



现场电气控制技术

现场电气测试 速学速用

黄海平 编

现场电气控制技术

现场电气测试速学速用

黄海平 编

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书共分为4章,全面系统地介绍了现场电气测试的基本技术及操作方法,内容包括实际测试的基本技术、电气设备的测量技术、与环境有关的测试技术、电气设备的测试技术。书中配有大量符合现场实际情况的插图,生动详细地讲解了电气测试的原理与操作方法,并附有实际数据供读者参考。

本书内容丰富、配图翔实、实用性强,既可作为工科院校电子、电工及相关专业师生的参考用书,也可作为现场技术人员的技术手册。

图书在版编目(CIP)数据

现场电气测试速学速用/黄海平编. —北京:科学出版社,2009
(现场电气控制技术)

ISBN 978-7-03-024360-7

I. 现… II. 黄… III. 电气测量 IV. TM93

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第052426号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年6月第 一 版 开本:A5(890×1240)

2009年6月第一次印刷 印张:8 1/4

印数:1—5 000 字数:262 000

定 价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

目前,现场电气测试越来越向着测量仪器小型化、轻便化、数字化,测量系统自动化、多功能化的方向发展。测量仪器本身要求能够进行自校正,测量结果要求可以及时显示,并能够以曲线、图形、表格等直观的形式表现出来。

人们在电气施工现场会经常面临各种电气设备的运行、维护及故障排除等问题。为了更好地进行电气施工,防止发生电气事故,施工人员必须进行快速的、高精度的电气测试。不仅仅是现场操作的电气技术人员需要掌握电气测试技术,工程技术人员、施工管理人员也必须充分认识电气测试操作的重要性。

电气测试技术不仅仅是认识电气设备运行状态的手段,也是管理和维护电气设备及施工环境的重要方法。

本书介绍了多种电气测量仪器和测试设备,详细讲解了电气设备现场测量及测试技术,并配有大量符合现场实际情况的图片,使读者能够快速掌握现场电气测试的基本原理和具体操作方法。

本书既可作为工科院校电子、电工及相关专业师生的参考用书,也可作为现场技术人员的技术手册。

本书在改编过程中得到了科学出版社科龙公司编辑们的大力支持和指导,在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2009年4月于山东威海

电气设备的文字符号

分类	文字符号	文字符号的说明	
各种开关及断路器	AS	Ammeter Change-over Switch	电流表转换开关
	CB	Circuit Breaker	断路器
	DS	Disconnecting Switch	隔离开关
	F	Fuse	熔断器
	GIS	Gass Insulated Switch	气体开关
	LBS	AC Load Break Switch	高压交流负荷开关
	MBB	Magnetic Blow-out Circuit Breaker	磁断路器
	MC	Electromagnetic Contactor	电磁接触器
	MCCB	Molded Case Circuit Breaker	配线用断路器
	OCB	Oil Circuit Breaker	油断路器
	VCB	Vacuum Circuit Breaker	真空断路器
	VS	Voltmeter Change-over Switch	电压表切换开关
	PC	Primary Cut out Switch	高压开关
	PF	Power Fuse	电力熔断器
	S	Switch	开关
保护继电器	DFR	Differential Relay	比例差动继电器
	DGR	Directional Ground Relay	对地短路方向继电器
	GR	Ground Relay	对地短路继电器
	OCR	Over-current Relay	过电流继电器
	OVR	Over-voltage Relay	过电压继电器
	UVR	Under-voltage Relay	欠电压继电器
变压器、互感器	CT	Current Transformer	电流互感器
	GC	Grounding Capacitor (Condenser)	接地电容器
	EVT	Earthing Voltage Transformer	接地式电压互感器
	VCT	Combined Voltage and Current Transformer	仪表用电压、电流互感器
	VT	Voltage Transformer	电压互感器
	T	Transformer	变压器
	ZCT	Zero Phase-sequence Current Transformer	零相变压器
	SR	Series Reactor	串联电抗器
仪表	A	Ammeter	电流表
	V	Voltmeter	电压表
	PF	Power-factor Meter	功率因数表
	W	Wattmeter	功率表
	Wh	Watt-hour Meter	电度表

续表

分类	文字符号	文字符号的说明	
其他	SC	High Voltage Static Capacitor (Condenser)	高压进相电容器
	CH	Cable Head	电缆头
	E	Earthing	接地
	LA	Lightning Arrester	避雷器
	THR	Thermal Relay	热继电器
	TT	Testing Terminal	测试端子

各种简称或缩写

简称	简称的说明	
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor	互补型金属氧化物半导体
CRT	Cathode-ray tube	阴极射线管
DMM	Digital Multi Meter	数字万用表
ISO	International Organization for Standardization	国际标准化组织
NEMA	National Electrical Manufactureis Association	(美国)全国电气制造商协会
OP Coil	Operating Coil	操作线圈
POBox	Post-office pattern resistance box	邮筒式电阻箱
TC	Trip Coil	脱扣线圈
TTL	Transistor Transistor Logic Circuit	晶体管-晶体管逻辑电路

目 录

1 实际测试的基本技术

1.1	实际测试的基础知识	2
1.2	配电设备的测量及试验	5
1.3	万用表	7
1.4	静电电位的测量	22
1.5	用惠斯登电桥测量电阻	25
1.6	高压电路中电压及电流的测量	29
1.7	高电压测量	34
1.8	功率因数的测量	41
1.9	线路中交流电流的测量	44
1.10	功率的测量	47
1.11	相位的测量	53
1.12	三相电路的相序测量	59
1.13	电气设备的温度测量	63
1.14	电动机的转速测量	67
1.15	配电设备及机器试验时间的测量	70
1.16	示波器	74
1.17	信号波形的测量	91
1.18	电压、电流波形的测量及记录方法	104
1.19	光缆布线施工的测量	112

2 电气设备的测量技术

2.1	接地电阻的测量	126
2.2	大地电阻率的测量	129
2.3	绝缘电阻的测量	133
2.4	过电流继电器的动作试验	138
2.5	电压继电器的动作试验	142

目 录

2.6	静止型保护继电器的动作试验	147
2.7	对地短路方向继电装置的动作试验	150
2.8	高压对地短路继电装置的动作试验	154
2.9	接地方向继电器的动作试验	159
2.10	缺相及逆相保护继电器的动作试验	163
2.11	比例差动继电器的动作试验	166
2.12	漏电火灾报警器的动作试验	170
2.13	电气设备的绝缘耐压试验	174
2.14	顺序控制电路的检查方法	178
2.15	高次谐波的测量	181
2.16	逆功率继电器的试验	187

3 与环境有关的测试技术

3.1	平均照度的测量	196
3.2	噪声的测量	199
3.3	氧浓度的测量	202
3.4	异常振动的诊断与测量	206
3.5	水电导率的测量	209
3.6	排烟设备的性能测试	213
3.7	雷电云电位的测量	216

4 电气设备的测试技术

4.1	直流电动机的测试	220
4.2	波阻抗的测定	224
4.3	蓄电池电解液的比重测定	227
4.4	电容性能的判断	234
4.5	真空断路器的真空度测定	237
4.6	变压器层间短路的检测	240
4.7	电气绝缘油破坏电压的测定	243
4.8	电气绝缘油的酸价测定	247
4.9	电气绝缘油中的电晕测定	250

参考文献	255
------------	-----

1

实际测试的 基本技术

本章介绍实际测试的基础知识。首先是测量及试验的安全以及对测量数据的处理方法；然后介绍从事电气工程施工所必备的万用表；最后讲解电阻、电压、电流、相位差、功率因数、功率、相序等与电有关的物理量的具体测量方法。

此外，本章还介绍如何监视温度，这是对电气设备及机器的运行进行管理的重要事项，其中包括示波器及波形记录仪的使用方法。

测试工作的基本内容是保证测量仪器的精度，因此对测量仪器定期进行校准是非常重要的，以此来保证测量值的可靠性。

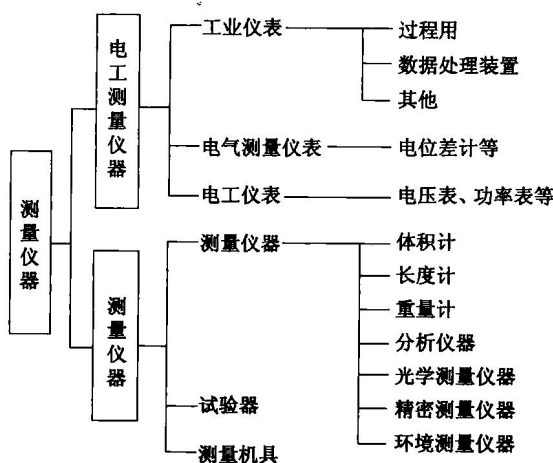
实际测试的基础知识

1. 测量仪器的分类

测量本身并不是目的,而是为达到某种目的所采用的一种手段。测量技术与传感器技术相结合,是支持科学技术及产业发展的重要力量。

表 1.1 列出测量仪器的分类。

表 1.1 测量仪器的分类



2. 误差、修正、容许偏差

(1) 误差

测量的关键是能够迅速而且安全地得到正确的测量值。假设测量值为 M , 实际值为 T , 误差为 E , 则

$$E = M - T$$

相对误差 ϵ 为

$$\epsilon = [(M - T) / T] \times 100(\%)$$

误差小当然好, 但超过实际需要时往往失去意义, 重要的是如何评价

误差,不应只关注误差的大小,用相对误差表示则更容易了解测量对象的实际状态。

人们有时把测量的准确度(实际值与测量值的平均值之差叫做偏差,偏差小表示准确度好)与精密密度(多次测量值的分散程度小,表示精密密度好)区别使用,但很多场合并不分开,混合使用时都叫做精度。仪表本身的误差叫做仪表误差。

(2) 校 准

假定校准量为 C ,则

$$C = T - M$$

设相对校准率为 α ,则

$$T = M [1 + (\alpha/100)]$$

式中, $\alpha = [(T - M) / M] \times 100$ 。要用此式求实际值时,应将测量值修正 $\alpha(\%)$ 再使用。

(3) 允许误差

允许误差也称为仪表的精度,即允许误差的范围,用百分数表示。例如,0.2 级的仪表的允许误差是 $\pm 0.2\%$ 。

3. 选用仪表的依据

一般测量时使用 1.5 级或 2.5 级的仪表,精密测量且用携带式仪表测量时则用 0.2 级或 1.0 级。现场测量仪表的选用依据见表 1.2。

表 1.2 选用测量仪表的依据

直流 测量	电流表	• $3\mu\text{A} \sim 10\,000\text{A}$(全量程,下同) 10A 或 30A 以上外加分流器 • 端电压降 50mV 30mV$\sim$3000V(数千伏以下)
	电压表	• 300V 或 1000V 以上外加倍率器 电流灵敏度为 1mA • 需要低功耗时选用电子电压表 数千伏以上用静电电压表或电子电压表
交流 测量	电流表 及 电压表	• 工频大电流,不计仪表本身功耗($\text{V} \cdot \text{A}$)时 电磁式可用于 400Hz 左右 超过量程需加用电压互感器、电流互感器 电压互感器消耗 $3 \sim 4\text{V} \cdot \text{A}$, 电流互感器消耗 $0.2 \sim 2\text{V} \cdot \text{A}$, 需校准 • 测量高频选用热电式 指示有效值,要注意过电流 • 音频小电流及一般电压测量选用整流式 $0.5 \sim 250\text{mA}$, $3 \sim 300\text{V} \sim 1000\text{V}$ 电压表内阻 $1\text{k}\Omega/\text{V}$ • 测量低电压或要求高输入阻抗时选用电子电压表 • 测量不允许断路的电流使用钳形电流表,架空线用装入式电流表

交流 测 量	功率表	测量工频选用电动式,或变频器与磁电式组合;测量高频时用电子功率表
	电度表	测量工频选用感应式
	频率表	高频用振动片型,用变频器与磁电式组合;电子计数式
	功率因数表	变频器与磁电式组合

4. 测量目的及注意事项

要明确测量的目的,例如,是否符合有关法规;是否满足商业交易条件;是否满足规格及标准要求;是否掌握折旧或老化情况;是否只考虑了某一标准等。

有关测量的注意事项如图 1.1 所示。



图 1.1 测量注意事项示例

1.2

配电设备的测量及试验

配电设备的测量及试验主要检查设备是否可以通电,可以定期检查,也可以在希望定量掌握用电状况时进行。

1. 试验及测量的准备

(1) 设施内容

① 设施及设备的规格。了解用电设备的额定容量、工作电流、运行时的机械及电气状态、工作原理、形状尺寸、负荷的用途、负荷容许的停电时间以及停电对生产工作的影响程度。

② 理解电气布线图,机器的动作与控制关系图。

③ 了解保护装置的种类、功能、动作值、动作时间、动作顺序、动作的原动力等。

④ 准备好现有设备以前的测试记录及结果。

⑤ 调查应接地的机器,接地线的截面,接地极的埋设地点与施工方法。

(2) 试验装置及试验用的机器

要确认试验装置的额定数据是否能适应试验时产生的电压或电流,以及容量($\text{kV} \cdot \text{A}$)和额定时间等。还要知道仪表的精度等级和误差,确定能得到所需精度的测定值。

(3) 试验装置的性能和构造

了解试验装置的性能有以下好处。

① 防止接错线路。

② 试验时试验装置发生故障,应急处理后试验可以继续进行的。

③ 应用范围广。

④ 机器有损伤或端子有损坏时能尽快修理好。

2. 实施试验的注意事项

实施试验或测量时,应以人身安全为第一要素。实施试验时应注意以下几点。

1 实际测试的基本技术

① 明确责任者。确定实施试验的责任者,让所有人员知道某一人是作业指挥者。按照协商好的顺序进行试验,每一个动作确认后再进入下一步作业。

② 试验区域建立危险标志,禁止进入。对参试人员与无关人员要分别通知,严格遵守。

③ 严格遵守防护用具、保护用具的使用准则。要确认安全用具无异常,所有参试人员都能熟练使用。

④ 绝缘耐压试验时严禁烟火。注意带电的机器有无发烟、异臭、异常声音等现象,并注意仪表指示的变化等。

⑤ 测量值的检查,包括确定试验基准值、观察多量程刻度、判断有无波形误差等。

试验开始前的注意事项如图 1.2 所示。图 1.3 所示是高压配电设备的试验及测量示例。

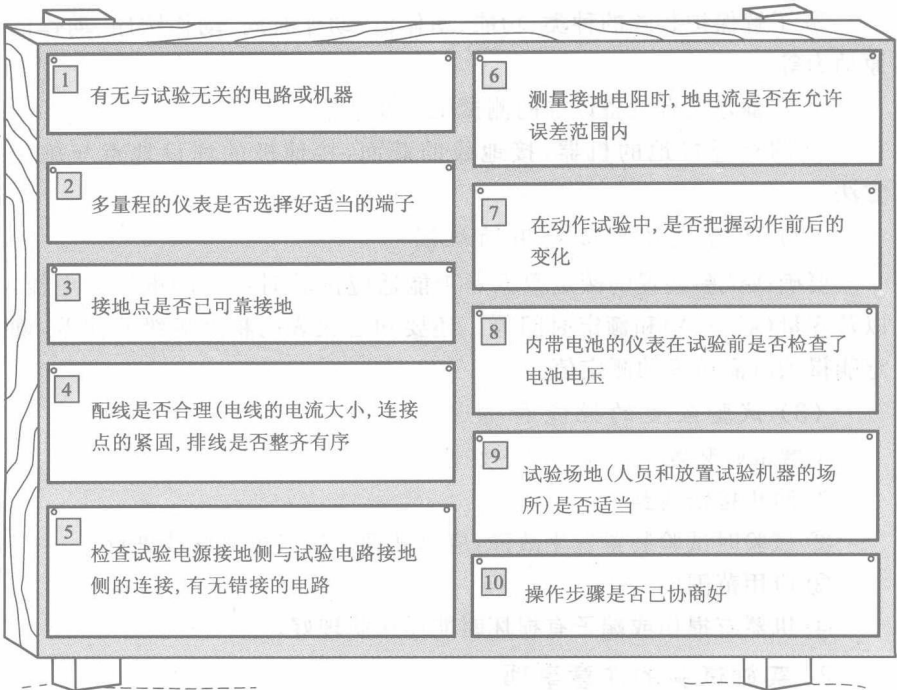


图 1.2 现场试验前的注意事项

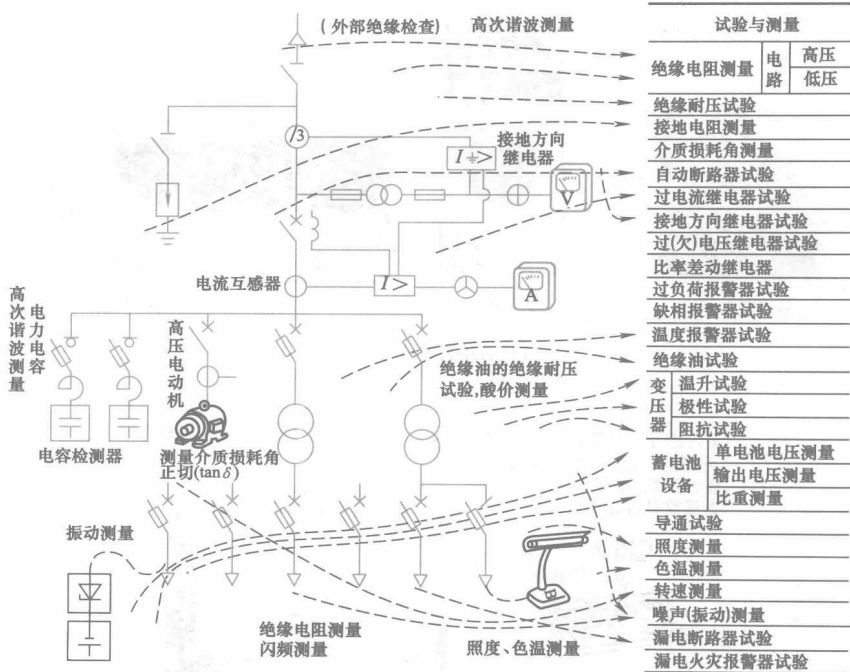


图 1.3 高压配电设备的试验及测量示例

1.3

万用表

万用表也叫万能表或多功能表,是小型、轻便的现场测量仪表,用于电机或电气装置的调整、试验、修理、维护以及电路的检查等。万用表的种类及外形如图 1.4 所示。

1. 使用万用表的注意事项

(1) 零位调整

测量前先确认指针指向刻度表的 0 处。偏离 0 位时可旋转 0 位调节螺钉使指针指 0。

1 实际测试的基本技术



(a) 万用表的种类

●有的万用表带有低频信号输出，可测量电容、电感、温度、晶体管的参数。还有蜂鸣器，便于检查线路是否导通。



零欧姆调整器，也有写作 Ω ADJ或OHMADJ字样

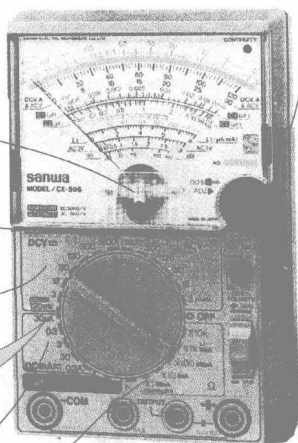
ACV是测量交流电压的量程

DCV是测量直流电压的量程

有了DC10V以下的量程，测量半导体元件时很方便

DCmA量测量直流电流的

Ω 挡测量电阻，也可写作OHMS



(b) 万用表的外形

图 1.4 万用表

(2) 选择测量范围

不能预测测量值的大小时，从最大量程开始逐步切换到小量程。选择指针摆动在满刻度的 $1/3$ 以上的量程使用。

(3) 表笔的连接

红色表笔接在测量端子的正极($\oplus$)，黑色表笔接在测量端子的负极

(⊖)。测量时手不要接触表笔的金属端,否则会触电或造成误差。

(4) 读取指示值

将万用表平放,在指针的正上方读取数据。指针与刻度盘之间存在 $1\sim 1.5\text{mm}$ 的间隙。有的万用表刻度盘带有镜子,读数时要使实际指针与镜子中看到的指针重合,以防止出现读数视差。

(5) 量程的切换

应在表笔脱离电路后再切换量程,否则可能会损坏切换开关。此外,如果万用表与被测电路连接时就切断被测电路的电源,有时会因电感的作用使万用表损坏。

(6) 测量高电压

使用高压探头可以测量 10kV 或 30kV 的直流电压,但这是弱电用万用表,不能误用在被测电压大于交流电压量程的电路。如果错用会造成万用表损坏。

(7) 防止振动与冲击

万用表使用后将切换开关置于OFF位置,没有OFF量程的可以转到电流挡,并且把测量端子短接,使表头线圈有制动作用。

(8) 避免阳光直射、高温及潮湿

高温会使电阻或整流器老化,潮湿会造成万用表漏电。

(9) 防止强磁场

为防止万用表在测量时出现误差,务必注意不要将万用表放在金属工作台上测量,以免测量时出现误差。

(10) 其 他

保管及维护万用表要用柔软的干布擦拭。有的万用表指针的外壳有防止带电处理,如果用湿布擦或溅上水就会降低测量效果。

2. 万用表的允许误差及平衡情况

万用表的允许误差示于表1.3,观察仪表指针的平衡情况可按图1.5所示改变表身方向即可。

3. 模拟式万用表与数字式万用表的比较

(1) 输入电阻的比较

计算器的太阳能电池在 100 lx (勒[克斯])的照度下大约能发电 $200\mu\text{W}$ 。在该照度的状态下,电池的电动势为多少呢?用模拟式万用表