

Whqs-500型 HVDC 换流站带电清扫装置性能试验

吴泽辉¹, 刘红太¹, 林睿¹, 邵瑰玮², 孙勇¹, 李文涛¹

(1. 南方电网超高压输电公司广州局, 广东 广州 510405; 2. 国家电网公司武汉高压研究院, 湖北 武汉 430074)

Capability Test of the Live Cleaning Machine of Whqs-500 Type at HVDC Converter Stations

WU Ze-hui¹, LIU Hong-tai¹, LIN Rui¹, SHAO Gui-wei², SUN Yong¹, LI Wen-tao¹

(1. CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou, Guangdong 510405, China; 2. Wuhan High Voltage Research Institute of SGCC, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: The capability test of the live cleaning machine of Whqs-500 type used at ± 500 kV converter stations is carried out, including the three parts of insulating pole, insulating tube/cleaner and insulating cord, and the security of all these parts is validated. The withstand voltage and leakage current to the whole machine are also tested for the security of the whole machine. The field-test of the machine indicates that it can be operated with agility and convenience, and works well to clean the polluted insulators at ± 500 kV converter stations.

Key words: HVDC converter station; contamination; live cleaning machine; test

摘要: 对 HVDC 换流站使用的 Whqs-500 型直流污秽带电清扫装置的绝缘杆、绝缘软管(含清洗液)、绝缘绳等三大部件进行电气和机械性能试验, 验证了各部件的安全性。对装置整机进行耐压和泄漏电流试验, 验证了装置的整机安全性。现场实际运行试验表明, 该带电清扫装置操作灵活方便, 清扫效果良好, 可以实现对带电 HVDC 换流站内污秽支柱绝缘子的清扫。

关键词: 直流换流站; 污秽; 带电清扫; 试验

实有效的防治措施。对于污秽若采用停电清扫的方式, 在电网负荷每年增长, 主网架负荷逐年加重的条件下, 大容量换流站停电的直接电费损失和对国民经济造成的损失非常大, 实现带电清扫将带来巨大的社会效益。

本文详细介绍了对 Whqs—500 型 ± 500 kV 直流换流站污秽带电清扫装置进行的主要试验。

1 试验项目

在地面机构与清扫臂(临近带电部分)之间共有绝缘杆、绝缘软管(含清洗液)、绝缘绳等 3 个部件, 整台污秽带电清扫装置的绝缘性能由这 3 个部件决定。故这些部件进行了电气性能试验。在此基础上, 依照 DL/T 878—2004《带电作业用绝缘工具试验导则》中 ± 500 kV 直流带电作业工具电气性能型式试验的要求, 对整相装置进行了直流耐压试验、泄漏电流试验和操作冲击耐压试验。

2 部件性能试验

2.1 绝缘杆电气性能试验

(1) 受潮前的电气特性。

根据 GB13398—2003《带电作业用空心绝缘管、泡沫填充绝缘管和实心绝缘棒》的要求, 对用以制造绝缘工具的绝缘管、棒材进行工频耐压试验, 包括干试验和受潮后的试验^[2,3]。

采用的标称外径 28 mm 的实心棒试品, 试品电极间距离 300 mm, 在 100 kV(r.m.s) 1 min 工频耐压

我国电网污闪事故频繁发生^[1], 有必要采取切

下, 试验显示: 干试验的泄漏电流为 $8 \mu\text{A}$, 受潮后的泄漏电流为 $21 \mu\text{A}$, 满足 GB13398—2003 要求。

(2) 湿态绝缘性能。

工频淋雨耐压试验: 试品电极间距离 1200 mm , 在 100 kV(r.m.s) 1 min 工频耐压试验下进行 1 h 淋雨试验。试验结果: 无发热, 无击穿, 无闪络表面无可见漏痕, 无可查觉的温升等要求。满足 GB13398—2003 要求。

(3) 绝缘耐受性能。

试品电极间距离 300 mm , 100 kV(r.m.s) 1 min 工频耐压试验, 试验结果: 无发热, 无击穿, 无闪络表面无可见漏痕, 无可查觉的温升等要求。满足 GB13398—2003 要求。

2.2 清洗液电气性能试验

电阻率试验: 试验测得清洗液为 $7.14 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$, 远远大于水的电阻率 (根据 GB 14545—1993 《带电作业用小水量冲洗工具(长水柱短水枪型)》中的规定, 在进行带电水冲洗作业时, 要求水电阻率不小于 $1500 \Omega \cdot \text{cm}$)。

工频击穿电压试验: 将清洗液倒入电极间隙为 2.5 mm 的油杯中, 静置 5 min , 进行击穿电压试验, 试验结果显示: 第 1 次击穿电压 40 kV , 第 2 次为 39 kV , 第 3 次为 29 kV , 平均值 36 kV 。试验表明, 清洗液的击穿电压强度达到了绝缘油的强度, 具有良好的绝缘性能。

(1) 清洗液对清洁绝缘子闪络电压影响试验。对所配制的清洗液进行试验时采用 LXP—70 型清洁悬式绝缘子, 先进行干燥条件下绝缘子闪络电压试验, 然后在绝缘子表面喷涂清洗液, 测试此时的闪络电压, 待清洗液挥发干燥 1 h 后, 再测试绝缘子的闪络电压。试验结果见表 1。

表 1 清洗液对绝缘子闪络电压影响试验
Tab. 1 Effect of the Cleaner to Flashover Voltage

序号	绝缘子状态	闪络电压/kV
1	干燥	50
2	清洗液湿润	61
3	清洗液挥发 1 h 后	51

该清洗液喷涂到清洁绝缘子表面后, 绝缘子的闪络电压反而升高, 使用清洗液对运行中的绝缘子进行清洗, 不会由于绝缘子表面的绝缘强度降低而造成闪络。该清洗液具有较好的挥发性, 挥发后, 在绝缘子表面没有残余物质。

(2) 清洗液对污秽绝缘子直流泄漏电流影响的试验。试验采用 SV10—4700 型支柱绝缘子, 用硅藻土和盐按两种不同的污秽程度进行人工涂污, 待污秽干燥后, 分别进行干燥状态、绝缘子表面喷涂清洗液、绝缘子表面喷涂纯净水时的直流泄漏电流试验试验结果见表 2。

表 2 污秽绝缘子直流泄漏电流试验
Tab. 2 DC Leakage Current Test of Contaminated Insulators

序号	绝缘子表面污秽		绝缘子状态	泄漏电流/ μA
	盐密 $/(\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2})$	灰密 $/(\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2})$		
1	0.08	1.00	表面干燥	1.3
2	0.08	1.00	表面喷涂清洗液	2.7
3	0.08	1.00	表面喷涂纯净水 (水电阻率 $4.7 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$)	16.9
4	0.20	1.60	表面干燥	5.3
5	0.20	1.60	表面喷涂清洗液	7.1
6	0.20	1.60	表面喷涂纯净水 (水电阻率 $1.7 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$)	26.8

注: 试验电压 $+515 \text{ kV}$ 。

在绝缘子较严重的污秽情况下, 喷涂清洗液后, 泄漏电流略有升高, 由于清洗液具有较高的绝缘电阻, 泄漏电流增大的幅度有限。而喷涂纯净水后, 由于纯净水的绝缘电阻比清洗液小很多, 绝缘子的泄漏电流很明显的增大。

2.3 绝缘软管直流泄漏电流试验

将清洗液注入长度为 8.0 m 的绝缘软管中, 一端施加直流电压, 另一端测量泄漏电流, 试验电压 $+515 \text{ kV}$ 时, 泄漏电流为 $1.9 \mu\text{A}$ 。

在绝缘软管内灌充清洗液对直流设备进行清洗作业时, 由于清洗液有较高的绝缘电阻, 在有效的绝缘长度内, 通过绝缘管的泄漏电流很小, 可以保证带电清洗的人员安全。

由于清洗液具有较高的绝缘性能, 可以防止溅闪事故的发生。清洗作业时, 可以不考虑液柱的安全长度和带电水冲洗相比, 提高清洗效率。

2.4 绝缘绳电气及机械性能试验

装置使用绝缘绳配合安装在底盘和三级绝缘车架上的滑轮来控制绝缘车架的升降。对所选用的绝缘绳依据 GB/T13035—2003《带电作业用绝缘绳索》中的规定进行了各种相关的试验 (见表 3), 试验证明所选用的绝缘绳完全满足标准 GB/T13035—2003 的要求, 可以应用到本带电清扫装置中。

表3 绝缘绳电气性能和物理机械性能试验

Tab. 3 The Electrical and Mechanical Performance Test of the Insulating Cord

检测项目	检测结果		评价
	标准值	试验值	
持续高湿度下工频泄漏电流 / μA (相对湿度 90%, 温度 20 $^{\circ}\text{C}$, 168 h, 加压 100 kV 试品长度 0.5 m)	≥ 100	6	符合要求
工频干闪电压 /kV (试品长度 0.5 m)	≤ 170	192	符合要求
浸水后加压工频泄漏电流 / μA (水电阻率 100 $\Omega\cdot\text{m}$, 浸泡 15 min, 抖落表面水珠后加压 100 kV, 试品长度 0.5 m)	≥ 500	7	符合要求
淋雨工频闪络电压 /kV (试品布置倾斜 45 $^{\circ}$, 预淋 15 min, 雨量 1 mm/min, 雨水电阻率为 100 $\Omega\cdot\text{m}$, 试品长度 1 m)	≤ 60	138	符合要求
50%断裂负荷拉伸后, 加压 100 kV 时高湿度下泄漏电流 / μA (相对湿度 90%, 温度 20 $^{\circ}\text{C}$, 168 h, 试品长度 0.5 m)	≥ 100	11	符合要求
漂洗后, 加压 100kV 时高湿度下泄漏电流 / μA (相对湿度 90%, 温度 20 $^{\circ}\text{C}$, 168 h, 试品长度 0.5 m)	≥ 100	28	符合要求
磨损后, 加压 100kV 时高湿度下泄漏电流 / μA (相对湿度 90%, 温度 20 $^{\circ}\text{C}$, 168 h, 试品长度 0.5 m)	≥ 100	65	符合要求
直径测量 /mm	12 \pm 0.4	12.1	符合要求
断裂负荷 /kN	≤ 30	45	符合要求
伸长率 /%	≥ 20	17	符合要求

注: 1) 采用 $\Phi 12$ mm 绞制白色防潮阻燃高强度绝缘绳。

2) $t_{\text{干}}=29.5$ $^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{湿}}=27.0$ $^{\circ}\text{C}$, $P=99.5$ kPa, $K_{\text{a}}=0.95$, 其中 K_{a} 为空气密度修正系数。

3 装置整机试验依据与要求

在完成部件电气及机械性能试验的基础上, 对所研制的自动带电清扫装置进行了直流耐压、泄漏电流试验和操作冲击耐压试验^[4-5]。

(1) 装置整机直流耐压、泄漏电流试验。

试验主要采用了 ± 1000 kV、20 mA 直流电压发生器及其测量系统, 测量系统的误差小于 3%, 满足 GB16927—1997 的标准要求^[6]。试验时, 微安表在直流泄漏电流测量时接入电路, 直流耐压试验时不接入电路。

直流耐压试验条件: 额定电压: ± 500 kV, 试验长度: 3.2 m, 试验电压: 622 kV, 耐压时间 5 min。

试验结果: 无闪络、无击穿、无发热。

直流泄漏电流试验条件: 额定电压 ± 500 kV, 试验长度 3.2 m, 试验电压 565 kV, 加压时间 15 min。

试验结果: 泄漏电流 127 μA (最大值)。

试验结果表明, 所研制的带电清扫装置满足 DL/T 878-2004 的要求。

(2) 装置整机操作冲击耐压试验。

试验的主要设备: 冲击电压发生器: 5 400 kV, 527.3 kJ; 冲击电压分压器: 5400 kV, 弱阻尼阻容型; 64M 型峰值电压表; TDS-340 型阴极示波器。

测量系统的误差小于 3%, 满足 GB16927—1997 的标准要求。

操作冲击耐压试验采用 +250 $\mu\text{s}/2500$ μs 标准操作冲击电压波。操作冲击耐压试验条件: 额定电压 ± 500 kV, 试验长度 3.2 m, 试验电压 1 060 kV, 冲击次数 15 次。

试验结果: 试验结果无闪络, 无击穿。所研制的自动带电清扫装置满足 DL/T 878—2004 的要求。

(3) 完成清扫装置在 ± 500 kV 直流换流站的现场试运行, 清扫效果比较见表 4。

表4 现场清扫试验结果

Tab. 4 Cleaning Result of Field-test

	位置	污秽电导率	盐密
		/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	/ $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$
清扫前	上表面	558	0.188 5
	下表面	302	0.128 9
	全表面	-	0.1624
清扫后	上表面	165	0.053 7
	下表面	107	0.044 3
	全表面	-	0.049 6

注: 测量盐密时, 用 350 ml 的纯净水进行清洗。被清扫的母线支柱绝缘子伞裙上表面为 570.7 cm^2 , 下表面为 443.4 cm^2 。表中电导率已修正到 20 $^{\circ}\text{C}$ 。

参考文献:

- [1] 徐文澄, 喻玉华. 叉车型超高压自动带电清扫装置研制[J]. 中国电力, 2000, 33(4):45-47.
- [2] DL/T 878—2004, 带电作业用绝缘工具试验导则[S].
- [3] GB133398—2003, 带电作业用绝缘杆通用技术条件[S].
- [4] IEC 855, 带电作业用泡沫填充绝缘杆和实心绝缘棒[S].
- [5] IEEE STD957—1995, IEEE Guide for Cleaning Insulators[S].
- [6] 林睿, 刘红太, 等. ± 500 kV 直流换流站污秽带电清扫技术[R]. 中国南方电网超高压输电公司, 2007.

收稿日期: 2007-12-03

作者简介:

吴泽辉 (1973 -), 男, 高级工程师, 硕士, 曾从事电力工程规划建设管理, 现从事系统运行维护管理工作 (E-mail: wuzehui@spsc.com.cn)。

刘红太 (1974 -), 男, 工程师, 硕士, 现从事变电检修工作。

林睿 (1977 -), 男, 工程师, 学士, 从事变电检修及管理工作。

(本文责任编辑 张亚拉)