扉　页

苏科版教材 009

致同学

同学们，欢迎步入新学期的物理课程。

通过一年半的学习，我们体验了探究的乐趣，学习了一些观察、实验、思考的方法，能够从物理学的视角初步认识自然和解决简单的实际问题；初步了解了物理学在生产生活中的应用，以及物理学对推动科技进步和社会发展作出的巨大贡献。九年级下册教科书将带领我们学习电能、电能与其他形式能量的相互转化、电与磁的联系和基本规律，以及能源利用与可持续发展等。这部分内容涉及更深层次的物质运动和相互作用，以及伴随运动形式变化的能量转化规律，将使我们更深入地认识各种物理现象；这部分内容与现代生活的联系更为密切，将使我们进一步认识科学、技术、社会、环境之间的关系。

为便于同学们学习，本书设计了以下栏目：

活动	创设真实问题情境，或指导利用简易的器材和随手可得的物品进行观察、实验等，经历知识的发现过程。
学生实验	必须动手做的实验。通过观察和测量培养探究技能，或通过实验探究培养发现问题、解决问题的能力，形成严谨认真、实事求是的科学态度。
实践与练习	将所学内容应用于问题解决，从而巩固知识、提升素养。
素养进阶	引导梳理所学内容、反思认知过程、进行问题解决。
方法技巧	对研究问题的方法、技巧进行点拨和说明。
信息快递	为学习活动提供及时、必要的帮助。
读一读	从物理学的视角观察和解释现象，回顾物理学发展的历史故事。
生活 物理 社会	结合具体实例，感受物理与生活、社会和科技发展的联系，了解物理学在生产生活中的应用。
国家工程	介绍我国的重大科技工程，激发爱国热情、弘扬科学家精神。

祝同学们在新学期取得更大的进步！

编　者

目　录

第十五章　电功和电热　1

一、电　功　2
二、电 功 率　6
三、电流的热效应　焦耳定律　12
四、家庭电路与安全用电　17
跨学科实践　24



第十六章　电和磁　29

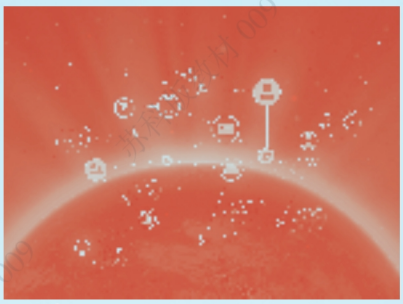
一、磁体与磁场　30
二、电流的磁场　36
三、磁场对电流的作用　电动机　42
四、电磁感应　发电机　49
跨学科实践　59



苏科版教材 009

第十七章　电磁波与现代通信　63

一、信息与信息传播　64
二、电磁波及其传播　69
三、现代通信　77



第十八章　能源与可持续发展　85

一、能源利用与社会发展　86
二、核能　太阳能　90
三、能量转化的基本规律　98
四、能源与可持续发展　103
跨学科实践　107

附　录　111



探寻用电耗能的奥秘

第十五章

电功和电热

- 电　功
- 电 功 率
- 电流的热效应　焦耳定律
- 家庭电路与安全用电
- 跨学科实践

电饭锅、电冰箱、洗衣机、空调……
各种用电器给人们带来了便捷与舒适。
尽管它们结构不同、功能各异，
但工作时都要消耗电能，并且都会发热。
……
用电器消耗的电能与哪些因素有关？
电热器产生的热量又与哪些因素有关？



苏科版教材 009

一、电　功



电能表

用来测量电路消耗电能（electric energy）多少的仪表叫作电能表。

图 15–1 所示是家庭电路使用的电能表，它的示数由整数和两位小数组成，单位是千瓦时（kW · h）。供电部门按一定周期（如一个月）记录电能表示数，一般仅记录整数部分，并以前后两次记录的数据之差计算电费。

某型号电能表的主要参数

额定电压：220 V

电流规格：5（60）A

频率：50 Hz

电能表常数：1 200 imp /（kW · h）

“电流规格”中，“5 A”表示基本电流，它是确定电能表有关特性的电流值；“60 A”是电能表能满足测量准确要求，且能长期正常运行的最大电流值。

“电能表常数”为“1 200 imp /（kW·h）”，表示每消耗 1 kW·h 电能，电能表脉冲指示灯闪烁 1 200 次。



图 15–1　电能表

电　功

家里的电灯、电扇、吸尘器等工作一段时间后，电能表的示数会发生变化，这说明用电器消耗了电能，即电能转化成了其他形式的能。我们知道，做功的过程总伴随着能量转化，电流做了多少功，电路中就消耗了多少电能。**电流所做的功叫作电功。**

研究表明：**电功大小与用电器两端的电压、通过的电流和通电时间有关。**若用电器两端的电压为 U，通过用电器的电流为 I，通电时间为 t，则电流所做的功

$$W = UIt$$

在国际单位制中，电功与电能的单位相同，都是焦耳，简称焦，符号为 J。当某用电器两端的电压为 1 V，通过的电流为 1 A 时，该用电器在 1 s 内消耗的电能为 1 J，即

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

电功的常用单位还有千瓦时，千瓦时与国际单位焦耳的关系是

$$1\ \mathrm{kW} \cdot \mathrm{h} = 3.6\times10^{6}\ \mathrm{J}$$

图 15–2 大致表示了 1 kW · h 电功的作用。



图 15–2　1 kW · h 电功的作用

例题　将一个电暖器单独接在家庭电路中，它连续正常工作 2 h 后，电能表的示数由 4321.82 变为 4323.42 。已知该电暖器的额定电压为 220 V，求通过电暖器的电流。

分析　根据电能表示数的变化，可算出 2 h 内电暖器消耗的电能，再利用电功的公式就可以求出通过电暖器的电流。

解答　电暖器消耗的电能

$$W = (4\,323.42 - 4\,321.82)\ \text{kW}\cdot\text{h}$$
$$= 1.6\ \text{kW}\cdot\text{h}$$

由电功的公式 $W = UIt$ 可得，通过电暖器的电流

$$I = \frac{W}{Ut}$$
$$= \frac{1.6\times3.6\times10^{6}\ \text{J}}{220\ \text{V}\times2\times3\,600\ \text{s}}$$
$$\approx 3.64\ \text{A}$$

反思　计算电流时，为什么要把电能的单位换算成焦耳，把时间的单位换算成秒？

实践与练习

1. 小明家的电能表，2 月底时示数为 2138.20 ，3 月底时示数为 2198.70 。若按 0.52 元 /（kW · h）计算，则小明家 3 月份应交电费多少元？他家 3 月份消耗的电能是多少焦？

2. 小明为了解某用电器的耗电情况，将一个额定电压为 220 V 的用电器单独接在家庭电路中，发现 5 min 内电能表脉冲指示灯闪烁了 44 次。已知电能表常数为 1 200 imp /（kW · h），则这段时间内用电器消耗了多少电能？用电器的工作电流是多大？

3. 将额定电压为 220 V 的电暖器接入家庭电路。先将电暖器的调温旋钮调到高温挡，此时通过电暖器的电流为 7.27 A，则 15 min 内电流做了多少功？若将调温旋钮调到低温挡，此时通过电暖器的电流为 2.73 A，则 15 min 内电流做了多少功？该电暖器在这 30 min 内一共消耗了多少电能？

4. 闪电是常见的大气放电现象。某次闪电的电压约为 1×10^8 V，电流约为 2×10^5 A，持续时间约为 0.1 s，则此次闪电大约释放了多少电能？小明对闪电释放出如此巨大的能量感到震撼。他想，如果能将这些能量收集起来供人们使用该多好啊！请你思考并与同学讨论：要实现小明的愿望，需要解决哪些问题？



闪电危险！千万不要擅自进行实验！

二、电 功 率



电功率

电功率（electric power）**是描述电流做功快慢的物理量**。根据功率的公式 $P=\frac{W}{t}$ 和电功的公式 $W=UIt$，可得电功率

$$P=UI$$

在国际单位制中，电功率的单位是瓦特，简称瓦，符号为 W。当用电器两端的电压为 1 V，通过用电器的电流为 1 A 时，该用电器的电功率为 1 W，即

$$1\ \mathrm{W}=1\ \mathrm{V}\cdot\mathrm{A}$$

电功率的单位还有千瓦（kW）和毫瓦（mW），它们的换算关系为

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

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

用 $W=Pt$ 计算电功时，若功率的单位是千瓦（kW），时间的单位是小时（h），则电功的单位就是千瓦时（kW·h）。

例题　某同学做实验时，测得一个小灯泡两端的电压是 2.5 V，通过小灯泡的电流是 0.2 A。试求小灯泡的电阻和电功率。

分析　已知电压和电流，根据欧姆定律可以求出小灯泡的电阻，根据电功率公式可以求出小灯泡的电功率。

解答　（1）由 $I=\frac{U}{R}$ 可得，小灯泡的电阻

$$R=\frac{U}{I}$$
$$=\frac{2.5\ \text{V}}{0.2\ \text{A}}$$
$$=12.5\ \Omega$$

（2）由电功率公式可得，小灯泡的电功率

$$P=UI$$
$$=2.5\ \text{V}\times 0.2\ \text{A}$$
$$=0.5\ \text{W}$$

反思　如果增加一个条件，还可以求出小灯泡消耗的电能。这个条件是什么？

额定功率和实际功率

用电器一般都有规定的额定电压，**在额定电压下工作时的电功率叫作额定功率**（rated power）。如图 15–3 所示，储水式电热水器的铭牌上标有一些技术参数，其中包括额定电压和额定功率。



（a）

储水式电热水器

产品型号	××××××	额定电压	220 V
额定容量	80 L	额定频率	50 Hz
质量	28 kg	额定功率	3 000 W

（b）

图 15–3　储水式电热水器及其铭牌

不同种类用电器的额定功率一般不同，即使是同一类用电器，由于规格、型号不同，它们的额定功率也不相同。

因为电路的实际电压不一定恰好等于用电器的额定电压，所以用电器实际工作时的电功率也不一定等于额定功率。用电器实际工作时的电功率叫作实际功率。

图 15–4 所示是一些常见家用电器的额定功率值。



电扇约 50 W



电视机约 100 W



电饭锅约 1 300 W



微波炉约 1 000 W



电水壶约 1 500 W

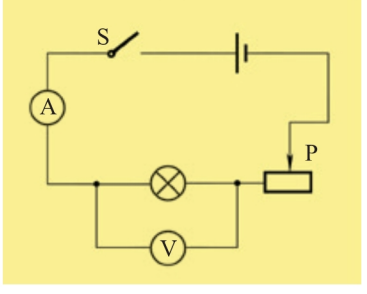


洗衣干衣机约 1 800 W

图 15–4　一些家用电器的额定功率值

活动 15.1 测量小灯泡的电功率

1. 根据图 15–5（a）所示的电路图，用笔画线表示导线，将图 15–5（b）中的实验器材连接起来。



（a）



（b）

图 15–5　测量小灯泡的电功率

2. 调节滑动变阻器，使其接入电路中的阻值最大。

3. 闭合开关，调节滑动变阻器，先后使电压表的示数小于、等于和略大于小灯泡的额定电压，观察小灯泡的亮度（以额定电压时小灯泡的亮度为参照），读出电压表、电流表的示数并填入下表。最后，分别计算出小灯泡的电功率。

小灯泡的规格	电压表的示数 U / V	电流表的示数 I / A	小灯泡的亮度	小灯泡的电功率 P / W
额定电压 $U_{额} = 2.5$ V				

实验表明，小灯泡的实际功率随电压而变化。当电压小于额定电压时，实际功率小于额定功率，小灯泡比正常发光时暗；当电压大于额定电压时，实际功率大于额定功率，小灯泡比正常发光时亮。

任何用电器都应在额定电压下工作。实际电压偏低或偏高，都会影响用电器的工作性能，甚至会损坏用电器。

例题 LED 灯具有节能、环保等特点。图 15–6 所示的是额定电压为 220 V、额定功率为 9 W 的 LED 灯。该 LED 灯的额定电流是多大？与普通白炽灯相比，在达到相同亮度的条件下，假设 LED 灯可以节约 85 % 的电能，这个 LED 灯与额定功率为多大的白炽灯亮度相当？



图 15–6

分析 根据额定功率和额定电压可求出额定电流；LED 灯节能 85 %，说明在达到相同亮度的条件下，它消耗的电能只相当于白炽灯的 15 %。

解答 由 $P_{额} = U_{额} I_{额}$ 可知，它的额定电流

$$I_{额} = \frac{P_{额}}{U_{额}} = \frac{9\ \text{W}}{220\ \text{V}} \approx 0.041\ \text{A}$$

与其亮度相当的白炽灯的额定功率

$$P'_{额} = \frac{P_{额}}{15\%} = \frac{9\ \text{W}}{0.15} = 60\ \text{W}$$

生活 物理 社会　电灯的发明与发展

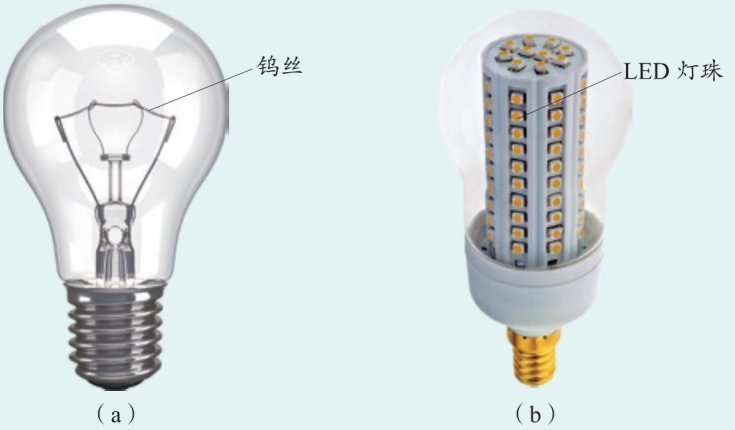
19 世纪后期，爱迪生（图 15–7）等发明了白炽灯，开创了电灯照亮世界的历史。这种电灯是由于灯丝发热到白炽状态而发光的，因此通常称为白炽灯。



图 15–7　爱迪生（Thomas Alva Edison，1847—1931），美国物理学家、发明家

白炽灯研制的关键是寻找耐热灯丝材料。为此，爱迪生先后试验了数千种材料，不断改进，终于制成了具有广泛实用价值的电灯。20 世纪初，灯丝普遍采用钨丝并沿用至 21 世纪早期，如图 15–8（a）所示。

白炽灯工作时，大部分电能转化为内能，发光效率较低。为此，人们在努力提高白炽灯发光效率的同时，也在不断探索新型电光源。21 世纪以来，LED 光源的理论研究与技术创新突飞猛进。短短十几年时间，LED 光源便从早期的单色、小功率光源，发展成包括白光在内的多色、大功率照明光源，如图 15–8（b）所示。LED 光源能将大部分电能转化为光能，发光效率高，具有节能、环保等显著优点，因而很快得到普及。



（a）　（b）

图 15–8　白炽灯和 LED 灯

实践与练习

1. 本章第一节中指出，1 kW · h = 3.6×10^6 J。请用本节所学的知识推算出这个结果。

2. 图 15–9 所示是某电扇的铭牌。该电扇正常工作时电流是多大？连续工作 4 h 消耗多少电能？



图 15–9

3. 某型号电水壶的规格是“220 V　1 800 W”。将它接在家庭电路中烧水，它的工作电流是多少安？它工作时的电阻是多少欧？ 5 min 内电流做功多少焦？合多少千瓦时？

4. 图 15–10 所示是测量小灯泡电功率的电路。请回答下列问题。

（1）闭合开关后，发现灯泡不亮，电压表指针偏转明显，电流表指针几乎不偏转。试分析可能出现的故障及原因。

（2）闭合开关后，发现灯泡不亮，电压表和电流表指针都不偏转，怎样用一根导线判断电路上可能发生的故障？



图 15–10

三、电流的热效应　焦耳定律

电流的热效应

导体中有电流通过时会发热，电能转化为内能，这种现象称为电流的热效应。生活中，有许多用电器就是利用电流的热效应工作的，如电饭锅、电烙铁、电熨斗和电热油汀等，如图 15–11 所示。利用电流热效应工作的用电器称为**电热器**。



电饭锅　　电烙铁　　电熨斗　　电热油汀

图 15–11　电热器

电流热效应也有不利甚至有害的一面。例如，手机、计算机、电视机等，它们工作时会发热，不但浪费电能，而且温度过高时还会影响用电器性能，甚至损坏用电器。

焦耳定律

猜一猜：通电导体产生热量的多少可能与哪些因素有关？



你赞成小明和小华的猜想吗？是否还有其他影响因素？怎样探究？

活动 15.2 探究影响电流热效应的因素

装置与原理

如图 15–12 所示，在保温性能较好的容器中安装一个电阻 R，注入适量液体（如煤油或食用油），插入温度计（或温度传感器）。通电时，液体温度的升高量，可以反映电阻产生的热量。

为便于比较，在三个相同的容器中分别注入 20 mL 同种液体，三个电阻阻值分别为 $R_1 = R_2 = 5\ \Omega$，$R_3 = 10\ \Omega$。

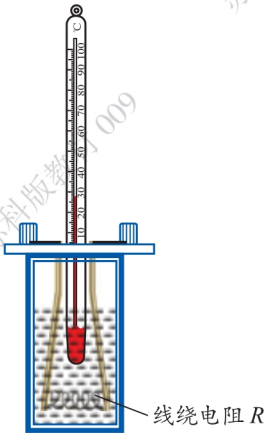


图 15–12 实验装置

做一做

1. 按图 15–13 所示的电路图连接电路，S 为单刀双掷开关。记录各容器中液体的初温。

2. 开关 S 接到 a 端，调节滑动变阻器 R_0，使电流表的示数为 1 A，分别在第 2 min 和第 4 min 时记录电阻 R_1 所在容器中液体的温度。断开开关，分别算出液体升高的温度。

3. 开关 S 接到 b 端，调节滑动变阻器 R_0，使电流表的示数为 0.5 A，在第 4 min 时分别记录电阻 R_2、R_3 所在容器中液体的温度。断开开关，分别算出液体升高的温度。

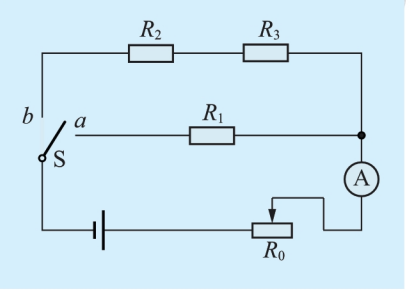


图 15–13 实验电路

议一议

1. 在步骤 2 中，通过电阻 R_1 的电流一定，两次通电时间不同，液体升高的温度不同。由此你能得出什么结论？

2. 在步骤 2 和步骤 3 中，阻值相同的电阻 R_1、R_2 通电时间（4 min）相同，通过的电流不同，液体升高的温度不同。由此你能得出什么结论？

3. 在步骤 3 中，阻值不同的电阻 R_2、R_3 通电时间相同，通过的电流相同，液体升高的温度不同。由此你能得出什么结论？

实验表明，电阻相等时，电流越大、通电时间越长，导体产生的热量越多；电流相等时，电阻越大，相同时间内导体产生的热量越多。

1840 年，焦耳通过大量实验研究发现：**电流通过导体产生的热量与电流的平方成正比，与导体的电阻成正比，与通电的时间成正比**。这个规律叫作**焦耳定律**（Joule's law），用公式表示为

$$Q = I^2Rt$$

在国际单位制中，电流的单位是安（A），电阻的单位是欧（Ω），时间的单位是秒（s），热量的单位是焦（J）。

电热器工作时，电能几乎全部转化为内能，可以认为电热器产生的热量等于电流做的功，因而也可以用 $Q = W = UIt$ 计算它产生的热量。而其他用电器工作时，只有一部分电能转化为内能，产生的热量小于电流做的功。例如，电动机工作时大部分电能转化为机械能，此时只能根据焦耳定律计算电动机中电阻产生的热量。

例题　某电热器接入 220 V 的电路中正常工作时，其发热体的电阻为 55 Ω。求该电热器在 20 min 内产生的热量。

分析　根据已知条件，可以先由欧姆定律计算出通过发热体的电流，再由焦耳定律计算出电热器在 20 min 内产生的热量。

解答　通过发热体的电流

$$\begin{aligned} I &= \frac{U}{R} \\ &= \frac{220\ \text{V}}{55\ \Omega} \\ &= 4\ \text{A} \end{aligned}$$

该电热器在 20 min 内产生的热量

$$\begin{aligned} Q &= I^2Rt \\ &= (4\ \text{A})^2 \times 55\ \Omega \times 20 \times 60\ \text{s} \\ &= 1.056 \times 10^6\ \text{J} \end{aligned}$$

反思　本题可以用公式 $Q = W = UIt$ 来求解吗？

生活 物理 社会　芯片的散热

芯片体积小、内部元件密集，电流产生的热量不易散发。如果不采取有效散热措施，芯片会因温度过高而影响工作性能甚至损坏。

计算机的中央处理器（CPU）芯片、显卡的图形处理器（GPU）芯片，通常都装有散热器。散热器一般由电扇和散热片组成，如图 15–14 所示。CPU 或 GPU 芯片通过导热性能良好的铜片与散热片接触，产生的热量能迅速传导到散热片上。散热片与空气的接触面积大，加之电扇对其吹风，促进空气流通，从而将芯片的工作温度控制在允许范围内。



（a）CPU 芯片及散热器　　（b）GPU 芯片的散热器

图 15–14　芯片的散热器

随着新材料和新技术的应用，超薄计算机、手机等小型电子设备芯片的散热措施有了更多的选择。例如，采用石墨散热片，不仅散热效果好而且能有效防止芯片局部过热；或者将导热凝胶覆盖在芯片表面，使芯片与散热部件充分接触，从而提高散热效率。还有一种真空腔均热板装置，它类似于一个微型“空调”，通过内部液体汽化、液化的不断循环进行散热。

实践与练习

1. 电热器工作时，其内部发热体的温度很高，而将它与电源相连的导线却不怎么热。这是为什么？

2. 某家用电暖器的规格为“220 V　1 100 W”。该电暖器正常工作时，其内部发热体的电阻是多大？在额定电压下工作 10 min，产生的热量是多少焦？

3. 某型号电饭锅有两挡，“1”挡是高温烧煮，“2”挡是焖饭、保温。图 15–15 所示是对该电饭锅进行测试的电路，其中 R_0 和 R 是电饭锅内部的发热体。当开关 S 先后置于“1”挡和“2”挡时，电流表的示数分别为 5 A 和 0.1 A。

（1）求 R_0 和 R 的阻值。

（2）当开关 S 置于“1”挡和“2”挡时，电饭锅的电功率分别是多大？

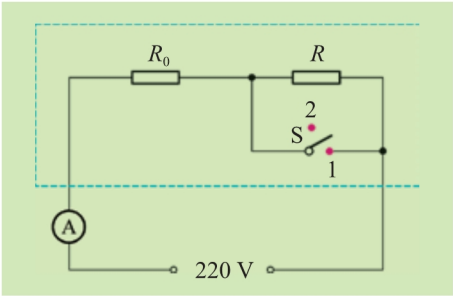


图 15–15

四、家庭电路与安全用电

家庭电路的组成

家庭电路主要包括进户线（来自电网的电源线）、电能表、配电箱（内有总开关和支路开关）、插座、用电器等，图 15–16 是其结构示意图。

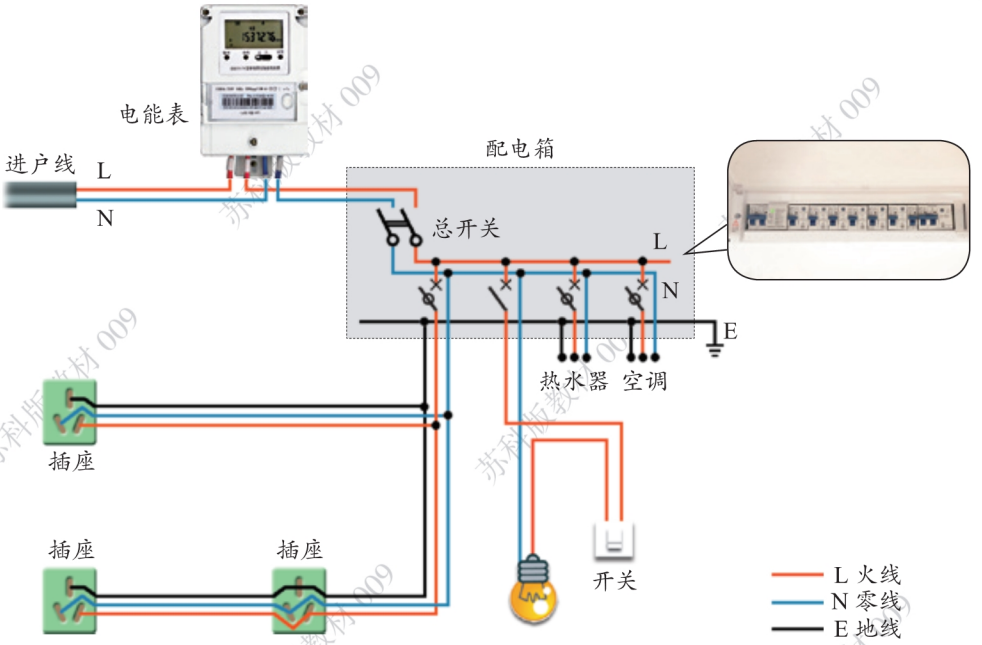


图 15–16 家庭电路结构示意

家庭电路使用交流电源，火线（L）和零线（N）之间的电压是 220 V。为保障用电安全，家庭电路还设有地线（E），它与大地相连。

家庭电路中各个用电器都是一端接在火线上，另一端接在零线上，即这些用电器是并联的，如图 15–17 所示。这样，当一个支路发生断路时，其他支路仍能工作。例如，台灯断开并不影响电视机等其他用电器正常工作。

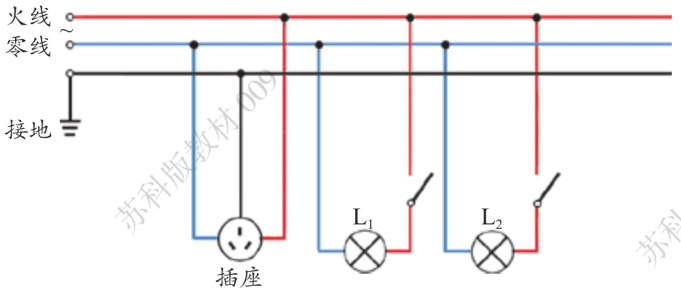


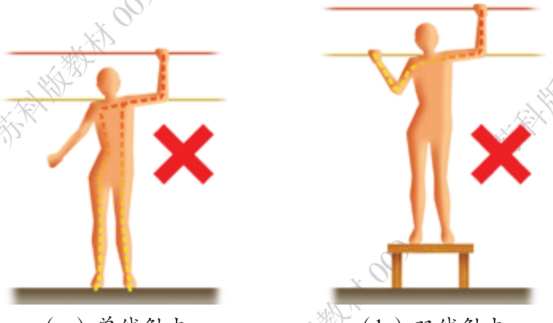
图 15–17 家庭电路中各用电器并联

在家庭电路中，除了用电器、电能表、电线和开关，还有与安全用电相关的装置和设施。

安全用电常识

安全用电包括人身安全和电路安全两个方面。

我们知道，人体是导体，只要有电压加在人体上，就会有电流通过。通常所说的“触电”是指一定强度的电流通过人体引起的伤害事故。人体触电可能是单线触电，也可能是双线触电，如图 15–18 所示。单线触电是人体接触火线或漏电的用电器，火线或漏电的用电器通过人体与大地构成通路。双线触电是人体的两个部位（如两只手）分别接触火线和零线，火线和零线通过人体构成通路。



（a）单线触电　　（b）双线触电

图 15–18　触电的两种形式

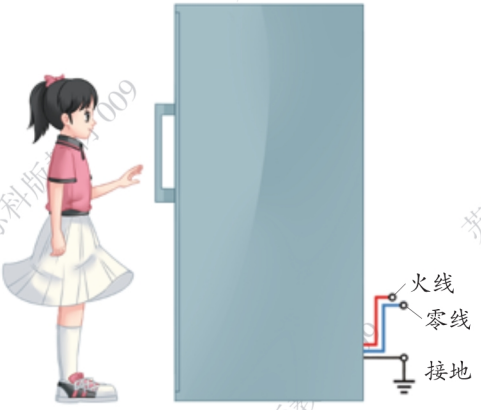
信息快递

漏电是指由绝缘部分损坏或其他原因引起的电流泄漏。

人体触电时，通过的电流与电压和人体的电阻有关。一般来说，人体的电阻较大，但在皮肤潮湿时人体电阻会大幅度减小。研究表明，对人体来说，安全电压一般不高于 36 V。

为了确保安全，用电器的开关必须安装在火线上。这样，开关断开后用电器与火线分离，人碰到用电器时就不会发生危险。

正常情况下，用电器的金属外壳与内部电路之间是绝缘的，人体接触外壳时没有危险。但是，如果用电器内部导线的绝缘皮破损或绝缘性能变差，导致火线与用电器金属外壳接通，人体接触外壳时就会发生触电事故。为此，家庭电路通常采取两种保护措施：一是使用三线插头和三孔插座，通过地线将用电器的金属外壳与大地连通，漏电时电流会随即流入大地，如图 15–19（a）所示；二是安装漏电保护断路器，如图 15–19（b）所示，当电路出现漏电时，它会自动切断电路。



（a）用电器的金属外壳接地



（b）漏电保护断路器

图 15–19 保护措施

活动 15.3 用测电笔检测火线和零线

读一读

传统的检测火线、零线的工具是氖管测电笔。氖管测电笔的结构如图 15–20 所示，它由两个金属电极、氖管、弹簧和一个阻值很大的电阻（高电阻）等组成。用氖管测电笔检测时，笔尖需要与被测导线接触。现在普遍使用电子测电笔，图 15–21 所示是其中一种。它具有接触检测和非接触（感应）检测两种方式，不但能检测火线、零线，还具有显示电压、检测电路断点等多种功能。

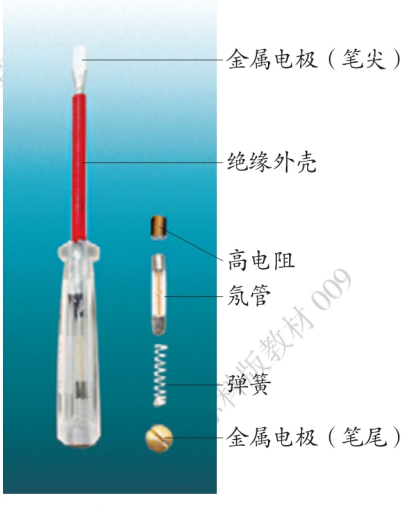


图 15–20 氖管测电笔的结构



图 15–21 电子测电笔

氖管测电笔的正确使用方法如图 15–22 所示。手持绝缘柄，一根手指接触笔尾的电极。当笔尖接触火线时，火线与测电笔、人体、大地构成通路，氖管因有微弱电流通过而发光；当笔尖电极接触零线或地线时，氖管不发光。



图 15–22　氖管测电笔的使用方法

试一试

图 15–23 所示的五孔插座由一个两孔插座和一个三孔插座组合而成，它们分别按“左零右火”和“左零右火中接地”的规则接入电路。三孔插座用于接入图 15–24 所示的三线插头。

用测电笔检测插座，可以判断插座中是否有电，是否按“左零右火”的方式连接在电路中。



图 15–23　五孔插座



图 15–24　三线插头

当测电笔的笔尖接触待测导线时，绝不允许用手或身体的其他部位接触笔尖。

电路及设备的安全也很重要。影响电路安全的原因一般有两个：一是电路发生短路，如连接电路时误将火线和零线直接连通，或电线和用电器的绝缘皮破损，导致火线和零线直接连通等；二是电路中使用的用电器功率过大，这种情况称为“过载”。短路和过载都会使电路中的电流过大。由电流的热效应可知，电流过大时，导线的温度急剧升高，会导致线路损坏甚至酿成火灾。除上述情况之外，若线路连接处接触不良，则该处电阻会变大，从而造成局部过热，也可能引起火灾。

活动 15.4　演示电路过载的现象

实验器材

电路过载演示装置（在绝缘支架上水平固定一根长约 25 cm、直径约

0.2 mm 的细铜丝，将易燃的纸条对折挂在细铜丝上），教学电源（12 V），电流表（量程为 0～10 A），白炽灯（直流 6 V，10 W）三只，开关，带鳄鱼夹的导线若干。

实验演示

1. 按图 15–25 所示的电路图连接电路。

2. 闭合开关 S，灯 L_1 发光；再闭合开关 S_1，灯 L_2 发光；最后闭合开关 S_2，你看到什么现象？

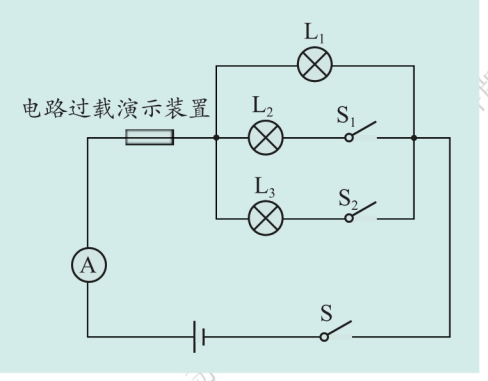


图 15–25 电路过载演示实验电路图

由实验可知，电路中所接的用电器越多，功率越大，干路电流就越大，当电流增大到一定程度时，细铜丝上的易燃纸条被点燃，如图 15–26 所示。可以想象，如果家庭电路发生过载，其后果会十分严重。为防止电路过载引发火灾，不可在多插位接线板上接太多用电器。

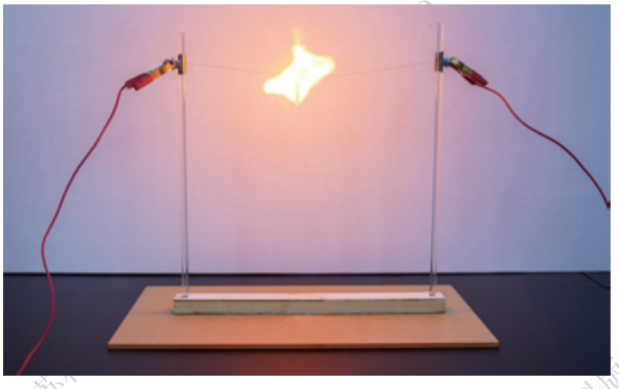


图 15–26 演示电路过载现象

实验时注意安全！

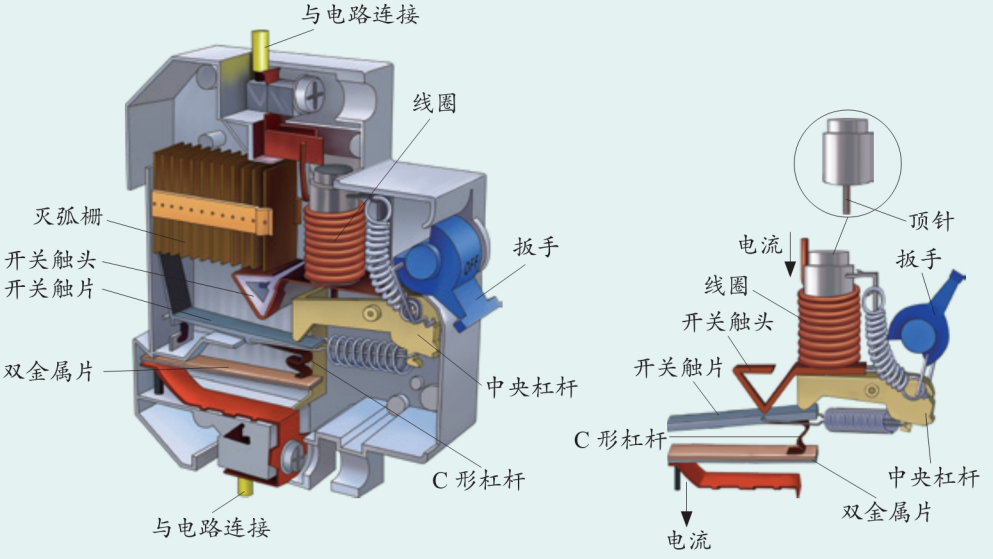
实验还启示我们，在电路中安装一个熔点较低的熔丝熔断器，当电路过载或短路时，熔断器中的熔丝会熔断，从而切断电路，可以保护电路安全。家庭电路早期曾经使用过这种熔断器，现在普遍使用的是空气断路器，如图 15–27 所示。



图 15–27 空气断路器

生活 物理 社会　空气断路器

图 15–28（a）所示是空气断路器的结构。从结构示意图看，当前扳手位于下方，开关触头和触片分离，处于断路状态。



（a）结构示意图　　（b）局部放大图

图 15–28　空气断路器的结构

正常情况下，扳手处于上方，开关触头和开关触片接触良好，处于通路状态，如图 15–28（b）所示。当电路发生短路时，通过线圈的电流极大，线圈产生的磁力会使顶针向下推动杠杆，在弹簧的配合下，可在 3 ms 内将开关触头和开关触片迅速分离，从而使电路得到保护。

不过，线圈只有在电流极大（短路）时，才会产生较大的力向下推动中央杠杆。而电路过载时，虽然电流也很大，但线圈产生的磁力却不足以推动中央杠杆。这时，开关下方的双金属片将发挥作用。

双金属片是由两种不同的金属片（如铜片和铁片）叠合制成的，电流通过时发热，由于不同金属片受热膨胀的程度不同，因而双金属片会发生弯曲（如铜、铁双金属片会向铁片方向弯曲），带动 C 形杠杆向下，同时拉动中央杠杆，开关触头和开关触片断开连接，扳手落到下方，电路断开。

发生跳闸时，开关的接触点会产生强大电弧。如不快速熄灭，将会烧坏整个装置。这时，开关上方的灭弧栅发挥作用，它将电弧切割成若干小电弧，而这些小电弧能在空气中快速熄灭。正是由于断路器采用了空气灭弧的方法，所以称为空气断路器。

空气断路器的突出优点是，在排除短路或过载后，只要将扳手推到上方就能恢复正常，操作十分简单。

我们要了解安全用电常识，养成安全用电习惯，防患于未然。例如，发现用电器电源线的绝缘皮老化、破损，应立即停用并请专业人员更换；清洁用电器时必须严格按说明书要求，不得用湿布擦拭开关、插座等，不得在电线上晾晒衣物；用电器或电线着火时，应先切断电源再灭火；发现有人触电，应立即切断电源，无法切断电源时可用干燥木棍等绝缘体挑开触电者身上的电线。

实践与练习

1. 如图 15–29 所示，三线插头的接地插片比较长，这是为什么？试一试，怎样才能将插头顺利插入插座。



图 15–29



图 15–30

2. 图 15–30 所示是多插位接线板，其背面标注的“220 V　10 A”表示什么？如果该接线板上已插接了“220 V　1 800 W”的电水壶烧水，能否再插接“220 V　1 200 W”的高压锅煮饭？为什么？

3. 查阅资料，了解漏电保护断路器上测试按钮的用途。与家长一起观察家庭配电箱，指出漏电保护断路器上的测试按钮。如果家长不了解测试按钮的功能和操作要求，请你给他们讲解。

跨学科实践

家庭节约用电的调查研究

现代社会，从生活到各行各业都离不开电。我国的电力发展水平已居世界前列，用电需求也在不断增长。因此，在开发电能的同时，必须倡导节约用电。我们应该意识到，浪费电能就是浪费宝贵的自然资源。大家应该从我做起，从每个家庭做起，自觉履行节约用电的社会责任。

任务与要求

1. 调查家庭的用电情况。

通过查阅资料或咨询当地供电部门，了解当地电费的计费标准，明确国家实行“峰谷电价”和“阶梯电价”的目的和意义。你可以查阅自家的用电信息单（图 15–31），了解家庭一段时间内的用电情况。

2. 调查和分析家中各种用电器的使用情况。

列出家庭使用的主要用电器的名称、额定功率、每天使用的时间，计算出各月份各种用电器的耗电量。然后与上述用电信息单比较，分析家庭用电的主要特点和原因。

3. 尝试做几个对比实验。

（1）比较额定功率相同的 LED 灯、白炽灯的亮度及耗电情况。可以借助照度计或照度传感器，并借助电能表或图 15–32 所示的功率计量插座进行测量和比较。



图 15–31 家庭用电信息单



图 15–32 功率计量插座

（2）将空调温度分别设置为 26 ℃和 24 ℃，比较两种温度设置下空调的耗电情况。

（3）测量电视机机顶盒、计算机的待机功率。

4. 写出家庭节约用电研究报告。

根据家庭用电情况，从家用电器选择、日常用电行为等方面提出切实可行的家庭节约用电措施和建议。

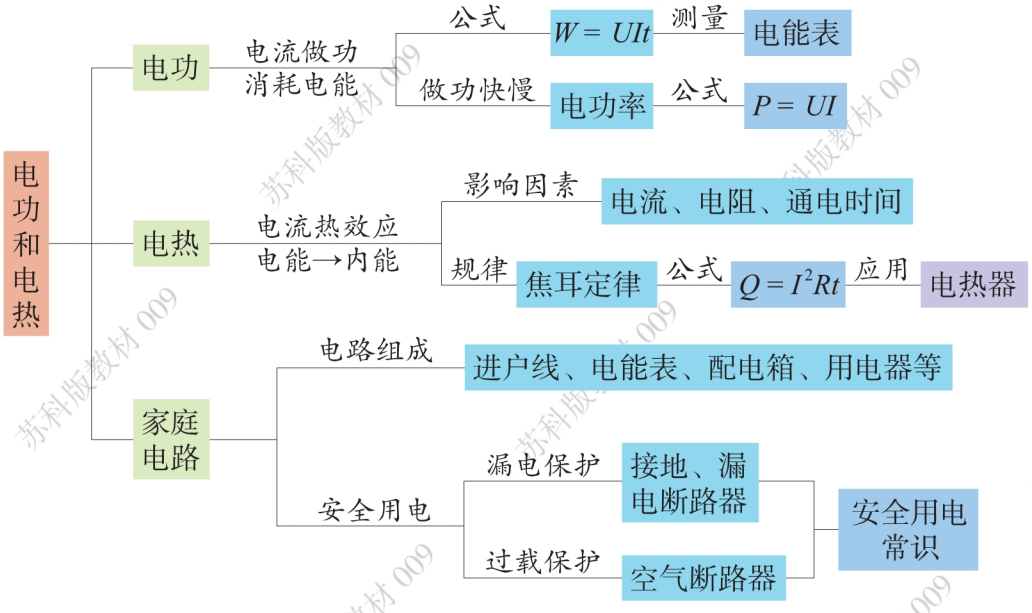
交流与评价

1. 通过小型报告会等多种形式，与同学交流家庭节约用电研究成果。

2. 从调查过程与结果、实验过程与结果、节电措施与建议的可行性、社会宣传等方面进行综合评价。

素养进阶

内容梳理



反思提升

1. 阅读图 15–33，体会电功、电能以及它们之间的联系。

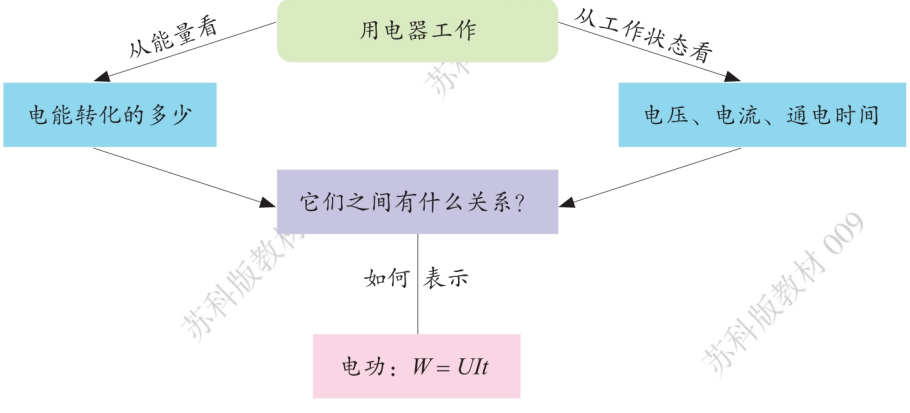


图 15–33

2. 电灯工作时将电能转化为光能和内能，消耗的电能即为电流做的功。为什么电灯的亮暗取决于它的电功率，而不是电功？

3. 电流具有热效应，请举例说明电流热效应的利弊。高温超导材料是当前科学研究的热点之一，试说明它的应用价值。

4. 在电力供应日益充足的情况下，为什么还要提倡节约用电？请发表你的观点。

问题解决

1. 某款手机锂电池的部分参数如图 15–34 所示，求该电池充满电时储存的电能。（提示：额定容量在数值上等于电池在额定电压下的工作电流和工作时间的乘积）

额定容量：3 320 mA · h
额定电压：3.82 V

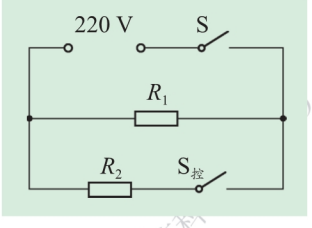
图 15–34



图 15–35

2. 图 15–35 所示是某一电源插座，其插孔周围出现焦黄色。这是什么原因造成的？可能会引发什么事故？

3. 如图 15–36（a）所示是某电水壶的内部电路图。其中，R_1、R_2 均为电热丝，S 是电源开关，$S_{控}$是温控开关（水温达到 100 ℃时，自动由加热状态切换到保温状态）。它的相关参数如图 15–36（b）所示，其中“加热功率”是指加热状态时的功率。



（a）

限定水量 / L	1.5
额定电压 / V	220
加热功率 / W	1 540
保温功率 / W	27.5

（b）

图 15–36

（1）加热状态时，温控开关是断开的还是闭合的？请说明理由。

（2）电水壶在 6 min 内可将壶内水从 20 ℃加热到 100 ℃。求此过程中水吸收的热量和电水壶对水加热的效率。（水的比热容 $C_{水} = 4.2 \times 10^3\ \mathrm{J/kg \cdot ℃}$）

（3）求电水壶工作时电热丝 R_2 的阻值。

4. 图 15–37 所示的电吹风机，由电动机（符号为Ⓜ）和电热丝（符号 ⊣▭⊢）两个主要部件组成，它们的额定电压都是 220 V。工作时，电吹风机既能吹凉风，也能吹热风。请画出该电吹风机的内部电路简图，并说明如何在吹凉风和吹热风这两种功能间切换。



图 15–37

探索电与磁的联系

第十六章 电和磁

- 磁体与磁场
- 电流的磁场
- 磁场对电流的作用　电动机
- 电磁感应　发电机
- 跨学科实践

科学家对电与磁的研究，
叩开了电气时代的大门。
如今，崇山峻岭水电生，草滩大漠风机旋；
电力塔架巍峨立，输电网络纵横连；
列车飞驰电掣，万家灯火辉煌。
人们正享受着电力发展的丰硕成果。
我们所用的电是怎么产生的呢？



苏科版教材 009

一、磁体与磁场

当我还是一个四五岁的小孩时，父亲给我一个指南针。我觉得十分好奇，这个指南针不和任何物体接触，竟能始终地指向南北。我现在还记得：当时我萌发了一个深刻而持久的印象——这事情的背后一定隐藏着某种原理。

——源自《爱因斯坦自述》

磁体周围的磁场

活动 16.1 认识磁体

做一做

1. 如图 16–1（a）所示，用条形磁体的一端靠近铁屑，描述你看到的现象。

2. 如图 16–1（b）所示，桌面上放着许多大头针，将放于其上的条形磁体缓慢提起，描述你看到的现象。



（a）磁体吸引铁屑



（b）磁体吸引大头针

图 16–1 认识磁体

信息快递

物理学中，将能够吸引铁、钴、镍等物质的性质称为磁性，具有磁性的物体叫作磁体（magnet）。磁体上磁性最强的部位称为磁极。磁体有两个磁极，即 N（北）极与 S（南）极。

3. 如图 16–2 所示，将磁体的一极靠近但不接触回形针，能否使回形针悬在空中？

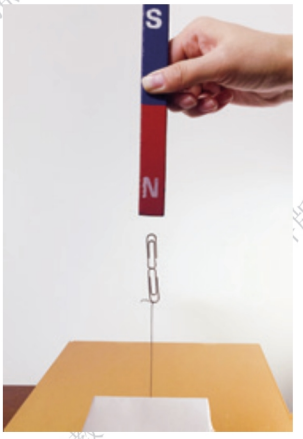


图 16–2 磁体吸引回形针

议一议

通过上述现象分析，磁体有什么性质和特点？磁体对铁质的大头针和回形针有力的作用吗？不接触时是否也存在这种力？如果有，它是怎样产生的？

研究表明，磁体的周围存在着磁场（magnetic field），使原来不显磁性的物体在磁场中获得磁性的过程叫作磁化。磁体之间通过磁场相互作用，同名磁极相互排斥，异名磁极相互吸引。

活动 16.2 用小磁针探究磁体周围的磁场

1. 如图 16–3 所示，使小磁针靠近条形磁体，你会看到什么现象？改变小磁针的位置，小磁针的指向会发生变化，你能说出小磁针的受力方向吗？

2. 如图 16–4 所示，将小磁针先后放在条形磁体周围的不同位置，标出小磁针在各点静止时 N 极的指向，你有什么发现？

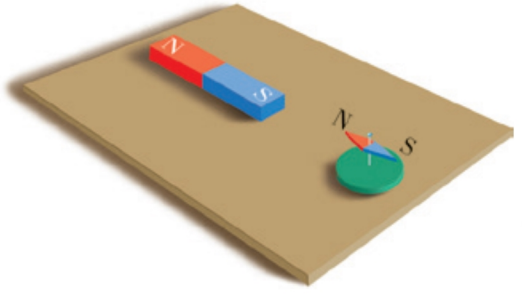


图 16–3 将小磁针靠近条形磁体

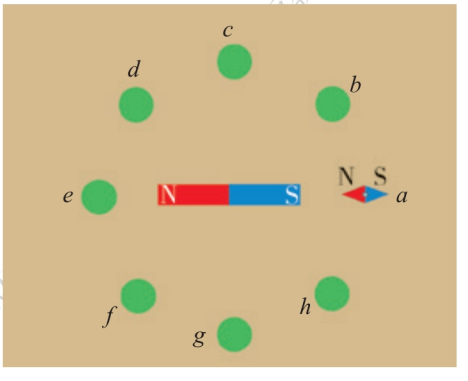


图 16–4 标出小磁针在各点静止时 N 极的指向

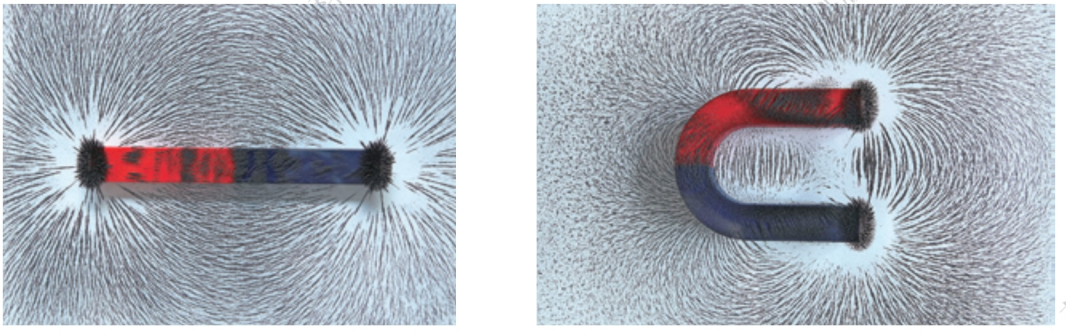
方法技巧

虽然磁场看不见、摸不着，但我们可以根据它对放入其中的小磁针产生力的作用来认识它。

通过实验可知，小磁针放入磁场后一般会发生转动，最终静止在某处并保持一定的指向，且不同位置小磁针 N 极的指向不同。这说明磁场有方向，磁场中各点的磁场方向一般不同。在物理学中，把小磁针在某处静止时 N 极所指的方向规定为该点磁场的方向。

活动 16.3 用铁屑探究磁体周围的磁场

如图 16–5 所示，将玻璃板分别平放在条形磁体和蹄形磁体上，并在玻璃板上均匀地撒上一层铁屑，轻轻敲击玻璃板，铁屑将怎样分布？



（a）　　（b）

图 16–5　磁体周围铁屑的分布

如图 16–6 所示，在条形磁体的玻璃板上放一些小磁针，这一组小磁针 N 极的指向有什么特点？

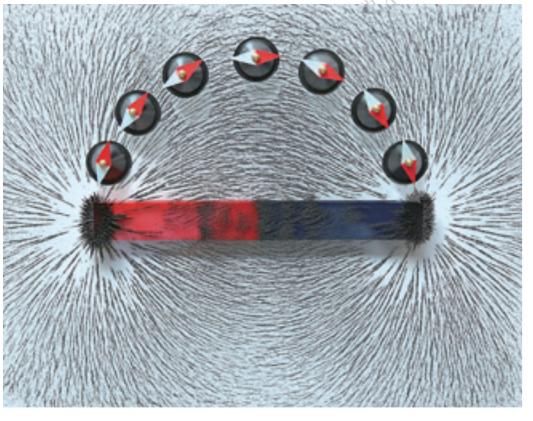


图 16–6　条形磁体周围小磁针的指向

铁屑在磁场中被磁化成一个个小磁针，从而在磁场中有序地排列起来。从铁屑在磁场中分布的情况可以看出，铁屑好像排列成许多条曲线。如果按照铁屑在磁场中排列的情况和小磁针 N 极的指向画出一些带箭头的曲线，就可以形象地描述磁场。

物理学中把这样的曲线叫作磁感线（magnetic induction line）。

如图 16–7 所示，磁体外部的磁感线都是从磁体的 N 极出发，回到 S 极。磁场越强的地方，磁感线分布越密；磁场越弱的地方，磁感线分布越疏。磁感线上任意一点的切线方向为该点的磁场方向。

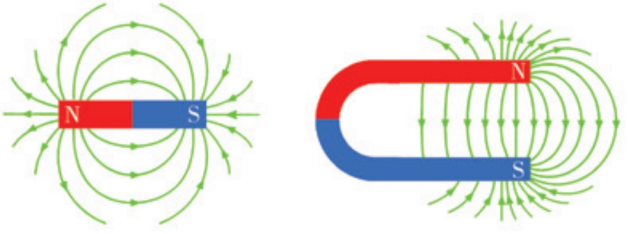


图 16–7 条形磁体和蹄形磁体的磁感线

信息快递

磁感线是用来描述磁场的一些假想曲线，实际上并不存在。

地球的磁场

地球本身就是一个巨大的磁体，其周围空间存在的磁场称为地磁场（geomagnetic field）。地磁 N 极在地理南极附近，地磁 S 极在地理北极附近，地磁场在地球外部的磁感线也是从 N 极出发，回到 S 极（图 16–8）。

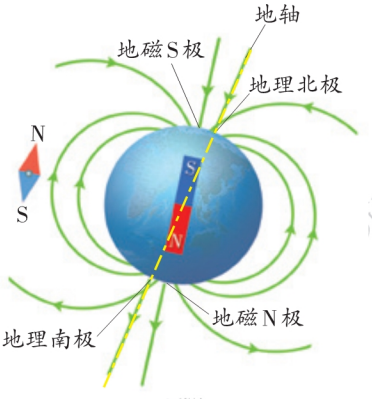


图 16–8 地磁场

地磁场的存在对地球生态环境有着至关重要的影响。在地磁场作用下，从太阳射向地球的高速带电粒子流会发生偏转，从而减少了它们对地球生物的侵袭。海龟、鲸、候鸟等迁徙动物对不同地理位置间地磁场强度、方向的差别十分“敏感”，能通过地磁场和太阳的位置辨别方向。局部地磁场的强烈扰动能够为人们预告地震提供信息。记录地球磁极位置和各地磁场强弱、方向以及变化规律的地磁图，是人们在航海、航空、军事以及地质工作中重要的参考资料。

生活 物理 社会 指南针

指南针（图 16–9）是一种指示方向的简单仪器。它是我国古代四大发明之一。在战国时期已有用天然磁铁矿磨制成的指南针，称为“司南”。最早记载见于《韩非子·有度》，其著作年代约在公元前 3 世纪。

北宋科学家沈括（图 16–10）在其《梦溪笔谈》一书中有“方家以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也。水浮多荡摇，指爪及碗唇上皆可为之，运转尤速，但坚滑易坠，不若缕悬为最善”的记载。据考证：我国最早利用人工磁化的方法（以天然磁石摩擦钢针）制作指南针；最早发现地磁场的两极与地理两极并不重合而有微小偏移，即存在磁偏角。



图 16–9　指南针



图 16–10　沈括（1031—1095），我国北宋时期的科学家

指南针的发明极大地促进了我国古代航海事业的发展。曾七次远航西太平洋和印度洋的郑和船队，把天文定位与指南针的应用结合起来，提高了测定船位和航向的精确度。指南针经阿拉伯传入欧洲，被广泛应用于航海中，从而开辟了世界性的贸易市场，对人类文明的发展进程产生了深远的影响。

实践与练习

1. 磁体旁的小磁针静止时所指的方向如图 16–11 所示。试画出通过小磁针中心的一条磁感线，并标出磁体的 N 极和 S 极。



（a）　（b）　（c）

图 16–11

2. 用磁体将一根钢针磁化。你能用哪些实验方法辨别出这根钢针的N极？

3. 如图16–12所示，三个磁环套在同一根圆木杆上，由于磁极间的相互作用，上面两个磁环都悬浮着。若最下面磁环的下底面是N极，试在图中标出各个磁环的S极。将最上面的磁环下压后松手，你将看到什么现象？想一想：这个现象可能有哪些应用？请查阅相关资料，并与同学分享。

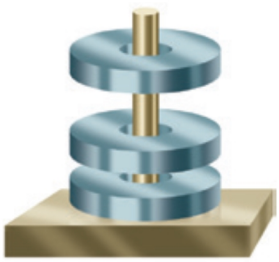


图16–12

4. 查阅资料，了解我国古代指南针的发明对人类社会发展的贡献。

5. 有些硬币可以被磁体吸引。查一查，这些可以被磁体吸引的硬币是由哪些材料铸成的。利用磁体和这些硬币可以搭建各种不同的几何图形（图16–13）。请你试一试，并思考为什么能实现这种搭建。



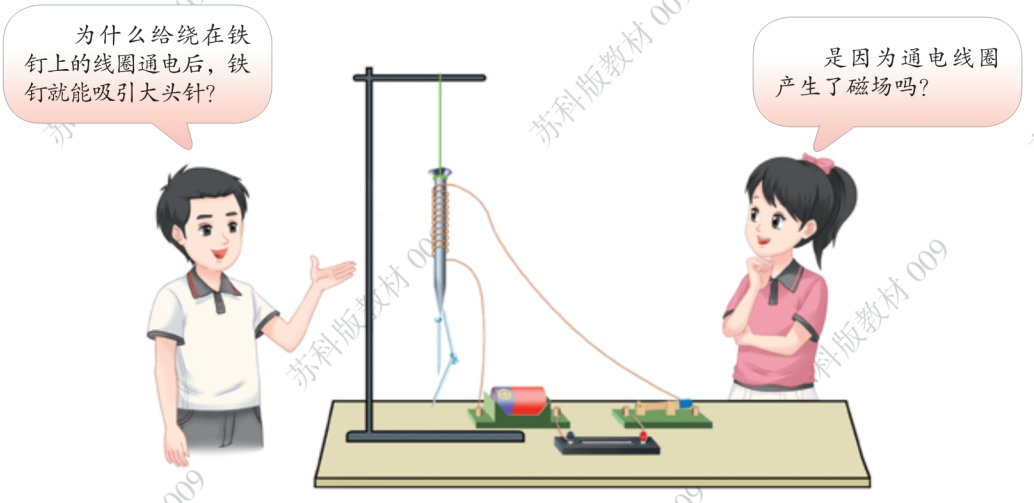
（a）



（b）

图16–13

二、电流的磁场



通电直导线周围的磁场

活动 16.4 探究通电直导线周围的磁场

做一做

1. 如图 16–14 所示，先将一根直导线架在静止小磁针的上方，使直导线与小磁针平行。接通电路，观察小磁针的指向。

2. 将小磁针移到直导线的上方，使直导线与静止的小磁针平行。接通电路，观察小磁针的指向。

3. 改变直导线中的电流方向，观察小磁针指向的变化。

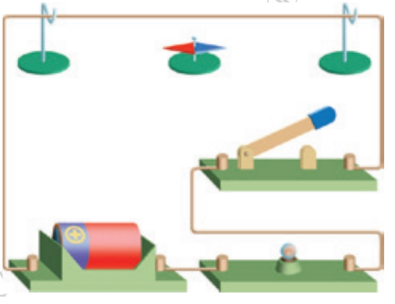


图 16–14 实验装置

说一说

通电后，小磁针偏转说明了什么？改变电流方向，小磁针指向改变说明了什么？

上述实验表明：通电导线周围存在磁场，其方向与电流方向有关。

电流周围存在磁场的现象称为电流的磁效应。丹麦物理学家奥斯特（Hans Christian Oersted, 1777—1851）在 1820 年通过类似的实验，首先发现了电流周围存在磁场，从而将原来认为毫无关联的电与磁联系起来，这是科学史上具有重大意义的事件。后来，人们把这个实验称为奥斯特实验。

研究表明，通电直导线周围的磁场分布如图 16–15 所示，在垂直于通电直导线的平面内，它的磁感线是以电流为中心的一系列同心圆。

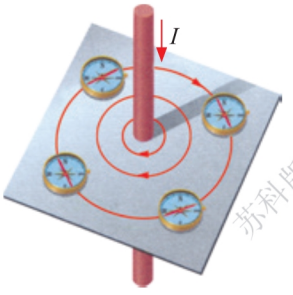


图 16–15 通电直导线周围的磁场分布

通电螺线管周围的磁场

把导线绕在圆筒上就做成了螺线管（solenoid）。

通电螺线管周围磁场的分布有什么特点呢？

学生实验 探究通电螺线管外部磁场的方向

观察与设计

1. 观察图 16–16 所示的螺线管，看看它是怎样绕制的。

2. 想一想，如果给螺线管通电，其中的电流方向应怎样标示？

3. 为了探究通电螺线管外部的磁场方向，你打算怎样做实验？需要哪些器材？

实验与记录

1. 如图 16–17 所示，连接电路。



图 16–16 螺线管

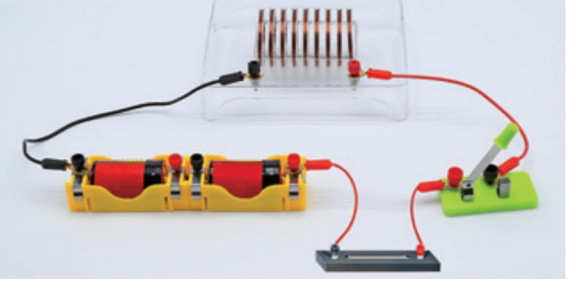


图 16–17 探究通电螺线管外部的磁场方向

2. 接通电路，将小磁针放在通电螺线管周围的不同位置。根据你观察到的现象，在图 16–18（a）中标出通电螺线管周围各点的磁场方向。

3. 如图 16–18（b）所示，把电池的正负极对调，再重复上述步骤。

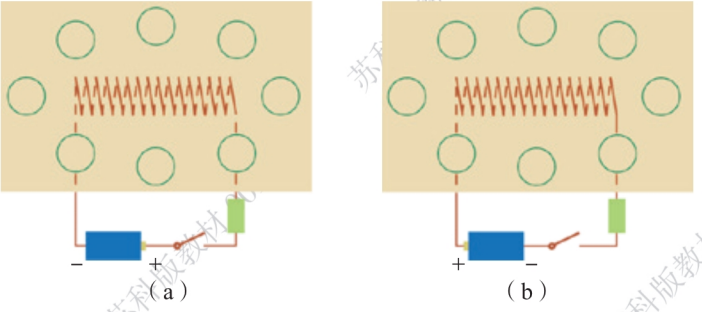


图 16–18 标出小磁针在各点静止时的指向

4. 如图 16–19 所示，在固定通电螺线管的玻璃板上均匀地撒上铁屑，通电后轻轻敲击玻璃板，观察铁屑的分布情况。

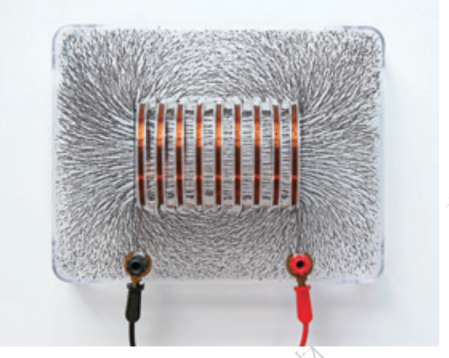


图 16–19 通电螺线管周围的铁屑分布

思考与讨论

1. 通电螺线管外部的磁场方向与电流方向有关吗？依据是什么？

2. 通电螺线管的磁场与条形磁体的磁场有相似之处吗？你的依据是什么？

通电螺线管的磁感线如图 16–20 所示。可以看出，通电螺线管外部的磁场与条形磁体周围的磁场相似。

通电螺线管磁极的极性可以这样来判断：用右手握住螺线管，让弯曲的四指所指的方向与螺线管中的电流方向一致，则拇指所指的那端就是通电螺线管的 N 极，如图 16–21 所示。这种判断方法称为安培定则，也叫右手螺旋定则。

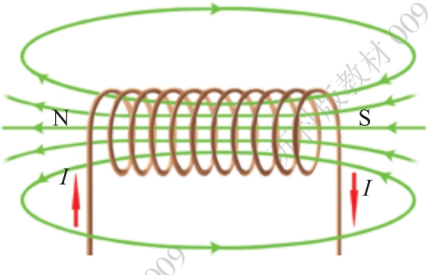


图 16–20 通电螺线管的磁感线

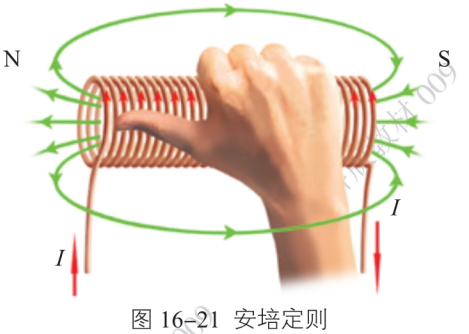


图 16–21 安培定则

电磁铁及其应用

电磁铁由线圈和铁芯组成，铁芯一般由铁或铁的合金制成。在铁芯上用漆包线密绕成线圈，就做成了一个简单的电磁铁，通电后能产生磁性。实验表明，电磁铁的磁性强弱与线圈的匝数和线圈中的电流大小有关。线圈的匝数越多，电流越大，电磁铁的磁性就越强。

与永磁体相比，电磁铁具有以下几个优点：

电磁铁磁性的有无可以由通电、断电来控制。电磁起重机（图 16–22）、电铃以及电磁继电器都是根据这一特点工作的。



图 16–22 电磁起重机

电磁铁磁性的强弱可以通过调节电流的大小来控制。有些设备如电磁起重机、发电机和加速器等，需要非常强的磁场才能工作。但是由于材料的限制，人们很难制造出磁性非常强的永磁体，而通有强电流的电磁铁则能产生很强的磁性。

电磁铁的 N、S 极是由线圈中的电流方向决定的，便于人工控制。

生活 物理 社会　电磁继电器

电磁继电器是用电磁铁控制电路的一种开关。它的构造及工作电路如图 16–23 所示。

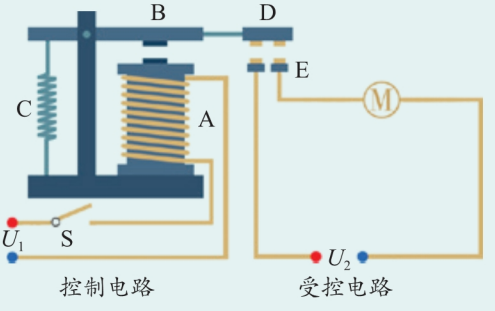


图 16–23 电磁继电器的工作电路

电磁继电器的工作电路可分为控制电路和受控电路两部分。控制电路包括电磁铁 A、衔铁 B、低压电源 U_1、开关 S。受控电路包括高压电源 U_2，电动机Ⓜ，电磁继电器的动触点 D、静触点 E。

电磁继电器的工作原理：闭合控制电路中的开关 S，电流通过电磁铁 A 的线圈产生磁性，把衔铁 B 吸下来，使动触点 D 与静触点 E 接触，受控电路闭合，电动机工作。断开开关 S，线圈中的电流消失，电磁铁的磁性消失，衔铁 B 在复位弹簧 C 的作用下与电磁铁 A 分离，使触点 D、E 脱开，受控电路断开，电动机停止工作。

利用电磁继电器不仅可以用低电压、弱电流的控制电路来控制高电压、强电流的受控电路，而且能通过各种传感器代替开关控制电路通断，因此被广泛应用于自动控制（如电冰箱、汽车、电梯、机床里的控制电路）和通信领域，以实现远程控制和生产自动化。

实践与练习

1. 根据图 16–24 中小磁针的指向，标出通电螺线管中的电流方向。

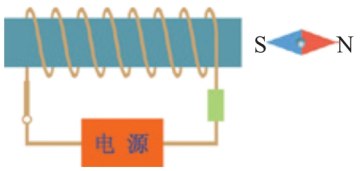
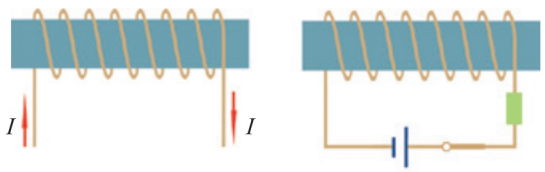


图 16–24

2. 在图 16–25 中标出通电螺线管的 N 极和 S 极。



（a）　　（b）

图 16–25

3. 有一个蓄电池，它的正负极标识已经模糊不清，怎样辨别其正负极？写出你需要的器材并说出判断的方法。

4. 图 16–26 是汽车启动原理图。汽车启动时，需将钥匙插入仪表板上的钥匙孔并旋转（相当于闭合开关）。根据电路图，你能说出人们是怎样通过汽车钥匙控制电动机Ⓜ的吗？

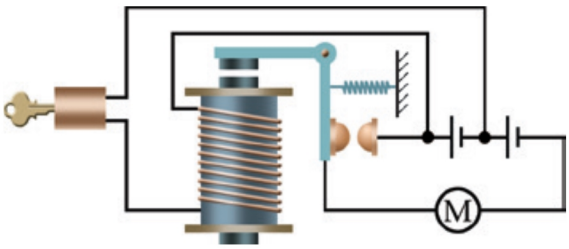


图 16–26

5. 医生给心脏疾病的患者做手术时，往往要用一种称为“人工心脏泵”（血泵）的体外装置来代替心脏，以推动血液循环。图 16–27 是该装置的示意图，线圈 *AB* 固定在用软铁制成的活塞柄上（相当于一个电磁铁），通电时线圈与活塞柄组成的系统与固定在左侧的磁体相互作用，从而带动活塞运动。活塞筒通过阀门与血管相通，阀门 S_1 只能向外开启，S_2 只能向内开启。

线圈中的电流从 *A* 流向 *B* 和从 *B* 流向 *A* 时，线圈左端分别是电磁铁的哪一极？活塞会向哪个方向运动？血液又将如何流动？

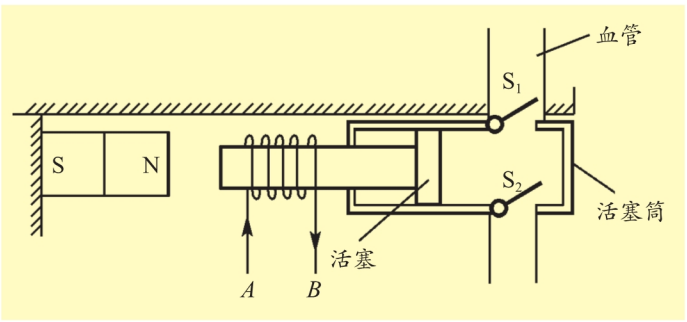
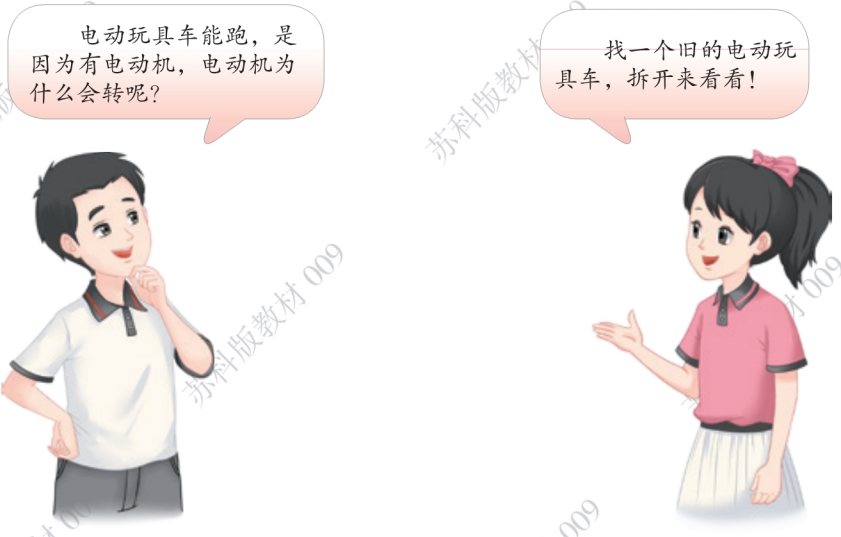


图 16–27

三、磁场对电流的作用　电动机



活动 16.5 观察电动玩具中的小电动机

电动玩具通常是由小电动机（motor）驱动的，如图 16–28 所示。

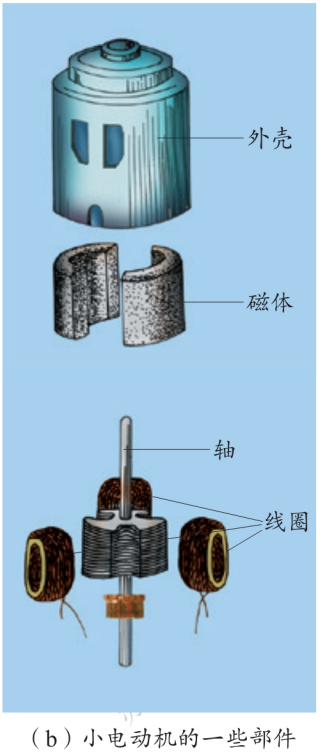
试一试，怎样使小电动机转动起来？

看一看，小电动机是由哪些部件组成的？

想一想，小电动机为什么会转动？



（a）电动玩具



（b）小电动机的一些部件

图 16–28　电动玩具和小电动机的一些部件

小电动机中有磁体和线圈，只在通电时才会转动，说明通电线圈受到了磁场对它力的作用。

磁场对电流的作用

活动 16.6 观察磁场对通电直导线的作用

做一做

1. 按照图 16–29 组装实验器材。

2. 给直导线（铝棒）通电，观察它的运动情况。

3. 改变直导线中的电流方向，观察直导线的运动情况。

4. 将磁极对调，改变磁场的方向，观察直导线的运动情况。

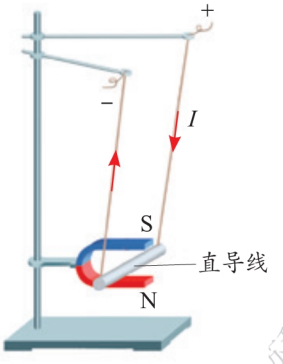


图 16–29 磁场对通电直导线的作用

说一说

通过实验，你看到了什么现象？说明了什么问题？你的依据是什么？

早在 19 世纪初，法国物理学家安培就已经观察到上述现象，并在大量实验的基础上发现：**磁场对通电导体有力的作用，力的方向与电流方向和磁场方向有关。**

直流电动机的原理

活动 16.7 观察磁场对通电线圈的作用

看一看

用漆包线绕成线圈，将线圈两端的漆全部刮去后放入磁场，如图 16–30 所示。闭合开关，线圈将会怎样运动？

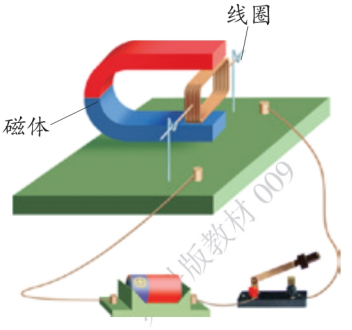


图 16–30 通电线圈在磁场中的运动

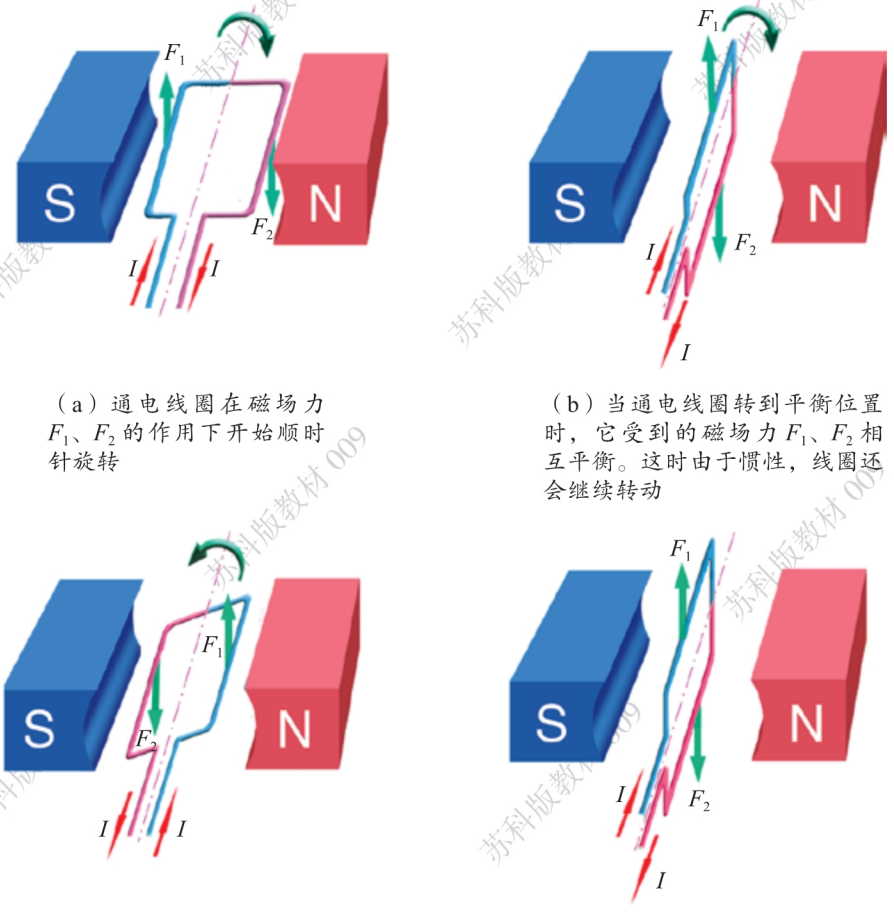
想一想

磁场中的通电线圈为什么会这样运动？最终为什么会静止下来？

信息快递

通电线圈的平面与磁感线垂直时，线圈受到的磁场的作用力相互平衡，我们把这个位置称为平衡位置。

观察图 16–31 所示的过程，说明线圈为什么不能持续转动。



（a）通电线圈在磁场力 F_1、F_2 的作用下开始顺时针旋转

（b）当通电线圈转到平衡位置时，它受到的磁场力 F_1、F_2 相互平衡。这时由于惯性，线圈还会继续转动

（c）通电线圈越过平衡位置后，磁场力会使它逆时针旋转

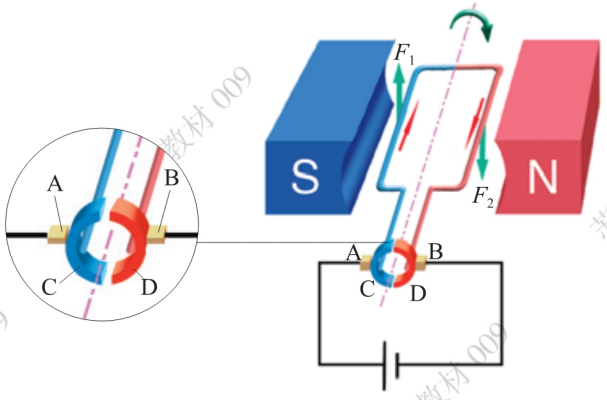
（d）最终，通电线圈静止在平衡位置

图 16–31　通电线圈在磁场中的转动情况

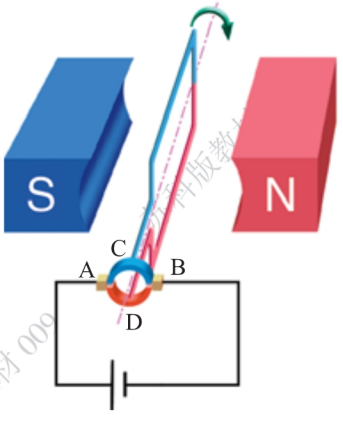
怎样才能使通电线圈在磁场中持续转动？

由上述分析可知，当线圈刚转过平衡位置时，如果立即改变其中的电流方向，那么通电线圈就能在磁场力的作用下继续转动。

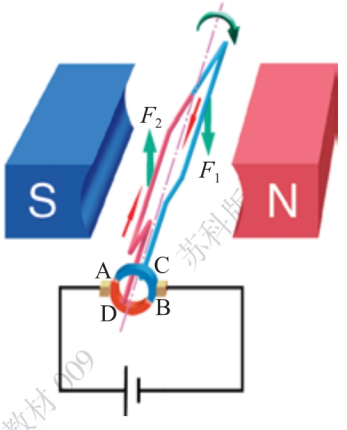
如图 16–32 所示，在通电线圈的两端各连有一个半圆铜环 C、D，称为换向器，它们随线圈一起转动。A、B 是电刷，分别与一个半圆铜环接触，使电源和线圈组成闭合电路。每当线圈刚转过平衡位置时，换向器就能自动改变线圈中电流的方向，从而使线圈能持续转动。玩具中的直流电动机就是按图 16–32 所示的原理工作的。



（a）通电线圈受磁场力作用，开始顺时针旋转



（b）线圈转到平衡位置时，无电流通过，它依靠惯性继续转动



（c）线圈越过平衡位置后，电流方向发生改变，线圈在磁场力作用下继续顺时针转动

图 16–32　换向器的作用

换向器，看起来只是一个小小的部件，但正是这一创新，使电动机登上了实用的舞台。随着技术的发展，新型无刷直流电动机即无换向器电动机，用电子换向装置代替电刷与换向器，克服了有刷电机噪声大、寿命短、可靠性差，换向时产生电火花易损坏电机等缺陷。

不论哪种电动机，都是将电能转化为机械能的装置。

活动 16.8 安装直流电动机模型

1. 对照图 16–33，观察实物了解直流电动机模型的主要部件，弄清楚换向器的作用。从内向外、从下到上安装电动机模型。

2. 先画电路图，依据电路图将电动机、滑动变阻器、电源、开关串联起来。检查无误后闭合开关，观察电动机的转动情况。

3. 改变通过线圈的电流方向，线圈的转动方向是否改变？

4. 将蹄形磁体的两个磁极对调，改变线圈所在处的磁场方向，线圈的转动方向是否改变？

5. 移动滑动变阻器的滑片，改变通过线圈的电流大小，线圈转动的速度是否改变？怎样改变？

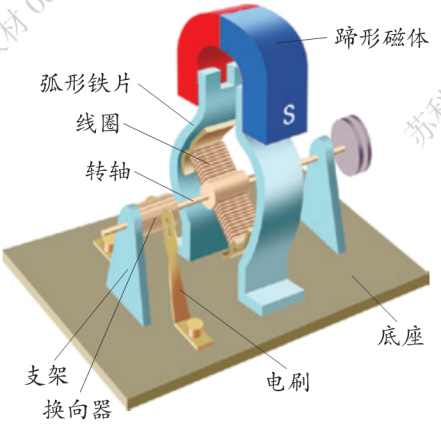


图 16–33　直流电动机模型

生活 物理 社会　用电力驱动的交通工具

如图 16–34 所示，电动自行车、电动汽车和高速列车等，都是利用电力驱动的交通工具，即它们都是由电动机提供动力的。



（a）电动自行车　（b）电动汽车　（c）高速列车

图 16–34　用电力驱动的交通工具

与传统的依靠燃烧煤等化石燃料提供动力的交通工具相比，用电力驱动的交通工具，无有害气体排放、散热少、噪声小、能源利用效率高。它们的普及有力推动了现代化绿色交通的变革性发展。此外，用电力驱动的交通工具还有启动快、制动灵敏等显著优点。

大多数电动汽车运行路线不确定，必须自身携带电源，因此电源的容量就决定了汽车的续航能力。目前，我国电动汽车的蓄电池性能和产能水平均居世界前列，有力地支持了我国乃至世界电动汽车业的发展。

高速列车在轨道上运行，可以通过固定电网供电。高速列车几乎每节车厢都装有电动机，既能提高运行速度，又能解决因某一电动机发生故障而影响整体运行的问题。

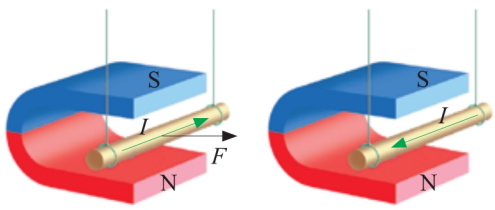
近年来，磁悬浮列车的研制异军突起。它是利用磁极间相互作用的原理设计的。强大的电流通过电磁铁产生强大磁场，使列车悬浮在轨道上，从而减小阻力、提高运行速度。据报道，2023 年 3 月，我国自主研制的首套高温超导电动悬浮全要素试验系统（图 16–35）在长春完成首次悬浮运行，标志着我国在高温超导电动悬浮领域实现重要技术突破。



图 16–35　高温超导电动悬浮全要素试验系统

实践与练习

1. 通电导线中电流的方向向右时，它在磁场中的受力情况如图 16–36（a）所示。若导线中电流的方向变成向左，则请在图 16–36（b）中画出通电导线的受力方向。



（a）　（b）

图 16–36

2. 如图 16–37 所示，一个不能打开的盒子外面露出一段细长的导线。试设计两种不同的实验方法，在不损坏导线的情况下，判断导线中是否有电流，并完成下表。

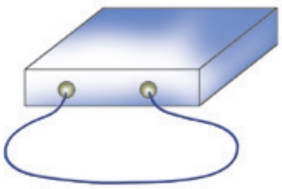


图 16–37

所用的器材	主要实验步骤及判断导线中是否有电流的方法

3. 动圈式扬声器的结构如图 16–38 所示，连接着纸盆的音频线圈套在永磁体上。试分析扬声器的发声原理，并说明此过程中能量是怎样转化的。

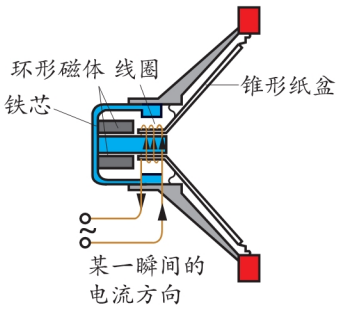


图 16–38

4. 换向器是为了让直流电动机线圈能持续转动而使用的重要部件，它的发明充分体现了物理学与技术应用的紧密联系。随着科学技术的进步，换向器也在不断地变化。查阅资料或走访相关的工程师，了解换向器的发展情况。

5. 图 16–39 所示是一个较简单的直流电动机模型，怎样才能使它连续转动？

试一试，按图示的方法把线圈两端导线上的漆刮去，通电后，线圈将怎样运动？

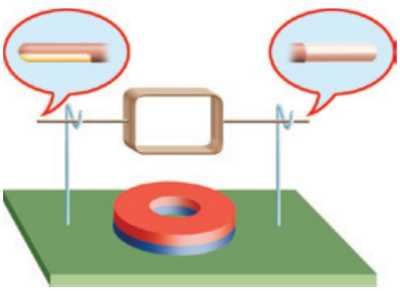


图 16–39

四、电磁感应　发电机



在奥斯特发现电流磁效应之后，包括法拉第在内的许多科学家都提出了以上问题，并做了长期的研究和探索。

电磁感应现象

活动 16.9 尝试“磁生电”

试一试

将图 16–40 中的螺线管、发光二极管、开关、导线组成闭合电路，怎样用条形强磁体使发光二极管发光?

说一说

你是怎样使发光二极管发光的？你认为最关键的因素是什么?



图 16–40 探究“磁生电”现象的实验器材

利用磁场产生电流的现象叫作电磁感应（electromagnetic induction），电磁感应产生的电流叫作感应电流（induction current）。

1821 年，法拉第（图 16–41）开始进行“磁生电”的探索。经过长达 10 年的不懈努力，他终于在 1831 年发现了电磁感应定律。



图 16–41　法拉第（Michael Faraday，1791—1867），英国物理学家、化学家

学生实验　探究感应电流产生的条件

猜想与设计

为了观察感应电流的大小和方向，需要哪些实验器材？需要组成怎样的电路？依据是什么？

信息快递

灵敏电流计可以检测几十微安到几毫安的微弱电流。

实验与记录

1. 将导体 *AB*、开关、灵敏电流计和蹄形磁体按照图 16–42 连接起来。

2. 探究导体在磁场中运动时产生感应电流的条件。

让导体 *AB* 静止在磁场中，闭合开关，观察回路中是否有感应电流产生。

在电路闭合时，让导体 *AB* 分别沿磁场方向运动和做切割磁感线运动，观察回路中是否有感应电流产生。

把观察到的现象记录在表格中。

根据观察到的现象，你能否总结出导体在磁场中运动时产生感应电流的条件？

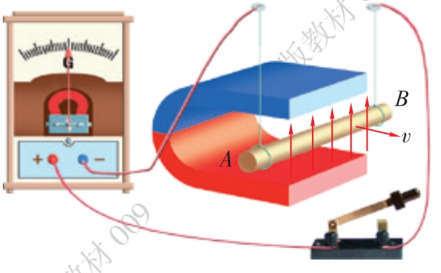


图 16–42　感应电流产生的条件

信息快递

可将导体 *AB* 想象成一把刀，若它运动时与磁感线相交，则切割磁感线，否则不切割磁感线。

导体 *AB* 在磁场中的运动情况	是否有感应电流
静止	
沿磁场方向运动（不切割磁感线）	
切割磁感线运动	

3. 探究导体在磁场中运动时产生感应电流的方向。

猜一猜，可以通过什么方法改变感应电流的方向？

试一试，磁场方向或导体 *AB* 的运动方向改变时，感应电流的方向会改变吗？

交流与小结

1. 导体在磁场中运动时，产生感应电流的条件是什么？

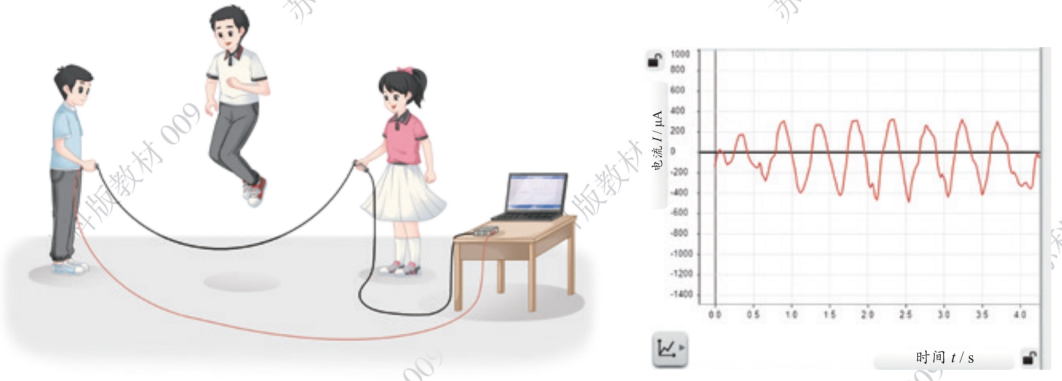
2. 影响感应电流方向的因素有哪些？

通过实验可知，**闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁感线运动时，电路中就会产生感应电流**。感应电流的方向与磁场方向和导体运动的方向有关。

活动 16.10 跳“绳”时的感应电流

做一做

如图 16–43（a）所示，将一条长约 5 m 的软导线两端与微电流传感器相连，形成闭合回路。电流传感器与计算机相连。让两位同学快速甩动导线，观察计算机显示的微电流波形，如图 16–43（b）所示。



（a）实验示意图　　（b）计算机显示的微电流波形

图 16–43　跳“绳”时的感应电流

议一议

1. 为什么导线中会有电流产生？能量是怎样转化的？

2. 改变甩动导线的方向，观察微电流的波形并说明它的特点。

发电机

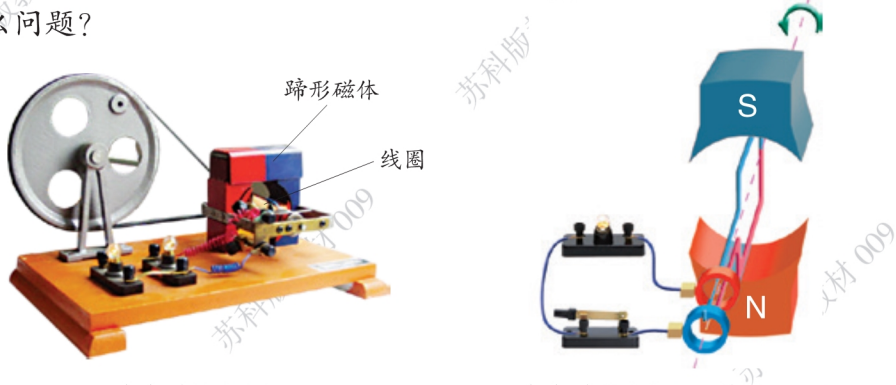
发电机（generator）是当代社会最重要的电源，它是利用电磁感应原理发电的。

活动 16.11　观察手摇发电机发电

如图 16–44 所示，手摇发电机主要由磁体和可以转动的线圈等组成。

1. 摇动手柄时，你观察到什么现象？这说明了什么问题？

2. 将小灯泡换成灵敏电流计，缓缓摇动手柄，你发现了什么现象？说明了什么问题？



（a）手摇发电机　　（b）手摇发电机工作原理示意

图 16–44　手摇发电机及其工作原理示意

生活 物理 社会　最早的发电机

在奥斯特发现电流的磁效应后，科学家们纷纷开始研究磁是否能“生”电。其中，瑞士物理学家科拉顿在1825年曾试图用磁体在线圈中运动获得电流，他用一个线圈与一个灵敏电流计连成闭合回路，为了使磁体不影响灵敏电流计指针的转动，他特意将灵敏电流计放在隔壁房间。科拉顿将磁体插入线圈后快速跑到另一个房间里观察灵敏电流计，结果看到灵敏电流计指针“纹丝不动”。经过多次实验，他都得到了同样的结果，科拉顿最终与发现真理的机会失之交臂。

法拉第在总结别人和他自己失败的经验教训后，经过反复实验，终于认识到磁“生”电是变化的动态过程，它产生的也不是稳定的电流，从而实现了关键性的突破，于1831年发现了电磁感应定律。

电磁感应现象的发现，激励着法拉第进一步发明能够产生持续电流的机器——发电机。法拉第认为，金属圆盘可以看成是由无数根长度等于圆盘半径的导线组成的。如果使金属盘在磁极间不断转动，相当于每根导线都在做切割磁感线运动，这样便能产生持续的电流。

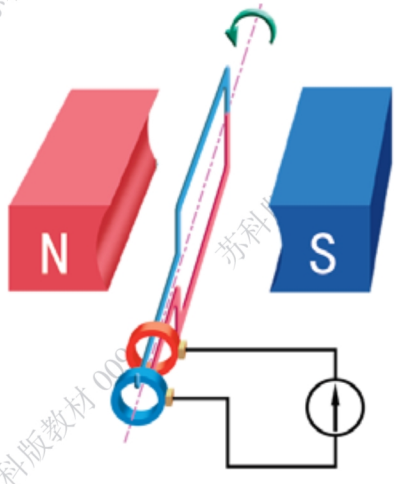


图16–45　法拉第圆盘发电机

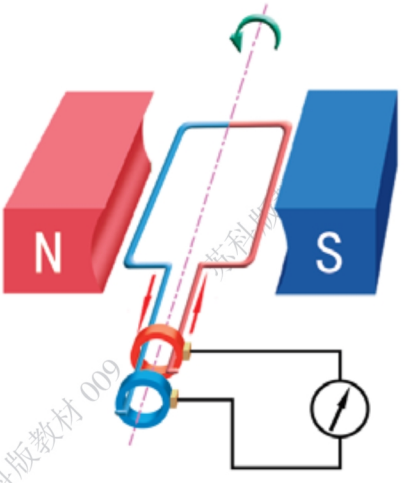
1831年10月，法拉第终于把构想变成了现实，制成了圆盘发电机（图16–45），这实际上是现代直流发电机的雏形。历史表明，法拉第的这一重大发明为人类步入电气时代作出了重大贡献。

当线圈在磁场中转动时，产生的感应电流的大小和方向随时间发生周期性变化，这种电流叫作交变电流（alternating current）。我们日常生活中使用的交变电流每秒钟完成 50 个周期性变化，其频率为 50 Hz。

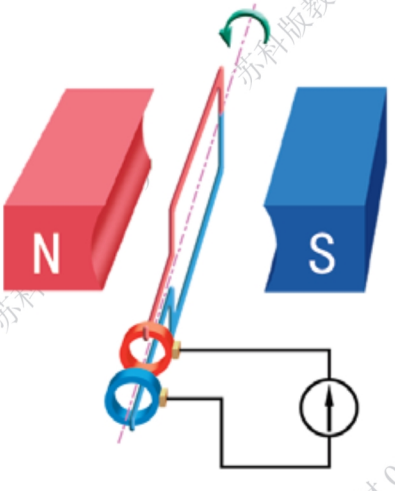
图 16–46 所示是交流发电机的工作原理。



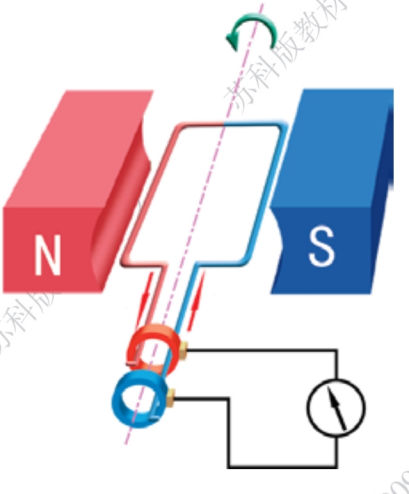
（a）当线圈平面与磁感线垂直时，线圈中的电流为零；当线圈越过此位置后，线圈中开始产生感应电流



（b）当线圈平面与磁感线平行时，线圈中的感应电流达到最大



（c）当线圈平面与磁感线再次垂直时，线圈中的电流又为零；线圈越过此位置后，线圈中开始产生方向相反的感应电流



（d）当线圈平面与磁感线再次平行时，线圈中反方向的感应电流达到最大

图 16–46　交流发电机的工作原理

从能量转化的角度看，发电机是一种将机械能转化为电能的装置。例如，水电站利用水轮发电机（图 16–47）将水流的机械能转化为电能，火电站利用汽轮发电机组（图 16–48）或燃气轮机发电机将水蒸气（或燃气）的内能转化为机械能，进而再转化为电能。在发电的过程中，由于线圈存在电阻以及转动系统存在摩擦，因此还有部分能量转化为内能。

信息快递

交流发电机的线圈在转动过程中，线圈中电流的大小和方向重复发生相同的变化，这种变化叫作周期性变化。



图 16–47　水轮发电机

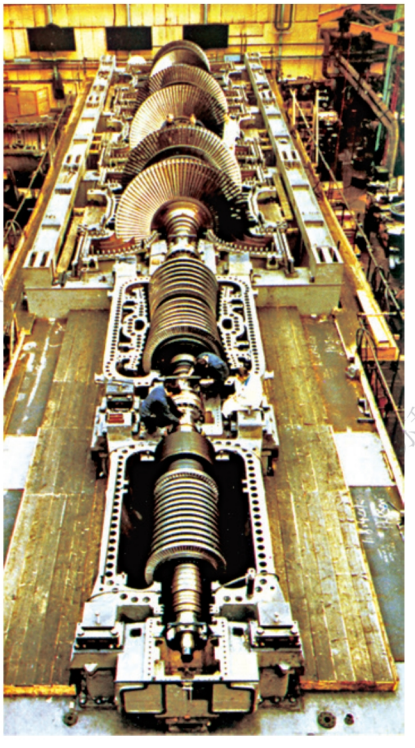


图 16–48　汽轮发电机组

国家工程　“西电东送”工程与高压直流输电

我国煤炭资源主要分布在西部和北部地区，水能资源主要集中在西南地区，东部地区的一次能源资源匮乏、用电负荷相对集中。能源资源与电力负荷分布的不均衡性决定了“西电东送”的必要性。“西电东送”工程就是把西部地区丰富的煤炭资源和水能资源转化成电力资源，输送到电力紧缺的东部沿海地区。

“西电东送”工程分北部、中部、南部三个通道。中部通道的水力资源最丰富，世界第二大水电站——白鹤滩水电站（图 16–49）就坐落其间。它位于金沙江下游四川和云南的交界处，总装机容量 $1.6\times10^{7}\,\mathrm{kW}$。截至 2023 年 1 月 28 日，白鹤滩水电站累计生产清洁电能突破 $6\times10^{10}\,\mathrm{kW\cdot h}$，相当于节约标准煤约 $1.81\times10^{7}\,\mathrm{t}$，减排二氧化碳约 $4.97\times10^{7}\,\mathrm{t}$。



图 16–49　白鹤滩水电站拦河大坝

降低输电线路的能量损耗是实现“西电东送”的关键，而特高压直流输电技术正是解决远距离输电问题的最佳方案。如果能提高输电电压，就可以减少电能在传输过程中的损耗。再利用变压器实现以下流程：在输电线路的始端，先用升压变压器将低压变为高压，再用整流器把交流电变为直流电，通过特高压输电网（图 16–50）进行远距离传输；在输电线路末端，先用逆变器把直流电变为交流电，再用降压变压器将特高压交流电变为低压交

流电，供用户使用。我国电力科研人员攻克了特高电压、特大电流下的绝缘特性、电磁环境、设备研制、试验技术等世界级难题，开发了多项世界领先技术。



图 16–50 特高压输电网

实践与练习

1. 电能的来源比较广泛，试通过具体实例说明自然界中有哪些形式的能可以转化为电能。

2. 图 16–51 所示是一种手摇发电的手电筒，当沿图中箭头方向来回摇动时，灯泡就能发光。这个手电筒壳体透明，可以清晰地看到里面有线圈。摇动时，可以感觉到有一个物块在来回运动。这个来回运动的物块是什么？你猜想的依据是什么？



图 16–51

3. 图 16–52 所示是动圈式话筒的结构示意图。套在永磁体上的线圈固定在膜片上，对着话筒发声时，膜片会发生振动。尝试阐述该话筒的工作原理，说明其能量转化的过程。

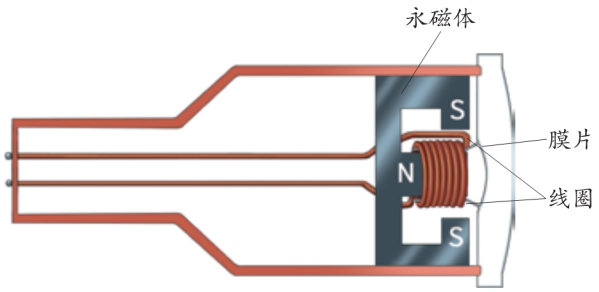


图 16–52

4. 自制交流发电机模型。

用漆包线绕成一个宽约 1.5 cm、长约 2 cm、匝数约 10 匝的矩形线圈，将线圈两端的导线拉直，留出约 1 cm 长，用刀片将漆刮掉，作为转动轴。将线圈放在支架上，在它下面放一块磁体。这样，一个简单的发电机就做成了。如图 16–53 所示，用纸做一个小风车固定在转动轴上，将小发电机与灵敏电流计相连，使小风车转动，观察灵敏电流计的指针是否偏转。

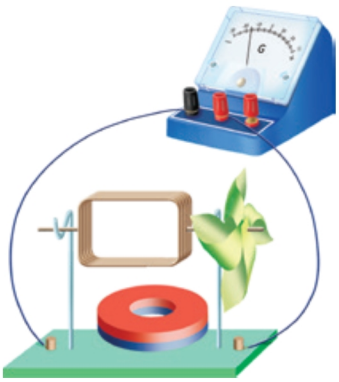


图 16–53

描述这台小发电机在发电过程中能量是如何转化的。

跨学科实践

制作大棚环境控制系统模型

大棚种植能优化作物生长的养料和环境，有利于提高作物品质和产量。从蔬菜、水果到花卉，大棚种植的品种越来越多，规模越来越大。作为现代农业的组成部分，大棚种植的水平不断提高，并向着智能化方向发展。

让我们从调查大棚种植场景，尝试设计大棚内部环境控制系统起步，感受大棚种植的魅力，提升综合应用生物学、化学、物理学等知识解决实际问题的能力。

任务与要求

1. 到大棚种植场所实地调查，了解大棚内部有哪些环境控制的要求。



图 16–54 水培作物种植系统

例如，图 16–54 所示是水培种植场景，植物根系处在营养槽中。为满足不同植物的生长需求，需要针对不同植物、不同生长阶段配制合适的营养液，同时还要对大棚内植物生长的各种环境因素进行自动控制。实地调查中，应观察控制系统的大致结构，了解它们是如何实现自动控制的。

2. 尝试设计大棚内部环境的自动控制方案。

真实的控制系统是复杂的，可与其他同学组成研究团队，分别选择某一方面进行深入研究。例如，营养槽中的液面高度控制，棚内的光照控制、温度控制、湿度控制等。

自动控制通常是通过数字化电路实现的，其关键元件之一是传感器。可通过咨询、查阅资料等途径了解各种传感器的功能和使用方法。

传感器可看成是控制电路工作状态的“侦察员”，它可以向计算机系统提供实时信息，计算机根据这些信息作出判断并“指挥”相关设备工作，从而实现自动控制。

如图 16–55 所示，水槽中的两个金属片 A、B 可看成最简单的传感器，它与电磁继电器构成控制电路，而电动机和指示灯与电磁继电器则构成受控电路。电动机的作用是带动水泵为水槽供水。整个控制过程可以用图 16–56 表示，其中的“水量控制”就是指控制水槽中的水量。

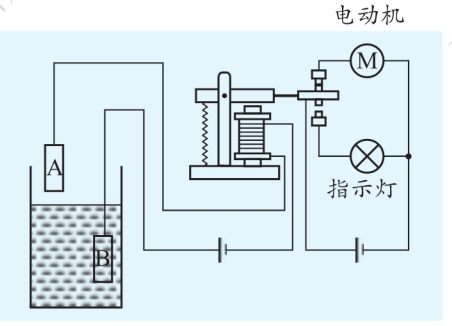


图 16–55　营养液控制电路

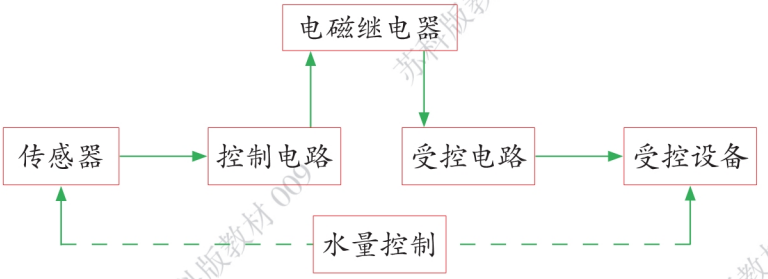


图 16–56　液面高度控制过程

3. 根据设计方案制作模型。

参照“营养槽中液面高度控制”的例子制作模型，或参照这个例子设计其他控制系统，并根据你的设计制作模型。可以和同学组成团队，联合设计并制作更多的模型。

交流与评价

1. 以小论文的形式介绍某种大棚内部环境控制系统。

2. 向同学展示自制的模型，介绍设计方案及关键制作步骤。

3. 对小论文内容的准确性与完整性等进行评价，对自制模型的制作工艺、使用效果和创新性等进行评价。

素养进阶

内容梳理



反思提升

1. 磁场看不见、摸不着，我们是怎样认识它的？以某一磁体周围的磁感线为例，说明磁感线能反映磁场的哪些特点。举例说明还有哪些对物理现象的研究与描述也采用了类似的方法。

2. 你是如何知道通电螺线管外部的磁场与条形磁体周围的磁场相似的？请结合具体实验说明。

3. 结合磁化现象，说明电磁铁中铁芯的作用。与普通永磁体相比，电磁铁有哪些优点？举例说明它的实际应用。

4. 电与磁之间看上去没有什么关系，我们是怎么知道电与磁是有联系的？可以从哪些方面说明电与磁有联系？请再举一个“看似无关、实则有关”的事物间相互联系的例子。

5. 回顾“观察磁场对通电直导线的作用”和“探究感应电流产生的条件”这两个实验。它们的实验装置、操作步骤有什么异同？这两种现象中，能量转化有什么不同？从应用的角度说明这些研究的价值。

问题解决

1. 生活中经常用到图 16–57 所示的圆形“磁吸子”。要知道它的磁极在哪个部位，你有哪些方法？用不同方法试一试，结果相同吗？



图 16–57

2. 如图 16–58 所示是利用电磁继电器控制电动机的原理图。小明想在控制室（图中虚线框）内加一个指示灯，要求电动机工作时指示灯同时发光。请试着将指示灯连接到电路中（可将原有连接线断开）。与同学交流各自的方案并评价优缺点。

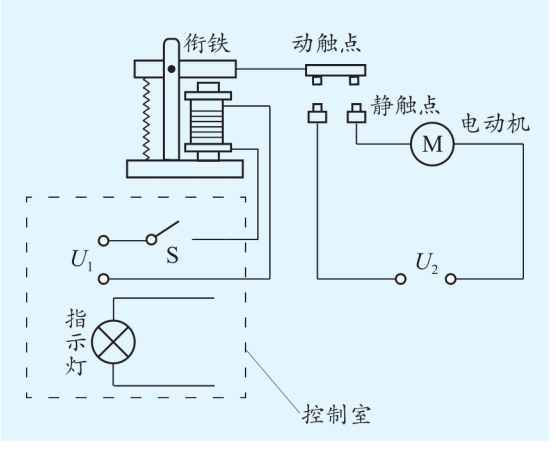


图 16–58

走进信息时代

第十七章 电磁波与现代通信

- 信息与信息传播
- 电磁波及其传播
- 现代通信

电磁波的发现，
使电报、电话、广播、电视、手机等相继出现。
半导体材料与电子技术的不断进步，
更让移动通信和互联网蓬勃发展，
人类“跨越时空，漫游地球村”的梦想得以实现。

现代通信离不开电磁波。
什么是电磁波？
人们又是怎样利用电磁波传播信息的？



苏科版教材 009

一、信息与信息传播

信息及其传播



我们生活在一个充满信息的世界里。通俗地说，信息是各种事物发出的有意义的消息。消息中包含的内容越多，信息量就越大。你能举出一些例子来说明信息无处不在吗？

语言、符号和图像是人类特有的三种信息。

信息必须通过传播才有实际意义，人们以特定的手段和方式进行的信息传播活动，称为通信。

早期的信息传播途径

图 17–1 所示，在烽火台上点燃烟火，传递重要军事信息；驿使为国家传递公文和军事情报。



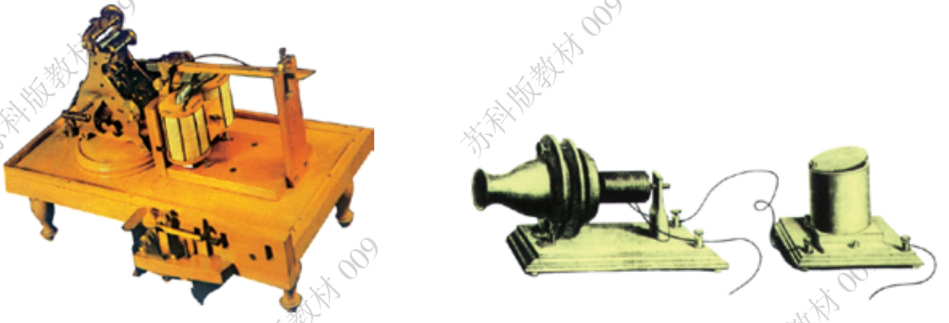
（a）万里长城的烽火台



（b）汉代画像砖中展现的驿马飞奔的场景

图 17–1 我国古代的信息传播方式

近代以来，电磁学的不断发展，使人们利用电磁转换原理传递信息成为可能。有线电报机和电话机应运而生，如图 17–2 所示。



（a）莫尔斯发明的有线电报机　　（b）贝尔制作的电话机

图 17–2 有线电报机和电话机

1832 年，美国发明家莫尔斯受到电磁铁原理的启发，开始研制有线电报机。经过多年的努力，他终获成功并且还发明了用点（电键接通时间短）、画（电键接通时间长）和间隔组成的电码——莫尔斯电码，开启了人类通信的新纪元。

由于电报不能同步进行双向信息交流，人们又开始探索利用电磁原理传送声音。美国发明家贝尔就是早期的研究者之一。

你还知道其他信息传播工具吗？试举例说明。

活动 17.1 自制简易有线电报机

设计

利用图 17–3 所示的器材设计一个电路。要求：两位同学分别在挡板两侧，当其中一位同学按下自己所在一侧的开关时，对方一侧的灯泡会发光。

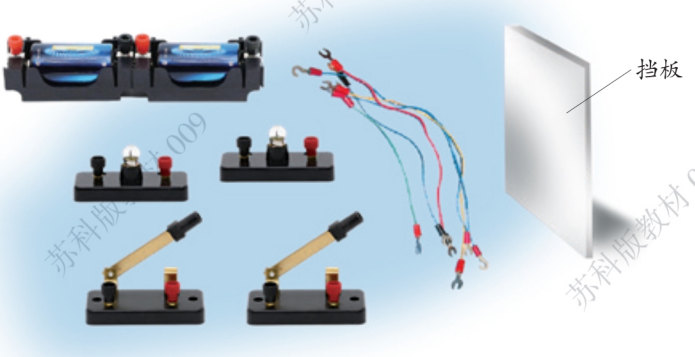


图 17–3 实验器材

制作

按照设计要求连接电路。试一试，能否达到设计要求？如果不能达到设计要求，请修改或重新设计电路。

图 17–4 所示是一组同学制作的电路。它符合设计要求吗？

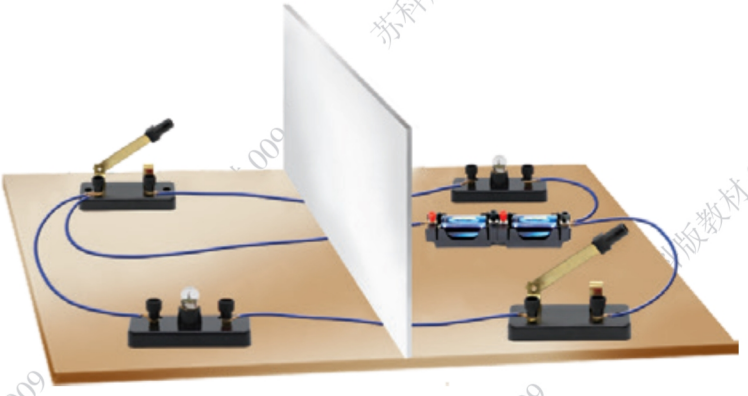


图 17–4　符合制作要求吗

操作

1. 与对方约定好电报密码。例如，可用一本书作为密码本，用四位数字“6457”代表该书第 64 页正文第 5 行第 7 个字——“传”（标题与标点符号不算字数），如图 17–5 所示。



图 17–5　利用“密码本”编码

2. 采用莫尔斯电码表示电报密码中的数字。

3. 发一个字的“电报”给对方，看他是否能正确地翻译出“电报”的内容。（可用开关接通时间长短分别表示画和点）

信息快递

莫尔斯电码

数 字	点画组合	数 字	点画组合
1	· – – – –	6	– · · · ·
2	· · – – –	7	– – · · ·
3	· · · – –	8	– – – · ·
4	· · · · –	9	– – – – ·
5	· · · · ·	0	– – – – –

莫尔斯发明电报已近 200 年，现在已很少有人再使用莫尔斯电码。但是莫尔斯的发明所蕴含的思想，如利用数字和符号传递信息、以一定的方式解读信息、设置保护信息的密码等，仍然是当今通信技术的基础。

生活 物理 社会 快递包裹分拣

近年来，中国快递业发展迅速，年投递包裹总量已居世界第一。为提高效率、降低成本，许多快递中转枢纽都使用了分拣机器人。几百个机器人同时作业，每小时可以分拣数万个快件，这些机器人是怎样工作的呢？

原来，快递包裹上通常都贴有条形码（图 17–6），它由粗细相间的黑白线条、数字和字母组成。机器人装载着包裹，通过装有条形码扫描器的检测门进行识别（图 17–7）后由计算机系统进行数据处理，并将相关信息通过无线传输技术传递给机器人。



图 17–6 条形码

具有自动避障功能的分拣机器人，在获取包裹信息后，由导航系统引导，选择最佳路径自动行驶到相应位置，将包裹投入对应的格口（图 17–8），再由运输车将这些包裹送往目的地。


图 17–7 检测门识别贴有条形码的包裹

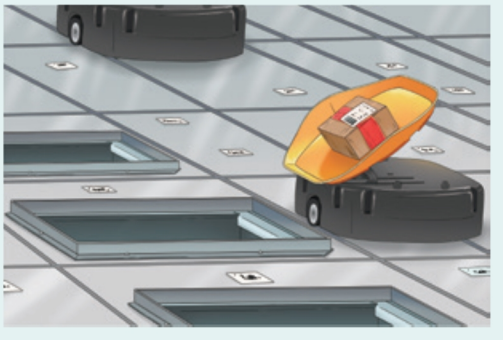


图 17–8 分拣机器人将包裹投入对应的格口

实践与练习

1. 查阅资料，了解蜜蜂（或蚂蚁）是如何传递信息的。

2. 除了有线电话与有线电报，请举出几个生活中利用电流传递信息的实例。

3. 随着科技水平的不断提高，一维条形码已经发展成二维条形码。查阅资料了解它们的区别与联系，并尝试通过扫描条形码了解商品信息。

4. 图 17–9 所示是早期电话的话筒与对方听筒串联的电路。话筒中的金属盒里装满了接触不紧密的炭粒，炭粒受挤压后电阻会变小，恢复原状时电阻又会变大。试分析话筒是怎样把声音变成电信号，听筒又是怎样把电信号恢复为声音的。

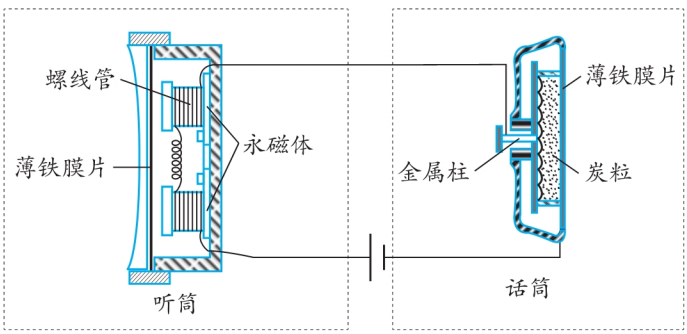


图 17–9

二、电磁波及其传播



波的基本特征

往复抖动绳的一端（称为波源），绳就会传播凹凸相间的运动形态（图 17–10），就像第一章学习的水波、弹簧中的疏密波和声波一样，它们都是振动形态在介质中的传播，属于机械波。

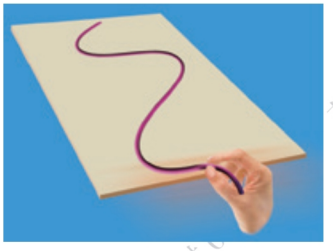


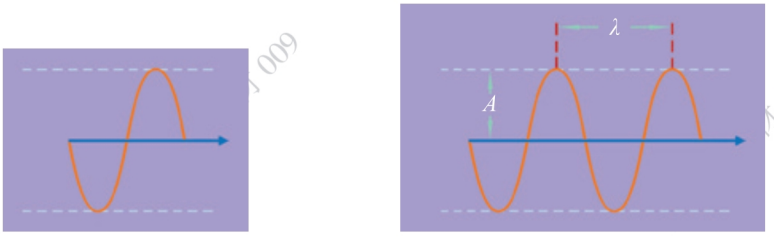
图 17–10 波通过绳传播

我们可以用下面的物理量来描述波的基本特征（图 17–11）。

振幅：振动的幅度，用字母 A 表示，如图 17–11（b）所示。它反映了振动的强弱。

周期：振动一次所需要的时间，用字母 T 表示，单位是秒（s）。

频率：其数值等于每秒内振动的次数，用字母 f 表示，单位是赫兹（Hz）。频率与周期反映了振动的快慢，它们的关系是 $f=\frac{1}{T}$。



（a）波源振动一次时，绳的波形　　（b）波源振动两次时，绳的波形

图 17–11 绳振动产生的波形

波长：波在一个周期内传播的距离，用字母 λ 表示［图 17–11（b）］，单位是米（m）。

波速：波传播的速度，简称波速，用字母 v 表示，单位是米 / 秒（m/s）。

波不仅传播运动形式，而且还传播能量和信息。

了解电磁波

从地球表面到遥远的太空，到处都充满了电磁波（electromagnetic wave）。电磁波现已成为人类生产生活中不可缺少的伙伴和工具。

麦克斯韦（图 17–12）在深入研究电磁现象的基础上，于 1864 年建立了电磁场理论并预言了电磁波的存在。1888 年，德国青年物理学家赫兹第一次用图 17–13 所示的实验装置证实了电磁波的存在，发现了电磁波是物质存在的一种形式。



图 17–12　麦克斯韦（James Clerk Maxwell，1831—1879），英国物理学家

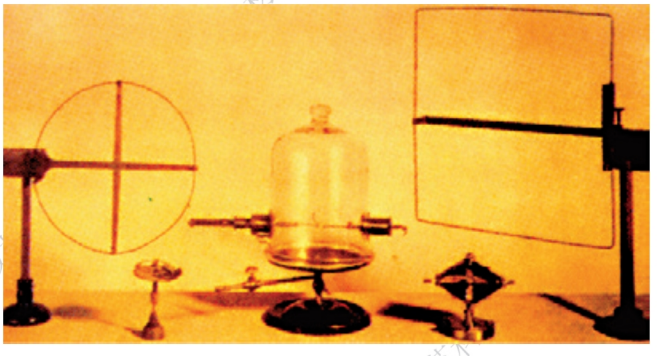


图 17–13　赫兹验证电磁波存在的实验装置



活动 17.2 验证电磁波的存在

做一做

打开收音机的开关，将调谐旋钮调到没有电台的位置并将音量调大。如图 17–14 所示，取一节旧干电池和一根导线，靠近收音机，将导线的一端与电池的一极相连，再用导线的另一端与电池的另一极时断时续地接触（注意不能长时间接触）。



图 17–14 验证电磁波的存在

说一说

你从收音机里听到了什么？这是为什么？

议一议

日常生活中还有哪些现象能说明电磁波存在？

活动 17.3 探究电磁波的传播

做一做

1. 如图 17–15 所示，将手机开机后放在玻璃罩中，用抽气机抽去罩中的空气。打电话呼叫玻璃罩中的手机，手机能否收到呼叫信号？

2. 将手机分别放在密闭的不锈钢饭盒、塑料饭盒和纸质饭盒中，打电话呼叫该手机。手机能否收到呼叫信号？



图 17–15 玻璃罩中的手机

想一想

图 17–15 的实验说明了什么？还有哪些事实可以支持你的结论？在有些建筑物或电梯中，手机收不到信号或信号较弱的原因可能是什么？

研究表明：电磁波与声波不同，它能在真空中传播。电磁波在真空中传播的速度为 3×10^8 m/s，与光速相同。光波属于电磁波。有的电磁波能够穿过障碍物，但铝、铁、铜等金属的密闭容器对电磁波有一定的屏蔽作用。

电磁波谱及电磁波的应用

电磁波谱（electromagnetic wave spectrum）是按波长（或频率）连续排列的电磁波序列，如图 17–16 所示。

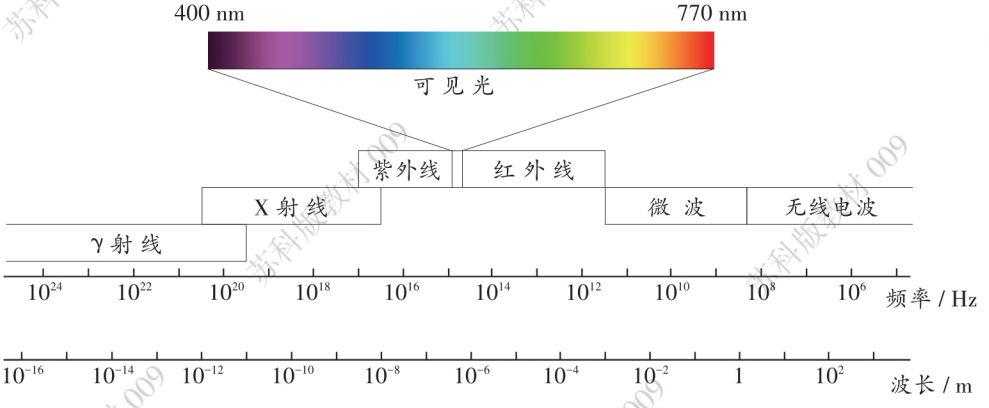
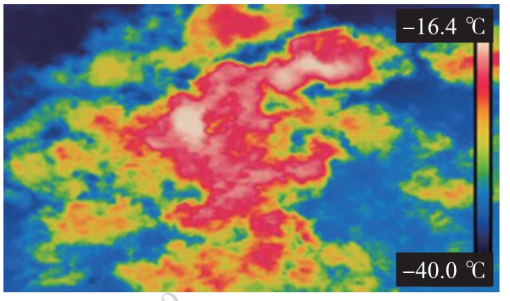


图 17–16　电磁波谱

电磁波在现代生活中有着广泛的应用，不同波长的电磁波具有不同的功能，如图 17–17 所示。



（a）利用无线电波遥控无人机



（b）利用红外线观测云的温度



（c）利用 X 射线检查人体组织病变



（d）利用 γ 射线治疗癌症

图 17–17　电磁波的应用

生活 物理 社会 电视广播的信息传递

电视和广播不仅可以让人们了解国内外新闻，还能丰富大家的文化娱乐生活。

我们能用电视机和收音机收看、收听节目，就是因为它们能接收到电视台和广播电台发射的电磁波。不同的电视台、广播电台发射电磁波的频率（波长）不同。中央人民广播电台有多个发射频率。其中，中波 639 kHz、短波 9 800 kHz 和调频 106.1 MHz 三个发射频率对应的电磁波波长分别约为 469.48 m、30.61 m 和 2.83 m。

电视广播是怎样传递信息的呢？如图 17–18 所示，人们利用摄像机和话筒分别将图像和声音转变成电信号，但这种电信号频率很低，很难发射出去，必须把低频的电信号加载到发射机产生的高频电磁波上，再通过天线发射出去。发射出去的电磁波在空中传播。电视机是电磁波接收机，接收到空中传播的高频电磁波后，从中分离出图像信号和声音信号，图像信号通过显示器还原成图像，声音信号经音频放大器放大后再通过扬声器还原成声音。

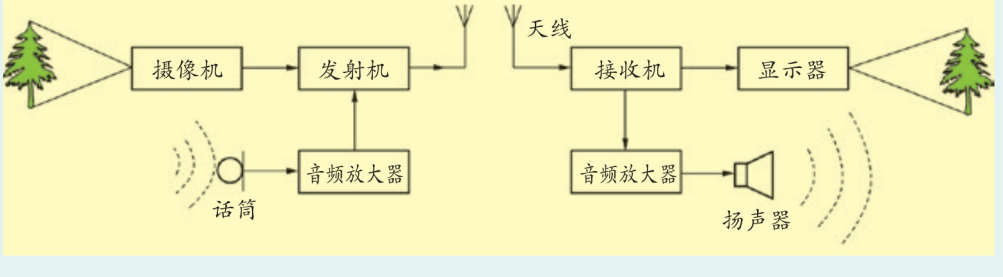


图 17–18 电视广播的工作过程示意

宇宙中充满了电磁波，人们可以通过接收到的电磁波来了解宇宙的信息。例如，宇宙中有一种星体称为脉冲星，它持续向外发射电磁波束，同时很快地自转。脉冲星每自转一周，电磁波束就扫过地球一次，人们在地球上就收到了有规律的脉冲式电磁波。天文学家用射电望远镜搜索脉冲星发出的电磁波进行科学研究，这有助于揭示宇宙诞生和演化的奥秘。

国家工程　中国天眼

我国自主设计建造的500 m口径球面射电望远镜（图17–19），被誉为“中国天眼”。作为目前世界上最大单口径、最灵敏的射电望远镜，它能接收到100多亿光年以外的电磁波信号。当来自宇宙的电磁波平行入射到射电望远镜的球面天线上时，会被反射并会聚到焦点上，处于焦点处的接收机接收后，经过信息处理可显示出宇宙的信息。

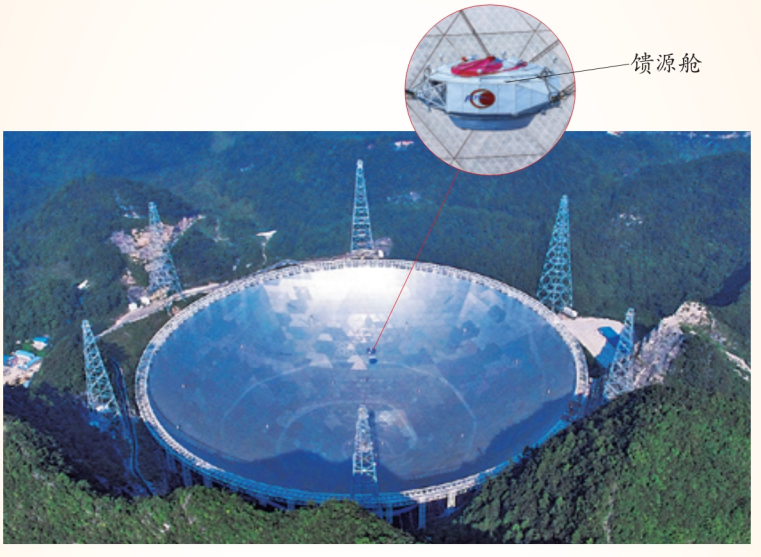


图17–19　中国天眼

中国科学院国家天文台研究员南仁东（图17–20）是“中国天眼”工程首席科学家兼总工程师，他率先提出“天眼”工程的构想，并带领团队在我国西南部的大山里长途跋涉，先后对比了1 000多个洼地，才最终选定贵州省平塘县的喀斯特洼地作为望远镜台址。



图17–20　南仁东（1945—2017）

该项目从提出构想到落成启用历时 20 多年，项目组攻克了一系列技术难题。特别是有两项技术独辟蹊径，为射电天文学的研究开辟新天地。一是主动反射面技术，“中国天眼”的反射面由 4 450 个反射单元构成，反射面可以根据需要顺势变形，就像灵活转动的人眼，能够接收来自不同方向的电磁波。二是馈源舱的定位技术，如果把“天眼”看作眼睛，那么馈源舱就相当于眼睛的瞳孔，它可以配合反射面的变形，移动并准确到达指定位置。

“中国天眼”具有我国自主知识产权，对探索宇宙起源和演化、搜索脉冲星、搜寻地球以外的生命、探测暗物质与暗能量、寻找地外文明和第一代天体等具有重大价值。

科学研究发现，电磁波在得到广泛应用的同时，也给人类的生存环境带来了危害——电磁污染。例如，频率在 0.1 MHz 以上的电磁波，在强度足够大时会扰乱人体的自然生理节律，使人出现头痛、失眠、健忘等症状。为减小电磁污染的危害，科技专家发明了各种预防电磁污染的设备，并提出了预防措施，人们也要增强防御意识，采取健康的生活方式。

实践与练习

1. 图 17–21 所示是我国自主研发的自动驾驶汽车。车的四周装有高清摄像头和高灵敏度雷达，用来及时接收周围的路况信息。根据你所学的物理知识，说一说该车是如何应用电磁波实现自动驾驶的。



图 17–21

2. 在第二次世界大战期间，一名工程师在靠近雷达磁控管时，偶然发现口袋里的巧克力熔化了，探究其原因后发现，原来这是微波作用的结果。人们由此认识到可以利用微波来加热食物，于是微波炉（图 17–22）应运而生。查阅资料，了解微波炉加热食物的原理。



图 17–22

3. 选择一件无线遥控玩具，如遥控玩具车（图 17–23），阅读它的说明书，了解操作方法。用遥控器操控玩具车，它就能做出前进、后退、左转、右转等动作。改变天线的方向、遥控器与玩具车的距离，观察玩具车的动作会不会受到影响。研究遥控器发出的电磁波能否穿过障碍物、是否会被镜子反射等问题。



图 17–23

4. 调查电磁波在现代社会中有哪些应用，就某一方面写一份调查报告。

三、现代通信

20 世纪下半叶以来，随着计算机技术、数字技术和网络技术的不断发展，人类社会进入了现代通信时代。

卫星通信

卫星通信是利用人造地球卫星作为中继站（负责接收并转发无线电信号）的无线通信方式，通常采用微波传递信息。微波的性质与光波相近，大致沿直线传播，不能沿地球表面绕射。

如图 17–24 所示，卫星通信系统是由空间端、地面端和用户端三大部分组成的。空间端大多采用地球静止轨道卫星。地球静止轨道卫星在地球赤道平面内距地球表面约 35 800 km 的轨道上运行，它绕地球一周的时间与地球自转的周期相同，即 24 h。从地面看去，它似乎总是静止在赤道上空。一般来说，三颗在赤道上空均匀分布的地球静止轨道卫星组成的通信系统发出的电磁波，就几乎可以覆盖整个地球表面，如图 17–25 所示。

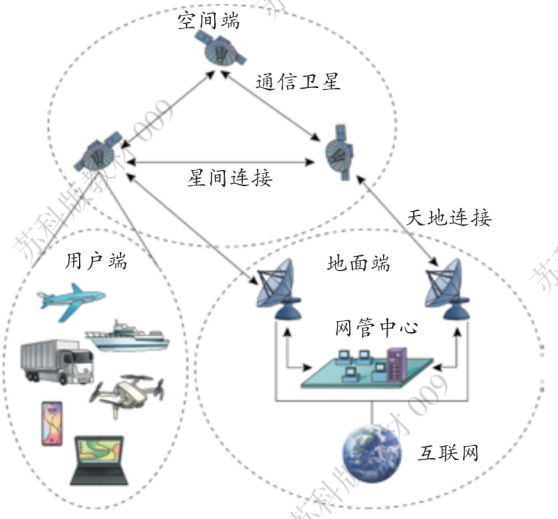


图 17–24 卫星通信系统示意图

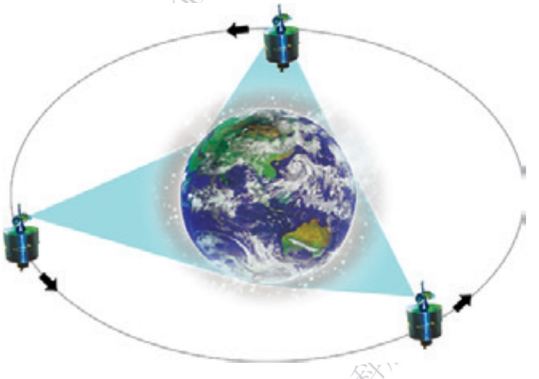


图 17–25 同步卫星示意图

卫星通信具有覆盖面大、通信距离长、不受地理环境限制等许多独特的优点，尤其在长距离、边远山区和抢险救灾等的通信中更是大显身手。

卫星通信不仅在全球性的电话、电视广播中成为重要的信息传输方式，而且在全球定位、导航等方面发挥着重要作用。

我国于 1984 年 4 月 8 日成功发射的地球静止轨道试验通信卫星——“东方红二号”（图 17–26）之后，又相继发射了多颗地球静止轨道卫星，实现了覆盖全国的信号传输，改变了边远地区通信落后的状况。2022 年 7 月 13 日，我国成功发射了“天链二号”03 星（图 17–27）。它与先前发射的“天链二号”02 星、“天链二号”01 星三星联网，组成了我国第二代地球同步轨道数据中继卫星系统，其最主要的任务是为载人飞船、载人空间站等载人航天器提供数据中继和测控服务，如协助完成天地通话、太空授课、交会对接等重要任务。

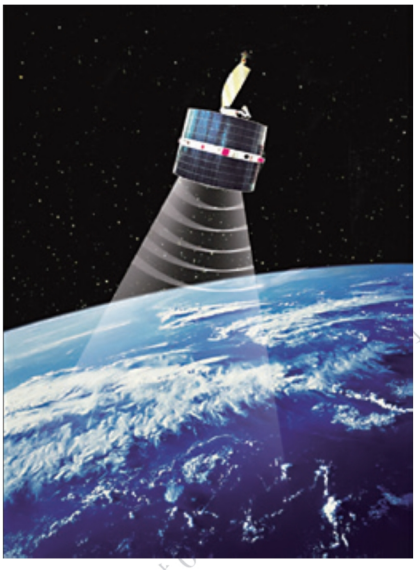


图 17–26　“东方红二号”在轨示意



图 17–27　“天链二号”03 星在轨示意

光纤通信

20 世纪 30 年代，一个制玻璃的工人偶然发现，光能沿着长长的玻璃棒传输。于是，科学家们开始试验用拉得很细的玻璃丝来做激光的传输线，并获得了成功。人们把那些能够传输光信号的极其纤细的材料称为光导纤维（optical fiber），简称光纤，如图 17–28 所示。由多根光纤制成的光信号传输线称为光缆，如图 17–29 所示。

光纤通信是利用光波在光导纤维中传输信息的一种通信方式。



图 17–28 光导纤维



图 17–29 不同规格的光缆

活动 17.4 观察光纤的导光现象

看一看

将光纤拉直，在光纤的一端放上发光的小电灯。在它的另一端观察，能够看到小电灯发出的光。如图 17–30 所示，将光纤弯曲，在光纤的另一端观察，你还能看到小电灯发出的光吗？

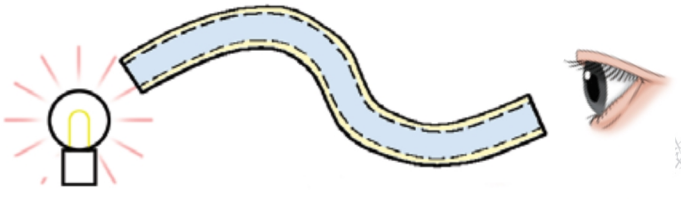


图 17–30 观察光纤的导光现象

想一想

为什么光能从弯曲光纤的一端传到另一端呢？

如图 17–31 所示，光沿直线进入光纤的 A 端，经多次反射后从光纤的 B 端射出。

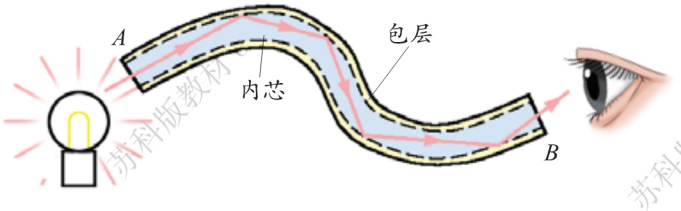


图 17–31 光纤传输光信号的原理

在光纤通信中，首先利用电光转换技术把电信号转变为光信号，并通过光纤传递到接收端，然后再把光信号转变成电信号，从而实现信息传递。光纤通信的容量极大，一根头发丝那样细的光纤就可以实现近 300 亿人同时通话。光纤不导电，在磁场中不会产生电磁感应现象，所以光纤通信不会受外界电磁场的干扰。光纤不怕潮湿、耐腐蚀、能量损耗低。这些特性使得光纤通信质量比其他有线通信高得多。

不断发展的信息通信技术

进入 21 世纪后，随着科学技术的不断进步，科学家和工程技术人员利用第五代移动通信技术将传感器、人工智能和互联网结合在一起，实现了人与物、物与物之间的互联，满足了移动医疗、智能交通、智能家居、工业控制、农业控制以及环境监测等方面的需要。物联网的建立和发展，极大地促进了社会经济、文化、教育等的发展，深刻改变着人们的生产和生活方式。

随着信息技术的不断发展，信息安全问题也日益突出。近年来兴起的量子通信，其密钥不固定，充满随机性，即使密钥被截获也无法被破译，具有传统通信方式所不具备的高安全特性。因此，在国家安全、金融等信息安全领域有着重大应用价值。我国在量子通信领域取得了具有国际影响的突破成就。在科研人员的不懈努力下，我国不仅发射了全球首颗空间量子科学实验卫星“墨子号”（图 17–32），还构建了全球首个跨越 4 600 km 的天地一体化量子通信网络，实现了量子保密通信。



图 17–32　“墨子号”在轨示意

国家工程　中国的第五代移动通信技术

5G 是第五代移动通信技术（5th generation mobile communication technology）的缩写。从 20 世纪 70 年代开始，移动通信经过多技术更新，终于进入了智能化和个性化的 5G 通信时代。同前四代移动通信技术相比，5G 技术的关键是采用了极高频率的毫米波，具有传输容量大、传输速度快、系统反应快等优势。作为一种新型移动网络，5G 能与先进传感、人工智能等技术有机融合，为用户提供增强现实、虚拟现实、超高清视频等更加身临其境的体验，解决人与物、物与物通信的问题，满足移动医疗、车联网、智能家居、工业控制、环境监测等物联网应用的需要，如图 17–33 所示。5G 正在渗透到各个行业和领域，成为支撑经济社会数字化、网络化、智能化转型的关键技术。



图 17–33　5G 的应用

在世界移动通信技术的变革中，我国坚持走自主创新道路，以创新驱动发展，经历了“1G 空白、2G 跟随、3G 突破、4G 并跑、5G 领先”的发展历程。如今，我国是全球 5G 通信标准制定的核心成员，拥有的 5G 标准必要专利数量全球最多，建成并开通的 5G 基站总量也居世界之首。

实践与练习

1. 查阅资料，了解手机在使用过程中的电磁波辐射对人体有无影响。

2. 2019 年 1 月 3 日，“嫦娥四号”探测器携“玉兔二号”月球车成功着陆在月球背面。早先发射的、绕地月连线上点 L_2 转动的“鹊桥”中继星，正在与月球一起稳定地绕地球运转，其运动轨道如图 17–34 所示。

（1）想一想，处于月球背面的“玉兔二号”月球车发出的数据是怎样传送到地球的？

（2）若地面控制中心与“鹊桥”中继星相距约 4.6×10^5 km，“鹊桥”中继星与月球背面相距约 6.5×10^4 km，则地面控制中心的工作人员从发出指令到“玉兔二号”月球车收到指令，大约需要多长时间？

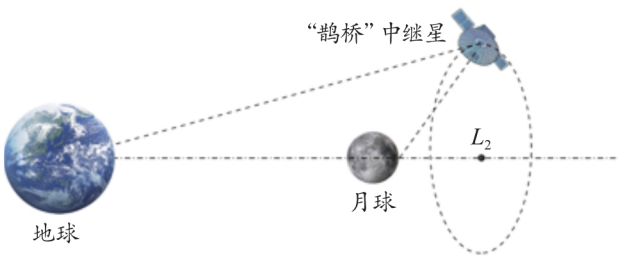


图 17–34

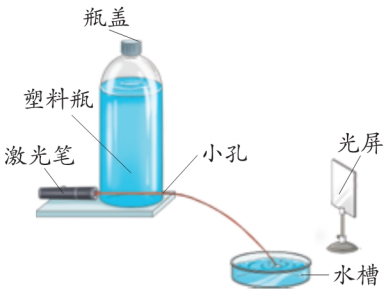


图 17–35

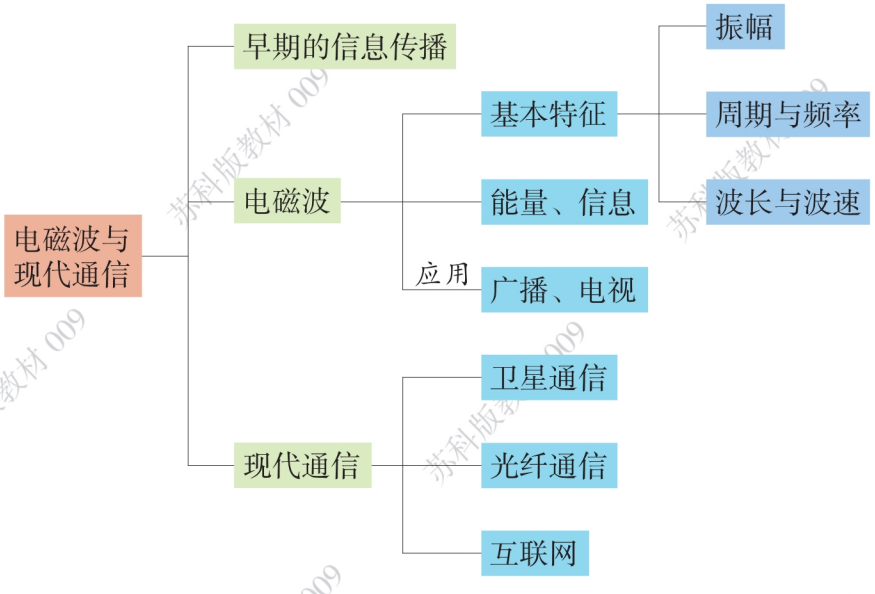
3. 水流导光小实验。

如图 17–35 所示，取一个透明塑料瓶，在靠近瓶底的侧壁上钻一个直径约 5 mm 的小孔，再将一支激光笔放在小孔对面，使光束能穿过塑料瓶从小孔射出。

实验时，堵住小孔，向瓶中注水近满，盖紧瓶盖，再打开激光笔，在小孔前方的光屏上可以看到一个光斑。然后打开瓶盖，瓶中的水从小孔流出，弯曲的水流流到下方水槽中。光斑还在光屏上吗？光斑在哪里？用光屏从下方截住水流，再向上移动，你看到什么现象？

素养进阶

内容梳理



反思提升

1. 你是怎样知道电磁波能在真空中传播的？

2. 有线电话利用电流传递信息。与之相比，电磁波传递信息有什么优越性？现代通信技术的发展，给我们生活带来了哪些变化？举例说明。

3. 查阅资料，了解电磁波在卫星通信技术中的应用。与同学交流我国自主研制北斗卫星导航系统的重要意义。

问题解决

1. 观察微波炉的门（图 17–36），可以发现玻璃窗上夹着一层金属网。你认为金属网的作用是什么？如何用实验证实你的判断？



图 17–36



图 17–37

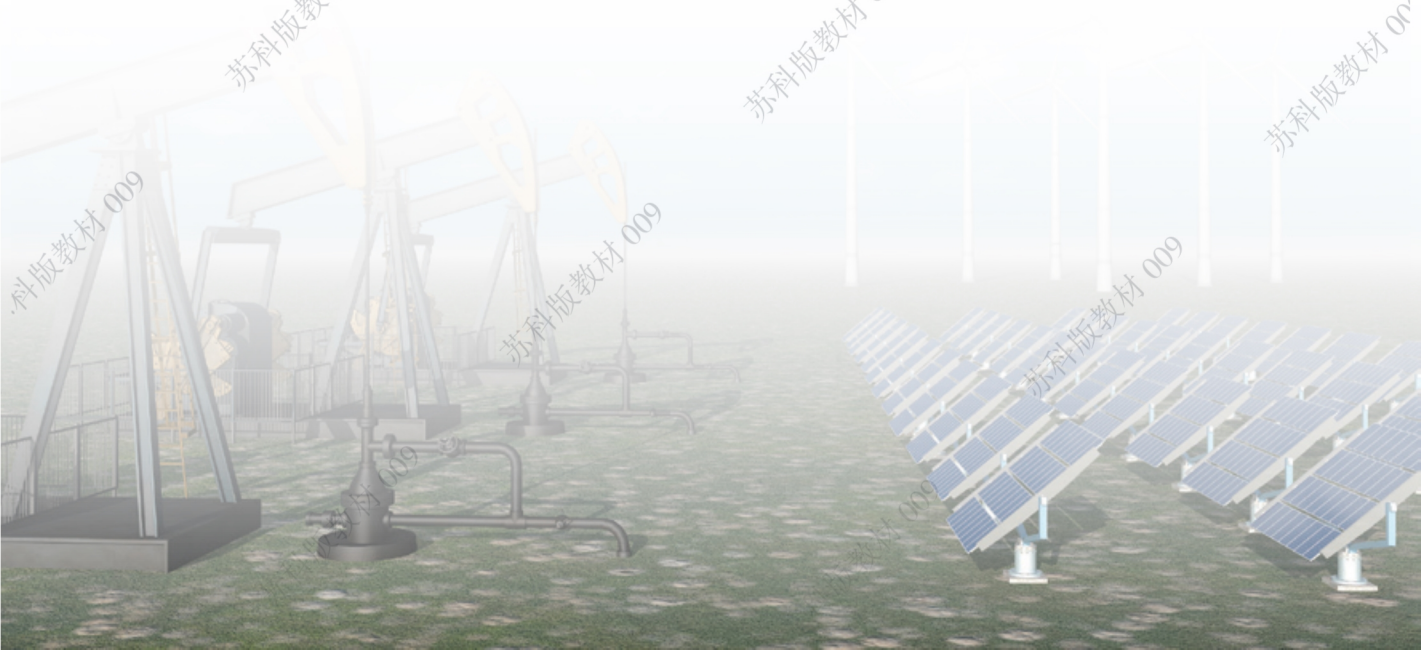
2. 查阅资料，了解通信基站的蜂窝结构布局，如图 17–37 所示。说说手机信号是怎样在两个手机之间传播的（分同一基站与不同基站两种情况说明）。

3. “信息高速公路”的发展会不会与公路交通的发展一样，给环境带来不利影响？科学技术是一把双刃剑。请讨论信息时代的利与弊。

第十八章 能源与可持续发展

- 能源利用与社会发展
- 核能　太阳能
- 能量转化的基本规律
- 能源与可持续发展
- 跨学科实践

从钻木取火到化石能源的利用，再到新能源开发，
能源的更迭推动着时代的进步。
伴随着蒸汽机、内燃机、电动机等的使用，
人类社会发生了日新月异的变化。
但大量非清洁能源的使用，也引发了严重的大气污染、水污染……
节约能源、保护环境、呵护地球，
人类才能走上可持续发展的道路！



苏科版教材 009

一、能源利用与社会发展

人类社会前进的每一步都和能源的利用息息相关。可以说，能源开发和利用技术的进步是人类社会文明发展的重要标志。

能源的利用

早在远古时代，人类就学会了用火。在掌握了人工取火（图 18–1）的方法之后，人类就开始了开发、利用能源的进程。恩格斯曾说过：“摩擦生火第一次使人支配了一种自然力，从而最终把人和动物分开。”



图 18–1 古人钻木取火



图 18–2 蒸汽机的应用

蒸汽机是在 200 多年前登上历史舞台的。有了蒸汽机，人们就可以用煤做燃料来开动机器，驱动火车和轮船，如图 18–2 所示，从而引发了世界性的工业革命。随后，内燃机的发明使汽车、飞机、轮船、内燃机车等得以广泛使用。从此，煤、石油、天然气等化石能源成为人类消耗的主要能源。

19 世纪以来，电磁感应现象的发现以及发电机的发明，使煤、石油等化石能源被转换成更加便于输送和利用的电能。电能的利用带来了一系列发明创造。电动机、电灯、电话、电报和无线电通信等的问世，极大地推动了城市化进程（图 18–3），促进了人类文明的发展。



图 18–3 电能让城市灿烂辉煌

20 世纪初，科学家发现，某些原子核的结构发生变化时会释放出巨大的能量。原子核内蕴含的这种能量叫作核能（nuclear energy）。对于相等质量的核燃料和煤来说，核燃料放出的能量比煤燃烧放出的能量大得多。从此，人类进入了开发和利用核能的新纪元。图 18–4 所示是我国首个自行设计、建造和运营管理的核电站——秦山核电站。



图 18–4 秦山核电站

如今，伴随着水能、太阳能、风能等能源的广泛使用，人类正迈向可持续发展的道路。

可再生能源与不可再生能源

地球上可开发利用的能源种类有很多。有些能源如煤、石油、天然气等，要经过数百万年才能形成，使用后逐渐减少，短期内无法恢复，这种能源称为不可再生能源（non–renewable energy）。有些能源如太阳能、风能、水能、生物质能、地热能、海洋能等，它们可以从自然界中源源不断地获得，这些能源称为可再生能源（renewable energy）。

有些能源如太阳能、氢能等，在使用时不产生或很少产生污染物（如硫氧化物、氮氧化物等大气污染物），对生态环境无污染或污染程度低，这些能源称为清洁能源；反之则称为非清洁能源。随着科技的发展和环境问题的日益严峻，人类越来越重视清洁能源的开发与利用。这对于满足社会发展需求和减少环境污染，促进人类社会可持续发展具有非常重要的意义。

生活 物理 社会　中国的风力发电

风能取之不尽、用之不竭，是应用非常广泛的一种清洁能源。我国风能资源丰富，到 2021 年底，全国风力发电（图 18–5）装机容量已超过 3×10^8 kW，约占全国发电装机容量的 13%，仅次于火电和水电。

内蒙古、河北和新疆等地由于特殊的地理环境而具有丰富的风能资源，已成为我国风力发电装机的主要省区。截至 2021 年，我国有 12 个省区风力发电装机容量超过 1×10^7 kW，其中内蒙古风力发电装机容量达 4×10^7 kW，名列全国第一。为了充分利用海上丰富的风力资源，减少陆上风力发电场对陆地生态环境的影响，扩大开发规模并降低成本，风力发电逐步向海上转移，我国东南沿海地区将加快海上风力发电项目的建设。

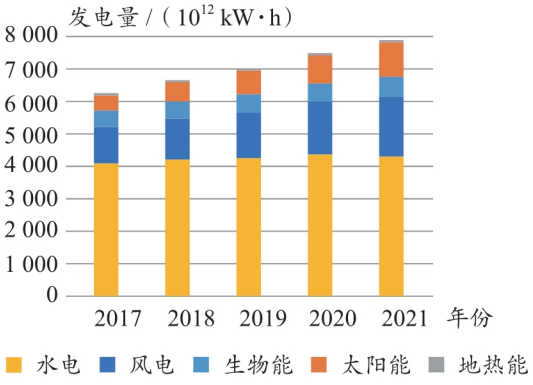


图 18–5 陆上风力发电场

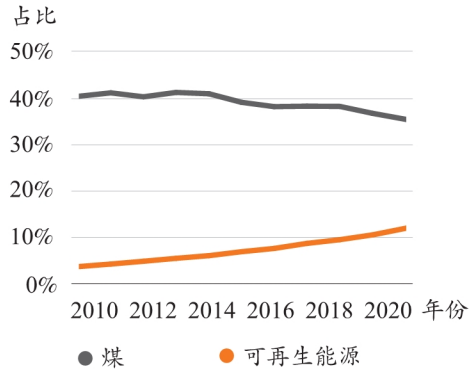
实践与练习

1. 请列举日常生活中所消耗的能源，并指出哪些是可再生能源，哪些是不可再生能源。

2. 观察图 18–6，在查阅相关资料的基础上，描述可再生能源发电的发展趋势，并简要分析原因。



（a）2017—2021 年全球可再生能源发电量



（b）可再生能源和煤在全球发电量中的占比

图 18–6

二、核能　太阳能

核能

我们知道，原子是由原子核和核外电子构成的。原子核非常小，它的直径大约是原子直径的十万分之一。原子核又是由质子和中子构成的，中子不带电，质子带正电。许多带正电的质子拥挤在一个小小的原子核中，它们之间必定会产生很大的相互排斥的力，可为什么它们还能紧紧地结合在一起呢？这是因为，原子核内的各个粒子间存在的是一种很强的相互作用——核力。质子和中子正是依靠强大的核力紧紧地结合在一起的。当原子核的结构发生变化时，有时能释放出惊人的能量，原子核中所蕴含的这种能量被称为核能。

20 世纪初，科学家已经认识到原子核内蕴藏着巨大的能量。怎样才能让这些能量释放出来呢？科学家经过几十年的艰苦探索，终于找到了获取核能的途径。

科学家研究发现，铀原子核在中子的轰击下会分裂成两个质量大致相等的原子核。我们把这种质量较大的原子核分裂为两个或两个以上中等质量原子核的过程叫作裂变。铀原子核裂变时，除了释放大量能量，还会同时释放 2 ~ 3 个中子。这些中子又能使其他铀核裂变，从而释放出更多的中子，如图 18–7 所示。该过程自发地持续进行下去，会释放巨大的能量。目前的核电站就是根据这个原理利用核能的。

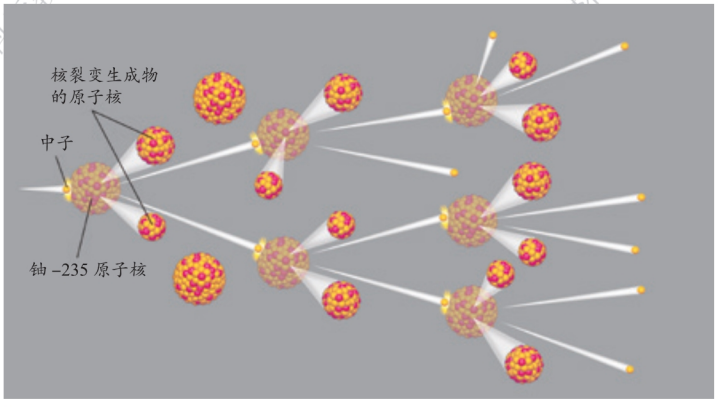


图 18–7　核裂变

此外，科学家还发现，在超高温和超高压的条件下，两个质量较轻的原子核，如氘核和氚核，会发生互相聚合，生成质量较大的氦核，同时释放出巨大的能量，这样的核反应过程称为聚变。太阳的能量就来自它内部的聚变。科学家正在努力研究可控聚变，力争使其成为未来的能量来源。

图 18–8 所示是我国科研人员研制的世界第一台全超导托卡马克核聚变实验装置——东方超环，有“人造太阳”之称。自建成运行以来，它已经取得了一系列领先国际的实验成果。

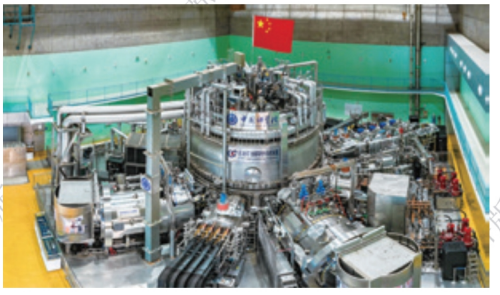


图 18–8　东方超环

核能是一种低碳能源，利用核能进行发电，具有清洁高效、能量密度高、单机容量大、占地规模小、不受季节和气候影响、发电稳定可靠且成本相对较低等优点。

核电站

为了安全、有效地利用裂变时所产生的能量，科学家研制成了核反应堆。核电站就是利用核反应堆提供的能量发电的。核电站主要由核反应堆、汽轮机和发电机等组成，如图 18–9 所示。

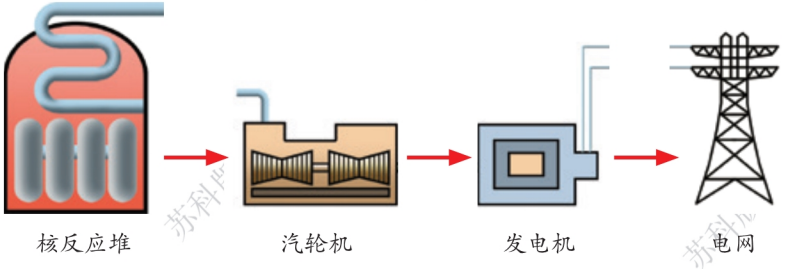


图 18–9　核电站的组成

在核反应堆中，通过裂变将核能转化为水的内能，高温高压的水蒸气推动汽轮机转动，进而带动发电机产生电能，最后通过电网将电能送到千家万户。

我国核电工业经过 50 多年的发展，实现了从无到有、从小到大、由大变强的历史跨越。2021 年 12 月 20 日，位于山东威海的石岛湾高温气冷堆核电站示范工程（图 18–10）首次并网发电成功，这是世界首个应用第四代核电技术建造的核电站，标志着我国从“核电大国”发展为“核电强国”。



图 18–10　石岛湾高温气冷堆核电站

活动 18.1 辩论：核电值得发展吗？

背景资料

20 世纪下半叶以来，核能应用技术的发展异常迅速，核能成为世界能源舞台上引人注目的角色。核电建设取得了巨大成就，但也发生了一些骇人听闻的事故。对于是否要把核电建设纳入国家能源发展之中，人们的看法并不一致。其中有两种对立的观点：

观点 1　核能利用存在的风险和危害极大，不值得提倡。持这种观点的人以历史上发生的核电站事故为依据，对核电站的安全性持怀疑态度。

观点 2　核能是安全、清洁、廉价的能源，它的风险是可以利用科学技术加以控制的。

请组成两个小组，各代表一种观点，展开辩论，其他同学对双方的辩论过程进行评价。

交流与小结

发展核电有哪些优点？存在哪些风险？我们该如何辩证地看待核电发展的问题？

国家工程　“两弹一星”工程

“两弹一星”是我国对核弹、导弹和人造卫星的简称。20 世纪 50 年代，鉴于当时严峻的国际形势，为了保卫国家安全、维护世界和平，我国政府果断作出了独立自主研制“两弹一星”的战略决策。

1960 年 11 月 5 日，我国第一枚导弹发射成功；1964 年 10 月 16 日，我国第一颗原子弹爆炸成功（图 18–11），使我国成为世界上第五个拥有核武器的国家；1970 年 4 月 24 日，我国第一颗人造地球卫星——“东方红一号”（图 18–12）发射成功，使我国成为世界上第五个能独立研制和发射人造卫星的国家。


人民日报 号外

1964年10月16日

加强国防建设的重大成就 对保卫世界和平的重大贡献

我国第一颗原子弹爆炸成功

我国政府发表声明，郑重建议召开世界各国首脑会议，讨论全面禁止和彻底销毁核武器问题。



图 18–11　我国第一颗原子弹爆炸成功



图 18–12　我国第一颗人造地球卫星——“东方红一号”

在“两弹一星”研制过程中，一大批优秀科技工作者隐姓埋名、默默奉献，甚至献出了宝贵生命。1999 年 9 月 18 日，党中央、国务院、中央军委决定，对当年为研制“两弹一星”作出突出贡献的 23 位科技专家予以表彰，并授予于敏、王大珩、王希季、朱光亚、孙家栋、任新民、吴自良、陈芳允、陈能宽、杨嘉墀、周光召、钱学森、屠守锷、黄纬禄、程开甲、彭桓武“两弹一星功勋奖章”，追授王淦昌、邓稼先、赵九章、姚桐斌、钱骥、钱三强、郭永怀“两弹一星功勋奖章”。

“两弹一星”是 20 世纪下半叶中华民族创造的辉煌伟业。科学家们所具有的惊人毅力和勇气，显示出中华民族在自力更生的基础上自立于世界民族之林的决心和能力。在他们身上所体现出的“热爱祖国、无私奉献、自力更生、艰苦奋斗、大力协同、勇于登攀”的“两弹一星”精神，成为激励我国科研工作者不断攀登科技高峰的强大精神动力。

太阳能

太阳很神奇也很神秘，自古以来，人们就对太阳充满着敬畏与好奇，如图 18–13 所示。太阳表面的温度约为 5 500 ℃，中心温度约为 1.6×10^7 ℃。太阳中蕴藏着无比巨大的能量。人类所使用的能源绝大部分直接或间接来自太阳。据估计，太阳每天向地球辐射的能量，相当于地球上蕴藏的所有化石燃料所具有的化学能的总和。同时，由于太阳能（solar energy）分布广阔、获取方便、不会造成环境污染，所以太阳能是人类未来的理想能源之一。



图 18–13　新石器时代原始先民在岩石上所刻的太阳

迄今为止，人类还无法直接探测太阳内部的情况，因此还有很多奥秘等待我们去探究。

活动 18.2　了解太阳能及其转化

收集资料

观察图 18–14，查阅相关资料，了解图中所示的风能、地热能、潮汐能、生物质能、核能等的情况及这些能源大致的形成过程。

讨论与交流

试就下列问题发表你的看法，并与同学交流。

1. 哪些能源来自太阳？

2. 哪些是可再生能源，哪些是不可再生能源？

3. 指出三种在应用时会产生污染的能源。

列举几种生活中常用的能源，并就这些能源从形成到被人类获取和应用的大致情况，说明其中涉及的能量转化过程。



图 18–14　地球上的能源

人们常说，太阳是地球的“能源之母”。从广义的角度看，太阳能不仅包括直接辐射到地球表面的太阳能，而且还包括由它转化形成的水能、风能、生物质能等。现在广泛开采并使用的石油、天然气和煤等化石能源也都来自太阳。可以说，地球上除核能、地热能和潮汐能以外，绝大部分能源都来自太阳，如图 18–15 所示。



图 18–15　地球上绝大部分能源来自太阳

太阳能的应用

我国地域广阔，大部分国土处于中低纬度，太阳辐射较强，太阳能资源非常丰富，太阳能已成为我国能源绿色低碳转型的重要组成部分。太阳能的利用一般有光热转换和光电转换两种方式。

图 18–16 所示是建立在戈壁滩上的敦煌 100 MW 熔盐塔式光热电站。发电站内 1.2 万多面定日镜，以同心圆状围绕着 260 m 高的吸热塔，通过系统控制追踪着太阳，把太阳光反射到吸热塔顶部，然后通过一系列的转换技术，将光能最终转化为电能输送至千家万户。该发电站由我国自主设计和建设，全部设备都采用计算机控制，是我国目前建成的规模最大、吸热塔最高、可 24 h 连续发电的 100 MW 熔盐塔式光热电站。



图 18–16　甘肃敦煌 100 MW 熔盐塔式光热电站

图 18–17 所示是建在黄河上游的青海塔拉滩地区的光伏发电园，占地面积约为 609 km^2。它是目前全球装机容量最大的光伏发电园区。



图 18–17　青海塔拉滩光伏发电园

实践与练习

1. 图 18–18 所示为甘肃敦煌 100 MW 熔盐塔式光热电站的工作原理图。计算机控制定日镜的反射方向，持续地将太阳光聚集在塔顶的吸热器上，加热其中的熔盐，使其温度升高。高温熔盐向下流入高温熔盐罐，热泵将它打入蒸汽发生器，与其中的冷水进行热交换，产生高温高压的水蒸气，水蒸气推动汽轮发电机发电。经过蒸汽发生器的熔盐，放出热量后回到低温熔盐罐。该发电站白天利用高温熔盐罐把多余的热量储存起来，夜晚再把储存的热量释放出来发电，可以实现 24 h 连续稳定的电力输出。从太阳光的光能到最终产生电能，请分析此过程中的能量转化情况。该发电站一天可发多少电？

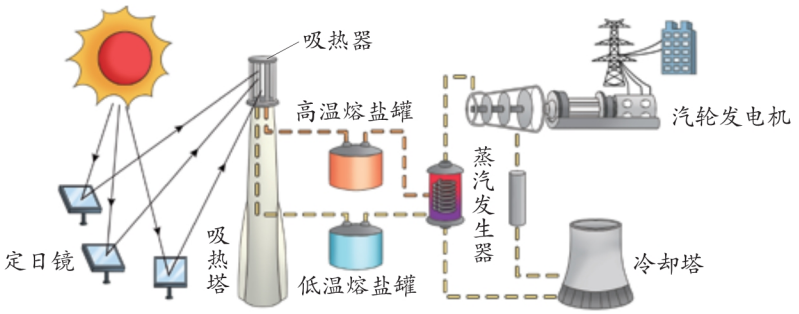


图 18–18

2. 图 18–19 所示是人们利用太阳能的三种方式。请查阅资料，了解通过这三种方式利用太阳能的现状和广泛利用太阳能所面临的问题和挑战，并与同学交流。

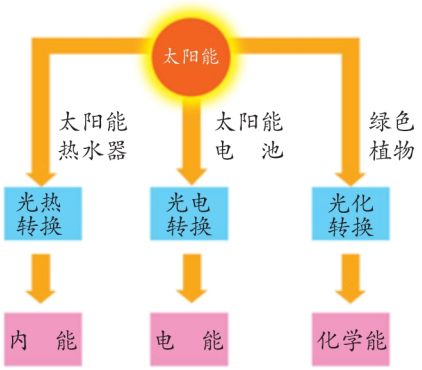


图 18–19

三、能量转化的基本规律

能量守恒定律

我们是在能量转化或转移过程中利用能量的。以电能的产生和利用为例：燃烧煤、石油或天然气对水加热，产生高温蒸汽，主要是化学能转化为蒸汽的内能；高温蒸汽推动发电机发电，主要是内能转化为机械能，再转化为电能；电动机带动机械运转，主要是电能转化为机械能。

历史上曾有人设想，如果能够设计出不需要消耗能量却能自动运转的机器该有多好！那样的话，所有的能源危机就不会发生了。这种想法能实现吗？

活动 18.3 探究乒乓球自动“上滚”的奥秘

做一做

用两支铅笔在桌面上搭成如图 18–20 所示的斜坡，将乒乓球放在斜坡的低端，松手后会看到乒乓球向斜坡顶端滚动。

议一议

上述现象是否说明乒乓球可以自动从低处滚向高处？



图 18–20 乒乓球自动“上滚”

量一量

分别测量乒乓球在斜坡低端和顶端时距离桌面的高度，你有什么发现？你能解释上述现象吗？

试一试

如果将两支铅笔平行放置搭成斜坡，重做上述实验，还会看到乒乓球自动“上滚”的现象吗？

测量后你会发现，看似向上滚动的乒乓球，它的重心仍然是下降的，即它的重力势能减小，转化为乒乓球的动能，在这一过程中乒乓球的机械能并没有增加。

生活中大量事实表明，某一能量的增加必然伴随着其他能量的减少。历史上不少人都想设计不消耗能量，却能永远运动并对外做功的“永动机”，但无一例外均以失败告终。

科学家经过长时间的探索终于发现：任何一种形式的能量在转化成其他形式能量的过程中，总量保持不变。也就是说，**能量既不会凭空产生，也不会凭空消失，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，在转化或转移的过程中，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 19 世纪自然科学的三大发现之一，也是自然界最普遍、最重要的基本规律之一，恩格斯把它称作“伟大的运动基本定律”。自然界的一切变化过程，小到微观粒子，大到宇宙天体，只要有能量的变化，都无一例外地严格遵循能量守恒定律。

读一读　能量守恒定律是如何建立的

18 世纪末到 19 世纪初，随着对动力学研究的深入，人们已经初步形成了机械能转化和守恒的思想。同时，各种自然现象之间的联系相继被发现。摩擦生热实验把“热”和“功”，即物体内能的变化与机械运动联系起来；伏打电池发明后不久，电流的热效应、磁效应相继被发现；生物学领域证明了动物维持体温和生理活动的能量跟它所摄取食物的化学能有关。自然科学的这些成就，为建立能量守恒定律奠定了必要的基础。

19 世纪中叶，德国医生迈尔从生理学的角度对能量进行了研究，最先阐述了能量转化和守恒的思想。英国物理学家焦耳在 30 多年的时间里，做了 400 多次实验，测定了热和功之间的当量关系（图 18–21），为能量守恒定律的确立奠定了

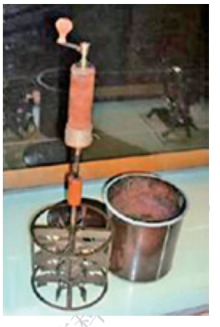


图 18–21　焦耳测量热功当量数据所用的实验装置

坚实的实验基础。德国学者亥姆霍兹最早在论文里对能量守恒定律作出了清晰、全面的论述。还有一批科学家，彼此独立地进行研究，从不同角度互相印证了这一伟大的定律。因此，能量守恒定律的建立是自然科学发展的必然结果，是对客观世界本质和规律的认识。

能量转移和转化的方向性



观察以下日常生活中经常发生的现象：

如图 18–22 所示，瀑布飞流而下，这是因为自然状态下水总是从高处流向低处。如图 18–23 所示，热水中的冰块逐渐熔化，这是因为自然状态下热量总是从高温物体传递到低温物体。



图 18–22　瀑布飞流而下



图 18–23　热水中的冰块逐渐熔化

想一想，以下情况会发生吗？

房间里充满空气。突然，这些空气自行聚拢到某一个角落，如图 18–24 所示。

一杯水的内能自发集中到这杯水的上层，使上面的水剧烈地沸腾，而下面的水却结成了冰，如图 18–25 所示。

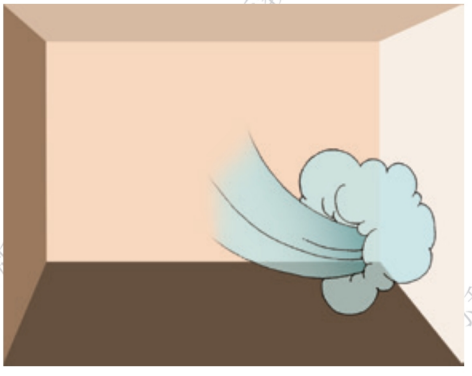


图 18–24 房间的空气会自行聚拢吗



图 18–25 上面的水自发地沸腾、下面的水自发地结冰，可能吗

这两幅图所示的情况并不违反能量守恒定律，但不可能发生，这是为什么呢？原来，自然界中自发的过程都是有方向的，或者说能量的转化和转移是有方向的。

例如，电能可以使电灯发光，同时产生内能散失到空气中，但这些内能却无法自动地转化为电能。又如，在汽车制动过程中，它的动能转化为地面、轮胎、空气的内能，这些内能同样无法自动地转化为机械能再用来驱动汽车。

我们是在能量转化或转移过程中利用能量的，而在这个过程中，总会有一部分能量转化成内能散失到周围的环境中，无法自动转化为其他形式的能量，因而不能再利用。也就是说，经转化后，可利用的能量只会减少。因此，节约能源并且更有效地利用能源是人类迫切需要解决的重要问题。

能量守恒定律以及能量转移和转化的方向性原理，将我们对自然界各

种现象和各个学科领域的认识联系起来，是人类从事生产活动和社会活动所必须遵守的基本准则之一。

实践与练习

1. 人类发明和制造的一些机械设备可以看作是一种能量转换器。按照这种观点，分别说出蒸汽机、发电机和电动机的能量转化过程。

2. 小华在做如图 18–26 所示的滚摆实验时，发现滚摆每次上升的高度逐渐减小。小华想：“这是否说明在动能与重力势能相互转化的过程中，整个装置的能量不守恒呢？这不是与能量守恒定律相矛盾吗？”请你帮小华解决她的困惑。

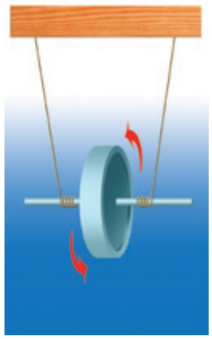


图 18–26

3. 有人设计了如图 18–27 所示的“永动机”：在距地面一定高度处架设一个水槽，水从槽底的管中流出冲击水轮机，水轮机的轴上安装有一个抽水机和一个砂轮。他希望抽水机把下面水槽里的水抽上去，这样循环不已，机器不停地运转，就可以永久地用砂轮磨制工件了。

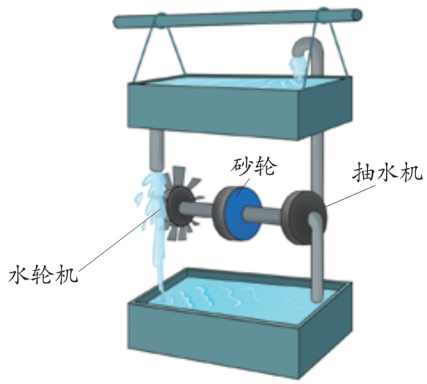


图 18–27

请分析高处水槽中水的势能转化成了哪几种形式的能量？这个机器是否永远运转下去？

四、能源与可持续发展

能量转化的效率

我们在学习“简单机械”一章时，知道了机械效率。在利用动滑轮提升重物的过程中，从能量转化的角度来看，输入的能量来源于人体的化学能，它等于手拉绳所做的功，输出的能量是重物及滑轮被提升后获得的机械能和此过程中因摩擦而产生的内能，如图 18–28 所示。

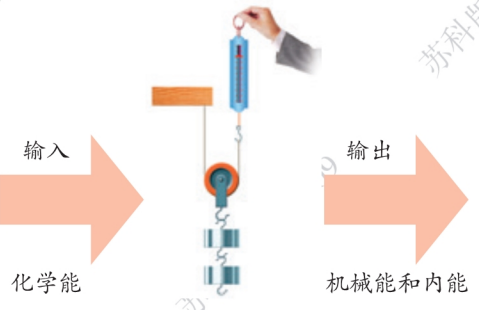


图 18–28 用动滑轮提升重物

再如，小轿车是利用热机做功的机械，输入的能量是燃油的化学能，输出的能量是小轿车的动能、声能和内能等。它们的转化关系如图 18–29 所示。

对于各类用电器如节能灯，在使用过程中输入的是电能，输出的是光能和内能，它们的转化关系如图 18–30 所示。



图 18–29 某小轿车正常工作时的能量转化情况

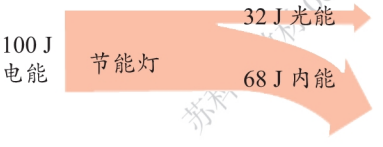


图 18–30 某节能灯正常工作时的能量转化情况

大量事实表明，任何机械或装置都可看成是能量转换器，输入的能量只有一部分转化为有用的能量，还有一部分在转化过程中损失掉了。例如，机械因摩擦而生热，内燃机做功必然要散热，用电器因存在电阻而发热。因此，能量转化的过程存在效率问题。由于转化过程中能量损失不可避免，所以任何机械或装置的能量转换效率都不可能达到 100%。

通常，能量转换装置的效率可用下式计算：

$$\text{效率}=\frac{\text{输出的有用能量}}{\text{输入的总能量}}\times 100\%$$

若用字母表示，则上式可写为 $\eta=\frac{E_{\text{有用输出}}}{E_{\text{总输入}}}\times 100\%$ 。

图 18–29 所示的小轿车正常工作时的效率

$$\eta=\frac{300\ \mathrm{J}}{2\ 000\ \mathrm{J}}\times 100\ \%=15\ \%$$

对于图 18–30 所示的节能灯正常工作时的效率

$$\eta=\frac{32\ \mathrm{J}}{100\ \mathrm{J}}\times 100\ \%=32\ \%$$

可见，是一盏 100 W 的这种节能灯正常工作，1 s 产生的光能约为 32 J，而过去使用的白炽灯效率只有 10 % 左右，即相同功率的白炽灯 1 s 产生的光能只有约 10 J，其他的电能都转化成了内能。正因为如此，如今白炽灯已经逐渐被各类节能灯所取代。

随着科学技术的发展，各种机械或装置在工作过程中的能量转换效率在不断提高。下表列出了各类热机的效率：由蒸汽机发展到喷气发动机，能量利用效率从 6 % 提高到 60 % 左右。如今，各类汽油机、柴油机的效率与以往相比都有了一定幅度的提升，混合动力汽车发动机的效率最高，超出了 40 %，但是，和电动汽车中的电动机相比仍是相形见绌，电动汽车的电动机将电能转化为动能的效率高得多。可见，能源利用效率的提高离不开科学技术的进步。

热机的效率

种　类	效　率
蒸汽机	6 % ~ 15 %
汽油机	20 % ~ 30 %
柴油机	30 % ~ 45 %
喷气发动机	50 % ~ 60 %

能源与可持续发展

从人类社会发展的进程看，每次能源变革都无一例外地把人类社会推向一个新的发展阶段。能源为人类文明发展作出了重大贡献，给人类带来了无限欣喜。但是，当前能源的开发与利用问题也使人类产生了深深的忧虑与困惑。

从 19 世纪开始，随着化石能源的使用，大气中二氧化碳等温室气体浓度不断增加，导致地球气温升高、全球变暖。联合国政府间气候变化专门委员会预测，到 2100 年，全球平均气温将比工业化前上升 1.5 ~ 4.8 ℃。若气温上升 2 ℃，则极地冰川和冰层熔化（图 18–31），导致海平面上升，将会淹没全球大批沿海城市，对



图 18–31　地球气候变暖导致冰川加速熔化

数以亿计的居民造成威胁。此外，气候变化还会造成生物多样性下降、水资源短缺等严重问题。

2015 年，在各国的共同努力下，第 21 届联合国气候变化大会通过了《巴黎协定》，首次提出让所有国家共同致力于实现以下目标：将全球平均气温控制在较工业化前水平上升 2 ℃以内，并努力将温度上升幅度控制在 1.5 ℃以内。2020 年 9 月，我国在第 75 届联合国大会上发言，将力争于 2030 年前实现“碳达峰”，争取在 2060 年前实现“碳中和”。

信息快递

“碳达峰”是指二氧化碳年排放的总量在某一个时期达到历史最高值，之后逐步降低。

“碳中和”是指在一定时期内，通过植树造林、节能减排等方式抵消人为产生的二氧化碳。

要实现碳排放持续大幅下降，一方面要优化能源结构，加快发展太阳能、水能、风能等清洁能源；另一方面要大力提倡低碳消费，落实节能举措，降低能耗。让我们从力所能及的小事和身边的一点一滴做起，积极践行“绿水青山就是金山银山”的发展理念，实现社会可持续发展，共创人类美好未来。

实践与练习

1. 未来的理想能源，应该是来源丰富、可再生、洁净安全、获取方便且经济的。试比较各种能源的特点。你认为，哪些能源将成为人类优先开发和利用的能源？哪些能源有望成为未来促进人类社会可持续发展的主体能源？

2. 三峡水电站是世界上规模最大的水力发电站，它 2020 年全年累计生产清洁电能 1.118×10^{11} kW·h。该发电量相当于一个每年消耗 3.44×10^{10} kg 标准煤的火力发电站的年发电量。

（1）已知标准煤的热值为 2.9×10^{7} J / kg，则 3.44×10^{10} kg 标准煤完全燃烧会放出多少热量？

（2）向大气中排放过量的二氧化碳等气体，是造成“温室效应”的主要原因。三峡水电站建成以来，累计发电超过 1.6×10^{12} kW · h，至少减少排放二氧化碳 1.32×10^{12} kg。已知在通常情况下，二氧化碳气体的密度为 1.98 kg / m^3，这些二氧化碳气体的体积约为多大？

（3）根据上述资料计算火力发电站的效率。

3. 燃油小轿车的能量来自燃油燃烧释放的化学能，小轿车消耗的化学能除了转化为动能，还通过哪些途径转化为其他哪些形式的能量？哪些能量是有用的？哪些物质会对环境产生不利影响？

跨学科实践　家庭能耗调查与节能环保小屋制作

我们的生活离不开能源。全社会每天消耗的能源是巨大的，它不仅对环境产生影响，也与社会的可持续发展密切相关。本跨学科实践活动的任务是，通过家庭能耗调查，了解家庭能源的使用情况，发现生活中存在的能源浪费问题及发生原因，从而提出改进措施；据此，考虑未来的理想家居建设，尝试设计并制作节能环保小屋模型。

任务与要求

1. 调查家庭能耗状况及影响因素，提出家庭节能的措施或设想。

观察目前家庭所用能源的种类。向父母咨询，了解家庭所用能源的历史变迁及其原因。

观察家中空调、电冰箱、热水器、厨具等设备的能耗参数（如用电器的电功率、能效等级等），估计各设备每月使用时长并估算消耗能量的多少，列出家庭中能耗较大的设备。观察家居房屋的保温隔热性能和采光、通风等情况，了解影响能耗的因素。结合自己和其他同学关于家庭能耗的调查，有针对性地提出家庭节能的措施或设想。

2. 参考图 18–32，设计并制作节能环保小屋模型。



图 18–32　节能环保小屋模型

从小屋的环境、照明、供热、新能源使用、实用性、节约成本等多方面综合考虑，开展节能环保小屋模型的设计与制作。

（1）设计采光通风系统：根据小屋所在地的日照、风向等情况，设计小屋的朝向、屋檐的挑出宽度、窗与门的位置及尺寸大小，以最大限度地利用自然光和实现自然通风。

（2）设计照明与新能源供电系统：根据小屋内部以及周边的照明需求，选择适合功率的 LED 节能灯和 LED 声光控节能灯，并设计照明电路。结合小屋的其他功能确定小屋用电的总电功率，设计小屋的供电装置和供电电路。

（3）设计热水供应和供暖系统：根据小屋的热水使用量和供暖需求，设计太阳能热水器模型的容量、尺寸以及供暖管道的铺设路径等。

（4）设计储能系统：根据用电需求，利用小屋外表或周边环境，通过光伏、风力发电自备供电系统，力求自给自足。评估小屋所在地连续阴雨天和夜晚照明所需的电能，选择合适的蓄电装置并设计充电电路，以便将供电系统输出的多余电能储存起来以备不时之需。

（5）选择合适制作材料：从材料的硬度、密度、隔热性、价格等方面进行比较和分析，选择合适的材料制作节能环保小屋模型。

交流与评价

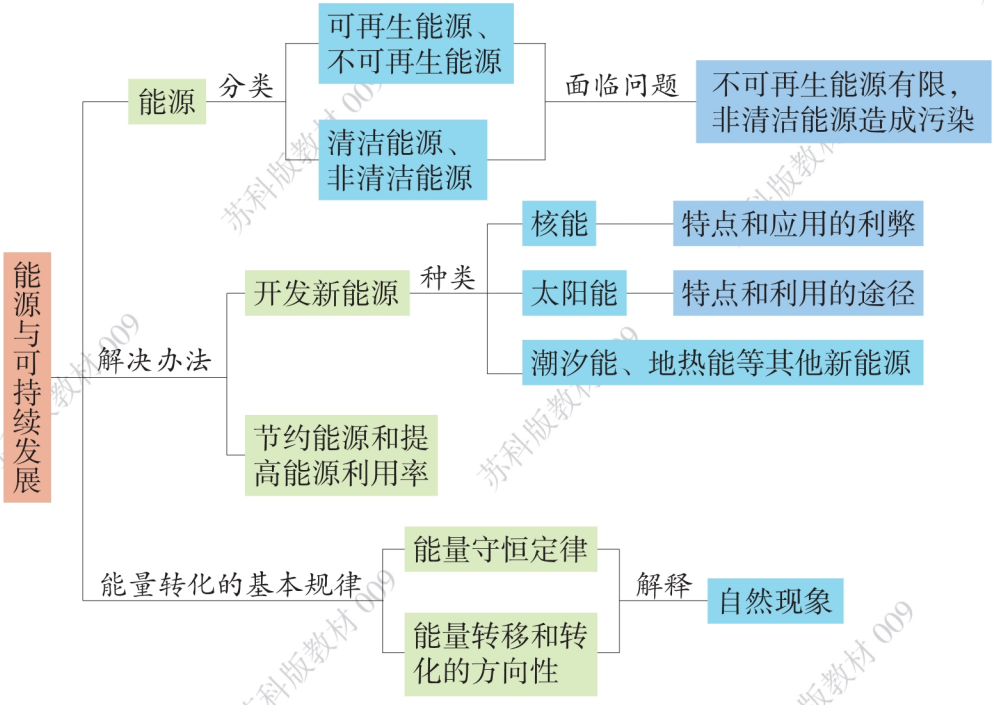
1. 交流调查研究报告，展示制作的模型并交流设计和制作的心得和体会。

2. 从调查过程、报告内容的全面性、措施和设想的可行性、创新性，节能环保小屋模型制作的结构合理性、工艺水平和节能环保效果等方面进行评价。

3. 回顾在调查、设计和制作的过程中，涉及了哪些学科的知识和技能，并尝试进一步研究，从这些方面对小屋模型加以改进。

素养进阶

内容梳理



反思提升

1. 能量守恒意味着能量不会消失，可为什么还会出现能源危机？

2. 家庭生活消耗的电能，可能是由其他某种能源转化而来的（考虑多种可能性），而这些能源又是从何而来的？试着追根溯源，画出能源转化关系图。你有何发现？

3. 查阅相关资料，并结合本章第三节的“读一读”，详细了解能量守恒定律的建立过程。说说你对“科学原理是如何发现的”这一问题的认识。

4. 试以“开发新能源与节约能源哪个更重要”为主题，发表自己的观点并与同学交流。

问题解决

1. 如果你的家乡要建一座发电站，你认为选择哪一种类型（如水力发电、火力发电、核能发电、太阳能发电、沼气发电等）的发电站比较好？理由是什么？

2. 如图 18–33 所示，在桌面上放一杯水取一根棉线，使其一端浸在水中，另一端垂在杯外。试一试：杯外的棉线端高于还是低于杯中水面时，水会沿棉线滴出？请从能量守恒的角度解释此现象。

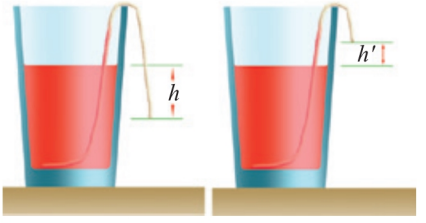


图 18–33

3. 查阅资料，了解不同国家的能耗水平。富裕国家的能耗是否更高？简要分析原因。上网查阅《新时代的中国能源发展》白皮书，就我国能源发展提出合理化建议。

4. 下表记录了某同学的一些生活习惯和活动。为节能减排，你认为他的生活习惯和活动可以做哪些改变？与同学交流，看看谁的建议最多、谁的建议最有价值。

生活习惯和活动	节能减排的方法	理　由
每周泡两次热水澡	用快速淋浴代替泡澡	减少热水的使用，可以节约水资源、降低能源的消耗
妈妈每天开车送他上学		
每天定时开空调，并将温度设定在 20 ℃，起床时很舒适		
整夜开着卫生间的灯		
购物时，每次都使用一次性塑料袋		

附　录

常用物理量及其单位

物理量		单位		备注
名称	符号	名称	符号	
功 热量	W Q	焦耳（焦）	J	1 J = 1 N·m
功率	P	瓦特（瓦） 毫瓦 千瓦	W mW kW	1 W = 1 J / s 1 mW = 10^{-3} W 1 kW = 10^{3} W
热值	q	焦 / 千克	J/kg	
电流强度	I	安培（安） 毫安 微安	A mA μA	 1 mA = 10^{-3} A 1 μA = 10^{-6} A
电压	U	伏特（伏） 毫伏 千伏	V mV kV	 1 mV = 10^{-3} V 1 kV = 10^{3} V
电阻	R	欧姆（欧） 千欧 兆欧	Ω kΩ MΩ	 1 kΩ = 10^{3} Ω 1 MΩ = 10^{6} Ω
电功	W	焦耳（焦） 千瓦时	J kW·h	1 kW·h = 3.6 × 10^{6} J

物理学名词中英文索引

词　汇	英文对照	页　码
B		
不可再生能源	non–renewable energy	87
C		
磁场	magnetic field	31
磁感线	magnetic induction line	32
磁体	magnet	30
D		
地磁场	geomagnetic field	33
电磁波	electromagnetic wave	70
电磁波谱	electromagnetic wave spectrum	72
电磁感应	electromagnetic induction	50
电动机	motor	42
电功率	electric power	6
电能	electric energy	2
E		
额定功率	rated power	7
F		
发电机	generator	52
G		
感应电流	induction current	50
光导纤维	optical fiber	78
H		
核能	nuclear energy	87
J		
焦耳定律	Joule’s law	14
交变电流	alternating current	54
K		
可再生能源	renewable energy	87
L		
螺线管	solenoid	37

续 表

词 汇	英文对照	页 码
N		
能量守恒定律	law of conservation of energy	99
T		
太阳能	solar energy	94