

# 第一章 故障诊断与排除的基础知识

## 第一节 电路参数与检测数据

无论是电气线路还是电子电路，都是由具有一定功能的元器件组合而成的，每个元器件都有自己的特定作用。尽管每个元器件的作用各不相同，但在组成电路后，就都为了一个特定的功能而发挥作用。这些单个元器件的局部作用的总和，就构成这个电路的功能。所以，假如某个元器件发生了故障，那么电路的功能必将发生变化，故障诊断与排除就是从电路功能的角度对构成电路的每个元器件进行分析和研究，并尽快而准确地确定故障发生的部位和元器件，达到排除故障的目的。

### 一、电路参数与检测数据

在进行故障诊断与排除的过程中，首先是正确地判断故障发生的部位，进而对发生故障的元器件进行必要的维修或调换。所谓“诊断”就像医生看病一样，通过各种检测仪器得到相关的数据，将这些数据与正常值进行比较，如果有偏差，就应根据偏差的情况做出正确的判断。显然，在电气线路和电子电路中，所有的正常值都是由设计者根据系统正常工作的情况而设定的，一般在电路图中给予标定，这就是所谓的电路参数。

例如图 1-1 所示的继电器驱动电路。在电路工作正常且没有输入信号（静态）时，其测试点上的电压值见表 1-1 所示。通常电压是一个重要的参数，当然在必要的时候，也应得出正常的电流值、电阻值。

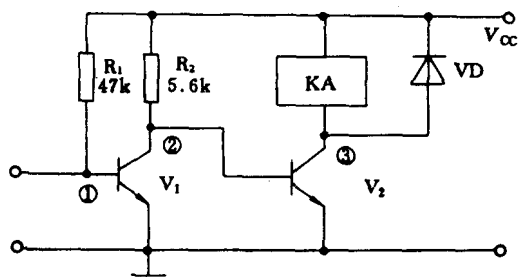


图 1-1 继电器驱动电路

由于  $V_1$  的基极 1 电压为 0V，所以可初步断定  $V_1$  处于截止状态，这很有可能是因为  $R_1$  断路造成的，因为在这种情况下晶体管  $V_1$  无法得到基极电流。但是基

表 1-1 测试点电压值

测试点	1	2	3
电压/V	0.7	0.1	24

因电路功能的变化必然伴随着参数的变化，因而可以根据这些参数的变化来判断故障的原因。假如图 1-1 电路中的  $R_1$  断路时，我们可以在上述测试点上测得另一组数据如表 1-2 所示。

表 1-2 测试点数据

测试点	1	2	3
电压/V	0	0.7	0.15

极和发射极之间的短路也可能引起这种现象，因而要对  $R_1$  作进一步检查，以确定发生故障的确切部位。

在上述内容中，表 1-1 所提供的就是电路的参数，而表 1-2 所提供的则是电路的检测值。

显然，在进行故障诊断与排除的过程中，应以电路参数为标准，以电路检测数据为分析对象，结合电路的功能，然后正确分析故障发生的部位并进行维修。

高超的诊断技术需要有一定的理论知识和实践经验。在着手诊断故障之前，技术人员需要了解电路的作用和功能，当然首先必须了解各种元器件的作用与工作原理。在后面的章节里，将对各种元器件的作用与功能给予特别的注意。

## 二、元器件的损坏

通常，如果元件的一个参数超过了限定范围，我们就认为它“损坏”了。从这个意义上讲，损坏分成两种类型，一种称为“部分损坏”，另一种称为“完全损坏”。

部分损坏是指元器件的功能没有完全丧失，仅出现功能的变化。例如，一个  $(3.6 \pm 0.05) \text{ k}\Omega$  的电阻，其实测值为  $6 \text{ k}\Omega$ ；一个漏电不允许超过  $10 \mu\text{A}$  的  $10 \mu\text{F}$ 、 $24 \text{V}$  的电解电容，实测漏电  $150 \mu\text{A}$ ；一个整定值为  $10 \text{A}$  的热继电器，出现误动作，实际电流达到  $8 \text{A}$  时就提前动作。这些都可以认为是部分损坏，因为它们并没有导致电路功能的完全丧失。部分损坏有时是可以允许的，有时则是不允许的，特别是处于电路关键处的元件。例如上述实测  $6 \text{ k}\Omega$  而标准值为  $3.6 \text{ k}\Omega$  的电阻，如果作为某系统中振荡器的时间常数元件 ( $\tau = RC$ )，必然会导致该系统出现混乱而无法正常工作。但如果该电阻仅作为某系统中的一个隔离电阻使用，则对系统的影响可能是很小的。

在实际进行故障诊断与排除的过程中，我们主要关心的是另一类损坏，即“完全损坏”。例如电阻的阻值变得特别高以至断路；一个二极管的正极与负极短路；一个交流接触器的线圈断路导致该接触器根本无法吸合动作等。这种故障往往引起电路功能的完全丧失和电压的剧烈变化等现象。例如，图 1-1 驱动电路中续流二极管 PN 结短路时，无论是否有输入信号，处的电压均为  $24 \text{V}$ ，而且继电器线圈被短路，所以继电器触点根本不吸合。另外，如果图 1-1 中电阻  $R_1$  断路，处的电压将为  $0 \text{V}$ ，电路的功能也将全部丧失。

组成一个完整电路的元器件可能有很多种，而各种元器件有其特有的损坏形式。例如电阻，特别是碳膜电阻容易断路，因为电阻螺旋线断开的可能性远远超过整个电阻短路的可能性。又例如电气控制线路中行程开关由于撞块多次的撞击引起传动机构变形和触点磨损的可能性会远远大于触点熔焊的可能性。

总之，无论元器件是部分损坏还是完全损坏，都会引起电路中的电路参数与检测参数之间出现偏差，而这些偏差恰恰是我们在诊断与排除故障时十分看重的。作为一个优秀的维修人员，应十分敏锐地观察这种偏差，认真研究偏差，找出解决偏差的有效方法。

## 第二节 检测数据的读取和记录

作为诊断和维修的重要依据是从检测仪器、仪表中获得的各种有用的电参数（或波形），统称为数据（检测值、检测数据）。仪器、仪表按其显示方式的不同，一般可分成指针显示、波形显示和数字显示三大类。在使用仪器、仪表进行检测数据时，要注意采用正确的方法，以减少读数误差。

### 一、指针显示仪器的读数

传统仪表大多数是指针显示式，它靠指针在仪器刻度盘上的指示来显示被测量的大小。比较常见的这类仪器有 MF-500 型万用表、GB-9B 型电子管毫伏表、XD-2 型低频信号发生器等。

指针式仪器数据的读取，首先要确定表盘上各分度线所表示的刻度值，然后根据指针所在的位置进行读数。当指针停在刻度盘上两小分度之间时，需要估读一个近似的读数，即取一个看起来比较合理的近似读数。为减少读数误差，指针显示式仪器在使用的过程中应注意以下几个方面：

(1) 有些仪表可以测试不同量程的多种电量，这种仪表的刻度盘上，分别标有几条刻度线，各条刻度线分别对应于一种电量及量程。例如图 1-2 所示的万用表的刻度盘上的几条刻度线分别对应着电阻值，交、直流电压值和分贝值。在使用这类仪表时要正确选用刻度线并确定各分度线所代表的刻度值，防止读数时错用刻度线而造成较大的误差。

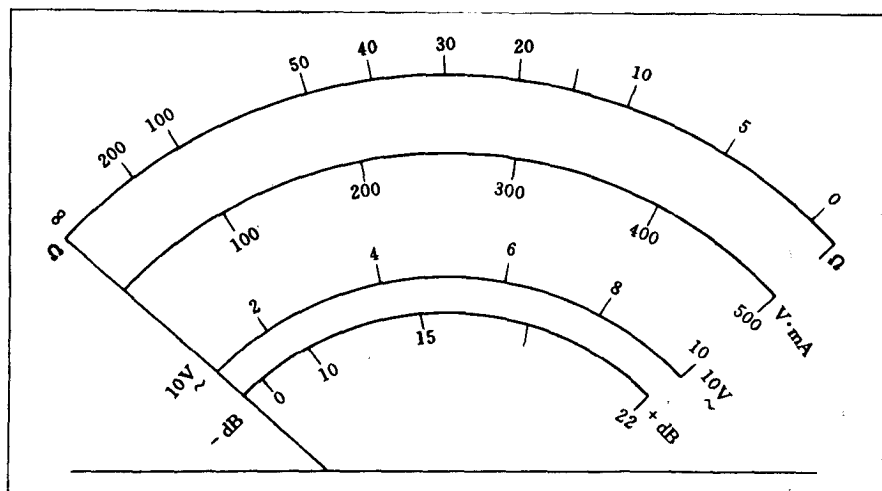


图 1-2 万用表刻度盘

(2) 指针显示式仪器的刻度线有两种：线性的和非线性的。线性刻度线的刻度是等间隔的，每格所代表的数值相等，在估读时，只要均匀分隔刻度线区域，就可比较方便

地读取数据。另一种是非线性刻度线，在读取时必须弄清各刻度线所代表的正确刻度值和各分格所代表的数值。由于有的刻度线不能细分，估读的数值误差较大，条件许可时，应更换量程或更换仪表。

(3) 指针式仪表在读取数据的过程中，要防止视差引起的读数误差。读数时要有正确的视觉角度，即要求眼睛的视线垂直正对指针所在处的刻度盘表面。

为了减少可能出现的视差，许多仪表的刻度盘上加装了小镜子（或某种反射面）。使用这种仪表读数时，要求把指针和镜中的针影对齐，使两者都位于视线方向，从而减少视差。也有的仪表刻度盘是用一块厚的有机玻璃板，在板的正、反面对刻上指示线，并在安装仪器时保证两指示线构成的平面与有机玻璃的平面垂直。读数时，应使正、反面指示线对应，并且同时位于视线方向。这样，指示线所示的刻度值基本上是无视差的数值。

(4) 要正确的选用量程。一方面，同一仪表的不同量程其内阻不同，应充分考虑到仪表内阻对所测量电路的分流、分压作用；另一方面，所选的量程应尽量使指针在显示被测量值时，能够位于刻度线的三分之二以上部分，这样测量的结果相对误差较小。

## 二、波形显示式仪器的读数

波形显示仪器可以将被测量的波形直观地显示在仪器的荧光屏上。根据显示的波形可读出被测量的有关数据。显然，这类仪器可以一次读取被测量的几个参数。例如：JT-1型晶体管特性图示仪可以显示晶体管的输入特性，在输入特性曲线上，即可以读取该管的交流电流放大系数，也能读取其直流电流放大系数。DC4322系列双踪示波器可同时显示两个信号波形的周期、最大值等参数。

波形显示类仪器读数时，仪表要先确定在 X轴(横轴)，Y轴(纵轴)方向上每一坐标格所表示的电量数据，然后根据波形在 X轴和 Y轴方向占有的格数进行读数。

波形显示类仪器，其荧光屏上的坐标格是固定的，不过每一坐标格所代表的数值是可变的，它是由选择开关在不同位置来确定的。而且这类仪器在 X轴和 Y轴方向每一坐标格可代表不同参数和不同的数据。例如，在双踪示波器上可同时显示两个频率相同信号之间的相位关系，将它们分别由“Y<sub>A</sub>”和“Y<sub>B</sub>”通道输入，经适当调整后，即可在屏幕上直接看出这两个信号的相位差。

波形显示类仪器常将每一坐标格所代表的数值称为偏转灵敏度，简称灵敏度。有些仪器灵敏度是分格固定的，也有些仪器的灵敏度是连续可调的。

波形显示类仪器数值的读取与仪器的灵敏度有关。用波形在 X轴（Y轴）方向所占的格数乘以 X轴（Y轴）的灵敏度，便可得

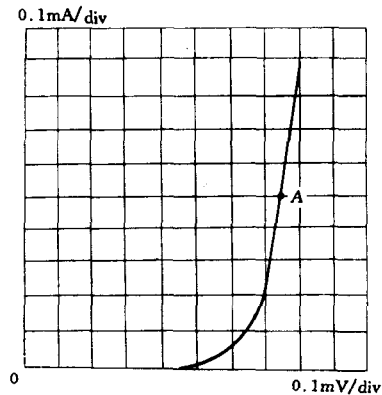


图 1-3 晶体管输入特性曲线波形

到显示波形所表示电参量的具体数值。若波形显示在坐标格的两小分度线之间，可以根据情况估读。例如，图 1-3 显示的是 JT-1 晶体管特性图示仪上观测的一个三极管的输入特性曲线波形，已知 Y 轴灵敏度为 0.1mA/div（基极电流），X 轴灵敏度为 0.1V/div（基极电压）（div——格，即荧光屏标尺上的一格），分析可知图中 A 点所对应的基极电流为

$$5\text{div} \times 0.1\text{mA}/\text{div} = 0.5\text{mA}$$

而对应的基极电压为

$$7.3\text{div} \times 0.1\text{V}/\text{div} = 0.73\text{V}$$

使用波形显示类仪器时应注意以下几点：

(1) 要注意显示屏幕的有效面积。波形的大小要合适，若波形幅度过大，会超过屏幕上坐标格而无法读数，有时还会出现非线性失真。反之，若波形过小，就无法读数或无法准确读数。图 1-4 所示是几种不合理的波形显示。图 (a) 为 Y 轴灵敏度过大，有部分波形显示在屏幕之外，应减小 Y 轴的灵敏度；图 (b) 为 X 轴灵敏度过大，波形在屏幕上没有显示出一个完整的周期，因此无法确定该波形的周期（或频率）；图 (c) 是 Y 轴的灵敏度过小，这时波形的幅值无法准确读取；图 (d) 所显示的波形在 X 轴上有多个周期，其原因是 X 轴的灵敏度过小，对于确定该波形周期的读数是不方便的。一般在整个屏幕上显示两到三个周期是比较合适的。

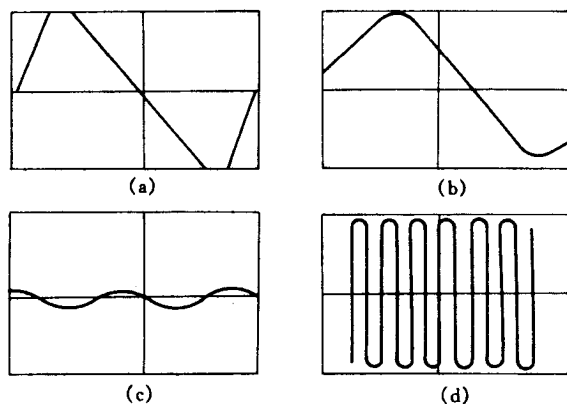


图 1-4 几种不合理的波形

(a) Y 轴灵敏度过大 (b) X 轴灵敏度过大 (c) Y 轴的灵敏度过小 (d) X 轴的灵敏度过小

(2) 测量被测量的峰值时，一般先测峰一峰值，然后换算成峰值。原因是在测量峰一峰值时，被测量的最大值和最小值所在位置比较明显，读数容易而且误差小。

(3) 在读取数据的过程中，应适当调整波形在屏幕上的位置，使波形需要读取数据的部分正好落在 X 轴或 Y 轴线上，因为轴线上具有小坐标格，读取的数据较为准确。

(4) 在使用前要调节好“亮度”和“聚焦”旋钮。可先将仪器内的扫描信号调节成一亮点，并使其光点尽量小，亮度适中，这样就会使波形细而清晰，读数准确。如果亮点调节太大，波形显示的曲线会变宽而模糊不清，使读数产生误差。

(5) 仪器与被测电路之间的连线不宜过长，以免引入干扰，一般应使用屏蔽电缆及探极。若被测信号频率低于几百千赫，可用一般导线。测高频及脉冲信号时，用高频电缆连接。

### 三、数字显示式仪表的读数

使用数字显示式仪表，可以根据仪表显示的数据直接读数，有些仪表还可直接显示被测量的单位。目前较先进的数字仪表还有自动换档的功能，使用起来非常方便。

数字显示式仪表是依靠发光二极管、液晶、数码管等显示屏来显示被测参数数据的，例如 DT-830、DT-870 数字万用表。使用数显式仪表不会产生读数误差和刻度误差，所以读数方便、准确，其应用范围也越来越广。

使用数字显示式仪表时应注意以下几点：

(1) 不能自动换档的数显式仪表应在使用前选好量程。根据被测量的大小，估计出相应的量程，应尽可能多地显示有效数字的位数，以提高测试精度。例如，使用 DT-830 数字万用表 10V 档和 100V 档分别测量某一电压，用 10V 档测定电压读数为 0.556 当使用 100V 档测量时，显示值为 0.056，可见要提高测量精度，合理选用量程是很重要的。

(2) 数字显示式仪表大多采用集成运放来处理被测信号，所以灵敏度很高，在测量较小数值的参量时，数字显示仪表的最后一位数据会不停地跳动。在读取数据时，应根据其跳动范围进行估读。例如最后一位数在 3 与 7 之间跳动时，可取为 5。

(3) 这类仪表都是由电池供电的，在使用完毕后应将开关置于 OFF 位置，否则易将电池耗尽。如果显示屏上显示出“←”“LOBAT”、“BAT”，符号，表示电池电压过低，需要换新电池。

(4) 不允许在高温（超过 40℃）、阳光、高湿（相对湿度 > 80%）、寒冷（低于 0℃）的环境中使用和保存数字万用表，以免损坏液晶显示器和其它器件。液晶材料是介于固体和液体之间的一种晶状物质，高温时会发生液化，温度低于 0℃ 则会发生固化，这都会降低其寿命。尽管规定的工作温度范围是 0~40℃，但准确度指标只在规定的确定范围内才能保证，超出此范围将带来温度的附加误差。

(5) 尽管数字式仪表一般都有保护电路，但仍应绝对避免输入过载。

无论哪种仪表所测量的数据都要正确地记录，在测量前应准备好记录数据的图表，记录的数据要认真，字迹要清楚工整，不能随意涂改，所有数字要注明单位，必要时记下测试条件。记录波形应选用合适的坐标纸，坐标格可与荧光屏上的坐标格相一致。记录时先在荧光屏显示波形上确定一些数据点，将这些点直接标在坐标纸上，并注明数值和单位，最后，对照显示波形，将波形在坐标纸上绘制清楚。

### 第三节 检测数据处理和检测误差处理

通过检测取得测量数据后，通常还要对这些数据进行计数、分析、整理，有时还要把数据归纳成一定的表达式或画成表格、曲线等，也就是数据处理。

## 一、有效数字的处理

### (一) 有效数字的概念

对于测试或通过计算获得的数据，由于存在仪器分辨能力的限制，测量数据不可能完全准确。另外，对测量数据进行计算时，会遇到像  $\pi$ 、 $e$ 、 $\sqrt{2}$  等这样的无理数，实际计算也只能取近似值。所以，测量所得到的结果都是近似值，这些近似值通常用有效数字的形式表示。有效数字是指数据左边第一个非零数字开始直到右边最后一个数字为止所包含的数字。例如某频率计测得频率值为  $0.0631\text{MHz}$ ，其中 6、3、1 三个数字就是有效数字，而左边的两个“0”是非有效数字。右边最后一位数字“1”通常是测试时估读出来的，是不可靠的，它可能是“1”，也有可能是“2”或“0”。因此，通常称它为“欠准”数字，其左边的各位数字都是准确数字。准确数字和欠准数字在测试结果中都是不可缺少的，它们都是有效数字，或者说有效数字是由准确数字和欠准确数字组合而成的。

记录数字时，应只保留一位欠准确数字。这样记录的数据表明被测量可能在最后一位数字上变化  $\pm 1$  个单位。

欠准确数字应特别注意“0”的情况，测量结果末位的“0”不能任意舍去。例如，测得一电阻值为  $6280\Omega$ ，表明 6、2、8 三个数字是准确数字，最后一位数字 0 是欠准确数字。也可改写成  $6.280\text{k}\Omega$ ，其中末位“0”是欠准确数字，误差为  $\pm 0.001\text{k}\Omega$  即  $\pm 1\Omega$ ；若将“0”舍去，则变成  $6.28\text{k}\Omega$ ，则表明 6、2 两个数字是准确数字，最后数字 8 是欠准确数字，误差为  $\pm 0.01\text{k}\Omega$  即  $\pm 10\Omega$ ，显然人为地扩大了误差范围。两种写法，虽然表示同一数值，但实际上却反映了不同的测试准确度。

也就是说像  $3.860\text{V}$  这样的数字，最右边一个零也是有效数字，它对应着测量的准确程度，不能任意把它改写成  $3.86\text{V}$  或  $3.8600\text{V}$ ，因为这意味着测量准确度的变化。 $3.860\text{V}$  表明误差绝对值不超过  $0.0005\text{V}$ ，而若改写成  $3.86\text{V}$  或  $3.8600\text{V}$ ，则表明误差绝对值不超过  $0.005\text{V}$  或  $0.00005\text{V}$ ，这显然是不正确的。

若使用  $10$  的方幂来表示一个数据， $10$  的方幂前面的数字是有效数字。例如  $391000\text{Hz}$  这样的数字，实际上在百位数字上就包含了误差，即只有四位有效数字，这时百位数字上的零是有效数字不能去掉，但十位和个位上的零虽然不再是有效数字，可是它们要用来表示数字的位数，也不能任意去掉，这时为了区别右边三个零的不同，通常采用幂的形式。例如  $391000\text{Hz}$  若写成有效数字，就应写成  $3.910 \times 10^5\text{Hz}$ ，表明有效数字只有四位，误差绝对值不大于  $50\text{Hz}$ 。

### (二) 有效数字的处理

测试结果的数据，一般可按“四舍六入五看右”的规则进行处理。如果只取  $n$  位有效数字，那么第  $n + 1$  位及其以后的各位数字都应舍去。其舍入的规则是：

- (1) 遇到大于 5 的数，向前位入 1。
- (2) 遇到小于 5 的数，舍去。
- (3) 遇到等于 5 的数，有以下两种情况：
  - ① 5 右有数字，则舍 5 入 1。

②5 右无数字或为 0 时，当 5 左是奇数，则舍 5 入 1；是偶数，则舍 5 不入。

上面的舍入规则可简单地概括为：小于 5 舍，大于 5 入，等于 5 取偶数。

### (三) 有效数字的运算

故障诊断与排除过程中，经常会对测试的数据进行各种运算，其基本原则如下：

#### 1. 加减运算

参加运算的各数据（有效数字），必须是同一单位的物理量，而且准确度最差的项就是小数点后面有效数字最少的那一项。在进行运算前应将各数据小数点后保留的位数处理成与准确度最差的数据相同，然后再进行运算。若各项均无小数点，则数据最少的项的精确度最差。

例如：将 6.431, 3.03, 1.1182 相加，这些数据中，3.03 的精确度最差，所以其它数据小数点后都保留二位，即  $6.431 + 3.03 + 1.1182 \approx 6.43 + 3.03 + 1.12 = 10.58$ 。

#### 2. 乘除运算

运算前，先以有效数字位数最少的数据为准处理各数据，使有效数字的位数相同。即有效数字的取舍决定于其中有效数字最少的一项，而与小数点无关。所得的积或商的有效数字保留相同的位数。

例如：运算  $438.22 \times 0.33$ ，由于精确度最差的是 0.33，所以  $438.22 \times 0.33 \approx 440 \times 0.33 \approx 145$ 。

## 二、测试误差及处理

使用任何仪器进行测试时，测量结果总存在着误差。在一般情况下，误差的大小可用“绝对误差”、“相对误差”和“容许误差”来表示。

### (一) 绝对误差

如某量的实际值（真实值）为  $A$ ，测量值为  $X$ ，则绝对误差为：

$$\text{绝对误差} (\Delta X) = \text{测量值} (X) - \text{实际值} (A)$$

显然，上式不但可以表示误差的绝对值，同时也给出了误差的正负符号。

例如：某三极管集电极静态电压的测量值为 9.3V，而实际的真实值为 9.5V 时，其绝对误差为 -0.2V。

又如，串联型稳压电源输出电压测量值为 12.5V，而实际值为 12.3V，绝对误差为 +0.2V。

显然，利用绝对误差的符号和数值大小，可以对测量值进行修正或更正。修正值大小和绝对误差值相等，但符号相反。

### (二) 相对误差

绝对误差  $\Delta X$  与被测量的实际值  $A$  的百分比称为相对误差  $r_A$ 。

$$\text{相对误差} (r_A) = [\text{绝对误差} (\Delta X) / \text{实际值} (A)] \times 100\%$$

由于绝对误差不能反映出不同量程的仪器之间的测量精度的高低，因而一般仪器都采用相对误差来表示其测量精确度，因为相对误差能比绝对误差更确切地说明测量精度。

例如，某一电压的实际值为 1.00V，用指针式电压表测量的结果为 0.99V，则其绝

对误差为  $\Delta X_1 = 0.99 - 1.00 = -0.01\text{V}$ 。另一电压为  $10.00\text{V}$ ，用数字式电压表测量的结果为  $9.99\text{V}$ ，则其绝对误差为  $\Delta X_2 = 9.99 - 10.00 = -0.01\text{V}$ 。二者的绝对误差相同，但其相对误差则不同：

$$rA_1 = (-0.01/1.00) \times 100\% = -1\%$$

$$rA_2 = (-0.01/10.00) \times 100\% = -0.1\%$$

可以看出，虽然两只电压表测量的绝对误差相同，但使用数字电压表测量相对误差要小得多，也就是说数字电压表的测量精度比指针式电压表高得多。

### (三) 测试误差

测试误差是测试仪器本身的误差以及测试辅助设备、测试方法、测试环境、操作技术等误差因素共同作用的结果。不论采用什么方法测量一个量，在测量结果中总不可避免地带来误差。即测量结果偏离实际值（真实值）。

#### 1. 仪器误差

仪器误差是指仪器本身电气或机械性能不良所造成的误差，它包括仪器校准不好引起的误差、刻度误差、内部不稳定等因素引起的误差，或者是仪器动态性能不良引起的误差。例如，若使用  $0.5$  级仪表，当读数在满刻度值附近时，它本身允许的固有误差在  $\pm 0.5\%$  以内，所以测量结果的误差可能达到  $\pm 0.5\%$ 。若选用  $0.2$  级的仪表，其自身的误差就会比  $0.5$  级仪表小许多。所以消除测试误差的方法是预先对仪器进行校准，利用高一级的仪器确定修正值，在测试结果中根据修正值加入适当的补偿消除它。例如，某电流表根据高一级的仪表确定的修正值是  $0.004\text{mA}$ ，当仪表的读数为  $0.45\text{mA}$  时，那么被测量的实际值应为  $0.45 + 0.004 = 0.454\text{mA}$ 。值得注意的是，经过修正后的测量结果的误差并不是完全消失，因为仪器的读数精度是有限的，而且修正值本身也是含有误差的。

现在为了提高仪器的测量精度，往往在表盖或检验证书上直接给出修正值，有的还画出修正曲线，以使用户使用。

#### 2. 使用误差

使用误差又称操作误差，是指在使用仪器的过程中，由于仪器和其它设备的安装、调节、布置、使用不当而造成的误差。例如，把规定应垂直安置的仪器水平放置、接线太长、阻抗不匹配、接地不良及未按操作规程进行加热、调节、校准、测量等，都会产生使用误差。消除或减小使用误差的方法是严格按操作规程使用仪器，提高测试技巧以及加强对各种现象的分析等。

#### 3. 人为误差

人为误差是由测试者个人特点引起的误差。对于某些需要借助于人耳、人眼来判断结果的测试及需要进行人工调整的测试工作，均会引入人为误差。例如，有人读刻度总习惯超过或欠少。提高操作技巧和改进测量方法都可以削弱甚至消除人为误差。

#### 4. 环境误差

环境误差是指由于仪器受到外界温度、湿度、气压、电磁场、机械振动、声音、光照、放射性等的影响而产生的误差。仪器必须在规定的使用条件下工作，才能保证各项技术性能正常，不产生额外的环境误差。

## 5. 方法误差

方法误差也称理论误差，它是由于测量使用方法不完善，或者使用不适当的简化和近似公式等引起的误差。

例如，用伏安法（电压表、电流表）测量电阻时，可分别采用图 1-5 (a) 或图 1-5 (b) 两种测量电路，根据测量的电压  $U$  和电流  $I$  数据，用  $R = U/I$  计算出被测电阻值。但是这两个电路在测量方法上都是不完善的。对于图 1-5 (a) 测量电路来说，电流表的测量结果忽略了电压表内阻的分流作用，使电流表的读数不仅具有流过电阻的电流，还包括了流过电压表的电流，从而使求得的电阻值产生一定的误差。图 1-5 (b) 测量电路，在测量电阻上的电压、电流值时，由于电压表的测量结果忽略了电流表内阻的分压作用的影响，从而使利用这种测量方法得到数据而求得的电阻值也不很准确。要克服方法误差，只有采用其它方法进行测量。如用惠斯通电桥测电阻，就可以消除方法误差。

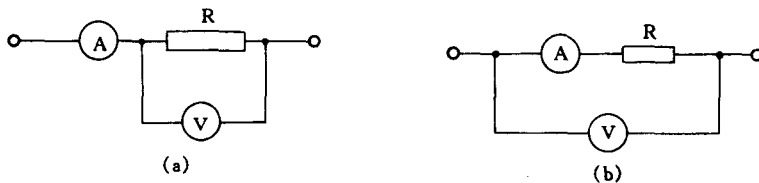


图 1-5 用伏安法（电压表、电流表）测量电阻

(a) 电流表外接法 (b) 电流表内接法

## 习 题

1. 一般情况下，“电路参数”是由设计者设计而定的，还是在电路中利用仪表测量获得的？
2. 电子电路中“电路参数”一定是指电路的静态参数吗？为什么？
3. “在一般电气原理图上所提供的技术数据就是检测数据”，这种说法是否正确？
4. 举例说明什么是电路参数和检测数据。
5. 举例说明什么是元器件的“部分损坏”和“完全损坏”。
6. “元器件的部分损坏不会引起电路参数与检测数据之间出现偏差”，此话是否正确？
7. 指针式仪表的刻度线有几种？试举例说明。
8. 防止指针式仪表由视差引起的读数误差的方法是什么？
9. “波形显示类仪表能够同时显示被测量的几个参数”，这句话对吗？
10. 什么是波形显示类仪表的灵敏度？举例说明其作用。
11. 波形显示类仪表防止干扰的方法有哪些？
12. 应如何调节才能使图 1-4 所显示的几种不合理波形变得能够正常显示出来？
13. 怎样调节才能使波形显示类仪表波形细而清晰？

14. 数字显示类仪表主要是依靠什么作为显示屏来显示被测参数的数据？
15. 数字显示类仪表显示数据最后一位不停地跳动的原因是什么？如何取值？
16. “因为数字式仪表内部有保护电路，所以输入被测信号发生过载也没有什么问题”，这句话对吗？为什么？
17. 什么是“有效数字”？举例说明。
18. “有效数字”是由哪二种数组合而成的？举例说明。
19. “有效数字”的取舍原则是什么？
20. 写出下列数字中的有效数字，并指出准确值数字和欠准确数字：  
1233, 0.0038, 0082, 8200, 100439, 0770, 0.384, 0.24000, 0.19003,  
0.1900300
21. 根据有效数字取舍规则舍去下列数据中的最后一位数：  
7826, 78.26, 3350, 0.0075, 25.14, 11.150, 10.253, 7.450, 3.55, 0.0285
22. 某电流表测量实际值为 4.63mA 的电流，实测值为 4.65mA，其绝对误差是多少？相对误差是多少？
23. 用频率计分别对 20kHz 和 200Hz 两个频率进行测量时，从显示结果看，分别产生 +2Hz 和 +0.2Hz 的绝对误差，哪种情况测量的精度高？
24. 使用某电流表测量电流时，测得数据为 9.50mA，根据高一级仪表确定其修正值应为 -0.004mA。问电流实际大小是多少？

## 第二章 电子电路元器件的识别与检测

电子元器件是组成电子电路的最基本单位。在对电子电路进行故障诊断与排除时，常常需要对元器件进行识别，对元器件的性能及好坏进行检测。本章主要介绍几种常用电子元器件的识别与检测的基本知识，并对一些新材料、新品种的器件也做一些简单介绍。

### 第一节 电阻器的识别与检测

电阻器简称电阻，它是电子电路中最常用的基本元件。电阻器的性能稳定，用途十分广泛。电阻器种类繁多，大体上可按性能分为普通型电阻器和特殊型电阻器两大类。前者即为电子电路中被大量使用的电阻器，后者则主要用于一些特殊要求的场合，如熔断电阻、压敏电阻、PTC热敏电阻等。本节主要介绍普通型电阻器的识别与检测，另外还将介绍一些特殊电阻器。

#### 一、普通电阻器的识别

##### (一) 外形、结构特征及电路符号

普通电阻器按其制作材料不同，可划分成碳质电阻、碳膜电阻、金属膜电阻以及线绕电阻等，它们的外形如图 2-1 所示。

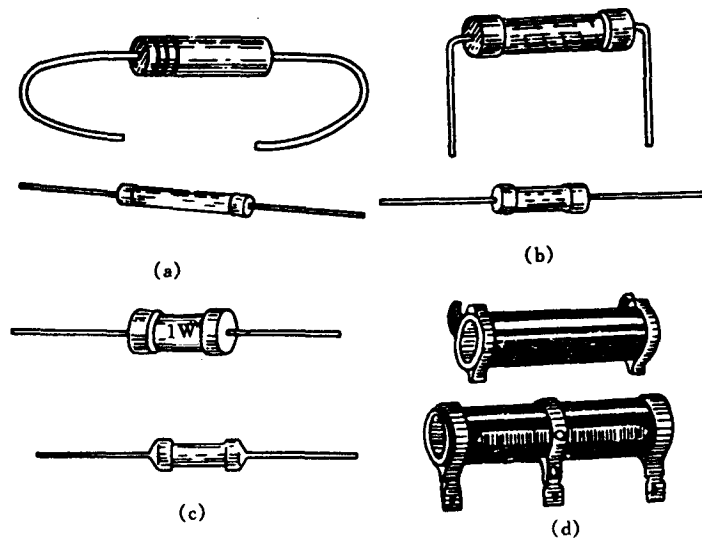


图 2-1 普通电阻器的外形图

(a) 碳质电阻 (b) 碳膜电阻 (c) 金属膜电阻 (d) 线绕电阻

由图 2-1 可见，普通电阻器的外形多为圆柱状，一般有两根引脚，且不分正负极性。电阻器上标有电阻的有关参数，有直接标出的，也有用色环来表示的。相同类型的电阻器的体积越大，其功率也越大；而在相同功率的情况下，金属膜电阻器的体积小于碳膜和碳质电阻器的体积。

在图 2-1 所示几种电阻器中，碳质电阻因质量较差，用得较少；线绕电阻的阻值小、功率大，多在直流或低频电路中使用；碳膜及金属膜电阻的应用较为广泛。

电阻器在电路图中用字母“R”表示，其电路符号如图 2-2 所示，其中 (a) 是国标规定的标准符号，(b) 则多出现在进口产品的电路图中。



图 2-2 电阻器的电路符号

## (二) 主要参数

电阻器的主要参数有标称阻值、允许偏差及额定功率。

### 1. 标称阻值

电阻器的阻值大小称为电阻器的标称阻值。为了方便生产和使用，国家规定了一系列的标准阻值作为产品的标准。我国的标称阻值共有 E6、E12、E24、E48、E96、E192 六种系列，其中比较常用的是 E6、E12、E24 系列。如表 2-1 所列。

表 2-1 E6、E12、E24 标称阻值系列

系列	偏差	电阻的标称值
E24	I 级 $\pm 5\%$	1.0、1.1、1.2、1.3、1.5、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4、2.7、3.0、3.3、3.6、3.9、4.3、4.7、5.1、5.6、6.2、6.8、7.5、8.2、9.1
E12	II 级 $\pm 10\%$	1.0、1.2、1.5、1.8、2.2、2.7、3.3、3.9、4.7、5.6、6.8、8.2
E6	III 级 $\pm 20\%$	1.0、1.5、2.2、3.3、4.7、6.8

也就是说，电阻器的阻值应是以上系列标准阻值的  $10^n$  倍，（ $n$  取零或正负整数），阻值选择的范围很广，但都必须符合标准阻值系列所规定的值。例如，在 E24 系列中，若改变  $n$  值，可得到  $1.3\Omega$ 、 $13\Omega$ 、 $130\Omega$ 、 $1300\Omega$  等  $1.3 \times 10^n$  系列的阻值，而在 E12、E6 系列中则没有。

### 2. 允许偏差

由于电阻器在生产过程中的工艺及技术等方面的原因，电阻器的实际阻值与标称阻值不可避免地存在一些误差，所以给电阻器规定了一个允许偏差参数，分为 I 级  $\pm 5\%$ 、II 级  $\pm 10\%$ 、III 级  $\pm 20\%$ ，它们分别对应于 E24、E12、E6 三个系列。允许偏差越小，表明电阻器的精度越高。由于存在允许偏差，所以电阻器标称值连续分布的意义不大。

### 3. 额定功率

它是指电阻器在规定的大气压和环境温度下长期连续工作所允许承受的最大功率。常见的电阻器的额定功率有 0.125W、0.25W、0.5W、1W、10W 等。值得一提的是，电阻器在高温时的允许功率远远低于额定功率，所以电阻器在高温环境下工作时应特别注意其功率值。

### (三) 参数的标注及识别

电阻器的主要参数是以一定方式标注在电阻器上的。标注方法主要有直标法和色标法两种。

#### 1. 直标法

直标法是将电阻器的主要参数直接标注在电阻器的外表，此法多用于功率较大（体积较大）的电阻器，标注起来较方便。

#### 2. 色标法

色标法是用不同颜色的色环（色码）表示电阻器的电阻值及允许偏差，并标注在电阻器表面的方法。根据色环的环数又分为 4 环表示法和 5 环表示法。一般电阻器的电阻值用两位有效数字表示，采用 4 环表示法，而精密电阻器要用三位有效数字表示，则用 5 环表示法。表 2-2 列举了电阻色码的意义。

表 2-2 电阻色码的意义

颜色	第 1 色码	第 2 色码	第 3 色码 (倍乘)	第 4 色码 (允许偏差)
黑	0	0	$\times 10^0$	-
棕	1	1	$\times 10^1$	-
红	2	2	$\times 10^2$	-
橙	3	3	$\times 10^3$	-
黄	4	4	$\times 10^4$	-
绿	5	5	$\times 10^5$	-
蓝	6	6	$\times 10^6$	-
紫	7	7	$\times 10^7$	-
灰	8	8	$\times 10^8$	-
白	9	9	$\times 10^9$	-
金	-	-	$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
银	-	-	$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$
本色	-	-	-	$\pm 20\%$

在使用色码含义表时，应注意以下几方面：

(1) 该表直接适用于四色环电阻器。五色环电阻器中的第 3 位色码的含义与表中第 1、2 位色码意义相同，第 4、5 位色码的含义则对应表中的第 3、4 位色码的含义。

(2) 允许偏差为  $\pm 20\%$  时，电阻器上的色码为本色，此时 4 条色环的电阻器便只有 3 环了。

(3) 在读色码时，要注意色码的正确顺序。第 1 个色码应紧靠电阻器的一端，有些

小功率电阻器的 4 条色环是均匀分布在电阻器表面的，可根据金、银色是允许偏差色码，应作为最后一条色环来加以辨认色环顺序。

(4) 表中电阻值单位是欧 ( $\Omega$ )。

下面举例说明色环电阻器的识别方法。图 2-3 所示为两个色环电阻器的示意图。由色码含义表可知，图 (a) 电阻器的阻值为  $214 \times 10^2 \Omega$ ，允许偏差为  $\pm 10\%$ ；图 (b) 电阻器的阻值为  $23 \times 10^{-2} \Omega$ ，允许偏差为  $\pm 5\%$ 。

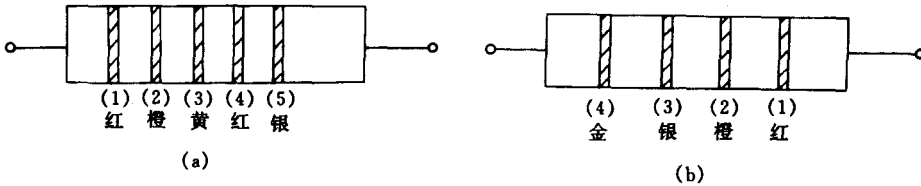


图 2-3 色环电阻器举例

(a) 五环电阻器 (b) 四环电阻器

另外电阻器的额定功率有两种表示方法，对于 20W 以上的电阻，可直接将功率值标注在电阻上，而 20W 以下的电阻则由电阻自身的体积大小来识别。

## 二、普通电阻器的检测

### (一) 故障特征

电阻器的故障率比较低，特别在小信号电路中的电阻器一般不易损坏，电阻器的损坏主要是因大电流的过流而引起。由于过流，将电阻器内部烧成开路，有时从外表可看到明显的烧焦现象。另外，因拆装过程中不小心，会导致电阻器引脚断掉，这也是电阻器主要故障之一。

### (二) 检测方法

一个好的电阻器从外观上看，应外形端正、标志清晰、颜色光泽好，无腐蚀、无断裂、无烧焦变黑等现象，因而可通过简单目测而初步判断电阻器的质量及故障情况。

对电阻器的检测主要是使用万用表的欧姆档来测量其阻值，从而判断电阻器的实际阻值与标称阻值是否相符，差值是否符合允许偏差，是否出现开路故障等。

测量时应注意以下几点。

- (1) 所有测量均应在断电情况下进行；
- (2) 测量时人手不能同时接触电阻器的两根引脚，以免人体电阻影响测量结果；
- (3) 要根据电阻器的标称阻值大小选择合适的欧姆档量程，尽可能使读数落到接近满刻度的中间段，以提高读数的精度。这是由于万用表欧姆档刻度是非线性的，中间段的分度较细且准确。例如当检测标称值为  $10\Omega$  和  $5.1k\Omega$  的电阻器时，应分别采用  $R \times 1$  档和  $R \times 1k$  档。

### (三) 对测量结果的分析

若某电阻器的测量值为  $R$ ， $R$  等于或十分接近标称阻值，说明电阻器正常； $R$  远大

于标称值，说明电阻器已开路； $R$  远小于标称值，说明电阻器存在短路故障； $R$  值不稳定，时通时断，说明电阻器已损坏。

### 三、特殊电阻器介绍

近几年一些特殊电阻器已大量应用于各种电路，如熔断电阻器、热敏电阻器、压敏电阻器等。下面对这些电阻器作些简单介绍。

#### (一) 熔断电阻器

它是一种具有电阻器和过流保护熔断丝双重作用的元件，多用于直流电路进行过流保护。它的外形特征与普通色环电阻器一样，其标称阻值采用色标法，表示方法与普通电阻器相同。由于熔断电阻器主要起过流保护作用，所以其阻值一般较小，只有几欧至  $100\Omega$  左右。

#### (二) 压敏电阻器

它是一种过压保护元件，它具有与半导体类似的正反向对称的伏安特性，如图 2-4 所示。

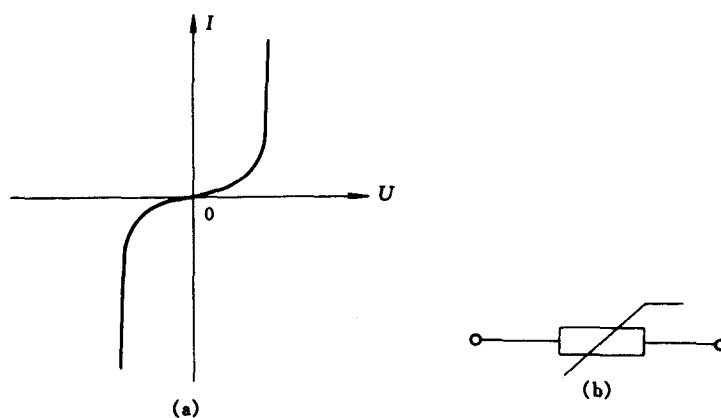


图 2-4 压敏电阻的伏安特性及符号

(a) 伏安特性 (b) 电路符号

由伏安特性可知，常压时压敏电阻器的阻值较大，当压敏电阻器两端电压大到一定值时（出现过压），压敏电阻器的电流迅速增大，其阻值迅速变小。压敏电阻器的工作原理就相当于在电路中设置了一个能量通道，使过压产生的能量迅速消散，从而防止了过电压对电路其它元件的损坏。

压敏电阻器的瞬时功率可达数千瓦，但它的平均持续功率却只有几瓦。如在彩色电视机中所用的压敏电阻器，其平均持续功率为  $1\text{W}$ ，而在  $8\sim 20\mu\text{s}$  的冲击电流作用下，却可通过  $50\sim 2500\text{A}$  的电流。

#### (三) PTC 热敏电阻器

这是一种具有正温度系数的电阻器，在电路中多用作温度补偿元件。其外形及阻

值-温度特性曲线如图 2-5 所示。

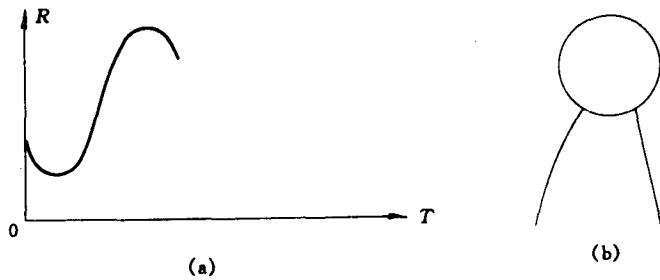


图 2-5 PTC 电阻器的温度特性及外形  
(a) 温度特性 (b) 外形

由  $R-T$  曲线可知, 常温时 PTC 电阻器的阻值较小, 当温度升高到一定值后, 其阻值增大很多。利用这点可对 PTC 电阻器的性能进行简单测试。

除了压敏、热敏电阻器外, 另外还有磁敏、湿敏等敏感电阻器, 它们在电路中分别发挥着各自特殊的作用, 这些作用都是普通电阻器不可替代的。

## 第二节 可变电阻器及普通电位器的识别与检测

普通电阻器的阻值是基本固定的, 而电子电路中, 经常需要对电路中某段电阻值的大小进行调整和改变。本节将介绍电阻值大小能在一定范围内变化的可变电阻器和电位器。

### 一、可变电阻器的识别与检测

可变电阻器又称微调电阻器, 常用于一些电阻值需调整而又不常变动的场合。

#### (一) 外形、结构特征及电路符号

可变电阻器包括两种, 一种是用于小信号场合的碳膜可变电阻器, 另一种是用于大功率条件下的线绕可变电阻器。它们的外形如图 2-6 所示。

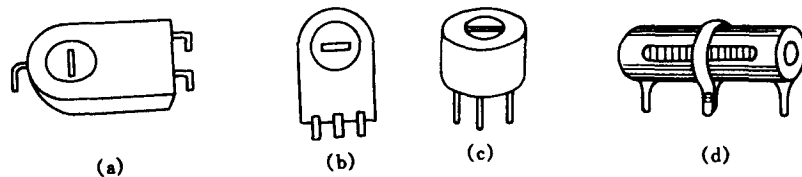


图 2-6 可变电阻器的外形图

(a)、(b)、(c) 碳膜可变电阻器 (d) 线绕可变电阻器

从图 2-6 可见, 可变电阻器对外有 3 个引脚, 其中一个为动片引脚, 另外两个是定