



电路常用元件的识别与检测

引言

如今,芯片技术已经与一个国家的科技发展息息相关。各类智能设备都离不开芯片技术的支撑,手机、计算机等电子产品,以及先进电子系统均需大量应用芯片。那么芯片到底是什么?



IC 芯片(integrated circuit chip)是一种微型电子器件或部件,采用一定的工艺,把一个电路中所需的晶体管、二极管、电阻、电容和电感等元件及布线互连在一起,制作在一小块或几小块半导体晶片或介质基片上,然后封装在一个管壳内,成为具有所需电路功能的微型结构。其中,所有元件在结构上已组成一个整体,使电子元件向着微小型化、低功耗和高可靠性方向迈进了一大步。它在电路中用字母 IC 表示。

我国制作生产出高端芯片主要面临以下困难。

(1) 芯片设计人才匮乏。芯片制造不同于传统意义上的工业制造,它涉及一个非常大的范畴,包括众多产业,对芯片技术人员的理论和工艺水平要求非常高。不仅需要数学和物理领域的人才,同时也需要大量化学、材料、机械、电器等方面的高端人才。

(2) 我国没有高端的光刻机。在芯片更新换代的过程中离不开光刻机,因为间隙的不断缩小,不得不需要提高光刻机的精度。作为芯片雕刻电路图案的核心设备,光刻机的精度直接决定了芯片制造的精度。从目前情况来看,我国光刻机个别零件的制作生产一直无法实现突破。

总的来说,在芯片制造方面我们还有一段漫长的路要走,仍需不断努力,以实现追赶和稳健突破。

为了提升国内半导体的整体水平,国家出台了大量的相关政策,我们坚信,在国家和企业的坚持、科研人员的努力下,国内半导体技术必定能在短时间内得到一个质的提升。

在本项目我们将学习构成集成电路的电阻、电容和电感等元件,这些只是分立元件,而不是集成元件。分立元件的识别与检测既是学习本书项目2和项目3的基础,更是为后续学习集成电路做好准备。就像目前我国正处于制造业强国“三步走”的第一步一样,我们要夯实基础,厚积薄发,抱着“十年磨一剑”的决心,十年上一个新台阶,争取到建国一百年时成为全球领先的制造强国,以制造业的繁荣和强大,托起中华民族伟大复兴的“中国梦”。

任务 1.1 电路主要物理量的测量与计算

1.1.1 任务描述

在电力、自动控制、计算机等技术领域中,人们广泛使用不同电路完成各种任务。为了便于对电路进行分析和计算,我们常把实际元件近似化、理想化,用足以表征其主要特征的“模型”来表示。研究电路的基本规律,首先应掌握电路中的主要物理量。本任务是要学会对电路的主要物理量电流、电压和电功率等进行测量与计算。

1.1.2 知识准备

1. 电路与电路模型

1) 电路

电路就是由若干电器设备或元器件按一定方式用导线连接而成的电流通路。实际电路的种类很多,例如,可以提供电能的供电电路、信号放大电路、测量所用的仪表电路以及存储信息的存储电路等。其中,手电筒电路是大家所熟悉的一种用来实现照明的最简单电路,如图1-1所示。

实际电路的结构形式多种多样,繁简不一,但就其组成而言主要有以下三个部分。

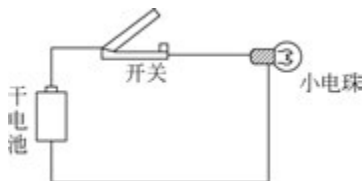


图 1-1 手电筒电路

(1) 电源(或信号源)。将其他形式的能量转换为电能的装置,如发电机、干电池、蓄电池等。

(2) 负载。取用电能的装置,通常也称为用电器,如白炽灯、电炉、电动机等。

(3) 中间环节。传输、控制电能的装置,如连接导线、变压器、开关、保护电器等。



电路与电路模型

就电路的功能而言,可以概括为以下两个方面。

① 进行能量的传输、分配与转换。例如,电力系统中的输配电线路及用户负载构成的系统。

② 实现信息的传递与处理。例如电话、手机、收音机、电视机等电子电路。

2) 电路元件

实际电路都是由一些像电池、电阻、电容等实际元件组成的,这些元件品种繁多。在工作时有的元器件会消耗电能,如各种电阻、电灯、电烙铁等;有的元器件主要用于储存磁场能量,如各种电感线圈;有的元器件会储存电场能量,如各种类型的电容;有的元器件主要用于提供电能,如电池、发电机等。对某一个元器件而言,其电磁性能并不是单一的。例如工频交流电中的电感线圈,它的主要物理特性是储存磁场能,但由于又有内阻,还要把一部分的电能转换为热能,因此它的电磁特性多元且复杂。

为了便于对电路进行分析和计算,通常对实际元器件进行科学的抽象,即在一定的条件下只考虑它的主要电磁性能,忽略其次要性能,把它近似地看成一个理想元件。例如,忽略内阻后,电池就可以看成是一个提供恒定电压的恒压源;忽略微小电感,电阻就可以看成一个理想的电阻元件。这种理想化元器件就是实际元器件的模型,简称电路元件。

常见的电路元件有电阻 R 、电感 L 、电容 C 、电压源 U_S 、电流源 I_S 等,其电路图符号如图 1-2 所示。实际的元件也可用几种电路元件的组合近似地表示。例如,电感线圈若只考虑磁场作用可用电感元件来表示;若考虑电阻的作用,则可用电阻元件和电感元件的组合来表示。同时,对电磁性能相近的元器件,也可用同一种电路元件近似地表示。例如,各种电阻、电灯、电烙铁、电熨斗等,都可用电阻元件近似地表示。

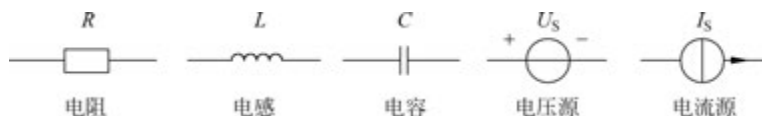


图 1-2 常见的电路元件

3) 电路模型

由理想电路元件构成的电路称为电路模型,简称电路。电路中的电路元件需用国标规定的图形符号及文字符号表示。下面本书中未加特殊说明时,我们所研究的电路均为电路模型。如图 1-1 所示的手电筒电路,其电路模型如图 1-3 所示。

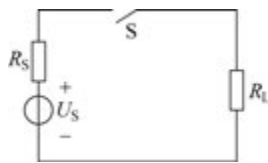


图 1-3 手电筒的电路模型

2. 电路的主要物理量

1) 电流

(1) 电流的定义。电荷有规则的定向运动就形成了电流。长期以来,人们习惯把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。电流的大小用电流强度(简称电流)来表示,电流是电路的基本物理量之一。



电路主要
物理量——
电流

工程上常见的电流有以下两种。

① 大小和方向都不随时间变化的电流称为直流电流,简称直流(DC),用 I 表示。如图 1-4(a)所示。

② 大小和方向均随时间周期性变化的电流称为周期电流。当周期电流在一个周期内的平均值为零时,这样的电流称为交变电流(交流电流),简称交流(AC),用 i 表示。如图 1-4(b)和图 1-4(c)所示。

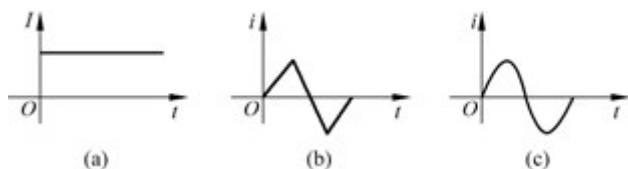


图 1-4 几种电流波形

对于直流,若在时间 t 内通过导体横截面的电荷量为 Q ,则电流为

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

对于交流,若在时间 dt 内通过导体横截面的电荷量为 dq ,则电流的瞬时值为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

在国际单位制中,电流的单位是 A(安培),简称安。当电流很小时,常用单位为毫安(mA)、微安(μA);当电流很大时,常用单位为千安(kA)。它们之间的换算关系为

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

(2) 电流的参考方向。在如图 1-5 所示的简单电路中,根据电源的正负极性可以很容易地判断出电流的实际方向。在外电路中,电流由电源正极流经负载到达电源的负极;而在电源的内电路中,电流由电源的负极经过电源的内部到达正极。但在较为复杂的电路中,例如,如图 1-6 所示的桥式电路,当电桥处于不平衡状态时,电阻 R_5 中电流的实际方向究竟是从 a 流向 b 还是从 b 流向 a,有时难以判定。

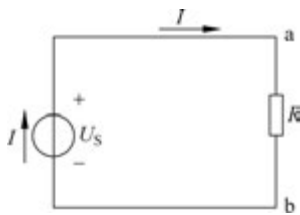


图 1-5 简单电路

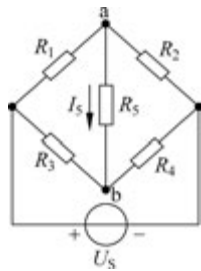


图 1-6 复杂电路

为了分析、计算的需要,引入了电流的参考方向。

在电路分析中,任意选定一个方向作为电流的方向,这个方向就称为电流的参考方向,简称正方向,如图 1-6 中用实线表示的 I_5 。当电流的参考方向与实际方向相同时,电流为正值;若电流的参考方向与实际方向相反,则电流为负值。分析电路时首先假设电

流的参考方向(任意假设),然后根据假设的参考方向进行计算,最后根据计算结果判断电流的实际方向。若计算结果为正,说明电流的参考方向与实际方向一致;否则相反。如图 1-6 所示的电路中,若计算结果 $I_5 = -2\text{A}$,说明 R_5 中电流的实际方向是从 b 流向 a。

电流的参考方向一般用实线箭头表示,见图 1-7(a);也可以用双下标表示,见图 1-7(b),其中, I_{ab} 表示电流的参考方向是由 a 点流向 b 点。

参考方向是在分析计算电路时会用到的重要概念。在未设定参考方向的情况下,研究电流的正负值是没有意义的。因此,在电路中有了电流的参考方向,再结合计算结果就可以确定出各个支路电流的实际方向。没有特殊说明时,以后图中表示的电流方向都是指参考方向。

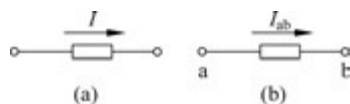


图 1-7 电流参考方向的表示方法

2) 电压

(1) 电压的定义。在电路中经常用到的另一个基本物理量是电压,也就是电位差,用 U 表示,它是衡量电场力做功的一个物理量。

电路中 a、b 两点间电压,在数值上等于将单位正电荷从电路中 a 点移到电路中 b 点时电场力所做的功,用 U_{ab} 表示,即

$$U_{ab} = \frac{d\omega_{ab}}{dq} \quad (1-3)$$

式(1-3)中 $d\omega_{ab}$ 为电场力把正电荷 dq 从电路中 a 点移到电路中 b 点时所做的功。

大小和方向都不随时间变化的电压称为恒定电压,简称直流电压,用大写字母 U 表示。a、b 两点间的直流电压为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-4)$$

式(1-4)中 W_{ab} 为电场力把正电荷 Q 从电路中 a 点移到电路中 b 点时所做的功。

电压的单位为伏特(V),常用的单位为千伏(kV)、毫伏(mV)。它们之间的换算关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} = 10^6\text{mV}$$

(2) 电压的实际方向。电压的实际方向规定为从正极指向负极,或者说从高电位端指向低电位端。

(3) 电压的参考方向。与电流一样,分析计算电路时也要预先假设电压的参考方向。同样,所假设的参考方向并不一定就是电压的实际方向。当电压的参考方向与实际方向相同时,电压为正值;当电压的参考方向与实际方向相反时,电压为负值。这样,根据电压的计算结果结合参考方向就可以判断出电压的实际方向。

电压的参考方向有 3 种表示方式:①用实线箭头表示,如图 1-8(a);②用正(+)、负(-)极性表示,如图 1-8(b),正极性指向负极性的方向就是电压的参考方向;③用双下标表示,如图 1-8(c),其中, U_{ab} 表示 a、b 两点间的电压参考方向由 a 指向 b。

进行电路分析时,对于一个元件来讲,电压参考方向与电流参考方向的选择是相互独立的,可以任意选取。为了方便计算,通常取关联的参考方向。如果电流的参考方向与电



电路主要
物理量—
电压

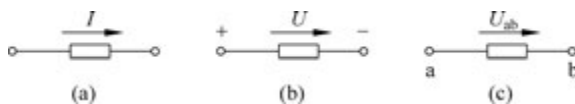


图 1-8 电压参考方向的表示方法

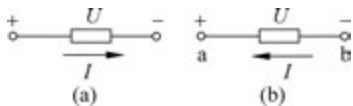


图 1-9 电压、电流的参考方向

压的参考方向一致,则称为关联的参考方向,如图 1-9(a)所示;如果电流的参考方向与电压的参考方向不一致,则称为非关联的参考方向,如图 1-9(b)所示。

3) 电功率

计算电路时常常将电功率简称为功率,它是描述传送电能速率的一个物理量。若用 p 表示功率, W 表示电能,则有:

$$p = \frac{dW}{dt} = ui \quad (1-5)$$

功率的单位为瓦特(W),常用的还有千瓦(kW)和毫瓦(mW)。在实际电路中,照明灯泡的功率一般为几十瓦至几百瓦,动力设备如电动机则多用千瓦表示。电能的单位是焦耳(J),工程中电能常用“度”作单位,它是千瓦小时(kWh)的总称。

在电路中,有的元件需要消耗(或吸收)功率,有的元件会提供(或发出)功率。那么,该如何确定呢?在进行电路分析时,通常根据电压和电流的参考方向先计算出功率,然后根据功率的正负确定元件是吸收功率还是发出功率。

在直流电路中,当电压与电流的参考方向是关联的方向时(图 1-10(a)):

$$P = +UI \quad (1-6)$$

当电压与电流的参考方向是非关联方向时(图 1-10(b)):

$$P = -UI \quad (1-7)$$

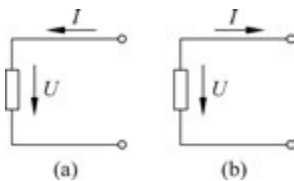


图 1-10 电路功率的计算

若计算结果 $P > 0$,表明该元件吸收(或消耗)功率;若 $P < 0$,表明该元件发出(或提供)功率。

【例 1-1】 如图 1-11 所示,用方框代表某一电路元件,其电压、电流如图中所示,求其中各元件的功率,并说明该元件实际上是吸收还是发出功率?

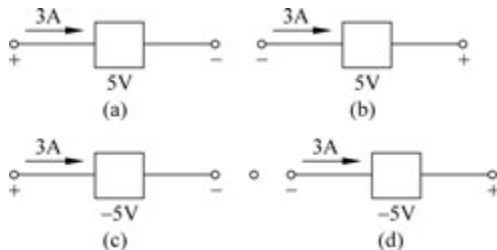


图 1-11 例 1-1 电路

解: (1) 电压、电流的参考方向关联,元件的功率为

$$P = UI = 5 \times 3 = 15\text{W} > 0$$



电路的主要
物理量—
电功率

故元件实际是吸收功率。

(2) 电压、电流的参考方向非关联,元件的功率为

$$P = -UI = -5 \times 3 = -15\text{W} < 0$$

故元件实际是发出功率。

(3) 电压、电流的参考方向关联,元件的功率

$$P = UI = (-5) \times 3 = -15\text{W} < 0$$

故元件实际是发出功率。

(4) 电压、电流的参考方向非关联,元件的功率

$$P = -UI = -(-5) \times 3 = 15\text{W} > 0$$

故元件实际是吸收功率。

通常家用电器(如节能灯、电炉等)铭牌上都标明了它的额定电流、额定电压和额定功率等一些额定值,它表示用电器长期工作时所允许的最大值。例如,一只灯泡上标明“220V,40W”,说明这只灯泡接220V电压,消耗功率是40W,工作在额定状态,即满载状态。若所接电压超过220V,功率也会超过40W,灯泡就会烧坏,这种状态称为过载;若所接电压小于220V,功率也会低于40W,灯泡就会发暗,不能正常工作,这种状态称为轻载。所以用电器在实际使用时一定要工作在额定状态,这时它才能正常工作,使用寿命才会最长。

1.1.3 任务实施

1. 电流和电压的测量

在电工电子实验台上连接如图1-12所示电路,其中 $U_S = 12\text{V}$, $R_1 = 220\Omega$, $R_2 = 510\Omega$,用实验台上的直流电流表和直流电压表分别测量该电路中的电流 I 和两个电阻电压 U_1 和 U_2 ,并将数据填入表1-1。

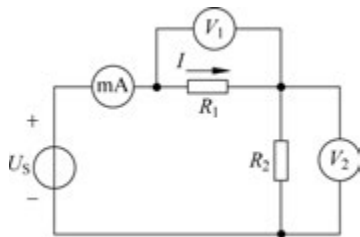


图 1-12 物理量的测量实验电路图

表 1-1 物理量的测量数据

物理量	I/mA	U_1/V	U_2/V
测量值			

2. 电功率的计算

用电功率的计算公式 $P = +UI$ 计算电阻 R_1 和 R_2 的电功率 P_1 和 P_2 ,用公式 $P = -UI$ 计算电源 U_S 的电功率 P_{U_S} ,并将结果记录至表1-2中。由 $\Delta P = P_1 + P_2 + P_{U_S}$ 的值判定电路是否满足能量守恒定律。

表 1-2 物理量的计算数据

P_1	P_2	P_{U_S}	ΔP

1.1.4 知识拓展

1. 电位

在电工技术中,通常使用电压的概念,而在电子技术中,则通常用到电位的概念。电压与电位是紧密相连的,引入电位可以简化计算和电路画法。在电路中某一点的电位等于这一点与参考点之间的电压降。因此,提到某点电位,必须首先选定参考点,规定参考点的电位为零,用符号 $\perp$ 表示(也叫零参考点或接地点)。参考点的位置原则上可以任意选择,但为了方便,在电力工程上一般选择大地作为参考点,在电子电路中常选各相关部分的公共点(或接机壳点)作为参考点。例如,假设参考点为 o ,则 a 点电位表示为

$$V_a = U_{ao} \quad (1-8)$$

如果 a 、 b 两点电位分别为 V_a 、 V_b ,则 a 、 b 两点间的电压也等于这两点之间的电位差:

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-9)$$

若 $U_{ab} > 0$,说明 a 点的电位高于 b 点的电位; $U_{ab} < 0$,说明 a 点的电位低于 b 点的电位; $U_{ab} = 0$ 说明 a 、 b 两点的电位相等(也叫等电位)。

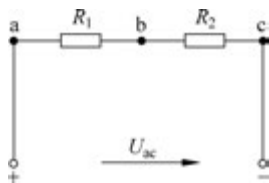


图 1-13 例 1-2 电路

【例 1-2】如图 1-13 所示,已知 $U_{ab} = 3V$, $U_{ac} = 5V$,试分别以 a 点和 c 点作为参考点,求 b 点的电位和 b 、 c 两点之间的电压。

解: (1) 以 a 点为参考点,则 $V_a = 0$ 。已知 $U_{ab} = 3V$,即

$$U_{ab} = V_a - V_b = 3V$$

$$\therefore V_b = V_a - 3 = 0 - 3 = -3V$$

已知 $U_{ac} = 5V$,即

$$U_{ac} = V_a - V_c = 5V$$

$$\therefore V_c = V_a - 5 = 0 - 5 = -5V$$

则 b 、 c 两点之间的电压

$$U_{bc} = V_b - V_c = -3 - (-5) = 2V$$

(2) 以 c 点为参考点,则 $V_c = 0$ 。已知 $U_{ac} = 5V$,即

$$U_{ac} = V_a - V_c = 5V$$

$$\therefore V_a = V_c + 5 = 0 + 5 = 5V$$

已知 $U_{ab} = 3V$,即

$$U_{ab} = V_a - V_b = 3V$$

$$\therefore V_b = V_a - 3 = 5 - 3 = 2V$$

则 b 、 c 两点之间的电压为

$$U_{bc} = V_b - V_c = 2 - 0 = 2V$$

从例题可以看出,在同一个电路中,电位有高有低,有正有负,比参考点高的点的电位为正,比参考点低的点的电位为负;电位的大小与参考点的选择有关,不同参考点的电位也不相同;不论参考点如何变化,两点之间的电位差(即电压)不会改变,也就是电压与参考点的选择无关,即电位是相对的,而电压是绝对的。

2. 电动势

如图 1-14 所示电路中,电场力做功使电路中有电流通过,为了维持电路中有持续不断的电流通过,在电源内部,电源力(非电场力)将单位正电荷由负极 b 移到正极 a 所做的功定义为电动势,用 E 表示,即

$$E = \frac{dW}{dq} \quad (1-10)$$

单位与电压一样,也是伏特(简称 V)。

电动势的方向规定为从负极指向正极。显然,在电源两端,表示电压的方向与表示电动势的方向正好相反。如果电流流过电源内部没有能量损耗,则电源的端电压 U 的数值等于电动势 E 。由于电动势的实际方向在很多情况下是已知的,因此在这里不再作过多研究。

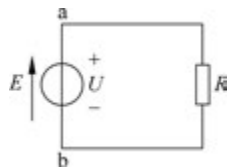


图 1-14 电动势

任务 1.2 电阻的识别与检测

1.2.1 任务描述

电阻,学名为电阻器,是所有电子电路中使用最多的元件。电阻的种类很多,在电路中的作用也很多,比如用作分压器、分流器和负载电阻等。本任务主要是识别和检测电阻。

1.2.2 知识准备

1. 电阻的分类与型号

1) 电阻的分类

电阻的种类较多,按阻值是否可调分为固定电阻和可调电阻(也叫电位器),其中固定电阻按制作的材料不同,又可分为绕线电阻和非绕线电阻两大类。非绕线电阻因制造材料的不同,有碳膜电阻、金属膜电阻、金属氧化膜电阻、实心碳质电阻等。另外还有一类特殊用途的电阻,如热敏电阻、压敏电阻等。几种常见的电阻外形如图 1-15 所示。

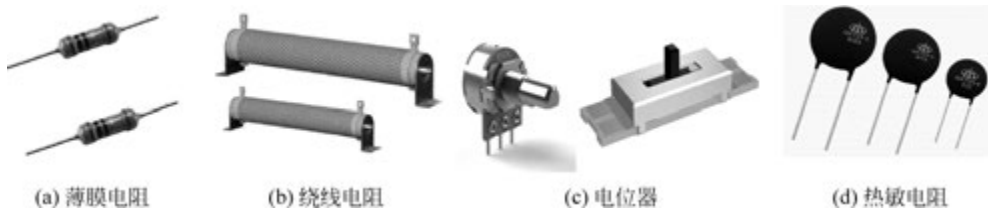


图 1-15 几种常见的电阻器

2) 电阻的型号

为了区别电阻的类别,在电阻上可用字母符号来标明,如图 1-16 所示。



电阻器的识别

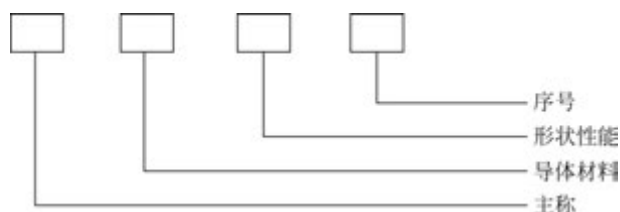


图 1-16 电阻类别及型号说明

通常 RT 表示碳膜电阻,RJJ 表示精密金属膜电阻。具体的电阻类别和型号标志说明见表 1-3。

表 1-3 电阻类别和型号标志说明

组成部分	名称	型号标志说明
第一部分	主称	R: 电阻,W: 电位器
第二部分	导体材料	T: 碳膜电阻,J: 金属膜电阻,X: 绕线电阻,M: 压敏电阻,G: 光敏电阻,R: 热敏电阻,Y: 金属氧化膜电阻
第三部分	形状性能	X: 大小,J: 精密,L: 测量,G: 高功率 1: 普通,2: 普通,3: 超高频,4: 高阻 5: 高温,8: 高压,9: 特殊
第四部分	序号	对主称、材料特征相同,仅尺寸性能指标略有差别,但基本不影响互换的产品给同一序号,若尺寸、性能指标的差别已明显影响互换,则在序号后面用大写字母予以区别

2. 电阻的参数

电阻的主要参数包括电阻标称阻值、误差和额定功率。

1) 标称阻值和误差

为了便于大量生产,同时也让使用者在一定的允许误差范围内选用电阻,国家规定出一系列的阻值作为产品的标准,这一系列阻值就叫作标称阻值。另外,电阻的实际阻值也不可能做到与它的标称阻值完全一样,两者之间总存在一些偏差。最大允许偏差值除以该电阻的标称值所得的百分数就叫作电阻的误差。对于误差,国家也规定出一个系列,普通电阻的误差有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 三种,在标志上分别以 I、II 和 III 表示。例如一只电阻上印有 47k II 的字样,我们就知道它是一只标称阻值为 47k Ω 、最大误差不超过 $\pm 10\%$ 的电阻。误差为 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、……的电阻称为精密电阻。

2) 额定功率

当电流通过电阻时,电阻因发热而消耗功率。如果电阻发热的功率大于它所能承受的功率,电阻就会被烧坏。所以电阻发热而消耗的功率不得超过某一数值。这个不会将电阻烧坏的最大功率值就称为电阻的额定功率。常见电阻的瓦数符号如图 1-17 所示。

3. 电阻的规格标注方法

电阻的类别、标称阻值、误差及额定功率一般都标注在电阻元件的外表面上,目前常用的标注方法有以下三种。