



电工仪表的使用技能及考核

【任务描述】

1. 万用表、兆欧表、接地测量仪、钳形表、功率表、电能表的结构、原理、使用及选择；
2. 直流电桥、示波器、信号发生器的结构、原理、特点及使用。

【项目要求】

1. 熟练掌握万用表、兆欧表、钳形表等电工测量仪表的使用方法；
2. 具备功率表、电能表的安装接线能力；
3. 具备直流电桥、示波器、信号发生器的使用操作能力。

任务 3.1 万 用 表

3.1.1 万用表的工作原理

万用表是一种多功能、多量程的便携式电工仪表,一般的万用表可以测量直流电流、交直流电压和电阻,有些万用表还可测量电容、功率、晶体管共射极直流放大系数 $h_{FE}(\beta)$ 等。万用表类型很多,有模拟式(机械式或指针式)、数字式等,其使用方法有些不同,但模拟式万用表的工作原理基本是一样的,都是由测量机构(表头)、测量电路及转换开关三个主要部分组成,其基本测量原理如图 3-1 所示。

1. 测量机构(也称表头)

表头是一只高灵敏度的磁电式直流电流表。万用表的主要性能指标基本上取决于表头的性能。表头的灵敏度是指表头指针满刻度偏转时流过表头的直流电流值,这个值越小,表头的灵敏度越高。测电压时的内阻越大,其性能越好。

表头上一般有多条刻度线,用于指示电阻、交(直)流电压和直流电流的测量数值,其中电流和电压的刻度线是均匀的,欧姆挡刻度线为非均匀

的。不同电量的刻度线用符号和文字加以区别,直流量用“—”或“DC”表示,交流量用“~”或“AC”表示,欧姆刻度线用“ Ω ”表示。为便于读数,有的刻度线上有多组数字。多数刻度线没有单位,便于在选择不同量程时使用。

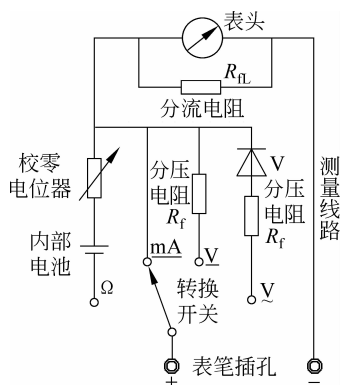


图 3-1 万用最简测量原理图

2. 测量线路

测量线路是用来把各种被测量转换到适合表头测量的微小直流电流的电路,它由电阻、半导体元件及电池组成。它可将各种不同的被测量(如电流、电压、电阻)、不同的量程,经过一系列处理(如整流、分流、分压),统一变成一定量限的微小直流电流送入表头进行测量。

3. 转换开关

转换开关的作用是选择各种不同的测量线路,以满足不同种类和不同量程的测量要求。

3.1.2 万用表的使用及注意事项

各种模拟式万用表的使用方法基本相同,现以 MF47 型万用表为例进行介绍。

图 3-2 所示为 MF47 型万用表的面板图,该万用表具有 26 个基本量程和电平、电容、电感、晶体管直流参数等 7 个附加参考量程,是一种量限多、分挡细、灵敏度高、体形轻巧、性能稳定、过载保护可靠、读数清晰、使用方便的新型万用表。该万用表的刻度盘与挡位盘印制成红、绿、黑三色。表盘颜色分别按交流红色,晶体管绿色,其余黑色对应制成,以方便读数。刻度盘从上到下共有 6 条刻度,第 1 条供测电阻用,第 2 条供测交直流电压、直流电流之用,第 3 条供测晶体管放大倍数用,第 4 条供测量电容之用,第 5 条供测电感之用,第 6 条用于测音频电平。刻度盘上还装有反光镜,以消除视差。除交直流 2500V 和直流 5A 分别有单独插座之外,其余各挡只需转动一个选择开关,使用方便。

1. 万用表的使用方法

在使用前,应检查指针是否指在机械零位上。若不指在零位,旋转表盖的调零器,使指针指示在零位上。将测试棒(表笔)红、黑插头分别插入“+”、“-”插孔中。若测量交流直流 2500V 或直流 5A,红色表笔应分别插到标有“2500V”或“5A”的插孔中。



图 3-2 MF47 型万用表的面板

(1) 直流电流测量。测量 $0.05\sim 500\text{mA}$ 时,转动转换开关至所需电流挡。测量 5A 时,转换开关可放在 500mA 直流电流量限上,然后将表笔串接于被测电路中。

(2) 交直流电压测量。测量交流 $10\sim 1000\text{V}$ 或直流 $0.25\sim 1000\text{V}$ 时,转动转换开关至所需电压挡。测量交直流 2500V 时,开关应分别旋转至交流 1000V 或直流 1000V 位置上,然后将表笔跨接于被测电路两端。

(3) 直流电阻测量。装上万用表内部电池(R14 型 2 号 1.5V 及 6F22 型 9V 各 1 只)。转动转换开关至所需测量的电阻挡,将测试棒两端短接,进行电气校零,使指针对准欧姆“0”位(若不能指示欧姆 0 位,说明电池电压不足,应更换电池),然后将表笔跨接于被测电路的两端进行测量。

要准确测量电阻,应选择合适的电阻挡位,使指针尽量指向表刻度盘中间三分之一区域;测量电阻时,应先切断电路电源,若电路中有电容,应先放电;当检查电解电容器漏电电阻时,转动开关到 $R\times 1\text{k}\Omega$ 挡,红色表笔必须接电容器负极,黑色表笔接电容器正极。

(4) 电容器测量。对电容器的测量,一般是用万用表 $R\times 1\text{k}\Omega$ 挡测量其性能和好坏,如图 3-3 所示。测量容量较大的完好电容器(5000pF 以上)时,万用表的指针将迅速右摆,然后逐渐返回左端,指针停止时所指电阻值为此电容绝缘电阻。绝缘电阻越大越好,一般应接近 ∞ 。若指针不动,说明电容器已断路;若指针摆动后不返回,则电容器漏电严重,均不能使用。测试较小容量(5000pF 以下)电容时,表针基本不动。

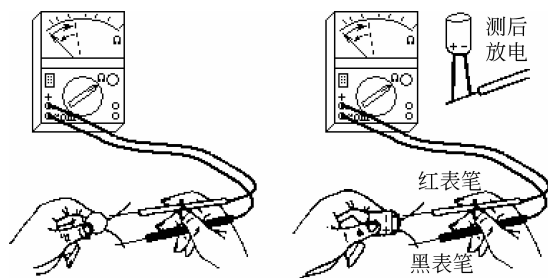


图 3-3 电容器的测量

电解电容器是有极性的电容,测试时应用红表笔接电解电容器负极,黑表笔接正极,电容量越大,表针摆动越大。每次测量后,应将电容器两端短接,放掉所充电荷。

(5) 晶体管直流参数的测量。用万用表可以测量二极管、三极管的管脚极性和管子的好坏。

① 二极管的测量。测试时,选用 $R\times 1\text{k}\Omega$ 挡(发光二极管用 $R\times 10\text{k}\Omega$ 挡)。将被测二极管接到黑、红表笔之间,读取电阻数值;然后颠倒表笔,再读取电阻数值,如图 3-4 所示。如果两次测量的阻值相差很大,说明二极管是好的,且电阻小的一次测量,黑表笔所接一端为正极,红表笔所接一端为负极;如果两次测量的阻值相差不是很大,说明二极管的性能不好;如果两次测量的阻值相等且均很大,说明二极管内部已经断路;如果两次测量的阻值相等且均很小,说明二极管内部已经短路。

② 三极管管脚极性的判别。完好三极管管脚极性的判别主要是确定基极 b 和集电极 c ,进而知道发射极 e 。测试时,将万用表置于 $R\times 1\text{k}\Omega$ 挡。先假定任一管脚为基极,将

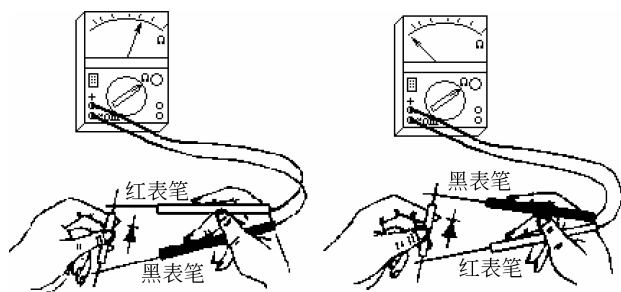


图 3-4 二极管的测量

红表笔接假定的基极,黑表笔分别去接触另外两个管脚,如测得的都是低阻值,则红表笔所接触的管脚是 PNP 型三极管的基极 b;如测得的均为高阻值,则为 NPN 型三极管的基极 b。若测量时两个管脚的阻值差异很大,可另选一个管脚为假定的基极,直至满足上述条件为止,如图 3-5 所示。

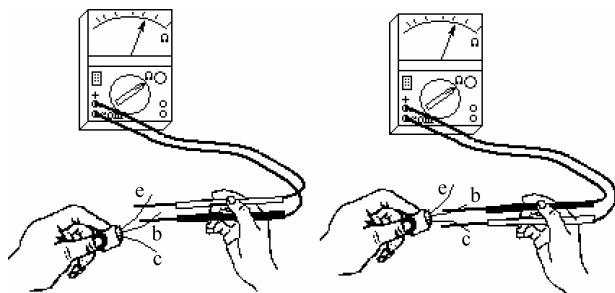


图 3-5 三极管基极的判别

判定基极 b 之后,判断集电极 c 和发射极 e。对于 NPN 型三极管,当集电极接正电压,发射极接负电压时,电流放大倍数比较大;PNP 型管则相反。根据这一原理可进行二者的判断。测试 NPN 型三极管时,先假定基极之外的任意一个管脚为集电极 c,并将黑表笔(接万用表内部电池的正极)与之相接,红表笔(接万用表内部电池的负极)接剩余的一个管脚,再用左手的食指和拇指捏住基极和假定的集电极(但两只管脚不能金属相碰),读取电阻数值;然后,假定另一个管脚为集电极,用同样的方法测量和读取电阻数值,比较两次测量结果,阻值小的那次假设就是正确的,如图 3-6 所示。对于 PNP 型三极管,同样先假定基极之外的任意一个管脚为集电极 c,但要用红表笔与之相接,黑表笔接另一个管脚,仍假设阻值小的那次测量正确。

③ 直流放大倍数 h_{FE} 的测量。先转动转换开关至晶体管调节 ADJ 位置上,将红、黑表笔短接,调节校零电位器,使指针对准“300” h_{FE} 刻度线,然后转动转换开关到 h_{FE} 位置,将要测晶体管的管脚分别插入晶体管测试座的 e、b、c 管座内,指针偏转所示数值约为晶体管的直流放大倍数。

④ 反向截止电流 I_{ceo} 、 I_{cbo} 的测量。 I_{ceo} 为集电极与发射极间的反向截止电流(基极开路)。 I_{cbo} 为集电极与基极间的反向截止电流(发射极开路)。测量时,转动转换开关到 $R \times k\Omega$ 挡,将表笔两端短路校零(此时满度电流值约 $90\mu A$),再分开表笔。然后,将欲测

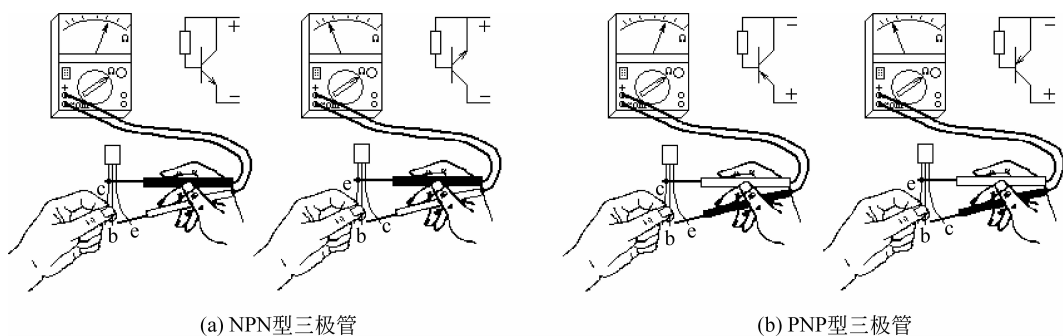


图 3-6 三极管集电极的判别

的晶体管插入管座,此时指针的数值约为晶体管的反向截止电流值,指针指示的刻度值乘以 1.2 即为实际值。当 I_{ce0} 电流值大于 $90\mu\text{A}$ 时,可换用 $R \times 100\Omega$ 挡进行测量(此时,满度电流值约为 $900\mu\text{A}$)。

2. 万用表的使用注意事项

(1) 万用表虽有双重保护装置,使用时仍应遵守下列规程,避免意外损失。

测量高压或大电流时,为避免烧坏开关,应在切断电源情况下变换量程。测未知量的电压或电流时,应先选择最高数,待第一次读取数值后,方可逐渐转至适当位置,以取得较准读数并避免烧坏电路。偶然发生因过载而烧断保险丝时,可打开表盒,然后换上相同型号的保险丝($0.5\text{A}/250\text{V}$)。

(2) 测量高压时,要站在干燥绝缘板上,并用一手操作,防止意外事故。

(3) 电阻各挡用的干电池应定期检查、更换,以保证测量精度。平时不用万用表,应将转换开关打到交流电压最高挡;如长期不用,应取出电池,防止电解液溢出,腐蚀损坏其他零件。

3.1.3 数字万用表简介

数字万用表的应用较为普遍,与模拟式万用表相比,它具有灵敏度高,准确度高,显示清晰,过载能力强,便于携带,使用更简单等特点。下面以 VC9802 型数字万用表为例,简单介绍其使用方法和注意事项。VC9802 型数字万用表的外观如图 3-7 所示。

1. 使用方法

使用前,应认真阅读有关的使用说明书,熟悉电源开关、量程开关、插孔及特殊插口的作用。

(1) 交直流电压的测量: 根据需要,将量程开关拨至 DCV(直流)或 ACV(交流)的合适量程。将红表笔插入 $V\Omega$ 孔,黑表笔插入 COM 孔,再将表笔与被测线路并联,即可直接读数。



图 3-7 VC9802 型数字万用表

(2) 交直流电流的测量: 将量程开关拨至 DCA(直流)或 ACA(交流)的合适量程, 将红表笔插入 mA 孔(<200mA 时)或 10A 孔(>200mA 时), 黑表笔插入 COM 孔, 再将万用表串联在被测电路中。测量直流量时, 数字万用表能自动显示极性。

(3) 电阻的测量: 将量程开关拨至欧姆挡的合适量程, 再将红表笔插入 $V\Omega$ 孔, 黑表笔插入 COM 孔。如果被测电阻值超出所选择量程的最大值, 万用表将显示“1”, 这时应选择更高的量程。测量电阻时, 红表笔为正极, 黑表笔为负极, 这与指针式万用表正好相反。因此, 测量晶体管、电解电容器等有极性的元器件时, 必须注意表笔的极性。

2. 使用注意事项

如果无法预先估计被测电压或电流的大小, 应先拨至最高量程挡测量一次, 再视情况逐渐把量程减小到合适位置。测量完毕, 应将量程开关拨到交流电压最高电压挡, 并关闭电源。

满量程时, 仪表仅在最高位显示数字“1”, 其他位均消失, 这时应选择更高的量程。

测量电压时, 应将数字万用表与被测电路并联。测电流时, 应与被测电路串联。测直流量时, 不必考虑正、负极性。

当误用交流电压挡测量直流电压, 或者误用直流电压挡测量交流电压时, 显示屏将显示“000”, 或低位上的数字出现跳动。

禁止在测量高电压(220V 以上)或大电流(0.5A 以上)时换量程, 以防止产生电弧, 烧毁开关触点。

当显示“·”、“BATT”或“LOW BAT”时, 表示电池电压低于工作电压。

任务 3.2 兆欧表及接地电阻测量仪

3.2.1 兆欧表的结构及工作原理

兆欧表又称摇表、高阻计、绝缘电阻表等, 是一种测量电气设备及电路绝缘电阻的仪表。

兆欧表的外形如图 3-8(a)所示。它主要由手摇直流发电机(或交流发电机加整流器)、磁电系比率表及测量线路三个部分组成。它的磁电系比率表有两个互成一定角度的可动线圈, 安装在一个有缺口的圆柱铁芯外面, 并与指针一起固定在同一转轴上, 构成比率表的可动部分, 被置于永久磁铁的磁场中。其中, 磁铁的磁极与圆柱铁芯之间的气隙是不均匀的。由于比率表的指针没有阻尼弹簧, 在仪表不用时, 指针可以停留在任何位置。

兆欧表的工作原理可用图 3-8(b)说明。摇动手柄, 直流发电机输出电流, 其中一路电流 I_1 流入线圈 1 和被测电阻 R_x 的回路, 另一路电流 I_2 流入线圈 2 与附加电阻 R_2 的回路。设线圈 1 的电阻为 r_1 , 线圈 2 的电阻为 r_2 , 根据欧姆定律, 有

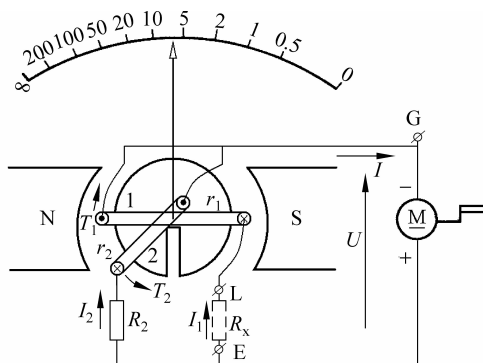
$$I_1 = \frac{U}{r_1 + R_x} \quad (3-1)$$

$$I_2 = \frac{U}{r_2 + R_2} \quad (3-2)$$

两式相比得



(a) 外形



(b) 工作原理示意图

图 3-8 兆欧表的外形和工作原理示意图

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2 + R_2}{r_1 + R_x} \quad (3-3)$$

式中： r_1 、 r_2 、 R_2 均为定值， R_x 为变量。 R_x 改变必然引起电流比值 I_1/I_2 的改变。

当 I_1 和 I_2 分别流过线圈 1 和线圈 2 时，受到永久磁铁磁场的作用，分别产生转动力矩 T_1 和 T_2 。由于两个线圈的绕向相反，使两个力矩作用方向相反，其合力矩使指针发生偏转。当 $T_1 = T_2$ 时，指针静止不动，所指示值就是被测设备的绝缘电阻值。

由图 3-8 可见，兆欧表未接入电路时，相当于 $R_x = \infty$ ，线圈 1 回路电流 $I_1 = 0$ ，转矩 $T_1 = 0$ ，指针在 I_2 和 T_2 作用下，向反时针方向偏转至 $R_x = \infty$ 位置；如将输出端短接，即 $R_x = 0$ ，则 I_1 最大，在 T_1 与 T_2 的综合作用下，指针顺时针方向偏转至刻度盘的 $R_x = 0$ 处。

3.2.2 兆欧表的选择及使用

1. 兆欧表的选用

常用的兆欧表规格有 250V、500V、1000V、2500V、5000V 等挡级。选用兆欧表主要考虑它的输出电压及测量范围。一般高压电气设备和电路的检测使用电压高的兆欧表，低压电器设备和电路的检测使用电压较低的兆欧表。通常 500V 以下的电气设备和线路的测量，选用 500~1000V 的兆欧表；而瓷瓶、母线、刀闸等测量，选用 2500V 以上的兆欧表。

选择兆欧表的测量范围时，要使测量范围适合被测绝缘电阻的数值，否则将发生较大的测量误差。兆欧表的选择如表 3-1 所示。

表 3-1 兆欧表的选择

被 测 对 象	被测设备或线路额定电压	选用兆欧表的额定电压/V
线圈的绝缘电阻	500V 以下	500
	500V 以上	1000
电机绕组绝缘电阻	380V 以下	1000
变压器、电机绕组绝缘电阻	500V 以上	1000~2500
电气设备和电路绝缘	500V 以下	500~1000
	500V 以上	2500~5000

2. 兆欧表的使用方法

(1) 校表。测量前,应将兆欧表进行一次开路 and 短路试验,检查其性能是否良好。将两条连接线开路,摇动手柄,指针应指在“ ∞ ”处;再把两条连接线短接一下,指针应指在“0”处。符合上述条件者即为良好,否则不能使用。

(2) 将被测设备与线路断开,对于大电容设备,还要放电。

(3) 选用电压等级符合的兆欧表。

(4) 测量绝缘电阻时,“L”端接被测导体,“E”端接地,但在测量电缆的对地绝缘电阻或被测设备的漏电流较严重时,就要使用“G”端,并将“G”端接屏蔽层或外壳,如图 3-9 所示。线路接好后,可按顺时针方向转动摇把,摇动的速度由慢而快,当转速达到每分钟 120 转左右时,保持匀速转动,1 分钟后读数,并且要边摇边读数,不能停下来读数。

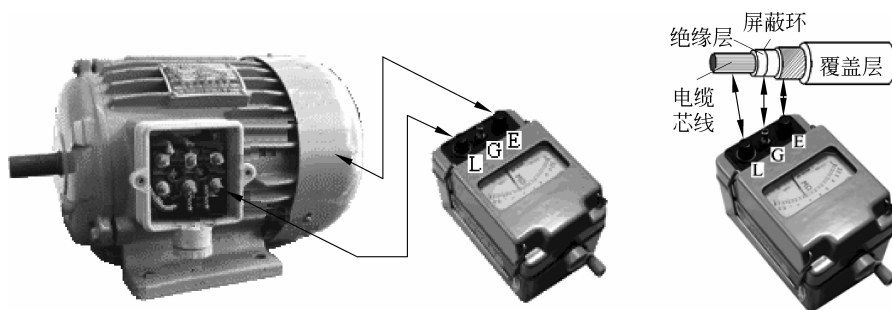


图 3-9 兆欧表的接线

(5) 拆线放电。读数完毕,一边慢摇,一边拆线,然后将被测设备放电。放电方法是将测量时使用的地线从兆欧表上取下来,再与被测设备短接一下(不是兆欧表放电)。

3. 使用注意事项

(1) 禁止在雷电时或高压设备附近测绝缘电阻,只能在设备不带电,也没有感应电的情况下测量。

(2) 摇测过程中,被测设备上不能有人工作。

(3) 表线不能绞在一起,要分开。

(4) 兆欧表未停止转动之前或被测设备未放电之前,严禁用手触及。拆线时,也不要触及引线的金属部分。

(5) 测量结束时,对于大电容设备,要放电。

(6) 要定期校验其准确度。

3.2.3 接地电阻测量仪的使用

接地电阻测量仪又称接地兆欧表,是一种便携式指示仪表,主要用于测量电气系统、避雷系统等接地装置的接地电阻和土壤电阻率。下面以 ZC-8 型接地电阻测量仪为例介绍其结构、工作原理及使用方法,其外形及附件如图 3-10 所示。

1. 结构和工作原理

ZC-8 型接地电阻测量仪由高灵敏度的检流计 G、交流发电机 M、电流互感器 L_H 及

调节电位器 R_P 、测量用接地极 E、电压辅助电极 P、电流辅助电极 C 等组成,被测接地电阻 R_x 接于 E 和 P 之间,如图 3-11 所示。



图 3-10 ZC-8 型接地电阻测量仪及其附件

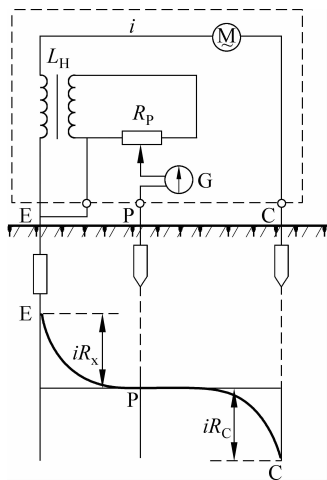


图 3-11 ZC-8 型接地电阻测量仪原理电路

当交流发电机 M 以 120r/min 的速度转动时,产生 90~98Hz 的交变电流 i ,该电流通过互感器 L_H 的原边、接地极 E、电流辅助电极 C 形成回路。在接地电阻 R_x 上产生电压降 iR_x ,其电位分布如图 3-11 中的 EP 段曲线所示。通过 PC 之间地电阻 R_C 产生的电压降 iR_C 的电位分布如图 3-11 中的曲线 PC 所示。

设电流互感器比率为 k ,则副绕组中电流为 ki ,该电流流过调节电位器 R_P ,产生电压 kiR_P 。由图 3-11 可看出,检流计 G 所测电压实际是 kiR_P 和 iR_x 之间的电位差。调节 R_P ,使检流计指示为零,则有 $kiR_P = iR_x$,即 $R_x = kR_P$ 。

可见,所测得的接地电阻值,就是互感器比率与调节电位器 R_P 阻值的乘积,与电压辅助电极 P 和电流辅助电极 C 之间的地电阻 R_C 无关。

2. 接地电阻测量仪的使用方法

ZC-8 型接地电阻测量仪有 P_1 、 P_2 、 C_1 、 C_2 四个接线柱。在有的仪表中, P_2 、 C_2 在内部已接通,其表壳接线柱直接标为 E。测量时,将 P_2 、 C_2 与被测接地装置的接地体 E 相接, P_1 接电压辅助探针, C_1 接电流辅助探针。两根探针之间及与接地体之间均应保持 20m 以上的距离,如图 3-12 所示。测量方法如下:

(1) 将仪表水平放置,对指针机械调零,使其指在标度尺红线上。

(2) 将量程(倍率)选择开关置于最大量程位置,缓慢摇动发电机摇柄,同时调整

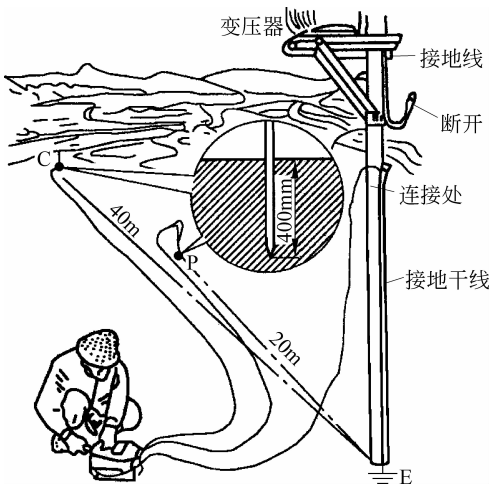


图 3-12 接地电阻测量连接示意图

“测量标度盘”,即可调节电位器 R_p 的阻值,使检流计指针始终指在红线上。这时,仪表内部电路工作在平衡状态。当指针接近红线时,加快发电机摇柄转速,使其达到额定转速(120r/min)。再次调节“测量标度盘”,使指针稳定在红线上,所测接地电阻值即为“测量标度盘”读数(R_p)乘以倍率标度。

若“测量标度盘”读数小于1,应将量程选择开关置于较小一档,重新测量。

(3) 可用 ZC-8 型接地电阻测量仪测量导体电阻:先用导线将 P_1 、 C_1 接线柱短接,再将被测导体接于 E(或 P_2 、 C_2 短接的公共点)与 P_1 之间,其余步骤与测量接地电阻相同。

(4) 用 ZC-8 型接地电阻测量仪还可测土壤电阻率,具体操作见仪器说明书。

必须注意,应用该仪器测量接地装置的接地电阻时,为了获得较高的测量精度,必须先将接地线路与被保护的设备断开;若测量时检流计灵敏度过低,可在电压探针 P_1 和电流探针 C_1 的接地处注水,减小两根探针的接地电阻。若检流计灵敏度过高,可减小电压探针插入土中的深度。

任务 3.3 钳 形 表

3.3.1 钳形表的结构及原理

用普通电流表测量电流,必须将被测电路断开,把电流表串入被测电路,操作很不方便。采用钳形电流表,不需断开电路就可直接测量交流电路的电流,使用非常方便。

钳形电流表简称钳形表,其外形结构如图 3-13 所示。测量部分主要由一只电磁式电流表和穿心式电流互感器组成。穿心式电流互感器的铁芯做成活动开口,且成钳形,故名钳形电流表。穿心式电流互感器的原边绕组为穿过互感器中心的被测导线,副边绕组则缠绕在铁芯上与整流电流表相连。旋钮实际上是一个量程选择开关,扳手用于控制穿心式互感器铁芯的开合,以便使其钳入被测导线。

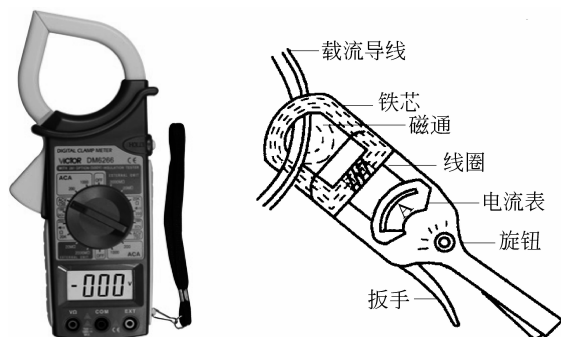


图 3-13 钳形电流表的外形图

测量时,按动扳手,钳口打开,将被测载流导线置于穿心式电流互感器的中间。当被测载流导线中有交变电流通过时,交流电流的磁通在互感器副绕组中感应出电流,使电磁式电流表的指针发生偏转,在表盘上可读出被测电流值。