

开 头 的 话

在今天，人们的生活一时一刻也离不开电。一旦停了电，将会发生什么样的事情呢？工厂里的各种机器停止转动了，懒洋洋地躺在那里睡大觉；炼钢厂的电炉温度下降了，钢水凝固在炼钢炉里；自来水塔抽不上水，居民们没水用了；正在行驶的无轨电车跑不动了，停在半道上；电梯悬在半空中，上不能上，下不能下，真叫人着急。正在放映的精彩电影中断了，使观众们大为扫兴；跟外界的电讯联系也失灵了。到了晚上，一片漆黑，家里的电灯不亮了，收音机没声了，录音机不响了，电视看不成了，洗衣机开不动了……这简直是一场“灾难”！

你看，电对今天的人类来说，是多么的重要啊！那么，电到底是什么东西？人们是怎样发现它，又是如何利用它的呢？

下面，我们通过边做实验、边思考的方式，来学习电磁学的基本知识。

一 摩擦起电

在冬季的夜晚，当你脱尼龙衫的时候，往往能听到轻微的噼啪声，如果关掉电灯还能看见在衣衫的表面上飞溅着小火花；用塑料梳子梳干燥的头发的时候，也发生类似的现象。这就是一种“电”现象。

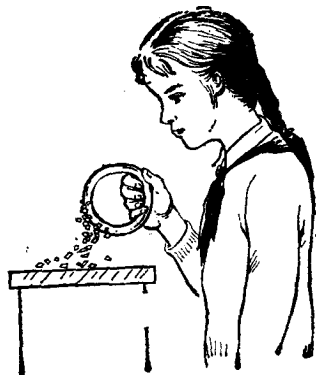
最早发现“电”现象的是古希腊人。据记载，大约在两千五百多年前，古希腊就盛行用琥珀做装饰品。琥珀是一种树



脂化石 晶莹透明 色彩艳丽 把它做成珠子、耳环、镯子等佩带起来，非常美观。在用琥珀加工这些装饰品的过程中，人们发现了一个奇怪现象：刚刚磨制过的琥珀能吸引毛发、线头等小东西。当时谁也解释不了这种现象的本质，因为它是发生在磨制后的琥珀上 所以就把这种现象叫做“琥珀之力”。后来由希腊文“琥珀”一词演变出“电”这个新词。这种

“电”现象是由于摩擦引起的，人们就叫它“摩擦起电”。

这件事引起了学者们的注意，随着科学技术的发展，研究“摩擦起电”的人渐渐多起来了，有人还制造出各种形式的起电器来进行实验。公元1600年，



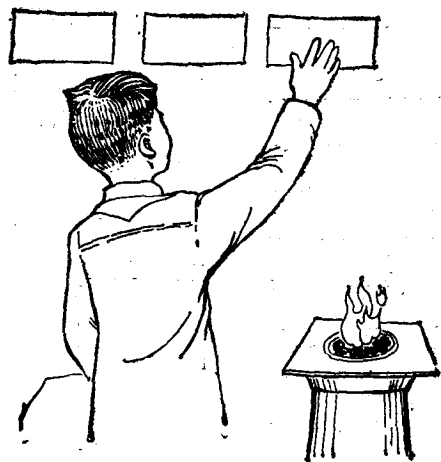
英国的吉尔伯特（1540-1603）发现玻璃、火漆、硫磺、水晶、胶木等，用呢绒或丝绸摩擦后，也都能吸引轻小物体。科学家还发现，这些物体上所带的电是不流动的，因此把它叫做“静电”或者“静电荷”。

现在，我们来做几个静电实验。

不用浆糊贴纸

如果给你出个题目：不用浆糊或其他任何东西帮助，你能把几张白纸条（比如每天撕下来的日历纸）贴到墙上吗？你可能有些为难了。不要急，你自己先好好想一想，实在想不出来了，再看下面的实验（在冬天做效果更好）。

找几张日历纸片，用火把它烤热（注意：不能烤焦了），然后把纸片在头发上摩擦几下，迅速地向干燥的墙



壁上一贴，纸就立即粘在墙上了。你可以连续贴上好几张纸，到末了最先贴的那张纸也掉不下来了。

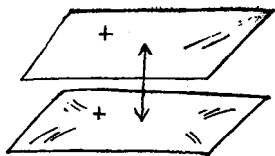
这个实验说明，干燥的纸片和头发摩擦以后就带上了电，当跟干燥的墙壁接触的时候，在静电的作用下，纸被吸在墙上了。当然时间一长，静电作用消失，纸片也就掉下来了。

合不拢的纸条

再做一个实验。

用前面实验的方法同时摩擦两张纸片，先把一张纸片平放在桌子上（摩擦面朝上），再把另一张纸片往第一

张上面放 摩擦面朝下)
你会发现纸片之间有一
股阻力 很不容易把它们
放到一起。



我们做这个实验的时候，

两张纸片都是跟头发摩擦才

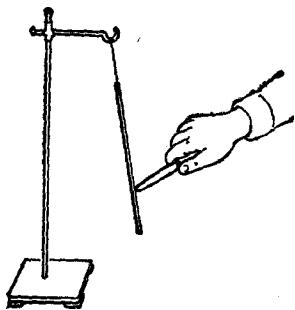
带上了电，所以它们带的是相同性质的电荷。带有相同电荷的纸片互相排斥，说明同性电荷是互相排斥的。

早在 1747 年 美国科学家富兰克林在实验中就发现 用丝绸摩擦过的玻璃棒和用毛皮摩擦过的胶木棒带的电荷不同，他把玻璃棒带的电荷叫正电荷，把胶木棒带的电荷叫负电荷。从上面的实验得知：凡是跟玻璃棒上的电荷互相排斥的电荷，都属于正电荷；凡是跟胶木棒上的电荷互相排斥的电荷，都属于负电荷。一般说来，不论用什么方法给物体起电，所带的电荷不是跟玻璃棒上的电荷相同，就是跟胶木棒上的电荷相同。所以自然界只存在正、负两种电荷。

亲如手足的“异种电荷”

前面的实验告诉我们 同种电荷之间互相排斥。那么 正电荷和负电荷之间存在什么关系呢？我们做个实验看看。

把一根玻璃棒用线挂起来 用一块丝绸摩擦它 它就带上了正电荷 然后用毛皮摩擦一根胶木棒 它就带上了负电荷 用塑料钢笔杆在头发上摩擦 塑料钢笔杆带的也



是负电荷，把带负电荷的胶木棒或钢笔杆靠近带正电荷的玻璃棒时，你会发现它们自动地吸在一起了。

我们知道，玻璃棒和胶木棒分别带的正电荷和负电荷，在它们互相靠近但没有接触的情况下，能够互相吸

到一起，说明正负电荷互相吸引。

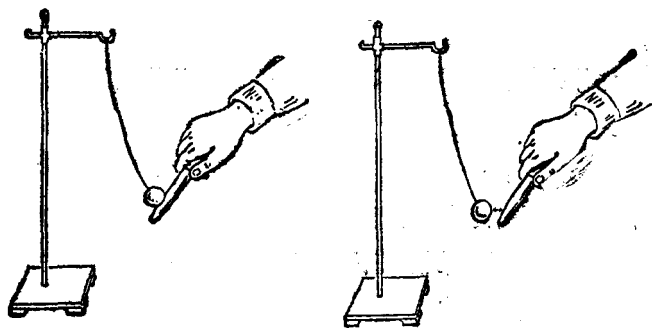
现在我们可以得出静电的一个基本规律：同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。

自制一个验电器

一个物体是不是带了电？带的是正电还是负电？人们是无法直接判断的，必须凭借仪器的帮助。下面，我们来做一个最简单的验电器。

找一小块泡沫塑料（用晒干的高粱秆芯或玉米秆芯也行）做成一个小球，然后用一段丝线把它挂在一个支架上。如果在小球外面包上一层锡箔，效果会更好些。

拿一支塑料钢笔杆靠近小球，小球一点也不动。把钢笔杆在头发上摩擦以后，再靠近小球，你就会发现，小球先是被吸引到钢笔杆上，接着又分开了。



塑料钢笔杆在没有摩擦以前不能吸引小球，说明它是不带电的；钢笔杆跟头发摩擦以后能吸引小球了，说明它已带了电。但是，小球和钢笔杆接触后，很快又分开了，又是为什么呢？这是因为接触的时候，钢笔杆把它带的电传给了小球，小球和钢笔杆带上了相同的电荷，同种电荷互相排斥，所以小球和钢笔杆分开了。

用这种方法只能知道一个物体是否带电，到底带的是哪种电荷，还确定不了。要想知道带电体上是哪种电荷，事先必须给验电器的小球带上已知的电荷，具体做法是：

把玻璃棒在丝绸上摩擦一会儿，再去接触一下验电器的小球（在接触前必须用手摸一下小球），这时小球就带上了正电荷。然后把要测的带电体靠近小球。如果小球被吸过来，说明带电体带的是负电荷；要是小球被排斥开，说明带电体带的是正电荷。

电现象的本质

为什么物体摩擦后会带电呢？这还得从物质的内部结构说起。

我们知道，一切物质都是由原子组成的。原子的中心有一个带正电的原子核，周围是一些带负电的电子绕原子核高速地旋转。在正常的情况下，原子核所带正电荷的数量跟核外全部电子所带负电荷的数量相等，每个原子对外界不显示电性，也就是说表现为中性。因此，由原子组成的物体通常情况下是不带电的。

当两个物体互相摩擦的时候，接触面的那部分原子的外层电子活跃起来，两种物质的原子之间就互相争夺电子，争夺的结果，原子核束缚电子能力弱的物体失去了一些电子，原子核束缚电子能力强的物体得到了一些电子。把两个摩擦的物体很快分开以后，失去电子的物体正电荷总数比负电荷总数多了，表现出带正电；获得电子的物体恰好相反，是负电荷总数比正电荷总数多，所以表现出带负电。原来摩擦起电的过程，就是电子从一个物体向另一个物体转移的过程。一个物体失去多少个电子，另一个物体必然获得多少个电子。所以，互相摩擦的两个物体总是同时带电，而且分别带上等量的异种电荷。

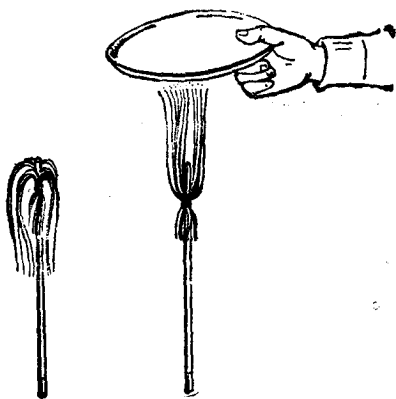
无形的巨“手”

一百多年前，一位科学家正在山顶上做实验，突然他的长头发竖立起来了，就象上面有一种无形的力量牵着头发往上提一样。他惊奇地抬起头来一看，天空中除了一片乌云外，别的什么东西也没有。等到这块乌云飘过去以后，这种奇怪的现象也消失了。

是什么东西在跟这位科学家开玩笑呢？我们还是用实验来说明吧！

找一些长 15 厘米左右的细头发丝（或者细塑料丝）象绑刷子一样把它绑在一根筷子的一端，把筷子竖直固定起来。然后拿一个比较强的带电体（例如用毛皮摩擦过的硬塑料板）靠近筷子的上方，你会发现头发丝一根根直立起来了。把带电体移走以后，它就恢复了原状。这种奇怪的现象原来是



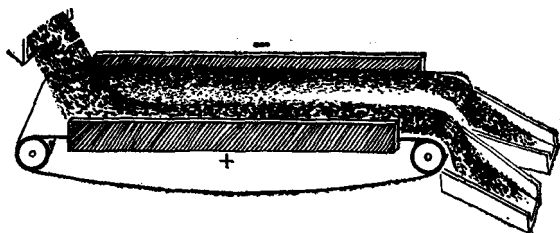


静电导演的。乌云就是一个大的带电体，它把科学家的头发吸引起来了。那么，云块离头发还有挺大的一段距离，为什么能够把头发吸起来呢？

物理学家发现 静电荷总是向四面八方伸出无形的“手”，它能够把跟自己性质相同的电荷推开，而把跟自己性质不同的电荷拉过来。人们把静电荷所具有的这一种特性，叫做“静电场”。静电场是静电荷激发出来的特殊物质，人的眼睛看不见，手摸不着。带电体就是通过静电场的作用，使靠近它的导体中的正负电荷发生分离，并把同于自己的电荷赶到远离自己的一端，把不同于自己的电荷吸引到靠近自己的一端，这时导体对外显示出电性；把带电体移去，导体里的正负电荷又回到原来的位置，对外不显电性了。这种带电体不接触某导体而能使导体暂时带电的现象，叫做“静电感应”。云层在飘浮

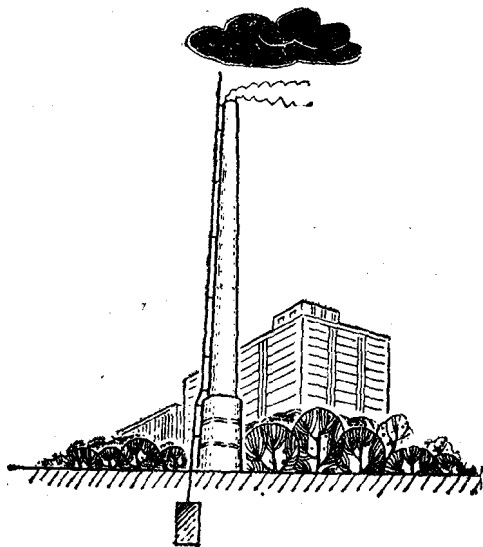
的过程中，由于摩擦就带上了电，在它的周围形成了电场，使电场内的导体感应起电。这就是那位科学家“怒发冲冠”的秘密。

静电的用处很多。静电拣茶机就是根据静电原理制成的，它有一对分别带着正、负电荷的平行极板。混有茶梗的茶叶经过研磨以后，茶叶和茶梗分别带上不同的电荷，接着利用传送带让它们从平行极板间通过，由于静电作用，就能把茶叶和茶梗分离开。另外，静电除尘、静电植绒等都是静电原理在生活或生产中的应用。



在有些情况下，静电会给人们造成危害。比如，在打雷的时候，地面上有些较突出的高大东西被雷电击坏了，就是静电造成的。因为雷雨云的云层比较低，而且由于摩擦带上了很多电荷，有很强的电场，所以地面上一些突出的物体就会受到静电感应而带上相反的电荷。当电荷积累到一定量时，就会发生放电现象，造成破坏。为了避免这种灾害，人们给高大的

建筑物都装上了避雷针。避雷针能使感应电荷在高高的尖端发生放电现象，中和了一部分电荷，电荷积累不起来，云和大地之间就不会发生放电现象，建筑物也就不会遇到雷击了。

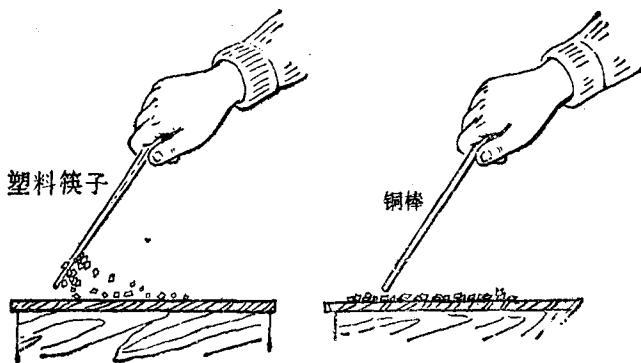


二 导体和绝缘体

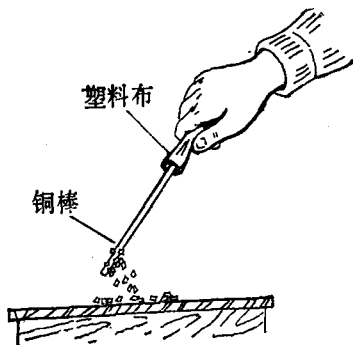
摩擦金属能起电吗？

你先找一根塑料筷子 用毛皮摩擦以后 拿去接近小纸屑，纸屑被吸动了。

再用毛皮摩擦一根铜棒 然后拿铜棒去接近纸屑 你会看到纸屑纹丝不动。



我们知道，摩擦以后的物体能吸引轻小物体，说明它带电了；不能吸引轻小物体，说明它没有带电。那么，你一定会问：摩擦过的塑料筷子能带电，为什么铜棒摩擦以后不能带电呢？难道是摩擦金属不能起电吗？你先别急于下结论，我们再用新的方法做一下前面的实验，看看会出现什么结果。



在铜棒的一端缠上几层塑料布，手握在塑料布上，不要和铜棒接触。这时再重复上面的实验。说也怪，铜棒能吸引纸屑了。

这个实验说明，只要把铜棒跟人体（也就是和大地）隔绝，经过摩擦就可以起电了。

原来，在摩擦的过程中，塑料筷子和铜棒都能起电。所不同的是：塑料筷子不容易转移电荷，摩擦所产生的电荷，基本上停留在原地方不动；铜棒却能迅速地把电荷转移到别的地方去，虽然摩擦的时候也能起电，但又很快地把电荷传给人体，再由人体传到大地里去了。用塑料布把铜棒和手隔开，电荷跑不掉了，因此就显示出电性。

在实践中人们发现，铝、铁等金属和盐、碱的溶液都能够传导电荷，就给这类物质起名叫导体，而橡胶、陶瓷、玻璃等

都不能传导电荷，就给这类物质起名叫绝缘体。

导体和绝缘体是控制电的两大法宝，它们是相辅相成的，缺一不可的。有了它们才能把电荷送到需要的地方去，让它点亮电灯，开动机器……服服帖帖地为人们服务。

但是，导体和绝缘体并没有绝对的界限，在某种情况下是绝缘的物质，在另一些情况下却又变成了导体。

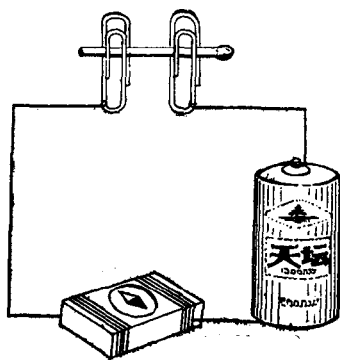
绝缘的木头变成了导体

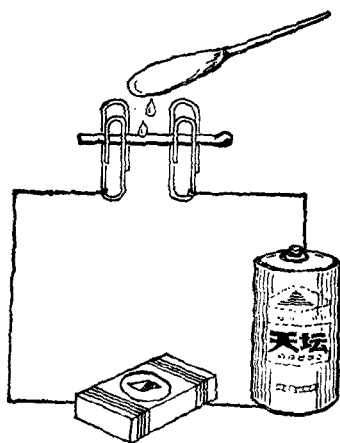
找一根火柴棒（木质的）在两端夹上曲别针，然后用导线把它和电流计（制作方法见 72 页）三伏电池串联起来（见图）。你看，电流计的指针没有动。说明火柴棒不导电，是绝缘体。

用蘸水（盐水更好）的棉花球把火柴棒擦湿，这时电流计指针动起来了。说明有电通过了，湿火柴棒能导电，变成了导体。

这个实验告诉我们：干燥的木材是绝缘体，潮湿的木材便成了导体。

很多电器设备放置一段时间，或经过潮湿



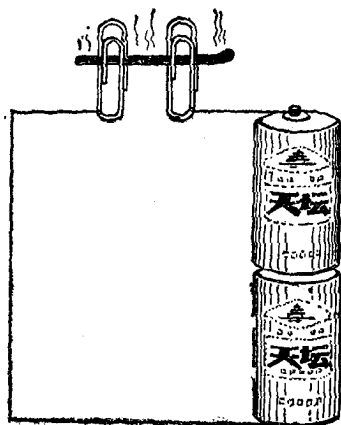


的雨季以后再用，往往容易被烧坏，原因就在这里。下面我们作一个模拟实验：

把上面实验中的电流计拆掉，并把两曲别针之间的距离缩小到2毫米，然后把电压加到八十伏左右（插图是示意图，电压

数应以文内数字为准，其他实验也是这样）。你将发现火柴棒很快发热，渐渐被烧焦，最后全部被烧毁了。

明白了这个道理以后，我们在使用放置时间过长的电器设备时，就应该通一会电，休息一会，这么反复几次，把电器里潮气烘干以后，再正常使用，就不会损坏电器了。

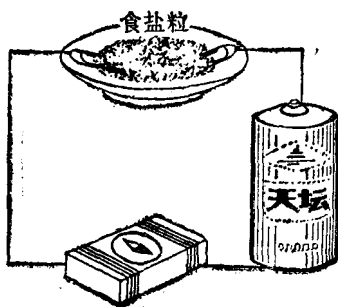


盐、碱的导电性

还是用 15 页的实验电路，把火柴棒取下来，换上些干燥的食盐或食碱（面状或块状都行），让曲别针跟盐晶

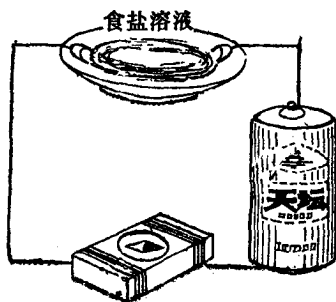
或碱块紧密接触，电流计的指针并不动；如果你给盐晶或碱块滴上一些水，使它溶化，你看，电流计指针动了。

这个实验告诉我们，盐或碱在结晶状态下是绝缘体，不导电。当它们成为溶液时，就变成导体，能导电了。



电了。

现在，我们可以得到这样的结论：凡是能够导电的物体就叫做导体；凡是不能导电的物体就叫做绝缘体。在一般情况下，导体物质的原子核对外层电子的束缚



能力不强，电子比较自由，受到某种特殊外力作用很容易形成电子流，所以它能够导电。绝缘体物质就正好相反，它的原子核束缚外层电子的能力很强，把电子捆得很死，不容易形成电子流，因此它不能导电。

三 流动的电荷 —— 电流

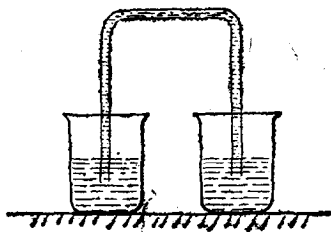
我们知道，导体能把电荷从一个地方转移到另一个地方，电荷沿着一定方向移动就形成了电流。有了电流，电才能被我们充分利用。我们在家里把开关一拉，电灯亮了；工人站在机器旁把电钮一揷，机器就转动起来了：这都是电流的功劳。你看，多么方便啊！

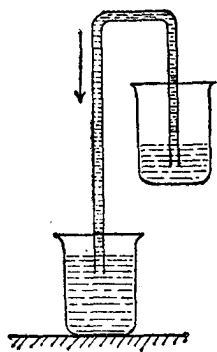
你可能会问：是什么东西使电荷移动，形成电流呢？

电 压 和 电 流

为了说明问题，我们先来做模拟实验：

找两个一样大小的玻璃杯，都盛半杯水，放在桌子上。再找一根长 50 厘米左右的软塑料细管，给管里灌满水，用手指堵住两端管口，然后把





它的两端分别放进两个玻璃杯里。你看到，两个杯里的水静止不动，还是原来的那么多。

如果你把右边的玻璃杯端高一些，你将会看到，端起的那只玻璃杯里的水逐渐减少，桌上的那只玻璃杯里的水渐渐增多。

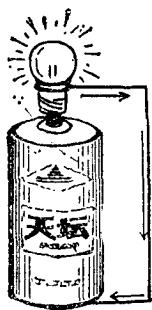
要是把端起玻璃杯放下，把桌子上的那只玻璃杯端高一些，水又往回流了。

这个实验告诉我们，水流动要有一定的条件：第一要有水；第二要形成水位高低落差来产生水压；第三水路要畅通，如果水路不通（比如把塑料管子中间夹住），任凭你把玻璃杯提得多高，也不能形成水流。

产生电流的原理跟这很相似。首先，得要有电（即电荷）；其次，导线两端的电位高低不同，以便形成电位差（即形成电压）；再次，要把电路接通。三个条件缺少一个都不行。比如，电路没接通，即使有电压存在，也不会形成电流。

拿人们熟悉的干电池来说，它的顶端中心的铜帽是电位比较高的地方，叫做正极，底端的锌皮是电位比较低的地方，叫做负极。正极和负极之间存在电位差，也就是说形成了一定的电压。我们用导线把一个小灯泡和电池连接起来（见下页图），就形成一条电路，导线和灯泡里就有电流通过，小电灯泡马上就亮起来了。这个电路具备了形成电流的条件，

所以能够产生电流，供给人们使用。如果导线的某一处断开，或者接头处没接好，电路不通了，虽然电池的正负极之间仍有电压存在，但是没有电流形成，因此小灯泡就不会亮了。



电流的方向和速度

电流在导体里流动的时候，是从正极流向负极，还是从负极流向正极呢？电流的传播速度又有多大呢？

在人们研究电流的初期阶段，由于各方面条件的限制，对电流的认识还比较肤浅，也无法测定电流的方向。但是为了便于开展研究工作，又必须确定出电流的方向。当时的科学工作者根据水流形成的原理，认为电流也是从高电位流向低电位的，也就是从正极流向负极。随着科技水平的提高，科学家们进一步认识到，金属中出现电流实际上是自由电子移动的结果，它是从负极流向正极，和当初规定的电流方向恰恰相反。因为在多年的实践中，人们对原先的规定已经使用习惯了，改变的必要性也不大，所以原来的规定一直沿用到今天。

电荷的多少叫做电量，它的单位是库仑。在物理学里规定：一秒内通过导体横截面的电量叫做电流强度，它的单位是安培（在一秒内通过导体横截面的电量是一库仑，导体中的电

流强度就是一安培)

至于电流的传播速度，经过实验测量，已经知道它和光的速度一样，也是每秒 30 万公里。

电池之祖——“伏打电堆”

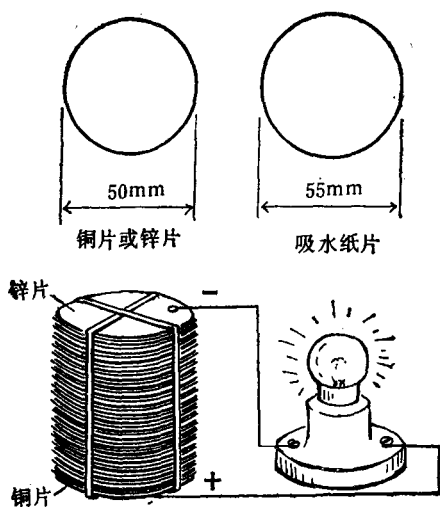
要想得到持续的电流，必须有一个不断提供能量的装置，这样的装置叫做电源。干电池就是一种应用很普遍的电源，由于它是通过化学反应的方式提供电能，所以叫做化学电源。

最早的化学电池，是意大利物理学家伏打（有的译作伏特，1745-1827）在1800年试验成功的，当时就叫它“伏打电堆”。下面我们做个“伏打电堆”实验：

找一些铜片和锌片，剪成直径 50 毫米左右的圆片，每种剪 30 个，再用吸水性强的厚纸，剪成直径 55 毫米的圆形纸片 30 张，用很浓的盐水浸泡一下。先把一个铜圆片放在桌子上，盖一张吸水纸片，然后再一个锌片、一个铜片、一张纸片这样循环放下去，直到把铜片和锌片放完为止（注意：最下一片是铜片，最上一片是锌片），用两条橡皮筋把它绑住，分别在两头的铜片和锌片上接上导线，一个“伏打电堆”就算做成了。

如果把两条引出导线互相接触，就能看到放电的火花；要是接上一个电流计，电流计指针就偏转了。

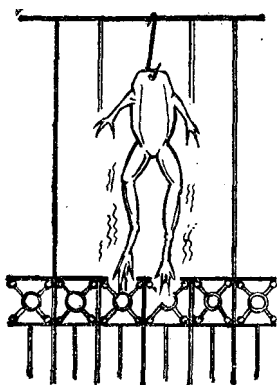
“伏打电堆”确实能够产生持续的电流。这是一个很了不起的发明，它使人类对电的认识产生了一个新的飞跃。在这



以前，科学家们的精力还只是研究静电现象和“动物电”现象。“电堆”的发明 扩大了电学的研究范围 加速了电学研究的进程。

你可能还不知道 在发明‘伏打电堆’的过程中 曾发生过一段挺有趣的故事呢。

1791 年，意大利科学家伽伐尼（1737-1798）在解剖青蛙的时候，偶尔发现一种奇怪的现象：他把剥去了皮、切掉了头的青蛙，用铜钩挂在室外的铁栅栏上，当蛙腿碰触铁栏杆的时候，蛙腿的肌肉就发生抽搐。这引起了伽伐尼的极大兴趣，他又做过多次实验，都证实了这个现象的存在。也就是说，用



一对不同性质的金属丝接触青蛙腿部的神经，能使它的肌肉发生抽搐。联想到莱顿瓶放电刺激青蛙大腿肌肉的时候会使青蛙腿抽搐的现象 伽伐尼认为 这种现象说明青蛙的肌肉组织里存在着“电”并叫它“动物电”以便跟“静电”区别开。

当伏打看到伽伐尼关于“动物电”的论文时 立即被伽伐尼所描绘的现象和阐述的理论吸引住了。为了协助伽伐尼进一步解释有关“动物电”的奇异现象，他放下了手头的研究，开始了“动物电”的实验。不过他没有用伽伐尼的方法，而是用两块性质相同的金属板进行实验，结果青蛙的腿不抽搐了。

这个现象给了伏打很大的启发，他认为，使青蛙腿产生抽搐，的确是因为有一种新的电能，但不是动物细胞组织产生的“动物电”，而是由两种不同性质的金属相接触所产生的一种电能。为了证明自己看法的正确，在没有电压表、电流计等实验仪器的情况下，他花费了一番苦心，有时不得不用自己的身体来试验。经过几年的努力，到 1797 年，伏打终于得出结论：当两种不同金属相互接触的时候，它们的接触表面各出现异性电荷，金属表面之间将产生接触电位差，这种电位差的大小

随两种接触金属的不同而变化。根据自己的发现，伏打在1800年试制成了“伏打电堆”，实际上这就是现代原电池的雏形。

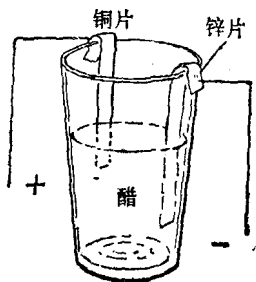
为了纪念这位卓越的科学家，1893年国际电工会议决定用“伏特”作为电压的单位，简称“伏”。我们前面做的“伏打电堆”每两片之间的电压大约是0.2伏，你可以根据实际需要来增减电堆的片数，以便得到所需的电压。

醋 电 池

“伏打电堆”虽然能产生持续的电流，但使用起来不方便。经过进一步改进以后，就成了伏打电池——在稀硫酸中插入铜片和锌片的一种装置，能产生较强的电流。用其他的酸、碱溶液代替稀硫酸也可以，只是产生的电流强弱不同罢了。下面请你做一个醋电池实验；

找一只较大的玻璃杯，盛满食醋，插入一铜片做阳极，插入一锌片做阴极。铜片和锌片要相互隔开，不能接触。电池就算做成了。

比起硫酸来，醋酸已是弱酸了，所以醋电池的效果比硫酸电池要差一些。它的两极之间的电压

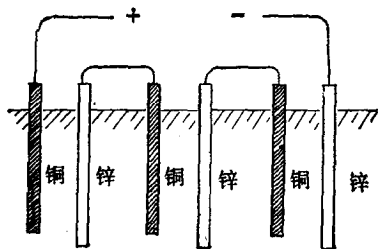
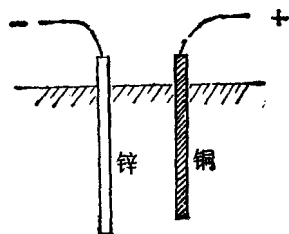


大约是 0.6 伏。如果你需用 3 伏的电压，把五个 0.6 伏的醋电池串联起来就行了。

大地也能发电

要是能把大地当作电池，供给我们用电，那该多好啊！下面，我们就来做个实验看看：

在潮湿的地方挖一个深 50 厘米的坑，竖直埋下一块铜板、一块锌板（面积越大越好），两板相距 3 厘米左右；在两板上接上导线，用土把坑填平，然后浇上一些盐水。这就是一个大地电池。这种大地电池单个使



用时电压很低，如果在地下多埋几组铜、锌片，然后把它们串联起来，就能得到较高的电压（见图）。大地电池使用起来很方便，也很经济，只要你

经常往极板周围浇盐水，它就能不停地供电了。

你可别小看了大地电，它能反映出大地的状态，很多地震监视站都设有观测‘大地电’的装置，大地电的变化情况是预报地震的一个重要依据呢。

电池为什么能发电？

原来铜板和锌板插入酸、碱、盐的水溶液中，会发生化学变化。锌比铜活泼，容易失去电子，在锌板失去部分电子后，它和铜板之间产生了电位差（电压）。当用导线把两个极板连接起来的时候，在这种电压的作用下，电子就由锌板通过导线流向铜板，形成了电流。只要化学变化不断发生，导线中就有持续电流通过。所以，化学电池并不是凭空产生电流，而是把化学能转变成了电能。我们平常用的干电池就是一种化学电池。

那么，把两块同种的金属片放在酸、碱、盐的溶液里，能不能产生电流呢？当然不能。因为它们之间形不成电位差，不能驱使电子流动，所以不能产生电流。

你可以用下面的简单实验证实上面的结论：

找一个西红柿（用桔子、柚子、土豆也可以），两块铜片和两块锌片。

先把一块铜片和一块锌片插进西红柿里，用舌头同时舔铜、锌片，看有什么感觉。然后把两个铜片（或锌片）插入西红柿里，再用舌头舔一舔，注意感觉有什么变化。

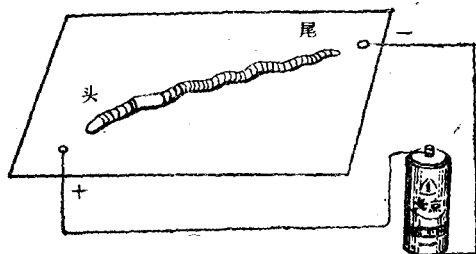


结果你会发现 前一次舌头感觉发麻 后一次舌头没有什么感觉。这表明两个不同的金属片插入西红柿（酸性溶液）里 能够产生电流 而两个同种金属片插入西红柿里，不能产生电流。

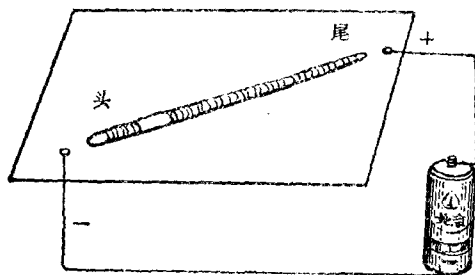
识 电 的 蚯 蚓

我们知道，给动物的肢体通上适量微弱的电流的时候，它们的肌肉就会颤动。不但这样，有些小动物还具有一种奇特的本领，好象能够识别直流电的方向。你如果不相信，就做个实验看看。

找一张白报纸，用水浸湿，平铺在桌子上，把一条洗



干净的活蚯蚓放在纸中央。然后拿一只 1.5 伏的干电池，用导线把负极接到离蚯蚓尾部一厘米的纸上，再用接正极的导线接触蚯蚓头部的纸面。请注意观察它的反应：当电路接通的一刹那，只见蚯蚓把身体收缩弯曲起来。如果你把正负电极调换一下，你将会看到：蚯蚓马上把身体伸展，成为一条直线。



这个实验确实表明，蚯蚓的头尾对正负不同的电极有不同的反应。那么，蚯蚓为什么能够识别电的极性和方向呢？现在还没有答案，请少年朋友自己去实验、去研究、去寻求答案吧！

你还可以把二只或三只电池串联起来，做上面的实验，看看结果怎样？

还可以用各种盐、碱、酸的溶液（如食盐、食碱、醋等）把纸漫透，做一下上面的实验，看结果又会怎么样？

当然也可以用地老虎等其他小动物来做实验。

如果你感兴趣的话，不妨去试试。

四 电阻定律和欧姆定律

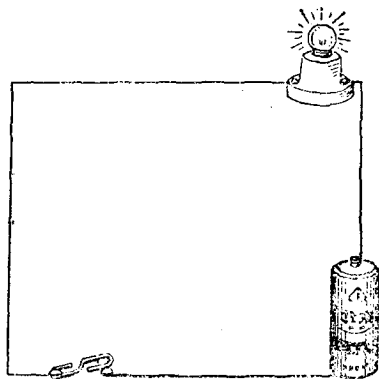
铅 笔 心 的 电 阻

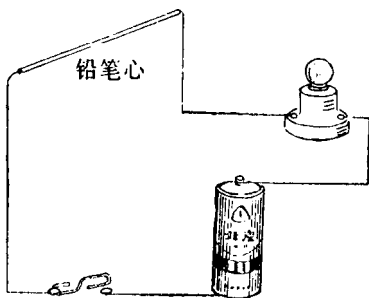
电流通过导体的时候，导体对它有一定的阻碍作用，人们把这种阻碍作用叫做导体的电阻。为了便于说明问题，让我们作个铅笔心电阻的实验：

请你准备

两根相同的铅笔心、一个小电灯泡、两节电池和几段导线。

先把两节电池和小灯泡用导线串联起来(见图)观察灯泡发亮的



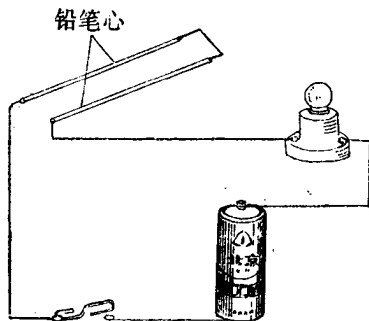


程度。然后给这个电路里串联上一根长 5 厘米左右的铅笔心，你就会发现灯光比刚才暗些了。如果再串联上一根铅笔心，灯光就更暗了。

如果第二根铅笔心不是串联上，而是和第一根铅笔心并起来连到电路里，你将看到这时的灯光，比只连一根铅笔心的时候亮些了。

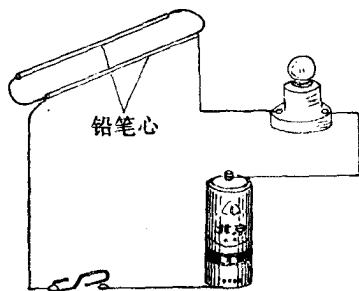
这个实验告诉我们：铅笔心这种导体是有电阻的，把它串联在电路里就会使电流减小，因此，灯光变暗了；铅笔心越长它的电阻越大（两根串联时）铅笔心越粗（截面越大）它的电阻越小（两根并联时）。

科学家通过精密的实验测得：导体电阻的大小跟导体的长度成正比，跟导体的横截面积成反比，还跟导体的材料有关系。这



个规律就叫做电阻定律。

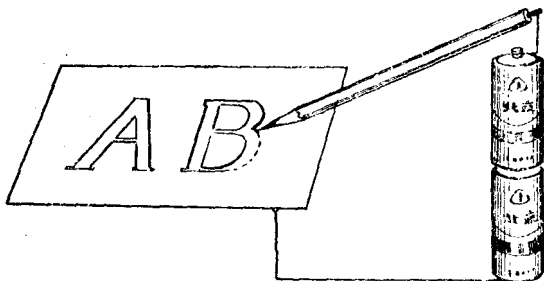
不同材料制成的导体，电阻大小不相同。例如长短、粗细都一样的导线，铜线的电阻比较小，铝线的电阻稍大一点，而铁线的电阻就更大了。



电 刻 锡 箔

电阻的应用是很广泛的，如电灯泡，电炉，收音机，电视机，以及其他一些电器里，都应用了电阻。下面我们作个电阻刻字的实验：

找一张包香烟的锡纸，平铺在玻璃板上，并用导线把它跟9伏干电池的负极相连。再找一根削好的短铅笔，



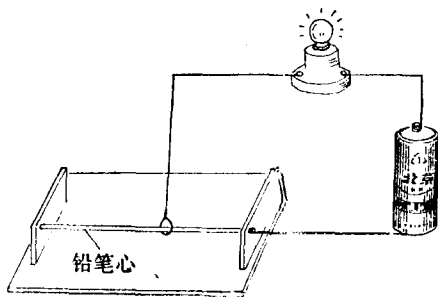
把笔心的尾部跟电池的正极相连。然后你拿起铅笔象写字一样在锡纸上划，你会发现笔尖冒出微小的电火花，被划过的锡纸上出现了花纹或字迹。这就是平常所说的电刻。

为什么通电的铅笔能在锡箔上刻出字来呢？这是因为电流流到铅笔尖和锡箔接触处，遇到的电阻最大，所以就在那里产生了大量的热，使锡箔熔化而显示出花纹。

如果你想在钢板上刻字，用上面所说的设备就无能为力了。工业上的电刻，用的是炭精棒做的电笔，给它通上几千到几万安培的电流，炭笔尖和钢板接触时能产生 1700°C 的高温，使接触处的钢熔化。应用这种设备，不光能在钢板上刻出字或花纹来，更重要的是可以用它来切割金属材料。

自制变阻器

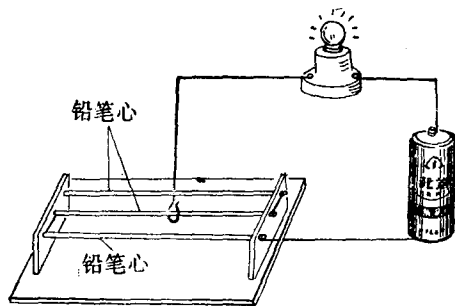
在一些电路中，常常需要改变电阻的大小，来控制电路中



电流的大小。由电阻定律知道，改变导体的长度就能改变电阻值。现在，我们一起来用铅笔心做一个简易的滑动变阻器：

把一根铅笔芯照前页图的样子固定在一块小木板上，在它的一端接上一根导线，再把另一根导线的一端弯成个小圆环，套在铅笔芯上。这就是一个简单的铅笔心滑动变阻器了。把它串联在电路里，移动它的活动端，就可以改变它的电阻值，以便控制电路中电流的大小。

如果需要在更大的范围内来变换电阻值，给上面的电阻器再串联上几根铅笔心就行了（见图）。



有了变阻器，做起实验来就方便多了。常用的变阻器有滑动变阻器和电阻箱。滑动变阻器能够逐渐地改变电阻值，而不能准确表示出电阻值。如果需要知道连入电路的电阻准确值，那就需要电阻箱。电阻箱上标出了各种数值的电阻，用起来很方便。

变阻器的用途很广，例如，调节收音机音量的大小，控制电车行驶的速度，改变剧场灯光的亮度等，就是用的各种类型的变阻器。

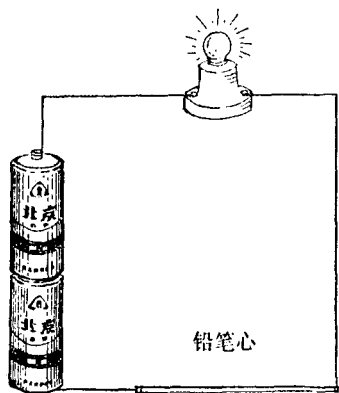
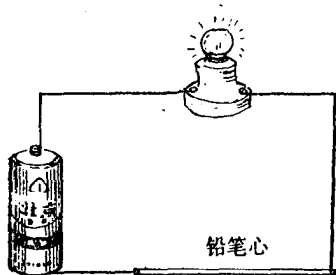
欧 姆 定 律

我们已经知道，电压是形成电流的原因，电阻是导体对电流的阻碍作用，那么导体中电流的大小（电流强度）跟它两端的电压和它本身的电阻有什么关系呢？我们作个实验看看：

准备一号电池

三节，一个小灯泡
(3.8V、0.3A)，几
段导线，一个自制的
变阻器。

先把一节电
池、一根铅笔心和
小灯泡串联起来，

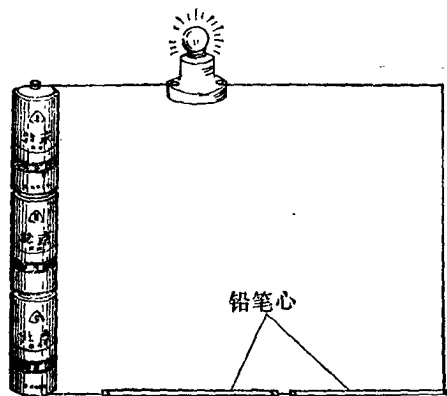
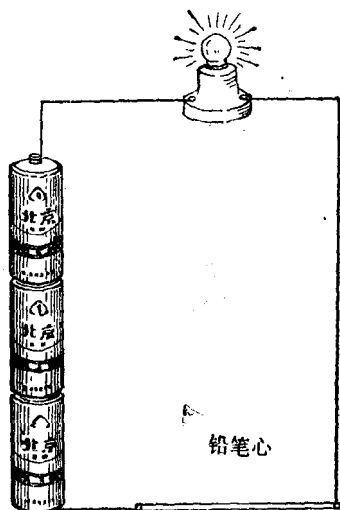


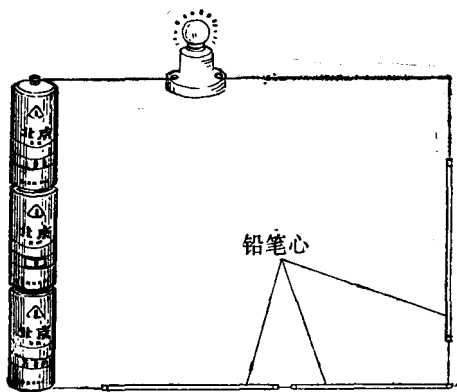
记住灯泡的亮度。然后再分别增加一节、二节电池观察一下，你会发现小灯泡一次比一次亮。这说明：当导体的电阻不变时，导体两端的电压越大，通过导体的电流强度也越大。

现在把三节电池、一根铅笔心和灯泡串联起来，记住灯泡的亮度。然后把第二

根铅笔心串联上，你将看到灯泡暗些了，再把第三根铅笔心串联上，灯泡更暗了。这说明：当导体两端的电压不变时，导体的电阻越大，通过导体的电流强度越小。

如果你能找到伏特表和安培表，做实验就更方便了，你将能测出导体里的电流强度跟导





体两端的电压，以及跟导体的电阻之间的数量关系。

德国物理学家欧姆（1787-1854）经过反复的实验和细心的研究，终于在1827年找出了电流强度跟电压、电阻之间的关系：导体中的电流强度跟这段导体两端的电压成正比，跟这段导体的电阻成反比。这个规律叫做欧姆定律。写成公式就是

$$\text{电流强度 } I(\text{安培}) = \frac{\text{电压 } U(\text{伏特})}{\text{电阻 } R(\text{欧姆})}。$$

这是一个很重要的公式，希望大家能牢牢记住它。为了纪念欧姆的伟大贡献，就用欧姆的名字作为电阻的单位，

五 电功电功率

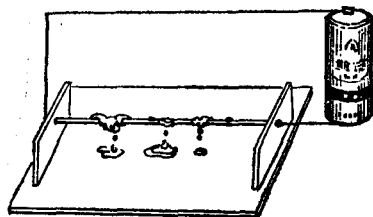
我们知道，电动机通电以后就旋转起来，把电能转变成机械能，电炉通电后能发热，它把电能转变成热能，而各种电灯则把电能转变成光能。通过各类电器把电能转变成其他形式的能，我们就说电流做功了。

铅笔心发热器

一般来说，电流通过导体以后，导体都会发热，我们把这种现象叫做电流的热效应。导体的电阻越大，热效应就越强。比如，常用的铜、铝导线，它们的电阻很小，通电后发热是很微弱的。而电炉的炉丝就不同了，它是电阻值很大的电阻丝，所以通电后能产生很大的热量。下面我们用铅笔心做个电的热效应实验：

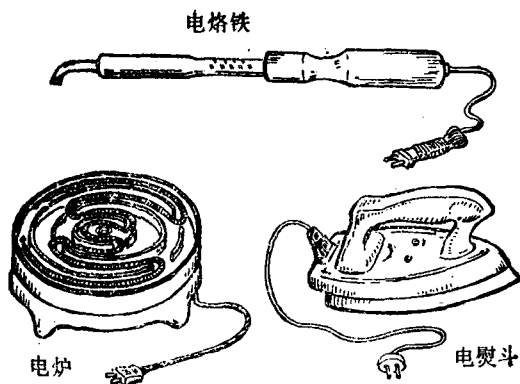
在一根铅笔心上滴上几滴熔化的蜡，等蜡冷却以后，把铅笔心的两端接到一节（或二节）电池上。过一会儿，你就看到铅笔心上面的蜡又熔化了。

这说明电流通过铅笔心时，转变成热能能把蜡给熔化了。



如果给铅笔心接上稳定的持续的低压电源，就可以使铅笔心长时间发热。把它放到鱼缸里，能给水加热，使水保持一定温度，鱼类就能舒舒服服地过冬了。

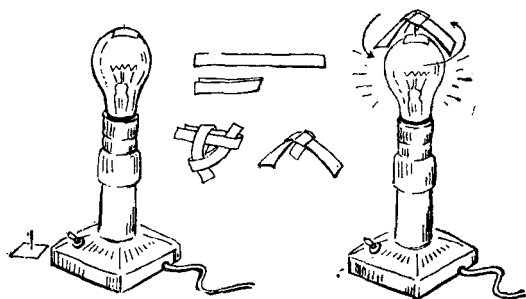
电炉、电熨斗、电烙铁等都是把电能转变成热能的电器。



灯泡上的风车

室内照明用的电灯，除了发光以外，也会产生一定的热量。不信，请你做个实验看看：

把一根大头针插在一小块硬纸上，在没有接通电源的情况下用浆糊把纸贴在台灯的灯泡上，让大头针的针尖朝上。然后用三条软纸做一个小风车（做法见图）。把风车放在针尖上，点亮台灯，过一会，风车就会旋转不停了。



人们并没有给风车吹风，它却转起来了，这是为什么？原来电流通过钨丝，不但发光，而且还能产生热量，使灯泡周围的空气变热上升，形成了风，推动风车旋转。

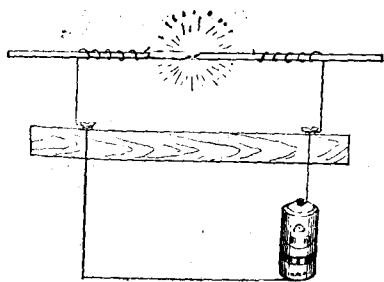
给人们提供热能的电器，它发出的热能越多越好。而有些电器如电动机、电风扇、交流收音机等，却要尽量让它少发

热。不过它们连续使用的时间过长，都不可避免地要发热。因此，使用一定时间就要休息一会，让热量散发掉再用，要不然就会因温度过高而被烧坏。一些大型的用电设备，都有专门的冷却系统，用通风、通水的办法把热量带走，使电器能够长时间工作。

电 烛

电流通过导体，不但能发热，而且通过某些导体时还能发光。下面我们做一个利用电流发光的实验：

取 3 厘米长的铅笔心两根，把它们的一端削尖。用直径 0.5 毫米、长 200 毫米的裸铜线在铅笔心上绕四五圈，绕线的松紧要合适，使铅笔心可以前后移动。把铜线的两端固定在一块小木板上，使两个铅笔心的尖端正好相对（见图）



然后接上 9 伏电池，用手旋转铅笔心，使它们互相接触，在一刹那问，接触点出现了明亮的电火花。这时再移动铅笔心，使两尖端之间有一个小间隙，于是就会形

成明亮的电弧，发出持续的亮光。这就是一个小型的电烛 弧光灯 了。

电烛为什么能发出弧光来呢？原来电流通过铅笔心的时候，在两尖端的接触处遇到了较大的电阻，产生了较高的温度，铅笔心就放出游离的碳分子，在两尖端的周围形成了碳的蒸气。当两尖端离开一点距离的时候，虽然电阻增大了，但由于存在碳蒸气，电流仍然能够通过，所以就产生了电弧光。

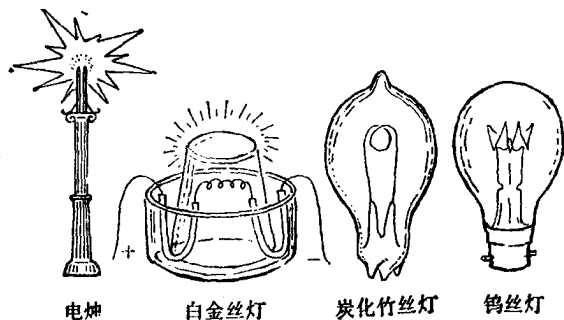
在我们的实验中，用的是 9 伏电源 电流比较小 所以发出的电弧光并不强烈，铅笔心末端的温度也不高，可以用手去直接调整它的位置。实用的电烛，是给炭精棒接低电压，通大电流，能发出强烈的电弧光，炭精棒的温度也很高，所以用起来要注意安全。

爱迪生的贡献

人们为了把电能转变成光能，制造实用的照明用具，经历了长期的探索过程。

世界上最早利用电流发光的装置，就是 1802 年俄国人雅布洛奇科夫设计的电烛。但是，由于它消耗的电流多，产生的热量大，发出的光又很刺眼，所以做一般的照明用具很不合适。

1840年，有个叫格罗夫的英国人，把白金丝密封在真空的玻璃泡中，造成了一种电灯泡，能够发出柔和的光线。因为白金的电阻不大，很难做出理想的灯丝，所以也没有实用价值。



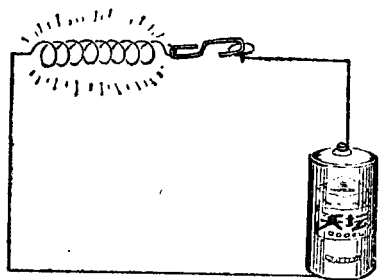
后来，美国的大发明家爱迪生从另外的途径进行研究。他把稻草、杉木、亚麻、纸等许多种材料制成炭丝来进行试验，终于发现用棉线制成的炭丝效果最好，用它做灯丝，灯泡的寿命可达几百个小时。这是 1879 年的事。第二年他又发明了炭化竹丝灯，这种灯的效果更好，能连续使用一千多个小时，因此很快地推广开了，成为人们日常生活中不可缺少的东西。

不过，现代白炽灯的灯丝已经不是竹丝而是钨丝了。钨丝的性能又比竹丝好得多，这也是科学家们经过多次试验才发现的。

电 光 和 电 热

前面我们已经分别做过了电热和电光的实验，现在我们来做个电热光的综合实验：

找一段 100 毫米长的电阻丝 (可从小型线绕电阻上拆一段来用, 这种线绕电阻在电器商店可买到) 把它绕在毛衣针上, 然后取掉毛衣针, 就



成了一个螺旋状的电阻丝。给它的两端接上 3 伏的电池, 电阻丝就微微发热。如果你把电压加到 6 伏, 电阻丝将发出红光, 并产生更多的热量; 如果把电压增加到 9 伏, 电阻丝就发出白亮的光, 同时产生大量的热。要是再继续升高电压, 电阻丝就要被烧熔了。

这个实验说明, 电流通过导体的时候, 既能发热又能发光, 所以电热和电光是密切联系着的。科学家们发现, 白炽灯中的大部分电能是在发热中浪费了, 只有百分之九左右的电能变成了光。多么可惜啊!

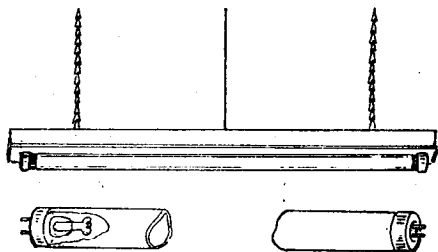
“冷”光灯的秘密

大家都知道, 萤火虫是一种能够发光的昆虫。经过仔细观察以后, 发现它只发光, 并不发热。原来它发出的是冷光。这种现象给了科学家很大启发, 终于创制了一种能发冷光的

物质——荧光粉。

把荧光粉涂在玻璃管的内壁上，管内两端装上钨丝做的电极，把管内的空气抽掉，再给管里充入少量的水银和氩气，然后把玻璃管的两端密封起来，就制成了一只荧光灯管。通电以后，水银蒸气放电，发出人眼看不见的紫外线。紫外线射到荧光粉上，荧光粉就发出可见光来。如果用卤磷酸钙做荧光粉，就发出白色的光来，和日光差不多。所以，人们习惯叫它日光灯。

日光灯通电发光以后，温度不到 50°C ，消耗的电能比较少，但是它的发光效率却是白炽灯的四五倍，寿命也比白炽灯长，一般可以使用两三千小时。



大马拉小车

电流通过各种不同的电器的时候，在相等的时间里做功的多少并不一样，有快有慢，甚至于差别很大。例如，电车上

的电动机比电风扇上的电动机“力气”大得多，做功就快得多；100 瓦的灯泡点起来比 40 瓦的灯泡亮，就是说 100 瓦的灯泡比 40 瓦的灯泡做功快。

和机械功一样，在电功里也是用焦耳做单位来度量电器做功的多少，用单位时间内所做电功的多少来表示做功的快慢。通常人们是用电流在一秒钟内所做的功来比较做功的快慢，这就叫做电功率，它的单位是瓦特或千瓦（1 秒钟内做 1 焦耳功就叫 1 瓦特）。一般的电器都标出了它的功率数，例如，一台电动机上标有 10 千瓦，表明在正常情况下，它一秒钟能做 10000 焦耳的功。

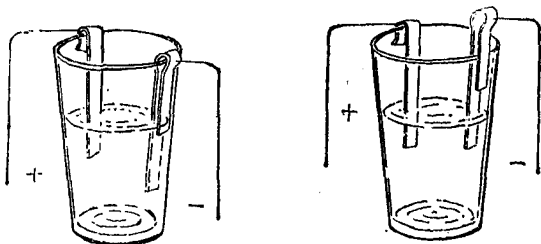
在工厂里，经常听到“大马拉小车”这句话。这是什么意思呢？原来指的是用大功率的电器设备来干少量的工作，如用一台 100 千瓦的大电动机来带动一台小车床，去加工一个小零件，结果消耗了大量电能，只干出了一点点活，很大一部分电能做了没用的功，白白浪费掉了。就象用一匹大马拉一辆小车，不能充分发挥它的作用一样，得不偿失，很不合算。因此，在使用电器设备的时候，要尽量减小它的无用功，增大它的有用功，使它能干较多的活。也就是说，要提高它们的效率（有用功在总功里所占的百分比叫做机械效率），这是今天机器设备努力改进的方向。

六 液体和气体中的电流

电流通过固体导体的时候，能够发热、发光，把电能转变成热能和光能，在前面我们已做了这方面的实验。那么，电流通过液体和气体以后将会发生什么情况呢？还是做些实验看看。

可调的水电阻器

给一个小玻璃杯里盛上水，加入一些食盐。用薄铁皮剪两块长方形铁片，其中一块要做成夹子形，使它可以在杯中上下移动，并能固定在杯壁的任何位置。把它们



插入玻璃杯的盐溶液里，就成了一个可调水电阻器。

把它串联在电路里，用改变铁片和盐水的接触面积来改变它的电阻，就可以达到调节电流大小的目的。如果电流太大，需要减小，就把铁片夹子向上提起一些；要是需要增大电流，就把铁片夹子向下插进一些。

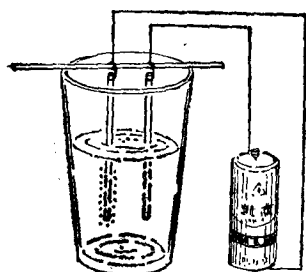
我们知道，纯水是不导电的，给水中加一些食盐，它就能导电了。原来，食盐溶解在水中的时候，食盐（氯化钠）分子就离解成带正电的钠离子和带负电的氯离子。这些离子在电力作用下定向移动，形成了电流。所以食盐的水溶液是靠离子导电的。一般来说，酸、碱、盐的水溶液都是靠离子导电的。

离子在定向移动形成电流的过程中，也会跟其他离子和分子相撞而受到阻碍，所以导电液体也有电阻。实验证明欧姆定律也适用于导电液体。在水电阻实验中，当我们把铁片向上提起一些时，铁片和液体的接触面减小了，缩小了离子移动的通路，也就是说增大了阻碍作用，所以电路中的电流减小了。当把铁片往下插进一些时，情况恰好相反，电流增大了。

这种水电阻器结构简单，制造方便，经济实用，在一些实验中常常用到它。另外，在有些工厂里还用它来调节电动机的转速呢！

看不见的“搬运工”

电流通过硫酸铜等盐溶液的时候，能发生一些有趣的变化。让我们做个实验观察一下：

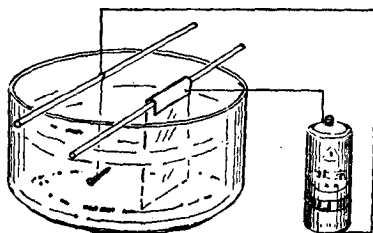


在一只玻璃杯里盛上硫酸铜溶液，插入两根炭棒（如电池的炭心）做电极，然后接上 3 伏的电池。过一些时间把炭棒拿出来，你会发现跟电池负极相连的炭棒表面出现了铜。

我们把上面这种现象叫做电解。电解过程是一种化学变化，所以说电流通过电解质（在水溶液里或熔化状态下能导电的化合物都叫电解质）溶液的时候，把电能转变成化学能了。

根据电解原理，下面我们再做个实验：

找一个小铁钉，用砂纸把表面打磨光，洗干净，拿铜丝把它吊在一只玻璃杯里；再找一块铜片挂在和铁钉相对的位置。给玻璃杯里倒进饱和的硫酸铜溶液，然后接上 3 伏的电池，铁钉接负极，铜片接正极。过一些时间，你就能发现铜片被腐蚀掉一些，而这些铜却转移到了铁钉上，给铁钉披上了一件薄薄的“铜衣裳”。



在电的作用下，

通过化学变化，把一种金属悄悄转移到另一种金属表面上的过程，就叫做电镀。上面做的是电镀铜实验，它的变化过程是：硫酸铜在水里被离解成带正电的铜离子和带负电的硫酸根离子。通电以后，带正电的铜离子向接负极的铁钉移动，在铁钉上得到电子后还原成不带电的铜原子，就附着在铁钉表面上。同时，带负电的硫酸根离子向接正极的铜片移动，并和铜片发生化学反应，把铜原子不断地变成铜离子，补充到溶液里去。这个过程是在电流的作用下完成的，所以电流是一个看不见的“搬运工”。

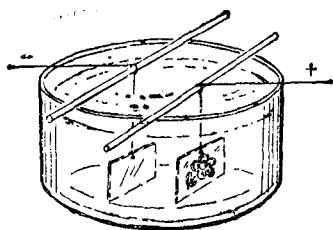
镀锌、镀银等，和镀铜的原理相同，只是把正极上的铜片换成要镀在物体上的金属，把液体换成相应的金属盐的饱和溶液。例如 要给铁钉镀锌 就把铁钉接负极 锌片接正极 用氯化锌饱和溶液作电解液。

电镀的快慢跟通过的电流成正比，电流大镀得快，电流小镀得慢。不过，小电流比大电流镀出的镀层要细致光亮。

刻 字 能 手

在金属上刻字，不少人总以为这是一件不容易的事情。其实，只要我们掌握了巧妙的方法，那就变得很容易了。除了前面介绍的方法外，下面再介绍一种新方法：

找一块铜片 把表面用砂纸打磨光 用水洗干净 晾干后投入熔融的蜡中，使它表面沾上一层薄薄的蜡。然后用铁笔（或铁钉）在涂蜡的铜片上写上字，或者画上图



案。注意：一定要把字迹处的蜡去干净，露出光亮的铜。最后把它作为正极板接入电路，插到电解液（硫酸铜溶液）里。至于负极板，用什么金属都行，当然把要镀上铜的东西当负极板，那就更好了。

接通电源（3伏的电池）过一段时间，把铜片取出，去掉上面的蜡层，要刻的字就在铜片上显示出来了。

这实际上就是电解原理的具体应用。因为被蜡封盖的铜片，只有刻字露铜的地方能通过电流，发生电解作用，把那里的铜‘挖’走了。有蜡的地方铜片不会被电解，仍保持原样。因此，铜片去掉蜡层以后就显出字迹来了。

在锌板、银板等其他金属板上刻字，原理和方法都是一样的。

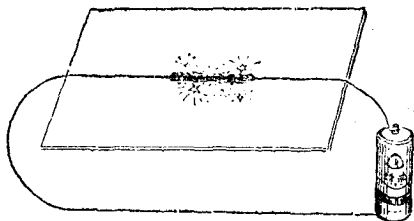
不管多么复杂的字和花纹，只要你把它在蜡膜上刻出来，电就能不走样地把它刻在金属板上，真算得上是刻字能手了。

还可以运用电解原理来提纯金属。电解的应用是很广泛的。

碳粒间的闪光

气体能不能导电？我们先做个实验看看：

取一段铅笔心 研成细末 在玻璃板上撒成窄窄的一条 给它两端接上 9 伏的电池。当你接通电源的一刹那，



碳粒间立即产生一些跳跃的电火花，此起彼落，十分好看。如果没有电火花 那是因为电压太低 需要增加电池。

这些电火花，就是气体导电的结果。因为给碳粒通上电时 发生了热 使碳粒产生“蒸气”布满碳粒之间。电流通过碳蒸气产生电弧光，形成了跳跃的火花。

五颜六色、艳丽夺目的霓虹灯，就是利用气体导电的。灯管里充上了氖、氙、氩、氙、氩等多种稀有气体 灯管两头装有电极。通电以后，每一种气体受到电的激发，各自发出一种特定颜色的光，例如，氖气放出桔红色的光，氙气放出蓝灰色的光，氩气和氖气混合放出粉红色的光……所以，霓虹灯能发出五颜六色的光芒来。

七 简单的磁现象

磁现象是自然界存在的一种物理现象，人类认识磁现象就是从发现天然磁体开始的。据古书记载，我国远在两千几百年前的春秋战国时期 就有人发现了一种能吸铁的“石头”，它好象慈祥的母亲吸引孩子一样，所以，当时给它起名叫“慈石”后来才管它叫“磁石”。这就是我们今天所说的磁铁 通俗的名字叫“吸铁石”。

后来人们又发现，一个自由旋转的磁体，在静止的时候，总是停在南北方向上，即它的一端永远指向南方，另一端永远指向北方。为了研究和使用方便起见，把指南的一端叫 S 极，指北的一端叫 N 极。现在，常用的人造永久磁体有条形、针形、棒形、蹄形等多种形状。

磁体静止时总是指向南北方向这个现象，使人们联想到地球本身可能也是一个磁体。后来证实地球的确是一个大磁体，它的两个磁极在南北两头，不过靠近地球北极的是 S 极，靠近地球南极的是 N 极。在地磁的作用下，一些含铁的矿石就被磁化而有了磁性。下面做一个钢棒磁化的实验。

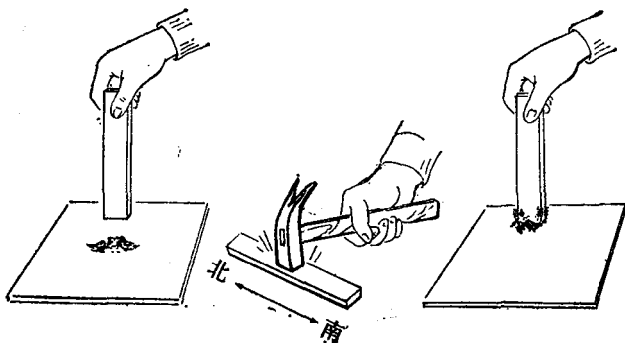
冲击充磁

找一些铁屑放在纸上，再把一条钢棒（或一块长条钢板）的一端靠近铁屑，它并不吸引铁屑，说明它不是磁体。

然后 把钢棒按南北方向放好 再用铁锤猛力敲它几下。现在再把它的一端靠近铁屑，你会发现钢棒能吸引铁屑了。如果你用一根线绳绑在钢棒中间，把它挂起来，等它静止以后，指的也是南北方向。

这说明钢棒已经变成了磁体。

这是什么道理呢？原来钢棒的每个分子都是一个小磁体，由于平时是杂乱无章地排列的，所以整个钢棒对外不显磁性。我们敲击南北方向放置的钢棒的时候，在地磁的作用下，



钢棒的分子的磁极就顺着地球的南北方向排了队，相同的磁极都朝一个方向。因此，钢棒对外就显示磁性了。

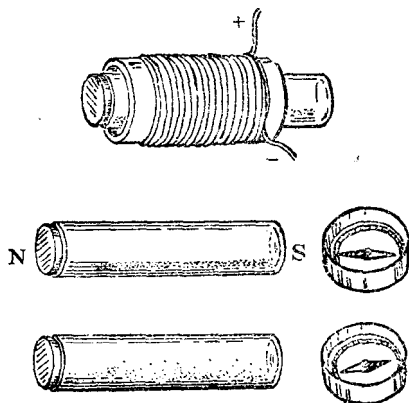
一根钢棒经过敲击可以成为永久磁铁，那么，一块永久磁铁在打击以后，能失去磁性吗？能。只要你把磁棒按东西方向放置，然后用铁锤敲击它，钢棒就失去磁性，不再吸引铁屑了。

钢屑充磁和去磁

现在我们做个形象的充磁去磁实验：

给玻璃管里盛上一些细钢屑 塞好管口 把管横向拿着摇几下，再插入一个通电的线圈里，你就能清楚地看到

钢屑在管里匆忙排队的情形。然后，把玻璃管取出来，用指南针去测试，就会发现它已成了“一个”永久磁铁了，一端是 N 极，一端是 S 极。这就是钢被磁化的形象的过程。



现在你把玻

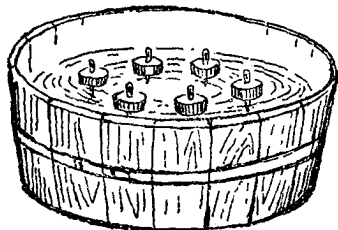
璃管抖动几下，使管里的钢屑又紊乱起来。这时你再用指南针去测试，结果发现它失去了磁性，跟没有磁化前一样。这形象地说明永久磁铁经过打击，由于每个分子的磁极杂乱地排列，所以失去了磁性。

通过实验使我们知道，使钢材得到磁性或失去磁性，钢材本身并没有增减什么，只不过是改变了它的分子的排列状况。正因为这个缘故，钢铁磁化的程度就是有限度的了，也就是说达到这个极限时，磁力再也不会增大了。这时就说它达到了磁饱和状态。因此，要想增大磁铁的磁力，人们就在材料上想办法，采用各种特殊的合金钢来制作磁铁。

有趣的磁阵

让我们来做个说明磁极特性的实验：

找五到七枚缝衣针，让针尖同时跟磁铁的 N 极接触，让针尾同时跟磁铁的 S 极接触，它们就被磁化成小磁铁了。然后把缝衣针分别插入小软木塞中，让针尖和针尾露在软木塞的外面，使针尾朝上，放到盛水的木盆里（注意：不能用铁盆），你将会看到，不管你怎样搅乱它们，它们都能自动



地排成整齐的阵形，而且彼此都保持一定的距离，不会靠拢在一起。

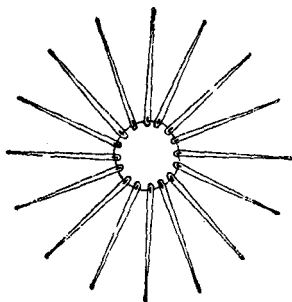
上述实验要求所有的针尾的磁极都相同，所有针尖的磁极也相同。把针放在水盆里，针尾都朝上，针尖都朝下，即相同的磁极朝着一个方向。相同磁极之间始终保持一定的距离，这个现象告诉我们：同名磁极是相斥的。

那么，异名磁极之间存在什么关系呢？在上面的实验中，只用两枚带磁的缝衣针，一枚针尾朝上，一枚针尖朝上。你会发现它们是互相靠近的。这说明异名磁极是相吸的。

如果拿一个条形永久磁铁，用手提着把它的两端分别插向上面实验的磁阵中，将会发生什么变化，请你自己动手做做看。

下面我们做个有趣的游戏：把十几根缝衣针沿同一方向磁化后，用线穿起来，并把针尾集结于一点（松紧要合适），结

果针会自动散开，好象一朵开放的菊花。你能解释其中的道理吗？



简 易 指 南 针

一个能自由旋转的磁体，在静止的时候，总是指向南北方向。人们了解到磁体的这种特性以后，就利用它来制造指示方向的工具——指南针。

世界上最早的指南针，要算我国战国时期制造的“司南”了。它是把天然磁铁琢磨成勺子的形状，勺柄是S极，使重心落在圆而光滑的勺头正中，然后把勺子放在一个光滑的盘子上。使用的时候，把勺头放平，用手拨动它的柄，使它转动。等司南停下来，它的长柄就指向南方。那时候，有的人到山里去采玉，怕迷失方向，就带上司南来辨别方向。

发明司南以后，人们不断地研究和改进指南的工具。到了北宋初年，又制造出了指南鱼。它是用一块薄薄的钢片做成的，形状很象一条鱼。鱼的肚皮部凹下去一些，象小船一样，可以浮在水面上。把它磁化以后，放到盛水的瓷碗里，就能指示方向了。因为水的摩擦力比固体小，指南鱼转起来比较灵活，所以它比司南更灵活更准确了。

当时还有用木头做的指南鱼，就是用一块木头刻成鱼的样子，象手指那么大。从鱼嘴在里挖一个洞，里面放上条形磁铁，使它的S极朝鱼头，用蜡封住口。另外用一根针插到鱼嘴里，指南鱼就做好了。把它放到水面上，鱼嘴里的小针就指着南方。

我国不但是世界上最早发明指南针的国家，而且是最早

把指南针用在航海事业上的国家。据记载，南宋的时候，航海的人已经用“罗盘”来指示航向了。这是把指南针和罗盘结合起来的指南工具。罗盘的盘有用木头做的，也有用铜做的，盘的周围刻上东南西北等方位，盘中央放一个指南针。只要把指南针所指的方向和盘上的正南方位对准就可以很方便地辨别航行方向了。

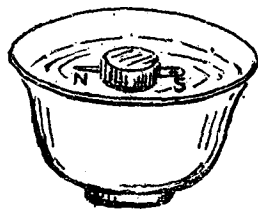
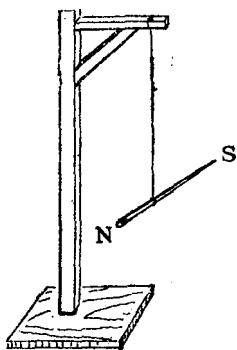
在军事上也用到指南针，行军作战的时候，如果遇到阴天黑夜，就用指南针来辨别方向。

指南针有好多种样式，下面我们一起来作几个简易的指南针。先做一个吊式指南针：

取一根缝衣针，用磁铁把它磁化，然后用棉线拴在针的中间部位，挂在一个支架上，就成为一一个指南针了。

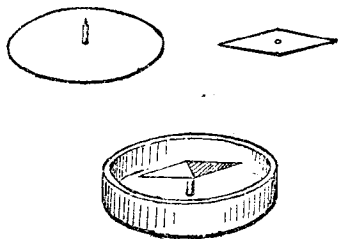
再做一个浮式指南针：

拿一根磁化了的钢针 横向穿过一块小软木塞 放在一个盛水的陶瓷碗内，就是一个浮式指南针。



我们还可以做一个更
讲究的匣式指南针：

找一个小圆纸盒
或者塑料盒（不能用
铁盒）。用硬纸剪一个
和小盒一样大小的
圆片，上面贴一张白
纸，标出 S、N 等字样，



把一个塑料图钉从背面摁在圆纸片上，把圆纸片放入盒
内，盒中心就有一个直立向上的针柱了。再找一个废刮
胡子刀片，剪成狭长的菱形，用钉子在中心位置打一个
小坑，放在针尖上试一试，如果不能平衡，就用剪刀修理，
直到能平衡为止。把它放在强磁铁上磁化，然后架到盒内
的针柱上。在盒口蒙上一层透明玻璃纸（用玻璃更好），
把原来的盒盖开一个大孔再盖上去，就是一个盒式指南
针了。

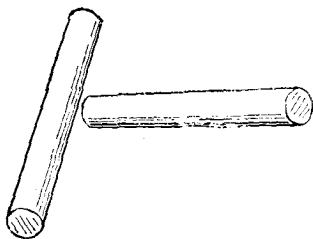
磁针静止以后，为什么总是指向南北呢？因为地球是个
大磁体，它的两个磁极接近于地球的两极，在地磁力的作用
下，磁针就被吸到南北方向上了。我们知道，异名磁极是相吸
的，地磁的 S 极在北端，N 极在南端，因此磁针的 N 极总是
指向北方，S 极总是指向南方。磁针的磁极和地球的磁极并没
有接触，它们却能互相吸引，这表明磁体的周围存在一种看不
见的东西，人们把它叫做“磁场”。地球磁场的存在是磁针能
够指示南北的原因。

哪根钢棒有磁性？

这里有两根外形完全一样的钢棒，一根有磁性，一根没有磁性。不许借助其他任何工具，而且只准试一次，你能马上判别出哪根有磁性，哪根没有磁性吗？

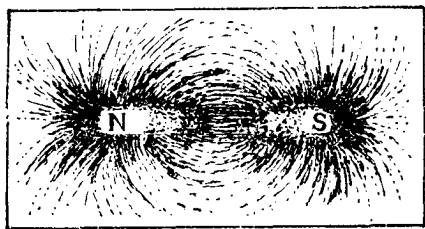
性急的同学们可能会说，拿一根钢棒去接触另一根钢棒，

就可以判别了。这个说法不确切。大家一定要注意，接触时不能乱接触，否则两根钢棒都被磁化了，那就没法分清。正确的方法是用一根钢棒的一端去接触另一根的中间：如果相



吸，手里拿的一根就是有磁性的钢棒；如果不吸，手里拿的一根就是没有磁性的钢棒。为什么呢？因为磁棒的两端是磁性最强的地方，越靠向中间磁性越弱，到了中心位置就没有磁性了。为了形象地看到磁场分布的情况，我们用条形永久磁铁做个实验：

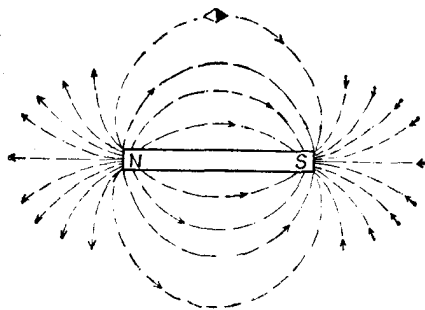
在玻璃板上均匀地撒一层细铁屑，把条形磁铁放在玻璃板下面，细铁屑在磁场里被磁化成“小磁针”。轻轻敲击玻璃，“小磁针”（铁屑）就能在磁场作用下转动。当它们停止下来的时候，无数的细铁屑就排成许多条滑顺的

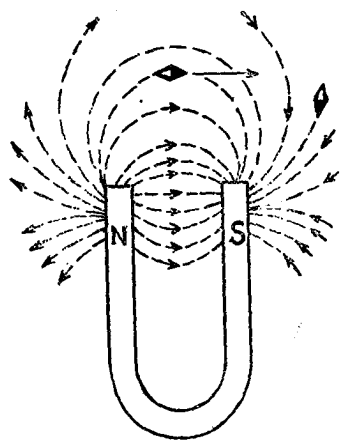


曲线，这就是磁场的分布情况。

如果把一个小磁针放在玻璃上，不断地移动它的位置。我们可以看到，在磁场中的某一点，磁针的 N 极总是指向一定的方向，也就是说磁场对磁针 N 极的作用力有确定的方向，我们把这个方向叫做这一点的磁场方向。同时可以看出，在磁场中的不同点，小磁针 N 极所指的方向不同，这说明不同点的磁场方向不同。

但是，只要你细心观察，就会发现磁针 N 极所指的方向

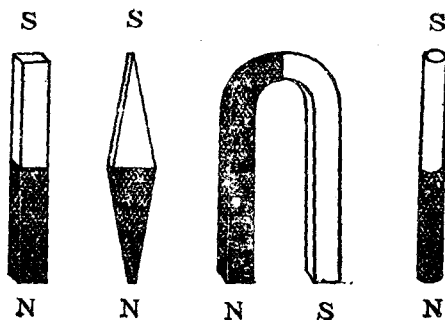




向，跟磁针所在点的滑顺曲线的切线方向一致。为了形象而又方便地表示出各点的磁场方向，人们仿照细铁屑的排列规律，在磁场中画一些有方向的曲线，曲线上的任何一点的切线方向（即曲线方向）都跟放在这一点的磁针 N

极所指的方向一致。这样的曲线叫磁力线。

由此可知，磁铁周围的磁力线都是从磁铁 N 极出来，回到磁铁的 S 极（见图），知道了磁场中磁力线的分布情况，就可以知道磁极在磁场中各点所受磁力的方向了。



八 电流的磁效应

磁这个东西，大约在公元前三世纪就被人们发现了，但是，直到十九世纪初，人们对它的认识还是比较肤浅的。磁究竟是什么东西？它是怎样产生的？同样是铁，为什么有的具有磁性，而有些却没有磁性呢？为了弄明白这些问题，科学家们不断地进行实验和研究。

奥斯特的发现

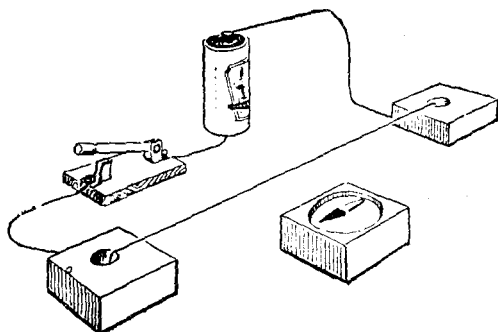
在研究磁的过程中，一些自然现象启发了科学家们的思路。据记载，十七世纪的末期，在欧洲一个小城镇的修鞋铺里，曾经发生了一件奇怪的事情：有一天夜里雷雨交加，突然一个落地雷闪进了这个鞋铺。第二天早上，修



鞋师傅发现，掌鞋用的铁砧子粘满了铁钉，活象一个“铁刺猬”。师傅费了很大劲，才把钉子拔下来。原来铁砧已经变成了磁铁。

我们知道，打雷闪电是一种电现象，所以人们很自然就把铁砧变磁铁的原因跟“电”联系起来了。为了证实这种认识是不是对，从十九世纪初开始，许多科学家都在进行这方面的探索研究。

1819 年冬，丹麦物理学家奥斯特（1777-1851）在一所大学里做电学实验的时候，发现了一个奇妙的现象：放在通电导线旁边的磁针发生了偏转，断电以后它又回到原来的位置。奥斯特有点不相信自己的眼睛，于是又多次重复这个实验，结果是千真万确的。那么，到底是什么力量使磁针发生偏转呢？那时候人们已经知道，只有磁铁才能使磁针发生偏转。可是这里并没有磁铁，只有一根通电的导线，于是奥斯特想到了电流。他又进一步分析研究这种现象，终于在 1820 年 7 月发表



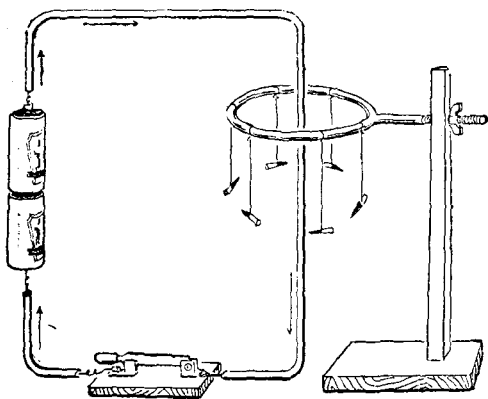
了他的研究成果：导体中的电流在导体周围产生了一个环形磁场。这种现象叫做电流的磁效应。

这一发现把电和磁联系在一起了。后来科学家们进一步发现，不但电流能产生磁，而且磁也能产生电流，这就为电动机和发电机的发明创造奠定了理论基础。

直 线 电 流 的 磁 场

奥斯特的发现 引起了科学界的高度重视 法国物理学家安培(1775-1836) 在奥斯特的发现公布的当年，就开始了这方面的研究工作。他通过一些巧妙的实验，找出了电流形成磁场的规律。下面，我们做个实验来观察一下直线电流形成的磁场：

在一个环形架上，用细线吊上 4 到 6 枚小磁针 把一

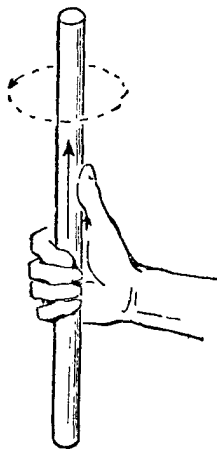


根导线竖立在环形圈的中心，给导线两端接上 3 伏的电池，让电流流动的方向从上到下。当导线通电的时候，仔细观察小磁针的变化情况。你会看到，小磁针围绕导线形成一个圆圈，而且磁极的指向跟它们所在点的圆周切线方向一致。

把电池的正负极颠倒一下，你将会看到，小磁针转动以后又重新排列成一个圆圈，但是它们的 N 极和 S 极却调换了方向。

把环形架的圆圈放大些或缩小些，都能得到上面的结果。

这个实验说明：通电的直导线四周，环绕着电流有一个圆形的磁场；这个磁场的方向跟电流的方向之间存在着一定的关系。

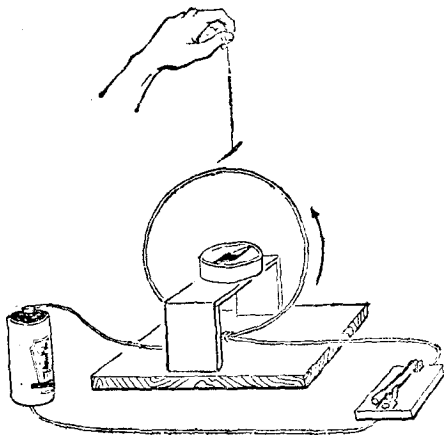


直线电流的方向和它的磁力线方向之间的关系可以用安培定则来判定：用右手握住导线，让大拇指所指的方向跟电流的方向一致，那么弯曲的四指所指的就是磁力线的环绕方向。因此安培定则也叫做右手螺旋定则。

环形电流的磁场

现在我们要做个实验，看看环形导线中的电流所产生的磁场是个什么形状：

把一根导线的中部绕一个圆圈，竖立固定在一块木板上。用一个木架子吊一根小磁针（磁化的缝衣针），调整线圈的位置，使线圈平面处在磁针所指的南北方向上。给线圈两端接上 3 伏的电池，先让电流沿逆时针方向流动（从前面看）观察磁针偏转的情况。你将会看到磁针转到和线圈平面互相垂直的方向上了，并且 N 极是指向你的。同时用细线吊一根小磁针沿线圈外侧移动，你会发现磁针 N 极的指向跟线圈内磁针 N 极的指向相反。



改变电流方向，线圈内外磁针 N 极的指向也改变了。

如果增加导线的圈数，就成了一个螺线管。

这个实验说明，通电的螺线管也有两个磁极，磁极的性质跟其中电流方向的关系，也可以用安培定则（另一种表述方法 来判定 用右手握住螺线管 弯曲的四指指着电流方向 那么大拇指所指的那一端就是螺线管的 N 极。

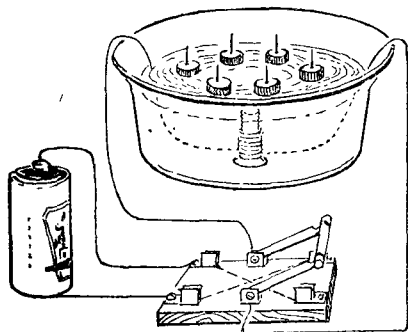
螺线管的内部和外部都存在磁场。螺线管内部的磁力线方向是从螺线管的 S 极指向 N 极，外部的磁力线方向是从 N 极指向 S 极，构成环绕电流的闭合曲线。

变幻莫测的磁阵

1822年，法国物理学家阿拉戈(1786-1853)发现 通电的线圈放到铁屑上 能把许多铁屑“粘”起来 断开电流 铁屑就立即脱落。同时他还发现，在线圈中插入铁心，能大大增强线

圈的磁性。这就是最早的电磁铁。下面我们做个实验：

找一个直径10毫米的螺钉，包上一层绝缘纸（如刻字蜡纸或者涂过蜡的纸）用



直径 0.2 毫米的漆包线乱绕 100 圈 就成了一个电磁铁。把它放到前面做磁阵实验的水盆中，它的上端要没在水面下。这时候再给线圈接上 1.5 伏的电池，你就发现整齐的磁阵立即聚拢或者分散开 停电以后 它们又恢复原状。

如果把电池的正负极调换一下，磁阵的变化和刚才恰恰相反。说明电流方向改变了，电磁铁的极性也改变了。

当你不断地改变电流方向，磁阵里的磁针就忽聚忽散 变幻莫测。

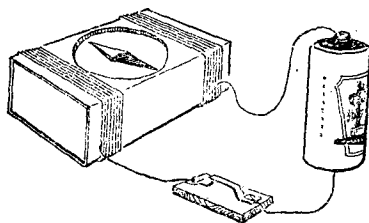
如果把电流加大，这种变化就会更加剧烈。

这个实验说明了电磁铁的基本原理和特点，它的优点是：第一 磁性的有和无 可以由通电和断电来控制 第二 能通过电流的强弱来控制磁性的强弱；第三，可以通过改变电流的方向来变换磁极的磁性。

因此 电磁铁的应用很广泛。例如 电磁起重机 它没有吊钩 只有一个“大铁块”通电以后却能把几吨重的钢铁提起来，就是电流所产生的磁场在起作用。在自动控制设备中，电磁铁是很重要的基本元件，人们把它比做自动控制或遥控的“心脏或灵魂”。就连灵敏的“机器人”里也都少不了电磁铁呢！

最简单的电流计

用直径 0.2 毫米的漆包线在火柴匣的两端各绕 50 圈，两个线圈中间的连线不要断开。再在火柴匣的上面开出一个圆孔，匣中心放一个指南针，并且固定住，一个最简单的电流计就作成了。



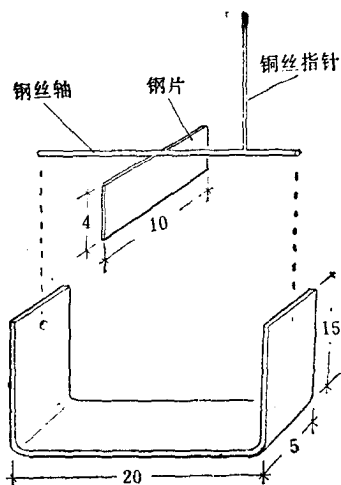
使用的时候，转动火柴匣，使指南针跟两端的线圈平行。然后把它接入要测试的电路里，如果有电，磁针就立即转动，没有电就不动。它能比较灵敏地测出电路中是否存在电流。

下面我们再作一个直流电流检验计，它不但能判断出电路中有无电流，而且还可以测出电极的正负和电压的大小。

先作磁针部分。找一块 0.5 毫米厚的钢片，做成一个宽 4 毫米、长 10 毫米左右的长方片。再找一根直径 1 毫米、长 20 毫米左右的钢丝，把它的两端磨尖，尖顶磨圆滑。然后把长方形钢片垂直地焊在钢丝的中间，同时在钢丝四分之一处的相反方向上，焊一根细铜丝作为指

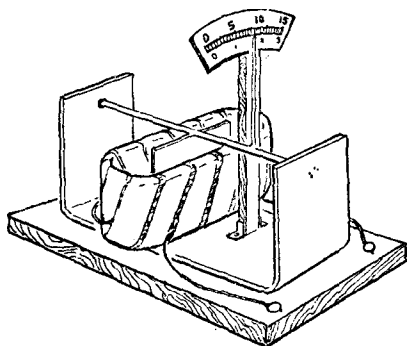
针。最后把钢片磁化。

再做一个支架。找一块厚 2 毫米、宽 5 毫米、长 50 毫米的铜片或铝片，在它两端的相应位置各打一个半深的孔（不能打透了）要收拾得比较光滑。把铜片（或铝片）弯曲成槽形，



使两端的孔对正（尺寸见图）把钢丝轴装上，使它既不能脱出，又能灵活地转动。

用 0.1 到 0.2 毫米直径的漆包线，绕成直径 10 毫米、高 5 毫米的线圈，约绕 300 圈。把它



压扁后，用胶布包好，固定在槽形架内，使磁钢片能在线圈中自由摆动。然后把槽形架装在一块小方木板上。

在硬纸板上，以铜丝指针长度为半径画一个 60 度的弧，把弧的左端定为 0 点。把硬纸板固定在指针后面（见图）。把线圈两端的漆包线引出来。

最后用一个前面装有玻璃的无底盒子盖在木板座上，直流电检验计就作成了。

为了使用起来方便，还要对检验计进行测试，标出正、负端和刻度盘。

在不接电池的情况下，先把指针调到零点，即把指针向左折一个适当的角度，使它静止的时候指到圆弧左端的 0 点。然后给检验计接上两节电池，观察指针偏转的情况，如果指针向左偏转，就把电池的正负极调换一下，让指针向右偏转，这时给接电池正极的接线柱标上“+”号，接电池负极的接线柱标上“-”号。这样就可以用它测定未知电极了。

要是能找到一个准确的伏特表，可以用它做标准来划出电压的刻度，方法是用伏特表量出 1.5 伏、3 伏、6 伏……的电池，把它们分别接到检验计上，在指针偏转的相应位置上标出 1.5、3、6 等数字，再根据需要在大刻度之间均匀地划出若干小格，调试工作就算完成了。

这个检验计比较灵敏，很小的电流就能引起指针偏转。但因为表针是依靠磁钢片的重力返回原位，容易左右摇摆，不大稳定，所以量出的数字不很准确。不过这种误差对我们做的一般实验来说影响不大。

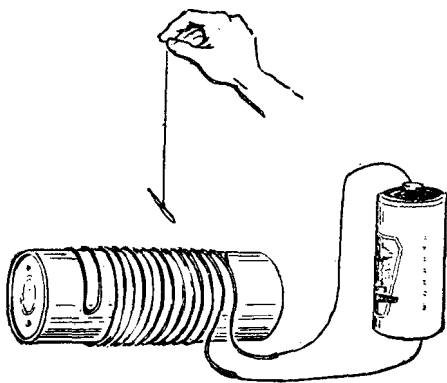
没有磁场的线圈

从前面所做的实验中，我们已经知道，不论是通电的直导线，还是通电的螺线管，在它的周围都能产生磁场。现在要你绕一个通电以后不产生磁场的线圈，你会吗？

其实绕法很简单，只要你真正弄明白了螺线管的特性，问题就解决了。具体绕法是：

找一个圆纸筒，一段漆包线。把漆包线从中间对折回来（不能折断）然后把双股线并绕在圆纸筒上 就成一个没有磁场的线圈了。

给线圈接上 1.5 伏的电池，用细线吊个小磁针在线圈周围移动，你将会发现磁针不发生偏转，这说明线圈周围确实没有磁场。



这个现象也可以用安培定则来解释。因为绕线是从中间对折后并绕的，实际相当于两个匝数相当、绕向相反的螺线管套在一起，给它们通电后，由于在两螺线管里的电流方向相反，根据安培定则判断，两个螺线管产生了方向相反的磁场。又因为两个螺线管的匝数相等，通过的电流大小也一样，所以产生的磁场相互抵消了，对外不再显示磁性，这样的线圈人们叫它无电感线圈。

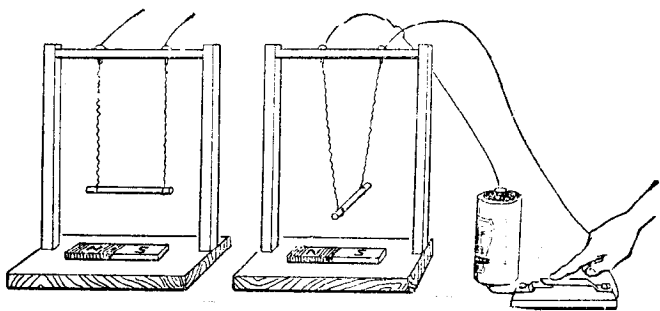
这种没有磁场的线圈，有两个明显的优点：一是没有电感作用，对周围的东西不产生影响；二是它本身的电阻值受温度变化的影响较小，阻值稳定，精确度高。它的这些优点，正好克服了一般电阻的缺点。因此，在一些高度精密的仪器仪表里，都是用无电感线圈来做电阻，这样可以提高仪器仪表的精密程度。

九 磁场对电流的作用

通过电流的磁效应实验，我们知道了电流可以产生磁场，那么，反过来把电流放到磁场中，将会发生什么现象呢？

会摇摆的铝箔管

把铝箔纸卷成一个长 10 厘米左右的小细管，用柔软的导线从两端成水平挂起来。再找一个条形永久磁铁，同铝箔管平行地放在架子的底座上。



给铝箔管通电的时候 你会看到它会发生偏转 直到跟磁铁相垂直时才停止 断电以后 它又回到跟磁铁平行的位置。

改变电流的方向，铝箔管就从相反的方向转到跟磁铁垂直的位置。

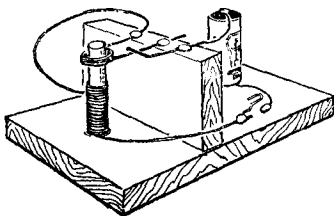
如果不断改变电流方向，铝箔管就不断地来回摇摆。
这个实验说明，直线电流在磁场中要受到磁场的作用力的影响。

不断跳跃的线圈

我们再做个实验，看看通电的线圈在磁场中受力的情况：

找一个直径约 1 厘米、长 7 厘米的铁螺丝，把它垂直地固定在一块木板上。然后用直径 0.5 毫米的漆包线在铁螺丝上面绕 200 圈左右（一圈挨一圈整齐地绕比较好）就成一个电磁铁。

另外用直径 1 毫米的漆包线绕一个 50 匝的线圈 线圈的内径要比铁螺丝绕线后的直径稍大一些，绕好以后



用绝缘胶布包扎好。把线圈两端的线头用砂纸打光，再用图钉钉在一个直立的木板上，让线圈正好套在电磁铁的上端，并能上下自由活动。然后用裸

铜线作一个接触“电刷”固定在直立的木板上使它从上面跟线圈的一条端线自然接触 当线圈向下移动时 又能立即脱离接触。线圈另一端跟电磁铁线圈的另一端相接。

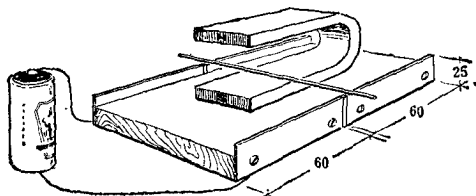
实验的装置和电路的具体接法见前页图。

接通电源，你就会看到线圈不断地上下跳动。

这个实验所演示的现象，说明电磁铁的磁场跟另一通电线圈所产生的磁场也象两块永久磁铁那样，是异名极相吸、同名极相斥的。通电以后，两个线圈所产生磁场的极性可以用前面学过的安培定则来判断。这样也就能知道线圈开始移动的方向了。如果线圈开始是向上移动，就把接触“电刷”放在线圈端线的下面。当线圈向上移动时就和“电刷”脱离，电路断开 极性消失 线圈就落下来 重新和“电刷”接触 电路通了，在磁力作用下线圈又向上移动。

左 手 定 则

从上面的实验我们知道，通电的导线在磁场中要受到磁场的作用力，那么受力方向跟导体中的电流方向、磁场方向之



间有什么关系呢？我们再做个实验观察一下：

找一块 5 厘米宽、12 厘米长的木板，在它的两边各固定上两条铜片。铜片厚 0.5 毫米、宽 25 毫米、长 60 毫米。要高出木板平面 15 毫米左右。两条铜片的上缘要在一个水平面上，两片之间留 2 毫米的空隙，填上塑料布，使空隙处光滑平整。把两边斜对角的铜片分别用有绝缘皮的导线连起来（连接导线在木板下面），然后给两边的铜片接上 3 伏的电池。

把一块蹄形磁铁两极上下相对地放在木板的上面。再找一段直径 2 毫米左右、长 80 毫米的裸铜线，横架在铜片上稍靠一端的地方。要求木板放平，在没有接通电源前，放在上面的裸铜线不会滚动。

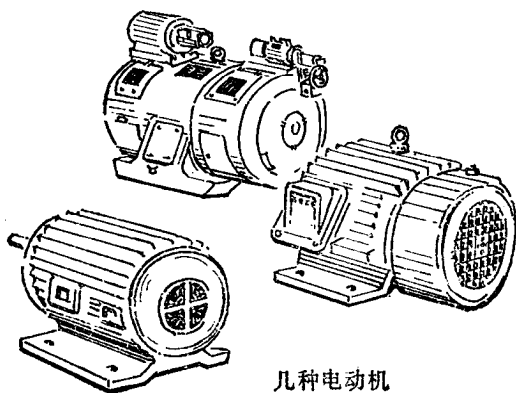
接通电源以后，奇怪的现象发生了。裸铜线竟自动滚动起来，滚到一定的地方又往回滚。只要不断电源，它就这样来回不停地滚动（注意：如果一开始裸铜线就从铜片架上滚落下来，这时只要把电池的正负极调换一下就行了）。

从实验的装置图来看：磁铁的磁力线是由上向下的。裸铜线在铜片架靠外这一半的时候，电流是从它的左端流向它的右端，裸铜线背向我们向里滚动；滚过铜片的空隙以后，裸铜线中的电流方向改变了，是从右端流向左端，裸铜线借助惯性继续向前滚动一段距离后，又向我们滚动了。滚过空隙以后，裸铜线中的电流方向又改变了，它的滚动方向也变了。结果裸铜线就来回滚动起来。这说明通电导线在磁场中受力的

方向 跟导体中电流的方向、磁场的方向（磁力线的方向）之间有一定的关系。科学家们经过精心的实验，发现它们之间的关系可以用左手定则来判断，即伸开左手，使大拇指跟其余四个手指垂直，并且都跟手掌在一个平面内。把左手放入磁场中，让磁力线垂直穿过手心，并使伸开的四指指向电流方向，那么，拇指所指的方向就是通电导线在磁场中的受力方向。

能干的多面手

通电导体和通电线圈在磁场里受到力的作用而发生运动，这就是说消耗了电能，得到了机械能。人们根据这个原理，制造出了把电能转化成机械能的机器，起名叫做电动机，习惯上又叫马达。其实它的主要部分就是两个电磁铁，一个固定不动，一个能够活动，由它给各种机器提供动力。



几种电动机

电动机有直流电动机和交流电动机两大类。但是，不同用途的电动机，大小和式样又千差万别，例如，大型轧钢机上的马达，有几间房子那么大，重量好几百吨；而用在精密仪器上的微型电动机，有的比米粒还小呢；还有一些特殊的电动机，如自整角机，总是成对的，当其中一个跟随别的机器一起转动一个角度，另一个也跟着转相同的角度，而且跟得一点不差，它专门用在自动化系统中；又如直线电机，专门作直线运动，在导弹发射中发挥巨大作用。

电动机的用途十分广泛，在工农业生产上，交通运输上，以及日常生活中，都能看到各种各样的电动机，它们在各自的“岗位”上为人们服务。请你仔细想一想，自己已经见过哪些电动机，然后再留心观察，去发现还不知道的电动机，以便加深自己的理解。

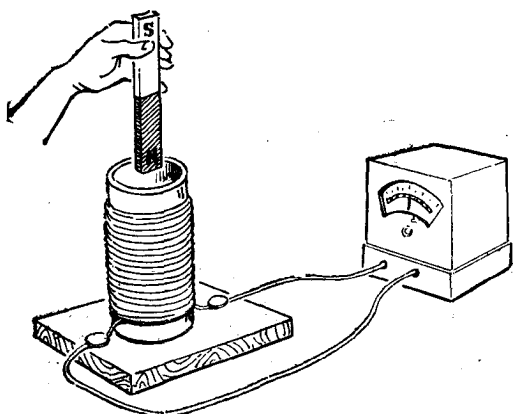
十 电磁感应

丹麦物理学家奥斯特 1820 年发现了电流产生磁场的现象，把磁和电这两个东西从本质上联系起来了。这一发现给了人们很大的启发，他们在思考一个新问题：既然通电的导体能够产生磁场，那么能不能利用磁场来获得电流呢？不少的科学家对这个问题进行了大量的实验探索，首先获得成功的是英国的物理学家法拉第。他经过整整十年的不懈努力，终于在 1831 年发现了磁引起电的现象。下面让我们通过实验看看，法拉第和他同时代的科学家是怎样完成这个伟大发现的。

法拉第的探索

首先，做一个简单的实验，观察一下电磁感应的现象：

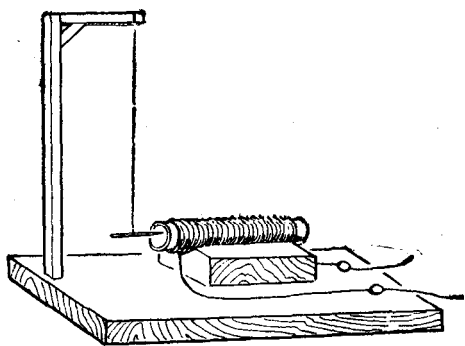
找一个直径 3 厘米、长 10 厘米的圆纸筒，用直径 0.31 毫米的漆包线在它上面绕 200 圈（如有现成的线圈更好）再把线圈两端接到自制的电流计上（注意电流计和线圈之间的距离要在 50 厘米以上），然后拿一个条形



磁铁放在线圈里不断地上下移动，这时你就会发现电流计的指针不断地来回摆动，说明在线圈这个回路里有了电流。这就是法拉第发现的电磁感应现象。

如果手头没有电流计，可按照下面的办法作一个“代用品”找一个长约 8 厘米的玻璃管用直径 0.31 毫米的漆包线在上面密绕 200 圈制成一个螺线管然后水平固定在一块木板上；另外把一根磁化的钢针用细线从中间吊起来，让钢针的一端伸进螺线管内，并且在自由进出时不会碰管壁（具体装置见下页图）。这就是一个简单的电流计了。

上面这个实验现在看来并不复杂，但是在 150 多年前能设计出这样的实验，而且有所发现，那却是一件十分不容易的



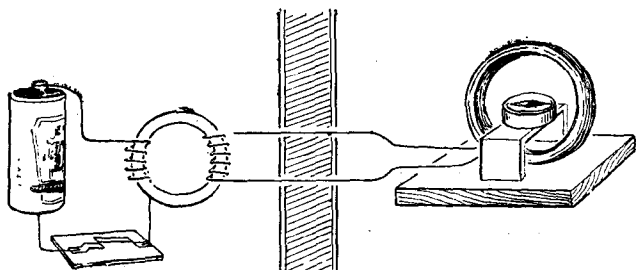
事。在当时进行实验的科学家中，有的就是因为偶然失误而功亏一篑，有的由于失去良机而遗憾万分。只有法拉第不怕失败，坚持实验，刻苦钻研了十年，才获得成功。

坚持就能胜利

在十九世纪二十年代进行电磁感应实验的科学家中，有瑞士的一位物理学家，叫克拉顿，他的实验装置和方法是这样的：

在一个小线圈里放一个小磁针作为检流计（电流计的一种）。为了避免磁铁直接影响小磁针，他把检流计放到隔壁的房间里去，再从检流计线圈的两端引出两根长导线，接到和电磁铁同铁芯的线圈上（见下页图）。

实验的时候，他把闸刀合上，然后跑到隔壁的房子里



去观察检流计，结果看到指针总是指在零的位置。

克拉顿实验的设计是合理的，问题是方法不得当，当他合上闸刀再跑去观察检流计时，已经来不及了。因为只有在合闸刀或者拉开闸刀的那一瞬间，才有电流产生，使检流计指针发生偏转。如果他在合上或拉开闸刀的时候，同时观察检流计，就会发现检流计的指针在左右摆动了。真是功亏一篑！

英国物理学家法拉第，从 1821 年开始做电磁感应实验，也经历了多次的失败和挫折，但他毫不气馁，衣兜里经常装着一块电磁铁，提醒自己别忘了所研究的问题。功夫不负有心人，终于在 1831 年 8 月 29 日有了突破性的发现：

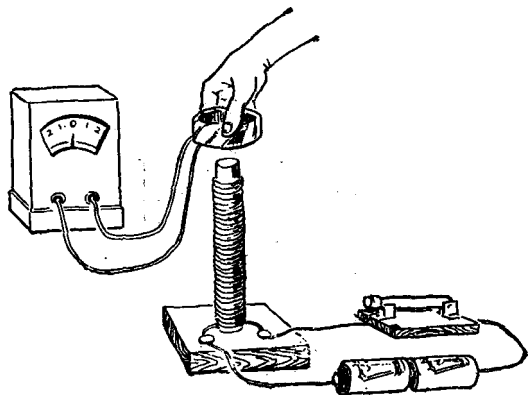
这一天，他把隔壁房间的检流计拿过来，整个实验装置放在一间房子里。他把检流计接在一个螺线管上，在另一个相邻的螺线管接通电源（100 对极板组成的伏打电堆）的一瞬间，就看到检流计指针有非常小的摆动；切断电源的一瞬间，也有同样的变化。但是，电流稳定不变地通过螺线管时，检流计的指针却不动了。

法拉第从这个实验中认识到：静止导线中的电流，只有在变化的时候，才能在另一根静止的导线中感应出电流；而静止导线中的稳定电流，不能在另一固定导线中感应出电流来。

这是一项很重要的发现，在磁和电的相互关系的研究中，又迈出了关键性的一步。但是法拉第并不满足已取得的成果，他还要继续寻求电磁感应现象所包含的更基本的原理，他紧接着又做了下面的实验：

先做一个小型的圆柱形电磁铁，再绕制一个扁平的线圈，在线圈上接一个电流计。

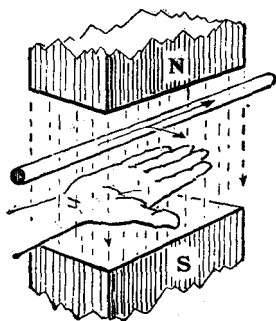
给电磁铁接上电源，然后把线圈套在电磁铁上上下下移动，这时你就会看到电流计的指针来回摆动。这说明在线圈相对于电磁铁运动的时候，线圈的导线中就产生了电流。



法拉第认真地分析研究了上面的实验，他发现在线圈和电磁铁相对运动的过程中，线圈内的磁力线是在不断变化的。于是他得出一个基本原理：变化的磁力线能使闭合回路中的导体产生电流。

但是，导线相对于磁体的运动，并不是在任何情况下都能产生电流的，它要符合一定的条件：闭合电路的一部分导体在磁场里做切割磁力线的运动时，导体中才能产生电流。

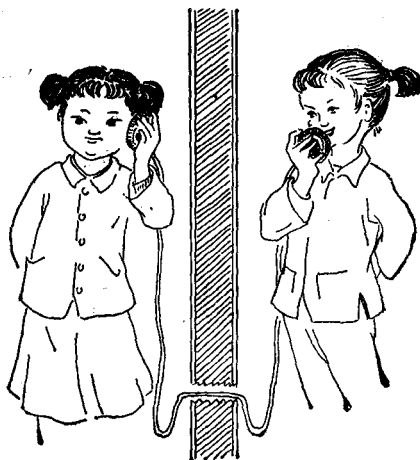
由实验得知，导体运动的方向、磁力线的方向和感生电流的方向之间的关系，可以用右手定则来判定。伸开右手，使大拇指跟其余四个手指垂直，并且都跟手掌在一个平面内。把右手放入磁场中，让磁力线垂直穿入手心，大拇指指向导体运动的方向，那么其余四指所指的方向就是感生电流的方向。



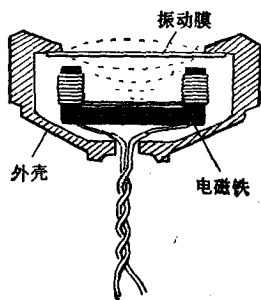
耳机就是个小发电机

为了进一步说明电磁感应的原理，下面我们用耳机做一个发电的实验：

找一副双听筒耳机，把原来的听筒线拆下来，再用有绝缘皮的双股长导线把两只听筒连起来。做实验的两个人各拿一只听筒，分别在两间房子里，要求不能直接听到对方说话的声音。当其中一个人对着耳机说话的时候，另一个人就可以从自己拿的耳机里听到对方说话的声音，就象打电话一样。



这是为什么呢？原来互相连接的两个耳机听筒各就是一个简单小型的发电机或电动机。当实验的人对着耳机说话的时候，声波使耳机的薄铁片前后振动，铁片和永久磁铁磁极之间的空隙就忽大忽小，这就引起了磁场强度的变化。也就是说磁力线随着说话的声波变化着。磁力线的变化，就相当于耳机中的两个线圈作切割磁力线的运动，因此就在线圈里感应出电流来，它也是按照说话的声波而变化的。这就是典型的动磁生电现象，耳机起到一个小型发电机的作用。这个随声波变化的电流，传到另一个耳机的时候，它的线圈就产生了忽强忽弱的磁场，吸动耳机的铁片，于是就发出了原来说话的

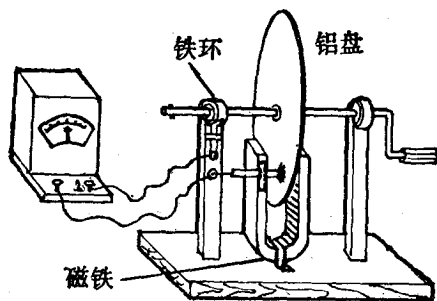


声音。这是一个电动生磁的例子，这时耳机又是一个电动机了。

其他象电磁式拾音器（电唱头）收音机的喇叭，都是动磁生电和电动生磁的装置。

怎样得到持续电流

为了获得实用的持续电流，人们应用电磁感应的原理，制造了发电机。法拉第的圆盘手摇发电机，算是最早的发电机了。现在我们一起做个圆盘发电机的模拟实验：



找一张直径约 20 厘米的圆形铝片 在中心钻一个小孔，穿上一个带有摇把的金属轴，把铝片牢牢地固定在轴的中间位置，然后再把轴用两个铁环固定在木架上。取一块蹄形磁铁立在铝盘下边，让它的两极在铝盘的两侧（如果一块不够，可以把几块蹄形磁铁并在一起，同名极要在同一边），再取一只小电灯泡 引出两根导线 把它的一根引线连在金属轴承上（铁环上），另一根引线用绝缘胶布粘在蹄形磁铁的一臂上，使引线的裸线头轻轻接触在铝盘的边缘上（见图）。

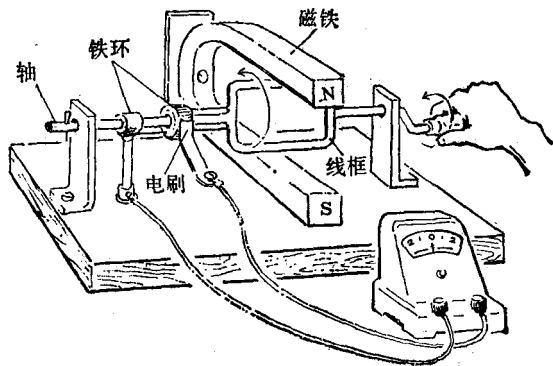
当急速摇转铝盘的时候 小电灯泡就会发光 表明有了感生电流了。

如果灯泡不亮 说明电流小 你可以换电流计来做实验，根据指针偏转的情况，还能观察到铝盘顺时针转或逆时针转、快转或慢转的时候，感生电流变化的情况。这种发电机，只要铝盘的转速快而且均匀，就能产生一种

大小和方向都不变的持续电流，我们把它叫做直流电。不过这种发电机发出的电流很小，不实用。实际的直流发电机，结构要精密得多，功率也大得多。

还有一种能够产生持续电流的发电机，它的基本结构是这样的：使一个矩形金属线框绕着垂直于磁力线的轴匀速转动，就能感生出电流来。根据右手定则可以判断出，线框转动一周，感应电流的方向要改变一次。同时，由于转动的过程中在不同的位置线框切割磁力线的多少不同，感生电流的大小也不同。所以这种发电机发出的电流，大小和方向都在不断地做周期性变化，我们把这种电流叫做交流电。当然实际的交流发电机并不这么简单，它的结构很复杂，能够根据需要发出强大的电流。

在工农业生产和日常生活中，应用最广泛的是交流电。经过整流以后，交流电就成了直流电。因此，现在发电厂采用的都是交流发电机。



直流电和交流电

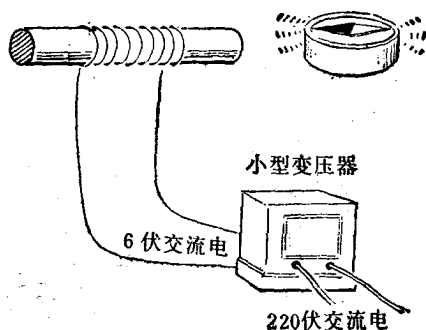
我们已经知道，由电池和直流发电机产生的电流，是大小和方向保持不变的直流电，由交流发电机产生的电流，是大小和方向都做周期性变化的交流电。除此以外，交流电和直流电还有哪些相同和不同的性质呢？还是让我们通过实验来观察比较吧。

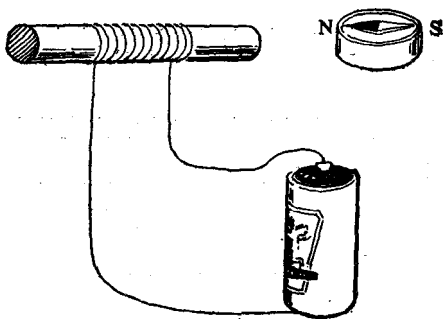
磁性的比较：

在一个大螺丝钉上包上绝缘纸，再用直径 0.2 毫米的漆包线在上面绕 150 圈 就成一个电磁铁。

用一个小变压器（能找到现成的更好，万一找不到可照下一章讲的办法自己制作一个）把 220 伏交流电变成 6 伏的低压交流电，接到电磁铁线圈上。再找一个指南针，靠近电磁铁的一端。你会看到指针只是在不停地抖动，无法指示出磁铁的极性来。

如果换上 3 伏的电池，指针将稳定不



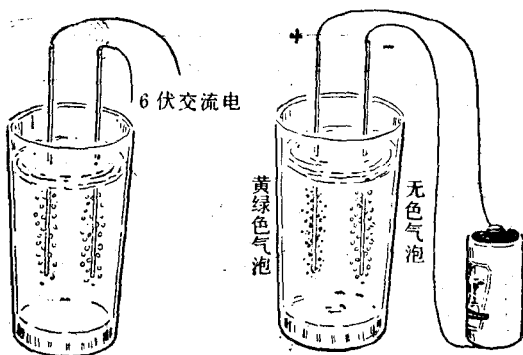


动，准确地指示出磁铁的极性来。

这说明直流电的磁场是稳定的，而交流电的磁场的强弱和方向却在不断地变化。

化学效应的比较：

在一只玻璃杯里盛上食盐溶液。先用 3 伏的电池作电源，把两根导线插入食盐溶液里，你将看到在正极接线



的周围出现黄绿色泡沫，这是氯气，而在负极接线周围出现了无色的氢气泡。

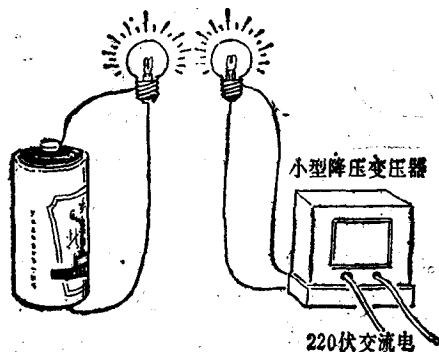
现在把电源换成 6 伏的交流电，结果两根导线周围出现了同样的情况，既有绿色的泡沫，又有无色的气泡，分不清哪条线是正极哪条线是负极了。这说明交流电的正负极性是在不断变化的。

通过这个实验，我们就可明白，电解、电镀工业为什么一定要用直流电，而不能用交流电的道理。

光热效应的比较：

先用 6 伏的电池来点亮小电灯泡，观察它的亮度。然后改用 6 伏的交流电作电源，使小电灯泡发光。比较一下前后两次灯泡的亮度，你将发现亮度是一样的。

如果用一小段电阻丝（可从旧的线绕电阻上拆一段下来再绕成螺旋状来代替小灯泡很容易测出使用 6 伏的直流电或交流电，都能使电阻丝产生同样的热量。



从上面的实验我们知道，直流电和交流电的光效应和热效应是一样的。

另外，直流电和交流电在导体中的传导方式也有所不同。直流电是在导线的整个截面上流过，也就是说，导体的截面积越大，通过的电流越大。而交流电就不同了，因为它周期性地改变着大小和方向，所以在导体中传导的时候，有沿着导体外层流动的趋势，这就是交流电的集肤效应。而且交流电频率（每秒钟内完成周期性变化的次数）越高，这种集肤效应就越明显。因此，一些频率达到几千周或者几万周的交流电，它们用的导线往往做成空心的或者管状的，就是这个缘故。

后 来 者 居 上

人类对电的认识是逐步深入的，利用电的过程也是曲折复杂、不断进步的。

最早研制成的发电设备，就是 1800 年伏打发明的电池，它利用化学反应，把化学能转化成电能，给人们提供了持续的直流电，不过电流强度还比较小，电压也比较低。在十九世纪三十年代，法拉第发现电磁感应现象以后，科学家们又制成了直流发电机，这是直接把机械能转化成电能的发电设备，能给人们提供强大的直流电。有了连续的电流，人们就开始想办法利用电了。比如美国的大发明家爱迪生发明了电灯，并于 1882 年建成了巨大的直流发电机系统，这就给人们的照明带来了很大的方便。在其他一些方面电也被派上了用场。但

是，在实际使用的过程中，发现直流电有个明显的缺点：在输送的时候，电能损失很大，限制了输送的距离。要想让人们都能用上电，每隔不远的距离就要建一个发电站，费用太大了。

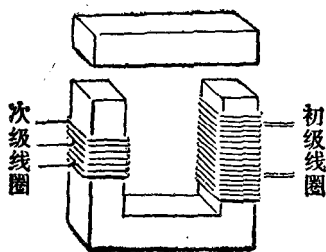
后来，南斯拉夫出生的科学家特斯拉（后来一直生活在美国），发明了交流发电机，发出了连续的交流电。这件事曾遭到爱迪生的坚决反对，他认为这会冲击他的直流发电系统。但是 特斯拉不管这些 继续坚持研究 终于在 1888 年建成了完整的交流电发电系统，开始用交流电照明。实践是最好的评判员，经过实际应用，交流电显示了它的优越性。交流电最主要的优点是：它的电压可以用变压器升高或者降低，使用方便；用高电压输送电，电能损失比较小。这样一来，由发电厂发出的电，先用升压变压器把电压升高，送到用电的地方，再用降压变压器把电压降低，就可以使用了。现在的大发电厂能够产生几千伏到 1 万伏的电压，再把它变成 11 万伏或 50 万伏，是可以办到的。因此，交流电发电厂就可以建在自然资源比较好的地方（如煤矿、急流附近）发出的交流电通过高压输电线送给很远的用户。另外，交流电经过整流器整流以后，就成了直流电。正因为交流电具有这些优点，所以很快发展起来，几乎占据了整个电力领域。

十一 “电魔术师”

在前一章里我们提到，变压器能够把交流电的电压升高或者降低，而整流器却能把交流电变成直流电。它们真是神通广大，好象魔术师一样。你一定很想知道其中的奥秘吧！下面我们就来一步一步地揭开它们的内幕。

高变低 低变高

找一个 Γ 形的铁芯，在它的两臂上缠上绝缘布。用直径 0.2 毫米的漆包线 在铁芯的一臂上绕 1100 匝；在



它的另一臂上用直径 0.5 毫米的漆包线绕 45 匝 并在 15 匝、30 匝的地方各抽出一个接头（把绕线折回一段 往一个方向扭几转，不能把绕线弄断）。然后把一方形铁条横放在 Γ 形铁

芯开口处，铁芯就成了一个闭合的方框。

把 1100 匝的线圈接到 220 伏的交流电源上 用交流伏特表（如果用自己做的电流检验计来测量，必须串联上一个整流器才行）测出另一个线圈的 15 匝、30 匝、45 匝的电压。

从测出的电压数字看 只有几伏 都比 220 伏的交流电压低得多，这就是说，比较高的电压经过这么个装置以后，给变成了较低的电压。上面这个装置就是一个简易的变压器。跟交流电源相连的线圈叫做原线圈，也叫初级线圈；跟用电器相连的线圈叫做副线圈，也叫次级线圈。

变压器是应用电磁感应原理的另一种设备。当原线圈通入交流电的时候，铁芯里就产生了变化的磁场，这种变化的磁场穿过副线圈，副线圈里感应出交流电，在副线圈两端就产生了交变电压。电学上把接到变压器原线圈上的电压叫输入电压，把副线圈感应产生的电压叫输出电压。现在我们再回过头来分析一下上面实验中所测得的电压，就会发现，当输入电压一定时，输出电压的大小，跟初级线圈和次级线圈的匝数多少有关系。经过精确的实验知道：变压器初级线圈两端的电压 (U_1) 和次级线圈两端的电压 U_2 之比，等于初级线圈匝数 (n_1) 和次级线圈匝数 (n_2) 之比，即

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}。$$

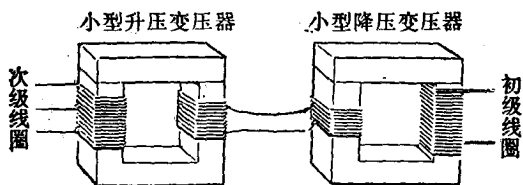
这个关系式告诉我们 变压器变换电压的能力 由初级线圈匝数和次级线圈匝数的比值来决定。明白这个道理，我们

就可以根据需要，制造出各种实用的变压器。

上面我们做的是降压变压器实验，现在再做一个升压变压器的实验：

找一个方框形的铁芯，用 0.2 毫米直径的漆包线在它的一边绕 10 匝 在另一边绕 30 匝（在 20 匝处抽出一个接线头）。这就是一个小变压器了。

把 10 匝的线圈作为初级线圈，跟上一个实验中的变压器的次级线圈相连接。再把第一个变压器（降压变压器）的初级线圈接到 220 伏交流电源上 然后用交流伏特表测出第二个变压器的输入电压和输出电压。你把测量的数值分析比较一下，就知道这是一个升压变压器。



从理论上讲，一个降压变压器只要把它的初级线圈和次级线圈对调一下，就成了升压变压器了，这就是说一个变压器，既可以作降压用，也可以作升压用。那么，我们在第二个实验中，为什么还要另绕制变压器，而不直接使用第一个实验的变压器呢？这是因为这个变压器初级线圈和次级线圈的匝数相差很多 用它能把 220 伏的交流电压降低到只有几伏 如

果把它的初级线圈和次级线圈调转来作升压变压器，仍然使用 220 伏的电源，在次级线圈两端就要产生很高的电压，做起实验来很不安全，同时，变压器很快就被烧毁了。所以我们又作了一个小变压器，输入电压用的低电压，这样做起实验来就比较安全了。实际上，各种变压器，它的初级线圈和次级线圈的匝数、绕线的直径、铁芯的截面积，都是根据实际的需要，经过严格计算才确定的。

小变大，大变小

我们已经知道，交流电压通过变压器能够升高，也能够降低。那么，交流电流通过变压器以后，将会有什么变化呢？

仍然用 100 页的实验装置。把线路接好后，再把第一个变压器（降压变压器）的初级线圈（1100 匝）接到 220 伏的交流电源上。然后用一个比较灵敏的交流安培表，分别测出两个变压器输入端和输出端的电流值（注意：测电流时必须给安培表先串联一个 1 千欧姆的电阻）并且仔细分析比较一下。

结果你会发现：第一个变压器（降压变压器）初级线圈里的电流（叫输入电流）小，而次级线圈里的电流（叫输出电流）大。第二个变压器（升压变压器）的情况恰好相反。这就是说，降压变压器把电压降低了，而把电流增大了；升压变压器把电压升高了，却把电流减小了。

从实验知道，变压器工作的时候，初级线圈和次级线圈中

的电流强度 I) 跟它们的匝数成反比。即

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}。$$

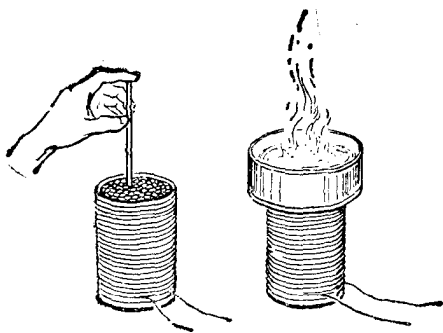
从关系式 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 和 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 得到 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1}$, 即 $I_1 U_1 = I_2 U_2$ 。我们知道, 电压和电流的乘积 (UI) 表示电功率。 $I_1 U_1 = I_2 U_2$ 告诉我们, 每秒内变压器输出的电能等于它从电源得到的电能。可见, 变压器只能传输能量, 不能增多能量。实际上在传输的过程中, 还会有一部分电能转化成热能损失掉, 输出的电能比输入的电能量要小些。不过转化为热能的电占比例很小, 一些大型变压器的效率能达到 94-99.5%。

没有炉丝的电炉

日常生活中用的电炉, 都有一盘卷曲的炉丝, 通电以后利用炉丝发出的热来加热东西。有没有不用炉丝的电炉呢? 有。

用 0.31 毫米直径的漆包线, 绕制一个内径 5 厘米的线圈 共绕 2000 匝。把粗铁丝 (如 8 号铁丝) 截成和线圈架一样高的小段, 给每小段铁丝的四周涂上清漆, 插入线圈架的孔里, 填满塞紧为止。

把线圈竖立起来, 再找一个小铝盒, 盛上冷水放在线圈上, 然后把线圈接到 220 伏的交流电源上。过一会小铝盒里的水就沸腾起来了。有趣的是, 当你仔细观察线圈和铁芯的时候, 并没有发现有烧红发热的地方。即使



在铝盒和铁芯之间垫上一块干布，也不会被烧焦。那么，水是被什么烧开的呢？

你先别着急，我们再做个实验：给一只玻璃杯盛上水，用它来代替铝盒。接通电源以后，等了好长时间，杯里的水也不开，用手摸一下，连温的感觉也没有。这又是为什么呢？

原来我们做的是一个感应式电炉实验，它本身不是发热体，但是有一个要求：被加热物体中至少有一件是金属良导体（如我们实验里的铝盒）。给线圈通入交流电的时候，就产生了交变的磁场，铝盒处在交变磁场中，因此它里面就感应出电流（涡电流）。就是这种涡电流发出的热把水烧开了。

其实，这种感应式电炉，就是一个变形的降压变压器，线圈就相当于初级线圈，铝盒就相当于次级线圈。给线圈里通入一定的交流电流后，在铝盒里就感应出较大的电流，有利于

加热物体。如果增大输入的电能，就能升高加热温度，缩短加热时间，提高工作效率。

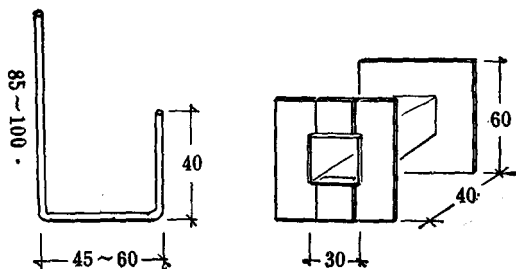
这种感应式电炉有它的特殊用处，一些难熔的金属，性质比较活泼的金属材料，就是用感应式电炉来冶炼的。提纯半导体材料也用这种电炉来加热。

做一个实用的变压器

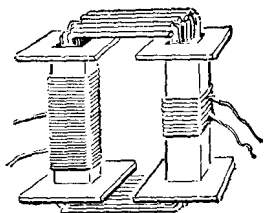
在生产和生活中使用的变压器有多种多样，按用途可分为升压和降压两大类，按照结构特点又分为壳式、芯式和渐开线式等。用处不同的变压器，容量大小和体积大小也各不一样。下面我们亲自来做一个小型的实用的变压器。

需要的材料 直径 0.2 毫米的漆包线 300 米左右 直径 0.5 毫米的漆包线 20 米左右 直径 2 毫米、长 17 厘米的铁丝数十根，还有硬纸板和蜡纸等。

具体的做法 把铁丝弯成 Γ 形 (尺寸见图) 然后放在



炭火中，加热到发红色的时候 封死火 让铁丝和炭火一道冷却。经过这样处理，铁丝的表面生成了一层氧化物，是很好的绝缘层。



下一步是绕制线圈。

用硬纸板作两个线圈架（尺寸见图），并在线圈架的中心孔内穿上两条铁皮，把铁皮的两端折成直角，用来固定线架两头的挡板。在线圈架上包一层胶布，用直径0.2毫米的漆包线，从架框的一端到另一端并排密绕一层，然后包上一层蜡纸再绕第二层。绕线的时候，要记清匝数，绕够 2320 匝为止。在最外面包上蜡纸，初级线圈就算绕成了。次级线圈的绕法也是这样，共绕 130 匝。由于次级线圈的电压低电流大，所以要用比较粗的线绕制，我们用的是 0.5 毫米直径的漆包线。还要提醒的是，绕次级线圈的时候 要在第 30 匝、第70匝处各抽出一个头 即根据需要的长度，把绕线双折起来，向一方向扭几转，伸出线圈外面作引线。注意不要把漆包线折断）。最后再把绕成的线圈放在融化的蜡中浸一会，这样能增加它的绝缘程度和防潮能力。

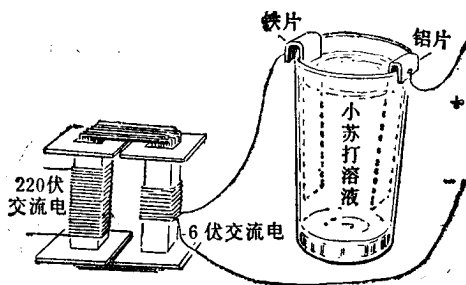
最后一步就是插铁芯。把槽形铁丝一顺一倒地同时插入两个线架的中心孔，并把长的一端折回，直到插满塞紧为止。然后用布带把铁芯扎紧，防止通电时发出响声。

现在一个小型的变压器就算制好了。使用前还要进行调试：把初级线圈接到 220 伏电源上，如果变压器发出轻微的嗡嗡声，这是正常现象；要是声音太大，就需要把铁芯再紧一下。当通电 2 小时后，铁芯的温度并不太高（不烫手）这样的变压器是符合要求的。如果铁芯温度过高，就要再插入一些铁芯，或者适当增加初级线圈的匝数。当然也要相应增加次级线圈的匝数。

这是一个小容量的降压变压器，把它接到 220 伏的交流电源上，我们可以得到 2.5 伏、6 伏的低压交流电。

交流电变直流电

在实际生活中，应用直流电的地方也是比较多的。例如，半导体收音机用的就是直流电，电镀和电解工业等也用直流电作电源。可是，现在的电源基本上都是交流电，能不能把交流电变成直流电呢？先做个实验看看：



在一只玻璃杯里盛上小苏打（学名叫碳酸氢钠）的饱和溶液。靠杯的两侧分别插入一个铝片和一个铁片。

拿你自己制作的小型变压器，把 220 伏交流电变成 6 伏交流电，然后把这个低电压的一端接到铁片上。

再拿一杯食盐溶液来，把 6 伏电源另一端的引线以及铝片上的引线，同时插入食盐溶液里。你将看到，接铝片的导线周围有绿色泡沫出现，而另一导线的周围则出现无色的气泡。这跟前面我们做直流电特性实验时，出现的现象是相同的。这就是说，交流电变成直流电了。

在实验中，用了一个简单的装置（小苏打溶液里插上一个铁片和一个铝片），就把交流电变成了直流电。电学上把这样的装置叫做整流器。

那么，整流器是怎样把交流电变成直流电的呢？原来，插在小苏打溶液里的铝片，给它通电以后，它的表面上就产生一层化学膜，这层膜有个特性，只允许从铁片、小苏打溶液来的电流通过它流到铝片上，而从铝片来的电流却受到它的阻碍，流不到溶液和铁片上。这就是说，这层薄膜具有单方向导电的性质，人们利用这种性质制成了液体整流器。

整流器的种类很多，有上面所做的液体整流器，还有电子管整流器、离子整流器、固体整流器、机械整流器等等。如果你感兴趣的话，不妨亲手做个实用的整流器。

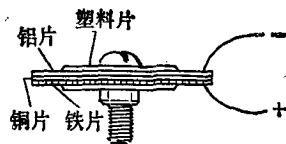
氧化铜整流器

在前面的实验中，我们用的是液体整流器，这种整流器使用起来不方便，效率也低。比较起来，固体整流器使用比较方便，效率也高。一般的固体整流器有硫化铜整流器、氧化铜整流器、硒整流器和晶体整流器等。下面，我们动手做一个氧化铜整流器：

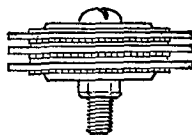
找一块 1 毫米厚的紫铜板 剪成一个直径 30 毫米的圆片 并在中心钻一个直径 5 毫米的孔。再用铁片、铝片和塑料片各剪一个直径 30 毫米的圆片 也在中心钻出直径 5 毫米的孔。

把圆铜片的一面用砂纸打光 然后把它的背面 没打光的那面) 放在炭火上烧。烧红十分钟以后，拿下来让它慢慢自然冷却。冷下来的铜片上就形成一层暗红色的东西 它是氧化亚铜 具有单向导电的性质。

将铝圆片贴在有氧化亚铜的一面，铁片贴在另一面。从铝片和铁片上各引出一条线，再在外面各贴一片塑料



氧化铜整流器



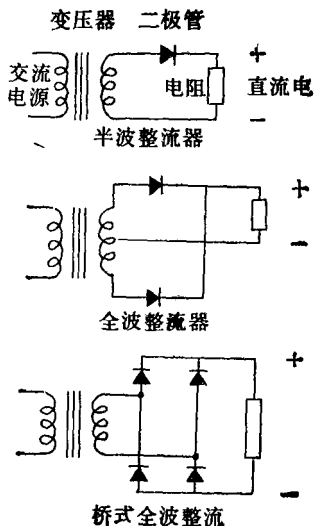
三个整流器串联

圆片，然后用螺丝从中心孔把它们固定起来。注意：各片之间一定要贴紧，不要留缝隙；螺丝上要包绝缘布，以便跟各圆片之间绝缘。

现在一个氧化铜整流器就做好了。从铝片引出的线是负极，从铁片引出的线是正极（见前页图）。这样的整流器能承受 6 伏左右的电压。如果电压高，就根据需要把几个整流器串联起来用，如前页右图所示。

全波整流装置

我们知道，整流器的基本特性是单方向导电，只允许电流从一个方向通过。而通常我们使用的电源，电流方向每秒钟要变动 50 次。用单个整流器或几个串联的整流器来整流的时候，只能通过一半（25 次）电流，另外一半被隔掉了。所以叫它半波整流。这种整流方法的效率很差，只能得到电源电压的 45%。例如，用



6 伏的交流电 经过整流以后 只有 2.7 伏了。

有没有改进的办法呢？有。用两个或四个整流器，就可以连接成全波整流装置。前页是用晶体二极管（型号是 2CP2 或 2CP4，电器商店有卖的）连接的两种全波整流电路。

桥式全波整流装置的效率最高，可达 90%。6 伏的交流电经过整流以后 可得到 5.4 伏的直流电。

把我们做的变压器和整流器装配起来，就可以给半导体收音机提供直流电源了。

《少年百科丛书》

自然科学部分已出书目

科学的发现（一）—— 打开原子的大门	郭正谊	0.25元
科学的发现（二）—— 圆面积之谜	李毓佩	0.19元
科学的发现（三）—— 六大数学难题的故事	李文汉	0.34元
科学的发现（四）—— 元素周期表的故事	曹居东 张学芳	0.21元
中国古代四大发明	庄 葳	0.20元
科学家谈数理化	全国科协编	0.28元
数学万花筒	张润青等	0.40元
帮你学方程	李毓佩	0.27元
奇妙的九	杨勇先	0.25元
奇妙的曲线	李毓佩	0.24元
节约的数学	马 明	0.19元
数学花园漫游记	马希文	0.32元
数学的童年	王利公编译	0.23元
容易混淆的数学概念	王永建 马希文	
	孙兴运 张润青	0.34元
数学医院	臧龙光 李毓佩	
	王宗奎	0.36元

数学传奇	张景中	0.26元
物理万花筒	高立民改编	0.23元
动手动脑学物理 —— 光学	沈 华 高立民	0.40元
动手动脑学物理 —— 力学	郭 治	0.25元
神奇的电世界	俞祖元	0.24元
生活在电波之中	甘本被	0.25元
浮力的故事	梁恒心	0.17元
万有引力的故事	陈福生	0.24元
大炮的学问	施鹤群 王利公	0.27元
石油的一家	叶永烈	0.22元
稀奇的金属	陈念贻	0.20元
金属的世界	叶永烈	0.29元
太阳元素的发现	郭正谊	0.21元
四季星座	石 雨	0.33元
年月日的来历	李镇业	0.17元
月球旅行记	仲掌生译	0.16元
飞向星星	文有仁 朱毅麟	0.31元
天文万花筒	卢炬甫	0.26元
环球风景画	杨伯震	0.21元
草原奇境	祝廷成 陈日朋	0.17元
神秘的南极大陆	郑 平	0.25元
世界长河	田世英	0.19元
地球的秘密	王仰之 徐寒冰	0.21元
地下的财富	魏伯祥	0.35元

开发富饶的海洋	朱志尧	0.29元
我国的春夏秋冬	林之光	0.29元
中国自然地理常识问答	郭正权 王永昌	0.38元
世界地理常识问答(上)	金 陵 真炳侠	
	阎玉龙	0.40元
世界地理常识问答(下)	阎玉龙 真炳侠	
	金 陵	0.37元
叶绿花红	仇春霖	0.26元
治虫的故事	叶永烈	0.25元
卫生小常识	韩济生 范正祥	0.32元
祝你身体好	谢柏樟	0.31元
生命进行曲	方宗熙 江乃萼	0.21元
人体中的化学	吴浩源	0.23元
中国旅行家的故事	金 涛	0.23元
中国古代科学家的故事	蔡景峰等	0.33元
外国科学家的故事(一)	任逸云等	0.22元
外国科学家的故事(二)——伽利略	费慧增译	0.22元
外国科学家的故事(三)——阿基米德	王 汶译	0.31元
外国科学家的故事(四)——琴纳	董元骥译	0.29元
外国科学家的故事(五)——法拉第	梅 君译	0.24元
外国科学家的故事(六)——科赫	宋华斐译	0.27元
外国科学家的故事(七)	陈养正等	0.25元
今天的科学(一)	本社编	0.25元
今天的科学(二)	本社编	0.24元

今天的科学（三）

本社编 0.25元

今天的科学（四）

本社编 0.31元

今天的科学（五）

本社编 0.26元