

万用表 使用维修手册

李东炜 汪润久 吴春华 编

中国计量出版社



万 用 表 使 用 维 修 手 册

李东炜 汪润久 吴春华 编

中·国 计 量 出 版 社

(京)新登字 024 号

图书在版编目 (CIP) 数据

万用表使用维修手册/李东炜, 汪润久, 吴春华编. —北京: 中国计量出版社, 1995.9
ISBN 7-5026-0739-0

I. 万… II. ①李…②汪…③吴… III. ①万用电表-维修-手册②万用电表-基本知识
IV. TM938.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 15871 号

万用表使用维修手册

李东炜 汪润久 吴春华 编

责任编辑 刘宝兰

*

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

河北永清第一胶印厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

开本 787×1092/16 印张 23.75 字数 576 千字

1995 年 9 月第 1 版 1995 年 9 月第 1 次印刷

*

印数 1-8000

定价: 29.00 元

前 言

万用电表原指复用表、三用表，简称万用表（以下均称万用表）。它具有测量用途多、测量范围宽、操作简单、携带方便等特点，广泛应用于科研、教学及工农业生产各个领域，其普及范围之宽，远远超出其它电工和电子测量仪器仪表。

近年来，随着电子技术的飞速发展，数字式电测量仪表有了很大发展，特别是大规模集成电路技术的进步，极大地促进了数字仪表的迅速普及。袖珍式数字万用表应运而生，并以它体积小、准确度高、输入阻抗高、过载能力强等优点，迅速打入万用表市场，受到使用者的普遍欢迎。

从技术性能及价格等多方面因素分析，模拟指示万用表和袖珍数字万用表各有特点。目前的万用表市场很难判断究竟是哪一种万用表占有优势。模拟指示万用表以其价格低廉、读数直观等特点，仍受到大多数工程技术人员的偏爱。

本书从实用角度出发，针对目前国内模拟指示万用表和袖珍数字万用表共存的现状，吸取同类书籍及相关杂志中的精华，结合作者多年来从事电工仪表检定和调修的实践经验，较系统地叙述了模拟指示万用表的基本结构和原理，简单介绍了电路的基本计算方法；介绍了检测万用表的设备及方法；叙述了万用表的修理及使用功能的进一步扩展；以 DT830 型 $3\frac{1}{2}$ 位袖珍数字万用表为例，简单叙述了袖珍数字万用表的基本结构及调修方法；最后以大篇幅提供了目前应用较多的各种万用表的主要技术性能、原理电路和分解电路，供使用和维修万用表的专业人员参考。

本书在编写过程中曾做为万用表学习短训班的讲义，征求了来自基层的宝贵意见，得到了许多同行和专家的支持与帮助，使得本书能在篇幅、结构等方面比较适于普及，也使本书得以参考较新、较好的技术资料。长春大学郑福成教授在百忙的工作中对本书结构及内容等，做了悉心指导，并认真审阅了全稿，在此一并表示衷心感谢。

本书共分六章。第一、二章由李东炜、苏盛津、李俊伟编写；第三章由刘涛、李东炜、赵立新编写；第四章由汪润久、王肇虹、陈蔚编写；第五章由李东炜、陈玉琳、孙一平编写；第六章由汪润久、李东炜、吴春华、李俊伟整理及编写。

全书力求内容完整、通俗易懂，以实用为主，以理论分析为辅，尽量做到理论与实践相结合。期望它能有助于读者的工作和学习。鉴于我们知识水平和实践条件的局限，难免会存在一些错误或不足，敬请专家和读者批评指正。

编 者

1995 年 6 月

目 录

第一章 万用表的基本知识	(1)
第一节 万用表的结构.....	(1)
第二节 万用表的测量线路.....	(6)
第三节 万用表的合理选择	(26)
第四节 万用表的正确使用	(29)
第二章 万用表的检定	(31)
第一节 万用表的技术条件	(31)
第二节 万用表的检定设备	(35)
第三节 万用表的检定	(42)
第四节 万用表检定结果的处理	(47)
第三章 万用表的调修	(48)
第一节 表头故障调修	(48)
第二节 测量线路的调修	(58)
第三节 转换开关的调修	(60)
第四章 万用表的使用	(62)
第一节 采用外接电路扩展测量范围	(62)
第二节 检测晶体二极管	(69)
第三节 检测晶体三极管	(71)
第四节 检测可控硅	(77)
第五节 检测单结晶体管	(81)
第六节 检测场效应管	(83)
第七节 检测电子管、显像管和示波管的阴极发射能力	(87)
第八节 检测数码管	(88)
第九节 测量半导体热敏电阻的温度系数	(89)
第十节 检测扬声器、变压器、互感器的极性	(90)
第十一节 判定电动机定子绕组的始、末端并测量其转速	(91)
第十二节 估测运算放大器的放大能力	(93)
第十三节 检测音、视设备中常用集成电路	(93)
第十四节 检测“555”时基电路.....	(95)
第十五节 判断 CPU 的好坏	(95)
第十六节 检测液晶数显屏	(96)
第十七节 检测双向触发二极管	(96)
第十八节 检测光敏电阻	(96)

第十九节	检测电子手表	(97)
第二十节	检查录音机机械传动件	(97)
第二十一节	用万用表快速调整摩托车点火时间	(99)
第五章	袖珍数字式万用表	(100)
第一节	数字电压表的基本知识	(100)
第二节	DT-830 型袖珍数字万用表	(106)
第三节	DT-930F 型袖珍数字万用表简介	(121)
第四节	袖珍式数字万用表的修理及调试	(127)
第五节	袖珍式数字万用表的合理使用	(135)
第六节	袖珍式数字万用表常用 A/D 转换器简介	(137)
第六章	常用万用表电路及主要性能	(147)
第一节	MF6T 型万用表	(147)
第二节	MF7 型万用表	(149)
第三节	MF8 型万用表	(151)
第四节	MF9 型万用表	(153)
第五节	MF10 型万用表	(155)
第六节	MF11 型万用表	(157)
第七节	MF12 型万用表	(159)
第八节	MF14 型万用表	(161)
第九节	MF15 型万用表	(163)
第十节	MF15A 型万用表	(164)
第十一节	MF16 型万用表 (新型袖珍式)	(165)
第十二节	MF18 型万用表	(167)
第十三节	MF19 型万用表	(169)
第十四节	MF20 型万用表	(170)
第十五节	MF24 型万用表	(173)
第十六节	MF25 型万用表 (二型)	(176)
第十七节	MF26 型万用表	(177)
第十八节	MF27-1 型袖珍万用表	(179)
第十九节	MF28 型万用表	(180)
第二十节	MF30 型万用表	(182)
第二十一节	MF30 新型万用表	(183)
第二十二节	MF35 型万用表	(185)
第二十三节	MF37-T 型万用表	(187)
第二十四节	MF40 型万用表	(189)
第二十五节	MF41 型万用表	(191)
第二十六节	MF47 型万用表	(193)
第二十七节	MF50 型万用表	(196)
第二十八节	MF50-1 型万用电表	(199)

第二十九节	MF52 型万用表	(202)
第三十节	MF63 型万用表	(204)
第三十一节	MF64 型万用表	(207)
第三十二节	MF66 型万用表	(211)
第三十三节	MF72 型万用表	(213)
第三十四节	MF75-1 型万用表	(216)
第三十五节	MF75-2 型万用表	(217)
第三十六节	MF78 型万用表	(219)
第三十七节	MF79 型万用表	(222)
第三十八节	MF81 型万用表	(225)
第三十九节	MF82 型万用表	(227)
第四十节	MF85 型万用表	(229)
第四十一节	MF90 型万用表	(232)
第四十二节	MF91b 型万用表	(234)
第四十三节	MF92 型万用表	(237)
第四十四节	MF92-1 型万用表	(239)
第四十五节	MF94 型万用表	(242)
第四十六节	MF95 型万用表	(245)
第四十七节	MF96CX 型万用表	(247)
第四十八节	MF99 型万用表	(250)
第四十九节	MF104 型万用表	(253)
第五十节	MF105-1 型万用表	(257)
第五十一节	MF107 型万用表	(260)
第五十二节	MF121 型万用表	(264)
第五十三节	MF122 型万用表	(266)
第五十四节	MF124 型万用表	(268)
第五十五节	MF126 型万用表	(271)
第五十六节	MF140 型万用表	(274)
第五十七节	MF368 型万用表	(277)
第五十八节	JO-410 型万用表	(281)
第五十九节	JO411 型万用表	(283)
第六十节	U-10 型万用表	(285)
第六十一节	U-101 型万用表	(287)
第六十二节	U-20 型万用表	(290)
第六十三节	U-201 型万用表	(292)
第六十四节	DY1 型万用表	(294)
第六十五节	108-1 型万用表	(297)
第六十六节	108-T 型万用表	(299)
第六十七节	108-T-1 型万用表	(301)

第六十八节	108-T-1 热带型万用表	(303)
第六十九节	500 型万用表	(305)
第七十节	500A 型万用表	(307)
第七十一节	500HA 型万用表	(311)
第七十二节	500 型万用表 (结构之一)	(315)
第七十三节	500 型万用表 (结构之二)	(318)
第七十四节	500 型万用表 (结构之三)	(321)
第七十五节	500 型万用表 (结构之四)	(324)
第七十六节	500-F 型万用表 (结构之五)	(327)
第七十七节	500-2 型万用表	(329)
第七十八节	M3800 型袖珍数字万用表	(332)
第七十九节	PF72 型便携式数字万用表	(335)
第八十节	IM2215 型袖珍数字万用表	(338)
第八十一节	DM1000 系列袖珍数字万用表	(340)
第八十二节	DT-860 型袖珍数字万用表	(343)
第八十三节	DT890 系列袖珍数字万用表	(345)
第八十四节	DT930F 系列数字万用表	(350)

附录

附录 1	万用表电阻档弧长误差与示值相对误差的换算	(352)
附录 2	游丝的规格和有关数据表 (上海仪表游丝厂)	(353)
附录 3	轴尖的规格和有关数据表	(358)
附录 4	宝石轴承的规格和有关数据表	(360)
附录 5	锰铜合金线和镍铜合金线的电阻值	(362)
附录 6	漆包铜线数据表	(363)

第一章 万用表的基本知识

第一节 万用表的结构

指针式万用表（属于模拟指示电测量仪表，以下简称万用表）由表头、测量电路、表壳和表笔等组成。其测量过程由图 1.1 所示框图表示。被测量经过转换开关换接成不同的测量电路之后，变换成适于表头工作的电信号，由表头指示出被测量的大小。例如：被测量为较高电压，通过转换开关的选择，将测量电路接成串联电路，由于串联分压电阻的降压作用，把高电压改变成毫伏级的工作电压，由表头的指针指示出被测电压的大小；又如，被测量为较大电流，通过转换开关的选择，把测量电路接成并联分流电路，由于并联电阻的分流作用，将大电流改变为适于表头工作的小电流，由指针指示出被测电流的大小。

万用表的测量线路比较简单，利用不同规格的转换开关，可以组成测量直流电流、直流电压、交流电流、交流电压、电阻、晶体三极管的放大倍数等多种测量线路，个别万用表还可以组成测量电容、电感、蜂鸣器等电路。



图 1.1 万用表测量过程框图

一、转换开关

万用表中的转换开关是重要部件，它的作用是选择测量线路，改变测量范围。

早期制造的万用表，由于没有质量良好的开关，也有用插销结构改变测量线路和测量范围的。由于转换开关制造工艺水平的提高，目前已全部使用了开关。大多数万用表都是采用一支多点转换开关，也有个别万用表使用两支开关，其中一支用于选择测量对象，另一支用于改变测量范围，两支开关互相制约，往往可以避免开关误操作引起的损失。

转换开关的结构形式多种多样，有分层陶瓷开关、分层电木开关、高质量敷铜板制作的轻压力开关等。开关触点形式的例子如图 1.2 所示，有单刀单层 18 档转换开关、三刀三档转换开关、单刀 12 档转换开关等多种形式。

在万用表中，无论选择哪种形式的开关，无论是使用一支开关，还是使用两支开关，都要求它的绝缘性能好，开关滑片（“刀”）和触点接触良好、可靠，不同触点之间分档清楚、步进轻松，转换位置定位准确。

二、表头

万用表表头都是采用磁电系高灵敏度电流表。它的刻度盘根据测量线路及测量范围做成

几条刻度尺，按测量对象和量程标示不同刻度。

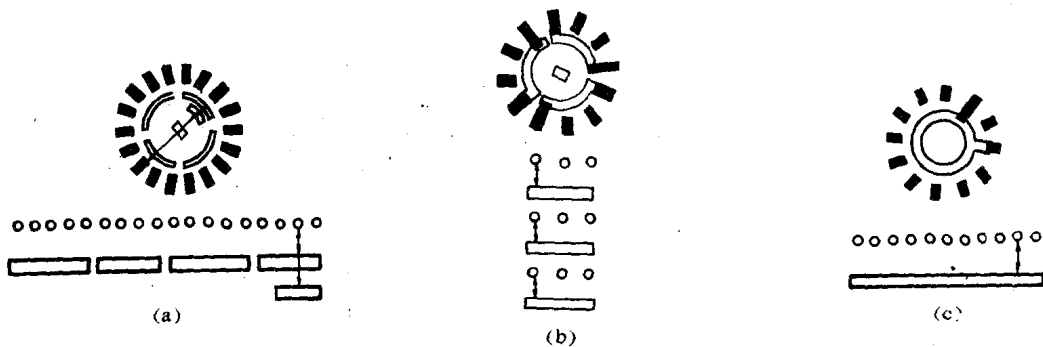


图 1.2 万用表中转换开关形式图例

表头是万用表的关键部件，万用表的许多性能都是由表头决定的。例如，灵敏度、阻尼状态、指示器不回零位、指示值的回程误差等技术指标都与表头的性能和质量密切相关。一块性能优良的万用表，其表头必然是灵敏度高、回程误差小、刻度精密、表盘上装有消除视差的反射镜等。就目前的制造工艺水平而言，可以说表头的质量即代表万用表的质量，表头的基本性能决定万用表的基本性能。

1. 表头的基本结构

磁电系电流表表头由可动部分、磁路系统、表盘、表壳四大部分构成。内部结构如图 1.3 所示。图中，1 为软磁材料制作的极掌；2 为调零器支片；3 为横梁，在它的几何中心安装上有上轴承；4 为软磁材料制作的铁芯；5、6 分别为下游丝支片和下游丝；7 为可动线圈；8 为上游丝（上游丝支片未画出）；9 为硬磁材料制作的磁钢，10 为表壳（上表盖部分没画）；11 为表盘；12 为与可动部分固定在一起的指针；13 为刻度尺；14 为可动部分调节平衡用的平衡锤。

把图 1.3 中可动部分独立画出，如图 1.4 所示。图中的 16、17 分别为上下轴尖，它们铆紧在轴尖座上，轴尖座的下平面与可动线圈粘结在一起，粘结时要求上、下轴尖的轴心与动圈的中轴线严格一致。轴尖座侧面分别装有上、下游丝支片 15、5；游丝 8、6 的内端焊接在支片上；上轴尖座与指针固定；在以轴尖为中心的十字平衡支架（或夹角为 90° 的燕尾形平衡支架）上装有平衡调节用平衡锤 14。

把图 1.3 中磁路系统和支撑可动部分的部件单独画出，如图 1.5 所示。图中，极掌 1 固定在永久磁铁 9 上；横梁 3 和铁芯 4 一起固定在极掌上；分磁片 19 是由螺丝固定的，调节它的位置可以改变磁隙中的磁感应强度，在小范围内改变表头的灵敏度；其中铁芯与横梁的配合结构如图 1.6 所示；横梁的几何中心孔和下支架的孔 18 分别是上、下轴承的安装孔。

2. 可动部分的转动力矩 M

磁电系表头的工作原理如图 1.7 所示。在磁路系统（由永久磁铁、圆弧形极掌和圆柱形铁芯组成）的空气隙（亦称磁隙）中，形成均匀的辐射磁场。当可动线圈中通过直流电流时，由于电磁感应作用，使可动线圈在轴尖轴承的限制下产生转动力矩。该力矩的方向由左手定则确定，力矩的大小与空气隙中磁感应强度 B 、线圈的长度 l 、线圈的匝数 W 及线圈中通过的直流电流 I 成正比。

设可动线圈一侧所产生的作用力为 F ，即

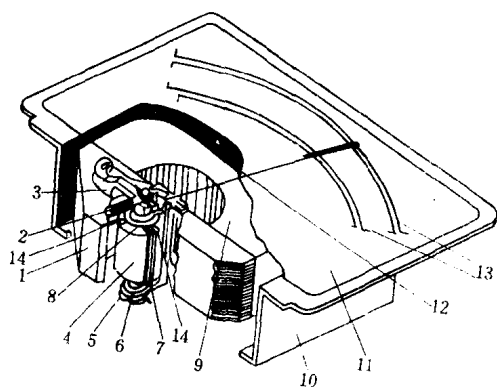


图 1.3 表头结构示意图

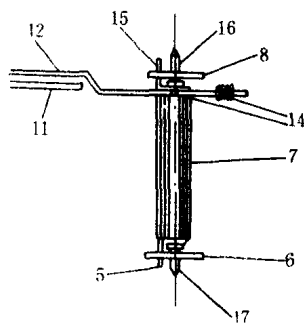


图 1.4 表头中可动部分结构图

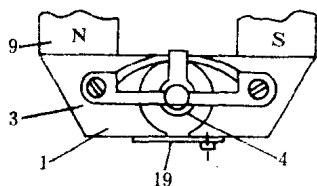


图 1.5 表头中固定部分结构图

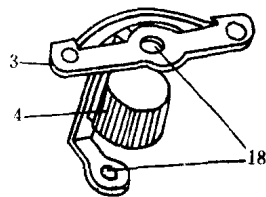


图 1.6 表头中铁芯与横梁结构示意图

$$F = BIWl \quad (1.1)$$

则作用于可动线圈的转动力矩 M 为

$$M = 2F \frac{b}{2} = BIWS \quad (1.2)^{\text{①}}$$

式中: b ——可动线圈的平均宽度 (m);

S ——可动线圈平均宽度与长度的乘积, 表示可动线圈的有效面积 (m^2);

对于已经设计定型的表头, 式 (1.2) 中的 B 、 W 、 S 均已确定, 则转动力矩 M 只与可动线圈中通过的电流 I 有关, 两者呈直线关系, 所以, 磁电系仪表刻度尺的指示特性为均匀刻度。

3. 可动部分的定位力矩 M_a

在磁电系仪表中, 可动部分的定位力矩 (亦称反作用力矩) M_a 由游丝产生。游丝的几何形状如图 1.8 所示。设其长度为 l (将其拉直之后的有效长度), 厚度为 t , 宽度为 b , 由材料所确定的定位力矩系数 (弹性系数) 为 D , 则游丝力矩按式 (1.4) 计算:

$$M_a = \frac{1}{12} Dbt^3 \cdot \frac{\alpha}{l} \quad (1.3)$$

式中: M_a ——游丝力矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$);

① 式中, 如果 B 以特斯拉为单位, I 以安培为单位, 则 M 的单位为牛顿·米 ($\text{N} \cdot \text{m}$)。

D ——反作用力矩系数, 由游丝的材料硬度和几何尺寸决定;

b 、 t 、 l ——游丝的几何尺寸, 分别为宽度、厚度和长度;

α ——用旋转角度表示的弹性形变。

由上式可以清楚地看出, 游丝的力矩与其长度成反比; 与其厚度的三次方、宽度及选用材料的硬度成正比。

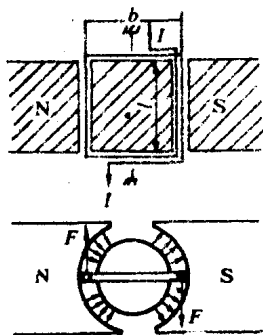


图 1.7 磁电系表头工作原理示意图

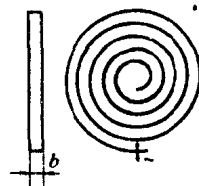


图 1.8 游丝几何形状

由于制造工艺的限制, 制造游丝主要是选用磷青铜或铍青铜等材料, 即具有较好的弹性, 又便于加工和焊接。其几何尺寸一般均选择 b/t 值为 10 左右。

当可动线圈处于初始状态 (没有电流通过, 指针指示零位) 时, 游丝没有弹性形变, 其力矩为零; 可动线圈通电之后, 在转动力矩 M 的作用下产生偏转, 使游丝形状产生变化。由此而产生一个与转动力矩大小相等、方向相反的力矩 M_a , 使可动部分稳定偏转在 α 角度, 故称为定位力矩, 用公式表示为

$$M_a = -M = D\alpha \quad (1.4)$$

如图 1.4 所示, 表头中一般都将游丝分为上下两盘, 反向焊接 (指螺旋方向), 以减少由于温度变化对定位力矩产生的影响。

游丝的另一个重要作用是引导电流通过可动线圈。如图 1.4 所示, 表头电流从上游丝流入, 从下游丝流出, 使得可动部分不必再设计其它零件, 就能够在全部偏转范围内流过相应的电流。

4. 阻尼力矩 M_p

仪表可动部分在作用力矩 M 和定位力矩 M_a 的作用下, 将在刻度范围内产生一个偏转角 α_N , 由于可动部分的惯性作用, 指针将在 α_N 位置附近做减幅摆动。其摆动情况视可动部分所受阻力的不同而不同, 俗称阻尼状态。图 1.9 所示为可动部分在不同阻尼状态下指针的摆动曲线。曲线 1 表示为阻尼作用为零时, 可动部分只受空气阻尼作用, 在平衡位置 α_N 附近做大幅度摆动, 无法在短时间之内读数; 曲线 2 表示阻尼作用不够强, 可动部分在平衡位置 α_N 附近做减幅摆动, 需等待一段时间才可以读数; 曲线 3 表示在过阻尼状态下, 可动部分缓慢移动, 需要等待一段时间才能达到平衡位置, 容易产生错误读数; 曲线 4 表示恰好为阻尼状态 (称为临界阻尼) 时, 可动部分可以较快达到平衡位置, 稍有摆动, 即可稳定在平衡位置上, 读数迅速、可靠。

为了实现临界阻尼, 万用表中都设计有阻尼装置, 以吸收可动部分的动能。一般情况下, 阻尼装置都是采用在可动线圈上绕几匝短路线圈, 或是直接利用可动线圈的铝制框架, 两者原理是一致的。如图 1.10 所示, 当被测电流 I 通过可动线圈时, 铝制框架随可动线圈

一起产生偏转。铝制框架在磁场中运动，相当于一个短路匝在切割磁力线，从而在动框中产生感应电流 I ，它同样在磁场中形成作用力 F 。 F 所形成的作用力矩与可动线圈转动力矩

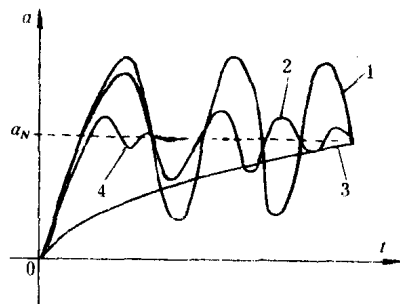


图 1.9 可动部分阻尼状态示意图

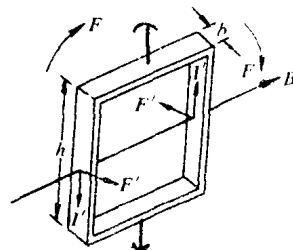


图 1.10 铝制框架阻尼装置作用原理

M 的方向恰好相反，从而起到抵制惯性的阻尼作用。 F 所形成的力矩 M_p 可以用式 (1.5) 表示

$$M_p = p\omega \quad (1.5)$$

式中： p ——由阻尼装置结构确定的阻尼系数；

ω ——可动线圈偏转运动的角速度。

式 (1.5) 说明，阻尼作用与可动线圈摆动的速度有关，摆动的幅度越大、越快，产生的阻尼力矩越大；当摆幅逐渐减小、速度减慢、趋于稳定偏转时，阻尼力矩也逐渐减小并趋于零。所以，阻尼力矩只能影响可动部分的偏转时间，不会影响仪表示值。

对于铝制框架阻尼装置，其阻尼系数为

$$p_k = \frac{(Bhb)^2}{r} \quad (1.6)$$

式中： p_k ——阻尼系数 $\left(\frac{N \cdot m}{S \cdot rad}\right)$ ；

B ——空气隙中的磁感应强度 (T)；

h ——铝框架的高度 (m)；

b ——铝框架的宽度 (m)；

r ——铝框架的电阻 (Ω)。

对铝框架阻尼装置，可以利用改变铝框架电阻 r 的方法，调整阻尼作用的大小。常用的办法是在铝框两侧钻孔，在不影响框架形状和强度的前提下，钻的孔越多越大，铝框的电阻越大，将会减小阻尼力矩。

万用表表头的分流电阻与可动线圈连接所构成的闭合回路，同样也有阻尼作用。可动线圈通电产生偏转的同时，在回路中产生与被测电流方向相反的感应电流，其作用与铝框相同。表头回路中电阻越小，阻尼作用越明显。

5. 摩擦力矩及品质因数

在万用表表头中，可动线圈主要是靠轴尖轴承支撑，如图 1.4 和图 1.6 所示。轴尖与轴承之间摩擦配合，在可动部分偏转过程中，将产生摩擦力矩 M_f ，其作用方向与可动部分偏转方向相反，力矩大小与轴尖、轴承的光洁程度、几何尺寸和可动部分的质量有关。一般用公式表示为

$$M_f = KG^{1.5} \quad (1.7)$$

式中： M_f ——摩擦力矩 ($N \cdot m$)；

K ——摩擦系数，由轴尖、轴承的设计参数确定；

G ——可动部分的质量 (kg)。

摩擦力矩的特点是极不稳定，由它的影响而引起的附加误差无法测量。为了可靠地衡量并评价它的影响，在设计及制造仪表时，一般使用实用品质因数 A_m ，用公式表示：

$$A_m = 10 \frac{M_{90}}{G^{1.5}} \quad (1.8)$$

式中： M_{90} ——可动部分偏转 90° 时转动力矩值。

由于使用了 M_{90} ，可以比较方便地比较出各种不同种类仪表的摩擦力矩的影响，便于估计摩擦力矩所引起的测量误差：

$$\gamma_f = \frac{M_f}{M_{90}} = \frac{KG^{1.5}}{M_{90}} \quad (1.9)$$

显然，仪表的品质因数 A_m 越大，摩擦力矩引起的误差越小。因此在实际设计时，总是千方百计地提高可动部分的转动力矩，尽量减小可动部分的质量，合理选择轴尖的材料及轴尖部位的曲率等，从而减小 K 值。

三、测量线路

由于万用表的测量对象多，测量量程范围宽，所以要比普通仪表的测量线路复杂一些，但其测量原理与普通仪表仍是一致的。例如：测量电流依靠分流电阻扩大量程；测量电压采用分压电阻扩大量程等。由于它的测量准确度较低，对测量线路中各类元件的技术要求也比精密电工仪表低。

测量线路中使用的电阻元件主要是线绕电阻和金属膜（早期的万用表用碳膜）电阻。低阻值电阻用锰铜材料制成线绕电阻，较高阻值用金属膜电阻，其误差一般均为 $\pm 0.5\%$ 至 $\pm 5\%$ 。线路中的可调电阻一般都采用线绕电位器。

第二节 万用表的测量线路

一、测量直流电流线路

1. 测量原理

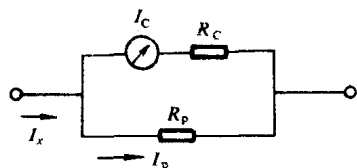


图 1.11 直流电流档原理线路

万用表表头本身就是一个低量程（数十微安）的直流电流表，扩大量程需按图 1.11 所示接入分流电阻。

设表头灵敏度（指针满偏转时电流值）为 I_C ；表头内阻为 R_C ；接入的分流电阻为 R_P ；接入 R_P 后扩展的电流量程为

$$I_C \cdot R_C = (I_x - I_C) \cdot R_P$$

$$R_p = \frac{I_C \cdot R_C}{I_x - I_C} \quad (1.10)$$

2. 开路式分流器电路

万用表的直流电流档具有几个量程，其分流电阻可以接成开路式分流器电路，如图 1.12 所示。

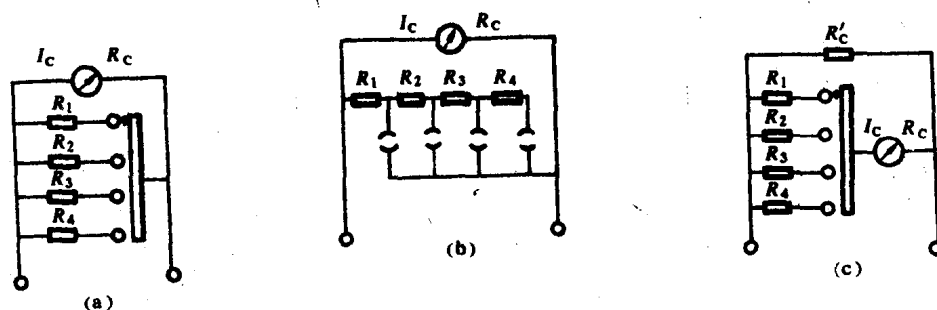


图 1.12 直流电流档的开路式分流器电路

线路特点是各电流量程分流电阻独立，各档误差可以单独调整，彼此互不影响，分流电阻值计算简单。

例如，一灵敏度为 $I_C = 45\mu A$ ，内阻为 $R_C = 1.8k\Omega$ 的表头，接成如图 1.12 (a) 所示多量程直流电流表，按式 (1.10) 计算各量程分流电阻值为：

对 2mA 量程

$$R_1 = \frac{45 \times 1\,800}{2\,000 - 45} = 41.43\,(\Omega)$$

对 20mA 量程

$$R_2 = \frac{45 \times 1\,800}{20\,000 - 45} = 4.06\,(\Omega)$$

对 200mA 量程

$$R_3 = \frac{45 \times 1\,800}{200\,000 - 45} = 0.405\,(\Omega)$$

对 2A 量程

$$R_4 = \frac{45 \times 1\,800}{2 \times 10^6 - 45} = 0.0405\,(\Omega)$$

开路式分流器线路具有几种接法：图 (a) 所示为分流电阻切换式；图 (b) 为短路插孔切换式；图 (c) 为串并联分流电阻式。总起来说，开路式分流器电路有以下缺点，在多量程仪表中基本不予采用。

①如图 1.12 (a)、(b) 所示，当分流电阻值较小时，转换开关或插销的接触电阻及其变化直接影响测量结果；只有采用图 (c) 这种影响才可以大大减小；

②由于各量程之间闭合回路内总电阻不同，使表头在不同量程下阻尼状态不相一致，影响测量速度；

③不宜再换接成电压测量电路，在万用表电路中不适用；

④使用中，由于开关或分流电阻发生故障，造成短路时，很容易造成表头受大电流的冲

击而损坏。

3. 闭路式分流器线路

为较好地解决以上问题, 万用表直流电流档的分流电阻多采用闭路式分流器线路结构。其原理如图 1.13 所示, 图中, 各分流电阻和表头相串联, 形成闭合回路, 再由分流电阻中间抽头引出量程转换接线。故称为闭路式分流器线路。

将电流档设计成闭路式分流器线路, 便于同时考虑到电压测量电路和电阻测量电路。计算分流电阻的具体做法是先将原表头的灵敏度扩展成最接近的简单整数, 以便于计算。为此可以把表头串联一支可变的线绕电阻, 即解决扩展灵敏度的问题, 也便于补偿由于表头内阻 R_C 数值不一致, 离散性较大的问题, 方便了按工艺要求装配及调整。例如, 原表头灵敏度为满度 $45\mu\text{A}$, 可以扩展成满度 $50\mu\text{A}$; 满度 $81\mu\text{A}$, 可以扩展为 $100\mu\text{A}$ 。然后再按扩展之后的表头灵敏度计算分流电阻值。在图 1.13 中, 设扩展之后表头灵敏度为 I_0 , 总内阻为 R_0 , 闭路分流电阻的总和为 R_p , 电流测量范围为 1, 可有

$$\begin{aligned} R_p &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \\ &= \frac{I_0 \cdot R_0}{I - I_0} \end{aligned}$$

移项之后整理, 得

$$\begin{aligned} IR_p &= I_0 R_0 + I_0 (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5) \\ &= I_0 (R_0 + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5) \end{aligned} \quad (1.11)$$

当在分流电阻中间抽头, 扩大电流测量范围为 I_i ($i=1, 2, 3, 4$) 时, 可根据测量范围计算分流电阻 R_{pi} 。由于并联支路的端电压相等, 可有

$$(I_i - I_0) R_{pi} = I_0 (R_0 + R_p - R_{pi})$$

移项整理, 得

$$I_i R_{pi} = I_0 (R_0 + R_p) \quad (1.12)$$

由式 (1.11) 和式 (1.12) 可以得出

$$I_i R_{pi} = IR_p \quad (1.13)$$

式 (1.13) 说明, 在闭路式分流器电流表中, 电路一经确定, 其电流量程和该量程分流电阻的乘积是一个常数, 其值等于表头灵敏度与闭合回路电阻总和之积, 这是万用表电流档计算公式的基础。

例如, 一灵敏度为 $45\mu\text{A}$, 内阻为 $1.8\text{k}\Omega$ 的表头, 接成如图 1.14 所示多量程直流电流表电路。各量程分流电阻按以下方法计算

首先, 扩大表头灵敏度为 $100\mu\text{A}$, 则总分流电阻值为

$$R_p = \frac{45 \times 1.8}{100 - 45} = 1.47 (\text{k}\Omega)$$

取 $R_p = 1.8\text{k}\Omega$ 。仍用上式反过来推算表头支路的电阻, 计算结果为 $R_0 = 2.2\text{k}\Omega$ 。由于表头内阻仅为 $1.8\text{k}\Omega$, 需要串联 400Ω 电阻。实际线路中使用 500Ω 可调线绕电阻, 这样即满足了应用分流电阻的需要, 又可以解决制造过程表头内阻数值不统一的调整问题。

按 $R_0 = 2.2\text{k}\Omega$ 计算, 其常数值为

$$\begin{aligned} I_0 (R_0 + R_p) &= 45 \times 10^{-6} \times (1.8 + 2.2) \times 10^3 \\ &= 0.18 (\text{V}) \end{aligned}$$

以此即可分别求出各量程分流电阻值为：

$$R_{p1000\text{mA}} = R_{p1} = \frac{0.18}{1} = 0.18 (\Omega)$$

$$R_1 = R_{p1} = 0.18 (\Omega)$$

$$R_{p100\text{mA}} = R_{p2} = \frac{0.18}{0.1} = 1.80 (\Omega)$$

$$R_2 = R_{p2} - R_1 = 1.62 (\Omega)$$

$$R_{p10\text{mA}} = R_{p3} = \frac{0.18}{0.01} = 18.0 (\Omega)$$

$$R_3 = R_{p3} - R_{p2} = 16.2 (\Omega)$$

$$R_{p1\text{mA}} = R_{p4} = \frac{0.18}{0.001} = 180 (\Omega)$$

$$R_4 = R_{p4} - R_{p3} = 162 (\Omega)$$

$$R_5 = R_p - R_{p4} = 1800 - 180 = 1620 (\Omega)$$

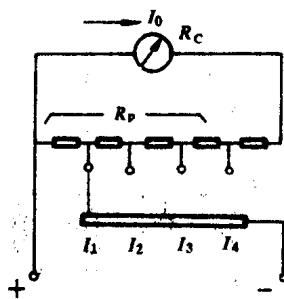


图 1.13 直流电流档的闭路式分流器线路

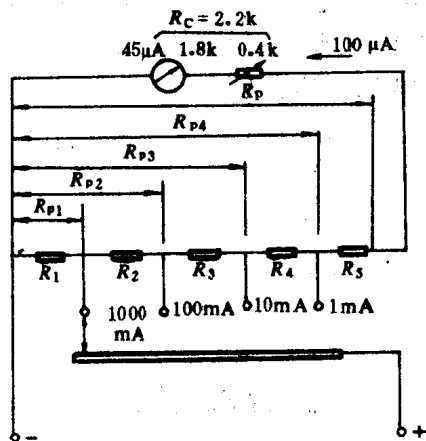


图 1.14 多量程直流电流表电路

闭路式分流器在调整过程中，虽然量程之间彼此有影响，但转换开关的接触状态对测量结果没有影响，当开关断路时，表头无电流通过，不容易损坏表头。便于作为等效表头，接成电压表、电阻表电路，在万用表电路中得到广泛应用。

二、测量直流电压线路

1. 测量原理

从理论上讲，表头本身即可以看作是高灵敏度电流表，也可以看成是小量程的电压表。如图 1.15 所示。如果满度电流为 I_C ，内阻为 R_C ，则其电压量程为

$$U = I_C R_C \quad (1.14)$$

显然，在线路中增加一个或几个与 R_C 串联的附加电阻 R_f ，就可以扩大电压量程，做成多量程直流电压表，其电压量程为