮产生阻力，从而实现辅助制动。

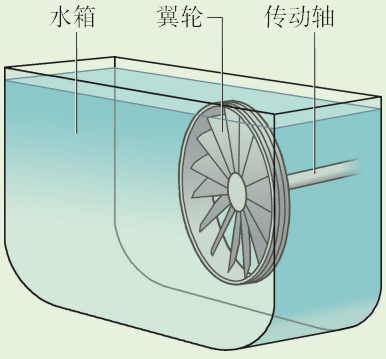


图 10–2–10

（1）简述使用刹车喷淋装置给刹车系统降温的原理。

（2）从内能变化的角度，分析液力缓速器工作时水箱中水温的变化。

（3）你会选择哪一种方案为货车刹车系统降温？简述理由。



图 10–3–1 汽车发动机

第3节

热机及其工作原理

汽车是现代生活中常用的交通工具。发动机是汽车的核心部件（图 10–3–1），为汽车提供强劲的动力。这个动力从何而来？

什么是热机？

自主活动

如图 10–3–2 所示，将适量水注入试管并用橡胶塞塞住试管口。用酒精灯加热试管，直至橡胶塞被“顶出”试管口。讨论并交流橡胶塞被“顶出”试管口的原因。

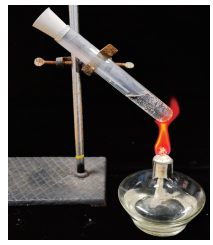


图 10–3–2 加热封闭的试管

在上述实验中，酒精燃烧放出的热量，使水蒸气受热膨胀对橡胶塞做功，使橡胶塞被“顶

出”试管口。上述实验可以用来简单模拟热机产生动力的过程。我们把利用燃料燃烧释放的能量做功的机械叫做热机。

图 10–3–3 为热机工作原理的示意图，热机自高温物体处吸收热量，其中一部分用来对外做功，另一部分流向低温物体。

热机的种类较多，按照燃料燃烧场所的差异，热机可分为外燃机和内燃机两种。

燃料在发动机外的锅炉内燃烧并产生动力的热机叫做外燃机，蒸汽机就是最早的外燃机，它利用燃料加热锅炉中的水产生高压水蒸气，高压水蒸气推动活塞对外做功。由于老式蒸汽机过于笨重、能耗大、效率低，已逐渐被淘汰。

蒸汽轮机与蒸汽机工作模式相似，由大型锅炉产生的高温高压水蒸气直接喷射到汽轮机的叶片上，推动巨型汽轮机转动对外做功。蒸汽轮机被广泛应用于发电厂和大型船舶。

燃料直接在发动机内的气缸中燃烧并产生动力的热机叫做内燃机，现代社会中大部分交通工具的发动机都是内燃机。

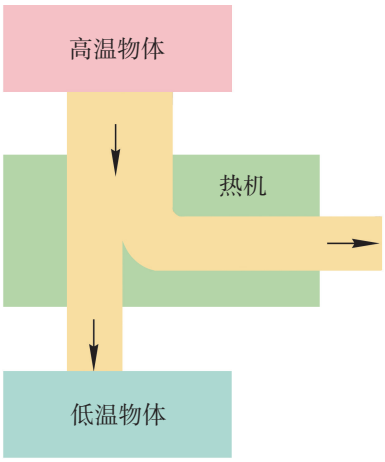


图 10–3–3　热机的工作原理图

内燃机如何工作?

最常见的内燃机是汽油机和柴油机，它们分别用汽油和柴油作为燃料。

如图 10–3–4 所示，汽油机主要由气缸、活塞、火花塞、进气门、排气门、曲轴和连杆组成。

汽油机工作时，活塞在气缸内做往复运动，图 10–3–5 是汽油机工作过程示意图。

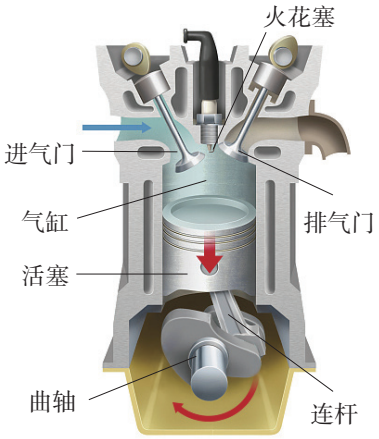


图 10–3–4　汽油机结构示意图

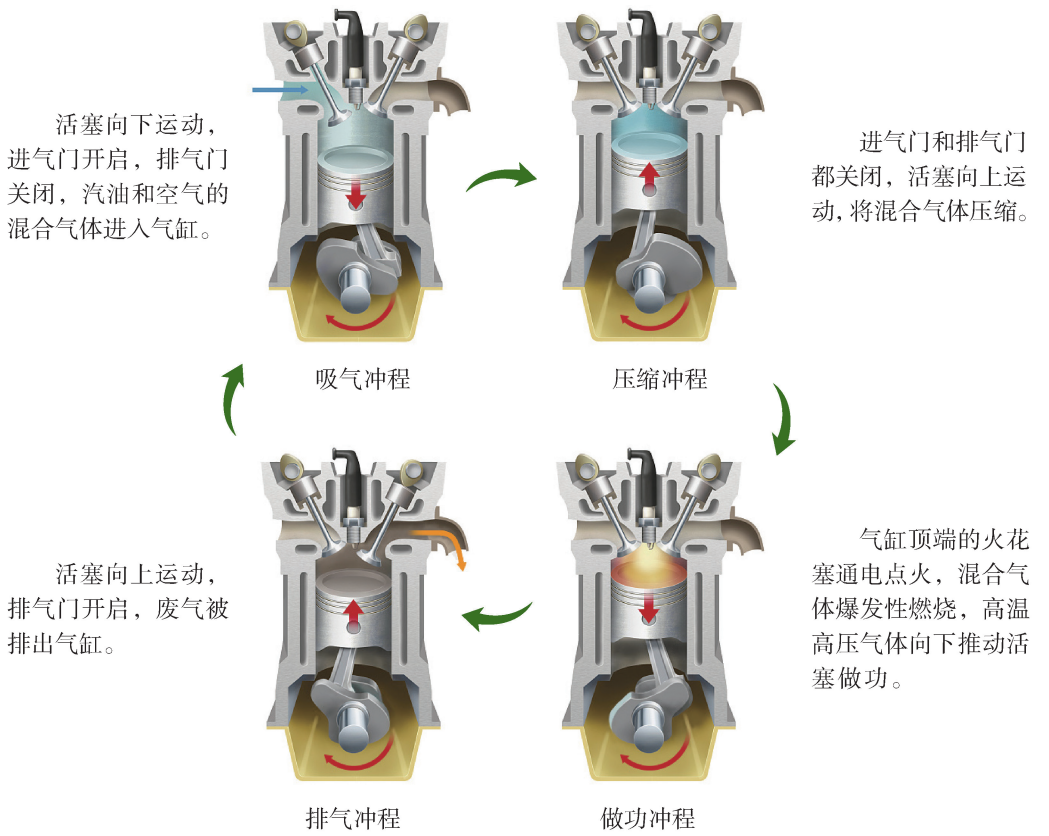


图 10–3–5　四冲程汽油机工作过程示意图

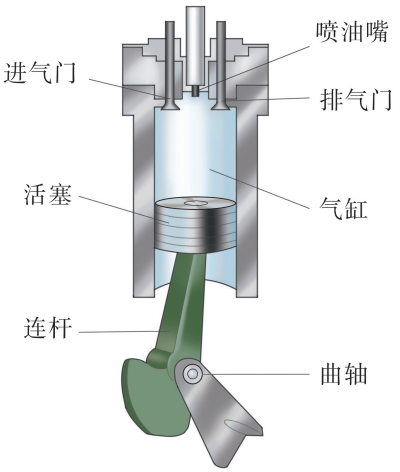


图 10–3–6　柴油机结构示意图

活塞做一次单向运动的过程称为一个冲程，汽油机的一个工作循环过程包括四个冲程，分别是吸气冲程、压缩冲程、做功冲程和排气冲程。

做功冲程中，燃气对外做功，带动与曲轴相连的飞轮实现持续运转。其余三个冲程是辅助冲程，活塞靠旋转飞轮的惯性带动曲轴连杆运动。

汽油机质量小，转速大，启动方便，运转平稳，主要用于汽车的发动机。

柴油机的结构与汽油机相似，图 10–3–6 为柴油机的结构示意图，由于柴油机通过压缩空气直接点燃柴油，气缸顶部的火花塞换成了喷油嘴。

柴油机的工作循环过程也分为吸气、压缩、

做功、排气四个冲程。吸气冲程中只有空气进入气缸。压缩冲程使气缸内的空气温度升高。压缩结束时，气缸内温度超过柴油燃点，此时，从喷油嘴喷出的雾状柴油遇到热空气立即燃烧起来。做功冲程中气缸内气体的压强、温度急剧增大，从而有力地推动活塞对外做功。

与汽油机相比，柴油机的零件结构强度更高，也更笨重，但柴油机油耗低、功率大，因此多用于载重汽车、坦克、轮船及小型发电机。近年来，随着柴油机技术的进步，传统柴油机的缺点逐步得到改善，目前许多汽车也采用柴油机作为动力装置。

STSE

火箭发动机（图 10–3–7）是一种新型的热机。由于要在缺氧的高空中工作，火箭发动机与大多数普通热机不同，必须自带氧化剂（如液氧）。燃料和氧化剂在燃烧室内燃烧，产生高温高压燃气，燃气通过喷口向后喷出推动火箭前进。“长征”系列运载火箭（图 10–3–8）是我国自行研制的航天运载工具，有力支撑了以“中国载人航天工程”“北斗卫星导航系统”和“中国探月工程”为代表的国家重大工程的成功实施，为我国航天事业的发展提供了强有力的保障。

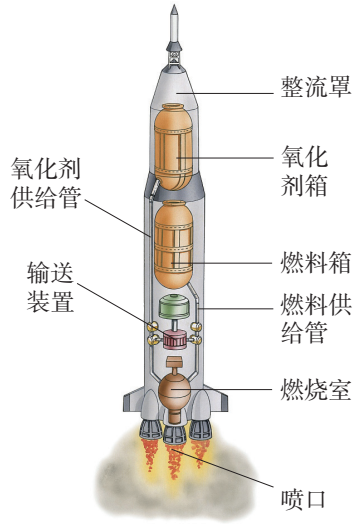


图 10–3–7
火箭发动机示意图



图 10–3–8
“长征五号”运载火箭点火升空

练一练

1. 热机是将_____能转化为_____能的机械。

2. 图 10–3–9 为内燃机工作四个冲程的示意图。

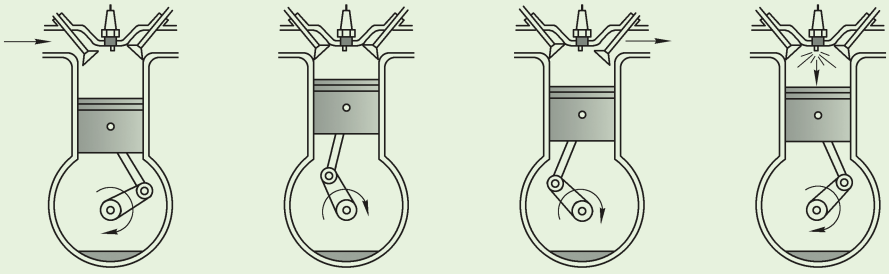


图 10–3–9

（1）由图可判断：（a）为_____冲程，（b）为_____冲程，（c）为_____冲程，（d）为_____冲程。

（2）这四个冲程中，实现内能转化为机械能的是_____。

3. 比较四冲程汽油机和四冲程柴油机，并完成表 10–3–1。

表 10–3–1

内燃机类型	吸气冲程中吸入气缸的物质	点火方式	优点	缺点
汽油机				
柴油机				

4. 如图 10–3–10 所示，礼花筒利用筒内高压空气的膨胀，将彩带喷向空中，产生喜庆效果。

（1）礼花筒是热机吗？为什么？

（2）礼花筒喷出彩带的过程与汽油机的哪个冲程类似？



图 10–3–10



图 10–4–1 航空发动机

第4节

热机的效率

热机广泛应用在社会生活的各个方面，推动了社会的发展。常见的热机如汽车发动机、发电用的汽轮机、飞机上的航空发动机（图 10–4–1）使用不同类型的燃料工作，它们利用燃料的效率有什么不同呢？

什么是燃料的热值？

在历史上很长一段时期，木柴和煤炭是人类的主要生活燃料。20 世纪末，煤气成为城市居民日常使用的生活燃料，煤气生产出来后储存在巨大的“煤气包”（图 10–4–2）中，并通过管道输送到千家万户；进入 21 世纪以后，更清洁环保的天然气逐步替代煤气成为居民的主要生活燃



图 10–4–2 “煤气包”

料，遍布城市各处的“煤气包”也陆续退出历史舞台。

通常情况下，体积相同的煤气和天然气完全燃烧，天然气放出的热量比煤气放出的热量多。研究发现，质量或体积相等的不同燃料，在完全燃烧时所放出的热量一般不同。

在物理学中，把某种燃料完全燃烧时放出的热量 Q 与燃料质量 m 之比，叫做这种燃料的**热值**（heat value），用 q 表示，单位是焦 / 千克，符号是 J/kg。热值 q 可表示为

$$q = \frac{Q}{m}$$

所以，燃料完全燃烧放出的热量 $Q = mq$。

气态燃料的热值也可以用 1 个标准大气压、0 ℃ 时，气体完全燃烧时放出的热量与其体积之比来表示，单位是焦 / 米 ^{3}，符号是 J/m^3。表 10–4–1 是一些常见燃料的热值。

表 10–4–1　一些常见燃料的热值

燃料	热值	燃料	热值
天然气	约 3.5×10^7 J/m^3	氢气	1.4×10^8 J/kg
焦炉煤气	约 1.8×10^7 J/m^3	干木柴	约 1.2×10^7 J/kg
酒精	约 3.0×10^7 J/kg	焦炭	约 3.0×10^7 J/kg
柴油	约 4.3×10^7 J/kg	无烟煤	约 3.4×10^7 J/kg
汽油	约 4.6×10^7 J/kg	木炭	约 3.4×10^7 J/kg

STSE

2022 年，北京冬季奥运会将火炬变为“微火”（图 10–4–3），与往届奥运会大量使用液化天然气或丙烷等作为火炬燃料不同，北京冬季奥运会首次使用氢作为火炬燃料。氢燃烧时，只生成水而不产生二氧化碳，几乎实现零碳排放，真正体现北京冬季奥运会的低碳、可持续的“绿色环保”理念。

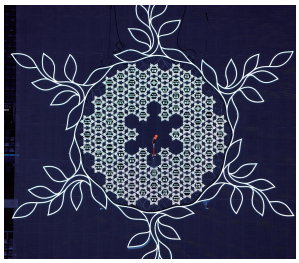


图 10–4–3
北京冬季奥运会主火炬

什么是热机的效率？

热机工作时对外做功的能量只是从高温物体吸收的一部分能量；高温物体的相当一部分能量散失了。对于内燃机而言，由于其排出的废气温度较高，带走很大一部分能量；此外，还有一部分能量损耗在散热及克服摩擦做功上。图 10–4–4 为某汽车发动机的能量分配图。

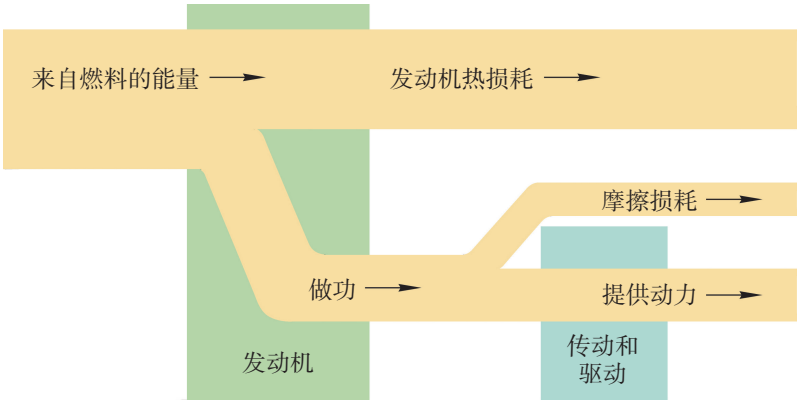


图 10–4–4　某汽车发动机能量分配图

热机工作时，用来做功的能量与燃料完全燃烧放出的能量之比，叫做**热机的效率**。蒸汽机的

效率很低，只有 6% ～ 15%。内燃机中的燃料与空气充分混合后在气缸内燃烧，效率普遍高于蒸汽机。目前，汽油机的效率一般可达 20% ～ 30%，柴油机的效率则可达 30% ～ 45%。

热机的效率是热机性能的重要指标，在做功相同的情况下，热机的效率越高，燃料的消耗越少。高效率、低油耗热机的研制是现代科技的一个重要方向。

热机的使用对环境有何影响？

第一次工业革命以来，热机的大量使用使人类摆脱了繁重的体力劳动，促进了生产力的发展。但是热机工作时所排放的废气中含有二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物和一氧化碳等多种气体，会对环境产生一定程度的破坏。二氧化硫与氮氧化物排放在大气中形成酸雨（图 10–4–5）。二氧化碳及大量热量通过废气排入空气中，导致温室效应加剧、全球气候变暖。

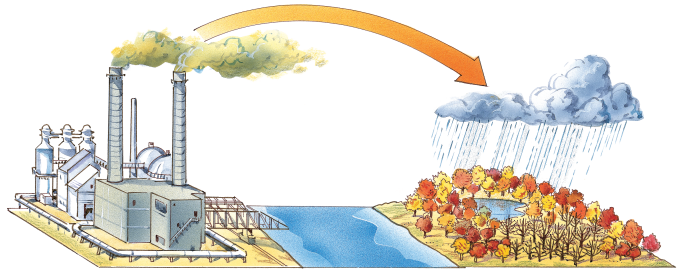


图 10–4–5　工业废气形成酸雨

为此，我国不断提升机动车污染物排放标准，促进热机技术升级。与此同时，大力发展公共交通系统，鼓励公众绿色环保出行，倡导节能减排的生活方式。

练一练

1. 下面关于热机的效率的说法中，哪些是正确的，哪些是错误的？简述理由。

（1）通过技术改进，可以使热机的效率达到 100%。

（2）由于尾气会带走一部分热量以及克服摩擦做功等，热机的效率不可能达到 100%。

（3）可以通过增大热机功率的方法，提升热机效率。

（4）热机的使用会造成环境污染，应禁止使用热机。

2. 阅读表 10–4–1，回答下列问题。

（1）酒精热值的物理意义是什么？

（2）完全燃烧 2 kg 干木柴可以释放出多少热量？如果放出相同的热量，则需要完全燃烧多少立方米天然气（0 ℃，1 个标准大气压）？

（3）燃料燃烧实际放出的热量，往往比根据热值计算出来的要少，而且有效利用的热量又比放出的热量少，为什么？

3. 2021 年 4 月 29 日，搭载中国空间站天和核心舱的“长征五号”运载火箭，在文昌航天发射场点火升空（图 10–4–6）。“长征五号”运载火箭分别使用液氧煤油和液氧液氢作为不同部分的核心推进剂，通过混合燃烧，喷出高温高压气体，使火箭发射升空。由于火箭使用的液氢、液氧的温度分别为 −252 ℃ 和 −183 ℃，故“长征五号”运载火箭也得名“冰箭”。



图 10–4–6

（1）运载火箭为何需要携带液氧？

（2）利用液氢作为推进剂有什么好处？

跨学科实践

物理学与日常生活

城市“热岛效应”的调研

城市中的众多建筑物和道路在日照下升温较快，加上大量车辆、空调等排放的废热导致中心城区的气温明显高于郊区，这就是城市“热岛效应”（图 1）。“热岛效应”会导致大气污染物在“热岛”中心聚集，浓度剧增，诱发呼吸系统疾病。

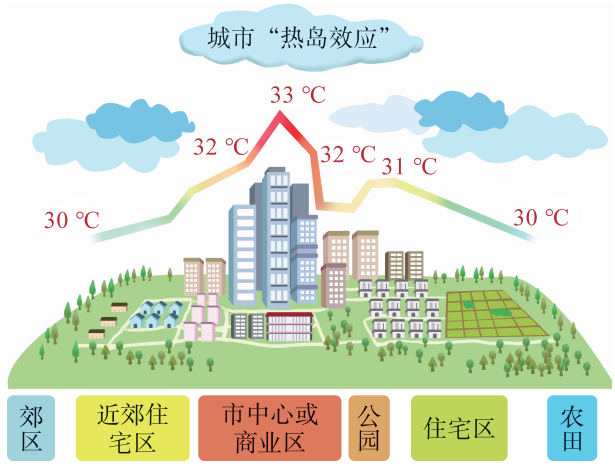


图 1　城市“热岛效应”

跨学科实践任务

任务 1：通过“上海气象服务中心”的自动气象站记录数据，可实时获取上海各地温度的分布图。

观察上海夏季某一天白天的温度分布图，从地域周边自然环境差异的角度，简要分析哪些区域的温度较高，并简要解释产生原因。

通过简单的实验可以验证自然环境与城市“热岛效应”的关系。在同一时间段内、同一区域，测量夏季户外草地、水泥地表面的温度。由 2 ～ 3 位同学组成一个小组，通过分工合作完成测量及数据记录表，分析数据，得出结论。

表 1　数据记录表

测量地点：_____　测量日期：_____

测量时间					
草地表面温度 t_1/℃					
水泥地表面温度 t_2/℃					

实验结论：_____。

任务 2：除了自然环境的因素以外，汽车、空调等大量“人工热源”也是形成城市“热岛效应”的重要因素。

设计简单可行的实验方案，探究“人工热源”对环境温度的影响。

结合上述实验结论并从个人生活方式、城市规划和管理等角度提出缓解“热岛效应”的合理建议，通过组内合作完成有关“热岛效应”的科普海报或短视频的制作，并进行组际交流和展示。

评价与反思

评价项目	评价要点（☆☆☆）	自评	互评
实践计划	能制订分工合理、任务明确、进度可行的实践计划		
	能在规定的时间内完成计划		
实践成果	能获取上海夏季某一天同一时刻各地实时温度分布图，并能准确找出该时刻城市的高温区		
	能应用相关学科知识，从地域环境及人类活动等角度解释“热岛效应”产生原因		
	能正确选择器材，设计并完成实验步骤和数据记录表；能科学解释实验数据，得出合理结论		
	能从协调人类活动和城市环境关系的角度，提出缓解“热岛效应”的科学合理建议		
信息搜集	能有效搜索所需学习资源，注意数据的可靠性和时效性		
	能规范地标注引用数据 、图片等相关信息的来源		
交流合作	能利用数字设备开展交流活动		
	在完成各自任务的同时，能与其他成员团结协作，开展合作		
	在规定时间内完成展示，表达方式合理、流畅自然		
评分方法：完全符合评价要点得☆☆☆，部分符合得☆☆，少量符合得☆			

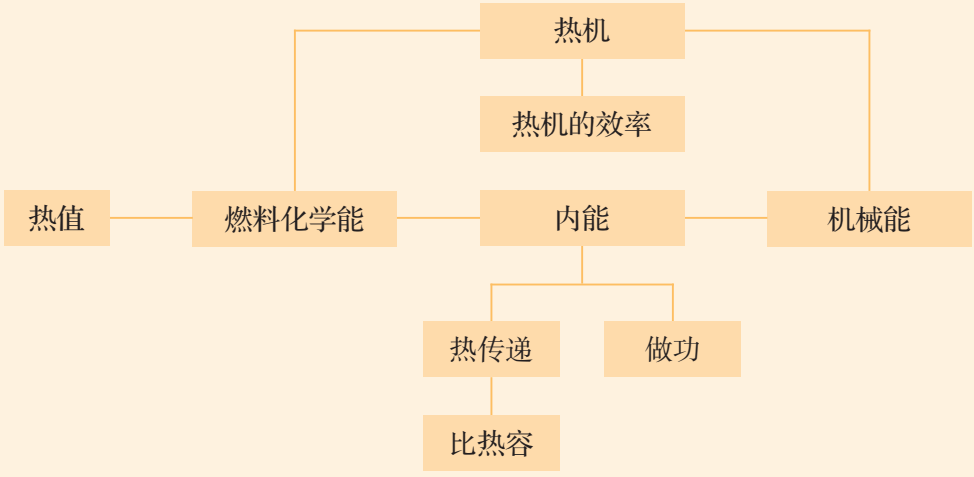
回顾与复习

本章小结

基本概念和基本规律

- 热量：物体在热传递过程中吸收或放出能量的多少。
- 比热容：一定质量的某种物质，温度升高（或降低）时吸收（或放出）的热量与它的质量和升高（或降低）的温度乘积之比。
- 内能：构成物体的所有分子的分子动能和分子势能的总和。
- 热机：利用燃料燃烧释放的能量做功的机械。
- 热值：燃料完全燃烧时放出的热量与燃料质量之比。
- 热机的效率：热机工作时，用来做功的能量与燃料完全燃烧放出的能量之比。

知识结构图



本章练习

1. 下列关于热量、比热容、内能、热值的说法是否正确？简述理由。

（1）物体吸收热量，内能一定增加。

（2）汽车油箱里的汽油用掉一半后，剩余汽油的比热容、热值均变为原来的一半。

（3）比热容大的物体吸收的热量一定多。

（4）燃料没有完全燃烧时，热值变小。

2. “今天天气很热”“物体吸热升温”“摩擦生热”中的“热”分别代表哪个物理量？

3. 某同学学习了比热容公式 $c=\dfrac{Q}{m\Delta t}$ 后，认为比热容 c 与 Q 成正比，与 m、Δt 成反比，这种说法正确吗？作出判断并简述理由。

4. 用两个相同的加热器分别给质量、初温都相同的甲、乙两种液体加热，两种液体温度随时间变化关系如图 1 所示。甲液体的比热容_____乙液体的比热容。如果乙是水，那么质量为 500 g、初温为 20 ℃ 的乙吸收 1.89×10^5 J 热量后，温度为_____℃。[$c_{水}=4.2\times10^3$ J/（kg·℃）]

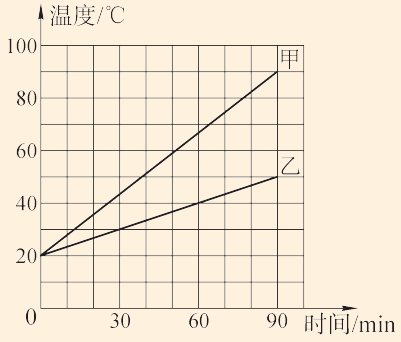


图 1

5. 某同学家使用燃气热水器，平均每天需将 100 kg 的水从 18 ℃ 加热到 58 ℃。若天然气完全燃烧放出热量的 70% 被水吸收，求热水器平均每天消耗多少立方米天然气。[$c_{水}=4.2\times10^3$ J/（kg·℃），$q_{天然气}=3.5\times10^7$ J/m^3]

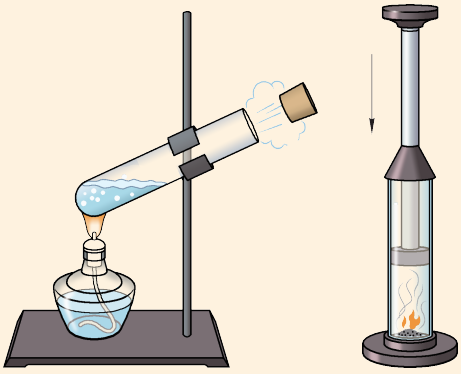
6. 汽油机完成一个工作过程（包含四个冲程），将燃料燃烧放出

的部分能量转化为机械能。

（1）如图 2（a）所示，用酒精灯给装有水的试管加热，橡皮塞被“顶出”试管口。这一现象中_____能转化为_____能；此过程与四冲程汽油机工作过程中的_____冲程类似。

（2）如图 2（b）所示，用力将活塞迅速下压，会导致筒内火柴头粉末燃烧。活塞的下压过程是将_____能转化为_____能，此过程能量转化与四冲程汽油机工作过程的_____冲程相似。

（3）某型号汽车正常行驶 100 km，消耗汽油 8 L 左右，已知汽油的热值为 4.6×10^7 J/kg，密度为 0.725 g/cm^3，汽油机效率通常为 20% ～ 30%，则该车行驶 100 km 最多做功_____J。



（a）　（b）

图 2



图 3

7. 很多家庭采用“水地暖”取暖。如图 3 所示，在地板下埋置加热管，温度不高于 60 ℃ 的热水在加热管内循环流动，加热整个地板，并通过地面以热辐射和对流的方式向室内供热。某同学知道煤油的比热容为 2.1×10^3 J/（kg·℃），热值为 4.6×10^7 J/kg。他觉得煤油的比热容比水低，而热值又高，如果利用煤油作为地暖的热媒，消耗相对较少的能量，就可以使煤油放出更多热量，所以用煤油作为地暖的热媒应该更好。该同学的想法是否正确？作出判断并简述理由。

▶ 主题学习：水与热机 3

两位科学家因“对地球气候进行物理建模，量化可变性，并可靠地预测了全球变暖”的相关研究被授予 2021 年诺贝尔物理学奖。该成果证明了二氧化碳排放是全球变暖的主要因素。我国提出力争于 2030 年前实现“碳达峰”、争取 2060 年前实现“碳中和”，彰显了大国的责任和担当，对全球可持续发展具有重要的意义。

（1）你认为热机的使用对全球变暖有何影响？

（2）为控制碳排放，你对热机的改进有何建议？

（3）水蒸气也是一种常见的温室气体，但我们倡导控制排放的温室气体中不包含水蒸气，谈谈你的看法。



第11章 静电与电流

俯瞰城市，璀璨的灯光营造出迷人的夜景。一道耀眼的闪电划过，将夜空照耀得分外明亮。灯光、闪电以及各种电器的工作都与电有关。本章我们将学习静电和简单电路的相关知识。

通过本章内容的学习，你将了解静电现象、电流和电压，认识串联电路和并联电路；学会测量电流和电压；经历探究串联电路和并联电路中电流、电压特点的过程；感悟电与人类社会的密切联系。

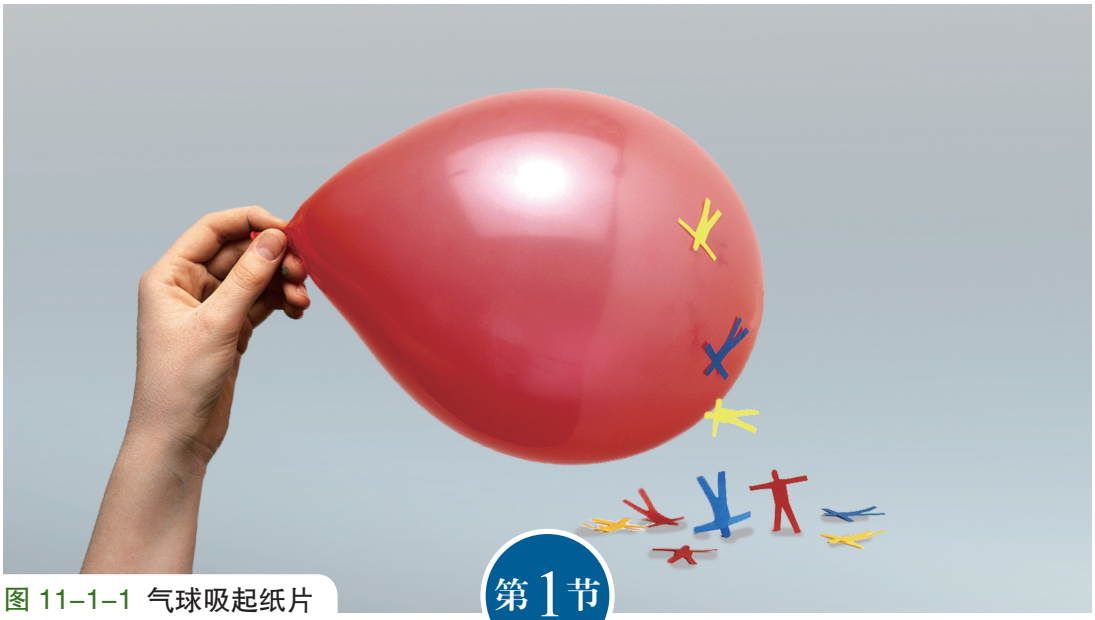


图 11–1–1 气球吸起纸片

第1节

简单的静电现象

早在公元前 6 世纪，人们就发现用毛皮或毛织物摩擦过的琥珀，能够吸引羽毛、头发等轻小物体。我国汉朝时期的文献也记载了摩擦过的玳瑁可以吸引细小物体的现象。这些都是静电现象。类似的现象在我们生活中也很常见，摩擦过的气球能吸起小纸片（图 11–1–1），用塑料梳子梳头发时，头发会随梳子飘起来。这是为什么呢？

什么是摩擦起电现象？

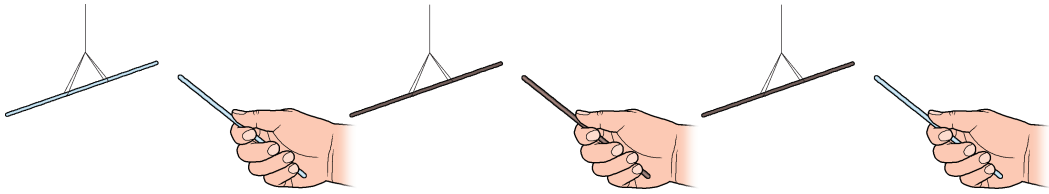
塑料笔杆在头发上摩擦几下后能吸起碎纸屑；与丝绸摩擦过的玻璃棒也能吸起碎纸屑。这是因为摩擦过的笔杆、玻璃棒都带上了“电”，或者说带了电荷，此时，这些物体就叫做带电体。带电体能吸引轻小物体。用摩擦的方法使物体带电叫做**摩擦起电**。

通过大量实验发现，任何物体带电后，它所带的电荷不是与用丝绸摩擦过的玻璃棒所带电荷的性质相同，就是与用毛皮摩擦过的橡胶棒所带电荷的性质相同，所以自然界中只存在两种电荷。

在物理学中，把用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷叫做**正电荷**（positive charge），把用毛皮摩擦过的橡胶棒所带的电荷叫做**负电荷**（negative charge）。

自主活动

如图 11–1–2 所示，手持带电棒靠近静止悬挂的另一根带电棒，观察并描述实验现象。



（a）用丝绸摩擦过的玻璃棒　（b）用毛皮摩擦过的橡胶棒　（c）用丝绸摩擦过的玻璃棒和用毛皮摩擦过的橡胶棒

图 11–1–2　电荷间的相互作用

大量实验表明，电荷间存在相互作用，表现为吸引或排斥。

同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。

实验室里常用验电器（图 11–1–3）来检验物体是否带电，它是根据电荷间的相互作用原理制成的。当带电体接触到验电器的金属球时，就会有一部分电荷转移到金属杆上，金属箔与金属杆由于带同种电荷相互排斥而张开。带电体带的电荷越多，验电器金属箔张开的角度越大。

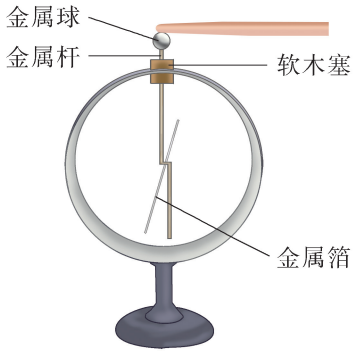


图 11–1–3　验电器

如何判断物体能否导电？

电荷可以在金属中转移，金属可以导电，但并不是所有的物体都能导电，我们可以用验电器来简单判断物体能否导电。

自主活动

如图 11–1–4 所示，取两个相同的验电器 *A* 和 *B*：使 *A* 与带电体接触，*A* 带电后其金属箔张开；*B* 不带电，*B* 的金属箔闭合。

① 用木棒把 *A*、*B* 的金属球连接起来，观察 *A*、*B* 的金属箔张角变化的情况。

② 用木夹夹住金属棒，再用金属棒把 *A*、*B* 的金属球连接起来，观察 *A*、*B* 的金属箔张角变化的情况。

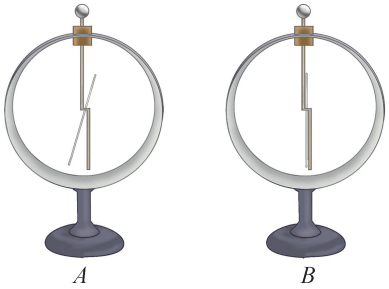


图 11–1–4
用验电器判断物体能否导电

通过上述实验发现，用木棒连接 *A*、*B* 两个验电器的金属球时，*A*、*B* 的金属箔张角都没有发生变化，说明木棒不容易导电；用金属棒连接 *A*、*B* 两个验电器的金属球时，*A* 的金属箔张角变小，而 *B* 的金属箔由闭合变为张开，电荷通过金属棒由 *A* 转移到 *B*，说明金属棒容易导电。

容易导电的物体叫做导体，不容易导电的物体叫做绝缘体。常见的导体有金属、人体、大地、石墨以及各种酸、碱、盐的水溶液等。大部分玻璃、塑料、橡胶、陶瓷都是绝缘体。

导体和绝缘体没有绝对的分界线。在一定条件下，绝缘体也能转化为导体。

想一想

验电器的金属杆和金属外壳之间是用软木塞隔开的，能不能换用金属塞呢？为什么？

生活中哪些现象与静电有关？

除了摩擦起电以外，生活中还有许多常见的静电现象。例如，冬天脱毛衣的时候常会听到“噼噼啪啪”的声音，黑暗中还能看见毛衣“冒火星”；触摸金属门把手的时候会突然感觉被“刺”了一下；自然界中的闪电等。

静电现象在现代技术中有很多应用。例如，使墨粉和纸张带异种电荷，相互吸引，这就是“静电复印”的原理（图 11–1–5）；给绒毛带上电荷，绒毛会飞向事先涂了胶的带异种电荷的布面，这就是“静电植绒”；有一种除尘纸与地面摩擦后带上电荷，将灰尘等吸附起来，这就是家庭中的“静电除尘”。



图 11–1–5　静电复印

事物都有两面性，静电被广泛利用的同时也会带来麻烦，甚至造成危害。在生产生活中，人们会采取相应措施防范静电带来的危害。例如，适当增加印刷车间的湿度来消除静电，防止纸张粘连；电器维修人员手腕上的防静电腕带可以将电荷导入大地（图 11–1–6），避免电荷积累对电子设备造成损害。



图 11–1–6　防静电腕带

练一练

1. 现有 A、B、C 三个带电小球，A 吸引 B，B 排斥 C，其中 C 与用毛皮摩擦过的橡胶棒相互吸引。判断 A、B 的带电情况，并简述理由。

2. 下列物体中，属于导体的是_____；属于绝缘体的是_____。

A. 石墨　B. 大地　C. 橡胶　D. 空气　E. 陶瓷　F. 人体

3. 如图 11–1–7 所示，用摩擦后的气球靠近水流，水流会偏斜，简述原因。



图 11–1–7

4. 仔细阅读图 11–1–8 所示的雷电黄色预警信号及防御指南。

（1）根据物体的导电性，简述雷电黄色预警时需“停止在江、河、湖、海游泳”的原因。

（2）查阅有关资料，简述雷电黄色预警时“不要将有金属尖角的物品朝天握在手中或扛在肩上”的原因。

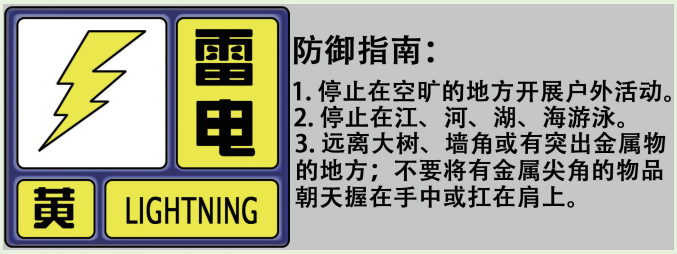


图 11–1–8



图 11–2–1 点亮的台灯

第2节

电　流

打开台灯，柔和的灯光照亮桌面（图 11–2–1）。台灯、电扇、洗衣机等电器需要有持续的电流通过才能工作。如何产生持续的电流？

如何使小灯泡发光？

观察手电筒，能看到小灯泡和开关按钮，拆开手电筒会发现里面有电池。手电筒的小灯泡、开关、电池是如何连接的呢？

自主活动

用导线将小灯泡、开关和干电池连接起来，使开关控制小灯泡的发光和熄灭。

实验完成后，用铅笔画线代替连接用的导线，在图 11–2–2 中完成实物电路的连接。

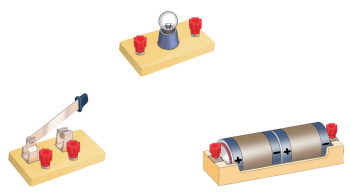


图 11–2–2 连接实物电路

在上述实验中，小灯泡之所以能够持续发光是因为干电池提供电能使小灯泡中有电流持续通过。

像干电池这种能持续提供电能的装置叫做电源，像小灯泡这种利用电能工作的器件叫做用电器。

要使电流持续通过用电器，必须用导线把电源和用电器连接起来，形成一个闭合回路。

电源、用电器、开关以及导线等元件组成的电流回路，叫做**电路**（electric circuit）。电路通常有通路、开路和短路三种状态。

电路连通，用电器能够工作时的状态，叫做通路。

电路中某处断开，没有电流通过用电器，这种状态叫做开路。

不经过用电器将电源的正、负极直接连接起来，会造成电源短路，这时电路中的电流会很大，容易损坏电源，甚至引起火灾，因此，连接电路时不允许电源被短路。

想一想

在图 11–2–3（a）、（b）所示的电路中，闭合开关后，电源是否被短路？

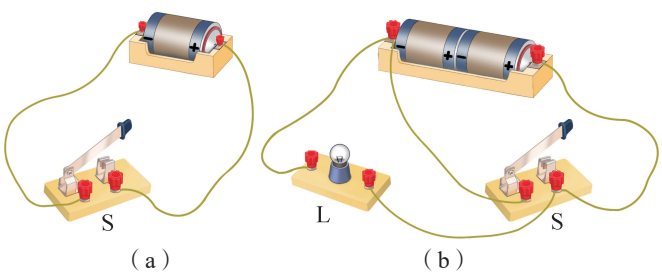
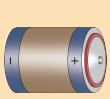
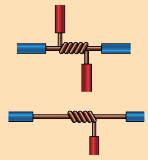
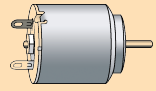
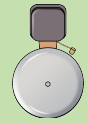
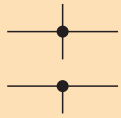


图 11–2–3　电路

我们可以用图形符号表示各种电路元件，见表 11–2–1。

表 11–2–1　几种常见的元件及符号

名称	电池	开关	相连接的导线	灯泡	电动机	电铃
电路元件						
电路符号						

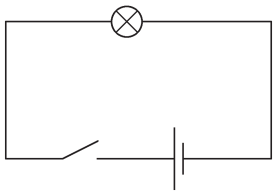


图 11–2–4　电路图

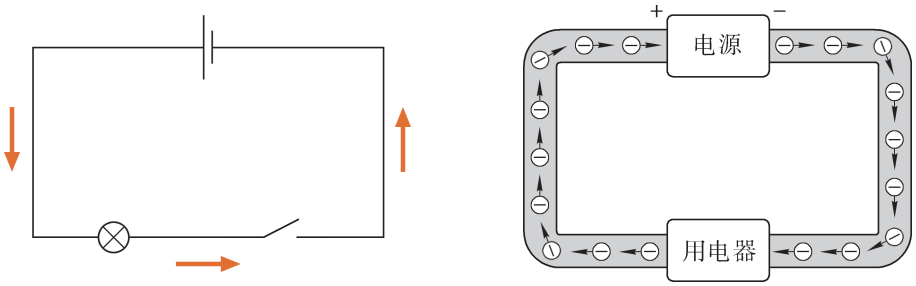
用电路符号表示电路连接情况的图叫做电路图。图 11–2–4 就是图 11–2–2 所示实物电路的电路图。电路图是实际电路的简化表示，可以简单明了地反映电路元件的连接情况，给电器的开发、生产、安装和修理等带来极大的便利。

什么是电流？

水管中的水沿某一方向流动就形成了水流。类似地，导体中的电荷沿某一方向移动，导体中就有了电流。

导体内部有大量可以自由移动的电荷，比如金属导体中就有大量可以自由移动的电子。如果把导体两端与电源正、负极相连，导体内部的大量自由电荷便会在电源的驱动下做定向移动，这些自由电荷的定向移动便在导体中形成了**电流**（electric current）。

物理学中规定，正电荷定向移动的方向为电流方向。按照这个规定，在电源的外部，电流是从电源正极经过导体流向电源负极的。但由于金属导体中定向移动的自由电子带负电，所以金属导体中电流的方向与自由电子定向移动的方向相反，如图 11–2–5 所示。



（a）电流的方向　　（b）自由电子定向移动方向

图 11–2–5　电流方向和自由电子定向移动方向

在物理学中，表示电流大小的物理量称为电流，用 I 表示。在国际单位制中，电流的单位是安培，简称安，符号是 A。电流的常用单位还有毫安（mA）和微安（μA）。它们的换算关系为：

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

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

表 11–2–2 中是一些常见用电器工作时的电流。

表 11–2–2　一些常见用电器工作时的电流

名称	电流	名称	电流
电子手表	约 2 μA	台灯	约 200 mA
计算器	约 100 μA	家用空调	约 5 A
半导体收音机	约 50 mA	闪电	可达 10^5 A

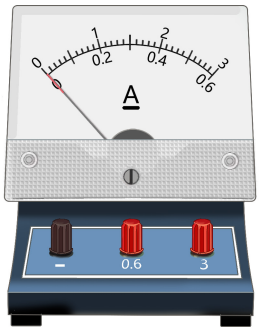


图 11–2–6　电流表

如何测量电流？

电路中的电流可以用电流表测量，在电路图中，电流表用符号Ⓐ表示。图 11–2–6 是实验室常用的电流表。

学生实验

用电流表测量电流

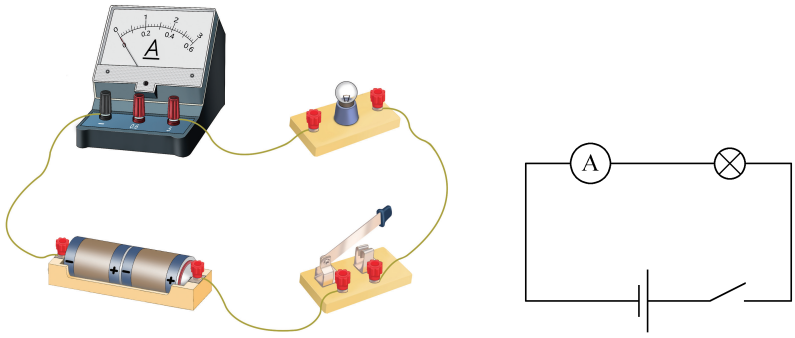
观察电流表

1. 实验室常用电流表有几个接线柱？几个量程？每个量程的分度值是多少？

2. 如何选择电流表的量程？

学习使用电流表

电流表接入电路前，应选择合适的量程。电流表在电路中的正确接法如图 11–2–7 所示，连接时应将电流表串接在被测电路中，且使电流从红色（“+”）接线柱流入，从黑色（“–”）接线柱流出。不允许把电流表直接连在电源的两极，否则会损坏电源和电流表。



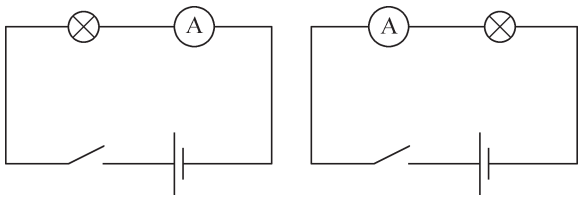
（a）　　（b）

图 11–2–7　电流表的正确接法

用电流表测量电流

分别按图 11–2–8（a）、（b）所示的电路，将电源、小灯泡、电流表、开关

和导线连成电路，闭合开关后，从电流表上读出通过小灯泡的电流，并比较两次实验中电流的大小。



（a）　　（b）

图 11–2–8　电路图

实验室中也可以用电流传感器代替电流表测量电流（图 11–2–9）。

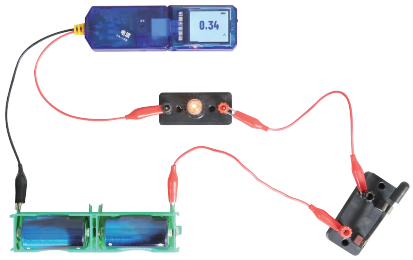
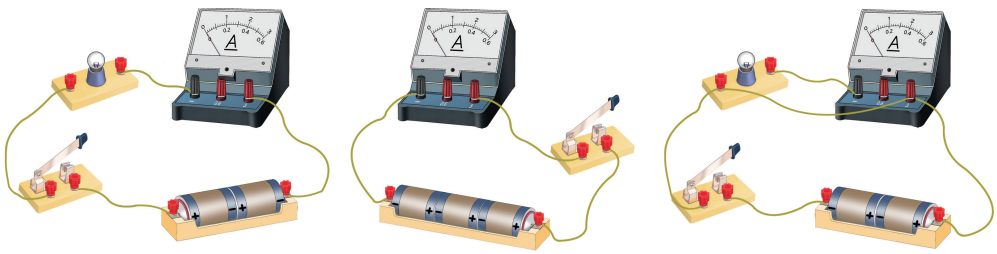


图 11–2–9　用电流传感器测量电流

想一想

指出图 11–2–10 中电流表的连接错误。



（a）　　（b）　　（c）

图 11–2–10　电流表的错误接法

STSE

植物体内也有电流，如含羞草被触碰后叶子会闭合下垂，向日葵的花盘会随太阳转动。这些现象都与生物电流有关。

实际上，人体内也存在电流。人体的生理活动，哪怕是一次呼吸或眨眼都会伴随着生物电流的变化。人体的心脏、肌肉、视网膜、大脑等的生物电流变化都是有规律的。心电图、肌电图、视网膜电图、脑电图等就是利用电子仪器记录与生物电流有关的电信号，以此了解相关器官的工作是否正常，为某些疾病的诊断和治疗提供科学依据（图 11–2–11）。



图 11–2–11　医疗监视器

练一练

1. 将电源、小电动机、开关连成电路，闭合开关后电动机转动。先画出电路图，然后在图 11–2–12 中连接实物电路。

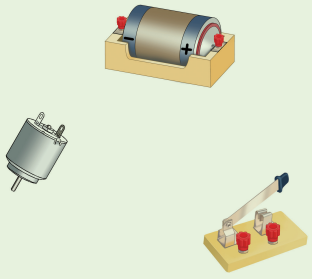


图 11–2–12

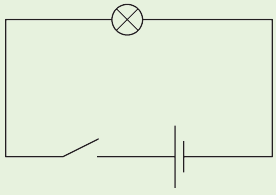


图 11–2–13

2. 在图 11–2–13 所示的电路图中，标出开关闭合后通过小灯泡的电流方向。说明电路中电子的定向移动方向是否与电流方向一致。

3. 观察图 11–2–14 所示电流表的表盘，简述该电流表所测电流可能的大小。

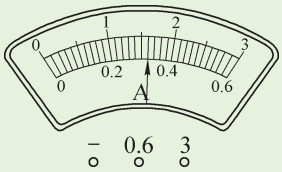


图 11–2–14

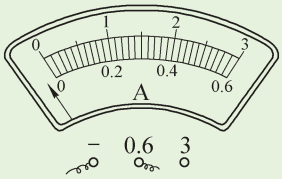


图 11–2–15

4. 小华用导线将电源、开关、小灯泡和电流表连成电路，测量通过小灯泡的电流。当他将最后一根导线接入电路后，发现小灯泡发光，且电流表指针出现如图 11–2–15 所示的偏转情况。简要分析出现该实验现象的原因。



图 11–3–1 太阳能路灯

第3节

电　压

生活中有各式各样的电源，除了常见的干电池以外，还有铅蓄电池、锂电池、发电机等。我们有时会看到如图 11–3–1 所示的太阳能路灯，这种路灯用顶部安装的太阳能电池板作为电源。接通电源后，电路中会形成持续的电流，为什么电源能够提供持续的电流呢?

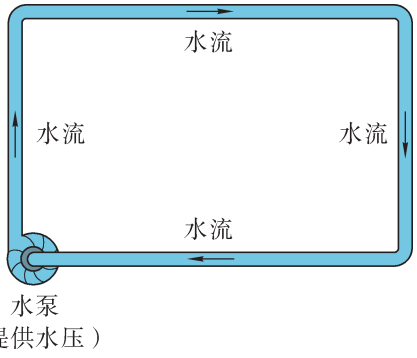


图 11–3–2　水流与水泵

如何产生持续的电流?

在电路中，电源为导体中做定向移动的自由电荷提供了所需的动力，这与水泵提供水压，使水管中的水循环流动相似（图 11–3–2）。导体两端的**电压**（voltage）是使导体中自由电荷定向移动的原因，电源就是为电路中的导体提供电压的装置。

电压用 U 表示，在国际单位制中，电压的单位是伏特，简称伏，符号是 V。电压的常用单位还有千伏（kV）和毫伏（mV）。它们的换算关系为：

$$1\ \text{kV}=1\times10^{3}\ \text{V}$$

$$1\ \text{mV}=1\times10^{-3}\ \text{V}$$

表 11–3–1 中是一些常见的电压值。

表 11–3–1　一些常见的电压值

名称	电压
闪电	约 10^{8} V
动力电路	380 V
家用照明电路	220 V
人体安全电压	不高于 36 V
一节干电池	1.5 V
脑电波	约 0.05 mV

STSE

1799 年，伏打（A. Volta，1745—1827）发明了人类历史上第一块化学电池——伏打电堆。此后，电池技术几经发展。1859 年，最早的可充电电池——铅酸电池问世；1887 年，干电池的发明解决了电解液漏溢的问题；20 世纪 50 年代后电池技术开始高速发展，其中 1991 年推出的锂离子电池以大容量、高电压、低污染、循环性能好的特点，在众多类型的电池中脱颖而出，很快被广泛应用。进入 21 世纪，新型纳米材料——石墨烯的发现为电池技术的发展注入新的活力。使用相关技术制成的石墨烯电池较传统电池具有更高的能量密度、更快的充电速度、更长的使用寿命和更好的安全性能，是一种具有广阔应用前景的新型电池。

在享受电池给生活带来便捷的同时，人们也逐渐意识到电池的使用

所引发的环境问题并着手解决。几十年来，我国因地制宜，不断加大太阳能电池和燃料电池等新能源产业的投入与支持，并于 2016 年修订了《废电池污染防治技术政策》，对废旧电池的收集、运输、储存、利用、处置等环节给出了执行标准。

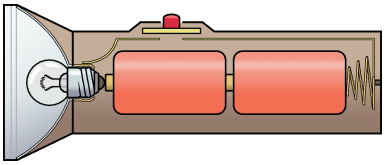


图 11–3–3
手电筒的电源由两节干电池组成

在日常生活中，手电筒（图 11–3–3）、小型收音机等用电器正常工作时所需要的电压约为 3 V、6 V 等。我们常会将几节干电池首尾相连串接在一起组成电池组使用。如果每节电池的电压为 U，用 n 节相同的电池串接成电池组，其提供的电压可达 nU。这样就可以满足不同用电器的使用要求。

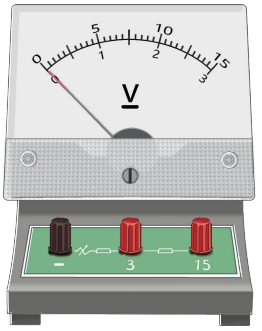


图 11–3–4　电压表

如何测量电压?

电路中两点间电压的高低可以用电压表测量，在电路图中，电压表用符号Ⓥ表示。图 11–3–4 是实验室常用的电压表。

学生实验

用电压表测量电压

观察电压表

1. 实验室常用的电压表有几个接线柱？几个量程？每个量程的分度值是多少？
2. 如何选择电压表的量程？

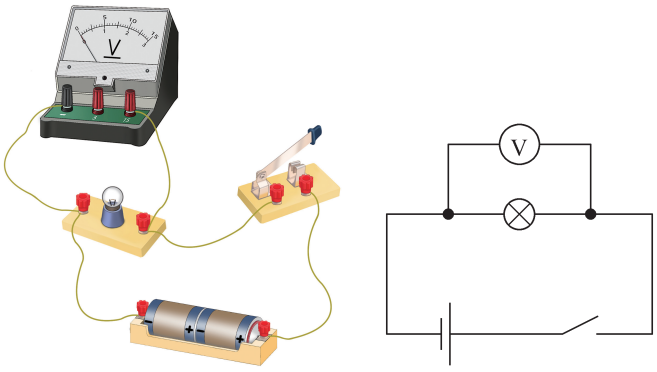
学习使用电压表

电压表接入电路前，应选择合适的量程。电压表在电路中的正确接法如

图 11–3–5 所示，连接时应将电压表接在待测元件的两端，且使电压表的红色（“+”）接线柱与待测元件靠近电源正极的一端相连。电压表可以直接连在电源的两极，测量电源两端的电压。

用电压表测量电压

按图 11–3–5 所示的电路，先将电源、小灯泡、开关和导线连成回路，再将电压表接在小灯泡的两端，闭合开关后从电压表上读出小灯泡两端的电压。



（a）　　（b）

图 11–3–5　电压表的正确接法

用电压表测量一节干电池两端的电压。

实验室中也可以用电压传感器代替电压表测量电压（图 11–3–6）。

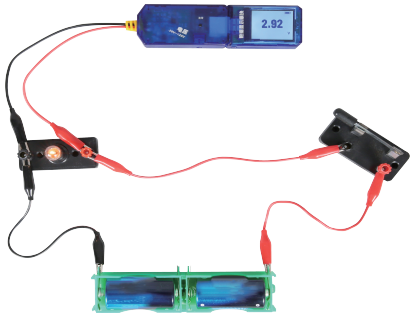


图 11–3–6　用电压传感器测量电压

练一练

1. 简述电路中产生持续电流的条件。

2. 如图 11–3–7 所示，将电路与“水路”类比，简述电路中每个元件所起的作用与“水路”中哪个器件的作用相当。

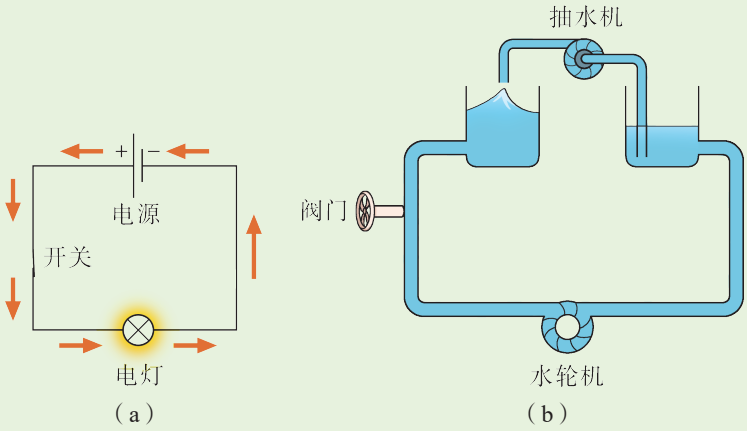


图 11–3–7

3. 观察图 11–3–8 所示电压表的表盘，简述该电压表所测电路两端电压可能的大小。

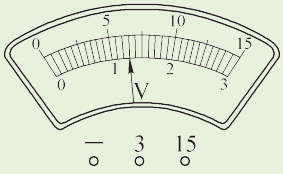


图 11–3–8

4. 生活中常用干电池的型号有 1 号、5 号和 7 号三种：

（1）观察三种型号电池上所标示的电压。

（2）简述这三种干电池用于何种电器。



图 11–4–1 节日彩灯

第4节

串联电路和并联电路

电灯、电扇和空调等用电器为我们提供了舒适便捷的生活条件。图 11–4–1 中由五颜六色的小灯泡组成的节日彩灯，营造了欢乐的节日气氛。家中的用电器和节日彩灯分别由同一个电源供电，这些电器之间、小灯泡之间是如何连接的呢?

如何使两个小灯泡同时发光?

电源、用电器、开关等元件组成电路，电路中的电流由电源维持，闭合开关后，电流通过用电器，用电器工作。

如果同一电路中有多个用电器，如接有两个小灯泡，则可以用不同的方式连接，使它们同时发光。

自主活动

用导线将图 11–4–2 中的小灯泡 L_1、L_2、开关 S 和电源连成电路，使两个小灯泡同时发光、同时熄灭。交流各自的电路连接方式。

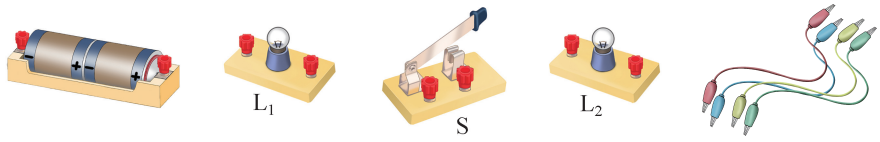


图 11–4–2　实验器材

通过上述实验发现，将两个小灯泡在电路中顺次相连，闭合开关后，两个灯泡会同时发光。这两个小灯泡的连接方式叫做**串联**，如图 11–4–3 所示。

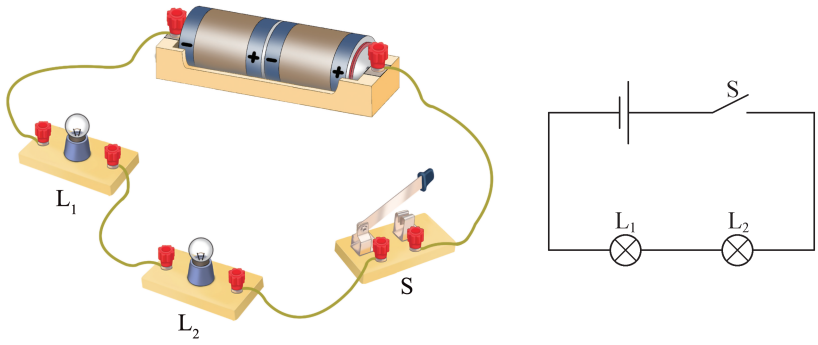
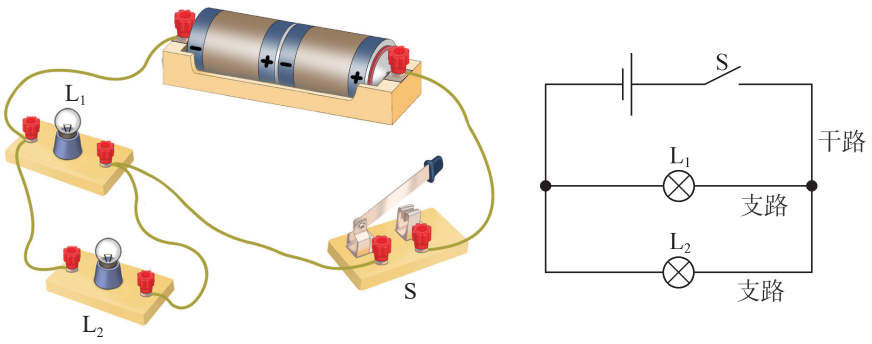


图 11–4–3　两个小灯泡的串联

如图 11–4–4 所示，将两个小灯泡的两端分别连在一起，然后接入电路中，这两个小灯泡的连接方式叫做**并联**，闭合开关后两个灯泡也会同时发光。并联电路中两个用电器共用的那部分电路叫做干路，单独使用的那部分电路叫做支路。



（a）　　（b）

图 11–4–4　两个小灯泡的并联

串联电路和并联电路有何不同？

两个小灯泡串联或并联接入电路后，虽然都可以同时发光、同时熄灭，但两种接法对小灯泡的工作有着不同的影响。

自主活动

将两个小灯泡串联在电路中，闭合开关，它们同时发光，拆去其中一个小灯泡，观察另一个小灯泡的发光情况。

再将两个小灯泡并联在电路中，重复上述操作。两次观察到的现象相同吗？

通过上述实验发现，在两个小灯泡串联的电路中，拆去其中一个小灯泡，另一个会熄灭；在两个小灯泡并联的电路中，拆去其中一个小灯泡，另一个仍然发光。

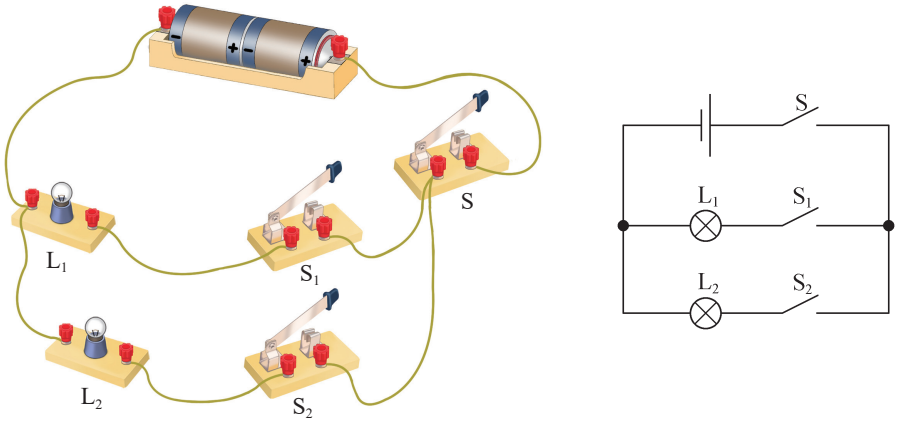
在串联电路中，电流只有一条路径，各用电器不能单独工作；电路任何一处断开，各处的电流都等于零，各用电器均不能工作。在并联电路

中，电流有多条路径，各用电器能彼此独立工作。

由此可知，在串联电路中，开关接在任何位置都可以控制所有用电器。在并联电路中，接在不同位置的开关控制作用可能不同。

自主活动

按图 11–4–5 连接电路，依照下列操作方法进行实验。



（a）　　（b）

图 11–4–5　开关在并联电路干路、支路中的控制作用

① 闭合开关 S、S_1、S_2，两个小灯泡均发光，再断开 S，观察并记录两个小灯泡的发光情况。

② 要使电路中只有小灯泡 L_1 发光，应该如何操作？

通过上述活动可知，在并联电路中，干路开关可以同时控制所有的用电器，支路开关只能控制其所在支路的用电器。

串联和并联是两种最基本的电路连接方式。通常情况下，电流表串联在待测电路中，电压表并联在待测电路的两端。家庭电路中，电灯、空调、电视机等用电器是并联的。图 11–4–1 中节日彩灯则可能是由小灯泡串联和并联组合连接的。

练一练

1. 将图 11–4–6 中的器材连成电路，要求每个开关只能控制一个小灯泡。在虚线框中设计电路图，然后按照电路图用笔画线连接器材。

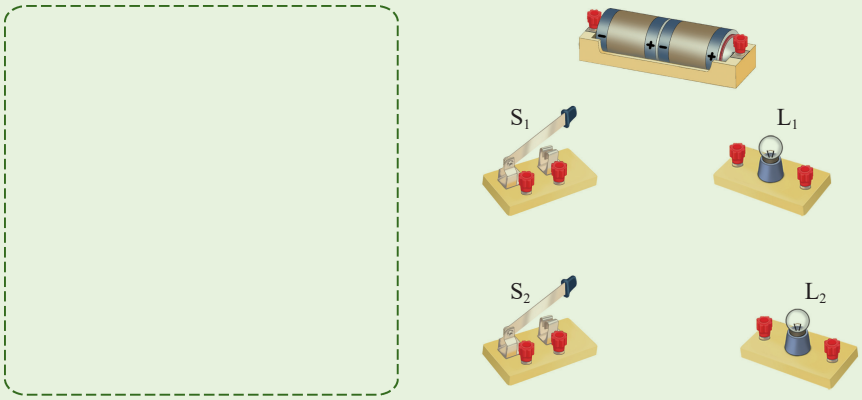


图 11–4–6

2. 在图 11–4–7 所示的四个电路中，哪些是串联电路？哪些是并联电路？

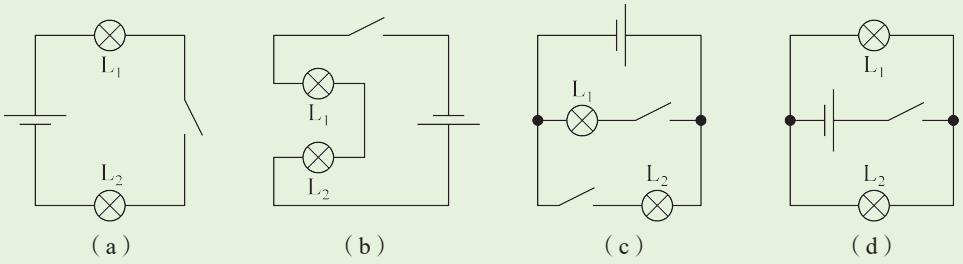


图 11–4–7

3. 某学校需要在两幢教学楼内各安装一个电铃，并且由一个开关同时控制它们。四位同学各自设计了如图 11–4–8 所示的四个电路，你认为哪个电路能实现上述要求？

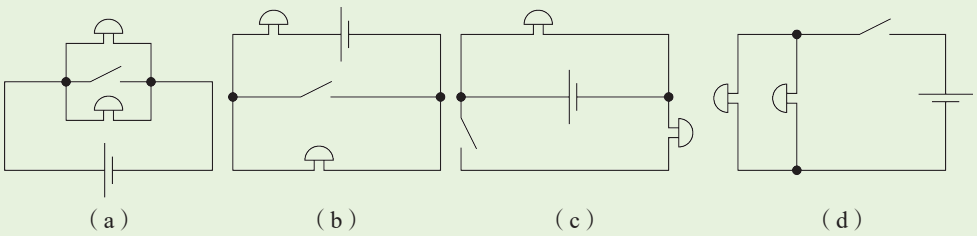


图 11–4–8

4. 根据图 11–4–9 标明的电流方向，分别将电源和开关的符号填入电路的空缺处，要求开关闭合后，两个小灯泡均能发光。

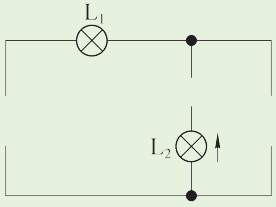


图 11–4–9

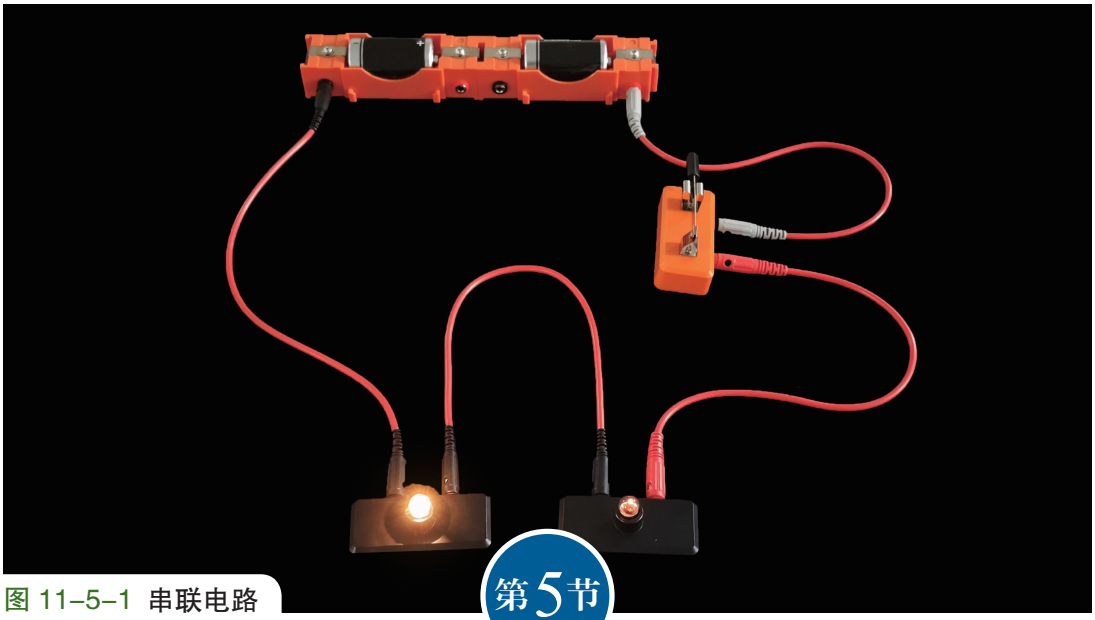


图 11–5–1 串联电路

第5节

串联电路和并联电路中电流、电压的特点

如图 11–5–1 所示，将两个小灯泡串联在电路中，闭合开关后，发现它们都能发光，但左边的小灯泡更亮，这是否意味着通过左边小灯泡的电流也更大呢？

串联电路中的电流有何特点？

比较通过两个小灯泡电流的大小，不能凭借灯泡的亮暗判断，而应该用电流表测量通过它们的电流来确定。

我们知道，当电路中只有一个用电器时，电路中各处的电流大小是相等的。当多个用电器串联接入电路时，电路中各处的电流大小有什么关系呢？我们需要将电流表串联在电路的不同位置来测量比较。

学生实验

用电流表探究串联电路中电流的特点

提出问题

如图 11–5–2 所示，将两个小灯泡串联在电路中，闭合开关后，电路中 A、B、C 各点的电流可能存在怎样的关系？提出猜想并说明猜想的依据。

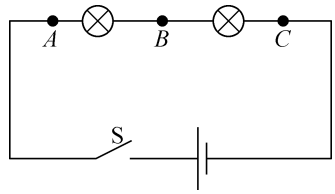


图 11–5–2　串联电路

搜集证据

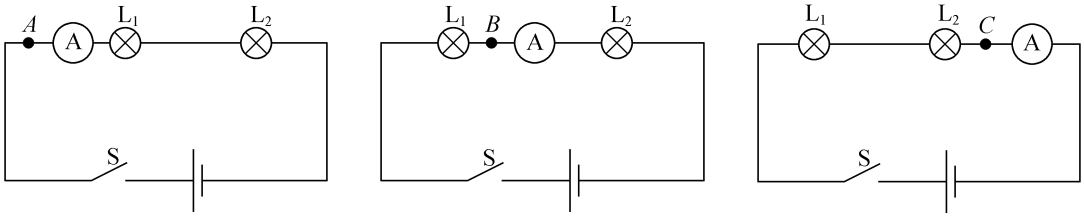
• 器材

现有以下实验器材可供选择：

三个小灯泡（其中两个小灯泡的规格相同，另一个小灯泡的规格与其他两个不同）、电源、电流表、开关及导线。

• 方案

任选两个小灯泡 L_1、L_2 连接成电路，用电流表分别测出串联电路中 A、B、C 各点的电流 I_A、I_B 和 I_C，如图 11–5–3 所示。



（a）测量通过 A 点的电流　（b）测量通过 B 点的电流　（c）测量通过 C 点的电流

图 11–5–3　测量串联电路中各点的电流

• 记录

将上述实验结果记录在表 11–5–1 中。

表 11–5–1　数据记录表

I_A/A	I_B/A	I_C/A

作出解释

• 分析

汇总各小组实验数据，比较电路中 I_A、I_B、I_C 的大小。

• 结论

由上述实验可得，_____。

交流反思

如果将电流表接在开关 S 和电源之间，与 I_A、I_B、I_C 比较，电流表的示数是否有变化？

上述实验表明，在如图 11–5–4 所示的串联电路中，如果电路中的电流为 I，通过两个小灯泡的电流分别为 I_1 和 I_2，则

$$I = I_1 = I_2$$

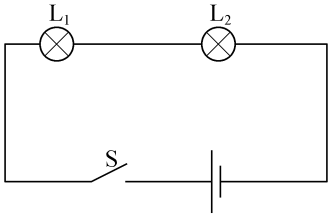


图 11–5–4　串联电路电流的特点

大量实验表明：

串联电路中电流处处相等。

• 串联电路中的电压有何特点？

两个小灯泡串联时，小灯泡两端电压和电源两端电压的关系，也可以通过实验来研究。

学生实验

用电压表探究串联电路中电压的特点

提出问题

在图 11–5–2 所示的串联电路中，A、B 之间，B、C 之间和 A、C 之间的电压可能存在怎样的关系呢?

搜集证据

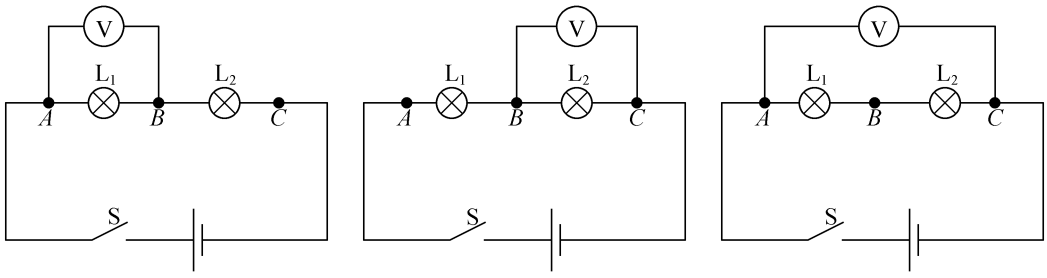
• 器材

现有以下实验器材可供选择：

三个小灯泡（其中两个小灯泡的规格相同，另一个小灯泡的规格与其他两个不同）、多节干电池、电压表、开关及导线。

• 方案

如图 11–5–5 所示，任选两个小灯泡 L_1、L_2 连接成电路，并将电压表分别并联在 A、B 之间，B、C 之间和 A、C 之间。分别测出串联电路中 A、B，B、C，A、C 两点间的电压 U_{AB}、U_{BC} 和 U_{AC}。



（a）测量 A、B 两点间的电压　（b）测量 B、C 两点间的电压　（c）测量 A、C 两点间的电压

图 11–5–5　测量串联电路中两点间的电压

• 记录

将上述实验结果记录在表 11–5–2 中。

表 11–5–2　数据记录表

U_{AB}/V	U_{BC}/V	U_{AC}/V

作出解释

• 分析

汇总各小组实验数据，比较电路中 U_{AB}、U_{BC} 和 U_{AC} 的大小。

• 结论

由上述实验可得，_____。

交流反思

规格不同的两个小灯泡串联时，发光较亮的小灯泡两端的电压是否更大？

上述实验表明，在图 11–5–6 中，如果电路中电源两端的电压为 U，两个用电器两端的电压分别为 U_1 和 U_2，则

$$U = U_1 + U_2$$

大量实验表明：

串联电路中电源两端的电压等于各用电器两端电压之和。

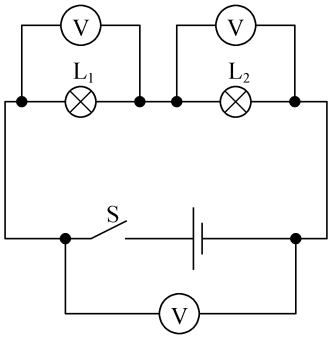


图 11–5–6

串联电路电压的特点

想一想

若有 100 个规格相同的小灯泡串联接在电压为 220 V 的电路中，靠近电源正极的第 1 个小灯泡与靠近电源负极的第 100 个小灯泡的电流一样吗？每个小灯泡两端的电压都一样吗？

• 并联电路中电流、电压有何特点？

我们知道，家用电器的工作电压一般为 220 V，它们都是并联在电路中的，且每个用电器都在不同的支路上。在并联电路中，各支路电流和干路电流有什么特点？各支路两端电压和电源电压又

有什么特点呢？我们也从两个小灯泡的并联电路开始研究。

学生实验

用电流表、电压表探究并联电路中电流、电压的特点

提出问题

在图 11–5–7 所示的并联电路中，通过电路中 *A*、*B*、*C* 各点的电流可能存在怎样的关系？电源两端的电压与两支路中小灯泡两端的电压可能存在怎样的关系？提出猜想并说明猜想的依据。

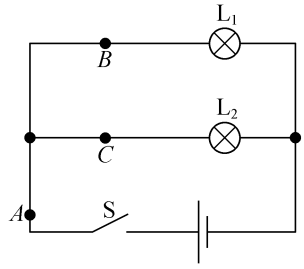


图 11–5–7　并联电路

搜集证据

• 器材

本实验所需器材：_____。

• 方案

设计实验电路并画出电路图。

• 记录

设计数据记录表并将实验结果记录在表中。

作出解释

• 分析

汇总各小组实验数据，分别比较并联电路中电流、电压的大小。

• 结论

由上述实验可得，_____；_____。

交流反思

交流实验方案、实验结论，对本小组或其他小组的探究活动提出改进建议。如果不同小组间的实验结论存在较大差异，简要分析原因。

在图 11–5–8 所示的并联电路中，如果干路电流用 I 表示，各支路电流分别用 I_1 和 I_2 表

示，则

$$I = I_1 + I_2$$

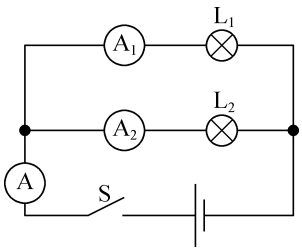


图 11–5–8　并联电路电流的特点

如图 11–5–9 所示，如果并联电路中电源两端的电压用 U 表示，各支路小灯泡两端的电压分别用 U_1 和 U_2 表示，则

$$U = U_1 = U_2$$

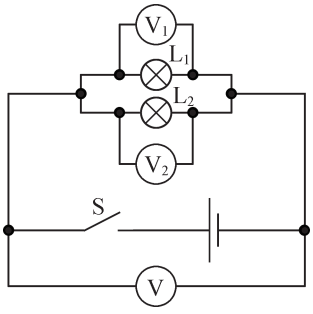


图 11–5–9　并联电路电压的特点

大量实验表明：

并联电路中干路电流等于各支路中的电流之和。

并联电路中电源两端的电压与各支路用电器两端的电压相等。

家庭电路中各个用电器采用并联，各用电器不仅能彼此独立工作，而且每个用电器的工作电压都相同。这样我们就可以将并联电路的电压作为用电器的工作电压，所有的用电器在生产时就有了统一的工作电压标准。

想一想

在家庭电路中，如果增加一个用电器，电路中的总电流是否发生变化？

练一练

1. 在“用电流表探究串联电路中电流的特点”实验中，某同学选用两个规格相同的小灯泡进行实验，其实验数据记录在表 11–5–3 中。他在分析比较实验数据后，得出结论：串联电路中电流处处相等。简述该同学的实验过程存在的问题。

表 11–5–3

I/A	I_1/A	I_2/A
0.18	0.18	0.18

2. 小灯泡 L_1 和 L_2 以某种方式接入电路中，分别用电压表测量小灯泡 L_1、L_2 和电源两端的电压，其中小灯泡 L_1、L_2 两端的电压分别为 2.5 V 和 4.5 V，小灯泡 L_1、L_2 是怎样连接的？电源两端的电压多大？

3. 在图 11–5–10 所示的电路中，电流表 A_1 的示数为 0.8 A，电流表 A_2 的示数为 0.3 A，则通过小灯泡 L_2 的电流为_____A，通过小灯泡 L_1 的电流为_____A。

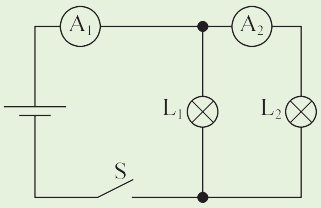


图 11–5–10

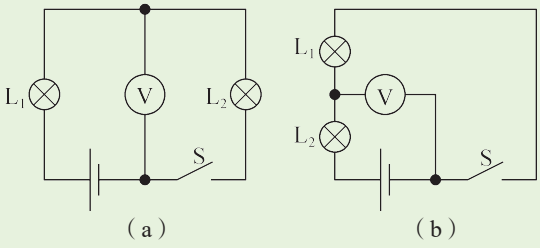


图 11–5–11

4. 在图 11–5–11 所示的两电路中，当开关 S 闭合后，电压表测量哪个灯泡两端的电压？

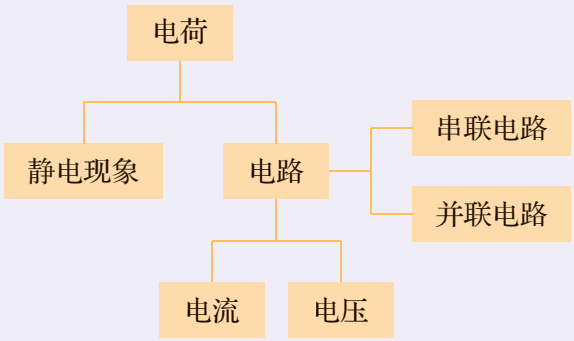
回顾与复习

本章小结

基本概念和基本规律

- 摩擦起电：用摩擦的方法使物体带电。
- 电流：电荷的定向移动。
- 电压：使自由电荷定向移动形成电流的原因。
- 串联电路中电流、电压的特点：串联电路中电流处处相等；串联电路中电源两端的电压等于各用电器两端电压之和。
- 并联电路中电流、电压的特点：并联电路干路中电流等于各支路中的电流之和；并联电路中电源两端的电压与各支路用电器两端的电压相等。

知识结构图



本章练习

1. 两个悬挂着的小球相互作用的情况如图 1 所示，已知 *A* 球带正电，*B* 球是否带电？简述理由。

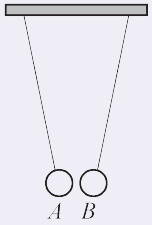


图 1

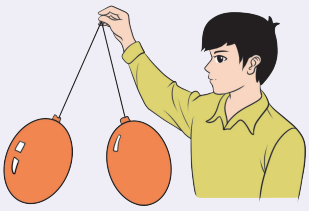


图 2

2. 如图 2 所示，将两个吹足气的气球在手上或衣服上摩擦几下，然后用细线提起。描述并解释你观察到的现象。

3. 仔细观察小灯泡和灯座，哪些部分是导体？哪些部分是绝缘体？

4. 在图 3 中用笔画线代替导线连接电路，要求：开关 S 同时控制两个小灯泡；电流表测量通过小灯泡 L_1 的电流。

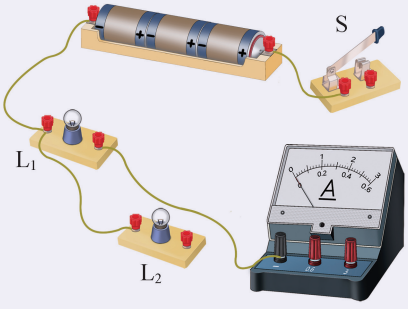


图 3

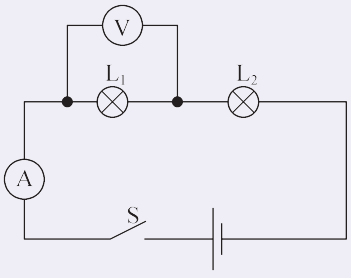
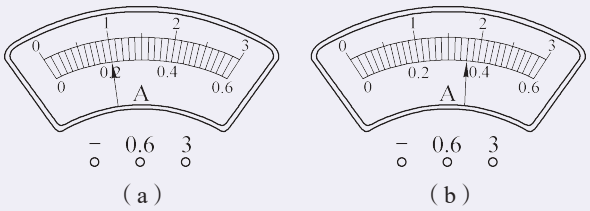


图 4

5. 在图 4 所示的电路中，电源电压为 6 V，若电流表的示数为 0.26 A，电压表的示数为 2.2 V，则通过小灯泡 L_2 的电流和它两端的电压各为多大？

6. 小灯泡 L_1 和 L_2 并联在电路中，利用电流表测得干路电流和小灯泡 L_1 的电流示数分别如图 5（a）（b）所示，那么干路电流多大？通过小灯泡 L_2 的电流多大？



（a）　（b）

图 5

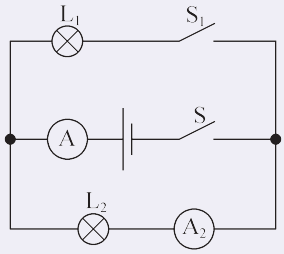


图 6

7. 按图 6 所示的电路图连接电路，仅闭合开关 S，观察电流表 A 和电流表 A_2 的示数；然后闭合开关 S_1，再次观察电流表 A 和电流表 A_2 的示数。两个电流表的示数有何变化？简述理由。

8. 某同学按图 7 所示的电路图正确连接电路，闭合开关 S 后发现小灯泡 L_1 和 L_2 均不发光，经初步检查发现电路中电源、开关和导线均完好。于是，该同学用一根完好的导线去查找小灯泡的故障，他将导线分别接在小灯泡 L_1 和 L_2 两端。实验现象见表 1。

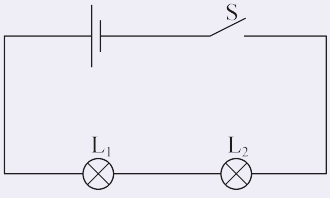


图 7

表 1

实验操作	实验现象
导线接在 L_1 两端	L_1 不发光，L_2 发光
导线接在 L_2 两端	L_1 和 L_2 均不发光

根据上述现象，判断电路中出现了什么故障。为什么？



第12章 欧姆定律

我国已经建成数条通联南北、横贯东西的特高压交流和直流输电线路。特高压输电的原理虽然复杂，但是和所有的电路一样都遵循电学的基本规律。本章我们将学习电路中电流与电压、电阻之间的关系。

通过本章内容的学习，你将了解电阻，认识影响电阻大小的因素；经历探究电流与电压、电阻关系的过程，理解欧姆定律；并学会测量电阻的方法；体会控制变量、等效替代等思想方法在科学探究中的作用。



图 12–1–1 铜芯导线

第1节

电阻　变阻器

高压输电线用铝等材料制成，而剥开普通导线的绝缘层，则可以看见里面的铜芯（图 12–1–1）。我们知道铜、铁、铝还有镍铬等金属都是导体，但为什么导线一般采用铜或铝来制作呢？

不同材料导体的导电能力是否相同？

不同材料的导体虽然都能导电，但是它们的导电能力是否相同呢？

自主活动

如图 12–1–2 所示，将导线 M 和 N 两端直接连接起来，闭合开关 S，观察并记录此时电流表的示数。然后在 M、N 之间接入一根康铜丝，观察比较小灯泡的亮度和电流表示数的变化。

如果在 M、N 之间改接入一根与康铜丝粗细、长短相同的镍铬合金丝，和接入康铜丝相比较，小灯泡的亮度又如何变化？电流如何变化？

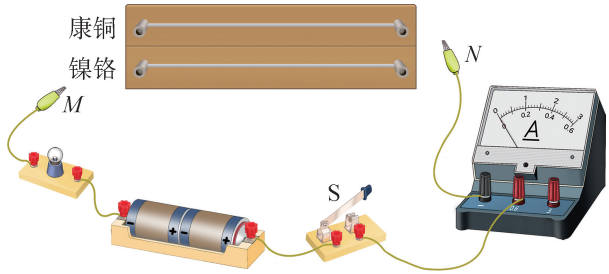


图 12–1–2　探究不同材料导体的导电能力

接入康铜丝或镍铬合金丝后，电路中的电流变小，说明导体虽然能够导电，但是对电流有阻碍作用。电路中接入不同材料的金属丝后电流不同，说明不同材料金属丝对电流的阻碍作用不同。研究表明，不同材料的导体导电能力一般不同。

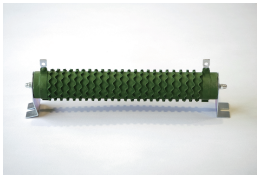
物理学中把表示导体对电流阻碍作用的物理量叫做**电阻**（resistance），用 R 表示。在国际单位制中，电阻的单位是欧姆，简称欧，符号是 Ω。电阻的常用单位还有千欧（kΩ）和兆欧（MΩ）。它们的换算关系为：

$$1\ \mathrm{k\Omega} = 1 \times 10^3\ \Omega$$

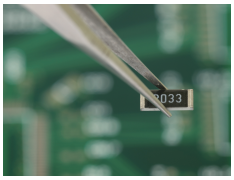
$$1\ \mathrm{M\Omega} = 1 \times 10^6\ \Omega$$

横截面积为 1 $\mathrm{mm^2}$、长为 10 m 的铜线电阻约为 0.2 Ω，普通电吹风吹热风时的电热丝电阻约为 40 Ω。

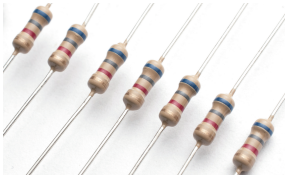
具有一定电阻值的元件——电阻器，也常简称为电阻。图 12–1–3 为常见的电阻，其中有能承载十几安电流的波纹电阻，也有只能承载几毫安电流的贴片电阻。如果按照电阻所用材料来分类，有碳膜电阻、金属膜电阻等。电阻在电路图中用符号“-▭-”表示。



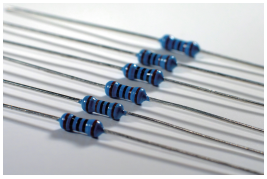
（a）波纹电阻



（b）贴片电阻



（c）碳膜电阻



（d）金属膜电阻

图 12–1–3　各种电阻

电阻的大小与哪些因素有关？

我们已经知道，导体的电阻大小与导体的材料有关。除了材料不同之外，导体还有长短、粗细的差别，那么电阻的大小是否和导体的长度、粗细有关呢？

自主活动

现有长度相同的镍铬合金丝 *AB* 和 *CD*，*CD* 比 *AB* 粗，其横截面积较大。

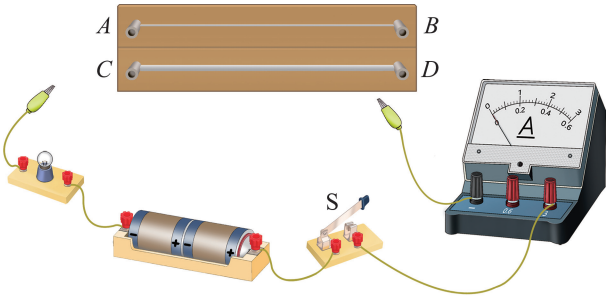


图 12–1–4　探究电阻与导体长度、横截面积的关系

1. 探究导体材料、横截面积一定时，电阻大小与长度的关系

连接图 12–1–4 所示电路，将镍铬合金丝 *AB* 或 *CD* 接入电路，通过改变鳄鱼夹连接的位置，改变连入电路电阻丝的长度，通过观察电流表示数的变化判断电阻的大小。

2. 探究导体材料、长度一定时，电阻大小与横截面积的关系

将镍铬合金丝 *AB* 和 *CD* 分别接入电路，保持两次实验中连入电路的电阻丝长度相同，通过观察两次实验中电流表示数的变化判断镍铬合金丝 *AB* 和 *CD* 电阻的大小关系。

大量实验表明：导体的电阻取决于它的材料、长度和横截面积。材料相同的导体，长度越长、横截面积越小，电阻越大；长度、横截面积都相同而材料不同的导体，电阻大小一般不同。

表 12–1–1 为长 1 m、横截面积 1 mm^2 的一些金属导体在 18 ℃ 时的电阻。

表 12–1–1　一些金属导体的电阻

材料	电阻 R/Ω
银	0.016
铜	0.017
铝	0.027
钨	0.053
铁	0.099
锡	0.11
康铜	0.50
镍铬合金	1.1

想一想

由表 12–1–1 提供的数据可知，相同长度和横截面积的银线、铜线、铝线的电阻都比较小，但普通导线用铜制成，而高压输电线一般用铝等材料制成。你能解释其中的原因吗？

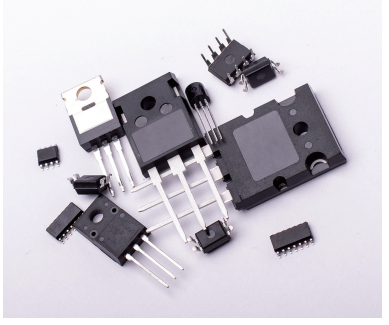


图 12–1–5　半导体元件

硅晶体等材料的导电性能介于导体和绝缘体之间，称为半导体。各种类型半导体材料的物理性质不尽相同，可以制成各种半导体元件。计算机、电视机等电器中都要用到各种类型的半导体元件（图 12–1–5）。半导体是当今社会发展的重要基础材料，被广泛应用于集成电路、移动通信、半导体照明、半导体激光器等领域。

如何改变电阻？

做实验时常常需要改变电路中的电流，我们可以在电路中接入一种叫做变阻器的元件来改变

电路中电阻的大小，从而改变电流。

利用电阻与导体长度的关系，可制成实验室常用的滑动变阻器。电路图中滑动变阻器用符号“”表示。

与定值电阻不同，如图 12–1–6 所示的滑动变阻器有三个接线柱；黑色绝缘层包裹着的电阻丝缠绕在绝缘瓷筒上，电阻丝的两端分别连着接线柱 A 和 B，它与金属滑片 P 接触处电阻丝上的绝缘层已被刮去；滑片 P 通过金属杆与接线柱 C 相连。

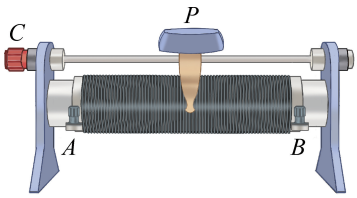


图 12–1–6　滑动变阻器

滑动变阻器的铭牌上标有一些参数，比如“20 Ω　2 A”。“20 Ω”的含义是滑动变阻器的阻值范围是 0 ～ 20 Ω，“2 A”的含义是允许通过变阻器电阻丝的最大电流是 2 A。

如何利用滑动变阻器改变电路中的电流呢？

自主活动

连接如图 12–1–7 所示电路，将滑动变阻器任意两个接线柱接入电路中的 M、N 两点。

① 在图 12–1–7 中的滑动变阻器上用笔将电流通过的那一部分电阻丝圈出。

② 闭合开关S，移动滑片 P，观察电流表的示数变化。

③ 在小灯泡两端并联一个电压表，移动滑片 P，观察电流表示数变化的同时，电压表的示数如何变化。

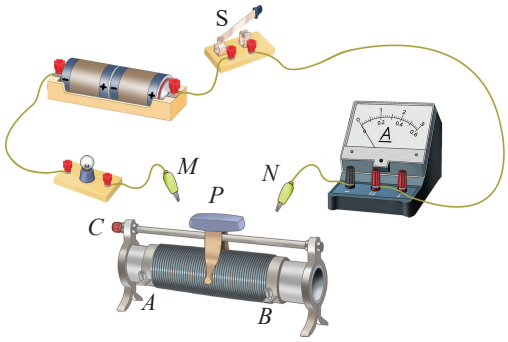
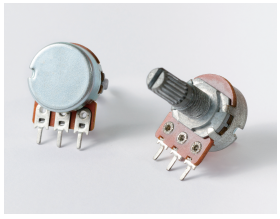


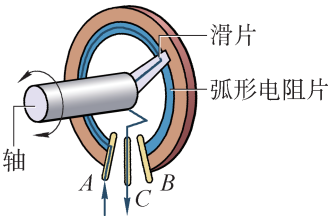
图 12–1–7
用滑动变阻器改变通过小灯泡的电流

只要将滑动变阻器的接线柱 C 与 A 或 B 接入电路，就可通过移动滑片使它连入电路的阻值在 0 到最大阻值范围内变化。

除了实验室里常用的滑动变阻器外，各种电器中还会使用电位器，电位器也是一种可变电阻器（图 12–1–8）。尽管它们的外形不同，但工作原理都与滑动变阻器相似。



（a）实物图



（b）结构图

图 12–1–8　电位器

变阻器作为控制元件，可以改变电路中通过用电器的电流及其两端的电压，被广泛应用于各种电子仪器中。

由某些材料制成的电阻，其阻值会随外界温度或光照强度的变化而发生明显变化，这类电阻叫做热敏电阻或光敏电阻（图 12–1–9）。它们可以应用在温控或光控电路中，如冰箱的温度调节，路灯的自动开关等。



（a）热敏电阻



（b）光敏电阻

图 12–1–9
热敏电阻和光敏电阻

练一练

1. 一根粗细均匀的金属丝，将其均匀地拉到原长的两倍，此金属丝的电阻将如何变化？简述理由。

2. 将长度、粗细相同的几根铜丝拧在一起（图 12–1–10），与

1 根铜丝相比，几根铜丝拧在一起时其电阻将_____，原因是这种做法相当于增加了导线的_____。

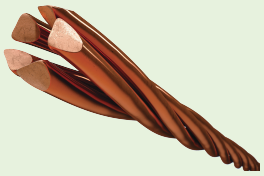


图 12–1–10

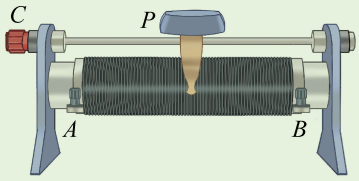


图 12–1–11

3. 滑动变阻器是通过改变_____来改变电阻的。图 12–1–11 中某滑动变阻器上标有“20 Ω　2 A”的字样，“20 Ω”表示_____两个接线柱之间的电阻为 20 Ω。

4. 如图 12–1–12 所示，电位器主要由 *A*、*B*、*C* 三个接线柱和轴带动的滑片 *P* 以及弧形电阻片组成。将电位器的接线柱 *A*、*C* 接入电路，顺时针旋转电位器的轴时，*A*、*C* 两接线柱间的电阻如何变化？

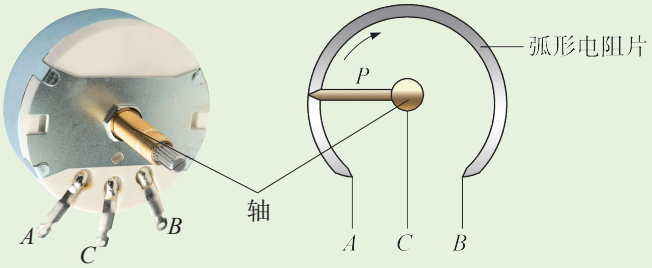


图 12–1–12

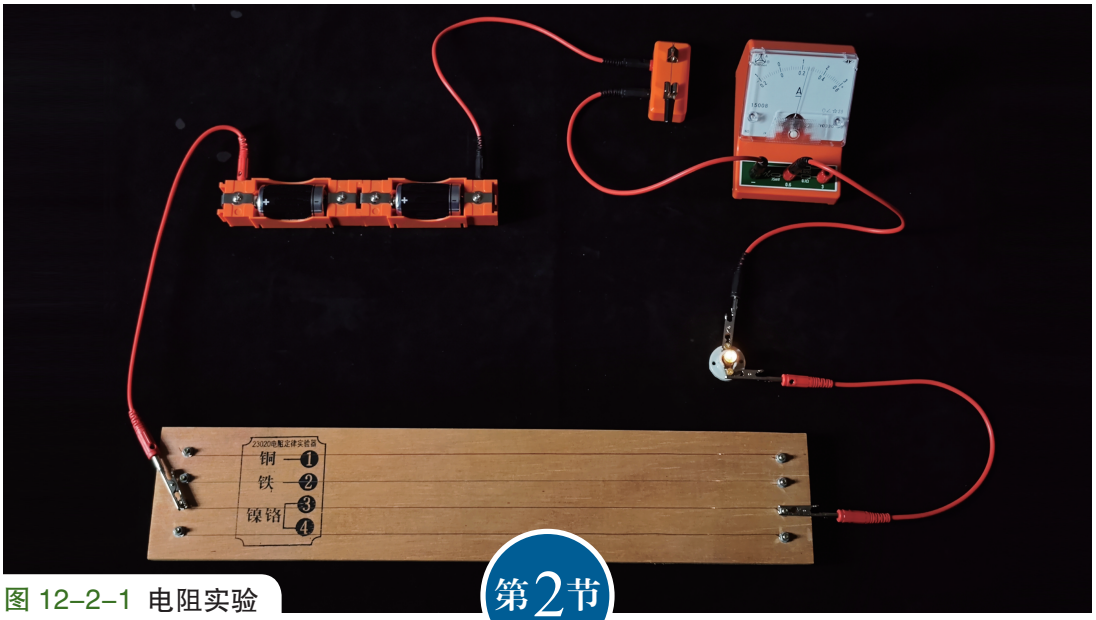


图 12–2–1 电阻实验

第2节

电流与电压、电阻的关系

在如图 12–2–1 所示的实验中，若电源由两节干电池变为一节干电池，导体两端的电压发生改变，电流也随之改变，说明通过导体的电流与导体两端的电压有关；改变导体的电阻，电流也会随之改变，说明通过导体的电流与导体的电阻也有关。电流与电压、电阻究竟存在怎样的关系呢?

如何探究电流与电压、电阻的关系?

学生实验

探究电流与电压、电阻的关系

提出问题

电流与电压、电流与电阻分别有什么定量关系呢? 提出猜想并说明猜想的依据。

电流与电压、电阻都有关系，因此可采用_____分别探究电流与电压、电流与电阻的关系。

实验一　探究电流与电压的关系

对于阻值一定的导体，探究通过导体的电流随两端电压变化的情况。

搜集证据

• 器材

阻值一定的导体、电源、电流表（或电流传感器）、电压表（或电压传感器）、开关及导线。

• 方案

为了探究电流 I 随电压 U 变化的定量关系，需要改变导体两端的电压，测得多组电压值和电流值。分组讨论实验方案，可以补充实验器材，并在虚线框中画出实验电路图。

需要补充的器材：_____。

连接电路，进行实验。

• 记录

将导体的电阻、测得的电流和电压记录在表 12–2–1 中。

表 12–2–1　实验一　数据记录表

导体的电阻 R = _____ Ω

实验序号	1	2	3	4	5
电压 U/V					
电流 I/A					

作出解释

• 分析

① 分析表 12–2–1 中数据，同一导体，如果导体两端的电压不断增大，通过导体的电流如何变化？

② 进一步找出通过同一导体的电流与导体两端电压的定量关系。分析处

理数据可以采用计算或作图两种方法。若采用作图法可以电压 U 为横轴、电流 I 为纵轴建立平面坐标系（图 12–2–2），画出 I–U 图像进行分析。

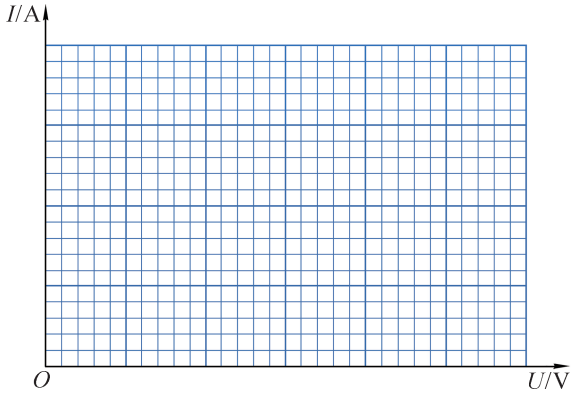


图 12–2–2　I–U 图像

• 结论

由上述实验可得，同一导体，通过导体的电流与导体两端的电压_____。

实验二　探究电流与电阻的关系

在_____的条件下，探究通过导体的电流随电阻的变化情况。

搜集证据

• 器材

现有以下实验器材可供选择：

阻值不同的导体若干、滑动变阻器、电源、电流表（或电流传感器）、电压表（或电压传感器）、开关及导线。

• 方案

当更换不同阻值的导体时，导体两端的电压是否发生改变？如何保持不同阻值的导体两端电压不变？与实验一相比，实验二的电路图有何变化？

设计实验方案并完成实验。

• 记录

设计数据记录表，并将实验数据记录在表中。

作出解释

• 分析

① 分析数据，当电压一定时，如果接入电路的电阻不断增大，通过导体的电流如何变化？

② 通过计算找出电压一定时，电流与导体电阻的关系。

• 结论

由上述实验可得，_____。

交流反思

还能通过什么数据处理方法，找出电流与导体电阻的关系？

通过大量实验探究，可以得出：

通过导体的电流 *I* 与导体两端的电压 *U* 成正比，与导体的电阻 *R* 成反比。这一规律叫做**欧姆定律**（Ohm's law），可表示为

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

科学与人文

在探索欧姆定律的过程中，欧姆（G. S. Ohm，1789—1854）发现了长度和横截面积比值相同的两根同种金属导体，它们的导电能力是一样的。在此基础上，欧姆又自制了扭力天平来测量金属导体中的电流，用温差电池对金属导体供电。经过长期艰苦的工作，欧姆终于在 1826 年发表了他的研究成果。可是成果发布后，却一直得不到当时学界的认可。

随着时间的推移，越来越多的物理学家认识到欧姆的发现具有极其重要的意义。欧姆定律为电路设计和分析提供了重要的理论基础，在电工、电子技术等领域得到广泛应用。

示例 · 一个阻值为 10 Ω 的导体，接在电压为 9 V 的电源两端。若电源电压不变，求通过该导体的电流。

解：已知导体的电阻 $R = 10\ \Omega$，其两端电压 $U = 9\ \mathrm{V}$。

根据欧姆定律，通过该导体的电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{9\ \mathrm{V}}{10\ \Omega} = 0.9\ \mathrm{A}$$

对于电路中的某一导体，只要知道了电流、电压、电阻这三个物理量中的任意两个，就可以根据欧姆定律算出第三个量。

欧姆定律作为电学的基本定律之一，是研究电路问题的重要基础。

电阻与电流、电压有什么关系？

欧姆定律的公式可以变形为 $R = \frac{U}{I}$，但不能据此认为电阻与电压成正比，与电流成反比。这是因为改变导体两端电压时，通过它的电流也随之改变，而电压与电流的比值不变，即导体的电阻不变。电阻是导体的一种物理性质，一般情况下，电阻不随导体两端电压和通过导体的电流变化而变化。

如果导体的温度或某些外界物理条件发生明显改变时，电压和电流的比值不再是定值，即导体的电阻会发生变化。

此外，欧姆定律并不适用于所有导体，如气体导电时就不适用。

拓展视野

并非所有元件的 *I*–*U* 图像都是一条过原点的倾斜直线。如图 12–2–3 所示，某热敏电阻的 *I*–*U* 图像是一条曲线。像热敏电阻这种电流与电压不成正比的元件统称为非线性元件。

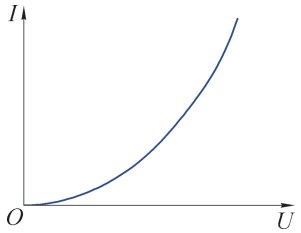


图 12–2–3

某热敏电阻的 *I*–*U* 图像

练一练

1. 将电炉接入电压为 220 V 的家庭电路中，电炉中电热丝工作时的阻值为 30 Ω，求通过电热丝的电流。

2. 将小灯泡接入电路后，测得其两端电压为 2.5 V，通过它的电流为 0.3 A，求小灯泡此时的电阻。

3. 某同学认为，当导体两端电压为零时，没有电流通过，所以该导体电阻为零。你认为该同学的观点是否正确，并简述理由。

4. 图 12–2–4 是电阻 A、B 的 I–U 图像，试比较两电阻的大小。

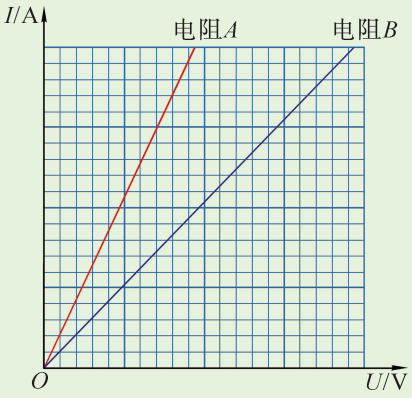


图 12–2–4

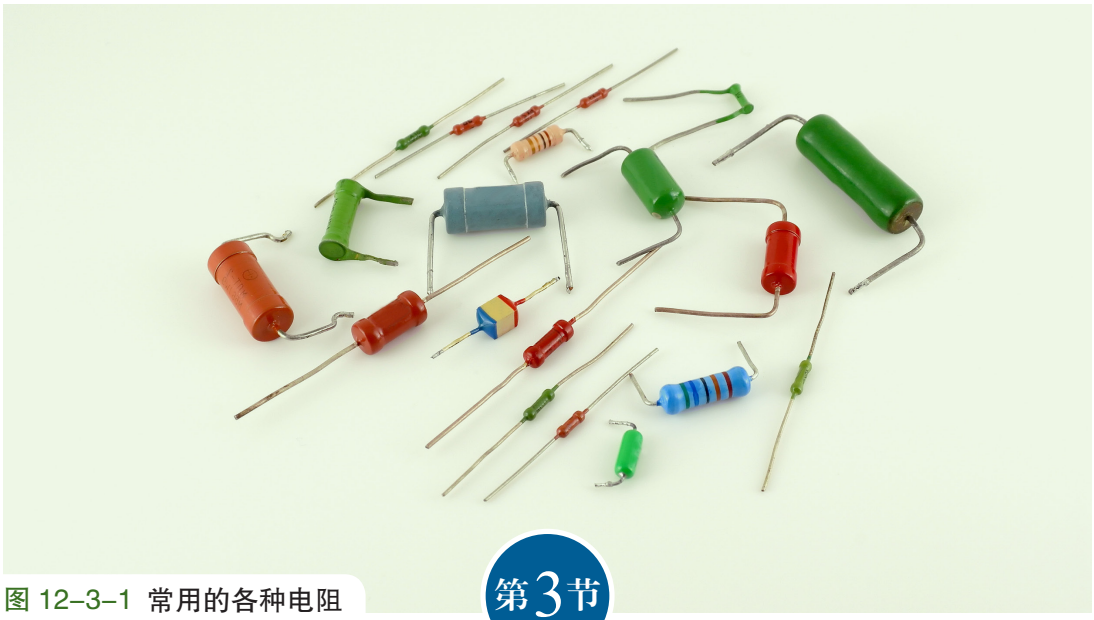


图 12–3–1 常用的各种电阻

第3节

电阻的测量

在设计和制作电器过程中，会用到各式各样的电阻。图 12–3–1 是一些常用的电阻，在使用前，我们需要测量它们的电阻值。如何通过实验来测量呢?

如何用电流表和电压表测量电阻?

导体的电阻可以通过间接测量的方法获得，其中，实验室常用电流表和电压表测量电阻。

学生实验

用电流表和电压表测量电阻

实验原理与方案

根据欧姆定律，要测量导体的电阻 R，可以先测量导体两端的电压 U 和通过导体的电流 I，再利用公式 $R=\frac{U}{I}$ 就可以计算出导体的电阻。

实验装置与方法

本实验要用到待测电阻、电源、电流表、电压表、滑动变阻器、开关及导线等。

画出实验电路图。

实验操作和数据收集

设计数据记录表。

按照电路图连接电路。调节滑动变阻器，测量多组电压值和电流值，将实验数据记录在表中。

数据处理

计算电阻值，取其平均值即可得出本实验中待测电阻的阻值。

实验结论

待测电阻的阻值 $R =$ _____ Ω。

交流讨论

分析每次实验所得的电阻值，说明本实验需要多次测量的原因。

如何便捷地测量电阻？

用电流表和电压表分别测量通过导体的电流和导体两端的电压，再利用公式计算出导体的电阻，这种间接测量电阻的方法称为“伏安法”。此外，还可以使用多用电表便捷地测量导体的电阻（图 12–3–2）。

为了更加精确地测量导体的电阻，可以采取多次测量取平均值的方法，也可以选用精度更高的测量工具或改进测量方法。

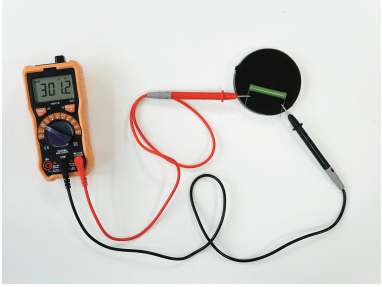


图 12–3–2　用多用电表测电阻

练一练

1. “伏安法”测电阻的实验原理是：_____，测量电阻的方法有很多，比如可以用_____便捷地测量电阻。

2. 在“用电流表和电压表测量电阻”的实验中，连接图 12–3–3 所示电路，有两根导线尚未连接。用笔画线代替导线补上。

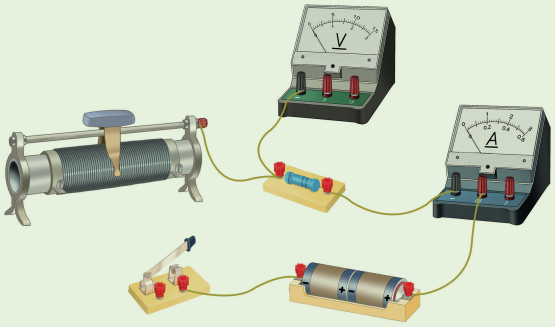


图 12–3–3

3. 在“用电流表和电压表测量电阻”的实验中，可选器材有：待测电阻、电流表、电压表、若干节干电池、开关及导线。实验中如何改变待测电阻两端电压？

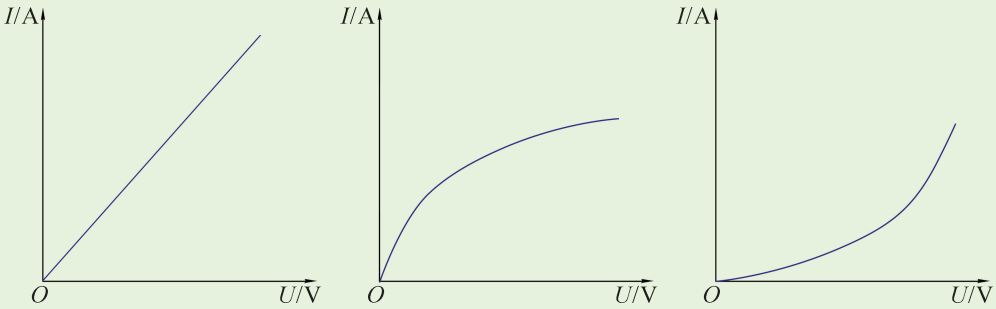
4. 某同学用电流表和电压表测小灯泡的电阻，他将测得的实验数据和观察到的现象填在表 12–3–1 中。

表 12–3–1

实验序号	小灯泡两端电压 U/V	通过小灯泡电流 I/A	小灯泡的电阻 R/Ω	小灯泡的亮度
1	1.1	0.16		暗 ↓ 亮
2	1.4	0.20		
3	1.7	0.24		
4	2.2	0.25		
5	2.5	0.26		

（1）根据表 12–3–1 中的各组数据计算对应的小灯泡的电阻，并填在表格中。

（2）通过小灯泡的电流随其两端电压变化的 *I*-*U* 图像最接近图 12–3–4 中的哪一个？



A.　　B.　　C.

图 12–3–4

（3）该同学通过查阅资料了解到，灯丝的温度越高，小灯泡就越亮。试根据上述信息简要分析小灯泡灯丝电阻随温度变化的关系。

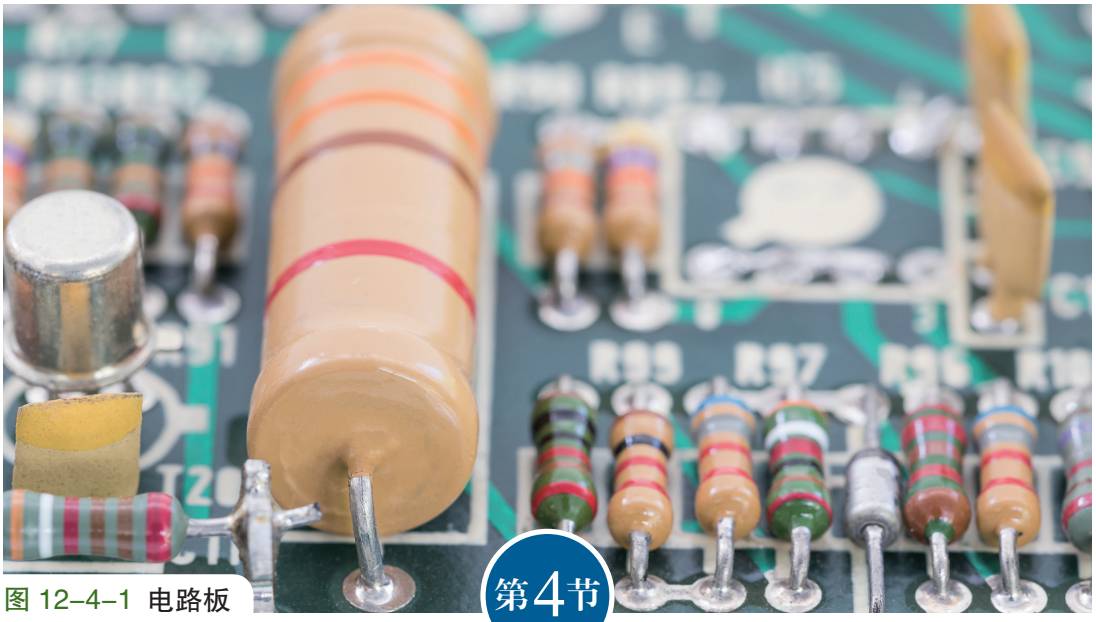


图 12–4–1 电路板

第4节

电阻的串联和并联

实际电路中往往有多个电阻，如图 12–4–1 所示，这些电阻在电路板上通过铜箔进行连接，它们有的串联，有的并联，形成错综复杂的电路。我们可以利用串联电路或并联电路中电流、电压的特点进行电路分析，也可以利用电阻串联或并联时对电流的阻碍作用先将电路简化后再进行分析。那么，应该如何简化电路呢？

两个电阻串联的效果如何？

我们知道，电阻是表示导体对电流阻碍作用的物理量。如果两个电阻串联接入电路中，能否用一个电阻替换这两个电阻，且替换前后电路中导体对电流的阻碍作用相同，即电阻替换前后通过该电路的电流保持不变？

自主活动

如图 12–4–2 所示，将 5 Ω 的电阻 R_1 和 15 Ω 的电阻 R_2 串联，闭合开关，记录电流表的示数。

分别将不同阻值的电阻 R 接入原电路，替换串联连接的电阻 R_1 和 R_2。闭合开关，分别记录每次替换后电流表的示数，直至替换前后电流表的示数相等，记录此时电阻 R 的阻值。

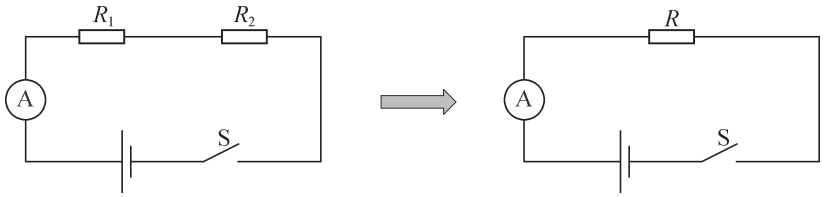


图 12–4–2　实验电路图

在上述实验中，当用 20 Ω 的电阻替换串联连接的 5 Ω 和 15 Ω 两个电阻时，替换前后电流表的示数相同。这说明 5 Ω 和 15 Ω 的两个电阻串联接入电路可以被一个 20 Ω 的电阻等效替代。

用一个电阻 R 替换串联连接的两个电阻 R_1 和 R_2，若替换前后通过电路中的电流相同，则电阻 R 叫做电阻 R_1、R_2 串联的等效电阻。

根据欧姆定律和串联电路中电流、电压的特点，可以推导出串联电路的等效电阻与各串联电阻的关系。

在图 12–4–2 中，设电阻 R_1 两端的电压为 U_1，电阻 R_2 两端的电压为 U_2，通过电阻 R_1、R_2 的电流分别为 I_1 和 I_2。

根据串联电路中电压的特点：$U = U_1 + U_2$

可得　　$IR = I_1R_1 + I_2R_2$

再根据串联电路中的电流特点：$I = I_1 = I_2$

所以　　$R = R_1 + R_2$

这一结论可推广至多个电阻的串联，即

串联电路的等效电阻等于各串联电阻之和。

根据欧姆定律可得：$I_1 = \dfrac{U_1}{R_1}$、$I_2 = \dfrac{U_2}{R_2}$

又因为　　$I_1 = I_2$

所以　　$\dfrac{U_1}{R_1} = \dfrac{U_2}{R_2}$

即　　$\dfrac{U_1}{U_2} = \dfrac{R_1}{R_2}$

当电阻 R_1 和 R_2 串联时，R_1 和 R_2 两端的电压与其电阻大小成正比。

串联电路具有分压作用。如图 12–4–3 所示，在两个电阻串联的电路中，阻值越大的电阻分配到的电压就越大，反之亦然。

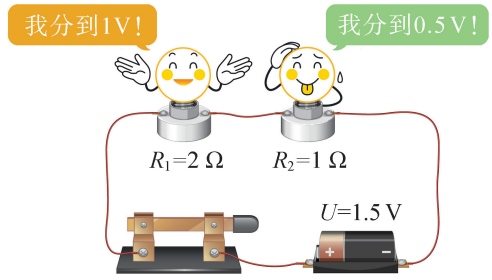


图 12–4–3　串联电路的分压作用

示例 1 · 某用电器正常工作的电压为 3 V，通过它的电流为 0.2 A。将此用电器接入电压为 5 V 的电源，要使该用电器正常工作，需要串联一个多大的电阻？

解：设需要串联的电阻 R 两端的电压为 U_2，已知电源电压 $U = 5$ V，用电器两端电压 $U_1 = 3$ V，

则

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

由欧姆定律可得

$$R = \frac{U_2}{I} = \frac{2\ \text{V}}{0.2\ \text{A}} = 10\ \Omega$$

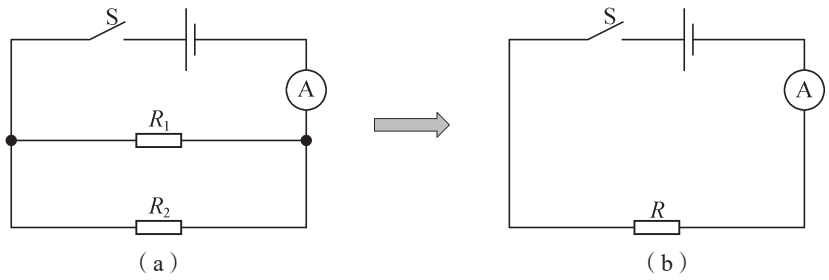
即需要串联一个 10 Ω 的电阻。

• 并联电路的等效电阻与各电阻之间有何关系？

在并联电路中，也可以用一个电阻 R 等效替换并联的两个电阻 R_1 和 R_2，电阻 R 就叫做两个并联电阻的等效电阻。那么，R 与 R_1、R_2 之间又存在怎样的关系呢？

自主活动

根据欧姆定律和并联电路中电流、电压的特点，推导图 12–4–4 中 R 与 R_1、R_2 之间的关系。



（a）　　（b）

图 12–4–4　两电阻并联的等效电路图

根据欧姆定律和并联电路中电流、电压的特点，可以推导出 R 与 R_1、R_2 的关系是：

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$$

通过理论推导得出的结论，能否在实验中得到验证呢?

自主活动

① 现有阻值分别为 10 Ω 和 15 Ω 的电阻 R_1、R_2，计算其并联时的等效电阻 R。

② 将电阻 R_1、R_2 按图 12–4–4（a）连接，闭合开关，记录电流表的示数。

③ 用电阻 R 替换电阻 R_1、R_2 接入原电路中，如图 12–4–4（b）所示。闭合开关，观察替换前后电流表的示数是否相同。

上述理论推导和实验都得到了相同的结论。这一结论同样可推广至多个电阻的并联，即

并联电路等效电阻的倒数，等于各并联电阻的倒数之和。

在图 12–4–4（a）中，设电阻 R_1 两端的电压为 U_1，电阻 R_2 两端的电压为 U_2，通过电阻 R_1、R_2 的电流分别为 I_1 和 I_2。

根据欧姆定律可得：$U_1=I_1R_1$、$U_2=I_2R_2$

又因为 $U_1=U_2$

所以 $I_1R_1=I_2R_2$

即 $\frac{I_1}{I_2}=\frac{R_2}{R_1}$

当电阻 R_1 和 R_2 并联时，因为各支路两端的电压相等，通过 R_1 和 R_2 的电流与电阻大小成反比。

并联电路具有分流作用。并联电路的分流作用可类比道路中两条宽窄不同的支路，如图 12–4–5 所示，宽的支路（阻值小的电阻），分到的车多（分到的电流大）；窄的支路（阻值大的电阻），分到的车少（分到的电流小）。

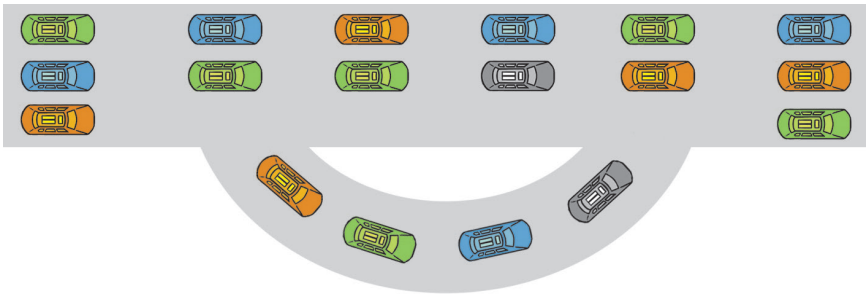


图 12–4–5　车辆的分流示意图

示例 2·某电路中的总电流为 1 A 保持不变。现有一阻值为 10 Ω 的用电器，正常工作电流为 0.6 A，如何设计电路才能使该用电器正常工作？

解：已知电路的总电流 $I = 1\ \text{A}$，通过用电器 R_1 的电流 $I_1 = 0.6\ \text{A}$，所以应并联一个电阻 R_2。

根据并联电路中电流的特点可得

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

由欧姆定律和并联电路中电压的特点可得

$$U_2 = U_1 = I_1 R_1 = 0.6\ \text{A} \times 10\ \Omega = 6\ \text{V}$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{6\ \text{V}}{0.4\ \text{A}} = 15\ \Omega$$

即需要与该用电器并联一个 15 Ω 的电阻。

生产生活中的实际电路往往比较复杂，我们也可以用等效替代的方法对复杂电路进行简化处理。

练一练

1. 学校照明电路中的电灯是_____的，每多点亮一盏电灯，照明电路的等效电阻将_____。

2. 长度相同的铜导线甲和乙，甲的横截面积小于乙的横截面积，则甲导线的电阻_____乙导线的电阻。如图 12–4–6 所示，将它们串联在电路中，通过甲导线的电流_____通过乙导线的电流，甲导线两端的电压_____乙导线两端的电压。

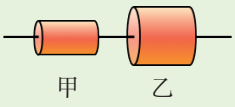


图 12–4–6

3. 某同学因维修用电器，需要一个阻值为 30 Ω 的电阻，但他只找到了三个 10 Ω 的电阻，20 Ω、50 Ω 的电阻各一个。请你给该同学提出解决问题的建议。

4. 我国特高压输电技术全世界领先，具有输送容量大、输送距离远、线路损耗低等特点。图 12–4–7 所示的输电线路虽然复杂，但是我们可以把其中民用电的部分电路简化成如图 12–4–8 所示的电路图。

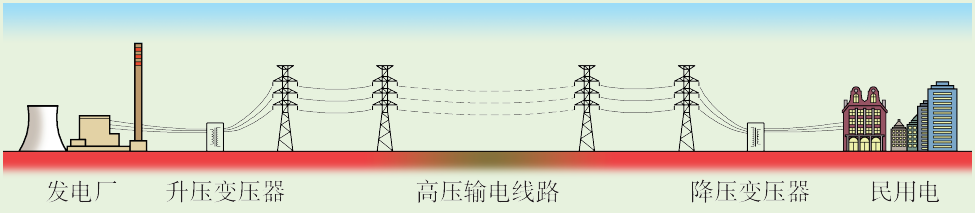


图 12–4–7

在图 12–4–8 中，总电压为 U，电线的电阻为 r，用电器的电阻为 R。求加在电线上的电压占总电压的比例 $\frac{U_1}{U}$（用字母 r 和 R 表示），并据此说明电线用铜、铝等材料制成的好处。

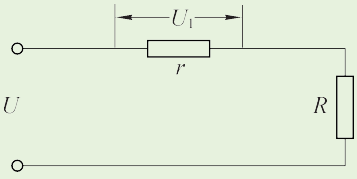


图 12–4–8

跨学科实践

物理学与社会发展

半导体材料的应用

半导体是一种重要的电子工业材料。用半导体材料制成的二极管、三极管等是各种电路的重要元件（图 1）。集成电路是半导体技术发展过程中形成的一个重要分支，生活中的智能家电，工业中的仪表机床，军事上的卫星导弹都离不开集成电路。集成了上亿个晶体管的芯片（图 2）因其技术含量极高，制造工艺复杂，成为半导体产业链上的掌上明珠。

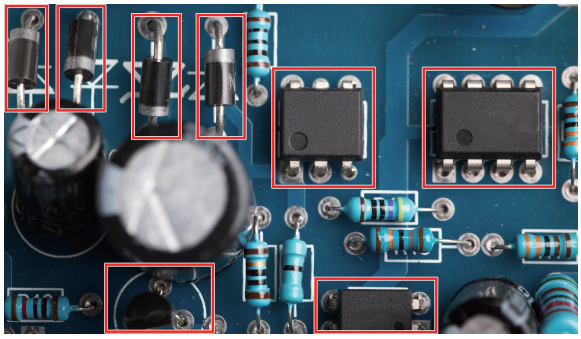


图 1　电路板上的半导体元件（红线框出）

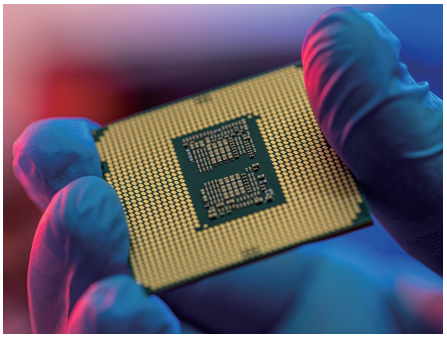


图 2　集成电路芯片

跨学科实践任务

任务 1：体验半导体器材的简单应用，调查并了解半导体材料的应用对社会发展的影响。

了解实验室提供的发光二极管的物理参数，合理选择器材并连接电路，使二极管发光。

调查我国半导体工业的发展历程和所取得的重大成就，列举半导体芯片的广泛应用和制造难度。

任务 2：由 2 ～ 3 位同学组成一个小组，共同绘制一份以“半导体材料的

应用”为主题的科普海报。海报内容应包含：发光二极管（LED）的物理性质和应用场景；我国半导体工业的成就；半导体芯片制造的主要难点。各小组交流分享学习心得并展示海报内容。

评价与反思

评价项目	评价要点（☆☆☆）	自评	互评
实践计划	能制订分工合理、任务明确、进度可行的实践计划		
	能在规定的时间内完成计划		
实践成果	能描述我国半导体工业的大致发展历程和重大成就		
	能阐述半导体芯片制造的主要技术难点		
	能正确连接电路使发光二极管正常发光，并说明发光二极管的主要物理性质		
	能举例说明发光二极管的应用		
信息搜集	能有效搜索所需学习资源，注意数据的可靠性和时效性		
	能规范地标注引用数据 、图片等相关信息的来源		
交流合作	能利用数字设备开展交流活动		
	在完成各自任务的同时，能与其他成员团结协作，开展合作		
	在规定时间内完成展示，表达方式合理、流畅自然		
评分方法：完全符合评价要点得☆☆☆，基本符合得☆☆，少量符合得☆			

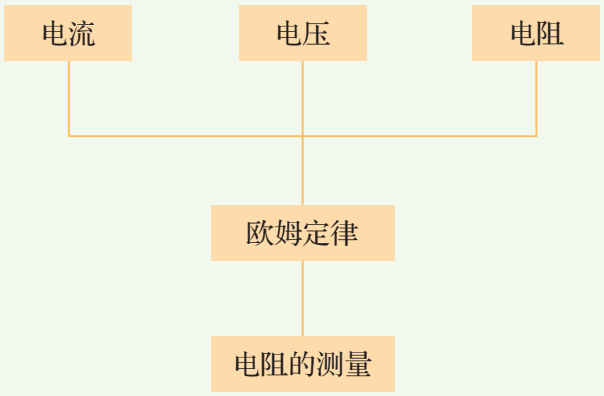
回顾与复习

本章小结

基本概念和基本规律

- 电阻：表示导体对电流阻碍作用的物理量。
- 滑动变阻器：利用导体电阻随长度变化的特点制成的阻值可变的电阻器。
- 欧姆定律：通过导体的电流 I 与导体两端的电压 U 成正比，与导体的电阻 R 成反比。
- 串联电路的电阻关系：串联电路的等效电阻等于各串联电阻之和。
- 并联电路的电阻关系：并联电路等效电阻的倒数，等于各并联电阻的倒数之和。

知识结构图



本章练习

1. 某同学查阅了表 12-1-1 后认为 1 m 长的铜导线一定比 1 m 长的镍铬导线电阻小。你认为该同学的说法正确吗？简述理由。

2. 在图 1 所示的电路中，有一根导线尚未连接，试用笔画线代替导线补上。要求：闭合开关 S，电路正常工作；向左移动滑动变阻器的滑片 P，电流表的示数变小。

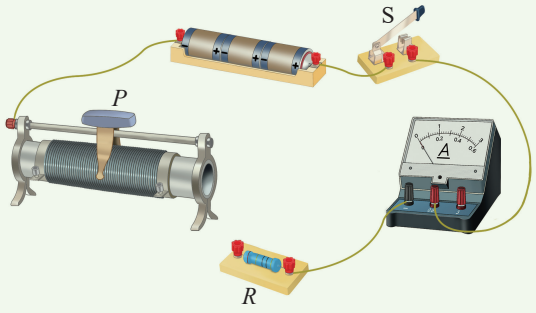
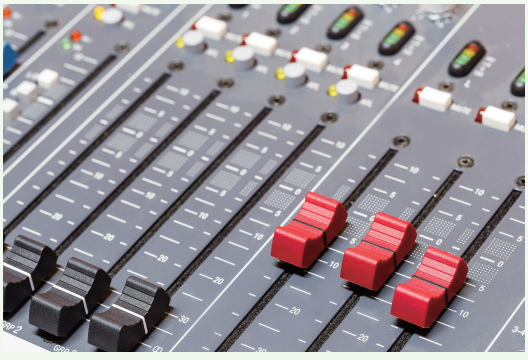
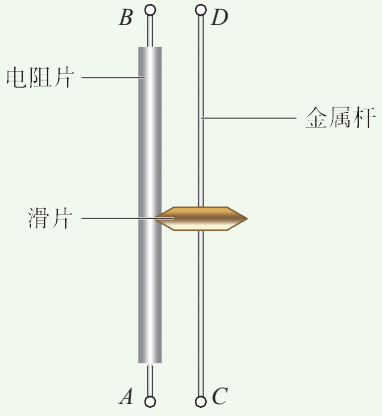


图 1

3. 如图 2（a）所示，在调音台上有一些上下滑动的推拉杆，它其实是一种拉杆式变阻器，其结构如图 2（b）所示。若将拉杆式变阻器的 A、C 两接线柱接入电路，当滑片向下移动时，拉杆式变阻器的电阻如何变化？



（a）



（b）

图 2

4. 如图 3 所示，浴室防雾镜的背面安装有电热膜，通电后，镜面受热，附着在镜面上的水雾就会蒸发消失。电热膜正常工作时，电压为 220 V，通过它的电流为 0.2 A，求此时电热膜的电阻。



图 3

5. 某同学做“探究电流与电压、电阻的关系”的实验，电路如图 4 所示。他用 A、B 两个阻值不同的导体进行实验，实验中多次改变导体两端电压的大小，并将测量的数据记录在表 1 和表 2 中。

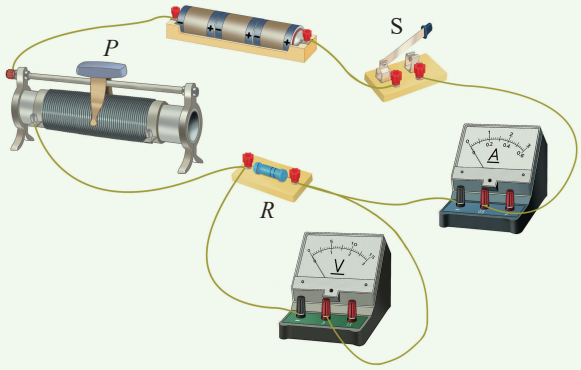


图 4

表 1

R_A = 15 Ω

实验序号	电压 U/V	电流 I/A
1	0.9	0.06
2	1.2	0.08
3	1.5	0.10
4	1.8	0.12
5	2.4	0.16

表 2

R_B = 30 Ω

实验序号	电压 U/V	电流 I/A
1	1.2	0.04
2	1.5	0.05
3	1.8	0.06
4	2.4	0.40
5	2.5	0.08

（1）根据两表中的数据，在图 5 的方格纸上画出各组数据对应的点，是否有数据与其他数据存在明显差异？若有，简述可能的原因。

（2）该同学准备继续研究电流与电阻的关系。实验室除了现有器材之外，还有阻值不同的导体若干，他应该如何操作？

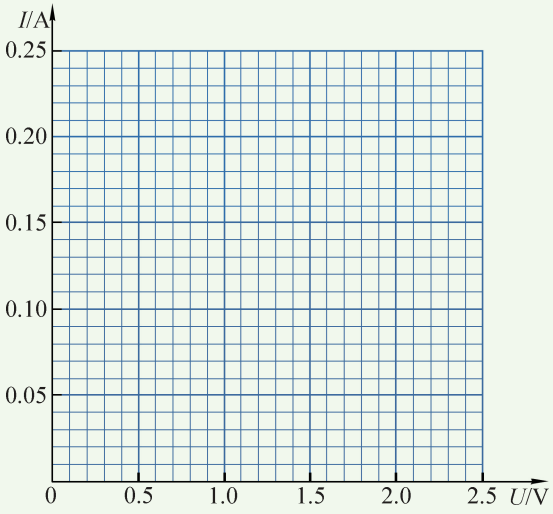
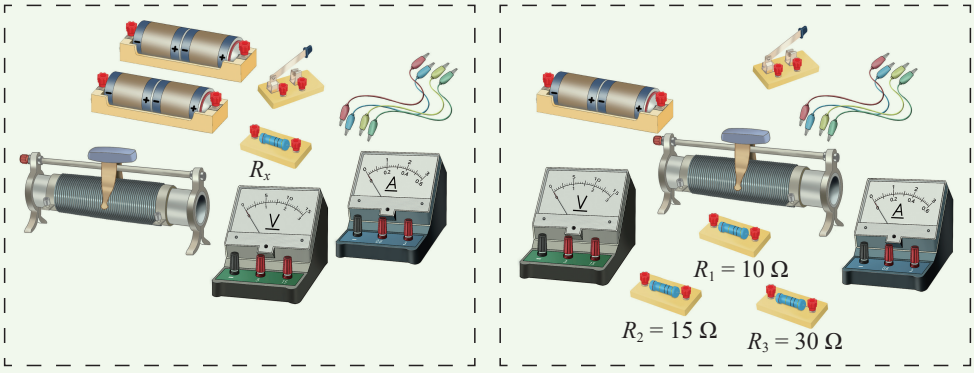


图 5

6. 甲、乙两组实验器材如图 6 所示，若要完成“探究电流与电压、电阻的关系”的实验，应选择哪一组器材？简述理由。



（a）甲组实验器材　　（b）乙组实验器材

图 6

7. 某同学因为维修用电器，需要一个阻值为 30 Ω 的电阻，但他只找到了 40 Ω、50 Ω、120 Ω 的电阻各一个。简述如何解决这一问题。

8. 如图 7 所示，在“探究电流与电压、电阻的关系”实验中，电阻 R 的阻值为 10 Ω，滑动变阻器滑片 P 位于中点附近。若用一阻值为 20 Ω 的电阻替换 R 后，要保持电阻两端电压不变，需将滑动变阻器的滑片 P 向何处移动？简述理由。

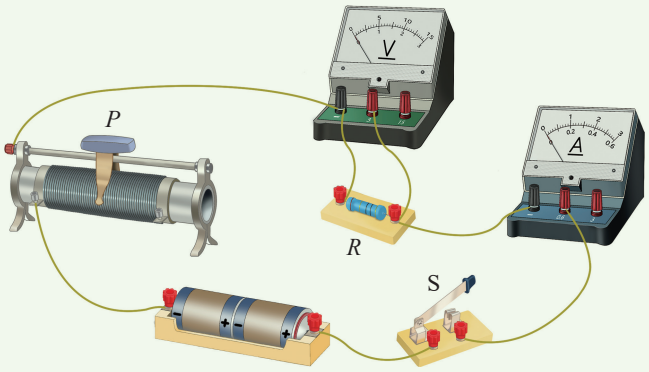


图 7



第13章 电功率

电能的利用遍及生产生活的各个领域，利用电能驱动汽车，能量利用效率更高，也更环保。近年来，我国的电动汽车产业发展迅猛。本章我们将学习电路中功能转化的基本规律。

通过本章内容的学习，你将了解电功、电功率的基本概念和焦耳定律；用焦耳定律说明生产生活中的有关现象；知道家庭电路的组成，增强安全用电和节约用电的意识，体会践行绿色低碳生活的重要性。



图 13–1–1 扫地机器人

第1节

电　功

各式各样的电器已经成为人们便捷生活的必需品。扫地机器人（图 13–1–1）游走在家中清洁各处地面，工作结束后自动回到固定位置充电。此时，我们摸一下机身，会感到有些热。扫地机器人的机械能和内能是从哪里来的呢?

电路中的电能是如何转化的?

电路包含电源和用电器，电源将其他形式的能量转化为电能，而用电器工作时则将电能转化为其他形式的能量，如扫地机器人工作时将电能转化为机械能和内能等。电能利用的过程就是电能转化为其他各种形式能量的过程。

在电能转化为其他形式的能量过程中，我们说电流做了功。物理学中，把电流所做的功称为**电功**（electric work），用 W 表示，单位是焦（J）。

电流做了多少功，就有多少电能转化为其他形式的能量。例如，通过某电扇的电流每秒做功 150 J，表明每秒有 150 J 电能转化为机械能和内能。

我们也常用千瓦·时（俗称“度”）作为电能单位，符号是 kW·h。

类比机械功和机械功率的关系，可以知道：

$1\ \text{kW·h} = 1\ 000\ \text{W} \times 3\ 600\ \text{s} = 3.6 \times 10^6\ \text{J}$

如何用电能表计量电能？



图 13–1–2　普通电能表



图 13–1–3　智能电能表

生活中可以用电能表计量家庭电路消耗的电能，也就是用电量。图 13–1–2 是普通电能表，上方数字表示以千瓦·时（kW·h）为单位的当前用电量（俗称“抄见数”）。

随着电子技术和互联网技术的发展，目前家庭电路基本采用图 13–1–3 所示的智能电能表。该类电能表靠专用的芯片计量电能，每计量一定量的电能会输出一个脉冲，对应的脉冲指示灯闪烁一次。智能电能表利用网络回传数据，实现了远程抄表。

电能表的表盘上还会标识一些常见参数。图 13–1–3 中表盘上的“220 V”和“50 Hz”表示电能表所接家庭电路中交流电的电压和频率。

记录电能表前后两次示数，计算其差值，就可以得到某一段时间内的用电量。

电流做功与哪些因素有关？

同一用电器的使用时间越长，消耗的电能越

多，意味着电流做功越多。可见，电流做功的多少与用电器的通电时间有关。此外，电流做功的多少还与电压、电流有关。

电流通过用电器所做的功 W 等于用电器两端的电压 U、通过用电器的电流 I 和通电时间 t 的乘积，即

$$W = UIt$$

在国际单位制中，电压的单位是伏（V）、电流的单位是安（A）、时间的单位是秒（s），电功的单位是焦（J）。它们之间的关系为：

$$1\ \mathrm{J} = 1\ \mathrm{V \cdot A \cdot s}$$

示例 · 如图 13–1–4 所示，一电熨斗工作时内部电热丝的电阻为 40 Ω，接在电压为 220 V 的家庭电路中。

（1）通过该电熨斗电热丝的电流是多大？

（2）该电熨斗工作 10 min 消耗多少电能？



图 13–1–4　电熨斗

解：（1）已知电熨斗电热丝的电阻 $R = 40\ \Omega$，两端电压 $U = 220\ \mathrm{V}$，根据欧姆定律，通过电热丝的电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220\ \mathrm{V}}{40\ \Omega} = 5.5\ \mathrm{A}$$

（2）时间 $t = 10 \times 60\ \mathrm{s} = 600\ \mathrm{s}$，根据电功的表达式，电流做功

$$W = UIt = 220\ \mathrm{V} \times 5.5\ \mathrm{A} \times 600\ \mathrm{s} = 7.26 \times 10^5\ \mathrm{J}$$

即该电熨斗工作 10 min 消耗的电能是 7.26×10^5 J。

STSE

自古以来，对热与电的利用促成了人类社会发展的两次重大飞跃。有趣的是，无论是原始时期使用火还是 18 世纪运用蒸汽动力，对热的研究基本滞后于热的应用。而电的情况恰恰相反，直到 19 世纪法拉第（M. Faraday，1791—1867）和麦克斯韦（J. C. Maxwell，1831—1879）在电磁领域取得了突破性的研究成果后，人类才真正开始大规模利用电能。

在法拉第发明简易电动机和发电机之后，涌现了一大批发明家和实业家，在电能的产生、传输、使用等方面锐意创新，不仅制造业在电动机的轰鸣声中迅猛发展，人们的日常生活也因电灯、电报、电话、电车等的发明变得便捷。

进入信息时代，电能在人类生活中的重要地位依然不可撼动，而且人类对电能的需求还在不断提升。人们除了积极践行节约用电、推动绿色低碳的生活方式外，也不断积极探索获取电能的新途径。图 13–1–5 所示的国内首座“零能耗”生态示范住宅在 2010 年上海世博会期间展示，“零能耗”建筑采用各种技术降低能耗，并利用各类可再生能源，实现建筑能源自给自足。



图 13–1–5 “零能耗”生态示范楼

练一练

1. 移动电源为电子设备充电时，电能转化成哪些形式的能量？

2. 某款节能灯接入 220 V 家庭电路中，正常工作时电流约为 0.05 A，该节能灯工作 2 h 耗电多少千瓦·时？

3. 在图 13–1–6 所示的电路中，电源电压为 6 V，电阻 R_1 的阻值为 10 Ω。闭合开关 S 后，电流表的示数为 1 A。求电阻 R_2 在 5 s 内消耗的电能。

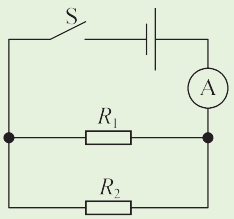


图 13–1–6

▶ 主题学习：家庭用电与节能 1

目前上海居民生活用电实行的是“分时电价”，每天 6 : 00 –22 : 00 为“平时”，电价较高；22 : 00 – 次日 6 : 00 为“谷时”，电价较低。某家庭所用的智能电能表液晶屏幕采用循环显示方式，用以显示不同的示数，部分示数如图 13–1–7 所示。





（a）上月计费日平时和谷时示数





（b）当前平时和谷时示数

图 13–1–7

（1）自上月计费日开始至今，该家庭平时和谷时用电量分别是多少？总用电量是多少？

（2）表 13–1–1 所示的某电费账单仅有部分信息清晰可见。利用所学知识，补全账单上的其他信息。

表 13–1–1

上月抄见数	本月抄见数	用电量 /（kW·h）	单价 / 元	金额 / 元
	15 123	331	0.617	
5 772			0.307	
本月应付电费：220.19 元				



图 13–2–1 电扇和空调

第2节

电功率

炎炎夏日，电扇和空调（图 13–2–1）送来清凉，家中的用电量随之增加。从节能角度，提倡空调制冷温度不低于 26 ℃。从经济角度，常说“空调比电扇费电”，这句话中“费电”是什么含义呢?

如何描述电流做功的快慢?

消耗 1 kW·h 电能让电扇工作十几个小时，但只能让空调工作 1 h 左右，说明电扇和空调消耗电能的快慢不同，也就是电流通过两种用电器做功的快慢不同。

类比机械功率，我们将一段时间内电流做的功 W 与做功时间 t 的比叫做**电功率**（electric power），用字母 P 表示，即

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

电功率表示电流做功的快慢。将电功的表达式 $W = UIt$ 代入上式，可得

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

也就是说，电功率 P 等于用电器两端所加电压 U 与通过电流 I 的乘积。在国际单位制中，电功率的单位也是瓦（W）。它们之间的关系为：

$$1\ \mathrm{W} = 1\ \mathrm{J/s} = 1\ \mathrm{V \cdot A}$$

生活中常见的电功率单位还有千瓦（kW）。

$$1\ \mathrm{kW} = 1\ 000\ \mathrm{W}$$

1 千瓦·时（kW·h）表示电功率为 1 kW 的用电器持续工作 1 h 所消耗的电能。

不同用电器的电功率差别可能很大，图 13–2–2 展示了常见用电器电功率的数量级。

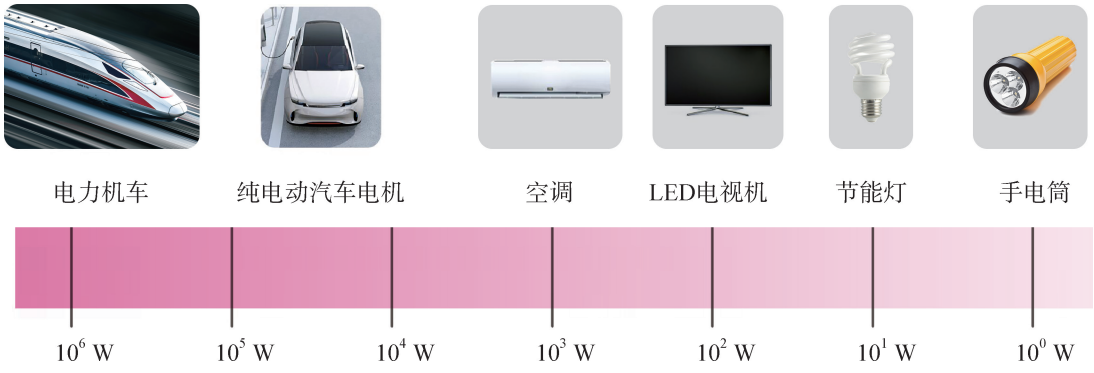


图 13–2–2　常见用电器电功率的数量级

用电器正常工作的条件是什么？

由电功率的表达式可知，对于同一个用电器，两端所加电压或所通过的电流不同时，电功

率不同。实际使用时，所有用电器都有一个正常工作的电压值，叫做**额定电压**（rated voltage）。用电器两端的电压为额定电压时，通过用电器的电流叫做**额定电流**（rated current），此时的电功率叫做**额定功率**（rated power）。

额定电压和额定功率是用电器的重要参数，通常可以在产品铭牌或说明书上查到。表 13–2–1 是某电扇和某空调的部分参数。

表 13–2–1　某电扇和某空调部分参数

电扇		空调	
功率	85 W	能效等级	1 级
转速	320 r/min	电辅热	1 800 W
电压 / 频率	220 V/50 Hz	额定制冷功率	2 090 W
噪声分贝	≤ 67 dB(A)	冷暖方式	冷暖
调速挡位	五挡调速	额定制热功率	3 120 W

从表中数据可以看出，某空调的额定功率是某电扇的几十倍，也就是说若电扇和空调工作同样长的时间，空调消耗的电能将是电扇的几十倍，所以我们常说空调更“费电”。

用电器工作时两端的实际电压可能偏离额定电压，从而使用电器工作时的功率偏离额定功率。用电器实际工作时的电功率称为实际功率。用电器两端的实际电压明显低于或高于额定电压时，用电器将无法正常工作。

根据电功率的表达式，我们可以实时测量用电器两端的电压和通过用电器的电流来计算其实际功率。

自主活动

设计实验方案，测量小灯泡两端电压略低于、等于和略高于额定电压时的电功率，观察三种情况下小灯泡的亮暗情况。

实验发现，当用电器两端所加电压小于额定电压时，实际功率小于额定功率。反之，当所加电压大于额定电压时，实际功率大于额定功率。

在生产生活中，为了不损坏用电器，也为了保证用电安全，一般不允许用电器的实际功率长时间超过额定功率。

练一练

1. 某扫地机器人工作时的额定电压为 12 V，额定电流是 4 A，求其额定功率。

2. 某热水壶通电 10 min 耗电 6×10^5 J，某电吹风通电 6 min 耗电 1.8×10^5 J，哪个用电器的功率大？

3. 白炽灯 *A* 的电阻大于白炽灯 *B* 的电阻。将这两盏灯串联接入电路，哪盏灯的电功率较大？若将这两盏灯并联接入同一电路，哪盏灯的电功率较大？

▶ 主题学习：家庭用电与节能 2

观察家用电器的铭牌（标签）或说明书，可以获取额定电压、额定功率等信息。这有助于我们了解哪些家用电器耗电更多，为家庭节能改进提供参考。

（1）观察并记录家中 LED 灯和空调的额定功率。

（2）根据 LED 灯和空调的使用情况，估算其每年的耗电量。



图 13–3–1 取暖器

第3节

焦耳定律

在寒冷的冬日，我们可以打开取暖器使房间温度升高，待在取暖器旁就会感到暖意融融（图 13–3–1）。取暖器有不同的加热方式，其中一种类型的取暖器内部布满了一圈圈紧密缠绕的金属丝。取暖器放出的热量从何而来呢？这些金属丝又起什么作用呢？

电流通过导体产生的热量与哪些因素有关？

电流通过导体时，导体会发热，内能增加，这种现象叫做电流的热效应。取暖器、电热水壶、灯泡、导线等工作时发热，都是电流的热效应。生活经验告诉我们，这些导体产生的热量差异巨大。

我们知道，电流产生的热量和通电时间有关，通电时间越长，产生的热量越多。除此之外，电流产生的热量还与哪些因素有关呢？

自主活动

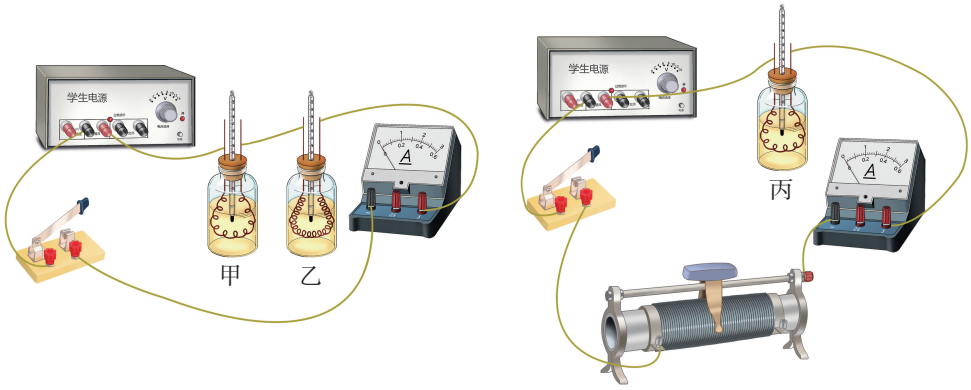
取甲、乙、丙三根电热丝，甲、丙电热丝的电阻相等，乙电热丝的电阻较大。将三根电热丝分别浸入装有煤油的三个瓶子中，且三个瓶中煤油的质量和初温都相等。可将温度计或温度传感器探头插入煤油中测量温度。

1. 研究电流、通电时间一定时，电流产生的热量与电阻的关系

如图 13–3–2（a）所示，将甲、乙电热丝串联接入电路，接通电源一段时间后断开，观察比较两瓶中煤油的最终温度。

2. 研究电阻、通电时间一定时，电流产生的热量与电流的关系

如图 13–3–2（b）所示，将丙电热丝单独接入电路，设法使通过它的电流与实验 1 中通过甲电热丝的电流大小明显不同，但通电时间相同。观察比较甲、丙所在瓶中煤油的最终温度。



（a）　　（b）

图 13–3–2　探究电流产生的热量与电流、电阻的关系

通过上述实验发现，电流通过导体产生的热量还与电流和电阻有关。通过导体的电流越

大、导体电阻越大、通电时间越长，产生的热量越多。

焦耳通过实验研究，于 1840 年发现了电流通过导体时产生的热量与电流、电阻、通电时间的定量关系：

电流通过导体时产生的热量，与电流的二次方成正比，与导体电阻成正比，与通电时间成正比。这一规律称为**焦耳定律**（Joule's law），可表示为

$$Q = I^2Rt$$

其中，电流 I 的单位是安（A），电阻 R 的单位是欧（Ω），时间 t 的单位是秒（s），电流产生热量 Q 的单位是焦（J）。

想一想

如果想让取暖器的取暖效果更好，取暖器应该换用电阻更大还是更小一些的电热丝？

哪些常见现象与电流热效应有关？

人们利用电流的热效应开发了各式各样的电加热器，如生活中常用的电热水器、烤面包机等。图 13–3–3 所示的电烙铁是焊接电路的常用工具，用发热的烙铁头熔化焊锡可以连接电路元件。如图 13–3–4 所示，工人正在铺设发热电缆，这是电地暖的主要部件之一。此外，串联在电路中的熔丝（俗称“保险丝”），也利用了电流热效应，当通过熔丝的电流超过一定限度时，其温度将达到熔点而熔断，电路随之切断，以此保证用电安全。

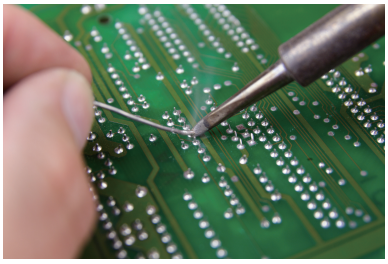


图 13–3–3　用电烙铁焊接

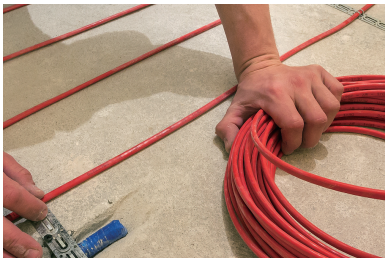


图 13–3–4　铺设发热电缆

电流通过导体产生的热量有时是“无用”的。

除了电热器外，大多数通过用电器的电流做功只将一部分电能转化为内能，也就是说，电流产生的热量小于电功。例如，电动机工作时，消耗的电能大部分转化为机械能，但有一小部分转化为“无用”的内能。白炽灯消耗的电能只有一小部分转化为光能，其余大部分转化为“无用”的内能。与之相比，LED 灯将电能转化为光能的效率更高一些，比较节能。

电流的热效应除了消耗电能外，还可能造成一些危害。大功率用电器持续发热可能影响其性能，甚至缩短使用寿命，因此提高用电器散热性能非常重要。电路发生短路故障时，电流会急剧增大，短时间内产生大量的热量，造成用电器损坏，甚至引发火灾。因此需要实时检查电路和电气设备，避免发生事故。

拓展视野

白炽灯是由于灯丝被加热而发光。与白炽灯的发光原理不同，LED 由半导体材料制成，是一种发光二极管。改变半导体的结构和成分能改变 LED 发光的颜色等特性。

练一练

1. 如图 13–3–5 所示的各种用电器中，利用电流的热效应工作的有_____。（选填序号）



① 电风扇　② 洗衣机　③ 取暖器　④ 电熨斗

图 13–3–5

2. 一台电动机正常工作时，电动机两端的电压为 220 V，电阻为 2 Ω，通过的电流为 10 A。问：

（1）这台电动机正常工作 1 min 产生多少热量？

（2）某同学想用电功公式 $W = UIt$ 计算热量，你认为是否可行？为什么？

3. 将一台“220 V　60 W”的电扇和一条“220 V　60 W”的电热毯分别接到 220 V 的电源上。若通电时间相同，则哪个用电器产生的热量更多？简述理由。

4. 电热水壶工作时，水壶中加热用的电热丝会明显发热，但电源线却不热，这是为什么呢？



图 13–4–1 家中的电器

第4节

家庭电路

我们的家中有各种家用电器（图 13–4–1），如客厅的空调和电视机、书房的计算机和打印机、厨房的冰箱和微波炉等。这些电器虽然功能不同，但都需要通电才能工作。我们该如何安全连接和使用这些家用电器呢？

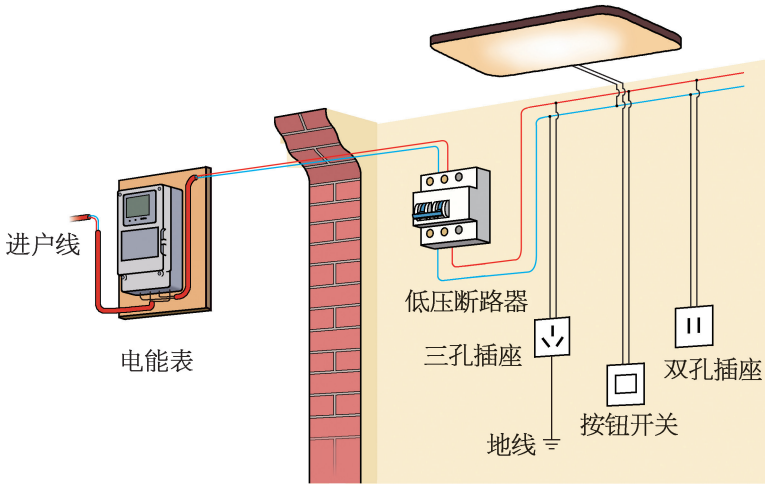
家庭电路通常有哪些组成部分？

家庭电路包含供电线路、电能表、低压断路器、开关、插座和用电器，用电器插头插入插座后，用电器即接入家庭电路。在布线时，考虑到不同家用电器的功率差异较大，往往将家庭电路分为若干支路，以便于安装和检修。

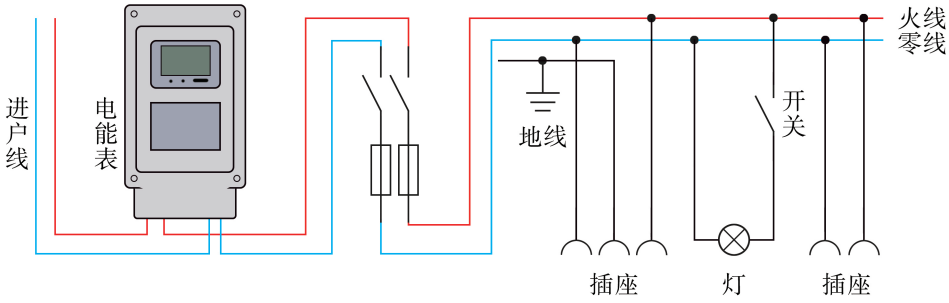
图 13–4–2 所示是一个简单的家庭电路示意图。

想一想

空调、电饭煲、电水壶都是大功率电器。如果这几个电器并联接入同一支路时，通常应避免它们同时工作，这是为什么呢？



（a）实物图



（b）电路图

图 13–4–2　简单的家庭电路示意图

家庭电路经过电能表后入户，电能表用来计量家庭的用电量。

低压断路器俗称“空气开关”，当家庭电路中用电器的总功率过大或发生短路时，通过断路器的电流超过规定电流，断路器会自动切断供电线路，避免用电器损坏或发生其他危险。



图 13–4–3　插座

家庭电路的供电线路通常隐藏在墙体中，包含相线（俗称“火线”）、零线和地线。火线与零线之间有 220 V 的电压。两孔插座的一孔接火线，一孔接零线，用电器的两脚插头接入插座后即可工作；三孔插座中，并排的两个孔分别接火线和零线，另一个孔与地线相连（图 13–4–3）。

家庭用电要注意哪些事项？

过量的电流通过人体会引起不同程度的组织损伤或器官功能障碍，俗称触电，触电会造成机体破坏甚至死亡。人体能导电，人体两端的电压越高，通过人体的电流就越大。在一般环境下，人体两端所加电压不超过 36 V 时，通过人体的电流是安全的。家庭电路的电压一般是 220 V，远远大于安全电压。

在家庭电路的使用中，为了防止电流流过人体，我们应避免用湿手去插、拔插头（图 13–4–4）；搬动家用电器时不能拖拽用电器和接线板，避免损坏导线；如图 13–4–5 所示，为防止幼儿触电，插座的位置不宜过低，还应该安装插座保护壳等。

一旦发生触电事故，应迅速切断电源，并用绝缘物体将触电人员与电源分离，切记不能直接触碰触电人员。

为了充分保证使用时的安全，洗衣机、电冰箱、空调等电器一般采用三脚插头，其中一脚与电器的金属外壳相连（图 13–4–6）。当三脚插头插入三孔插座时，用电器的金属外壳首先接地，从而有效保证人身安全。

家庭用电中不仅要时刻保持安全意识，还要有节能环保意识。使用空调时，制冷温度不宜设置得太低，制热温度则不宜设置得太高。此外，待机状态下的用电器仍在消耗电能，因此建议关闭长时间不使用的用电器。

电无处不在，为我们的生活带来了便利，而安全用电、节约用电人人有责，让我们一起行动起来。



图 13–4–4
严禁用湿手触摸电器插头

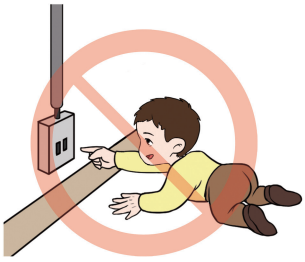


图 13–4–5
严禁手指插进插座



图 13–4–6　三脚插头

想一想

从安全和节能两方面谈谈为什么超过使用年限的用电器应及时更换。

STSE

电器早已成为生活的必需品，其品类和功率都随着人们的需求而不断增加。为了推动节能技术的进步，促进用能产品能源效率的提高，我国于 2005 年 3 月正式实施能效标识制度。能效标识（图 13–4–7）是附在用能产品上，表征产品能耗指标和能效等级的信息标签，1 级表示产品的能效水平最高，即最节能。在愈发倡导绿色消费的当下，能效标识已成为消费者选购电器时的重要参考。

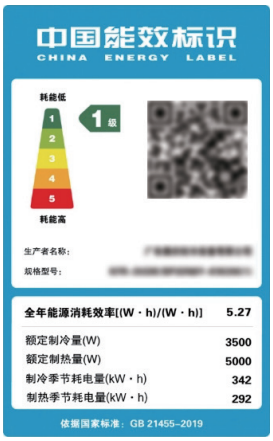


图 13–4–7　中国能效标识

练一练

1. 写出家庭电路的主要组成部分及其功能。

2. 如图 13–4–8 所示，许多宾馆房间采用房卡取电，将房卡插入卡槽后，房间内的用电器才能使用。房卡的作用相当于家庭电路中的哪个元件？卡槽应接在房间电路的干路还是支路上？



图 13–4–8

3. 学校宿舍通常不允许使用电热水壶等大功率用电器，试从安全用电的角度分析制定该规定的理由。

▶ 主题学习：家庭用电与节能 3

我国自 2012 年起就决定逐步淘汰普通照明白炽灯，如今家庭大都使用节能灯照明。实验表明，11 W 的节能灯与 60 W 的白炽灯发光效果相当，表 13–4–1 是这两种灯的部分参数。

（1）表中的白炽灯和节能灯，发光效果是否相当？简述理由。

（2）若将这两盏灯装在客厅，根据使用情况，估算这两盏灯每个月消耗的电能。

（3）从节能和经济两个角度分析节能灯的优势。

表 13–4–1

类型	白炽灯	节能灯
额定电压 /V	220	220
额定功率 /W	60	11
使用寿命 /h	1 000	5 000
每只售价 / 元	3	30
电费单价 / 元	0.61	0.61

回顾与复习

本章小结

基本概念和基本规律

- 电功：电流所做的功。
- 电功率：一段时间内电流做的功与做功时间的比。
- 焦耳定律：电流通过导体时产生的热量，与电流的二次方成正比，与电阻成正比，与通电时间成正比。

知识结构图



本章练习

1. 当天空中空气的湿度很大、两块云层之间的电压很高时，原先不导电的空气就会成为导体，瞬间产生强大的电流，形成闪电。某次闪电的放电电流约为 2×10^4 A，电压为 2×10^8 V，放电时间为 0.01 s，那么这次闪电的电功率约为多大？释放的电能约为多少？

2. 一台功率 2 kW 的加热器接在 220 V 电源上，求：

（1）通过该加热器的电流。

（2）该加热器的电阻。

（3）该加热器工作 1 h 产生的热量。

3. 在图 1 所示的电路中，电源电压为 6 V，且保持不变，电阻 R_1 为 10 Ω，R_2 为 20 Ω。闭合开关 S 后，求：

（1）电阻 R_1 的电功率 P_1。

（2）电阻 R_1 与 R_2 的电功率 P_1 与 P_2 的比值。

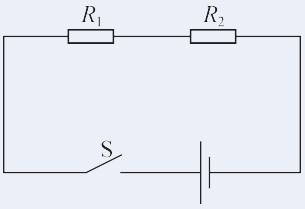


图 1

4. 估算用功率为 1 kW 的电热水壶煮沸 500 mL 水所需的时间。已知室温为 20 ℃，水的比热容为 4.2×10^3 J/（kg · ℃）。

5. 一阻值为 3 Ω 的电阻接在电源两端，其产生的热量 Q 随时间 t 的变化如图 2 所示。

（1）求通过该电阻的电流 I。

（2）若将阻值为 6 Ω 的电阻接在同一电源两端，在图 2 中画出该电阻产生的热量随时间变化的图像。

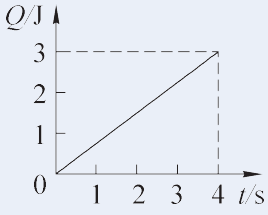


图 2

6. 如图 3 所示的家庭电路中，输电线 A 为火线。试用笔画线代替导线，将图中的电灯和三孔插座正确接入电路中。

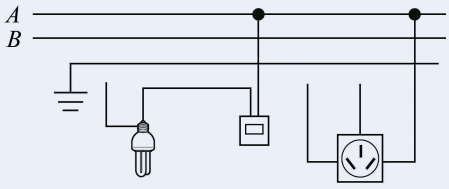


图 3

7. 阅读材料，回答问题。

市场上曾存在一种万用孔插座，它既可以接三脚插头，又可以接两脚插头，一孔多用。但万用孔插座的插孔较大，插座接片与电器插头接触面积过小，容易松动使接触片过热，有造成火灾事故的隐患。并且，这类插座的电源线一端往往是两脚插头，没有接地线。

早在 2010 年，国家就明确禁止生产这种万用孔插座，规定插座产品应采用两孔和三孔插座分开组合的形式（图 4），插座的插口内设置挡片作为保护门，避免手指或金属物体误触导致触电事故。电源线端是三脚插头，分别接火线、零线和地线，而且插头与插座的接触面积更大，接触更紧密，能有效防发热、防触电，安全性能得到了很大提升。

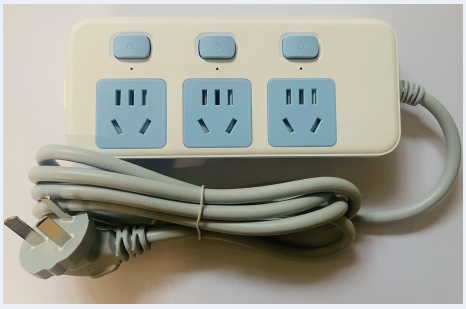


图 4

（1）从导电性上分析，插座里的金属接片是_____，插孔内的挡片是_____。（均选填“导体”或“绝缘体”）查找资料，了解万用孔插座的构造。

（2）洗手间墙上的固定插座有水溅入时会形成短路，想一想如何防止：_____。

（3）如果家中的接线板插座上插满了各种大功率电器，会有什么危险？

▶ 主题学习：家庭用电与节能 4

为了更好地践行节约用电，首先需要了解家庭用电情况，并从中发现可以改进之处。

（1）记录家庭一周内的用电情况，通过列表或作图呈现结果，找出用电的高峰时段。

（2）结合分时电价、电器能效等知识，从家用电器选购和使用两个角度提出节电建议。

后　记

本教材根据教育部颁布的《义务教育物理课程标准（2022年版）》编写。

本教材的编写借鉴了上海市“二期课改”教材的经验和研究成果。孙昌璞院士为本教材撰写了序言。在编写的各个阶段，蒋平教授、冀敏教授、陈树德教授审阅了书稿。编写过程中，上海市课程教育教学研究基地（中小学课程方案基地）、上海市心理教育教学研究基地、上海基础教育教材建设重点研究基地和上海市物理教育教学研究基地等上海高校“立德树人”人文社会科学重点研究基地给予了大力支持。在此一并致谢！

本教材出版之前，我们就教材中使用的照片、图片等选用作品，通过多种途径与作者进行了联系，得到了他们的大力支持，在此表示衷心的感谢！对于未联系到的作者，我们也希望作者能及时联系出版社，以便支付相应的稿酬。

欢迎广大师生来电来函指出教材中的差错和不足，提出宝贵意见。

联系方式：

联系电话：021-64848025

电子邮箱：jc@sstp.cn

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

本册教材图片提供信息：

本册教材中的图片由视觉中国、IC photo、上海飞果信息技术等提供。

义务教育教科书

（五·四学制）

物理

WULI

九年级 上册



ISBN 978-7-5478-7097-6

绿色印刷产品