

内 容 提 要

本书对于万用电表的装制用图解对照的方法作了详细的介绍,可供实验时的参考。书中介绍三种电路结构不同的万用电表,各有具体的和系统的装配步骤图,对于万用电表的应用零件、工作原理、校验和修理常识,也有适当的介绍。

本书根据上海科学技术出版社1966年5月版本重印。

实 验 万 用 电 表

(原上海科技版)

上海人民出版社出版

(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海东方红印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张4.5 插页1 字数95,000

1968年3月第1版 1970年10月第1版 1970年10月第1次印刷

书号: 15·4·47 定价: 0.28元

前 言

万用电表是一种可以测量电流、电压及电阻数值的复用电表，也是装制和修理各种无线电机或其他电机时必需的一种仪器。万用电表要有相当的准确度，现在市上已有很多现成的现成制品，但自己装配万用电表并不困难，所需费用不多，而制成后的万用电表也都很准确耐用。

本书中共介绍三种电路结构不同的万用电表：前两种是用普通(0~1毫安)表头装制的，其中一种利用变换插口的地位来变换测量的范围；另一种则利用变换开关的接触点来变换测量的范围；第三种是用高灵敏(0~50微安)表头装制的，也利用转换开关来变换测量的范围，但是测量的范围却比前两种更广。

本书的第一章，把装制万用电表所需的零件作了详细的说明，凡是不容易买到的精确零件如阻值很小及阻值畸零不整的电阻器等，则介绍自制的方法。对于上述三种万用电表所用的面板和表箱，都注有尺寸，以便读者仿制。第二章是万用电表的工作原理简述。第三、四两章是上述三种万用电表的实验方法，对于每一种电路的结构，都先加以详细的分析，然后再用实体接线图，把装接的顺序一一列出。第五章介绍这些自制的万用电表校验和修理的方法，以及使用万用电表时应该注意的地方，这对于万用电表的维护是非常重要的。

最后，在附录里面，有万用电表表面的绘制方法、零件数值的换用表和常用的计算公式，并附有实例，以供参考。

目 录

前 言

第一章 应用零件的说明	1
第一节 表头	1
第二节 氧化铜整流器	7
第三节 各种开关	11
第四节 电池	13
第五节 电阻器	15
第六节 面板和表箱	18
第七节 其他零件	21
第二章 万用电表的工作原理	23
第一节 怎样扩大直流电流的测量范围	23
第二节 怎样测量直流电压	30
第三节 怎样测量电阻	38
第四节 怎样测量交流电	50
第五节 测量范围的确定	56
第三章 普通万用电表的实验	59
第一节 插口换接式万用电表	59
第二节 开关换接式万用电表	70
第四章 高灵敏度万用电表的实验	80
第一节 电路的分析	84
第二节 装制的顺序	90
第五章 万用电表的校验、使用和修理	95
第一节 万用电表的校验	95
第二节 使用万用电表时应该注意的地方	100
第三节 万用电表的修理	103

附录	106
(一) 万用电表表面的绘制	106
(二) 表头的内阻不同时, 零件数值的换用表	119
(三) 中心点阻值不同时, 零件数值的换用表	122
(四) 测量的范围不同时, 零件数值的换用表	123
(五) 万用电表常用的简单计算公式	127

第一章

应用零件的說明

万用电表中的应用零件不多，但这些零件的质量与万用电表的准确性有很大关系，所以正确认识和选用零件是有重要意义的。

第一节 表 头

万用电表是由一只灵敏的直流电流表加上若干零件所组成的，这只“灵敏的直流电流表”通常称做“表头”。表头的质量直接影响着万用电表的准确性，所以应当很好地了解它的性能和构造。

(一) 表头的性能

万用电表常用的表头，有圆形的，也有方形的。直径约为51~102毫米(2~4吋)。表头的左端有一根细长的指针，能够随着通过电流的大小，向右作不同程度的偏转。指针的下面是一张表面，印有一条(万用电表或有多种测量范围的表头则有好几条)已经校准好的标度，用来标明通过电流的数值。

在正常情况下，指针未使用时停留在表头的最左端，刚指在“0”的地位，见图1-1。如果它没有对准着“0”，就应该用小旋簧旋动表盖中部的螺钉来校准，否则测量的结果就不准确。

凡是表头中通过的电流愈小，而指针偏转得愈多的，这种表头就愈灵敏。表头的灵敏程度，用灵敏度高、低来表示。一只称作“0~1毫安”的表头，就是说这只表头在沒有使用以

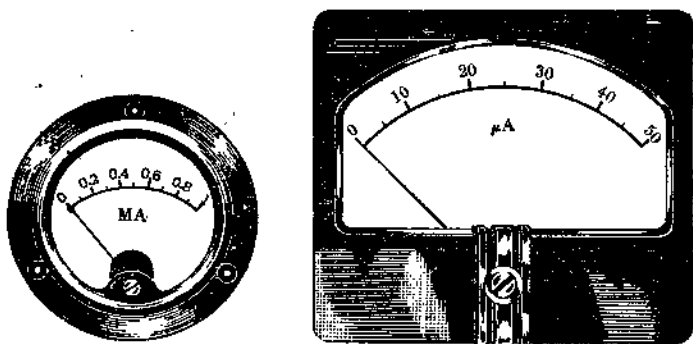


图 1-1 两种表头的外形

前，它的指针始终停留在表面的最左端，指在“0”的地位，当有1毫安的电通过时，指针便会由“0”转到最右端，指向“1毫安”的地位。又如一只称作“0~50微安”的表头，只要有50微安（1毫安的二十分之一）的电通过，就可使它的指针由“0”转到最右端了。无疑的，0~50微安的表头，它的灵敏度要比0~1毫安的表头高20倍。

指针转到表面的最右端时，我们叫做“满标度偏转”。

指针偏转的多少，和通过的电流大小成正比。要是通过的电流数值只有满标度时的一半，那末指针就停留在表面的正中。应该注意的是：0~1毫安的表头，通过的电流不可超过1毫安，否则它的指针就会因挥摆过度而撞弯；如果通过的电流超过得太多，表头内部的线圈也会因发热过度而烧断。同样的，一只0~50微安的表头，通过的电流不能超过50微安。

表头在使用的时候，正、负也不能接反，接反了指针就会向相反的方向偏转，亦将使指针受损。表头的背后，有两个接线柱，上面注有“+”号和“-”号，就是表头的正端和负端。有

的表头只在正端的接綫柱頂上刻一个“+”号，或者在正端的接綫柱上涂上紅色，来代替“+”号。

普通的万用电表采用 $0\sim 1$ 毫安的表头已經可以胜任了，事实上很多万用电表都是用 $0\sim 1$ 毫安的表头来装制的，所以用这种表头装制的万用电表叫做普通的万用电表。灵敏度較高的万用电表則需要 $0\sim 50$ 微安等灵敏度很高的表头来装制，用这种表头装制的万用电表叫做高灵敏度万用电表。

采用高灵敏度的表头装制的万用电表在測量較小的电流时，讀数比較清晰；在測量电压(尤其是低电压)时，因为它分取被测电路里的电流很小，所以測量的結果更为准确。此外，用它来測量电阻的时候，所需要的电池数量也很少。关于这些，我們将在第二章加以說明和比較。

在灵敏度相同的表头中，凡是直徑愈大，讀数也愈清晰，因为表头的直徑愈大，表面上的标度弧綫也愈长；弧綫长了，分格一定愈多；分格多了，讀数当然更清晰了。所以一般用作万用电表的表头，直徑不宜小于 76 毫米 (3 吋)，而方形的比圓形的更为适用。

我們在购买表头的时候，除了要知道它的灵敏度之外，还应当知道它的內阻，也就是表头内部綫圈的直流电阻。一般 $0\sim 1$ 毫安的表头，內阻大多在 $25\sim 105$ 欧之間，其中以 27 欧的一种最为普遍； $0\sim 50$ 微安的表头，內阻有低至 500 欧以下的，也有高至 2,100 欧的，而以 2,000 欧的一种最普遍。表头的灵敏度和內阻阻值是装制万用电表时一切数值的依据，所以非常重要。成品的新表头，这两項数字都是有說明的，初学的讀者最好购买成品的新表头来装制万用电表。至于灵敏度的高低和直徑的大小，則可以根据自己的需要来决定：或者选用 $0\sim 1$ 毫安的表头；或者选用 $0\sim 50$ 微安的表头。

(二) 表头的构造

装制万用电表时,免不了要揭开表头的盖来更换表面;即使表头上已经附有“万用电表表面”的,也未必适用或准确,所以我们有必要了解一下表头内部的构造。

图 1-2 是表头内部的构造简图,当我们把表头上的螺钉旋下,揭开表盖之后,可以看到一块磁性很强的永久磁钢,它的两极相对,并且大多制成圆形。两极的磁场当中有一块圆柱形的软铁,周围留出一圈距离相等的空隙,线圈就装在这个空隙里面。

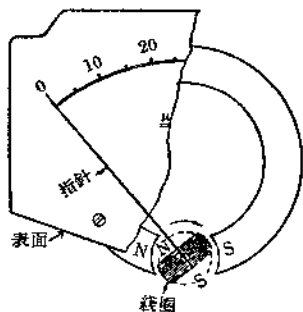


图 1-2 表头内部的构造。当电流依照规定的方向通过线圈时,线圈上便产生磁场,和磁极发生“相斥”的作用而转动

线圈是用很细的漆包线在长方形的铝质框架上绕成的,表头的内阻,便是指这只线圈的直流电阻。线圈上下两面的中心各装有金属轴梗,附有两盘弹簧游丝,轴梗的尖端支在宝石轴承内,整个线圈就被准确地架在磁场的正中,所以当它在软铁周围的磁场里转动时,不会和软铁或永久磁钢的两极相碰。

线圈上部附有很轻的铝质指针,指针的尾端套有平衡用的金属环,线圈转动时,指针也就跟着转动。

为什么线圈中通过了电流会转动呢?原因很简单:当电流依照我们规定的方向通过线圈时,线圈就产生了磁场,由于靠永久磁钢的南极(图中的 S)一面的磁线方向也是南极,靠北极(图中的 N)一面的也是北极,根据“同性相斥”的特性,线圈

便朝着順时針方向(图中的箭头)轉动。轉动的多少和通过的电流大小成正比:电流愈大,轉动的范围也愈大;反之則小。

如果通过綫圈的电流方向相反,那末綫圈便将朝着反时針方向轉动,为了避免指針作反方向轉动,所以綫圈上也就是表头上要規定正端和負端,以便接到电源的正极和負极上。

不要忘記,綫圈上还附有两盘彈簧游絲,它們的回旋方向是相反的,在正常情況下,它們把綫圈固定着使指針指着“0”的地位上,当綫圈轉动时,其中一盘游絲被絞紧,另一盘却相反地放松了,于是产生了“將綫圈拉回原处”的力量。如果綫圈的动力和游絲的拉力相等时,綫圈便停止轉动,这时我們可以由指針停留的地位,从預先校准好的标度上讀出电流的数值来;而当通过綫圈的电流截断时,游絲就馬上把綫圈和指針拉回原处。

这两盘彈簧游絲还有两个用处:

(1) 綫圈上所用的綫是很細的,要是直接引出,很容易折断,有了两盘游絲,綫圈上的两个綫头便可就近分別接在两盘游絲的内端,然后再用較粗的导綫从游絲的外端引到表头的正負两个接綫柱上去。

(2) 上面一盘游絲的外端,連接着一片叉状的銅片,移动这片銅片时,可以改变綫圈和指針在靜止时的地位。如果指針在靜止时并不指在“0”端,可以調整这个銅片来校准,所以这銅片叫做“零点校整器”。我們在讲表头的性能时,曾提到过表盖中部的一个螺釘,那个螺釘的下部有一个突出的小針,当盖上表盖时,小針就嵌在銅片的叉里,因此我們能够在表盖外面校整指針的地位。图 1-3 就是綫圈、指針、游絲及零点校整器的装置情形。

接下来,我們要讲一讲那只鋁质綫圈框架的作用。

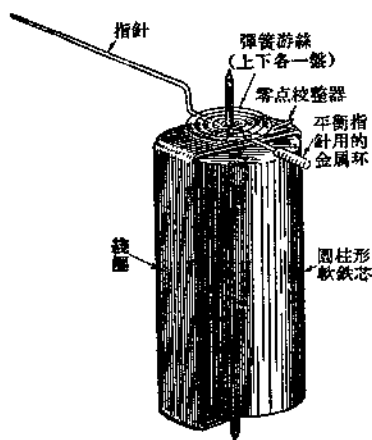


图 1-3 线圈、指針、游絲及零
点校整器的装置情形

线圈是繞在框架上的，线圈轉动时，当然要带着框架一同轉动。框架的本身既然是鋁质的金属，在磁場中轉动时，就一定会截割磁綫而产生感应电流，同时也产生动力，使自己朝反时針方向轉动，直到线圈停止轉动时，这个作用才停止。

框架的这个作用，就使得线圈在轉到应有的地位时，能够很快地停止搖摆，讓我們能及早地讀出指数。否

則线圈在轉动后，将因惯性而搖摆不停，我們亦将等待多时才能讀出确切数来。

最后，我們还得談談表头的灵敏度跟构造的关系，以便对表头的选择和维护上，有一些概念。

表头灵敏度的高低，决定于永久磁鋼磁性的强弱、线圈的大小、匝数的多少、指針的长短輕重、宝石軸承的优劣及彈簧游絲的軟硬程度等六个因素。不过一般表头中所用的磁鋼，总是磁性很强的；线圈的面积虽然愈大愈好，总得适可而止，如果太大，就会使重量增加，反而得不偿失；指針总是采用輕而坚韧的金属薄片制成，以減輕重量；軸承也总是选取上品的；至于彈簧游絲，則总是采用彈性优良的磷銅片繞成，以质地柔軟而能剛好支持线圈和指針为度。所以表头灵敏度高低的主要因素，大多数还是决定在线圈的匝数上。通常灵敏度高的表头，匝数都很多，为了顧到线圈的重量和繞綫的地位，

用的綫极細,因此表头的灵敏度愈高,綫圈的內阻就愈大。有时在其他几种因素不够好的限制下,一般也往往增加綫圈的匝数,来增强綫圈的磁場,以提高灵敏度。所以灵敏度相同的表头,也可以有不同的內阻。

从上面这些和灵敏度有关的因素方面,我們当可知道:表头的各部分是比较脆弱的,绝对經不起剧烈地震动,买来以后,应当小心地放在盒內,也不要常把表盖打开,以免沾上灰尘,影响它的灵敏度。

第二节 氧化銅整流器

表头是直流电流表,不能用来测量交流电。但如果先把交流电經過整流,使它变为直流电以后,就可以用表头来測量了。

万用电表中常用氧化銅整流器来担任整流工作。氧化銅是一种經過特殊处理的銅片,它的一面是純銅,另一面是一层氧化銅(实际上是氧化亚銅,习惯上称它为氧化銅)薄膜,如图 1-4。



图 1-4 氧化銅及其符号

氧化銅具有“单向导电”的特性,它可以让电流順利地从銅流向氧化銅,但很难使电流从氧化銅流向銅,即电流从銅流向氧化銅时受到的电阻很小,而从氧化銅流向銅时受到的电阻很大,两者之間阻值之比約为 1:40 或更大。假定正方向(由銅至氧化銅)通过的电流是 1 毫安,那末反方向(由氧化銅至銅)通过的电流是 1/40 毫安。

氧化銅具有这种特性,所以可以用在万用电表中,作为变交流为直流的整流器。这种用氧化銅来担任整流工作的整流器就叫做氧化銅整流器。

常用的氧化銅整流器有全波的和半波的二種。全波整流器由四片氧化銅組成，一般接成“橋式”，它的外形及符號如圖 1-5 及 1-6。在使用的時候，我們應當把圖中注有“~”號的兩焊片分別接在交流電源上，注有“+”號和“-”號的兩焊片分接表頭的正、負兩個接線柱，如圖 1-7。要是所買的氧化銅整流器式樣類似圖 1-5 左邊那一種，那末使用時應當把兩個有“+”號的焊片用線連起來，作為一個正極；並不是任何一個有“+”號的焊片用線連起來，作為一個正極；並不是任何一個有

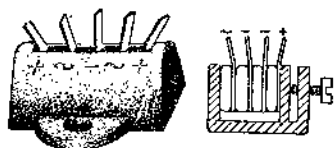


圖 1-5 兩種全波橋式氧化銅整流器的外形

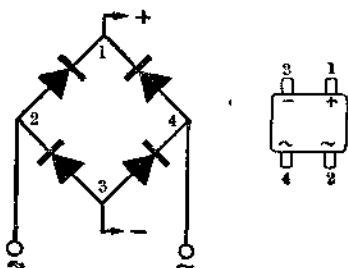


圖 1-6 全波橋式氧化銅整流器的兩種符號

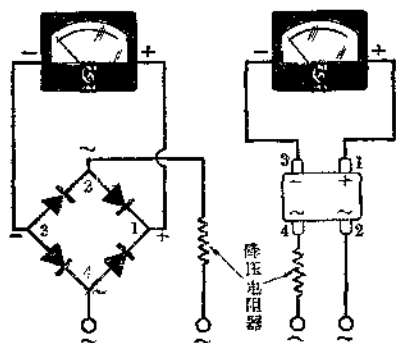


圖 1-7 全波橋式氧化銅整流器和表頭的接法

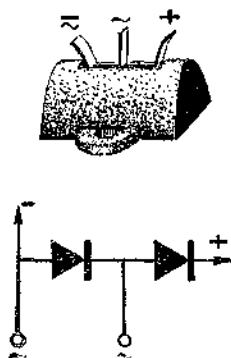


圖 1-8 半波氧化銅整流器的外形及符號

“+”号的焊片都可以单独地作为正极,这是应该注意的。

半波氧化铜整流器是由两片氧化铜组成的,它的外形及符号如图1-8。用作半波整流,似乎只需一片氧化铜就可以了,为什么这里却要两片呢?原因是当我们用一片氧化铜接在表头上担任整流工作时,事实上正方向和反方向是都有电流通过的,虽然反方向通过的电流只有正方向的1/40,但已经会使表头的指针摇摆不定,不易读出确数了,所以我们加用一片氧化铜,把它并联在表头及第一片氧化铜之间,如图1-9,连接的方向,跟第一片氧化铜是相反的,这样一来,绝大部分的反向电流都从第二片氧化铜中通过,就不致影响读数了。

在万用电表中,通过氧化铜整流器的电流都很小,例如用1毫安的表头时,通过的电流最大只有1毫安;用50微安的表头时,通过的电流最大只有50微安,所以氧化铜的体积可以做得很小,一般直径只有5毫米左右,常用的全波桥式氧化铜整流器的体积也不到1/2立方厘米。

购买氧化铜整流器的时候,可以用欧姆表中测量中等阻值(一般注着“ $R \times 100$ ”)的一档来测量它,因为氧化铜的阻值会随着通过电流的不同而改变,这一档通过的电流大多在1毫安左右,跟我们所用的表头是差不多的。

测量时,先将欧姆表的校验棒正极接氧化铜整流器我们注有“+”号的焊片,负极接注有“~”号的焊片,这时的阻值一定较小;然后调一个向,就是将欧姆表的负极接氧化铜整流器上注有“+”号的焊片,而正极接注有“~”号的焊片,这时的阻

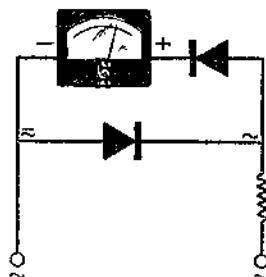
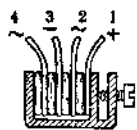


图1-9 加上了第二片氧化铜后,指针就不会摇摆不定了

值一定很大，只要两者之比在 1:40 以上的都可用，如果比数在 1:40 以下，就不能用了。

上面所讲的，是测量氧化铜整流器中两片氧化铜之间阻值之比的方法；对于其他各片氧化铜，则应按照下面所举的例子逐一测量。目前市售的氧化铜整流器质量都很好，阻值之比一般在 1:40 以上，只有在注有“~”号的两片之间测量时，



则无论正反，阻值都差不多，这是应有的现象。各项测得的阻值，应当记录下来，我们在装制高灵敏度的万用电表时，这些数值是很有用的。



图 1-10 测试时在焊片上注上数字

在测试一只全波桥式氧化铜整流器的时候，应将它的四只焊片依次注上 1、2、3、4 四个数字，如图 1-10。现在把它的测试顺序和结果举例如下，给初学的读者作为参考。所应注意的是：一般氧化铜整流器的阻值各不相同，阻值之比亦不尽一样，可能和例子里的数值有很大的出入，这是不足为奇的。

测试的顺序	欧姆表正极所接的焊片	欧姆表负极所接的焊片	测得的阻值(欧)
1	1(+)	2(~)	500
2	2(~)	1(+)	85,000
3	1(+)	4(~)	500
4	4(~)	1(+)	90,000
5	3(-)	2(~)	90,000
6	2(~)	3(-)	500
7	3(-)	4(~)	85,000
8	4(~)	3(-)	500
9	1(+)	3(-)	1,000
10	3(-)	1(+)	180,000
11	2、~	4(~)	72,000
12	4(~)	2(~)	75,000

从上面的测试顺序(1)至(8)中可以看出：这只氧化铜整流器在担任整流工作时的正向阻值是500欧，反向阻值是85,000~90,000欧，阻值之比约为1:170；接表头的两个焊片(1与3)之间的正向阻值是1,000欧(见顺序9)，而接交流电源的两个焊片(2与4)之间的阻值是差不多的。

在这种万用电表里用的氧化铜整流器是經不起震动的；而且其中各片氧化铜的面积都很小，所以也不能用在电流超过5毫安以上的电路中。

第三节 各种开关

装制万用电表常需要好几种不同的开关。在本书所述的各种万用电表的电路中，需要拨动式的单刀单掷开关、旋轉式的四刀三掷开关、单刀九掷开关及双刀十二掷开关等数种。每一只万用电表需要其中的一、二种或二、三种，这需要看电路的设计而定。

拨动式单刀单掷开关如图1-11(a)，这是一种很普通的开关。四刀三掷式开关是收音机里用的三波段式开关，万用电表里所用的则是小型的，式样如图1-11(b)。单刀九掷式开关类似图1-11(c)，有些象收音机用的分线器，不过接触点要比分线器紧密得多，如果市上只有单刀十一掷或单刀十二掷的开关，当然也能代用，那多余的几档可以空着不用，或留作扩充测量范围时应用。双刀十二掷式开关类似图1-11(d)，共分两层，每一层都是一只单刀十二掷式的开关，旋轉时，两层同时转动，采用这种开关，可以简化改換测量范围时的手續。

这些开关的质量都必须是最好的，应当绝缘优良、接触紧密，而且在任何时候，接触点之间都不允许存在电阻。如果接

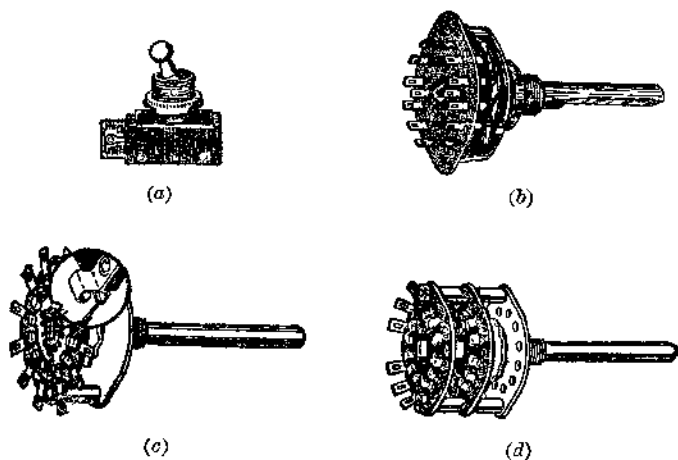


图 1-11 几种万用电表用的开关

触点間有了电阻，等于在电路中接上了一只电阻器，会影响到测量的准确性。

我們在购买这些开关的时候，应当好好地挑选。象撥动式的开关，买时要很慢地来回試撥几次，当撥动到一半以上的地位时，将听到“嗒”的一声，撥回去时也是一样，那末这只开关是好的。要是照这样慢慢地撥到底还没有声音，而在撥回去的时候却出現“嗒”的声音，那就表明这只开关的彈簧不好，不能应用。

旋轉式的开关在购买时也要試旋几次，旋轉时应当很爽利，这就是說：如果輕輕地左右旋轉，这只开关应当絲毫不动；要是稍用力，就会发出“嗒”的一声，擲刀便移动到另一个接点上去了。这时若再輕輕地左右旋轉，又应当絲毫不动才好。这种开关的擲刀不能象普通分綫器似的可以停留在两个接触点之間，因为在万用电表中，这种情况是絕對不許可的。

各开关买来以后，要細心地把所有的焊片擦清洁，同时用輕快的速度，在上面涂一层薄錫。烙鉄和焊片接触的时间要短，否則将使焊片的弹性减弱，接触点也会因受热过多而松动。

第四节 电 池

万用电表在测量电阻的时候，需要用到干电池。在本书所介紹的各电路中，用0~1毫安的表头，测量低档阻值或中档阻值(0.1兆欧以下)时，需要2节电池；测量高档阻值(0.1兆欧以上)时，需加18节电池。如果用0~50微安的表头，那末用5节电池，就可以测量较高(20兆欧)的阻值了。

万用电表里所用的电池，要求体积小而內阻低，一般测量低、中档阻值用的电池，可以选用手电筒里用的“一号”或“二号”电池，把它装在表箱里面，所占的地位很小。测量高档阻值用的电池，可以改用“三号”电池，串联到所需的电压，另装一个木盒，不和电表装在同一箱內，在用到的时候，再把它接到电表上去，这样可以減輕万用电表本身的重量。

装在表箱里的电池，必須用絕緣优良的接綫焊接，并应把它固定在箱底空余的地位(見图1-18和1-19)，以免在移动表箱时，它的裸出部分和其他的零件相触，引起燒毀表头等严重事故。

装在木盒里的电池組和电表之間用两端都装有插子的接綫連接，如图1-12。使用时，先把接綫一端的插子插进电表面板上的插口，再把另一端的插子插进电池盒的插口；每次用毕，应当先取下电池盒上的插子，然后取下电表面板上的插子，这样可以防止高电压誤触万用电表上不应碰到的地方和避免电池組短路。在平时，这条两端装有插子的接綫應該单