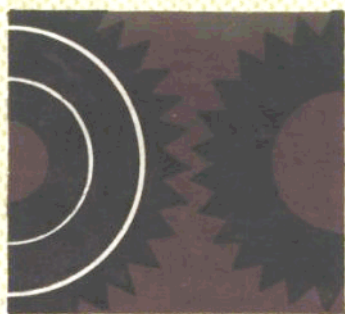


# 印刷电工基础知识

专业基础



印刷工业出版社

## 出版说明

一、这套印刷技工学校专业课教材共二十三册。是文化部出版事业管理局印刷技工学校专业教材编审委员会组织有关院校、科研单位、印刷厂的专业人员编写的。经文化部批准作为印刷技工学校平制、平印、凸制、凸印、装订五个专业和印刷厂对在职职工进行技术教育的专业课试用教材。也是在职职工自学的主要参考读物。

二、印刷技工学校专业教材编审委员会由陆振声、谢增凯、周贵、孟昭恒、丁之行、左立民、钱春年同志组成。

三、这本教材的组织工作委请湖北省出版总社负责主持，杜功顺、张经家、吴敦政同志编写，由徐燕清同志审校。

四、编写印刷技工学校教材，我们还缺乏经验，会有缺点和错误，希望通过教学实践，提供宝贵意见，使其不断完善。

印刷技工学校专业教材编审委员会

# 目 录

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 绪论                  | (1)   |
| 第一章 电工基本知识          | (3)   |
| 第一节 电的基础知识          | (3)   |
| 第二节 电工测量仪表          | (50)  |
| 第三节 常用电工材料          | (61)  |
| 第四节 安全用电            | (89)  |
| 第二章 变压器的基本性能和使用     | (97)  |
| 第一节 变压器的工作原理        | (97)  |
| 第二节 变压器的连接          | (109) |
| 第三节 变压器的使用          | (113) |
| 第三章 电动机的基本性能和使用     | (120) |
| 第一节 交流电动机的结构和原理     | (120) |
| 第二节 直流电动机的结构和原理     | (139) |
| 第三节 印刷机械中电动机的种类     | (150) |
| 第四节 电动机的铭牌、使用与维护    | (167) |
| 第四章 半导体元件与基本电路      | (177) |
| 第一节 半导体二、三极管和稳压管    | (177) |
| 第二节 负反馈放大器          | (201) |
| 第三节 电子整流电路          | (212) |
| 第四节 开关电路            | (233) |
| 第五节 集成电路            | (239) |
| 第五章 印刷机械常用控制电器与控制线路 | (259) |
| 第一节 印刷机械中常用的开关和接触器  | (259) |

|     |                     |       |
|-----|---------------------|-------|
| 第二节 | 印刷机械中常用的继电器·····    | (271) |
| 第三节 | 印刷机械中常用的控制电路·····   | (281) |
| 第六章 | 印刷机械电气控制装置·····     | (301) |
| 第一节 | 吊式制版照相机电气传动电路·····  | (301) |
| 第二节 | 调速烘版机电气传动电路·····    | (318) |
| 第三节 | 铅版在电镀槽中的升降自动控制····· | (323) |
| 第四节 | 胶印打样机的电气传动·····     | (329) |
| 第五节 | 双色胶印机控制电路·····      | (332) |
| 第六节 | 骑马联动订书机控制电路·····    | (348) |

## 绪 论

在现代日常生活中，几乎到处都要用电，如照明用的电灯，通讯用的电话和电报，还有无线电、电风扇、电视机、电冰箱等，都是我们十分熟悉的电器。至于工业、农业及国民经济的其它各个部门，电能的应用更是愈来愈广泛。四个现代化的实现离不开电力工业的迅速发展，电力工业是发展国民经济的先行官。

印刷工业是我国社会主义工业中的一个重要组成部分。书刊、地图等印刷工业，作为党的宣传工具和社会主义文化事业的组成部分，在实现四个现代化的伟大建设事业中，肩负着极其光荣而艰巨的任务。为此，必须努力发展印刷工业，加快实现印刷现代化的步伐，以适应四化建设的需要。

实践表明，“印刷电工”是印刷生产中极为重要的一个方面。电是印刷工业的主要动力，没有电就无法开动机器。印刷技术现代化的特征之一，就是印刷生产过程的自动化。只有实现了印刷工业的高度自动化，才能迅速增加产品、提高质量、减低成本，才能有高速度、高效率。因此广泛实现印刷机械的自动化、进一步提高印刷生产过程的自动化程度，已成为实现印刷工业现代化的重要措施之一。但要实现印刷技术的现代化，必然要使用更多、更先进的电器设备，而这些电器设备都是离不开电能作用的。例如，现代的制版照相均采用电气控制，所需电器设备较多，诸如对光时镜头与画稿架的前后移动，镜头的上下左右移动，画稿架的上下左右移动及角度的转动，滤色片的选择，补白光、电光源的触发与曝光时间的控制等，均需要各种类型的电动机来带动和各种各样的电器元件来控制电路，从而使机器运转自如。印刷机

更是种类繁多，型号、规格多样，目前国内外制造的自动胶印机，它的给纸、湿润、匀墨、收纸等过程全系自动化，操作大部分采用电按钮操纵，进纸、着墨、压印、记数等机构之间均有联动装置，还有调速、鼓风、输油、升降、自动停车等一系列设备。总之，印刷机械的电气传动、电气控制、自动调速、电热烘版和照相制版的光源等等，既不能没有电，也不能离开先进的电器设备和测试手段。由此可见，电与印刷的关系是何等重要，各种电器设备在现代印刷工业中是多么需要。

印刷生产过程的自动化，必将使广大印刷技术工人更多地接触和使用电与电气设备，也必然对掌握印刷电工知识的要求越来越高，为此，编写这本“印刷电工基础知识”，着意帮助读者掌握必要的电工基础知识和常用的电工仪表及电工材料；初步具备判读印刷机械的电气原理图和了解印刷机械中电器设备的功用，以便较好地使用现有的印刷机械，使之正常运转；并对常见的电路和电器故障有一定的分析能力，在熟练使用的基础上，进而能维修它、改革它，为创造自动化程度更高的新颖印刷机械而贡献力量。

# 第一章 电工基本知识

## 第一节 电的基础知识

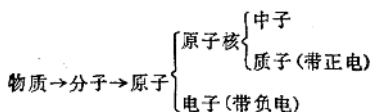
### 一、静 电

1. 物质结构与电荷的产生：宇宙中一切物质都是由许许多多的分子组成的。分子是一种能够单独存在并保持了物质原有性质的最小颗粒。

各种分子又是由一些更小的微粒所组成，这就是原子。一般地讲，原子的性质和原来物质的性质没有相同之处了。

原子还可以继续分裂为一个原子核和一定数量的电子。原子核带正电，电子带负电。电子按一定轨道绕着原子核不停地运动，并且受到原子核的束缚。

原子核又是由中子和质子组成（氢原子除外），中子不带电，质子带有正电荷，为便于记忆可把物质组成概括如下。



在正常情况下，由于原子核所带的正电荷与电子所带的负电荷相等，所以原子对外界不呈现带电的性质，这叫做中和（或中性）状态。当物体由于某种外力作用（如摩擦）失掉电子或得到电子，物体内正负电荷就不相等了，于是物体呈现带电现象。失掉电

子就带正电，获得电子就带负电。

电荷是一种客观存在的物质，既不能创造，也不能消失，只能从一个物质转移到另一个物质，这叫电荷守恒。

正电荷与负电荷有同性相斥，异性相吸的特性。不同的物质有不同的原子，它们所具有的电子数目也是不一样的。

一个带电体所带电荷的多少，可以用电子数目来表示，但在实用上因单位太小不方便，常以“库伦”作为衡量电量大小的单位，用符号“C”表示。1 库伦约等于  $6.24 \times 10^{18}$  个电子电荷。

当电荷积聚不动时称为静电，如果电荷处于运动状态就称为动电。

**2. 电场与电场强度：**在带电体周围具有电力作用的空间叫电场，凡有电荷存在的地方，电荷周围就有电场。不随时间而变化的静止电荷的电场叫静电场。

电荷和电场是一个不可分割的整体，只要有电荷存在，在它周围的空間里就有一定的电场存在。如果同时有许多电荷存在，那么因为每个电荷都有它自己的电场，所以在整个空間里就同时存在许多电场，它们迭加在一起形成一个比较复杂的合电场。

电场的方向可用电力线表示。每根电力线都从正电荷出发，到负电荷为止，任何两根电力线不可能相交，只能在电荷上相交，图1—1为两平行极板间的电场。图1—2表示带有等量正电荷的电场和带有等量异性电荷的电场。

电场对电荷有力的作用是电场特性的一种表现，为了表示这种特性的强弱，我们引入一个新的物理量——电场强度。

实验证明，在电场中不同点所受到的电场力  $F$  的大小和方向都是不同的，这就是说电场各处的性质或者说电场中各点的电场强度是不同的；对电场中任一确定的点，电场力  $F$  与电荷电量  $q$  的比值总是一个恒量；对电场中不同的点来讲，电场力  $F$  与电荷电量  $q$  的比值是不同的。由此可知，比值  $F/q$  是一个只

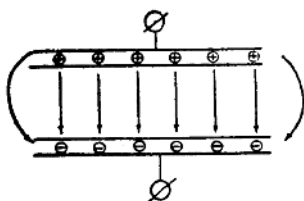


图 1—1 两平行极板间的电场

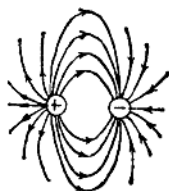
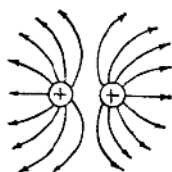


图 1—2 带等量正电荷和带等量异性电荷的电场

与电场性质有关，而与电荷电量无关的量，可以用来度量电场强度。其公式为：

$$E = \frac{F}{q} \quad (1-1)$$

此公式通常采用单位制，即力的单位为牛顿（公斤·米/秒<sup>2</sup>），电量单位为库伦（安培·秒），电场强度单位则是  $E = \frac{\text{牛顿}}{\text{库伦}} = \frac{\text{焦耳}}{\text{库伦} \cdot \text{米}}$ 。

电场强度是一个矢量，这矢量的方向与电场力方向相重合。也就是说，电场中某一地点的电场强度等于放在那一地点的具体单位电量的正电荷所受到的电场力。负电荷所受到的电场力与电场强度的方向相反。

## 二、直流电路

1. 电流：电荷有规则的定向移动，就称为电流。正电荷运动的方向规定为电流的方向。

一般地说，要想产生电流，必须具备两个条件，一是要有运动着的电荷，二是要有能使电荷作定向运动的电场。

电流的大小用电流强度来度量，简称为电流，用“ $I$ ”表示。

电流强度在数值上等于一秒钟内通过导体横截面的电荷所带电量  
的大小。用公式表示。即：

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中  $I$ —电流强度，单位是安培(简称安，或用符号  $A$  表示)。

$Q$ —电量，单位是库伦。

$t$ —时间，单位是秒。

如果在一秒钟内通过导体横截面的电荷的电量为 1 库伦 (即  $6.25 \times 10^{18}$  个电子的带电量)，我们说此时导线中通过的电流为 1 安培 ( $A$ )。有些电路中电流很小，常用毫安 ( $mA$ ) 或微安 ( $\mu A$ ) 来计量，其换算关系是：

$$1 \text{ 安培}(A) = 1000 \text{ 毫安}(mA)$$

$$1 \text{ 毫安}(mA) = 1000 \text{ 微安}(\mu A)$$

如果通过导体横截面上电流的方向和大小不随时间的变化而变化，这种电流叫恒定电流，或叫直流电流。

2. 电路：电路就是能使电流流通的闭合回路。它是由电源、导线和负荷(也称负载)等组成。图1—3就是一个最简单的电路。

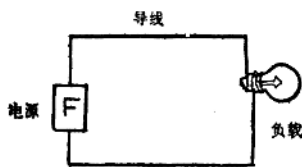


图 1—3 简单电路

电源：是产生电能的设备，如发电机、蓄电池等。

负荷：是消耗电能的地方，即电源做功的地方，如

灯泡、电炉、电动机，变压器等。

导线：也叫电线，用来连接电源和负荷，把电源的电能输送给负荷。常用的是铝线和铜线。

电路中一般都装有开关等设备，这样可以根据需要随时接通电路或切断电路。电路只有当接通时才有电流存在。

电路上的电源和各种电器以及它们的连接方法，都可以用简单的符号（见符号说明）和电路图来表示。电路图有两种，一种为电气接线图（又称电气安装图），图中画出有关电气设备的实物结构、装置情况以及连接导线的布置等，供安装时使用。另一种为电气原理图（又叫电气线路图），所有电气设备都用符号表示，并按各个电气设备的实际运行状态，将它们用线条连接起来。图 1—4 就是简单的电气原理图，它与图 1—3 所画的是同一个电

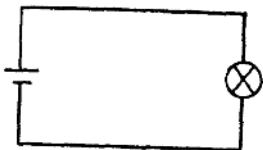


图 1—4 电气原理图

路。由于电气原理图比较简单明瞭，所以应用很普遍。一般地说，能掌握电气原理图就可以了，但要记熟电气原理图中的常用符号，这样便容易看懂或能自己绘制各种电气原理图。

为使研究电路方便，可以把电路看成由外电路和内电路两部分组成。

外电路：由电源引出端至返回端，即负荷、导线、仪表所组成的部分电路。

内电路：电源内部的电路。

电路中如果发生中断现象，称为断路，也叫开路。

电流必须在外电路是闭合回路时才能通过，电流在外电路被认为是从电源的正极流向负极，而在电源内部则相反，是由电源的负极流向正极。

### 3. 电压：

① 电位差与电动势：电路中任意两点的电位差，称为电压，用符号“ $U$ ”表示。

两个物体电位高低的不同称为电位差。当电压加在电路两端时，导体中的自由电荷便在高、低电位的作用下进行有规则的移动而形成电流。因此，电压是促进电路中产生电流的直接外因。

电源的两个极具有不同的电位，正极的电位高、负极的电位低。如将电源的两极接到电路的两端上去，即在电路两端加上电压，电路中就有电流通过。

电源中因其它形式的能量转换为电能所引起的电位差，叫做电动势，简称电势，用符号“ $E$ ”表示。由于电源内部电流的方向是从负极流向正极，因此电动势的正方向是从负极指向正极，即电位升高的方向。

②电位、电压、电动势的区别与单位：电位、电压、电动势三者有着密切的联系，但它们所指的意义是不同的。

电位：电位的数值与高度一样，不是绝对的而是相对的，它与零电位的选择有关。高于零电位的电位是正电位，低于零电位的电位是负电位。通常把大地作为标准，将此电位定为零。

电压：电压是电路中任意两点间的电位差，它与零电位的选择无关。电压的正方向是从正极指向负极。

电动势：电动势是电源两极间的电位差。它的正方向是从负极指向正极，即电位升高的方向。

电位、电压、电动势的单位，都是伏特，简称伏，用“ $V$ ”表示。高压可用千伏( $KV$ )表示，小电压可用毫伏( $mV$ )表示。其换算关系是：

$$1 \text{ 千伏}(KV) = 1000 \text{ 伏}(V)$$

$$1 \text{ 伏}(V) = 1000 \text{ 毫伏}(mV)$$

电动势与电压的大小可用电压表来测量。当电路断开时，电势在数量上等于电源两端的电压。

4. 电阻、电阻率与电阻温度系数：导体对电流通过时所呈现的阻力，称为导体的电阻，用符号“ $R$ ”表示。电阻的基本单位为欧姆，用符号“ $\Omega$ ”表示。较大的单位为千欧( $K\Omega$ )和兆欧( $M\Omega$ )，它们的换算关系是：

$$1 \text{ 兆欧}(M\Omega) = 1000 \text{ 千欧}(K\Omega)$$

$$1 \text{ 千欧}(K\Omega) = 1000 \text{ 欧}(\Omega)$$

对一定材料的导体，其电阻大小与导体长度 ( $l$ ) 成正比，与导体横截面积 ( $s$ ) 成反比，这个关系称为电阻定律，即：

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (1-3)$$

式中  $\rho$  是比例常数，叫做导体的电阻率。不同材料的导体，其  $\rho$  值不一样，它反映着不同材料各自的导电性能。电阻率愈小，导电性能愈好。其单位为欧姆·毫米<sup>2</sup>/米 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )。若导体长度  $l$  单位为米，横截面积  $s$  单位为平方毫米，则电阻单位为 1 个欧姆。

电阻的倒数叫做电导，它表示导体通过电流的能力。为了计算方便，常用电导来表示电阻值。电导的符号用“ $G$ ”表示，其单位用 1/欧姆或姆欧，即：

$$G = 1/R \quad (1-4)$$

导体的电阻大小与温度有关，可用下式表示：

$$R_t = R_0[1 + d(t_1 - t_0)] \quad (1-5)$$

式中  $R_0$  是对应温度  $t_0$  时的电阻值， $R_t$  是对应  $t_1$  时的电阻值。 $d$  叫做材料的电阻温度系数，它取决于导体的材料，不同材料的导体， $d$  的大小也不同。其大小表示温度每升高一度时，电阻值增加的百分数，单位为  $1/^\circ\text{C}$ 。现将几种常用材料的平均电阻温度系数列于表 1—1 中，以供参考。

## 5. 电路的基本定律

①部分电路欧姆定律：德国的物理学家欧姆研究了电路中电流、电压与电阻之间的关系，从大量的实验中得出：通过部分电路的电流  $I$  和该电路两端电压  $U$  成正比，和该电路的电阻  $R$  成反比，这就是部分电路欧姆定律的内容。其表示式为：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-6)$$

式中  $U$  的单位为伏特， $R$  的单位为欧姆， $I$  的单位就是安培。

表 1—1 常用材料的电阻率和电阻温度系数

| 用途               | 材料名称 | 电阻率 $\rho[20^{\circ}\text{C}]$<br>(欧·毫米 <sup>2</sup> /米) | 平均电阻温度系数<br>(1/ $^{\circ}\text{C}$ ) |
|------------------|------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 导<br>电<br>材<br>料 | 碳    | 10.0                                                     | -0.0005                              |
|                  | 银    | 0.0165                                                   | 0.0036                               |
|                  | 铜    | 0.0175                                                   | 0.004                                |
|                  | 铝    | 0.0283                                                   | 0.004                                |
|                  | 低碳钢  | 0.13                                                     | 0.006                                |
| 电<br>阻<br>材<br>料 | 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                              |
|                  | 铂    | 0.106                                                    | 0.00389                              |

从欧姆定律可以推得两个重要关系：

(1) 部分电路两端的电压在数值上等于通过它和电流和电阻的乘积，即：

$$U = IR \quad (1-7)$$

(2) 部分电路的电阻在数值上等于该电路两端的电压和通过它的电流的比值，即：

$$R = U/I \quad (1-8)$$

由此可见，根据欧姆定律所表示的电压、电流和电阻三者之间的相互关系，可以从两个已知的数量中求出另一个未知的数量，所以欧姆定有三种不同的形式。

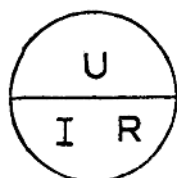


图 1—5 欧姆定律图解

图1—5可以帮助我们记忆以上公式，把手指遮住要求的数值，剩下的就是运算公式。

②全电路(闭合电路)欧姆定律：

图1—6为一闭合电路，实验证明：通过闭合电路的电流  $I$  和电路中电源的电

电动势成正比,和电路中总电阻成反比。  
这就是全电路欧姆定律的内容。用数学表达式表示为:

$$I = \frac{E}{R+r} \quad (1-9)$$

式中  $E$  为电源电动势;  $r$  为电源内阻;  $R$  为负载电阻。  
从(1-9)式可得:

$$E = IR + Ir = U + U_0 \quad (1-10)$$

(1-10)式说明: 电源电动势等于端电压  $U$  和内阻上电压降  $U_0$  之和。

从(1-10)式可得:

$$U = E - Ir \quad (1-11)$$

(1-11)式说明: 电源端电压等于电源电动势和内阻上电压降之差。由此可见, 负载电流的变化将引起端电压的波动。电源端电压因负载变化而发生波动的这种性质, 叫电源的外特性。若负载变化较大, 而端电压几乎维持不变, 称电源的外特性好或带负载的能力强。

6. 电阻的连接方式: 电阻的接连方式, 最简单和最常用的是串联和并联。

①电阻的串联连接: 两个或两个以上的电阻首尾逐个相连接起来, 称为电阻的串联连接。

图1-7是由两个电阻串联成的电路。电阻串联的特点是:

(1) 流经串联电阻的电流相等。即:

$$I = I_1 = I_2 \quad (1-12)$$

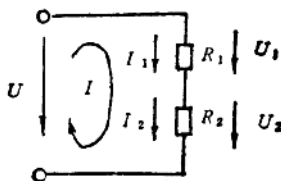


图 1-7 电阻串联

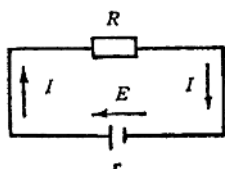


图 1-6 最基本的闭合电路

(2) 串联电路总电压等于各电阻上电压降之和。即：

$$U = U_1 + U_2 \quad (1-13)$$

(3) 串联电路的总电阻(或等效电阻)等于各串联电阻之和。  
即：

$$R = R_1 + R_2 \quad (1-14)$$

(4) 分压比：串联电阻上的电压降和本电阻值成正比。即：

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1-15)$$

式中  $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ 、 $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$  称为分压比(或分压系数)。

②电阻的并联连接：由两个或两个以上的电阻，一端连接在一起，另一端也连接在一起，称为电阻的并联连接，如图1-8所示。

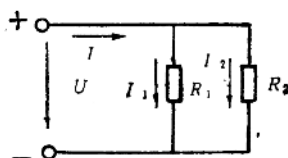


图 1-8 电阻并联

示。  $R_1$  和  $R_2$  组成并联连接法，其特点为：

(1) 并联电路中各支路的电压相等。即：

$$U = U_1 = U_2 \quad (1-16)$$

(2) 并联电路的总电流等于各支路电流之和。即：

$$I = I_1 + I_2 \quad (1-17)$$

(3) 并联电路的等效电阻(总电阻)的倒数等于各支路电阻倒数之和。即：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-18)$$

(4) 分流比：当有两个电阻并联时，每一并联支路的电流和本支路的电阻成反比。即：

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-19)$$

式中： $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 和 $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ 称为分流比。

除电阻的串联、并联外，还有电阻的混联，也就是在电路中既有串联又有并联。

### 7. 电功和电功率：

1. 电功：电流能使电动机转动，电炉发热，电灯发光等，即电流具有做功的能力。电流所做的功称为电功。电功可用下式计算：

$$A = QU = UI t \quad (1-20)$$

式中  $U$  为电压，单位是伏特； $I$  为电流，单位是安培； $t$  为时间，单位是秒； $A$  为电功，单位是焦耳(瓦特·秒)。

2. 电功率：电流所做的功和完成这些功所用时间的比值，称为电功率，它表示电流做功的快慢程度。电功率可用下式表示：

$$P = \frac{A}{t} = \frac{IU t}{t} = UI \quad (1-21)$$

式中  $P$  为电功率，单位是焦耳·秒，即瓦特，用  $W$  表示(简称瓦)。比瓦大的单位有千瓦和马力，比瓦小的单位有毫瓦和微瓦。其换算关系：

$$1 \text{ 千瓦}(KW) = 1000 \text{ 瓦}(W)$$

$$1 \text{ 毫瓦}(MW) = 1000 \text{ 微瓦}(\mu W)$$

$$1 \text{ 马力}(HP) = 735 \text{ 瓦}(W)$$

电功率还可以表示为：

$$P = IU = \frac{U^2}{R} = I^2 R \quad (1-22)$$

若已知用电设备的功率和用电时间，也可求电功，即：

$$A = Pt$$

电功的单位还有千瓦小时，称为度。亦即：

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ 千瓦小时}(KWH)$$

8. 电流的热效应：电流通过导体时会发热，这种现象称为电流的热效应。实验证明：电流通过导体时产生的热量，与电流强