

万用表安装与调试

实习指导书

福建工程学院电子电气实验中心

2005年8月

指针式万用表的整机装配

1. 目的

- (1)了解指针式万用表的结构和工作原理。
- (2)掌握常用电子元件识别，以及判断其好坏的方法。
- (3)学会指针式万用表的组装、校验和计算。
- (4)了解仪表的测试精度及误差等基本概念。

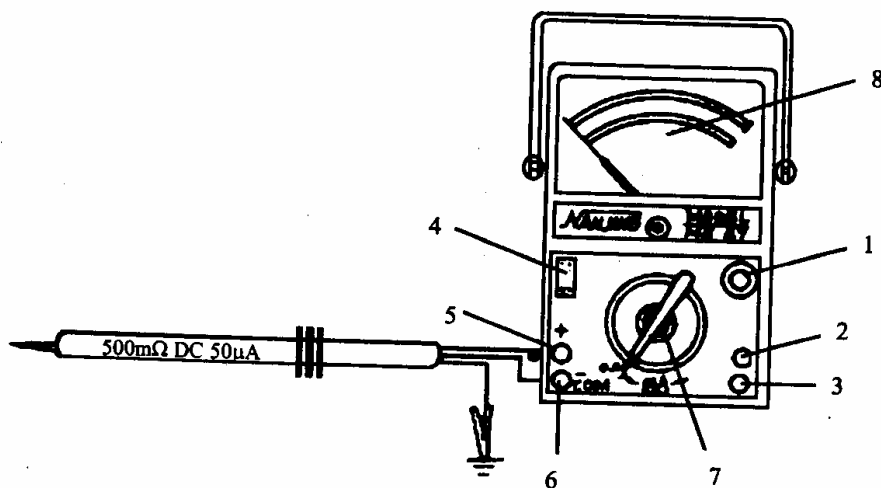
2. 要求

- (1)根据万用表的工作原理了解万用表的参数。
- (2)组装一块指针式万用表。
- (3)校验指针式万用表，分析其准确度、误差。
- (4)学会识别常用的电子元件，以及用万用表判别其好坏。

3. 指针式万用表的结构与参数

万用表的组成和工作原理简单介绍，以 MF47 型万用表为例，介绍其结构与参数。

- (1) MF47 型万用表外形图如图所示。



带有高压探头的 MF47 型万用表外形

1— Ω 调零；2—2500V 插孔；3—5A 插孔；4—三极管插孔；5—“+”端；
6—“—”端(COM)；7—旋转式转换开关；8—刻度盘

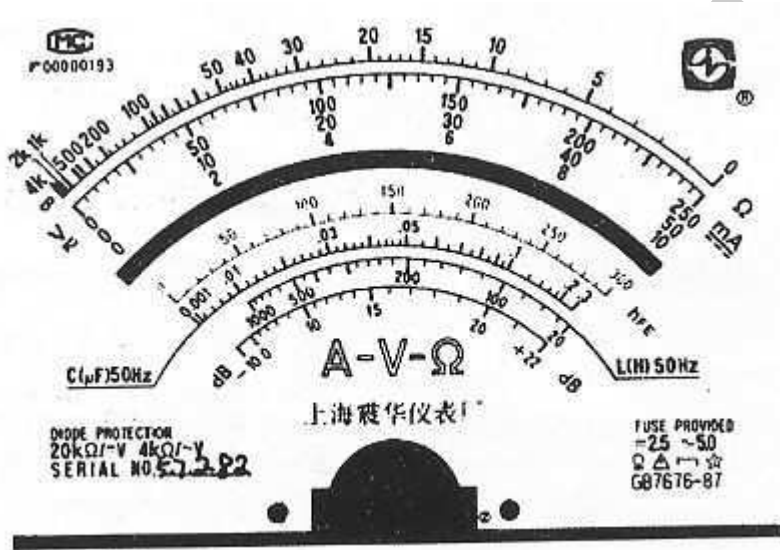
- (2)MF47 型万用表技术规范。表为 MF47 万用表技术规范。

MF47 万用表技术规范

量限范围	灵敏度及电压降	精度	误差表示方法
直流电流 0-0.05mA-0.5mA-5mA .50mA.500mA-5A	0.3V	2.5	以上量限的百分数计算
直流电压 0-0.25V1V-2.5V-10V-50V--2 50V-500V-1000V-2500V	20000 Ω /V	5	以上量限的百分数计算

交流电压	0-10V-50V-250V(45. 65. 5000Hz) 500V·1000V. 2500V(45. 65Hz)	4000 Ω/V	5	以上量限的百分数计算
直流电阻	R×1、 R×10、 R×100	R×1 中心刻度 为 16. 5 Ω	2. 5	以标度尺弧长的百分数计算
	R×1K 、 R×10K		10	以指示值的百分数计算
音频电平	-10dB~+22dB	0dB=1mW 600F~		
晶体管直流				
放大倍数	0~300hFE			
电感	20~1000H			
电容	0. 001~0. 3uF			

(3)刻度盘。刻度盘也叫标度尺，如图所示。刻度盘上有欧姆指示值，交、直流电流电压指示值，电平指示值刻度线，在表盘下方标注仪表准确度等级、仪表特性符号、零电平参数及不同交流电压量限下电平的修正值。



MF47 型刻度盘

刻度盘上符号及刻度数说明如下：

- 表示交直流；
- 。 。 表示水平放置；
- ~5·0 表示交流表 5. 0 级；
- 4 kΩ/V 表示交流档内阻 4 kΩ/V。
- ☆ 表示耐压 7kV；
- 2. 5 表示直流表 2. 5 级；
- 20kΩ/v 表示直流档内阻 20kΩ/v

第 1 条刻度线表示欧姆档读数，用于测量电阻值，其测量范围为 0Ω~40MΩ。第 2 条刻度线表示交、直流电流和电压读数，共分 0~250v、0~50v、0~10v，3 个量程范围。第 3 条刻度线为晶体管直流参数读数，其测量范围为 hFE0~300。第 4 条刻度线表示电容值，其测量范围为 0. 001~0. 3uf。第 5 条刻度线表示电感值，其测量范围为 20H~1000H。第 6 条刻度线表示音频电平值，其测量范围为 - 10~+22dB。

(4)转换开关。转换开关是由一组固定触点和可动触点组成的多掷开关，触头由铜片制成。它用于万用量程和测量项目选择。MF47 型万用表，选择测量项目有电阻、交流电压、直流电压、直流电流、三极管的 hFE 等。选择量程如表所示。万用表对转换开关的要求是触

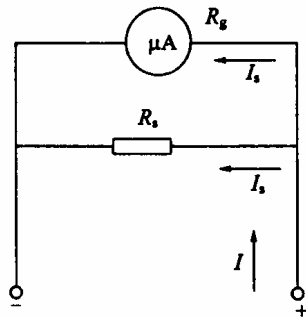
点接触可靠，旋转定位准确且不左右晃动。

4. 指针式万用表的工作原理

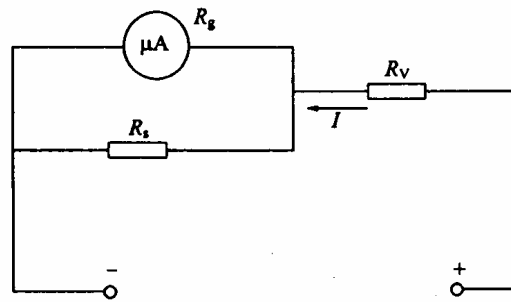
万用电表由磁电式直流微安表头、若干分流电阻和分压电阻、干电池、整流元件等组成。下面将四种测量原理电路作简要介绍。

(1)直流电流。图所示的是一个简化的电流表， R_g 为微安表头的内阻， R_s 为分流电阻。被测电流，自“+”端流入，分成两个支路即 I_g 和 I_s ，最后又回到“-”端，要测量不同的电流，可改变 R_s 的阻值来达到。

(2)直流电压。图所示的是测量直流电压的电路，它与测直流电流原理图仅相差一个分压电阻 R_v 。被测电压加在“+”、“-”两端，经过 R_v 的限流以后进入电流回路，改变分压电阻 R_v 的阻值，就可改变电压的量程。



测直流电流原理图



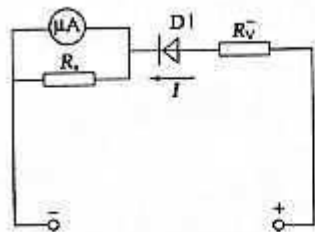
测直流电压原理图

(3)交流电压。要测量交流，附有整流器，即图中的 D_1 将交流转换为单向脉动电流，单向脉动电流的平均值与交流电的有效值成正比。所以微安表头的指示也与交流的有效值成正比。量程的选择和测量直流电压一样，可改变分压电阻 R_v 的阻值。

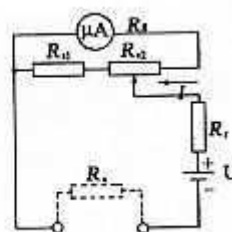
(4)电阻的测量。被测电阻也是连在“+”、“-”两端，当电阻接入后，表头电路中就有电流，流过，如图所示，其值

$$I = U / (R_x + R_r + R_g)$$

其中 R_x 为被测电阻， R_g 为表头电路 a、b 两点间的等效电阻。由上式可见电流 I 与被测电阻 R_x 有关，表上即可按此关系将电流值换算为相当于 R_x 的电阻值刻度。被测电阻愈小，即电流愈大，因此指示愈大。测量前应该先将接线两端短路，看指针是否偏转最大而指在零，否则可调节电阻 R_{s2} 进行校正。



测交流电压原理图



测电阻原理图

5. 主要参数计算

(1)直流电流电路参数计算。一个电流表，满量程就是它的灵敏度。例如一个灵敏度为 $289\mu A$ 、内阻为 1040Ω 的表头，这个表头就是一个 $289\mu A$ 的电流表，即 $I_g=289\mu A$ ， $R_g=1040\Omega$ 。为了使一个表头能测量各种不同数量级的直流电流，我们可以用分流的办法来解决。

例如 $R_g=1040\Omega$ 。 $I_g=289\mu A$ 的表头要能测量电流为 $1mA$ 的值，就必须并联一个分流电阻 R_s ，其分流电阻的计算方法如下：

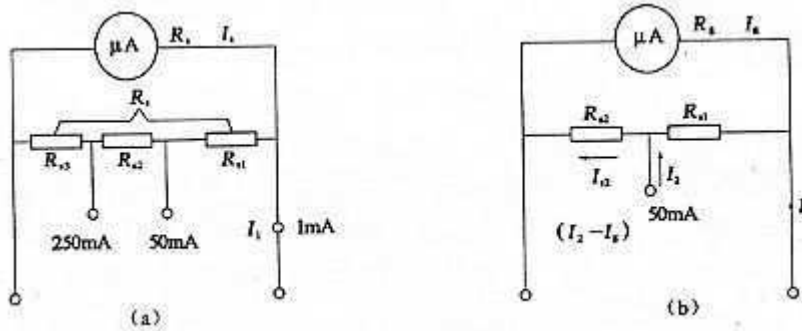
$$I=I_s+I_g \quad R_g \cdot I_g=R_s \cdot I_s$$

所以 $R_s=R_g \cdot I_g / I_s=R_g \cdot I_g / (I-I_g)$ ，已知 $I_g=289\mu A$ ， $I=1mA$ ， $R_g=1040\Omega$ 代入

$$则 R_s=R_g \cdot I_g / (I-I_g)=289 \cdot 1040 \cdot 10^{-6} / [(1000-289) \cdot 10^{-6}]=423\Omega$$

如果需要数个电流量程，则采用闭路式分流电路(环形分流器)如图下图 (a) 所示。

例如 $R_g=1040\Omega$ ， $I_g=289\mu A$ 的表头，量程分为： $1mA$ ， $50mA$ ， $250mA$



直流电流电路参数计算

量程 I_2 可按下式计算：

由图(b)知

$$R_s2 \times I_s2 / (R_g+R_s1) I_g, \text{ 已知 } R_s1=R_s-R_s2, I_s2=I_2-I_g$$

所以上式又可写为

$$R_s2 \times (I_2 - I_g) = (R_g + R_s - R_s2) I_g$$

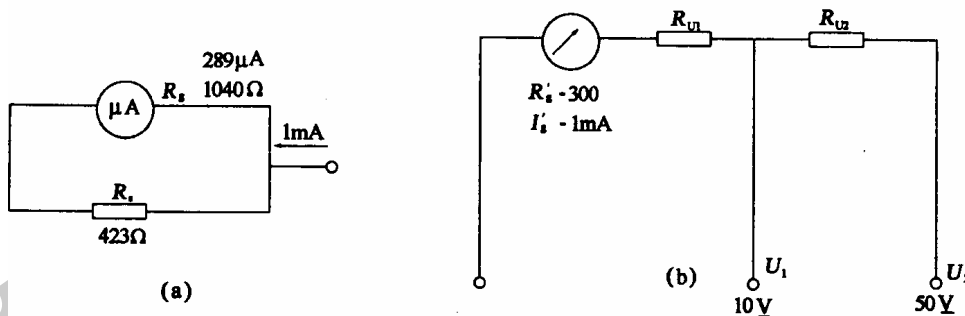
化简后得

$$R_s = I_g (R_g + R_s) / I_2 = 289 \times (1040 + 423) \times 10^{-6} / 50 \times 10^{-3} = 8.46\Omega$$

$$R_s1 = R_s - R_s2 = 423 - 8.46 = 414.54\Omega$$

根据同样的方法有多个电流量程可以分别算出相应的分流电阻为图(a)中的 R_s2+R_s3 ，
(2)直流电压电路参数计算。在万用表中，直流电压档通常把电流档的分流电阻作为表头内阻，并且不同量程的分压电阻 R_s 公用，以图(a)为例，我们将测量电压的电流从 $1mA$ 点引入，而且将电路简化为图(b)所示。它实际上是电压灵敏度为 $I=1mA$ ，电压降为 $1mA \cdot 300\Omega = 300mV$ 的电压表 $R_g' = R_g \cdot R_s / (R_g + R_s) = 300\Omega$

测量电压绝大多数都是采用电阻降压的方法来限制通过仪表的电流，多挡电压表的基本电路如图(b)所示，图中 $R_g=300\Omega$ ， $I_g=1mA$ 。



在万用表中常常用每伏特的电阻值来表示电压灵敏度即

$$\Omega/V = 1/I_g = 1000\Omega/V$$

(3)交流电压电路参数计算。万用表测量交流限于正弦波。由于表头为直流，必须使交流电压整流成为直流后方可测量，在万用电表中，采用半导体器件作为整流元件。下图所示交流电压测量电路为单相半波整流。电流为单向脉动电流，半波单向脉动电流为交流有效值的0.45倍，因此，灵敏度为1mA的测量机构，就相当于通过交流有效值 $I_v=1 / 0.45=2.22\text{mA}$ 的交流电流。

(4)直流电阻电路参数计算。在下图的电阻测量电路中，若将1、2两点短路，这时仪表指示恰好为满刻度值即

$$I=U / (R_g+R_r)$$

将1、2点断开，串入被测电阻 R_x ，此时回路中的电流则减小到 $(1 / 2)$ ，即表头指针恰好指在标尺的中间位置。我们称它为中值电阻，又叫中心值，用 R_T 来表示。当选定 R_T 后，便可对标尺进行电阻值刻度。

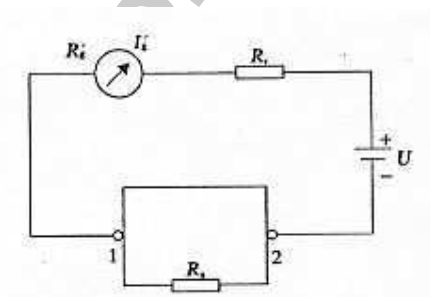
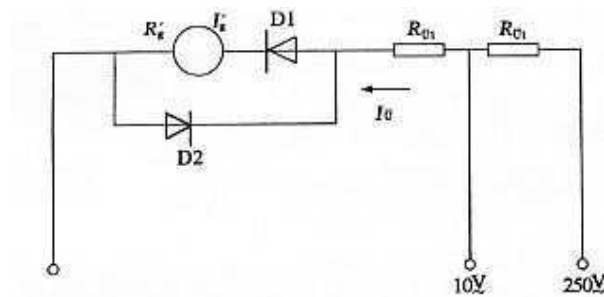
例如：当 $R_x=0$ 时，指针偏转在满刻度值；

$R_x=R_T$ 时，指针偏转在中心；

$R_x=2R_T$ 时，指针偏转在 $1 / 3$ 处；

$R_x=5R_T$ 时，指针偏转在 $1 / 6$ 处；

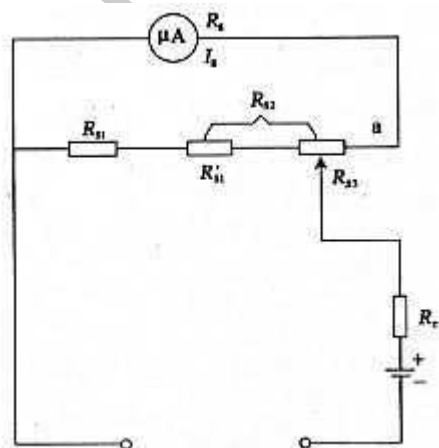
$R_x=\infty$ 时，指针不动。



交流电压电路参数计算

电阻测量电路参数计算

因此电阻值在标尺上的刻度是自右向左递增的，其刻度分布是不均匀的，右半部刻度稀疏，左半部刻度紧密。欧姆计通常是采用干电池作电源的，干电池用久了以后两端的电压就会下降，这样当 $R_x=0$ 时，指针将指在 0Ω 的左边，为了消除这种测量误差，必须在欧姆计测量电路中加一个调零电阻，如图中的 R_{s3} 。若允许干电池的最低电压为 1.2V ，设计时电源按 $U_{\text{min}}=1.2\text{V}$ ， R_{s3} 的触点移至a端计算，当换用新电池后($U_{\text{max}}=1.6\text{V}$)，可调节 R_{s3} 的触点，使 $R_s=0$ 时，指针仍可指在满刻度位置上。



直流电阻电路

(5)电平测量电路参数计算。所谓电平是指某一电路输出(P2)、输入(P1)功率的增益，在电信工程中，电平定义为

$$S = \lg P_2 / P_1 (\text{dB})$$

如果电路测量点的电阻相等，则电平也可用电压比值的对数表示，习惯上采用分贝(dB)，上述电平实际上是相对电平，为了能测出电路某一处的绝对功率或电压，常规定一个零电平，在万用表中定义负载电阻为 600Ω 其消耗功率为 1mW 的电平为零电平。则绝对电平可表示为

$$S = 10 \lg P / P_0 (\text{dB}) \text{ 或 } S = 20 \lg U / U_0 (\text{dB})$$

可见万用表测电平实质上是交流电压挡测电压，而刻度以电平进行刻度。

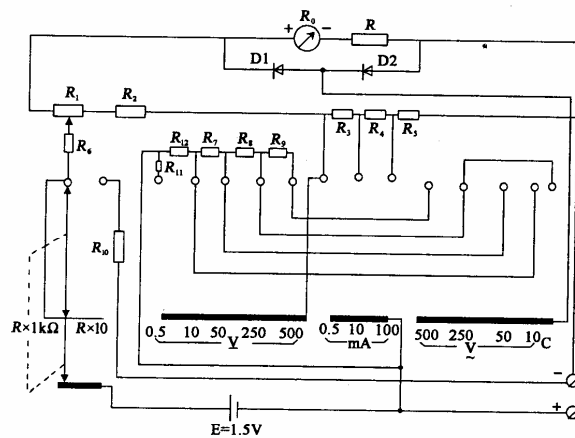
$$U_0 = 0.775 \text{V}, S = 0 \text{dB}; U > 0.775 \text{V}, S > 0 \text{dB}; U < 0.775 \text{V}, S < 0 \text{dB}$$

万用表的电平刻度线以交流电压挡 0~10V 为刻度，如果量程挡大于 10V，测量电平读数应进行修正，如果电路的负载电阻不为零电平规定的电阻，则测量电平读数应进行修正。

6. MF16 型万用表的组装实例

(1)MF16 型袖珍万用表用途和构造。MF16 型袖珍万用表是一种磁电式仪表，具有 19 挡量程，可用于测量交直流电压、直流电流、电阻、电容和音频电平。该表选用高灵敏度 $\leq 157 \mu\text{A}$ 表头与锗二极管整流器等组成交直流两用测量系统，标度盘共有五条刻度线，第一条刻度供测量电阻用，第二条刻度线专供 10V 交流电压测量用，第三条刻度供测量交直流电压和直流电流读数。第四条、第五条刻度分别供测量电容、电平之用。

(2)MF16 型万用表电路图如图所示。



(3)主要技术性能。

1)直流电流: 0—0.5—10—100mA $\pm 2.5\%$

2)直流电压: 0—0.5—10—500V $\pm 2.5\%$

3)交流电压: 0—10—50—250—500V $\pm 4\%$

4)电阻: 1—1000Ω (中心刻度为 60Ω) $\pm 2.5\%$;

100—1000000Ω (中心刻度为 6.000Ω) $\pm 2.5\%$ 。

电容: 0.0001—0.03 / μF 。

音频电平: —10—+22—+36—+50—+56dB。

灵敏度: 2000Ω/v, DC 和 AC。

电阻测量用电池: . 1.5V 5 号电池 1 节。

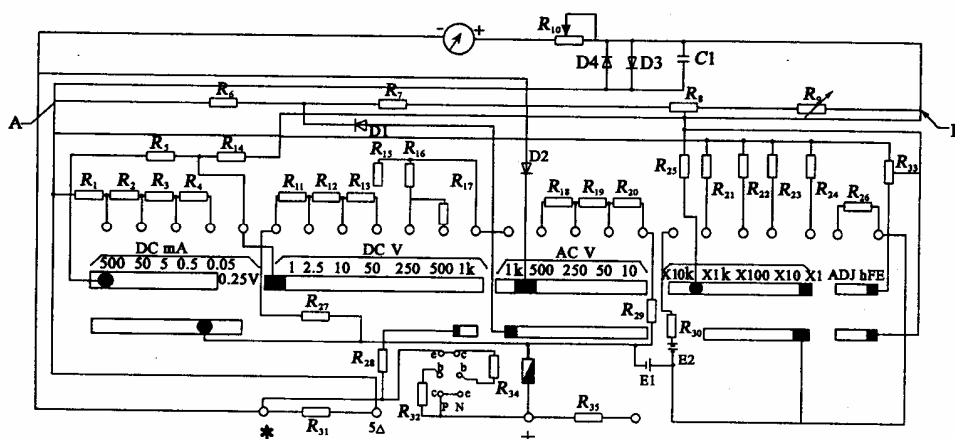
(4)MF16 型万用表元件 MF16 型万用表元件清单如表所示。

MF16 型万用表元件清单

R(Ω)	320	R1(Ω)	700	R2(Ω)	709 \pm 0.5%
R3(Ω)	1048 \pm 0.5%	R4(Ω)	49.63 \pm 0.5%	R5(Ω)	5.51 \pm 0.5%
R10(Ω)	60.6 \pm 0.5%	R11(Ω)	243.5 \pm 0.5%	R6(Ω)	5-3k \pm 0.5%
R7(Ω)	80k \pm 1%	R8(Ω)	400k \pm 1%	R9(Ω)	500k \pm 0.5%
R12(Ω)	19.42k \pm 1%	D	二极管 2API0		

7. MF47 型万用表的组装实例

(1)MF47 型指针万用表的电路原理图如图所示。



MF47 型万用表电路原理图

(2)MF47 型指针万用表的元器件清单如下表所示。

(3)MF47 型组装图如图所示。

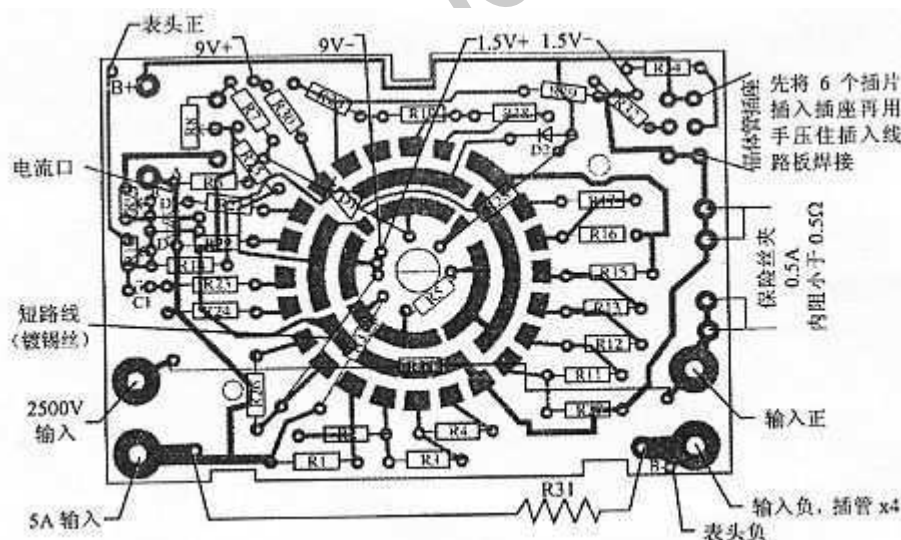
(4)万用表的组装。

表 MF47 型万用表元件清单

元器件位目录				结构件清单					
位号	名称规格	位号	名称规格	位号	名称规格	数量	位号	名称规格	数量
R1	0.52	R21	55.4k	1	保险丝	2	19	螺钉 M3X8	2
R2	5.4	R22	1.78k	2	保险丝(0.5 IA)	1	20	钢纸板垫圈	2
R3	54.6	R23	165	3	镀锡丝	1	21	铭牌	1
R4	605	R24	15-3	4	连接线 15cm 1 根		22	标志	1
R5	1k	R25	17.3k		8cm 1 根		23	电刷(已铆合)	1
R6	13.7k	R2e	176		10cm2 根		24	晶体管插片	6
R7	6.5k	R27	15k	5	面板	1	25	46.2t~A2.35k	1
R8	6.8k(调零电位)	R28	1.25k	6	面板挡位开关旋钮	1	26	高压电阻套管	1
R9	6.8k(5~10k)	R29	31.5k	7	后盖	1	27	输入插管	4
R10	680(500~1k)	R30	14k	8	电池盖板	1	28	表棒	1
R11	30k	R31	0.053(分器)	9	提把	1			
R12	150k	R32	46k	10	提把螺钉	(*2)			

R13	800k	R33	56	11	电位器旋钮	1		
R14	2. 6k	R34	32k	12	晶体管插座	1		
R15	3M	R35	6M(高电阻)	13	提把螺母	(*2)		
R16	1M	D1	二极管 2AP9	14	螺母 M5	1		
R17	5M	D2	二极管 4007	15	螺钉 M3X6	4		
R18	1M	D3	二极管 4148	16	弹簧	2		
R19	800k	D4	二极管 4148	17	钢珠 4	2		
R20	160k	C1	10uF / 16V	18	卡圈 4			

- 1) 组装前清点、检查元器件，做好组装前准备工作。
- 2) 熟悉、理解 MF47 型指针万用表原理图和印刷线路图。
- 3) 检查表头质量，观察表头能否摆动，是否有卡住现象。表头是由磁缸动圈、支撑轴承、盘状游丝及指针组成，出厂时已安装好，组装时只要表头整体位置固定好，使零位调节器在零位左右调节即可，不要随意拆开表头。
- 4) 组装万用表步骤。安装时，应先安装表头，然后焊接直流电流挡电阻元件，调试电流各档是否正常。如果正常，可焊接其他电压、欧姆挡电阻元件，再测量电压、电阻各档是否正常。如果不正常应检查原因，直到正常为止，才能安装其他测量挡。交直电压档、欧姆挡是独立的，可以依次焊接安装。
- 5) 万用表的总装。4 个输入插管、晶体管插座及电位器 R8 垂直于线路板表面，并要插到底，焊接牢固，不松动；元器件、导线插件正确，无错漏，焊点光滑、牢固、无虚焊，R33 是 3 个 2M 电阻串联制成的，并应套上绝缘套管；R₃₁ 是 5A 分流器，焊接部分不要超出线路板焊接面 2mm。否则影响测量。；



MF47 万用表组装图

(6) 万用表的调试。

- 1) 调试前必须保证焊接装配无误。核对元器件安装位置是否正确，焊点有无虚焊。
- 2) 将表头机械调零。
- 3) 校准基准挡 50 μ A。可把万用表置直流 50 μ A 挡，接入 50 μ A 的标准直流电源，

万用表指针应满偏，若不对，应检测表头。

4)调试 680Ω 可调电阻器，校正直流电流挡，使直流电流挡读数正确。

5)对万用表的交直流电压挡、直流电流挡进行校验。

6)将安装螺丝用塑料帽扣上。

8. 校验

(1)校验要求。

1)电流挡：要求相对误差， $\gamma \leq 2.5\%$ 。

2)电压挡：要求相对误差， $\gamma \leq 2.5\%$ (交流电压挡， $\gamma \leq 4\%$)。

3)电阻挡：要求相对误差 $\gamma \leq 5\%$ 。

(2)校验。

1)直流电流挡。接成如下图的电路，(A)为 0.5 级毫安表，测量实际值，用作标准表，调节电位器 T 及变阻器 R，使被校表在 0.5mA、5mA、10mA、15mA、20mA、25mA 等有效值表示的大刻度线上，同时读出标准表的数值，记入表内。

直流电流校验数据

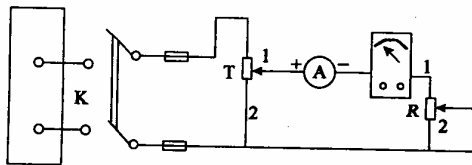
25mA	被校表(mA)	0	5	10	15	20	25
	标准表(mA)						

2) 电压挡。直流电压挡接线如图电路。V 为 0.5 级伏特计，作标准表。标准表与被校表并联，校验方法与电流表不同，校验数据填入表交流电压接线如图所示。方法与直流电压挡类似。校验数据填入中。

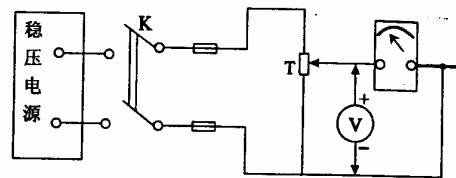
3) 电阻档。校验电路如图，即以电阻箱的读数为实际值，重点校验中心值。校验数据填入表中。

直流电压校验数据

10V	被校表 (V)	0	2	4	6	8	10
	标准表 (V)						



直流电流挡校验



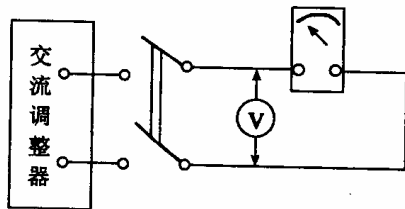
直流电压挡校验

交流电压校验数据

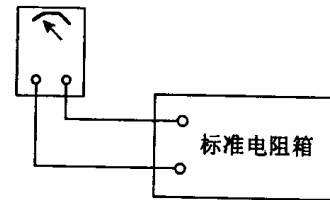
250V	被校表 (V)	0	50	100	150	200	250
	标准表 (V)						

电阻校验数据

R*10 挡	中值电阻 (200 Ω)	被校表
		标准表
R*1k 挡	中值电阻 (20k Ω)	被校表
		标准表



交流电压校验



电阻挡校验

电阻挡在校验前，应使两测试棒短路，调节调零电位器，使指针调节到欧姆刻度尺零位，校验中不能调节。按电流—直流电压—交流电压—电阻顺序校验，根据校验结果，符合仪表哪一个等级？

9. 思考题

- (1) 万用表具有什么功能？
- (2) 指针万用表一般采用什么测量机构？它有何特点？它的结构有几部分组成？
- (3) 万用表的红表笔与表内干电池的哪一个极相连？
- (4) 万用表的交流电压挡不用整流元件行吗？为什么？
- (5) 什么叫欧姆中心值？如何计算欧姆表各挡的电阻值。