

国家机械工业委员会统编

电工仪表修理工工艺学

(高级工适用)

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

本书共分十章。内容包括：计量原理与误差理论；精密仪表的结构原理及调修；精密电工仪表结构原理及调修；精密仪器仪表检定方法和误差分析；检流计；电学测量器；常用电子仪器的使用保养和维修；智能仪表；测量用互感器及电气测量装置的防护等。

本书由上海电机厂泰全兴和上海电机专科学校徐正庭编写，上海电机厂李萍菁和上海电机专科学校陈铸声审核。

电工仪表修理工工艺学

(高级工适用)

国家机械工业委员会统编

责任编辑：卢若薇

责任校对：张佳

封面设计：林胜利 方芬 版式设计：崔永明

责任印制：张俊民

机械工业出版社出版（北京阜成门内大街25号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 787×1092¹/₃₂·印张13¹/₄·字数292千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数00,001-23,000·定价：5.00元

ISBN 7-111-01198-8/TM·156

前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲（试行）》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准（通用部分）》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划，培训大纲》（初、中、高级），于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材149种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和分解解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力的培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工塔训教材编审组
1987年11月

目 录

前言

绪论 1

第一章 计量原理与误差理论..... 3

第一节 计量原理 3

第二节 误差理论概述 6

第三节 消除误差的方法 14

第四节 测量结果的数据处理..... 24

复习题 28

第二章 精密仪表的结构原理及调修 30

第一节 静电电压表的结构和用途 30

第二节 直流精密电表的结构特点及调修 46

第三节 交直流精密仪表的结构特点及调修 51

第四节 交直流功率表的调修 63

第五节 标准仪表的误差修正 68

复习题 70

第三章 精密电工仪器结构原理及调修 72

第一节 单臂电桥的结构原理及调修 72

第二节 直流双臂电桥的结构原理及调修 76

第三节 交流电桥的结构原理及调修 94

第四节 直流高电动势电位差计的结构原理及调修 105

第五节 直流低电动势电位差计的结构原理及调修 118

复习题 129

第四章 精密仪器仪表的检定方法和误差分析..... 130

第一节 0.2级以上各级标准仪表的检定及误差 130

第二节	高精度直流电桥的检定及误差	138
第三节	高精度电位差计的检定及误差	150
复习题		158
第五章	检流计	160
第一节	检流计的分类和结构	160
第二节	检流计的技术参数及测量	173
第三节	直流检流计的故障分析及调修	187
第四节	检流计吊丝的材料选择与动镜的调修	191
复习题		204
第六章	电学度量器	205
第一节	标准电池的检定	207
第二节	标准电阻的检定	216
第三节	标准电容的检定	232
第四节	标准电感的检定	236
第五节	直流分压箱的检定	240
复习题		247
第七章	常用电子仪器的使用保养和维修	249
第一节	概述	249
第二节	电子示波器	251
第三节	晶体管特性图示仪	288
第四节	光线示波器的原理和应用	312
第五节	电子交流稳压器	323
第六节	数字式仪表	331
复习题		371
第八章	智能仪表	373
第一节	智能仪表概述	373
第二节	几种智能仪器简介	376
复习题		381
第九章	测量用互感器	382

第一节	电流互感器	382
第二节	电压互感器	388
第三节	互感器的比差、角差和测试	394
复习题		400
第十章	电气测量装置的防护	401
第一节	干扰影响及防护方法	401
第二节	磁场影响的屏蔽	403
第三节	容性漏电的屏蔽	405
第四节	接地	411
复习题		414

绪 论

自从18世纪40年代世界上第一台电气测量仪器——电气力指示器出现以来，随着人类社会和科学技术的发展，特别是电工学和电子技术的发展，仪器仪表工业也得到了迅速的发展。

电气测试技术及仪器仪表在工农业生产和科学实践中起着极其重要的作用。因此，电气测试技术上的成就，仪器仪表应用的情况，在一定程度上反映了整个国民经济的发展情况。电气测量是现代化生产过程中主要的测试手段，正确的测量可以控制产品的质量，保证生产的正常进行。然而所有这一切都离不开测试方法的正确和所采用的仪器仪表的准确度。

就电工仪表的发展过程来说，大致经历了以下几个阶段：

第一阶段的仪表采用电磁式结构，利用电磁感应原理，以指针的偏转或移动来显示测量值的数值，这类仪表属于模拟式的。

第二阶段的仪表采用把被测模拟量转换成为数字量的原理，把测量的结果以数字的形式直接显示出来，这类仪表属于数字式的。

第三阶段的仪表采用以微处理器为核心的结构形式，融合了计算技术和信息技术，使电工仪器仪表进入了智能化的阶段。

与模拟式仪表相比较，数字式仪表具有较高的准确度和

灵敏性，应用日趋广泛。尽管如此，数字式仪表还不能完全取代模拟式仪表，仪表智能化则处于刚起步阶段。目前众多的模拟式仪表仍在生产过程中使用。因此，高级电工仪表修理工艺学，主要是介绍精密仪器仪表的使用、修理、调整和检定方面的知识。

— 为了便于广大读者自学，在每章末附有复习题。

第一章 计量原理与误差理论

第一节 计 量 原 理

计量是国民经济的一项重要技术基础，没有计量就没有科学。特别是在科技现代化的今天，从某种意义上来讲，计量测试水平的高低，可以反映出一个国家的科技水平。因此，为了更好地为工农业生产、国防建设、科学研究、国内外贸易、人民生活提供计量保证，必须大力发展计量事业，加强计量管理，保证计量单位制的统一和测量的准确，充分认识计量工作的重要性。

一、我国的计量单位名称与符号

根据国务院发布的命令，我国的计量单位一律采用“中华人民共和国法定计量单位”。我国的法定计量单位包括：国际单位制的基本单位；国际单位制的辅助单位；国际单位制中具有专门名称的导出单位；国家选定的非国际单位制单位；由以上单位构成的组合形式的单位，由词头和以上单位构成的十进倍数和分数单位。

为了全面实行法定计量单位，按照规定，新设计制造的仪器仪表产品及其样机、使用说明书、操作规程、产品铭牌等，都要一律使用法定计量单位。

二、标准仪器仪表的计量检定

广义地讲，计量学是一门关于测量知识领域中基础理论的科学。它研究计量单位及其标准，标准的复现、保存和使用，研究如何保持量值的统一和测量的准确性及其手段，以

及有关的测量方法、测量技术和实践问题等。

根据生产的实际需要,可以规定计量标准有不同的准确度等级及作为检定依据用的计量器具、物质和方法。对于凡能测量出被测对象量值的器具、仪器仪表和装置,都称为计量器具。为了评定量具和仪器仪表的计量性能(如准确度、灵敏度、稳定性等),并确定其是否合格所进行的全部工作称为检定。

在生产、科研、日常工作中,使用着大量的、不同精度、不同类型的量具和仪器仪表。对同一物理量来说,保证各类量具和仪器仪表所测得的量值相互统一是十分重要的。于是,就需要通过基准、标准以及相应的辅助设备把一个物理量单位,从国家基准一直传递到日常工作用的千万只仪器仪表。为了保证所有的传递工作准确可靠,必须遵守计量部门以法定形式所制定的一套检定规程,其中包括检定方法,所有的仪器设备、对标准的误差分析、检定操作步骤及受检仪器本身的误差大小的给定等。

例如,直流数字电压表是一种高准确度的测量直流电压量的仪表。它的量值传递和检定方法,必须紧密地依赖于两个基准,即标准电池和标准电阻。这两个基准需要由国家或国际上保存的伏特基准和欧姆基准传递量值。为了准确地对直流数字电压表进行检定,必须建立起一套直流电压校准装置。图1-1为直流标准电压的量值传递系统略图。

直流数字电压表应用十分广泛,其准确度指标已从 10^{-4} 提高到 $10^{-6}\sim 10^{-8}$ 的数量级。因此加强它的计量检定,研究它的测量方法,是摆在计量部门、生产、科研单位、使用单位的一项十分重要的任务。

仪器仪表的种类很多,如电工仪器仪表、电子仪器仪表,配上各种传感器的非电量测量仪表等等。许多物理量可

以通过传感器变换为电信号，而一旦变成电信号这一形式，便可进行放大、滤波、多路传输、取样以及精密测量，很容易获得以数字方式表示的测量结果。各种仪器仪表在各个技术领域中发挥的作用越来越大。为了正确地使用仪器仪表，保证其测量结果的准确一致，必须掌握它的技术性能，必须对各种仪器仪表进行检定和校准。通常的检定可分以下三种情况：

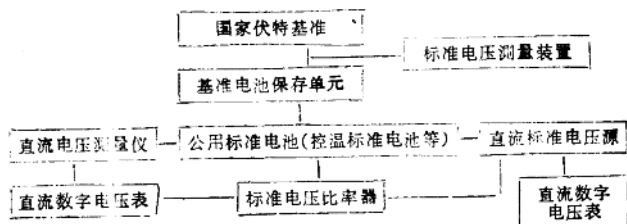


图1-1 直流标准电压的量值传递系统图

1. 定期检定 这是一般精密仪表的例行检定。就是定期地对其主要指标进行考查，以保证仪表准确可靠地投入使用。检定周期可根据仪表的准确度等级和稳定性能来决定。一般在标准条件下进行定期检定的内容包括：准确度、灵敏度、短期稳定性、输入特性、抗干扰特性等技术指标。

2. 修理检定 这是对损坏的仪器仪表修复后，为了保证仪器仪表使用的可靠性，应按定期检定的项目进行一次检查。也可根据修理情况，增加一些检定内容。

3. 验收检定 是对接受的新产品（包括进口仪器仪表）的检验。它比定期检定项目要多些，应包括：基准准确度、额定准确度、线性度、短期稳定度、温度系数、电源变化的影响、输入输出特性以及绝缘电阻、耐压强度等技术指标。还应包括外观和调节机构的检查等。尤其对进口仪器仪表，

更应从严检查。

各种类别、等级的标准仪器仪表，必须按规定的检定周期，检定规程送上级计量部门进行检定，检定合格者发给合格证书。没有检定合格证书或证书有效期已超过者，其检定数据及原有仪器说明书上所标明的准确度指标不再可信，而只能作为参考。用这样的仪器仪表再进行产品检验被认为是不合法的。

第二节 误差理论概述

测量是人类认识物质世界和改造世界的重要手段之一。因此，无论从事生产实践还是进行科学实验，都离不开测量。所谓测量，就是通过物理实验的方法，把被测量与作为标准量的同类单位量进行比较的过程。由于一切测量不可避免地会产生误差，只有应用误差理论去分析和处理实验的数据，对测量的结果、数据加以去粗取精，去伪存真，才能获得真实可靠的结果，才能对各种科学理论、产品质量作出科学的评价。

一、测量方法分类

一个物理量的测量可以用不同的方法来实现。测量方法的选择，一般与被测量的特性、测量条件以及对准确度的要求有关。测量方法可以根据获得测量结果的不同方法来分类。

1. 直接测量 这种测量，其结果可从测量的实验数据中获得的。测量时，可以使用按相应单位刻度的仪表直接读出被测量数值的大小；也可以使用度量器直接比较而得到被测量的值。因此，直接测量又可分为直读法和比较法两种。

(1) 直读法 直读测量法的实质在于根据仪表(仪器)的读数来判断被测量的大小，而作为测量单位的复制实物的

量具并不直接参与该次测量。为了读取被测量，这些测量仪表（仪器）已按被测量的单位预先刻好分度，因而实际上是与量具的间接比较。应用指针式仪表进行测量，如用电流表测量电流，用具有刻度尺的弹簧秤测量重量等等，都属于这类测量方法。

由于利用这种方法进行测量时具有设备简单、实验方便等一系列优点，因而得到了广泛的应用。其缺点是测量精确度因受仪表本身准确度的限制而不高。

（2）比较法 在测量过程中，被测量需要与标准量具作比较的所有测量方法都属于比较测量法。也就是说，比较法的特点是在测量过程中要有量具直接参与。

根据被测量与标准量（标准量具之值）比较的方法的不同，比较法又分为以下四种：

1) 差值法或微差法 从测量仪表直接读出被测量与已知标准量的差值或正比于此差值的量，从而确定被测量值的方法。例如，两个量之差为1%，而这个差值是用准确度为0.02的仪表（仪器）测得的，那末，被测量的测量精确度便提高到了0.602%。

2) 零值法 这种方法的特点是使其差值导向零。因此标准量必须是可变量。零差值由指零仪判断，因此零值法的测量精确度决定于标准量的精确度和指零仪的灵敏度。例如用电桥测量电阻值，用电位差计测量电动势等都属于这一种方法。

3) 替代法 在测量过程中，用已知量（标准量）去替代被测量，同时通过被测量的改变而使仪表的指示值恢复到原来状态。显然，在这种情况下，被测量等于已知标准量，这是一种极其准确的测量方法。因此，在将已知标准量替代

被测量时，对于测量装置的作用及其状态均不起变化，所以装置内的一切仪器仪表，无论其内部特性或外界因素所引起的指示误差，对测量结果都不会产生影响。

比较法虽然精确度比较高，但由于比较法对测量仪器仪表和测试条件要求比较高，操作也比较麻烦，所以一般只在要求高精度的测试场合下采用。

4) 重合法 这种方法的特点是将被测量的系列均匀交替的记号或信号，与已知量的一系列均匀的记号或信号相比较，并观察其重合的情况，在此基础上求出被测量的值。重合法多用在非电量测量。例如，游标卡尺就是根据这一原理制造的。

从精确度的观点来说，测量方法可以分为精密测量（实验室测量）和工业测量。在从事精密测量时，必须考虑和研究测量误差。在进行工业测量时，不必研究测量误差。但是，它所采用的量具和仪表的定量误差，必须满足该项实际使用的需要。

2. 间接测量 这种测量的结果是在直接测量几个与被测量具有一定函数关系的数值基础上得到的。例如，当测量导体的电阻率 ρ 时，由于已知导体的电阻 R 和它的长度 l 以及截面积 S 之间有以下关系，即

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

所以可通过直接测出电阻 R 、长度 l 及截面积 S 之后，根据上述公式计算出电阻率。当被测量不能直接测量或直接测量很复杂时，或者间接测出的结果比直接测出的更为精确时，多采用间接测量。

在计量学中，常常把通过直接测量长度、质量和时间以

求得未知参数量数值的间接测量，称为绝对测量。例如，用电流天平测量电流属于绝对测量。

3. 组合测量 这种测量是在直接测量具有一定函数关系的某些量的基础上，通过联立求解各函数关系式来确定被测量的大小。测量标准电阻的电阻温度系数 α 和 β ，可作为组合测量的例子。众所周知，标准电阻的电阻值与温度之间的关系可用下列公式来表示：

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

式中 R_t ——在 t °C 时的电阻实际值；

R_{20} ——在 20°C 时的电阻实际值；

α 、 β ——电阻温度系数。

因此，可以在 20°C、 t_1 及 t_2 三个温度下，分别测出三个电阻值 R_{20} 、 R_{t1} 和 R_{t2} ，便可列出一个联立方程式，求解出电阻温度系数 α 和 β 的值。

$$R_{t1} = R_{20} [1 + \alpha (t_1 - 20) + \beta (t_1 - 20)^2]$$

$$R_{t2} = R_{20} [1 + \alpha (t_2 - 20) + \beta (t_2 - 20)^2]$$

所列方程式的数目，应至少等于所求被测量的数目。

组合测量多用于精密计量和科学实验中。

二、误差的表达式

在实际测量中，由于测量工具不准确，测量方法的不完善以及各种其它因素的影响，例如测量者感觉器官和识别能力的局限性，加上被测量与测量单位的比值在多数情况下的不可通用性，都会使测量结果失真，其失真程度，即测得值与其真值之间的差异称做误差。

实际测量中，一切测量结果都具有误差，误差自始至终存在于所有测量过程之中。因此，在进行具体测量时，我们的目标并非使误差为零（这也是办不到的），而是设法把误差控

制在所规定的范围之内,并通过数学处理来估算误差的大小。

为了研究误差,按误差的表示方法可分成绝对误差和相对误差两种。

1. 绝对误差 指示值 A_x 与被测量的实际值 A_0 之间的差值叫做绝对误差,以 ΔA 表示,即

$$\Delta A = A_x - A_0 \quad (1-2)$$

式中 A_x ——被检定仪表的指示值;

A_0 ——基准表的指示值,即被检表的实际值。

在实际测量中,除绝对误差外还常用到修正值 c_x (又称更正值或校正值),它与绝对误差等值反号,即

$$c_x = -\Delta A = A_0 - A_x \quad (1-3)$$

在测量中引进更正值后,就可以对仪表指示值进行修正,以消除其误差的影响。

2. 相对误差 绝对误差 ΔA 和实际值 A_0 之比的百分数叫做相对误差,即

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% = \frac{A_x - A_0}{A_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

根据分母所采取的量值不同,相对误差分为实际相对误差、标称或示值相对误差及引用或满刻度相对误差三种。

(1) 实际相对误差,这种误差被定义为绝对误差与真值或实际值的比,通常用百分数来表示,其表达式为

$$\gamma_x = \frac{\Delta A}{A_0} = \frac{A_x - A_0}{A_0} \times 100\%$$

(2) 标称或示值相对误差,该误差被定义为绝对误差与仪表示值或量具标称值的比,即

$$\gamma'_x = \frac{\Delta A}{A} = \frac{A_x - A_0}{A_x} \times 100\%$$

上述公式多用在检定工作和工程测量中。