

轻松学电工电子技术丛书

丛书主编 许顺隆

轻松学

电路



许顺隆 段朝辉 许子文 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

轻松学电工电子技术丛书

丛书主编 许顺隆

轻松学

电路

许顺隆 段朝辉 许子文 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

电路，是学习电气工程的基础知识。随着科学技术的发展，电气工程在我们生活中扮演的角色越来越重要。我们的生活周围随处可见到电的踪迹，电提供给我们照明，电提供给我们动力。在国民经济的各个领域，拖动各种各样设备和系统的电动机，我们日常生活使用的电脑、家用电器，无不需用电。而电则需要通过电路来传输，电路对电的传输遵循着一定的规律和特点，了解这些规律和特点是进一步学习电气工程其他知识的基础。

系统严密地研究电路的规律和特点，需要复杂的理论知识。因而，不论是大学本、专科院校的学生，还是实际工程中有志于学习电气工程的人员，常常感觉到学习电路具有一定的困难。尤其是许多立志自学者，更是很难做到快速入门，往往是满怀希望，着手开始学习电路，最终却因理论知识的深奥，难于深入学习，而不得不望书兴叹。

本书作为“轻松学系列丛书”之一，其主要目标就是帮助有志于学习电气工程的人员克服这方面的困难。由于电气工程实际需要的是应用电路的知识解决实际工程的问题，而实际工程允许忽略次要因素，这就为轻松学习电路规律和特点提供一个可能的途径。本书从最基本的基础知识开始，结合编著者多年的教学经验，详细解释学习中可能遇到的各个概念和新出现的名词，力图将难于理解的知识化为相对简单的知识，力图使学习电路的过程成为相对轻松的过程，至少不会成为枯燥艰难的过程。首先为读者解决入门困难的问题，从而为读者进一步学习更为复杂的电子技术知识打下一定的基础。

本书各章后面都对主要知识点进行小结，还配有大量的思考题，这些思考题主要配合各章的要点而设置。思考题的形式主要为问答题，所提问

的点都是相应各章的主要知识点，这些知识点都可在本书中查找到对应的说明，因此可作为每章的复习要点。

参加本书编著人员有厦门市建设银行城建支行许子文、厦门市厦门交通职业中等专业学校老师段朝辉和集美大学轮机工程学院老师许顺隆。许子文编写第一章；段朝辉编写第三章；其余章节由许顺隆编写，许顺隆还负责全书的统稿工作。

由于编著者的水平所限，错误和不妥之处恳请读者和同行批评指正。

编著者

2007 年 8 月

目录

前言

第一章 电路及其基本概念 1

第一节 人类对电的认识 1

第二节 电路中的物理量 7

小结 22

思考题 23

第二章 直流电路的计算 25

第一节 电路基本定律 25

第二节 直流电路及其简单计算 38

第三节 复杂电路的分析 62

小结 80

思考题 82

第三章 电容器及其电路 87

第一节 电容器的构造及常见电容器的分类 87

第二节 电容器充放电 93

第三节 电容器的串并联及相关的计算 98

小结 102

思考题 103

第四章 磁路基本概念及磁路定律 104

第一节 电流的磁效应	104
第二节 磁路	109
第三节 铁磁材料	114
第四节 磁路定律	119
小结	122
思考题	123

第五章 电磁感应与电磁力定律 124

第一节 电磁感应现象及电磁感应定律	124
第二节 自感和互感	131
第三节 涡流现象与铁心损耗	137
第四节 电磁力定律	140
小结	142
思考题	143

第六章 单相交流电路及其简单计算 144

第一节 正弦交流电概述	144
第二节 单一参数的正弦交流电路	159
第三节 多种电路参数的交流电路	171
小结	182
思考题	184

第七章 三相交流电路 190

第一节 三相交流电路的电动势和电压	190
第二节 三相负载	197
第三节 三相交流电路的电压与电流计算	202
第四节 三相功率及功率因数	212
小结	217
思考题	219

第八章 电路的其他问题 223

第一节 非正弦交流电与谐波对电力系统的影响	223
第二节 线性电路的过渡过程	237
小结	253
思考题	255

参考文献 259



第一章

电路及其基本概念

电，在现代社会中的使用非常普遍。然而什么是电？人们是如何认识电的？又是如何运用电来为人类工作的？了解这些问题将对我们学习和运用电的实用技术有一定的帮助。因此，本章向初次接触电的读者简单地介绍有关电路的基本概念。

第一节 人类对电的认识

人类对电的认识过程是一个漫长的历史过程。人们对电的认识，首先是从自然现象的观察和思考开始的，然后通过假设、实验、推断、总结、验证和创新等不断地得到发展。我国的古人很早就开始了对电的观察、记载和应用，考古学家曾经在河南安阳小屯村的古废墟中发现了甲骨文“𩇑”字，经过考证，它就是我国最早古文字中的“电”字，距今已有三千二百余年。

一 电是一种自然存在的物理现象

人们对电的认识，首先是从观察得到的。我国汉代许慎在《说文解字》解释：“电阴阳激耀也”。阴，即负电，阳，则为正电。这是古人观察到电具有正负性质的记载。西晋张华在《博物志》中还记述：“今人梳头、脱着衣时，有随梳、解结有光者，也有咤声。”则是从日常生活中观察到静电的记载。

从天气等自然现象中，古人也观察到了电的存在，并对电的破坏性质

有了一定的了解。南朝的梁肃子显在《南齐书·五行志》中记载：当雷电通过敷有金属粉末的佛面时金属粉被融化，而木制窗户则完整无缺。北宋的沈括在《梦溪笔谈》中记载了雷火熔宝剑而鞘不焚的现象。明末清初的方以智在《物理小识》卷二指出：“雷火所及，金石销熔，而漆器不坏。”意思是雷电经过之处，金属物都熔化了，只有漆器等绝缘物体保持完好。此外，春秋末期的曾子指出：“阴阳两气俱则雷，交则电。”意思为，正负电都存在则可形成雷，正负电交汇则形成放电。

我国的古人，不仅观察到雷电具有的破坏性，知道尖端放电的现象，还摸索出预防的措施，并且将尖端放电的原理应用到建筑物的避雷。例如，东晋的干宝在《搜神记》中记述嘉峪关汉墓画像砖里描绘的古代作战情景的画面，都记录着古代兵器发生尖端放电的现象。而三国和南北朝时期，我国许多建筑物上就装设尖端放电的装置用于避雷。宋代以后在建筑物上所设的“雷公柱”更是避雷效果很好的装置。法国人马林 1688 年曾在其撰写的《中国新事》中记述，“当时，中国屋宇的屋脊两头，都有一个仰起的龙头，龙口吐出曲折的金属舌头，伸向天空，舌根连接着一根细细的铁丝，直通地下。这种奇妙的装置，在发生雷电时，若雷电击中了屋宇，电流就会从龙舌沿铁丝下行地底，起不了破坏的作用。”

不仅我国的古人对电有所认识，世界上其他地方的人们也对电的现象进行了观察、研究和应用。17 世纪英国的波义耳观察到毛发摩擦生电的现象；英国格雷于 1731 年发现导电体和绝缘体；1733 年法国的杜费发现摩擦丝绸产生静电而放电的现象；美国富兰克林通过雷雨天的风筝实验，于 1753 年发明了避雷针。

然而，对自然界电现象的了解，在相当长的历史进程中进展还是较缓慢的，那时人们还未真正了解电的来龙去脉。真正对电的认识是从 19 世纪末期电子发现以后才开始的。1897 年英国剑桥大学 J. J. 汤姆逊，通过实验证实了电子的存在，并测量计算出了电子的荷质比。此后，人们对周围物质的认识，才由分子层次发展到原子和电子的层次。

后来，人们根据大量的实验和理论研究认识到：我们周围的一切物质都是由分子组成的，不同分子则由更小的、各种不同的原子组成，而各种原子又由不同数量的质子、中子和电子组成。一定数量的质子和中子组成特定原子的原子核，原子核外与中子相同数量的电子围绕原子核高速旋转。原子核里的中子不带电，每个质子带一个单位正电荷，核外每个电子

带一个单位的负电荷。

在自然界中,只存在正电荷与负电荷,正、负电荷是两种不同性质的电荷(异性电荷)。当一个原子核中所包含的质子与原子核外的电子数量相等时,该原子所带的正、负电荷也相等,整个原子对外显示电中性(不带电)。最简单的原子是氢原子,其结构如图1-1(a)所示,中间部分是氢原子的原子核,有一个质子,但是没有中子,原子核的外部有一个电子围绕氢原子核高速旋转。图1-1(b)所示为锂原子,锂原子核有三个质子,核外也有三个电子(只不过分两层绕核旋转)。由于氢和锂的原子各自所带的质子数和电子数都相等,所以它们的整个原子对外都呈现出“不带电”状态。自然界存在的物质,在一般情况下都是处于所带电荷相等的“不带电”状态。因此,平时我们可用手触摸物质,而没有感觉其带有电荷。只有当原子丢失了其核外的电子后,该原子才呈现带正电现象;或原子额外接收其他多余的电子(有其他额外的电子围绕原子核高速旋转)时,该原子才呈现出带负电现象。也就是说,物质的原子带电是由于其核内的质子数量与绕其核外运行的电子数量不相等所引起的。质子数量多于电子数量,该原子带正电;质子数量少于电子数量则该原子带负电。

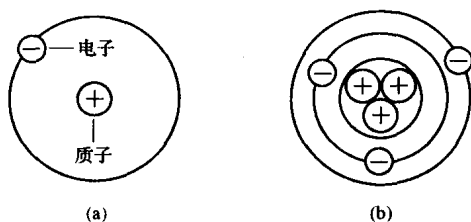


图1-1 原子的结构

(a) 氢原子; (b) 锂原子

质子和电子所带电荷量都是一个单位电荷,是最小的电荷单位。由于它们的电荷量太小,实际常以库仑作为电荷的单位,并用符号C表示。1C电荷约为 6.25×10^{18} 个电子(即大约625000000个电子)所带电荷的总量。

大量的实验证明:同性电荷互相排斥,异性电荷互相吸引。在图1-1中,围绕原子核高速旋转的电子,正是由于原子核外电子所带的电荷与原子核内质子所带的电荷(正、负)性质不同,在原子核里的质子与核外电子之间存在着吸引力,高速旋转的电子才不会因为离心力的作用飞离原

子核。

电荷在物体中是能够移动的，电荷的移动与电荷所受的作用力大小有关。人们通过观察和实验发现，电荷可在金属等称为“导体”的物质中很容易地移动，却较难在塑料、干木头、漆器等材料中移动。能够让电荷容易通过的物体是导体，简称为导体。很难让电荷移动或通过的物体称为绝缘体，介于导体和绝缘之间的物体则称为半导体。

带有不同电荷的两个物体之间，吸引力的大小与物体所带的电荷数量多少有关。当不同电荷聚集的数量增多时，带不同电荷的带电体之间对异性电荷的吸引力就增大，吸引力增大到足以克服电荷移动所受到的阻力时，电荷将产生“放电”。人们在生活中所观察到的雷电现象，就是云团与大地摩擦产生静电累积过多而放电的现象。两个物体之间产生静电放电的条件是：① 两个物体存在获得异性电荷产生静电的途径，且所带有的电荷量不断地增加；② 产生静电的两个物体之间对电荷移动存在着很大的阻力。若在两个物体之间用导体进行连接，即使这两个物体分别不断地获得异性的电荷，由于异性电荷相互吸引的特性，带有负电荷的物体中多余的电子将通过两个物体之间连接的导体及时地、很容易地“跑到”由于缺少电子而带正电荷的物体去，使这两个物体之间的存在的静电现象消失。

我国宋代以后建筑物上的“雷公柱”及美国富兰克林发明的避雷针都具有防雷作用，其原理就是利用伸向天空的导体与大地进行良好的连接，及时将建筑物上空累积的电荷引到大地，减少对建筑物进行放电（产生雷电）的可能性，避免建筑物遭强大雷电的破坏。

综上所述，电是一种物理现象，并以正、负电荷的形式存在于自然界中的每个角落。异性电荷相互吸引，同性电荷相互排斥。正常情况下，正、负电荷数量相等，呈现电中性，人们感觉不到带电的现象。通过摩擦或其他方法，可以使正、负电荷分开，正、负电荷一旦分开，就呈现出带电的现象。

正、负电荷之间存在相互吸引力，但却不能自由结合。这是因为，自然界中的物质对电荷的移动存在着阻力，根据阻力的大小，物质可以分为导体和绝缘体。带电现象之所以能够存在和观察到，是因为在异性电荷之间的阻力，否则异性电荷一旦分开就马上由于吸引力又重新结合在一起了，人们也就难于观察到带电的现象了。

二、电是一种能量的形式

异性电荷之间具有吸引力，这只是具备移动的趋势，并没有移动的能力。只有这种吸引力足够大或它们之间的阻力较小时，异性电荷才能在吸引力的作用下移动。也就是说，电荷的移动是要克服阻力才能实现的。由于电荷本身具有质量，根据物理学的有关定理，质点的移动过程是一个做功的过程，因此，电荷的移动过程也是一个做功的过程。而对于分别带有正负两种电荷的物体，则可认为它们储存了能量。从这个角度上说，电是能量的一种形式。

要使两种物体分别带不同性质的电荷，可以通过摩擦来实现。皮毛物体之间的摩擦、云团移动时与大地之间的摩擦等，都将使参与摩擦的两个物体之间带上数量相同但性质不同的电荷，而摩擦本身就是机械做功的表现，摩擦以后才产生电。这说明了，摩擦产生电的过程是要消耗能量的，换句话说，电是能量的一种形式，要产生电能必然要消耗其他形式的能量。

同样，电荷的移动、复合，使物体恢复到不带电的状态，也是电能释放的过程。电能的释放过程不是一个消失过程，而是一个能量的转换过程——电能转换成其他能量形式。静电放电时，电能以火花的形式释放，电能转换成光能和热能。打雷的过程更是一个能量的释放过程。打雷时产生的耀眼的闪电，是电能转换成光能的表现；打雷时产生的巨大声响，是电能释放时使空气产生急速的剧烈振动，是电能转换成声能的表现；打雷时强大的雷电流使其通过的物体烧焦或熔化，是电能转换成热能的表现。

因此，可以对电给出一个较为全面的定义：电是一种物理现象，是表示有电荷存在和电荷变化的物理现象。电是能量形式的一种，电的产生过程是其他能量转换成电能的过程，电的释放过程是电能转换成其他能量的过程。有人说过“地球上几乎没有一种变化发生而不同时显示出电的现象”。而生活和工作中各种各样的电现象都是由电荷的相互作用及电荷的定向移动而产生的。

能持续不断地向两个不同点分别提供异性电荷的装置称为“电源”。要能持续不断地提供异性电荷，则电源内部就要连续不断地做功，克服异性电荷之间的吸引力，将它们不断地送到这两点。因此，电源就是能够将其他形式的能量连续不断地转换成电能的一种装置。

电的产生有许多方式,如前所述,电可通过摩擦产生,电还可以通过光、化学、生物和机械作用等产生。在现代社会中,电能的产生、传输和使用可构成电力系统。电力系统主要由发电厂、输电网、配变电装置和用电设备等组成。工业上用来为现代工业提供大量电能的电源,其产生电的方法通常是:首先将各种能源形式转换成机械能,再利用电磁感应定律,将机械能转换成电能。

利用电磁感应定律将机械能转换成电能的设备是发电机,有直流发电机和交流发电机之分,可以将机械能分别转换为直流电和交流电。利用发电机产生的电能不仅容量大,而且传输、控制和分配非常方便。带动发电机运转的机器设备,人们通常称为原动机。根据所利用的能源的形式不同,带动发电机运转的原动机可分为蒸汽机、汽轮机、内燃机、水轮机、风力发电机等。此外,人们还想方设法地探讨可用来产生电的其他能源形式及产生电的其他新方法。可设法利用以产生电能的其他能源形式有生物电、化学电源、太阳能电池等。

电能的应用领域很广泛,各行各业及日常生活中几乎处处都需要使用电能。总的说,电能应用的主要方面有电力拖动、照明、各种家用电器、办公电器及各种其他电气控制电路等。

所谓电力拖动,就是用电动机拖动生产机械运行。电力拖动一般由三个主要部分组成,即电动机、控制线路和机械传动部分。电动机与发电机相似,也是机电能量转换的装置,也有直流或交流之分。电动机与发电机从结构上看没有多大的区别,它们运行涉及的原理也基本相同,所不同的是发电机将机械能转换成电能,电动机将电能转换成机械能。在电力拖动中,除了机械传动部分与电能的应用没有直接关系外,电动机及其控制线路都需要电能。

电能应用的另一方面是种类繁多的各种家用电器、办公电器,甚至连儿童玩具也越来越多地应用电来工作。这类应用,从单个用电器具来看,用电量都相对较小,但由于使用量很大,尤其在城市中,因此也是电能应用的一大方面。

综上所述,电是一种能量形式,可以将其他能量形式转换成电能,也可以将电能转换成其他能量形式。能够连续不断地提供电能的装置是电源,工业上广泛应用的电源是发电机。将电能转换成为其他能量形式的装置,统称为用电设备,电动机、电灯等都是用电设备。

三、研究电的目的与意义

由于电能具有生产容易、传输简便、控制可靠和分配方便的特点，因此其应用非常广泛。研究电的主要目的是认识电，掌握电，然后应用电。

电能是由发电厂生产的，电能的输送则主要由架空线路和电缆线路等输电线路完成，电能的分配主要通过变电站（所）完成。输电线路和变电站通常由各地电力部门管理和维护。电能的消费单位是工厂及其他电力用户。各种电力用户要使用电能，通常还需要对从电力网输送来的电进行变换和再分配。同时，还要求对各种用电设备进行各种控制和保护，以确保用电设备安全、可靠、经济地运行。

要使电力生产、输送、分配和消费等环节安全、可靠和经济地运行，离不开各种电气技术人员，其中，最基本的电气技术人员是电工，因此，电工在目前的工、农业及国民经济各行各业中的需求量很大。针对不同具体岗位的特点，对电工所要求的理论知识和实际操作能力虽然略有不同，但通常要求电工应该了解电能的产生、输送、分配和控制的有关知识，掌握各种电气设备的运行、控制和维护管理及维修所需要的一般知识，掌握安全用电知识，同时具有各种实际操作能力和各种电气设备常见较简单故障的初步分析和排除的能力。

研究电的第一步是从电路基本知识开始的，只有在掌握电路的基本定律和基本计算方法后，才能学习其他具体的电气设备及其控制原理，并能够正确理解实际中对电气设备的操作和一般的维修方法。在掌握具体电气设备的基本控制技术后，才可能再进一步学习电气设备的自动控制。

总之，对电的深入研究并掌握其规律，就能使电力系统中的生产、输送、分配和消费电能的各个环节配合协调地工作，就能保证电力系统的生产、输送和分配等环节安全、可靠、经济、合理地提供高质量的电能，这将促进国民经济的发展和提高人民生活的水平和质量。

第二节 电路中的物理量

一、电路的概念

1. 电路的含义

电路，在这里有两层意思，第一层意思，电路是指电的通路，即电荷

定向移动所经过的路径。在日常生活中，电的通路有两个主要用途：
① 传送电能；② 进行电信号的转换（或变换）和传输。发电厂产生电能后，通过输电网络将电能输送到各用电设备，输电网络和用电设备构成的就是电路的一种形式，传送电能的电路又称为电力电路。电话线等电路则为信号电路，话筒将声音转换成电信号，经过电话线路将电信号送到远方的电话，听筒再将电信号转换成声音。话筒、听筒、电话机内的电子线路板以及与相连电话的网络组成信号电路。在信号电路中，也存在能量形式的变化，但这种变换已经不是电路的主要作用。因为在信号电路中若只注重能量转换而忽略信号的本质，在远方接收的听筒转换出来的声音将不能被人们所识别。因此，人们对电力电路主要的要求是电能传输过程中尽量减小损耗；而对信号电路的主要要求则是信号变换的准确性。

电路，还有较为隐含的第二层意思，那就是指“电路”是“路”，与“电场”有区别。在物理学中，人们采用“场”的方法对电进行研究，分析“电场”的各种特点。然而电路和电场有什么区别呢？简单地说，电场的分析是从较为微观的角度对电进行分析，即从“场”的角度分析。分析时，空间的每个点、时间的每个时刻，都要考虑电的实际变化（包括大小和方向的变化）。就如我们日常生活中对“场地”的评估。考察一块“场地”时，场地的形状、高低变化和它的面积等都要注意到，所关心的问题全面而详细。同样，用“场”分析电，较精确，但却非常麻烦。实际电气工程中，通常只要求从总体的角度出发，分析电的现象或情况。比如说，实际我们常关心：电灯亮了没有？总共消耗了多少电？这类问题主要是从宏观的角度观察。尤其在工程分析和计算中，若以“场”的方法分析，将造成分析计算工作量的很大浪费。因此，需要采用“路”的方法，更为快捷、简单地分析和计算电的问题。

以“电路”的角度来分析研究电，将使问题大为简化，“路”所关心的是总体的情况。正如日常生活中对道路的描述：某条路从A到B，有N车道，全长Xkm。人们对一条“路”的具体走向、始点和终点、可同时通行几辆车、能否满足人流或车流的需要等问题感兴趣。有时也关心“路宽60m”的问题，但并不是关心路上各点是否都为“60m宽”。实际在一条“宽60m的路”上，你选择任意6点进行测量，结果可能是：59.26、59.83、60.60、60.05、59.71、60.55m。从测量的结果看，没有一处是正好60m的。然而你若将这些测量数值取平均的话，则这条路的“平均宽

度是 60m”（若这条路是按标准建造的，则测量点数越多，其平均值就越接近于 60m）。因此，“路”是以平均的角度来分析和计算实际工程问题的方法，是一种工程分析方法。采用“路”的方法进行分析时，需要对实际复杂的问题进行简化或近似处理，从而达到快速简便地得到对复杂烦琐的工程问题进行符合工程精度要求的分析结果。

因此，每当我们在电气工程中看到“电路”这个词时，我们的头脑就应该同时意识到，电路是经过一定的、符合工程要求的简化后对实际所涉及的电问题进行分析 and 计算的“路”。应该说，“电路”是对实际构成电的通路的一种“等效”（主要作用效果相同，称为等效）。在电气书籍中，常可看到“等效电路”或“电路模型”的说法。所谓电路模型，是指其中所有电气元器件都是实际元件的“模型”。这里的“模型”含义是“只考虑元件的主要性质，而忽略其次要的性质”。有些书称之为“理想元件”，所谓“理想”就是忽略次要因素，就像对待一个人，你若忽略了他的缺点，他不就成为一个“理想”的人了吗？而忽略了元件的其他次要特点，该元件也就成为“理想元件”了。

2. 电路的工作过程

电路是电的通路，是传送和消耗电能的通路，在电路中流通的是电流（电荷的定向流动）。电路的工作情况与图 1-2 所示的用水泵冷却循环工作水的管路情况相似。为使该冷却水系统正常工作，水泵就必须源源不断地将水打入水管中，使水具有一定的位能可在管内流动，到冷却器（用水的设备）后，与热交换器接触，消耗水中的能量，最后流到水池，让水泵抽取再次进入循环使用。电路的工作也一样，要使电流能够在电路上通过，首先必须有电源（相当于水泵），使电路中的电荷具有能量。此外，还必须将电路连接成闭合的路径，电荷才能源源不断地输送到用电设备（即负载）。电流经过连接导线（或称为线路）及负载时将消耗能量。

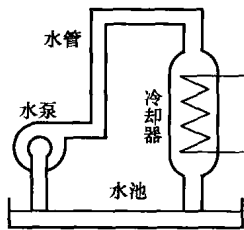


图 1-2 冷却水循环

接成闭合路径的电路常常称为回路，回路中的某一分支或某一段又称为支路。最简单的电路是由电源、负载和导线连接组成的，如图 1-3 所示。电源为电路提供电的能源（如第一节所述，将其他形式的能源转换成电能），负载是消耗电能的（将电能转换成其他能量形式）。图 1-3（a）为电路的实物连接图，图 1-3（b）为原理示意图。图 1-3 中的电池是电源，是将化学能转换成电能的设备；负载是电灯，消耗电能。电池和电灯之间用导线进行连接。在图 1-3 中还有一个开关，既起连接电源与负载的作用，又具有控制电灯发亮与熄灭的作用，属于控制电器。若将开关 S 合上，则图 1-3 所示的电路接通，电池在其内部使正、负电荷分开，正电荷从正极出来，经过导线与开关被送到电灯（负载），释放电能使电灯发出光亮，并经连接导线回到电池的负极与负电荷复合。电池在内部源源不断地将正电荷推向正极，负电荷推向负极，只要电路接通，正、负极的正、负电荷就会源源不断地经过灯泡，使灯发光，最后再复合在一起。

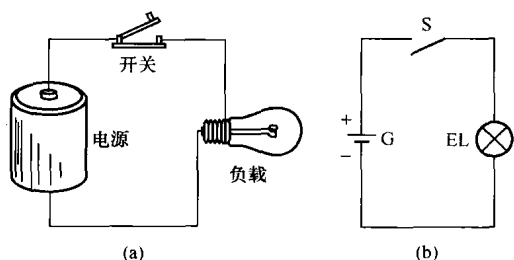


图 1-3 最简单的电路

(a) 实物连接图；(b) 原理示意图

电路必须构成回路才能工作。电路构成回路时，电源通过电流向外部电路提供电能，电流经过导线把能量输送到负载，负载消耗电能，并将电能转换成其他能量形式。若电回路状态受到破坏而断开，则电流就不能源源不断地被输送到负载，称为开路。电路工作状态终止，处于不工作的状态。电路的工作与否，可以采用开关等控制元件进行控制。

3. 电路的组成及特点

由图 1-3 可见，电路的最基本组成是电源、负载和连接导线，称为电路的“三个基本要素”。但为了使电路按照人们的意愿工作，在电路中还常采用控制元件进行控制。有时还有作为安全保护的其他元件（图 1-3 中未画出）。开关是常见的控制元件，熔断器（俗称保险丝）则是常见的