

曾毓德 郑云辉 朱里仁 编

电力设备试验

中国铁道出版社

390250

电力设备试验

曾毓德 郑云辉 朱里仁编



中国铁道出版社

1996年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

全书共分十一章,包括电工仪表和仪器的使用、保养、检验、调整,以及各种电力设备的试验方法。为适应电力设备试验工作的需要,对当前在电力系统上广泛采用的新技术、新设备、新产品和在电力试验工作上应用的新的试验方法及仪器、设备等做了介绍。全书将给读者以电力设备试验工作较为完整的概念,从而为保证设备的安全运行及可靠供电建立起坚实的基础。

本书除适应铁路电力部门工作需要外,也适用于其它企业电力试验及检修人员工作需要。



曾毓德 郑云辉 朱里仁编

中国铁道出版社出版发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 孙燕澄 封面设计 薛小卉

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印刷

开本:787×1092毫米 1/32 印张:16.875 字数:376千

1996年7月 第1版 第1次印刷

印数:1—4000册

ISBN7-113-02257-X/TM·53 定价:19.40元

前 言

“铁路电力设备的试验”一书出版已近 20 年,在这近 20 年的时间里,随着国家社会主义现代化建设的飞速发展,铁路系统的电力部门也得到很大的发展。与此同时,铁路系统的电力试验工作也取得了非常显著的进步与发展。各个铁路局都先后建立、健全了电力试验机构,配备了专业试验人员,充实了试验设备、仪表,完善了试验手段。各个水电段也建立了相应的试验组织,局和段划分了职权范围,实现了两级管理。通过各级试验机构的努力和全体试验人员的辛勤工作,使电力试验工作逐步走上了科学化、规范化、标准化的轨道。由于试验工作的加强,使其在保证可靠供电和设备人身安全方面都起到了越来越明显的作用。

铁路运输的发展和现代化进程的加快,对电力供应的可靠性提出了更高的要求。为此,电力部门在不断革新技术、加强管理的同时,引进和采用了许多新技术、新设备、新材料、新工艺,这又给电力试验工作提出了新的课题,电力试验工作的担子也就更加繁重了。所以,电力试验人员的队伍必然要逐步扩大,大批立志于电力试验工作的青年技术人员和工人不断加入到电力试验工作队伍中来。为了帮助新参加试验工作的人员尽快掌握电力试验技术,我们决定对该书修订再版。

在修订后的书中,我们保留了原书中的部分内容,并且根据近些年试验工作的实际需要,补充了一些新的内容和试验方法。例如,补充了利用开口三角形接线变压器做三倍频耐压

试验的方法;用光电测速、转数测速的方法测试少油断路器的特性;用气相色谱法测试绝缘油的特性;电缆故障测试的方法;新型继电器和晶体管继电保护装置的试验方法等等。我们还补充了有关搞好电力试验工作的管理和质量、安全保障措施等内容。

由于本书所介绍的是电力部门通用的试验方法,它不仅适用于铁路系统,同时也因为书中介绍的不仅有电力设备,还包括了各种仪表、材料、元件及整套装置的试验方法,所以修订后再版的书名改为“电力设备试验”。

本书的第一、二、三、四、五章由曾毓德编写,第六、九、十、十一章由朱里仁编写,第七、八章由郑云辉编写,最后由曾毓德审定。

本书在修订过程中,得到了陈学明同志的指导,并且得到了上海和沈阳铁路局电力试验所的大力支持,在此一并表示由衷的感谢。同时也对在编写本书时引用的各种资料的编写者表示谢意。

由于我们的水平和经验有限,书中肯定会有错误和缺点,恳请读者提出批评、指正。

编 者

1995 年 10 月

目 录

第一章 电工仪表、仪器的使用与保养	1
第一节 电工仪表的分类	1
第二节 电工仪表的标志符号	2
第三节 常用电工仪表的特性比较	6
第四节 电工仪表的选择、使用与维护	7
第五节 电 桥	12
第六节 其它常用仪器	14
第二章 高压绝缘试验	22
第一节 绝缘电阻试验	22
第二节 泄漏电流和直流耐压试验	25
第三节 介质损失角试验	33
第四节 工频耐压试验	41
第三章 变压器试验	52
第一节 绝缘电阻和吸收比试验	52
第二节 介质损失角试验	55
第三节 变压比试验	58
第四节 直流电阻试验	65
第五节 线圈连接组和极性试验	75
第六节 工频耐压试验	85
第七节 感应耐压试验	86
第八节 空载试验	91
第九节 短路试验	102

第十节 温升试验·····	111
第十一节 油箱密封试验·····	122
第十二节 有载调压变压器及其开关试验·····	123
第四章 电机试验 ·····	130
第一节 发电机绝缘试验·····	130
第二节 发电机定子绕组直流电阻的测量·····	135
第三节 发电机的特性试验·····	138
第四节 发电机的温升试验·····	146
第五节 励磁机试验·····	157
第六节 感应电动机的试验·····	164
第五章 变配电设备的试验 ·····	175
第一节 电压互感器·····	175
第二节 电流互感器·····	179
第三节 少油断路器·····	186
第四节 真空断路器·····	196
第五节 隔离开关·····	200
第六节 高压套管及高压绝缘子·····	201
第七节 母 线·····	203
第八节 避 雷 器·····	204
第九节 电 容 器·····	208
第十节 绝 缘 油·····	211
第十一节 低压电器·····	218
第十二节 操作电源·····	224
第十三节 接地装置·····	228
第六章 电力线路及电缆的试验 ·····	234
第一节 电力电缆的试验·····	234
第二节 电力电缆的故障检测·····	239

第三节	电线路参数的测试·····	264
第四节	电力线路故障的检测·····	274
第五节	测量相序与定相·····	280
第六节	导线接头试验·····	284
第七节	电网谐波的测量·····	285
第八节	铁路自闭低压电源切换装置的试验·····	288
第七章	继电器的检验与调整·····	292
第一节	GL-10 系列电流继电器·····	292
第二节	DL-10 系列电流继电器和 DJ-100 系列 电压继电器·····	297
第三节	DL-20C、DL-30、DY-20C、DY-20D、 DY-30 系列电流、电压继电器·····	305
第四节	功率方向继电器·····	307
第五节	同步检查继电器·····	331
第六节	差动保护继电器·····	342
第七节	DS-100、DS-120 系列时间继电器·····	372
第八节	DS-20A、DS-30 系列时间继电器·····	376
第九节	重合闸装置·····	380
第十节	DZ-10、DZB-100、DZS-100、ZJ1~3、YZJ 系列中间继电器·····	387
第十一节	信号继电器·····	400
第十二节	DX-9 型闪光继电器·····	407
第十三节	冲击继电器·····	408
第十四节	电压回路断相闭锁继电器·····	415
第十五节	HY-10 系列极化继电器·····	422
第十六节	QJ ₁ -50 型、QJ ₁ -80 型气体继电器·····	434
第十七节	半导体继电保护装置的检验·····	439

第十八节 继电保护装置整组动作试验.....	447
第八章 电气指示仪表的检验.....	451
第一节 检验仪表的一般规定.....	451
第二节 仪表的误差.....	452
第三节 指示仪表的检验.....	454
第四节 现场检验.....	463
第九章 电度(能)表的检验与调整.....	465
第一节 电度表检验的一般规定.....	465
第二节 电度表常用检验方法.....	467
第三节 电度表的基本调整方法.....	474
第四节 单相电度表的检验及调整.....	480
第五节 三相有功电度表的检验与调整.....	482
第六节 三相无功电度表的检验与调整.....	486
第七节 电度表的现场试验.....	492
第十章 安全工具及其它试验.....	503
第一节 安全工具的试验.....	503
第二节 漏电保护器的试验.....	506
第三节 照度测量.....	510
第十一章 电力试验的管理.....	513
第一节 电力试验的安全管理.....	513
第二节 电力试验的质量管理.....	519

第一章 电工仪表、仪器的使用与保养

第一节 电工仪表的分类

电工仪表的种类很多,分类的方法也很多。了解仪表的分类,有助于我们掌握它们的特性,便于在试验工作中选择合适的仪表,并且做到正确、合理的使用它们。

下面介绍常见的仪表分类方法:

一、根据仪表的工作原理可分为磁电系、电磁系、电动系、铁磁电动系、感应系、整流系、静电系、电子系、极化系、振簧系、热电系、热线系、双金属系、磁感应系、动磁系等 15 种。

二、按仪表准确度可分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 及 5.0 七级。

三、根据仪表的使用条件可分为三组

A 组:供在较温暖的室内使用,工作环境温度为 $0 \sim +50^{\circ}\text{C}$;

B 组:供在不具备取暖设备的室内使用,工作环境温度为 $-20 \sim +50^{\circ}\text{C}$;

C 组:供在不固定地区的室内和室外使用,工作环境温度为 $-40 \sim +60^{\circ}\text{C}$,例如流动性设备、船舰和飞机上等。

四、根据仪表外壳的防护性能可分为普通式、防尘式、防溅式、防水式、水密式、气密式和隔爆式等七种。

五、根据仪表防御外磁场和外电场的能力可分为 I、II、III、IV 四等。

六、按仪表的使用方式可分为开关板式和可携式两种。

七、按标度尺上零位的位置可分为单向标度尺仪表、双向标度尺仪表和无零位仪表。

八、按标度尺特性可分为均匀标度尺仪表和不均匀标度尺仪表。

九、按可动部分支承方式可分为轴尖轴承式、张丝式和吊丝式三种。

十、按仪表的外形尺寸可分为微形、小形、中形、大形和巨形五种。

十一、按仪表耐受机械力作用的性能可分为普通的和能耐受机械力作用的两种。

十二、按仪表读数装置的结构形式可分为指针式、光指示器式、振簧式和数字显示式。

十三、按仪表的用途和测量对象可分为电流表、电压表、功率表、无功功率表、功率因数表、频率表、相位表、有功电度表、无功电度表等。按用途和测量对象划分时还应区分交流表和直流表。

还有一种可携式仪表——万用表，它能测量多种电参数。

第二节 电工仪表的标志符号

每只电工仪表的表盘上都有一些标志符号，用来表示该仪表的基本特性。只有了解各种标志符号所代表的含义，才能正确的选择和使用电工仪表。

常见的电工仪表标志符号及其所代表的意义列于表 1—1。

常用电工仪表和附件的符号

表 1 1

一、测量单位的名称及符号		名 称	符 号
名 称	符号	太 欧	$T\Omega$
千 安	kA	兆 欧	$M\Omega$
安	A	千 欧	$k\Omega$
毫 安	mA	欧	Ω
微 安	μA	毫 欧	$m\Omega$
千 伏	kV	微 欧	$\mu\Omega$
伏	V	相 位 角	φ
毫 伏	mV	功 率 因 数	$\cos\varphi$
微 伏	μV	无功功率因数	$\sin\varphi$
兆 瓦	MW	库 伦	C
千 瓦	kW	毫 韦 伯	mWb
瓦	W	毫 韦 伯 / 米 ²	mT
兆 乏	Mvar	微 法	μF
千 乏	kvar	皮 法	pF
乏	var	亨	H
兆 赫	MHz	毫 亨	mH
千 赫	kHz	微 亨	μH
赫	Hz	摄 氏 温 度	$^{\circ}C$

续上表

二、仪表工作原理的图型符号		名 称	符 号
名 称	符 号	整流系仪表 (带半导体整流器和磁电系测量机构)	
磁电系仪表		热敏系仪表	
磁电系比率计		极化电磁系仪表	
电磁系仪表		双金属系仪表	
电磁系比率计		三、电流种类的符号	
电动系仪表		名 称	符 号
电动系比率计		直 流	—
铁磁电动系仪表		交流 (单相)	~
铁磁电动系比率计		直流和交流	— / ~
感应系仪表		具有单元件的三相平衡负载交流	~ / ~ / ~
感应系比率计		四、准确度等级的符号	
静电系仪表		名 称	符 号
振簧系仪表		以标度尺量限百分数表示的准确度等级, 如1.5级	1.5
热电系仪表 (带接触式热变换器和磁电系测量机构)		以标度尺长度百分数表示的准确度等级, 如1.5级	1.5

续上表

名 称	符 号	名 称	符 号
以指示值百分数表示的准确度等级, 如1.5级		接地用端钮	
五、工作位置的符号		与外壳相连接端钮	
名 称	符 号	与屏蔽相连接的端钮	
标度尺位置为垂直的		调 零 器	
标度尺位置为水平的		八、按外界条件分组符号	
标度尺位置与水平面倾斜成一角度, 如60°		名 称	符 号
六、绝缘强度的符号		I级防外磁场 (如磁电系)	
名 称	符 号	I级防外电场 (如静电系)	
不进行绝缘强度试验		II级防外磁场及电场	
绝缘强度试验电压500V		III级防外磁场及电场	
绝缘强度试验电压为2000V		IV级防外磁场及电场	
七、端钮、调零器的符号		A组仪表	(不标注)
名 称	符 号	B组仪表	
负 端 钮	—	C组仪表	
正 端 钮	+		
公共端钮 (多量限仪表和复用表)	✱		

第三节 常用电工仪表的特性比较

一、磁电系仪表

磁电系仪表是利用永久磁铁的磁场与载流线圈相互作用的原理制成的。其结构特点是具有固定的永久磁铁和活动的线圈(动圈式)或者是具有固定的线圈和活动的永久磁钢。它的优点是:准确度高(可达 0.1 级);灵敏度高;功率消耗小;受外磁场影响小和刻度均匀。缺点是:结构复杂,成本高;如不加变换器只能测量直流,并且过载能力小。

二、电磁系仪表

电磁系仪表是利用动铁片与固定的载流线圈之间或与彼此线圈磁化的静铁片之间的相互作用的原理制成的。它的主要优点是:结构简单、成本低;过载能力强;可以交、直流两用。其主要缺点是:准确度、灵敏度较低;功率消耗大;防御外磁场能力弱;刻度不均匀。

三、电动系仪表

电动系仪表是利用固定的载流线圈产生的磁场与活动的载流线圈之间相互作用的原理制成的。

电动系仪表的主要优点是:可以交、直流两用;准确度高;能制成测量各种参数的仪表,如功率表、频率表、功率因数表等。其主要缺点是:功率消耗大;过载能力低;受外磁场影响大;结构较复杂、成本高;刻度不均匀。

四、铁磁电动系仪表

铁磁电动系仪表是利用固定的具有励磁线圈的电磁铁的磁场与活动的载流线圈相互作用的原理制成的。它的主要优点是:防御外磁场能力强;消耗功率小。其主要缺点是:准确度低;结构较复杂,成本较高。

五、整流系仪表

由磁电系仪表与整流电路组合而成的仪表称为整流系仪表。

整流系仪表保持了磁电系仪表的灵敏度高、消耗功率小、受外磁场影响小等优点,又通过整流电路解决了测量交流的问题。但是,由于增加了整流电路,使仪表的准确度下降。所以整流系仪表一般都用做测量精度要求不高的万用表和钳形表等。

六、感应系仪表

感应系仪表是利用一个或几个固定的载流线圈产生的磁通与这些磁通在活动转盘(铝盘)感应的电流间相互作用的原理制成的。

感应系仪表目前主要用来制造电度表,它的主要优点是结构简单、成本低、性能稳定、过载能力强。其主要缺点是准确度低、本身消耗功率大。

第四节 电工仪表的选择、使用与维护

在电力试验和测量工作中,要想获得正确的结果,除了要有正确的接线和合理的操作方法外,还必须正确的使用和合

理的选择仪表。在选择仪表时,除必须达到试验和测量的各项要求外,还要注意节约的原则,要从实际出发。

一、根据被测量的特性选择仪表的类型

首先要判明被测量的是直流还是交流。测量直流的各种量必须使用直流仪表;测量交流的各种量必须使用交流仪表。有的仪表可以交、直流两用(例如电动系仪表)。

测量交流时,还要根据波形来选择合适的仪表。正弦波形选用任何一种交流仪表都可以测量,如果不是正弦波,需测量有效值时要用电磁系和电动系仪表;需测平均值时要选用整流系仪表;需测瞬时值则要选用示波器;需测量最大值时要选用峰值表。另外,还要注意被测量的频率。

二、根据被测量值的大小选择仪表的量限

选用适当量限的仪表,才能充分发挥仪表的准确度。如果选择不当,仪表的量限值与被测值相差很大时,测量误差就会增加。下面举例说明:

被测量的为 20V 直流电压,如选用 1.5 级、量限为 30V 的电压表,测量结果中可能出现的最大绝对误差为

$$\begin{aligned}\Delta_{\max} &= \pm K\% \cdot A_m = \pm 1.5\% \times 30 \\ &= \pm 0.45(\text{V})\end{aligned}$$

测量 20V 时可能出现的最大相对误差为

$$\gamma = \frac{\pm 0.45}{20} = \pm 0.0225 = \pm 2.25\%$$

如果选用 0.5 级、量限为 150V 的电压表,则测量结果中可能出现的最大绝对误差为

$$\Delta_{\max} = \pm 0.5\% \times 150 = \pm 0.75(\text{V})$$