



中华人民共和国国家标准

GB/T 22071.1—2018
代替 GB/T 22071.1—2008

互感器试验导则 第 1 部分：电流互感器

Test guide for instrument transformers—Part 1: Current transformers

2018-12-28 发布

2019-07-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 试验项目和试验顺序	1
4 一般试验条件	4
5 型式试验	4
6 例行试验	25
7 特殊试验	46
8 型式试验的补充要求	56
图 1 型式试验和例行试验的试验顺序流程图	4
图 2 确定切断电源瞬间的电阻 R_0 值	6
图 3 温升的海拔校正因数	8
图 4 无线电干扰电压试验线路	12
图 5 准确度试验(比较法)	15
图 6 复合误差试验(直接法 1)	16
图 7 复合误差试验(直接法 2)	16
图 8 短时电流试验	24
图 9 一次端工频耐压试验	27
图 10 局部放电测量的试验电路示例	28
图 11 局部放电测量的校准电路示例	29
图 12 非电容型互感器介质损耗因数测量	30
图 13 电容型互感器部分电容量和介质损耗因数测量(正接法)	31
图 14 电容型互感器整体电容量和介质损耗因数测量	31
图 15 电容型互感器的地屏(末屏)介质损耗因数测量	32
图 16 段间工频耐压试验	33
图 17 二次端工频耐压试验	34
图 18 出线端子极性检验(直流试验法)	36
图 19 匝间过电压试验(程序 A)	40
图 20 匝间过电压试验(程序 B)	41
图 21 YS-2 型微库仑仪分析系统原理框图	42
图 22 传递过电压测量:冲击试验波形	48
图 23 传递过电压测量:一般试验布置	49
图 24 传递过电压测量:GIS 用互感器试验电路	50
图 25 机械强度试验示意图	51
图 26 绝缘热稳定试验(线路 1)	55
图 27 绝缘热稳定试验(线路 2)	55

图 28	绝缘热稳定试验(线路 3)	56
表 1	试验项目	2
表 2	型式试验、例行试验和特殊试验时气体的类型和压力	3
表 3	互感器各种零部件、材料和介质的温升限值	7
表 4	互感器的一次端绝缘水平和耐受电压	8
表 5	标准湿试验的淋雨条件	11
表 6	测量用互感器的比值差和相位差限值(0.1 级~1.0 级)	13
表 7	特殊用途的测量用互感器的比值差和相位差限值(0.2S 级和 0.5S 级)	14
表 8	测量用互感器的比值差限值(3 级和 5 级)	14
表 9	P 级和 PR 级保护用互感器的误差限值	14
表 10	TPX、TPY 和 TPZ 级互感器的误差限值	14
表 11	允许的局部放电水平	29
表 12	各种油浸式互感器的介质损耗因数允许值	32
表 13	油浸式互感器密封性能试验要求	37
表 14	绝缘油击穿电压要求	44
表 15	绝缘油介质损耗因数(tanδ)要求	45
表 16	绝缘油水分含量要求	45
表 17	绝缘油中溶解气体含量要求	45
表 18	传递过电压波形要求及限值	48
表 19	静态承受试验载荷	51
表 20	一次端子上试验载荷的施加方式	52
表 21	气体系统允许的暂时泄漏率	53
表 22	电工产品的着火危险	54

前 言

GB/T 22071《互感器试验导则》分为以下部分：

- 第1部分：电流互感器；
- 第2部分：电磁式电压互感器。

本部分为GB/T 22071的第1部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分代替GB/T 22071.1—2008《互感器试验导则 第1部分：电流互感器》，与GB/T 22071.1—2008相比，主要技术变化如下：

- 修改了规范性引用文件(见第2章及GB/T 22071.1—2008的第2章)；
- 列出了具体的试验项目(见表1)；
- 完善了试验顺序,并给出试验顺序框图(见图1及GB/T 22071.1—2008的3.2)；
- 对有关的试验项目及试验方法重新进行了完善和增补(见3.1及第5章、第6章、第7章)；
- 增加了设备最高电压为750 kV和1 000 kV互感器的有关试验要求(见表4)。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国互感器标准化技术委员会(SAC/TC 222)归口。

本部分起草单位：沈阳变压器研究院股份有限公司、中国电力科学研究院、大连北方互感器集团有限公司、大连第一互感器有限责任公司、浙江天际互感器有限公司、江苏靖江互感器股份有限公司、特变电工康嘉(沈阳)互感器有限责任公司、衡阳华瑞电气有限公司、国网吉林省电力有限公司电力科学研究院。

本部分主要起草人：张显忠、刘勇、王焱、王仁焘、沙玉洲、徐文、李涛昌、熊江咏、王继元、刘玉凤、曾祥顺、唐福新、邓小聘、黄华、赵世祥。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 22071.1—2008。

互感器试验导则

第1部分：电流互感器

1 范围

GB/T 22071 的本部分给出了电流互感器的试验项目、试验顺序、一般试验条件和试验要求等。

本部分适用于 GB/T 20840.1 和 GB/T 20840.2 中所规定的电流互感器(以下简称互感器)的型式试验、例行试验和特殊试验。

作为产品验收时的交接试验也可采用本部分给出的试验方法。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2421.1 电工电子产品环境试验 概述和指南

GB/T 2423.17 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Ka:盐雾

GB/T 2423.23 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Q:密封

GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)

GB/T 4756 石油液体手工取样法

GB/T 5169.2 电工电子产品着火危险试验 第2部分:着火危险评定导则 总则

GB/T 5169.9 电工电子产品着火危险试验 第9部分:着火危险评定导则 预选试验程序

总则

GB/T 5169.18 电工电子产品着火危险试验 第18部分:燃烧流的毒性 总则

GB/T 5585.1 电工用铜、铝及其合金母线 第1部分:铜和铜合金母线

GB/T 7354 局部放电测量

GB/T 7674 额定电压 72.5 kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备

GB/T 11604 高压电气设备无线电干扰测试方法

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第1部分:一般定义及试验要求

GB/T 16927.2 高电压试验技术 第2部分:测量系统

GB/T 19001 质量管理体系 要求

GB/T 20138 电器设备外壳对外界机械碰撞的防护等级(IK代码)

GB/T 20840.1 互感器 第1部分:通用技术要求

GB/T 20840.2—2014 互感器 第2部分:电流互感器的补充技术要求

ISO 3231 油漆和清漆 对含有二氧化硫潮湿大气的抵抗能力测定(Paints and varnishes—Determination of resistance to humid atmospheres containing sulfur dioxide)

3 试验项目和试验顺序

3.1 试验项目

型式试验、例行试验及特殊试验项目见表1。

注：为了方便制造方与用户判定产品的状态，本部分增加了 GB/T 20840.2 中并未规定的下列试验项目：

- 绝缘电阻测量；
- 绕组直流电阻测量。

表 1 试验项目

试验	条款
型式试验	5
温升试验	5.1
一次端冲击耐压试验	5.2
户外型互感器的湿试验	5.3
无线电干扰电压(RIV)试验 ^a	5.4
准确度试验	5.5
外壳防护等级的检验	5.6
环境温度下密封性能试验(适用于气体绝缘产品)	5.7
压力试验(适用于气体绝缘产品)	5.8
短时电流试验	5.9
例行试验	6
气体露点测量(适用于气体绝缘产品)	6.1
一次端工频耐压试验	6.2
局部放电测量	6.3
电容量和介质损耗因数测量	6.4
段间工频耐压试验	6.5
二次端工频耐压试验	6.6
准确度试验	6.7
标志的检验	6.8
环境温度下密封性能试验	6.9
压力试验(适用于气体绝缘产品)	6.10
二次绕组电阻(R_{ct})测定	6.11
二次回路时间常数(T_s)测定	6.12
额定拐点电势(E_k)和 E_k 下励磁电流的试验	6.13
匝间过电压试验	6.14
绝缘油性能试验	6.15
绝缘电阻测量	6.16
绕组直流电阻测量	6.17
特殊试验	7
一次端截断雷电冲击耐压试验	7.1
一次端多次截断冲击试验	7.2
传递过电压试验	7.3

表 1 (续)

试验	条款
机械强度试验	7.4
内部电弧故障试验	7.5
低温和高温下的密封性能试验(适用于气体绝缘产品)	7.6
腐蚀试验	7.7
着火危险试验	7.8
绝缘热稳定试验	7.9
^a 隶属于“电磁兼容(EMC)试验”。	

在气体绝缘互感器试验时,其气体的类型和压力按照表 2 中的规定。

表 2 型式试验、例行试验和特殊试验时气体的类型和压力

试验	气体类型	压力
绝缘试验 ^a 无线电干扰电压试验 ^a 准确度试验 温升试验	与运行中的相同	最低工作压力
内部电弧故障试验 短时电流试验 机械强度试验 密封性能试验 气体露点测量	与运行中的相同	额定充气压力
传递过电压试验	无影响	降低的压力
^a 对安装在 GIS 上气体绝缘互感器,湿试验和无线电干扰电压试验皆不适用。		

3.2 试验顺序

互感器试验顺序如图 1 所示。图 1 以外的试验项目的试验顺序可以自行调整。

注 1: 经制造方与用户协商同意,试验顺序可以少量修改。

注 2: 图 1 中的试验项目为全部例行试验和型式试验项目,并非适用于所有类型的互感器,如不适用,则可不进行该项试验,试验按顺序向后顺延。

型式试验报告应包括例行试验结果。

型式试验中的压力试验和例行试验中的压力试验,如需进行,则制造方应提供另外的(同型式)外壳体及绝缘子部件(空心绝缘子)。

注 3: 一般情况下,绕组直流电阻测量宜在温升试验之前进行,绝缘电阻测量试验宜在所有试验之前进行。

注 4: 一次端工频耐压试验、局部放电测量、段间工频耐压试验、二次端工频耐压试验、匝间过电压试验、准确度试验宜在短时电流试验前后各进行一次并对比两次试验结果,以此判断试品是否通过短时电流试验。

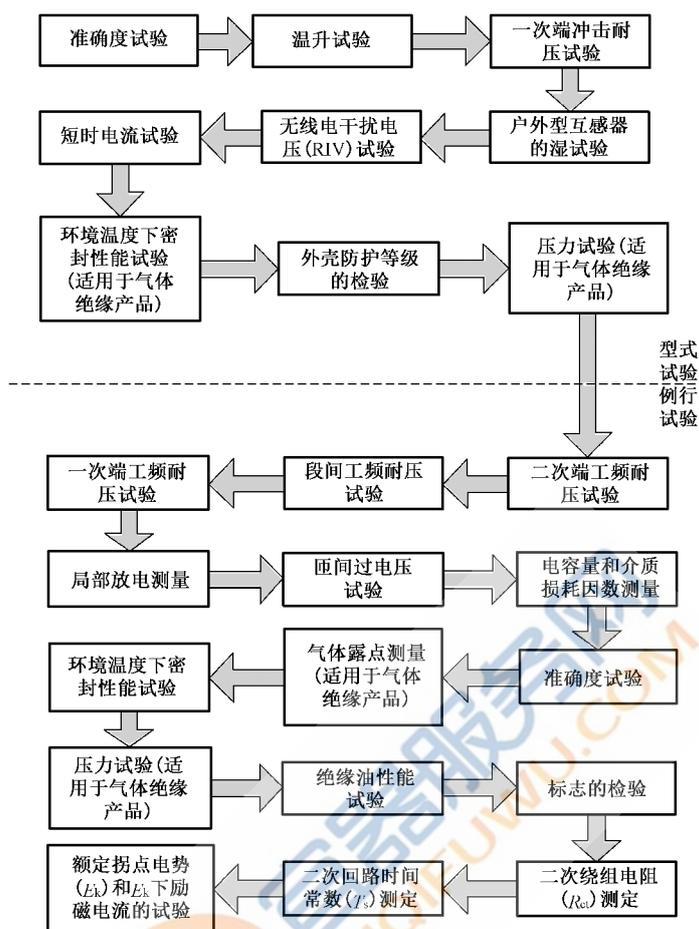


图 1 型式试验和例行试验的试验顺序流程图

4 一般试验条件

本章是对一般试验条件的要求,如试验项目中无另行规定,则应按本章的规定执行。一般试验条件如下:

- a) 试验应在装配完整的产品上进行;
- b) 试品的温度与环境温度应无显著差异;
- c) 除另有规定,试验时的环境温度应为 5 °C ~ 40 °C ;
- d) 试验场所不应有明显的外部电磁场影响;
- e) 试验场地应具有单独工作接地和保护接地,并设置保护栅栏;
- f) 试品与接地体或邻近物体的距离,一般应大于试品高压部分与接地部分的最小空气距离的 1.5 倍。

5 型式试验

5.1 温升试验

5.1.1 试验要求

5.1.1.1 一般要求

产品在进行温升试验时,其各部分温升不应超过其对应的温升限值。

绕组的温升应采用电阻法测量(如可行),但对电阻值很小的绕组可采用热电偶测量。

绕组以外部位的温升可用温度计或热电偶测量。

当温升变化值不超过 1 K/h 时,则认为互感器已达到稳定温度。

互感器的安装状态应代表其运行安装情况,且二次绕组应连接规定的负荷,但由于互感器在各种开关中的位置不相同,所以如何安排试验布置应由制造方自定。

对于装在三相气体绝缘金属封闭开关设备中的互感器,所有三相应同时进行试验。

注:与互感器一次端子连接的导线,对一次端子的温升会有影响,试验时宜选取合适的导线长度和截面,并与一次端子有良好的接触。

5.1.1.2 试验负荷

当互感器承载的一次电流为额定连续热电流时,应带有对应于额定输出且功率因数为 1 的负荷。

5.1.1.3 环境要求

试验场所周围不应有任何影响环境温度的因素,例如辐射、热源、气流等。

环境温度测量应采用 2 个~3 个温度计,其测温端应浸于容积不小于 1 000 mL 装满油的杯中,放置于试品周围 1 m~2 m 处,高度约为试品高度的中间部位。环境温度以几个温度计的平均值为准。

5.1.1.4 试验持续时间要求

当下列两种条件皆满足时可以终止试验:

- a) 试验持续时间至少等于互感器热时间常数的三倍;
- b) 绕组和油浸式互感器油顶层的温升变化连续三次不超过每小时 1 K。

制造方应以下列方法之一估计热时间常数:

- a) 试验前,依据对同类结构产品先前试验的结果。热时间常数应在温升试验时确认;
- b) 试验中,用试验过程记录的温度上升曲线或温度下降曲线按照 GB/T 20840.2—2014 的附录 2F 进行计算;
- c) 试验中,取温升曲线起始在 0 点处的切线与最高温升预计值的相交点;
- d) 试验中,取到达 63%最高温升预计值所经历的时间。

5.1.2 试验设备

试验设备包括升流装置、温度计、热电偶、试验负荷和直流电阻测量装置。

注:可根据试品的技术条件来确定试验设备的型式及规格。

5.1.3 试验方法

5.1.3.1 $U_m < 550$ kV 互感器的试验方法

试验应在对一次绕组施加额定连续热电流时进行。

注:依照制造方与用户的协议,施加试验电流也可通过对一个或多个二次绕组励磁来获得,但所励磁铁心的二次绕组端电压至少要高达它接额定负荷时的数值,同时一次绕组短路及非供电二次绕组接额定负荷。

5.1.3.2 $U_m \geq 550$ kV 油浸式互感器的试验方法

试验应同时进行如下两项:

- a) 额定连续热电流施加到一次绕组。

施加试验电流也可通过对一个或多个二次绕组励磁来获得,但所励磁铁心的二次绕组端电压至少要高达它接额定负荷时的数值,同时一次绕组短路及非供电二次绕组接额定负荷。

b) $U_m/\sqrt{3}$ 的电压施加在一次绕组与地之间,各二次绕组的一个端子接地。

注: 此项试验可与绝缘热稳定试验同步进行。

5.1.3.3 一次端子温度测量

对于互感器一次端子温升测量推荐采用热电偶法。用热电偶法测量一次绕组温度时,将适当数量的热电偶分别置于被测绕组的部位,最后以各热电偶测得温度的平均值作为绕组的平均温度。

5.1.3.4 铁心及顶层油温度测量

测量铁心表面温度,可采用酒精温度计或其他不受磁场影响的温度计(如热电偶或电阻式温度计),测温端应与被测点紧密接触。

测量顶层油温度时,温度计的测温端应浸于油面下 50 mm~100 mm(如有温度计座时,则座内应充油)。

5.1.3.5 绕组温度测量

绕组平均温度应采用电阻法测量,测量冷、热电阻应用同一线路和仪器。

在温升试验结束,切断电源之后,立即测量绕组的直流电阻。应在停电后 1 min~2 min 内测出第一个读数。然后在 8 min~10 min 内每隔相等的时间 Δt (30 s~60 s) 测定电阻值,依次记录为 R_1 、 R_2 、 R_3 、...、 R_k 。以切断电源瞬间为 $t_0=0$,在坐标纸上将相应各点绘出,用一曲线连接,按图 2 的方法绘出 L 线,再确定曲线与 R 轴的交点即为 $t_0=0$ 时的 R_0 值,由电阻值 R_0 可计算出切断电源瞬间的绕组平均温升 $\Delta\theta$ 。

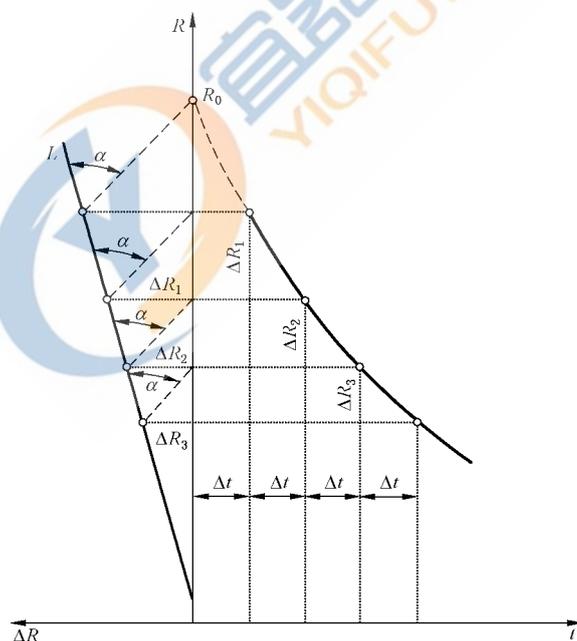


图 2 确定切断电源瞬间的电阻 R_0 值

绕组平均温升 $\Delta\theta$ 按式(1)计算:

$$\Delta\theta = \frac{R_0}{R_{01}} \times (t + \theta_1) - (t + \theta_2) \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$\Delta\theta$ —— 绕组平均温升,单位为开尔文(K);

- R_0 —— 断电瞬间绕组热态电阻值,单位为欧姆(Ω);
- R_{θ_1} —— 温度为 θ_1 时冷态电阻值,单位为欧姆(Ω);
- θ_1 —— 绕组冷态温度(冷态时环境温度),单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- θ_2 —— 温升试验后期确定温升的环境温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- t —— 导体温度系数的倒数,铜为 235,铝为 225。

5.1.4 试验判据

绕组温升受其本身绝缘或周围介质的最低绝缘等级限制。

互感器各种零部件、材料和介质的温升限值见表 3。

表 3 互感器各种零部件、材料和介质的温升限值

单位为开尔文

互感器各部分		温升限值	
油浸式互感器	顶层油	50	
	顶层油(对于全密封结构)	55	
	绕组平均	60	
	绕组平均(对于全密封结构)	65	
	接触油的其他金属	与绕组相同	
固体或气体绝缘 互感器	绕组平均(对于接触右列 各等级绝缘材料)	Y	45
		A	60
		E	75
		B	85
		F	110
		H	135
	接触上述各等级绝缘材料的其他金属件	与绕组相同	
用螺栓或类似件 紧固的连接 接触处	裸铜、裸铜合金或裸铝合金	在空气中	50
		在 SF ₆ 中	75
		在油中	60
	被覆银或镍	在空气中	75
		在 SF ₆ 中	75
		在油中	60
	被覆锡	在空气中	65
		在 SF ₆ 中	65
		在油中	60

如果互感器规定在海拔超出 1 000 m 处使用而试验处海拔低于 1 000 m,则表 3 的温升限值、应按使用处海拔超出 1 000 m 后的每 100 m 减去下列相应数值(见图 3):

- a) 油浸式互感器:0.4%;
- b) 干式和气体绝缘互感器:0.5%。

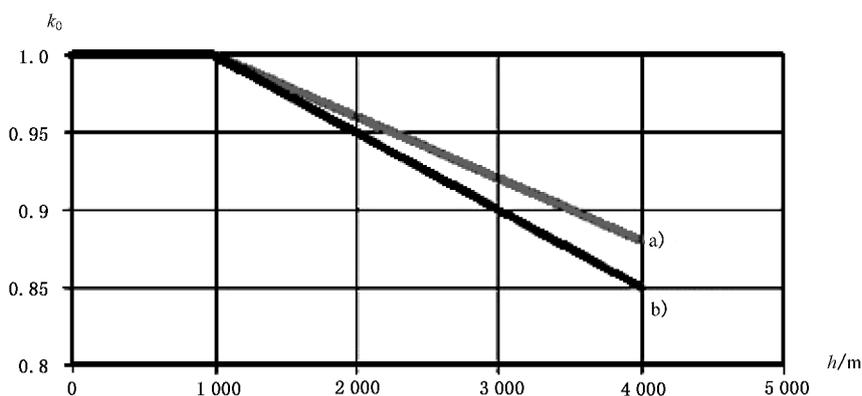


图 3 温升的海拔校正因数

温升的海拔校正因数按式(2)计算：

$$k_0 = \frac{\Delta T_h}{\Delta T_{h_0}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ΔT_h —— 在海拔 $h > 1\,000$ m 处的温升；

ΔT_{h_0} —— 表 3 所规定的温升限值(海拔 $h_0 \leq 1\,000$ m 处)。

如果互感器各种零部件、材料和介质的实际温升值不高于表 3 及经海拔修正后的温升限值,则认为通过本试验。

5.2 一次端冲击耐压试验

5.2.1 试验要求

5.2.1.1 一般要求

冲击耐压试验按照 GB/T 20840.1、GB/T 20840.2、GB/T 16927.1 和 GB/T 16927.2 的有关规定进行。

5.2.1.2 试验电压

一次端额定雷电冲击耐压试验、一次端额定操作冲击耐压试验的试验电压的选取均应以表 4 所列的设备最高电压为依据。

5.2.2 试验设备

试验设备包括冲击电压发生装置、冲击电压测量系统。设备的选取可根据产品的技术条件来确定,电压测量系统应满足 GB/T 16927.1 和 GB/T 16927.2 的要求。

表 4 互感器的一次端绝缘水平和耐受电压 单位为千伏

设备最高电压 U_m (方均根值)	额定短时工频耐受电压 (方均根值)	额定雷电冲击耐受电压 (峰值)	额定操作冲击耐受电压 (峰值)	截断雷电冲击(内绝缘) 耐受电压(峰值)
$U_n \leq 0.66$	3	—	—	—
3.6	18/25	40	—	45
7.2	23/30	60	—	65

表 4 (续)

单位为千伏

设备最高电压 U_m (方均根值)	额定短时工频耐受电压 (方均根值)	额定雷电冲击耐受电压 (峰值)	额定操作冲击耐受电压 (峰值)	截断雷电冲击(内绝缘) 耐受电压(峰值)
12	30/42	75	—	85
17.5	40/55	105	—	115
24	50/65	125	—	140
40.5	80/95	185/200	—	220
72.5	140	325	—	360
	160	350	—	385
126	185/200	450/480	—	530
		550	—	530
252	360	850	—	950
	395	950	—	1 050
	460	1 050	—	1 175
363	460	1 050	850	1 175
	510	1 175	950	1 300
550	630	1 425	1 050	1 550
	680	1 550	1 175	1 675
	740	1 675	1 300	1 925
800	880	1 950	1 425	2 245
	975	2 100	1 550	2 415
1 100	1 100	2 250	1 800	2 400
	1 100	2 400	1 800	2 560

对于暴露安装,推荐选用最高的绝缘水平。

对于斜线后的数值,额定工频耐受电压为设备外绝缘干状态下的耐受电压值,额定雷电冲击耐受电压为设备内绝缘的耐受电压值。

对于安装在 GIS 的互感器,其额定工频耐受电压水平按照 GB/T 7674,但可能有差别。

5.2.3 试验方法和判据

5.2.3.1 一次端额定雷电冲击耐压试验

5.2.3.1.1 $U_m < 300$ kV 的互感器

试验应在正和负两种极性下进行。应施加每一极性连续冲击 15 次,不作大气条件校正。

如果满足下列条件,则认为互感器通过各极性冲击试验:

- 每一组试验(正极性和负极性)至少冲击 15 次;
- 非自恢复绝缘不发生破坏性放电。对此确认的条件是跟随一次破坏性放电后能耐受连续冲击 5 次;

- c) 每一组试验的自恢复绝缘破坏性放电次数不超过 2 次；
- d) 此程序使每一组试验最多可能冲击 25 次；
- e) 未发现绝缘损坏的证据(例如,作为验证试验的例行试验时的各记录量波形的变异)。

如果试验时发生破坏性放电,而无证据显示破坏性放电发生在自恢复绝缘上,则互感器应在绝缘试验完成后拆开检查。如发现非自恢复绝缘损坏,应认为互感器未通过本试验。

施加正、负极性冲击各 15 次是针对外绝缘试验而规定的。如果制造方与用户协商同意用其他方法检查外绝缘,则每一极性下的雷电冲击数可减少到 3 次,不作大气条件校正。

5.2.3.1.2 $U_m \geq 300$ kV 的互感器

试验应在正和负两种极性下进行。应施加每一极性连续冲击 3 次,不作大气条件校正。

如果情况如下,则认为互感器通过本试验:

- a) 不发生破坏性放电；
- b) 未发现绝缘损伤的证据(例如,作为验证试验的例行试验时的各记录量波形的变异)。

5.2.3.2 操作冲击耐压试验

试验应在正极性下进行。应施加连续冲击 15 次,需作大气条件校正。对户外型互感器,试验应在湿状态下进行。淋雨程序按照 GB/T 16927.1 的规定。

为了抵消铁心饱和的影响,允许在连续冲击的间隔中通过适当的试验程序调节铁心的磁性状态。

如果满足下列条件,则认为互感器通过冲击试验:

- a) 试验至少冲击 15 次；
- b) 非自恢复绝缘不发生破坏性放电;对此确认的条件是跟随一次破坏性放电后能耐受连续冲击 5 次；
- c) 每一组试验的破坏性放电次数不应超过 2 次；
- d) 此程序时每一组试验最多可能冲击 25 次；
- e) 未发现绝缘损坏的证据(例如,作为验证试验的例行试验时的各记录量波形的变异)。

如果试验时发生破坏性放电,而无证据显示破坏性放电发生在自恢复绝缘上,则互感器应在绝缘试验完成后拆开检查。如发现非自恢复绝缘损坏,则认为互感器未通过本试验。对试验室墙壁或天花板闪络的冲击应不计。

5.3 户外型互感器的湿试验

5.3.1 试验要求

5.3.1.1 一般要求

湿试验程序按照 GB/T 16927.1 的规定进行。对于 $U_m < 300$ kV 的互感器,试验应以工频电压进行。对于 $U_m \geq 300$ kV 的互感器,试验应以正极性操作冲击电压进行。

5.3.1.2 湿试验要求

用满足规定电阻率和温度的水(见表 5)喷射试品。落在试品上的水应成滴状(避免雾状),并控制喷射角度,以使其按垂直和水平方向的分布量大致相等。用量雨器测量水量,量雨器应具有两个隔开的开口均为 $100 \text{ cm}^2 \sim 750 \text{ cm}^2$ 的容器;一个开口测水平分布量,一个开口测垂直分布量,垂直的开口面对淋雨方向。应在所收集的即将喷到试品的水样品中测量其温度和电导率。

5.3.1.3 试验电压

对于 $U_m < 300$ kV 的互感器,依据设备最高电压取表 4 的相应电压值,需作大气条件校正。对于

$U_m \geq 300$ kV 的互感器,依据设备最高电压和规定的绝缘水平取表 4 的相应电压值。

5.3.2 试验设备

试验设备包括工频试验变压器、冲击电压发生器、冲击电压测量装置、淋雨装置和电导率仪。设备的选取按照产品的试验参数及外观尺寸来进行。电压测量装置应满足 GB/T 16927.1 和 GB/T 16927.2 的要求。淋雨装置应能调整,以便在试品上产生表 5 中规定的在允许容差内的淋雨条件。只要满足表 5 中规定的淋雨条件,任何形式的喷嘴均可采用。

表 5 标准湿试验的淋雨条件

所有测量点的平均淋雨率		每次测量的每个分布量的极限值 mm/min	雨水温度 ℃	雨水电导率 $\mu\text{S}/\text{cm}$
水平分布量 mm/min	垂直分布量 mm/min			
1.0~2.0	1.0~2.0	平均值 ± 0.5	周围环境温度 ± 15	100 ± 15

5.3.3 试验方法

通常情况下,湿试验结果与其他高压放电或耐受试验相比,其重复性差。为减少分散性,应采用下述方法:

- 对于高度小于 1 m 的试品,量雨器要位于靠近试品的地方,但要避免试品上溅出的雨滴。测量时,应缓慢地在足够大的区域移动并求其雨量的平均值。为避免个别喷嘴喷射不均匀的影响,测量的宽度应等于试品宽度,最大宽度为 1 m;
- 对于高度在 1 m~3 m 之间的试品,应在试品顶部、中部和底部分别进行测量,每一测量区域仅涵盖试品高度的三分之一;
- 对于高度超过 3 m 的试品,测量段的数目应增加至覆盖试品的整个高度,但不应重叠;
- 对于高度超过 8 m 的试品,测量段数不应少于 5 段;
- 对于水平尺寸大的试品采用类似方法;
- 试品表面用活性洗涤剂洗净会减少试验的分散性。洗涤剂在开始淋雨之前应擦净;
- 试验的结果可能受局部反常(偏大或偏小)淋雨量的影响。如果需要的话,宜采用局部测量进行检验,以改进喷射的均匀性。

试品应按规定条件在规定的容差范围内至少不间断预淋 15 min,预淋时间不包括调整喷水所需的时间。开始时也可以用自来水预淋 15 min,接着在试验开始前需用规定的水连续预淋至少 2 min。雨水条件应在试验开始前进行测量。

湿试验的试验程序和规定的相应干试验的程序相同,交流电压湿试验的持续时间为 60 s。

5.3.4 试验判据

对于 $U_m < 300$ kV 的互感器,在进行湿耐受试验时,允许闪络一次,但在重复试验时不应再发生闪络,满足上述要求则认为产品通过试验。对于 $U_m \geq 300$ kV 的互感器,试验判据同 5.2.3.2。

5.4 无线电干扰电压(RIV)试验

5.4.1 试验要求

无线电干扰电压试验仅适用于安装在空气绝缘变电站的 $U_m \geq 126$ kV 的互感器。

包括附件在内的装配完整的互感器应干燥和清洁,其温度接近于试验时的试验室室温。

试验应在下列大气条件下进行：

- a) 温度：5 °C ~ 40 °C；
- b) 气压：87 kPa ~ 107 kPa；
- c) 相对湿度：45% ~ 75%。

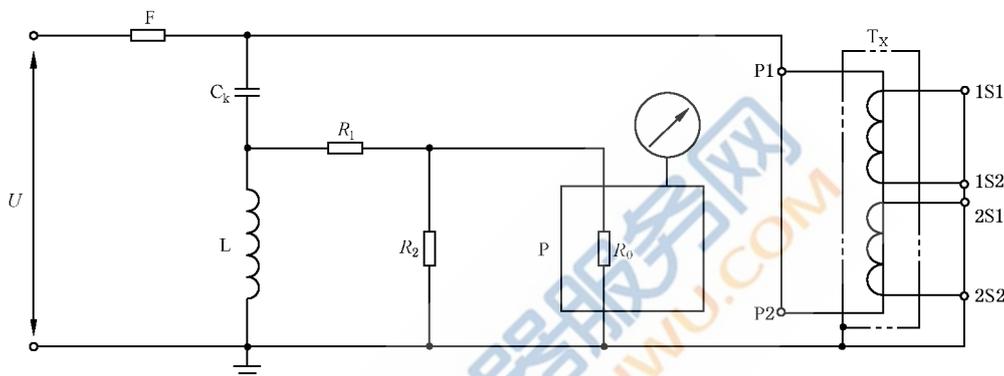
试验连接线及其端头不应成为无线电干扰电压源。

模拟运行条件的一次端子屏蔽件应用以防止虚假放电。推荐采用球形端头的分段管件。

试验电压应施加在试品短接的一次绕组与地之间。座架、箱壳(如果有)和铁心(如需接地)及各短接的二次绕组皆应接地。

5.4.2 试验线路

试验线路如图 4 所示。



说明：

- F — 阻波器；
- C_k — 耦合电容器；
- L — 电抗器；
- R₁、R₂ — 电阻；
- R₀ — 无线电干扰测量仪内阻；
- P — 无线电干扰测量仪；
- T_x — 被试互感器；
- P1、P2 — 一次绕组出线端子；
- 1S1、1S2、2S1、2S2 — 二次绕组出线端子。

图 4 无线电干扰电压试验线路

5.4.3 试验方法

试验符合 GB/T 11604 的规定。测量仪器和试验线路的校正方法见 GB/T 11604。最好将试验线路调谐到频率为 0.5 MHz ~ 2 MHz(推荐 1 MHz)范围内,并记录测量频率。测量结果应以微伏(μV)表示。

无线电干扰背景水平(由外界电磁场和高压变压器产生的无线电干扰)应低于规定的无线电干扰水平至少 6 dB(最好 10 dB)。

应施加预加电压 $1.5U_m/\sqrt{3}$ 并保持 30 s。然后,在约 10 s 时间将电压降低至 $1.1U_m/\sqrt{3}$,保持此电压 30 s 后测量无线电干扰电压。

5.4.4 试验判据

如果在电压 $1.1U_m/\sqrt{3}$ 下的无线电干扰水平不超过 2 500 μV,则认为互感器通过本试验。

5.5 准确度试验

5.5.1 试验要求

5.5.1.1 一般要求

试验环境温度为 5℃~40℃,相对湿度不大于 95%。

环境电磁场干扰引起标准器的误差变化不应大于被检互感器基本误差限值的 1/20。检定接线引起被检互感器误差的变化不应大于被检互感器基本误差限值的 1/10。

试验接线的布置应尽量避免对误差测量结果的影响。

5.5.1.2 测量用互感器的比值差和相位差要求

测量用互感器的准确级是以该准确级在额定一次电流和额定负荷下最大允许比值差(ϵ)的百分数来标称的。

测量用互感器的标准准确级为:0.1、0.2、0.5、1.0、3 和 5。

特殊用途的测量用互感器的标准准确级为:0.2S 和 0.5S。

对于 0.1 级、0.2 级、0.5 级和 1.0 级,在二次负荷为额定负荷的 25%~100%之间任一值时,其额定频率下的比值差和相位差应不超过表 6 所列限值。

对于 0.2S 级和 0.5S 级,在二次负荷为额定负荷的 25%~100%之间任一值时,其额定频率下的比值差和相位差应不超过表 7 所列限值。

对于 3 级和 5 级,在二次负荷为额定负荷的 50%~100%之间任一值时,其额定频率下的比值差不超过表 8 所列限值。对 3 级和 5 级的相位差限值不予规定。

对所有的准确级,负荷的功率因数均应为 0.8(滞后),当负荷小于 5 VA 时,应采用功率因数为 1.0,且最低值为 1 VA。对于额定二次电流为 5 A 的互感器,建议下限负荷不小于 2.5 VA。

对额定输出最大不超过 15 VA 的测量级,可以规定扩大负荷范围。当二次负荷范围扩大为 1 VA 至 100%额定输出时,比值差和相位差应不超过表 6~表 8 所列相应准确级的限值。在整个负荷范围,功率因数应为 1.0。

具有扩大电流额定值的互感器,试验应以额定扩大一次电流值代替 120%额定电流值进行。

注:通常,当任何位置的外部导体与互感器的空气距离不小于设备最高电压(U_m)所要求的空气绝缘间距时,规定的比值差和相位差限值皆有效。

表 6 测量用互感器的比值差和相位差限值(0.1 级~1.0 级)

准确级	下列额定电流百分数下的比值差				下列额定电流百分数下的相位差							
	±%				±(')				± crad			
					5	20	100	120	5	20	100	120
0.1	0.4	0.2	0.1	0.1	15	8	5	5	0.45	0.24	0.15	0.15
0.2	0.75	0.35	0.2	0.2	30	15	10	10	0.9	0.45	0.3	0.3
0.5	1.5	0.75	0.5	0.5	90	45	30	30	2.7	1.35	0.9	0.9
1.0	3.0	1.5	1.0	1.0	180	90	60	60	5.4	2.7	1.8	1.8

表 7 特殊用途的测量用电感器的比值差和相位差限值(0.2S 级和 0.5S 级)

准确级	下列额定电流百分数下的比值差					下列额定电流百分数下的相位差									
	± %					± (′)					± crad				
						1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0.2S	0.75	0.35	0.2	0.2	0.2	30	15	10	10	10	0.9	0.45	0.3	0.3	0.3
0.5S	1.5	0.75	0.5	0.5	0.5	90	45	30	30	30	2.7	1.35	0.9	0.9	0.9

表 8 测量用电感器的比值差限值(3 级和 5 级)

准确级	下列额定电流百分数下的比值差	
	± %	
	50	120
3	3	3
5	5	5

5.5.1.3 P 级和 PR 级保护用电感器的比值差、相位差和复合误差要求

在额定频率和连接额定负荷时,其比值差、相位差和复合误差应不超过表 9 所列限值。
 负荷的功率因数应为 0.8(滞后),当负荷小于 5VA 时应采用功率因数为 1.0。

表 9 P 级和 PR 级保护用电感器的误差限值

准确级	额定一次电流下的比值差 ± %	额定一次电流下的相位差		额定准确限值一次电流下的复合误差 %
		± (′)	± crad	
5 P 和 5PR	1	60	1.8	5
10 P 和 10PR	3	—	—	10

5.5.1.4 TPX、TPY 和 TPZ 级互感器的误差限值

互感器连接额定电阻性负荷时,其比值差和相位差应不超过表 10 所列限值。

互感器连接额定电阻性负荷时,在规定的循环(或对应于规定暂态面积系数 K_{td} 的工作循环)下,其暂态误差 $\hat{\epsilon}$ (对 TPX 和 TPY 级)或 $\hat{\epsilon}_{ac}$ (对 TPZ 级)应不超过表 10 所列限值。

表 10 TPX、TPY 和 TPZ 级互感器的误差限值

准确值	在额定一次电流下			在规定的循环条件下的暂态误差 %
	比值差	相位差		
		%	(′)	
TPX	±0.5	±30	±0.9	$\hat{\epsilon} = 10$
TPY	±1.0	±60	±1.8	$\hat{\epsilon} = 10$

表 10 (续)

准确值	在额定一次电流下			在规定的循环条件下的暂态误差
	比值差	相位差		
	%	(′)	crad	%
TPZ	±1.0	180±18	5.3±0.6	$\hat{\epsilon}_{ac} = 10$

注 1: 在某些情况下,对 TPZ 铁心,相位差绝对值可能不如减小批量产品中对平均值的偏离量更重要。
 注 2: 对于 TPY 级铁心,在适当值的 E_{al} 未超过磁化曲线线性段的条件下,下列公式可以采用:

$$\hat{\epsilon} = \frac{K_{ld}}{2\pi f_r \times T_s} \times 100\%$$

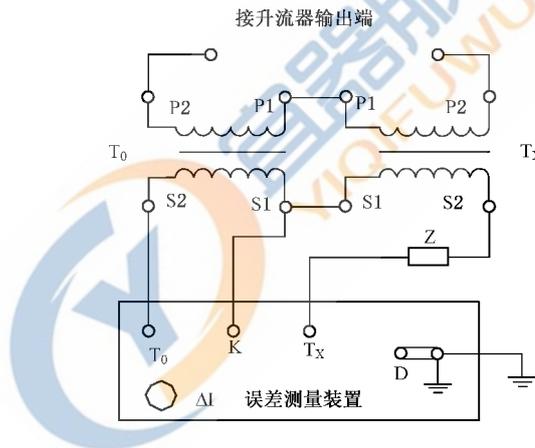
注 3: 对于大电流互感器,宜注意返回导体及邻近导体对互感器误差的影响。

5.5.2 试验线路

5.5.2.1 测量用互感器的比值差和相位差试验线路

典型试验线路见图 5。

注: 对于不同的互感器误差测量装置,接法可能有所不同。



说明:

- T₀ —— 标准电流互感器;
- T_x —— 被测电流互感器;
- Z —— 电流互感器负载箱;
- P1、P2 —— 一次绕组出线端子;
- S1、S2 —— 二次绕组出线端子。

图 5 准确度试验(比较法)

5.5.2.2 P 级和 PR 级保护用互感器的比值差和相位差试验线路

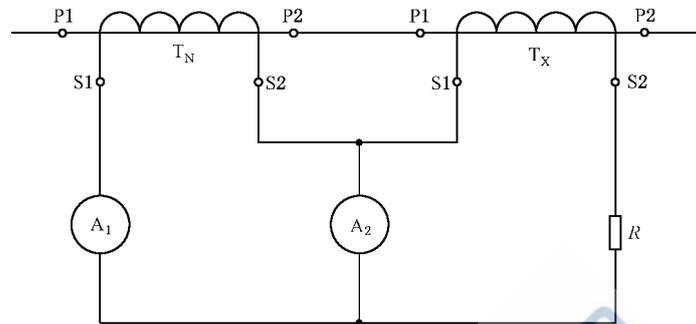
典型试验线路见图 5,试验应在额定一次电流和额定负荷下进行。

5.5.2.3 测量用互感器的仪表保安系数(FS)测定试验线路

为验证是否符合规定的仪表保安系数要求,应采用直接法试验,试验线路按照图 6、图 7。

5.5.2.4 P 和 PR 级保护用互感器的复合误差试验线路

为验证是否符合表 9 所列的复合误差限值,应采用直接法试验。
试验线路见图 6、图 7。

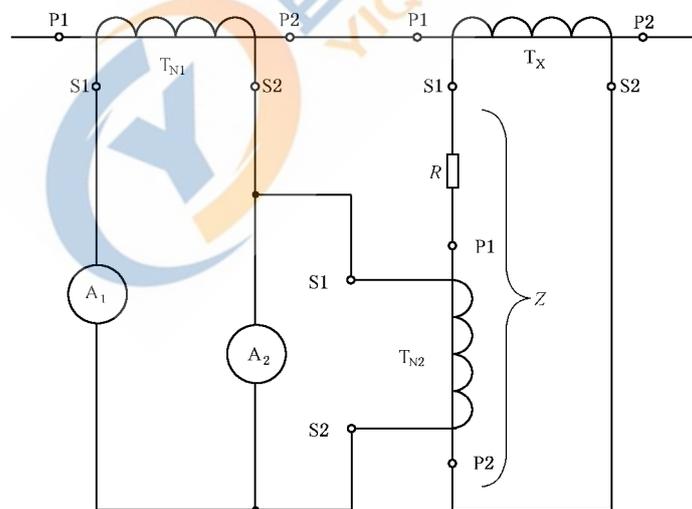


说明:

T_N —— 基准互感器;
 A_1 、 A_2 —— 电流表;
 R —— 负载电阻;

T_X —— 被试互感器;
 $P1$ 、 $P2$ —— 一次绕组出线端子;
 $S1$ 、 $S2$ —— 二次绕组出线端子。

图 6 复合误差试验(直接法 1)



说明:

T_{N1} 、 T_{N2} —— 基准互感器;
 A_1 、 A_2 —— 电流表;
 Z —— 总负载;
 R —— 负载电阻;

T_X —— 被试互感器;
 $P1$ 、 $P2$ —— 一次绕组出线端子;
 $S1$ 、 $S2$ —— 二次绕组出线端子。

图 7 复合误差试验(直接法 2)

5.5.2.5 TPX、TPY 和 TPZ 级暂态特性保护用互感器在限值条件下的误差试验

对于满足规定的低漏抗型互感器,可采用间接法进行试验,否则应进行直接法试验,试验线路按照图 6、图 7。

5.5.2.6 PX 和 PXR 级保护用互感器的低漏抗型试验

试验线路见 GB/T 20840.2—2014 的附录 2C。

5.5.2.7 PR、TPY 和 PXR 级保护用互感器的剩磁系数测定

PR、TPY 和 PXR 级保护用互感器的剩磁系数(K_R)应测定,试验线路见 GB/T 20840.2—2014 的附录 2E。

5.5.3 试验方法

5.5.3.1 测量用互感器的比值差和相位差试验方法

对于 0.1 级、0.2 级、0.5 级和 1 级测量用互感器,准确度型式试验应在 5%、20%、100%、120% 额定电流和额定频率下进行,其输出应为额定负荷的 25%、100%。

对于 0.2S 级和 0.5S 级特殊用途的测量用互感器,准确度型式试验应在 1%、5%、20%、100%、120% 额定电流和额定频率下进行,其输出应为额定负荷的 25%、100%。

对所有的准确级,负荷的功率因数均应为 0.8(滞后),当负荷小于 5 VA 时,应采用功率因数为 1.0,且最低值为 1 VA。

5.5.3.2 P 级和 PR 级保护用互感器的比值差和相位差试验方法

试验应在额定一次电流和额定负荷下进行。

5.5.3.3 测量用互感器的仪表保安系数(FS)测定试验方法

仪表保安系数可作规定,标准值为:FS 5 和 FS 10。

为验证是否符合规定的仪表保安系数要求,应采用直接法试验,以实际正弦波的额定仪表限值一次电流通过一次绕组,二次绕组接额定负荷,负荷的功率因数在 0.8(滞后)~1.0 之间,由制造方自定。

额定仪表限值一次电流(I_{PL})应为测出复合误差大于 10% 时的最小一次电流值。但由于此数值较难迅速测出,故通常采用施加额定一次电流乘以仪表保安系数(FS)的一次电流,测得的复合误差应大于 10%。

试验也可采用下述间接法进行:

在一次绕组开路时,对二次绕组施加额定频率的实际正弦波电压。电压应上升,直至励磁电流 I 达到 $I_{sr} \times FS \times 10\%$ 。

得到的端电压方均根值应低于二次极限电势 E_{FS} 。

测量励磁电压应采用其响应正比于整流信号平均值但刻度为方均根值的仪器。测量励磁电流应采用具有波峰系数最低为 3 的方均根值仪器,也可采用满足上述功能的特性测试仪。

如果对测量结果有疑问时,进一步测量应采用直接法试验进行。然后以直接法试验的结果为准。

注:间接法试验的显著优点是不需要强电流(例如,额定一次电流为 3 000 A 和仪表保安系数为 10 时达 30 000 A),也不必制作用于 50 A 的负荷。间接法试验时不存在一次返回导体的影响。而在运行条件下,此影响却能增大复合误差,这正是测量用互感器供电的装置在安全上所期望的。

5.5.3.4 P 和 PR 级保护用互感器的复合误差试验方法

为验证是否符合表 9 所列的复合误差限值,应采用直接法试验,以实际正弦波的额定准确限值一次

电流通过一次绕组,二次绕组接额定负荷,负荷的功率因数在 0.8(滞后)~1.0 之间,由制造方自定。

复合误差试验时二次电流较大,测试时间应尽量短,除采用图中电流表测量外,通常采用示波器或暂态记录仪进行测量。测试用负荷箱不应采用测量额定一次电流下误差时的负荷箱,而应采用能承受额定准确限值一次电流的测量复合误差电流通用的负荷箱。

试验可在类似于交货产品的互感器上进行,可以减少绝缘,但要保持相同的几何布置尺寸。对于一次电流非常大和单匝贯穿式一次绕组的互感器,应以模仿运行条件来考虑一次返回导体与互感器之间的距离。

对于低漏抗互感器,可以用下述间接法试验替代直接法试验。

在一次绕组开路时,对二次绕组施加额定频率的实际正弦波电压,其方均根值等于二次极限电势 E_{ALF} 。得到的励磁电流,用 $I_{sr} \times ALF$ 的百分数表示时,应不超过表 9 所列的复合误差限值。

测量励磁电压应采用其响应正比于整流信号平均值但刻度为方均根值的仪器。测量励磁电流应采用具有波峰系数最低为 3 的方均根值仪器,也可采用满足上述功能的特性测试仪。用间接法测定复合误差时,不必考虑可能有的匝数补偿。

5.5.3.5 TPX、TPY 和 TPZ 级暂态特性保护用互感器在限值条件下的误差试验方法

对于满足下列条件的低漏抗型互感器,可采用间接法(GB/T 20840.2—2014 的附录 2E.2)进行试验,否则应进行直接法试验(GB/T 20840.2—2014 的附录 2E.3):

- 互感器具有实际上连续的环形铁心,且气隙均匀分布(如果有);
- 互感器的二次绕组均匀分布;
- 互感器的一次导体位于对称中心处;
- 互感器箱体外邻近导体和邻相导体的影响可以忽略。

以上各项均应予证明,如果依据图样表明结构符合低漏抗要求不能使制造方和用户相互满意,则应采用直接法进行试验。

5.5.3.6 PX 和 PXR 级保护用互感器的低漏抗型试验方法

试验方法见 GB/T 20840.2—2014 的附录 2C。

5.5.3.7 PR、TPY 和 PXR 级保护用互感器的剩磁系数测定试验方法

PR、TPY 和 PXR 级保护用互感器的剩磁系数(K_R)应测定,试验方法见 GB/T 20840.2—2014 的附录 2E。

5.5.4 试验判据

测量用互感器的准确度测量结果应满足表 6~表 8 中对应准确级的限值要求。

保护用互感器的准确度测量结果应满足表 9、表 10 中对应准确级的限值要求。

5.6 外壳防护等级的检验

5.6.1 试验要求

5.6.1.1 一般要求

如果适用,对于互感器包含电源电路零件可从外部穿入的所有外壳,以及所属低电压控制和/或辅助电路的所有外壳,按照 GB/T 4208 规定其防护等级。互感器的外壳还应有足够的机械强度。规定了 IP 代码的互感器应按 GB/T 4208 的要求进行试验。规定了 IK 代码的互感器应按 GB/T 20138 的要求进行试验。

IP、IK 代码的检验可在试品上直接进行试验,也可在制造方提供的代表性部件上(如同型式二次端子盒)或同结构等比例缩小试品上进行试验。

对于有保证安全的控制手段(例如联锁、书面操作指令等)禁止工作人员接近的户内互感器, IP20 可不作要求。

5.6.1.2 外壳防护等级(IP 代码)的检验要求

如果互感器按 GB/T 20840.1 和 GB/T 4208 的要求规定了外壳防护等级(IP 代码),则应要求进行试验。

5.6.1.3 外壳防护等级(IK 代码)的检验要求

如果互感器按 GB/T 20840.1 和 GB/T 20138 的要求规定了外壳防护等级(IK 代码),则应要求进行试验。

5.6.2 试验设备

5.6.2.1 外壳防护等级(IP 代码)的检验

外壳防护等级(IP 代码)的检验的试验设备和试具符合 GB/T 4208 的规定。

5.6.2.2 外壳防护等级(IK 代码)的检验

外壳防护等级(IK 代码)的检验可用下列三种试验装置进行试验:

- a) 摆锤;
- b) 弹簧锤;
- c) 垂直落锤。

推荐弹簧锤法。

5.6.3 试验方法

5.6.3.1 外壳防护等级(IP 代码)的检验

外壳防护等级(IP 代码)的检验的试验方法按 GB/T 4208 的规定进行。

5.6.3.2 外壳防护等级(IK 代码)的检验

应对被试外壳施加击打,以检验其对机械碰撞的防护。不能承受冲击的部件(如瓷绝缘子、浇注式环氧树脂外壳及伞裙、外壳上的接插件、显示器等)可以不要求该试验。

试验时,被试外壳应按制造方使用说明的要求安装在一刚性支撑座上。当对支撑座直接施加一能量相当于被试外壳防护等级的碰撞力时,如发生的位移小于或等于 0.1 mm,则认为该支撑座具有足够的刚性。

适合于产品的其他安装和支撑方法,可在相关的产品标准中规定。

如在相关的产品标准中无规定,则每一暴露面应承受 5 次碰撞。碰撞的部位应均匀地分布于被试外壳的测试面上。在外壳上同一部位附近所施加的碰撞应不超过 3 次。相关的产品标准应规定所施加冲击力的碰撞部位。

5.6.4 试验判据

5.6.4.1 外壳防护等级(IP 代码)的检验

5.6.4.1.1 第一位特征数字所代表的对接近危险部件防护的试验的接受条件

如果试具与危险部件之间有足够间隙,则防护合格。

第一位特征数字为 1 的试验,直径为 50 mm 的试具不得完全进入开口。

第一位特征数字为 2 的试验,铰接试指可进入 80 mm 长,但挡盘不得进入开口。从直线位置开始,试指的两个接点应绕相邻面的轴线在 90°范围内自由弯曲。应使试指在每一个可能的位置上活动。

接受条件中“足够的间隙”对于低压设备来说,指的是试具不能触及危险带电部件,如果足够的间隙是通过试具与危险部件间的指示灯电路来检验,则试验时指示灯应不亮。

接受条件中“足够的间隙”对于高压设备,指的是当试具放在最不利的位置时,设备应能承受相关标准规定的适用于该设备的耐电压试验,还可通过观察规定的空气中的间隙尺寸来确定,这个间隙应能保证在最不利的电场分布下通过耐电压试验,如果外壳包括有不同等级的几个部分,则应对每一部分确定足够间隙的适当验收条件。

5.6.4.1.2 第一位特征数字所代表的防止固体异物进入的试验的接受条件

第一位特征数字为 1、2、3、4 的接受条件:如果试具的直径不能通过任何开口,则试验合格。

第一位特征数字为 5 的防尘试验接受条件:试验后,观察滑石粉沉积量及沉积地点,如果同其他灰尘一样,不足以影响设备的正常操作或安全,则认为试验合格,而且在可有沿爬电距离导致漏电起痕处不允许有灰尘沉积。

第一位特征数字为 6 的防尘试验接受条件:试验后,如果壳内无明显的灰尘沉积,则认为试验合格。

5.6.4.1.3 第二位特征数字所代表的防水进入试验

试验后应检查外壳进水情况,一般来说,如果进水,则应不足以影响设备的正常操作或破坏安全性。水不积聚在可能导致沿爬电距离引起漏电起痕的绝缘部件上;水不进入带电部件,或进入不允许在潮湿状态下运行的绕组;水不积聚在电缆头附近或进入电缆。如外壳有泄水孔,应通过观察证明进水不会积聚,且能排出而不损害设备。满足以上条件则认为试验合格。

5.6.4.2 外壳防护等级(IK 代码)的检验

试验后,外壳不应出现破裂,外壳的变形应不影响互感器的正常性能,且不降低规定的防护等级。表面的损伤,例如漆膜脱落、散热翅或类似件的破损或少量凹痕可以忽略。

5.7 环境温度下密封性能试验(适用于气体绝缘产品)

5.7.1 试验要求

本试验适用于所有采用气体作为绝缘介质的互感器,但使用大气压的空气除外。本试验应在完整的互感器上和环境温度为 20 °C ± 10 °C 下进行。试验方法应是 GB/T 2423.23 规定的封闭压力系统的累积法(Q_m 试验的方法 1)。

互感器气体封闭压力系统上每一个开口应以原有的密封手段密封。

互感器应充以运行时所用的同一种混合气体,达到环境温度为 20 °C 时的额定充气压强。

泄漏测量的灵敏度应能检测出相当于约每年 0.25% 的泄漏率。

注 1: 泄漏测量的灵敏度,随测漏仪的灵敏度、所测量的容积和两次浓度测量的间隔时间而变化。

为了测量准确,试验应在互感器充气完成至少 1 h 后开始进行。

注 2: 如果密封性能例行试验采用累积法(Q_m 试验的方法 1)进行,则密封性能型式试验不需要进行。

5.7.2 试验设备

试验设备包括密封罩和特征气体检漏仪。特征气体检漏仪应能检测出从密封容器中泄漏的微量特征气体,其灵敏度应不低于 10⁻⁶。

5.7.3 试验方法

互感器气体封闭压力系统上每一个开口应以原有的密封手段密封。在测试期间内,从任何缺陷处泄漏出的气体聚集在密封罩内,然后测量采集到的气体并计算出漏气率。试验程序如下:

- a) 互感器应充以运行时所用的同种气体,达到环境温度为 20 ℃时的额定充气压强;
- b) 互感器放置 6 h 后,用密封罩将整个样品(或它表面的一部分)罩住;
- c) 扣罩 24 h 后,用灵敏度不低于 10^{-6} 、经检验合格的气体检漏仪测定罩内特征气体的浓度(视产品的大小选择 2 个~6 个点,通常是罩的上、下、左、右、前、后共 6 个点),根据密封罩内泄漏气体的浓度、密封罩的容积、试品的体积及试验场地的绝对压力,推算出漏气率 R ,见式(3):

$$R = 10^{-6} \times \frac{V_m(C_1 - C_0)P_e}{t_1 - t_0} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- R ——漏气率,单位为帕立方米每秒($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$);
- V_m ——测量体积,单位为立方米(m^3);
- $C_1 - C_0$ ——示踪气体浓度,单位为立方厘米每立方米(cm^3/m^3);
- $t_1 - t_0$ ——时间间隔,单位为秒(s);
- P_e ——样品外表面压力,为 10^5 Pa。

相对年漏气率 F_p (%/年)按式(4)计算:

$$F_p = \frac{R \times 31.5 \times 10^6}{V(P_r + P_e)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- V ——试品气体密封系统容积,单位为立方米(m^3);
- P_r ——试品额定充气压力,单位为帕(Pa)。

当所测量的特征气体仅为试品中混合气体的一种气体时,测出的漏气率应乘以一个校正因子,即内部总压强与特征气体分压强之比。

5.7.4 试验判据

如果产品经过本试验测得的年漏气率不超过每年 0.5%(适用于 SF_6 和 SF_6 混合气体),则认为产品通过本试验。

5.8 压力试验(适用于气体绝缘产品)

5.8.1 试验要求

当制造方能提供同型式的金属封闭部件、绝缘子的型式试验报告时,可以免做此项试验。

对于气体绝缘互感器金属封闭部件,需进行外壳的型式试验的压力试验。

对于气体绝缘互感器的空心绝缘子,则应进行空心绝缘子的型式试验的内压力试验。

注:本条中的“空心绝缘子”均简称为“绝缘子”。

此项试验推荐采用水压进行,并采取严格的安全防护措施,防止螺杆崩断、试品炸裂等情况造成人身伤害。

5.8.2 试验设备

5.8.2.1 外壳压力试验

试验设备为外壳水压试验机。

5.8.2.2 绝缘子内压力试验

5.8.2.2.1 复合绝缘子内压力试验

试验设备包括电阻应变片、端盖(端盖上应装有能使内压力介质进入和排放的装置)、充气或注液体装置,且充气或注液体装置上应装有单向阀和压力计(压力计的准确度等级不应低于 2.5 级)。

5.8.2.2.2 瓷绝缘子内压力试验

试验设备包括端盖(端盖上应装有能使内压力介质进入和排放的装置)、充气或注液体装置,且充气或注液体装置上应装有单向阀和压力计(压力计的准确度等级不应低于 2.5 级)。

5.8.3 试验方法

5.8.3.1 外壳压力试验

在型式试验的压力试验情况下,压力上升速度不应超过 400 kPa/min。

型式试验的压力试验要求至少如下:

a) 铸铝和铝合金外壳

型式试验压力 = $(3.5/0.7) \times$ 设计压力

数值 0.7 是考虑了涵盖铸造可能存在的分散性,如果经过专门的材料试验证明,则允许将该系数提高到 1.0。

b) 焊接的铝外壳和焊接的钢外壳

型式试验压力 = $(2.3/\nu) \times (\sigma_1/\sigma_a) \times$ 设计压力

其中:

ν —— 焊接效应系数(10%焊接段经过超声波或射线检查时为 1;目测检查时为 0.75);

σ_1 —— 试验温度时的允许设计应力;

σ_a —— 设计温度时的允许设计应力。

这些系数给予所用材料验证过的最低性能。

考虑到制造的方法,可以要求附加的系数。

经过这些压力后依然保持完好的所有外壳都不能使用。

5.8.3.2 绝缘子内压力试验

5.8.3.2.1 复合绝缘子内压力试验

本试验所用绝缘子试品应装有伞套。

试品上应装上 2 个电阻应变片(例如最终伸长率大于或等于 2%,阻抗大于或等于 120 Ω ,长度小于或等于 12 mm),应除去局部伞套,以便将应变片固定到管的外侧。

应变片的位置应为:

a) 管的外侧或内侧;

b) 一个应变片平行于管的轴线,另一个应变片垂直于管的轴线;

c) 两个端部附件间管的中部。

内压力试验时,试品应垂直安装。试品两端应装有端盖并密封,端盖上应装有能使内压力介质进入或排除的装置,内压力介质应是气体或液体,该介质除对管施加机械力外不产生其他影响。

本试验分两个阶段进行,也可能分三个阶段进行。设计用于无压力运行条件下的绝缘子无需进行本试验。

a) 第一阶段,在 2.0 倍最大设计压力下的试验

内压力在室温下应迅速而平稳的从零增加到 2.0 倍最大设计压力。当压力达到 2.0 倍最大设计压力时应保持 5 min。然后将压力平稳的泄去。如在压力施加前和施加后,管的应变情况相同,即应变片表明,管的残余应变在最大应变的±5%以内(可逆的弹性状态),则表明没有出现损伤。

b) 第二阶段,在 4.0 倍最大设计压力下的试验

在施加先前的压力后,再施加 4.0 倍最大设计压力持续至少 5 min。然后将压力平稳泄去。在压力施加后允许残余应变大于最大应变的±5%(不可逆的塑性状态),但应确定没有出现可见损伤。

c) 第三阶段,规定内压力水平下的试验

如有附加要求,则应使用第二阶段的程序,施加规定内压力 5 min,应记录所有数据。允许有明显的损伤(不可逆的塑性状态)。

5.8.3.2.2 瓷绝缘子内压力试验

将带有相应连接阀和测量仪表的压板压紧或固定到空心绝缘子端部附件上,固定时在附件和压板间加适当的密封垫。密封结构应尽可能与实际使用结构接近。

将空心绝缘子注满水,并与液压泵相连。液体压力应平稳增加到试验压力,升压中不应产生冲击。

每分钟的升压速率应为试验压力的 30%~60%。

5.8.4 试验判据

5.8.4.1 外壳压力试验

外壳应至少能承受试验所要求的压力。

5.8.4.2 绝缘子内压力试验

5.8.4.2.1 复合绝缘子内压力试验

如果满足下列条件,则试验通过:

- a) 没有出现管的破坏和抽出,没有出现端部附件的破坏;
- b) 施加 2.0 倍最大设计压力后,据应变片的指示,没有发现管的不可逆形变。

5.8.4.2.2 瓷绝缘子内压力试验

绝缘子应能承受 4.25 倍设计压力 5 min,不发生破坏。当压力释放到零时,应检查绝缘子的瓷件和端部附件是否开裂,胶状或密封是否破坏。如无上述现象,即使端部附件承受的压力超过其屈服点,只要没有破坏,则认为该试验通过。

5.9 短时电流试验

5.9.1 试验要求

试验时互感器的初始温度为 5 °C~40 °C。

短时热电流试验应在二次绕组短路的情况下进行,施加的电流 I' 及持续时间 t' 应满足式(5)的要求:

$$I'^2 \times t' \geq I_{th}^2 \times t \dots\dots\dots (5)$$

式中:

t ——短时热电流的规定持续时间;

而 t' 值应在 0.5 s 和 5 s 之间。

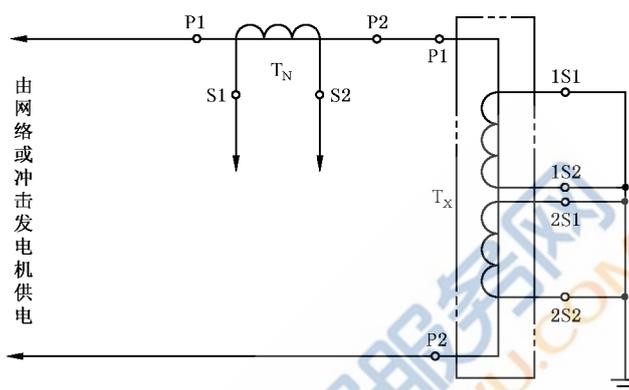
动稳定试验应在二次绕组短路的情况下进行,施加一次电流的峰值至少有一个波峰不小于额定动稳定电流(I_{dyn})。

动稳定试验可以与上述短时热电流试验合并进行,但要求该试验电流的第一个主峰值不小于额定动稳定电流(I_{dyn})。

动稳定试验的峰值电流应该不小于额定动稳定电流 I_{dyn} ,未经制造方同意不应该超过该值的 5%,试验的 $I'^2 \times t'$ 未经制造方同意不应该超过 $I_{th}^2 \times t$ 的 10%。

5.9.2 试验线路

试验线路见图 8。



说明:

- T_N —— 基准互感器;
- T_X —— 被试互感器;
- P1、P2 —— 一次绕组出线端子;
- S1、S2、1S1、1S2、2S1、2S2 —— 二次绕组出线端子。

图 8 短时电流试验

5.9.3 试验方法

5.9.3.1 多变比互感器的绕组连接

对于多变比互感器的短时电流试验,应根据使一次绕组有最大电流密度的产品技术条件所规定的短时电流值来进行互感器引出端子的接线。

a) 当互感器有相同多段一次绕组进行串、并联连接以改变电流比时,如果只规定一个短时电流额定值(对任何变比都要满足的),则应在最小电流比接线方式下进行试验。

如果规定了不同的几个短时电流额定值,且这几个短时电流额定值的比例关系与一次绕组在不同的串、并联连接时的额定一次电流的比例关系相对应(例如,一台互感器可以通过一次绕组串联、串-并联、并联,换接得到三种电流比,其额定一次电流的比例关系为 1 : 2 : 4,且短时电流额定值的比例关系也是 1 : 2 : 4),则应在最大电流比接线方式(一次绕组并联)下进行试验。如果与上述关系不对应,则需在一次绕组短时热电流密度最大的连接方式(一般为一次绕组串联)下进行试验。

b) 对采用一次绕组串、并联改变电流比的互感器,应选择在一次绕组短时热电流密度最大的接线方式下进行试验。

如果各种接线方式下一次绕组短时热电流密度相同时,则应在最大一次电流接线方式下进行试验。

- c) 当互感器通过二次绕组抽头改变电流比时,应将具有最小电流比的二次端子短接。

5.9.3.2 二次电流测量

在短时电流试验时,应同时测量二次电流。

对于有多个二次绕组的互感器,可选择具有最大二次电流倍数的绕组进行测量,其余二次绕组端子均应短接。

注:最大二次电流倍数定义为:在二次绕组短接时,当互感器铁心磁密达到饱和状态时的二次电流与额定二次电流的比值(委托试验方提供)。

5.9.4 试验判据

如果试验后的互感器在冷却到环境温度(5℃~40℃)后,能满足下列要求,则应认为互感器通过本试验:

- 无可见的损伤;
- 退磁后,其误差与本试验前的差异不超过其准确级误差限值的一半;
- 能够承受 6.2、6.3、6.5、6.6 和 6.14 规定的绝缘试验,但其试验的电压或电流降低为规定值的 90%;
- 经检查,与导体表面接触的绝缘无明显的劣化现象(例如碳化)。

如果一次绕组对应于额定短时热电流(I_{th})的电流密度不超过下列值,则 d) 项检查可不进行:

- 180 A/mm²,绕组为铜材,其电导率不小于 GB/T 5585.1 规定值的 97%;
- 120 A/mm²,绕组为铝材,其电导率不小于 GB/T 3954 规定值的 97%。

注:经验表明,只要一次绕组额定短时热电流的电流密度不超过上述值,则在运行中对 A 级绝缘的热额定值要求一般均能满足。

6 例行试验

6.1 气体露点测量(适用于气体绝缘产品)

6.1.1 试验要求

气体露点应在充气后 24 h 测定。如无其他协议,试验方法由制造方自行选定。

6.1.2 试验设备

常用的气体露点测量方法有露点法和电解法,设备分别为气体露点仪和电解式微量水分仪(电解湿度计)。

气体露点仪的仪器要求如下:

- 能够把流经测定室的气体以及镜面冷却到所需温度,降温速率和样气流速可以控制;
- 能够测定露(霜或冰)的形成并能测定镜面温度;
- 测定室内的气压不能超过仪器允许的最大压力;
- 仪器需经计量检定合格并在有效期内。

电解式微量水分仪的仪器要求如下:

- 调节测试流量、旁通气流量的装置;
- 仪器气路系统应无死体积或应尽量减小死体积;
- 仪器气路系统应进行严格试漏,以确保气路系统的气密性;
- 在通常情况下,仪器的检测限应比样气湿度低一个数量级,当样气湿度的体积分数小于 $5 \times$

10^{-6} 时,仪器的检测限应至少小于样气湿度的50%;

- e) 仪器时间常数不大于5 min;
- f) 全程式电解池的吸收效率应大于98%;
- g) 仪器需经计量检定合格并在有效期内。

6.1.3 试验方法

6.1.3.1 露点法(推荐)

瓶装气体的采样用耐压针形阀,至少采用三次升、降压法吹洗采样阀及其他气路系统。

管道气体的采样应使用管道上的根部采样阀,并用尽可能短的采样管将样品气直接通入露点仪。

按照仪器说明书规定的气体流速,用皂膜流量计或其他方法来确定适当的样品气流速。

当整个气路系统充分置换后就可以开始测量,手动制冷的露点仪当镜面温度离露点约5℃时应该缓慢地降低镜面温度,应尽量减小降温的惯性影响,到露点出现时,记录露点值。消露后重复测定一次,当两次平行测定的误差满足仪器规定的要求时即可停止测定。

6.1.3.2 电解法

瓶装气体的采样用耐压取样阀。用被测气体充分置换采样阀及采样管。

管道气体的采样应使用管道上的采样阀,并用尽可能短的采样管将样品气直接通入电解式微量水分仪。

测定方法及测定前的准备按仪器说明书进行。

6.1.4 试验判据

对于额定充气密度达到要求的气体绝缘互感器,其内部最大允许含水量应对应于20℃测量的露点不高于-30℃。在其他温度测量应作适当校正。

6.2 一次端工频耐压试验

6.2.1 试验要求

工频耐压试验应按GB/T 16927.1的规定进行。

除非另有规定,试验电压应依据设备最高电压取表4的相应值,持续时间60 s。

试验电压应施加在短路的一次绕组与地之间。短路的二次绕组、座架、箱壳(如果有)和铁心(如果要求接地)均应接地。

对设备最高电压为 $U_m \geq 110$ kV的互感器,试验电压按表4的规定,试验时间为5 min。

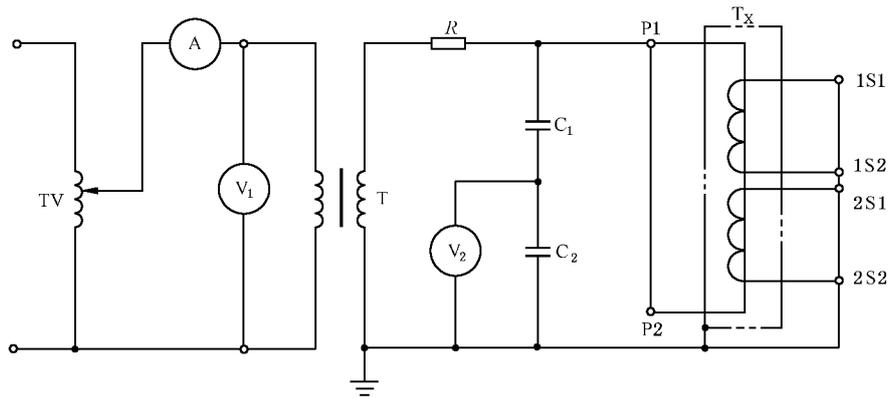
对设备最高电压为 $U_m \geq 40.5$ kV,且采用电容型绝缘结构的互感器,其地屏对地应能耐受额定工频耐受电压5 kV(方均根值),持续时间为60 s。

一次端的重复工频耐压试验应以规定试验电压值的80%进行。

注:该要求主要针对产品验收时的交接试验或抽样性试验。

6.2.2 试验线路

试验线路见图9。



说明:

TV	——调压器;
A	——电流表;
V_1	——方均根值电压表;
T	——试验变压器;
V_2	——峰值电压表(峰值/ $\sqrt{2}$);
R	——保护电阻;
C_1 、 C_2	——电容分压器;
T_x	——被试互感器
P1、P2	——一次绕组出线端子;
1S1、1S2、2S1、2S2	——二次绕组出线端子。

图9 一次端工频耐压试验

6.2.3 试验方法

在确定设备线路及电源波形无误后,对试品施加电压。加压时,应由机械零位开始缓慢升高电压,观测仪表升压数值。在升至75%试验电压时,以每秒2%试验电压的速率升压至短时工频耐压的试验值,维持60s或规定的时间,然后降到30%规定试验电压以下后再切断电源。

6.2.4 试验判据

如果未发生试验电压突然下降(无击穿或闪络),则试验合格。

6.3 局部放电测量

6.3.1 试验要求

所用试验电路和测试设备符合GB/T 7354的要求。

所用仪器设备应测量以皮库(pC)表示的视在电荷量 q ,其校准应在试验电路上进行,见图10和图11。

宽频带仪器的带宽应至少为100kHz,其上截止频率不超过1.2MHz。

窄频带仪器的谐振频率应在0.15MHz~2MHz范围内。优先值应在0.5MHz~2MHz范围内,但如有可能,测量应在灵敏度最高的频率下进行。

灵敏度应能检测出5pC的局部放电水平。

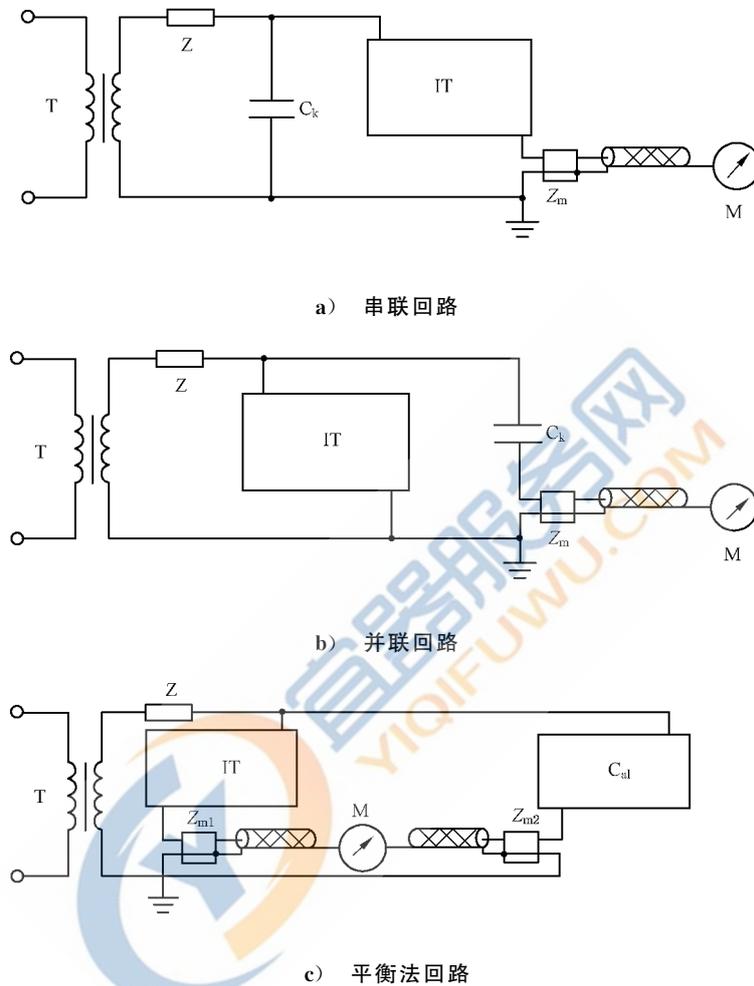
注1: 噪声宜远低于灵敏度。已知的外部干扰脉冲可以忽略。

注2: 为了抑制外部噪声,宜采用平衡试验电路[见图10中的c)]。

注 3：当采用电子信号处理和复原技术降低背景噪声时，宜以改变其参数来达到它能检测重复出现的脉冲。

6.3.2 试验线路

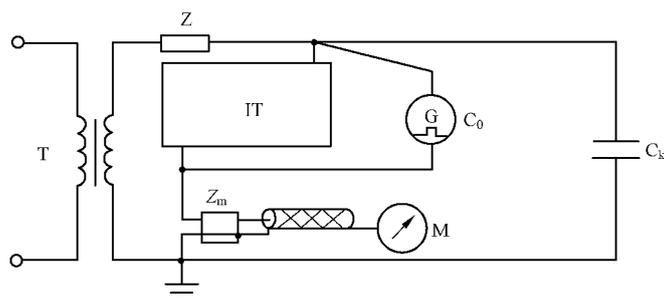
试验电路见图 10。



说明：

- T —— 试验变压器；
- IT —— 被试互感器；
- C_k —— 耦合电容器；
- M —— 局部放电测量仪器；
- Z_m —— 测量阻抗；
- Z —— 滤波器(如果 C_k 是试验变压器的电容,则不需要)；
- C_{al} —— 无局部放电的辅助试品；
- Z_{m1} 、 Z_{m2} —— 测量阻抗。

图 10 局部放电测量的试验电路示例



说明：

符号含义见图 10。

G——电容量为 C_0 的脉冲发生器。

图 11 局部放电测量的校准电路示例

6.3.3 试验方法

在按照程序 A 或程序 B 施加预加电压之后，将电压降到表 11 规定的局部放电测量电压，在 30 s 内测量相应的局部放电水平。

程序 A：局部放电测量电压是在工频耐压试验后的降压过程中达到。

程序 B：局部放电试验是在工频耐压试验结束之后进行。施加电压上升至额定工频耐受电压的 80%，至少保持 60 s，然后不间断地降低到规定的局部放电测量电压。

除非另有规定，程序的选择由制造方自行选定。

6.3.4 试验判据

如果测得的局部放电水平不超过表 11 规定的限值，则认为此试验合格。

表 11 允许的局部放电水平

系统中性点接地方式	局部放电测量电压 (方均根值) kV	不同绝缘类型局部放电最大允许水平 pC	
		液体浸渍或气体	固体
中性点有效接地系统 (接地故障因数 ≤ 1.4)	U_m	10	50
	$1.2U_m/\sqrt{3}$	5	20
中性点绝缘系统或非有效接地系统 (接地故障因数 > 1.4)	$1.2U_m$	10	50
	$1.2U_m/\sqrt{3}$	5	20

注 1：如果系统中性点的接地方式未指明时，则局部放电水平可按中性点绝缘或非有效接地系统考虑。
注 2：局部放电最大允许水平对于非额定频率也是适用的。

6.4 电容量和介质损耗因数测量

6.4.1 试验要求

本试验的主要目的是检查产品的一致性。

电容量和介质损耗因数 ($\tan \delta$) 应在额定频率和 $10 \text{ kV} \sim U_m/\sqrt{3}$ 范围内某一电压下测量。

试验应在一次端工频耐压试验后进行。试验电压应施加在短路的一次绕组端子与地之间。通常，

短路的二次绕组、地屏和绝缘的金属壳均应接入测量装置。如果互感器具有专供此测量用的端子,则其他低压端子应短路,并与金属壳连在一起接地或接测量装置的屏蔽。

试验应在环境温度下进行,温度应作记录。

试验方法应经制造方与用户协商同意,但优先选用电桥法。

注 1: 介质损耗因数试验不适用于气体绝缘互感器。

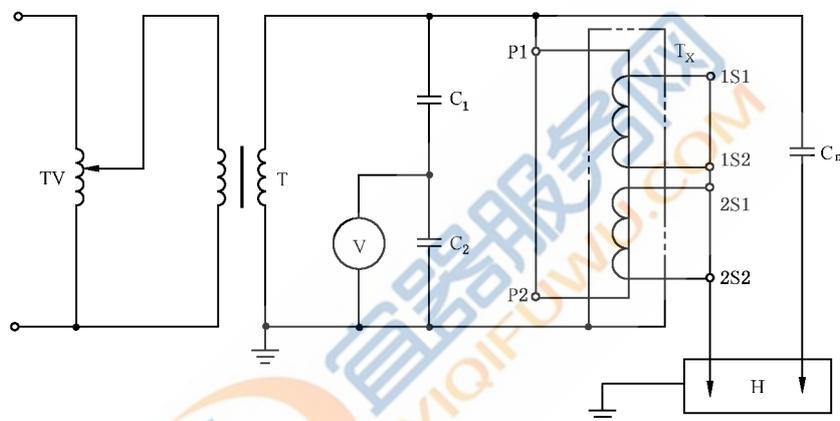
注 2: 非电容型绝缘结构的互感器不需要考核电容量。

6.4.2 试验线路(电桥法)

6.4.2.1 非电容型互感器

试验电压应施加在短接的一次绕组端子与地之间,短接的二次绕组端子和绝缘的金属箱壳均接入测量电桥。如果互感器具有一个专供此测量用的装置(端子),则其他低压端子应短接,并与金属箱壳等一起接地或接到测量电桥的屏蔽。试验线路见图 12。

注: 如果采用其他的测量方法(如金属底座或箱壳接地)进行测量,则其结果不宜与上述方法的测量结果进行比对。



说明:

- TV — 调压器;
- T — 试验变压器;
- V — 峰值电压表(峰值/ $\sqrt{2}$);
- C_1 、 C_2 — 电容分压器;
- H — 电桥;
- C_n — 标准电容器;
- T_x — 被试互感器
- P1、P2 — 一次绕组端子;
- 1S1、1S2、2S1、2S2 — 二次绕组端子。

图 12 非电容型互感器介质损耗因数测量

6.4.2.2 电容型互感器

试验电压应施加在短接的一次绕组端子与地之间,短接的二次绕组端子和绝缘的金属箱壳均应接地,一次绕组电容屏的地屏接入电桥(正接法),试验线路见图 13。

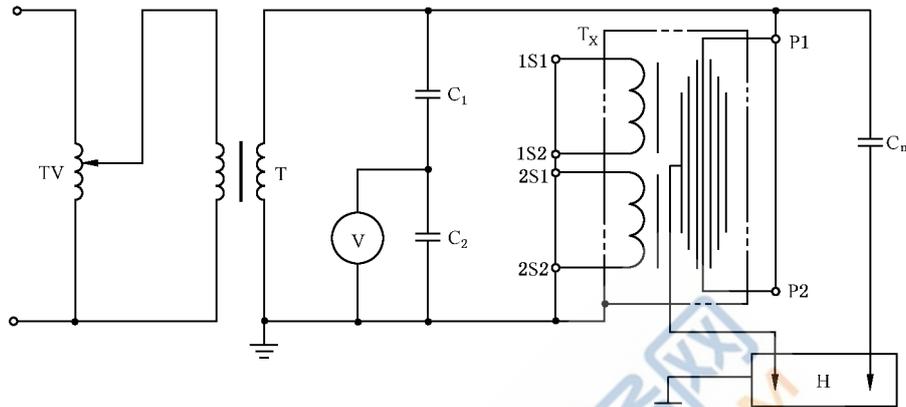
亦可将一次绕组端子直接接入电桥(反接法)。

注: 反接法只能在 10 kV 的测量电压下测量,且测得的电容量通常大于正接法所测得的电容量。

对于某种结构的倒立油浸式互感器的电容量和介质损耗因数测量应按整体和部分分别进行试验。整体电容量和介质损耗因数测量时试验电压应施加在短接的一次绕组端子与地之间,主绝缘电容屏的

地屏、短接的二次绕组端子和绝缘的金属箱壳均应接入电桥,试验线路见图 14。部分电容量和介质损耗因数测量时试验电压应施加在短接的一次绕组端子与地之间,短接的二次绕组端子和绝缘的金属箱壳均应接地,主绝缘电容屏的地屏接入电桥(正接法),试验线路见图 13。

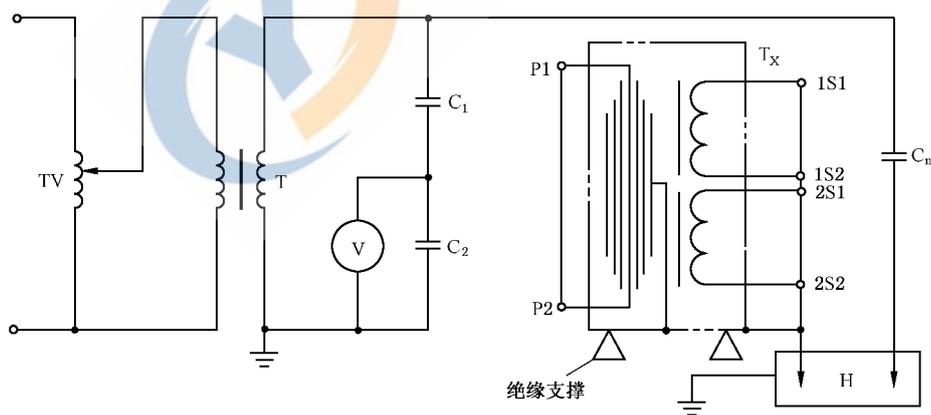
电容型互感器的地屏介质损耗因数测量时,试验电压应施加在地屏上,短接的一次绕组端子不得与地连接,短接的二次绕组端子及金属箱壳接入电桥。试验线路见图 15。



说明:

- | | | | |
|---------------|---------------------------|-----------------|-----------|
| TV | ——调压器; | C_n | ——标准电容器; |
| T | ——试验变压器; | T_x | ——被试互感器; |
| V | ——峰值电压表(峰值/ $\sqrt{2}$); | P1、P2 | ——一次绕组端子; |
| C_1 、 C_2 | ——电容分压器; | 1S1、1S2、2S1、2S2 | ——二次绕组端子。 |
| H | ——电桥; | | |

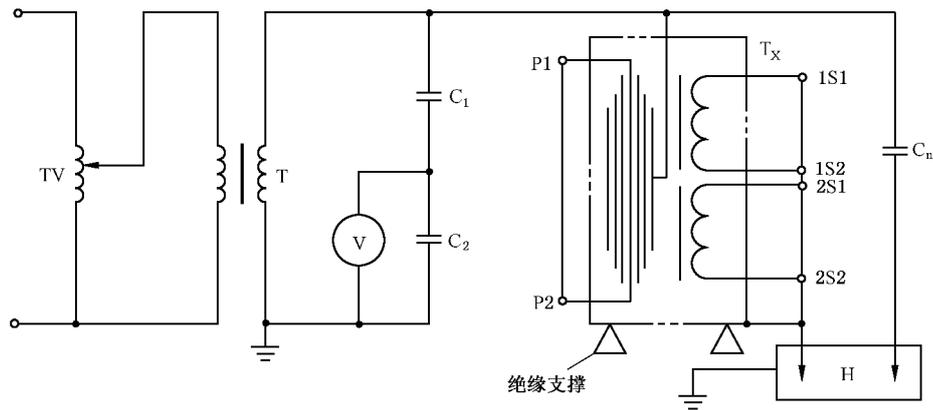
图 13 电容型互感器部分电容量和介质损耗因数测量(正接法)



说明:

- | | | | |
|---------------|---------------------------|-----------------|-----------|
| TV | ——调压器; | C_n | ——标准电容器; |
| T | ——试验变压器; | T_x | ——被试互感器; |
| V | ——峰值电压表(峰值/ $\sqrt{2}$); | P1、P2 | ——一次绕组端子; |
| C_1 、 C_2 | ——电容分压器; | 1S1、1S2、2S1、2S2 | ——二次绕组端子。 |
| H | ——电桥; | | |

图 14 电容型互感器整体电容量和介质损耗因数测量



说明：

- TV —— 调压器；
- T —— 试验变压器；
- V —— 峰值电压表(峰值/ $\sqrt{2}$)；
- C_1 、 C_2 —— 电容分压器；
- H —— 电桥；
- C_n —— 标准电容器；
- T_x —— 被试互感器；
- P1、P2 —— 一次绕组端子；
- 1S1、1S2、2S1、2S2 —— 二次绕组端子。

图 15 电容型互感器的地屏(未屏)介质损耗因数测量

6.4.3 试验方法

在确认试验线路无误后,对试品施加电压。维持电压在测量电压,调节电桥平衡,得到所测试品的电容量及介质损耗因数值。

6.4.4 试验判据

如果测得的介质损耗因数值满足表 12 的规定时,则认为此试验合格。

表 12 各种油浸式互感器的介质损耗因数允许值

绝缘结构	设备最高电压 (方均根值) kV	测量电压 kV	质损耗因数允许值($\tan\delta$)
电容型绝缘	550	$U_m/\sqrt{3}$	≤ 0.004
	≤ 363	$U_m/\sqrt{3}$	≤ 0.005
非电容型绝缘	> 40.5	10	≤ 0.015
	40.5	10	≤ 0.02

注：对采用电容型绝缘结构的互感器,制造方宜提供测量电压为 10 kV 下的介质损耗因数值。

对于 $U_m \geq 252$ kV 的油浸式互感器,在 $0.5U_m/\sqrt{3} \sim U_m/\sqrt{3}$ 的测量电压下,介质损耗因数($\tan\delta$)测

量值的增值不应大于 0.001。

对于正立电容型绝缘结构油浸式互感器的地屏(末屏),在测量电压为 3 kV 下的介质损耗因数 ($\tan\delta$) 允许值不应大于 0.02。

6.5 段间工频耐压试验

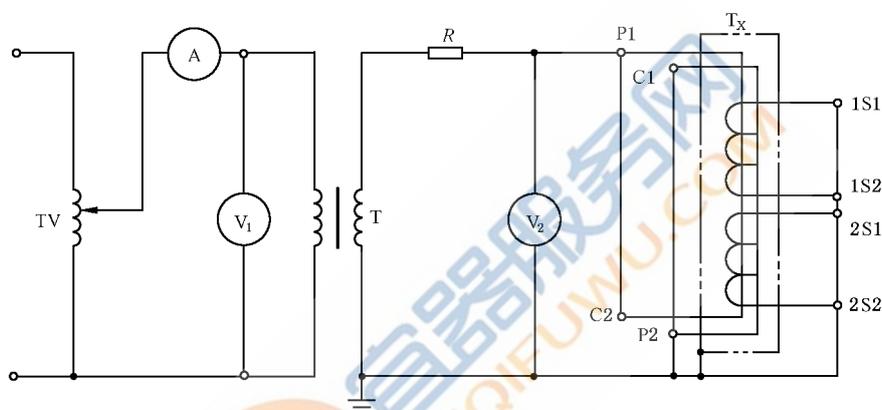
6.5.1 试验要求

本试验仅适用于具有多个线段的互感器。

对相互连接的各线段,其段间绝缘的额定工频耐受电压应为 3 kV。座架、箱壳(如果有)、铁心(如需接地)和所有其他端子皆应连在一起接地。

6.5.2 试验线路

试验线路可按照图 16。



说明:

- | | |
|-----------------|---------------------------|
| TV | ——调压器; |
| A | ——电流表; |
| V ₁ | ——方均根值电压表; |
| T | ——试验变压器; |
| V ₂ | ——峰值电压表(读数/ $\sqrt{2}$); |
| R | ——保护电阻; |
| T _x | ——被试互感器; |
| P1、P2 | ——一次绕组出线端子; |
| C1、C2 | ——一次绕组换接端子; |
| 1S1、1S2、2S1、2S2 | ——二次绕组出线端子。 |

图 16 段间工频耐压试验

6.5.3 试验方法

试验电压应依次施加到端子短接的各线段之间,持续 60 s。施加电压应由机械零位开始缓慢升高,升到规定试验电压值并持续 60 s 后,降到 30% 试验电压值以下再切断电源。

6.5.4 试验判据

如果试验过程中无击穿现象出现,则试验合格。

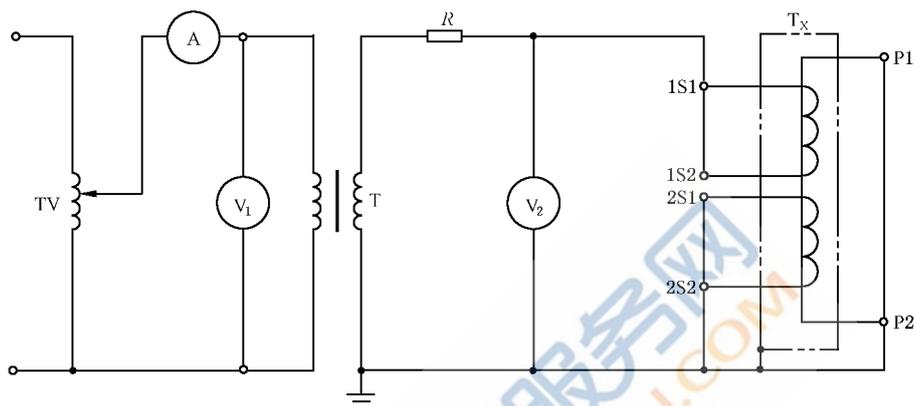
6.6 二次端工频耐压试验

6.6.1 试验要求

二次端各绕组间及各绕组与地之间的额定工频耐受电压应为 3 kV。

6.6.2 试验线路

座架、箱壳(如果有)和铁心(如果要求接地)及所有其他绕组均应连在一起接地。试验线路见图 17。



说明:

- | | |
|-----------------|---------------------------|
| TV | ——调压器; |
| T | ——试验变压器; |
| A | ——电流表; |
| V ₁ | ——方均根值电压; |
| R | ——保护电阻; |
| V ₂ | ——峰值电压表(峰值/ $\sqrt{2}$); |
| T _x | ——被试互感器; |
| P1、P2 | ——一次绕组出线端子; |
| 1S1、1S2、2S1、2S2 | ——二次绕组出线端子。 |

图 17 二次端工频耐压试验

6.6.3 试验方法

二次绕组工频耐压试验时,试验电压应施加在各短接的二次绕组与地之间,持续时间 60 s。施加电压应由机械零位开始缓慢升高,升到规定试验电压值并持续 60 s 后,降到 30% 试验电压值以下再切断电源。

6.6.4 试验判据

如果试验过程中无击穿现象出现,则试验合格。

6.7 准确度试验

6.7.1 试验要求

按照 5.5.1 的规定进行。

6.7.2 试验线路

按照 5.5.2 的规定进行。

6.7.3 试验方法

测量用互感器的准确度例行试验原则上与 5.5.3 相同,但只要已在类似互感器型式试验中证实,减少测试点的试验仍足以验证符合 5.5.1 的要求,则允许在例行试验中减少电流和/或负荷的测试点。

保护用互感器的准确度例行试验与 5.5.3 相同。

PX 和 PXR 级的匝数比误差按照 GB/T 20840.2—2014 的附录 2H 进行测定。

6.7.4 试验判据

测量用互感器的准确度测量结果应满足表 6~表 8 中对应准确级的限值要求。

保护用互感器的准确度测量结果应满足表 9 和表 10 中对应准确级的限值要求。

6.8 标志的检验

6.8.1 试验要求

6.8.1.1 铭牌标志的检验

应检验铭牌标志是否正确,具体要求按照 GB/T 20840.1 和 GB/T 20840.2 的规定进行。

6.8.1.2 端子标志的检验

应检验端子标志是否明确表示以下各项内容:

- a) 一次绕组和二次绕组;
- b) 绕组段(如果有);
- c) 绕组和绕组段的极性关系;
- d) 中间抽头(如果有)。

大写字母 P1、P2、C1 和 C2 表示一次绕组端子,大写字母 S1、S2、S3 表示相应的二次绕组端子。

互感器端子标志应正确。标有 P1、S1 和 C1 的所有端子在同一瞬间应具有同一极性。

6.8.2 试验方法

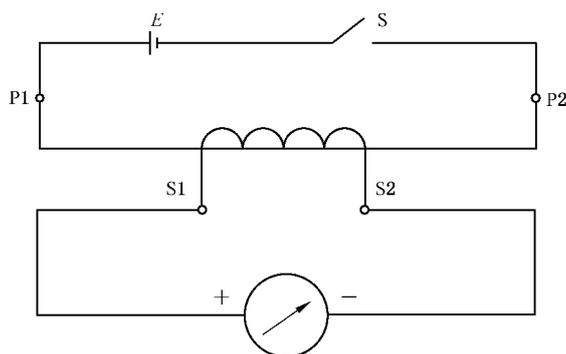
6.8.2.1 铭牌标志的检验

采用目测方式,按照 6.8.1.1 的要求,逐项检查产品铭牌内容。

6.8.2.2 端子标志的检验

6.8.2.2.1 直流检验法

互感器出线端子极性检验用直流试验法见图 18。



说明：

E ——直流电源；

S ——开关；

$P1$ 、 $P2$ ——一次绕组端子；

$S1$ 、 $S2$ ——二次绕组端子。

图 18 出线端子极性检验(直流试验法)

电池的正极接在一次绕组 $P1$ 端, 负极接在一次绕组的 $P2$ 端; 直流电压(流)表的正极接在二次绕组的 $S1$ 端, 负极接在二次绕组的 $S2$ 端。接通开关瞬间, 电压(流)表向顺时针方向摆动则互感器为极性正确。

6.8.2.2.2 误差校验仪检验法

根据互感器的接线标志, 按比较法线路完成测量接线后, 升起电流至额定值的 5% 以下试测, 用校验仪的极性指示功能或误差测量功能, 检验出线端子的极性是否正确。

6.8.3 试验判据

如果互感器的铭牌标志内容满足 6.8.1.1 中的要求, 且出线端子所标志的极性正确, 则认为此试验合格。

6.9 环境温度下密封性能试验

6.9.1 气体绝缘互感器

气体绝缘互感器环境温度下的密封性能试验相关内容见 5.7。

6.9.2 油浸式互感器

6.9.2.1 试验要求

油浸式互感器环境温度下密封性能试验的目的是验证没有渗漏。

试品应按使用条件装有其全部附件及其规定的液体, 安装应尽可能接近运行状态。

6.9.2.2 试验设备

油浸式互感器密封性能试验的主要设备：

- a) 气体压缩装置；
- b) 过滤器；

- c) 减压阀及输气管；
- d) 充气或注油装置，且充气或注油装置上应装有单向阀和压力计（压力计的准确度等级不应低于 2.5 级）。

6.9.2.3 试验方法

密封性能试验应在清洁的产品上进行，试验场地应无明显油污。

应安装充气或注油装置，通过单向阀对不带膨胀器的油浸式互感器产品注入一定压力的干燥空气（氮气）或油，施加压力和维持时间不应低于表 13 规定值。

表 13 油浸式互感器密封性能试验要求

设备最高电压 (方均根值) kV	施加压力 MPa	维持压力时间 h	充气加压的 最小剩余压力 MPa	说明
≥40.5	0.05	6	0.03	不带膨胀器产品
	0.1	6	0.07	带膨胀器产品不带膨胀器试验
<40.5	0.04	3	0.025	同时适用于户外组合互感器

按表 13 规定的压力和时间试验后，观察产品有无渗、漏油现象。

对于带膨胀器的油浸式互感器，应在未装膨胀器之前，对互感器按上述方法进行密封性能试验。试验后，将装好膨胀器的产品，按规定时间（一般不少于 12 h）静放，外观检查是否有渗、漏油现象。带防爆片的产品应采取措施，以满足表 13 中的试验压力。

6.9.2.4 试验判据

如果试验过程中试品无渗、漏油现象，且维持压力时间后剩余压力满足表 13 要求，则此试验合格。

6.10 压力试验(适用于气体绝缘产品)

6.10.1 试验要求

对于气体绝缘互感器的金属封闭部分，需进行外壳的例行试验的压力试验。

对于气体绝缘互感器的绝缘子，则应进行绝缘子的逐个压力试验。

6.10.2 试验设备

6.10.2.1 外壳压力试验

试验设备包括外壳水压试验机。

6.10.2.2 绝缘子压力试验

试验设备包括端盖（端盖上应装有能使内压力介质进入和排放的装置）、充气或注液体装置，且充气或注液体装置上应装有单向阀和压力计（压力计的准确度等级不应低于 2.5 级）。

6.10.3 试验方法

6.10.3.1 外壳压力试验

标准试验压力应是 k 倍的设计压力，这里系数 k 等于：

- a) 对于焊接的铝外壳和焊接的钢外壳为 1.3;
- b) 对于铸造的铝外壳和铝合金外壳为 2。

6.10.3.2 绝缘子压力试验

压力试验时,试品应垂直安装。试品两端应装有端盖并密封,端盖上应装有能使内压力介质进入或排除的装置,内压力介质应是气体或液体,该介质除对管施加机械力外不产生其他影响。在正常条件下,通过充气或者注液体的方式向绝缘子内部加压,压力为 2.0 倍最大运行压力,压力持续 1 min。

6.10.4 试验判据

外壳压力试验和绝缘子压力试验过程中,如果试品不出现破裂或永久变形,则认为试验合格。

6.11 二次绕组电阻(R_{ct})测定

6.11.1 试验要求

对于 PR、PX、PXR、TPX、TPY 和 TPZ 级互感器应测定二次绕组直流电阻 R_{ct} ,以验证是否符合其相应条款的要求。

利用单臂电桥/双臂电桥/直流电阻测试仪在环境温度下测量二次绕组直流电阻 R_{ct} ,此时测得的 R_{ct} 为实际值,单位为欧姆(Ω),应按式(6)校正到 75 °C 或规定的其他温度。

$$R_{ct75\text{ }^{\circ}\text{C}} = \frac{235 + 75}{(235 + t)} \times R_{ct} \dots\dots\dots(6)$$

式中:

t ——环境温度值,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

6.11.2 试验设备

当被测量电阻大于或等于 10 Ω 时,可采用单臂电桥(惠斯顿电桥)或直流电阻测试仪进行测量。

当被测量电阻小于 10 Ω 时,推荐采用双臂电桥(凯尔文电桥)或直流电阻测试仪进行测量。

6.11.3 试验方法

使用单臂电桥或双臂电桥测量时,将被测绕组两端与电桥连接,调节电桥表盘读数,使电桥达到平衡状态,记录电桥表盘读数。

使用直流电阻测试仪时,将被测绕组两端与测试仪连接,选择合适的量程,测量绕组直流电阻并记录读数。

6.11.4 试验判据

如果校正后的 R_{ct} 值不超过规定的上限值(如果有),则认为试验合格。

6.12 二次回路时间常数(T_s)测定

6.12.1 试验要求

对于 PR 和 TPY 级互感器应测定二次回路时间常数(T_s),以验证是否符合要求。

6.12.2 试验方法

确定 T_s 应采用式(7)(L_m 的测定见 GB/T 20840.2 的附录 2E.2)

$$T_s = \frac{L_m}{(R_{ct} + R_b)} \dots\dots\dots(7)$$

如果负荷规定为额定输出,单位为 VA,则 R_b 取负荷的电阻部分。
另外, T_s 也可按式(8)确定:

$$T_s = \frac{1}{2\pi f_r \times \tan(\Delta\varphi)} \dots\dots\dots(8)$$

如果相位差 $\Delta\varphi$ 以分表示,则可以使用近似式(9):

$$T_s = \frac{3\,438}{2\pi f_r \times \Delta\varphi} \dots\dots\dots(9)$$

注 1: 由于小相位差测量的不确定度,因此在大变比和小相位差的互感器上,利用 $\Delta\varphi$ 的方法可能出现困难。

注 2: 对于 TPZ 级互感器, T_s 未作明确规定。其准确度要求($\Delta\varphi = 180 \text{ min} \pm 18 \text{ min}$)是在例行试验中验证,于是 T_s 可由上式得出。

6.12.3 试验判据

如果测得值与其规定值之差不超过 $\pm 30\%$,则认为试验合格。

6.13 额定拐点电势 (E_k) 和 E_k 下励磁电流的试验

6.13.1 试验要求

对于 PX 和 PXR 级互感器应测定其额定拐点电势和 E_k 下的励磁电流 I_e ,以验证是否符合其相应条款的要求。

测量励磁电压应采用其响应正比于整流信号平均值但刻度为方均根值的仪器。测量励磁电流应采用具有波峰系数最低为 3 的方均根值仪器。

励磁特性曲线图绘制应至少达到电压等于 $1.1 \times E_k$ 。

在等于 E_k 的电压点,应满足“当互感器所有其他端子均开路时,施加于二次端子上的额定频率正弦波电压方均根值,该值增加 10% 时使励磁电流方均根值增加 50%”的拐点条件。

6.13.2 试验方法

在互感器二次绕组满匝端子上应施加额定频率的适当值正弦波励磁电压,所有其他端子开路,测量励磁电流。

对于二次绕组抽头的变比可选的互感器,最大变比之外其他变比的励磁特性可以计算。可在每一个测量点利用式(10)和式(11)计算:

$$E_2 = E_1 \times \frac{k_{r2}}{k_{r1}} \dots\dots\dots(10)$$

$$I_{e2} = I_{e1} \times \frac{k_{r1}}{k_{r2}} \dots\dots\dots(11)$$

式中:

k_{r1} 、 k_{r2} ——两个额定变比;

E_1 、 E_2 ——两个相应的电势值;

I_{e1} 、 I_{e2} ——两个相应的励磁电流值。

注 1: 测量点数可由制造方与用户协商确定。

注 2: 通常,确定的实际拐点电势宜高于额定拐点电势 E_k 。

6.13.3 试验判据

如果在等于 E_k 的电压点满足规定的拐点条件,且在电压等于 E_k (或其指定百分数) 时测得的励磁

电流 I_e 不超过规定的限值,则认为试验合格。

6.14 匝间过电压试验

6.14.1 试验要求

本试验仅适用于无短路匝补偿的互感器。

绕组匝间绝缘的额定耐受电压应为 4.5 kV(峰值)。

对于额定拐点电势 $E_k > 450$ V 的 PX 级和 PXR 级互感器,匝间绝缘的额定耐受电压应为峰值是所规定拐点电势方均根值的 10 倍,或 10 kV 峰值,取二者的较低值。

注 1: 由于试验程序的影响,波形可能严重畸变。

注 2: 按照下述试验方法,可能导致电压值较低。

注 3: 匝间过电压试验不是电流互感器二次绕组能否开路运行的验证试验。电流互感器不允许在二次绕组开路时运行,因为可能出现危险的过电压和过热。

6.14.2 试验方法

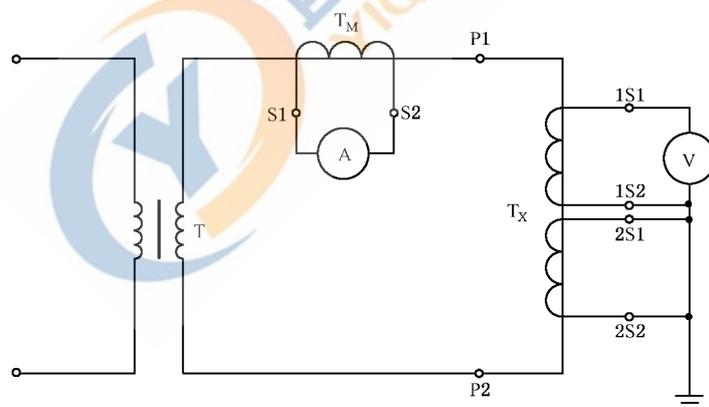
匝间过电压试验应在满匝二次绕组上按下列程序之一进行。如无其他协议,程序选择由制造方自定。

程序 A: 二次绕组开路(或连接读取峰值电压的高阻抗装置),对一次绕组施加频率为 40 Hz~60 Hz 的实际正弦波电流,其方均根值等于额定一次电流(或额定扩大一次电流,如果有),持续 60 s。

如果在达到额定一次电流(或额定扩大一次电流)之前,已经得到上述规定的试验电压,则施加的电流应受限制。

如果在最大一次电流下未到达上述规定的试验电压,则所达到的电压应认定为是试验电压。

采用程序 A 时试验线路图见图 19。



说明:

- T —— 升流变压器;
- T_M —— 测量用电流互感器;
- A —— 电流表;
- V —— 峰值电压表(峰值/ $\sqrt{2}$);
- T_x —— 被试互感器
- P1、P2 —— 一次绕组出线端子;
- 1S1、1S2、2S1、2S2 —— 二次绕组出线端子。

图 19 匝间过电压试验(程序 A)

程序 B: 一次绕组开路,在每一个二次绕组端子之间施加上述规定的试验电压(以适当的试验频

率),持续 60 s。

二次电流方均根值应不超过额定二次电流(或相应的扩大值,如果有)。

试验频率的调整是为了提升到试验电压,但它应不超过 400 Hz。

如果在最大二次电流和最高试验频率下未到达上述规定的试验电压,则所达到的电压应认定为试验电压。

当试验频率超过两倍额定频率时,试验持续时间 t 可降低,计算如下:

$$t = 120 \times \frac{f_r}{f_t} \dots\dots\dots (12)$$

式中:

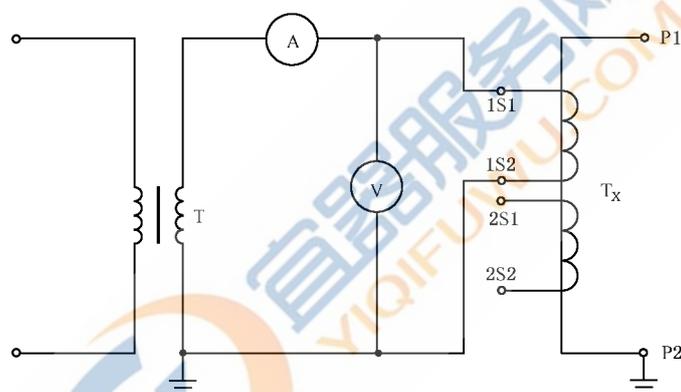
t —— 试验持续时间,单位为秒(s);

f_r —— 额定频率,单位为赫兹(Hz);

f_t —— 试验频率,单位为赫兹(Hz)。

最少为 15 s。

采用程序 B 时试验线路图见图 20。



说明:

- T —— 升压变压器;
- A —— 电流表;
- V —— 峰值电压表(峰值/ $\sqrt{2}$);
- T_x —— 被试互感器;
- P1、P2 —— 一次绕组出线端子;
- 1S1、1S2、2S1、2S2 —— 二次绕组出线端子。

图 20 匝间过电压试验(程序 B)

6.14.3 试验判据

如果二次绕组耐受规定的试验电压及时间,且无闪络和击穿,则判定试验合格。

6.15 绝缘油性能试验

6.15.1 试验要求

应对互感器用绝缘油进行击穿电压和介质损耗因数($\tan\delta$)测量,对 $U_m \geq 72.5$ kV 的互感器,还应对其所用的绝缘油进行含水量和色谱分析等性能试验。

6.15.2 试验设备

6.15.2.1 绝缘油击穿电压测定

试验设备如下：

- a) 电器设备：由调压器、步进变压器、切换系统、限能仪等部分组成，以上两个或多个设备可在系统中以集成方式使用。
- b) 测量仪器：为峰值电压表或其他类型的电压表与测试变压器的输入端或输出端相连，或者与上述提供的专用线圈相连来测量。
- c) 试验组件：包括试样杯、电极、搅拌器(可选)。试样杯体积在 350 mL~600 mL 之间，试样杯由绝缘材料制成，应透明，且对绝缘油及所用清洗剂具有化学惰性，试样杯应带盖子，且容易取出电极。电极由磨光的铜、黄铜或不锈钢材料制成，球形(直径为 12.5 mm~13.0 mm)或球盖形。电极轴心应水平，电极浸入试样的深度应至少 40 mm。电极任一部分离杯壁或搅拌器不小于 12 mm，电极间距为 $2.5\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ 。

6.15.2.2 绝缘油介质损耗因数($\tan\delta$)测量

试验设备包括试验池、试验箱、玻璃器皿、介质损耗因数的测量仪器。试验箱应能保持其温度不超过规定值的 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。并有连接试验池的屏蔽线，试验池应完全与试验箱接地外壳绝缘。只要其测量精度和分辨率适合于被试样品，可采用任何交流电容和介质损耗因数测量仪器。

6.15.2.3 绝缘油水分含量测定(库仑法)

试验设备如下：

- a) 微库仑分析仪：系统原理见图 21；
- b) 玻璃器皿：包括注射器、分液漏斗、抽滤瓶、洗气瓶、保温瓶化学试剂。

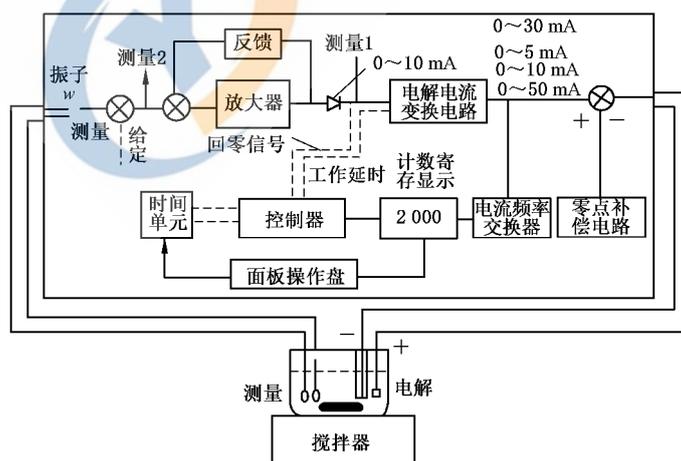


图 21 YS-2 型微库仑仪分析系统原理框图

6.15.2.4 绝缘油油中溶解气体色谱分析

试验设备如下：

- a) 气相色谱仪：两个检测器，热导检测器(TCD)(测定氢气)和氢焰检测器(FID)(测定烃类、一氧

化碳和二氧化碳气体)；一个甲烷转化装置(将一氧化碳和二氧化碳转化为甲烷)。色谱柱对所检测组分的分离度应能满足定量分析要求,检测灵敏度应满足油中溶解气体最小检测浓度要求(20℃下的浓度,氢气 $\leq 2 \mu\text{L/L}$ ；一氧化碳 $\leq 5 \mu\text{L/L}$ ；二氧化碳 $\leq 10 \mu\text{L/L}$ ；烃类 $\leq 0.1 \mu\text{L/L}$ ；空气 $\leq 50 \mu\text{L/L}$)；

- b) 脱气装置:根据脱气原理不同分为多种类型,常用的有基于溶解平衡法-机械振荡法的恒温定时震荡器；
- c) 混合标准气:由国家计量部门授权的单位配制,具有组分浓度含量、检验合格证及有效期；
- d) 氩气:纯度为 99.999%；
- e) 高纯氢发生器:氢气纯度为 99.999%；
- f) 低噪音空气泵:空气纯净无油；
- g) 玻璃注射器:气密性良好,芯塞灵活无卡涩；
- h) 其他:注射器用橡胶封帽、双头针头、真空硅脂、蒸馏水。

6.15.3 试验方法

6.15.3.1 绝缘油击穿电压的测定

新油或者用过的绝缘油按照 GB/T 4756 的要求取样,用专用采样器采样,以防止试样的污染。样品体积约为试样杯容积的 3 倍。样品容器最好使用棕色玻璃瓶。若用透明玻璃瓶应在试验前避光储藏,也可用不与绝缘油作用的塑料容器,但不能重复使用。为了密封,应使用带聚乙烯或聚四氟乙烯材质垫片的螺纹塞。样品容器在使用前应清洗干净,并用热空气吹干。

进行试验时,除非另有规定,试样一般不进行干燥或排气。整个试验过程中,试样温度和环境温度之差不应大于 5℃。

试样在倒入试样杯前,轻轻摇动翻转盛有试样的容器数次,以使试样中的杂质尽可能分布均匀而又不形成气泡,避免试样与空气不必要的接触。

试验前应倒掉试样杯中原来的绝缘油,立即用待测试样清洗杯壁、电极及其他各部分,再缓慢倒入试样,并避免生成气泡。将试样杯放入测试仪上,如使用搅拌,应打开搅拌器。测量并记录试样温度。

第一次加压是在装好试样,并检查完电极间无可见气泡 5 min 之后进行的,在电极间按 2.0 kV/s \pm 0.2 kV/s 的速率缓慢加压至试样被击穿,击穿电压为电路自动断开(产生恒定电弧)或手动断开(可闻或可见放电)时的最大电压值。

记录击穿电压值。达到击穿电压至少暂停 2 min 后,再进行加压,重复 6 次。注意电极间不要有气泡,若使用搅拌,在整个试验工程中应一直保持。计算 6 次击穿电压的平均值。

6.15.3.2 绝缘油介质损耗因数($\tan\delta$)测量

试验应在 90℃ 下进行,测量温度的分辨率应在 0.25℃ 以内。

通常采用频率为 40 Hz~62 Hz 的正弦电压。施加交流电压的大小视被试液体而定,推荐电场强度为 0.03 kV/mm~1 kV/mm。

试验池非自动加热,当其温度达到所要求试验温度的 ± 1 ℃时,应于 10 min 内开始测量介质损耗因数。在测量时施加电压。完成测量后,倒出试验液体。

注:例行试验不需要重复测量。

6.15.3.3 绝缘油水分含量测定(库仑法)

按仪器说明书连接仪器电源线,调试仪器。将电极引线连接到库仑分析仪指定位置。开动电磁搅

拌器,开始电解所存在的残余水分。若电解液过碘,注入适量含水甲醇或纯水,此时电解液颜色逐渐变浅,最后呈黄色进行电解。当电解液达到滴定终点,用注射器抽取一定量已知含水量的标样或 0.5 μL 注射器取 0.5 μL 纯水,按下启动按钮,通过电解池上部的进样口注入电解池,进行仪器标定。仪器显示数值与标准值的相对误差不应超过±5%,当连续 3 次标定均达到要求值,才能认为仪器调整完毕。超出此范围,应更换电解液。

仪器调整平衡后,用待测样品冲洗注射器不应少于 3 次,然后抽取待测样品 1 mL(根据样品含水量高低,可调整进样量的大小)。

按仪器启动钮,待测样品通过电解池上部的进样口注入电解池。仪器自动电解至终点,记下显示数值。同一试验至少重复操作两次以上,取平均值。

根据被测样品的进样体积,按式(13)计算水分含量:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(13)$$

式中:

ρ——待测样品的水分含量,单位为毫克每升(mg/L);

m——待测样品中的水分,单位为微克(μg);

V——待测样品的进样体积,单位为毫升(mL)。

6.15.3.4 绝缘油油中溶解气体色谱分析

采集油样后,脱出油样中溶解的气体,最后用气相色谱仪分离、检测各气体组分,在色谱工作站上得出样品图谱和各组分浓度值。取两次测量的平均值作为测量结果。

6.15.4 试验判据

6.15.4.1 绝缘油击穿电压测定

绝缘油击穿电压应满足表 14 的要求。

表 14 绝缘油击穿电压要求

设备最高电压 (方均根值) kV	油击穿电压 kV
≤40.5	≥35
72.5~126	≥40
252	≥40
363	≥50
550	≥60
800~1 100	≥70

6.15.4.2 绝缘油介质损耗因数(tanδ)测量

绝缘油介质损耗因数(tanδ)应满足表 15 的要求。

表 15 绝缘油介质损耗因数 ($\tan\delta$) 要求

设备最高电压 (方均根值) kV	介质损耗因数 $\tan\delta(90\text{ }^\circ\text{C})$
≤ 40.5	≤ 0.01
72.5~126	≤ 0.01
252	≤ 0.01
363	≤ 0.01
550~1 100	≤ 0.005

6.15.4.3 绝缘油水分含量测定(库仑法)

绝缘油水分含量应满足表 16 的要求。

表 16 绝缘油水分含量要求

设备最高电压 (方均根值) kV	含水量 mg/L
≤ 40.5	—
72.5~126	≤ 20
252	≤ 15
363~1 100	≤ 10

6.15.4.4 绝缘油中溶解气体色谱分析

绝缘油中溶解气体含量应满足表 17 的要求。

对于 U_m 为 363 kV~1 100 kV 的互感器,油中含气量应小于 1%。

表 17 绝缘油中溶解气体含量要求

设备最高电压 (方均根值) kV	H ₂ 含量 $\mu\text{L/L}$	C ₂ H ₂ 含量 $\mu\text{L/L}$	总烃含量 $\mu\text{L/L}$
≤ 40.5	—	—	—
72.5~126	≤ 50	0	≤ 10
252	≤ 50	0	≤ 10
363~1100	≤ 50	0	≤ 10

对于设备最高电压为 363 kV~1 100 kV 的互感器,油中含气量应小于 1%。

6.16 绝缘电阻测量

6.16.1 试验要求

在工频耐压试验之前,一次绕组对二次绕组及地、二次绕组间及对地、地屏对地之间应进行绝缘电阻测量。

6.16.2 试验设备

绝缘电阻表或其他适合仪表(可根据产品技术条件确定其型式及规格)。

注:对额定工频耐受电压为3 kV的绝缘,可采用1 000 V(手动)绝缘电阻表;对额定工频耐受电压大于3 kV的绝缘,可采用2 500 V(手动)绝缘电阻表;若采用电子式绝缘电阻测试仪测试时,则仪器的最大输出电流一般不小于2 mA。

6.16.3 试验方法

测量前先将绝缘电阻表进行一次开路 and 短路试验,检查绝缘电阻表是否良好。在测量前后对被试互感器应进行充分放电,以保障设备及人身安全。

首先将互感器一次绕组或二次绕组的出头均分别短接,将绝缘电阻表放在水平位置,然后将绝缘电阻表线路端(L)接在被试绕组上,地线接在其他绕组及金属底座或箱壳上,在记录电阻值的同时还要记录环境温度和湿度。

也可采用其他测试仪进行测量。

6.16.4 试验判据

无论采用何种方法,试验结果均应符合产品技术条件规定。

6.17 绕组直流电阻测量

6.17.1 试验要求

测量时应记录准确的环境温度。

6.17.2 试验设备

当被测量电阻大于或等于10 Ω 时,可采用单臂电桥(惠斯顿电桥)或直流电阻测试仪进行测量。

当被测量电阻小于10 Ω 时,推荐采用双臂电桥(凯尔文电桥)或直流电阻测试仪进行测量。

6.17.3 试验方法

使用单臂电桥或双臂电桥测量时,将被测绕组两端与电桥连接,调节电桥表盘读数,使电桥达到平衡状态,记录电桥表盘读数。

使用直流电阻测试仪时,将被测绕组两端与测试仪连接,选择合适的量程,测量绕组直流电阻并记录读数。

7 特殊试验

7.1 一次端截断雷电冲击耐压试验

7.1.1 试验要求

试验电压应施加在一次绕组各端子(连接在一起)与地之间,座架、箱壳(如果有)、铁心(如需接地)

和所有二次绕组端子皆应接地。

7.1.2 试验方法

本试验应仅以负极性进行,并按下述方式与负极性额定雷电冲击试验结合进行。电压应是 GB/T 16927.1 规定的标准雷电冲击波在 $2\ \mu\text{s}\sim 5\ \mu\text{s}$ 处截断。截断冲击电路的布置应使所记录冲击波的反冲值限制约为峰值的 30%。施加冲击的顺序如下:

- a) $U_m < 300\ \text{kV}$ 的互感器:
 - 1 次额定雷电冲击;
 - 2 次截断雷电冲击;
 - 14 次额定雷电冲击。
- b) $U_m \geq 300\ \text{kV}$ 的互感器:
 - 1 次额定雷电冲击;
 - 2 次截断雷电冲击;
 - 2 次额定雷电冲击。

7.1.3 试验判据

如果试品耐受规定的截断雷电冲击电压,并无闪络和击穿,且截断雷电冲击前后所施加额定雷电冲击波形无明显变异,则判定该试验合格。

截断雷电冲击沿自恢复外绝缘上的闪络,应不纳入对绝缘性能的评价之中。

7.2 一次端多次截断冲击试验

7.2.1 试验要求

如有附加规定, $U_m \geq 300\ \text{kV}$ 的油浸式互感器一次端应承受多次截断冲击。

注:本要求和试验涉及承载高频暂态电流的内部电屏及其连接的性能,该电流主要起因于开关切分操作。本试验也可用于额定值低于此电压水平的情况。

7.2.2 试验方法

本试验应以靠近峰值处截断的负极性冲击波施加多次进行。

试验电压应施加在短接的一次端子与地之间。座架、箱壳(如果有)、铁心(如需接地)和所有二次绕组端子皆应接地。

规定的试验电压峰值为额定雷电冲击耐受电压的 70%。试验电压的波形应是 $1.2/50\ \mu\text{s}$ 的波前段。

按 GB/T 16927.1 测量的电压有效截断时间不应超过 $0.5\ \mu\text{s}$,电路的布置应使反冲值约为规定电压峰值的 30%。

应施加 600 次连续冲击,其速率约为每分钟冲击 1 次。

注:经制造方与用户协商同意,冲击次数可降低到 100 次。

在试验开始和结尾以及至少每 100 次冲击后,应记录波形。

7.2.3 试验判据

试验结果的评价标准应依据下列要求:

- a) 比较试验开始和结尾以及每 100 次冲击后所记录的各次冲击电压波,不应出现有任何改变的迹象,这些改变可能是由于内部放电;
- b) 测得的局部放电水平应不超过表 16 的规定值;

- c) 除去由于所用试验方法和可能影响结果的微小因素(例如绝缘材料的温度)所造成的不确定度外,在试验前和试验结束至少 24 h 后测量的电容量和介质损耗因数,其结果应相同;
- d) 在试验结束 72 h 后测得的油中溶解气体增量应不超过下列值:
 - 1) 氢(H₂):20 μL/L(最小检测水平 3 μL/L);
 - 2) 甲烷(CH₄):5 μL/L(最小检测水平 0.1 μL/L);
 - 3) 乙炔(C₂H₂):1 μL/L(最小检测水平 0.1 μL/L)。

当所列要求的任何一项不满足时,则认为互感器未通过本试验。

7.3 传递过电压试验

7.3.1 试验要求

此试验适用于 $U_m \geq 72.5$ kV 的互感器。

传递过电压所施加的波形要求及电压峰值见表 18。具体波形见图 22。

A 类冲击波要求适用于空气绝缘变电站中的电磁式互感器,而 B 类冲击波要求适用于安装在气体绝缘金属外壳全封闭组合电器(GIS)内的电磁式互感器。

注 1: 纳入此要求以满足某些电磁兼容规程的要求。

注 2: A 型冲击波代表放电间隙闪络和开关操作引起的电压振荡。B 型冲击波代表开关操作时产生的陡波前冲击波。

表 18 传递过电压波形要求及限值

冲击波类型		A	B
施加电压峰值(U_p)		$1.6 \times \frac{\sqrt{2}U_m}{\sqrt{3}}$	$1.6 \times \frac{\sqrt{2}U_m}{\sqrt{3}}$
波形参数	常规波前时间(T_1)	$0.50 \times (1 \pm 20\%) \mu s$	—
	半峰值时间(T_2)	$\geq 50 \mu s$	—
	波前时间(T_1)	—	$10 \times (1 \pm 20\%) ns$
	波尾时间(T_2)	—	$> 100 ns$
传递过电压峰值的限值(U_s)		1.6 kV	1.6 kV

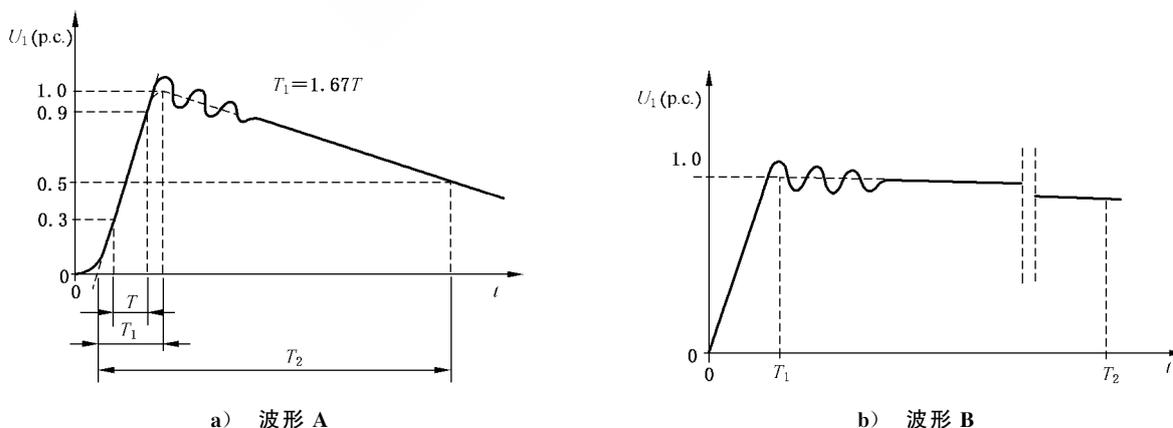


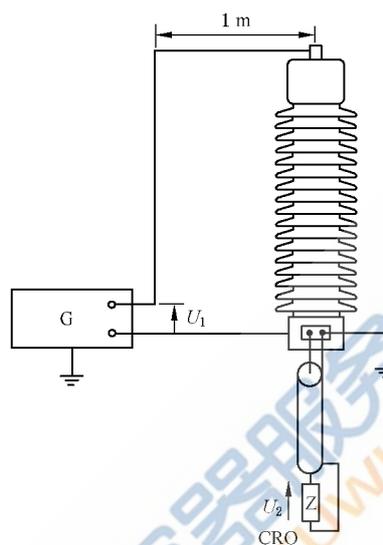
图 22 传递过电压测量:冲击试验波形

7.3.2 试验线路

低电压冲击波(U_1)应施加在短接的一次端子与地之间(见图 23)。

对于 GIS 用互感器,应按图 24 通过 $50\ \Omega$ 同轴电缆适配器施加冲击波。GIS 外壳应按运行方式接地。

对于其他应用情况,试验电路应按图 23 所示。



说明:

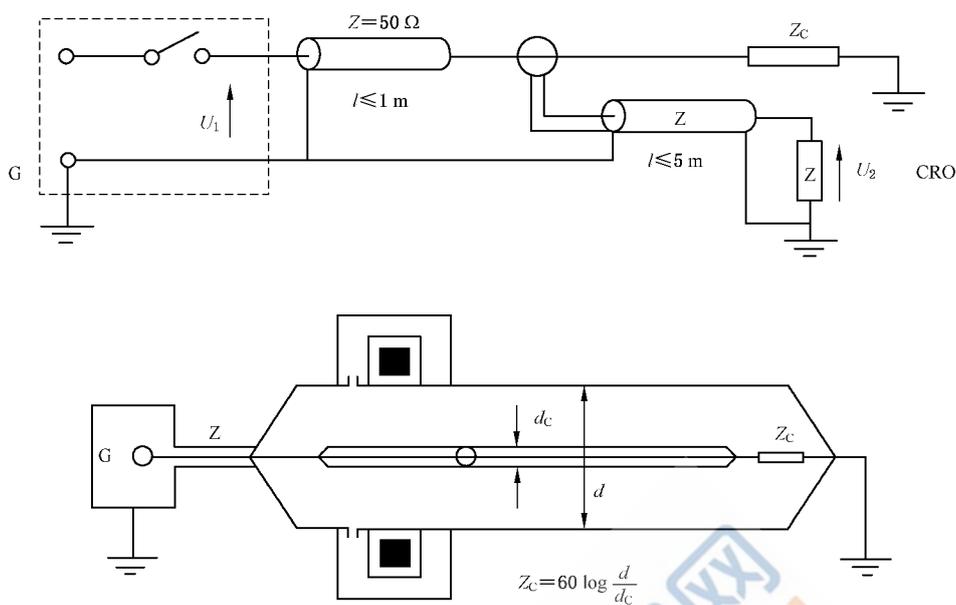
G —— 试验发生器;

U_1 —— 试验电压;

U_2 —— 传递电压;

CRO —— 示波器。

图 23 传递过电压测量:一般试验布置



说明：

- G —— 试验发生器；
- Z —— 50 Ω 同轴馈送连接器；
- Z_c —— 负荷；
- CRO —— 示波器；
- U₁ —— 试验电压；
- U₂ —— 传递电压。

图 24 传递过电压测量：GIS 用互感器试验电路

7.3.3 试验方法

拟接地的二次绕组端子应与座架连接并接地。

传递电压(U₂)应在开路的二次端子上测量,通过 50 Ω 同轴电缆连接输入阻抗为 50 Ω 且带宽不低于 100 MHz 的示波器读取峰值。

注：经制造方与用户协商同意,可采用避免测量受到干扰的其他试验方法。

如果互感器有多个二次绕组,应依次对每一个二次绕组进行测量。

在二次绕组具有中间抽头时,只需在绕组满匝数对应的出头上进行测量。

以规定的过电压(U_p)施加到一次绕组,所传递到二次绕组的过电压(U_s)应按式(14)计算：

$$U_s = U_p \times \frac{U_2}{U_1} \dots\dots\dots (14)$$

当峰值处有振荡时,应绘制平均曲线,以此曲线的最大幅值作为 U₁ 的峰值计算传递电压。

7.3.4 试验判据

以规定的过电压(U_p)施加到一次绕组,所传递到二次绕组的过电压(U_s)应不超过表 18 所列值。

7.4 机械强度试验

7.4.1 试验要求

此试验适用于 U_m ≥ 72.5 kV 的互感器。

互感器应能承受的静态载荷指导值列于表 19。这些数值包含风力和覆冰引起的载荷。
规定的试验载荷可施加于一次端子的任意方向。

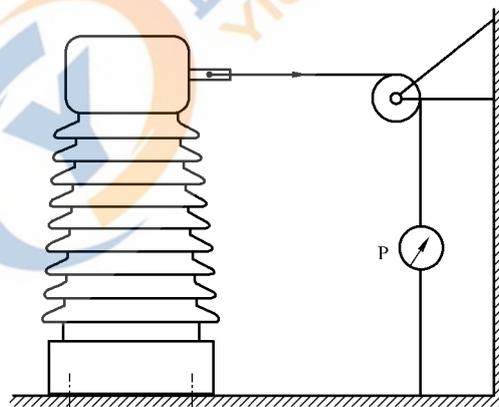
表 19 静态承受试验载荷

设备最高电压 (方均根值) kV	静态承受试验载荷 F_R N		
	电压端子	通过电流的端子	
		I 类载荷	II 类载荷
72.5	500	1 250	2 500
126	1 000	2 000	3 000
252~363	1 250	2 500	4 000
≥ 550	1 500	4 000	5 000

在正常运行条件下,作用载荷的总和不应超过规定承受试验载荷的 50%。
在某些应用情况下,互感器具有通过电流的端子应能承受罕见的强烈动态载荷(例如短路),其值不超过静态试验载荷的 1.4 倍。
在某些应用情况中,一次端子可能需要具有防转动的能力。试验时施加的力矩由制造方与用户商定。

7.4.2 试验方法

试验方法示意图 25。



说明:

P——拉力计或标准砝码。

图 25 机械强度试验示意图

互感器应装配完整,垂直安装且座架牢固固定。

油浸式互感器应装有规定的绝缘介质,并达到工作压力。气体绝缘的独立式互感器应充以额定充气压力的规定气体或混合气体。

按照表 20 所示的各种情况,试验载荷应在 30 s~90 s 内平稳上升到表 19 所列试验载荷值,并在此载荷值下至少保持 60 s。在此期间应测量挠度。然后平稳解除试验载荷,并应记录残留挠度。

表 20 一次端子上试验载荷的施加方式

互感器端子类型	施加方式	
电压端子	水平方向	
	垂直方向	
通过电流的端子	水平方向	
	垂直方向	
试验载荷应施加于端子的中心位置。		

7.4.3 试验判据

如果不出现损坏的迹象(如明显变形、破裂或泄漏),则认为互感器通过本试验。

7.5 内部电弧故障试验

7.5.1 试验要求

试验要求符合 GB/T 20840.1 的规定。

7.5.2 试验方法

试验方法按照 GB/T 20840.1 的规定进行。

7.5.3 试验判据

试验判据按照 GB/T 20840.1 的规定进行。

7.6 低温和高温下的密封性能试验(适用于气体绝缘产品)

7.6.1 试验要求

气体封闭压力系统的密封性能是以各气室的相对泄漏率 F_{rel} 进行规定的。

标准值为每年 0.5%,适用于 SF₆ 和 SF₆ 混合气体。

在极限温度下增大的泄漏率(如果有关标准要求这种试验)是可接受的,只要该泄漏率在正常环境温度下的恢复值不超过相应的最大允许值。

7.6.2 试验方法

试验应在完整互感器上和所规定温度类别的各极限值下进行。

互感器外壳上每一个开口应以原有的密封手段密封。

由于环境试验室实际条件的限制,互感器的状态可能与使用状态不相同。

环境温度测量应最少用 3 个传感器,它们距离互感器约 0.3 m 且沿互感器高度等距分布。

为了测量准确,试验应在互感器充气完成至少 1 h 后开始进行。

泄漏率测量及计算方法见 5.7.3。

试验按如下进行:

- a) 在环境温度(20 ± 10) $^{\circ}\text{C}$ 下测量泄漏率(F_p);
- b) 环境试验室的温度以平均速率 ± 10 K/h 下降(或上升)至对应于互感器温度类别的下限(或上限)温度;
- c) 测量泄漏率之前,互感器应在最低(或最高)温度下保持至少 24 h,允许偏差 ± 5 K;
- d) 在低(或高)温下测量泄漏率;
- e) 环境试验室的温度应以平均速率 ± 10 K/h 上升(或下降)到环境温度;
- f) 当互感器已稳定在环境温度(20 ± 10) $^{\circ}\text{C}$ 之后测量泄漏率。

7.6.3 试验判据

增大的暂时性泄漏率应不超过表 21 所列值。

表 21 气体系统允许的暂时泄漏率

温度级别 $^{\circ}\text{C}$	允许的暂时性泄漏率
+40 和 +50	$3F_p$
环境温度	F_p
-5/-10/-15/-25/-40	$3F_p$
-50	$6F_p$

7.7 腐蚀试验

7.7.1 试验要求

试验可在代表性模型上进行,模型采用所考察互感器使用的相同材料。

7.7.2 试验方法

专门的腐蚀试验按照 GB/T 2421.1 的规定进行。

例如:

- a) 被试设备按照 GB/T 2423.17 承受环境试验 Ka(盐雾)。试验持续时间为 168 h;
- b) 另外,对于涂漆表面,其抵抗含二氧化硫潮湿空气的试验按照 ISO 3231 进行。

7.7.3 试验判据

试验判据如下:

- a) 代表性模型的紧密性应不受腐蚀的影响,用目测或者测量;
- b) 如表面为涂漆,则应无降解变质的痕迹可见;
- c) 代表性模型的有关功能应不受影响;
- d) 各组装件的拆卸应不受影响;

e) 如果有腐蚀,则应在试验报告中记明腐蚀程度。

7.8 着火危险试验

7.8.1 试验要求

制造方提供的信息应使用户能对正常和非正常运行时的着火风险进行评估。其导则列于表 22。若有试验要求,应由制造方自行决定试验方法。

表 22 电工产品的着火危险

着火危险的评定导则	将火灾中毒危险减至最小的导则
GB/T 5169.2	GB/T 5169.18

7.8.2 试验方法

试验方法按照 GB/T 5169.9 和 GB/T 5169.18 的规定进行。

7.8.3 试验判据

试验结果应满足 GB/T 5169.9 和 GB/T 5169.18 的有关规定。

7.9 绝缘热稳定试验

7.9.1 试验要求

本试验仅适用于设备最高电压 $U_m \geq 252$ kV 的油浸式互感器,试验时的环境温度为 $5\text{ }^\circ\text{C} \sim 40\text{ }^\circ\text{C}$ 。

7.9.2 试验方法

试验时应对互感器同时施加额定连续热电流和 $U_m/\sqrt{3}$ 的电压,直至达到稳定状态(例如介质损耗因数达到稳定)。全部试验时间不应少于 36 h,其中达到稳定状态的连续时间不应少于 8 h。

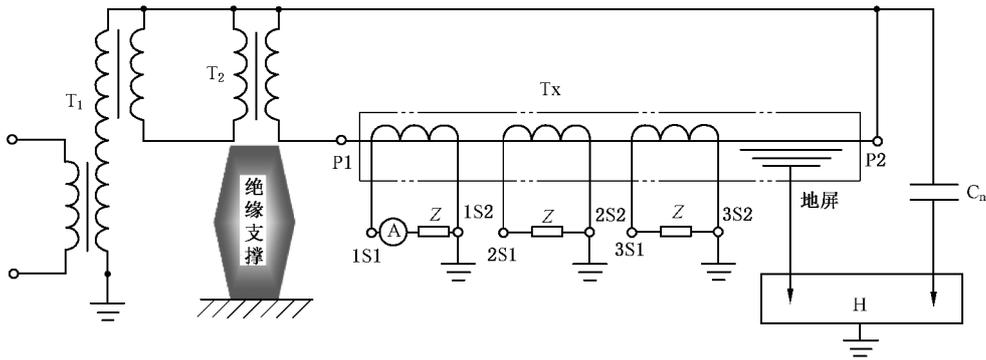
7.9.3 试验线路

可采用图 26 试验线路进行试验。

注:升流变压器的铁心及一次绕组和二次绕组的某一同名端可连接在一起,形成等电位。

也可采用图 27 试验线路进行试验。

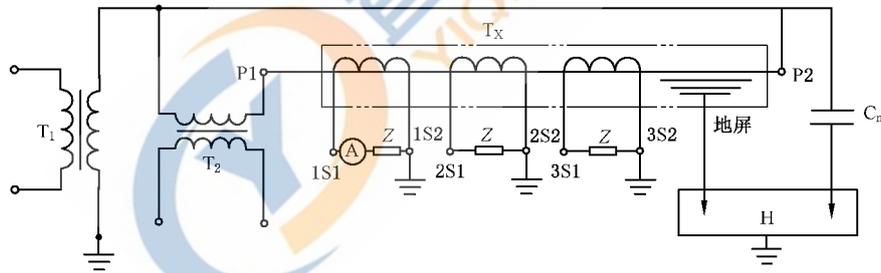
若试验条件不允许时,一般铁心无气隙的试品也可采用图 28 试验线路进行试验。



说明：

- T₁ —— (高压绕组带励磁线圈的串级式) 试验变压器；
- T₂ —— 升流变压器；
- A —— 电流表；
- Z —— 二次绕组负荷；
- C_n —— 标准电容器；
- H —— 介质损耗测量电桥；
- T_x —— 被试互感器；
- P1、P2 —— 一次绕组出线端子；
- 1S1、1S2、2S1、2S2、3S1、3S2 —— 二次绕组出线端子。

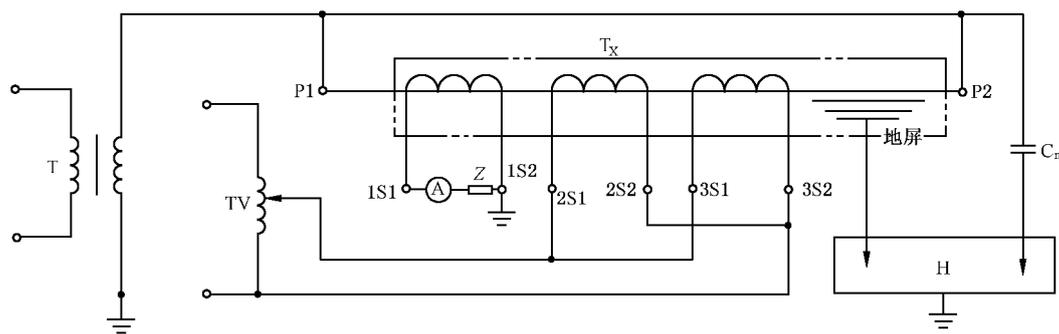
图 26 绝缘热稳定试验(线路 1)



说明：

- T₁ —— 试验变压器；
- T₂ —— 高压升流器；
- A —— 电流表；
- Z —— 二次绕组负荷；
- C_n —— 标准电容器；
- H —— 介质损耗测量电桥；
- T_x —— 被试互感器；
- P1、P2 —— 一次绕组出线端子；
- 1S1、1S2、2S1、2S2、3S1、3S2 —— 二次绕组出线端子。

图 27 绝缘热稳定试验(线路 2)



说明：

- T —— 试验变压器；
- TV —— 调压器；
- A —— 电流表；
- Z —— 二次绕组负荷；
- C_n —— 标准电容器；
- H —— 介质损耗测量电桥；
- T_x —— 被试互感器；
- P1、P2 —— 一次绕组出线端子；
- 1S1、1S2、2S1、2S2、3S1、3S2 —— 二次绕组出线端子。

图 28 绝缘热稳定试验(线路 3)

7.9.4 测量

介质损耗因数测量应每小时测量一次，并同时记录环境温度、湿度及试品温度。

7.9.5 导线截面选择

连接被试互感器的一次导线应选择合适截面，一般按温升试验要求选择。

7.9.6 注意事项

查看被试互感器温度时，应停电进行，时间应越短越好，尽快恢复送电，应注意安全。

7.9.7 试验判据

如果耐受规定时间的额定连续热电流和 $U_m/\sqrt{3}$ 的电压，直到介质损耗因数达到稳定状态且满足要求，则判定试验合格。

8 型式试验的补充要求

8.1 型式试验周期和要求

8.1.1 新产品在小批量投产前应进行全部型式试验。

当互感器更改结构、原材料或工艺方法时，应重新进行部分或全部型式试验项目。

8.1.2 定期性型式试验应至少每五年进行一次。

但对于按照 GB/T 19001 建立了质量认证体系的企业，其互感器定期性型式试验可每八年进行一次。此时，可从同一型式的互感器中选取有代表性的产品作为试品，并应从批量生产的产品中选取。

8.1.3 互感器的型式试验一般应在国家认可的专业检验机构进行。

对于具备 $U_m > 126$ kV 互感器试验条件的企业,也可进行本企业制造的互感器($U_m > 126$ kV)的型式试验。此时,其测试用的器具均应在有效期内,且应在国家认可的专业检验机构的监督下进行。

8.2 型式试验报告

型式试验报告至少应包括以下内容:

- 产品代号及型号、外形图、铭牌数据等;
- 主要试验线路图和试品布置图;
- 试验仪器仪表的主要性能指标;
- 试验时的实际电流值、电压值及波形图(有要求时应包括二次侧)等;
- 其他与试验相关的数据和技术参数;
- 试验结论。





中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

互感器试验导则

第 1 部分：电流互感器

GB/T 22071.1—2018

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址: www.spc.org.cn

服务热线: 400-168-0010

2018 年 12 月第一版

*

书号: 155066 · 1-61822

版权专有 侵权必究



GB/T 22071.1-2018