

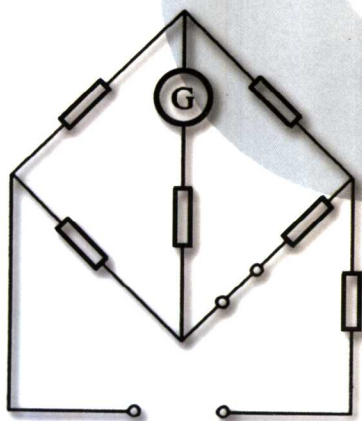
高等学校适用教材

CHANGYONG DIANCE
YIQI YIBIAO

常用电测仪器仪表

任德祺 主编

中国计量出版社



高等学校适用教材

常用电测仪器仪表

任德祺 主编

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

常用电测仪器仪表/任德祺主编. —北京: 中国计量出版社, 2003.6

高等学校适用教材

ISBN 7-5026-1779-5

I. 常… II. 任… III. 电工仪表—高等学校—教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 018455 号

内 容 提 要

本书共分十一章, 主要内容有标准电池、直流电阻器、电测量指示仪表、测温动圈仪表、测量用互感器、电位差计 (直流电位差计、交流电位差计、电子电位差计)、电桥 (直流电桥、史密斯电桥、自动平衡电桥、交流电桥)、直流电流比较仪式仪器、检流计及电测辅助电源。书中对上述电测量具和仪器仪表的结构、原理、特性、应用和维护等内容进行了详细论述。

本书可作为高等学校测控技术与仪器专业电磁计量和温度计量方向的试用教材, 高等职业技术学院、高等专科学校和中等职业技术学校相近专业亦可选用, 并可供从事电磁、温度计量技术及仪表制造、使用 and 研究的科技人员参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

E-mail jilxb@263.net.cn

北京市媛明印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm×1092 mm 16 开本 印张 15.5 字数 364 千字

2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月第 1 次印刷

*

印数 1—4 000 定价: 28.00 元

质量技术监督高校教材

编 审 委 员 会

主 任 张玉宽

副主任 马纯良 孙秀媛

· 委 员 瞿兆宁 裴晓颖 黄 夏 何伟仁 李小亭
张 艺 宋明顺 杨建华 吴宁光 史菊英
赵玉禄 孙克强 周志明 张莉莉 王庆仁
许吉彬 刘宝荣 韦录强 张万岭 孙振江
陈小林 朱和平 李素琴 刘宝兰 刘文继
张桂琴

出版前言

随着我国加入世界贸易组织,社会主义市场经济和质量技术监督事业的迅速发展,迫切需要大量的质量技术监督专业人才。质量技术监督高等专业教育在质量技术监督教育事业中占有重要地位,对提高在职人员的素质、改善队伍结构、培养新生力量具有重要意义。大力发展质量技术监督高等专业教育,将对质量技术监督事业产生深远的影响。

近年来,全国各地质量技术监督院校办学条件不断改善,招生规模不断扩大,教学质量和水平不断提高。与此同时,在质量技术监督教育中,高等教育所占比重不断增大。为了适应这种形势,加快质量技术监督院校教材建设的步伐,根据质量技术监督院校对专业教材的实际需求,我们组织全国质量技术监督及相关院校和单位编写了有关标准化、计量、质量等方面的系列专业基础课和专业课教材。

这套教材主要是根据质量技术监督高等专业教育的需要编写的。在目前情况下,存在多种形式的质量技术监督高等和中等专业教育,因此,在编写过程中从内容选取、结构设计、深浅程度等方面考虑了适用的多样性。质量技术监督普通中等专业教育、职业教育和人员技术培训等,可参考本套教材的基本内容,适当调整使用。

原国家质量技术监督局政策法规宣传教育司进行了本套教材的前期组编工作。参加教材审定工作的院校和单位有:中国计量学院、河北大学质量技术监督学院、四川省技术监督学校、山东省质量工程学校、广西计量学校、河南省质量工程学校、天津市渤海职业中等专业学校、吉林省技术监督职工中专学校、北京市质量技术监督培训中心等。在教材的编写、审定等工作中,中国计量出版社、河北大学质量技术监督学院等单位做了很多具体、细致的工作。

这套教材的编写工作是在时间紧、难度大的情况下进行的,虽然经过多方面的努力,但仍可能存在很多不足之处,甚至于错误,我们拟在使用过程中听取各方面意见,于适当时机组织修订。

国家质量监督检验检疫总局人事司

2003年4月

编者的话

本书是根据 2001 年 12 月在河北大学质量技术监督学院召开的“质量技术监督高校教材编写大纲审定会”确定的《常用电测仪器仪表》课程大纲组织编写的。全书讲授约需 60 学时，适合作为高等学校测控技术与仪器专业电磁计量和温度计量方向必修的专业基础课教材。

本书主要介绍了电磁计量和温度计量中常用电测量具（标准电池、直流电阻器）、仪器仪表（电测量指示仪表、测温动圈仪表、电位差计、电桥等）以及电测辅助设备（检流计、电源）的结构原理、技术特性、应用和维护。在学习本课程前应掌握电工电子技术的基本知识。此外，本课程是实践性较强的一门专业基础课，在进行教学时，除布置一定数量的习题外，还应安排必要的实验。

本书力求取材广泛，概念清楚，并注意理论联系实际，使内容新颖、实用。

本书共分十一章。绪论、第一章和第五章由韦录强编写；第二章、第四章由周萍编写；第九章、第十章由方立德编写；第三章由周志明编写；第六章由郭志祥编写；第七章由任德祺编写；第八章由段江洪编写；第十一章由何勇编写。全书由任德祺担任主编并负责统稿。

由于编者水平有限，缺少经验，书中缺点和错漏之处在所难免，恳请使用本书的广大师生和读者批评指正。

编者

2003 年 2 月

目 录

绪论	(1)
第一章 常用电量标准量具	(3)
第一节 标准电池	(3)
第二节 直流标准电阻器	(5)
第三节 直流电阻箱	(8)
习 题	(11)
第二章 电测量指示仪表的基本知识	(13)
第一节 指示仪表的基本结构和原理	(13)
第二节 指示仪表的误差和准确度	(17)
第三节 指示仪表的主要技术特性	(20)
第四节 指示仪表的分类和外观标记	(22)
第五节 正确选用电测量指示仪表	(23)
习 题	(25)
第三章 磁电系仪表	(26)
第一节 磁电系测量机构和工作原理	(26)
第二节 磁电系电流表	(28)
第三节 磁电系电压表	(29)
第四节 磁电系兆欧表	(31)
第五节 磁电系测温动圈仪表	(34)
第六节 万用表	(37)
第七节 磁电系仪表的误差和特性	(42)
习 题	(44)
第四章 电磁系仪表	(46)
第一节 电磁系测量机构和工作原理	(46)
第二节 电磁系电流表和电压表	(49)
第三节 电磁系仪表的误差和特性	(52)
习 题	(55)
第五章 电动系仪表	(56)
第一节 电动系测量机构和工作原理	(56)
第二节 电动系电流表和电压表	(58)
第三节 电动系功率表	(60)

第四节	三相电路功率的测量	(65)
第五节	电动系相位表和频率表	(69)
第六节	铁磁电动系仪表	(72)
第七节	电动系仪表的误差和特性	(75)
习 题		(77)
第六章	交流电能表	(79)
第一节	感应系电能表	(79)
第二节	电子式电能表	(91)
第三节	交流电能表的使用	(95)
习 题		(96)
第七章	测量用互感器	(97)
第一节	电流互感器	(97)
第二节	电压互感器	(103)
第三节	互感器使用注意事项	(107)
习 题		(108)
第八章	电位差计	(109)
第一节	直流电位差计	(109)
第二节	交流电位差计	(127)
第三节	电子电位差计	(134)
习 题		(138)
第九章	电桥	(139)
第一节	直流电桥	(139)
第二节	史密斯电桥	(151)
第三节	自动平衡电桥	(157)
第四节	交流电桥	(159)
习 题		(177)
第十章	直流电流比较仪式仪器	(178)
第一节	电流比较仪基本原理	(178)
第二节	倍频磁调制器	(179)
第三节	自平衡电流比较仪	(186)
第四节	直流电流比较仪式电位差计	(187)
第五节	直流电流比较仪式电桥	(190)
习 题		(194)
第十一章	检流计及电测辅助电源	(195)
第一节	磁电系检流计	(195)
第二节	振动式检流计	(206)
第三节	光电放大式检流计	(207)

第四节	晶体管放大式检流计	(214)
第五节	直流稳压电源	(221)
第六节	直流稳流电源	(230)
习 题		(232)
参考文献		(234)

绪 论

公元前 7 世纪,古希腊人退利斯就曾发现被毛皮磨擦过的琥珀能吸引轻微物体的电荷相互作用现象。我国东汉时期的学者王充在他所著的《论衡》一书中也有“顿牟(琥珀)掇芥”的记载。1743 年俄国学者 Г·В·黎赫曼制造出了第一台验电器(有古典式电测仪器仪表的发展便是从此开始之说),开始了对电荷间相互作用现象的研究。但一直到 1747 年,美国科学家富兰克林把用丝绸磨擦过的玻璃棒所带的电荷叫做正电荷,把用毛皮磨擦过的胶木棒所带的电荷叫做负电荷的两千多年时间内,人们对电荷的认识一直停留在“相互作用”的水平上。1785 年,法国物理学家库仑用吊丝巧妙的设计出了测量电荷之间相互作用力的装置——库仑扭秤,实现了对电荷间相互作用力的定量测量,并由此定义了电量的单位,确立了著名的库仑定律。由于 19 世纪工业的发展和新材料的应用,人们设计出了多种结构的电磁测量仪器、仪表,实现了对各种电量的测量。电磁测量仪器的研究和应用,迅速推动了电磁理论的发展和完善,使得人们在短短的两百多年之间对电的研究和应用获得了辉煌的成就。库仑扭秤是第一台能定量测量的电学测量仪器,它标志着人们对电磁现象进行研究的重要开端,也是电磁测量的重要开端。正是有了电磁测量仪器及测量,人们对电磁现象的认识才实现了从感性到理性的飞跃,电磁理论及其应用技术才得以日臻完善。

1892~1894 年间,由于质量测量准确度的提高(增加了一位有效数字),英国物理学家瑞利发现由空气中取得的氮比从氨中取得的氮密度大了 0.0067kg/m^3 ,对这一差别的研究,导致了隋性气体——氩的发现。

可以说,没有测量和测量仪器就没有现代科学技术,更没有现代文明,现代科学技术的发展和现代人类的日常生活已经不能没有测量和测量仪器。

测量按照其性质可以有多种分类方法。按照测量的目的和任务,我们可以把测量分为以下三种应用类型:

- (1) 计量——实现单位统一、量值准确可靠的活动。
- (2) 科学实验——应用于科学理论和科学技术研究所进行的测量。
- (3) 生产贸易——应用于工程设计、工程计算及贸易所进行的测量。

测量——以确定量值为目的的一组操作。用数学公式可表示为:

$$A = x/x_d$$

其中, A 是经过测量获得的被测量的量值。量值由两部分组成,包括数值部分和计量单位部分(如 20A),缺一不可。 x 是被测量; x_d 是标准量。被测量和标准量必须是可比的同类量。由此我们可以看出,要实现测量,必须具备两个基本条件:

第一个基本条件是标准量。标准量是根据计量单位的定义所确定的单位实体,这种实体叫做量具。例如:通常我们熟悉的测量长度的米尺、测量质量的砝码。电磁测量中的标准电阻器、标准电池等都叫做量具。只有在这些量具存在的情况下,才有可能将被测量与之相比较,从而获得量值。

第二个条件是比较装置。它是能将被测量与标准量进行比较的装置,如测量质量的天平,

各种测量仪器和测量仪表。

在很多情况下,测量单位的实体——量具似乎没有参与测量。例如电磁测量中用欧姆表测量电阻时,标准电阻器没有直接参与比较,而事实上,在制作欧姆表的过程中,欧姆表的标度尺正是与标准电阻器相比较而标度的,电阻量具潜在地参与了比较。在个别情况下,比较装置可能不参与测量,例如用米尺测量长度,没有实际的测量比较装置。

量具和测量仪器、仪表是实现测量的技术工具,统称为测量器具。

电测仪器仪表,按其在进行测量时获得测得值 A 的方式不同,可以分为直接作用模拟指示电测量仪表与比较式仪器两大类。在直接作用模拟指示式电测量仪表中(以下简称电测指示仪表),测得值 A 的读数直接由指示器上给出来,所以使用方便,如我们常用的电流表、电压表、欧姆表、功率表等。使用这类仪表时,被测量直接作用于仪表的测量机构,结果导致产生一个机械位移(通常是角位移),模拟地反映被测量的大小。在比较式仪器中,被测量数值的大小是通过与标准量的直接比较而得到的。为得到测得值 A ,在测量过程中需要一系列操作,使用起来不如电测指示仪表方便,但是准确度要比前者高,如电桥、电位差计等。

电测仪器、仪表不仅可以用来测量电学量,而且也可以配合传感器用来测量非电量(如温度、压力等)。普遍采用电测仪器仪表去测量包括非电量在内的一切物理量。与数字测量仪表相比,具有技术成熟、工作可靠、操作简单等优点,这些优点可大致归纳如下:

- (1) 电测仪器仪表携带方便、操作简单、读数可靠;
- (2) 电测仪器仪表通常可以安装在需要测量的地方进行连续测量,并且能自动示数;
- (3) 利用电测仪器仪表可以实现远距离测量;
- (4) 电测仪器仪表具有宽广的测量范围;
- (5) 电测仪器仪表具有较高的灵敏度与准确度。

本书所介绍的常用电测仪器仪表是指覆盖面大,使用重复率高的仪器仪表,主要学习各类常用电测量仪器、仪表的结构、原理、误差分析、操作使用方法及维护等内容。是从事电磁测量及理论研究的重要基础课程,也是电学计量、温度计量专业的重要基础课程。

第一章 常用电量标准量具

根据单位的定义，用最先进的现代科学技术方法获得的单位量的大小，叫做单位的复现。把复现出的单位量（制作）保存在具有同种物理属性的实物中，便是计量基准。通过检定和校准，把基准所保存的单位量经过多级复制，组成了一个量值传递体系，根据其不同的准确度等级和使用目的，依次可分为计量基准、计量标准和工作量具。它们是保证单位制统一和量值准确可靠的重要保证。

第一节 标准电池

标准电池是保存电压单位的实物基准器和标准器，也是电、热测量和计量的标准量具。配合电位差计，可以实现对电压的精密测量，也可以对低等级的电学计量器具进行检定或校准。

一、标准电池的结构原理

标准电池是一种化学原电池，按电解液（硫酸镉溶液）的浓度可分为饱和型标准电池和不饱和型标准电池两种。图 1-1 是饱和型标准电池的结构原理图。其中（a）是 H 型结构；（b）是单管型结构。图中，在严格密封的玻璃容器 7 中，电池的“+”极 1 是纯汞（Hg），电池的“-”极 2 是 10% 的镉汞齐（CdHg），正、负电极皆用铂丝引线 6 引出。从电池的“-”极到电池的“+”极之间的电化学体系的内部电连接依次为 10% 固液态镉汞齐（CdHg）→硫酸镉结晶体（ $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ）→硫酸镉饱和溶液（ CdSO_4 ）→固态硫酸亚汞（ Hg_2SO_4 ）→汞。其中，固态硫酸亚汞是去极化剂。由于电解液中存在硫酸镉结晶体，所以在整个工作温度范围内，硫酸镉溶液始终保持饱和状态。

图 1-2 所示为不饱和型标准电池的结构，也有 H 型和单管型两种结构，如图（a）、（b）所示。内部结构与饱和型标准电池相比基本相同，区别仅在于不饱和型标准电池的电解液中没有硫酸镉结晶体存在，且在整個工作温度范围内，硫酸镉溶液始终保持为不饱和状态。

图 1-3 是标准电池的实物外型图。其中左图是 BC9A 型标准电池的外形，带有 L 型专用温度计，可以测量出标准电池在使用时的环境温度。右图是 BC3 型标准电池的外形，它的内部装有两只标准电池，可以单独使用，也可以并联使用。不带专用温度计的标准电池应带有

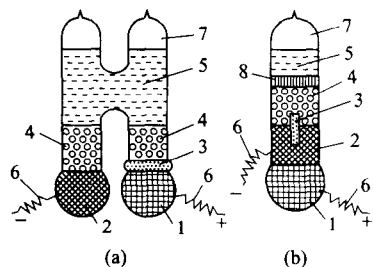


图 1-1 饱和标准电池

1—汞 Hg（电池正极）；2—10% 镉汞齐 CdHg（电池负极）；3—硫酸亚汞 Hg_2SO_4 （去极化剂）；4—硫酸镉结晶体（ $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ）；5—硫酸镉饱和溶液（ CdSO_4 ）；6—铂丝引线；7—玻璃容器；8—微孔塞片

温度计插孔。0.005 级以上的标准电池，外壳底部还应有进油孔，可以放在恒温油槽中使用。

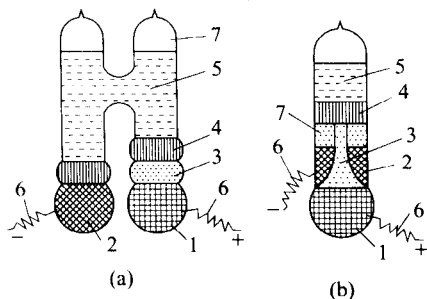


图 1-2 不饱和标准电池

1—汞；2—12.5% 镉汞齐；3—硫酸亚汞；
4—微孔塞片；5—硫酸镉浓溶液；6—铂丝引线；
7—石英砂

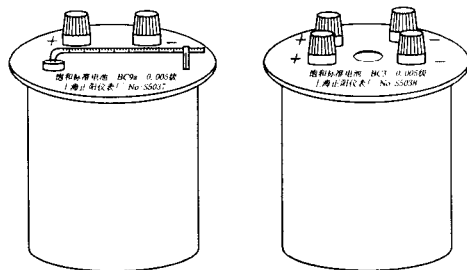


图 1-3 标准电池外型图

二、标准电池的主要技术特性

1. 温度特性

由于标准电池内部结构材料在不同温度下的物理、化学性质的不同，标准电池的电动势亦随温度的变化而变化。图 1-4 所示，是标准电池典型的“电动势-温度”实验特性曲线。由图可以看出，在 $+4 \sim +40^\circ\text{C}$ 温度范围内，不饱和式标准电池的电动势随温度的变化量 ΔE_t 几乎是不变的，因此在 $+4 \sim +40^\circ\text{C}$ 温度范围内使用时，可以不必修正，适用于与携带式电位差计和数字式电压表配套使用。而对于饱和式标准电池，常温下其电动势随温度的变化量 ΔE_t 比较大，在 20°C 附近的温度系数约为 $-40\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。饱和式标准电池的工作温度在偏离 20°C 时的电动势值可由式 1-1 给出：

$$E_t = E_{20} - [39.9 \times (t - 20) + 0.94 \times (t - 20)^2 - 0.009 \times (t - 20)^3] \times 10^{-6} \quad (1-1)$$

式中： E_t ——在温度 $t^\circ\text{C}$ 下的电动势值，V；

E_{20} ——在温度 20°C 下的电动势值，V；

t ——环境温度， $^\circ\text{C}$ 。

2. 标准电池的极化

在使用中，标准电池不可避免地会产生充、放电现象。当电流流过电极时出现电极电位偏离于平衡值的现象，称为电极的极化。放电时则电动势下降，充电时则电动势上升。其极化程度与充、放电的电流大小及时间长短有关。如果电流不大于标称值，而且充、放电时间短暂，则由于电池本身有去极化剂的作用，充放电后电动势仍能很快恢复。对电池电动势的影响不大。如果放电电流较大或时间较长，放电后，电池的电动势不能很快恢复到原来的数值，就会影响其电动势的稳定性，甚至可能损坏电池。

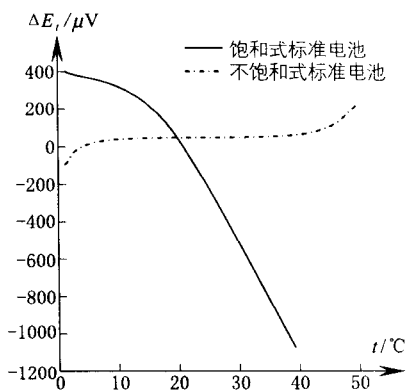


图 1-4 标准电池的典型温度特性曲线

标准电池的允许放电量、短时间（偶然）使用的允许放电量以及允许累计放电量的数值，都应由制造厂家在技术说明书中给出。一般要求放电电流在 $0.01 \sim 0.1 \mu\text{A}$ 以下，最大放电电流（1 分钟）在 $1 \mu\text{A}$ 以下。

3. 标准电池的滞后效应

当环境温度发生变化时，标准电池的电动势不能相应地随温度变化而变化，而偏离与该温度所对应的正常值的现象称为滞后效应（或称热惯性）。在降温时，电池表现出偏高的电动势，然后缓慢下降到正常值，称为正滞后效应；在升温时电池表现出偏低的电动势，然后缓慢上升到正常值，称为负滞后效应。根据实验可知，降温时的正滞后比升温时的负滞后严重，旧电池的滞后效应比新电池的滞后效应严重。为了克服滞后现象，应将标准电池放置在温度比较稳定的地方，对精密的标准电池则应放在恒温槽中。

4. 光敏特性

标准电池中去极化物质硫酸亚汞是一种光敏物质，在常温的光照中就会变质，变质后的标准电池可能仍具有正常的电动势，但去极化能力减弱，滞后增大。

三、标准电池的使用和保存

标准电池的准确度和寿命与使用和维护情况有密切关系。标准电池在使用和保存时，必须注意以下几点：

（1）标准电池应在其技术说明书中规定的环境温度和相对湿度条件下使用和保存。环境温度波动应尽量小。要求较高的标准电池，应在恒温油槽中使用和存放，以保证标准电池长期保持良好的工作状态。当环境温度偏离规定的范围使用时，应根据式 1-1 或技术说明书中的“电动势-温度”修正公式进行修正。

（2）防止标准电池受到日光照射和其它较强的光源、热源或冷源的直接作用。

（3）标准电池是一种具有电解液的化学电池，使用时必须轻拿轻放，防止振动、倾斜和倒置，更不允许摇晃，其正常的工作位置方向是垂直向上。运输时应有防震措施，经过携带、运输之后的标准电池，应在标准温度条件下稳定足够时间（通常为 $24 \sim 72\text{h}$ ），然后使用。

（4）防止过量电流通过标准电池的错误操作，防止短路、极性反接等的错误动作。绝对禁止使用万用表或电压表测量标准电池的电动势。

（5）标准电池如果经受温度的突然变化、错误的操作、错误的动作等，应在标准温度条件下，稳定一段时间，并经过测试，证明其电动势已恢复正常，然后再使用。

（6）标准电池的出厂检定证书和历年检定数据，是衡量该电池计量特性的原始资料，使用者必须妥善保存，并在使用前认真核对。

第二节 直流标准电阻器

直流标准电阻器是电阻单位——欧姆的实物量具。在电学计量中，它被用来作为电阻的基准器和标准器。

一、直流标准电阻器的结构及原理

(一) 标准电阻器的结构

制造标准电阻器时都采用锰铜材料,它是由约 84% 的铜、12% 的锰和 4% 的镍组成的合金,具有较高的电阻率及较低的电阻温度系数(约为 $2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$),与铜材料的接触热电势值较小(约为 $1.5 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$)以及具有较优良的长期稳定性。

标准电阻器的结构如图 1-5 所示。在绕线骨架 1 的绝缘层上绕制锰铜电阻导线 2 (低于 0.01Ω 时直接用锰铜带制作),接线通过焊点分别接至电位端钮 5 和比较粗大的电流端钮 6 上。端钮 5 和 6 固定在绝缘盖板 3 上,构成了四端钮标准电阻器。上盖中心有供插入温度计用的圆孔 4。 10^{-3} 和 $10^{-2} \Omega$ 的标准电阻器,电阻导线处于骨架 1 和镀镍黄铜或胶木外壳连接在一起的密封腔中,构成密封式标准电阻器,使用前注入经干燥、纯净处理的变压器油,以保持电阻的长期稳定性及温度系数小的特点。低值大功率的标准电阻器,一般做成非密封式的,其散热性能较好,但易受环境温度的影响。标准电阻器有四端钮电阻器、三端钮电阻器和二端钮电阻器三种结构,前两者的符号及接线如图 1-6 所示。图(a)中 p_1 、 p_2 叫电压端钮, c_1 、 c_2 叫电流端钮。

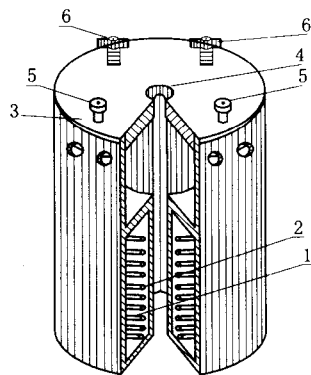


图 1-5 标准电阻器的结构
1—绕线的骨架; 2—绕在骨架上的锰铜线; 3—固定电流与电位端的绝缘上盖; 4—温度计插孔; 5—电位端钮; 6—电流端钮

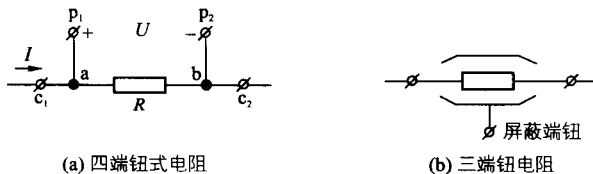


图 1-6 标准电阻器的接线端钮

(二) 四端钮电阻与结点原则

用内接伏安法测量二端钮低值电阻时,测量电压的接线端子、测量电流的接线端子与被测电阻接线端钮之间,存在接触电阻。各连接导线还存在有引线电阻。由于各端子与被测电阻的两个端钮的接线次序的不同,接触电阻、引线电阻,在测量电路中所处的位置有四种组合方式。其中的一种典型接线组合如图 1-7 所示,图中的 r_t 代表接线端子与接线端钮之间的接触电阻, r_l 代表接线端子的引线电阻(它们的值一般在 $10^{-5} \sim 10^{-3} \Omega$ 之间)。图 1-7 所示的测量电路有两个测量回路,一个是电压测量回路、另一个是电流测量回路,两个回路的交点 e、d 叫做结点。在图 1-7 中,电压接线端子的接触电阻和引线电阻 $r_t + r_l$ 归入电压测量回路,与电压表的内阻 r_g 相比很小,因此,由 $r_t + r_l$ 带来的测量误差可以忽略。显然,这种接法的测量电路所测的电阻测量值 $R = U_{ed} / I$ 是结点 e、d 之间的电阻值,即: $r_t + R_x + r_t$ 。测量误差是 a、b 两处端钮的接触电阻之和,如果被测电阻 R_x 的实际值为 0.1Ω ,将会出现

10% 以上的测量误差, 且由于接触电阻的不确定性, 无法修正。

在图 1-7 所示的测量接线中, 如果注意将电压接线端子接在电流接线端子的内侧, 即靠近被测电阻 R_x 的一侧, 则电压测量回路与电流测量回路的结点为 a、b, 电流测量接线端子与电阻端钮的接触电阻及其引线电阻都被引到了结点 a、b 之外, 归入了电流测量回路, 它们对电流表的示值没有误差影响, 同样也不会引入测量误差。这样, 测量值将是结点 a、b 之间的电阻, 即 R_x 。

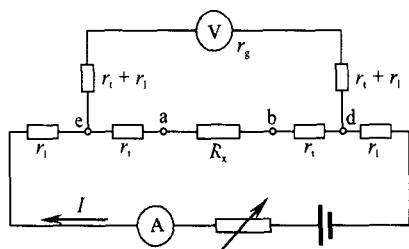


图 1-7 二端钮电阻的接线测量误差

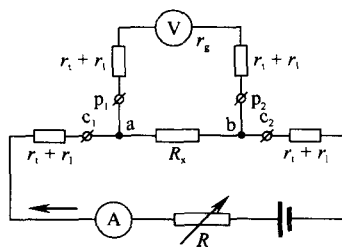


图 1-8 四端钮电阻的测量接线

图 1-8 所示为测量四端钮电阻阻值的测量接线电路, 由于结点 a、b 焊接为一体, 无接触电阻, 而电压测量回路中电压接线端子与四端钮电阻的电压端钮 p_1 、 p_2 之间的接触电阻和引线电阻归入了电压测量回路, 电流测量回路中的电流接线端子与四端钮电阻的电流端钮 c_1 、 c_2 之间的接触电阻和引线电阻归入了电流测量回路, 因此, 采用四端钮结构电阻器, 只要注意将其电压端钮与电压测量回路相接, 电流端钮与电流测量回路相接, 就能排除接触电阻与引线电阻对测量的影响。

对于低值电阻来说, 接触电阻的影响较大, 阻值小于 $10^5 \Omega$ 的标准电阻器采用四端钮结构。而对于高阻值电阻而言, 接触电阻相对很小, 对测量的影响也很小。测量阻值大于 $10^6 \Omega$ 的电阻时, 泄漏和干扰带来的误差, 转化成了主要的因素, 因此, 阻值大于 $10^6 \Omega$ 的标准电阻不做成四端钮结构, 而仍采用二端钮结构, 再加上一个屏蔽端钮, 构成三端钮标准电阻器, 以解决泄漏和干扰的影响。

对图 1-7 和图 1-8 的分析中我们可以看出, 不管接线端子与接线端钮处于何种接线组合状态或采用何种结构的电阻器, 被测电阻的测量值都等于电压测量回路与电流测量回路两个结点之间的电阻, 这就是所谓的结点原则, 在今后的测量和接线实践中, 我们都要注意使用这个原则, 来提高测量准确度和测量技能。

二、标准电阻器的主要技术特性

1. 温度特性

标准电阻器铭牌上给出的电阻值是 $+20^\circ\text{C}$ 时的标称值。在两倍的温度标称使用范围内任一温度下的电阻实际值可按下述公式计算:

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2] \quad (1-2)$$

式中: R_t ——温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的电阻实际值, Ω ;

R_{20} ——温度为 20°C 时的电阻实际值, Ω ;

α ——一次项温度系数, $1/^\circ\text{C}$;

β ——二次项温度系数, $1/^\circ\text{C}^2$;

t ——标准电阻器的温度, $^\circ\text{C}$ 。

标准电阻器的 R_{20} 、 α 和 β 值 (α 值一般可做到 $1 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$; β 值一般可做到 $-5 \times 10^{-8} \sim 2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}^2$ 的范围之内), 具体使用时可查阅其技术说明书。

2. 负载特性及负载系数

标准电阻器通过电流时, 其电阻值随负载电流的大小而改变的特性, 称为负载特性。电阻器由于通过电流时发热, 而使电阻器本身的温度高于环境温度。负载系数 (η) 用来描述标准电阻器在每瓦功率下温度的变化, 即:

$$\eta = \Delta t / P \quad (1-3)$$

式中: Δt ——电阻器的温升, $^\circ\text{C}$;

P ——电阻器消耗的功率, W 。

一般的计算可取 $\eta = 2^\circ\text{C}/\text{W}$ 。

三、标准电阻器的使用与保存

(1) 标准电阻器应在规定的技术条件下使用和保存, 周围环境应保持清洁, 不应有腐蚀性气体, 并避免阳光直接照射及冷、热源的直接作用, 以防绝缘盖板的绝缘性能变坏。

(2) 注意轻拿轻放, 防止剧烈振动和机械冲击。

(3) 防止过载使用。过载之后的标准电阻器, 将会引起电阻值的变化和不稳定。

(4) 对于精度要求较高的电阻器, 应放在盛有中性变压器油的油槽中使用, 防止温度的较大波动。

(5) 标准电阻器的出厂检定证书和历年检定数据, 是衡量标准电阻器计量特性的原始资料, 使用者必须妥善保存, 以备查阅。

第三节 直流电阻箱

测量用直流电阻箱是由若干个已知数值的电阻元件按一定形式联接在一起组合而成的可变电阻量具。通过不同方式的调节转换, 可使其接入电路中的阻值根据需要而变化。由于它改变电阻数值很方便, 所以在测量中得到了广泛的应用。

一、直流电阻箱的分类

电阻箱按其变换阻值的方式不同, 可分为开关式、接线式和插头式三种。

(一) 开关式电阻箱 (转臂式电阻箱)

以改变可动开关触点的位置, 实现接入电路中的电阻阻值改变的电阻箱。它又可以分为下述两种形式: