



DIANLIJINENG ZHUANJIA JINGYANTAN XILIE

电力技能专家经验谈系列

装表接电

北京市电力公司电能计量中心 组编
马振强 主编



YZLI0890172709



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



DIANLIJINENG ZHUANJIA JINGYANTAN XILIE

电力技能专家经验谈系列

装表接电

北京市电力公司电能计量中心 组编
马振强 主编



YZLI0890172709



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书从实用角度出发,根据职业技能鉴定指导书及相关专业国家标准、行业标准编写。本书共7章,内容包含了电工测量、电力系统识图基本知识、电能表、电能计量方式、互感器、电能计量装置接线检查及追退电量、常用计算,同时围绕马振强创新工作室研发的各项成果进行简单的介绍。

本书可作为电力企业从事电能计量安装、运行、推广、检修、校验以及报装、用电检查等的技术人员提高实操技能的培训用书,也可供相关管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

装表接电/马振强主编;北京市电力公司电能计量中心组编. —北京:中国电力出版社,2013.2

(电力技能专家经验谈系列)

ISBN 978-7-5123-3917-0

I. ①装… II ①马… ②北… III. ①电工—安装
IV. ①TM05

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第000693号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013年2月第一版 2013年2月北京第一次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 8.25印张 208千字

印数0001—3000册 定价30.00元

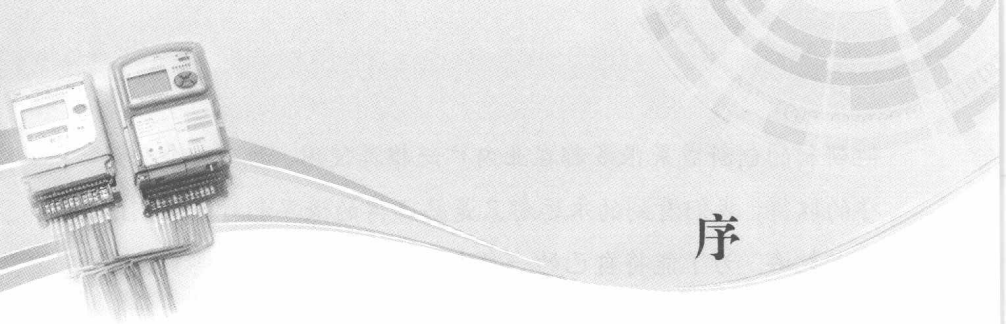
敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

编委会名单

主	任	孙永鑫	张丽萍		
副	主	任	张宏宾	张丽	周矗
					李之或(常务)
成	员	洪沅伸	杨宝琳	马振强	吴小林
		毛晓峰	赵成	胡国斌	刘国跃
		王世宏			
编写组组长		马振强			
成	员	洪沅伸	杨宝琳	马振强	陆翔宇
		任轶	张建新	蒋紫娟	胡中月
		向丽	赵国壁	易攀	



序

人的一生有 $\frac{2}{3}$ 的时间用于从事自己的职业。能够在有限的时间和空间里独领风骚的人，必定是专心致志于一事的人，这就是对事业的忠诚。

马振强同志就是这样一个人。在他从事电能计量工作的 37 年里，吃了很多苦，受了很多累，但他执着地坚守，无私地育人，既保证了电网的安全，也收获了桃李满天下的喜悦。

在全国人民欢庆党的十八大顺利闭幕、普天同庆振奋人心之际，我有幸拜读了北京市电力公司电能计量中心优秀共产党员马振强师傅精心编撰的一本好教材，感触颇深，受益匪浅。

马振强师傅作为国家电网公司生产技能专家、全国电力行业技术能手、电力教育培训新星和北京市电力公司优秀共产党员，扎根一线工作 37 载，兢兢业业、恪尽职守，将职业做成了事业，身体力行地向我们诠释了什么才是真正的爱岗敬业、什么才算全情的攻坚克难！面对新技术的日新月异，作为老一代的电力人，马师傅从没有躺在功劳铺上停滞不前，相反的，他付出了比同龄人甚至是年轻一代电力人更多的努力。37 年来，每天早上 7 点之前，他总是第一个来到办公室认真看书，潜心研究专业技术，刻苦之心、坚持之举让无数人之为之钦佩和动容。付出终有回报，他成为了北京计量史上不可或缺的人才，

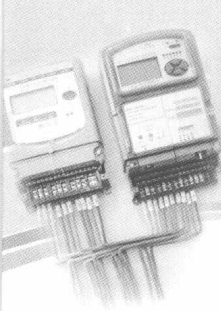
他研制的创新成果很多都在业内广泛推荐使用。面对一个个荣誉的取得，我们看到的永远都只是马师傅的谦卑和对徒弟们的细心教诲。为了能将自己的一身本领延续下去，马师傅更是不遗余力、和盘托出，对徒弟和年轻师傅耐心讲述、亲自示范、严格要求，看到徒弟们一天天成熟起来，马师傅又默默投入到对新课题的研究中去……

作为一名和马师傅一样的电力人，看到书中对电能计量专业详细的讲解，我知道，这些都是他在重大活动保电、电网事故抢修、居民生活用电保障等现场沉甸甸的收获。这密密麻麻的文字、数据，都是他这一生最为宝贵的财富。

马振强师傅用自己的忠诚、敬业和追求，赢得了人们的喝彩和掌声。他用文字记录下的点点滴滴，值得我们认真学习并永远珍藏。

李国华

2012年12月



前言

本书的编写贯彻了“以现场需求为导向、以提高技能为核心”的指导思想，力求从实用角度出发，根据 DL/T 448—2000《电能计量装置技术管理规程》、JJG 307—2006《机械交流电能表检定规程》、SD 109—1983《电能计量装置检验规程》、职业技能鉴定指导书及相关专业国家标准、行业标准编写。本书共 7 章，内容包含了电工测量、电力系统识图基本知识、电能表、电能计量方式、计量用互感器、电能计量装置接线检查及追退电量、常用计算，同时围绕马振强创新工作室研发的各项成果进行简单的介绍。本教材可作为电力企业从事电能计量安装、运行、推广、检修、校验以及报装、用电检查等的技术人员提高实操技能的培训用书，也可供相关管理人员参考。

限于编者水平，书中不妥之处在所难免，请广大读者提出宝贵意见，以便再版时修订。

编者

2012 年 12 月



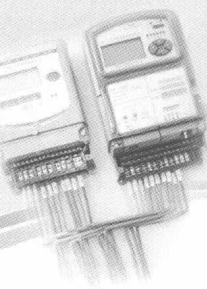
目 录

序

前言

第一章 电工测量	1
第一节 电流和电压的测量	1
第二节 功率的测量	11
第三节 电阻、电感和电容的测量	22
第二章 电力系统识图基本知识	39
第一节 一次接线图	39
第二节 变配电所电源引入方式	41
第三节 变电站、配电所常用主接线方式	42
第四节 操作编号的编制原则	47
第五节 二次回路	52
第三章 电能表	64
第一节 电能表的分类和铭牌	64
第二节 感应式电能表结构和工作原理	67
第三节 其他各种电能表简介	83
第四章 电能计量方式	100
第一节 有功电能的测量	100
第二节 无功电能的测量	110
第三节 电能计量联合接线	120
第五章 计量用互感器	128
第一节 互感器工作原理及误差	128
第二节 互感器接线方式	145

第三节	互感器的正确使用	156
第六章	电能计量装置要求	162
第一节	电能计量装置的分类	162
第二节	电能计量装置技术要求	164
第三节	电能计量柜（箱）要求	171
第四节	电能计量装置的安装要求	175
第五节	电能计量装置的综合误差	182
第六节	计量装置的接线检查	187
第七节	追退电量的计算	219
第七章	常用计算	231
第八章	防反窃电的措施	246
附录	马振强职工创新工作室介绍	250



第一章

电 工 测 量

第一节 电流和电压的测量

电流和电压的测量是最基本的电工测量。测量电流和电压的基本工具分别是电流表和电压表。

一、电流和电压测量一般知识

1. 电流的测量

用来测量电流的仪表称为电流表。为了测量一个电路中的电流，必须将电流表串联于该电路中（见图 1-1）。为了使电流表的串入不影响电路原来的工作状态，电流表的内阻抗要尽量小，即内阻抗与被测电路的阻抗相比要小到可以忽略不计的程度，使电路中电流的大小和相位不会因电流表的串入而发生变化。

为了扩大电流表的量程，通常采用电流表并联一个低阻值分流器 $R_{\text{分}}$ 的方法（见图 1-2）。当测量较大的交流电时，为了扩大交流电流表的量程，通常采用在被测电路中串联电流互感器的方法（见图 1-3）。

直流电流表有极性要求，要将其正极“+”接入电源的正极，负极“-”接入电源的负极。交流电流表测量二次电流要按电流互感器同名端接线。

不论分流器还是电流互感器，其作用都是使电流表中通过的小电流和被测大电流成一定比例，然后乘以比例系数，即为电路中实际电流。

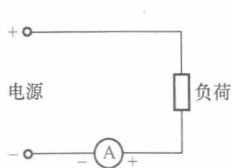


图 1-1 电流表的
一般接法

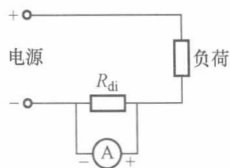


图 1-2 电流表并联
低阻值分流器

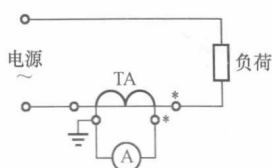


图 1-3 串联电流互感器

电流表按其量程不同又可分为安培表、毫安表和微安表等。另外还有一种电流表，不是用来测量电流的大小，而是用来检测电路有无电流的，称为检流计。

2. 电压的测量

用来测量电压的仪表称为电压表。为了测量一个电路的电压，必须将电压表并联于该电路两端（见图 1-4）。为了使电压表的并入不影响电路原来的工作状态，电压表的内阻抗要尽量大，使电路电压的大小不会因电压表的并入而发生变化。

为了扩大电压表的量程，通常采用电压表串联一个高阻值分压器 R_{du} 的方法（见图 1-5）；在高压交流电路中，采用在被测电路两端并联电压互感器的方法（图 1-6）。

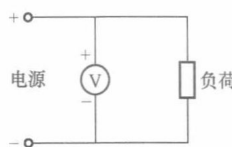


图 1-4 电压表的
一般接线

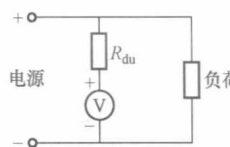


图 1-5 电压表串联
高阻值分压器

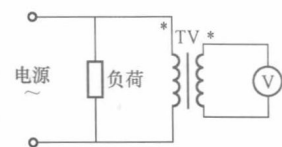


图 1-6 并联电压互感器

直流电压表有极性要求，要将其正极“+”接入电源的正极，负极“-”接入电源的负极。交流电压表测量二次电压要按电压互感器同名端接线。

不论分压器还是电压互感器，其作用都是使电压表两端的低

电压和被测高电压成一定比例，然后乘以比例系数，即为电路中实际电压。

电压表按其量程不同又可分为伏特表和毫伏表等。

在直流电流和电压的测量中，由于磁电系机构具有准确、灵敏、功耗小和标尺均匀等显著优点，所以都采用磁电系仪表。

在交流电流和电压的测量中，安装式仪表通常采用电磁系机构。

交流可携式电流表和电压表主要采用电动系机构，以适应精密测量的要求。

二、磁电系电流表和电压表

(一) 磁电系电流表

1. 基本构成

在磁电系测量机构中，由于可动线圈导线很细，而且电流还要经过游丝，所以允许通过的电流很小（约几十微安至几十毫安）。为了测量较大电流，必须采用并联分流器。所以磁电系电流表一般由测量机构和分流器构成（见图 1-7）。

分流器电阻 R_{di} 比测量机构内阻 r_0 小得多时，则被测电流 I 的大部分从分流器通过。只有很小一部分 I_0 通过测量支路。当 R_{di} 和 r_0 的数值一定时， I 的分配比例是一定的，即 I_0 占 I 的比例是一定的。仪表的偏转角可以直接反映被测电流的大小，只要将电流表的刻度尺放大 n 倍，即为实测电流数值。

根据 $I_0 r_0 = I \frac{r_0 R_{di}}{r_0 + R_{di}}$ ，电流量程扩大倍数为 $n = \frac{I}{I_0} = \frac{r_0 + R_{di}}{R_{di}}$ 。

可见，分流电阻越小，量程扩大越多。根据扩大量程倍数要求，来选择 R_{di} 的大小，即为

$$n = \frac{r_0}{R_{di}} + 1$$

$$R_{di} = \frac{r_0}{n - 1}$$

所以，要使电流量程扩大 n 倍，则分流器电阻应为测量机构内阻的 $1/(n-1)$ 。

可见，对于相同的测量机构，如果配以不同的分流器，便可制成不同量程的电流表。

2. 分流器

分流器是用电阻温度系数很低的锰铜制成的。为了防止通过电流时温度过高而造成误差，分流器还要有足够的散热面积，其尺寸将随电流的增大而增加。电流较小时分流器可装在电流表内部，电流在 50A 以上时分流器一般装在电流表外部，称为外附式分流器（见图 1-8）。外附式分流器有两对端钮：外侧一对叫电流端钮，与被测电路串联；内侧一对叫电位端钮，与测量机构并联。采用这种连接方式，电流接头的接触电阻将不包括在分流电阻内，从而减少了测量误差。

外附式分流器的规格一般指额定电压和额定电流，而不标明电阻值。额定电压应按和分流器并联的电流表的额定电压来选择，有 75mV 和 45mV 两种。额定电流是指电流表量程扩大后可达到的测量数值，并不是流过分流器的电流数值。

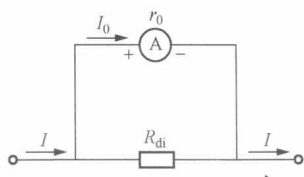


图 1-7 磁电系电流表原理电路

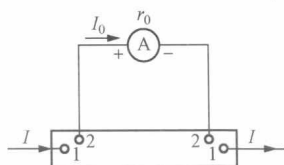


图 1-8 外附式分流器

1—电流端钮；2—电位端钮

3. 多量程直流电流表

在多量程直流电流表中，分流器的连接有开路连接（见图 1-9）和闭路连接（见图 1-10）两种方式。

开路连接的特点如下：

（1）分流器在未接入使用时和测量支路是断开的。当转换开

关 K 接通不同的分流电阻时，就可以得到不同的量程。如 $R_{di1} > R_{di2} > R_{di3}$ ，与之对应的量程为 $I_1 < I_2 < I_3$ 。这种接线方式把开关触头的接触电阻包括在分流电路内，因此可能引起很大的误差。(2) 当触头接触不良使分流器回路断开时，被测电流将全部从测量支路中通过而使其烧坏。所以，这种连接方式很少采用。

闭路连接不存在上述问题，因此得到广泛应用。分流器由不同阻值的 R_1 、 R_2 、 R_3 与测量机构接成闭合回路。当被测电流接于“ I_1 ”和“-”时， r_0 与 $R_{di} = R_1 + R_2 + R_3$ 并联，对应的量程为 I_1 ；当接于“ I_2 ”和“-”时， $(r_0 + R_1)$ 与 $R_{di} = R_2 + R_3$ 并联，内阻增加 R_1 ，分流电阻减少 R_1 ，分流作用增大，对应的量程为 I_2 ；当接于“ I_3 ”和“-”时， $(r_0 + R_1 + R_2)$ 与 $R_{di} = R_3$ 并联，分流作用更大，对应的量程为 I_3 。所以量程 $I_3 > I_2 > I_1$ 。

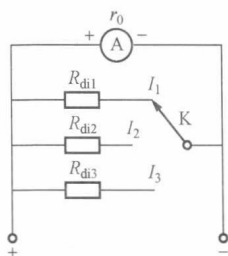


图 1-9 分流器开路连接

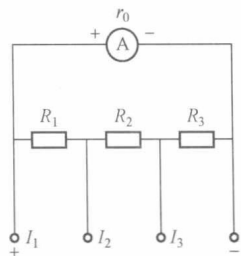


图 1-10 分流器闭路连接

4. 温度补偿

由于分流电阻用锰铜制成，其电阻基本上不随温度变化，但测量支路是铜电阻，会随温度变化。这样，当温度变化时，将改变并联支路的电流分配，造成温度测量误差。为了补偿温度误差，可采用串联和串并联两种补偿电路。

(1) 串联温度补偿电路。

在测量支路中串联一个温度补偿电阻 R_t （见图 1-11）， R_t 用锰铜制成，且阻值要比 r_0 大得多。这样当温度变化时，虽然 r_0 有所改变，但 R_t 基本不变，所以测量支路总的电阻 $(r_0 + R_t)$ 相对变

化很小，电流分配比例基本不变。这种补偿方式简单，但要得到良好的补偿效果， R_1 必须足够大。而 R_1 太大时，将限制通过测量支路的电流，因此要求测量机构的灵敏度很高。所以这种方法不适用于高精度的仪表中，一般只在安装式仪表中采用。

(2) 串并联温度补偿电路。串并联温度补偿电路由电阻串并联组成（见图 1-12）， R_{di} 、 R_1 、 R_3 是锰铜电阻， R_2 是铜电阻。当温度变化时，由于铜电阻温度系数大，所以 R_2 阻值有较大变化，虽然 r_0 也是铜电阻，但因串联了锰铜电阻 R_1 ，使测量支路总电阻 $r_0 + R_1$ 随温度变化相对较小。这样电流 I_1 和 I_2 分配比例就发生变化。例如，当温度上升时，从电流 I_{di} 和 I_3 分配比例看， I_{di} 不随温度上升而变化，而 I_3 支路使得使得其总电阻随温度而上升而增加，因此 I_3 将随温度上升而减小， I_2 随温度上升而减小， I_1 则随温度上升而增大。只要适当选择各电阻的阻值，就可以做到当温度上升时， I_3 的减少量 $-\Delta I_3$ 被 I_1 的增加量 $+\Delta I_1$ 所补偿，这样就达到了温度补偿的目的。串并联温度补偿电路广泛应用在可携式仪表中。

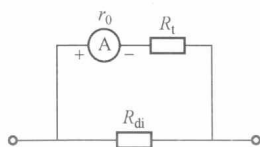


图 1-11 串联温度补偿电路

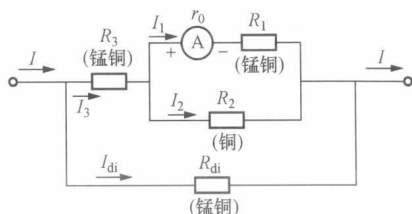


图 1-12 串并联温度补偿电路

(二) 磁电系电压表

如果磁电系测量机构内阻一定，通过的电流和加在测量机构两端的电压成正比。但是，通常不能把这种测量机构直接作为电压表使用。因为磁电系机构允许通过的电流很小，所能直接测量的电压很低；另外，由于测量机构的动圈、游丝等导电部分的电阻随温度变化，将会导致很大的温度测量误差。采用附加电阻和测量机构串联的方法可解决高电压的测量问题，并构成串联温度

补偿电路。所以磁电系电压表实际上是由测量机构和高值附加电阻串联构成（见图 1-13）。

被测电压的大部分加在附加电阻 R_{du} 上，分配到 r_0 上的只是很小一部分，使通过测量机构的电流被限制在允许范围内，并扩大了量程。测量机构通过的电流 I_0 为

$$I_0 = \frac{U}{r_0 + R_{du}}$$

即 I_0 与被测电压 U 成正比，则仪表的偏转角直接反映被测电压的大小，只要将电压表的刻度尺放大 m 倍，即为实测电压数值。

电压量程扩大倍数为

$$m = \frac{U}{U_0} = \frac{r_0 + R_{du}}{r_0}$$

$$R_{du} = (m-1)r$$

所以，要使量程扩大 m 倍需要串入的 R_{du} 应为 r_0 的 $(m-1)$ 倍。

可见，对于相同的测量机构，如果配以不同的分压电阻，便可制成不同量程的电压表。附加电阻用锰铜绕制而成，通常为内附式。

多量程电压表由测量机构和不同大小的附加电阻构成。如图 1-14 所示， R_1 、 R_2 、 R_3 为附加电阻，量程为 $U_3 > U_2 > U_1$ 。电压表内阻应为测量机构的电阻和附加电阻之和，电压表在各量程下的内阻与相应的电压量程的比值（单位为 Ω/V ）越大，内阻越大，量程越大，这是电压表的一个重要参数。

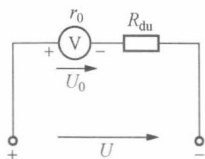


图 1-13 磁电系电压表原理电路

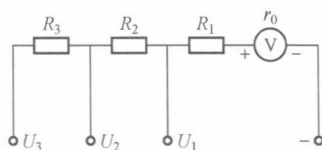


图 1-14 多量程电压表电路

对于一般的电压表，由于接入附加电阻，保证了足够的温度

补偿, 所以温度误差很小。但对于准确度等级高的毫伏表来说, 应采用串并联温度补偿电路。

三、电磁系电流表和电压表

1. 电磁系电流表

在电磁系测量机构中, 电流是通过固定线圈的, 所以可用较粗导线, 而使其通过较大电流, 这样, 电磁系机构可直接作成电流表。当安匝数一定时, 电流大, 导线粗, 则匝数少。直接接入式的电流表最大量程不应超过 200A 。这是因为: 大电流的磁场会影响仪表内其他元件, 而造成测量误差; 仪表端钮和被测母线接触不良时, 会引起严重发热, 不仅烧毁仪表, 也会造成被测电路故障。在测量 200A 以上交流电流时, 应与电流互感器配合使用。

安装式电流表一般作成单量程的。而可携式电流表常作成双量程或三量程的, 但不能采用分流器来扩大量程, 因为, 由于电磁系机构磁路是空气, 磁阻很大, 需要固定线圈产生很大的励磁安匝数, 其匝数多, 所以内阻很大, 所以要求分流器电阻也很大, 使得分流器尺寸和功率消耗都很大。所以可携式电流表采用固定线圈分段, 用连接片、转换开关或插头来改变分段线圈的串、并联方法, 以获得不同量程。

固定线圈分为匝数、阻抗完全相同的两段, 端钮之间可用连接片连接成串并联方式 (见图 1-15、图 1-16)。这两种连接方式总的安匝数都是 $2NI$ (N 是每个分段的匝数), 串联时被测电流为 I , 并联时为 $2I$, 所以并联时量程扩大一倍。仪表标度尺按量程 I 刻度, 当量程为 $2I$ 时, 只需将读数乘以 2 即可。

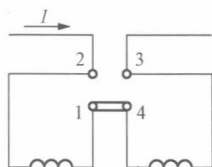


图 1-15 线圈串联电路

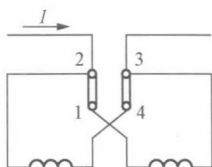


图 1-16 线圈并联电路