

农村电气设备故障排除及检修丛书

NONGCUN

DIANQISHEBEI GUZHANG PAICHU JI

JIANXIU CONGSHU

电工测量与电测仪表

刘建民 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

农村电气设备故障排除及检修丛书

电工测量与电测仪表

刘建民 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是根据农村乡镇电工的工作实际和技术现状而编写的电测技术普及性读物。全书共分七章,包括电测技术基础、电气测量指示仪表、万用表及钳形电流表、兆欧表与接地电阻测量仪、电路参数的测量与交直流电桥、常用电子仪器及数字仪表、电能表与电能计量等章节。在编写时,充分注意了内容层次及覆盖面,尽量保持了电测与仪表的系统性、完整性,将农村电工可能涉及的内容作了较为全面系统和深入浅出的介绍。内容选择上力求切合工作实际,浅显易读,尽量避免工作原理的分析和繁琐的公式推导,对常见电测仪表主要侧重于其使用方法和维护的介绍,对新型数字仪表、仪器的主要技术性能、用途及原理仅作了比较概括的介绍。

本书主要供农村乡镇电工和乡镇供电专业人员阅读,同时还可作为技术培训的辅助教材。亦可作为电气测量专业技术人员的学习参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

电工测量与电测仪表/刘建民编著. - 北京: 中国电力出版社, 2002

(农村电气设备故障排除与检修丛书)

ISBN 7-5083-0517-5

I. 电… II. 刘… III. ①电气测量 ②电工仪表
IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 056453 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京通天印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 1 月第一版 2003 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 32 开本 11.25 印张 250 千字

印数 0001—3000 册 定价 18.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

随着改革开放的不断深入和农村经济的蓬勃发展，以及近三年来国家投入巨额资金进行农村电网建设与改造工程，我国农村电力事业取得了令人瞩目的成就。农村用电水平大幅度提高，农村电网装备水平和健康状况明显改善，供电可靠性和供电质量显著提高，农村电力管理中长期存在的乱加价和乱收费问题，从根本上得以遏制。农电事业的长足发展，不仅有效地改善了农村生活条件，推动了农村经济振兴，而且对促进农村两个文明建设发挥了重要作用。

为了适应农村电气化事业迅猛发展的需要，如何尽快提高全国一百多万农电职工队伍的科技素质和业务水平，是摆在我们面前极为紧迫而严肃的课题。

为了满足广大农电职工学习和培训的需要，中国电力出版社组织出版了这套《农村电气设备故障排除及检修丛书》（共八分册）。这套丛书的作者都来自农电生产第一线，具有较好的理论基础和较丰富的实践经验，他们根据农村电气设备维护和检修中最常见的实际问题，编写了这套丛书。

这套丛书有如下特点：一是涵盖面较宽。全套丛书共八册，内容包括变压器、电动机、配电线路、高压电器、低压电器、电工仪表、漏电保护器、电力通信。二是内容简明扼要，通俗易懂。书中尽量避免系统的理论分析和繁琐的公式推导，深入浅出，简洁直观地阐述有关概念、原理、结构、性能。三是实用性

较强。全书本着以实际应用为出发点和归宿的原则，结合国家技术标准和电工应知应会要求，进行选材组稿，在阐述理论概念和原理性能的同时，着力介绍运行维护、检修及排除故障的知识、方法和技能，并列举有关分析、排除故障实例。

这套丛书可作为农村电工及乡镇企业电工的培训读物，也可供农电管理人员及电力企业运行维护和检修人员阅读。

为保证丛书的质量，中国电力出版社专门组织有关专家对丛书进行了审定。值此丛书即将付梓之际，谨对所有在丛书编辑出版过程中付出辛勤劳动的同志表示衷心的感谢。

我们深信，这套丛书的出版必将对广大农村电工学习、培训有所裨益。

万千云

二〇〇二年三月

前言

随着农电体制改革的不断深入，农村电工队伍优胜劣汰的竞争机制已经形成。适应农电事业的发展，努力提高自身素质，已经成为广大农村电工的共识。本书是根据农村电工的工作实际和技术现状而编写的电测技术普及性读物。编者作为农电工作的基层管理者，对农村电工队伍的现状和业务技术水平比较清楚，对农村电力建设的发展比较了解，因此在本书的编写上，力求满足农村电工的实际需要，并适当注意了阅读者的层次。内容上尽可能全面系统又浅显易懂，尽量减少原理的分析和繁琐公式的推导。本书对农村电工了解和掌握基本的电气测量方法和常用仪表知识、增强工作技能和提高业务技术素质有一定的帮助。

由于编者水平有限，特别是编写时间仓促，疏漏、不妥和错误之处敬希读者批评指正。

编者

目 录

序言

前言

第一章 电测技术基础..... 1

第一节 测量的定义和分类..... 1

第二节 测量误差..... 3

第三节 电测仪表的分类..... 4

第四节 电测仪表的主要技术指标..... 6

第二章 电气测量指示仪表..... 9

第一节 电气测量指示仪表的概念和分类..... 9

第二节 电气测量指示仪表的结构特点和技术特性..... 10

第三节 电气测量指示仪表的标志、符号误差和准确度..... 13

第四节 磁电系仪表..... 19

第五节 电磁系仪表..... 29

第六节 电动系仪表..... 36

第七节 电压、电流和功率的测量..... 44

第三章 万用表及钳形电流表..... 66

第一节 万用表的主要结构..... 66

第二节 万用表的测量原理..... 67

第三节 万用表的正确使用..... 79

第四节	万用表常见故障及处理	82
第五节	钳形电流表	89
第四章	兆欧表与接地电阻测量仪	93
第一节	兆欧表测量原理	93
第二节	兆欧表的主要技术参数和一般技术要求	96
第三节	兆欧表的选择和使用	98
第四节	兆欧表常见故障的处理	102
第五节	接地电阻测量仪及接地电阻的测量	107
第五章	电路参数的测量与交直流电桥	126
第一节	电路参数的测量方法	126
第二节	电路参数的测量	130
第三节	直流电桥	136
第四节	交流电桥	148
第六章	常用电子仪器及数字仪表	179
第一节	电子示波器	179
第二节	失真度的测量及 BS1 型失真度测量仪	204
第三节	电子式电压表	211
第四节	数字仪表	217
第七章	电能表与电能计量	246
第一节	概述	246
第二节	感应式交流电能表	250
第三节	电能表的检定和误差调整	260
第四节	电能的测量	274

第五节	测量用互感器	286
第六节	电能计量装置	299
第七节	电子式电能表	327
参考文献		352

第一章

电测技术基础

第一节 测量的定义和分类

一、测量的定义

测量是人类认识事物的一种手段。

电磁量是电磁现象各种量值的总称。电磁量值的大小和性质是看不见，摸不到的，要想对电磁现象进行定性和定量的分析，必须对电磁量进行测量。

测量是通过物理实验的方法，把被测量与同类的单位量进行比较的过程，或者说为确定被测对象的量值而进行的实验过程。

二、测量的分类

测量可按获得测量结果的方式分为以下几类：

1. 直接测量

直接测量是指把被测量与度量器上的标准量值直接比较。直接测量是可以直接从实际数据中获得测量结果，也就是用直读式的或者比较式的量具对被测量进行测量，从而得到被测量的值。例如：用电压表测量电压，用电桥测量电阻等。

2. 间接测量

间接测量是指通过对与被测量有函数关系的其他量的测量，得到被测量值的测量方法。例如：用伏安表法测电阻，可先测量出电压与电流之值，再用欧姆定律间接计算出电阻值。

3. 组合测量

组合测量是指在直接测量与被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，这种方式称为组合测量。如测量电阻的温度系数 α 和 β 值，可以先测出检定时的温度 t_1 ，再根据电阻—温度公式 (1-1)，列出方程式 (1-2)，再求出电阻温度系数 α 、 β 值。

电阻—温度公式为

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

则

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

三、测量方法

测量的方法一般可以分为比较测量法、替代测量法，微差测量法及零位测量法等。

1. 比较测量法

比较测量法是指被测量直接与已知其值的同类量进行比较的测量方法。例如用电流表测量电流，用频率表测量频率等。

2. 替代测量法

替代法是利用已知量替代被测量，如不改变仪器的工作状态，则认为被测量等于已知量，其测量结果与仪器本身的准确度无关，只决定于替代的已知量。例如用直流电桥测量与其准确度等级相同的直流电阻箱时，可选用高两个等级的直流电阻箱做标准量具，采用替代法测量被测电阻箱的实际值。

3. 微差测量法

微差测量法简称微差法。它是测量被测量与已知量之间

的差值从而求得被测量的方法。例如用不平衡电桥测量电阻、温度等。

4. 零位测量法

零位测量法又称平衡法。它是指被测量与已知量比较时，使这两种量对仪器的作用相消为零的一种测量方法。例如用直流电桥测量电阻。

零位法测量精度较高，但它决定于标准的准确度和检流计（指零仪）的灵敏度。

第二节 测量误差

测量的目的是确定被测量值的大小，并力求准确无误。但在实际测量中，由于各种不同的原因，如测量仪表的误差、测量方法的不完善、环境条件的影响、测量人员的技术素质和经验等都会使测量结果和被测量的真值之间产生差异，这个差异称为测量误差。按其性质可分为以下几类。

（一）系统误差

测量过程中，在相同的测量条件下，多次测量同一被测量时，遵循一定的规律保持不变的误差，称为系统误差。系统误差主要来源于装置误差、方法误差、人员误差及环境误差。

（二）随机误差

随机误差也称偶然误差，这是一种大小和符号都不确定，且无一定变化规律的误差。随机误差产生的原因主要由周围环境的各种随机变化引起的。如空气波动、温度微量变化等偶然因素所引起的，因此一般无法加以消除。随机误差一般较小，工程测量中常忽略不计。

(三) 疏忽误差

疏忽误差也称为粗大误差。它是明显地歪曲了测量结果的误差。产生的原因主要是测量条件的突然改变或测量人员操作不正确，如温度的突然改变、电源的不稳定以及测量人员的工作疏忽等。含有粗大误差的测量结果没有意义，应予以剔除。

第三节 电测仪表的分类

电之所以被广泛地应用，主要在于它的性能优异。它不仅经济地得到巨大能量，而且可以方便地通过导线、大地甚至空间进行高效率的传输。尤其是通过电的多种效应把电能转换成其他能量，或者反过来把其他能量转换成电能。电测仪表是用电的方法实现测量的，因此不仅能测量各类电磁量，同时也可以实现对非电磁量的测量，其种类繁多，分类的方法也很多。

目前一般根据结构、用途等几个方面的特性，把电测仪表分为以下几类。

一、电气测量指示仪表

电气测量指示仪表是电测仪表的一个主要组成部分，这种仪表的特征是：直接将通入测量仪表的被测量转换成可动部分的机械位移，连接在可动部分的指针在标度尺上的指示，直接在标尺上反映被测量的数值，又称直接作用指示仪表。

电气测量指示仪表具有测量简便、读数可靠、结构简单、测量范围广、制造成本低等一系列优点，因此目前仍被广泛地使用。但随着微电子技术的发展，以及对测量要求的

提高，终将被电子数字仪表所取代。

二、比较仪器

比较仪器主要包括用于精密测量的交直流仪器和标准量具，它是用比较法测量所采用仪器的总称。直流比较仪器主要有电桥、电位差计、标准电阻箱等；交流比较仪器有交流电桥、标准电感、标准电容等。

由于应用比较法将被测量和标准量具进行比较，所以比较仪器的测量准确度和灵敏度都很高。

三、数字仪表和巡回检测装置

电子数字仪表是指能以自身逻辑控制，并以数码形式显示被测量值的仪表。近几年电子数字仪表结构形式不断改进、技术指标大幅度提高、可靠性日益改善、应用范围日益广泛，带来了电测仪表技术的数字化和现代化，无疑是电测与仪表技术的发展方向。

自动巡回检测装置即为数字化仪表加上选测控制系统及打印（显示）输出设备构成的整体。可用一台装置实现对多个测量点的自动循环测量、记录和控制。它是电测技术与自动控制技术融合的基础，是电测技术的又一发展方向。

四、记录仪表和电子示波器

记录仪表是把被测量随时间的变化连续记录下来，记录仪表一般分为测量和记录两部分。数字电子技术和计算机技术的引入使记录式仪表逐渐走向成熟；如：电压监测仪，能连续记录和统计每月的电压合格率，并具有存储功能。

示波器是电信号的“全息”测量仪器，表征电信号特征的所有参数，几乎都可以用示波器进行测量。电压（电流）和时间（相位、频率）是最基本的，它们可以用示波器直接测量。一般常把记录式仪表与示波器等电子仪器划为一类。

五、扩大量程装置和变换器

扩大量程装置是指分流器、附加电阻、电流互感器、电压互感器等。变换器是指将非电量，如温度、压力等，转换为电量的转换装置。对这类装置均有测量准确度的要求。

六、电源装置

电源装置包括稳压器，稳流器，各类稳压电源，称准电压、电流发生器等。电源装置虽然都作为测量的附件，但对测量的影响较大，因此精密测量一般对电源装置的要求较高，如对电压波动、波形畸变、调节细度等都有比较严格的要求。目前，测量用标准电源的主要发展趋势是向多功能、智能化、程控化、小型化和便携式的方向发展。由于新技术的应用，如数字和微机技术的应用，电源装置的稳定性和精密度均有较大幅度的提高。

第四节 电测仪表的主要技术指标

电测仪表性能的优劣，一般从技术指标和经济指标两个方面来进行评价。首先应满足技术指标的要求，为保证测量的准确可靠，国家标准对电测仪表的技术特性都作了具体的规定和要求，主要包括以下几个方面。

一、准确度

准确度是电测仪表的最基本的技术指标，它表示仪表在规定的测量条件下，测量结果与被测量的实际值接近的程度。通常用相对误差来比较测量结果的准确度。

对电气测量指示仪表的准确度是以最大允许绝对误差占满量程值的百分数来表示，又称引用误差。

对比较仪器的误差常采用 $\pm$ （被测量的允许误差 + 满量

限值的允许误差)两项和的形式。

仪器的等级以前项百分数来表示,如 0.01 级直流电位差计的误差为: $\pm (0.0001 \times \text{被测量值} + 0.2 \times \text{最低挡} + \text{进盘的分度值})$ 。

按照规程要求,在正常工作条件下使用仪表时,它的实际误差应小于或等于该仪表准确度等级所允许的误差范围。

二、稳定性

稳定性就是表明仪表保持其误差特性的能力。稳定性可分为仪表对时间的稳定性和温度的稳定性。

稳定性的优劣常以一定时间的误差变化量大小来衡量。

三、灵敏度与分辨率

电测仪表的灵敏度和分辨率都是表示仪表对下限测量值的反应能力,但表示方法有所区别。

指示仪表常用灵敏度来表示单位被测量引起的指针在刻度盘上的位移。对多数指示仪表来讲,灵敏度就是满量限值除以标尺全长所得之商。对于满量限为通常测量值的仪表,灵敏度并不是一个重要指标(如用 450V 量限的电压表,固定安装测量 380V 的电路电压),而对于精密测量的仪表以及检流计等来说,却是第一位的指标。

不同的仪表其灵敏度的表示方法有所不同,例如万用表是以消耗这一角度来确定灵敏度的,常以直流电压挡每伏多少欧来表示。而检流计则以每毫米标度尺长表示多大电流(或电压)来定义。

对于仪器和数字仪表,常用分辨率来表示对下限被测量值的反应能力。如分辨率为 10^{-6}V 的电压表,即表示当电压变化 $1\mu\text{V}$ 时仪表有明显的反应。

电测仪表的灵敏度(或分辨率)与测量范围有关,并与

它的准确度相适应。例如一台 1V 的电位差计，如果有 0.01 级的测量准确度，那么它的分辨率起码必须优于万分之一伏，否则准确度将失去意义。

四、可靠性

可靠性是指仪表保持原来工作能力的指标，常以正常工作直至出现故障的时间来衡量其优劣。

可靠性和稳定性不同，稳定性差是指仪表在仍然工作的条件下，其误差经过长时间而产生的缓慢的变差较大，而可靠性差是指仪表在短时间内即出现很大误差而不能正常工作的问题。稳定性差的仪表测出的结果仍有参考价值，而可靠性差的仪表测出的结果则可能毫无意义。

一般来说，结构越复杂的仪表，可靠性越不容易得到保证。对于大量应用电子技术的仪表可靠性是很重要的指标。对于复杂的电子仪器，其可靠性的优劣是决定其是否应用的重要问题。

五、测量时间

测量时间一般希望越短越好，但是由于测量原理和仪表结构的不同，测量时间的长短相差悬殊。例如，指示仪表接入被测电路后只要几秒钟就能读数，而比较仪器就要很长的时间。由于需要，近年来快速测量的仪表不断出现，如数字仪表。

六、使用方便

选择仪表必须考虑其使用的简便，这也是反映仪表性能的一个方面。仪表要求使用尽可能的简便，如能够立即接入电路测量而不需或稍需预热、接入电路及量程转换方便、具有多种测量对象、读数不必运算以及不需要很高的保存条件等。