

电工仪器仪表 检定与修理

《电工仪器仪表检定与修理》编写组



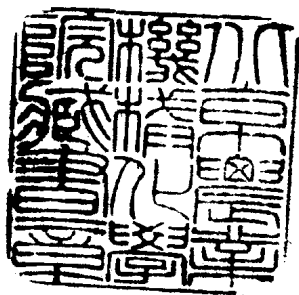
国防工业出版社



电工仪器仪表检定与修理

中 册

《电工仪器仪表检定与修理》编写组



国防工业出版社

2555/36

内 容 简 介

《电工仪器仪表检定与修理》中册一书，是继上册第一至第五部分后的第六、七两部分。第六部分分十章，重点介绍了有关磁电系、电磁系、电动系、热电系、静电系、感应系等精密直读仪表的工作原理、结构特点以及检定与修理的基本知识和方法。第七部分分五章，主要介绍磁测量的基本知识，测量的基本方法，常用测量仪表的工作原理、特性及维护修理知识等。对于开展精密仪器仪表检定与修理有关的常用数据，列于书末附录，可供参考或查用。

本书可供从事电工仪器仪表生产、使用、检定和修理的工人、检定员、工程技术人员和有关院校师生阅读参考，也可供电子技术和热工计量专业人员参考。

电工仪器仪表检定与修理

中 册

《电工仪器仪表检定与修理》编写组

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张16³/₈ 419千字

1981年9月第一版 1983年9月第二次印刷 印数：22,001—49,300册

统一书号：15034·2230 定价：2.00元

编 者 序

为了普及精密仪器仪表的原理、使用与计量维修知识，在出版《电工仪表修理》之后，我们又编写了《电工仪器仪表检定与修理》(上、中、下册)一书。

本书编写内容，广泛取材于从事精密仪器仪表计量维修和仪器生产、科研和教学的工程技术人员、工人、教员的实践经验。因此，内容比较丰富，图表、数据和实例较多，叙述比较通俗。既有以往的常用方法，也有新近摸索的经验。既有一批新型仪表的检修实例，也有国内外老产品仪表的检修方法。为广泛适应检修的需要，还介绍了一些精度较高、有特殊用途的仪表。

全书分上、中、下三册，共有十部分。上册主要内容有：误差理论；电学度量器；直流电位差计的原理、检定与修理；电阻箱、分压箱、电桥的原理、检定与修理；检流计的原理、使用与调修。中册主要内容有：电气测量指示仪表（主要包括磁电系、电磁系、电动系、热电系、静电系、感应系）的工作原理、产生误差的原因及检修的基本知识和方法；磁测量的基本知识，测量的基本方法，常用测量仪表仪器的工作原理、特性及维修。下册主要内容有：精密稳压、稳流电源的使用与维修；辅助装置、器材的使用；数字式仪表的原理与调修；精密电磁计量的干扰及其屏蔽等。

本书由国营建中机器厂和国营北京电子管厂负责主编。参加本书中册编写的单位还有：国营北京第一无线电器材厂，中国计量科学研究院电磁室、实验工厂，北京电表厂，上海第二电表厂，上海钢铁研究所，桂林电器科学研究所，国营永明无线电器材厂，北京供电局用电所等。

本书中册执笔人有：段孝棫、陆正荣、郝木兰、袁德富、陈炜、

刘茂春、邢瑞南、徐民华、李达汉、王跃义、魏德生、郭兰、梅文余、何振瀛、王荣交、龚佩瑜、李殿辉、陈立坚等。封面设计：刘显明。

本中册编写过程中，还得到上海电工仪器仪表修配厂，上海电表厂，上海浦江电表厂，上海第四电表厂，桂林电表厂，哈尔滨电工学院，哈尔滨电工仪表研究所，陕西省电管局中试所等许多单位的领导和同志们们的热情帮助和大力支持，并付出了辛勤的劳动，在此致以衷心的感谢。

由于编写人员的水平所限，书中难免存在不少缺点和错误，请广大读者批评指正。

1980年6月

目 录

第六部分 电气测量指示仪表的检定与修理

第一章 电气测量指示仪表检修的基础知识	1
§ 6-1-1 电气测量指示仪表概述	1
§ 6-1-2 检修精密仪表的工具和设备	13
§ 6-1-3 轴尖、轴承的修理	17
§ 6-1-4 游丝、张丝的技术性能与应用	27
§ 6-1-5 线圈的绕制	43
§ 6-1-6 标度尺的修理	50
§ 6-1-7 充磁装置与充磁	55
第二章 磁电系实验室仪表的调修	58
§ 6-2-1 磁电系仪表的测量原理及其结构	58
§ 6-2-2 磁电系仪表的测量线路及温度补偿	61
§ 6-2-3 外磁环轭轴尖式仪表的调修	68
§ 6-2-4 磁电系张丝仪表的调修	77
第三章 电磁系实验室仪表的调修	97
§ 6-3-1 电磁系仪表的工作原理	97
§ 6-3-2 电磁系扁线圈式仪表的调修	100
§ 6-3-3 圆线圈排斥式仪表的调修	111
第四章 电动系仪表的调修	126
§ 6-4-1 电动系仪表的原理	126
§ 6-4-2 电动系仪表的故障分析与测量机构的调修	139
§ 6-4-3 电动系仪表刻度特性的调整与修理	146
§ 6-4-4 电动系仪表测量线路的调整	152
§ 6-4-5 电动系功率表的调修	163
第五章 绝缘电阻和接地电阻试验器的调修	176

§ 6-5-1	绝缘电阻试验器的分类及主要技术特性	176
§ 6-5-2	绝缘电阻试验器测量机构的结构	178
§ 6-5-3	绝缘电阻试验器测量机构的调修	186
§ 6-5-4	绝缘电阻试验器的电源及其调修	190
§ 6-5-5	测量线路的误差调整	204
§ 6-5-6	绝缘电阻试验器的校验与使用	206
§ 6-5-7	接地电阻的测量原理和方法	212
§ 6-5-8	接地电阻测量仪的结构及工作原理	216
§ 6-5-9	接地电阻测量仪的使用和维护	221
第六章 热电系仪表与仪器的工作原理、使用与检修		228
§ 6-6-1	热电系仪表的工作原理	228
§ 6-6-2	热电变换器的结构与性能	238
§ 6-6-3	热电系高频电流表的性能与应用	246
§ 6-6-4	热电系超低频仪表的性能与检定	249
§ 6-6-5	热电系仪表的误差分析	252
§ 6-6-6	热电系仪表的常见故障及调修	259
§ 6-6-7	热电变换器在电测中的其它应用	266
§ 6-6-8	热电变换器在非电测量中的应用	279
第七章 静电系仪表的工作原理、使用与检修		285
§ 6-7-1	静电系仪表的工作原理及基本特性	285
§ 6-7-2	静电系仪表调修的基本知识	293
§ 6-7-3	平板电容式静电千伏计的调修	300
§ 6-7-4	Q4-V、Q5-V 和 Q2-V 型静电电压表的工作原理与调修	308
§ 6-7-5	静电系仪表的其它一些问题	322
§ 6-7-6	静电系仪表的校验	335
第八章 补偿法检定电表		340
§ 6-8-1	补偿法检定电压表及电流表	340
§ 6-8-2	功率表的检定	342
§ 6-8-3	直流补偿装置	344
第九章 交流仪表的检定装置		349
§ 6-9-1	交直流比较仪的结构、工作原理和调修	349
§ 6-9-2	YY10 型热电比较仪的结构和工作原理	359

§ 6-9-3 隆浦型交直流比较仪的原理、使用与调修	367
§ 6-9-4 交流仪表检定的规定	375
第十章 交流电度表的结构、工作原理与调修	376
§ 6-10-1 交流电度表的结构与工作原理	376
§ 6-10-2 交流电度表的检修	384
§ 6-10-3 交流电度表的调整与校验	390

第七部分 磁测量与测量仪器

第一章 磁测量的基本知识	397
§ 7-1-1 基本磁现象	397
§ 7-1-2 磁性材料	399
§ 7-1-3 磁性材料的直流磁特性	400
§ 7-1-4 软磁材料的动态磁特性	403
§ 7-1-5 磁性材料的开路磁特性	409
第二章 磁通、磁场强度的测量	413
§ 7-2-1 磁感应强度和磁通单位量值的传递系统	413
§ 7-2-2 感应法测量磁通	415
§ 7-2-3 霍尔效应法测量磁场	420
§ 7-2-4 其他磁场测量仪	435
§ 7-2-5 磁通表与标准测量线圈的检定	440
第三章 磁性材料的直流磁特性测量与测量仪器	443
§ 7-3-1 冲击法测量磁性材料的直流磁特性	443
§ 7-3-2 直流磁特性自动测量装置	452
§ 7-3-3 弱磁材料测量仪器	460
第四章 软磁材料动态磁特性的测量	464
§ 7-4-1 动态磁特性测量的一般问题	464
§ 7-4-2 音频电源	466
§ 7-4-3 交流回线的测量	469
§ 7-4-4 交流磁化曲线的测量	476
§ 7-4-5 磁放大器的铁心控制磁化曲线的测量	481
§ 7-4-6 电桥法测量复数磁导率	484

§ 7-4-7 铁损的测量	490
第五章 永磁元件的检验	496
§ 7-5-1 永磁元件磁性能的分析及其检验方法	496
§ 7-5-2 退磁曲线及其参数的检验	502
附表 7-1 永磁合金的磁性能	506
附表 7-2 铁镍软磁合金的磁性能	506
附表 7-3 纯铁材料的磁性能	507
附表 7-4 硅钢薄板的磁性能	507
附表 7-5 半永磁材料及其性能	508
附表 7-6 永(恒)磁铁氧体材料的磁性能	509
附表 7-7 SI 和 CGS 制磁学量单位的换算	509
附录一 常用漆包铜线参考数据表	510
附录二 康铜、锰铜电阻合金参考数据表	511
附录三 焊料的配方及用途	514
附录四 焊剂的配方及用途	515

第六部分 电气测量指示仪表的 检定与修理

第一章 电气测量指示仪表 检修的基础知识

在工业生产和科学实验领域中，电气测量仪表是一种广泛应用的量电工具。在电气测量中，由于它具有一系列的优点，如规格品种多和量程范围广，不需要外加辅助电源就能快速、准确地直接指示出被测量的数值。所以近年来这种仪表有了很大的发展，在结构设计、制造工艺等方面不断有所创新。在新型材料及元件不断出现的情况下，生产了多种系列的新型精密仪表。

为保持测量仪表准确可靠地工作，对使用中的仪表，必须进行定期检定与维修。对于低精度的工程测量仪表检修，已在《电工仪表修理》一书中作了较多的介绍，它所介绍的一些基本功和检修方法也是进行精密仪表检修的基础，但精密仪表检修有它的独特之处，本部分除了着重介绍实验室精密仪表计量检修之外，还介绍几种具有特殊用途的指示仪表的应用与调修。

§ 6-1-1 电气测量指示仪表概述

电气测量指示仪表，有时也称模拟式仪表。在这类仪表中，被测量表现为电磁能量而作用到它的机构上，并驱使仪表的可动部分产生机械位移来模拟被测量的大小，即指示被测量的大小。在电气测量中广泛使用的指针式（或光指示）直读电工仪表，大部分属于此类。

按其工作原理进行分类，在国家标准中（GB776-76），已将

电气测量仪表分为磁电系、电磁系、电动系、静电系及感应系等。还可以按照被测量的种类(适用电流种类)、准确度、对外磁场的防御能力、适用温度及湿度和用途等进行分类。在此不一一列出。

一、测量机构

仪表的种类虽然较多,但它们的原理、结构基本上是相同的。任何电气测量仪表,都由测量机构和测量电路两个基本部分组成,方能将被测量的电能转变为偏转的机械能。具有接受电参量以后就能产生转动的机构,称为测量机构,它由四部分组成。

1. 驱动装置

测量机构中能把电磁能转变为机械能的机构称转矩装置,又称驱动装置。它把被测电磁量转换为可动部分的偏转。它与进入测量机构的被测量的增量有关。

设: dA 表示测量机构中的电能或磁能的增量; M 表示仪表可动部分的转矩; $d\alpha$ 表示在 M 作用下的偏转角, 则有

$$Md\alpha = dA$$

故

$$M = \frac{dA}{d\alpha}$$

上式说明, 测量机构中能量对偏转角的导数等于转动力矩。它是机械式电气测量指示仪表转矩的基本方程。

2. 控制装置

当仪表可动部分获得转矩后, 带动指示器偏转。如果在仪表可动部分上只有转矩的作用而无反作用力矩作用, 则不论获得的转矩大小如何, 只要它能克服可动部分的摩擦力, 都将使指示器偏转到尽头, 从而无法达到测量的目的。因此, 在可动部分的转轴上, 必须装有产生反作用力矩的弹性元件, 称反作用力矩装置(又称控制装置), 一般采用游丝或张丝等构成。在力矩 M 的作用

下它扭紧，产生一个与偏转角 α 成正比的反作用力矩 M_a ，即

$$M_a = W\alpha$$

式中 W ——反作用力矩系数，它取决于游丝材料的物理性能和几何尺寸。

在转矩 M 的作用下，可动部分偏转直至与反作用力矩 M_a 相等时为止，可动部分稳定于某一偏转角 α 。因此，在不考虑摩擦影响下，可动部分的平衡位置，即稳定偏转决定于稳定条件：

$$M = M_a$$

3. 阻尼装置

可动部分在偏转运动的过程中，必然积蓄一定的能量，在达到平衡位置之前，将发生来回摆动的现象，虽然摆动幅度会由于轴承和空气的摩擦而逐渐衰减并最终消失。但不设阻尼装置，将延长仪表稳定偏转的时间。常用于仪表的阻尼装置，有空气阻尼器和磁感应式阻尼器。在精密仪表中大部分采用空气阻尼装置，以减少外来磁性材料对仪表的干扰。阻尼力矩 M_d 只是在可动部分运动时才产生，它仅仅与可动部分的运动速度有关，而与偏转角无关。换言之，阻尼力矩只是在可动部分运动过程中消耗其动能（阻尼可动部分的摆动），而不会影响稳定偏转。上述驱动装置、控制装置和阻尼装置又称为测量机构的三要素。

4. 读数装置

它由指针、光标读数机构和标度盘等组成。实际上作用在仪表可动部分转轴上的力矩除转矩 M 、反作用力矩 M_a 和阻尼力矩 M_d 外，还有摩擦力矩 M_f 及可动部分不平衡力矩 M_g ，它们都会影响仪表的性能指标，所以在分析故障和检修过程中，不能忽视所有力矩对仪表性能带来的影响。为此，把作用在可动部分转轴上的主要力矩示意于图 6-1-1 中。

各系列的电气测量仪表的测量机构中，驱动装置的组成情况列于表 6-1-1 中。

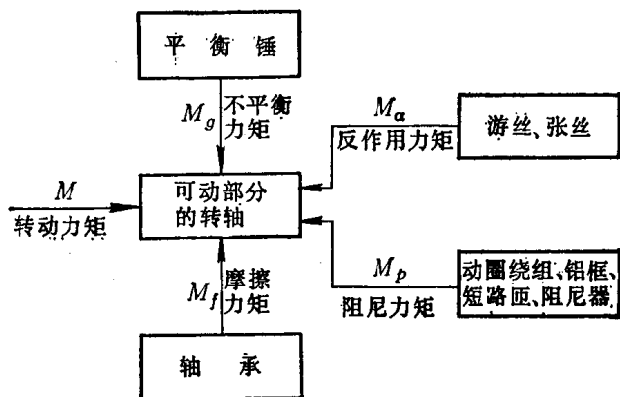


图6-1-1 作用在仪表转轴上的主要力矩

表6-1-1 各系列仪表的测量机构

系 列 组 成	磁 电 系	电 磁 系	电 动 系	静 电 系	感 应 系
固 定 部 分	永 久 磁 铁	线 圈	线 圈	电 极	电 磁 铁
可 动 部 分	线 圈	铁 心	线 圈	电 极	铝 盘

二、测量电路

电气测量仪表的测量机构，接受一定的被测电参量以后，可动部分便产生偏转，这些电参量是电流 I 或电压 U ，或者是两个电流的乘积 $I_1 I_2$ 。一定的测量机构，所能借以产生偏转的电参量都是一定的。例如：能使磁电系仪表的测量机构作用的电参量是 I ；能使电动系测量机构作用的电参量是两个电流 $I_1 I_2$ 的乘积；而能使静电系测量机构作用的只是电压 U 等。若被测量是其它参量，如功率 P 、频率 f 或相位差 φ 等，则必须根据所采用的测量机构，将被测量转换为上述三种量 (I 、 U 或 $I_1 I_2$) 中的一种，然后作用到测量机构上去。当被测的电流 I 或电压 U 过大或过小，即不适宜直接作用到测量机构时，就需要进行比例转换，如采用分压、分流措施等等。在测量电参量时，常以 R 、 L 、 C 和互感 M 组成一定的电路来完成必要的转换，此种电路称为测量电路，又称为测量转换器。被测量 x 通过测量电路转换为某一中间量 y

(I 、 U 或 I_1I_2)，即

$$y = F(x)$$

函数 $y = F(x)$ 的关系，决定于测量线路的性能。中间量 y 作用于测量机构，使可动部分发生偏转。若稳定平衡时的偏转角为 α ，则有

$$\alpha = \varphi(y)$$

函数 $\alpha = \varphi(y)$ 的关系，决定于测量机构的结构。因为

$$\alpha = \varphi(y) = \varphi[F(x)] = f(x)$$

所以，可动部分的偏转角 α 和被测量有一定的函数关系。显然，为了在某一被测量的作用下，仪表只能有一个唯一的对应的偏转角，所以要求上述关系式必须是单值的。

以上的被测量 x 、中间量 y 与仪表的测量电路和测量机构的关系，如方框图 6-1-2 所示。

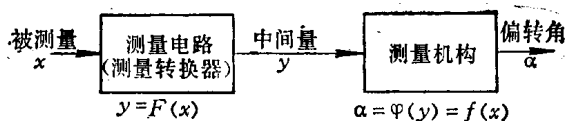


图6-1-2 测量电路与测量机构的关系示意图

仪表的系列不同，其测量电路转换的中间量 y 不完全相同，而驱使可动部分产生偏转的能量 A 也不相同，转矩 M 的表示式也有差异。为便于检修时分析，现将各系列仪表测量机构的上述特性归纳于表 6-1-2 中。

三、仪表向高精度发展所采取的措施

为了掌握检修高精度仪表的方法和注意事项，就要了解仪表向高精度发展中采取了那些减小基本误差和附加误差的措施，以便在修理过程中尽可能不损害这些措施。

表6-1-2 各系列仪表测量机构的特性

序号	测量机构类别	符号	基本测量量	用来使测量机构产生位移的那部分能量“A”	转动力矩 $M = \frac{\partial A}{\partial \alpha}$	标尺特性	频率范围	受外场影响程度	最高准确等级	说明
1	磁电系		直流电流	$I\varphi$	$K I_0 \frac{B\omega SI}{9810}$	均匀	平方标尺特性	(磁场) 小	0.05	φ —电流回路路与永久磁铁磁通的磁链
2	热电系		直流~高频电流有效值	热偶产生热电势 转换 $I\varphi$	$K \sum_{i=1}^n I_i^2$	平方标尺特性	0~100 Hz ~100 MHz		1.0	能测量复杂波形电流(电压)的一切谐波有效值和各次谐波的相位无关,适用于中频和高频电流,也能测超低频电流
3	电磁系		交直流电流有效值	$\frac{1}{2} I^2 L$	$\frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}$	平方或接近均匀	直流和中频以下交流(1500 Hz)	(磁场) 大	0.1	L—线圈的电感主要用于测交流电流(电压)
4	电动系		交直流电流有效值(功率平均值)	$I_1 I_2 M_{12}$ $I^2 M_{12}$	$\frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \varphi$ $\frac{dM_{12}}{d\alpha} I^2 \cos \varphi$	电流平方(功率表均匀刻度)	直流、I频及几千赫	(磁场) 大	0.1	M_{12} —相互不串连的固定线圈和可动线圈的互感量(当 $L_1 L_2$ 等于常数) 当固定线圈和可动线圈相互串联时

5	静电系	$\frac{1}{\epsilon}$	交直流电压有效值	$\frac{1}{2} CU^2$	$\frac{1}{2} U^2 \frac{dC}{d\alpha}$	平方或接近均匀	直流~ 几兆赫	(电场) 大	0.05	C—电极间的电容, 适用于测量 功率电路电压及高频电压 (几兆赫)
6	感应系 (电度表)		功率(电能)平均值	$\frac{1}{2} i_1^2 L_1 + \frac{1}{2} i_2^2 L_2 + i_1 i_2 M_{12}$	$K I_1^2 f(\alpha)$ 或表示为 $(UI \cos \varphi)$	计数器积算	工频	小	0.5	L_1, L_2 —一次及二次回路自感 I_1 —电流有效值 i_1 —一次电流瞬时值 i_2 —在二次回路中感应电流 U —电压有效值(回路电压) I —电流有效值(回路电流) $\cos \varphi$ —功率因数

造成仪表误差的来源有两方面：一是仪表在规定的工作条件下●，由于本身内部结构特性和工艺加工方面的缺陷所引起的误差，称基本误差；二是由于仪表偏离规定工作条件而产生的误差，称附加误差。

1. 影响基本误差的主要因素

(1) 摩擦误差：它是轴尖支承式仪表的主要误差之一，摩擦误差的数值是很不稳定的，最大的摩擦误差可近似认为等于变差的一半。产生变差的原因，除摩擦外也可能有磁滞、游丝弹性变化等原因。

(2) 倾侧误差：由于轴尖支承的仪表存在轴尖与轴承间隙导致转轴倾侧偏转而造成误差。

(3) 不完全平衡误差：由于可动部分的重心和转轴不完全重合而使仪表产生的附加力矩。

(4) 标度尺的分度和装配不正确造成的误差。

(5) 反作用力矩零件由于受热或其它原因产生残余变形而造成的误差。

(6) 内部电磁场影响所造成的误差。

● 仪表的规定工作条件：

- (1) 应按正常工作位置放置，并调好机械零位；
- (2) 除地磁场外，仪表周围应没有铁磁物质和外磁场的影响，如仪表上标有地磁场方向符号，应按规定放置；
- (3) 应按仪表上规定的周围环境温度和湿度（高准确度的仪表是在温度 $+20^{\circ}\text{C} \pm 2$ ，相对湿度 $< 80\%$ 以下）；
- (4) 电压应在规定值或规定范围内任一值，其偏差 $\pm 2\%$ ；
- (5) 额定频率应为 $50\text{Hz} \pm 2\%$ ；
- (6) 交流电流或电压的波形应是正弦的，波形畸变系数 $\leq 5\%$ ，对0.5级以上整流系和电子系 $\leq 1\%$ ；
- (7) 直流电流或电压的交流系数，对0.5级以上应 $\leq 1\%$ ；
- (8) 仪表应无外电场的影响；
- (9) 规定用定值（电阻值）导线或专用导线的仪表，应符合规定；
- (10) 应在一定的预热条件下进行预热。