



中华人民共和国国家标准化指导性技术文件

GB/Z 24840—2009

1 000 kV 交流系统用套管技术规范

Technical specification for bushing of 1 000 kV AC system

2009-11-30 发布

2010-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般使用条件	2
5 系统概况	2
6 基本技术参数	3
7 技术性能要求	3
8 试验要求与方法	8
9 试验分类	10
10 运输、存放、安装、运行和维护规则	12
参考文献	14

前 言

本指导性技术文件提出的技术性能参数基于有关 1 000 kV 工程的研究成果并参考国内外其他电压等级设备的设计、制造和运行经验。

本指导性技术文件由中国电力企业联合会提出。

本指导性技术文件由中国电力企业联合会归口。

本指导性技术文件由特高压交流输电标准化技术工作委员会、国网电力科学研究院负责解释。

本指导性技术文件负责起草单位：国家电网公司、国网电力科学研究院。

本指导性技术文件参加起草单位：中国电力科学研究院、西安交通大学、西安电瓷研究所、西安西电电瓷有限公司、南通市神马电力科技有限公司、南京电气集团公司。

本指导性技术文件主要起草人：王晓琪、刘泽洪、彭宗仁、王绍武、吴士普、伍志荣、孙岗、陈国强、党镇平、马斌、何平、宿志一、姜继双、朱斌、聂德鑫。

1 000 kV 交流系统用套管技术规范

1 范围

本指导性技术文件规定了 1 000 kV 交流系统用高压套管一般性能、逐个试验、型式试验和现场交接试验等。

本指导性技术文件适用于 1 000 kV 交流系统变压器类和气体绝缘金属封闭开关设备用的 1 000 kV 电压等级套管。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本指导性技术文件引用而构成本指导性技术文件的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版不适用于本指导性技术文件,然而,鼓励根据本指导性技术文件达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本,凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本指导性技术文件。

GB/T 507 绝缘油击穿电压测定法

GB/T 763 交流变压器在长期工作时的发热

GB 1094.3—2003 电力变压器 第 3 部分:绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙(IEC 60076-3:2000,MOD)

GB/T 2423.23—1995 电工电子产品环境试验 试验 Q:密封(idt IEC 60068-2-17)

GB/T 2900.5 电工术语 绝缘固体、液体和气体(GB/T 2900.5—2002,eqv IEC 60050(212):1990)

GB/T 2900.8 电工术语 绝缘子(GB/T 2900.8—2009,IEC 60050-471:2007,IDT)

GB/T 4109—2008 交流电压高于 1 000 V 的绝缘套管(IEC 60137,MOD)

GB/T 5654 液体绝缘材料工频相对介电常数、介质损耗因数和体积电子率的测量(GB/T 5654—2007,IEC 60247:2004,IDT)

GB/T 7252 变压器油中溶解气体分析和判断导则(GB/T 7252—2001,neq IEC 60599:1999)

GB/T 7354 局部放电测量(GB/T 7354—2003,IEC 60270:2000 IDT)

GB/T 7600 运行中变压器油水分含量测定法(库仑法)

GB/T 7601 运行中变压器、气轮机油水分含量测定法(气相色谱法)

GB/T 12022 工业六氟化硫(GB/T 12022—2006, IEC 376:1971; IEC 376A:1973; IEC 376B:1974,MOD)

GB/T 21429 户外和户内电气设备用空心复合绝缘子——定义、试验方法、接收准则和设计推荐(GB/T 21429—2008,IEC 61462:1998,MOD)

DL/T 864—2004 标称电压高于 1 000 V 交流架空线路用复合绝缘子使用导则

IEC 60137:2008 交流 1 000 V 以上的绝缘套管

IEC 60815 污秽条件下高压绝缘子的选择和尺寸确定

IEC 62155 额定电压为 1 000 V 以上的电气设备用空心增压和未增压陶瓷和玻璃绝缘子

3 术语和定义

GB/T 2900.5、GB/T 2900.8、GB/T 4109—2008 中所确立的及下列术语和定义适用于本指导性技术文件。

3.1

油浸纸瓷套管(OIP) oil-impregnated paper porcelain bushing

主绝缘由纸卷绕的芯体,经处理后用绝缘液体(通常为变压器油)浸渍,外绝缘由瓷空心绝缘子构成的变压器类设备用套管。

注:芯体装在绝缘套内且芯体和绝缘套之间的空间充以与浸渍时所使用的相同的绝缘液体。

3.2

气体绝缘复合套管 gas-insulated composite bushing

由复合绝缘材料做护套的树脂浸渍纤维管构成绝缘外套,主绝缘高于大气压力的气体(除空气外)构成并用于组合电器的套管。

3.3

气体绝缘瓷套管 gas-insulated porcelain bushing

由瓷套作为外绝缘,主绝缘高于大气压力的气体(除空气外)构成并用于组合电器的套管。

4 一般使用条件

本指导性技术文件所规定的套管的一般使用条件应满足表 1 的规定。

表 1 一般使用条件

序号	名称		单位	典型参数
1	周围空气温度	最高气温	℃	40
		最低气温	℃	-40
		最大日温差	K	25
		最热月平均气温度	℃	30
2	海拔高度		m	≤1 000
3	太阳辐射强度		W/cm ²	0.1
4	污秽等级		级	b,c,d
5	覆冰厚度		mm	20
6	风速 ^a		m/s	35
7	耐受地震能力 ^b	水平加速度	m/s ²	3
		垂直加速度	m/s ²	1.5
8	湿度	日相对湿度平均值	%	95
		月相对湿度平均值		90
9	安装环境		—	户外
10	安装角度		—	套管轴线与铅垂线夹角不超过 30°

^a 离地面高 10 m 处,持续 10 min 的 100 年平均最大风速。

^b 共振、正弦拍波试验法,激振 5 次,每次持续时间 5 个周波,各次间隔 2 s,并考虑其端部连接导线振动和导线张力的影响。安全系数不小于 1.67。设备本体水平加速度应计及设备支架的动力放大系数 1.2。

5 系统概况

系统额定频率 50 Hz,系统标称电压 1 000 kV,系统最高运行电压 1 100 kV。

6 基本技术参数

6.1 额定电流 I_r

套管的 I_r 值应在下列标准值中选取(A):

800—1 000—1 250—1 600—2 000—2 500—3 150—4 000—5 000—6 300—8 000。

6.2 套管的额定绝缘水平

套管的额定绝缘应符合表 2、表 3 的规定。

表 2 开关类套管的额定绝缘水平

单位为千伏

系统标称电压	设备额定电压	雷电冲击耐受电压 (峰值)		湿操作冲击耐受电压 (峰值)	工频 1 min 耐受电压(干) (方均根值)
		全波	截波	相对地	相对地
1 000	1 100	2 400	—	1 800	1 100

表 3 变压器类套管的额定绝缘水平

单位为千伏

系统标称电压	设备额定电压	雷电冲击耐受电压 (峰值)		湿操作冲击耐受电压 (峰值)	工频 1 min 耐受电压(干) (方均根值)
		全波	截波	相对地	相对地
1 000	1 100	2 400	2 760	1 950	1 200

注: 雷电截波冲击耐受电压仅变压器类套管有此要求, 其峰值电压为全波值的 115%, 截波装置的放电时间为 $2 \mu\text{s} \sim 6 \mu\text{s}$ 。

7 技术性能要求

7.1 基本要求

- 套管应符合本指导性技术文件的要求, 并按照相关标准和规定程序批准的图样及文件制造;
- 套管的瓷套应符合 IEC 62155 的规定;
- 变压器、电抗器套管干弧距离不小于 9.5 m, GIS 套管干弧距离不小于 10 m;
- 套管用空心绝缘子的外形结构符合 IEC 60815 的有关规定;
- 套管用空心复合绝缘子的技术要求符合 GB/T 21429 的规定。

7.2 伞套形状的尺寸要求

- 伞套形状应满足 IEC 60815 的要求;
- 大小伞结构的两相邻大伞间距应不小于 70 mm。

7.3 复合套管的伞裙、护套材料

7.3.1 憎水性

伞裙、护套的憎水性满足 DL/T 864—2004 附录 A 的要求。

7.3.2 电气性能

硅橡胶绝缘材料的电气性能满足:

- 体积电阻率不小于 $1.0 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{m}$;
- 击穿场强不小于 20 kV/mm(厚度: 2 mm);
- 耐漏电起痕及电蚀损不小于 TMA4.5 级, 蚀损深度不大于 2.5 mm;
- 可燃性: FV-0 级。

7.3.3 机械性能

硅橡胶绝缘材料的机械性能满足:

- 抗撕裂强度(直角形试样)不小于 7 kN/m;

- b) 机械扯断强度不小于 3.0 MPa;
- c) 拉断伸长率不小于 100%;
- d) 固态胶邵氏硬度不小于 50Shore A, 液态胶邵氏硬度不小于 35Shore A。

7.3.4 最小护套厚度

绝缘子的最小护套厚度为 5.0 mm。

7.4 复合套管的管材料性能

7.4.1 染料渗透试验

应满足 GB/T 21429 的要求。

7.4.2 水扩散试验

应满足 GB/T 21429 的要求。

7.4.3 吸水率

套管用空心复合绝缘子的树脂玻璃浸渍纤维管, 吸水率 ≤ 0.05%。

7.5 套管的介质损耗因数 (tanδ)

套管在工频 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 电压下的 tanδ 的最大值应符合表 4 的规定。

表 4 套管的 tanδ 最大值

套管类型	1.05U _m /√3 电压下 tanδ 的最大值	电压从 1.05U _m /√3 到 U _m 最大允许增值
	%	%
油浸纸套管	0.40	0.10
气体绝缘套管	0.40	0.10

7.6 套管的局部放电量

套管的局部放电量应符合表 5 规定。

表 5 套管的局部放电量最大值

单位为皮库仑

套管的绝缘型式	测量电压 kV		
	U _r ^a	1.5U _r /√3 ^b	1.05U _r /√3
油浸纸绝缘	10	10	5
气体绝缘	—	10	5

^a 仅适用于变压器类套管。
^b 对开关设备套管, 放电量可在供需双方协议的较低电压下测量。

7.7 变压器类套管的长时间工频耐受电压

对于 110 kV 变压器套管, 应进行长时间工频耐受电压试验, 试验按如下程序进行:

- 升压至 $1.1U_m/\sqrt{3}$ 持续 5 min;
- 升压至 $U_2 = 1.5U_m/\sqrt{3}$ 持续 5 min;
- 升压至 $U_1 = 1.7U_m/\sqrt{3}$ 持续 5 min;
- 测试完成, 即刻平稳降压至 U_2 并持续 1 h;
- 降压至 $1.1U_m/\sqrt{3}$ 持续 5 min;
- 电压降至零。

测试时间与测试频率是相互独立的。在所有测试电压下都要监测局放量并每 5 min 记录一次测量结果, 局部放电不呈现持续增加趋势, 局部放电量的连续水平不大于 10 pC, 偶尔出现的较高幅值脉冲可以不计入。

如果没有发生闪络或击穿则认为套管通过了该试验。对于电容式套管,如果试验后测量的电容相当于先前测得的电容大约一层的电容量,则认为其发生了击穿。

在试验电压下,上瓷套外表面不应出现电晕放电。

7.8 无线电干扰

套管在 $1.1U_m/\sqrt{3}$ 电压下,无线电干扰电压应不大于 $500 \mu V$,且在户外晴天夜晚无可见电晕。

7.9 变压器类套管的测量端子、电压抽头的电容、介质损耗因数(tanδ)和工频耐受电压试验

测量端子:对地工频耐受电压不低于 2 kV,试验持续 60 s。

电压抽头(如有):耐受电压为抽头额定电压的 200%,试验持续 60 s。

测量端子、电压抽头对地电容 $\leq 10\ 000 \text{ pF}$, $\tan\delta \leq 0.03$ 。

7.10 套管的热稳定性能

对使用时套管端部浸在油或其他液体绝缘介质中的变压器类套管,应在室温不低于 10 ℃ 下将套管下部浸入 $(90 \pm 2)^\circ C$ 的变压器油中进行热稳定性能试验。

对使用时浸在不同于大气压力下的气体绝缘介质中的套管,其端部应浸在可达到额定绝缘水平的最低压力下的绝缘气体中,气体应维持在供需双方协议的温度下。

试验应在油和套管间达到热平衡后开始施加 $0.8U_r$ 的试验电压,试验时应频繁地测量介质损耗因数,且在每次测量时记录周围空气温度。当套管的 $\tan\delta$ 在周围温度条件下连续 5 h 无明显上升趋势时,套管即达到热稳定。热稳定时套管每小时的 $\Delta\tan\delta$ 应不大于 0.02%。

7.11 套管各部位的发热温度和温升

套管在长期施加额定电流 $I_r \pm 2\%$ 至稳定后,其各部位的发热温度和温升应不大于表 6 的规定。

如果能以比较试验为基础的计算证明最高发热温度符合规定的要求,则可免做本试验。

套管中导体的最热点温度可由以下公式计算确定。

导体的最高温度 θ_M 可从关系式(1)和式(2)导出。

$$\theta_M = \frac{\left[3 \left(\frac{R_C}{R_A} \times \frac{1}{\alpha} + \theta_A \right) - \frac{3}{\alpha} - \theta_1 - \theta_2 \right]^2 - (\theta_1 \times \theta_2)}{3 \left[2 \left(\frac{R_C}{R_A} \times \frac{1}{\alpha} + \theta_A \right) - \frac{2}{\alpha} - \theta_1 - \theta_2 \right]} \dots\dots\dots(1)$$

$$M = \left[3 \left(\frac{R_C}{R_A} \times \frac{1}{\alpha} + \theta_A \right) - \frac{3}{\alpha} - \theta_1 - \theta_2 \right] - \theta_M \dots\dots\dots(2)$$

式中:

θ_M ——导体最高温度,℃;

R_A ——导体两端间在 θ_M 稳定温度时的电阻,Ω;

R_C ——导体载流 I_r 在温度稳定时的电阻,Ω;

α ——测量导体电阻温度系数;

θ_A ——导体的稳定基准温度,℃;

θ_1 ——导体较冷端测量处的温度,℃;

θ_2 ——导体较热端测量处的温度,℃;

M ——检修参量。

若式(2)算得 M 为正值,则导体的最高温度是 θ_M ,且位于导体两端中任何点。若 M 为负值或零,则导体的最高温度为 θ_2 。

导体最高温度点位于距温度较低端的距离为 L_M 处。

$$L_M = \frac{1}{1 \pm \sqrt{\frac{\theta_M - \theta_2}{\theta_M - \theta_1}}} \dots\dots\dots(3)$$

式中：

L_M ——导体温度较低端到最高温度点的距离，m。

表 6 套管各部位允许的最高温度值和温升

部件说明				最大温升 K	最高温度 ℃	备 注	
弹性接触	铜与铜合金	无镀层	空气中	45	75		
			SF ₆ 中	60	90		
			油中	50	80		
		镀锡	空气, SF ₆ 或油中	60	90		
			电镀银或镍	空气或 SF ₆ 中	75	105	
				油中	60	90	
螺纹接触	铜 铝 铜合金 铝合金	无镀层	空气中	60	90		
			SF ₆ 中	75	105		
			油中	70	100		
		镀锡	空气或 SF ₆ 中	75	105		
			油中	70	100		
				电镀银或镍	85	115	
用螺钉或螺栓连接的外用接线端子	铜、银及其合金	无镀层	空气中	60	90		
			SF ₆ 中	75	105		
			油中	75	105		
与绝缘接触的金属件		绝缘等级	A 级(油浸纸)	75	105		
注 1: 温升的数值根据最大日平均温度 30 ℃ 为基础。							
注 2: 弹性接触是用弹簧压力维持连接, 如插入式连接。							
注 3: 估计有严重氧化, 温升应限制在 50 K。							

7.12 充油绝缘套管的密封试验

套管应按正常运行要求装配好, 在环境温度不低于 10 ℃ 时充以规定的液体, 变压器套管应充以最低温度 60 ℃ 的液体。充液后应尽快地对套管内部施加比最大运行压力高 $1 \times 10^5 \text{ Pa} \pm 0.1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的压力, 维持至少 12 h。如果没有泄漏的现象则认为套管通过了本试验。检测方法应符合 GB/T 2423.23—1995 附录 C 中 C.2 所规定。

对有内部波纹管的套管, 压力大小应由供方规定。

对此试验起影响作用的部件应预先进行密封试验。对于套管一端或两端预期要浸入到气体介质中的套管需另外考虑。

7.13 充气套管的密封试验

对用来构成气体绝缘设备的一完整部件, 并且预期要在现场完成装配的气体绝缘套管, 允许用对每一部件的密封试验来代替在装配好的套管上进行的密封试验, 该试验由对每个装配密封面上的密封试验来完成。该密封装配方法应经供需双方协议。

套管应按正常运行要求装配好, 在环境温度下充以最高运行压力的气体。套管应密封在一外套(例如一塑料袋)内。在等于或大于 2 h 的时间间隔内测量两次外套内部空气中的气体浓度。如果算得的年泄漏率等于或低于 0.5%, 则认为该套管通过了本试验。

替代的气体泄漏探测方法可由供需双方协议。

对影响此试验的部件应预先进行密封试验。

7.14 套管的弯曲耐受负荷

套管应能耐受表 7 规定的 60s 弯曲耐受负荷试验。试验时套管内部应施加比最高运行压力高 (0.1±0.01)MPa 的压力。试验过程中,套管不得有任何渗漏或机械损伤。

表 7 套管的弯曲耐受负荷

单位为牛顿

额定电压 kV	额定电流 I_r A					
	800~1 600		2 000~3 150		4 000~8 000	
1 100	I 3 150	II 5 000	I 5 000	II 8 000	I 5 000	II 8 000

注: I 为正常负荷、II 为重负荷。

套管允许运行弯曲负荷为表 7 中弯曲耐受负荷的二分之一。

套管应能耐受表 7 给出的弯曲水平 I 或 II 的弯曲负荷值,弯曲水平 I 是额定负荷,也是通常供货提供值。若用户有特殊重负荷要求,则由供需双方协议商定。

7.15 套管耐受的热短时电流 I_{th}

套管应能耐受规定的热短时电流试验, I_{th} 为额定电流 I_r 的 25 倍,变压器类套管的持续时间通常为 2 s,开关类套管持续时间参照相关开关标准。当套管的热短时电流持续时间为 t 时,其热短时电流值式 (4) 规定:

$$I_t = I_{th} \sqrt{t_{th}/t} \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- I_{th} ——标准规定耐受的热短时电流, kA;
- t_{th} ——标准规定的热短时电流的持续时间, s;
- I_t ——在持续时间为 t 时的热短时电流, kA;
- t ——持续时间, 单位: s。

用下式计算验证套管耐受 I_{th} 标准值的能力:

$$\theta_t = \theta_0 + \alpha \frac{I_{th}^2}{S_t \times S_c} \times t_{th} \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- θ_t ——导体的最终温度, °C;
- θ_0 ——在环境温度 40 °C 下载流 I_r 连续运行时导体的温度, °C;
- α ——铜取值 0.8(K/s)/(kA/cm²)², 铝取值 1.8(K/s)/(kA/cm²)²;
- t_{th} ——规定的额定持续时间, s;
- I_{th} ——上述规定的标准值, kA;
- S_c ——考虑集肤效应的等效横截面面积, cm²;
- S_t ——相应于 I_r 的总横截面面积, cm²。

对于其他材料的 α 值, 可由式 (6):

$$\alpha = \frac{\rho}{c \times \delta} \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- ρ ——导体电阻率, $\mu\Omega \cdot \text{cm}$;
- c ——比热容, J/(g · k);
- δ ——导体密度, g/cm³。

用于公式中的 ρ 、 c 和 δ 各值需在平均温度 160 °C 下进行校正。

在直径 $D(\text{cm})$ 的圆截面导体中,需考虑集肤效应取得等值横截面面积。其值可由式(7)导出的电流渗入深度 d 来确定:

$$d = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho \times 10^3}{f}} \text{cm} \dots\dots\dots(7)$$

式中:

f ——额定频率,Hz;

因此: $S_c = \pi d(D - d)$ 。

如果计算的导体的最终温度不超过 $180\text{ }^\circ\text{C}$,则认为套管能耐受 I_n 的标准值,试验可以免做;若导体的最终温度超过此限度,则须用试验来证明套管是否能耐受此标准值。

7.16 变压器类套管内部油的性能

变压器类套管内部油的性能应符合表 8 规定。

表 8 套管内变压器油性能值

击穿电压 kV	tanδ/% (90 °C)	含水量 μL/L	油中溶解气体含量 μL /L		
			乙炔	总烃	氢
≥70	≤0.1	≤10	0.0	≤10	≤30

当用户有要求时,可在工厂进行套管内变压器油的性能测试,其具体测试项目和指标也可由供需双方协议商定。

7.17 气体绝缘套管气体性能

气体绝缘套管内气体性能应满足表 9 的规定

表 9 套管内气体性能值

纯度(SF ₆) (质量分数)/ %	酸度(以 HF 计) 质量分数/ %	四氟化碳 (质量分数)/ %	空气 (质量分数)/ %	可水解氟化物 (以 HF 计)/ %	矿物油的 质量分数/ %	水 分	
						水的质量分数 %	露点 °C
≥99.9	≤0.000 02	≤0.04	≤0.04	≤0.000 1	≤0.000 4	≤0.000 5	≤-49

8 试验要求与方法

8.1 试验要求和试验内容

套管的试验方法除应符合本指导性技术文件外,还应符合 GB/T 4109—2008、GB/T 763、GB 1094.3、GB/T 507、GB/T 5654、GB/T 7252、GB/T 7354、GB/T 7600、GB/T 7601、GB/T 21429 和 IEC 60137 的规定。1 000 kV 交流套管应依照上述标准规定,进行逐个试验和型式试验。

8.2 试验的一般要求

在进行套管的工频、冲击、操作波和热试验时,必须完整地具备固定法兰或其他固定装置及在使用时需要的全部附件。测量端子应接地或者接近于地电位(热稳定试验时,测量端子接电桥)。

油浸纸绝缘的套管,须用规定质量的绝缘液体充至正常液面。

气体绝缘的套管,须用规定类型的气体,充至绝缘气体的最小运行密度,该密度可用 20 °C 下的压力来表示。如试验开始时温度不是 20 °C,则压力应调到所需相应的密度。

对浸入式套管,应浸到尽可能与正常运行类似的介质中。当介质为变压器油时,油的击穿电压值应符合表 10 的规定。对介质为气体(如 SF₆)时,套管所浸入的 SF₆ 气体表压力应与正常运行时的压力相同,经供需双方协议可用其他介质代替 SF₆ 气体。

表 10 试验容器用变压器油的击穿电压值

单位为千伏

套管最高运行电压 U_m	油的击穿电压, 不小于	
	逐个试验用油	型式试验用油
1 100	60	65

注: 变压器油的击穿试验按 GB/T 507 要求进行。

变压器套管试验时应垂直安装, 要求安装成为其他状态时, 应由供需双方协议商定。

试验时的室温不得低于 10 °C, 试验用介质的温度应在 10 °C~40 °C 之间, 套管与周围接地部件要有足够的距离(一般不小于 1.5 倍试品外绝缘距离)。以避免经环境空气或浸渍介质对接地部件发生直接闪络。

8.3 套管的瓷套和复合外套检查

套管的瓷套应符合 IEC 62155 的规定; 套管的复合外套应符合 GB/T 21429 的规定。

8.4 雷电全波(或截波)冲击耐受电压试验

试验参数见表 2、表 3。

对于变压器套管, 套管应逐次地经受:

- 15 次正极性全波雷电冲击;
- 1 次负极性全波雷电冲击;
- 5 次负极性截波;
- 14 次负极性全波雷电冲击。

对于开关类套管, 套管应逐次地经受:

- 15 次正极性全波雷电冲击;
- 15 次负极性全波雷电冲击。

允许改变极性后, 在进行冲击试验前, 先施加一些较小幅值的冲击电压。如内绝缘未发生击穿或外绝缘闪络次数不超过 2 次(变压器套管在负极性下无闪络, 油端没有闪络)则认为该套管通过本试验。

8.5 工频干耐受电压试验

试验参数见表 2、表 3, 耐受电压应经过标准大气条件校正。

试验时如果没有出现闪络或击穿则认为套管通过此试验。如果套管击穿, 则认为没有通过本试验。

8.6 变压器套管的长时工频耐受试验

应符合 GB/T 4109—2008 中 8.2 及本指导性技术文件 7.7 的规定。

8.7 操作冲击耐受电压试验(湿)

操作冲击耐受电压(湿)(耐受值见表 2、表 3), 试验时先正极性后负极性各 15 次。在任意极性下, 如内绝缘未发生击穿或外绝缘闪络次数不超过 2 次(变压器套管在负极性下无闪络, 油端没有闪络)则认为该套管通过本试验。

8.8 变压器套管的 $\tan\delta$ 和电容量测量

试验应在室温 10 °C~40 °C 的条件下, 采用准确度与测量值相匹配的西林电桥或其他等效方法进行。测量时高压接在套管的接线板上, 套管的测量端子与电桥连接, 连接套筒接地, 试验时应注意选择直径足够大的高压导线和采取屏蔽措施, 以避免线路产生电晕而影响测量结果。

具体数据及要求见表 4。

8.9 套管的局部放电测量

试验方法和要求应符合 GB/T 4109—2008 中 9.4、GB 1094.3—2003 中 12.2 的规定。

套管局放值在 667 kV 电压下不大于 5 pC, 在 953 kV 电压下不大于 10 pC。

8.10 变压器类套管测量端子及抽头电容量、 $\tan\delta$ 、绝缘电阻测量和 60 s 耐受电压试验

应符合本指导性技术文件 7.9 的规定。

60 s 耐受电压试验时,连接套筒接地,测量端子或电压抽头接高压引线,施加规定电压。试验过程中没有闪络或者击穿则认为试验通过。

8.11 套管热稳定性能试验

应符合 GB/T 4109—2008 中 8.5 和本指导性技术文件 7.10 的规定。

8.12 套管温升试验

试验方法应符合本指导性技术文件 7.11 的规定。

8.13 套管热短时电流耐受试验

应符合 GB/T 4109—2008 中 8.8 和本指导性技术文件 7.15 的规定。

8.14 密封试验

应符合 GB/T 4109—2008 中 9.7、9.8 及 IEC 60137—2008 中 9.7、9.8 的规定。

8.15 套管弯曲负荷耐受试验

应符合 GB/T 4109—2008 中 8.9 的规定。

9 试验分类

9.1 逐个试验

出厂的每一只套管,应按表 11 顺序进行逐个试验。试验时,如套管有不符表 11 中的规定的任何一项要求时,则此套管不合格。

表 11 套管逐个试验项目

序号	试验名称	试验依据	试验方法
1	外观及尺寸检查	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB/T 4109—2008 中 9.10
2	介质损耗因数 ($\tan\delta$) 及电容量测量	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB/T 4109—2008 中 9.1 本指导性技术文件 8.8
3	雷电冲击干耐受电压试验	GB/T 4109—2008 中 7.2	本指导性技术文件中 8.4
4	工频耐受电压试验	GB/T 4109—2008 中 7.2	本指导性技术文件中 8.5
5	局部放电量测量	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB/T 4109—2008 中 9.4 本指导性技术文件 8.9
6	抽头绝缘试验	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB/T 4109—2008 中 9.5
7	气体绝缘套管的内压力试验 ^a	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB/T 4109—2008 中 9.6
8	密封试验	GB/T 4109—2008 中 7.2 及 IEC 60137—2008 中 9.8、9.9	本指导性技术文件 7.12、7.13 及 IEC 60137—2008 中 9.8、9.9
9	法兰或其他紧固件上的密封试验	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB/T 4109—2008 中 9.9
^a 仅适用于气体绝缘套管。			

变压器类在工频耐受电压试验以后,应按表 11 第 2 项再次进行介质损耗因数 $\tan\delta$ 、电容量测量,以便检验套管是否发生击穿或其他明显的损伤。

9.2 型式试验

新产品定型或正常产品修改结构、改变原材料及生产工艺时,应根据改变性质,进行产品型式试验的全部项目或部分项目试验。试验用的套管应与正常交货的套管相同。型式试验应在通过逐个试验合格后的产品中随机抽取 1 只,按表 12 顺序进行试验。试验时,如套管有不符表中规定的任何一项要求时,则型式试验不合格。

在型式试验后,应按表 11 第 2 项、第 5 项规定进行介质损耗因数($\tan\delta$)、电容量及局部放电量测量,以便检验套管是否发生击穿或者其他明显的损伤。

表 12 套管型式试验项目

序号	试验名称	试验依据	试验方法
1	尺寸检查	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB/T 4109—2008 中 9.10
2	工频干耐受电压试验	GB/T 4109—2008 中 7.2	本指导性技术文件中 8.5
3	变压器套管长时工频耐受试验	GB 1094.3 中 12.2	GB/T 4109—2008 中 8.2 及本指导性技术文件 7.7
4	雷电全波/截波冲击耐受电压试验	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB 1094.3 中 12.2.2、本指导性技术文件 8.4
5	操作冲击湿耐受电压试验	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB/T 4109—2008 中 8.4 及本指导性技术文件 8.7
6	测量端子电容量及 $\tan\delta$ 测量	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB/T 4109—2008 中 7.2 及本指导性技术文件 7.9
7	温升试验	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB/T 4109—2008 中 8.7 及本指导性技术文件 7.11
8	热短时电流耐受试验	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB/T 4109—2008 中 8.8 及本指导性技术文件 7.15
9	热稳定性试验	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB/T 4109—2008 中 8.5 及本指导性技术文件 7.10
10	无线电干扰试验	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB/T 4109—2008 中 8.6
11	弯曲耐受负荷试验	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB/T 4109—2008 中 8.9 及本指导性技术文件 7.14
12	套管密封试验	GB/T 4109—2008 中 7.2 及 IEC 60137—2008 中 9.8、9.9	本指导性技术文件 7.12、7.13 及 IEC 60137—2008 中 9.8、第 9.9
13	气体绝缘套管的内压力试验 ^a	GB/T 4109—2008 中 7.2	GB/T 4109—2008 中 9.6
14	复合套管的伞套材料试验 ^b		
15	复合套管的管材料试验 ^b		
^a 仅适用于气体绝缘套管。 ^b 仅适用于复合绝缘套管。			

9.3 特殊试验

特殊试验仅在供需双方有合同协议的情况下进行。

地震试验参考 IEC 61463。

9.4 现场交接试验

现场交接验收试验在装有套管的设备安装完毕后进行,所有试验结果均应符合产品的技术规范。

9.4.1 1 000 kV 套管的交接试验项目

9.4.1.1 油浸式套管

- a) 外观检查;
- b) 测量套管主绝缘的绝缘电阻;
- c) 末屏小套管和抽压小套管的绝缘电阻测量;

- d) 10 kV 下的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 和电容量;
- e) 测量末屏对地的介质损耗角正切值 $\tan\delta$;
- f) 密封试验。

9.4.1.2 SF₆ 气体绝缘套管

- a) 外观检查;
- b) 测量套管主绝缘的绝缘电阻;
- c) SF₆ 套管气体试验。

9.4.2 外观检查

套管的瓷套应符合 IEC 62155 的规定;套管的复合外套应符合 GB/T 21429 和以下规定。

- a) 检查套管有无破损,裂纹,划痕,有无渗漏;
- b) 大小伞结构的两相邻大伞伞间距应不小于 70 mm。

9.4.3 测量套管主绝缘的绝缘电阻

- a) 测量主绝缘的绝缘电阻,应使用 5 000 V 或 2 500 V 兆欧表;
- b) 主绝缘的绝缘电阻值应不低于 10 000 MΩ。

9.4.4 测量末屏小套管和抽压小套的绝缘电阻

- a) 测量末屏小套管对法兰的绝缘电阻,应使用 2 500 V 兆欧表,其绝缘电阻值不应低于 1 000 MΩ;
- b) 对有抽压小套管的 1 000 kV 套管,还要测量抽压小套管对法兰的绝缘电阻,测量时使用 2 500 V 兆欧表,其绝缘电阻值不低于 2 000 MΩ。

9.4.5 10 kV 下的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 和电容量

- a) 安装前后,测量变压器、电抗器用套管主绝缘的 $\tan\delta$ 和电容量试验电压为 10 kV;
- b) 油浸式套管的实测电容值与产品铭牌数值相比,其差值应小于 ±5%。

9.4.6 测量套管末屏对地的介质损耗角正切值 $\tan\delta$

- a) 测量末屏对地介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 时的试验电压为 2 kV,采用反接线进行测量;
- b) 电压抽头:耐受电压为抽头额定电压的两倍,试验持续时间为 60 s;
- c) 末屏对地的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 应符合技术条件的规定;
- d) 测量端子、电压抽头的介质损耗角正切值 $\tan\delta$ 应符合技术条件的规定。

9.4.7 密封检查

应对套管油枕、法兰等部位有无渗漏进行仔细检查。

9.4.8 SF₆ 套管气体试验

- a) SF₆ 水分含量不得大于 250 μL/L(20 °C 体积分数);
- b) 定性检漏无泄漏点,有怀疑时进行定量检漏,年泄漏率应小于 0.5%。

10 运输、存放、安装、运行和维护规则

套管的运输、存放、安装、运行和维护都应按照供方提供的说明书来执行。

因此,供货商应提供套管的运输、存放、安装、运行和维护的说明书。运输和存放的说明书应在供货之前提供,而安装、运行和维护说明书最迟应在供货时提供。

对不同类型套管的安装、运行和维护规则不作详细要求,但是供货商提供的说明书必须包含以下给出的重要信息。

10.1 运输、存放和安装要求

如果在订单中规定了维护条件,但对运输和存放没有要求,那么供需双方应做专门的协定。特别是在运输、存放和安装过程中不能破坏绝缘性能,在加压之前,防止产品受潮,例如要防止雨水、积雪和凝露。应当考虑在运输过程中的震动,必要时应给出说明书。

气体浸渍和气体绝缘套管在运输过程中应当能承受足够的压力。供方应在环境温度为 20 °C 对产品充以 1.3×10^5 Pa 的压力。如果是 SF₆ 气体绝缘套管, 运输按 GB/T 12022 执行。

10.2 安装说明

供方提供的不同类型套管的说明书都应至少包括以下内容。

10.3 拆装与吊装

提供安全拆装和吊装所必需的信息, 包括详细的吊装步骤和必要的设备。

在套管运抵目的地后, 安装前应按供方提供的说明书检验清楚。对于气体浸渍和气体绝缘套管, 在环境温度下气体压力应高于大气压。

10.4 组装

当套管不是组装好后运输的, 则运输的零部件必须标识清楚。总装图中必须标清各个零部件的位置。

10.4.1 安装说明

安装说明中应指出以下内容:

- a) 套管的重量;
- b) 套管的重量(或者是将要安装的最重的零部件)是否超过 100 kg;
- c) 重心位置。

气体浸渍和气体绝缘套管应充以指定的气体, 例如符合 GB/T 12022 的新的 SF₆ 气体。充气结束时的压力为在标准大气条件下(20 °C 和 101.3 kPa)的额定充气压力。

10.4.2 连接说明

说明书中应包含以下信息:

- a) 在连接导体时应注意防止套管过热和不必要的损伤, 留出足够的间距;
- b) 所有辅助电路的连接;
- c) 液体和气体系统的连接, 如需要, 说明所需管道的大小和排列方式;
- d) 接地。

10.4.3 最终安装检查

应提供在套管安装和连接完毕后进行检查和测试的说明书

这些信息应包括以下内容:

- a) 正常运转设定的测试计划表;
- b) 执行所有能使套管正常运转的调节程序;
- c) 提供一些帮助设备运行中的维护建议;
- d) 最终检查和投入运行的说明书。

测试和检查结果应记录于投运报告中。

气体浸渍和气体绝缘套管按以下内容检查:

——气体压力测量——在标准大气条件下(20 °C 和 101.3 kPa)充气结束时的压力值不能低于最低设计压力也不能高于绝缘气体的额定填充压力。

——露点测试——在额定填充压力下, 在环境温度为 20 °C 时测量露点的温度不能低于 -5 °C。在其他温度下的测量值要适当的修正。

——紧固装置的检查——用封闭系统的检测方法进行检查。检查应在套管填充气体一小时以后进行以便获得稳定的泄漏。此项检查仅限于用一相匹配的泄漏探测器对密封圈、超负荷设备、阀、终端、压力计、热敏元件等进行检查。

参 考 文 献

- [1] IEC 61463 套管——抗地震能力
-