

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

初级中学教科书 物理 第二册



第一章 机械能

1. 什么是机械能？
 什么是动能？
 什么是势能？
2. 怎样利用水能和风能？

一、动能和势能

在物理学中,能量这个概念跟前面学过的功的概念是有密切联系的.一个物体能够做功,我们就说它具有能量.一个物体能够做的功越多,表示这个物体的能量越大.打个比方,这就好像一家企业对外能够支付得越多,表示这家企业的资金越雄厚一样.

动能 风吹着帆船航行,空气对帆船做了功;急流的河水把石头冲走,水对石头做了功;运动着的钢球打在木块上,把木块推走,钢球对木块做了功.流动的空气和水,运动的钢球,它们能够做功,它们都具有能量.空气、水、钢球是由于运动而能够做功的,它们具有的能量叫做动能.一切运动的物体都具有动能.

动能的大小跟哪些因素有关呢?

实验 如图 1—1 所示,让钢球从斜面上滚下,打到一个小木块上,推动木块做功.让同一个钢球从不同高度滚下,看哪次木块被推得远.换用质量不同的钢球,让它们从同一高度滚下,看哪个钢球把木块推得远.

同一个钢球,原来的位置越高,滚到斜面下端时速度越大,把木块推得越远.在滚下速度相同时,钢球的质量越大,把木块推得越远.

实验结果表明,钢球的质量越大,它运动的速度越大,把木块推得越远,对木块做的功越多,表示钢球的动能越大.因此,运动物体的速度越大,质量越大,动能就越大.

势能 人们在打桩时,先把重锤高高举起,重锤落下就能把木桩打入地里(图 1—2).重锤是由于被举高而能够做功的,举高的物体具有的能量叫重力势能.物体的质量越大,举得越高,它具有的重力势能就越大.

图 1—2 被举高的重锤具有重力势能.重锤的质量越大,被举得越高,下落时做的功越多,表示重锤的重力势能越大.

射箭运动员把弓拉弯,放手后被拉弯的弓能把箭射出去(图 1—3).被压缩的弹簧在放松后能把压在上方的砝码举起(图 1—4).弓和弹簧都是由于发生弹性形变而能够做功的,发生弹性形变的物体具有的能量叫弹性势能.物体的弹性形变越大,它具有的弹性势能就越大.

机械能 动能和势能统称为机械能.一个物体可以既有动能,又有势能,例如,飞行中的飞机因为它在运动而具有动能,又因为它在高空而具有重力势能,把这两种能量加在一起,就得到它的总机械能.机械能是最常见的一种形式的能量.

前面说过,一个物体能够做的功越多,表示这个物体的能量越大,因此,能量的大小可以用做功的多少来衡量.动能、势能或机械能的单位跟功的单位相同,也是焦耳.例如我们说在空中飞行的一个球的重力势能是 5 焦,动能是 4 焦,球的机械能则为 9 焦.

想想议议 举起的重锤落下时能把木桩打入地里,举高的重锤具有重力势能.高山上有一块大石头,稳稳地在那里,它有没有重力势能?说一说你的看法.

物体受到外力作用而发生的形状变化,叫做形变.如果外力撤消,物体能恢复原状,这种形变叫做弹性形变.

练习

1. 有两个质量不同的物体处于同一高度，哪一个物体的重力势能大？如果想使这两个物体重力势能相等，可以采取哪些方法？

2. 一个玩具皮球在空中运动，机械能为 35 焦，动能是 17 焦，重力势能是多大？

二、动能和势能的转化

实验 1 把一个滚摆悬挂在框架上，如图 1—5 所示。用手捻动滚摆使悬线缠在轴上，滚摆升高到最高点。放开手，观察滚摆的运动，并思考它的动能和势能的变化。

滚摆可以看到，滚摆旋转着下降，越转越快。到最低点时，滚摆转而上升，上升中它越转越慢，直到差不多回到原来的位置。然后它又下降、上升，重复原来的运动。

滚摆的动能和势能有什么变化呢？滚摆下降时，它的重力势能越来越小，动能越来越大，重力势能转化为动能。滚摆上升时，它的动能越来越小，重力势能越来越大，动能转化为重力势能。

实验 2 如图 1—6 所示，把一个金属小球用细线悬挂起来，把小球拉到一定高度，然后放开，观察小球的运动情况，说明小球在运动过程中动能与重力势能之间的转化。

实验表明，动能和重力势能是可以相互转化的。

实验 3 让木球从斜槽滚入水平槽（图 1—7）。在水平槽里竖立一个弹簧片，它的下端固定。观察木球与弹簧片碰撞的过程，并思考这个过程中能的转化。

木球接触弹簧片后把弹簧片压弯（图 1—7 甲 乙），木球的动能减小，弹簧片的弹性势能增加，在这个过程中动能转化为弹性势能。紧接着，弹簧片恢复原状，把木球弹回（图 1—7 乙 丙），在这个过程中弹性势能转化为动能。

可见，动能和弹性势能也是可以相互转化的。

动能和势能相互转化的事例很多。人造卫星绕地球沿椭圆轨道运行，它的位置有时离地球中心较近，有时离地球中心较远（图 1—8）。离地球中心最近的一点叫近地点，这里卫星的势能最小；离地球中心最远的一点叫远地点，这里卫星的势能最大。卫星从远地点向近地点运动时，势能减小，动能增大，速度越来越大；反之，从近地点向远地点运动时，势能增大，动能减小，速度越来越小。卫星在运行过程中，也发生动能和势能的相互转化。

想想议议 想想议议皮球从手中落到地上，又弹跳起来。你能说出这一过程中能量的转化吗？建议你先给皮球表面涂上黑颜色再让它落地。皮球在落地处留下了黑色圆斑，这表示发生了什么现象？

三、水能和风能的利用

在地球上，海水朝夕涨落，江河日夜奔流；有时微风拂面，有时狂风劲吹。从能量的角度来看，自然界的流水和风都是具有大量机械能的天然资源，是可以用来为人类服务的。

水能的利用 早在一千九百多年前，我们的祖先就制造了木制的水轮，让流水冲击水轮转动，用来汲水、磨粉、碾谷。图 1—9 所示的，就是古老的水磨。这类水轮机的功率不大。

随着生产规模的扩大，社会上越来越需要强大的动力机，这种需要推动了科学技术的发展。到 18 世纪，人们已造出大功率的水轮机，供纺织厂、冶金厂等使用，但是工厂必须建造在河流旁。

自从掌握了电的知识以后，到 19 世纪人类就会用水轮机带动发电机发电，再把电送到工厂中去。这样，工厂就可以建在更为合适的地方，不必一定要建在河边了。

随着科学技术的不断发展，人们已能制造越来越大、越来越好的水轮机。图 1—10 是现代的轴流式水轮机的叶轮。现代的大型水轮机不但功率大，可达几十万千瓦，而且效率高，可达 90% 以上。

要想让水轮机产生很大的功率，单位时间内流入水轮机的水要具有较大的能量。为此，可以修筑拦河坝，来提高坝前的上游水位，而在下游一侧坝的下方安装水轮机。水位提的越高，水的重力势能越大，单位时间内流入水轮机的水具有的能量就越大，转化成水轮机的动能就越大，即水轮机的功率越大。现代大型水电站的拦河坝修得很高，甚至超过 300 米，图 1—11 表示水轮机安装在水电站中的情形。发电机装在水轮机的上面，它们的轴连接在一起。

海水的潮汐也具有巨大的能量。近年来，人们在潮汐发电上的研究已经取得成功。我国海岸线长达 18 000 千米，沿海省份已经建成一些中小型潮汐电站（图 1—12）。

我国有较大的河流 1500 多条，水能蕴藏量达 6.8 亿千瓦，其中可以开发利用的有 3.8 亿千瓦，居世界第一位。建国以来，我们在水能利用上已取得了很大成绩，在黄河上，已在龙羊峡、刘家峡、盐锅峡、八盘峡、青铜峡、天桥、三门峡等地修建了大型水电站，总发电能力达 356 万千瓦。在长江干流已建成葛洲坝水电站，发电能力为 271.5 万千瓦。在西南各省水源丰富的地方，还建立了许多中小型水电站。有些地区还建设了蓄能电站，用电低谷时，利用富裕的电能把水从低水位抽到高水位，到用电高峰时再放水发电。截至 1993 年底，我国已建成的水电站的总功率已达 4459 万千瓦。这些水电站已成为我国能源开发的重要组成部分。正在开发建设中的广西红水河水电站总装机容量可达 1232 万千瓦。即将建设的三峡水电站总装机容量 1820 万千瓦，年发电量 847 亿千瓦时以上。

我国还有许多水能资源有待开发，这正需要我们青年一代继续努力。（本书封底为丹江口水电站）风能的利用

我国早在两千多年前就开始利用风来驱动帆船航行，至少在一千七百

“千瓦时”是能量的单位，也就是平常所说的用了几度电的“度”， $1 \text{度} = 1 \text{千瓦时} = 3.6 \times 10^6 \text{焦耳}$ 。这将在第九章中学到。

多年前已开始利用风来推动风车做功。风能利用起来比较简单，而且不会污染环境。但是风能不稳定，也不便于储存。我国在沿海岛屿和草原牧区有较丰富的风能，在这些地方可利用风力发动机做一些允许间断的工作（图1—13）。

利用风力也可发电。单个风力发电机的输出功率较小，在风力资源丰富的地区，可同时安装几十台到几百台风力发电机，联在一起供电（参见彩图1）。

参观调查

1. 调查你们的家乡有没有可利用的水能或风能的资源。
2. 如果附近有小型水电站，去参观一下，了解水位有多高，水的流量（即每秒钟流过水轮机的水的体积）有多大，发电机的功率有多大。

阅读材料 我国小水电资源的开发和利用

根据《人民日报》报道，我国多年来大力开发丰富的小水电资源，兴建电站和地方电网，较好地解决了国家大电网覆盖不到的偏远地区的用电问题。目前全国已有半数以上的县（全国总共有 1900 多个县）开发利用了当地小水电资源，其中 800 多个县形成了以小水电为主体的供电区。

据普查，我国可供开发的小水电资源为 7600 万千瓦，如果全部利用，其发电能力大约相当于 20 多座葛洲坝水电站。到 1989 年底，全国已建成小水电站 6 万多座，总装机容量达 1237 万千瓦，年发电量 343 亿千瓦时，占全国农业用电量的 1/3 以上。

为了提高已建成的县级供电区的用电水准，国家决定从 1983 年开始有计划地分批兴建初级农村电气化试点县。首批列入计划的 100 个试点县，到 1989 年 1 月，已有 88 个通过国家验收。现在这些县每年人均用电量已由过去的不足 100 千瓦时，上升为 200 千瓦时以上，用上电的农户已超过 90%。

当前小水电供电区也存在一些问题，如供电质量低（电压不稳、间断供电等）。为了改变这种状况，许多地区在发展小水电的同时，集中资金和物力，开始建设一批中型水电站为电网内的骨干电源。国家初步规划在本世纪内在小水电供电区建成 100 座中型电站，装机容量 400 万千瓦，这批水电站的建成对提高地方电网的供电能力、供电质量将起重要作用。

习 题

- 除了课文中讲过的，再分别举出物体具有动能或势能的三个实例。
- 说明下列各物体具有什么形式的机械能：
 - （1）在海上行驶的轮船；
 - （2）高空中云彩里的小冰粒；
 - （3）空中飞行的子弹；
 - （4）拉长的弹弓橡皮条。
- 把废钟表或废玩具里的发条拆下来，看看它是怎样工作的。为什么发条拧得紧些钟表或玩具走的时间就长些？
- 说明下列过程中机械能的转化：
 - （1）雪橇从山坡上滑下；
 - （2）炮弹从炮口斜向上射出，又落到远处地上；
 - （3）玩具弹簧枪将“子弹”射出去；
 - （4）小孩坐在秋千上，在妈妈推了一次以后，自己荡着。
- 你骑自行车时，在上坡前往往要加紧蹬几下，加大速度。从能的转化来说明这样做的好处。
- 弹簧门在推开以后能自己关闭（图 1—14）。从能的转化来说明这一现象。
- 你看见过杂技里的绷床表演吗？演员从高处跳下落在绷床上，又被弹起（图 1—15）。说明在这个过程中能的转化。

学 到 了 什 么

请填写以下空格：

机械能	动能	
	重力势能	
	弹性势能	

动能和势能相互转化的实例：

- 1 .
- 2 .
- 3 .

自然界可供人类利用的机械能源有_____和_____ .

第二章 分子运动论 内能

1. 什么是分子运动论？
2. 什么是内能？怎样改变物体的内能？
3. 能量在转化中遵守什么规律？

我们已经学过一些热现象，热现象的本质是什么呢？

在 17 世纪和 18 世纪期间，人们开始认识到热现象是由物质内部大量微粒的运动引起的，后来发展成为一种科学的理论——分子运动论。19 世纪在物理学中建立了能量的概念，人们逐渐认识到与热现象相联系的能量形式——内能，并且与分子运动论联系起来，确定内能就是物体中大量分子具有的能量。

用分子运动论和内能的观点可以解释很多热现象，这一章我们就介绍分子运动论和内能的初步知识。

一、分子运动论的初步知识

分子和分子的运动 物质是由分子组成的。一个分子有多大？如果把分子看作球形的，那么一般的分子的直径只有百亿分之几米，也就是说，分子的直径是以 10^{-10} 米来量度的。由于分子很小，物体里含有的分子数通常是很多的。例如，在通常的温度和压强下，1 厘米³ 的空气里大约有 2.7×10^{19} 个分子。现代大型计算机每秒可计算 100 亿 (10^{10}) 次，如果人数数的速度也能达到每秒数 100 亿个，要把 1 厘米³ 空气中的分子一个个数完，需要用 80 多年呢！

实验 把一个装有空气的瓶子倒着放在装有密度较大的红棕色二氧化氮气体的瓶子上，使两瓶口相对，两瓶口之间原来用一块玻璃板隔开(图 2—1)。抽掉玻璃板后，观察有什么变化。

可以看到，二氧化氮虽然密度比空气大，却能运动到上面的瓶子里，同时，上面瓶子里的空气也能运动到下面的瓶子里，结果两瓶气体混合在一起，颜色变得均匀。这表明气体的分子在不停地运动着。像这样，不同的物质在互相接触时，彼此进入对方的现象，叫做扩散(图 2—2)。

扩散现象也可以发生在液体之间，但比气体慢得多。在量筒里装一半清水，用长颈漏斗小心地将硫酸铜溶液注入水的下面，由于硫酸铜溶液的密度比水大，会沉在量筒的下部，可以看到无色的清水与蓝色的硫酸铜溶液之间有明显的界面(图 2—3)。静放几天后，界面逐渐模糊不清了(参见彩图 2)。这表明液体分子也在不停地运动。

固体之间也会发生扩散现象。把磨得很光的铅片和金片紧压在一起，在室温下放置 5 年后再将它们分开，可以看到它们互相渗入约 1 毫米深。可见，固体分子也在不停地运动。

大量实验事实表明，一切物体的分子都在不停地做无规则的运动。

分子间的作用力 物体中的分子可以互相进入对方，说明物体的分子不是紧密地挤在一起，而是彼此间存在着间隙。液体分子间有间隙，固体分子间也有间隙，那么，液体和固体中的分子为什么不会飞散开，而聚合在一起保持一定的体积呢？这是因为分子之间存在着引力的缘故。把两块表面干净的铅压紧，由于分子之间有引力，两块铅就结合在一起，甚至下面吊一个重物都不能把它们拉开(图 2—4)。

既然分子之间有间隙，为什么压缩固体和液体很困难呢？这是因为分子之间还存在斥力的缘故。由于斥力的存在，使分子已经离得很近的固体和液体很难进一步被压缩。

分子之间既有引力又有斥力，两种力是否总会互相抵消呢？不会。只有分子间相距为某一距离 r 时，引力才等于斥力。 r 的大小通常为百亿分之几米，也就是以 10^{-10} 米来量度的。当分子间的距离小于 r 时，斥力起主要作用；当分子间的距离大于 r 时，引力起主要作用。引力和斥力都随距离的增大而减小，斥力减小得更快。当分子间的距离大于分子直径的 10 倍时，分子间的作用力就变得十分微弱，可以忽略了。

练习

1. 什么是扩散现象？扩散现象可以说明什么？
2. 分子间既有_____力，又有_____力。当分子间的距离小于某一距离 r 时，_____力起主要作用；当分子间的距离大于 r 时，_____力起

主要作用 .

*二、气体、液体和固体的内部结构

气体既没有一定的体积，又没有一定的形状。液体有一定的体积，但没有一定的形状。固体既有一定的体积，又有一定的形状。气体、液体和固体的这种区别，可以用它们的内部结构的不同来说明。

气体 气体很容易被压缩，说明气体分子间的距离比较大。在 0 和 1 标准大气压下，气体分子间的距离大约是分子直径的 10 倍。这时分子间的作用力很小，可以近似地认为，气体分子除了相互碰撞或跟器壁碰撞外是不受力的作用的。气体分子在没有跟别的分子或器壁碰撞时做匀速直线运动，只有碰撞时才改变速度的大小和方向。气体分子可以在空间中到处移动，所以气体能充满它所能达到的空间，没有一定的体积，也没有一定的形状。

固体 固体很难被压缩，说明固体分子间的距离很小，分子间的作用力很大。固体中的分子只能在各自的平衡位置附近做无规则的振动，很不容易远离开各自的平衡位置。因此，固体能保持一定的形状和体积。

固体可以分为晶体和非晶体两类。在常见的固体中，石英、云母、食盐等都是晶体，玻璃、松香、橡胶等都是非晶体。晶体中分子的排列是有规则的，因此晶体具有规则的天然外形。非晶体中分子的排列没有规则，因此非晶体没有规则的天然外形。

液体 液体变成气体时，体积增大 1000 倍左右，变成固体时，体积变化不大，液体的内部结构比较接近于固体。液体分子间的作用力比固体的小些，分子的排列没有一定的规则，液体分子也像固体分子那样在平衡位置附近做无规则的振动，不过振动一段很短时间后就移到另一个位置附近振动。正因为液体分子运动的这个特点，使液体容易流动，没有一定形状。但液体分子间的距离比较小，因而液体不易被压缩，具有一定的体积。

物态变化 知道了固体、液体、气体的内部结构，就不难理解以前学过的物态变化了。当晶体的温度升高时，分子的振动加剧。温度升高到一定程度时，分子力已不能把分子约束在一个平衡位置附近振动，于是晶体分子有规则的排列被破坏，固体变成液体，这就是熔化。

在液体中总有一些速度较大的分子能克服周围分子的引力而跑到液体外面去，成为气体分子，这就是蒸发。温度越高，液体分子的运动速度越大，能跑出去的分子数越多，蒸发就越快。

三、内 能

既然物体内部大量的分子不停地做无规则运动，那么，如同一切运动物体具有动能一样，做无规则运动的分子也具有动能。分子之间有相互作用力，又使分子具有势能——分子势能。这跟地球和地面上的物体相互吸引，使地面上的物体具有重力势能，道理是一样的。

物体内部所有分子做无规则运动的动能和分子势能的总和，叫做物体的内能。

物体的动能跟物体运动的速度有关。物体的重力势能跟物体被举起的高度有关。物体的弹性势能跟物体弹性形变的大小有关。那么，物体的内能跟什么有关呢？研究表明，物体的内能跟物体的温度有关。温度越高，物体内部分子的无规则运动越激烈，物体的内能就越大。

有什么证据说明，温度越高，分子的无规则运动越激烈呢？请看下面的实验。

实验 把分别盛有冷水和热水的两个玻璃杯放在桌上，小心地在每杯中滴入两滴墨水。不要搅动杯中的水，观察两杯水中墨水的扩散过程。哪杯水中的墨水扩散得快？

实验表明，温度越高，扩散过程越快。这说明温度越高，分子无规则运动的速度越大，即分子无规则运动越激烈。

由于分子无规则运动的速度跟温度有关，因此物体的内能也跟温度有关。人们为此常常把物体内部大量分子的无规则运动叫做热运动，内能也常常叫做热能。

一切物体都有内能。炽热的铁水，温度很高，具有内能（图 2—6）。冰冷的冰块，温度虽低，其中的水分子仍在做无规则运动。也具有内能（图 2—7）。铁水的温度降低时，它的内能随着减小。冰块的温度升高时，它的内能随着增大。

抛到空中的球，离开地面，具有重力势能。它在空中飞行，具有动能。球内部的分子做无规则热运动，而且分子之间有相互作用，因此球还具有内能。机械能与整个物体的机械运动情况有关，内能与物体内部分子的热运动和分子间的相互作用情况有关，所以内能是不同于机械能的另一种形式的能量。

练 习

1. 一杯水的温度由 10 升高到 20 ，这杯水的内能有什么变化？
2. 内能与机械能各与什么情况有关？

四、做功和内能的改变

怎样解释图 2—8 中的现象呢？学了做功和内能改变的关系，你就会明白了。

实验 1 如图 2—9 所示，在一个配有活塞的厚玻璃筒里放一小团棉花，把活塞迅速压下去，观察有什么结果。图 2-9 空气被压缩时内能增大棉花燃烧起来了，这是因为活塞压缩空气做功，使空气的内能增大，温度升高，达到棉花的燃点使棉花燃烧。

不但压缩物体做功可以使物体的内能增加，用其他办法做功也可以。摩擦生热就是一个例子（彩图 3）。在摩擦生热的过程中，克服摩擦做了功，使物体的内能增大，温度升高。这样的事例很多，除了本节开始时提到的两个事例外，请同学们在生活实际中找找看，还有哪些现象属于摩擦生热，互相交流一下。

对物体做功，物体的内能会增大。

实验 2 拿一个大口的厚玻璃瓶，瓶内装入少量的水，用塞子塞紧。水上方的空气中有由于水的蒸发而产生的水蒸气。通过塞子上的开口往瓶里打气（图 2—11）。观察当塞子从瓶口跳起来时容器中有什么现象。

容器中的水蒸气原来是看不见的。当塞子跳起来时，可以看到容器中出现了雾。这是因为瓶内的空气推动瓶塞做功时，内能减小，温度降低，使水蒸气凝成小水滴。

物体对外做功时，本身的内能会减小。

我们从生活经验知道，摩擦生热时做的功越多，物体的内能增加得越多。其他由于做功而使内能改变的过程都是如此。因此，我们可以用功来量度内能的改变。功的单位是焦耳，所以内能的单位也是焦耳。现在国际单位制已经规定，各种形式的能量的单位都是焦耳。

想想议议 请你观察本章刊头画中所画的实验：把一个薄壁金属管固定在桌上，里面放一些乙醚，用塞子塞紧。拿一根绳子在管外绕几圈并迅速地来回拉绳子。用能量的转化来解释你看到的现象。

练习

1. 摩擦生热说明了什么？
2. 对物体做功，物体的内能会_____。物体对外做功，物体的内能会_____。内能的单位是_____。

五、热传递和内能的改变 热量

通过上一节的学习，我们已经知道做功可以改变物体的内能，还有别的方法可以改变物体的内能吗？

冬天用热水袋取暖，人体感觉暖和了，而热水袋会渐渐凉下来；把烧热的工件放到冷水中，工件会凉下来，而冷水会变热。这就是我们常见的热传递现象。在热传递过程中，高温物体温度降低，内能减少；低温物体温度升高，内能增加。热传递实质上就是能量从高温物体传到低温物体或者从同一物体的高温部分传到低温部分的过程。

在热传递过程中，传递的能量的多少叫做热量。在热传递过程中，高温物体的内能减少，叫做放出了热量，低温物体的内能增加，叫做吸收了热量。物体放出或吸收的热量越多，它内能的改变越大。

现在，我们知道了两种改变物体内能的方法：做功和热传递。一根锯条的温度升高了，内能增加，可能是由于摩擦，也可能是由于放在火上烤了一会儿。如果没有看见内能改变的过程，我们是无法根据结果来判断内能改变的原因的。换句话说，做功和热传递在改变物体的内能上是等效的。因此，用功或用热量来量度物体内能的改变，所用的单位应该相同，功的单位是焦耳，热量的单位也是焦耳。

过去常用的热量单位是卡，1卡等于1克水温度升高1℃时吸收的热量。卡不是国际单位制的单位，已被废除。但是卡这个单位长期沿用下来，在工程上和营养学上仍在使用。要把以卡为单位的许多技术资料都改成以焦耳为单位，还需要一段时间。卡与焦耳的换算关系为：

$$1 \text{ 卡} = 4.2 \text{ 焦} .$$

比卡大的单位是千卡（大卡），

$$1 \text{ 千卡} = 1000 \text{ 卡} .$$

把一壶冷水烧开，需要的热量大约是几百千卡。

练 习

1. 什么叫热量？热量的单位是什么？
2. 在温度不同的两个物体间发生热传递的过程中，高温物体温度____，内能____，它____了热量；低温物体温度____，内能____，它____了热量。

六、比热容

大家都有这样的经验：烧开一壶水比烧开半壶水需要的热量多，把一壶水烧开比烧成温水需要的热量多。可见，水在温度升高时吸收的热量和水的质量有关，和温度升高的度数有关，水的质量越大，温度升高的度数越多，吸收的热量越多。别的物质也是这样。

那么，所有的物质，在质量相等、温度升高的度数也相等时，吸收的热量是不是一样多呢？

实验 用两个相同的电加热器（俗名“热得快”）分别给盛在两个杯子里的质量相等的水和煤油加热（图 2—13）。电热器每秒钟放出的热量是一定的，通电的时间越长，放出的热量越多。用温度计测量两种液体的温度变化，观察哪个温度升高得快些。要使水和煤油的温度升高相同的度数，哪个需要的时间长些？

实验的结果告诉我们，质量相等的水和煤油在温度升高的度数相同时，水吸收的热量比煤油多。

换用其他物质来做这样的实验，也可以得到类似的结果。这说明，质量相等的不同物质，在温度升高的度数相同时，吸收的热量是不同的。怎样来表示各种物质的这种性质上的不同呢？最好用单位质量的物质温度升高 1 时吸收的热量来比较。

单位质量的某种物质温度升高 1 吸收的热量叫做这种物质的比热容，简称比热。比热的单位是焦/（千克· $^{\circ}\text{C}$ ），读作焦每千克摄氏度。

单位质量的某种物质温度降低 1 放出的热量和它温度升高 1 吸收的热量相等，也等于它的比热。

比热是物质的一种特性，每种物质都有自己的比热。下表列出由实验测定的几种物质的比热。

几种物质的比热〔焦/（千克· $^{\circ}\text{C}$ ）〕

水	4.2×10^3	冰	2.1×10^3	铝	0.88×10^3	铜	0.39×10^3
酒精	2.4×10^3	蓖麻油	1.8×10^3	干泥土	0.84×10^3	水银	0.14×10^3
煤油	2.1×10^3	砂石	0.92×10^3	铁、钢	0.46×10^3	铅	0.13×10^3

从表中可以看出，水的比热最大。水和干泥土相比，在同样受热或冷却的情况下，吸收或放出的热量相同，水的温度变化比干泥土小。因此，在受太阳照射的条件相同时，内陆地区的夏季比沿海地区炎热，冬季比沿海地区寒冷，在一天之内气温的变化也较大。

因为水的比热大，在生活中往往用热水取暖，让流动的热水慢慢地经过散热器，水的温度降低，放出较多的热量（图 2—14）。有一些机器在工作时要变热，如汽车的发动机（图 2—15）、发电厂的发电机等，这些机器都可以用循环流动的水来冷却。

七、热量的计算

？ 从比热表中查知某种物质的比热，我们就知道了 1 千克的这种物质的温度升高（或降低）1 时吸收（或放出）的热量是多少焦耳。如果质量不是 1 千克，温度升高（或降低）不是 1 ，能不能算出吸收（或放出）的热量是多少？

〔例题〕把质量为 2 千克、温度为 30 的铝块加热到 100 ，铝块吸收的热量是多少焦耳？

解：从比热表中查知铝的比热是 0.88×10^3 焦/（千克· ），即质量是 1 千克的铝块温度升高 1 时吸收的热量是 0.88×10^3 焦。

2 千克的铝块温度升高 1 时吸收的热量是

$$0.88 \times 10^3 \text{焦} \times 2 = 1.76 \times 10^3 \text{焦} .$$

2 千克的铝块温度升高 $100 - 30 = 70$ 时，吸收的热量是

$$1.76 \times 10^3 \text{焦} \times 70 = 1.23 \times 10^5 \text{焦} .$$

上述计算可以写成一个算式：

$$\begin{aligned} \text{吸收的热量} &= 0.88 \times 10^3 \text{焦/（千克· ）} \times 2 \text{千克} \times (100 - 30) \\ &= 1.23 \times 10^5 \text{焦} . \end{aligned}$$

如果用 $Q_{\text{吸}}$ 表示吸收的热量，用 c 表示比热，用 m 表示质量，用 t_0 表示物体原来的温度，用 t 表示物体后来的温度，那么，上述计算就可以用符号表示成计算物体受热时吸收热量的公式：

$$Q_{\text{吸}} = cm(t - t_0) .$$

同样的道理，我们可以写出计算物体散热时放出热量的公式：

$$Q_{\text{放}} = cm(t_0 - t) .$$

〔例题 2〕有一根烧红的铁钉，温度是 800 ，质量是 1.5 克，温度降低到 20 ，放出多少热量？

解：已知 $m = 1.5 \times 10^{-3}$ 千克， $t_0 = 800$ ， $t = 20$ ，从比热表中查得铁的比热

$$c = 0.46 \times 10^3 \text{焦/（千克· ）} .$$

将这些数据代入上述公式中，就可以求出放出的热量：

$$Q_{\text{放}} = cm(t_0 - t)$$

$$= 0.46 \times 10^3 \text{焦/（千克· ）} \times 1.5 \times 10^{-3} \text{千克} \times (800 - 20)$$

$$= 5.38 \times 10^2 \text{焦} .$$

八、能量守恒定律

摩擦能够生热，气体膨胀可以做功，说明力学现象和热现象有联系。电流通时电动机转动，说明电现象和力学现象有联系。电流通时电热器发热，说明电现象和热现象有联系。自然界中的各种现象都不是孤立的，而是互相有联系的。科学家们经过长期探索，发现用能量的概念可以从某个角度反映这种联系，并在 19 世纪确立了自然界的最普遍的定律之一——能量守恒定律。

在摩擦生热的现象中，机械能转化为内能。克服摩擦做了多少功，就有多少机械能转化为等量的内能。

在气体膨胀做功的现象中，内能转化为机械能。气体膨胀做了多少功，就有多少内能转化为等量的机械能。

能量转化是非常普遍的，各种形式的能量都可以在一定条件下相互转化。水电站里水轮机带动发电机发电，机械能转化为电能。电动机带动水泵把水抽到高处，电能转化为机械能。植物吸收太阳光进行光合作用，光能转化为化学能。燃料燃烧时发热，化学能转化为内能。

大量的事实告诉我们，任何一种形式的能量在转化为其他形式的能量的过程中，消耗多少某种形式的能量，就得到多少其他形式的能量，能量的总量是保持不变的。

能量既不会消灭，也不会创生，它只会从一种形式转化为其他形式，或者从一个物体转移到另一个物体，而在转化和转移的过程中，能量的总量保持不变。

这个规律叫做能量守恒定律，是自然界最普遍、最重要的基本定律之一。从物理、化学到地质、生物，大到宇宙天体，小到原子核内部，只要有能量转化，就一定服从能量守恒的规律。从日常生活到科学研究、工程技术，这一规律都发挥着重要的作用。人类对各种能源，如煤、石油等燃料以及水能、风能、核能等的利用，都是通过能量转化来实现的。能量守恒定律是人们认识自然和利用自然的有力武器。

热的本质的认识过程

摩擦生热早已在实践中被人们所熟悉，但是为什么会产生热？热是什么？人们很久也没有弄清楚。在古代就对热有两种不同的看法，一种把热看成是一种特殊物质；一种认为热是物质的某种运动形式。

17世纪以后，多数人根据摩擦生热的现象，认为热是一种特殊的运动形式，不少物理学家都相信这一点。但是这种看法由于缺乏精确的实验根据，还不能形成科学的理论。

到了18世纪，对热的研究走上了实验科学的道路。把热看成是一种特殊物质的热质说，由于能够解释某些实验结果，因而在当时获得了承认。热质说将热看成一种没有质量或不可称量的流质——热质，它不生不灭，存在于一切物体之中，物体的冷热程度，决定于其中所含热质的多少。热质说对摩擦生热的解释是，摩擦并没有改变热质的总量，但物质在摩擦时比热降低了，因此摩擦可以使物体的温度升高。

1798年，英国学者伦福德（1753~1814）在从事枪炮制造时，发现钻孔钻下的金属屑具有极高的温度，用水来冷却时，甚至可以使水沸腾。他怀疑金属屑具有极高温度是不是由于比热降低造成的。伦福德在他的笔记中写道，由摩擦所生的热，来源似乎是无穷无尽的，要用热质说解释摩擦生热现象，钻下的金属屑的比热要改变很大才行。于是他设计并做了一系列实验，发现钻下的金属屑的比热在摩擦时并没有降低。根据实验结果，伦福德断言热质说不足为信，应当把热看成是一种运动形式，热质说的统治地位开始动摇了。

1799年，英国的戴维做了更加严格的实验。他在零摄氏度以下的露天里，在抽成真空的玻璃罩内，使金属轮子和盘在钟表装置的带动下相互摩擦，结果使金属盘上的蜡熔化了。在这个实验中，热不可能是由周围物体传递给蜡的，而且伦福德的实验已经证明，金属也不会由于比热的降低而放热，那就只能是由于摩擦生热使蜡粒子的运动加快了。戴维的实验有力地打击了热质说。

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

能量守恒定律的建立，彻底否定了热质说，同时为分子运动论的发展开辟了道路。经过科学家的长期研究，关于热是一种运动形式的设想，终于成为公认的真理。人们认识到：宏观的热现象原来是物体内部大量分子的无规则运动的表现，物体内部的能量就是前面讲过的内能。热量不是表示物质所含“热质”的多少，而是表示在热传递过程中传递的能量的多少。

分子的运动

倒一杯凉开水和一杯热开水，在两个杯底各放一块糖。然后用小勺取表面的水品尝，看看各需要经过多长时间才能尝出甜味。解释你的实验结果。

分子力

把一块表面很干净的玻璃板挂在弹簧秤下面，手持弹簧秤上端，把玻璃板往下放到刚好和一盆水的水面接触（图 2—17）。再慢慢地提起弹簧秤，注意观察弹簧秤的示数有何变化。变化的原因是什么呢？仔细观察提起后玻璃板的下表面，再回答这个问题。

习 题

1. 1 厘米³的水里含有 3.35×10^{22} 个水分子，一个水分子的质量有多大？
2. 在箱子里放几块樟脑，过些日子一开箱就能闻到樟脑的气味，为什么？
3. 下列过程中有能量转化吗？是什么形式的能量转化成什么形式的能量？
 - (1) 用砂轮磨刀，有火星迸出。
 - (2) 陨石坠入大气层，成为流星。
 - (3) 壶中的水沸腾时，壶盖不断地跳动。
 - (4) 用打气筒给轮胎打气。
4. 用锯来锯开木板，锯完后用手触摸一下锯条，你会有什么感觉？为什么？
5. 使 1 克水温度升高 1 需要多少热量？1 焦耳的热量可以使 1 克水的温度升高多少度？
6. 铜的比热是铅的比热的 3 倍。质量相等的铜块和铅块，如果供给它们的热量一样多，铅块温度升高的度数是铜块温度升高的度数的几倍？
7. 使 20 克冰的温度从 -10 升高到 0，但未熔化成水，需要多少热量？如果这些热量是由温度从 5 降低到 0 的水来供给的，需要多少克 5 的水？
8. 质量为 500 克的铁锅中放有 3 千克水，把它们从 15 加热到 90 需要多少热量？
9. 找一段金属丝，把它弄弯再弄直，这样反复几次后，用手摸一下折弯的地方，你感到那里的温度发生了怎样的变化？怎样解释这一现象？

学 到 了 什 么

请你按照以下几个问题总结本章的内容：

1. 分子运动论的初步知识包括哪些内容？
2. 什么现象表明物体的分子不停地做无规则的运动？
3. 分子间既有引力，又有斥力。什么情况下，引力起主要作用？什么情况下，斥力起主要作用？

*4. 怎样用物质的内部结构来解释气体、液体、固体之间的差别？怎样用分子运动论解释物态变化？

5. 什么是内能？内能的单位是什么？我们可以从什么现象知道物体的内能发生了变化？

6. 使物体内能改变的方法有几种？什么是热量，热量的单位是什么？

7. 什么叫比热？它的单位是什么？计算物体在受热（或散热）时吸收（或放出）的热量的公式是什么？

8. 举出能量转化的实例，能量在转化中遵守什么规律？

第三章 内能的利用 热机

1. 怎样获得大量的内能？
怎样利用内能来做功？
2. 内燃机的原理是什么？
3. 怎样提高燃料的利用率和减少环境污染？

一、燃料及其燃烧值

燃料的燃烧值 人类在原始社会就用燃烧燃料来取暖和煮饭,火的利用给人类带来了进步.燃料的燃烧是一种化学变化,在燃烧过程中,燃料的化学能转化为内能,也就是通常所说的释放出热量.即使在现代社会中,人类使用的能量绝大部分也还是从燃料的燃烧中获得的内能.

燃料的种类很多,固体燃料有木柴、煤等,液体燃料有汽油、柴油等,气体燃料有氢气、煤气、天然气等.由于燃料的成分不同,相同质量的燃料在燃烧时放出的热量是不同的.例如,1 千克煤完全燃烧放出的热量是 1 千克木柴完全燃烧放出的热量的二倍多.

1 千克某种燃料完全燃烧放出的热量,叫做这种燃料的燃烧值.燃烧值的单位是焦/千克.

几种燃料的燃烧值 (焦/千克)

干木柴 (约) 1.2×10^7	木炭 3.4×10^7	汽油	4.6×10^7
烟 煤 (约) 2.9×10^7	酒精 3.0×10^7	氢	1.4×10^8
无烟煤 (约) 3.4×10^7	柴油 3.3×10^7	煤气 (焦/米 ³) (约)	3.9×10^7
焦炭 3.0×10^7	煤油 4.6×10^7	天然气 (焦/米 ³)	$7.1 \sim 8.8 \times 10^7$

有效利用燃料 燃料通常是在各种炉子里燃烧的.工业企业和取暖设备中燃料在锅炉中燃烧,家用燃料在煤炉或燃气炉中燃烧.燃料在燃烧中,实际上很难完全燃烧,放出的热量往往比按燃烧值计算出的数值要小.而且有效利用的热量又比放出的热量要小.例如用煤烧水的锅炉,有效利用的热量就是被水吸收的热量.燃料燃烧放出的热量只有一部分被有效利用,其余的热量都散失了.高温的烟气带走了相当一部分热量,还有一部分热量以散热的形式散失了.炉子有效利用的热量与燃料完全燃烧放出的热量之比,叫做炉子的效率.

现代化的大型锅炉,效率可达 90%以上.但通常的锅炉,效率还比较低.例如取暖用的小型锅炉,平均起来效率不到 60%,在节约能源上潜力很大.把煤磨成煤粉,用空气吹进炉膛,可以燃烧得比较完全.不烧煤粉而烧煤粒,加大送风量,把煤粒在炉膛里吹起来燃烧,可以燃烧得更充分.用各种办法加大受热面,可以减少烟气带走的热量.这些措施都可以提高锅炉的效率和燃料的利用率.

提高燃料的利用率,这是节约能源的重要措施.如果按我国每年消耗 10 亿吨煤,效率为 30%来计算,那么,只要提高效率 1%,即达到 31%,就相当于节省三千多万吨煤,也可以说相当于多了一个年产三千万吨煤的大煤矿.可见提高燃料的利用率是多么重要,我们大家都要注意节约燃料.

二、内能的利用

？ 在现代社会中，人类每年都要消耗大量的燃料来获得内能。这些内能又是怎样使用的呢？

利用内能来加热内能的一个重要应用就是直接用它来加热物体。物体在获得内能以后，温度会升高。我们家里每天都要生火煮饭，我国北方的冬天还要生火取暖，工厂里常常要加热各种零件，所有这些，都是直接利用内能来加热的常见例子。

直接利用内能来加热物体，似乎很简单，其实里面也很有学问。例如，城市里如果各家各户都自己生火炉来取暖（图 3—3），不但效率低，能源消耗大，而且排出的废气废渣还会污染环境。如果采用暖气设备（图 3—4），用锅炉来产生热水或水蒸气，给各家各户的散热片供热，就可以既提高效率，又改善环境卫生。近几十年更发展了用热电站来向周围大片地区提供生产和生活用热的技术，进一步提高了效率和改善了环境卫生。

请同学们了解一下，你家里生活用热的方式是什么？近年来有无改进？你还能提出进一步改进的设想吗？

利用内能来做功 内能的另一个重要应用就是用它来做功。各种热机就是利用内能做功的机器。

实验 如图 3—5 所示，在试管内装些水，用软木塞塞住，加热使水沸腾，水蒸气会把软木塞冲出。

在这个实验中，燃料的化学能转化为内能，传给水和水蒸气，水蒸气把塞子冲出去，内能转化为塞子的机械能。

这个实验虽然简单，却表现出热机中能量转化的基本过程。在人类历史上，发现内能可以做功并制造出热机，是一件了不起的大事情。可以说，工业化社会的出现，在科学技术上有赖于热机的发明及其改进。即使现在，各种现代化的交通工具，如汽车、火车、轮船、飞机以至火箭，大多数仍然是靠热机把内能转化为机械能来工作的。现代的火电站和热电站，也要靠热机把内能转化为机械能，然后再带动发电机发电。

三、内燃机

热机的种类很多,我们不可能逐一讨论它们的主要构造和工作原理.在这里,只就使用最广泛、大家都可以看到的内燃机,作比较详细的介绍.先讲汽油机,后讲柴油机.

汽油机 汽油机是在气缸内燃烧汽油,生成高温高压的燃气,使燃气推动活塞而做功的.图 3—6 是四冲程汽油机气缸的剖面图.

要使汽油机连续工作,活塞必须在推动曲轴后回到原来的位置,以便再次推动曲轴.这就要求活塞能在气缸里做往复运动.活塞在往复运动中从气缸一端运动到另一端叫做一个冲程.多数汽油机是由吸气、压缩、燃烧—膨胀做功(简称做功)和排气四个冲程的不断循环来保证连续工作的(图 3—7).

吸气冲程:如图 3—8 甲所示,进气门打开,排气门关闭,活塞由上端向下运动,汽油和空气组成的燃料混合物从进气门吸入气缸.

压缩冲程:如图 3—8 乙所示,进气门和排气门都关闭,活塞向上运动,燃料混合物被压缩,压强增大,温度升高.

做功冲程:如图 3—8 丙所示,在压缩冲程末尾,火花塞产生电火花,使燃料猛烈燃烧,产生高温高压的燃气.高温高压燃气推动活塞向下运动,并通过连杆带动曲轴转动.

排气冲程:如图 3—8 丁所示,进气门关闭,排气门打开,活塞向上运动,把废气排出气缸.

然后活塞又向下运动,开始新的吸气冲程,汽油机就连续工作下去.

汽油机工作的四个冲程中,只有做功冲程是燃气对活塞做功,其他三个冲程要靠飞轮的惯性来完成.在开始运转时,要靠外力先使飞轮和曲轴转动起来,由曲轴通过连杆带动活塞运动,以后汽油机才能自己工作.

汽油机比较轻巧,常用在汽车、飞机和小型农业机械(如插秧机、机动喷雾器)上面.

柴油机 柴油机的构造和汽油机相似(图 3—9),主要的不同是柴油机气缸顶部没有火花塞,而有一个喷油嘴.

柴油机的工作过程也分为吸气、压缩、做功、排气四个冲程.在吸气冲程里吸进气缸的只有空气.在压缩冲程里,活塞把空气的体积压缩得很小,空气的压强更大,温度更高.在压缩冲程末,缸内空气的温度已超过柴油的燃点,因此,从喷油嘴喷出的雾状柴油遇到热空气立即燃烧起来.柴油机启动时也要靠外力使飞轮和曲轴转动起来.

柴油比汽油便宜,但柴油机比较笨重,主要应用在载重汽车、拖拉机、坦克、火车、轮船上,有的地方还用它带动发电机发电.

想想议议 汽油机和柴油机的工作过程有什么相同点,有什么不同点?

*四、火 箭

火箭起源于中国，是我国古代的重大发明之一，我国早在宋代就发明了火箭（图 3—10），它的构造是在箭上扎一个火药筒，筒的前端是封闭的。点燃火药时，火药燃烧生成的燃气以很大的速度向后喷出，火箭就向前运动。

现代的火箭，原理同古代火箭相同，但构造要复杂得多。现代火箭用来发射探测仪器以及人造卫星、宇宙飞船、航天飞机等空间飞行器。

火箭发动机工作时，燃料和氧化剂在燃烧室内燃烧，产生高温燃气，燃气通过喷管向后高速喷出，对火箭产生推力，把火箭发射出去。火箭是热机的一种，工作时，燃料的化学能最终转化成火箭的机械能。

火箭用的燃料、氧化剂有液体和固体两种，分别叫做液体火箭和固体火箭。目前大多数空间运载火箭都是液体火箭。

不论是液体火箭还是固体火箭，燃料和氧化剂的质量要占整个火箭质量的 80% 以上，因此，燃料和氧化剂几乎占满了整个火箭的容积。人们在设计制造火箭时，总是想办法减小火箭结构部分的质量，因为运载火箭的任务是把人造卫星等有效载荷送到空间轨道，之后，火箭结构本身就没有用处了，它们将坠入大气层焚毁。

现代的火箭，在技术上已经有了相当的发展。除了单级火箭外还出现了多级火箭，图 3—11 是三级火箭。当火箭的第一级完成工作后，就会与上面几级脱离开，接着第二级点火继续工作，直至第三级工作完毕，最后把航天器送入预定轨道。多级火箭及时地把对后面飞行没有用处的空壳脱掉，下一级火箭工作中要推动的总体质量就减少了，这样可以使火箭达到更高的速度。但是，多级火箭构造复杂，可靠性也较差，实际上使用的多级火箭都是二级的或三级的。

我国的火箭技术近十几年有了很大发展，已进入了世界的先进行列。具有世界先进水平的“长征二号 E”捆绑式火箭，全长 51 米，共有 8 个发动机，起飞质量 460 吨，起飞推力 588 万牛，可将 8.8 吨的航天器送入地球轨道。本书封面是“长征二号 E”捆绑式火箭正在发射的情形。

五、热机的效率

提起“效率”这个词，我们并不陌生。使用机械要讲究机械效率，使用燃料要考虑燃烧效率。在不同的场合下，效率的具体含义并不相同。热机的效率指的是什么呢？

热机是利用燃料的燃烧来做功的装置。燃料燃烧放出的能量，并不能全部用来做有用功，相当一部分能量散失了。用来做有用功那部分能量和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%。内燃机中燃料是在机器内部燃烧的，不需要庞大的锅炉，而且燃料混合物可以燃烧得比较充分，所以内燃机的效率比蒸汽机的高，汽油机的效率为 20~30%，柴油机的效率为 30~45%。

图 3—12 为内燃机的能流图。在内燃机中，由于燃烧不完全而损失的能量很小。排出的废气温度较高，要带走很大一部分能量。一部分能量消耗在散热上，还有一部分能量消耗在克服摩擦做功上（如活塞和气缸壁之间的摩擦、各部件连接处的摩擦等）。

图 3—13 是用汽轮发电机发电的火电站的能流图。发电机的效率比较高，大部分能量损失在锅炉和蒸汽轮机上。

热机的效率是热机性能的一个重要指标。两辆排量相同的小汽车，以相同的速度行驶相同的路程，耗油量小的那辆，汽油机的效率高，性能好。在设计和制造上，要不断改进和革新，以减少各种能量损失，提高效率。在使用上，要正确使用，注意保养。例如要保证良好的润滑，因为润滑不良，将增大克服摩擦所消耗的能量。运动零件之间的间隙要调整得当，因为调整不当，可能增大摩擦，或者使气缸漏气，都会加大能量耗损。

在热机的各种损失中，废气带走的能量最多。设法利用废气的能量，是提高燃料利用率的重要措施。热电站就是利用废气来供热的。这种既供电又供热的热电站，比起一般火电站来，燃料的利用率大大提高。

六、内能的利用和环境保护

煤、石油、天然气等燃料的利用，使人类得以大量获得内能，给人类文明带来进步，但同时也造成环境污染，给人类带来危害。

煤、石油等燃料往往含有杂质，致使燃烧生成的气体中含有二氧化硫、氮氧化物等，燃料的不完全燃烧还会产生粉尘和一氧化碳，这些烟尘废气排放到大气中，污染了大气。

工业企业（包括火电站、钢铁厂、化工厂等），交通运输工具（汽车、飞机、船舶等），家庭炉灶和取暖设备，它们都要用煤、石油等燃料，以取得和应用内能。它们排放的烟尘废气是大气污染的主要来源。

全世界因使用煤、石油等燃料，每年排入大气的有害物质，包括粉尘、二氧化硫等等，达几亿吨之多！

大气污染不但直接有害人体健康，而且会影响植物的正常生长，甚至影响全球的气候。大气中的二氧化硫和氮氧化物经化学变化溶于水中，会产生酸雨，危害农作物、森林和湖泊中的生物。

保护环境，控制和消除大气污染，已经成为当前需要解决的重要课题。改进燃烧设备，加装消烟除尘装置，可以减少烟尘的排放量。一户一家的煤炉，不但效率低，而且是大气污染的主要来源之一。采取集中供热，不但可以提高燃料的利用率，而且可以减轻大气污染。气体燃料的污染小，在城市普及煤气和天然气的使用，是解决大气污染的一个有效措施。

我国非常重视保护环境。我们既要有效地利用能源，又要很好地控制和消除污染。人类有能力开发和利用自然环境，也必然有能力保护环境，创造一个更加美好的环境。

图 3—14 图甲表示改用气体燃料。家用煤炉的效率只有 10~20%，煤气炉的效率可以达到 50%。气体燃料的燃烧效率高，普及煤气和天然气的使用，既可有效地利用燃料，又可减少污染。图乙表示改为集中供热。集中供热不但燃料的利用率高，而且可以减少污染。

热机的发展

热机的出现推动了 17 世纪的工业革命，热机又伴随着工业革命的发展而发展。在这之前，人类的生产活动只能利用人力、畜力、水力、风力来作动力。到 17 世纪，生产的发展需要更为强大的动力，同时机器制造业已经产生，使热机的出现既有必要，又有可能。

最初出现的热机是蒸汽机，它在锅炉里把水烧成水蒸气，利用水蒸气的内能来做功。最初的蒸汽机很笨重，而且只能用来从矿井里抽水。后来许多人对它不断加以改进，其中贡献最大的是英国人瓦特。他在 1782 年发明了往复式蒸汽机，使蒸汽机成为可以广泛使用的动力机。这种蒸汽机在一百多年里对工业的发展起了极其重要的作用。甚至到现在，我们仍然可以看到在铁路上拉着长长的列车奔驰的蒸汽机车，它就是用蒸汽机来作动力的（图 3—15）。不过，蒸汽机仍然过于笨重，效率又低。现在，我国和世界上的许多国家，都不再生产蒸汽机了。

交通运输事业的发展迫切需要轻巧的热机。能满足这种需要的热机——内燃机在 19 世纪后期出现了。按所用燃料分，内燃机有汽油机、柴油机、煤气机等。用汽油作燃料的叫做汽油机，是 1876 年发明的。用柴油作燃料的叫做柴油机，是 1892 年发明的。用煤气包括各种气体燃料作燃料的叫做煤气机。比起蒸汽机来，内燃机不但轻巧，效率也提高了很多。内燃机的出现和不断改进，对交通运输事业的现代化起了关键作用。目前，内燃机的应用已十分普遍，各国都在大量生产内燃机。我国内燃机的生产发展很快，1991 年生产的各种内燃机，总功率达 9170 万千瓦。

电力工业的发展需要功率巨大的热机。1884 年出现的蒸汽轮机满足了这个需要。它用大型锅炉产生的高温高压水蒸气来直接推动轮机的叶片，使轮机转动并带动发电机发电。现在全世界使用的电能，大部分是由火电站生产的。大型火电站的巨大锅炉，有五六层楼房那样高，它里面安装的蒸汽轮机，功率可达几十万千瓦。我国早在 60 年代就已掌握了大型火电站的锅炉、蒸汽轮机以及发电机的生产技术，近年来又在大力革新，要尽快赶上国际先进水平。

早期的飞机是用内燃机作动力的。从 40 年代开始，飞机上日益普遍使用喷气式发动机，它是靠向后高速喷出燃烧后生成的气体——燃气而前进的。喷气式发动机比内燃机更轻巧，功率更大，这就使生产高速的大型飞机成为可能。喷气式发动机有两种：需要用大气中的氧气来助燃的叫空气喷气发动机，在飞机上使用，不能飞到大气层之外去；自带燃料和氧化剂的叫火箭喷气发动机，这就是前面讲过的火箭，它在发射人造卫星和宇宙航行中使用。我国是解放后才开始生产喷气式发动机的，但发展很快，火箭技术现已进入世界的先进行列。

几百年来，为了满足各方面的需要，人类发明了多种热机并不断改进它们。这个过程，今后仍将继续下去。我国的社会主义建设事业，需要大量的先进的各种热机，我们还要作许多努力，才能在热机研制的各个方面赶上并超过世界先进水平。编者相信，在本书的青年读者中，将会有人在这一领域里为祖国作出重大的贡献。

学到了什么

1. 什么是燃料的燃烧值？
2. 内能有哪两方面的主要应用？
3. 描述内燃机工作时的四个冲程。
- *4. 说说火箭和它的应用。
5. 什么是热机的效率？
6. 内能的利用与环境有什么关系？

第四章 电 路

1. 什么是电荷？
2. 什么是电流？
3. 什么是电路？
4. 怎样连接电路？

一、摩擦起电 两种电荷

实验 用绸子、毛皮或尼龙布料在玻璃棒、橡胶棒或塑料棒上摩擦几下，然后把棒靠近纸屑、头发、羽毛等轻小物体（图 4—1），会看到什么现象？

我们看到，摩擦过的玻璃棒、橡胶棒或塑料棒，能够吸引轻小物体。摩擦过的物体有了吸引轻小物体的性质，我们就说物体带了电，或者说，带了电荷。

用摩擦的方法使物体带电，叫做摩擦起电。摩擦起电的现象在日常生活中也可以看到。在空气干燥的时候，用塑料梳子梳头发，头发会随着梳子飘起来，就是因为梳子带了电，吸引头发的缘故。

两种电荷 研究发现：用绸子摩擦过的两根玻璃棒互相排斥，用毛皮摩擦过的两根橡胶棒也互相排斥（图 4—2 甲）；但是用绸子摩擦过的玻璃棒跟用毛皮摩擦过的橡胶棒互相吸引（图 4—2 乙）。这个现象使人们认识到，用绸子摩擦过的玻璃棒上带的电跟用毛皮摩擦过的橡胶棒上带的电是不同的。

用摩擦起电的方法可以使各种各样的物质带电。实验发现带电后的物体凡是跟绸子摩擦过的玻璃棒互相吸引的，必定跟毛皮摩擦过的橡胶棒互相排斥；凡是跟毛皮摩擦过的橡胶棒互相吸引的，必定跟绸子摩擦过的玻璃棒互相排斥。这些事实使人们认识到自然界中只有两种电荷，人们把绸子摩擦过的玻璃棒上带的电荷叫做正电荷，毛皮摩擦过的橡胶棒上带的电荷叫做负电荷。

同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。

电量 实验室里常用一种叫做验电器的仪器来检验物体是否带电。用带电体接触验电器的金属球，就有一部分电荷转移到验电器的两片金属箔上，这两片金属箔由于带同种电荷互相排斥而张开（图 4—3）。

实验 轻轻摩擦几下玻璃棒，然后用棒接触验电器的金属球；再用力多摩擦几下玻璃棒，用棒接触另一个相同的验电器。观察验电器金属箔张开的角度。

两验电器金属箔张开的角度并不相同，后一种情况张开的角度大。张开的角度大，表示传给验电器的电荷多。

电荷的多少叫做电量。电量的单位是库仑，简称库，符号是 C。一根摩擦过的玻璃棒或橡胶棒上所带的电量，大约只有 10^{-7} 库。一片带电的云上所带的电量，大约有几十库。

在图 4—3 所示的实验中，验电器带正电后，如果再用带负电的橡胶棒去接触验电器的金属球，会看到金属箔张开的角度减小，这表示正负电荷放在一起会互相抵消。如果两者电量相等，验电器的金属箔将不再张开，即正负电荷完全抵消。放在一起的等量异种电荷完全抵消的现象，叫做中和。

练习

1. 一个同学将塑料尺在衣服上摩擦几下，然后把尺靠近碎纸屑，纸屑被吸起。这是因为经摩擦过的塑料尺带了____，这种现象叫做_____。

2. 把一个带电的物体靠近用绸子摩擦过的玻璃棒时，它们相互排斥，这一带电物体所带电荷是_____电荷。

3. 电荷的多少叫做____, 电量的单位是_____.

二、摩擦起电的原因 原子结构

摩擦起电的原因是什么？要解释摩擦起电现象，需要知道一些关于物质结构的知识。

原子结构 经过科学家世代代的研究，现在已经认识到，一切物质都是由分子构成的，分子又是由原子构成的。例如，水是由水分子构成的，水分子是由两个氢原子和一个氧原子构成的。

分子和原子都是很小的微粒，不但用眼睛看不到，用一般的显微镜也看不到。把原子看作球形，一般原子的半径只有 10^{-10} 米左右。设想把 1 亿个氧原子一个挨着一个地排成一行，也只有几厘米长。

直到 19 世纪末叶，人们还以为原子是组成物质的最小微粒，不能再分。1897 年英国科学家汤姆孙（1856 ~ 1940）发现了比原子小得多的带负电的粒子——电子，并且实验证明了电子的普遍存在，它是比原子更基本的物质单元，从此揭示出原子是具有结构的。

原子是由位于中心的原子核和核外的电子组成的。原子核比原子小得多，原子核的半径相当于原子半径的十万分之一。如果把原子比作直径为 100 米的大球，原子核则相当于一粒绿豆的大小。原子核的质量比电子大得多，几乎集中了原子的全部质量。

原子核带正电，电子带负电，电子在原子核的电力吸引作用下，在核外绕核运动。原子的这种结构称为核式结构，它同太阳系中各行星绕太阳运动的情形有些相似。

电子是带有最小负电荷的粒子，人们已经知道这个最小电量为 1.6×10^{-19} 库仑，并把它称作基本电荷，常用符号 e 来表示它。任何带电体所带的电量都是 e 的整数倍。你算一算，多少个电子所带的电量等于 1 库仑。

在通常情况下，原子核所带的正电荷与核外电子总共所带的负电荷在数量上相等，整个原子呈中性，也就是对外不显示带电的性质。不同物质的原子，原子核所带的电量并不相同，核外电子的数目也不相同。氢原子的结构最简单，原子核带有 1 个基本电荷的电量，核外只有 1 个电子。氧原子核带有 8 个基本电荷的电量，核外有 8 个电子（图 4—4）。

摩擦起电的原因在通常情况下，原子是中性的，由原子组成的物体也呈中性。那么，当两个物体互相摩擦的时候，为什么物体能带电呢？原来，不同物质的原子核束缚电子的本领不同。

两个物体互相摩擦时，哪个物体的原子核束缚电子的本领弱，它的一些电子就会转移到另一个物体上；失去电子的物体因缺少电子而带正电，得到电子的物体因为有了多余电子而带等量的负电。

可见，摩擦起电并不是创造了电荷，只是电荷从一个物体转移到另一个物体，使正负电荷分开。

三、电 流

? 取两个相同的验电器 A 和 B,使 A 带电,B 不带电(图 4—5 甲).用金属棒把 A 和 B 连接起来,可以看到 A 的金属箔张开的角度减小,B 的金属箔张开,最后两个验电器金属箔张开的角度相同(图 4—5 乙).这表明验电器 B 也带了电,有电荷通过金属棒从 A 流到 B,也就是说,用金属棒把 A 和 B 连接起来时,金属棒上有了电流.但这种电流是暂短的,不是持续的.实际中使用的电流都是持续的,那么怎样得到持续的电流呢?

电流 水在水管中沿着一定方向流动,水管中就有了水流.电荷在电路中沿着一定方向移动,电路中就有了电流.电荷的定向移动形成电流.

实验 照图 4—6 那样,把小灯泡与干电池连接起来.合上开关,小灯泡就持续发光(图甲);打开开关,小灯泡就熄灭了(图乙).

小灯泡持续发光,表示有持续电流通过小灯泡的灯丝.这个持续电流是由干电池提供的,像干电池这样能够提供持续电流的装置,叫做电源.干电池是电源,实验室里用的蓄电池也是电源(图 4—7).电源有两个极,一个正极,一个负极.电源的作用是在电源内部不断地使正极聚集正电荷,负极聚集负电荷,以持续对外供电.摩擦起电是用摩擦的方法,使正负电荷分开的.干电池和蓄电池是用化学的方法,使正负电荷分开的.

从能量转化的观点来看,电源是把其他形式的能量转化为电能的装置.干电池、蓄电池对外供电时,电池内部发生化学变化,化学能转化为电能.

大量用电时的电源,是发电站里的发电机.发电机通过电线把电送给工厂、农村以及千家万户.发电机发电的时候,机械能转化为电能,它的原理,我们将在第十二章学习.

电流的方向 水流有方向,那就是水的流动方向.电流的方向又是怎样的呢?

电荷有两种,电路中有电流时,发生定向移动的电荷可能是正电荷,也可能是负电荷,还可能是正负电荷同时向相反方向发生定向移动.在 19 世纪初,物理学家刚刚开始研究电流时,并不清楚在不同的情况下究竟是什么电荷在移动,当时就把正电荷移动的方向规定为电流的方向,这一规定一直沿用至今.

按照这个规定,在电源外部,电流的方向是从电源的正极流向负极(图 4—8).

练 习

1. 电流是电荷的_____形成的.
2. 在电源外部,电流的方向是从电源的_____极流向_____极.

四、导体和绝缘体

在上一节的实验里，是用金属线把小灯泡和电源连接起来的，用其他材料代替金属线可以不可以呢？

实验 如图 4—9，在开关和小灯泡之间连着两个金属夹 A 和 B，在金属夹之间分别接入硬币、铅笔心、橡皮、塑料尺，观察小灯泡是否发光。

有的物体容易导电，有的物体不容易导电。硬币、铅笔心容易导电，接入硬币、铅笔心时，小灯泡灯丝中有电流通过，小灯泡发光。橡皮、塑料尺不容易导电，接入橡皮、塑料尺时，小灯泡灯丝中没有电流或者电流很小，小灯泡不发光。

容易导电的物体叫做导体。金属、石墨、人体、大地以及酸、碱、盐的水溶液等都是导体。不容易导电的物体叫做绝缘体。橡胶、玻璃、陶瓷、塑料、油等都是绝缘体。

好的导体和绝缘体都是重要的电工材料。电线芯线用金属来做，因为金属是导体，容易导电；电线芯线外面包上一层橡胶或塑料，因为它们都是绝缘体，能够防止漏电。

图 4—11 表示各种物体的导电和绝缘能力的排列顺序，可见导体和绝缘体之间并没有绝对的界限。而且在一般情况下不容易导电的物体，当条件改变时就可能导电。例如，玻璃是相当好的绝缘体，但如果给玻璃加热，使它达到红炽状态，它就变成导体了（图 4—12）。

为什么导体容易导电，绝缘体不容易导电呢？原来，在绝缘体中，电荷几乎都束缚在原子的范围之内，不能自由移动，也就是说，电荷不能从绝缘体的一个地方移动到另外的地方，所以绝缘体不容易导电。相反，导体中有能够自由移动的电荷，电荷能从导体的一个地方移动到另外的地方，所以导体容易导电。

金属是最重要的导体。在金属导体中，部分电子可以脱离原子核的束缚而在金属内部自由移动，这种电子叫做自由电子。金属导电，靠的就是自由电子。金属中的电流是带负电的自由电子发生定向移动形成的。根据电流方向的规定知道，金属中的电流方向跟自由电子的移动方向相反（图 4—13）。

想想议议 观察你家中的电器（不要随意动手），看看哪些部分是绝缘体，哪些部分是导体，它们分别是由什么材料做成的？各有什么作用？

练习

1. 为什么电线芯线要用金属来做？为什么电线芯线外面的包层要用橡胶或塑料来做？

2. 下列物体中哪些是导体，哪些是绝缘体？铝线；自行车轮胎；食盐水溶液；塑料绳。

五、电路和电路图

什么是电路 电灯、电铃、电风扇、电视机等用电来工作的设备，都叫做用电器，怎样才能使用电器工作呢？

这个问题太简单了！合上开关，电灯就亮了，电铃就响了，电风扇的叶片就转起来了，电视机屏上的画面就显示出来了……难道还需要什么知识吗？需要的！如果你想懂得这里面的道理，就要学习连接电路的知识。

在前面图 4—6 所示的实验中，已经连成一个最简单的电路。一般的电路，都要比它复杂。但是，不论简单和复杂，组成电路总离不开电源、用电器、开关和导线。所谓电路，就是把电源、用电器、开关用导线连接起来组成的电流的路径。

首先必须有电源。没有电源，电路中不会有持续电流，这在前面已经讲过了。

用导线把用电器与电源连接起来，用电器就能工作。但是，电灯不能总是亮着，电铃不能一直响着，为了能够控制用电器的工作，电路还要安装开关。图 4—15 是几种常用的开关。合上开关，电路接通，电路中就有了电流。接通的电路叫做通路（图 4—16 甲）。如果电路中某处断开了，例如打开开关，电路中就没有电流了。断开的电路叫做开路（图 4—16 乙）。直接把导线接在电源上，电路中会有很大的电流，可能把电源烧坏，这是不允许的。这种情况叫做短路（图 4—16 丙）。

电路图 图 4—17 的上图是一种门铃的电路。电铃装在室内，电源装在地板下面，门铃开关装在门外。这个电路中各个元件是怎样连接的，初学者往往不容易一眼就看出来。可是，如果用符号把电路连接情况表示出来，如图 4—17 的下图，那么，即使是初学者，也易于认识电路中的各个元件是如何连接的。用符号表示电路连接的图，叫做电路图。电路图中用统一规定的符号来代表电路中的各种元件（图 4—18）。

图 4—18 几种电路元件的符号

电路图可以方便地画出，而且使人们比较容易地看清电路中各个元件的连接情况，在电学及有关技术资料中使用很广泛。我们应该学会看电路图，还要学会根据电路图来实际连接电路。

练习

1. 把____、____、____用导线连接起来组成的电流的路径，叫做电路。
2. 举例说明，什么是通路、开路、短路。
3. 画出电池、开关、电灯、电铃和电动机的电路元件符号。

六、串联电路和并联电路

按图 4—19 那样，把两只小灯泡，顺次连接在电路里，一只灯泡亮时另一只也亮。像这样把元件逐个顺次连接起来，就组成了串联电路。在串联电路中通过一个元件的电流同时也通过另一个。

图

图 4—19 串联电路

图

图 4—20 并联电路

要求两只灯泡可以各自开和关，互不影响，可以按图 4—20 那样，把两只灯泡并列地接在电路中，并各自安装一个开关。像这样把元件并列地连接起来，就组成了并联电路。图 4—20 所示的并联电路中，干路的电流在分支处分成两部分，一部分流过第一条支路中的元件，另一部分流过第二条支路中的元件。

串联电路和并联电路是最基本的电路，它们的实际应用非常普遍。

市场上出售的一种装饰用小彩灯，经常被用来装饰店堂、居室，烘托欢乐的气氛，其中的几十只彩色小灯泡就是串联的（图 4—21）。

图

图 4—21 小彩灯

每当国庆节的夜晚，首都北京的天安门以及高大建筑物，都要用成千只灯泡装点起来（参见彩图 4），点亮的灯泡映出建筑物的轮廓，显得美丽、壮观。这些灯泡都是并联的。在我们的家庭中，像电灯、电风扇、电冰箱、电视机等用电器都是并联在电路中的（图 4—22）。

图

图 4—22 家庭用电器的连接是并联的

图 4—23 是一个简化了的电冰箱的电路图。学习了串联和并联电路的知识，你能看懂这个电路图吗？电路图中的灯泡 L 与电动机 M 是串联的还是并联的？

图

图 4—23 电冰箱内的电路，其中 M 是压缩机用的电动机，L 是电冰箱内的照明灯泡

有了串联电路和并联电路的知识，你可以根据实际需要来连接电路了。如果要使几个用电器总是同时工作（只要有一个开路，其他的就停止工作），可以把它们串联在电路中。如果要求几个用电器可以分别控制，就应该把它们并联在电路中，并且分别装上开关。

练习

1. 画出一个电池、一个开关、两只灯泡组成的串联电路的电路图。
2. 一个电动机与一个电铃并联在电路中，各有一个开关控制它们，电源是电池组。画出电路图。

七、实验：组成串联电路和并联电路

[目的] 学会串联电路和并联电路的连接方法。

[器材] 两只小灯泡，一个电铃，三个开关，两节干电池（或其他电源），若干条导线。

[步骤]

组成串联电路

1. 按照图 4—24 组成串联电路。连接电路前，先要画好电路图。电路的连接要按照一定的顺序进行：可以从电池的正极开始，依次连接开关 S、灯 L_1 、灯 L_2 ，最后连到电池负极；也可以从电池负极开始，依次连接 L_2 、 L_1 、S，最后连到电池正极。注意连接过程中，开关应该是断开的。

图 4—24

2. 经检查电路连接无误后，闭合和断开开关，观察开关控制两只灯泡的情况。

3. 把开关 S 改接到 L_1 和 L_2 之间，闭合和断开开关，观察开关控制两只灯泡的情况。

4. 把开关 S 改接到 L_2 和电池负极之间，闭合和断开开关，观察开关控制两只灯泡的情况。

5. 把一只灯泡和一个电铃串联在电路中再做一次。

6. 根据上面的实验回答：在串联电路里，开关可以控制所有用电器，还是只控制其中某个用电器？开关的位置改变了，它的控制作用是否也改变？

答：_____

组成并联电路

图 图 4—25

1. 按照图 4—25 组成并联电路。

2. 经检查电路连接无误后，把三个开关全部闭合。

3. 断开、闭合干路中的开关 S，观察它控制灯泡的情况。

4. 闭合开关 S 后，断开、闭合支路中的开关 S_1 ，观察它控制电路的情况。

5. 闭合开关 S 后，断开、闭合支路中的开关 S_2 ，观察它控制电路的情况。

6. 根据上面的实验回答：在并联电路里，干路开关和支路开关的控制作用各是什么？

答：_____

想想议议 一商品仓库，后门进货，前门取货。现有红、绿两只灯泡和一个电铃装在一块木板上，另有一个电池组、两个开关（图 4—26），还有若干条导线。利用这些材料，请你为仓库值班人员设计一个电路：电铃响同时红灯亮，表示取货人在前门按开关；电铃响同时绿灯亮，表示送货人在后门按开关。大家讨论一下，看你们的设计对不对？有兴趣的同学，还可以在课外实际做一做。

图 4—26

图

阅读材料 新型电池

在这一章中提到的干电池、蓄电池，它们的应用已有 100 多年的历史，在人类生产和生活中发挥了重要作用。虽然它们的性能在不断提高，但是仍满足不了科学技术飞速发展的需要，因此，近年来新型电池不断出现。

氧化银电池是一种质量小、容量大的电池，大量用在电子表、导弹和人造卫星上。图 4—27 是一种钮扣式氧化银电池，它的正极是氧化银，负极是锌，所以又叫锌银扣式电池。

图 4—27 电子手表用的微型氧化银电池

燃料电池是一种能量转换率高、无污染、可大量供电的新型电池。最普通的一种燃料电池是氧-氢燃料电池，它把燃料转化为氢气，然后与空气中的氧气分别在电解液的两极发生氧化和还原反应，产生电能。目前，燃料电池已有应用，但还有些技术问题有待改进，尚未广泛使用。

甲：硅光电池/乙：以光电池为电源的计算器图 4—28

光电池是一种将光能转化为电能的电池。硅光电池（图 4—28）是一种典型的光电池，它的主要部分用硅制成。这种电池性能稳定，使用寿命长，已广泛用到电子计算器、收音机、玩具等方面，在人造卫星和其他太空仪器上常用硅光电池作为电源（参见彩图 5）。由于目前光电池的成本高，而且能量转换效率较低，限制了它的应用范围。

原子电池是一种把核能直接转化为电能的电池。它是在光电池表面涂上一层能够放出射线的物质（放射性物质），用这些射线代替光来产生电流，它已在医疗、科技方面得到应用。

图

小实验 楼梯电灯开关电路

在楼梯（或楼道）中间安装的电灯，需要在楼梯的上、下两头都能控制它（图 4—29 甲）：当上楼梯时，能用下面的开关 S_1 开灯，人上了楼梯以后，能用上面的开关 S_2 关灯；当下楼梯时，能用 S_1 开灯，用 S_2 关灯。图 4—29 乙是用两个单刀双掷开关控制一盏灯的电路图。单刀双掷开关的掷刀可以绕轴 1 转动，或者跟触头 2 接触或者跟触头 3 接触。分析一下 S_1 、 S_2 中的任何一个都能开灯、关灯的道理。按照图 4—29 乙所示的电路图，在木板上用电池、小灯泡、两个单刀双掷开关组成电路，并且试验这个电路中的两个开关是不是都能开灯、关灯。如果没有单刀双掷开关，可以采取代替的办法，例如在木板上按三个图钉分别代替轴 1 和触头 2、3，用一段铜线代替掷刀，接在 1、2 间，或者接在 1、3 间。

图 甲图 乙

图 4—29

回答问题正确显示器

有一种回答问题正确显示器，是利用电路通断的原理制成的，回答正确时灯泡亮，回答错误时灯泡不亮。这种显示器制作起来很简单，希望你自己制作一个。

如图 4—30 甲所示，在一块长方形硬纸板上，别上两排曲别针。左排曲别针表示问题，一个曲别针旁写一个问题。右排曲别针表示相应的答案，一个曲别针旁写一个答案。把干电池和小灯泡连接起来，并留出两个接线头 A 和 B。提问者把接线头 A 与左排的一个曲别针接触，表示提出一个问题，要求回答者把接线头 B 与右排的一个曲别针接触，表示选出一个答案。

图 4—30 乙表示长方形硬纸板的背面，用若干条带绝缘包层的导线分别把左右两排中一对一对的曲别针连接起来，每对曲别针对应于一个问题和这个问题的正确答案。只有在图甲中把接线头 B 与对应于正确答案的那个曲别针接触，小灯泡才亮，表示你选的是正确答案。

图 4-29

图 4—30

习 题

1. 画出图 4—31 所示实物电路的电路图。
2. 画出图 4—32 所示实物电路的电路图。

图 4—31

图 4—32

图 4—33

3. 按照图 4—33 甲所示的电路图，将图 4—33 乙中各个元件连接起来（用铅笔画线表示导线）。

4. 在一本有关用电常识的书中，列出了白炽电灯（即普通家用电灯）的常见故障与检修方法，其中一项故障现象如下：

故障现象	可能原因	检修方法
灯泡不亮	1. 灯泡的灯丝断了。 2. 灯头内的电线断了。 3. 灯头、开关等处的接线松动，造成接触不良。	换新灯泡。 换新线并接好。 检查加固。

从电路的组成来看，上述故障现象的可能原因可以概括成一个原因。你想想这个原因是什么？

5. 有三盏电灯，想把它们连接在一个电路中，要求用与不用每盏电灯都不影响别的电灯。请你设计出这个电路，画出电路图。

图 4—34 图 4—35

6. 某个房间有两盏电灯，各由安装在墙壁上的两个开关控制着，开关控制电灯，开关控制电灯（图 4—34 甲）。图 4—34 乙给出了电

路布线的示意图。仔细观察这个图，看两个开关是如何分别控制两盏电灯的。以上这个电路能不能用图 4—34 丙所示的电路图表示？

图 4—34

图 4—35

7. 图 4—35 是理发用电吹风机的典型电路。其中电热丝通电后可以发热，电动机通电后可以送风。选择开关可以分别放在“热”、“冷”、“停”三个位置，请你分析一下这个电路是怎样工作的。

学 到 了 什 么

1. 人们怎样知道电荷只有两种？它们是如何相互作用的？
2. 原子结构是怎样的？为什么摩擦能起电？
3. 电流是怎样形成的？电流方向是如何规定的？
4. 什么是导体，什么是绝缘体？它们的主要区别是什么？
5. 电路一般由哪几部分组成，各个部分的作用分别是什么？
6. 什么是电路图？画出已学过的电路元件符号。
7. 什么是串联电路，什么是并联电路？串联电路和并联电路各有什么特点？

第五章 电流强度

1. 如何表示电流的大小？
2. 怎样测量电流的大小？

一、电流强度

水管中的水流有大有小，在相同的时间内，从水管中流出的水越多，水流就越大（图 5—1）。导体中的电流也有大小，但是电流看不见，摸不着，怎样才能知道它的大小呢？

图 5—1 水流的大小

人们发现，电流通过导体时会产生各种效应。我们可以根据产生的效应的大小来判断电流的大小。电流通过灯泡时，灯丝变热而发光，这是电流的热效应。电流还可以发生磁效应，我们将在第十一章学习。下面我们利用小灯泡做实验，是利用电流热效应的大小来判断电流大小的。

实验 把一只小灯泡用导线跟一节干电池连通（图 5—2 甲），再把这只小灯泡跟两节干电池连通（图 5—2 乙）。注意观察这两种情况下小灯泡的发光亮度。

图 5—2 电流产生的效应

从实验可以看出，用一节干电池时，小灯泡发光较暗，用两节干电池时，小灯泡发光较亮。对同一小灯泡，它越亮就表示通过它的电流产生的效应越大，也就是电流越大。

电流是由电荷的移动形成的，在一定时间内，通过导体某一横截面的电荷越多即电量越多，电流就越大（图 5—3）。

电流的大小用电流强度（简称电流）表示，电流强度等于 1 秒钟内通过导体横截面的电量。国际上通常用字母 I 表示电流，如果用 Q 表示通过导体横截面的电量， t 表示通电时间，那么

$$I = \frac{Q}{t} .$$

如果上式中电量 Q 的单位用库，时间 t 的单位用秒，电流 I 的单位就是安培，简称安，符号是 A 。如果在 1 秒钟内通过导体横截面的电量是 1 库，导体中的电流就是 1 安。

$$1\text{安} = \frac{1\text{库}}{1\text{秒}} .$$

图 5—3 电流的大小 在相同的时间里，通过上图中横截面 S 的电荷少，电流小，通过下图中横截面 S 的电荷多，电流大。

如果在 10 秒内通过导体横截面的电量是 20 库，那么导体中的电流

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{20\text{库}}{10\text{秒}} = 2\text{安} .$$

常用的电流单位还有毫安（ mA ）和微安（ μA ）。电流单位的换算关系如下：

$$\begin{aligned} 1\text{安} &= 1000\text{毫安}, \\ 1\text{毫安} &= 1000\text{微安}. \end{aligned}$$

练 习

1. 一个家用电熨斗工作时的电流是 1.5 安, 每秒钟通过电熨斗的电量是_____库.

2. 在 1 分钟内有 18 库的电量通过一只手电筒的小灯泡, 求小灯泡中的电流大小.

3. 通过电风扇的电流是 400 毫安, 在 5 分钟内通过它的电量是多少库?

液晶显示电子计算/晶体管收音机/晶体管 47 厘米彩色器 130 微安左右
/10 ~ 100 毫安/电视机约 180 毫安 30 瓦普通照明/70 瓦家用电风/家用电
冰箱日光灯 136 毫安/扇约 320 毫安/1.1 ~ 1.7 安 500 瓦家用电熨斗/450
千瓦电动机/高压输电线路约 2.3 安/9.5 ~ 16.4 安/200 安左右

图 5—4 几种用电器或电路工作时的电流值

二、电流表

测量长度可以用刻度尺，测量时间可以用钟表，测量电流要用专门的仪表——电流表。电流表的种类很多，图 5—5 给出了几种电流表的外形，右上角是电流表在的电路中的符号。

图 5—5 几种电流表的外形

图 5—6 甲：量程为 3 安，刻度盘上的每个大格表示 1 安，每个小格表示 0.1 安。指针的位置表示多少安？乙：量程为 0.6 安，每个大格表示 0.2 安，每个小格表示 0.02 安。指针的位置表示多少安？

电流表的示数 电流表的刻度盘上标有符号 A 和表示电流值的刻度。电流表的“0”点通常在左端。当被测电路中的电流为零时，指针指在“0”点；当被测电路中有电流时，指针偏转，指针稳定后所指的刻度，就是被测电路中的电流值。每个电流表都有一定的测量范围——量程。在读取数据之前，要先确认你使用的电流表的量程，然后根据量程确认每个大格和每个小格所表示的电流值（图 5—6）。学校实验室里常用的电流表有三个接线柱，两个量程（图 5—7）。

图 5—7 学校实验室里常用的电流表。这两种电流表的两个量程都是 0.6 安和 3 安。图甲所示的电流表，两个量程共用一个“+”接线柱，标着“0.6”、“0.3”的为负接线柱；图乙所示的电流表，两个量程共用一个“-”接线柱，标着“0.6”、“3”的为正接线柱。

电流表的使用 电流表的内部构造比较精密，使用不当，很容易烧坏电流表。因此，我们要学会下述正确使用电流表的规则。

1. 电流表要串联在电路中。要测量某一部分电路中的电流，必须把电流表串联在这部分电路里（图 5—8）。

甲：测量通过小灯泡的/乙：测量 L 支路中电/丙：测量 L 支路中电
电流时电流表的接/流时，电流表的接/流时，电流表的接法./法./法.图
5—8 电流表要串联在电路中

2. “+”、“-”接线柱的接法要正确。连接电流表时，必须使电流从“+”接线柱流进电流表，从“-”接线柱流出来（图 5—9）。

图 5—9 “+”、“-”接线柱的接法要正确。绝不可把它们接反，接反了有可能损坏电流表。

3. 被测电流不要超过电流表的量程。被测电流超过电流表的量程时，不仅测不出电流值，电流表的指针还会被打弯，甚至烧坏电流表。在不能预先估计被测电流大小的情况下，要先拿电路的一个线头迅速试触电流表的接线柱（图 5—10），看看指针的偏转是否在量程之内。如果超出量程，就要改用更大量程的电流表。

图 5—10 试触

4. 绝对不允许不经过用电器而把电流表直接连到电源的两极上。否则，电流表将很快烧坏（图 5—11）。

图 5—11 绝对不允许把电流表直接连到电源的两极上。

想想议议 如果被测电流在 0.5 安左右时，最好用图 5—7 所示电流表的哪两个接线柱？为什么？

练 习

1. 分别读出图 5—12 甲、乙中电流表的示数。

图 5—12

2. 将图 5—13 中的元件连接起来（用铅笔画线表示导线），使灯泡 L_1 与 L_2 并联，用电流表 A_1 测 L_1 中的电流， A_2 测 L_2 中的电流。

图 5—13

3. 用图 5—7 甲所示电流表测量某一电路中的电流，估计被测电流在 2 安左右，连接时用标着“0.6”和“+”的接线柱行不行？

为什么？如果不知道被测电流的范围，应该怎样做？

三、实验：用电流表测电流

? 在图 5—14 甲所示的串联电路中，先后把电流表接在 a、b、c 三处，你预料哪次电流表的示数大？哪次示数小？还是三次示数都一样？

图 5—14

在图 5—14 乙所示的并联电路中，分别用电流表来测出两个支路中的电流和干路中的电流，想一想，这三次测出的电流值会有什么关系。

[目的]练习使用电流表测电路中的电流；研究串联电路和并联电路中的电流关系。

[器材]两节干电池（或其他电源），一只电流表，两个小灯泡，一个开关，导线若干条。

[步骤]

串联电路中的电流

1. 照图 5—15 所示的电路图连接好电路。

图 5—15

2. 把电流表接在电路中的 a 处。经检查连接无误后，合上开关，测出 a 处的电流值，并填入表格 5—1 中。

3. 把电流表先后改接在电路中的 b 处和 c 处，分别测出这两处的电流值，并填入表格 5—1 中。

图 5—15

表 5—1

测量处	a	b	c
电流(安)			
结论			

4. 比较测得的数据，你能得出什么结论？把你的结论写入表格中。

结论：

理论和实验都证明，串联电路中各处电流相等。

并联电路中的电流

1. 照图 5—16 所示的电路图连接好电路。

图 5—16

2. 把电流表接在电路中的 A 处，经检查连接无误后，合上开关，测出 A 处的电流值 I_A ，并填入表格 5—2 中。

3. 再把电流表分别接在电路中的 B 处和 C 处，测量出两支路中的电流值 I_B 和 I_C ，并填入表格 5—2 中。

表 5—2

测量处	a	b	c
电流(安)			
结论			

4. 将 I_A 与 $I_B + I_C$ 进行比较，你能得出什么结论？把你的结论写入表格中。

结论：

理论和实验都证明，并联电路干路中的电流等于各支路中的电流之和。

想想议议 在并联电路中，某一支路中的电流会不会大于或等于干路中的电流？与水流作比较回答。

安培——刻苦学习，专心致志的科学家

安培（1775～1836）是法国科学家。在少年时期，安培酷爱学习，但不幸因家境困难而失学了。可是，他并没有因此消沉，通过自学燃起了对科学的热情。他振奋精神，刻苦学习，终于在物理学、化学和数学等方面达到了很深的造诣。

安培在科学研究上非常专心。一天，他在路上边走边思考问题，猛一抬头，发现前面有一块黑板，不由喜上心头。马上掏出一支随身携带的粉笔，把脑中思索的问题写下，计算起来。这块黑板向前移动了，安培一边跟着前移，一边继续计算着。渐渐黑板移动得更快了，这位专心的计算者也跟着跑了起来。路上的行人看到这种

安培（1775～1836）

情形，不禁拍手大笑。当他实在跑不动而停下来时，发现这并不是什么黑板，而是马车的后背。他望着车背上的数学公式渐渐远去，懊丧地叹了一口气：“唉！可惜还没有算完。”

图 5—17 专心的计算者

安培在电学方面的研究成果十分突出，被后人誉为“电学中的牛顿”。为了纪念安培，物理学界用他的名字作为电流的单位名称。

习 题

1. 一根导线中的电流为 2.5 安，如果通过导线某一横截面的电量为 1800 库，通电的时间是多少分钟？

2. 通过某一手电筒灯泡的电流是 0.3 安，与晶体管收音机工作时的电流比较，哪个大？

3. 有一种节日彩灯上串联着 20 只小灯泡（图 5—18）。如果电源插头处的电流为 200 毫安，那么，通过每只小灯泡的电流是多大？

图 5—18

4. 某同学家中有一台电视机、一台洗衣机、两盏照明灯，它们是并联着的。工作时的电流分别为 200 毫安、1 安、300 毫安和 250 毫安。如果干路中的电流不许超过 3 安，这些用电器是否可以同时使用？

5. 根据图 5—19 所示的电路，画出电路图，并标明电流表的正、负接线柱。当开关闭合后，电流表 A_1 的示数为 0.25 安。通过灯 L_1 的电流为_____安，电流表 A_2 的示数为_____安，通过灯 L_2 的电流为_____安。

图 5—19

图 5—20

6. 根据图 5—20 甲所示的电路图，将图 5—20 乙中的实物用铅笔线表示导线连接起来，如果 A_1 的示数为 0.9 安， A_2 的示数为 0.5 安，通过灯 L_1 和 L_2 的电流各是多大？

7. 图 5—21 是一连入电路的电流表的示意图，指针所指的示数为下列数据中的哪一个？

图 5—21

a. 2.3 安； b. 0.43 安； c. 0.46 安； d. 2.6 安。

8. 在图 5—22 所示的电路中，哪种接法是会烧坏电流表的错误接法？

图 5—22

学 到 了 什 么

1. 电流强度等于 1 秒钟内通过导体横截面的电量，简称电流。如果在时间 t 内通过导体横截面的电量为 Q ，则电流 $I = \frac{Q}{t}$ 。电流的单位是安培，简称安， $1 \text{安} = \frac{1 \text{库}}{1 \text{秒}}$ 。常用的电流单位还有毫安和微安。

2. 你会正确使用电流表吗？请说说使用电流表的规则。

3. 在串联电路中，电流处处相等；在并联电路中，干路中的电流等于各支路中的电流之和。

第六章 电 压

1. 电压的作用是什么？
2. 怎样测量电压？

一、电 压

? 要使灯泡发光,电动机转动,都需要电流.那么,电流又是怎样形成的呢?让我们对照水流的情形来认识这个问题.

形成电流的原因 在图6—1所示的装置中,打开阀门,就会形成由A经过水管流向B的水流.这是因为A处的水位高,B处的水位低,A处对水管中水的压强大,B处对水管中水的压强小,因而管中的水由A处向B处流动.可见,水压使水管中形成了水流.

图6—1 水流的形成

与此相似,在图6—2的电路中,电源的正极聚集有正电荷,负极聚集有负电荷,在电源的正、负极间就产生了电压.这个电压可以使电路中的正电荷由正极流向负极,或者使电路中的负电荷由负极流向正极(在金属导体中是后一种情况).这样在电路中就产生了电流.所以,电压使电路中形成了电流.

图6—2 电流的形成

在图6—1中,抽水机不断地把水从B处抽到A处,使A处的水位总比B处高,保持水管两端有一定的水压,水管中就有持续的水流.类似地,电源在工作中不断地使正极聚集正电荷,负极聚集负电荷,保持电路两端有一定的电压.使电路中有持续的电流.电压使电路中形成电流,而电源是提供电压的装置.

电压的高低和单位 不同的抽水机,在水管两端产生的水压不同;类似地,不同的电源在电路两端产生的电压也不同(图6—3).

图6—3

国际上通常用字母U表示电压.电压的单位是伏特,简称伏,符号是V.一节干电池的电压 $U=1.5$ 伏,家庭电路的电压 $U=220$ 伏.

图6—4 几种电压值

比伏大的单位有千伏(kV),比伏小的单位有毫伏(mV)、微伏(μV).它们的换算关系如下:

$$\begin{aligned} 1 \text{ 千伏} &= 1000 \text{ 伏}, \\ 1 \text{ 伏} &= 1000 \text{ 毫伏}, \\ 1 \text{ 毫伏} &= 1000 \text{ 微伏}. \end{aligned}$$

想想议议 你早已知道,要使用电器工作,电路中必须接入电源.学过这一节的知识后,你能进一步说明其中的道理吗?大家都来说说,看谁说得最好.

练 习

1. 电压使电路中形成_____, _____是提供电压的装置.
2. 0.2 毫伏=_____伏=_____微伏.

二、电压表

测量电路两端的电压，要用电压表。电压表也有很多种，图 6—5 给出了几种电压表的外形，图中左上角是电压表在电路图中的符号。

图 6—5 电压表的外形

电压表的示数 电压表的刻度盘上标有符号 V 和表示电压值的刻度。电压表也有一定的量程。在读取数据时，要先确认所用电压表的量程，然后根据量程确认刻度盘上每个大格和每个小格表示的电压值（图 6—6）。

甲：量程是 3 伏，刻度盘上的每个大格表示 1 伏，每个小格表示 0.1 伏。指针的位置表示多少伏？

乙：量程是 15 伏，刻度盘上的每个大格表示 5 伏，每个小格表示 0.5 伏。指针的位置表示多少伏？图 6—6

学校实验室里常用的电压表有三个接线柱、两个量程（图 6—7）。

甲乙

图 6—7 学校实验室常用的电压表。它们有两个量程，一个是 3 伏，一个是 15 伏。图甲所示的电压表，两个量程共用一个“+”接线柱。图乙所示的电压表，两个量程共用一个“-”接线柱。

甲：测量小灯泡两端的电压，就把电/乙：测量灯泡 L 两端的电压，就把

电压表跟小灯泡并联起来。/电压表跟灯泡 L 并联起来。图 6—8 电压表要并联在电路中

电压表的使用 电压表也有必须遵守的使用规则。我们要学会正确使用电压表。

1. 电压表要并联在电路中。要测量某部分电路两端的电压，必须把电压表跟这部分电路并联起来（图 6—8）。

2. “+”、“-”接线柱的接法要正确。连接电压表时，必须使电流从“+”接线柱流入电压表，这跟电流表接线柱的用法是一致的。

3. 被测电压不要超过电压表的量程。被测电压超过电压表的量程时，不仅测不出电压值，电压表的指针还会被打弯，甚至烧坏电压表。在不能预先估计被测电压的情况下，可以用试触法来判断被测电压是否超过量程。

想想议议 使用有多个量程的电压表测量电压时，如果不能预先估计被测电压的大小，应先用哪个量程试触？为什么要这样做？

练习

1. 分别读出图 6—9 甲、乙中电压表的示数。

甲乙图 6—9

2. 将图 6—10 中的元件连接起来（用铅笔画线表示导线），其中灯泡 L_1 与 L_2 串联，电压表 V_1 测 L_1 两端的电压， V_2 测 L_1 与 L_2 串联后两端的总电压。

图 6—9

图 6—10

三、实验：用电压表测电压

1. 怎样用电压表测量干电池的电压？

2. 我们已经知道了串联电路和并联电路中的电流关系，它们中的电压关系又是怎样的呢？

现在让我们来做实验，练习使用电压表测干电池的电压和一段电路两端的电压，研究串联电路和并联电路中的电压关系。

1. 测干电池的电压

(1) 将电压表的正接线柱通过开关与干电池的正极相连，负接线柱与干电池的负极相连，合上开关，这时电压表的示数表示干电池的电压（图 6—11）。

图 6—11

(2) 取二三节干电池，分别测出每节的电压。再将这几节干电池串联组成电池组，测出串联电池组的电压（图 6—12）。记下测得的数据。回答：串联电池组的电压跟各节电池的电压之和有什么关系？

图 6—12

(3) 将两节相同的干电池并联组成电池组，用电压表测这个并联电池组的电压（图 6—13）。回答：并联电池组的电压跟每节电池的电压有什么关系？

图 6—13

2. 串联电路中的电压

按照图 6—14 所示电路图连接成串联电路，用电压表分别测出：灯泡 L_1 两端的电压 U_1 ，灯泡 L_2 两端的电压 U_2 ， L_1 与 L_2 串联后的总电压 U 。记下测量结果。回答：串联电路两端的总电压跟各部分电路两端的电压之和有什么关系？

图 6—14 串联电路中的电压关系

3. 并联电路中的电压

按照图 6—15 连接成并联电路，用电压表分别测出：灯泡 L_1 两端的电压 U'_1 ，灯泡 L_2 两端的电压 U'_2 。记下测量结果。回答：在并联电路里，各支路两端的电压之间有什么关系？

图 6—15 并联电路中的电压关系

想想议议 有 3 只相同的灯泡，每个都要在 6 伏的电压下才能正常发光，如果把它们串联起来，接到 6 伏的电源上，你会看到什么现象？为什么？你们如果看法不一致，可以用实验来检验。

习 题

1. 观察一下你家中的用电器，如收音机、电子钟、电风扇等，了解它们的工作电压各是多大？

图 6—16

2. 图 6—16 所示的 3 个电路中，电压表所测的各是哪只灯泡的电压？有没有接错的？错在什么地方？

图 6—16

3. 将图 6—17 中的蓄电池、开关、灯泡 L_1 和 L_2 串联起来组成电路，

并用电压表测 L_1 两端的电压。在图 6—17 上用铅笔线表示导线画出连接方法，并画出它的电路图。

图 6—17

4. 在图 6—18 甲所示的电路中， V_1 的示数为 2.5 伏， V_2 的示数应为____伏， V 的示数应为____伏。

在图 6—18 乙所示的测量电路中， V_1 的示数为 2.5 伏， V_2 的示数为 3.8 伏， V 的示数应为____伏。

图 6—18

5. 一个小电动机工作时，要求电源电压是 6 伏。如果用干电池作电源，需要几节串联起来？如果用铅蓄电池作电源，需要几个串联起来？

6. 在电流表和电压表的正确使用方法中，有哪些相同之处？又有哪些不同之处？

学 到 了 什 么

在这一章里，我们学习了电压、电压表及其使用方法，以及串联电路和并联电路中的电压关系。请你分别总结出这几部分知识的要点。

第七章 电 阻

1. 什么是电阻？
2. 电阻的知识有什么用？

一、导体对电流的阻碍作用——电阻

常用的导线通常是用铜或铝做的，特别重要的用电设备的导线还要用昂贵的银来做。钢铁也是导体，又多又便宜，那么，为什么不用钢铁来做导线呢？

实验 1 按图 7—1 所示将长 2 米、横截面积为 1 毫米²的锰铜线 AB 连入电路，闭合开关，观察电流表的示数；用同样长度和横截面积的镍铬合金线 CD 代替 AB，再接通电源，观察电流表的示数。比较这两次的电流值。

图 7—1

电阻的大小和单位 从上述实验看到，在相同的电压下，通过锰铜线的电流，比通过镍铬合金线的电流大。

这是什么原因呢？原来，导体虽容易导电，却同时对电流有阻碍作用。在相同的电压下，通过锰铜线的电流较大，表明锰铜线对电流的阻碍作用较小；通过镍铬合金线的电流较小，表明镍铬合金线对电流的阻碍作用较大。在物理学中，用电阻来表示导体对电流阻碍作用的大小。导体的电阻越大，表示导体对电流的阻碍作用越大。不同的导体，电阻一般不同，电阻是导体本身的一种性质。

导体的电阻在国际上通常用字母 R 表示，电阻的单位是欧姆，简称欧，符号是 Ω 。如果导体两端的电压是 1 伏，通过的电流是 1 安，这段导体的电阻就是 1 欧。比较大的单位有千欧 (k)、兆欧 (M)，它们的换算关系如下：

$$1 \text{ 兆欧} = 1000 \text{ 千欧},$$

$$1 \text{ 千欧} = 1000 \text{ 欧}.$$

手电筒的小灯泡，灯丝的电阻为几欧到十几欧；日常用的白炽灯，灯丝的电阻为几百欧到几千欧。实验室用的约 1 米长的铜导线，电阻小于百分之几欧，通常可以略去不计。

在电子技术中，要经常用到具有一定阻值的元件——电阻器，也叫做定值电阻，简称电阻（图 7—2）。

图 7—2 几种电阻器的外形。右上角是它们在电路中的符号。

决定电阻大小的因素 在实验 1 里，锰铜线和镍铬合金线是用不同材料制成的，它们的长短、粗细都相同，但是对电流的阻碍作用却不同，这说明电阻的大小跟导体的材料有关。

我们再考虑了一下，用相同材料做的导体，电阻的大小还跟哪些因素有关呢？

实验 2 在图 7—1 所示的实验中，改用横截面积相同而长度不同的两条镍铬合金线（图 7—3），分别将它们接入电路，观察电流表的示数。

图 7—3 导体的电阻跟长度有关

实验结果表明，较长的镍铬合金线中电流小。可见导体的电阻跟它的长度有关系：导线越长，电阻越大。

实验 3 再改用长度相同而横截面积不同的两条镍铬合金线（图 7—4），分别接入电路，比较通过它们的电流大小。

：希腊字母，汉语拼音读法是 omiga。

图 7—4 导体的电阻跟横截面积有关

实验结果表明，横截面积较小的镍铬合金线中电流小。可见导体的电阻跟它的横截面积有关系：横截面积越小，电阻越大。

导体的电阻是导体本身的一种性质，它的大小决定于导体的材料、长度和横截面积。

实验 4 把日光灯的灯丝（钨丝）或用细铁丝绕制的线圈，按图 7—5 接入电路。缓慢地给灯丝或线圈加热，注意观察加热前后电流表的示数有什么变化。

图 7—5 导体的电阻跟温度有关

我们看到，导体被加热后，电路中的电流减小了，表明导体的电阻增大了。可见，导体的电阻还跟温度有关系。对大多数导体来说，温度越高，电阻越大。但也有少数导体，电阻随温度的升高而减小。

下面列出了一些材料制成的长 1 米、横截面积 1 毫米²的导线在 20 时的电阻值

导 线	电 阻 (欧)
银	0.016
铜	0.017
铝	0.027
钨	0.052
铁	0.096
锰铜 (铜、锰、镍的合金)	0.44
镍铬合金 (镍、铬、铁锰的合金)	1.1

想想议议 假如让你架设一条输电线路，在铝线和铁线之间，你选用哪种？说说你的理由。

练 习

1. 有两段导体 1 和 2，在相同的电压下，通过导线 1 的电流较大，通过导线 2 的电流较小，哪段导线的电阻大？

2. 电阻的单位是____，简称____。

3. 24 000 欧=____千欧=____兆欧。

4. 导体的电阻是导体本身的一种性质，它的大小决定于导体的____、____和____。

在国际单位制中，某种材料制成的长度为 1 米、横截面积为 1 毫米²的导线的电阻，叫做这种材料的电阻率。

二、变阻器

？一幕话剧要开始了，剧场里的照明灯逐渐由亮变暗，把人们带入剧情。现在请你设想一下，在不改变电压的情况下，有没有办法来逐渐改变灯泡的亮度？

实验 把一个叫做滑动变阻器的装置跟小灯泡一起串联在电路里，如图 7—6 所示。合上开关后，左右移动滑片，同时观察小灯泡的亮度。

图 7—6 用滑动变阻器改变小灯泡的亮度

我们看到，随着滑片的移动，灯泡的亮度逐渐发生变化，由亮逐渐变暗，或由暗逐渐变亮。

滑动变阻器为什么能使灯泡的亮度逐渐发生变化呢？原来滑动变阻器是用电阻率较大的合金线制成的，这种合金线又叫电阻线，改变电阻线在电路中的长度，就可以逐渐改变电阻，从而逐渐改变电流，使小灯泡的亮度逐渐变化。

图 7—7 是实验室里常用的一种滑动变阻器。请你自己对照实物和图 7—7，弄清滑动变阻器的构造、原理和用法。然后认真做图 7—8 的实验，学会使用滑动变阻器。

甲乙图 7—7 滑动变阻器

套在瓷筒或胶木筒上的线圈由表面涂着绝缘漆的电阻线绕成，它的一个头与接线柱 A 相连，筒上方的金属棒架在绝缘瓷架上，棒的一端有一接线柱 D。套在金属棒上的金属滑片可在棒上滑动，并与线圈紧密接触，线圈上能接触滑片的地方，绝缘漆已被刮去（图甲）。接线柱 A 和 D 用来把滑动变阻器连入电路中，当滑动变阻器连入电路中时，实际上是把接线柱 A 到滑片之间的电阻线连入电路。滑片向 A 端移动，连入电路的电阻线变短，于是电阻变小；滑片向 D 端移动，连入电路的电阻变大（图乙）。右上角画的是变阻器在电路图中的符号。

图 7—8

实验 先仔细观察滑动变阻器，看向哪方移动滑片是使电阻增大，向哪方移动滑片是使电阻减少。然后按图 7—8 所示连接电路，移动滑片使电阻增大，电流减小。观察电流表的示数变化以及小灯泡的亮度变化，看你做得是否正确。再做一次使电流增大的实验。你做对了吗？

变阻器在技术上有重要的应用，调节收音机和电视机音量大小的电位器，就是一种变阻器（图 7—9）。

图 7—9 收音机中的电位器

每一个变阻器都有规定的最大电阻和允许通过的最大电流，使用时要根据需要进行选择，不能使通过的电流超过最大值，否则会烧坏变阻器。通常在使用前应先将电阻调到最大。

电阻箱 滑动变阻器能够逐渐地改变连入电路的电阻，但不能表示出连入的阻值。电阻箱是一种能够表示出阻值的变阻器。

图 7—10 是实验室用的旋盘式电阻箱。在它的面板上有两个接线柱、四个旋盘。使用时，把两个接线柱接入电路，调节四个旋盘就能得到 0~9999 欧之间的任意整数阻值。各旋盘对应的指示点（图中的小三角）的示数乘以面板上标记的倍数，然后加在一起，就是接入电路的阻值。图 7—10 所示电阻箱的示数为 3608 欧。

图 7—10 电阻箱

想想议议 图 7—11 是有四个接线柱的滑动变阻器，把它连接在电路中时，可能有几种正确接法？

图 7—11

练 习

1. 滑动变阻器是通过改变接入电路中的电阻线的____改变电阻的。
2. 当把图 7—12 中滑动变阻器的滑片 P 向左移动时，连入电路的电阻变____，电路中的电流变____，灯泡变____。

图 7—12

3. 图 7—13 所示电阻箱的示数是多少？

图 7—13

* 三、 半导体

学过电阻的知识以后，我们可以进一步懂得导体和绝缘体的区别。导体容易导电，是因为它的电阻很小，绝缘体不容易导电，是因为它的电阻很大。一般说来，绝缘体的电阻比导体的电阻大 10^{13} （十万亿）倍以上。

还有一些材料，导电性能介乎导体与绝缘体之间。它们的电阻比导体大得多，但又比绝缘体小得多。这类材料就叫做半导体。锗、硅、砷化镓等，都是半导体。

当作导体来使用，半导体的电阻太大了。当作绝缘材料来使用，半导体的电阻又太小了。似乎半导体没有什么用处了。其实不然，半导体有许多特殊的电学性能，使它获得了多方面的重要应用。

有的半导体，在受到压力后电阻发生较大的变化。利用这种半导体可以做成体积很小的压敏元件，它可以把压力变化转变成电流的变化。使人们在测出电流变化后也就知道了压力的变化。

有的半导体，在受热后电阻随温度的升高而迅速减小。利用这种半导体可以做成体积很小的热敏电阻。热敏电阻可以用来测量很小范围内的温度变化，反应快，而且精确度高。

有的半导体，在光照下电阻大为减小。利用这种半导体可以做成体积很小的光敏电阻。没有光照时，光敏电阻就像绝缘体那样不容易导电；有光照时，光敏电阻又像导体那样导电。因此，光敏电阻广泛应用到需要对光照反映灵敏的许多自动控制设备中。

半导体还有许多奇妙的电学性能，上面举出的只是几个浅显的例子。正是由于它的这些特性，人们用半导体做成了许许多多用途不同的元件，广泛应用到各个方面。我们在后面的第十五章里，还要再学到一些用半导体做成的电子元件的有趣的应用。

* 四、超导体

1911年，荷兰物理学家昂尼斯（1853~1926）测定水银在低温下的电阻值时发现，当温度降到-269℃左右时，水银的电阻突然消失，也就是电阻变为零。以后又发现还有一些金属或合金，当温度降到某一温度时，电阻也会变为零。这种现象叫做超导现象，能够发生超导现象的物质叫做超导体。物质的电阻变为零时的温度叫做这种物质的超导转变温度或超导临界温度，用 T_c 表示。物质的温度低于 T_c 时具有超导性，高于 T_c 时失去超导性。

超导体如果能应用于实际，会给人类社会带来很大的好处。

输电导线有电阻，从发电厂把电送到各个用户的过程中，由于电流的热效应，输电导线会发热，造成电能的损耗，这是一种巨大的损失。利用超导体电阻为零的特性，可以大大降低输电的损耗。

发电机和电动机中的线圈是用导体绕制的，如果用超导体制成超导线圈，可以装配成质量小、功率大、效率高的发电机和电动机，具有很高的经济效益。

利用超导体可制造出磁悬浮列车。这种列车行驶起来后，由于超导体中强大电流的磁性作用，列车受到向上的推力而悬浮，使列车与路轨之间脱离接触，不产生摩擦。这种磁悬浮列车的运动时速可达几百千米，从北京到上海，只需几个小时。

目前超导体还只应用在科学实验和高新技术中，这是因为一般的金属或合金的 T_c 都较低，如铝的 T_c 是-271.76℃，铅的 T_c 是-265.97℃，要维持这样的低温，在技术上是非常困难的。几十年来科学家一直期望有一天能够得到在室温下就能工作的超导材料。近些年，世界各国掀起了研究新超导材料的高潮，我国的研究工作走在世界的前列，1989年已找到 T_c 达-141℃的超导材料。目前，科学家们还在继续研究 T_c 更高的超导材料，随着研究工作的进展，超导体的应用也将日益普遍。本书编者希望在我们的青年读者中，将来会有人在这个领域里作出新的贡献。

小实验 用自制滑动变阻器控制小灯泡的亮度

用木板、图钉、薄铁片、细铜丝（或细铁丝）、小木夹等，按照图 7—14 做一个电池夹和一只小灯泡座。

图 7—14

用小刀将铅笔剖成两半，留下附着铅笔心的那一半。在铅笔心的一端接一根导线（用细线绑紧或用胶布粘住），以便把铅笔心连入电路。用铜线在铅笔上绕几圈，做成一个能紧密接触铅笔心又能在铅笔上滑动的铜环。这样就做成了一个滑动变阻器。

用导体把电池、小灯泡和自制的变阻器连接起来，观察铜环在铅笔心上滑动时小灯泡亮度的变化。

在用一节干电池的情况下，要选用标有 1.2V 的小灯泡。

图 7—14

习 题

1. 用同样的导线从发电厂向工厂、学校输电，发电厂距工厂较近，距学校较远。哪一条输电线路的电阻大？哪条小？

2. 用一根导线从甲地到乙地拉一条电话线。如果不是用一根而是把两根这种导线并到一起使用，这时电话线的电阻是增大了，还是减少了？

3. 如果只能在粗细相同的铁丝和锰铜丝之间作出选择，那么，你选择什么作连接电路的导线？选择什么作变阻器的电阻丝？说出你选择的根据。

4. 图 7—15 是一种改变电路中电流大小的装置，R 是用电阻线制成的一种变阻器——滑线变阻器。合上开关后，要使灯泡暗些，导线夹应向哪边移动？要使灯泡亮些，应向哪边移动？为什么？

5. 图 7—16 给出了几种元件。在图上用铅笔连线表示导线把电路元件连接起来，要求 L_1 与 L_2 并联，且用滑动变阻器控制通过 L_1 的电流大小。

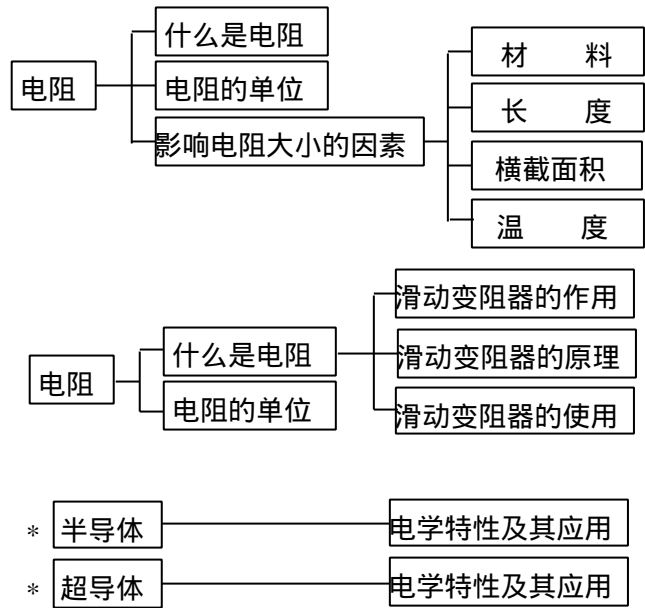
6. 图 7—17 表示一种自动测定油箱内油面高度的装置。R 是滑动变阻器，它的金属滑片是杠杆的一端。从油量表（由电流表改装而成）指针所指的刻度，就可以知道油箱内油面的高度。说明它的工作原理。

图 7—15

图 7—16

图 7—17

学 到 了 什 么



你能根据上面的方框回忆起本章学到的知识吗？

第八章 欧姆定律

1. 电流、电压、电阻之间有什么关系？
2. 知道这种关系有什么用处？

一、电流跟电压、电阻的关系

我们知道电压是产生电流的原因。由此可以想到，电压越高，电流可能越大。我们还知道，电阻表示导体对电流的阻碍作用，电阻越大，电流将越小。知道电流跟电压和电阻的关系，是研究和分析各种电路的关键，是电学中的一个十分重要的问题。下面我们将用实验来研究这个关系。

先保持电阻不变，研究电流跟电压的关系。

电流跟电压的关系

实验 按图 8—1 连接电路，其中 R 是定值电阻， R' 是滑动变阻器。闭合开关 S 后，调节滑动变阻器的滑片，使 R 两端的电压成整数倍地变化，如 2 伏、4 伏、6 伏等。根据电压表和电流表的示数，读出每次加在 R 上的电压值和通过 R 的电流值，并记录在下面的表格里。

图 8—1 研究电流跟电压的关系

电压(伏)			
电流(安)			

根据实验数据进行讨论，然后填好下面的结论。在电阻一定的情况下，导体中的电流跟这段导体两端的电压_____。

电流跟电阻的关系 现在保持电压不变，看一看电流跟电阻的关系。

实验 仍利用图 8—1 的电路，换用不同的定值电阻，使电阻成整数倍地变化，如 5 欧、10 欧、15 欧等。调节变阻器的滑片，保持每次定值电阻两端的电压不变。把对应于不同阻值的电流值记录在下面的表格里。

图 8—1 研究电流跟电压的关系

电阻(欧)			
电流(安)			

根据实验数据进行讨论后，填好下面的结论。在电压不变的情况下，导体中的电流跟导体的电阻_____。

二、欧姆定律

把上一节的实验结果综合起来，我们可以得出下面的结论：

导体中的电流，跟导体两端的电压成正比，跟导体的电阻成反比。

这个结论是德国物理家欧姆在 19 世纪初期经过大量实验得出的，叫做欧姆定律。

如果用 U 表示导体两端的电压， R 表示这段导体的电阻， I 表示这段导体中的电流，并且 U 的单位用伏， R 的单位用欧， I 的单位用安，那么，欧姆定律可以写成如下公式：

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

欧姆定律告诉我们，电路中的电流是怎样决定于电压和电阻的，它是关于电路的一条重要定律，在解决各种电路的实际问题中有广泛的应用。对于一段电路，只要知道电流、电压、电阻这三个物理量中的两个，就可以利用欧姆定律计算出第三个量。

[例题 1] 一盏白炽电灯，电阻为 807 欧，接在 220 伏的电源上。求通过这盏电灯的电流。

解电学题，为了便于分析问题，最好先根据题意画出电路图，在图上标明已知量的符号、数值和未知量的符号（图 8—2）。这对初学者特别重要。

图 8—2

图 8—3

图 8—4

解：根据欧姆定律，

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220\text{伏}}{807\text{欧}} \quad 0.27\text{安} .$$

[例题 2] 有一种指示灯，电阻为 6.3 欧，通过的电流为 0.45 安时才能正常发光。要使这种指示灯正常发光，应加多大的电压？

这道题需把公式 $I = \frac{U}{R}$ 变形，得到 $U = IR$ ，然后进行计算。

解：由 $I = \frac{U}{R}$ 得到，

$$U = IR = 0.45\text{安} \times 6.3\text{欧} \quad 2.8\text{伏} .$$

[例题 3] 用电压表测出一段导体两端的电压是 7.2 伏，用电流表测出通过这段导体的电流为 0.4 安，求这段导体的电阻。

这道题也需要把公式 $I = \frac{U}{R}$ 变形，得到 $R = \frac{U}{I}$ 后再进行计算。

解：由 $I = \frac{U}{R}$ 得到，

$$R = \frac{U}{I} = \frac{7.2\text{伏}}{0.4\text{安}} = 18\text{欧} .$$

从例题 3 可以看出，如果分别用电压表和电流表测出电路中某一导体两端的电压和通过它的电流，就可以根据欧姆定律算出这个导体的电阻。这

种用电压表和电流表测定电阻的方法叫做伏安法。

想想议议 为了保护电流表和电压表，通过它们的电流不可过大，电流过大会烧坏的危险。电流表的特点是电阻很小，学过欧姆定律后，你能懂得在实验中绝不允许直接把电流表接到电源的两极上的道理吗？大家讨论一下，把道理弄懂。

电压表的特点是电阻很大，把电压表接到电源的两极上没有烧坏的危险，这又是为什么？

图 8—3

图 8—4

练 习

1. 工厂中车床照明灯采用 36 伏的安全电压。某车床照明灯工作时灯丝电阻是 32 欧，求通过灯丝的电流。

2. 一段导体两端电压是 2 伏时，导体中的电流是 0.5 安。如果电压增大到 3 伏，导体中的电流变为多大？

3. 电压保持不变，当接电阻为 242 欧的灯泡时，电路中的电流为 0.91 安。如改接电阻为 165 欧的电烙铁，电路中的电流变为多大？

4. 一个电灯泡，在室温下用伏安法测一次电阻，在正常工作时再用伏安法测一次电阻。后一次测得的阻值将比前一次测得的阻值大 10 倍以上。想想看，为什么两次测量结果会有这样大的差异？

三、实验：用电压表和电流表测电阻

在这个实验中，我们要用伏安法测定一只电阻的阻值。我们已经知道，只要测出这只电阻两端的电压和通过它的电流，就可以根据欧姆定律计算出它的电阻。实验中可用滑动变阻器改变被测电阻两端的电压，读取几组电压值和电流值。

在这个实验里，除了待测的电阻和滑动变阻器，还需哪些器材？检查一下老师给你准备的器材够不够。器材的规格已由老师选定，使用前注意了解一下器材的规格，如电源的电压、电压表、电流表的量程等。

同学们根据实验目的，自己设计实验电路。先画出电路图，然后连接电路。改变被测电阻两端的电压，分别记下三组对应的电压值和电流值。根据每组数据，算出电阻，最后算出电阻的平均值，作为被测电阻的阻值。

写出实验报告，内容包括：实验目的，实验原理和电路图，实验器材，实验步骤，实验表格和数据以及测量结果。

想想议议 在物理实验中选择实验器材，不但要考虑需要哪些器材，还要考虑器材的规格和性能，如电源的电压、仪表的量程等。在这个实验中，如果被测电阻的阻值大约是 80 欧，选用的电源电压为 1.5 伏，选用的电流表量程是 0~0.6 安，那么，电源电压和电流表量程的选择是否得当？为什么？

四、电阻的串联

? 有两只 5 欧的定值电阻 现在我们需要 10 欧的电阻 ,有什么办法 ?
电阻串联的知识可以帮助我们解决这个问题 .

实验 按图 8—5 所示 , 将已知阻值的电阻 R_1 、 R_2 串联接在电路中 ,
接通电源后 , 读取电压表和电流表的示数 U 和 I , 用欧姆定律算出 R_1 与 R_2

串联后的总电阻 $R = \frac{U}{I}$. 再把 R_1 与另一已知阻值的电阻 R_3 串联起来 ,
按同样办法得出 R_1 、 R_3 串联后的总电阻 R' .

图 8—5

从实验可以得出结论 :

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

利用前面学过的知识 , 我们也可以推导出上述的结论 . 我们已经知道 :
串联电路中各处的电流相等 ; 串联电路两端的电压等于各部分电路两端的
电压之和 . 现在就利用这两个实验结论和欧姆定律 , 来推导串联电路的总
电阻和各个电阻之间的关系 .

如图 8—6 , 设串联电阻的阻值为 R_1 、 R_2 , 串联后的总电阻为 R . 由于
通过整个电路的电流都是 I , 根据欧姆定律 , 我们有 :

图 8—6

$$U = IR, U_1 = IR_1, U_2 = IR_2,$$

由于 $U = U_1 + U_2$,

因此 $IR = IR_1 + IR_2$.

图 8—6

由此得出 :

$$R = R_1 + R_2 .$$

这表明串联电路的总电阻 , 等于各串联电阻之和 .

现在 , 你一定很容易把两只 5 欧的电阻组成 10 欧的电阻了 .

把几个导体串联起来 , 相当于增加了导体的长度 , 所以总电阻比任何
一个导体的电阻都大 .

[例题] 把 5 欧的电阻 R_1 跟 15 欧的电阻 R_2 串联起来 , 接在电压是 6
伏的电源上 , 求这个串联电路中的电流 .

图 8—7

画出电路图 (图 8—7) . 求出 R_1 、 R_2 串联后的总电阻 R , 再根据

欧姆定律 $I = \frac{U}{R}$ 求出电路中的电流 I .

图 8—7

解 :

$$\begin{aligned} R &= R_1 + R_2 = 5 \text{ 欧} + 15 \text{ 欧} \\ &= 20 \text{ 欧} . \end{aligned}$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6 \text{ 伏}}{20 \text{ 伏}} = 0.3 \text{ 安} .$$

[例题 2] 有一只小灯泡 , 它正常发光时灯丝的电阻是 8 . 3 欧 , 正常

工作时电压是 2.5 伏。如果我们只有电压为 6 伏的电源，要使小灯泡正常工作，需要串联一个多大的电阻？

图 8—8

先画出电路图（图 8—8）。根据串联电路中电压的关系 $U = U_1 + U_2$ 可以看出，给小灯泡串联一个电阻 R_2 ，可分去一部分电压，使小灯泡两端的电压 U_1 为正常的工作电压 2.5 伏。所以 R_2 分去的电压 U_2 应该等于 $U - U_1$ 。

图 8—8

R_2 的阻值应该是多大，才能分去电压 U_2 呢？根据欧姆定律，如果知道通过 R_2 的电流 I ，就可以求出 $R_2 = \frac{U_2}{I}$ 。

小灯泡跟 R_2 是串联的，通过它们的电流相等，所以只要求出通过小灯泡的电流，就得到了通过 R_2 的电流。已知加在小灯泡上的电压 U_1 和小灯泡的电阻 R_1 ，根据欧姆定律就可以求出通过小灯泡的电流 $I = \frac{U_1}{R_1}$ 。

解：

$$\begin{aligned} \text{电阻 } R_2 \text{ 分去的电压：} U_2 &= U - U_1 = 6 \text{ 伏} - 2.5 \text{ 伏} \\ &= 3.5 \text{ 伏。} \end{aligned}$$

$$\text{电路中的电流：} I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{2.5 \text{ 伏}}{8.3 \text{ 伏}} \quad 0.3 \text{ 安。}$$

$$\text{需要串联的电阻：} R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{3.5 \text{ 伏}}{0.3 \text{ 安}} \quad 11.7 \text{ 欧。}$$

想想议议 想想看，把三个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 串联起来，它们的总电阻是多大？把几个电阻 R_1 、 R_2 …… R_n 串联起来，总电阻又是多大？你能够用推导的方法来证明你的想法吗？

练习

1. 电阻 R_1 与 R_2 串联后的总电阻为 150 欧，已知 $R_1 = 65$ 欧， R_2 应为多少欧？

2. 电阻 R_1 与 R_2 串联接入电路后，两端所加电压为 24 伏，如果 $R_1 = 80$ 欧，通过 R_1 的电流为 0.2 安，求 R_2 。

3. 灯泡 L_1 和 L_2 串联在电路中，加在它们两端的总电压为 12 伏， L_1 的电阻是 8 欧， L_2 两端的电压是 4 伏，求 L_1 中的电流。

五、电阻的并联

有两只 10 千欧的电阻，现在我们需要 5 千欧的电阻，怎么办？电阻并联的知识可以帮助我们解决这个问题。

实验按图 8—9 连接电路， R_1 、 R_2 是两个已知阻值的电阻。合上开关，测出并联电路两端的电压和干路中的电流，用欧姆定律算出 R_1 与 R_2 并联后的总电阻，并将这个阻值与 R_1 、 R_2 进行比较。

图 8—9

从实验可以知道，几个电阻并联后的总电阻比其中任何一个电阻都小。

利用前面学过的知识，我们还可以推导并联电路的总电阻跟各个电阻的定量关系。

我们已经知道：并联电路中的总电流等于各支路中的电流之和；并联电路中各支路两端的电压相等；现在就利用这两个结论和欧姆定律，来推导并联电路的总电阻和各个电阻的定量关系。

图 8—10

如图 8—10，设支路的电阻分别为 R_1 和 R_2 ，电路两端的电压为 U ，根据欧姆定律，我们有：

图 8—10

$$\text{通过 } R_1 \text{ 的电流, } I_1 = \frac{U}{R_1},$$

$$\text{通过 } R_2 \text{ 的电流, } I_2 = \frac{U}{R_2},$$

$$\text{干路上的电流, } I = \frac{U}{R}, \text{ 其中 } R \text{ 为并联电路的总电阻。}$$

$$\text{由于} \quad I = I_1 + I_2,$$

$$\text{因此} \quad \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}.$$

$$\text{由此得出:} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

这表明并联电路的总电阻的倒数，等于各并联电阻的倒数之和。

现在，你很容易知道，把两只 10 千欧的电阻并联起来，就可以得到 5 千欧的电阻了。

几个电阻并联起来，总电阻比任何一个电阻都小。这是因为把导体并联起来，相当于增大了导体的横截面积。

想想议议 想想看，把三个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 并联起来，它们的总电阻是多大？把几个电阻 R_1 、 R_2 …… R_n 并联起来，总电阻又是多大？你能够用推导的方法来证明你的想法吗？

练习

1. 已知 $R_1=20$ 欧， $R_2=60$ 欧，求 R_1 与 R_2 并联后的总电阻 R 。

2. 在你家中，同时工作的用电器越多，干路中的电流是越大还是越小？

为什么？

阅读材料 欧姆坚持不懈的精神

欧姆是德国物理学家，幼年家贫，曾中途辍学，后来经过自己的努力才完成学业。他当过多年的中学数学和物理教师，在教好学生之余，他还努力从事科学研究。我们现在看到的欧姆定律的公式那么简单，可是欧姆为了研究这个问题，花费了十年的心血。当时的实验条件很差，没有现成的测量电流的仪器，他想了种种办法，经历了多次失败，才自己制成了相当精密的测量电流的电流扭秤（不是我们现在通用的电流表）；他最初使用的电源，电压很不稳定，使实验工作遇到很大困难，经过5年他才找到电压稳定的电源，再经过长期的细致研究，终于取得了成果。他的研究成果在1826年发表后，当时的物理学界并不重视，使他非常失望。但随着电学研究的进展，大家终于认识到这一成果的重要性，欧姆本人也被聘为大学教授，并获得英国皇家学会的奖章。为了纪念他，后人把他的名字定为电阻的单位名称，并把发现的定律叫做欧姆定律。

欧姆（1787～1854）

小实验 两只灯泡串并联的转换

先制作一个转换开关，方法是：将四只光洁的图钉依次按在一块小木板上，分别标以 A、B、C、D，其中 A 和 C 上各套一个曲别针，曲别针与图钉帽紧密接触但能够转动，以便与相邻的图钉帽接触，如图 8—11 甲所示。然后按图 8—11 乙连接电路。为了连接电路方便，可以在固定图钉之前先把导线头缠绕在图钉上。

图 8—11

利用转换开关，先使 B、C 两点相连，这时两只小灯泡串联；然后同时使 A、B 相连、C、D 相连，这时两只小灯泡并联。所用的这两只小灯泡是相同的，比较这两种情况下小灯泡的发光亮度并作出解释。

习 题

1. 一根铜线和一根镍铬合金线，长短粗细相同，把它们串联在电路里。哪根导线两端的电压大？哪根导线中的电流大？为什么？

2. 如果给一只灯泡两端加 220 伏电压，通过它的电流是 0.45 安，这时灯泡的灯丝电阻是多大？

3. 一段导体两端电压是 3 伏时，导体中的电流是 0.5 安。如果电压增大到 6 伏，导体中的电流是多大？如果电压减小到 1.5 伏时，电流又是多大？

4. 在用伏安法测电阻的实验中，电压表的示数为 4.8 伏，电流表的示数为 0.5 安。如果改变电源电压后，电压表的示数为 12 伏，前后两次都用量程为 0~0.6 安的电流表行不行？如果不行，应该怎么办？

5. 两盏电灯串联后接在 220 伏的家庭电路里，如果它们的电阻 R_1 和 R_2 分别是 440 欧和 660 欧，求这段电路的总电阻以及通过每盏灯的电流。

6. 电阻 R_1 和 R_2 串联后的总电阻为 1.2 千欧，如果它们两端的总电压为 48 伏， R_1 两端的电压为 12 伏，求 R_1 和 R_2 。

7. 电阻 R_1 与 R_2 串联在电路中，已知 R_1 两端的电压为 1.5 伏， R_2 两端的电压为 4.5 伏， $R_1+R_2=600$ 欧。 R_1 、 R_2 各为多少欧？

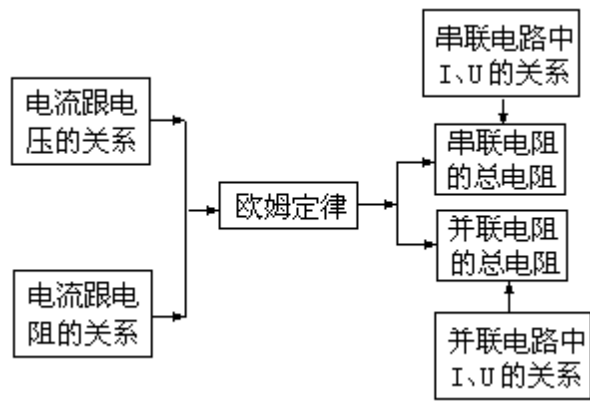
8. 有一个阻值已看不清楚的电阻器 R_1 ，我们要测出它的阻值。但手边只有一个电池组、一个电压表、一个已知阻值的电阻器 R_2 和几根导线。你有办法测出 R_1 的阻值吗？说出你的办法和理由。

9. 有两根粗细相同、长短不同的锰铜线，把它们并联后接在电路里，哪根导线两端的电压大？哪根导线中的电流大？

10. 一位同学做实验时，需要阻值为 2 欧、5 欧、40 欧的电阻各一个，但是手边只有一些阻值为 10 欧的电阻。请你为这位同学考虑一下，怎样用 10 欧的电阻，组成所需要的各个电阻，一共需要多少个 10 欧的电阻？

学 到 了 什 么

请同学们根据下面的知识结构图，回忆每一个方框内的知识内容并弄清知识之间的联系。



第九章 电功和电功率

1. 什么是电功和电功率？
2. 电流产生的热量跟哪些因素有关系？

一、电功

电功 水流可以做功，例如水流可以推动水轮机做功。电流也可以做功吗？如图 9—1 所示，给小电动机通电，电动机转动起来，可以把砝码提起。这个实验表明电流是可以做功的。这时，一方面电动机消耗电能，同时砝码的机械能增加。所以，在电流通过电动机做功的过程中，电能转化为机械能。

图 9—1 电流做功把砝码提起来

电流不仅通过电动机时做功，通过电灯、电炉等用电器时都要做功(图 9—2)。电流通过电炉时发热，电能转化为内能。电流通过电灯时，灯丝灼热发光，电能转化为内能和光能。

图 9—2 电流做功的实例

电流做功，电流做功，
电炉发热，电灯发光。
电流做功，电流做功，
电扇转动，电车开动。

电流做功的过程，实际就是电能转化为其他形式能量的过程。电流做了多少功，就有多少电能转化为其他形式的能量。

电流做功的多少跟什么因素有关系呢？

实验 在图 9—1 所示的实验中，砝码被提起得越高，表示电流做的功越多。保持相同的通电时间，用变阻器改变电压和电流，先后做两次实验。两次实验中分别用电压表和电流表测出电压和电流，并比较砝码被提升的高度。

从大量实验结果知道：在通电时间相同的情况下，电压越大，电流越大，砝码被提升得越高，表示电流做的功越多。如果保持电压和电流不变，通电时间越长，砝码被提升得越高，电流做的功就越多。

研究表明：电流所做的功跟电压、电流和通电时间成正比。电流所做的功叫做电功。如果电压 U 的单位用伏特，电流 I 的单位用安培，时间 t 的单位用秒，电功 W 的单位用我们在前面学过的焦耳，那么，计算电功的公式是：

$$W=UIt.$$

这就是说，电流在某段电路上所做的功，等于这段电路两端的电压、电路中的电流和通电时间的乘积。

通过手电筒灯泡的电流，每秒钟做的功大约是 1 焦。通过普通电灯泡的电流，每秒钟做的功一般是几十焦。通过洗衣机中电动机的电流，每秒钟做的功是 200 焦左右。

焦耳这个单位很小，用起来不方便，生活中常用“度”作电功的单位，就是平常说的用了几度电的“度”。

$$1 \text{ 度} = 3.6 \times 10^6 \text{ 焦}.$$

电能表 电功通常用电能表(俗称电度表，图 9—3)来测定。把电能表接在电路中，电能表的计数器上前后两次读数之差，就是这段时间内用电的度数。例如，家中电能表在月初的读数是 3246.8 度，月底的读数是 3265.4 度。这个月家里用电就是 18.6 度。

图 9—3 电能表

我们不能小看 1 度电的作用，图 9—4 大致表示出了 1 度电在国民经济中的作用。看了这个图，你会对节约用电有进一步的认识。我国 1993 年的发电量是 8200 亿度，按 11.8 亿人口计，平均每人每年 695 度。我国电力还不充裕，节约用电不仅是节省个人开支，更是支援国家建设。

图 9—4 1 度电的作用

调查 调查一下自己的家庭、学校或附近熟悉的单位有没有浪费电的情况。如果有，商讨出节电的办法来。

练习

1. 什么叫做电功？电功的单位是什么？测量电功的仪表是什么？
2. 写出计算电功的公式，并指出公式中各物理量所用的单位。
3. 在电路中有一用电器，两端电压是 6 伏，通过它的电流是 200 毫安，5 分钟内电流所做的功是多少？
4. 有一只灯泡接在电压是 220 伏的家庭电路中，点亮 10 小时用了 1 度电，这只灯泡工作时的电流是多大？

二、电功率

电功率 在相同的时间内，电流通过不同用电器所做的功，一般并不相同。例如，在相同的时间内，电流通过电力机车的电动机所做的功，要显著地大于通过电扇的电动机所做的功。为了表示电流做功的快慢，物理学中引入了电功率的概念。

电流在单位时间内所做的功叫做电功率。电功率用 P 来表示， $P = \frac{W}{t}$ ，

而 $W = UIt$ ，所以

$$P = UI。$$

上式表明，电功率等于电压与电流的乘积。

在上式中，电压 U 的单位要用伏特，电流 I 的单位要用安培，这样，电功率 P 的单位就是我们在前面学过的瓦特。

电功率的单位还有千瓦，1 千瓦 = 1000 瓦。

由电功率的单位千瓦，可以引出一个电功的单位，叫做千瓦时。电功率为 1 千瓦，电流在 1 小时内所做的功，就是 1 千瓦时。千瓦时也就是前一节提到的“度”。不过“度”是日常的说法，今后我们一律用千瓦时。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 千瓦时} &= 1000 \text{ 瓦} \times 3600 \text{ 秒} \\ &= 3.6 \times 10^6 \text{ 焦}。 \end{aligned}$$

[例题] 一盏电灯连在电压是 220 伏的电路中，灯泡中通过的电流是 68 毫安，这个灯泡的电功率是多少瓦？一个月总共通电 100 小时，电流所做的功是多少焦，多少千瓦时？

解：

灯泡的电功率为

$$\begin{aligned} P &= UI = 220 \text{ 伏} \times 0.068 \text{ 安} \\ &= 15 \text{ 瓦}。 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= Pt = 15 \text{ 瓦} \times 3.6 \times 10^5 \text{ 秒} \\ &= 5.4 \times 10^6 \text{ 焦}。 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{或者 } W &= Pt = 0.015 \text{ 千瓦} \times 100 \text{ 时} \\ &= 1.5 \text{ 千瓦时}。 \end{aligned}$$

额定功率 通常我们说这个灯泡的电功率是 40 瓦，那个电烙铁的电功率是 60 瓦，并没有明确地指明电压。在不同的电压下，同一个用电器的电功率总是一样大吗？

实验 取一个“36V25W”的灯泡。把它接在 36 伏的电路中，它正常发光。把它接在 6 伏的电路中，它发光暗淡。把它接在 40 伏的电路中，它强烈发光。

实验表明，用电器实际消耗的功率随着加在它两端的电压而改变。既然如此，我们就不能泛泛地说一个用电器的功率是多大，而要指明电压。用电器正常工作时的电压叫做额定电压，用电器在额定电压下的功率叫做额定功率。

一些电器设备的功率

电子表	0.001 瓦
半导体收音机（六管）	0.06 ~ 0.4 瓦
47 厘米彩色电视机	40 瓦
日光灯	3 ~ 40 瓦
普通照明灯泡	15 ~ 60 瓦
常用电烙铁	20 ~ 100 瓦
家用电冰箱	100 ~ 140 瓦
洗衣机	约 200 瓦
吸尘器	800 瓦
碘钨灯	1000 瓦
电熨斗	100 ~ 1500 瓦
电饭锅	350 ~ 1350 瓦
家用电烤炉	450 ~ 1500 瓦
韶山 型电力机车	4200 千瓦

电灯泡上标着“PZ220—25”（图 9—5），表示额定电压是 220 伏，额定功率是 25 瓦。电烙铁上标着“36V

100W”或“220V60W”，也是指的额定电压和额定功率。

图 9—5 灯泡上的铭牌。PZ 是普通照明灯泡中“普”和“照”的汉语拼音的第一个字母，表示灯泡的型号。

电动机的铭牌上也标着额定电压和额定功率。

我们使用各种用电器一定要注意它的额定电压，只有在额定电压下用电器才能正常工作。实际电压偏低，用电器消耗的功率低，不能正常工作。实际电压偏高，长期使用会影响用电器的寿命，还可能烧坏用电器。

练 习

1. 电功率的大小表示电流做功的 ____。电功率的计算式 $P = \frac{W}{t} = \frac{U \cdot I}{t}$ 。

2. 电功和电功率的单位分别是

- 千瓦时和焦耳；
- 千瓦和瓦特；
- 焦耳和瓦特。

3. 一盏电灯 25 小时耗电 1 千瓦时，这盏电灯的功率是多少？

4. 一个在额定电压下工作的电烙铁，功率是 100 瓦，电流是 454 毫安。这个电烙铁的额定电压是多大？

三、实验：测定小灯泡的功率

常用的小灯泡标着额定电压（如 1.2V, 2.5V, 3.8V），而未标明额定功率。这个实验里我们要测定小灯泡的额定功率和小灯泡不在额定电压下的功率，并加以比较。

根据电功率的公式 $P = UI$ ，测出小灯泡的电压和电流，就可以得出小灯泡的功率。在额定电压下测出的功率就是额定功率。调节小灯泡两端的电压，使它略高于或低于额定电压，就可以测出小灯泡不在额定电压下的功率。

根据实验的要求，自己设计出电路，并画出电路图。检查一下所给的器材是否够用，是否合乎要求。然后连接电路，进行实验。

1. 使小灯泡在额定电压下发光，测出小灯泡的功率。
2. 使小灯泡上的电压约为额定电压的 1.2 倍，观察小灯泡的发光情况，并测出小灯泡的功率。
3. 使小灯泡上的电压低于额定电压，观察小灯泡的发光情况，并测出小灯泡的功率。

自己设计表格，把三次实验数据填在表格里。小灯泡的额定功率是多大？在什么情况下小灯泡消耗的功率大于或小于它的额定功率？

四、关于电功率的计算

? 一个灯泡的铭牌上标着“PZ220—25”，你能不能知道它正常工作时的电阻有多大？一个灯泡，加在它上面的电压比额定电压高（低），它实际发出的功率要比额定功率大（小）。你能够解释这个现象吗？

应用已经学过的欧姆定律和电功率的知识，就可以解决上面的问题了。现在我们来解两个例题。

[例题 1] “PZ220—25”的灯泡，接在 220 伏的电路中，通过灯泡的电流有多大？这时灯泡的电阻有多大？“PZ220—60”的灯泡呢？

解：

对“PZ220—25”的灯泡：

$$\text{电流} \quad I = \frac{P}{U} = \frac{25\text{瓦}}{220\text{伏}} = 0.11\text{安}.$$

$$\text{电阻} \quad R = \frac{U}{I} = \frac{220\text{伏}}{0.11\text{安}} = 2000\text{欧}.$$

对“PZ220—60”的灯泡：

$$\text{电流} \quad I = \frac{P}{U} = \frac{60\text{瓦}}{220\text{伏}} = 0.27\text{安}.$$

$$\text{电阻} \quad R = \frac{U}{I} = \frac{220\text{伏}}{0.27\text{安}} = 815\text{欧}.$$

我们看到，额定电压相同的灯泡，额定功率大的，电阻小。这是因为，在相同的额定电压下，电阻小的灯泡通过的电流大（根据欧姆定律），因此它的额定功率大（根据电功率的公式）。

[例题 2] “PZ220—25”的灯泡，接在 210 伏的电路中，实际发出的功率是多大？接在 230 伏的电路中，实际发出的功率又是多大？

灯泡接在 210 伏、220 伏、230 伏的电路中，可以认为灯丝的电阻 R 没有改变。根据欧姆定律知道，加在灯泡上的电压增高（降低）时，通过灯泡的电流增大（减小）；根据电功率的公式知道，灯泡实际发出的功率将增大（减小）。下面我们根据这个思路作定量计算。

解：

“PZ220—25”的灯泡接在 210 伏的电路中：

$$\text{电流} \quad I_1 = \frac{U_1}{R} = \frac{210\text{伏}}{2000\text{欧}} = 0.105\text{安}.$$

$$\text{功率} \quad P_1 = U_1 I_1 = 210\text{伏} \times 0.105\text{安} = 22.1\text{瓦}.$$

“PZ220—25”的灯泡接在 230 伏的电路中：

$$\text{电流} \quad I_2 = \frac{U_2}{R} = \frac{230\text{伏}}{2000\text{欧}} = 0.115\text{安}.$$

$$\text{功率} \quad P_2 = U_2 I_2 = 230\text{伏} \times 0.115\text{安} = 26.5\text{瓦}.$$

练习

1. 一个电热器所用的电压是 220 伏，电流是 0.23 安，通电 5 分钟，

电流做了多少焦的功？

2. 一个“220V 800W”的电炉，正常工作时电阻丝的电阻有多大？

五、焦耳定律

灯泡接入电路中时，灯泡和电线中流过相同的电流，灯泡和电线都要发热，可是实际上灯泡热得发光，电线的发热却觉察不出来。这是为什么？

假如在照明电路中接入大功率的电炉，电线将显著发热，有可能烧坏它的绝缘皮，甚至引起火灾（图 9—6）。这又是为什么？

图 9—6 家庭电路中使用大功率用电器可能引起火灾

要解释上述现象，需要研究电流产生的热量跟哪些因素有关系。

实验 实验装置如图 9—7 所示，在两个相同的烧瓶中装满煤油，瓶中各放一根电阻丝，甲瓶中电阻丝的电阻比乙瓶中的大。通电后电流通过电阻丝产生的热量使煤油的温度升高，体积膨胀，煤油在玻璃管里上升。电流产生的热量越多，煤油上升得越高。观察煤油在玻璃管里上升的情况，就可以比较电流产生的热量。

图 9—7 研究焦耳定律的实验装置

1. 接通电路一段时间，比较两瓶中的煤油哪个上升得高（图 9—8）。实验结果是：甲瓶中的煤油上升得高。这表明，电阻越大，电流产生的热量越多。

图 9—8 两瓶中电阻丝是串联的，通过的电流相同，只是两根电阻丝的电阻不同，这是在电流和通电时间相同的情况下，研究热量跟电阻的关系。

2. 在两玻璃管中的液柱降回原来高度后，调节滑动变阻器，加大电流，重做上述实验，通电时间与前次相同。在两次实验中，比较甲瓶（或乙瓶）中的煤油哪次上升得高（图 9—9）。实验结果：在第二次实验中，瓶中煤油上升得高。这表明，电流越大，电流产生的热量越多。

3. 实验表明，通电时间越长，瓶中煤油上升得越高，电流产生的热量越多。

图 9—9 第二次实验第一次实验

两次实验中电阻和通电时间相同，只是电流不同，这是在电阻和通电时间的情况下，研究热量跟电流的关系。

英国物理学家焦耳做了大量的实验，于 1840 年最先精确地确定了电流产生的热量跟电流、电阻和通电时间的关系：

电流通过导体产生的热量跟电流的平方成正比，跟导体的电阻成正比，跟通电时间成正比。这个规律叫做焦耳定律。

焦耳定律可以用下面的公式表示：

$$Q=I^2Rt.$$

公式中电流 I 的单位要用安培，电阻 R 的单位要用欧姆，通电时间 t 的单位要用秒，这样，热量 Q 的单位就是焦耳。

焦耳（1818～1889）

[例题] 一根 60 欧的电阻丝接在 36 伏的电源上，在 5 分钟内共产生多少热量？

先利用欧姆定律计算出通过电阻丝的电流，再用焦耳定律公式计算电流产生的热量。

解：

$$I = \frac{U}{R} = \frac{36\text{伏}}{60\text{欧}} = 0.6\text{安}.$$

$$Q = I^2 R t = (0.6)^2 \times 60 \times 300 \text{ 焦} \\ = 6480 \text{ 焦}.$$

电流通过导体时，如果电能全部转化为内能，而没有同时转化为其他形式的能量，也就是电流所做的功全部用来产生热量，那么，电流产生的热量 Q 就等于电流所做的功 W ，即 $Q=W=UIt$ 。再根据欧姆定律 $U=IR$ ，就得到 $Q=I^2Rt$ 。可见，在电流所做的功全部用来产生热量的情况下，焦耳定律可以根据电功的公式和欧姆定律的公式推导出来。

学过了焦耳定律，你能回答这一节开始时提出的两个问题吗？

想想议议 从第四节的例题知道，额定电压相同的灯泡，额定功率越大，电阻越小，单位时间内产生的热量越多。可是按照焦耳定律，电阻越大，单位时间内产生的热量越多。二者似乎有矛盾，这是怎么回事？

练习

1. 电流通过导体产生的热量跟_____成正比，跟_____成正比，跟_____成正比。

2. 指出焦耳定律公式中各物理量使用的单位。

3. 通过 110 欧电阻丝的电流是 2 安，产生 4400 焦的热量要用多长时间？

六、电热的作用

家用电器如电风扇、电视机等，连续使用较长时间后，要停用一会儿，特别是在炎热的夏天。这些电器长期停止使用，隔一段时期应该通电一次，特别是在潮湿的天气。为什么要这样做呢？

原来这是电流的热效应在起作用。各种电器里都有导体，只要电流通过导体，就要发热。连续使用较长时间后，要停用一会儿，是为了散热，防止用电器的温度过高而烧坏元器件。潮湿会降低绝缘性能，使电路工作失常，影响用电器的使用，所以用电器长期停止使用，隔一段时期要通电，利用电热来驱潮。可以说电热既有积极的一面，可供我们利用；又有消极的一面，要防止它造成危害。

电热的利用 电热器是利用电来加热的设备，电炉、电烙铁、电熨斗、电饭锅、电烤炉（图 9—10）等都是常见的电热器。电热器的主要组成部分是发热体，发热体是由电阻率大、熔点高的电阻丝绕在绝缘材料上做成的。电流通过电阻丝发出热量，供人们利用。电热器清洁卫生，没有环境污染，热效率高，有的还可以方便地控制和调节温度，这些都是电热器的优点。

图 9—10 电热在日常生活中的应用

供取暖用的电褥，烘干物品的电烘箱，孵化家禽的电热孵卵器（图 9—11），引发炸药的电热装置，高空飞行员所穿衣服里的电热保温装置等等，都是电热器。它们的构造和用途不同，原理都是一样的。

图 9—11 养鸡场用电热孵卵器孵出小鸡。

防止电热的危害 在电动机里，电流所做的功主要用来做机械功，但电动机里的导线有电阻，也要产生热量，使导线的温度升高。温度超过绝缘材料的耐热温度，绝缘材料会迅速老化，甚至可能烧坏。这就需要考虑如何加快散热。有的电动机里装有风扇，电动机的外壳作成如图 9—12 所示的形状，都是为了加快散热。

图 9—12 电动机的外壳

收音机、电视机也要考虑散热，所以在机壳上都有散热窗（图 9—13）。

图 9—13 电视机的散热窗

想想议议 电流过大会烧断灯泡的灯丝，会烧坏电流表，看来烧断这种现象总是不好的，但是，你反过来想一想，烧断这种现象能不能加以利用？

小实验 利用电能表测电功率

一般家用的电能表的盘面上，标有每千瓦时的转数。例如一只电能表标着 3000 转/千瓦时，这表示每消耗 1 千瓦时的电能，电能表的转盘（盘的边缘上有个红色标记）转 3000 转。利用盘面上的这个数值可以测定用电器的电功率。

现在只让待测功率的用电器工作。记下电能表转盘转过一定转数（比如 15 转）所用的时间，时间可用秒表或手表的秒针来测。利用这些数据怎样算出这个用电器的电功率？

实际测一下灯泡的功率，看看测出的功率跟灯泡上标明的额定功率是否相符。

测定家用电冰箱每天消耗的电功（千瓦时/日）

按照上一小实验中所讲的方法测出电冰箱工作时的电功率 P 。然后确定电冰箱每天的使用时间 t 。直接测定时间 t 比较麻烦，可先测出电冰箱的工作时间系数，按公式 $t = 24 \times \text{系数}$ （小时）算出 t 。测出 P 和 t 就可以知道电冰箱每天消耗的电功。

的测定方法是：记下电冰箱某次开始工作的时刻 t_1 和停机的时刻 t_2 ，再记下接着下一次开始工作的时刻 t_3 。则

$$\text{系数} = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1} .$$

工作时间系数 需在电冰箱正常工作一天之后测定，测定前 1 小时内不开箱门，冷冻食品也不要搬出。

同学们想一想，电冰箱所处环境的温度和开启冰箱门的次数对消耗的电功有什么影响？

习 题

1. 1 千瓦时的电能可以供标有“PZ220—40”的灯泡正常发光多长时间？可以供 100 瓦的电烙铁使用多长时间？可以供 800 瓦的电饭锅使用多长时间？

2. 某次雷电的电流约 2 万安，电压约 1 亿伏，放电时间约 0.001 秒。这次雷电的电功率约多少千瓦，电流所做的功约多少千瓦时？

3. 某工厂共有电灯 1000 盏，都用 60 瓦的普通照明灯泡，平均每天用电 12 小时。如果都改用 40 瓦的日光灯，不但可以省电，且比原来更亮了。该厂一年（365 天）可节约多少千瓦时的电？

4. 一个灯泡的灯丝烧断了，把断了的灯丝搭在一起，灯泡会更亮。怎样解释这个现象？

5. 某导体的电阻是 2 欧，通过 2 安的电流时，1 分钟产生多少焦的热量？

6. 一只额定功率是 450 瓦的电饭锅，在 220 伏的额定电压下使用，每分钟产生多少焦的热量？

7. 某课外小组的同学自制了一只电烙铁，额定电压是 220 伏，在额定电压下工作时的电阻是 1210 欧，它的额定功率有多大？在额定电压下通电 10 分钟产生多少热量？

8. 某校师生为了开展科学实验，自制了一台电烘箱，用来烘干仪器。电烘箱的电阻丝通过的电流是 5 安的时候，每分钟可产生 6.6×10^4 焦的热量。求这台电烘箱的电功率和电阻丝工作时的电阻。

9. 金属的电阻随温度升高而增大。灯泡发光时，灯丝温度很高，灯丝电阻比不发光时大得多。一只“220V 15W”的灯泡，在额定电压下正常发光时灯丝电阻为 3227 欧，而在未接入电路中时电阻仅为 310 欧。在额定电压下，在刚刚接入电路的很短时间内，通过这只灯泡的电流有多大？实际功率有多大？

学 到 了 什 么

1. 电流可以做功。电流通过时，电动机转动，电炉发热，电灯发光，这些都是电流做功的表现。电流做功的过程，也就是电能转化为其他形式能量的过程。电流做了多少功，就有多少电能转化为其他形式的能量。

怎样计算电功？可以用什么仪表测量电功？常用的电功单位有哪些？它们之间的换算关系是怎样的？

2. 电功率是表示电流做功快慢的物理量，电流在单位时间内所做的功叫做电功率。

怎样计算电功率？怎样用实验测定电功率？电功率的单位有哪些？

3. 用电器上标有额定电压和额定功率。

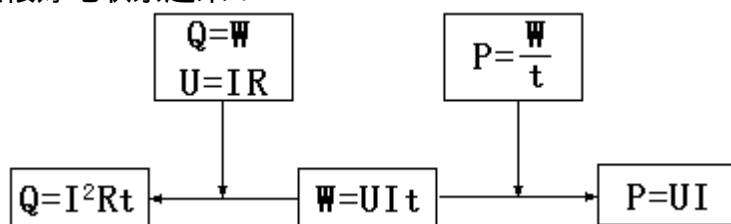
什么叫额定电压？什么叫额定功率？

4. 电流通过导体产生的热量跟电流、电阻、通电时间有关系，焦耳定律确定了它们之间的关系。

焦耳定律的内容是什么？写出焦耳定律的公式。

5. 电热既有积极的一面，可供我们利用；又有消极的一面，要防止它造成危害。试举出利用和防止电热的一些实例。

6. 下面是这一章的知识结构图。希望你看了这个图，能够把这一章的知识很好地联系起来。



第十章 生活用电

1. 你知道生活用电的知识吗？
2. 家庭电路是怎样组成的？
3. 怎样做到安全用电？

一、家庭电路

家庭电路 家庭电路用来给电灯、电视机、洗衣机、电冰箱等各种家用电器供电。每盏电灯都有一个开关，跟电灯串联，用来控制电灯的通断。其他家用电器也都有自己的开关。任何一个家用电器的通断，都不能影响其他家用电器，因此家用电器要并联接入电路中。图 10—1 表示家庭电路的组成。

图 10—1 家庭电路的组成

家庭电路由外面的低压供电线路供电，我国的家庭电路的电压是 220 伏。图 10—2 是家庭电路的供电线路示意图。家庭电路的两根电线，一根叫零线，另一根叫火线，火线和零线之间有 220 伏的电压。在低压供电的电源处，零线是接地的，所以在正常情况下，零线和地之间没有电压，火线和地之间有 220 伏的电压。家用电器并连在电路中，可以保证在正常情况下每个家用电器上的电压都是 220 伏。

图 10—2 家庭电路的供电线路示意图

电能表 家庭电路中要装电能表，用来测量用户在一定时间内消耗多少千瓦时的电能。电能表要装在家庭电路的干路上，外面的供电线路就接在电能表上，这样才能测出用户的全部家用电器消耗的电能。

电能表上标着一个电压值和一个电流值，所标的电压是额定电压，所标的电流是允许通过的最大电流。一只标着“220V 5A”的电能表，可以用在最大功率是 $220 \text{ 伏} \times 5 \text{ 安} = 1100 \text{ 瓦}$ 的家庭电路上，如果同时使用的家用电器的总瓦数超过这个数值，电能表的计数会不准确甚至会烧坏。

保险丝 电路里的电线都有规定的最大电流值，如果电流超过这个规定值，电线会过热，有可能烧坏绝缘皮，甚至引起火灾。为了避免这种事故，电路里必须安装保险装置——保险盒，里面有保险丝。在插入式保险盒中，保险丝装在盒盖上。有些闸刀开关的下方也装有保险丝。

家用保险丝是由电阻率较大而熔点较低的铅锑合金制成的。有过大电流通过时，保险丝产生较多的热量，使它的温度达到熔点，于是保险丝熔断，自动切断电路，起到保险作用。

保险丝有不同的规格。保险丝越粗，使它熔断的电流越大。家庭电路要选用规格合适的保险丝，这样，电线中的电流一旦超过规定值，保险丝就熔断。换保险丝时，不要换用较粗的保险丝，以免电流超过规定值时保险丝也不熔断，失去保险的作用。家庭电路中千万不要用铁丝、铜丝代替保险丝，因为铁丝、铜丝在电流过大时不熔断，起不到保险的作用。

插座 接地 为了给电视机、洗衣机、电冰箱以及其他可能搬动的家用电器供电，家庭电路中装有插座，有墙壁上的固定插座，也有可移动的插座。

通常的插座有两个孔，一个孔接零线，一个孔接火线。把家用电器上的插头插在插座里，家用电器就连入电路。

你可能会注意到：有的插座有三个孔，相应的插头有三个脚（图 10—3）。这是做什么用的？

对电气设备，习惯上把电压在 1 千伏及以上的叫作高压，1 千伏以下的叫作低压。所谓低压，是相对高压而言，这样区分，决不表明它对人身没有危险。

图 10—3 三孔插座和三脚插头

图 10—3 三孔插座和三脚插头

在三孔插座中，除了两个孔分别接火线和零线外，另一个孔是跟大地连接的，也就是接地的。家用电器上的三脚插头，两个脚接用电部分（如电冰箱、洗衣机中的电动机），另外那个与接地插孔相应的脚，是跟家用电器的外壳接通的。这样，把三脚插头插在三孔插座里，在把用电部分连入电路的同时，也把外壳与大地连接起来（图 10—4）。

图 10—4 电冰箱的三根电线，有一根是接地用的。这三根电线接三脚插头。

为什么要这样做呢？家用电器的金属外壳本来是跟火线绝缘的，是不带电的，人体接触外壳并没有危险。但如果内部火线绝缘皮破损或失去绝缘性能，致使火线与外壳接通，外壳带了电，人体接触外壳等于接触火线，就会发生触电事故（图 10—5 甲）。如果把外壳用导线接地，即使外壳带了电，也会从接地导线流走，人体接触外壳就没有危险了（图 10—5 乙）。

图 10—5 金属外壳一定要接地

测电笔 测电笔（图 10—6）是用来辨别火线和零线的：用手接触笔尾的金属体，笔尖接触电线（或与电线连通的导体），如果氖管发光，表示接触的是火线；如果氖管不发光，表示接触的是零线。需要注意的是：使用测电笔，手一定要接触笔尾的金属体。如果手没有接触笔尾的金属体，即使笔尖接触火线，氖管也不发光，测电笔就失去作用了。

图 10—6 测电笔的构造和使用方法

练 习

1. 家庭电路中的两根线，一根叫_____，一根叫_____，两根线之间的电压是_____伏。

2. 三孔插座比两孔插座多的那个孔是跟_____连接的，当用电器的三脚插头插在三孔插座里时，除把用电部分连入电路外，还把用电器的_____与_____连接起来。

二、家庭电路中电流过大的原因

家庭电路中电流过大，保险丝就要烧断。产生电流过大的原因是什么呢？下面来分析这个问题，分析中要用到以前学过的知识。

图 10—7 短路是电流过大的原因

实验 照图 10—7 所示那样，在 C、D 之间接上保险丝，电路的其他部分用导线连好。接通电源，电灯正常发光，保险丝不熔断。断开电源，在 B、D 之间连上一根导线，造成短路，再接通电源，保险丝立即熔断。

图 10—7 短路是电流过大的原因

怎样解释上述现象呢？在 B、D 间连上导线，造成短路后，电路中形成两条支路（图 10—8）：一条支路是 B、D 间的导线，另一条是电灯所在的支路。B、D 间导线的电阻很小，这时并联电路的总电阻也很小。因此，干路中的电流很大，连在干路中的保险丝被熔断。从并联电路两条支路中的电流分配情况知道，这时绝大部分电流经过 B、D 间的导线，可以认为电流没有经过用电器。因此，所谓短路就是电流没有经过用电器而直接构成通路。

图 10—8 短路时的电路

装修电路时不细心，使火线和零线直接连通；电线绝缘皮被刮破，或者电线和用电器使用年久，绝缘皮破损或老化，使火线和零线直接连通——这些情况都会造成短路。

发生短路是电路中电流过大的一个原因。另一个原因是用电器的总功率过大。

实验 实验还是用前面图 10—7 所示的装置，但在 A、B 之间连入电流表，测定干路中的电流（图 10—9）。先连入一个灯泡，观察电流表的示数。然后并联上第二个、第三个……灯泡，可以看到电流表的示数增大。当连入较多灯泡时，保险丝熔断。

图 10—9 总功率过大是电流过大的原因

做了下面的例题，就可以解释上述实验现象了。

[例题] 家庭电路中使用三盏白炽电灯，灯泡的额定功率分别是 $P_1 = 100$ 瓦， $P_2 = P_3 = 60$ 瓦。求通过保险丝的电流。

解：通过各支路的电流分别是： $I_1 = P_1/U$ ， $I_2 = P_2/U$ ， $I_3 = P_3/U$ 。保险丝安在干路中，通过保险丝的电流是

$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2 + I_3 \\ &= (P_1 + P_2 + P_3) / U \\ &= P / U . \end{aligned}$$

上式中的 P 为接入电路中各个用电器的总功率。代入数值得 $I = P/U = 1$ 安。从上式知道，总功率越大，干路中的电流越大。总功率过大，保险丝熔断。

居民楼里不但每家住户有总开关和保险丝，楼里还有总开关和保险丝。同时使用几个大功率的用电器，楼里的总保险丝会熔断，使整个楼断电。为了节约用电，也为了不给大家带来断电的麻烦，家庭电路中不宜同时使用几个大功率的用电器。

练习

1. 电路发生短路时，保险丝为什么会熔断？
2. 某学校电能表允许通过的最大电流是 25 安，学校里已经装了 40 瓦的电灯 50 盏，60 瓦的电灯 20 盏，想要再装些电灯，至多可以再装多少盏 40 瓦的电灯？

三、安全用电

电，它可以为我们服务，但如果不注意安全，它也可以对人造成危害，致使人触电身亡。因此了解安全用电的知识十分重要。下面是关于安全用电的对话，读后会使你了解安全用电的知识。

问：触电是怎么回事？

答：要知道人体也是导体。人体触及带电体时，有电流通过人体。电流对人体的危险性跟电流的大小、通电时间的长短等因素有关。通过人体的电流为 8~10 毫安时，人手就很难摆脱带电体。通过人体的电流达到 100 毫安，只要很短时间，就会使人呼吸窒息，心跳停止，即发生触电事故。电流越大，从触电到死亡的时间越短。

问：我们已经学过欧姆定律，知道导体中电流的大小跟加在导体上的电压大小有关，那么，是不是任何大小的电压加在人体上，都会造成触电事故？

答：不是的。用两手分别触摸一节干电池的正负极，人并没有不舒服的感觉，原因是加在人体上的电压只有 1.5 伏特，通过人体的电流很微弱。通过人体的电流决定于外加电压和人体电阻。人体的电阻不是每个人都一样大，而且同一个人的电阻也不是固定不变的，皮肤干燥时大些，潮湿时小些。经验证明，只有不高于 36 伏的电压才是安全的。

家庭电路的电压是 220 伏，动力电路的电压是 380 伏，都超出了安全电压，一旦发生触电，就有生命危险。

问：家庭电路中的触电事故是怎样发生的呢？

答：我们知道，家庭电路中的两根电线，一根是火线，一根是零线。家庭电路中的触电事故，都是人体直接或间接跟火线连通造成的。

图 10—10 图甲和图乙所示的两种情况，人体都会触电，如果人站在绝缘体上，例如站在干燥的木凳上，一只手单接触火线，是不会触电的。

站在地上的人触到火线（图 10—10 甲），或者站在绝缘体上同时接触到两根电线（图 10—10 乙），就有 220 伏的电压加在人体上。在最不利的情况下，人体的电阻只有 1000 欧左右，按这个阻值来计算，这时通过人体的电流达 220 毫安，这样大的电流定会造成触电事故。

因此，为了安全，绝对不要接触没有绝缘皮的火线以及跟火线连通的导体。

问：家庭电路中的电线都有绝缘皮，跟火线连通的导体通常我们也接触不到，为什么还会发生触电？

答：问题就出在：本来是绝缘的物体导了电，本来是不该带电的物体带了电。这是应当特别警惕的，不加注意，就会发生触电事故。

问：能不能说得具体一点，应该注意些什么呢？

答：要注意防止绝缘部分破损，例如灯座、插座、插头的绝缘壳可能碰裂，电线的绝缘皮会磨损，都要注意保护。电线接头处要用绝缘胶布缠好。室内电线不要跟金属连在一起，例如不要挂在铁丝上，免得万一绝缘皮破了，铁丝带了电。还要注意保持绝缘部分干燥，因为

甲：绝缘部分破损，导电部分外露，要注意检查更换。

乙：不要在电线上搭晾衣物，不要用湿手扳开关。

丙：有人触电时，要先切断电源，或者用干木棍等绝缘体拨开电

线。

丁：架设电视天线时，注意不要触及电线。

图 10—11 当心触电！

绝缘体潮湿了也会漏电。例如不要用湿抹布擦电灯泡，不要用湿手扳开关，更不要在电线上晾衣服。

问：我听说，有人用洗衣机时被电了一下。使用家用电器在安全方面要注意什么问题？

答：有金属外壳的家用电器，外壳一定要接地，这一点特别需要引起注意。用三孔插座和三脚插头可以方便地把家用电器的外壳接地。道理前面讲过了，不再重复。

问：使用有室外天线的电视机，要重视防雷，是这样吗？

答：是的。要十分重视防雷。雷电是自然界中发生的放电现象。发生雷电时，在云层和大地之间雷电的路径上有强大的电流通过(图 10—12)，会给人们带来危害。雷电的路径往往经过地面上突起的部分，如树木、高大建筑物、室外天线等，所以室外天线要装设避雷装置，特别是室外天线架设得比周围建筑物高的情况下，一定要装设。

图 10—12 雷电的路径经过树木，会把树木烧焦。如果经过室外天线和电视机，会有什么后果？

图 10—13

问：我们看到过“高压危险”的标志(图 10—13)，高压有什么特殊的危险性？对于高压带电体，只要我们不去接触它，就可以避免触电事故，是这样吗？

图 10—13

答：不是的。高压线路和高压设备的电压高达几十千伏甚至几百千伏，远远超出安全电压，接触它定会发生触电事故，不接触而靠近它也会发生触电事故。

问：为什么靠近高压带电体也会发生触电事故呢？

答：高压触电有两类，一类是高压电弧触电。当人体靠近高压带电体到一定距离时，高压带电体和人体之间会发生放电现象。这时有电流通过人体，造成高压电弧触电。另一类是跨步电压触电。高压输电线落在地面上，地面上与电线断头距离不同的各点间存在着电压，当人走近断头时，两脚位于离断头远近不同的位置上，因而两脚之间有了电压(跨步电压)这时电流通过人体，造成跨步电压触电(图 10—14)。因此，为了安全，不要靠近高压带电体。

图 10—14 高压输电线落在地面上，会造成跨步电压触电。如果高压输电线没有落在地面上，从高压输电线下面走过，并没有触电的危险。

问：我们学了电学知识，懂得了安全用电的道理，不但自己要注意安全用电，还要向周围的人宣传安全用电，以避免发生触电事故。可是万一有人触电，应该怎么办？

答：发现有人触电，绝不能直接去拉触电人，这样，救人的人也会触电(为什么?)。在家庭电路中发生触电时，应当赶快切断电源，或者用干燥的木棍、竹杆将电线挑开(为什么要用干燥的?)，迅速使触电人脱离电源。发生火灾时，要首先切断电源，绝对不要带电泼水救火(为什么?)。

电虽然有危险，但并不可怕。我们学习了物理知识，懂得了科学道理，只要严格按照安全用电的要求去做，就可以让电驯服地为我们服务。就谈到这里吧！已经谈得不少了，你能不能说出安全用电的要点来？希望你结合学过的知识自己好好总结一下。

爱迪生和白炽电灯

白炽电灯就是普通的照明灯泡，它是利用电流的热效应制成的。白炽电灯的灯丝是用熔点高的钨做的，当电流通过时，灯丝热到白炽状态（物体温度达到 1700 以上发白光，这种状态叫白炽状态），发出明亮的光。

白炽电灯是爱迪生发明的，他最先制成了实用、经济的白炽电灯。

研制白炽电灯必须解决灯丝材料问题。在爱迪生之前，已有许多人研制白炽电灯。最初是用铂作灯丝。铂是化学性质最稳定的元素，即使高温时也很难与其他元素化合，但它的熔点只有 1772 ，刚达到白炽状态再继续通电就烧断了。后来人们改用熔点超过 3500 的碳作灯丝，但碳很容易被氧化，必须装在抽去空气的玻璃泡里。由于抽气技术水平低，泡内残存大量的氧分子，高温时跟碳化合，所以碳丝亮不了几分钟就烧断了。

爱迪生最初也选用碳作灯丝材料，他把碳化的纸条（碳化是把材料放在密闭的坩埚内加热，使材料变成碳）放在抽出空气的玻璃泡里，维持白炽状态达 8 分钟。以后改用耐高温的金属，试用了铂、铱、钨、钨等熔点高的金属，也想到过钨，但当时他没有加工工具。经过多次失败，他又回到了碳，试验什么材料碳化后作灯丝最好。同时他努力改进抽气机，把灯泡里的残余空气的压强从几万分之一大气压减小到百万分之一大气压。据说他先后试验了 1600 多种材料，到 1879 年制成了由碳化棉作灯丝的高真空白炽灯泡，寿命达 13.5 小时。后来，他又改用碳化的竹子纤维作灯丝，寿命延长到上千小时。1882 年，爱迪生在纽约建立了第一个中心发电站，开创了电照明的新时代。

在研制白炽电灯的过程中，爱迪生和他的助手们常常连续几天日夜不停地试验，吃住在实验室中。这位只上过三个月小学，全靠自学成才的大发明家，除了亲自动手试验，还日以继夜地阅读科学书刊和学术论文。有一次他的朋友当面称赞他是天才，他笑了笑说：“天才，不过是百分之一的灵感加上百分之九十九的汗水！”

观察·实践·调查

1. 观察你自己家的家庭电路或者你所在教室的照明电路，总共有几盏电灯、几个开关、几个插座，每个开关各控制几盏电灯，每个插座各接着什么用电器。了解电路是怎样连接的，并画出电路图。

2. 观察保险盒的构造，并试着练习更换保险丝。在更换闸刀下方的保险丝时，一定要先拉开闸刀，切断电源，再进行操作。

3. 找螺丝口和卡口灯座各一个，观察和比较它们的构造和接线情况。把灯泡安在相应的灯座上，弄清楚灯泡的灯丝是怎样跟电路连通的（图 10—15）。

图 10—15

甲：螺丝口灯泡和灯座。螺丝口灯泡的灯丝两头各接一根金属丝，它们分别接在灯泡尾部中心的金属块和螺旋上。乙：卡口灯泡和灯座。卡口灯泡的灯丝两头所接的两根金属丝，都从灯泡尾部伸出，分别焊住。

4. 调查你家或学校的电路中有没有违反安全用电的地方，如果有，提出解决办法来。

5. 调查你自己家和亲戚朋友家，在 10 年前和现在，各家的电视机、洗衣机、电冰箱三项家用电器的数量，并加以对比。从这一对比中，你会得出什么看法？

习 题

1. 观察家中各种家用电器的铭牌或说明书，记下它们的额定功率。估出每个家用电器平均每天的用电时间，再了解一下本地每千瓦时电的价钱，算出一个月应付的电费。

把算出的电费同按照电能表的计数实际付出的电费相比较。每个家用电器平均每天用多长时间，很难估计准确，这是两个电费钱数相差较多的主要原因。

2. 不同粗细的保险丝，允许通过的电流是不同的。一座教学楼的总保险盒中的保险丝，允许通过的电流是 25 安。楼里共有 20 间教室，每间教室装了 40 瓦的电灯 6 盏。在全部电灯都亮着的时候，能不能再接上 1 个 500 瓦的电炉？

3. 如图 10—16 所示的电路，当开关断开的时候，站在地上的人如果用手接触电路的 A 点，就会触电，为什么？是否电路安装有毛病？电灯开关的正确连接法应该是：一头跟电灯连接，另一头必须接在火线上。为什么要这样做？

图 10—16

4. 螺丝口灯座的螺旋套只准接在零线上，不准接在火线上，为什么？图 10—17 所示的 4 种关于螺丝口灯座和开关的连接中，哪种连接符合安全用电，哪种不符合？说明理由。

图 10—17

5. 插座，特别是准备接大功率用电器的插座，常常要在通插座的火线上装一根保险丝，而不是在通插座的火线和零线上各装一根保险丝，这样做不是为了省一根保险丝，而是为了更安全。为什么这样更安全？

学 到 了 什 么

这一章我们学习了一些生活用电的实际知识，更重要的是还同时懂得了在实际问题中是怎样运用物理知识的。

认真复习本章的课文和做过的练习，把其中用到的物理知识列举出来，并总结一下你是怎样运用物理知识来理解本章所讲的实际问题的。

第十一章 电和磁（一）

1. 电和磁之间有联系吗？
2. 电磁铁和电磁继电器的原理是什么？它们有哪些应用？

一、简单的磁现象

磁铁吸铁，磁针指南北，这类简单磁现象你在小学自然课里已经学过了。图 11—1 至图 11—4 所示的现象，可以帮助你回忆起学过的知识。

图 11—1 磁铁能吸引铁、钴、镍等物质，磁铁的这种性质叫做磁性。具有磁性的物质叫做磁体。磁体能吸引铜吗？试试看。

图 11—2 磁体各部分的磁性强弱不同，条形磁体两端的磁性最强。磁体上磁性最强的部分叫做磁极。你是根据什么现象判断磁性强弱的？

人类最先认识的磁体是天然的铁矿石，叫做天然磁体。后来又学会了自制人造磁体。通常我们看到的蹄形磁体、条形磁体、磁针都是人造磁体。天然磁体和人造磁体都能够长期保持磁性，通称永磁体。人造磁体是根据什么道理制作的呢？

图 11—3 可以在水平面内自由转动的条形磁体或磁针，静止后总是一个磁极指南，另一个指北，指南的磁极叫南极（S 极），指北的叫北极（N 极）。磁针指南北，世界各地都是如此，这是怎么回事？

图 11—4 同名磁极互相排斥，异名磁极相互吸引。

？给你一根普通的钢针，没有磁性，你能不能设法把这根钢针变成磁针？

实验 如图 11—5 所示，把条形磁体的一端靠近一根原来没有磁性的铁棒，观察所发生的现象。

图 11—5 用什么办法可以判断磁化后软铁棒的极性？铜棒能不能磁化？试试看。

我们看到，铁棒获得了磁性，吸起了下面的铁屑。这种使原来没有磁性的物体获得磁性的过程叫做磁化。铁或钢制的物体都能被磁化。

铁棒被磁化后，磁性很容易消失，称为软磁体。钢棒被磁化后，磁性能够长期保持，称为硬磁体或永磁体。因此钢是制造永磁体的好材料。除了铁、钴、镍外，近几十年来，科学家还制出多种具有软磁性、硬磁性或其他电磁特性的材料，它们大多数是含铁、钴、镍的合金或铁和其他金属的氧化物，统称为磁性材料。磁性材料已经在现代生活和科学技术中有广泛的应用（图 11—6），研制新的磁性材料及其应用，是现代高科技的一个重要方面。

甲：用于增加电机内磁场的铁心

乙：用于记录语音、音乐、图像信息的磁带

丙：广泛用于计算机的磁性存储设备

丁：作为乘客乘车的凭证和票价结算的磁性卡

图 11—6 磁性材料的广泛应用

二、磁场和磁感线

实验 先在桌上放一圈小磁针，再把一个条形磁体放到小磁针中间，观察小磁针的指向有什么变化。

实验结果如图 11—7 所示，小磁针静止时都不再指南北，而有了新的指向。这是怎么回事？

图 11—7 磁体周围存在磁场

磁场 原来在磁体周围存在着磁场，小磁针是受到磁场的磁力作用，才具有新的指向的。磁场是看不见、摸不到的，但人们却可以根据它所表现出来的性质来认识它，研究它。磁场的基本性质是它对放入其中的磁体产生磁力的作用，磁体间的相互作用就是通过磁场而发生的。看不见、摸不到的东西，却可以认识它，研究它，这正是科学的力量所在。

在图 11—7 中，小磁针在磁场中停在一定方向，这显示出磁场的方向性。人们规定，在磁场中的某一点，小磁针静止时北极所指的方向就是该点的磁场方向。有没有办法把磁场中各点的磁场方向显示得形象些呢？

甲：空气看不见，摸不到，我们可以根据空气流动（风）所产生的作用来认识它。

乙：电流看不见，摸不到，我们可以根据电流所产生的效应来认识它。

丙：磁场看不见，摸不到，我们可以根据它所产生的作用来认识它。

图 11—8 看不见，摸不到的东西，却可以认识它，这正是科学的力量所在。

实验 在一块玻璃板上均匀地撒一些铁屑，然后把玻璃板放在条形磁体上，轻敲玻璃板，观察铁屑的分布有什么变化。换用蹄形磁体，再做一次。

图 11—9 条形磁体（甲）和蹄形磁体（乙）的磁场铁屑在磁场中被磁化，每粒铁屑都成了“小磁针”，轻敲玻璃，使“小磁针”能在磁场作用下转动，停下来时，每个“小磁针”北极所指的方向显示出所在点的磁场方向。

实验结果如图 11—9 所示。在磁场中无数被磁化了的铁屑排成一条条曲线，形象地显示出各点的磁场方向。

磁感线 物理学家用磁感应线来形象地描述空间磁场的情况。在磁场中画一些有方向的曲线，任何一点的曲线方向都跟放在该点的磁针北极所指的方向一致。这样的曲线叫做磁感应线，简称磁感线。磁体周围的磁感线都是从磁体北极出来，回到磁体南极。图 11—10 表示条形磁体和蹄形磁体的磁感线分布。

图 11—10 条形磁体（甲）和蹄形磁体（乙）的磁感线分布（图中的 A 点和 B 点是为本节的“想想议议”而加的）。知道了磁感线分布，我们对磁场的了解前进了一步。

我们不但知道磁场对放入其中的磁体有磁力的作用，而且还可以知道磁极在磁场中各点所受磁力的方向。在磁场中的某点，北极所受磁力的方向跟该点的磁场方向一致，南极所受磁力的方向跟该点的磁场方向相反。

想想议议 有人说，在图 11—10 中，A 点在磁感线上，能确定小磁针的北极（或南极）在 A 点所受磁力的方向；B 点不在磁感线上，无法确定小磁针的北极（或南极）在 B 点所受磁力的方向。这话对吗？

练习

图 11—10 条形磁体（甲）和蹄形磁体（乙）的磁感线分布（图中的 A 点和 B 点是为本节的“想想议议”而加的）。

1. 磁体间的相互作用是通过_____发生的。
2. 磁场中某一点的磁场方向是怎样确定的？
3. 磁体周围的磁感线是从磁体_____出来，回到磁体_____。

三、地磁场

一个能在水平面内自由转动的磁针，静止时北极指北，南极指南，世界各地基本如此。这是为什么呢？原来地球本身是一个巨大的磁体。地磁北极在地理南极附近，地磁南极在地理北极附近。在地球周围的空间里存在着磁场，叫做地磁场，地磁场的磁感线从地磁北极出发到地磁南极（图 11—11）。磁针指南北，就是因为受到地磁场的作用。

图 11—11 地球本身是一个巨大的磁体

由于地理两极跟地磁两极并不重合，所以磁针所指的南北方向不是地理的正南正北方向，而是稍微有些偏离。我国宋代学者沈括（1031～1095）是世界上最早准确地记述这一现象的人。这比西方哥伦布横渡大西洋时（1492 年）才发现这一现象早了四百多年。

地磁场是怎样产生的，这个问题已经研究了多年，但至今还没有得到满意的结果。

四、电流的磁场

？把电路接通，导线里就有了电流。这是大家都熟悉的电现象。把小磁针放在磁场里，小磁针会发生偏转。这是刚刚讲过的磁现象。这两种现象表面上看起来互不相关，它们之间会有什么联系吗？

奥斯特的实验 如图 11—12 所示，将一根导线平行地拉在静止小磁针的上方，观察导线通电时小磁针是否偏转。改变电流方向，再观察一次。

实验表明，导线通电时磁针发生偏转；切断电流时磁针又回到原位。这说明：通电导线和磁体一样，周围存在着磁场，即电流的磁场；正是电流的磁场使磁针发生偏转。这种现象叫做电流的磁效应。

图 11—12 奥斯特实验

实验还表明，电流方向改变了，磁针的偏转方向也相反。这说明电流的磁场方向跟电流方向有关。

在历史上，人们对电现象和磁现象的研究是分别进行的，在相当长的时间里都认为电和磁是互不相关的两件事。19 世纪初，一些哲学家和科学家开始认为自然界各种现象之间应该是互相有联系的。基于这种思想，丹麦物理学家奥斯特用实验方法来寻找电和磁之间的联系。起初他的实验都失败了。直到 1820 年 4 月的一天，他在课堂上演示物理实验时，有一次把导线平行地放在磁针上面通电，磁针发生偏转。当时并没有引起在场其他人的注意，而奥斯特却是个有心人，看到这个现象后非常兴奋。他紧紧抓住这个现象，又继续做了几十个不同的实验，终于成为第一个发现电与磁之间的联系的人而载入史册。

通电螺线管的磁场 奥斯特的发现激发了科学家的探索热情。他们让电流通过弯成各种形状的导线，研究电流的磁场，其中有一种是后来用处最大的，那就是把导线绕成螺线管再通电。通电螺线管的磁场是什么样的呢？

图 11—13 通电螺线管的磁场

实验 如图 11—13 所示，在螺线管的两端各放一个小磁针，并在硬纸板上均匀地撒满铁屑。通电后观察小磁针的指向，轻敲纸板，观察铁屑的排列情况。改变电流方向，再观察一次。

实验结果表明，通电螺线管外部的磁场和条形磁体的磁场一样。通电螺线管的两端相当于条形磁体的两个极，它们的极性可以从实验中小磁针的指向来确定。改变电流方向，通电螺线管的南北极正好对调，这说明，通电螺线管两端的极性跟螺线管中电流的方向有关。

通电螺线管的极性跟电流方向的关系，可以用安培定则来判定。照图 11—14 那样，用右手握螺线管，让四指弯向螺线管中电流的方向，则大拇指所指的那端就是螺线管的北极。你能用这个方法判定图 11—13 中螺线管的 N、S 极吗？

图 11—14 安培定则

想想议议 如果条形磁铁的磁性减弱了，你能用电流来使它增强吗？应该怎么办？

练习

1. 奥斯特实验证明了什么？

2. 通电螺线管对外相当于一个磁体，它的两个极与电流方向之间的关系用什么办法来判定？

3. 如图 11—15 所示，磁体 N 极与通电螺线管 A 端相吸引，标出通电螺线管的电流方向。

图 11—15

五、实验：研究电磁铁

用小磁针探查通电螺线管的磁场，发现当螺线管内插入铁心时，由于铁心被磁化，磁场大大增强（图 11—16）。因此，人们在利用通电螺线管得到强磁场时，一般都要把螺线管紧密地套在一个铁心上，这样就构成了一个电磁铁。

图 11—16 铁心使通电螺线管的磁性增强

电磁铁有什么特点？它的磁性强弱跟哪些因素有关系呢？请你自己做实验来研究。给你的实验器材是：一个线圈匝数可以改变的电磁铁、电源、开关、滑动变阻器、电流表和一小堆大头针。

1. 电磁铁的磁性跟电流的通断有关系吗？

把电磁铁和电源、开关串联起来。观察通电和断电时电磁铁对大头针的作用。

2. 电磁铁的磁性强弱跟电流的大小有关系吗？

把电源、开关、滑动变阻器、电流表和电磁铁上匝数较少的线圈串联起来。调整变阻器的滑片，使通电时电路中的电流较小。观察通电时电磁铁吸引大头针的数目。然后移动变阻器的滑片，使电流增大，观察电磁铁吸引大头针的数目有什么变化。

3. 对外形相同的螺线管，电磁铁的磁性强弱跟线圈的匝数有关系吗？

改变电磁铁的接线，增加通电线圈的匝数，同时调整变阻器的滑片，使电流保持不变。观察电磁铁吸引大头针的数目有什么变化。

将你的实验结果填入下面的空白处：

(1) 电磁铁通电时____磁性，断电时____磁性。

(2) 通入电磁铁的电流越大，它的磁性越_____。

(3) 在电流一定时，外形相同的螺线管，线圈的匝数越多，它的磁性越_____。

电磁铁在实际中用处很多，它的最直接的应用之一是电磁起重机（见彩图 6）。工厂里搬运钢铁的电磁起重机安装在吊车上，可以上下移动，还可以跟吊车一起移动。大型电磁起重机一次可以吊起几吨钢材。电磁铁在电铃、电报机、发电机、电动机、自动控制上都有应用。

想想议议 电磁起重机的铁心应该用软铁还是用钢制成？为什么？

练习

1. 螺线管与电磁铁有什么区别？为什么电磁铁的磁性比螺线管的磁性强？

2. 用两种方法设计一个磁性强弱可以改变的电磁铁，画出电路图。

六、电磁继电器

人直接操作高压电路的开关是很危险的，因此我们希望通过控制低压电路的通断间接地控制高压电路的通断。利用电磁铁制成的电磁继电器，帮助我们解决了这个问题。

图 11—17 中的虚线部分是电磁继电器的结构和工作电路示意图，把图和实物结合起来，认识它的各个部分，弄清它的工作原理。然后做下面的实验。

图 11—17 电磁继电器的结构和工作电路

A：电磁铁。B：衔铁。

C：弹簧。D：动触点。

E：静触点。

工作原理：电磁铁通电时，把衔铁吸下来，使 D 和 E 接触，工作电路闭合。电磁铁断电时失去磁性，弹簧把衔铁拉起来，切断工作电路。电磁继电器就是利用电磁铁控制工作电路通断的开关。

实验 把继电器线圈接到电源上，组成控制电路。观察通电和断电时触点闭合和断开的情况。再用一个电源和小灯泡组成一个工作电路，使继电器通电时小灯泡亮，断电时小灯泡灭。

上面的实验用继电器控制小灯泡，似乎没有必要。但如果工作电路是对人有危险的高压电路，就很有必要了。由人直接操作的继电器控制电路只需要低压就可以工作，不会有危险。如果生产场所温度高或环境不好，还可以把继电器留在那里，而把控制电路的开关安装在远离该处的地方，进行远距离操作（图 11—18）。

图 11—18 电磁继电器的应用

在继电器控制电路中接入对温度或光照敏感的元件，用这些元件操纵控制电路的通断，还可以实现温度自动控制或光自动控制。

想想议议 要使继电器控制电路断电时工作电路接通，继电器控制电路通电时工作电路断开，你能想出办法并画出类似图 11—17 的工作电路图吗？

练习

1. 电磁继电器是由_____控制的开关。利用电磁继电器可以通过控制_____压电路的通断间接地控制_____压电路的通断。

2. 在图 11—17 中，用一个温度敏感元件代替低压控制电路中的开关。当温度低时，低压控制电路断开，当温度升高时，低压控制电路接通。工作电路中的电动机换成一台空调器。试说明整个电路的工作过程。

七、电 话

提起电话，大家不会陌生。可是你知道电流的磁效应在电话里起什么作用吗？

话筒和听筒是电话的两个基本组成部分。人对着话筒说话，话筒把声音振动转化成强弱变化的电流，电流流经听筒，听筒又把它转化成振动，使人听到声音。振动 变化的电流 振动，这就是电话的基本原理。

话筒是怎样把声音转化成强弱变化的电流的呢？如图 11—19 所示，话筒里有一个金属盒，里面装满碳粒，上面盖有一个膜片。碳粒之间的接触不紧密，它们整体的电阻随膜片压紧的程度而改变。当人对话筒说话时，声波使膜片振动，膜片忽松忽紧地压挤碳粒，使电阻忽大忽小，在电路中就产生了强弱按声音振动而变化的电流。

图 11—19 话筒

在电话的听筒里有一个永磁铁，它的两个磁极上套着螺线管，在磁极前面有一个薄铁片，如图 11—20 所示。由于永磁体的吸引，薄铁片有些弯向磁极。在电话接通时，听筒是和对方的话筒串联在一个电路里的。当从话筒传来按说话声音的振动而强弱变化的电流时，磁体对铁片的吸引力也发生强弱变化，使铁片振动起来，发出和对方说话相同的声音。

图 11—20 听筒

除了听筒和话筒，实际使用的电话机上还有电铃、拨号设备等。随着科学技术的发展，新型电话机不断出现，有的可以录音，受话人外出时可以把对方讲的话记录下来，受话人回来后放录音就可以知道来过什么电话；有的可以随身携带，外出时也可以打电话（图 11—21 甲）；有的可以同时传递图像，打电话的人可以从屏幕上互相看见（图 11—21 乙）。现在，通话范围可远涉重洋，达到世界各地。电话已成为人类使用最广泛的通信工具。

图 11— 甲：无线电话机 乙：可视电话机

图 11—21

阅读材料 我国古代的磁学成就

远在两千多年前的春秋战国时期，我国已认识磁石了。在公元前 4 世纪写成的《管子》一书中就有关于磁石的最早记载。关于磁石吸铁，公元前 3 世纪写成的《吕氏春秋》中有“慈石召铁”的记载。古代原来没有“磁”字，东汉以前的书中都把磁石写作“慈石”。

指南针是我国古代四大发明之一。它的产生经历了很长的历史过程。

最早的指南仪叫司南。公元 1 世纪东汉学者王充在《论衡》中对司南做了比较具体的描述。图 11—22 所示的是按古代记载仿制的模型。司南是用天然磁石琢磨而成的勺子，放在刻有方位的铜盘上，可以转动。当它静止时，勺柄指南。但是，由于摩擦阻力，司南的准确性较差。

图 11—22 司南

到公元 4 世纪的西晋时代，有了指南鱼。指南鱼是剪成鱼形的薄铁片，烧热后放在地磁场中磁化而成的，可以浮在水面上，鱼头指南。指南鱼转动的灵活性比司南好，但磁性较弱，不易保存。

以后，人们找到了用磁石磨针的方法制作指南针。关于指南针的最早记载见于公元 11 世纪末北宋学者沈括的著作《梦溪笔谈》。

宋代中国的商船经常往返于南洋和印度洋航线上。中国的指南针大约是在公元 12 世纪末传给阿拉伯人，又通过他们传到欧洲人手中。从此，指南针被许多国家采用，推动了航海事业的发展，促进了世界经济和文化的交流，对人类的进步作出了贡献。

小实验 自制指南针

1. 把两根缝衣针(钢针)并排放置在桌上,用条形磁体的一个极沿同一方向摩擦数十次,使它们磁化,成为磁针。

2. 把这两根磁针平行地穿过子母扣的子扣上的四个孔中(图 11—23 甲)。穿针前先将子扣捏瘪些。

3. 把一根大头针刺过厚纸片,使针竖立起来,针尖向上。将穿好磁针的子扣顶在针尖上。调整磁针的位置,使磁针能和子扣一起水平地自由转动(图 11—23 乙)。

图 11—23 自制指南针

4. 根据磁针静止时的指向确定它们的南、北极。

将自制的指南针保存起来,供以后实验用,并观察它的磁性能保持多久。

用电流使铁钉磁化

拿一根没有磁性的大铁钉，用锤头把它敲弯，成为马蹄形。将一根长导线在蹄形的两端各绕十几圈（参见图 11—24 中电磁铁导线的绕法），接通电源，看看铁钉两端能不能吸引铁屑。再根据安培定则判断一下钉尖和钉头各是什么极，然后用自制的指南针检验你的判断是否正确。

图 11—241 . 电磁铁 . 2 . 弹簧片 . 3 . 螺钉 . 4 . 衔铁 .

图 11—24 电铃

要想让钉头和钉尖的极性反过来，应该怎么办？试试看。

自制电铃

器材：蹄形电磁铁、弹簧片、衔铁、螺钉、导线、接线柱、开关、电源、铃和小锤等。

按照图 11—24 中的布局把电磁铁、弹簧片、衔铁、螺钉及固定它的螺母安装在木板上。看懂电铃的原理。然后接通电源，合上开关，看看电铃响不响。假如不响，不要灰心，仔细检查原因并进行改进。你终究会把它弄响的。

习 题

1. 有两根外形完全相同的钢棒，一根有磁性，另一根没有磁性。如果没有任何其他用具，怎样才能知道哪一根有磁性，哪一根没有磁性？

2. 标出图 11—25 中的磁感线方向和小磁针的 N、S 极。

图 11—25

图 11—26

3. 标出图 11—26 中磁体的极性。

4. 在一个圆纸盒里有一个条形磁体，圆纸盒外放着一些小磁针，各磁针 N 极的指向如图 11—27 所示。你能画出圆纸盒里的磁体并标明它的 N、S 极吗？

图 11—27 图 11—28

5. 在图 11—28 的装置中，有两个薄铁片（舌簧片）ab 和 cd，它们的外端固定在一块木板上，里端相互交叠但相隔一个很小的距离。舌簧片连接在一个有小灯泡的电路中。如果拿一根条形磁体平行地靠近舌簧片，小灯泡就亮起来。如果让磁铁在上面的水平面内转动，小灯泡就一闪一闪地发光。为什么？

图 11—28

6. 用磁铁的一极在一根钢棒上沿同一方向摩擦几次（图 11—29），钢棒就被磁化了，用它可以吸起铁屑、大头针等。钢铁做的小东西，如钢锯条、钢尺、小刀、缝衣针等，都可以用这种方法来磁化。试用上述方法将身边的小形钢制物体磁化，并用它来吸引别的轻小钢铁制品。

图 11—29

7. 在图 11—30 中，标出通电螺线管的 N 极和 S 极。

图 11—30

8. 在图 11—31 中，标出通电螺线管的电流方向。

图 11—31

9. 如果想用一个继电器控制两台电动机，使甲电动机工作时乙电动机停止，乙电动机工作时甲电动机停止，应该怎么办？10. 图 11—32 是一种防汛报警器的原理图。K 是触点开关，B 是一个漏斗形的竹片圆筒，里面有个浮子 A。试说明这种报警器的工作原理。

图 11—32 防汛报警器

11. 图 11—33 是一种水位自动报警器的原理图。水位没有到达金属块 B 时，绿灯亮；水位到达金属块 B 时，红灯亮。试说明它的工作原理。注意：纯净的水不导电，但一般的水都是导电的。

图 11—33 水位自动报警器

12. 图 11—34 是一种温度自动报警器的原理图。在水银温度计里封入一段金属丝。当温度达到金属丝下端所指的温度时，电铃就响起来，发出报警信号。试说明它的工作原理。

图 11—34 温度自动报警器

学 到 了 什 么

1. 什么叫磁性？什么叫磁体和磁体的磁极？磁极间的相互作用是怎样的？什么叫磁化？什么叫地磁场？磁针为什么指南北？

2. 从什么事实可以知道磁体的周围存在着磁场？磁场的方向是怎样规定的？条形磁体和蹄形磁体周围的磁感线分布是怎样的？

3. 从什么实验知道通电导体周围存在着磁场？

4. 通电螺线管周围的磁感线分布是怎样的？用什么办法来判断通电螺线管的哪一端是 N 极，哪一端是 S 极？

5. 电磁铁有哪些优点？怎样控制它的磁性有无和磁性强弱？举出几个应用电磁铁的实例。

6. 电磁继电器的构造、工作原理是怎样的？有什么应用？

7. 简述电话的原理以及听筒和话筒的工作原理。

第十二章 电和磁（二）

1. 什么是电磁感应现象？发电机的原理是什么？
2. 远距离输电为什么要用高压电？
3. 电动机的原理是什么？
4. 电能有什么优越性？

一、电磁感应

人们先发明了电池，由电池提供电能。后来又发明了发电机，由发电机提供电能。现在我们所用的电能，从生活用电到交通运输、工厂企业用电，主要来自发电站（参见彩图 7）里的发电机。发电机的发明，实现了电能的大规模生产，开辟了电的时代。

发电机是利用电磁感应现象制成的。什么是电磁感应，它是怎样发现的呢？

奥斯特发现了电流的磁场之后，人们受到了启发：既然电流能够产生磁场，那么，反过来利用磁场能不能获得电流？英国物理学家法拉第，经过十年坚持不懈的努力，终于在 1831 年发现了这个现象。法拉第的发现进一步揭示了电和磁的联系，导致了发电机的发明，实现了机械能转化为电能。

实验 1 如图 12—1 所示，在磁场中悬挂一根导体 ab，把它的两端跟电流表连接起来。

图 12—1 研究电磁感应现象的装置

电流能够产生磁场，把导体放在磁场中也许会产生电流，让我们试试看。保持导体 ab 不动，合上开关，电流表的指针并不偏转，表明导体中没有电流。我们的推断落空了。

可能是磁场不够强，换用强磁体试试看，保持 ab 不动，合上开关，电流表的指针仍不偏转。实在令人失望。

我们不能固守一种办法，不妨换一个办法试试看。保持电路闭合，让导体 ab 在磁场中上下运动。但还是没有电流。

要像法拉第一样坚持实验。保持电路闭合，让导体 ab 在磁场中左右运动。电流表的指针这次偏转了！

图 12—1 研究电磁感应现象的装置

科学家探索自然界的秘密，要付出艰辛的努力，经过反复曲折，才能打开真理之门。我们这里遇到的曲折，不过是历史上科学家进行探索的一个缩影而已。

磁能生电，这种现象我们是看到了。在什么条件下才能产生这种现象呢？导体要在磁场中运动。但只是运动并不够，图 12—1 中导体 ab 上下运动时并不产生电流。原来导体 ab 左右运动时切割磁感线，所以产生电流，上下运动时不切割磁感线，所以不产生电流。如果导体斜着运动，也切割磁感线，会不会产生电流呢？事实上的确会产生电流。那么，结论是什么呢？

闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁感线运动时，导体中就产生电流。这种现象叫做电磁感应，产生的电流叫做感应电流。

实验 2 在上述实验中，导体 ab 向左运动时，电流表的指针向一个方向偏转，使导线运动方向反向时，即向右运动时，电流表的指针向相反的方向偏转，表示这两种情况下感应电流的方向相反。保持导体 ab 向某个方向做切割磁感线运动，把两个磁极对调，使磁感线的方向反向，感应电流也变成相反的方向。

这说明导体中感应电流的方向，跟导体运动方向和磁感线方向有关。

闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁感线运动时，外力移动导体

做了功，同时产生了感应电流，这样，一方面得到了电能，同时消耗了机械能。由此可见，在上述电磁感应现象中，机械能转化为电能。

练习

1. 图 12—2 中的 a 表示垂直于纸面的一根导体，它是闭合电路的一部分，它在磁场中如图中所示的方向运动时在何种情况下会产生感应电流？

图 12—2

2. 图 12—3 甲表示闭合电路的一部分导体 a 在磁场中沿箭头所示的方向运动时，导体中的感应电流的方向垂直于纸面向里（图甲）。改变导体的运动方向（图乙）感应电流的方向如何？再对调两磁极的位置（图丙），感应电流的方向又如何？在物理学中用 \otimes 表示电流的方向垂直于纸面向里， \odot 表示电流的方向垂直于纸面向外。试按此规定在图上画出电流的方向。

图 12—3

二、发电机

实验 如图 12—4 所示，把手摇发电机和演示电流表连接起来，组成闭合电路。缓慢摇转大轮，带动线圈在磁场里转动，可以看到演示电流表的指针左右摆动起来。演示电流表的指针发生偏转，表示电路中有了电流。指针左右摆动，又表示什么呢？

图 12—4 发电机的电路

交流电 图 12—5 是发电机的原理图，放在磁场里的线圈，两端各连一个铜环 K 和 L，它们分别跟电刷 A 和 B 接触，并跟电流表组成闭合电路。

让线圈在磁场中转动，由于 ab 边和 cd 边做切割磁感线的运动，线圈和外部电路中就有了电流。仔细研究图 12—5，可以看出：在线圈转动的前半周（甲 乙 丙），线圈都从一个方向切割磁感线，因此外部电路中的电流方向不改变，都是由 A 流向 B；在后半周（丙 丁 甲），线圈又从另一方向切割磁感线，因此外部电路中的电流改变了方向，由 B 流向 A。线圈继续转动，电流方向将周期地重复上述变化。这可以从电流表指针的左右摆动看出来。设想每秒钟线圈转一周，电流变化周期就是 1 秒。这种周期性地改变方向的电流，叫做交流电。

图 12—5 交流电的产生

甲：线圈开始转动时，ab 边向左运动，cd 边向右运动，导线不切割磁感线，电路中没有电流。

乙：线圈转动的前半周中，ab 边向下运动，cd 边向上运动，导线切割磁感线，电路中有电流，这时外部电路中的电流由 A 到 B。

丙：线圈转到 1/2 周时，ab 边向右运动，cd 边向左运动，导线不切割磁感线，电路中没有电流。

丁：线圈转动的后半周中，ab 边向上运动，cd 边向下运动，导线切割磁感线，电路中有 c 电流，这时外部电路中的电流由 B 到 A。

交流电跟我们从电池得到的电流有所不同，从电池得到的电流的方向不变，通常叫做直流电。

交流电的应用很普遍。家庭电路中的电流，供生产用的动力线路中的电流，都是交流电。我国供生产和生活用的交流电，周期是 0.02 秒，频率是 50 赫兹，即 1 秒内有 50 个周期；从图 12—5 知道，交流电的方向每周期改变 2 次，所以频率是 50 赫兹的交流电，电流方向每秒钟改变 100 次。

交流发电机 图 12—4 是手摇交流发电机的模型，实际的交流发电机，结构比较复杂，但主要由转子（转动部分）和定子（固定部分）两部分组成。大型发电机发出很高的电压和很强的电流，要采用线圈不动、磁极旋转的方式发电。这种发电机叫做旋转磁极式发电机。为了得到较强的磁场，要把线圈嵌在定子铁心槽里，还要用电磁铁代替永久磁铁作转子。大型旋转磁极式发电机，能够提供几千伏到上万伏的电压，功率可达几十万千瓦，甚至百万千瓦以上。

实际发电机的转子由水轮机、汽轮机或内燃机来带动。彩图 8 为水电站厂房内景，图中看到的是一排大型发电机，带动它们的水轮机在厂房下面。

除了交流发电机，还有向外部电路供给直流电的直流发电机。直流发电机也是利用电磁感应现象制成，只是结构上有些不同，这里就不讲了。

练 习

1. 发电机是利用_____现象制成的，通过发电机把_____能转化为_____能。
2. 交流发电机主要由_____和_____两部分组成，_____不动、_____旋转的发电机叫做旋转磁极式发电机。
3. 为什么交流发电机发出的电流，方向是周期性变化的？

三、电能的输送

从发电站发出的电能，要经过输电线送到用电的地方。图 12—6 是电能输送的示意图。从发电站发出的电能，先经过变压器把电压升高，用高压电输送到远方的用户附近，再经过变压器把电压降低，供给用户使用。为什么远距离输电要用高电压呢？

图 12—6 电能输送的示意图

我们知道，导线是有电阻的。实验室里的实验电路，以至家庭电路，导线不长，电阻很小。横截面积 1 毫米²的铝导线，1 米长，电阻只有 0.029 欧。导线的电阻比用电器的电阻小得多，可以略去不计。可是实际的输电线很长，例如河南平顶山至湖北武昌的高压输电线路长 600 多千米，一条长 600 千米、横截面积 1 厘米²的铝导线，电阻约为 170 欧。这么长的输电线，它的电阻就不能不考虑了。就是因为输电线有电阻，才产生了高压输电的问题。

从焦耳定律知道，电流通过导线要发热。长 600 千米、横截面积 1 厘米²的铝导线，即使通过 10 安的电流，每年产生的热量也达 5.4×10^{10} 焦。这么多热量散失到大气中，白白损失了。怎么办呢？按照焦耳定律，产生的热量与电流的平方成正比。如果把电流减小到原来的 $\frac{1}{2}$ ，损失

的电能就降为原来的 $\frac{1}{4}$ ；把电流减小到原来的 $\frac{1}{3}$ ，损失的电能就降为原

来的 $\frac{1}{9}$ 。可见，减小输电电流是减小电能损失的有效办法。

可是，要用这个办法减小电能损失，就要提高输电的电压。为什么呢？比如我们用 10 千伏的电压输电，输电电流是 100 安。输送的功率就是 1000 千瓦。如果输电电压不变，电流减小到原来的 $\frac{1}{2}$ ，输送的功率也要相应

地减小为原来的 $\frac{1}{2}$ ，即 500 千瓦。输送功率过小，就没有实际意义了。既

要减小电能在输电线上的损失，又要不减小输送功率，那就只能提高输电电压了。把输电电压提高一倍，即用 20 千伏的电压输电，同时把电流减小

到原来的 $\frac{1}{2}$ ，即 50 安，那么，输送功率仍为 1000 千瓦，而电能损失却减小

为原来的 $\frac{1}{4}$ 。这就是为什么要用高压输电的道理。

输送电能要升高电压，而用户却不适宜用高压电，因为高压电太危险，而且制造适于高电压的用电器又很困难，因此到用户处要把电压降下来，如给家庭电路供电要降到 220 伏，变压器（图 12—7）就是能把交流电的电压升高或者降低的装置。

图 12—7 甲：发电站用来升压的变压器。乙：用户附近用来降压的变压器。

我国远距离输电的电压有 110 千伏、220 千伏、330 千伏，近年还建成了 500 千伏的超高压输电线路。国外还建有 1150 千伏的试验性超高压输电线路。

输电是输送能量的一种方式。如果我们把输电和运煤比较一下，就可以看出输电的优越性。我国山西大同到北京的 500 千伏超高压输电线路，输送功率约为 200 万千瓦。按燃烧值为 2.93×10^7 焦/千克的标准煤来折合，这相当于每天运输 5900 吨煤。一节火车货车装 60 吨煤，每天要用 99 节货车才行。

图 12—8 山西大同到北京的输电线路，功率约为 200 万千瓦。这相当于每天运输多少节货车的煤？

四、磁场对电流的作用

电流通过电动机，电动机的轴就转动起来。电动机的原理是什么呢？原来通电导线在磁场中要受到力的作用，电动机就是利用这种现象制成的。

实验 1 如图 12—9 所示，把一根直导体 AB 放在蹄形磁体的磁场里，接通电源，让电流通过原来静止的导体 AB。观察发生的现象。

图 12—9 通电直导线在磁场中受到力

图 12—9 通电直导线在磁场中受到力

实验表明：电流通过在磁场中的导体 AB 时，导体 AB 就运动起来。这说明通电导体在磁场里受到力的作用。在上述实验中，这个力的方向既跟电流的方向垂直，又跟磁感线的方向垂直。

实验 2 在上述实验中，使电流的方向相反，或者使磁感线的方向相反，观察导体 AB 的运动情况。

实验表明：使电流的方向相反，或者使磁感线的方向相反，导体 AB 的运动方向也相反。这说明通电导体在磁场里受力的方向，跟电流方向和磁感线方向有关。

把一个通电线圈放在磁场里，你推测会发生什么现象？你是怎样进行推测的？

实验 3 如图 12—10 甲所示，把一个线圈放在磁场里，接通电源，让电流通过线圈。观察发生的现象。我们看到，接通电源线圈在磁场里发生转动，但转动不能持续下去，摆几下便停在图 12—10 乙所示的位置上。

怎样解释这个现象呢？原来通电线圈的 ab 边和 cd 边在磁场里受到力的作用，而 ab 边和 cd 边中的电流方向相反，所以受到的力的方向相反且不在同一直线上（见图甲），在这两个力的作用下线圈就转动起来。当转到图乙所示的位置时，这两个力恰好在同一直线上，而且大小相等，方向相反，相互平衡，所以线圈在这个位置上可以保持平衡。

通电导体和通电线圈在磁场里受到力的作用而发生运动时，消耗了电能，得到了机械能。在这种现象里，电能转化为机械能。

图 12—10 通电线圈在磁场里转动

想想议议 通电线圈转到图 12—10 乙所示的平衡位置时，不是立即停下来，而是在平衡位置附近摆动几下才停下来。你怎样解释这个现象？

练习

1. 要改变通电导体在磁场里受力的方向，可以通过改变_____或改变_____来实现。

2. 通电线圈在磁场里转动，消耗了_____能得到了_____能。

五、直流电动机

从发现到发明 在上一节所示的现象里,我们看到电能可以转化成机械能.怎样才能实际利用上述现象呢?从发现磁场对电流的作用,到发明电动机,还有一段路要走.实际的电动机要能够持续地转动,而图 12—10 中的通电线圈却不能持续转动.怎么办?

图 12—11 表示图 12—10 中的通电线圈刚转过平衡位置时的受力情况,对比图 12—11 的甲和乙可以知道:如果在线圈刚转过平衡位置时,立即改变线圈中的电流方向,那么,由于受力方向改变,线圈就可以按原来的方向继续转动.这样,每当线圈刚转过平衡位置,就改变一次电流方向,线圈就可以不停地转动下去.怎样具体实现电流方向的改变呢?

甲:未改变电流方向.乙:改变了电流方向。

图 12—11 通电线圈刚转过平衡位置时的受力情况

换向器 图 12—12 是直流电动机的原理图.这种电动机用直流电源供电,所以叫直流电动机.线圈的两端各连一个铜制半环 E 和 F,它们彼此绝缘,并随线圈一起转动.A 和 B 是电刷,它们跟半环接触,使电源和线圈组成闭合电路.两个半环 E 和 F 叫做换向器.每当线圈刚转过平衡位置,换向器就能自动改变线圈中电流的方向.仔细研究图 12—12,就会了解这一点.

甲:电流方向和力的方向如图所示,线圈顺时针转动.

乙:线圈转到平衡位置时,两电刷恰好接触两半环间绝缘部分:线圈由于惯性继续转动,转过平衡位置分:线圈由于惯性继续转动,后,电流即改变方向.

转过平衡位置后,电流即改变方向。

丙:ab 和 cd 中的电流方向与图甲丁:线圈又转到平衡位置,换向器又自动改变电流方向.相反,受力方向也相反,线圈又自动改变电流方向.仍顺时针转动.

图 12-12 直流电动机的原理

电动机的优点 实际的直流电动机,为了能够带动工作机平稳地运转,线圈有很多匝,而且嵌在圆柱形铁心上,组成转子;换向器也由许多铜片组成.转子安装在定子里,定子由机壳和磁极组成,而且用的是电磁铁(图 12—13).

甲:转子乙:定子

图 12—13 直流电动机的构造

图 12—14 电动机的广泛应用

跟热机比较,电动机有许多优点.电动机的开动和停止都比热机方便,只要用开关把电路接通或切断就行.电动机的构造也比热机简单,制造便宜,占地较小.电动机的效率比热机高,而且对环境没有污染.

直流电动机广泛应用在电车、电力机车(参见彩图 9)以及龙门刨床、轧钢机、起重机等方面.除了直流电动机,还有交流电动机.交流电动机也广泛应用在工厂、农村和日常生活中.电风扇、洗衣机、电冰箱等电器中用的是交流电动机.农村水泵站中带动水泵的电动机,也是交流电动机.

练习

1. 直流电动机是利用_____在_____里受力转动的原理制成的。它把_____能转化为_____能。
2. 换向器的作用是什么？

六、实验：安装直流电动机的模型

照图 12—15 把直流电动机的模型安装起来。安装前仔细观察换向器，弄清换向器的作用。把电动机、变阻器、电源、开关串联起来；先画出电路图，然后按照电路图来连接。

图 12—15 直流电动机模型

合上开关，接通电路，观察线圈的转动。

把电源两极对调一下，改变电流方向，观察线圈转动方向是否改变。

把磁铁的两极对调一下，改变磁感线的方向，观察线圈转动方向是否改变。

用变阻器改变电流大小，观察线圈转动的速度怎样随着改变。

想想做做仿照实验中所用的电动机模型，你能够自己制作一个电动机模型吗？希望你课外制作一下，并能够有所改进。如果你有兴趣，还可以利用自制的电动机设计一个电动玩具。

七、电能的优越性

我们生活在电的时代，电能的应用非常广泛。设想一座城市完全断了电，简直不堪设想。大大小小的工厂停产，机器停止运转，炼钢炉不能炼钢，电车不能开动，广播电视停播，自来水供应中断，楼房电梯停开，电灯不亮，入夜一片漆黑……电，它在工业、农业、交通运输、国防建设、科学研究以及日常生活中用得越来越多，电能的生产和使用的规模，已经成为社会发展的重要标志。

电能为什么应用这样广泛，它有什么优越性呢？

电能的来源比较广泛，自然界存在的各种形式的能如化学能、水能、风能、太阳能、核能都可以较为方便地转化为电能。电池和发电机就是实现这种转化的装置。在水电站里，水能通过水轮发电机转化为电能。在火电站里，燃料的化学能通过汽轮发电机转化为电能。除了水电站和火电站，还有风力发电、地热发电、太阳能发电、核能发电等。

图 12—16 我国葛洲坝水电站的外观，装机容量为 271.5 万千瓦。

我国主要是利用火力和水力来发电的。到 1993 年，我国有 30 万千瓦以上的水电站、火电站共 1020 座（其中水电站 235 座、火电站 785 座）。我国的社会主义现代化建设，对电的需要量日益增加。在主要煤炭产区和沿海地区，要建设一批火电站。在黄河上游和长江中上游干支流，要建设一批大型水电站（规模巨大的长江三峡水力工程正在进行）。还建设了核电站。

电能便于输送，用电线就可以把电能输送到千百里以外的地方。输送电能比输送煤、石油等燃料要方便得多。而且电能的输送损失较小。我国幅员广大，不同区域组成大的电网供电，110 千伏以上的输电网络的线路长达 18 万千米。

电能使用起来非常方便，它能够方便地转化为其他形式的能，来满足多方面的需要，电能可以通过电动机转化为机械能，通过电热器转化为内能，通过电光源转化为光能。各种各样的用电器就是实现这种转化的装置。用电器的效率比较高。电动机的效率达 90% 以上。在管理和操纵方面比较简单，污染少，工作场所容易保持干净，有利于保护环境。

在发电站里，通过发电机把水能、化学能（煤）或原子能转化成电能。电池在使用时发生化学变化，化学能转化成电能。通过硅光电池把太阳能转化成电能。通过电动机把电能转化为机械能。通过电热器把电能转化为内能。通过日光灯把电能转化为光能。

图 12—17 电能的生产、输送和使用

讨论 根据你们学过的知识和日常用电经验，讨论一下电能有什么优越性。

图 12—18 人类登上月球已经成为现实。这是宇航员操纵着用蓄电池的电力驱动的车在月球上行走。为什么第一个登上月球的车是用电来驱动的？

伟大的物理学家法拉第

法拉第是著名的英国物理学家和化学家。他发现了电磁感应现象，提出了电场和磁场的概念，发现了电解定律等。他的很多成就都很重要，是带根本性的重大成就。

法拉第出身于一个铁匠家庭，家境贫寒，没念多少书，13岁就开始当报童、学徒。他热爱科学，立志献身于科学事业。他做图书装订工期间，阅读了大量科学书籍，并在自己家里搞了一个小实验室。后来他到英国皇家学院担任实验室助手，由于他勤奋好学，很快就能独立做实验。法拉第是一个伟大的实验物理学家，他的许多重要发现都是通过实验获得的。法拉第又是一个伟大的科学思想家，他由于刻苦思索而具有深刻的洞察力，提出了电场和磁场的概念，这对现代物理学的发展有重要意义。

法拉第对社会作出了巨大贡献，人们给予他崇高的地位和荣誉。但他并不看重这些，而专心致力于科学研究。他出身贫苦，成名以后仍然热爱贫苦人民。他还发起专门向青少年普及科学知识的讲座，自己坚持讲了19年。法拉第的高尚道德品质，同他在科学上的成就一样，受到人们的称颂。

习 题

1. 一台直流电动机，额定电压是220伏，电功率是6千瓦，正常工作时的电流有多大？

2. 某个直流电动机模型不能运转了。发生故障的原因可能是磁铁没有磁性，或者换向器和电刷接触不良。试说明你如何对这些地方进行检查。

3. 一台发电机，输出功率是100千瓦，输出电压是250伏，输出电流是多少安？

4. 刘家峡水电站发电机组的总功率是122.5万千瓦，如果一年输出电能57亿千瓦时，发电机组一年工作的总时间是多少？

学 到 了 什 么

—

1. 闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁感线运动时，导体中有感应电流产生，这种现象叫做电磁感应。

感应电流的方向，跟导体运动方向和磁感线方向有关。

利用电磁感应现象发明了发电机，实现了机械能转化为电能，使电能的大规模生产成为现实，从而开辟了电的时代。

2. 从发电站发出的电能，要经过输电线送到用户。为了减小输电线上电能的损失，远距离输电要用高压输电。

3. 通电导体在磁场里要受到力的作用，力的方向跟电流方向和磁感线方向有关。

通电线圈在磁场里会发生转动，利用这一现象发明了电动机，实现了电能转化为机械能。

二

1. 电和磁的联系表现在哪几个方面？根据你学过的知识总结一下。
2. 根据你学过的知识总结一下电能和其他形式能量之间的转化情况，并说明电能有什么优点。
3. 这一章既讲了电磁联系的发现，又讲了利用电磁联系的发明，这些发现和发明对你有什么启发？

第十三章 无线电通信常识

无线电通信是怎样进行的？作战飞机上的飞行员和指挥部对话，并没有电线从他们的话筒通向指挥部。你每天听收音机或看电视，也没有电线从你家通往广播电台或电视台。顾名思义，无线电通信就是不用电线来传输信号，那么，它是怎样传输信号的呢？

一、电磁波

电磁波手持小木棍上下振动，让木棍下端接触平静的水面，可以看见水面上有一圈圈凹凸相间的状态向外传播，形成水波（图 13—1）。发声体振动时，在空气中会有疏密相间的状态向外传播，形成声波。波是自然界普遍存在的现象。当导体中有迅速变化的电流时，在周围空间会有电磁波向外传播。无线电通信就是利用电磁波传输信号。

图 13—1 水波

电磁波看不见，摸不到，我们可以通过实验来间接观察它的存在。

实验打开收音机的开关，转动选台用的旋钮，调到一个没有电台的地方，使收音机收不到电台的广播，然后开大音量。如图 13—2 所示，让电池的负极与一把锉良好接触，正极连接一根导线。拿着导线头，让它与锉接触，并在锉面上滑动，这时收音机会发出“喀喀”的响声。

图 13—2 演示电磁波的存在

为什么会发生这种现象呢？原来，当导线头在锉面上滑动时，由电池、导线、锉组成的电路中产生迅速变化的电流，于是有电磁波向外传播，被收音机接收后发出响声。这个电路就成了一个小小的“电台”。

类似的现象，在日常生活中也会发生。当打开或者关闭电灯时，当电冰箱的电路接通和断开时，你会从附近的收音机中听到“喀喀”的杂音。这杂音也是电路通断时发出的电磁波被收音机接收而产生的。

电磁波的频率和波长 在水波的情形中，小木棍每上下振动一次，水面上就出现一个波峰（凸起部分）和一个波谷（凹下部分）。小木棍振动几次，水面上就出现几个波峰和几个波谷（图 13—3）。在 1 秒内出现的波峰数（或波谷数）叫做水波的频率。频率的单位叫赫兹，简称赫。常用的频率单位还有千赫和兆赫。1 千赫=10³ 赫，1 兆赫=10⁶ 赫。相邻两个波峰（或波谷）之间的距离叫做水波的波长。1 秒钟内波传播的距离叫做波速。认真观察图 13—3，你可以知道：波速=波长×频率。可见波长也等于每振动一次水波向前传播的距离。

图 13—3 水波在 1 秒内传播的波形图。小木棍每秒振动 3 次，水面上每秒出现 3 个波峰和 3 个波谷，水波的频率为 3 赫兹。OA 为 1 秒内水波传播的距离，数值上等于水波的传播速度（波速）。在此图中 OA 等于 3 个波长，由此可以知道：波速=波长×频率。

关于电磁波的本质，限于我们的知识准备不足，还不能给同学们讲，但是，有一点却可以告诉同学们，这就是：跟水波类似，电磁波也有自己的频率和波长，同样可以用波形图来描述（图 13—4）。由方向来回迅速变化的电流（振荡电流）产生的电磁波，它的频率等于振荡电流的频率，即每秒内电流振荡的次数。电流每振荡 1 次电磁波向前传播的距离表示电磁波的波长。对电磁波来说，同样有：波速=波长×频率。

电磁波是向空间各个方向传播的，它的传播速度很快，和光速相同，在真空中是 3×10⁸ 米/秒，在空气中和在真空中近似。不同频率的电磁波的传播速度都相同，所以，频率较大的电磁波波长较短（图 13—4）。

图 13—4 频率不同的电磁波。上图所示的电磁波，频率低，波长较长；下图所示的电磁波，频率高，波长较短。

在我们周围的空间里，存在着形形色色的广播、电视和无线电通信所用的电磁波。它们的频率和波长各不相同，用途也有所不同。人们把无线电通信所用的电磁波（也叫无线电波）按波长分为几个波段，各波段的名称和主要用途如下表所示。

波 段	波 长	频 率	主要用途
长 波	$3 \times 10^4 \sim 3 \times 10^3$ 米	$10 \sim 10^2$ 千赫	超远程通信
中 短*	$3 \times 10^3 \sim 2 \times 10^2$ 米	$10^2 \sim 1.5 \times 10^3$ 千赫	无线电广播电报
中短波	$2 \times 10^2 \sim 50$ 米	$1.52 \times 10^3 \sim 6 \times 10^3$ 千赫	
短 波	50 ~ 10 米	6 ~ 30 兆赫	
微 波	10 米 ~ 1 毫米	$30 \sim 3 \times 10^5$ 兆赫	电视、宇航通信

课外观察找一台多波段的收音机，仔细观察选台指示盘，看看各波段都在哪些频率范围和波长范围内？有的收音机频率的单位用字母表示，kHz 表示千赫，MHz 表示兆赫，把对应的波长和频率相乘，看看是不是等于光速。

二、无线电广播和电视

我国古代曾有过“千里眼”、“顺风耳”的幻想故事。如今，有了无线电广播和电视，这些幻想都已成为现实。我们可以坐在家观看新闻节目和运动会上的激烈角逐，欣赏著名音乐家演奏的美妙音乐。现在无线电通信已被广泛应用于生活的各个领域。

图 13—5 通过广播、电视、我们可以收听、收看到遥远的地方举行的运动会实况。电视在我国不但在城市相当普及，而且逐渐普及到农村。

我们是怎样利用电磁波来传递声音和图像信号的呢？

也许同学们听说过用鸽子传送信件的故事，发信人把写好的信绑在鸽子身上，鸽子带着信飞向天空，到达目的地后，收信人从鸽子身上把信取下来，信息就传递过去了。用电磁波传递声音信号和图像信号，电磁波所起的作用跟鸽子类似：先将信号载在电磁波上，再把载有信号的电磁波发射出去，到达接收处设法从电磁波上把信号检出来。下面我们用传递声音信号的例子来介绍这个过程。

发射 要发射电磁波，首先要有能产生高频振荡电流的装置——振荡器。为了使发射的电磁波带有声音信号，还要用话筒把声音转化成变化的电流。然后，把两种电流都输入到调制器中，使高频电流又随着声音信号而改变。把这样的高频振荡电流送到发射天线，发出的电磁波就带有声音的信号了。整个发射过程可用图 13—6 概括。

图 13—6 发射过程

接收 接收电磁波需要有接收天线。天线可以接收到各种频率的电磁波，为了从中选出我们需要的某一频率的电磁波，并把它变成电流，要采用一个可以调节的电路——调谐器。从调谐器得到的是我们需要的带有声音信号的高频振荡电流，为了把声音信号取出来，还要使它通过检波器，从检波器出来的电流通过耳机，就还原成声音。

整个接收过程可以用图 13—7 概括。

图 13—7 接收过程

用电磁波传递图像信号的道理和传递声音信号一样，只是具体方法不同。在发送部分要用摄像机把图像变成随图像而变化的高频振荡电流，在接收部分要用显像管把这种振荡电流还原成图像。

电磁波的发射工作由广播电台和电视台承担，接收工作是由收音机和电视机来完成的。

* 三、激光通信

随着社会的进步，人们需要传递的信息量越来越大，对通信的质量要求越来越高。随着科学技术的发展，近几十年来出现了一种新的通信方式——激光通信。

激光是由一种叫做激光器的装置发射出来的，不同的激光器可以发出不同颜色的激光。与普通光比较，激光有以下的特性。

1. 从普通光源发出的光是向四面八方传播的，传得越远，光束越分散。而激光具有很高的方向性。激光沿一定方向传播时几乎是不发散的，即使把激光束射到距地球 38 万千米的月球上，也只发散成一个直径为几千米的光斑。

2. 普通光源发出的光，如日光，是由多种不同的色光混合而成的。即使普遍认为很好的单色光源——氦灯发出的光，也是由相近的色光组成，颜色并不很纯。而激光具有很高的单色性，颜色很纯。

3. 激光具有很高的亮度，一台大功率激光器发出的激光，亮度可达太阳亮度的 $10^7 \sim 10^{14}$ 倍。

激光具有上述特性，因而广泛应用于机械加工（如打孔、切割），精密测量，医疗手术，军事武器等方面。

激光通信与无线电通信类似，即先将声音和图像信号调制到激光束上，然后把载有声音和图像信号的激光发送出去，最后用接收装置把声音和图像信号检出来。

如果地面气候条件好，可以在直线距离为几十千米至上百千米的两点之间直接进行激光通信。但是大气中的云、雨、雾、烟尘等因素，会使通信距离和通信质量受到限制。

为了克服上述缺陷，科学家们研究和开发了激光的光纤通信，并取得了很大的成功。光纤是一种非常细的玻璃丝，比人的头发丝还要细，直径只有十分之几毫米。

光纤由内芯和包层两部分组成，内芯由光速较小的物质做成，包层由光速较大的物质做成。光在内芯中传播时，不断被包层反射回来，曲折前进，如图 13—8 所示。这样，带有信号的激光就沿着光纤向前传播，不受外界条件的干扰，使激光通信能传播很远，并且能提高通信质量。

图 13—8

激光的光纤通信还有容量大的优点。一根光纤可以传送几百路电话、几个频道的电视节目。而用电缆来传送电信号，一根电缆只能传送几十路电话。

在我国，已在几个大城市内和相互之间建成了利用激光的光纤通信系统，我们还要进一步发展激光通信。

无线电波的传播途径

无线电波从发射到接收的传播途径有三种（图 13—9），直线传播的叫直射波，沿地面传播的叫地波，射向天空后被大气中的电离层反射回到地面的叫天波。

图 13-9 无线电波的传播途径

长波和中波射向天空的部分大都被电离层吸收，但沿地面传播的部分被吸收得很少。它们还能很好地绕过障碍物，所以它们主要靠地波传播。

中波和中短波在夜晚被电离层吸收得不多，可以靠天波传播，在白天仍靠地波传播，但地面对它们的吸收较强，不能传得很远，这就是人们在晚上能收听到较多外地电台广播的原因。

短波被地面吸收得多，但能较好地被电离层反射，所以主要靠天波传播。

微波很容易被地面吸收，又能穿透电离层而不被反射，所以它不能靠地波和天波传播，只能直线传播。由于地球表面不是平面，微波在地球表面传播的距离不大，一般只有几十千米。因此，要向远距离传播微波，就要设立中继站，像接力赛跑那样，一站接一站地把微波传送出去（图 13—10）。

图 13—11 我国自行制造和发射的同步通信卫星

有了同步通信卫星以后，微波的传送多了一个好办法。同步通信卫星在赤道正上空，绕地心转动的周期和地球自转的周期一样。从地球上看来，它是在赤道上空某处静止不动的。用同步通信卫星做中继站，可以使从它转发的微波达到地球上很大的范围。只要有三颗同步通信卫星，就可以差不多在全世界范围内转播各地的电视节目。我国已发射同步通信卫星（图 13—11），用来转播电视和无线电话。

学到了什么

1. 当导体中有振荡电流时，在它的周围空间就会产生电磁波。

2. 电磁波每秒振荡的次数叫做它的频率，频率的单位是赫兹，简称赫。每振荡一次电磁波向前传播的距离等于它的波长。电磁波的传播速度跟光速一样。波速=波长×频率。

3. 无线电通信是利用电磁波来传递声音信号和图像信号的。广播电台和电视台把载有声音信号和图像信号的电磁波发射出去；收音机和电视机接收载有信号的电磁波，并把信号检出，还原成声音和图像。

*4. 激光具有很高的方向性、单色性、高亮度等特性。它有广泛的应用。激光通信的原理与无线电通信相类似，是近代发展起来的高新通信技术。

第十四章 能源的开发和利用

1. 什么是能源？什么是常规能源和新能源？
2. 什么是核能？怎样取得核能？核电站的原理是什么？
3. 怎样直接利用太阳能？

一、能源

金属的冶炼、机器的运转、汽车火车等交通工具的行驶，都需要能量。日常生活中烧饭、取暖、照明等，也需要能量，凡是能提供能量的物质资源，都可以叫做能源。煤、石油、天然气在燃烧时可以提供能量，它们是能源。水流和风可以提供能量，它们也是能源。

我们从前面的学习中已经看到，各种能源的广泛利用，给人类的物质文明和精神文明带来了巨大进步。而伴随着这种进步，能源的消耗量越来越大。特别是近三四十年来，能耗增长趋势十分明显（图 14—1）。如果把全世界的能源消耗量折合成燃烧值为 2.93×10^7 焦 / 千克的标准煤来计算，1950 年为 26 亿吨，1987 年为 110 多亿吨，估计到 2000 年要超过 200 亿吨。

图 14—1 世界能源消耗增长和发展趋势

我国能源消耗量也在逐年增长。1953 年为 0.54 亿吨标准煤，1992 年为 10.89 亿吨标准煤，预计到 2000 年将达到 14 ~ 17 亿吨标准煤。

能源消耗量这样迅速增长，会不会出现“能源危机”？人类能够解决能源消耗迅速增长这个问题吗？

煤、石油和天然气是由古代的动植物在长期地质变迁中形成的，有时统称为化石燃料。化石燃料是当今人类利用的主要能源。我国目前利用的能源中 90% 以上是煤和石油。煤和石油的开采（见彩图 10、11）在我国国民经济中占有举足轻重的地位。我国化石燃料的储量尽管丰富，但终究有限，而且开发利用后不能再生，长期大规模开采，终有开采完毕之日。水能是可以再生的，但可供开发的水能资源有限，全世界每年可以开发的水能只占现在能源总需求量的百分之十几。一旦化石燃料用完，只靠水能显然不能满足需要。同学们可能说我们可以用电能。要知道电能是由自然界提供的能源转化而来的，是二次能源。化石燃料、水能、风能等由自然界提供的能源，是一次能源。作为一次能源的化石燃料如果用完，又怎样取得更多的二次能源的电能呢？

图 14—2 太阳能的转化。太阳把地面和空气晒热，太阳能转化为内能。晒热的空气上升，空气流动形成风，又转化为风能。太阳把水面和地面晒热，并使一部分水蒸发，蒸发的水汽升到空中形成云，以雨雪的形式落下来，流入江河，太阳能转化为水能。植物吸收太阳能，发生光合作用，太阳能转化为植物的化学能。植物作为食物被动物吃掉，又转化成动物的化学能。古代的动植物在地质变迁中变为煤、石油、天然气，转化为这些燃料的化学能。

实际上，自然界提供的能源我们还没有充分利用。化石燃料、水能、风能都是来源于太阳的辐射能即太阳能（图 14—2）。化石燃料可以用完，但太阳能可以说是取之不尽的。自然界存在的潮汐能、地热能（图 14—3）也还没有充分利用。随着人类日益深入地认识自然，本世纪还发现了核能。煤、石油、天然气以及水能等能源，人类已经利用多年，叫做常规能源。核能、太阳能、潮汐能、地热能等能源，新近才开始利用，叫做新能源。开发和利用新能源，特别是核能和太阳能，是解决能源问题的主要出

路。

图 14—3 地热发电，它同火力发电的原理是一样的，所不同的是，它不需要消耗煤，而用地球内部的热蒸汽作能源。

二、原子核的组成

核能是在原子核发生变化的过程中释放出来的，在介绍核能之前，需要知道原子核的组成。

我们知道，原子核是很小的。小小的原子核是不是也有它的内部结构呢？19世纪和20世纪之交，物理学中的一个重大发现是电子的发现，它把人们带入了原子内部的世界。世纪之交的另一个重大发现是放射性现象的发现，它进一步把人们带入了原子核内部的世界。

放射性现象 科学家们发现，铀(U)、钋(Po)、镭(Ra)等元素能够放出射线。这种射线能够穿透黑纸，使照相底片感光，就像光线可以使照相底片感光一样。那么，放出的射线究竟是什么呢？

图 14—4 在强磁场中射线分成三束

人们让射线通过很强的磁场，看看它有什么反应，以此来考察它的性质，如图 14—4 所示，把一小块放射性物质放在铅盒里，留有一个通道让射线射出，外面加有强磁场。人们发现射线分成了三束。其中两束向相反方向偏转，说明这两束射线是由带电粒子组成，而且带有异种电荷。另一束不偏转，说明这束射线是中性的。

偏转较小的那一束，叫做 α 射线，由带正电的 α 粒子组成， α 粒子所带正电荷是电子电荷的两倍， α 粒子的质量大约等于氦原子的质量。研究表明， α 粒子就是氦原子核。

偏转较大的那一束，叫做 β 射线，研究表明， β 射线是高速运动的电子流。

不偏转的那一束，叫做 γ 射线，是一种波长很短的电磁波。

这三种射线都有穿透物质的本领，其中 α 射线的穿透本领最强，甚至能穿透水泥墙和薄钢板。由于穿透本领强，所以可利用 α 射线来检查金属材料内部有没有砂眼和裂缝，用来检查金属板的厚度。还可利用射线照射种子，使农作物增产。射线还可用来检查和医治恶性肿瘤。

过量的射线照射对人体有伤害作用。在利用放射线时，要注意射线的防护，用玻璃板、铅板等把放射性物质与人体隔离开。要防止放射性物质泄漏，以避免对水源、空气和工作场所造成污染。

原子核的组成 α 粒子就是氦核，它是从质量较大的某些元素的原子核中放出的。 β 射线虽然是电子流，但进一步研究表明，它并不是来自核外电子，而是原子核发生某种变化时产生的。放射性现象给我们带来的信息是：小小的原子核也有内部结构。

现在已经确定原子核是由质子和中子组成的。质子带正电荷，电量跟电子电荷相等，质子的质量大约是电子的 1836 倍。中子不带电，质量跟质子的质量几乎相同。

氢(H)原子核的结构最简单，氢原子核就是质子，核外有一个电子。氦(He)原子核由两个质子和两个中子组成，核外有两个电子。锂(Li)原子核由三个质子和四个中子组成，核外有三个电子。铍(Be)原子核由四个质子和五个中子组成，核外有四个电子，等等(图 14—5)。

图 14—5 原子和原子核结构示意图

你学过元素周期表将会知道，原子核内质子的个数叫做核的电荷数，它等于该元素的原子序数；质子和中子的总数叫做核的质量数，它等于该

元素原子量的整数部分。

原子核内没有电子，怎么又会放出电子而产生β射线呢？原来，原子核内放出的电子是原子核内发生某种核反应时产生的。在这种反应中，一个中子变成一个电子和一个质子。

图 14—5 原子和原子核结构示意图

三、核能

物理学家发现原子核是可以改变的，而且在有些改变过程中还会释放出巨大的能量——核能，核能过去常叫原子能。获得核能有两种途径，一种是原子核的裂变，另一种是原子核的聚变。

裂变 科学家发现用中子轰击铀 235（质量数为 235 的铀），铀核会分裂成大小相差不很大的两部分，这种现象叫做裂变（图 14—6）。发生裂变时有核能释放出来，这时裂变后的产物以很大速度向相反方向飞开，与周围的物体分子碰撞，使分子动能增加，转化为周围物体的内能。裂变释放的核能十分巨大，1 千克铀 235 中的铀核如果全部发生裂变，释放出的能量相当于 2500 吨标准煤完全燃烧放出的能量。

图 14—6 铀核的裂变

用中子轰击铀核，铀核才能发生裂变，放出能量。这好比用火柴点燃木材，木材才能燃烧，放出能量一样。假如外界的中子停止轰击，裂变也就停止。然而实验表明，铀核裂变时，还同时放出 2~3 个中子，放出的中子又可以轰击其他铀核，使它们也发生裂变。这样，裂变将不断地自行继续下去（图 14—7）。这种现象叫做链式反应。

图 14—7 链式反应

如果对裂变的链式反应不加控制，在极短的时间内就会释放出巨大的核能，发生猛烈爆炸，原子弹就是根据这个原理制成的（图 14—8）。如果控制链式反应的速度，使核能缓慢地平稳地释放出来，就便于和平利用了。

能够缓慢、平稳地释放核能的装置，叫做核反应堆（参见彩图 12）。

图 14—8 我国第一颗原子弹爆炸后升起的蘑菇状烟云。

聚变 科学家们发现，较轻的核结合成较重的核，也能释放能量，这种现象叫做聚变。例如一个氘核（质量数为 2 的氢核）和一个氚核（质量数为 3 的氢核）结合时，就释放出核能（图 14—9）。

氢弹就是利用轻核聚变制成的。氢弹是一种比原子弹威力更为巨大的核武器。

太阳内部进行着大规模的聚变，释放的核能以电磁波的形式从太阳辐射出来，地球上的人类每天都享用着聚变释放出的能量。

图 14—9 聚变

人们现在还不能像裂变那样，使聚变在人工控制的条件下进行，从而和平利用聚变产生的核能，但这是一个非常吸引人的重大课题，目前世界上许多国家都在积极研究聚变的人工控制，并取得了一定的进展。我国研究可控核聚变的实验装置“中国环流器 1 号”于 1984 年顺利启动，已经取得了不少研究成果，至今仍在工作中。

四、核电站

核电站的原理 利用核能发电的电站叫做核电站。目前已建成运转的核电站，都是利用原子核裂变的链式反应产生的能量来发电的。

核电站的核心是反应堆，它以铀为核燃料，反应堆中放出的核能转化为高温蒸汽的内能，通过汽轮发电机转化为电能。图 14—10 是核电站的原理示意图。

图 14—10 核电站原理示意图

第一回路中的水或其他液体用泵压入反应堆，在那里被加热，然后进入热交换器，把热量传给第二回路的水，以后又被泵压回到反应堆里。

在热交换器内，第二回路中的水经加热生成高温高压蒸汽，送入汽轮机驱动汽轮机做功后温度和压强都降低，进入冷凝器，最后又由水泵把它压回热交换器。

高速旋转的汽轮机带动发电机发电。

核电站的特点 核电站只需消耗很少的核燃料，就可以产生大量的电能，每千瓦时电能的成本比火电站要低 20% 以上。核电站还可以大大减少燃料的运输量。例如，一座 100 万千瓦的火电站每年耗煤三四百万吨，而相同功率的核电站每年仅需铀燃料三四十吨。

核电站特别适于缺少煤、石油、水能等能源的地区。例如我国就把自己设计建造的第一座核电站，建在化石燃料短缺、能源需求量大的华东地区。

我国要大力开发核能。没有核能的开发，我们将不可能赶上世界先进水平。我国浙江秦山核电站（见彩图 13）和广东大亚湾核电站已运行发电。预计到 2010 年，我国核电站的功率可达 3000 ~ 5000 万千瓦，年核发电量将达 1500 ~ 2500 亿千瓦时。

由于核电站有很多优点，世界上许多国家都在大力发展核电。到 1989 年全世界运行中的发电核反应堆有 434 座，总装机容量约 32000 万千瓦，发电量占世界总发电量的 17%。预计到本世纪末，核能发电将达到世界总发电量的 30%。核能将成为 21 世纪的主要能源之一。

核电站的建设必须采用可靠的保护措施，以保证电站的安全运行，防止放射性物质泄漏，避免造成放射性污染。

五、太阳能

随着科学技术的发展，人们发现，太阳不但用间接方式一直向人类提供赖以生存和发展的能量，而且还是可能为人类长期地直接提供巨大能量的又一新能源。

首先，太阳能十分巨大，仅一小时到达地球表面的太阳能，就比目前全世界一年能源生产的总量还多。其次，太阳能供应时间长久，据科学家推算，太阳像现在这样不停地进行核聚变，连续辐射能量，可维持 60 亿年以上，对于人类来说，太阳能几乎可以说是一种取之不尽用之不竭的永久性能源。第三，太阳能分布广阔，获取方便，处处可以利用，既无需挖掘开采，也无需运输。最后，太阳能安全、清洁，开发利用太阳能不会给环境带来污染。所有这些，都促使人们对直接利用太阳能日益感兴趣。

那么怎样利用太阳能呢？到现在为止，直接利用太阳能有两种途径。

一种途径是把太阳能转化成内能，以供应用。太阳炉和太阳能热水器就属于这种情况。还可以把内能进一步转换成电能：用集热器（也叫太阳炉）把水加热，产生蒸汽，推动汽轮发电机发电，这就是太阳能热电站。

另一种途径是通过光电转换装置把太阳能直接转化成电能。硅光电池（本册课本第四章）就是这种转换装置，也叫太阳能电池。太阳能电池的应用很广泛，天上人造卫星的电源，地上太阳能汽车的电源，都用到太阳能电池。我国有些地区用太阳能电池作航标灯、铁路信号灯的电源。有的国家还研制用太阳能电池供电的小型电冰箱、微型电视机等。

图 14—11 太阳能的利用

在太空试验站上，用太阳能电池作电源。用太阳能电池供电的电动汽车。

这是太阳能热水器的原理图。太阳光通过透明罩射在黑色吸热板上，太阳能转化为内能，并把水管中的水加热，以供应用。这是太阳能热电站的原理图。储热器用于储存能量，以备阴雨天用来发电。太阳能热电站的外观参见彩图 14。图 14—11 太阳能的利用

太阳能虽然巨大，但它太分散，垂直投射到地面每平方米面积上的太阳能。功率只有数百瓦。要大规模开发利用太阳能，必须设置庞大的收集和转换能量的系统，因而造价过高，影响推广。另外，由于地球自转、气候、季节等原因，太阳能射到某地的功率变化很大，不稳定，给人们正常利用太阳能带来困难。还有，目前太阳能的转换效率还很低，如光热转换的效率只能达到 50~60%，光电转换的效率还只有 10%左右。因此，在直接利用太阳能方面，还需继续大力开展研究工作。我们在直接利用太阳能方面已经取得了初步成果，只要不断努力，太阳能的直接利用将会不断有新的进展。有人预言，到下一世纪，太阳能将成为人们的重要能源之一。

六、节 能

在能源利用中，可以有效利用的能量只占其中的一部分，另外的部分未被利用而散失了。有效利用的能量占消耗的能源所含能量的比例叫做能源利用率。

我国总的能源利用率仅为 30%，比发达国家的 50%还有相当大的差距。如果把我国总的能源利用率提高到 50%，按 1989 年的数据计算，一年可节约 3.8 亿多吨标准煤，这是一个很大的数字。

节约能源的消耗，既可以提高经济效益，又可以缓解能源的紧张局面，是一个在国民经济中具有重大战略意义的问题。

提高能源利用率，节约能源，离不开科学技术的进步。从蒸汽机到内燃机，能源利用率从 8%提高到 30%以上；从火电站到热电站，能源利用率从 30%提高到 50%以上；超高压输电使电能损失大大降低。因此，采用新技术、新设备、更新改造落后的技术装备，是节约能源的根本措施。

我国很重视节能工作。1981 年至 1989 年，增加效率高的热电机组 580 万千瓦，集中供热面积增加 4000 万米²，改造工业锅炉、工业窑炉 1.6 万台，组织生产了风机、水泵等 2000 多种节能型产品，规定淘汰 11 批耗能高的机电产品。此外，还研究、推广一大批节能技术项目，如研究生产了电子高效节能灯，一只 11 瓦的这种灯，照明效果相当于 60 瓦的白炽灯。如果换用这种灯，可以节省电能 3/4 以上。所以改造或者淘汰老旧设备，开发生产节能产品，在节约能源上的潜力是很大的。

我国正在进行社会主义四个现代化的建设，能源的需求量很大，而能源供应常常跟不上生产发展的需要。我们每一个人都应为国家着想，提高节能意识。现在就从自己身边做起，无论在家还是在学校，都要提倡节能。

本章结束语

能源，它关系到人们的衣食住行，关系到国家的兴旺发达。能源的开发和利用，给人类带来了巨大进步，随着社会的发展，人类对能源的需求也越来越大，更多地开发利用能源，就成为关系到人类生存和发展的一个重大社会问题。人类当今利用的主要能源化石燃料，终有耗尽的一天。怎样解决这个问题呢？出路在于科学技术的进步。前面介绍的十分巨大的新能源——核能和太阳能，就需要在科学技术的进一步发展下才能予以充分的开发利用。

人类现在还不能利用可控核聚变的能量。一旦可控核聚变能够实现，可以说将永远地解决人类能源的需求。聚变所用的核燃料氘，储量非常丰富。1 升水中就含有 0.03 克氘，地球上的水中总共约含有 40 多万亿吨氘。假如这样多的氘的 1%能作为核燃料加以利用，照现在的能量消耗计算，足以满足人类未来几亿年对能源的需求。现在太阳能的利用规模不大。一旦提高了光电转换效率，人类将可以大规模地直接利用太阳能来发电。而太阳能又是取之不尽的。为了实现这种前景，有关科学技术工作者正在进行艰苦的研究探索工作。

人类由钻木取火开始，就已经直接利用自然界提供的能源了。后来发明了蒸汽机，大规模地利用化石燃料，人类进入了蒸汽时代。发电机的发

明和电能的广泛应用，人类又进入了电气时代，核能的发现和利用，人类又开始进入了核能时代。人类开发和利用能源的历史，是人类在认识自然和利用自然方面不断前进的历史。今天我们认为核能和太阳能等是新能源，今后会不会发现其他新能源呢？今天还不能充分利用的能源，明天会不会发现一种新办法而利用得更充分呢？这些都不是不可能的幻想，问题在于人类要不断有所发现，有所前进。

世世代代的科学家、发明家、工程师、革新家为人类利用能源作出了巨大贡献。现在正在学习的青年朋友们，你们将是我国 21 世纪的建设者，本书编者热烈期待你们在能源问题上——不仅在能源问题上，而且在其他科学技术社会问题上，都能大显身手，作出贡献。

阅读材料 太阳灶·沼气炉·保温炕

《人民日报》记者采访河北省迁安县新能源示范村后，写了下面的报道：

秋风萧瑟，冬季将至。

一天上午，我随迁安县新能源办公室主任跨进坐落在城郊的吴庄村农户郭宝奎的家门，但见那宽敞的庭院井然有序，光洁的水泥甬道直通屋室。奇怪的是，院内竟找不到柴禾垛和乱煤堆。

难道这庄户人家冬季不生火取暖么？他们又是用什么来烧饭呢？

没等我开口，热情好客的户主夫妇满面笑容地迎上来，高兴地摸着窗前银光闪闪的太阳灶说：“记者同志，我家就用这个天然炉子烧水，好使着哩！要是夏天晌午一袋烟功夫就开。”然后走进堂屋指着锅台上燃烧的沼气炉：“水开了，再用这玩意做饭、熬猪食，快着哩！如果晚间赶上停电哪，就点上沼气灯，贼亮贼亮的！”

“那你们冬天取暖咋办？”

“瞧，这有节柴省煤灶，里屋有半架空式保温炕，往炉膛里添上把秫秸一燎，满炕热乎乎，烫屁股。你看这几个孔还可以散余热，屋里暖烘烘，赛过土暖器呐！”

“真是不错，你们用了多长时间啦？”

“4年多了”。

“每年可以节省多少煤？”

“我家5口人，算起来哪年也得省两吨半，过去冬天总愁烧的，现在柴禾送给别人”。郭宝奎说着按捺不住的喜气溢于言表。

他是这村新能源综合利用示范户。

据介绍，吴庄村人多地少，全村600多口人，人均不到半亩地。

近年来改革开放使农民富裕起来，锅里不愁米，但灶里却愁柴。农户冬天取暖，秫秸不够烧，就去铲草根、剥树皮，破坏了生态平衡。

自打开发新能源的综合利用以来，农户尝到了甜头。

做饭、喂猪、取暖省工省钱，又干净没污染。据调查统计，这村164户农家至今已有90%安上太阳灶、沼气炉、保温炕，每年可为国家节煤270吨，节省资金2.7万多元。

学到了什么

1. 什么是能源？哪些能源是常规能源，哪些能源是新能源？
2. 原子核的组成是怎样的？什么是放射性现象？
3. 获得核能有两种途径：裂变，聚变。核电站是利用裂变的链式反应的能来发电的。
4. 直接利用太阳能有两种途径：把太阳能转化成内能，把太阳能转化成电能。
5. 解决能源问题，一是开发新能源，一是提高能源利用率，节约能源。
6. 人类社会的发展对能源的需求迅速增加，这个问题的最终解决要靠科学技术的进步。

第十五章 有用的电子元件

1. 常见的电子元件有哪些？
2. 它们都有什么应用？

要想天亮时电铃能自动发声，下雨时晒的衣服能自动收回，黄昏时路灯能自动发光，黎明时又能自动熄灭……学了这章电子元件的知识后，就会了解这些事情是都能办到的。

一、二极管和发光二极管

图 15—1 晶体二极管和它的符号。符号上箭头的指向表示允许电流通过的方向。

二极管的单向导电 二极管是半导体二极管的简称，是由半导体材料制成的。它有两根引线（图 15—1），一根叫正极，一根叫负极。

二极管的导电性质很特殊。它只允许电流从它的正极流向负极。这很像自行车的气门心只允许气流从气筒流向车胎一样。

甲乙图 15—2 二极管特性的实验

实验 照图 15—2 甲那样连接电路。接通开关，小灯泡发光，表示二极管允许电流通过，注意这时二极管的正、负极分别同电池组的哪个极相连接。把二极管的正、负极调换过来（图 15—2 乙），再做这个实验。

可见，二极管有单向导电性质：只有二极管的正极接电源正极、二极管的负极接电源负极时，二极管才导电，电路中才有电流；反过来，当二极管的正极接电源负极，二极管的负极接电源正极时，二极管不导电，电路中没有电流。

图 15—3 发光二极管。一般两根引线中较长的一根为正极，较短的一根为负极。有的发光二极管带有一个小平面，靠近小平面的一根引线为负极。

发光二极管 有一种二极管在导电时发光，叫发光二极管，它的外形及其在电路中的符号如图 10—3 所示。

实验 照图 15—4 甲那样连接电路。接通开关，观察发光二极管导电时是否发光。把发光二极管正、负极调换过来（图 15—4 乙），观察发光二极管不导电时是否发光。

回复到图 15—4 甲的电路，用滑动变阻器改变串联在电路中的电阻，观察发光的变化。

图 15—4 发光二极管的实验

发光二极管不但有电流通过时会发光，而且电流大时亮，电流小时暗。一般发光二极管正常的工作电流为 10 毫安，但电流达到 3 毫安时就可以发光。一般小灯泡要几百毫安的电流才发光。所以，发光二极管常常被用来显示电路中有没有电流，这比用小灯泡来显示要省电，而且更加灵敏。

图 15—5 发光二极管有它的最大工作电流，一般为正常工作电流的 2~5 倍。超过这个电流值，就可能烧坏。为了不使发光二极管因电流过大而烧坏，使用时常常要串接一个电阻——限流电阻。

发光二极管可以制成发不同颜色的光，如红光、绿光、黄光等。可以

用不同颜色的光表示不同的意思。例如红光表示“停止”，绿光表示“放行”。如果把发红光和发绿光的二极管各一只装在停车场的入口处或出口处，管理员就可以用来指挥车辆的出入（图 15—6）。

图 15—6 手控交通红绿灯图 15—7

实验 照图 15—7 那样连接电路，接通开关，注意观察哪只发光二极管发光和电动机向哪个方向转动。调换电池组的正、负极，重做这个实验，哪只发光二极管发光？电动机向哪个方向转动？

图 15—7

使用发出两种色光的二极管，分别指示电动机正反两个转动方向，可以帮助操作人员及时发觉电动机转动方向是不是符合需要。

二、光敏电阻和它的应用

光敏电阻 在第四章讲过光敏电阻（图 15—8），它的电阻值随光照的变化而变化。

图 15—8 光敏电阻的外形及其在电路中的符号

实验 照图 15—9 那样连接电路。接通开关，先观察光敏电阻被光照射时发光二极管的发光情况，再观察光敏电阻被不透明物体遮盖时，发光二极管的发光情况。

图 15—9 光敏电阻的实验

一般光敏电阻的电阻值，不受光照射时是受光照射时的 100 ~ 1000 倍。例如有一种型号的光敏电阻，光照时的阻值为 2 千欧，不受光照时的阻值为 1000 千欧。

光敏电阻 的应用图 15—10 是应用光敏电阻的基本电路。电路中的光敏电阻受到光照射时，电流相当强，用电器可以正常工作。而当光敏电阻不受光照射时，阻值增大，电流减弱，用电器停止工作。下面举两个具体例子。

图 15—10 甲：干簧管乙：干簧继电器丙：在电路图中干簧继电器的画法图 15—11 为了识别电路的方便，通常在电路图中把线圈和干簧管分开来画，成为图丙的形式。

1. 光控大门装置

这里我们要用到一种电子元件——干簧继电器。它由干簧管和绕在干簧管外的线圈组成（图 15—11）。当线圈内有电流时，线圈产生的磁场使密封在干簧管内的两个铁质簧片磁化，两个簧片在磁力作用下由原来的分离状态变成闭合状态。线圈内没有电流时，磁场消失，簧片在弹力的作用下，恢复到分离状态。

甲：干簧管\乙：干簧继电器\丙：在电路图中干簧继电器的画法图 15—11 为了识别电路的方便，通常在电路图中把线圈和干簧管分开来画，成为图丙的形式。

实验 照图 15—12 那样连接电路。先用光照射光敏电阻，再用遮光物遮住光敏电阻，观察在什么情况下电动机转动。

把光敏电阻装在大门上汽车灯光能照到的地方，把带动大门的电动机接在干簧管的电路中，那么夜间汽车开到大门前，灯光照射光敏电阻时，干簧继电器接通电动机电路，电动机带动大门打开（图 15—13）。

图 15—13 车辆厂的光控大门

2. 天明报知装置

这里我们要用到另外一种电子元件——蜂鸣器（图 15—14）。蜂鸣器内装有发声电路，外边有两根引线，一根负极，一根正极。使用时正极接电池正极，负极接电池负极。当有电流通过时，能发出悦耳的蜂鸣声。

图 15—14 蜂鸣器。蜂鸣器工作时，需要的电流较小，有的还能奏出动听的音乐。

实验 把图 15—12 中的电动机换成蜂鸣器，连成图 15—15 所示的电路。使光敏电阻先受光照射，再不受光照射，观察蜂鸣器在什么情况下发声。

图 15—15

如果把这个装置装在卧室内，早晨天明时，蜂鸣器就会自动发声唤醒我们。

三、与门

从小巧的电子手表，到复杂的电子计算机，它们的许多元件被制成集成电路的形式，即把几十，几百，甚至成千上万个电子元件制作在一块半导体片或绝缘片上。每种集成电路都有它独特的作用。有一种用得最多的集成电路叫门电路。常用的门电路有与门、非门、与非门。

什么是门电路 “门”顾名思义起开关作用。任何“门”的开放都是有条件的。例如，一名学生去买书包，只买既好看又结实的，那么他的家门只对“好看”与“结实”这两个条件同时具备的书包才开放。

门电路是起开关作用的集成电路。由于开放的条件不同，而分为与门、非门、与非门等等。

与门 我们先学习与门，在这之前请同学们先看图 15—16，懂得什么是高电位，什么是低电位。

图 15—16 跟电源正极相连的导体是高电位，跟电源负极相连的导体是低电位，电流从高电位流向低电位，正如水流从高水位流向低水位，高水位流向低水位。

图 15—17 与门和它在电路中的接法

图 15—17 甲是我们实验用的与门，它有两个输入端 A、B 和一个输出端。图 15—17 乙是它连入电路中的情形，发光二极管是用来显示输出端的电位高低：输出端是高电位，二极管发光；输出端是低电位，二极管不发光。

实验 照图 15—18 甲、乙、丙、丁的顺序做实验。图中由 A、B 引出的带箭头的弧线，表示把输入端接到高电位或低电位的导线。每次实验根据二极管是否发光，判定输出端电位的高低，填入下表。

图 15—18

输入 A	输入 B	输出
低	低	
低	高	
高	低	
高	高	

输入端空着时，它的电位是高电位。照图 15—18 戊那样，让两输入端都空着，则输出端的电位是高电位，二极管发光。

可见，与门只在输入端 A 与输入端 B 都是高电位时，输出端才是高电位；输入端 A、B 只要有一个是低电位，或者两个都是低电位时，输出端也是低电位。输入端空着时，输出端是高电位。

图 15—19

与门的应用 图 15—19 是应用与门的基本电路，只有两个输入端 A、B 同低电位间的开关同时断开，A 与 B 才同时是高电位，输出端也因而是高电位，用电器开始工作。

图 15—20

实验 照图 15—20 连接电路。图中输入端与低电位间连接的是常闭按钮开关，按压时断开，不压时接通。

观察电动机在什么情况下转动。

如果图 15—20 的两个常闭按钮开关分别装在汽车的前后门，图中的电动机是启动汽车内燃机的电动机，当车门关紧时常闭按钮开关才能被压开，那么这个电路可以保证只有两个车门都关紧时汽车才能开动。

四、非门

非门 图 15—21 甲是我们实验用的非门，它只有一个输入端。图 15—21 乙是它接入电路中的情形。

图 15—21 非门和它在电路中的接法

输入	输出
高	
低	

实验 照图 15—21 乙连接电路。将输入端先接高电位，再接低电位，将对应的输出端的电位高低填入上表。空着的输入端是高电位，这时输出端是低电位，二极管不发光。

可见，非门输出端的电位高低跟输入端的相反。空着的输入端是高电位。

图 15—22

非门的应用 图 15—22 是应用非门的基本电路。当输入端和低电位间的开关接通时，输入端是低电位，输出端是高电位，用电器开始工作。

实验 照图 15—23 连接电路。图中接在输入端和低电位间的是液体传感器（图 15—24）。在液体传感器上洒些水，然后再把洒的水擦干，观察在什么情况下电动机转动。

图 15—24 液体传感器和它的符号。当两组铜箔条间的绝缘板上有水时，这两组铜箔条导通。

利用图 15—23 所示的电路，可以在下雨时自动收回晾的衣服：将晾衣服的竹竿两端分别搭在两根导轨上；将绳的一端拴在竹竿上，绳的另一端绕在电动机轴上；液体传感器放在雨能淋到的地方。这样，下雨时雨水落到液体传感器上，将非门输入端同低电位接通，输出端是高电位，电动机转动，将晾衣服的竹竿沿导轨拉到房檐下。

五、与非门

与非门 图 15—26 甲是我们实验用的与非门，它也有两个输入端 A、B，图乙是它在电路中的接法。

图 15—26 与非门和它在电路中的接法

实验 照图 15—26 乙连接电路。参照图 15—18 甲、乙、丙、丁顺序实验，将每次实验时输出端的电位高低填入下表。

输入 A	输入 B	输出
低	低	
低	高	
高	低	
高	高	

空着的输入端是高电位。当两个输入端都空着时，输出端是低电位，二极管不发光。

可见，与非门跟与门相反，只要有一个输入端是低电位，或者两个输入端都是低电位，输出端都是高电位；只是在两个输入端都是高电位时，输出端才是低电位。空着的输入端是高电位。

图 15—27

与非门的应用 图 15—27 是应用与非门的基本电路，只要输入端有一个开关同低电位间接通，输出端就是高电位，用电器开始工作。

图 15—28

实验 照图 15—28 连接电路。分析在什么情况下蜂鸣器发声。实际试试，检查自己的分析是否正确。

图 15—28 的电路，如果光敏电阻装在保险柜锁处，按钮开关装在柜门前的地毯下，那么盗贼用手电筒照柜锁时，或者踏着柜门前的地毯时，警铃就会发声，因而可以作为防盗报警器。

六、与非门作为非门、与门

与非门是最常用的门电路，这是因为不但它本身很有用，而且在没有专用的非门、与门时可以用它来分别代替它们。

用与非门作为非门 只应用与非门的一个输入端 A 或输入端 B 时，这个与非门就成了非门。

下面的实验里，我们把两个与非门都作为非门来用。

实验 照图 15—29 连接电路，分析在什么情况下二极管发光，实际试试，检查你的分析是否正确。

图 15—29

图 15—29 的电路实际是自动夜明灯（发光二极管）的电路。天黑时光敏电阻的阻值很大，第一个非门的输入端 A 与低电位间相当于开路，是高电位，输出端和第二个非门的输入端是低电位，第二个非门的输出端是高电位，夜明灯自动发光。天亮时光敏电阻的阻值减小，第一个非门的输入端 A 同低电位间相当于接通，夜明灯自动熄灭。

用与非门作为与门 由于与非门跟与门相反，所以在与非门后面接一个非门就组成一个与门，下面实验里第二个与非门就作为非门。

实验 照图 15—30 连接电路，分析在什么情况下电动机转动，实际试试，检查你的分析是否正确，把这个电路同图 15—20 的电路对比，可以得到什么结论？

图 15—30

图 15—30 的电路同样可以用来保证汽车前后门都关紧时，汽车才能开动。

* * *

以上我们向同学们介绍了几种简单的电子元件和它们的一些巧妙应用。希望同学们能从中了解到，电子技术是多么有趣和有用。现在，电子技术发展十分迅速，新奇的应用层出不穷，已经成为高科技的重要方面。希望读者中能有人从此爱好这门技术，将来在这方面有所成就，为祖国的社会主义建设作出贡献。

习 题

1. 参考图 15—7 所示电路，利用发光二极管设计一个判断电源正负极的装置，并说明它的使用方法。

图 15—31

2. 如图 15—31 所示，夜间，用手电筒照一下光敏电阻，灯泡就会发光。撤去手电筒灯泡仍然发光，直至把电路中的开关断开。试说明这个电路的工作原理。

图 15—32

3. 图 15—32 是一个火灾报警器的实验电路。图中的 W_2 是一种叫做热敏电阻的元件，它的阻值随温度的升高而降低。使用时，将热敏电阻和光敏电阻放在防火现场，其中光敏电阻用一细光束照射着。一旦现场失火，烟雾会挡住细光束，或现场温度升高，只要有一种情况出现，蜂鸣器就会发声报警，试说明它的工作原理。

学 到 了 什 么

1. 二极管的特性是什么，发光二极管与一般二极管相比，又有什么特点？
2. 光敏电阻有什么特点？
3. 干簧继电器是如何工作的？
4. 什么是门电路？
5. 与门、非门、与非门的特点是什么？它们各有哪些应用？
6. 如何用与非门分别组成与门和非门？

附录 本书中用到的物理量及其单位

物理量		单位		备注
名称	符号	名称	符号	
电 流	I	安培(安) <u> </u>	A	$I = \frac{U}{R}$ 1安=1伏\欧
电 压	U	伏特(伏)	V	1伏=1瓦/安
电 阻	R	欧姆(欧)		1欧=1伏/安
电 功	W	焦耳(焦) 千瓦小时 (千瓦·时)	JW=UItJkW·h	W=Uit 1焦=1伏·安·秒 =1牛·米 W=Pt 1千瓦·时=3.6×10 ⁶ 焦
电 功 率	P	瓦特(瓦)	W	$P = \frac{W}{t} = UI$ 1瓦=1焦/秒=1伏·安
真空中的光速	c	米每秒(米/秒)	m/s	c=3×10 ⁸ 米/秒(近似值)
热 量	Q	焦耳(焦)	J	
比 热	c	焦耳每千克摄氏度 /[焦/(千克·)]	J/(kg·)	$c = \frac{Q}{m(t-t_0)}$

