

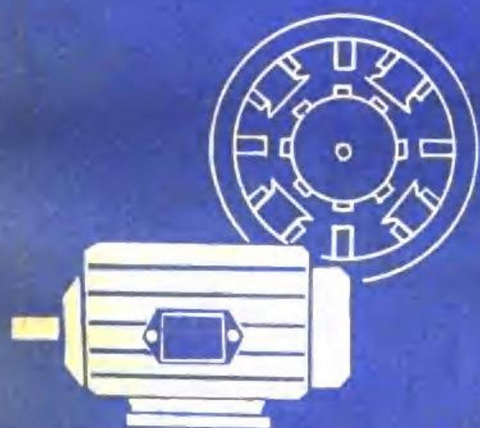
工人技术读物

电工

大连电机厂《电工》编写组编

DIAN

GONG



辽宁人民出版社

电 工

大连电机厂《电工》编写组编

*

辽宁人民出版社出版

(沈阳市南京街6段1里2号)

辽宁省新华书店发行

朝阳六六七厂印刷

*

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: $18\frac{1}{2}$ 插页: 2

字数: 409,000 印数: 1—16,000

1980年12月第1版 1980年12月第1次印刷

统一书号: 15090·76 定价: 1.50元

出版说明

为在本世纪末全面实现农业、工业、国防和科学技术现代化，适应社会主义革命和社会主义建设事业迅速发展的需要，满足广大工人、知识青年学习技术的迫切要求，我们组织编写了车工、钳工、铆工、铣工、锻工、刨工、磨工、铸工、电工、电焊工和技工数学等工人技术读物。

这套工人技术读物是由鞍钢机修总厂、大连造船厂、沈阳第一机床厂、中捷人民友谊厂、沈阳风动工具厂、沈阳铸造厂、大连重型机器厂、大连电机厂、鞍钢修建部等单位编写的。各厂的编写小组总结了生产实践和科学实验中的经验，回答了工人同志们提出的技术问题。内容切合实际，语言通俗易懂，可供工人、特别是青年工人业余学习和职工工业余技术教育参考使用。

《电工》是大连电机厂《电工》编写组编写的，由蔡维藩同志主编，参加编写的还有郭衍杭、樊北校、杨守柏、叶庆吉、赵振武等同志。他们在厂党委的领导下，结合职工技术教育工作，认真总结生产实践经验，征求了厂内外工人、技术人员和有关同志的意见，反复修改，逐步形成了这本《电工》。在编写过程中，他们参考了一些院校的教材和讲义，许多厂矿提供了宝贵技术资料，在此向有关院校和厂矿表示感谢。

本书存在的缺点错误，请广大读者批评指正。

目 录

第一章 直流电路	1
第一节 电路	1
第二节 欧姆定律	7
第三节 串联电路与并联电路	13
第四节 电功与电功率	22
第五节 直流量的测量	26
第二章 磁和电磁	41
第一节 电流周围的磁场	41
第二节 磁场对电流的作用力	53
第三节 直流电磁铁	58
第四节 电磁感应	83
第三章 交流电路	96
第一节 正弦交流电的产生	96
第二节 正弦交流电的向量表示	108
第三节 只含电阻负载的电路	113
第四节 只含电感负载的电路	118
第五节 只含电容负载的电路	129
第六节 电阻、电感和电容串联的交流电路	140
第七节 交流电路提高功率因数	155
第八节 三相交流电动势的产生	158
第九节 三相电路中负载的星形连接	163

第十节	三相电路中负载的三角形连接·····	170
第十一节	三相电功率的计算·····	172
第十二节	交流电磁铁·····	176
第十三节	交流量的测量·····	185
第四章	电工材料·····	192
第一节	导电材料·····	192
第二节	绝缘材料·····	198
第三节	磁性材料·····	209
第五章	变压器·····	215
第一节	变压器的用途及分类·····	215
第二节	电力变压器的基本结构·····	219
第三节	变压器的铭牌数据·····	228
第四节	变压器的基本原理·····	230
第五节	变压器的运行性能·····	235
第六节	三相变压器·····	237
第七节	特殊变压器·····	243
第八节	配电变压器的维护与检查·····	253
第九节	小容量变压器的设计·····	258
第六章	异步电动机·····	269
第一节	三相异步电动机的结构与铭牌·····	269
第二节	三相异步电动机的旋转原理·····	277
第三节	三相异步电动机的定子绕组·····	286
第四节	三相异步电动机的运行原理·····	307
第五节	三相异步电动机的起动、调速与制动·····	330
第六节	三相异步电动机的使用与维护·····	348
第七节	三相异步电动机定子绕组的重绕计算·····	358

第八节 单相异步电动机·····	373
第七章 直流电机·····	381
第一节 直流电机的构造和原理·····	381
第二节 直流电机的电枢绕组·····	393
第三节 直流电机的电枢反应和换向·····	403
第四节 直流电动机的工作情况·····	411
第五节 直流电动机的起动、调速与制动·····	419
第六节 直流电动机的使用和维护·····	431
第七节 手电钻·····	437
第八章 常用电器及电气控制线路·····	449
第一节 控制系统中的常用电器·····	449
第二节 继电器接触器控制线路·····	460
第三节 电气控制线路的设计·····	468
第九章 电气照明与安全用电·····	475
第一节 常用电光源·····	475
第二节 电气照明线路·····	484
第三节 电气照明故障和检修·····	487
第四节 电流对人体的伤害·····	489
第五节 触电急救·····	492
附 录·····	495

第一章 直流电路

用电要有电路。为了弄清楚电路中能量的转换、输送、分配、控制和计量等问题，需要研究电路的基本物理量和基本定律。而掌握直流电路的基本规律，是分析与计算其它各种电路的基础，因而十分重要。

第一节 电 路

一、电路的构成

所谓电路，就是电流流经之路。电路有的很简单，有的则比较复杂。图 1—1 所示为一简单电路；在生产中把许多电气设备连接起来的电路则比较复杂，但不管如何复杂，任何电路都是由电源、负载和连接导线组成。

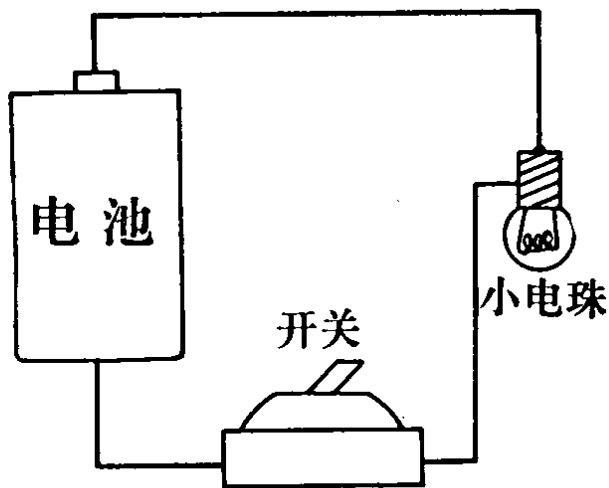


图 1—1 电池、小电珠和连接导线组成的电路

电源是电路中电能的来源。它是将化学的、机械的或其它形式的非电能量转换成电能的装置。干电池、蓄电池、直流发电机是常见的直流电源。

负载即用电器的。它可以将电能转换为其它形式的能量。

如灯泡可将电能转换成光能，无轨电车中的直流电动机可以把电能转换为机械能。

连接导线就是平常所讲的电线，用来输送和分配电能，没有它就不能把电源与负载连接起来构成电路。为了使电流在电源与负载间有去有回，导线实质上不会少于两根（有时表面看是一根，实际上仍是两根，如汽车电路中利用金属车体形成电流回路）。

为了控制电流的接通和断开，使电路正常工作，在连接导线中还装设开关、熔断器等控制和保护装置。

要使电路中有电流流过，必须具备两个条件：电源能正常供电和电路是一个闭合的通路。对电源来讲，由负载和导线等组成的电路称外电路；电源内部的电路则称为内电路。

任何复杂的电路都可以用电路图来表达。电路图一般不用图 1—1 这样的实物表示，因为这样虽然直观，但画起来很麻烦而且没有突出电路的本质。实际采用的电路图是用规定的统一符号表示电路的各个部分，比如图 1—1 所示的实物图，就可以用图 1—2

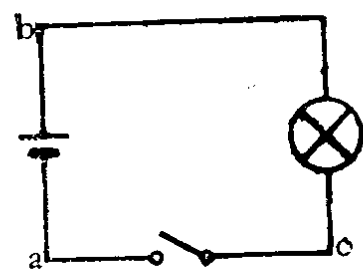


图1—2 用电工图形符号表示的电路图

的电路图表示。电路图中采用的符号应符合国家标准 GB312—64 《电工系统图图形符号》的规定。常用符号见附录 1。

电路状态有三种情况：（1）开关接通使电路闭合，电路中有电流，称通路或闭路；（2）开关断开或电路中某处断开，电路中无电流，称开路或断路；（3）电路中某两点间被导体直接联通，称为短路或捷路。比如，在图 1—2 中，若 a 、 b 间被导线直接联通，称电源被短路；若 b 、 c 间被导线直接联通，称负载被短路；若 a 、 c 间被导线直接

联通，则可称为开关被短路。

二、电路中的基本物理量

1. 电流

一拉开关，电灯就亮了，一按电钮，电动机便转动起来。我们说这是由电流作用的结果。尽管人眼看不到电流，但是我们却从它的表现中觉察到电流的存在。那么，电流究竟是什么呢？它又是怎样流的？再有，如何来计量它的大小呢？

电流是一种物理现象。为了搞清楚这个问题，我们先来看一看物质的电结构。

尽管客观世界的物质无穷无尽，它们的性质又千差万别。但不管哪一种物质，都是由能够单独存在、并且保持原物质性质的最小微粒——分子构成的。分子则由更小的微粒原子所组成。原子是由原子核和围绕原子核运动的电子构成的。原子核带正电，或称带正电荷；电子带负电，或称带负电荷。由于原子核所带正电荷与电子所带负电荷数量相等，原子对外不显电性。不同元素的原子所具有的电子数目是不同的。电荷是一种客观存在的物质，既不能创造，也不能消灭，但可以从一个物体转移到另一个物体。物体失去电子后，原子内部电的平衡被打破，便带有正电荷；同样，获得多余的电子时，便带有负电荷。失去或获得电子越多，所带的正电荷或负电荷量也就越多。

电荷有规则的定向运动就形成了电流。而电荷有正有负，也就是说，电流可能是正电荷的流动，也可能是负电荷的流动。那么，怎样确定电流的方向呢？由于正电荷沿着某方向运动和等量负电荷沿反方向运动所产生的电磁效果大部

分相同，习惯上规定正电荷流动方向为电流方向（图 1—3），而且把电流都看成是正电荷流动形成的。在电路图中，电流方向常用空心箭头表示。

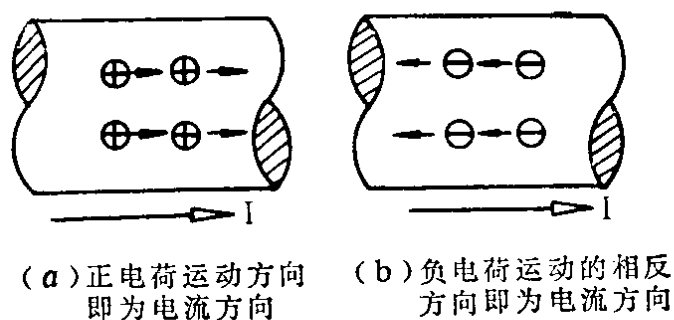


图 1—3 电流方向

电流的大小用单位时间内在导体截面上移过的电量多少来度量，称为电流强度，通常用符号 I 表示。习惯上将电流强度简称为电流。这时电流这个概念不仅代表一种物理现象，而且代表一种物理量。大小和方向不随时间而变化的电流称为直流电流。对于直流电流，若用 Q 表示在时间 t 内移过导体截面的总电量，则电流为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

电流的单位是安培，简称安，记为 A。当每秒钟通过导体截面的电量为 1 库仑时，电流即为 1 安培(A)。在不同场合下，根据需要，还可用千安(kA)或毫安(mA)、微安(μ A)为计量单位。

$$1 \text{ 千安(kA)} = 10^3 \text{ 安(A)} = 1000 \text{ 安(A)}$$

$$1 \text{ 毫安(mA)} = 10^{-3} \text{ 安(A)} = \frac{1}{1000} \text{ 安(A)}$$

$$1 \text{ 微安}(\mu\text{A}) = 10^{-6} \text{ 安(A)} = \frac{1}{1000000} \text{ 安(A)}$$

一般晶体管收音机的工作电流为几十毫安至上百毫安，手电筒的电流约为 0.2~0.3 安，解放牌汽车发电机的额定电流是 18 安，无轨电车主电动机的工作电流约一百多安培，雷

雨中一次闪电电流可达几十万安培。

2. 电压与电动势

为了更好地理解电压的含义，可以把电路比作水路。图 1—4 中，当 U 型水管 AB 左面的水位高于右面的水位，即在水管两端有水位差时，在重力作用下，形成水压，水管中

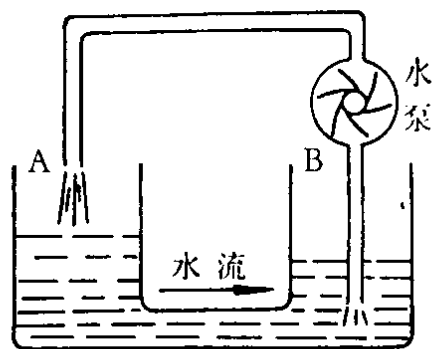


图 1—4 水泵维持水的流通

将有水从左向右流动。随着水的流动，右面水位逐渐升高，而左面水位逐渐降低。当左右水位一致而无水压时，水将停止流动。要想使水持续流动，需要用一水泵将水从低水位抽送到高水位，始终维持左面和右面有个水位差，从而产生水压。在水泵外部，水总是从高水位流向低水位；在水泵内部，由于水泵的作用，水由低水位流向高水位。这样，水就在包括水管、水泵的水路中持续流通了。

与此相类似，电路中要有电流，必须使电路两端有电位差，这样电流才能从高电位点流向低电位点。而要使电路中电流持续流动，就要始终维持电路两端有电位差。电路中任意两点间的电位差称为这两点间的电压。电压通常用符号 U 表示。

电位与电压是不同的两个概念。电位是相对的，某点电位数值的大小与零电位的选择有关；电压是绝对的，不管零电位如何选择，总是两点之间电位之差。

因零电位点选择的不同，电路中某点的电位可能是正电位，也可能是负电位。

还要指出，用水位、水压来比喻电位、电压虽然形象，

但两者的本质不同。在重力作用下，水位、水压与高度有关，而电位、电压与高度无关，绝没有离地 5 米的电线比离地 3 米的电线电压高的道理。

怎样来维持电路两端有电压呢？电路中的电源就能起维持电路两端有电压的作用。对电源来讲，电位高的一端称为正极，电位低的一端称为负极。在外电路中，电流由正极流向负极；而在内电路，电源能够使电流由低电位流向高电位。电源在把正电荷由低电位推到高电位的过程中，使本身非电的（如化学的、机械的）能量转换为电荷的电能。电源内部其它能量的作用在电源两极间产生的电位差，称为电源的电动势，用符号 E 表示。其方向从低电位指向高电位。对电源来讲，电动势是由负极指向正极，在电路中可理解为电压升。

完整的电路中，电位升高的数值，即电动势的大小，等于电路中电压降落的数值。

电位、电压、电动势的单位是一致的，都是伏特，简称伏，记作 V 。高电压常用千伏 (kV)，很小的电压则用毫伏 (mV) 甚至微伏 (μV) 表示。

$$1 \text{ 千伏}(kV) = 10^3 \text{ 伏}(V) = 1000 \text{ 伏}(V)$$

$$1 \text{ 毫伏}(mV) = 10^{-3} \text{ 伏}(V) = \frac{1}{1000} \text{ 伏}(V)$$

$$1 \text{ 微伏}(\mu V) = 10^{-6} \text{ 伏}(V) = \frac{1}{1000000} \text{ 伏}(V)$$

手电筒用的电池，每节的电压为 $1.5V$ ；各种汽车的电路电压有 6 伏、12 伏、24 伏不等；无轨电车的电动机，其额定电压为 550 伏；工业用的静电喷漆装置则需要有 60~120 千伏，即 6~12 万伏直流高压。

第二节 欧姆定律

一、部分电路的欧姆定律

在一段不包含电源的电路（图 1—5）中，电压与电流在数量上有什么关系呢？实验表明，一段不含电源的电路两端所加电压 U 与其中通过的电流 I 成正比，就是说电压增大时，电流也相应成比例增大。用数学公式表示就是

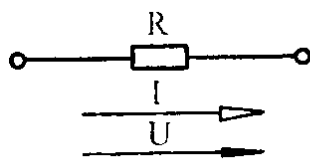


图 1—5 一段不含电源的电路

$$\frac{U}{I} = R \quad (1-2)$$

式中的比例常数 R 是一个表示该段电路特性而与电压、电流大小无关的物理量。由式（1—2）还可以看出，对不同电路来说，若所加电压为同一电压时，电路 R 越大，则电流越小。就是说，电路的 R 具有对电流产生阻碍作用的物理性质。它就是电工中经常讲到的电阻。

一段电路中的电流强度跟这段电路上的电压成正比，跟这段电路的电阻成反比。用公式表示为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-3)$$

这就是一段电路或称部分电路中电压、电流和电阻的关系，称为部分电路的欧姆定律。根据这个定律，电压、电流和电阻三个物理量中知道任意两个，就可以求出第三个。当电流的单位为安培、电压的单位为伏特时，电阻的单位为欧姆，简称为欧，记作 Ω 。当电路两端电压为 1 伏，通过的电流为 1 安时，则该段电路的电阻为 1 欧。计量高值电阻时，则用千

欧($\kappa\Omega$)、兆欧($M\Omega$)为单位。

$$1 \text{ 千欧}(\kappa\Omega) = 10^3 \text{ 欧}(\Omega) = 1000 \text{ 欧}(\Omega)$$

$$1 \text{ 兆欧}(M\Omega) = 10^6 \text{ 欧}(\Omega) = 1000000 \text{ 欧}(\Omega)$$

〔例 1—1〕220伏、40瓦电灯泡点燃时,通过灯丝的电流是0.182安,求灯丝的热态电阻。

$$\text{解: } R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.182} = 1210(\Omega)$$

即灯丝的热态电阻为1210欧姆。

〔例 1—2〕某工厂采用“伏安法”检验成批生产的电动机绕组的电阻值是否合格:将稳定的直流电压加在绕组两端,测量出通过绕组的电流值。如电流值间有偏差,则说明电阻值间有偏差。某个规格电机的绕组电阻值应为1.47欧,检验测量用电压为2伏,分别检测3台电机,第一台电流为1.31安,第二台电流为1.36安,第三台电流为1.41安,问其绕组电阻是否合乎要求?

$$\text{解: } I = \frac{U}{R} = \frac{2}{1.47} = 1.36(A)$$

当电阻值恰为1.47欧时,电流应为1.36安。第一台电流 $1.31A < 1.36A$,说明电阻偏大;第三台电流 $1.41A > 1.36A$,说明电阻偏小,均不合要求。唯有第二台合乎要求。

二、完整电路的欧姆定律

图 1—6 表示一个只含有一个电源的最简单的完整电路。电源 E 内部也存在一定的电阻,称为内电阻,用 $r_{\text{内}}$ 表示。为便于分析,将 $r_{\text{内}}$ 画在电源外面。

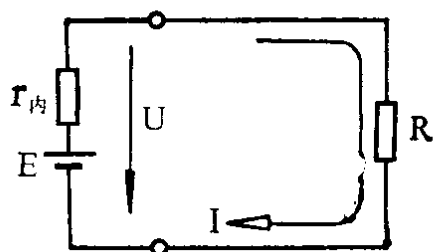


图 1—6 含有一个电源的简单的完整电路

前面提到过：完整的电路中，电位升高的数值，亦即电动势的大小，等于电路中电压降落的数值。如果用 U 表示电阻 R 上的电压降， $U_{\text{内}}$ 表示内电阻 $r_{\text{内}}$ 上的电压降，则电源电动势

$$E = IR + Ir_{\text{内}} \quad (1-4)$$

从而

$$I = \frac{E}{R + r_{\text{内}}} \quad (1-5)$$

上式表明，在包含有电源在内的完整电路中的电流的大小，与电路中电源电动势的大小成正比，而与电路中全部电阻值（包括外电路电阻及内电阻）成反比。这就是完整电路的欧姆定律，又称为全电路欧姆定律。

在通常情况下，电源电动势 E 及内电阻 $r_{\text{内}}$ 都可以认为是不变的，而且与外电阻 R 相比， $r_{\text{内}}$ 是很小的。因而电路中电流大小主要受 R 变化的影响。

当电路开路时，没有电流， $I = 0$ ， $Ir_{\text{内}} = 0$ ，此时外电路电压 $U = IR = E$ ，就是说，开路时电源两端电压等于电源电动势。通常情况下 R 比 $r_{\text{内}}$ 大得多，电流在电源内部造成的压降 $Ir_{\text{内}}$ 与外电路电压 U 相比小得多，因而外电路端电压很接近电源电动势。

当电源被电阻小得可以忽略不计的导体短接时，外电阻 $R = 0$ ，外电路端电压 $U = 0$ ，电源被短路，电源电动势 E 全部加在内电阻 $r_{\text{内}}$ 上。此时的电流 $I = \frac{E}{r_{\text{内}}}$ 称为短路电流。由于 $r_{\text{内}}$ 很小，短路电流甚大，足以损坏电源。因此，使用电气设备时，一定要注意避免发生短路事故。

〔例 1—3〕有一直流发电机，端电压 $U = 220$ 伏，内

电阻 $r_{\text{内}} = 0.214$ 欧。当发出电流为 5 安时，其电动势 E 及负载电阻 R 各为多少？

解： $E = U + Ir_{\text{内}} = 220 + 0.214 \times 5 = 221 \text{ (V)}$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{221}{5} = 44.2 \text{ (}\Omega\text{)}$$

即此发电机电动势为 221 伏，负载电阻 R 为 44.2 欧姆。

三、电阻

通俗地说，电阻就是电流在流动时受到的阻力。

任何导体都有电阻。研究表明，电路的电阻是由该电路的导电材料的物理性质和几何尺寸决定的。导线越长，电阻越大；导线的截面积越大，电阻越小。对材质均匀、截面 S 一致、长度为 L 的导线来讲，其电阻可表示为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-6)$$

式中 ρ 称为电阻率，表示导线材料对电流具有阻力的程度。当电阻单位为欧 (Ω)，截面积单位为平方毫米 (mm^2)，长度单位为米 (m) 时，电阻率单位为 $\frac{\text{欧} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}} \left(\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right)$ 。电

阻率在数值上等于长度为 1 米、截面为 1 平方毫米的材料的欧姆值。

表 1—1 列出 20°C 时几种导电材料的电阻率。

金属及一些合金的电阻率都不大，大都在 $1 \text{ 欧} \cdot \text{毫米}^2/\text{米}$ 以下，称为导体。有一些物质的电阻率介于 $10 \sim 10^{12} \text{ 欧} \cdot \text{毫米}^2/\text{米}$ 之间，称为半导体。比半导体电阻率更大的则称为绝缘体。如有机玻璃（聚氯乙烯）的电阻率在 $10^{17} \sim 10^{19} \text{ 欧} \cdot \text{毫米}^2/\text{米}$ 之间，硬橡胶电阻率在 $10^{20} \sim 10^{22} \text{ 欧} \cdot \text{毫米}^2/\text{米}$ 之间，变

表 1—1 几种材料的电阻率和电阻温度系数

材料名称	电阻率 $\rho(20^{\circ}\text{C})(\Omega\cdot\text{mm}/\text{m})$	电阻温度系数 α ($0\sim 100^{\circ}\text{C}$)($1/^{\circ}\text{C}$)
银	0.0165	0.0036
铜	0.0175	0.004
铝	0.0283	0.004
铁	0.09—0.15	0.006
钢	0.13—0.25	0.006
锰 铜	0.42	0.000005
康 铜	0.44	0.000005
镍 铬 铁	1.0	0.00013
铝 铬 铁	1.2	0.00008
碳	10.0	-0.0005

压器油的电阻率为 $10^{16}\sim 10^{19}$ 欧·毫米²/米，干燥木材的电阻率可达 $10^{12}\sim 10^{13}$ 欧·毫米²/米。需要指出的是，平时所讲的绝缘体并非绝对不导电，只是在一定条件下所能通过的电流达到可以忽略的程度而已。

实践证明，导体的电阻值还随温度的不同而有所变动。通常认为在 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 范围内，导体电阻的变动与温度变动成正比。若用 R_1 和 R_2 分别表示温度为 t_1 和 t_2 时的电阻，则

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha(t_2 - t_1) \tag{1-7}$$

或 $R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \tag{1-8}$

式中 α 称为电阻温度系数，等于温度变动 1°C 时电阻值变动的百分数。事实上，电阻温度系数也随温度的不同而略有变化。表 1—1 列出了一些材料在 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 范围内的平均