

电工现场测量技术

〔日〕森下正志 著

高光润 王炳聚 译

中国计量出版社

1986·北京

内 容 提 要

本书共分三大部分。第一部分讲述了常用仪表的分类和特征，如何使用仪器仪表，测量结果的判断和处理方法；第二部分讲述了配电设备的测量技术，仪用互感器及其特性等；第三部分讲述负载设备的测量技术，以及安全工作所需的防护用具及其使用方法。

本书可供从事电气测量和设备维护的技术人员、工人参考阅读。

現 場 の 測 定 技 術

森下正志 著

オーム社 1981

电工现场测量技术

〔日〕森下正志 著

高光润 王炳聚 译

责任编辑 刘宝兰

✱

中国计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

✱

开本 787×1092 1/32 印张 8

字数 144 千字 印数 1—15 000

1986年 8 月第一版 1986年 8 月第一次印刷

统一书号 15210·605

定价 1.30 元

译 者 的 话

日本“新电气”杂志出版了一套电工技术丛书，共计十本，本书是其中的一本。这套丛书的特点是密切联系现场实际，并介绍一些最新技术。

本书没有过深的涉及各种理论问题，而着重介绍了现场测量中用到的各种仪器仪表的特性及使用方法；较详细地阐述了对配电设备和负载设备的测量技术；对测量数据及判断处理方法的论述更是切合实用。尤其作者长期从事电气测量工作，其丰富的实践经验和技巧融汇于书中，使本书的实用性更为突出。因此，本书对从事电气测量的技术人员、工人无疑是一本较好的参考书。为了方便读者，增加了电工仪表等级分类的我国国家标准和仪表的检定规程。

由于译者水平有限，误漏之处在所难免，欢迎读者批评指正。

译稿承蒙雷风桐、傅曦两位先生审阅，提出很多宝贵意见，在此深表感谢。

译 者

1985 年 1 月

目 录

第一部分 基本问题

1. 常用仪表的分类和特征	(1)
2. 工厂自用电气设备仪表、仪器有哪些呢?	(4)
3. 现场测量必备的仪表	(7)
4. 方便工作而备置的仪表	(7)
5. 怎样使用仪器仪表	(10)
6. 测量误差及其对策、仪表的校正	(15)
7. 现场测量心得十条	(20)
8. 测量结果的判断和处理方法	(21)
9. 测量的接线操作、材料、工具的最佳使用方法	(24)
10. 最新的测量仪器有哪几种	(26)

第二部分 配电设备的测量技术

11. 如何测量用电设备?	(30)
12. 仪用互感器及其特性	(32)
13. 电压互感器的使用方法	(38)
14. 电流互感器的使用方法	(42)
15. 携带式功率表的正确用法	(49)
16. 功率因数的测量方法	(55)
17. 蓄电池设备中必须进行哪些测量	(57)
18. 配电设备的接地电阻的测量技巧	(61)
19. 用电设备绝缘电阻的测量技巧	(66)
20. 绝缘电阻表的测量值可信吗?	(74)
21. 绝缘老化的精密判断方法	(77)

22. 配电设备的绝缘强度试验要做哪些测量呢? (83)
23. 密封式配电盘中必须进行什么测量..... (86)

第三部分 负载设备的测量技术

24. 万用表的使用方法..... (90)
25. 何时使用同步示波器..... (94)
26. 钳形电流表的正确使用方法..... (100)
27. 钳形功率表的使用方法..... (103)
28. 验电器的使用方法..... (105)
29. 干线、分支电路上的测量..... (109)
30. 三相感应电动机的故障和测量方法..... (114)
31. 直流电路的测量和电动机故障的测量..... (119)
32. 负载设备的程序控制是怎样形成的? (125)
33. 用万用表和验电器寻找程序控制故障的方法..... (131)
34. 无触点程序控制的故障寻找法..... (133)
35. 低压电路自动断路器脱扣后的测量方法..... (137)
36. 怎样检查低压电路的漏电流? (139)
37. 直流电源装置发生故障怎样测量呢? (141)
38. 现场可立即制作的相序器和确定相序的方法..... (146)
39. 正确使用三相电度表——接线和测量方法 (149)
40. 用变换器巧妙地测量..... (153)
41. 半导体元件的简单检查法..... (155)
42. 在现场没有接地电阻计怎么办? (158)
43. 注意接地线的异常电压..... (160)
44. 振动、噪音的测量方法..... (163)
45. 绝缘油老化的判断方法..... (169)
46. 如何搞好仪器、仪表的管理工作? (173)
47. 购置仪表时的注意事项..... (175)
48. 安全工作上所必需的设备、防护用具及其使用方法..... (176)

附录一 电工仪表等级分类

——摘自GB 776-76 国家标准..... (180)

附录二 仪表校验规程

——摘自JJG 124-82 检定规程 (181)

第一部分 基本问题

1. 常用仪表的分类和特征

在电气仪表中有指针式仪表、数字式仪表、记录式仪表，在这些仪表中因为指针式仪表使用的机会最多，从而必须理解和掌握这种仪表的分类、原理、特征或特性。

〔1〕指示仪表的分类

指示仪表是把电气量变换成指针偏转量，并以此偏转量直接指示被测电气量大小的仪表。根据变换原理，指示仪表的分类如表 1.1 所示。近来变换器（交流电量变换成直流值的变换器，详见第 40 节）和动圈式仪表组合起来进行测量，被广泛地用来作配电盘或控制台仪表。表 1.1 所列的仪表虽然有逐步减少的趋势。但在已有设备中依然是经常使用的。

〔2〕基本仪表的特征

常用携带式或配电盘仪表。

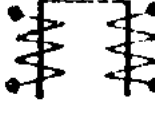
（1）动圈式

主要构成直流仪表。它本身的动作电流约数 mA ，在仪表中耗电量最小，因而灵敏度高所以精度也高。如与变换器组合可用来测量各种交流电量，与整流器组合在一起则被广泛用于测量交流电压、电流。

（2）动铁式

最常用作工频交流电压表、电流表，构造简单，坚固，但仪表消耗功率大。虽然原理上在直流下也能工作，可是因磁滞产生误差所以主要作为交流专用仪表，多数作成配电盘

表1.1 按动作原理分类表

种类	符 号	动作原理概要	使用电路	主要仪表
动圈式		永久磁铁产生的磁场和可动线圈的电流相互作用	直流	电流表、电压表、欧姆表
动铁式		作用于磁场内铁芯的电磁力	交流*	电流表、电压表
电动式		固定线圈和活动线圈电流之间的电磁力作用	交流 直流	电流表、电压表、功率表
整流式		整流器和动圈式仪表组合而成	交流 直流	电流表、电压表
热电式		热电偶和动圈式仪表组合而成	交流、直流 (高频)	电流表、电压表、功率表
静电式		在极板间产生的静电作用	交流 直流	电压表
感应式		交变磁通和金属板内涡流之间的相互作用	交流	电流表、电压表、功率表及电度表
振簧式		振簧的机械共振	交流	频率表
比率计式 动圈式		按动圈之间的电磁作用之比动作	直流	欧姆表、摇表
比率计式 动铁式		按作用于两个铁片上的电磁力之比动作	交流	功率因数表、频率表、同步指示器
比率计式 电动式		按两个电动线圈的电磁力之比动作	直流 交流	频率计、功率因数表、相位表

* 交流、直流两用，——译者注

式仪表*。可用到 1 kHz 左右的频率。

(3) 电动式

交、直流都能使用。也能进行精密测量的仪表。因为仪表的消耗功率大，受外界磁场影响大，所以测量大电流时误差大。主要作为功率表使用。可用到 20kHz 左右的频率。

(4) 整流式

利用整流器将交流变换成直流后，用动圈式仪表指示测量值。它灵敏度高，测量准确，刻度均匀，所以在交流仪表中，利用这种方式的仪表其灵敏度也最好。这种仪表指示平均值，因为刻度尺是按照正弦交流有效值刻度的，所以测量非正弦交流时产生波形误差。能在工频至 1000 Hz 范围内使用。

(5) 热电式

被测电流通过加热丝，利用此加热作用热电偶温度升高，由动圈式仪表指示被测量。在交流仪表中它能最准确地反映有效值。虽然过载能力差，由于加热丝的热容量使指示响应滞后以及测直流量时需改变极性求平均值等缺点，但频率特性好，在 100 MHz 以上也能使用。

(6) 感应式

结构牢固、价廉。大都不制成指针式仪表，而是用于工频电度表。

(7) 静电式

消耗功率极小，响应时间慢。能直接测量高电压，专作电压表用。

(8) 振簧式

专作频率计用。由于最近受变换器式仪表的影响，振簧

* 目前已大量制成精密仪表。——译者注

式处于逐渐减少的状态。

2. 工厂自用电气设备仪表、仪器有哪些呢？

工厂自用电气设备中所使用的仪表，由于用途的不同，需使用从精密的到普通的各种仪表，对仪表一般要求精度高、响应快、刻度醒目易读、结构牢固、管理容易、价格低廉等等，附属仪器也根据这些要求选定。用户使用的仪表按照用途可分类如下。

〔1〕仪 表 的 分 类

(1) 携带式仪表 准确度最高的仪表。由于对电流、电压及功率能进行精密测量，所以也可作为标准仪表校准其他仪表。此仪表为0.2级，需安置在固定场所使用。作为工厂企业内的标准仪表是理想的。

(2) 标准计量仪表 这是在现场能进行精密测量的仪表，其准确等级是0.5级或1.0级，有以下特点：

(a) 便于携带、易于保存、有外壳。(b) 刻度尺带有镜子，可防止视差。(c) 受外部磁场（电流互感器或大容量变压器、电机等）的影响很小。(d) 耐震动、冲击。(e) 附有温度补偿电路，受外部温度影响很小。

(3) 配电盘仪表 这是监视设备运行情况及进行电能管理的仪表。准确等级是1.5级或2.5级。根据不同使用要求配电盘上可安装各种仪表。从仪表工作原理来看，用到的仪表有动圈式、电动式、动铁式、整流式。它应有以下特点：

(a) 刻度尺长，有明亮的玻璃窗，即使从远处也容易读数，没有视差。(b) 受外部磁场或安装板、配电板的影响小。(c) 结构牢固而重量轻。(d) 使用温度范围：0~40℃。

(e) 测量电动机电流用仪表，针对负载的大小也可延长刻度尺等。

作为配电盘用的仪表，主要有以下几种。

(a) 直流电流表、电压表。

(b) 交流电流表、电压表。

(c) 功率表、最大需量功率表及电度表。

(d) 无功电度表。

(e) 功率因数表。

(f) 频率计、同步指示器。

(g) 功率变换器。

(h) 附属设备(电压互感器、电流互感器、分流器、电阻器等)。



携带式电压表

为了满足上述的各种要求, 仪表本身最近出现了如下的改进。

(1) 采用张丝式结构 仪表的可动部分迄今是由轴尖和轴承支持的, 所以有机械摩擦。与此相反, 把可动部分用两根金属丝和销子拉紧, 则完全消除了摩擦, 且灵敏度高。另外, 仪表受到冲击的情况下, 可动部分可能有较大的偏移, 为了不使张丝上受到异常的张力, 装有保护装置, 所以有耐冲击的特点。由于这个原因, 与携带式仪表相比, 配电盘仪表更宜采用这种方式。

(2) 变换器式 目前的电气仪表, 都是直接测量对应各种被测量(电流、电压、功率、功率因数、频率等)的仪表。而最近出现的方式是用变换器将被测交流量变换成直流量, 再用高灵敏度的动圈式仪表读出与被测量成比例的直流量。它具有如下特点:

(a) 指针式仪表采用可动线圈张丝支撑方式, 灵敏度

好，耐冲击，刻度均匀，读数容易。

(b) 不受外部磁场影响。

(c) 由于消耗电流小，从而减少了电压互感器、电流互感器等的次级负载，且可进行远距离监视。

(3) 广角度仪表 现在已成为配电盘式仪表的主角，指针偏转角度为 250° ，从远处也能正确而迅速地读出指示值，精度高。这种仪表也多采用张丝式、变换器式结构。

〔2〕仪 表 检 查

(1) 日常检查 这是每天按一定时间进行巡回检查的方法，因为是在设备运行中检查，靠眼看、耳听、嗅味及发热等对仪表外观或连接部分所做的简单检查。因此，只要注意负载电流或各相电压电流的平衡情况与正常相比有无异常就可以了。根据需要，事先制成检验表格，按照表格检查也行。特别是近来用户配电室已进入无人化，平时没有人，则更需要平时巡回检查，事先发现异常情况及时修理。

(2) 定期检查 结合设备的使用情况，一年或者三年必须定期地对仪表进行一次彻底的检查。必要时停电检查，才能进行彻底的内部检查，校验等。其主要检查方法如下：

①切断电源、校正仪表零点。指针不在零位，旋动调零螺丝校准。

②检查仪表的紧固螺丝、导线连接部分有无松动。

③用手指在调零螺丝附近轻轻地叩击几下，检查指针有无卡死现象，指针能否灵活摆动。

④重要的仪表应取下用标准仪表校验，校验工作委托仪表厂较好。假若只是简单地校正一点，在设备运行时把比被校验仪表精度高的仪表接入电路，比较两者的读数进行校正，误差在容许范围内就可以(参看第六节有关校验事项)。

取下仪表后的导线要做好记号，以便恢复原来的状况。

⑤把检查结果和仪表型号、铭牌、校验年、月、日，环境条件，校验数据等一起记录保存。

⑥检查分流器、倍率器、电阻器等有无损伤、断线及老化。

⑦用 500V 摇表测量绝缘电阻，对地电阻在 $2\text{ M}\Omega$ 以上即可。

此外，作为引起仪表失常的主要原因，必须对以下各点作为一般常识加以认识。

(a) 不动作的原因

(i) 线圈断线、绝缘不良。(ii) 外接电阻器、分流器、电压互感器及电流互感器等断线或失常。(iii) 机械方面的原因（线圈变形接触铁芯，游丝脱落，轴尖脱出宝石轴承座等）。(iv) 接线错误。

(b) 引起指示误差的原因

(i) 安装场地环境不良（温度、外界磁场、指示场所、安装方法不良等）。(ii) 铁配电盘的影响（将非铁配电盘用仪表装到铁配电盘上，或相反的情况）。(iii) 由附属设备引起的误差（电压互感器、电流互感器、分流器、倍率器及其他变换器的误差）。(iv) 永久磁铁老化。

3. 现场测量必备的仪表

现场测量必备的仪表，是依据设备的规模、种类以及管理形式不同而不同。还因检修是在本单位还是送检修工厂进行而异。但无论怎样电气技术工作者为维护设备正常检修，必须备有表 3.1 所列仪表、附属设备，并能运用自如。

4. 方便工作而备置的仪表

除上述仪表外，假若再有以下测量仪器仪表，可以进行较精密的测量，实现多目标测量，使测量工作合理化，能够

表 3.1

种 类	规格、测量范围	数 量	备 注
电流表	AC 1/5 A	3	0.5 级，单独使用或者和电流互感器配合使用测量电流
	AC 5/25 A	1	0.5 级主要单独使用
	DC 1/5 A	1	0.5 级单独使用
	DC 100 mA	1	0.5 级单独或和分流器配合使用
电压表	AC 150/300V	3	0.5 级单独或和电压互感器配合使用
	DC 150/300V	1	0.5 级
功率表	① 120/240 V	1	0.5 级，频率范围：DC及25~1000Hz
万用表	普通型（日本工业标准的 B 级）	每人一个	各种测量、检查、修理等都 用
接地电阻计	0~10~100~1000Ω	1	测量接地电阻（电池式、发电机式均可）
摇 表	低压用500V/100MΩ 高压用1000V/2000MΩ	各 1	测量绝缘电阻（电池式、发电机式均可）
钳式表	适用于测量负载	1	测量运行中的回路电流，确定电路的负载
电流互感器	10~1500A/5A， 15 VA	3	0.2 级，和电流表、功率表配合使用
电压互感器	② 220V~3300V/6600V /110V 15VA	3	0.2 级，和电压表、功率表配合使用
分流器	③ 额定电压降50mV 或60 mV	1	0.2 级，和直流电流表配合使用
倍率器	电流 1 mA	1	0.2 级，和直流电压表配合使用
自耦变压器	220V，5~20A	2	连续调整电压、电流用

续表

种 类	规格, 测量范围	数 量	备 注
频率计 数器	110 V/220 V 20~80 Hz	1	测量继电器的动作时间、 可动时间
同步指示器	110 V/220 V	1	决定同步, 相序
可变电阻器	0.1/0.2 A, 2/4 A	2	调整电压、电流
携带式 记录仪	电压、电流、功率用	各 1 台	监视连续变化量

①一般国产功率表规格为 5/10A, 150/300/600V;

②国产电压互感器副端电压通常为100V;

③国产分流器额定电压降为45mV, 75mV。

得到可靠性高的数据等等。但是添置价格高的仪器仪表时要慎重, 最好根据测量的目的, 用途以及仪器性能等综合考虑。

用于维护保养的便携式仪器仪表:

(1) 直流电压电流表 0.5 级, 附有倍率器及 50mV 分流器 (带分流器导线), 仅有一个仪表就能够测量电压和电流, 所以使用起来很方便。

(2) 小型便携式电压表 1.0 级, 因为小型便于携带, 所以带到现场使用简便。与 1.5 级相比, 测量值要准确。有交流用和直流用两种。

(3) 三相功率因数表 1/5 A, 120V, 能够测量运行中的电路功率因数、瞬时值。用于功率的合理化、电压变动率、电压降落率、无功功率等管理工作。

(4) 蓄电池用电压表为 1.5 级, $-3V \sim 0 \sim +3V$, 用

于测量每个蓄电池的电压。测量时不需要调换测试棒的极性，电压表水平或垂直放置都可以。

(5) 钳形记录式电流表 钳形电流表虽然使用方便，但不能显示运行中的电流瞬时值。为了观察电流的连续变化情况钳形电流表附加记录仪，构成钳形记录式电流表。

(6) 检流计 用于直流电桥、直流电位差计的平衡检测。另外，也用在偏转法的高阻测量中。

(7) 电子管毫伏表 因为其输入阻抗大，所以能忽略阻抗的影响进行精密地测量。

(8) 漏电流表 用于测量因低压电器或输电线的绝缘老化或破损处产生的漏电流以防止人体触电，用以检查绝缘破损位置，设定漏电断路器的电流。由于它象兆欧表一样可以不必切断电路进行测量，所以使用方便。

(9) 钳形（测量直流及大电流用）电流表 和一般的钳形电流表使用方法相同，也能测量交流大电流及直流电流。

(10) 具有多功能的测量仪器 如第10节中所指出的，同一台仪器能够进行多目标测量。然而精度、测量范围必需根据测量目的来选用。

5. 怎样使用仪器仪表

〔1〕仪表的特性

为正确地使用仪表，必须先仔细地理解各种仪表的性能、用法，符号表示。要认真阅读说明书以后再使用。

(a) 仪表的误差和等级 用仪表测量各种物理量时，由于各种原因产生误差是不可避免的。在此情况下，把仪表误差范围叫做容许误差。对应于不同误差范围根据日本工业标准分成五个等级，并示于表5.1*。

* 我国标准见附录1。——译者注

这种情况下，所用各种仪表容许误差的百分数如下计算。

取电流表、电压表、功率表及无功功率表的最大刻度值为基准，用误差相对于这个基准值的百分率表示之。

$$\text{容许误差} = \frac{\text{误差}}{\text{最大刻度值}} \times 100\%$$

因此，容许误差值越小，仪表性能越好。例如，用最大刻度为300V、0.5级的交流电压表，假定测得的电压为210V，那么容许误差是 $300 \times (\pm 0.5\%) = \pm 1.5\text{V}$ ，即容许到 $\pm 1.5\text{V}$ ，测定值在 $210 \pm 1.5\text{V}$ 的范围之内。

虽然在300V范围内的任意刻度上使用都是允许的，但应尽量在高刻度处使用，这样可以减少误差。一般最好在整個刻度的2/3处使用。另外，因为相位表、功率因数表、无功功率表按等级分类困难，所以按用途分类。如配电盘用的上述仪表，以相位角 $\pm 4^\circ$ 为容许误差，振动式频率计指示值的1%为容许误差。

表5.1 仪表的容许误差

等 级	容许误差 (%)	主 要 用 途
0.2级	± 0.2	精度最高，用作标准器及对其他仪表的校验
0.5级	± 0.5	能进行精密测量，多为便携式（附有镜子）仪表，用于工业企业中
1.0级	± 1.0	与上同，也是精密级仪表
1.5级	± 1.5	用于工业一般测量
2.5级	± 2.5	用于不太注重准确度的地方，多用于配电盘上

(b) 根据使用电路和安装位置的分类及符号（表5.2）