



中国认可
国际互认
检测
TESTING
CNAS L0699



检测报告

CEPRI-EETC09-2023-0812

委托单位：山东七星高压电气有限公司

样品名称：干式电容式变压器套管

型号规格：QXBRGW-550/4000-4

检测类别：逐个试验/型式试验



中国电力科学研究院有限公司



注 意 事 项

1. 报告无本检测机构印章无效。
2. 报告无检测、校核、审核、批准人签字无效。
3. 报告涂改无效。
4. 报告仅对被试样品负责。
5. 报告部分复制无效。
6. 若对报告有异议，应于收到报告之日起十五日内向本检测机构提出，逾期不予受理。

7. 中国电力科学研究院检验检测管理体系包括以下机构：

国家风电技术与检测研究中心

电力工业电气设备质量检验测试中心

电力工业电力设备及仪表质量检验测试中心

电力工业电力工程材料部件质量检验测试中心

电力工业电力系统自动化设备质量检验测试中心

电力工业通信设备质量检验测试中心

电力工业电力及通信混凝土电杆质量检验测试中心

电力系统电磁兼容和环境研究与监测中心

地 址： 湖北省武汉市洪山区珞喻路 143 号， 430074

邮 箱： eetc@epri.sgcc.com.cn

网 址： <http://www.epri.sgcc.com.cn>

传 真： 027-59378488

服务电话： 027-59258069

监督电话： 010-82813496

目 录

1、目 录.....	1
2、签字页.....	2
3、检测结果.....	3
4、报告正文.....	8
5、附录 A 样品信息.....	30
6、附录 B 主要检测仪器设备.....	32

CEPRI



检测报告	中国电力科学研究院有限公司		CEPRI-EETC09-2023-0812 共 32 页 第 2 页
委托单位	山东七星高压电气 有限公司	生产单位	山东七星高压电气 有限公司
样品名称	干式电容式变压器套管 (1)	型号规格	QXBRGW-550/4000-4
来样方式	送样	样品编号	2303B001S
检测类别	逐个试验/型式试验	检测日期	2023.03.21~2023.03.31
检测依据	1. GB/T 4109—2022 《交流电压高于 1000V 的绝缘套管》 2. IEC 60137:2017 Insulated bushings for alternating voltages above 1000V		
检测结论	根据 GB/T 4109—2022、IEC 60137:2017 标准要求，对山东七星高压电气有限公司提供的 QXBRGW-550/4000-4 型干式电容式变压器套管进行逐个试验、型式试验，所检测项目符合标准要求。		
备注	/		
检测： 郭文亮	刘西超		
校核： 肖忠明	审核： 刘勇		
批准： 叶国雄	签发日期： 2023-05-09		



检测结果

序号	检测项目	标准要求	检测结果	评价
逐个试验				
1	环境温度下介质损耗因数($\tan \delta$)和电容量测量	套管在工频电压 10kV、 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 、 U_m 下测量的 $\tan \delta$ 值应不超过 0.4%，工频电压从 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 升高到 U_m 时 $\Delta \tan \delta \leq 0.1\%$ 。	高压端子对试验抽头： 10kV $\tan \delta$: 0.320% Cx: 733.3pF 333kV $\tan \delta$: 0.336% Cx: 733.8pF 550kV $\tan \delta$: 0.341% Cx: 733.9pF	符合要求
2	雷电冲击干耐受电压试验	105%额定雷电全波电压: 1759kV 负极性: 3 次 全波波形: 1.2/50 μ s 截波电压 (115%额定雷电全波电压): 1926kV 截断时间: (2~6) μ s 负极性: 2 次 应无 (油端、空气中) 闪络或击穿。	全波电压: 1681kV~1747kV -3 次 截波电压: 1912kV、1928kV -2 次 无闪络、无击穿	符合要求
3	工频干耐受电压试验	套管高压端子对地间应耐受工频电压 750kV, 60s, 应无闪络或击穿。	750kV/50Hz /60s 无闪络、无击穿	符合要求
4	局部放电测量	预加电压: 750kV/60s 测量电压: 550kV 最大局部放电量: 10pC 测量电压: 476kV 最大局部放电量: 10pC 测量电压: 333kV 最大局部放电量: 5pC	预加电压: 750kV/60s 测量电压: 550kV 最大局部放电量: 7pC 测量电压: 476kV 最大局部放电量: 5pC 测量电压: 333kV 最大局部放电量: 4pC	符合要求
5	环境温度下介质损耗因数($\tan \delta$)和电容量测量	套管在工频电压 10kV、 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 、 U_m 下测量的 $\tan \delta$ 值应不超过 0.4%，工频电压从 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 升高到 U_m 时 $\Delta \tan \delta \leq 0.1\%$ 。	高压端子对试验抽头： 10kV $\tan \delta$: 0.327% Cx: 733.3pF 333kV $\tan \delta$: 0.339% Cx: 733.7pF 550kV $\tan \delta$: 0.347% Cx: 733.7pF	符合要求



序号	检测项目	标准要求	检测结果	评价
6	抽头绝缘试验	套管试验抽头端子对地应耐受工频电压 2kV, 60s, 应无闪络或击穿。耐压前后应测量试验抽头对地电容量及 $\tan \delta$ 值, $C_x \leq 10000 \text{ pF}$ $\tan \delta \leq 5\%$ 。	试验抽头:2kV/50Hz/60s 无闪络、无击穿 耐压前: 1kV $\tan \delta$: 0.560% Cx: 1111.5pF 耐压后: 1kV $\tan \delta$: 0.577% Cx: 1112.2pF	符合要求
型式试验				
7	雷电冲击干耐受电压试验	额定耐受电压 1675kV, 套管逐次经受: 100%额定雷电全波电压: 1675kV 正极性: 15 次 全波波形: 1.2/50 μ s 截波电压 (121%额定雷电全波电压): 2027kV 截断时间: (2~6) μ s 负极性: 5 次 110%额定雷电全波电压: 1843kV 负极性: 15 次 应无 (油端、空气中) 闪络或击穿。	全波电压: 1662kV~1678kV +15 次 1826kV~1848kV -15 次 截波电压: 1978kV~2008kV -5 次 无闪络、无击穿 大气校正因数 $K_f=1.003$	符合要求
8	操作冲击干或湿耐受电压试验	未淋雨状态下: 额定耐受电压 1300kV, 套管逐次耐受: 110%标准操作全波电压: 1430kV 负极性: 15 次 全波波形: 250/2500 μ s 应无 (油端、空气中) 闪络或击穿。	全波电压: 1392kV~1400kV -15 次 无闪络、无击穿 大气校正因数 $K_f=1.000$	符合要求
		淋雨状态下: 100%标准操作全波电压: 1300kV 正负极性: 各 15 次 全波波形: 250/2500 μ s 应无 (油端、空气中) 闪络或击穿。	全波电压: 1281kV~1306kV +15 次 1286kV~1305kV -15 次 无闪络、无击穿 雨水电导率: 96 μ S/cm 水平雨量: 1.4mm/min 垂直雨量: 1.5mm/min 大气校正因数 $K_f=1.008$	符合要求



序号	检测项目	标准要求	检测结果	评价
9	长时间工频耐受电压试验	套管高压端子对地施加工频耐受电压： $1.1U_m/\sqrt{3}$ ，维持 5min；再升至 $1.5U_m/\sqrt{3}$ ，维持 5min；再升至 U_m ，维持 1min；然后降至 $1.5U_m/\sqrt{3}$ ，维持 60min；再降至 $1.1U_m/\sqrt{3}$ ，维持 5min。在所有测试电压下监测局放量。	349kV/50Hz/5min 476kV/50Hz/5min 550kV/50Hz/1min 476kV/50Hz/60min 349kV/50Hz/5min 无闪络、无击穿 详见报告正文第 9 项	符合要求
10	环境温度下介质损耗因数 ($\tan \delta$) 和电容量测量	套管在工频电压 10kV、 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 、 U_m 下测量的 $\tan \delta$ 值应不超过 0.4%，工频电压从 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 升高到 U_m 时 $\Delta \tan \delta \leq 0.1\%$ 。	高压端子对试验抽头： 10kV $\tan \delta$ ：0.331% Cx：733.5pF 333kV $\tan \delta$ ：0.347% Cx：733.6pF 550kV $\tan \delta$ ：0.349% Cx：733.7pF	符合要求
11	热稳定试验	将套管安装在油箱上并将油加热至 $90^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，在油和套管间达到热平衡后频繁施加电压测量介质损耗因数 ($\tan \delta$)，每次测量需记录环境温度值。当套管的介质损耗因数 ($\tan \delta$) 在环境温度条件下 5h 内增大不超过 0.02% 时，即套管达到热稳定。且随后的逐个绝缘耐受试验应与先前测得的结果无明显变化。	详见报告正文第 11 项。	符合要求
12	无线电干扰电压试验 (RIV)	套管高压端子对地之间施加 $1.1U_m/\sqrt{3}$ 电压，维持 5min，然后将电压逐级下降至 $0.3U_m/\sqrt{3}$ 再逐级上升至初始值，最后逐级下降至 $0.3U_m/\sqrt{3}$ ，电压调节幅度为 $0.1U_m/\sqrt{3}$ ，在 $1.1U_m/\sqrt{3}$ 电压下测量的无线电干扰水平不大于 $500\mu\text{V}$ 。	详见报告正文第 12 项。	符合要求
13	温升试验	施加额定电流 I_r ($1 \pm 2\%$)，各部位温升限值和温度限值分别为： 与绝缘接触的载流和不载流金属部件： $90\text{K}/120^\circ\text{C}$ 靠螺钉或螺栓连接到外部导体上的端子： $75\text{K}/105^\circ\text{C}$ 。	详见报告正文第 13 项	符合要求



序号	检测项目	标准要求	检测结果	评价
14	热短时电流耐受试验(计算)	导体的最终温度 θ_f 的计算值应不超过 180℃。	导体的最终温度 θ_f 的计算值为:120℃。	符合要求
15	悬臂负荷耐受试验	套管应垂直安装且法兰应当固定在一个合适的装置上; 负荷应垂直于套管轴线施加到空气端子的中点并持续 60s, 套管应无损坏且能重复耐受全部逐个试验项目并与先前测得的结果无明显变化。	负荷大小: 5.0 kN 持续时间: 1 min 无损坏	符合要求
16	外观和尺寸检查(型式试验)	套管的尺寸应符合图纸规定。特别是对规定有特殊公差的每一个尺寸以及影响互换性的尺寸。	爬电距离(空气端/油端): 20880/1430 mm 电弧距离(空气端/油端) 4710/1410 mm 总长: 7680mm 套管尺寸符合相关图纸规定	符合要求
逐个试验				
17	环境温度下介质损耗因数($\tan \delta$)和电容量测量	套管在工频电压 10kV、 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 、 U_m 下测量的 $\tan \delta$ 值应不超过 0.4%, 工频电压从 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 升高到 U_m 时 $\Delta \tan \delta \leq 0.1\%$ 。	高压端子对试验抽头: 10kV $\tan \delta$: 0.321% Cx: 732.6pF 333kV $\tan \delta$: 0.331% Cx: 732.6pF 550kV $\tan \delta$: 0.339% Cx: 732.7pF	符合要求
18	雷电冲击干耐受电压试验	105%额定雷电全波电压: 1759kV 负极性: 3次 全波波形: 1.2/50 μ s 截波电压(115%额定雷电全波电压): 1926kV 截断时间: (2~6) μ s 负极性: 2次 应无(油端、空气中)闪络或击穿。	全波电压: 1750kV~1771kV -3次 截波电压: 1919kV、1920kV -2次 无闪络、无击穿	符合要求
19	工频干耐受电压试验	套管高压端子对地间应耐受工频电压 750kV, 60s, 应无闪络或击穿。	750kV/50Hz /60s 无闪络、无击穿	符合要求



序号	检测项目	标准要求	检测结果	评价
20	局部放电测量	预加电压：750kV/60s 测量电压：550kV 最大局部放电量：10pC 测量电压：476kV 最大局部放电量：10pC 测量电压：333kV 最大局部放电量：5pC	预加电压：750kV/60s 测量电压：550kV 最大局部放电量：4pC 测量电压：476kV 最大局部放电量：3pC 测量电压：333kV 最大局部放电量：3pC	符合要求
21	环境温度下介质损耗因数 ($\tan \delta$) 和电容量测量	套管在工频电压 $10kV$ 、 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 、 U_m 下测量的 $\tan \delta$ 值应不超过 0.4% ，工频电压从 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 升高到 U_m 时 $\Delta \tan \delta \leq 0.1\%$ 。	高压端子对试验抽头： $10kV \tan \delta$ ：0.325% C_x ：732.8pF $333kV \tan \delta$ ：0.337% C_x ：732.9pF $550kV \tan \delta$ ：0.342% C_x ：732.9pF	符合要求
22	抽头绝缘试验	套管试验抽头端子对地应耐受工频电压 $2kV$ ，60s，应无闪络或击穿。耐压前后应测量试验抽头对地电容量及 $\tan \delta$ 值， $C_x \leq 10000 pF$ ， $\tan \delta \leq 5\%$ 。	试验抽头： $2kV/50Hz/60s$ 无闪络、无击穿 耐压前： $1kV \tan \delta$ ：0.578% C_x ：1112.3pF 耐压后： $1kV \tan \delta$ ：0.587% C_x ：1112.5pF	符合要求
23	法兰或其他紧固器件上的密封试验	箱内应充以相对压力为 $0.15MPa \pm 0.01MPa$ 的空气或任何适宜的气体并维持 15min；或充以相对压力为 $0.1MPa \pm 0.01MPa$ 的油维持 12h。应无渗漏。	施加压力： $0.15 MPa (SF_6)$ 维持时间：15 min 无渗漏	符合要求
24	外观和尺寸检查 (逐个试验)	不准许有影响套管正常运行的表面缺陷。 装配部件和 (或) 内部连接部件的尺寸应符合相关图纸。	套管表面光洁、平整，无缺料、气孔等缺陷，色泽均匀且无影响质量的损伤。 装配部件和内部连接部件的尺寸符合相关图纸。	符合要求



报告正文

1. 环境温度下介质损耗因数 ($\tan \delta$) 和电容量测量

1.1 标准要求

套管在工频电压 10kV 、 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 、 U_m 下测量的 $\tan \delta$ 值应不超过 0.4% ，工频电压从 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 升高到 U_m 时 $\Delta \tan \delta \leq 0.1\%$ 。

1.2 检测结果

环境温度： 16°C 相对湿度：63%

施加方式	测量电压 (kV)	$\tan \delta$ (%)	电容量 (pF)
套管高压端子对试验抽头	10	0.320	733.3
	333	0.336	733.8
	550	0.341	733.9

1.3 评价

符合要求。

2. 雷电冲击干耐受电压试验

2.1 标准要求

套管高压端子对地应耐受 105% 的标准雷电全波电压 1759kV ，负极性 3 次；耐受截波电压 (115% 标准雷电全波电压) 1926kV ，负极性 2 次，应无 (油端、空气中) 闪络或击穿。

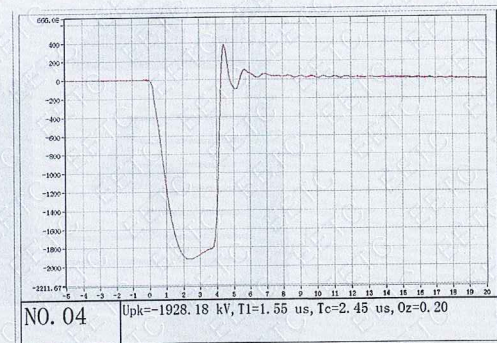
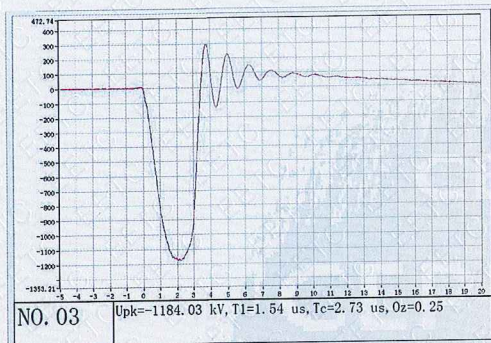
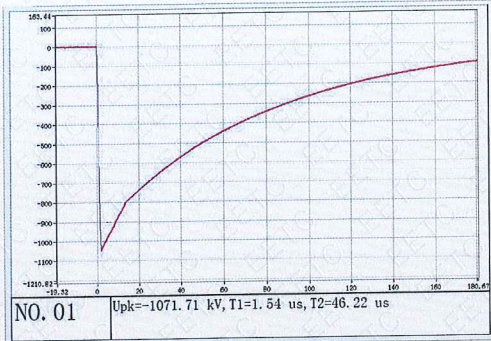
2.2 检测结果

环境温度： 16°C 相对湿度：63% 大气压力： 101.8kPa

试验序号	冲击波类型	峰值电压 (kV)	截断时间 (μs)	波形序号	结果
1	负极性标准雷电冲击全波	1072	/	1	无闪络、无击穿
2	负极性标准雷电冲击全波	1681	/	2	无闪络、无击穿
3	负极性标准雷电冲击截波	1184	2.7	3	无闪络、无击穿
4	负极性标准雷电冲击截波	1928	2.5	4	无闪络、无击穿
5	负极性标准雷电冲击截波	1912	2.4	5	无闪络、无击穿
6	负极性标准雷电冲击全波	1741	/	6	无闪络、无击穿
7	负极性标准雷电冲击全波	1747	/	7	无闪络、无击穿



典型试验波形：



2.3 评价

符合要求。

3. 工频干耐受电压试验

3.1 标准要求

套管高压端子对地间应耐受工频电压 750kV，60s，应无闪络或击穿。

3.2 检测结果

环境温度：16℃ 相对湿度：63% 大气压力：101.3kPa

施加方式	试验电压/频率/时间
高压端子对地之间	750kV/50Hz/60s

3.3 评价

符合要求。



4. 局部放电测量

4.1 标准要求

预加电压：750kV

测量电压：550kV

最大局部放电量：10pC

测量电压：476kV

最大局部放电量：10pC

测量电压：333kV

最大局部放电量：5pC

4.2 检测结果

环境温度：16℃ 相对湿度：63%

预加电压 (kV)	750		
测量电压 (kV)	550	476	333
最大局部放电量 (pC)	7	5	4

4.3 评价

符合要求。

5. 环境温度下介质损耗因数 ($\tan \delta$) 和电容量测量

5.1 标准要求

套管在工频电压 10kV、 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 、 U_m 下测量的 $\tan \delta$ 值应不超过 0.4%，工频电压从 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 升高到 U_m 时 $\Delta \tan \delta \leq 0.1\%$ 。

5.2 检测结果

环境温度：16℃ 相对湿度：63%

施加方式	测量电压 (kV)	$\tan \delta$ (%)	电容量 (pF)
套管高压端子对试验抽头	10	0.327	733.3
	333	0.339	733.7
	550	0.347	733.7

5.3 评价

符合要求。



6. 抽头绝缘试验

6.1 标准要求

套管试验抽头对地应耐受工频电压 2kV, 60s, 应无闪络或击穿。

耐压前后应测量试验抽头对地电容量及 $\tan \delta$ 值, $C_x \leq 10000 \text{ pF}$, $\tan \delta \leq 5\%$ 。

6.2 检测结果

环境温度: 16℃ 相对湿度: 63%

试验电压 (kV)	时间(s)	$\tan \delta$ (%)	电容量(pF)
1	/	0.560	1111.5
2	60	试验端子对地工频耐受电压试验、无闪络和击穿	
1	/	0.577	1112.2

6.3 评价

符合要求。

7. 雷电冲击干耐受电压试验

7.1 标准要求

套管高压端子应耐受 100%标准雷电全波电压 1675kV, 正极性 15 次; 耐受截波电压 (121%标准雷电全波电压) 2027kV, 负极性 5 次; 耐受 110%标准雷电全波电压 1843kV, 负极性 15 次, 应无 (油端、空气中) 闪络或击穿。

7.2 检测结果

环境温度: 16℃ 相对湿度: 67% 大气压力: 102.0kPa 大气修正值: $K_t=1.003$

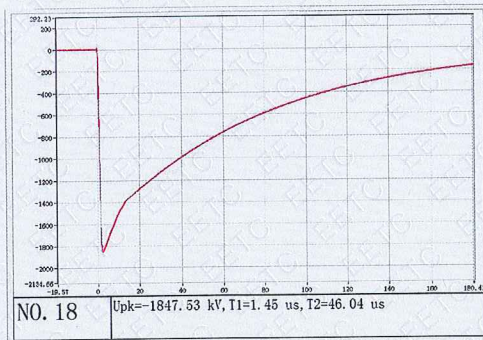
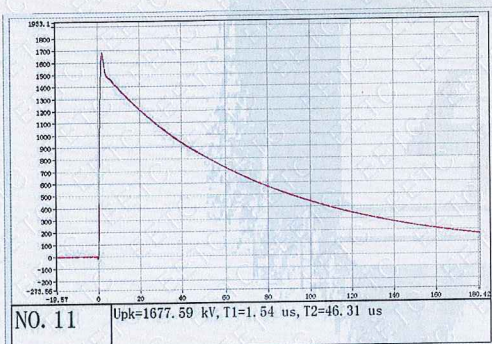
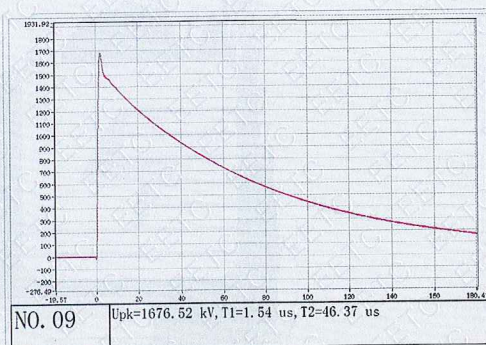
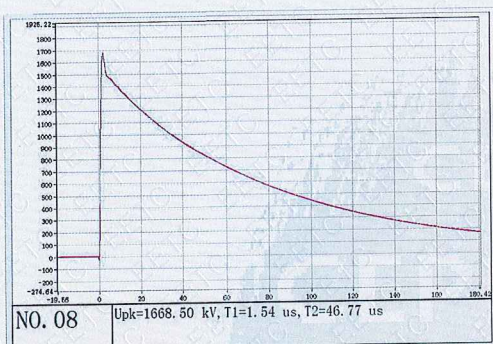
试验序号	冲击波类型	峰值电压 (kV)	截断时间 (μs)	波形序号	结果
1	正极性标准雷电冲击全波	1144	/	1	无闪络、无击穿
2	正极性标准雷电冲击全波	1662	/	2	无闪络、无击穿
3	正极性标准雷电冲击全波	1675	/	3	无闪络、无击穿
4	正极性标准雷电冲击全波	1677	/	4	无闪络、无击穿
5	正极性标准雷电冲击全波	1668	/	5	无闪络、无击穿
6	正极性标准雷电冲击全波	1678	/	6	无闪络、无击穿
7	正极性标准雷电冲击全波	1675	/	7	无闪络、无击穿
8	正极性标准雷电冲击全波	1669	/	8	无闪络、无击穿
9	正极性标准雷电冲击全波	1677	/	9	无闪络、无击穿
10	正极性标准雷电冲击全波	1673	/	10	无闪络、无击穿



试验序号	冲击波类型	峰值电压(kV)	截断时间(μ s)	波形序号	结果
11	正极性标准雷电冲击全波	1678	/	11	无闪络、无击穿
12	正极性标准雷电冲击全波	1669	/	12	无闪络、无击穿
13	正极性标准雷电冲击全波	1674	/	13	无闪络、无击穿
14	正极性标准雷电冲击全波	1666	/	14	无闪络、无击穿
15	正极性标准雷电冲击全波	1675	/	15	无闪络、无击穿
16	正极性标准雷电冲击全波	1673	/	16	无闪络、无击穿
17	负极性标准雷电冲击全波	1095	/	17	无闪络、无击穿
18	负极性标准雷电冲击全波	1848	/	18	无闪络、无击穿
19	负极性标准雷电冲击截波	1201	2.3	19	无闪络、无击穿
20	负极性标准雷电冲击截波	1978	2.3	20	无闪络、无击穿
21	负极性标准雷电冲击截波	1993	4.4	21	无闪络、无击穿
22	负极性标准雷电冲击截波	2008	3.5	22	无闪络、无击穿
23	负极性标准雷电冲击截波	2003	2.7	23	无闪络、无击穿
24	负极性标准雷电冲击截波	1982	2.7	24	无闪络、无击穿
25	负极性标准雷电冲击全波	1847	/	25	无闪络、无击穿
26	负极性标准雷电冲击全波	1841	/	26	无闪络、无击穿
27	负极性标准雷电冲击全波	1841	/	27	无闪络、无击穿
28	负极性标准雷电冲击全波	1835	/	28	无闪络、无击穿
29	负极性标准雷电冲击全波	1838	/	29	无闪络、无击穿
30	负极性标准雷电冲击全波	1845	/	30	无闪络、无击穿
31	负极性标准雷电冲击全波	1839	/	31	无闪络、无击穿
32	负极性标准雷电冲击全波	1838	/	32	无闪络、无击穿
33	负极性标准雷电冲击全波	1826	/	33	无闪络、无击穿
34	负极性标准雷电冲击全波	1836	/	34	无闪络、无击穿
35	负极性标准雷电冲击全波	1832	/	35	无闪络、无击穿
36	负极性标准雷电冲击全波	1834	/	36	无闪络、无击穿
37	负极性标准雷电冲击全波	1844	/	37	无闪络、无击穿
38	负极性标准雷电冲击全波	1841	/	38	无闪络、无击穿

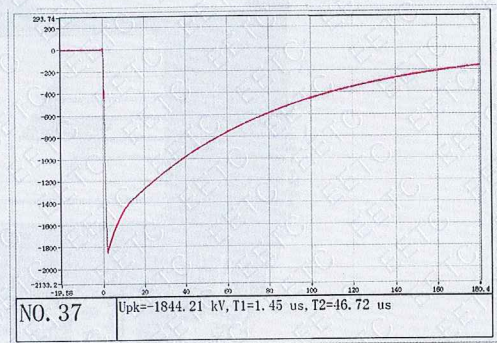
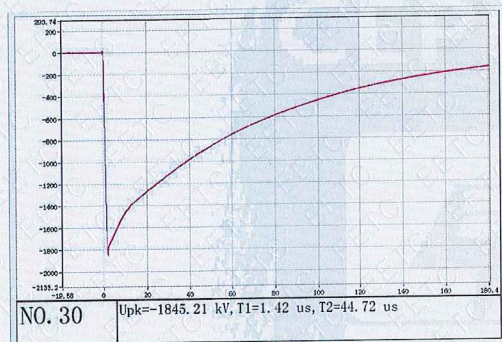
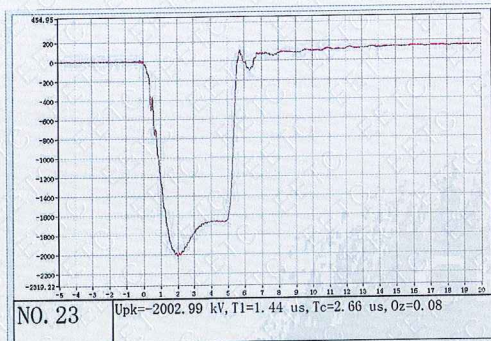
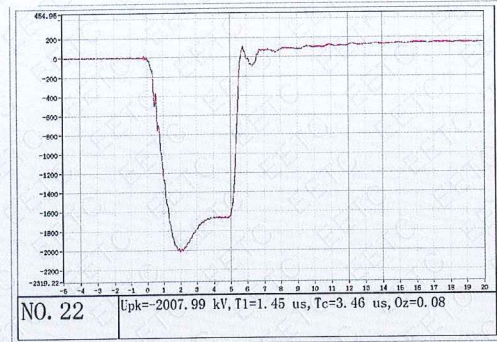
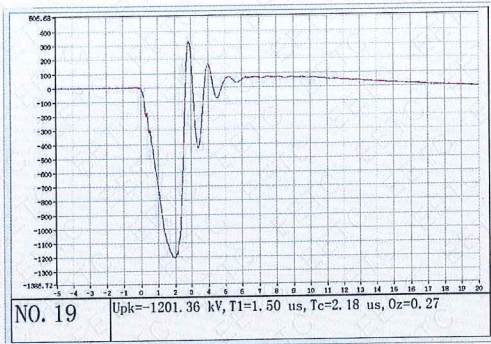


典型试验波形:



国家电网公司





7.3 评价

符合要求。

(本页以下无内容)



8. 操作冲击干或湿耐受电压试验

8.1 标准要求

未淋雨状态下, 套管应耐受 110%标准操作全波电压 1430kV, 负极性 15 次, 应无 (油端、空气中) 闪络或击穿。

淋雨状态下, 套管应耐受 100%标准操作全波电压 1300kV, 正负极性 15 次, 应无 (油端、空气中) 闪络或击穿。

8.2 检测结果

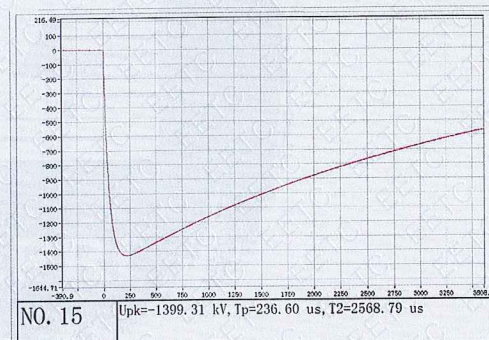
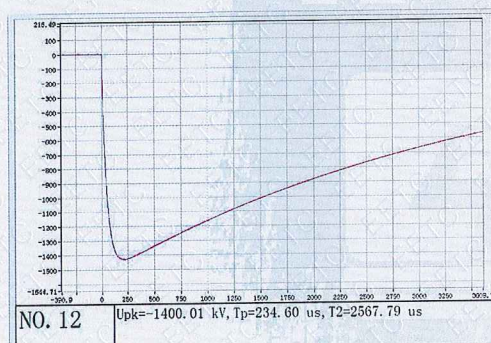
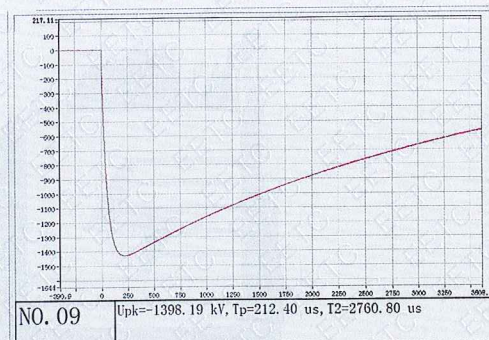
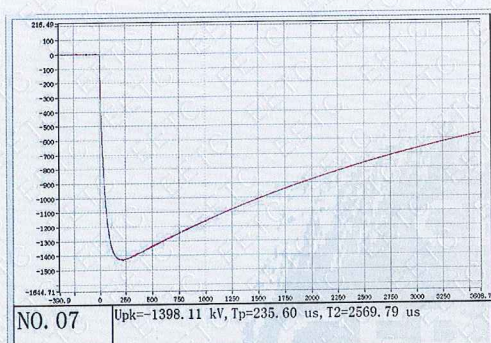
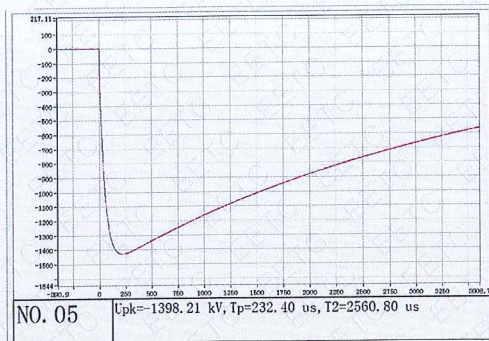
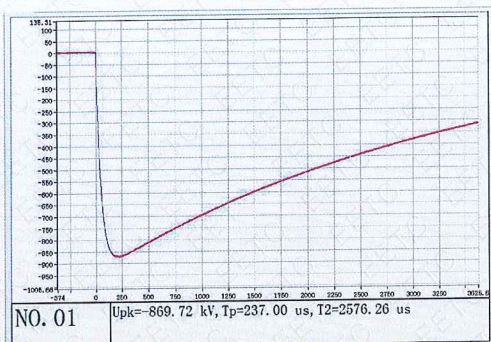
未淋雨状态下

环境温度: 18℃ 相对湿度: 35% 大气压力: 101.4kPa 大气修正值: $K_t=1.000$

试验序号	冲击波类型	峰值电压 (kV)	波形序号	结果
1	负极性标准雷电冲击全波	870	1	无闪络、无击穿
2	负极性标准雷电冲击全波	1392	2	无闪络、无击穿
3	负极性标准雷电冲击全波	1395	3	无闪络、无击穿
4	负极性标准操作冲击全波	1394	4	无闪络、无击穿
5	负极性标准操作冲击全波	1398	5	无闪络、无击穿
6	负极性标准操作冲击全波	1395	6	无闪络、无击穿
7	负极性标准操作冲击全波	1398	7	无闪络、无击穿
8	负极性标准操作冲击全波	1395	8	无闪络、无击穿
9	负极性标准操作冲击全波	1398	9	无闪络、无击穿
10	负极性标准操作冲击全波	1396	10	无闪络、无击穿
11	负极性标准操作冲击全波	1391	11	无闪络、无击穿
12	负极性标准操作冲击全波	1400	12	无闪络、无击穿
13	负极性标准操作冲击全波	1395	13	无闪络、无击穿
14	负极性标准操作冲击全波	1392	14	无闪络、无击穿
15	负极性标准操作冲击全波	1399	15	无闪络、无击穿
16	负极性标准操作冲击全波	1395	16	无闪络、无击穿



典型试验波形:



淋雨状态下

环境温度: 18℃ 相对湿度: 35% 大气压力: 101.4kPa 大气修正值: $K_t=1.008$

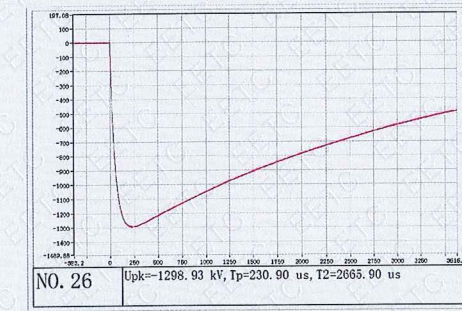
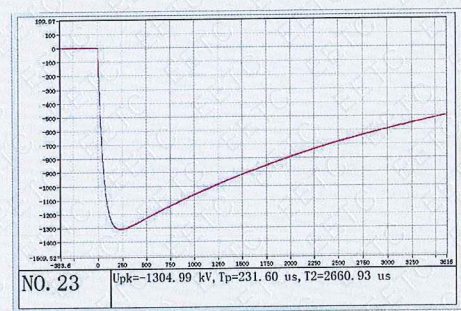
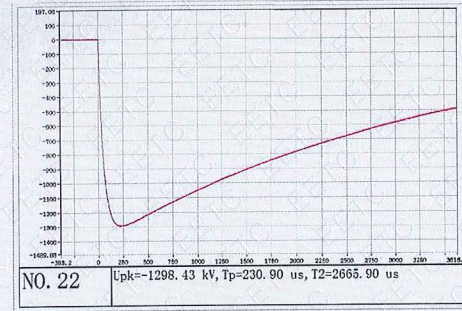
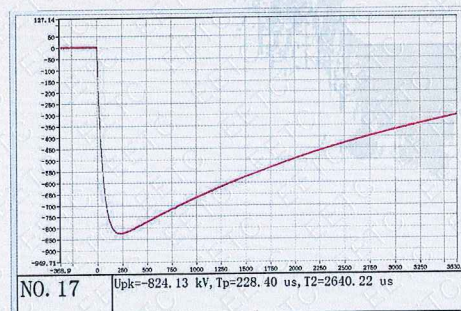
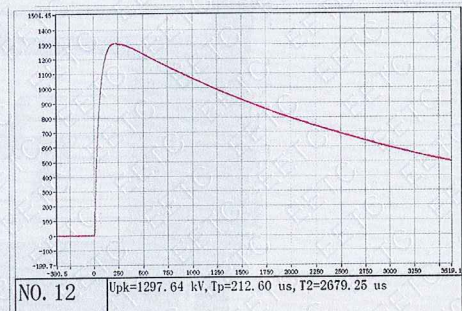
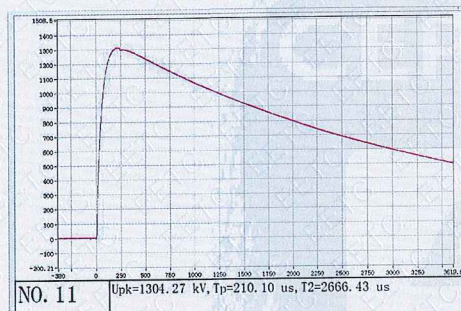
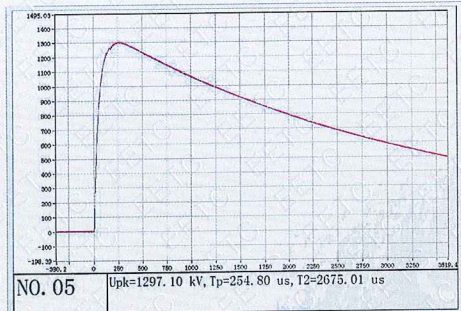
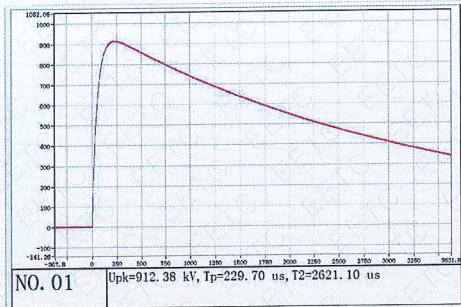
试验序号	冲击波类型	峰值电压 (kV)	波形序号	结果
1	正极性标准雷电冲击全波	912	1	无闪络、无击穿
2	正极性标准雷电冲击全波	1281	2	无闪络、无击穿
3	正极性标准雷电冲击全波	1306	3	无闪络、无击穿
4	正极性标准操作冲击全波	1304	4	无闪络、无击穿
5	正极性标准操作冲击全波	1297	5	无闪络、无击穿

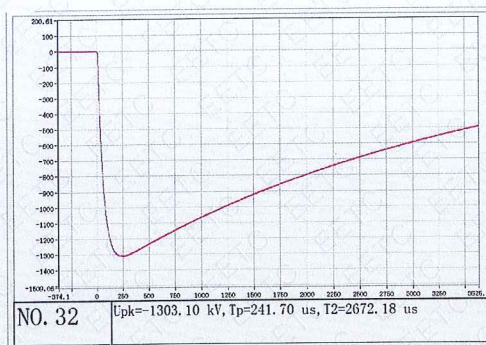
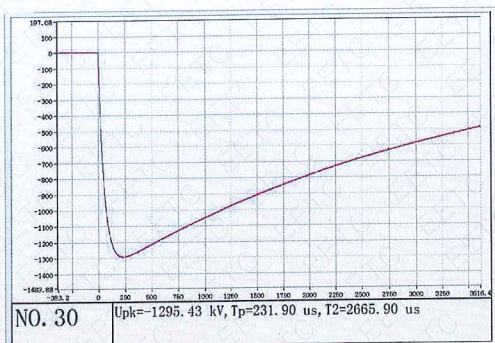


试验序号	冲击波类型	峰值电压 (kV)	波形序号	结果
6	正极性标准操作冲击全波	1297	6	无闪络、无击穿
7	正极性标准操作冲击全波	1303	7	无闪络、无击穿
8	正极性标准操作冲击全波	1285	8	无闪络、无击穿
9	正极性标准操作冲击全波	1293	9	无闪络、无击穿
10	正极性标准操作冲击全波	1298	10	无闪络、无击穿
11	正极性标准操作冲击全波	1304	11	无闪络、无击穿
12	正极性标准操作冲击全波	1298	12	无闪络、无击穿
13	正极性标准操作冲击全波	1286	13	无闪络、无击穿
14	正极性标准操作冲击全波	1300	14	无闪络、无击穿
15	正极性标准操作冲击全波	1304	15	无闪络、无击穿
16	正极性标准操作冲击全波	1301	16	无闪络、无击穿
17	负极性标准操作冲击全波	824	17	无闪络、无击穿
18	负极性标准操作冲击全波	1286	18	无闪络、无击穿
19	负极性标准操作冲击全波	1302	19	无闪络、无击穿
20	负极性标准操作冲击全波	1301	20	无闪络、无击穿
21	负极性标准操作冲击全波	1299	21	无闪络、无击穿
22	负极性标准操作冲击全波	1298	22	无闪络、无击穿
23	负极性标准操作冲击全波	1305	23	无闪络、无击穿
24	负极性标准操作冲击全波	1301	24	无闪络、无击穿
25	负极性标准操作冲击全波	1300	25	无闪络、无击穿
26	负极性标准操作冲击全波	1299	26	无闪络、无击穿
27	负极性标准操作冲击全波	1301	27	无闪络、无击穿
28	负极性标准操作冲击全波	1287	28	无闪络、无击穿
29	负极性标准操作冲击全波	1287	29	无闪络、无击穿
30	负极性标准操作冲击全波	1295	30	无闪络、无击穿
31	负极性标准操作冲击全波	1301	31	无闪络、无击穿
32	负极性标准操作冲击全波	1303	32	无闪络、无击穿



典型试验波形:





8.3 评价

符合要求。

9. 长时间工频耐受电压试验

9.1 标准要求

套管高压端子对地施加工频耐受电压： $1.1U_m/\sqrt{3}$ ，维持 5min；再升至 $1.5U_m/\sqrt{3}$ ，维持 5min；再升至 U_m ，维持 1min；然后降至 $1.5U_m/\sqrt{3}$ ，维持 60min；再降至 $1.1U_m/\sqrt{3}$ ，维持 5min。在所有测试电压下监测局放量。

9.2 检测结果

环境温度：18℃ 相对湿度：35%

测量电压 (kV)	时间 (min)	最大局部放电量(pC)	最大局部放电量允许水平(pC)
349	5	3	5
476	5	3	10
550	1	4	10
476	0~5	3	10
	6~10	3	
	11~15	3	
	16~20	4	
	21~25	3	
	26~30	3	
	31~35	3	
	36~40	3	
	41~45	3	
	46~50	3	
51~55	3	5	
56~60	3		
349	5	3	5

9.3 评价

符合要求。



10. 环境温度下介质损耗因数 ($\tan \delta$) 和电容量测量

10.1 标准要求

套管在工频电压 10kV 、 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 、 U_m 下测量的 $\tan \delta$ 值应不超过 0.4% ，工频电压从 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 升高到 U_m 时 $\Delta \tan \delta \leq 0.1\%$ 。

10.2 检测结果

环境温度： 18°C 相对湿度： 35%

施加方式	测量电压 (kV)	$\tan \delta$ (%)	电容量 (pF)
套管高压端子对试验抽头	10	0.331	733.5
	333	0.347	733.6
	550	0.349	733.7

10.3 评价

符合要求。

11. 热稳定试验

11.1 标准要求

将套管安装在油箱上，油加热至 $(90 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，在油和套管热达到热平衡后施加电压 $0.8U_m$ 测量介质损耗因数 ($\tan \delta$)，当套管的介质损耗因数 ($\tan \delta$) 在环境温度条件下 5h 内增大不超过 0.02% 时，即套管达到热稳定。且随后的逐个绝缘耐受试验应与先前测得的结果无明显变化。

11.2 检测结果

环境温度： 18°C 相对湿度： 35%

时间	试验电压 (kV)	电容量 (pF)	$\tan \delta$ (%)	环温 ($^\circ\text{C}$)	油温 ($^\circ\text{C}$)
16:00	440	747.3	0.269	17	89
16:30		747.3	0.269	17	90
17:00		747.4	0.268	18	89
18:30		747.4	0.268	18	90
18:00		747.4	0.267	18	90
18:30		747.4	0.267	18	90
19:00		747.4	0.267	18	90
19:30		747.4	0.267	18	90
20:00		747.4	0.267	18	90
20:30		747.4	0.266	18	90

11.3 评价

符合要求。



12. 无线电干扰电压试验 (RIV)

12.1 标准要求

套管高压端子对地施加 $1.1U_m/\sqrt{3}$ 交流电压, 维持 5min, 然后将电压逐级下降至 $0.3 U_m/\sqrt{3}$, 再逐级上升至初始值, 最后逐级下降至 $0.3 U_m/\sqrt{3}$, 电压调节幅度为 $0.1U_m/\sqrt{3}$, 在 $1.1 U_m/\sqrt{3}$ 电压下测量的无线电干扰水平不大于 $500\mu V$ 。

12.2 检测结果

环境温度: 17°C 相对湿度: 35 %

试验电压 (kV)		测量电路调谐频率 (MHz)	无线电干扰水平 (μV)	标准要求值 (μV)	
$1.1U_m/\sqrt{3}$	349/5min	1.0	131	/	
$1.0 U_m/\sqrt{3}$	318		125		
$0.9 U_m/\sqrt{3}$	286		117		
$0.8 U_m/\sqrt{3}$	254		103		
$0.7 U_m/\sqrt{3}$	223		101		
$0.6 U_m/\sqrt{3}$	191		97		
$0.5 U_m/\sqrt{3}$	159		78		
$0.4 U_m/\sqrt{3}$	127		77		
$0.3 U_m/\sqrt{3}$	95		72		
$0.4 U_m/\sqrt{3}$	127		78		
$0.5 U_m/\sqrt{3}$	159		81		
$0.6 U_m/\sqrt{3}$	191		89		
$0.7 U_m/\sqrt{3}$	223		98		
$0.8 U_m/\sqrt{3}$	254		105		
$0.9 U_m/\sqrt{3}$	286		118		
$1.0 U_m/\sqrt{3}$	318		127		
$1.1 U_m/\sqrt{3}$	349		132		<500
$1.0 U_m/\sqrt{3}$	318		125		/
$0.9 U_m/\sqrt{3}$	286		115		
$0.8 U_m/\sqrt{3}$	254		103		
$0.7 U_m/\sqrt{3}$	223	97			
$0.6 U_m/\sqrt{3}$	191	96			
$0.5 U_m/\sqrt{3}$	159	79			
$0.4 U_m/\sqrt{3}$	127	78			
$0.3 U_m/\sqrt{3}$	95	77			

12.3 评价

符合要求。



13. 温升试验

13.1 标准要求

施加额定电流 $I_r(1 \pm 2)\%$ ，各部位温升及温度限值分别为：

与绝缘接触的载流和不载流金属部件：90K /120℃

靠螺钉或螺栓连接到外部导体上的端子：75K /105℃

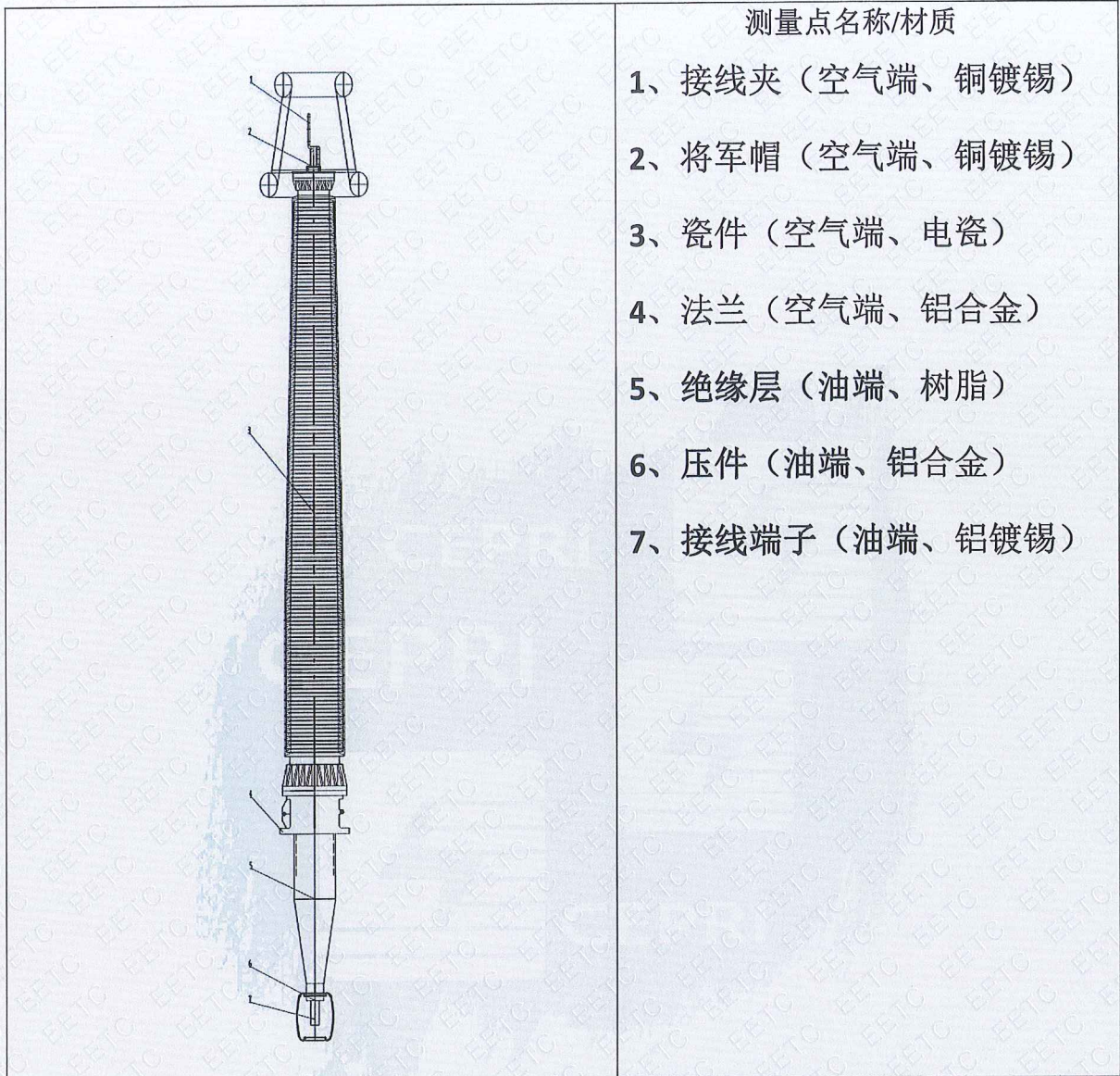
13.2 检测结果

试验电流：4000A 环境温度：14℃ 相对湿度：37%

测量部位 编号	名称	部件说明	温升值/ 温度值(K/℃)	温升限值/ 温度限值(K/℃)
1	接线夹	靠螺钉或螺栓连接到外部导体上的端子（铜镀锡）	29/43	75/105
2	将军帽	与绝缘接触的载流和不载流金属部件(载流、铜镀锡)	15/29	90/120
3	瓷件	电瓷	10/24	—
4	法兰	与绝缘接触的载流和不载流金属部件(不载流、铝合金)	25/39	90/120
5	芯体	环氧树脂	55/69	—
6	压件	与绝缘接触的载流和不载流金属部件(不载流、铝合金)	58/72	90/120
7	接线端子	靠螺钉或螺栓连接到外部导体上的端子（铝镀银）	59/73	75/105



测量点布置图



13.3 评价

符合要求。



14. 热短时电流耐受验证

14.1 标准要求

根据国家标准 GB/T4109-2022、IEC60137:2017 中第 8.9 条“热短时电流耐受验证”中规定，如果导体的最终温度（ θ_f ）不超过 180℃，则认为套管能耐受标准值 I_{th} 。

14.2 检测结果

θ_0 (°C)	α	I_{th} (kA)	t_{th} (s)	S_t (cm ²)	S_e (cm ²)
99	1.8	100	3	78.5	33.1

$$\theta_f = \theta_0 + \alpha \frac{I_{th}^2}{S_t \times S_e} \times t_{th} = 120 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

说明：式中 θ_0 、 S_t 、 S_e 由生产厂家提供。

θ_0 ：在环境温度为 40℃ 下连续运行的导体温度；

α ：电阻温度系数；

I_{th} ：规定的热短时电流；

t_{th} ：规定的热短时电流的持续时间；

S_t ：导体的截面积；

S_e ：集肤效应的等效截面积。

14.3 评价

符合要求。

15. 悬臂负荷耐受试验

15.1 标准要求

套管应垂直安装且法兰应当固定在一个合适的装置上；负荷应垂直于套管轴线施加到空气端子的中点并持续 60s，负荷大小：5.0kN。套管应无损坏且能重复耐受全部逐个试验项目并与先前测得的结果无明显变化。

15.2 检测结果

环境温度：13℃ 相对湿度：34%

安装方式	施加部位	负荷大小 (kN)	持续时间 (s)	试品状态
垂直安装	空气端子	5.0	60	无损坏

15.3 评价

符合要求。



16. 外观和尺寸检查（型式试验）

16.1 标准要求

管尺寸应符合相关图纸规定。特别是对规定有特殊公差的每一个尺寸以及影响互换性的尺寸。

16.2 检测结果

环境温度：16℃ 相对湿度：35%

类型	项目	标称值 (mm)	实测值 (mm)
电瓷 胶浸纤维	爬电距离（空气端/油端）	20460/—	20880/1430
	电弧距离（空气端/油端）	4680/1400	4710/1410
	总长	7650	7680
	套管尺寸符合相关图纸规定。		

16.3 评价

符合要求。

17. 环境温度下介质损耗因数 ($\tan \delta$) 和电容量测量

17.1 标准要求

套管在工频电压 10kV、 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 、 U_m 下测量的 $\tan \delta$ 值应不超过 0.4%，工频电压从 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 升高到 U_m 时 $\Delta \tan \delta \leq 0.1\%$ 。

17.2 检测结果

环境温度：17℃ 相对湿度：35%

施加方式	测量电压 (kV)	$\tan \delta$ (%)	电容量 (pF)
套管高压端子对试验 抽头	10	0.321	732.6
	333	0.331	732.6
	550	0.339	732.7

17.3 评价

符合要求。



18. 雷电冲击耐受电压试验

18.1 标准要求

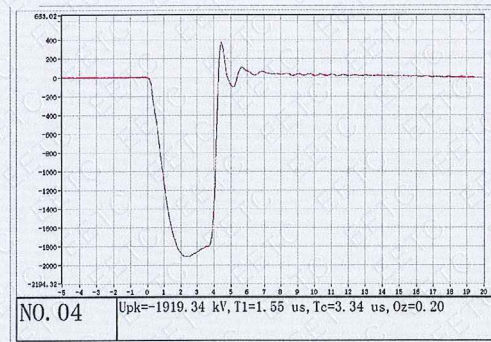
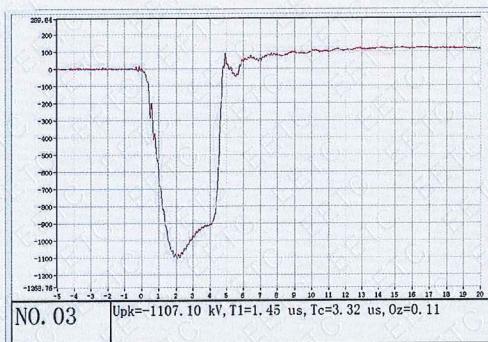
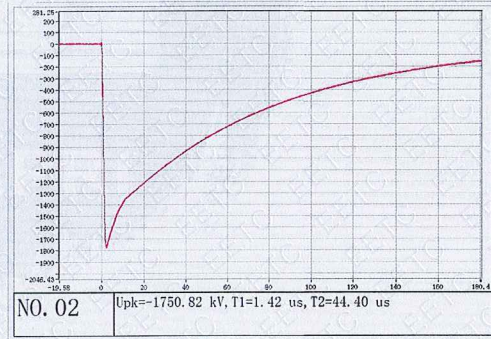
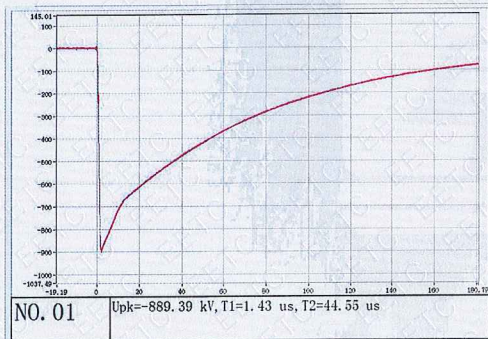
套管高压端子对地应耐受 105% 的标准雷电全波电压 1759kV，负极性 3 次；耐受截波电压（115% 标准雷电全波电压）1926kV，负极性 2 次。应无（油端、空气中）闪络或击穿。

18.2 检测结果

环境温度： 17℃ 相对湿度： 35% 大气压力： 101.7kPa

试验序号	冲击波类型	峰值电压 (kV)	截断时间 (μs)	波形序号	结果
1	负极性标准雷电冲击全波	889	/	1	无闪络、无击穿
2	负极性标准雷电冲击全波	1751	/	2	无闪络、无击穿
3	负极性标准雷电冲击截波	1107	3.3	3	无闪络、无击穿
4	负极性标准雷电冲击截波	1919	3.3	4	无闪络、无击穿
5	负极性标准雷电冲击截波	1920	2.4	5	无闪络、无击穿
6	负极性标准雷电冲击全波	1750	/	6	无闪络、无击穿
7	负极性标准雷电冲击全波	1765	/	7	无闪络、无击穿

典型试验波形：



18.3 评价

符合要求。



19. 工频干耐受电压试验

19.1 标准要求

套管高压端子对地间应耐受工频电压 750kV，60s，应无闪络或击穿。

19.2 检测结果

环境温度：17℃ 相对湿度：35% 大气压力：101.7kPa

施加方式	试验电压/频率/时间
高压端子对地之间	750kV/50Hz/60s

19.3 评价

符合要求。

20. 局部放电测量

20.1 标准要求

预加电压：750kV

测量电压：550 kV

最大局部放电量：10pC

测量电压：476kV

最大局部放电量：10pC

测量电压：333kV

最大局部放电量：5pC

20.2 检测结果

环境温度：17℃ 相对湿度：35%

预加电压 (kV)	750		
测量电压 (kV)	550	476	333
最大局部放电量 (pC)	4	3	3

20.3 评价

符合要求。



21. 环境温度下介质损耗因数 ($\tan \delta$) 和电容量测量

21.1 标准要求

套管在工频电压 10kV 、 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 、 U_m 下测量的 $\tan \delta$ 值应不超过 0.4% ，工频电压从 $1.05U_m/\sqrt{3}$ 升高到 U_m 时 $\Delta \tan \delta \leq 0.1\%$ 。

21.2 检测结果

环境温度： 17°C 相对湿度：35%

施加方式	测量电压 (kV)	$\tan \delta$ (%)	电容量 (pF)
套管高压端子对试验抽头	10	0.325	732.8
	333	0.337	732.9
	550	0.342	732.9

21.3 评价

符合要求。

22. 抽头绝缘试验

22.1 标准要求

套管试验抽头对地应耐受工频电压 2kV ， 60s ，应无闪络或击穿。

耐压前后应测量试验抽头对地电容量及 $\tan \delta$ 值， $C_x \leq 10000\text{ pF}$ ， $\tan \delta \leq 5\%$ 。

22.2 检测结果

环境温度： 17°C 相对湿度：35%

试验电压 (kV)	时间(s)	$\tan \delta$ (%)	电容量(pF)
1	/	0.578	1112.3
2	60	试验端子对地工频耐受电压试验、无闪络和击穿	
1	/	0.587	1112.5

22.3 评价

符合要求。



23. 法兰或其他紧固器件上的密封试验

23.1 标准要求

箱内应充以相对压力为 $0.15\text{MPa} \pm 0.01\text{MPa}$ 的空气或任何适宜的气体并维持 15min；或充以相对压力为 $0.1\text{MPa} \pm 0.01\text{MPa}$ 的油维持 12h。应无渗漏。

23.2 检测结果

环境温度： 16°C 相对湿度： 35%

施加压力 (MPa)	维持时间 (min)	有无泄漏
0.15 (SF ₆)	15	无

23.3 评价

符合要求。

24. 外观和尺寸检查(逐个试验)

24.1 标准要求

套管表面应光洁、平整，不得有缺料、气孔等缺陷，色泽均匀且无影响质量的损伤。装配部件和（或）内部连接部件的尺寸应符合相关图纸。

24.2 检测结果

外观检查	套管表面光洁、平整，无缺料、气孔等缺陷，色泽均匀且无影响质量的损伤
尺寸检验	装配部件和内部连接部件的尺寸符合相关图纸。

24.3 评价

符合要求。

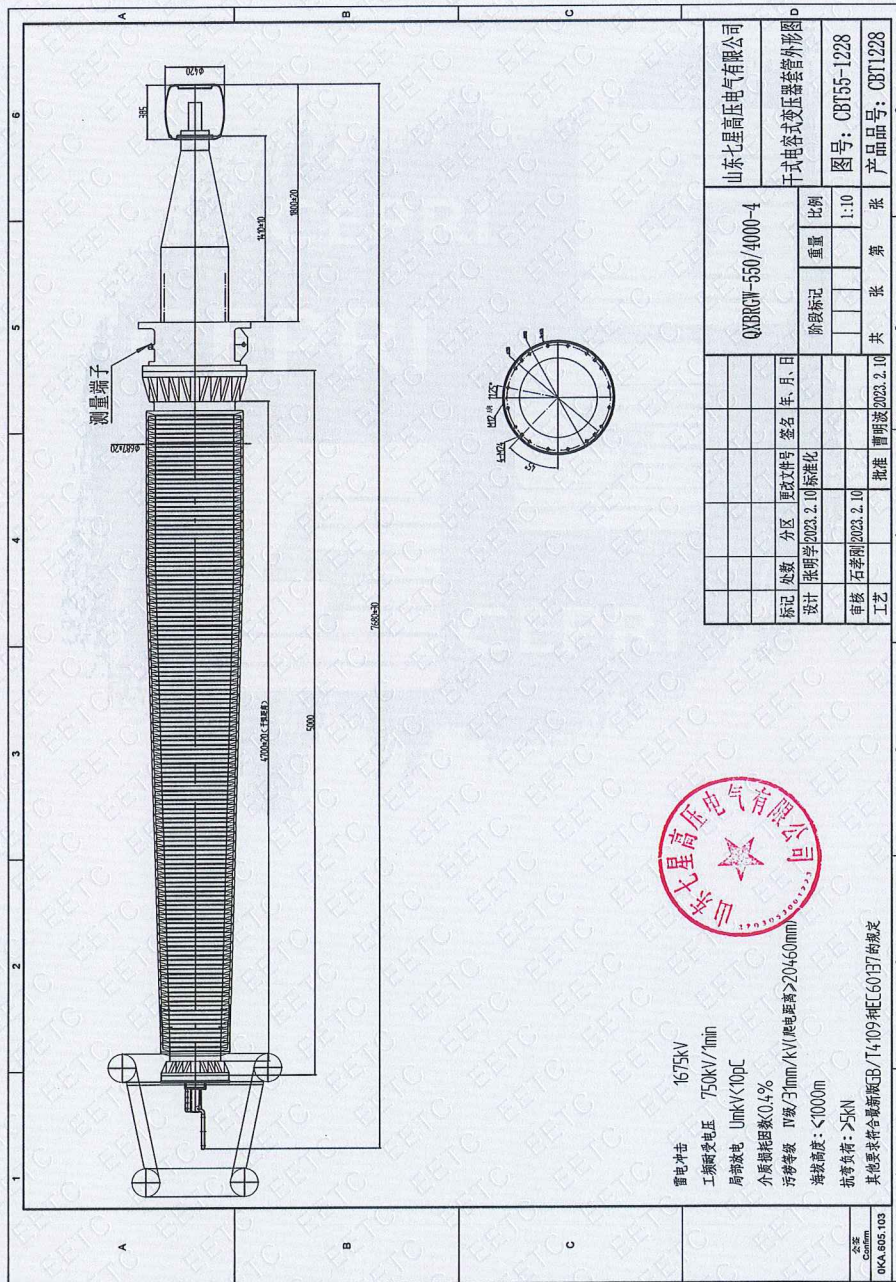


附录 A 样品信息

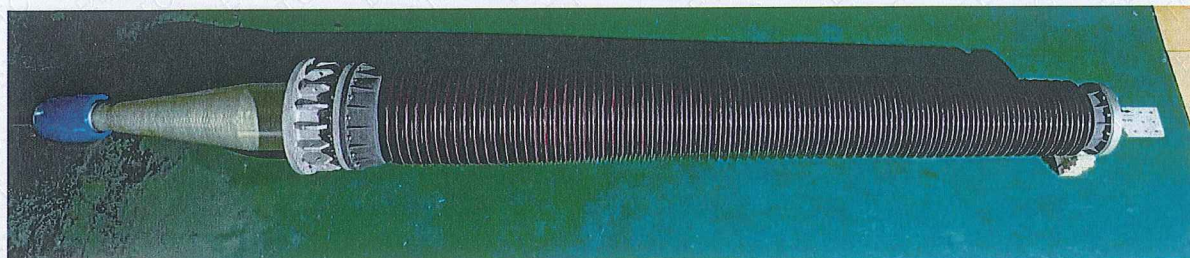
A.1 样品参数

设备最高电压(Um)	550kV	额定电流(Ir)	4000A
海拔	≤1000m	额定频率	50Hz
额定绝缘水平	550/750/1675/1300kV	额定热短时电流/时间	100kA/3s
绝缘类型	胶浸纤维/电瓷	使用环境温度	-40℃~40℃

A.2 图纸



A.3 样品外观及铭牌照片



干式电容式变压器套管		雷电冲击电压kV/操作冲击电压kV/工频耐受电压kV	
Dry capacitive transformer bushing		BIL 1675 kV/SIL1300 kV/AC750kV	
型号 Type	QXBRGW-550/4000-4	爬电距离 Creepage Dis.	20460 mm
品号 Kat. NO.	CBT1228	重量 Weight	2850 kg
出厂编号 Serial No.	2303B001S	出厂日期 Date	2023.3.10
额定电压 Rated Voltage	550 kV	电容量 Capacitance	734 pF
额定电流 Rated Current	4000 A	介质损耗因数 Dielectric Dissipation Factor	0.34 %
山东七星高压电气有限公司 Shandong Qixing High Voltage Electric Co., Ltd.			

A.4 样品确认

- A.4.1 委托单位提供的样品是一个新的干式电容式（导杆载流结构）变压器套管，包括安装法兰和所有正常运行时的其他部件；主绝缘为胶浸纤维，外绝缘为电瓷外套。
- A.4.2 委托单位声明样品穿缆载流导体材质主要为铝，截面积为 7850mm²。
- A.4.3 经实验室检查确认，委托单位向实验室提交的样品相关的正规的图样和其他资料能够代表所送样品的主要详情和组部件，但不对其具体资料的准确性承担责任。



附录 B 主要检测仪器设备

序号	仪器设备名称 型号/规格	设备编号	测量范围	不确定度/ 准确度/ 最大允许误差	检定/校准机构	有效日期
1	工频电压测量系统	#111030 EETC09-1029	(40-1100)kV	3 级	国家高电压计量站	2024.02.10
2	冲击电压测量系统	#17015-1 EETC09-1030	(200-3000)kV	3 级	国家高电压计量站	2024.10.17
3	多路测温仪	#TPV91986 EETC09-1024	(0-100) °C	±2°C	广州广电计量检测股份有限公司	2024.03.16
4	称重显示器	#1610099647 EETC09-1052	(50-1000)kg	5 级	广州广电计量检测股份有限公司	2024.02.01
5	电导率仪	#722014072713 EETC09-1043	(50-150) μs/cm	±5%	广州广电计量检测股份有限公司	2024.02.01
6	局部放电测量系统	#20071203 EETC09-1046	0-500pC	10 级	国家高电压计量站	2024.01.29
7	标准电容器	#12001 EETC09-1033	(10-550)kV	C:50pF±1pF tgδ:1×10 ⁻⁴	国家高电压计量站	2024.03.27
8	多功能高压电容 电桥	#031302Z (EETC09-1038)	C:1:(1-1000) tgδ:±10%	C:±(0.005R _N X+0.5%R _N D) tgδ:±0.5%(D +0.01)	国家高电压计量站	2024.10.19

中国电力科学研究院有限公司

