

图解

万用电表

检修与调试

快速入门

■ 李保宏 编著

以图解文

轻松上手

注重实践

快速提高

介绍万用电表检修技术
解除用表人员后顾之忧



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

图解维修技术快速入门丛书

图解万用电表检修与调试快速入门

李保宏 编著

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

图解万用电表检修与调试快速入门 / 李保宏编著. —北京: 人民邮电出版社, 2009. 5
(图解维修技术快速入门丛书)
ISBN 978-7-115-19573-9

I. 图… II. 李… III. ①复用电表—维修—图解②复用电表—调试—图解 IV. TM938. 107-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第209212号

内 容 提 要

本书是根据作者多年来从事万用电表修理、计量检定与教学工作积累的经验编写的有关万用电表检修和调试内容的图书。全书内容分为4章,第1章简要介绍万用电表的表头结构、作用原理和基本电路,第2章主要介绍指针万用电表表头故障、电路故障的检修方法和典型故障排除实例,第3章主要介绍数字万用电表电源故障、电路故障、显示屏故障和共有故障的检修方法,第4章主要介绍万用电表的调试和检定方法,附录中精选出了数十种具有代表性的万用电表电路图。书中采用了大量的插图进行说明,便于读者快速掌握万用电表的检修和调试方法。

本书条理清楚、语言通俗易懂,适合从事万用电表检修、调试和使用的技术人员阅读,也适合工科院校的师生以及厂矿企业相关工程技术人员参考。

图解维修技术快速入门丛书

图解万用电表检修与调试快速入门

-
- ◆ 编 著 李保宏
责任编辑 刘 朋
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京顺义振华印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 18.25
字数: 441千字
印数: 1—4 000册
 - 2009年5月第1版
2009年5月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-19573-9/TN

定价: 32.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前言

万用电表以其功能齐全、使用方便而深受广大电工电子技术人员的喜爱，是他们从事电子技术学习、元器件检测、电路状态测试、电子设备维修等所必备的常用工具。由于万用电表普及面广，使用者很多，而且应用环境各不相同，使用水平差异悬殊，因而出现故障的概率也大。万用电表检修是一门相对比较专业的技术，在有条件的情况下可以按标准检修，在条件欠缺的情况下也可以进行简易修理，而这两种修理都要求修理人员掌握一定的理论知识以及故障检测和排除方法。本书正是为满足广大读者检修、调试和检定万用电表的需要而编写的。

作者曾于1991年8月出版过《实用万用电表检修》，1994年3月出版过《万用电表检修技巧与实例》，当时深受读者喜爱，但由于时间久远，这两本书的内容已不能满足现在读者的需求。目前市场上关于万用电表检修与调试的图书很少，而且大多内容过于简单，与读者的需求相差较大。鉴于这些情况，作者在编写本书时充分考虑到当前万用电表的技术水平和应用状况，结合读者的实际需要，运用结构图、实物图、电路图、分解图、安装图等对万用电表的基本结构、参数分配、故障原形以及故障分析和处理等实用技巧进行介绍。通过阅读本书，读者能够快速了解万用电表，学会分析万用电表典型故障，并且能够自己动手修理和调试万用电表。

万用电表有数字式和指针式两大类，每一类又有很多品牌和型号，价格也从万元以上到百元左右不等。万用电表的型号虽多，但对于同一类型的万用电表来说，其内部结构相差不大。为了便于读者阅读，本书以典型的万用电表为例，着重介绍检修和调试万用电表的一般方法和通用技巧，便于读者举一反三、灵活运用所学知识。

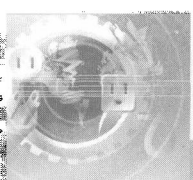
参加本书编写工作的有李保宏、李幸呈、马慧、吉俊涛、骆嘉妹等。

由于作者水平有限，书中定会存在一些疏漏、缺点或错误，欢迎读者批评指正。

编者

目 录

第1章 万用电表概述	1
1.1 指针万用电表的表头	1
1.1.1 磁电式表头的结构	1
1.1.2 作用力矩与反作用力矩	7
1.1.3 惯性力矩、阻尼力矩和摩擦力矩	8
1.2 指针万用电表的典型电路	10
1.2.1 半波与全波整流电路	11
1.2.2 直流电流和电压测量电路	15
1.2.3 交流电流和电压测量电路	16
1.2.4 电阻测量电路	20
1.2.5 其他参数测量电路	24
1.3 数字万用电表的表头	25
1.3.1 2000 数字显示表头	25
1.3.2 4000 数字显示表头	33
1.3.3 20000 数字显示表头	38
1.3.4 40000 数字显示表头	44
1.4 数字万用电表的典型电路	48
1.4.1 直流电流、电压变换电路	48
1.4.2 交流电流、电压变换电路	49
1.4.3 电阻测量电路	51
1.4.4 电容测量电路	51
1.4.5 小数点驱动电路	52
第2章 指针万用电表检修技巧	54
2.1 指针万用电表表头机械故障的分析与处理	54
2.1.1 指针卡阻故障的分析与处理	54
2.1.2 动圈不平衡故障的分析与处理	57
2.1.3 指示变差故障的分析与处理	61
2.1.4 示数装置的误差分析与处理	65
2.1.5 万用电表表头的拆卸与装配	69
2.2 指针万用电表表头电气故障的分析与处理	74



2.2.1 表头灵敏度下降的修理方法	74
2.2.2 永磁体的磁化与老化稳定处理	75
2.2.3 动圈短路或断路的故障处理	81
2.2.4 磁场强度衰减后的游丝选择	85
2.2.5 动圈匝数变化后的游丝选择	87
2.3 指针万用电表电路故障的分析与处理	88
2.3.1 直流电流挡的故障检查与修复	88
2.3.2 直流电压挡的故障检查与修复	99
2.3.3 交流电压挡的故障检查与修复	104
2.3.4 电阻量程的故障检查与修复	113
2.4 指针万用电表检修实例	122
2.4.1 表内电池快速放电	122
2.4.2 电阻 $R \times 1$ 挡不能调零	124
2.4.3 电阻各量程调零异常	126
2.4.4 电阻量程有两挡严重超差且示值漂移	129
2.4.5 直流电压 1000V 挡超差	130
2.4.6 交流电压 1000V 挡无指示	131
2.4.7 用交流电压挡测试电压时烧坏电阻挡	133
2.4.8 测量市电发出响声后不能继续使用	135
2.4.9 交流电压挡误差大	136
2.4.10 表体受力后指针搁浅	138
2.4.11 用电阻挡的 3 个量程测量同一个电阻时指针偏转角相同	139
第 3 章 数字万用电表检修技巧	141
3.1 电源故障的处理与分析	141
3.1.1 电池寿命短	141
3.1.2 换上新电池后就显示电能不足	143
3.1.3 电池欠电压指示功能失灵	144
3.1.4 自动关机功能失灵	146
3.2 直流量程的故障处理与分析	147
3.2.1 20mA 量程严重超差	147
3.2.2 电压基本量程正常而其余量程不能测试	149
3.2.3 直流电流量程不能测试	151
3.2.4 400mA 挡严重超差	152
3.3 交流量程的故障处理与分析	153
3.3.1 交流各量程溢出显示	153
3.3.2 交流各量程显示不回零	156
3.3.3 印制线路板绝缘击穿	158
3.3.4 交流电压 200V 挡超差, 750V 挡溢出显示	159

3.4 电阻、电容量程的故障处理与分析	161
3.4.1 20MΩ挡既不回零也不能测试	161
3.4.2 电容 20μF 挡不回零故障	163
3.4.3 电容多个量程溢出显示	164
3.4.4 输入端开路而发出蜂鸣声	166
3.5 显示器的故障处理与分析	168
3.5.1 LCD 不显示	168
3.5.2 LCD 显示缺少笔画	169
3.5.3 小数点错位	170
3.5.4 出现两个小数点	172
3.5.5 LCD 显示单位与量程不一致	173
3.6 共有故障的处理与分析	177
3.6.1 信号阻塞与数字显示不回零	178
3.6.2 多量程不能测试	179
3.6.3 量程开关的修理	182
3.6.4 测试线和插座的修理	183
第 4 章 万用电表的调试与检定	187
4.1 万用电表表头静电故障的处理与分析	187
4.1.1 表头面板静电的产生	187
4.1.2 静电的作用与影响	188
4.1.3 静电的消除与防护	189
4.2 万用电表的调试与检定	190
4.2.1 万用电表表头参数的测定	191
4.2.2 普通万用电表测量电路的调试	193
4.2.3 运放万用电表测量电路的调试	195
4.2.4 数字万用电表测量电路的调试	197
4.2.5 万用电表的综合检定	197
附录	203
附录 1 万用电表常见符号备查表	203
附录 2 指针万用电表电路图	210
附录 3 数字万用电表电路图及所用集成电路	222
参考文献	283

万用电表概述

万用电表又称三用表、繁用表或复用表，目前习惯称其为万用表。

万用电表的发展已有一百多年历史。指针万用电表源于初期多量程安培表、多量程电压表和多量程欧姆表，这就是早期称之为三用表的缘故。在此基础上，又派生了电容、电感、功率、电平、三极管静态放大系数等多种测量项目。由于它的用途明显增加，因而也就名副其实地冠以万用电表的美称。

模拟电子技术的应用为万用电表制造技术注入了活力。将集成运算放大器（简称运放）用于万用电表，彻底改变了万用电表性能完全取决于表头满度偏转电流的限制，使仪表在被测量远低于表头满度偏转电流时仍能获得准确读数。数字电子技术为数字万用电表的诞生铺平了道路，数字万用电表迅速得以普及，并且在向智能化方向发展的进程中凸显其“贵族”地位。

有使用就有维修。本章将用一定篇幅简要介绍指针万用电表表头、数字万用电表表头以及万用电表各种电路的构成等内容，为以下章节的讨论做好必要的基础知识准备。

1.1 指针万用电表的表头

指针万用电表的表头有外磁式和内磁式两种。外磁式表头份量重，内磁式表头份量轻；外磁式表头所用材料多，内磁式表头所用材料少；外磁式表头灵敏度高，内磁式表头灵敏度低一些。

1.1.1 磁电式表头的结构

万用电表的表头通常由 4 部分组成，即可动部分、固定部分、磁系统和读数装置。外磁式万用电表的表头如图 1.1.1 所示，内磁式万用电表的表头如图 1.1.2 所示。

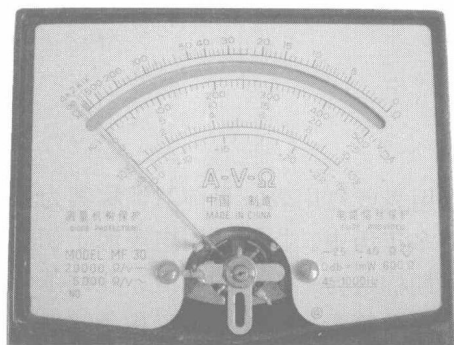
1. 可动部分

可动部分的支撑方式常见的有两种：轴尖支撑式和张丝支撑式。轴尖支撑式由动圈、轴尖座、指针支架、上游丝和下游丝等组成。轴尖支撑式可动部分的结构如图 1.1.3 所示。

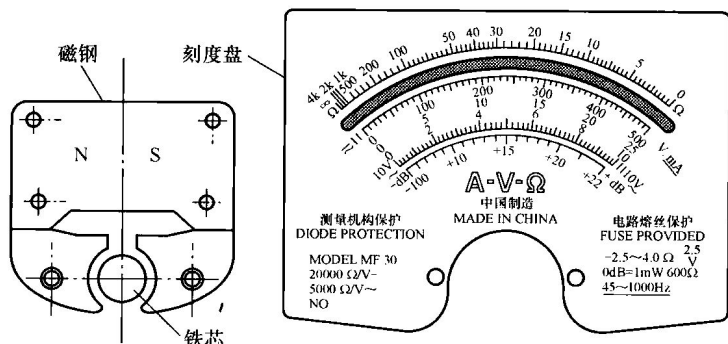
张丝支撑式由动圈、弹片、上张丝、下张丝等组成。张丝支撑式表头如图 1.1.4（a）所示，其可动部分的结构如图 1.1.4（b）所示。

动圈采用高强度漆包铜线绕制成矩形，线径一般为 $0.02 \sim 0.05\text{mm}$ ，用以通过一定的电流。

指针支架用以连接指针和纠正重力矩。指针支架上的小焊片用与动圈引线与游丝或张丝的连接。指针支架常见的有“十”字形和“Y”字形两种，还有一种“*”形的，这在进口的仪表中可以看到。

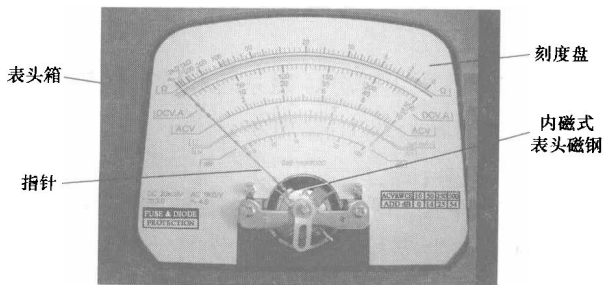


(a) 外磁式万用电表表头示例

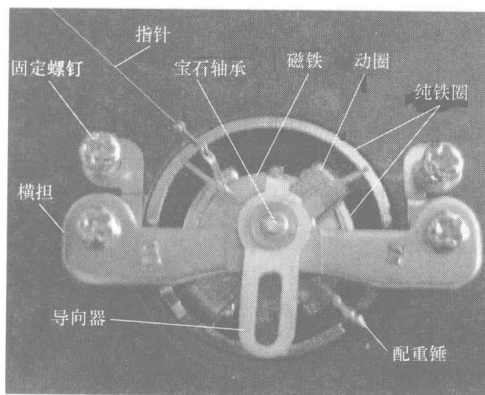


(b) 外磁式万用电表表头部件名称

图 1.1.1 外磁式万用电表的表头



(a) 内磁式万用电表表头示例



(b) 内磁式万用电表表头部件名称

图 1.1.2 内磁式万用电表的表头

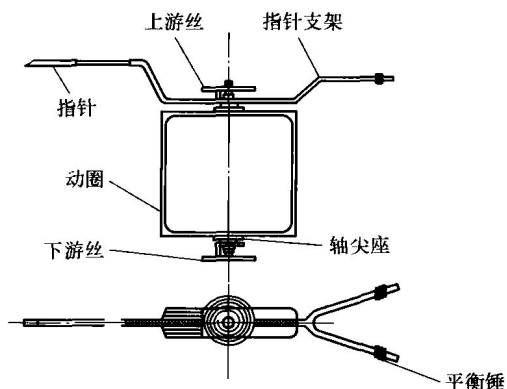
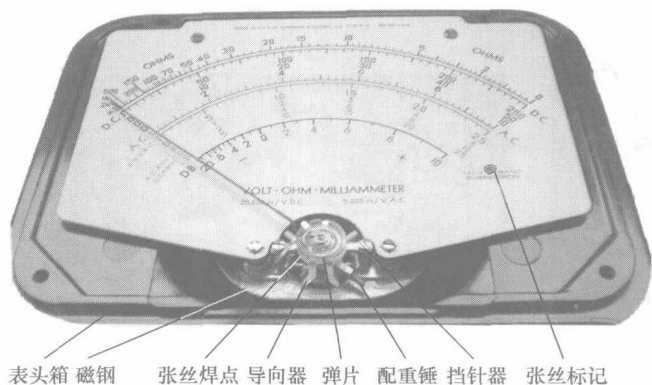
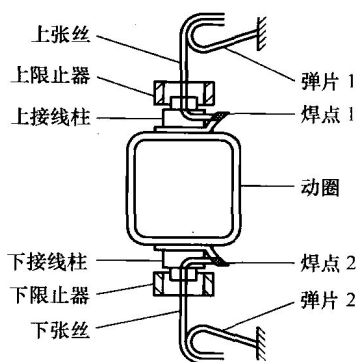


图 1.1.3 轴尖支撑式可动部分的结构



(a) 张丝支撑式表头示例



(b) 张丝支撑式表头可动部分的结构

图 1.1.4 张丝支撑式表头及其可动部分的结构

轴尖座采用不易氧化的逆磁性材料制成。游丝通常用磷青铜、锡锌青铜或镉青铜等材料制成。张丝通常用锡锌青铜、铍青铜、铍钴铜或铂镍合金等材料制成。张丝、游丝不仅用以产生反作用力矩和自动返零，还作为动圈与外电路导线连接的媒介。

2. 固定部分

轴尖支撑式的固定部分由支架、弹簧宝石轴承螺钉、导向片、绝缘片等组成。弹簧宝石轴承装在支架的上下中心位置，作为动圈的支撑物。张丝支撑式的固定部分与轴尖支撑式固定部分的不同之处是：张丝支撑式依靠弹片和张丝一起支撑仪表的可动部分，张丝的工作弹力靠弹片来支持，弹片还对张丝起到减震作用。弹片的形状有 S 形、弧形、平面形、太极形等。弹片一般由磷青铜、锡锌青铜、铍青铜等材料制成。

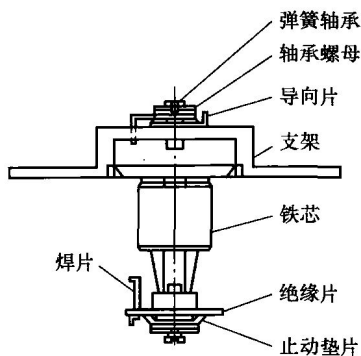
典型表头支架的形状如图 1.1.5 所示。

表头支架由铝合金或工程塑料浇制而成。圆柱形铁芯一般用低碳钢制成，它与支架轴线中心同心。圆柱形铁芯与支架组合，常采用压接和螺钉固定两种方法。导向器用于焊接上、下游丝外端头，通过接线引入电流，其次还用于机械调零。绝缘片用于动圈的引出线与支架的绝缘，以免“+”（正）、“-”（负）引出线相连发生短路。绝缘片用电工胶木或塑料冲制而成。

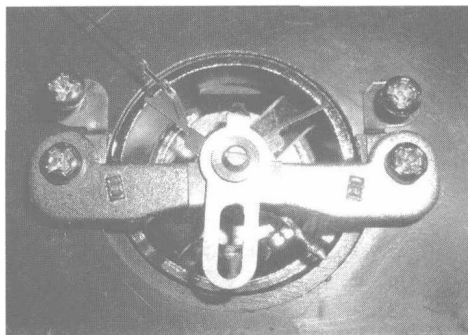
3. 磁系统

表头磁系统由永久磁铁、轭铁（由低碳钢或粉末合金制成）和极掌等组成，简称磁钢。

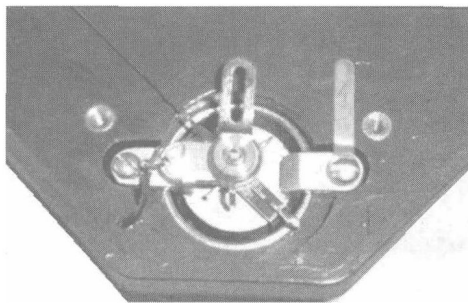
表头磁系统按磁路构成分为内磁式和外磁式两种。各种形状的磁钢如图 1.1.6 所示。



(a) 蝶形表头支架



(b) Π形表头支架



(c) Γ形表头支架

图 1.1.5 典型表头支架的形状

不同型号的万用电表所采用的磁性材料有相同的，也有不同的。目前常用的磁性材料有铝镍铁、铝镍钴和铝镍钴钛等牌号。

任意一种磁铁均有 3 个重要参数，即剩余磁感应强度、矫顽磁力和磁能积。

(1) 磁铁的剩余磁感应强度 B_r

B_r 决定磁场的强弱，直接影响仪表的灵敏度。 B_r 的单位在国际单位制中是 T (特斯拉)，而在旧单位制中是高斯 (Gs)，它们之间的关系为：

$$1\text{T} = 1 \times 10^4 \text{Gs}$$

(2) 矫顽磁力 H_c

H_c 越大，剩余磁感应强度越稳定，长时间由外界因素引起的磁性衰退的变化就小，它与仪表的稳定性有密切的关系。 H_c 的单位在国际单位制中用 A/m 表示，而在高斯单位制中用奥斯特 (Oe) 表示，它们之间的关系为：

$$1\text{A/m} = 4\pi \times 10^{-3} \text{Oe}$$

$$1\text{Oe} = 79.6\text{A/m} \approx 0.8\text{A/cm}$$

(3) 磁能积 $(BH)_m$

$(BH)_m$ 表示磁铁内部 B 和 H 的乘积的最大值。当气隙中的磁场强度和气隙的体积给定后，所需磁铁的体积与磁能积成反比。所以， $(BH)_m$ 大，可以使磁铁体积缩小。这不仅可以节省磁性材料，而且对仪表的小型化有着特殊的意义。

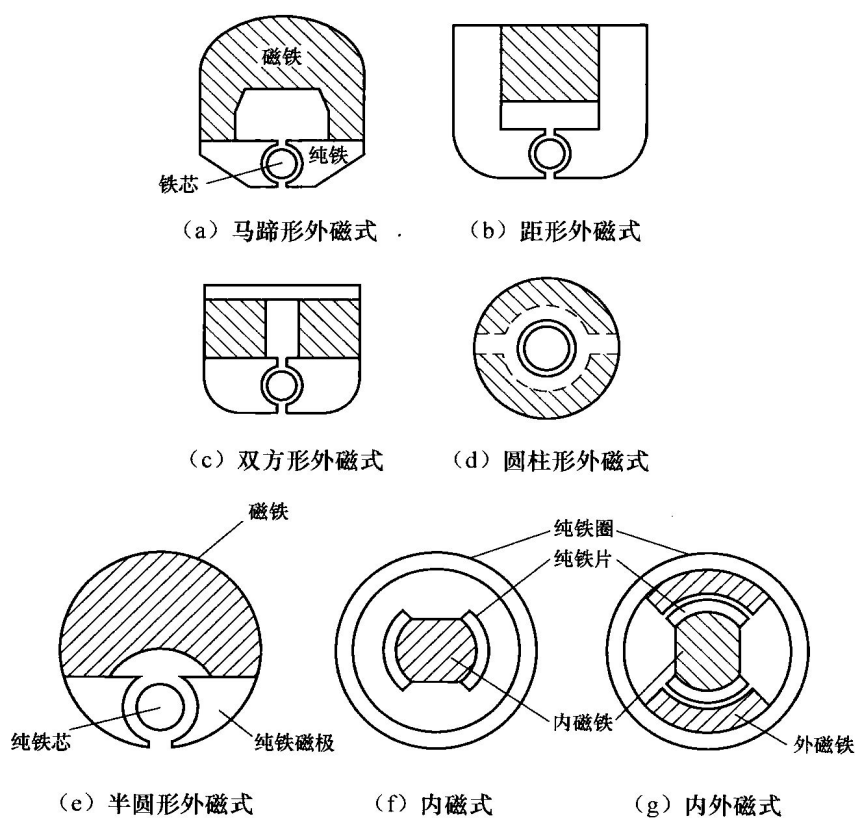


图 1.1.6 各种形状的表头磁钢

常用永磁材料的磁性能如表 1.1.1 所示，永磁材料的物理性能如表 1.1.2 所示。

表 1.1.1 永磁材料的磁性能

材 料	牌 号	磁性能 (不小于)		
		剩磁 B_r T (Gs)	矫顽力 H_c kA/m (Oe)	磁能积 $(BH)_m$ kJ/m ³ (MGsOe)
铸造铝镍钴	铝镍 (AlNi) 9.2	0.66(6600)	27(340)	9.2(1.15)
	铝镍 (AlNi) 10	0.60(6000)	36(450)	10(1.2)
	铝镍 (AlNi) 10.4	0.56(5600)	38(480)	10.4(1.3)
	铝镍钴 (AlNiCo) 13	0.68(6800)	48(600)	13(1.6)
	铝镍钴 (AlNiCo) 20	0.93(9300)	52(650)	20(2.5)
	铝镍钴 (AlNiCo) 35	1.20(12000)	44(550)	35(4.4)
	铝镍钴 (AlNiCo) 40	1.25(12500)	48(600)	40(5.0)
	铝镍钴 (AlNiCo) 44	1.25(12500)	52(650)	44(5.5)
	铝镍钴 (AlNiCo) 52	1.30(13000)	56(700)	52(6.5)
	铝镍钴钛 (AlNiCoTi) 32	0.80(8000)	100(1250)	32(4.0)
	铝镍钴钛 (AlNiCoTi) 52	0.95(9500)	104(1300)	56(7.0)
	铝镍钴钛 (AlNiCoTi) 72	1.05(10500)	111(1400)	72(9.0)

表 1.1.2

永磁材料的物理性能

材料	牌 号	可逆磁导率 μ_{rec}	居里点 $T_c(^{\circ}\text{C})$	比重 d (g/cm^3)	硬度 H_{RC}	温度系数 α_{Br} ($10^{-3}/^{\circ}\text{C}$)	线膨胀系数 $\Delta L/L$ ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
铸 造 铝 镍 钴	铝镍 (AlNi) 9.2	6.0~7.0	760	7.0	47	-0.22	13.0
	铝镍 (AlNi) 10	6.7~7.0	760	7.0	47	-0.22	13.0
	铝镍 (AlNi) 10.4	6.0~7.0	760	7.0	47	-0.22	13.0
	铝镍钴 (AlNiCo) 13	6.0~6.7	810	7.2	52	-0.14	12.4
	铝镍钴 (AlNiCo) 20	5.0	840	7.2	53	—	—
	铝镍钴 (AlNiCo) 35	4.0~5.0	890	7.3	50	-0.16	11.2
	铝镍钴 (AlNiCo) 40	2.5~4.0	890	7.3	50	-0.16	11.2
	铝镍钴 (AlNiCo) 44	2.5~4.0	890	7.3	50	-0.16	11.2
	铝镍钴 (AlNiCo) 52	2.4~3.6	890	7.3	50	-0.16	11.2
	铝镍钴钛 (AlNiCoTi) 32	2.4~3.6	850	7.4	59	-0.20	11.0
	铝镍钴钛 (AlNiCoTi) 52	2.4~3.6	850	7.4	59	-0.25	11.0
	铝镍钴钛 (AlNiCoTi) 72	2.0~3.2	850	7.4	59	-0.25	11.0

4. 读数装置

通过动圈的电流经可动机构转换为偏转角，再将偏转角的大小印制在一个标度盘上，连接各点组成一条刻度弧线，用指针偏转位置反映所测量值的大小。含有标度的刻度线称为标度尺，它有两种特性：均匀标度尺和不均匀标度尺。均匀标度称为线性刻度，不均匀标度称为非线性刻度。为扩大测量范围，通常在一块标度盘上印上多条刻度线，这就构成了万用电表的读数装置，俗称刻度盘。通过刻度盘再结合量程转换开关的倍率，即可读出被测量的大小。典型万用电表刻度盘如图 1.1.7 所示。

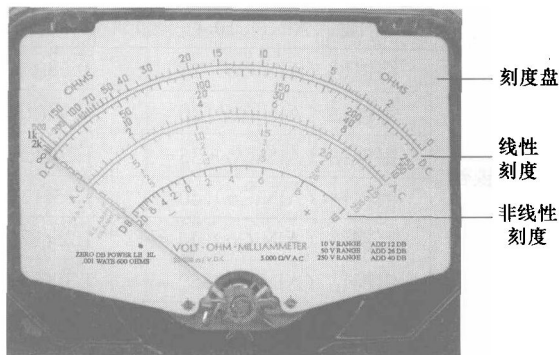


图 1.1.7 万用电表刻度盘示例

1.1.2 作用力矩与反作用力矩

指针万用电表的表头和普通磁电式仪表相似,是以永久磁铁中的磁场与载流线圈相互作用为基础,带动装有指针的可动部分,通过刻度盘反映测试结果,其结构如图 1.1.8 所示。

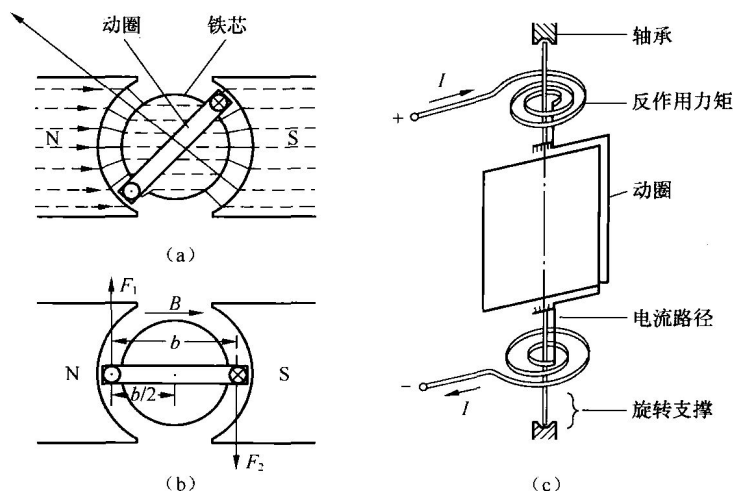


图 1.1.8 磁电式仪表结构示意图

在一个永久磁铁的 N、S 极之间,由圆弧形极掌与装在支架上的圆柱形软铁芯构成磁气隙,使磁力线集中并均匀分布。动圈的上、下轴承(或铜片)通过轴线,由轴尖(或张丝)支撑。当动圈中有电流通过时,由左手定则可知,在动圈的两个侧边将产生如图 1.1.8 (b) 所示的作用力 F_1 和 F_2 , 并且:

$$F = F_1 = F_2 = BINL \quad (1.1.1)$$

式中: B ——空气隙中的磁感应强度;

I ——通过动圈的电流;

N ——动圈的匝数;

L ——动圈每个受力边的长度。

如果在动圈上产生的转动力矩为 M , 则:

$$M = \frac{b}{2} F_1 + \frac{b}{2} F_2 = bF$$

将式 1.1.1 代入上式得到:

$$M = bBINL = ABNI \quad (1.1.2)$$

式中: A ——动圈的有效面积, 它等于 bL ;

b ——动圈的平均有效宽度。

只有转动力矩, 仪表并不能显示出被测量的大小。对于采用轴尖支承的仪表来说, 如果只有转动力矩存在, 那么不管被测量大小如何, 只要它产生的转动力矩能够克服轴尖与轴承之间的摩擦力, 就可以使可动部分偏转到不能再偏转的位置, 这当然不能显示出实际被测量。为了使仪表能够反映出被测量的大小, 还必须有一个反作用力矩(也称控制力矩)。这个力矩用 M_a 表示。这个力矩的方向应该与转动力矩的方向相反, 而且应该随着偏转角 α 的增大而增大, 满足下式要求:

$$M_a = F_2(\alpha)$$

当被测量较小时，转动力矩也小，可动部分只要偏转一个相应的小角度，因转动力矩和反作用力矩平衡而停下来；当被测量较大时，转动力矩 M 也较大，可动部分就偏转一个较大的角度，当转动力矩与反作用力矩 M_a 再相等时停下来。这样，通过对表头输入不同的电流，指针偏转角的大小不断改变来表示被测量的大小。

指针万用电表的表头除了部分采用张丝结构以外，多数是利用上、下两盘方向相反的游丝作为产生反作用力矩的元件。国家标准 GB 2788—81《电测量指示仪表用游丝》规定，精密级游丝应标注为 $9 \times 140\text{-QSn4-3}$ 。其中，9 表示游丝外径 $r = 9\text{mm}$ ，140 表示游丝由自由状态扭转 90° 时的力矩 $M = 140\mu\text{N} \cdot \text{cm}$ ，QSn4-3 表示制造游丝的材料为锡青铜。

当转动力矩 M 使动圈转动时，带动仪表可动部分偏转。与此同时，作为控制装置的游丝也扭转一个角度 α ，产生一个反作用力矩 M_a ，其大小与偏转角成正比。

$$M_a = W\alpha \tag{1.1.3}$$

式中： α ——活动部分的偏转角；

W ——游丝反作用力矩系数，它由弹簧的材料性质和几何形状所决定。

$$W = E \frac{bh^3}{12l}$$

式中： E ——材料的弹性系数；

b ——游丝的宽度；

h ——游丝的厚度；

l ——游丝的长度。

在平衡状态下，指针偏转至某一平衡位置时，可动部分静止下来，这时转动力矩与反作用力矩相等，用公式 $M = M_a$ 表示。

若将式 (1.1.2) 代入式 (1.1.3)，可得到：

$$\begin{aligned} ABNI &= W\alpha \\ \alpha &= ABNI/W \end{aligned} \tag{1.1.4}$$

故

如果令 $ABN/W = S_i$ ，就会得到：

$$\alpha = S_i I \tag{1.1.5}$$

式 (1.1.5) 说明仪表动圈的转角 α 与动圈的截面积 A 、动圈的匝数 N 、磁感应强度 B 及通过动圈的电流 I 成正比，与游丝（或张丝）的反作用力矩系数成反比。

式 (1.1.5) 说明仪表一经制成，其 A 、 B 、 N 、 W 都是定值，这时电流灵敏度 S_i 是不随动圈的偏转角而变化的。因此，仪表动圈的转角只与输入动圈的电流大小相关。

1.1.3 惯性力矩、阻尼力矩和摩擦力矩

指针万用电表的表头不仅有作用力矩和反作用力矩，还有惯性力矩、阻尼力矩和摩擦力矩。

1. 惯性力矩

当万用电表的表头通电后，可动部分获得能量而旋转，其动能（或称为惯性力）与游丝作用，使得指针不能立即停止在平衡位置的直线上（如图 1.1.9 中的 α_0 ），而是在其最终位置附近作减幅振动，其过程如图 1.1.9 中的曲线 1 所示。

在欠阻尼状态下，要取得稳定后的读数需要很长时间。为了限制指针的长时间摆动，表

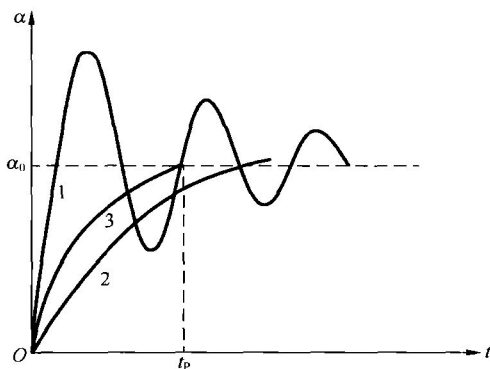
头设计了阻尼装置来产生阻尼力矩。阻尼力矩必须设计合理,如果阻尼过强,将会出现过阻尼状态,如图 1.1.9 中的曲线 2 所示,其读数时间不但不会缩短,反而可能因为仪表指针缓慢爬行,被误认为已到达平衡而读错示值。临界阻尼状态如图 1.1.9 中的曲线 3 所示,它所需要的读数时间最短。但是,最理想的状态是欠阻尼状态,因为在这种状态下,仪表指针围绕最后稳定位置稍作左右摆动后停止,便于读数,不易引起错误判断。磁电式万用电表的阻尼时间规定不得超过 4s。

2. 阻尼力矩

指针万用电表表头的阻尼方式有两种:一种是利用永久磁铁产生的辐射磁场,在铝制的框架运动时产生涡流形成阻尼力矩(称为框架阻尼);另一种是在表头动圈的引出线正、负端并联一定数值的电阻来产生阻尼(称为外路阻尼)。这两种阻尼的原理都一样,都是依靠可动部分偏转时产生的反向电动势被短路后形成的反作用力矩。

(1) 框架阻尼

假设仪表的可动部分以角速度 ω 向顺时针方向偏转,动圈框架切割磁力线的情形如图 1.1.10 所示。



1—欠阻尼；2—过阻尼；3—临界阻尼

图 1.1.9 表头可动部分的阻尼曲线

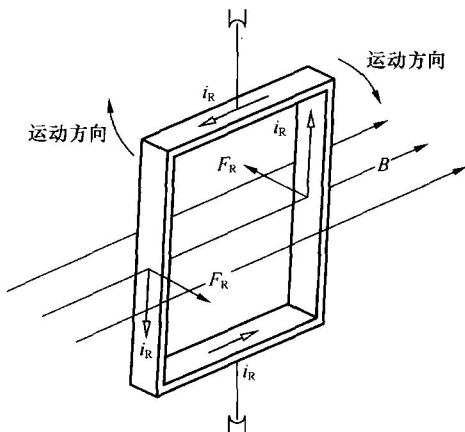


图 1.1.10 框架的阻尼作用

根据右手定则,在此动圈框架中必然感应出图 1.1.10 所示方向的涡流,此涡流反过来与永久磁铁的磁通 B 相互作用,按左手定则而产生一个与动圈框架运动方向相反的作用力 F_R ,它阻止动圈来回摆动,促使动圈很快停止下来。这个力形成的阻尼力矩可用公式表示为:

$$M_d = \frac{(BLb)^2 \omega A}{(2b + 2L)\rho} = \frac{(BLb)^2 \omega}{(2b + 2L)\rho / A} \quad (1.1.6)$$

式中: B ——磁通密度;

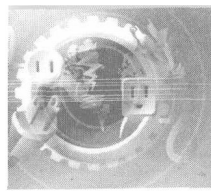
L ——框架一条边的长度;

b ——框架另一边的长度;

ω ——可动部分的运动角速度;

A ——框架截面积;

ρ ——框架材料的电阻率。



由于框架电阻 $r = (2b + 2L)\rho/A$, 因此改写式 (1.1.6) 可得到:

$$M_d = \frac{1}{r} (BbL)^2 \omega$$

从式中可以看出, 其阻尼力矩的大小与框架电阻 r 成反比。当几何形状决定后, 框架越厚, 磁通密度越大, 产生的力矩也越大。一般用 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ 的铝皮压制成框架, 有的为了减小阻尼力矩, 就在框架上打几个小孔, 以增大框架电阻。

(2) 外路阻尼

外路阻尼是指利用表头动圈与被测电路构成一个完整的电路来产生阻尼力矩。这个力矩为:

$$M_d = \frac{(BAN)^2}{R_g + R_O} \omega \quad (1.1.7)$$

式中: R_g ——动圈内阻;

R_O ——与动圈绕组构成的闭合回路的外电阻。

表头外接电阻使阻尼时间最短的状态称为临界阻尼状态, 这个电阻称为临界阻尼电阻, 用 R_{dr} 表示, 其表达式为:

$$R_{dr} = \frac{(BNA)^2}{2\sqrt{JW}} - R_g \quad (1.1.8)$$

式中: J ——转动惯量;

W ——反作用力矩系数。

由于在表头动圈与被测电阻所组成的回路中, 电阻是一个常量, 所以在测量端开路的情况下, 其阻尼时间始终相等。

3. 摩擦力矩

当 $M_a = M$ 时, 可动部分达到平衡。实际上在这个过程中, 轴尖与轴承之间存在一定的摩擦, 这个摩擦所产生的力矩用 M_f 表示。它本质上是一个不确定量, 决定于各种偶然因素, 如轴尖轴承的曲率半径、材料的硬度、表面光洁度、可动支撑件之间的间隙、磨损程度和内部清洁度等。这个力矩永远相反于可动部分的运动方向。力矩的大小与可动部分的重量的 1.5 次方成正比, 用公式表示为:

$$M_f = KG^{1.5} \quad (1.1.9)$$

式中: K ——与轴尖轴承材料及曲率半径有关的系数;

G ——可动部分的重量。

由式 (1.1.9) 可知, 当 K 一定时, 摩擦力矩的大小与可动部分的重量有关。因此, 不得随意增大或减小可动部分的重量, 以免可动部分的重心与其转动轴线的中心发生偏离, 影响仪表的可动部分的偏转及其正确指示。

1.2 指针万用电表的典型电路

指针万用电表是由多种单项功能测试电路组合而成的。某项功能的单一电路只能适用于一定范围内某种参数的专门测试, 如果要用一块仪表实现多种参数测试, 必须采取一定的方式, 如改变电路结构、变换工作方式、调整电路参数等。在万用电表电路中实现这一目标的手段通常是使用功能开关、量程开关或改变外部接线。