

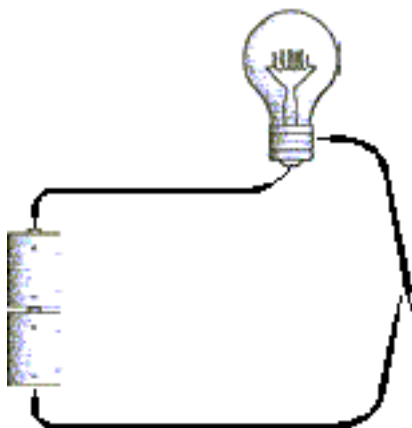
## 第4章 手电筒剖析

手电筒的用途极为广泛，用于在黑暗的遮盖物里阅读和用于发送编码消息只是两个用途最明显的方面。最普通的家用手电筒也能在教学演示中说明神秘物质电（electricity）时扮演中心角色。

电是一种令人称奇的现象，尽管它已得到普遍应用，但依然还保持着很大的神秘性，即使对那些自称已经弄清楚它的工作原理的人而言也是这样。但恐怕不管怎么样，我们都必须好好努力钻研一下电学。幸运的是，我们只需要明白一小部分基本概念就可以理解它在计算机中是怎样应用的。

手电筒当然是一种大多数家庭都拥有的较简单的电器。拆开一支有代表性的手电筒，你会发现它包括一对电池，一个灯泡，一个开关，一些金属片和一个把所有零件装在一起的塑料筒。

只用电池和灯泡，就可以自己做一个简单的手电筒。当然，还需要一些短的绝缘线（末端的绝缘皮除掉）和足够多的连接物：



注意上图右边两个松开的线端（头），那就是开关。如果电池有电并且灯泡也没有烧坏的话，接触两个线端，灯就亮了。

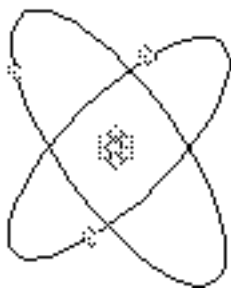
这是我们要分析的头一个简单电路，首先要注意的是电路是一个回路。只有从电池到电线、到灯泡、到开关、再回到电池的路径是连续畅通的，灯泡才会亮。电路中任何一点断开都会引起灯泡的熄灭。开关的目的就是控制电路开闭这个过程。

电路环接的特性提示我们有某种物质在电路中循环移动，可能与水在水管里流动有某些相似。“水与水管”的类比常用来解释电的工作机理，但最终它也像其他类比一样不可避免地解释不下去了。电在宇宙中是独一无二的，必须用它的术语来解释它。

在对电的工作的理解中，最流行的科学理论是电子理论（electron theory），该理论认为电起源于电子的运动。

众所周知，一切物质——我们能看到、感觉到的东西——（通常）是由极其微小的被称为

原子的东西构成。每一个原子是由三种微粒构成的，即中子、质子和电子。你可以把原子画成一个小的太阳系，中子和质子固定在原子核内而电子像行星环绕太阳一样围绕原子核运动：



需要解释一下的是该模型与你在一个放大倍数足够大的显微镜下看到的真正原子不是一模一样的，它只是一个示例模型。

图中原子包含3个电子、3个质子和4个中子，说明这是一个锂原子。锂是已知的112种元素之一，它们的原子序数由1~112。一种元素的原子序数是指元素的原子核中质子的个数，通常也是其电子数。锂的原子序数为3。

原子能够通过化学合成形成分子，分子与组成它的原子的性质通常是不同的。比如水分子包含两个氢原子和一个氧原子（即 $H_2O$ ）。显然水既不同于氢气，也不同于氧气。同样，食盐分子由一个钠原子和一个氯原子构成，而钠和氯都不可能成为法国馅饼的调味品。

氢、氧、钠、氯都属于元素，水和食盐都属于化合物。但是盐水是一种混合物，而不是化合物，因为其中水和食盐都保持它们各自的性质不变。

一个原子的电子数通常等于其质子数。但在某种特定环境下，电子能从原子中电离出来，这样电就产生了。

单词electron和electricity都源于古希腊词 (elektron), 你可能猜它的意思就是“极其微小而不可见的东西”。但事实并非如此——的真正意思是“琥珀”，一种玻璃状的硬质树液。这个看似不相关的词源来自于古希腊人所做的实验，他们用琥珀与木头相摩擦而产生我们今天所说的静电。在琥珀上摩擦木头使木头从琥珀获得电子，结果木头所含的电子数多于质子数而琥珀所含的电子数小于质子数。在更多的现代实验中，地毯能从鞋底获得电子。

质子和电子具有带电荷的特性，质子带正电荷（+）、电子带负电荷（-）。中子是中性的，不带电。即便我们用加减号来标明质子和电子，但符号并不表示算术运算中的加号和减号的意思，也不表示质子拥有某些电子所不具备的东西。使用这些符号仅仅表示质子和电子在某个方面性质相反。这个相反的特性也正表明了质子和电子是如何相互关联的。

当质子数与电子数相等时，它们是最适合和最稳定的。质子数与电子数的不平衡会导致它们趋于平衡。静电火花就是电子运动的结果，是电子从地毯通过你的身体再流回到鞋子的过程引起的。

描述质子和电子关系的另一条途径是注意观察异电性相吸同电性相斥的现象，但光凭看原子结构图我们是不能猜想到的。表面上看原子核中挤在一起的质子是互相吸引的。质子是通过比同性斥力大的某种力聚合在一起的，这种力叫强内力。释放核能的原子核裂变就是由于强内力导致的。本章只讨论通过得失电子获得电（电能）的问题。

静电不只存在于手指触摸门把手时闪出的火花之中。暴风雨时，云层的下层积累电子而

云层的顶层失去电子，闪电的瞬间，电子的不平衡马上消失。闪电正是大量的电子迅速从一端转移到另一端的结果。

手电筒电路中的电能显然比电火花或闪电之中的电能要好利用得多。灯泡能稳定持续地亮是因为电子并不是从一点跳到另一点。当电路中的一个原子把一个电子传给邻接的另一个原子时，它又从另一个邻接的原子获得电子，而这个原子又从它的一个邻接原子获得电子，如此依次循环。可见电路中的电就是从原子到原子的电子通路。

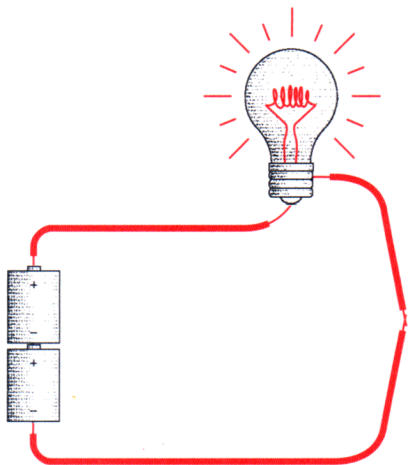
这不可能自发形成。仅仅只把一些破旧的电路材料连接在一起是不可能有电能产生的，需要某种可以激发电子环绕电路移动的物质。再分析一下前面所画的简单手电筒电路图，可以肯定激发电子运动的既不是电线，也不是灯泡，那么最有可能的就是电池了。

几乎每一个人都多少了解手电筒里所用电池的类型方面的一些知识：

- 它们都呈管状，且大小不同。比如有 D、C、A、AA 和 AAA 等型号。
- 无论电池大小怎样，它们都被标有“1.5 伏”。
- 电池的一端是平的，标有一个负号（-）；另一端中间有一个小突起，标有一个正号（+）。
- 要想设备正常工作，就要正确安装电池（注意电池极性）。
- 电池的电能最终将用尽。有的电池可以充电，有的不行。
- 由此可以猜测，电池是用某种奇特的方式产生电能。

所有的电池中都发生着化学反应，一些分子裂变成其他分子或者结合形成新的分子。电池中有化学物质，这些化学物质就是用来起反应，从而在标有（-）的电池的一端（称为负极或阴极）产生多余的电子而在电池的另一端（称为正极或阳极）需要得到电子。这样，化学能转化为电能。

只有当某种特别的电子通过某条途径从电池负极出发，然后再传送到正极时，化学反应才能发生。因此假如一节空电池放在那里，那么什么事也不会发生（事实上，化学反应还是在进行的，只是速度极慢）。只有一条电路能将电子运离负极又为正极提供电子时，反应才会发生。电子在下图电路中是沿逆时针方向运动的：

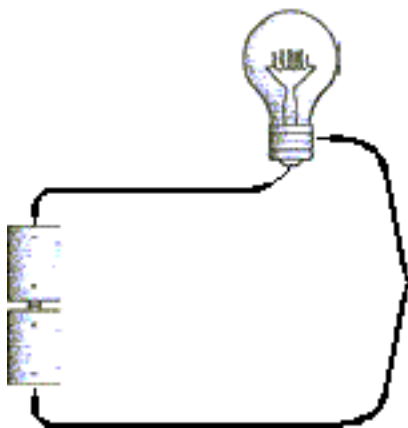


如果不是基于这个简单的事实：所有的电子，不管来自什么地方，都是一模一样的，否则，来自电池的化学物质里的电子就不可能如此随意地与铜导线的电子混合在一起的。铜导

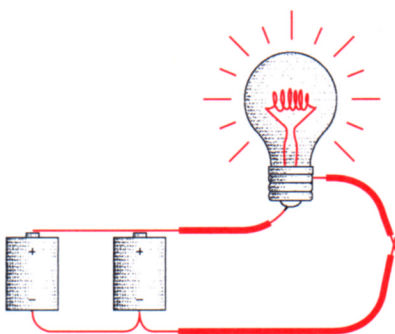
线的电子与任何其他电子是没有区别的。

注意，两个电池都是向着同一个方向。放在下面的电池的正极从上面电池的负极获得电子，这样两个电池就好像结合形成了一个更大的电池，这个大电池一端为正极，另一端为负极，其电压是3伏而不是1.5伏了。

如果把电池中的一个倒置，电路就会连不通，如下图所示：



在化学反应中，两个电池的正极都需要获得电子，但由于它们相互接触，电子无法通过某种途径到达它们。如果两个电池的正极连上了，那么它们的负极也应该连上，如下图所示：



这样的电路还是能连通。电池的这种连接方法称为并联，前一种连接方法称为串联。并联后的电压与单个电池电压同样都是 1.5 伏。并联后的灯仍然可能亮，但不如串联时亮度大，不过电池的寿命将会是串联时的两倍。

通常认为电池为电路提供电能，但同样也可以认为电路为电池化学反应的发生创造了条件。电路将电子从负极传送到正极。电路中的化学反应将一直进行到所有的化学物质耗尽，这时你就需要换电池或是给电池充电了。

电子从电池的负极到正极流过了导线和灯泡。为什么需要导线？电不能通过空气传导吗？噢，可以说能，也可以说不能。电能够通过空气导通（尤其是潮湿的空气），否则也观察不到闪电。但电不能很轻易地流经空气。

一些物质的导电能力比其他物质的导电能力明显要好。元素的导电能力取决于它内部的原子结构。电子绕核旋转是在不同的轨道上的，这些轨道称为层。最外层只有一个电子的原子最容易失去那个电子，这正是导电需要具备的性质。这些物质易导电因而被称为导体。铜、

银和金都是良好导体，这三种元素位于元素周期表的同一列不是巧合。铜是最常用的导线材料。

导电物质的对立物质称为绝缘物质。一些物质阻碍电的能力比其他物质阻碍电的能力强，这种阻碍电的能力称为电阻。如果一个物质有很大的电阻——说明它根本不能导电——它就被称为绝缘体。橡胶和塑料都是很好的绝缘体，因而它们常用来做电线的绝缘皮。在干燥空气的情况下，布料和木材也是很好的绝缘体。其实只要电压足够高，任何物质都能导电。

铜的电阻很小，但它仍有电阻。导线越长，电阻越大。如果你用数里长的导线连接手电筒，导线的电阻将会大得令手电筒不亮。导线越粗，电阻越小，这可能有点违反直觉。你也许认为粗的导线需要更多的电来“充满它”。而事实上，导线越粗，电子越容易通过它。我已经提到过电压，只是还没有给出它的定义。一节电池为 1.5 伏特意味着什么呢？实际上，电压——得名于 Count Alessandro Volta(1745—1827)，他于 1800 年发明了第一节电池——是初等电学中较难理解的概念之一。电压表征电势能的大小，无论一节电池是否被连通，电压总是存在的。

假设有一块砖头。如果把它放在地上，它的势能很小。当你把它举起至离地面 4 英尺高时，它的势能就增加了。你只要把砖块扔下，就能感觉到势能的存在。当你在一座高楼的顶层举着砖块时，它的势能更大。上面三个例子里，你只是拿着砖块而什么也没做，但砖块的势能却不同。

电学里更早的一个概念是电流。电流取决于电路中飞速流动的电子的数量。电流用安培来度量，它得名于 André Marie Ampère(1775—1836)，一般简称安，比如“10 安的保险丝”。当 6 240 000 000 000 000 000 个电子在 1 秒内流过一个特定的点时，就是 1 安培电流。

用水和水管作个类比。电流与流经水管的水量很相似，而电压类似于水压，电阻类似于水管的粗细程度——水管越小、阻力越大。因此水压越高，流过水管的水量越大；水管越小，流过它的水量就越少。流过水管的水量（电流）与水压（电压）成正比而与水管的阻力（电阻）成反比。

在电学中，如果知道电压和电阻的大小，就可计算出电流的大小。电阻——物质阻碍电流通过的能力——用欧姆度量，得名于 Georg Simon Ohm (1789—1854)，他提出了著名的欧姆定律，定律中表述

$$I=E/R$$

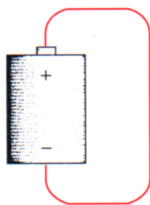
这里  $I$  表示电流， $E$  表示电压， $R$  表示电阻。

举个例子，让我们看一节空置的电池：



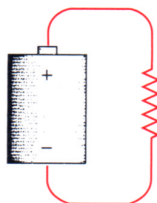
它的电压  $E$  为 1.5 伏，这是电势能。因为电的正负两极只被空气导接，因而电阻（用  $R$  表示）非常、非常大，这就意味着电流  $I$  等于 1.5 除以一个巨大的数，电流几乎为 0。

现在用一根短铜导线连接电池的正负两极（从现在开始，本书中导线外的绝缘皮不再表示出来）：



我们已经知道这是短路。电压仍是 1.5 伏，但电阻很小，这时电流等于 1.5 除以一个很小的数，也即意味着电流很大。很多很多的电子将流过导线。实际上，电流将受到电池物理大小的限制。电池不可能导通如此大的电流，且实际电压也将低于 1.5 伏。如果电池足够大，导线将会发热，因为电能转化为了热能。如果导线变得很热，它将会发光（辉光放电）甚至可能熔化。

绝大部分电路都介于这两个极端之间。可以把它们统一表述为如下图：



电气（子）工程师用折线来表征电阻。这里它表示电阻不是特别大，也不是特别小。

如果导线的电阻很小，导线将发热发光，这就是白炽灯的工作原理。白炽灯泡是由美国最著名的发明家托马斯·爱迪生（1847—1931）发明的。在他致力于发明灯泡的时候（1879 年），这个思想已被普遍接受并且同时还有不少其他发明家在研究这个问题。

灯泡里的细线叫灯丝，通常用金属钨做成。灯丝的一端连在基座底部的尖端，另一端连在金属基底的一个侧面，用一个绝缘体将它与尖端分开。细线的电阻使它发热。如果暴露在空气中，钨就会由于达到燃烧温度而烧起来。但在灯泡的真空中，钨丝就发亮了。

大多数普通手电筒用两节电池组成一组，总电压是 3.0 伏。且选用电阻大约为 4 欧姆的灯泡。这样，电流等于 3 除以 4 即 0.75 安培，也就是 750 毫安。这就意味着每秒钟有 4 680 000 000 000 000 个电子通过灯泡。（注意，如果你用欧姆表直接测量手电筒灯泡的电阻，你只会得到一个比 4 欧姆小得多的结果。这是因为钨的电阻还与它的温度有关系，温度越高，电阻越大。）

你可能已经发现，你买回家的灯泡上标记了特定的瓦特数。瓦特这个名词取自于著名的蒸气机发明家詹姆斯·瓦特（1736—1819）。瓦特是功率  $P$  的单位，它用下式计算

$$P = E \times I$$

手电筒是 3 伏，0.75 安培，那么灯泡的功率就要求 2.25 瓦特。

家用照明灯大约为 100 瓦特，这是为家用电压 120 伏设计的。在这种情况下，电流为 100 瓦除以 120 伏即大约 0.83 安培。因此，100 瓦特灯泡的电阻为 120 伏除以 0.83 安培即 144 欧姆。

到此，我们大致分析了手电筒的每一个组成部分——电池、导线和灯泡。但是我们遗漏了一个最重要的部分、对，是它的开关。开关控制电路的开闭。当开关允许电流动时，我们说它是开的或合上的，而关的或断开的开关是不允许电流动的。（这里所表示的开、关的状态正好与门相反，合上的门不允许事物通过的，而合上的开关允许电通过。）开关或开或关，电流或有或无，灯泡或亮或不亮，就像摩尔斯和布莱叶发明的二进制一样，简单的手电筒或亮或不亮，它没有中间状态。二进制与电气电路之间的相似性将在后面的章节中起很大作用。