

电工技术

本章首先介绍人体触电的形式及触电的原因,然后重点讲述触电的防护以及安全用电常识。

1.1 人体触电的形式

常见的人体触电的形式一般分为直接接触触电和间接接触触电。

1. 直接接触触电

直接接触触电是指人体直接接触到带电体或者是人体过分地接近带电体而发生的触电现象。常见的直接接触触电有单相触电和两相触电。

(1) 单相触电。这是最常见的一种触电方式。人站在地面上,人体的某一部分接触电源的相线(又称为火线),电流从火线流经人体到大地或者中性线构成回路,这种触电方式称为单相触电,单相触电人体所承受的电压是相电压,如图 1-1 所示。在低压供电系统中发生单相触电,人体所承受的电压几乎就是电源的相电压 220V。

(2) 两相触电。当人体同时接触电气设备或线路中的两相导体而发生的触电现象称为两相触电,如图 1-2 所示。在低压供电系统中,若人体触及一相火线、一相零线,人体承受的电压为 220V;若人体触及两根火线,则人体承受的电压为线电压 380V。因此,相对于单相触电来说,两相触电人体所承受的电压更高,因此危险性更大。

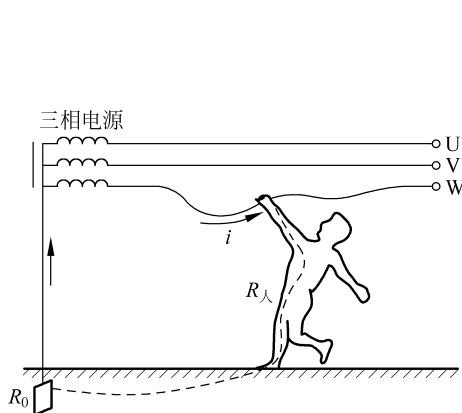


图 1-1 单相触电

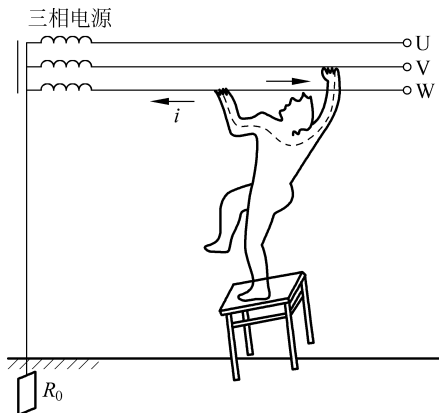


图 1-2 两相触电

2. 间接接触触电

电气设备在故障情况下,如绝缘损坏,外露的可导电部分如金属外壳等则可能带电。当人体接触了可导电的设备外壳或金属构架,而发生的触电现象,称为间接接触触电,也称为“碰壳”故障触电,如图 1-3 所示。这种触电方式造成的后果取决于电气设备故障条件下的接触电压的大小。

另外一种间接触电的方式是跨步电压触电,如图 1-4 所示。当雷电流入大地或高压输电线因断落而触地时,电流就会在雷电流入点或导线的落地点向大地流散,于是地面上以导线落地点为中心,形成了一个电势分布区域,离落地点越远,电流越分散,地面电势也越低。人、畜跨入此区域内两脚之间将存在电压,称为跨步电压。人受到跨步电压时,电流沿着人的下身,从脚经腿、胯部又到脚与大地形成通路,有可能造成触电。

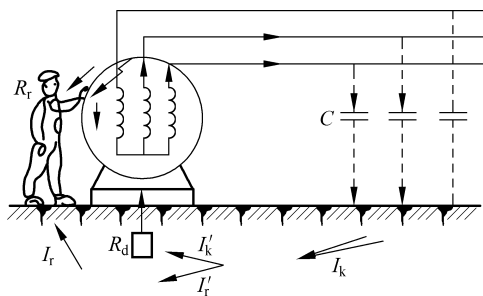


图 1-3 碰壳故障触电

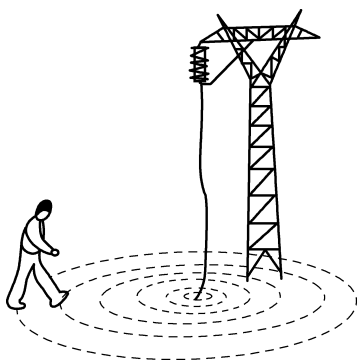


图 1-4 跨步电压触电

1.2 人体触电的原因

人体触电的原因一般为以下几类:

(1) 未遵守安全操作规程,导致人体直接接触或近距离靠近电气设备带电部分。例如,未切断电源去进行接线操作或查找线路的故障;带电操作时未采取可靠的保护措施或者对电器操作方法不当;用潮湿的布擦拭电线或电器;随意更换熔断器规格使其失去保护作用等。

(2) 用电设备不符合要求。例如,电气设备内部绝缘损坏,导致人体触及带电的电气设备外壳或与之相连接的金属支架;设备金属外壳未加接地保护措施;因接线错误导致电器外壳带电等。

(3) 靠近电气设备绝缘损坏处或其他带电部分的接地短路处,接触到较高电压引起的伤害。

(4) 操作用电时不谨慎。违反规程乱拉电线、电灯,乱动电器用具造成触电。

1.3 人体触电的防护

发生人体触电时,电流流过人体会引起肌肉抽搐、内部组织损伤,严重时将引起昏迷、窒息甚至心脏停止跳动而死亡,这种伤害称为电击。另外,在电流的热效应、化学效应、机械效应的作用下,造成人体外伤如灼伤、烙伤和皮肤金属化等伤害,称为电伤。

1.3.1 安全电压

触电时,人体所承受的电压越低,流过人体的电流越小,触电伤害就越轻,当电压低到某一值后,对人体就不会造成伤害。安全电压是指人体不戴任何防护设备,接触带电体时对人体各部位不造成任何损害的电压。由于对触电后果产生直接影响的是触电电流而不是电压,因此在不同场合,当人体阻值不同时,安全电压的标准也是不同的。我国有关标准规定,安全电压分为 12V、24V 和 36V 这三个等级,分别适用于不同场合。一般环境条件下若无特殊防护措施,允许的安全电压是 36V。在潮湿的环境,人体阻值相对较小,安全电压的标准就会相应降低。

1.3.2 触电保护措施

1. 直接接触防护

- (1) 利用绝缘防护。
- (2) 屏护或设置阻挡物防护。
- (3) 安全距离防护。
- (4) 自动断电防护。通过加装漏电保护、过电流保护、过电压或欠电压保护、过载保护等,在故障发生时自动切断电源,可起到保护作用。

2. 间接触电防护

(1) 工作接地。将电源变压器和三相四线电路中的中性点通过接地装置与大地可靠地连接起来称工作接地,如图 1-5 所示。实行工作接地后,当单相对地发生短路故障时,短路电流使熔断器断开或自动断路器跳闸断电,起到安全保护的作用。

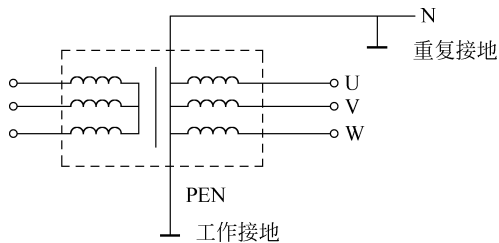


图 1-5 工作接地

(2) 保护接地和保护接零。电气设备外露的导电部分和设备发生绝缘故障等导致设备外壳带电,会对人体造成伤害,为了降低接触电压,减少对人体的危害,应该对设备的金属外壳进行接地。在电源中性点不接地或经阻抗接地系统(三相三线制)或者电源中性点直接接地并引出中性线(三相四线制系统)系统中,将设备外壳通过各自的接地体与大地紧密相接,这种接地方式称为保护接地,如图 1-6 所示。在 IT 系统中,采用保护接地,只要将接地电阻限制在足够小的范围内,就能使流过人体的电流小于安全电流,从而保证人身安全。在 TT 系统中,采用接地保护后,当电气设备发生“碰壳”,设备外壳接地故障电流流经保护接地电阻、系统工作接地电阻以及电源构成回路,需要装设灵敏度较高的电流保护装置切除故障回路。

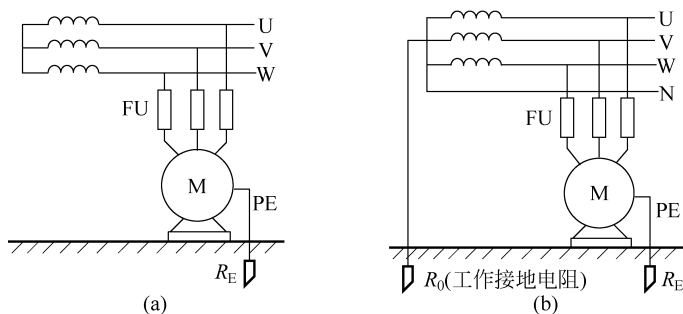


图 1-6 接地故障保护

(a) IT 系统; (b) TT 系统

在电源中性点直接接地并引出中性线(N 线)系统中,还可以将设备外壳等可导电部分通过公共的保护线(PE 或 PEN)接地,这种方式过去称为“保护接零”。TN 系统保护接零如图 1-7 所示,为确保公共 PE 线或 PEN 线安全可靠,除了中性点进行工作接地外,还必须在 PE 线或 PEN 线的其他地方进行多次接地,称为重复接地。

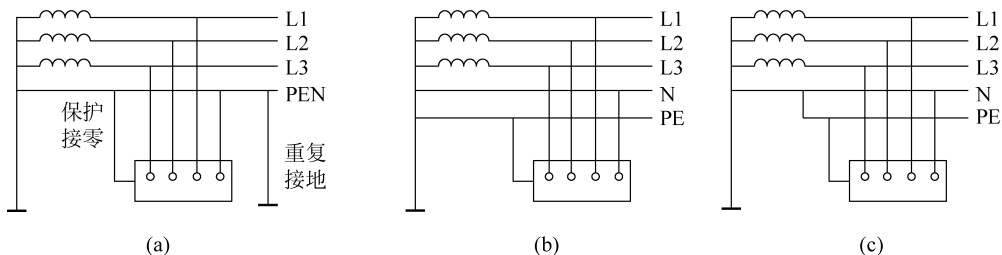


图 1-7 保护接零

(a) TN-C 系统; (b) TN-S 系统; (c) TN-C-S 系统

(3) 插座的接线方法。插座上端标有接地符号的孔为保护接零端,如三眼插座上边的孔接地线,右边的孔是电源火线,左边的孔是中性线;四眼插座上边的孔接地线,其他三个孔接三相火线,连线如图 1-8 所示。插座接线不能接错,否则会造成负载零电压或相电压通过插座内连线使用电设备外壳带电。

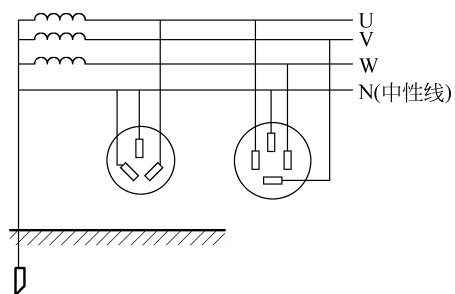


图 1-8 插座的正确接法

思考题

1. 三眼插座中的电源火线与中性线接反,用电器会造成什么故障?
2. 人体能承受的安全电压是多少?

2.1 电磁系电压表和电流表

电磁系电压表可以测量直流电压和交流电压,电磁系电流表可以测量直流电流和交流电流。电磁系仪表测量交流电时指针指示的数值是交流电的有效值。电磁系测量仪表指针偏转角度与线圈中的电流的平方成正比,电磁系测量仪表的刻度尺是不均匀分布的。指针的偏转角度和线圈中的电流有以下关系:

$$\alpha = K(NI)^2 \quad (2-1)$$

式中, K 是仪表结构常数; N 是偏转线圈匝数; I 是偏转线圈电流。

测量直流电压时电压表要和被测电路并联,电压表“+”端接被测电路高电位端,“-”端接被测电路低电位端;测量交流电压时,电压表不分正负极性。测量时根据被测电压或电流的大小选择量程,尽量使指针偏转在标尺的 $2/3$ 的以上范围,使测量结果准确。测量电路如图 2-1 所示。

测量直流电流时,电流表“+”端是电流流入端,“-”端是电流流出端。电流表必须与被测电路串联。测量时若不知被测电流大小,一般选择电流表最大量程,若量程太大,再选择合适的量程。测量电路如图 2-2 所示。

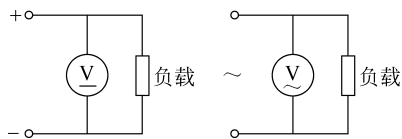


图 2-1 直、交流电压测量电路

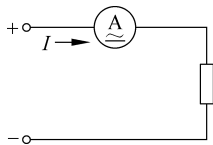


图 2-2 电流测量电路

2.2 模拟式万用表

模拟式万用表又称指针式万用表,采用磁电系表头作为测量指示机构。指针式万用表可以测量直流电流、直流电压、交流电压、电阻和音频电平,有的指针式万用表可以测交流电流、三极管放大倍数、电容、电感等参数。

2.2.1 模拟式万用表的组成原理

1. 表头

1) 表头结构及工作原理

指针式万用表采用磁电系表头,其内部结构如图 2-3 所示,它由永久磁铁、极掌、圆柱形铁芯、转动线圈、转轴、指针、游丝、平衡锤和调零器组成。永久磁铁在两极掌和固定在仪表支架上的圆柱形铁芯之间形成一个均匀分布的磁场。转动线圈与转轴、指针、游丝、平衡锤、调零器装成一体。转动线圈用细漆包线绕制在矩形铁芯框架上,当线圈内流过电流时,可以在气隙内转动。转轴两端支承在表头支架的轴承上。安装在转轴两端的两盘游丝,绕向相反,其内端固定在转轴上与转动线圈相连,并参与导通电流。其中一盘游丝的外端固定在支架上,另一盘游丝外端与调零器相连。当仪表指针不在零位时,可以调节调零器上的调零螺丝,改变游丝的松紧程度,使指针指零。

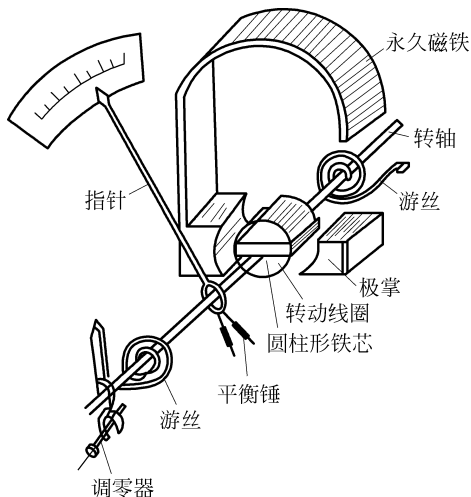


图 2-3 表头结构

2) 表头的偏转原理

指针式万用表起主要作用的是磁电系表头。表头的满偏转电流一般由 $10\mu\text{A}$ 到 $100\mu\text{A}$,满偏转电流越小,灵敏度越高,表头性能越好。

磁电系表头一般由永久磁铁、动圈框架、动圈绕组、游丝、轴承支架和指针组成。永久磁铁在空气隙中产生均匀辐射磁场,动圈绕组中通以直流电流,二者相互作用使动圈产生转动转矩。当转动转矩与装在转轴上的游丝所产生的反作用力矩平衡时,指针便停下来,从表盘标度尺上可以读出测量的电量。

通电导体在磁场中受力的方向可以由左手定则来判断。受力的大小由下式决定:

$$F = B_0 I L N \quad (2-2)$$

作用于动圈绕组上的转动转矩由下式决定:

$$M = 2F \times b/2 = Fb = B_0 I L b N = B_0 I S N \quad (2-3)$$

式中, B_0 为空气隙中的磁感应强度; I 为通过动圈绕组电流; L 为动圈绕组在空气隙中的

有效长度; b 为动圈绕组的平均宽度; S 为动圈的有效面积; N 为动圈绕组匝数。

转动力矩使与线圈固定在一起的转轴转动时,游丝抱紧,产生反作用力矩 $M_{\text{反}}$ 。反作用力矩的大小与游丝抱紧的松紧成正比,即与线圈转动时的角度 α 成正比。

$$M_{\text{反}} = k\alpha \quad (2-4)$$

式中, k 为游丝的反作用系数,其值由游丝的材料、尺寸决定;反作用力矩的大小随线圈偏转的角度 α 增大而增大,当达到某一平衡位置时,指针停止在某一位置。

$$M = M_{\text{反}} \quad (2-5)$$

$$B_0 I SN = k\alpha \quad (2-6)$$

$$\alpha = B_0 I SN / k \quad (2-7)$$

式中, B_0 、 S 、 N 、 k 为常数;线圈偏转角度 α 与通过线圈的电流 I 成正比,即用指针偏转角度的大小指示被测电流的大小,并在标度尺指示被测电流的值。

由以上两式可以确定动圈转动力矩 M 与动圈中通过的电流 I 成正比,与动圈绕组相连的表指针转动的角度与通过动圈绕组的电流 I 成正比,即电流 I 越大,指针偏转的角度越大。

3) 表头参数测定

表头参数主要指表头内阻和表头灵敏度,这两个参数是组装万用表电路的重要依据。在组装万用表时须测定表头内阻和灵敏度的精确值,与表头标定值比较,尽可能选择标准的表头。

(1) 表头内阻的测定。表头内阻指动圈绕组的直流电阻。表头内阻的测量方法应用电桥法,测量电路如图 2-4 所示。图中 $R_1 = R_2$, R_X 为标准电桥调节电阻,其旋钮的标示值指示调节电阻, R_M 为表头内阻。当 $R_X = R_M$ 时,检流计 G 指示为零, R_X 标示值指示表头内阻值。

(2) 表头灵敏度的测定。测定表头灵敏度是测量其满偏转时的电流值,电流值越小表明表头灵敏度越高。测量电路如图 2-5 所示。图中 M_1 为比被测表高 1~2 级的标准表, M_2 为被测表头。调节 R_2 使被测表指针指示满偏转,此时标准表上指示的电流值即为被测表的灵敏度。

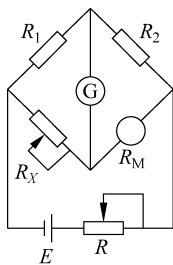


图 2-4 表头内阻测量电路

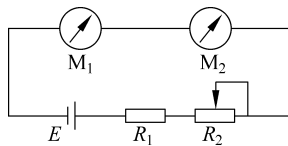


图 2-5 表头灵敏度测量

2. 转换开关

转换开关用于选择测量参数及量程,用于切换需要连接的测量电路。转换开关包括固定触点和活动触点。MF-47 型万用表的转换开关如图 2-6 所示。此转换开关直接在印制电路板上作出,使用手动旋钮,通过旋转和手动旋钮装在一起的活动触点选择测量电路。