



煤矿井下电工丛书

煤矿常用电工仪表

开滦煤矿编



煤炭工业出版社

煤矿井下电工丛书

煤矿常用电工仪表

开滦煤矿编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书对煤矿一般常用电工仪表如电流、电压、功率、电度、功率因数等表的结构、原理及使用方法只作了简要阐述。重点突出介绍煤矿电工常用的万用电表、摇表、钳形表的结构、原理线路、使用方法、故障分析、修理调整及校验。并附有该类仪表主要元件的型号、规格数据,便于仪表维修时选用。为使读者更好掌握仪表测量及维修的基本知识,还插入不少操作方法示意图及实物连接主体示意图。附录中又加上了修调仪表的常用工具,线的规格及常用万用电表的线路等,以供参考。

本书可供具有初中文化程度的煤矿电工阅读,对局、矿、厂电气试验人员有参考价值,有关技术人员及学校教师亦可参阅。

煤 矿 井 下 电 工 丛 书

煤 矿 常 用 电 工 仪 表

开 滦 煤 矿 编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/8}$ 印张 $8\frac{3}{4}$

字数189千字 印数 1—20,500

1976年11月第1版 1976年11月第1次印刷

书号15035·2049 定价 0.61 元

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

我们能够学会我们原来不懂的东西。我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将善于建设一个新世界。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国社会主义革命和社会主义建设事业蓬勃发展。煤炭工业战线欣欣向荣，形势一派大好。

毛主席教导我们：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”

为了适应煤炭工业的迅速发展，满足煤矿电工为革命学习技术的迫切要求，我们组织了以工人为主体的“三结合”编写小组，结合总结煤矿电工的实践经验，并收集了有关技术资料，编写了《煤矿井下电工丛书》。

参加“三结合”编写小组的有：河北矿冶学院、开滦煤矿唐山矿、赵各庄矿、范各庄矿、林西矿、开滦煤矿机修厂、开滦大学附属技工学校的工人、技术人员和教师。在编写过程中，进行了调查研究、征求意见和修改补充。内容由浅入深，文字力求通俗易懂。结合煤矿生产实际选编了一些例题，便于读者掌握和运用电的技术知识。

在编写过程中，我们得到许多厂矿、科研与设计单位以及院校的大力支持，谨此表示感谢。

由于我们的政治思想水平和技术水平所限，加之时间仓促，书中定有不少缺点和错误，热诚地希望同志们提出批评、指正。

开 滦 煤 矿

一九七四年九月

目 录

第一章	测量仪表的基本知识	1
第一节	测量误差的概念	1
第二节	测量仪表的准确度	3
第三节	煤矿常用电工仪表的分类	4
第四节	常用电工仪表技术性能	6
第五节	电工仪表表盘常用符号说明	8
第二章	常用直读式仪表的工作原理	12
第一节	磁电式(永磁式)仪表的结构与工作原理	12
第二节	电磁式仪表的工作原理	15
第三节	电动式和铁磁电动式仪表的工作原理	18
第四节	感应式仪表的工作原理	21
第五节	流比计的工作原理	23
第三章	电流表、电压表与电流、电压的测量	27
第一节	电流表和电压表的概念	27
第二节	电流表和电压表的原理	28
第三节	钳形电流表	30
第四节	电流的测量	34
第五节	电压的测量	38
第四章	功率表和功率的测量	41
第一节	电动式功率表	41
第二节	功率的测量	43
第五章	电度表与电能的测量	49
第一节	感应式电度表	49
第二节	单相线路电能的测量	53

第三节	三相三线线路电能的测量	55
第四节	三相四线线路电能的测量	58
第五节	无功电能的测量	59
第六节	直流电能的测量	61
第七节	电度表的校验和调整	62
第六章	电阻的测量和测量仪表	69
第一节	电流、电压表法	69
第二节	万用电表法	70
第三节	单臂电桥法	70
第四节	双臂电桥法	76
第五节	兆欧表(摇表)法	81
第六节	接地电阻的测量	89
第七章	几种电气参数及其测量仪表	94
第一节	功率因数及三相功率因数表	94
第二节	频率表	98
第三节	相序及相序指示器	101
第八章	万用电表及使用方法	104
第一节	万用电表的基本原理	104
第二节	电阻的测量	109
第三节	交流电压的测量	110
第四节	直流电压的测量	110
第五节	直流电流的测量	112
第六节	音频电平测量	113
第七节	电容的测量	114
第八节	二极管的测量	116
第九节	晶体三极管的测量	118
第十节	万用电表使用注意事项	120
第九章	电缆故障点的测定	122
第一节	桥线法	122

第二节	QF 1 型电缆探伤仪法	124
第三节	感应法	126
第十章	万用电表的修理	129
第一节	万用电表主要组成元件	129
第二节	万用电表的线路	138
第三节	万用电表故障的检查	143
第四节	万用电表的故障分析、修理及调整	145
第十一章	摇表的修理	204
第一节	摇表的构造	204
第二节	摇表的故障检查	210
第三节	摇表的修理及调整	226
第十二章	钳形电表的修理	245
附录一	常用工具	249
附录二	锰、镍铜合金线规格	251
附录三	常用漆包线规格	252
附录四	常见万用电表线路	259

为了保证矿井高低压电网及电气设备的正常运行，尽快地消除各种电气故障，要经常运用各种电工仪表进行测量。所以，了解并掌握煤矿常用各种电工仪表的基本原理、结构性能及使用方法等，是十分必要的。

第一章 测量仪表的基本知识

第一节 测量误差的概念

不论什么样的电工仪表，也不论采用什么样的测量方法，仪表测出的量与被测量的真实值之间，总是要存在着一定的差额，这种差额就叫做“误差”。

常用的指示仪表，即直读式仪表，在进行测量时，仪表的测量值（仪表读数） A_x 与其真实值 A_0 之间的差额，就叫测量的“绝对误差”，如果用符号 Δ_A 表示绝对误差则：

$$\Delta_A = A_x - A_0 \quad (1-1)$$

例如用两块电压表测量一个已知其真实值为 100 伏的电压，甲表的读数是 101 伏；乙表的读数是 99.5 伏，那么测量的绝对误差就分别是：

$$\begin{aligned}\Delta_{A\text{甲}} &= A_{\text{X甲}} - A_0 \\ &= 101\text{伏} - 100\text{伏} = 1\text{伏} \quad (\text{甲表})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_{A\text{乙}} &= A_{\text{X乙}} - A_0 \\ &= 99.5\text{伏} - 100\text{伏} = -0.5\text{伏} \quad (\text{乙表})\end{aligned}$$

这就说明甲表测量值，大于真实值1伏，乙表测量值小于真实值0.5伏，可见乙表比甲表要准确些。

对于同一个数值而言，测量的绝对误差 Δ_A 的绝对值愈小，则准确度愈高，但是分别测不同的数值时，就不能用绝对误差来比较它们的准确度了，而是用“相对误差”表示。

测量的绝对误差 Δ_A 与被测量的真实值 A_0 之比的百分数，叫做“相对误差”。如果用 β 表示相对误差，则：

$$\beta = \frac{\Delta_A}{A_0} \cdot 100\% \quad (1-2)$$

例如测量真实值为100伏的电压，绝对误差为 ± 0.1 伏，则其相对误差为：

$$\beta = \frac{\Delta_A}{A_0} \cdot 100\% = \frac{\pm 0.1}{100} \cdot 100\% = \pm 0.1\%$$

当测量的真实值 A_0 为1伏的电压时，绝对误差 Δ_A 也是 ± 0.1 伏，则相对误差为：

$$\beta_2 = \frac{\Delta_A}{A_0} \cdot 100\% = \frac{\pm 0.1}{1} \cdot 100\% = \pm 10\%$$

可见后者的准确度比前者低的多，所以相对误差越小准确度就越高。

第二节 测量仪表的准确度

由上述可知，仪表的准确度与误差有关。但是我们不能就用“相对误差”来表示仪表的准确度，因为一块仪表在全量程范围内各点的相对误差都不相同，随着被测量数值的减小，在零值附近时，相对误差有可能增至无穷大的趋势，因此不能用相对误差来表示准确度。

根据我国电工专业标准，仪表的准确度是用仪表的“引用误差”表示，即仪表测量时可能产生的最大的绝对误差，与仪表满量程之比的百分数来表示。

如果用 Δ_{A_m} 表示最大绝对误差， A_m 表示仪表的量程， α 表示仪表的引用误差，则：

$$\alpha = \frac{\Delta_{A_m}}{A_m} \cdot 100\% \quad (1-3)$$

目前我国生产的指示仪表的准确度分0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5级等多种。

准确度分级的含意是：当引用误差 $\alpha \leq 0.1\%$ 时，此仪表就属于0.1级，其余依此类推。

由于不同准确度的仪表在制造和材料上要求不同，价格相差也较大，所以应根据不同的用途，使用不同准确度的仪表。通常0.1、0.2级仪表用作标准表，0.5级至1.5级仪表用于实验室，1级至2.5级仪表用于工程上。

测量时，为了提高测量的准确度，仪表还必须选用合适的量程，这是因为一定准确度的仪表，在正常情况下，其最大绝对误差是不变的，所以在全量程范围内，被测量值愈小相对误差愈大，准确度也愈差，一般在选用仪表量程时，使所

测数值在仪表量程一半为宜。

例如用2.5级量程为100安的电流表，测量10安和90安的电流时，可能出现的最大相对误差分别为 β_{10} 和 β_{90} ，则：

$$\begin{aligned}\beta_{10} &= \frac{\Delta A_m}{A_{10}} \cdot 100\% = \frac{\alpha A_m}{A_{10}} \cdot 100\% \\ &= \frac{\pm 2.5\% \times 100}{10} \times 100\% = \pm 25\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta_{90} &= \frac{\Delta A_m}{A_{90}} \cdot 100\% = \frac{\alpha A_m}{A_{90}} \cdot 100\% \\ &= \frac{\pm 2.5\% \times 100\%}{90} \times 100\% \\ &= \pm 2.77\%\end{aligned}$$

可见用100安量程的电流表测量90安电流时，可能出现的最大误差要比测10安电流小得多。由此可见，测量时，应合理地选择仪表的量程。

第三节 煤矿常用电工仪表的分类

电工仪表按读数方式可分为：直接指示被测量数值的直读式仪表；利用标准器与被测量值相比较的比较式仪表两大类。煤矿常用电工仪表大部分属于直读式仪表。

直读式仪表按照不同分类的方式，又可以分成许多种类。

一、按所测电流种类分

1. 直流电表：用于直流电路。
2. 交流电表：用于交流电路。
3. 交直流电表：用于交、直流电路。

二、按测量的对象分

1. 电流表（或称安培表）：测量电流的。
2. 电压表（或称伏特表）：测量电压的。
3. 欧姆表：测量电阻的。
4. 功率表（或称瓦特表）：测量功率的。
5. 电度表（或称千瓦时表）：测量电能（或称电功）的。
6. 相位表：测量电路中电压、电流之间的相位角的。
7. 频率表（或称周波表）：测量交流电路每秒变化次数。

这里仅举以上几种，还有很多，不再一一介绍。

三、按仪表结构形式、作用原理分

仪表按其结构形式和作用原理可分为：磁电式（代号C）、电磁式（代号T）、电动式（代号D）、感应式（代号G）、光电式（代号U）、电子式（代号Z）、静电式（代号Q）、整流式（代号L）、热线式（代号R）、热电式（代号E）、谐振式（代号B）等。几种常用仪表结构形式及其特点将在以后分别介绍。

四、按照准确度分

按其准确度可分为：0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5等。

所谓几级是指仪表测量时，可能产生的最大绝对误差占满刻度的百分之几。表示级别的数字愈小，准确度就愈高。

五、按照使用的性质和装置方式分

1. 固定式（开关板式）：固定式电表是装在一块固定不动的绝缘板或金属板上，在正常情况下是固定不动的。
2. 携带式：所谓携带式电表，就是重量较轻，携带方

便的电表。

六、根据标度尺的工作位置分

1. 水平使用：仪表水平位置使用，多数是可携带式仪表。

2. 垂直使用：仪表垂直位置上使用，多数是开关板式仪表。

3. 倾斜使用：仪表在使用时倾斜一个角度。

如果在测量的过程中，不按其规定的工作位置来使用，则将会引起测量的附加误差。

七、按其防御外界磁场（或电场）的能力分

有Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ等，其中Ⅰ等防御能力最好，即在外界磁场（或电场）影响下所引起的附加误差最小。

八、按其使用条件分

可分为A、B和C三组。A组仪表适应于工作环境温度为 $0 \sim +40^{\circ}\text{C}$ ，湿度为85%以下，一般不标注。B组仪表，适应于工作环境温度为 $-20 \sim +50^{\circ}\text{C}$ ，湿度为85%以下。C组仪表适应于工作环境温度为 $-40 \sim +60^{\circ}\text{C}$ ，湿度为85%以下。

第四节 常用电工仪表技术性能

我们在仪表说明书上除看到有准确度等级以外，还有其它一些技术数据，比如灵敏度、阻尼时间、功率消耗、误差校正曲线等，其主要含义简单介绍如下：

一、灵敏度

被测量变化值与仪表可动部分引起相应偏转的变化之比，称为仪表的灵敏度。

直读式仪表中用“格/微安”、“格/毫安”表示，或用

它们的倒数表示，即用“微安/格”、“毫安/格”表示。电桥中则常用“格/欧”表示。当某一被测量线路用灵敏度不同的仪表时，显然在灵敏度高的仪表中将有较大的偏转，或者说，同样要偏转到满偏位置上，高灵敏度的仪表的满偏转电流就小。灵敏度的高低，表示了仪表能测的最小数值。因此我们不能盲目追求高灵敏度的仪表，而是选用合适为宜。

二、阻尼时间

阻尼时间是指从仪表开始接入起，到仪表指针离它停止的距离不大于标尺全长的 1 % 的时间。为了便于迅速读数，要求阻尼时间要短，根据固定标准，一般要求仪表阻尼时间不超过 4 秒。

三、功率损耗

仪表工作时，会有电能的损耗，它消耗于仪表电路磁铁物质的发热上。虽然这种功率损耗数值不大，但能引起仪表温度升高，使电阻阻值游丝弹性等发生变化，产生测量误差。此外，仪表的功率损耗及电流、电阻等数值，都应使仪表在接入测量线路后，不致影响电路原有的工作状态，以免产生测量误差。在小功率电路中，磁电式仪表消耗功率较小，感应式仪表消耗功率较大。

四、误差校正曲线

有的仪表在出厂时附有误差校正曲线，有的仪表在校表后，要做校正曲线（或记录校正的数据），现将什么是校正曲线及其使用方法介绍如下：

因工作仪表都有一定的误差，所以测量数与实际值间有差额，工作仪表的读数就是测量值，用标准表所测读数为实际值（一般做为标准表的准确度要比工作表高二级），

这样，绝对误差就是工作仪表的读数与标准表的读数之差。

即
$$\Delta = A_x - A_0$$

$$A_0 = A_x - \Delta$$

令
$$C = -\Delta$$

则有
$$A_0 = A_x + C$$

仪表的读数作横轴，其校正值作纵轴，所作出的曲线叫校正曲线。

表1-1是图1-1某电流表的校正曲线。

表 1-1

仪表读数(安)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
校正值(安)	0	+.11	+.17	+.05	+.12	+.08	-.10	-.12	-.08	-.15	-.10

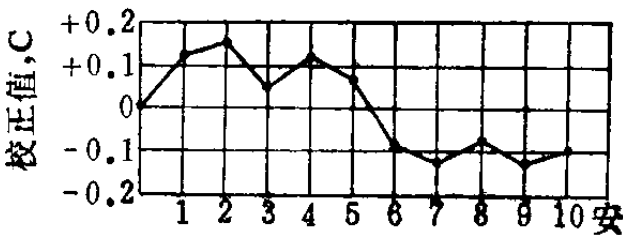


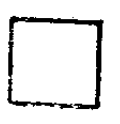
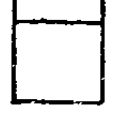
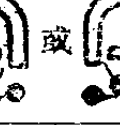
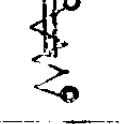
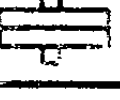
图 1-1 校正曲线

利用校正曲线，可以提高测量准确度，用一块准确度较低的仪表，可以得到较准确的结果，例如某表读数为 5 安时，其实际值为5.08安。

第五节 电工仪表表盘常用符号说明

电工仪表表盘上常用符号代表意义如表1-2所示。

表 1-2 电工仪表表盘上的几种常用符号

符 号	名 称	被测量的种类	符 号	名 称	被测量的种类
测量单位的符号				瓦特表	电 功 率
KA	千 安	安 培		千瓦表	
A	安	培		功率因 数 表	功率因数
mA	毫	安		检流计	微小电流
μA	微	安		记录式测量仪表一般符号 (图形内应填注文字符号 如 A、V 等)	
KV	千 伏	伏 特		积算式测量仪表一般符号 (图形内应填注文字符号 如 Wh 等)	
V	伏	特		千瓦时表	电 能
mV	毫	伏		磁电式 (永磁式)	直流电压、电流、 电阻
KW	千 瓦	瓦 特		检波式 (整流式)	交流电流、电压
W	瓦	特		热电式	交直流电流、电 压、电阻
KVAR	千 乏	乏 尔		电磁式 (动铁式)	交直流电压、电 流
VAR	乏	尔		电动式	交直流电压、电 流功率、电能、 以功率为主
KHZ	千 赫	赫 兹			
HZ	赫	兹			
MΩ	兆	欧			
KΩ	千	欧			
Ω	欧	姆			
cos φ	功率因数				
	指示式测量仪表一般符号 (图形内应填注文字符号 如 A、V 等)				
	电流表	电 流			
	电压表	电 压			
	欧姆表	电 阻			
	兆欧表				