

高海拔 500 kV 输电线路绝缘子污闪特性试验研究

罗强¹ 王强¹ 罗鸣¹ 黄瑞平² 张劲骁¹

(1. 西南电力设计院有限公司, 四川 成都 610021;

2. 中国电力科学研究院, 北京 100192)

摘要: 针对 500 kV 交流输电线路高海拔问题, 利用西藏高海拔实验基地人工污秽实验室和北京人工污秽实验室, 分别对 500 kV 输电线路工程用典型绝缘子进行了高海拔真实环境和平原地区下的不同污秽条件的人工污秽实验, 得到了典型盐密下的绝缘子串的闪络电压, 以及闪络电压与海拔高度之间的关系曲线。

关键词: 500 kV 输电线路; 高海拔; 外绝缘; 污秽闪络; 海拔校正

中图分类号: TM216 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2018)03-0025-06

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.03.006

Research on Pollution Flashover Performance of Insulators on 500 kV Transmission Lines in High Altitude Area

Luo Qiang¹, Wang Qiang¹, Luo Ming¹, Huang Ruiping², Zhang Jinxiao¹

(1. Southwest Electric Power Design Institute Co., Ltd., Chengdu 610021, Sichuan, China;

2. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: In pollution laboratories of high altitude test base in Tibet and UHVDC test base in Beijing, artificial pollution tests of insulators adopted in 500 kV transmission projects are carried out both in plain regions and real high altitude regions, through which flashover voltages at typical ESDD are obtained. Relation curve between altitude and flashover voltage is acquired as well. According to the test results, insulator units and string length are also recommended for 500 kV transmission lines in high altitude area.

Key words: 500 kV transmission line; high altitude; external insulation; pollution flashover; altitude correction

0 引言

随着海拔的增加绝缘子沿面放电电压会随之下降,且下降程度与施加电压类型、绝缘子几何形状和污秽程度有关,这一规律目前已得到广泛的认可,但对不同伞形绝缘子的下降系数仍在研究之中。受试验条件的限制,目前国内外相关研究单位进行实地高海拔条件的污秽试验能力仅限于海拔 2000 m 左右,更高海拔条件下的污秽试验只能在气压罐内实现,其结果与现场实际试验研究结果尚未得到充分的对比。下面从以往研究的不足之处入手,做了以下研究: 1) 收集国内外绝缘配合资料,主要包括科研单位的最新成果和国外在该领域的最新动态。全面分析项目开展的背景,确定影响污闪特性的各种

因素。2) 完成海拔 4000 m 以上、不同盐密(如 0.05 mg/cm²、0.1 mg/cm²)、灰密(1.0mg/cm²)条件下的典型的 500 kV 线路用瓷绝缘子或玻璃绝缘子的污闪特性研究,结合低海拔数据,获得海拔 5500 m 以下各海拔高度的污闪电压值。3) 提出海拔 4000 ~ 5500 m 条件下的绝缘子污秽闪络海拔校正方法及修正系数。4) 推荐 500 kV 线路所需绝缘子片数和串长,以及海拔修正系数。

1 高海拔污闪放电研究现状

国际上对高海拔地区的外绝缘研究较少,针对高海拔外绝缘的污闪特性研究,日本和加拿大采用平板模型或缩小尺寸的绝缘子进行了试验,前苏联和瑞典则尝试进行了真型绝缘子试验,但试验结果

相差较大,参考价值有限。国内各单位对高海拔条件下绝缘子染污放电研究,主要是在各学校的小尺寸试验装置中完成的,采用的试验条件和方法均存在一定差异,且涉及的悬式绝缘子类型有二十几种,因此各自的研究结果不尽相同。通过分析各单位的试验结果,可得出以下结论:1) 各型绝缘子的污闪电压随海拔升高或气压降低而降低,可用 $U = U_0 (P/P_0)^n$ 表征,指数 n 反映了污闪电压随海拔升高的降低程度;2) 下降指数 n 与施加电压的种类相关;3) 下降指数 n 和绝缘子的几何形状以及污秽程度相关。但总的来说,受试验能力缺乏以及现场海拔条件下的验证结果缺乏等因素的困扰,国际上对污闪电压高海拔修正还没有具有说服力的定论^[1-5]。

2 500 kV 线路绝缘子串污闪特性试验

2.1 试验设备及试验方法

2.1.1 试验设备

绝缘子污闪试验选择在西藏高海拔试验基地和国家电网公司特高压试验基地同步开展。两个试验基地采用相同的试验设备参数。由柱式调压器 T_1 (10 kV/0 ~ 10.5 kV, 1000 kVA)、工频试验变压器 T_2 (10 kV/200 kV, 1000 kVA)、保护电阻 R_1 (5 kΩ)、电容分压器 V. D (200 kV) 和测量系统组成。200 kV 试验变压器可采用 100 kV 和 200 kV 两种接线方式,这次试验采用 200 kV 接线方式^[6-7]。

交流污秽试验电源最高电压为 200 kV,其系统接线及试验装置如图 1 和图 2 所示,图 1 中: T. O 为试品绝缘子串, R_2 为测量泄漏电流的电阻。

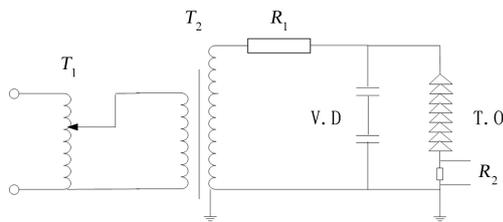


图 1 200 kV 交流污秽试验电源主回路原理

雾室的净空尺寸长、宽、高分别为 9 m、9 m 和 11 m,满足这次人工污秽试验试品要求。试验电压通过雾室南墙的直、交流超高压穿墙套管引入,套管额定电压为交流 330 kV、直流 ± 250 kV^[8-9]。

试验所需的蒸汽由产气量为 0.3 t/h 的电锅炉



图 2 200 kV 交流污秽试验电源

制备,可快速、安全、连续给人工污秽试验室供蒸汽雾。注入电锅炉的水经过水处理设备进行过滤、软化。蒸汽经减压分配装置后从雾室北侧送入,沿雾室四周安装有 $\Phi 65$ mm 的不锈钢蒸汽雾排管,距地面高度为 0.3 m^[11-13]。

GB/T 4585 - 2004 (IEC 60507: 1991, IDT) 《交流系统用高压绝缘子的人工污秽试验》中“固体层法”要求蒸汽雾的流量为 $(0.05 \pm 0.01) \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$,所用锅炉最大设计可达到 $0.33 \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$,通过安装于分气缸出口下端的电动调节阀和压力变送器的反馈调节,可以将雾量以合适的恒定压力输入雾室,从而使热雾速率均匀、大小恒定,满足前述标准中关于蒸汽流量的要求。经试验前调试检验,在某设定值条件下,起雾 15 ~ 25 min 后可使瓷绝缘子表面达到饱和受潮,满足 GB/T 4585 - 2004 附录 D 的要求。

2.1.2 试验方法

试验采用固体层法。按照 GB/T 4585 - 2004 中的规定,采用清洁雾对先行施加电压的染污绝缘子进行湿润,直至闪络或耐受结束的方法。

试品采用定量涂刷法进行染污,可溶物采用纯度为 99.5% 的 NaCl,所有惰性成分都采用高岭土。用精密数字天平对污秽物进行精确称量并等分分装。

试验中对每串试品染污并自然干燥,且只使用一次,在下次试验时对已冲洗干净的试品重新进行涂刷。每次试验持续至试品饱和受潮后 30 min (或起雾后 45 min) 结束,若试验过程中发生闪络则本次试验提前结束。

试验中保证雾室的温度和试品的温差不超过 5 K,进行第 2 次试验前需使雾室与外界空气达到平衡,

每次试验结束后 将雾室中的蒸汽全部排放干净。

试品耐受电压 $U_{50\%}$ 采用升降法得到。在给定污秽度情况下,采用有效试验的数据来求取此污秽度下的 $U_{50\%}$,有效试验需进行 10 次以上。具体计算公式为

$$U_{50\%} = \frac{\sum(n_i \times U_i)}{n} \quad (1)$$

式中: U_i 为施加的试验电压 kV; n_i 为在同一电压水平 U_i 下的试验次数; n 为有效试验的次数^[14-17]。

2.1.3 试品

交流绝缘子试品采用 210 kN、300 kN、420 kN、550 kN 的悬式盘型绝缘子,其几何参数见表 1。

2.1.4 试验条件

在特高压直流基地,针对每种型号绝缘子,试验在至少 4 种盐密条件下开展,灰密统一采用 1.0 mg/cm^2 ,上下表面污秽比为 1:1。在西藏高海拔试验基地(海拔 4300 m),试验在盐密分别为 0.05 mg/cm^2 和 0.1 mg/cm^2 、灰密为 1.0 mg/cm^2 条件下开展,上下表面污秽比为 1:1^[18]。

2.2 试验结果

2.2.1 不同伞形不同海拔的污闪电压比较

分别对 FC-210P 型和 XWP-210 型绝缘子进行交流人工污秽试验,对比不同伞形绝缘子在不同海拔高度下的污闪特性,试验结果见表 2。

以试验盐密为 0.05 mg/cm^2 条件下结果为例,将两种绝缘子不同海拔下的污闪电压进行了比较,

如图 3 所示。

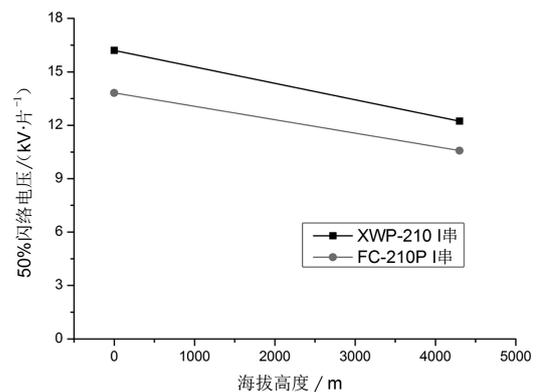


图3 两种绝缘子在不同海拔条件下污闪特性比较

由图 3 可以看出,对试验盐密 0.05 mg/cm^2 的 I 型绝缘子串,采用 FC-210P 型绝缘子在 4300 m 和 50 m 两种实际海拔条件下的污闪电压分别为 10.58 kV 和 13.82 kV。通过实验结果拟合对比 XWP-210 型绝缘子的试验结果可知,钟罩型玻璃绝缘子与双伞型瓷绝缘子相比,钟罩型绝缘子的单片污闪放电电压在海拔 4300 m 和 0 m 条件下分别低 13.5% 和 14.7%。根据本次研究试验结果,可看出双伞型绝缘子 XWP-210 污耐压特性要优于钟罩型绝缘子 FC-210P;海拔高度对两种绝缘子的污闪电压造成的下降比例相近。因此对于试验采用的两种绝缘子,推荐使用积污性能和污耐压性能均较优的双伞型绝缘子。

2.2.2 高海拔下污闪电压值确定

按照线性外推的原则,以 FC-210P 绝缘子为

表 1 悬式绝缘子的几何参数

序号	材质	型号	生产厂家	伞型	结构高度/mm	爬电距离/mm	盘径/mm	机械负荷/kN
1	电瓷	XWP-210	大连电瓷	普通	170	450	300	210
2	玻璃	FC-210P	赛迪维尔	普通	170	450	280	210
1	电瓷	CA-590EZ	NGK	普通	195	505	320	300
5	电瓷	CA-596EZ	NGK	普通	205	550	340	400
7	电瓷	CA-597EZ	NGK	普通	240	700	380	530

表 2 4300 m 和 0 m 海拔条件下污闪试验结果

布置方式	盐密/ ($\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	灰密/ ($\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	上下表面 积污比	海拔高度 /m	单片绝缘子 50% 闪络电压/kV	
					FC-210P	XWP-210
I 串	0.05	1.0	1:1	4300	10.58	12.23
I 串	0.1	1.0	1:1	4300	9.60	-
I 串	0.05	1.0	1:1	50	13.82	16.2
I 串	0.1	1.0	1:1	50	12.58	-

表3 FC-210P 玻璃绝缘子 4000 m 和 5500 m 海拔条件下污闪电压值

布置方式	盐密/ (mg·cm ⁻²)	灰密/ (mg·cm ⁻²)	上下表面 积污比	海拔高度 /m	单片绝缘子 50% 闪络电压/kV
I 串	0.05	1.0	1:1	4000	10.62
I 串	0.1	1.0	1:1	4000	9.78
I 串	0.05	1.0	1:1	5500	9.42
I 串	0.1	1.0	1:1	5500	8.73

例在 4000 m 和 5500 m 条件下,其闪络电压外推曲线如图 4 所示。

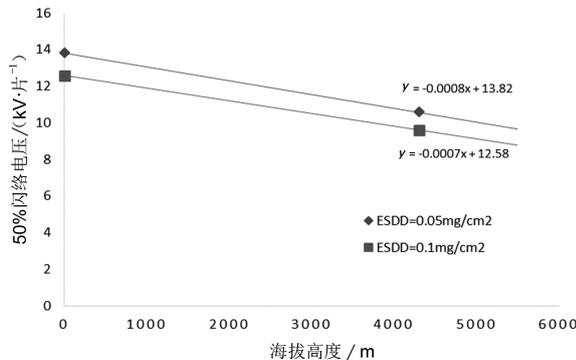


图4 FC-210P 闪络电压外推曲线

可以看出,FC-210P 绝缘子分别在盐密 0.05 mg/cm² 和 0.1 mg/cm² (灰密 1.0 mg/cm²) 条件下,其 U_{50%} 闪络电压和海拔关系分别为

$$\begin{aligned} U_{50\%} &= -0.8H + 13.82 \\ U_{50\%} &= -0.7H + 12.58 \end{aligned} \quad (2)$$

式中: H 为海拔高度, km。

由此可以得出,FC-210P 绝缘子在 4000 m 和 5500 m 海拔下,对应两种盐密的污闪电压见表 3。

此外,在 4300 m 实际高海拔条件下,对 300 kN、420 kN、550 kN 三种强度的绝缘子,在试验盐密为 0.05 mg/cm² 和 0.1 mg/cm²、灰密为 1.0 mg/cm² 的条件下,开展了人工污闪试验,获得污闪电压如图 5 所示。

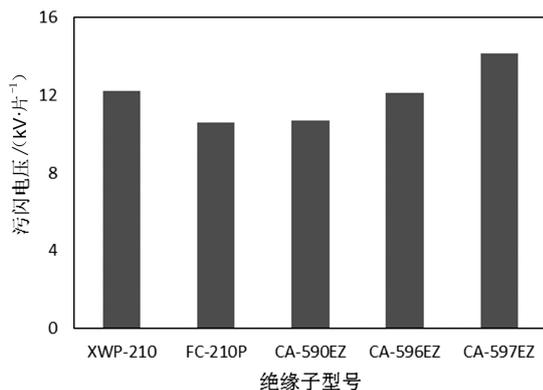


图5 高海拔污闪电压

3 海拔校正方法和系数

3.1 海拔校正方法

由于染污绝缘放电特性主要受高海拔气压降低的影响。大气压随着海拔升高而逐渐降低,相应的绝缘污闪电压也会降低。污闪电压与大气压之间的非线性关系可用式(3)表示。

$$U = U_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^n \quad (3)$$

式中: P₀ 为海拔 0 m 时的标准大气压, MPa; U₀ 为标准大气压 P₀ 时的绝缘子污闪电压, kV; n 为反映气压对于污闪电压影响程度的下降指数。

从式(3)可知,由于污闪电压和气压之间是非线性的关系,不便于工程设计中绝缘子串长的选择。

表 4 为气象部门提供的海拔高度和气压的对应数据。

对表 4 中数据,进行曲线拟合,可以得出:

$$P = 0.1022 e^{-0.1272H} \quad (4)$$

拟合公式的相关系数 R² = 0.9996,于是由式(3)可得:

$$\begin{aligned} \frac{U}{U_0} &= \left(\frac{P}{P_0} \right)^n = \left(\frac{0.1022 e^{-0.1272H}}{0.1013} \right)^n \\ &= \left(\frac{0.1022}{0.1013} \right)^n \times e^{-0.1272nH} \end{aligned} \quad (5)$$

泰勒级数展开,有:

$$\begin{aligned} e^{-0.1272nH} &= 1 - 0.1272nH + \frac{0.1272^2 \times n^2 \times H^2}{2!} - \\ &\quad \frac{0.1272^3 \times n^3 \times H^3}{3!} = 1 - 0.1272nH + \\ &\quad 0.0081n^2H^2 - 0.00034n^3H^3 \end{aligned} \quad (6)$$

令式(5)系数 $\left(\frac{0.1022}{0.1013} \right)^n = I$,从表 5 可见,式(5)的系数 I 在 n 从 0~1 的范围内,与 1 最大相差 0.00859。因此可以近似认为系数 I 为 1。

表4 气压和海拔高度的对应关系(青藏高原)

海拔高度 H/km	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
气压 P/MPa	0.10133	0.09895	0.09661	0.09432	0.09208	0.08987	0.08772
海拔高度 H/km	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
气压 P/MPa	0.0856	0.08352	0.08149	0.0795	0.07754	0.07563	0.07375
海拔高度 H/km	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0
气压 P/MPa	0.07191	0.07011	0.06834	0.06662	0.06492	0.06326	0.06164
海拔高度 H/km	4.2	4.4	4.6	5.4	5.6	5.8	6.0
气压 P/MPa	0.06005	0.05849	0.05697	0.05119	0.04983	0.04849	0.04718

表5 不同 n 值下的式(5)的系数 I

n	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
I	1	1.00086	1.00171	1.00257	1.00343	1.00428
n	0.6	0.7	0.8	0.9	1	-
I	1.00514	1.00600	1.00686	1.00772	1.00859	-

所以:

$$\frac{U}{U_0} = 1 - 0.1272nH + 0.0081n^2H^2 - 0.00034n^3H^3 \quad (7)$$

忽略二次项和三次项,得到:

$$\frac{U}{U_0} = 1 - 0.1272nH \quad (8)$$

令 $k = 0.1272n$, 则海拔高度和闪络电压之间的关系为

$$\frac{U}{U_0} = 1 - kH \quad (9)$$

式(9)也可以换算为

$$\frac{\Delta U}{U_0} = \frac{U_0 - U}{U_0} = kH \quad (10)$$

式中: $k = 0.1272n$, 可称为下降斜率, 反映随海拔高度升高污闪电压下降的斜率; U_0 为海拔高度 0 m 时污闪电压, kV; U 为海拔高度 H 时的污闪电压, kV; H 为海拔高度, km。

由式(10)可知, 海拔高度每升高 1 km, 污闪电压就下降 k 倍。 k 能简单明了地表示出污闪电压随海拔升高的下降程度。而且下降斜率 k 有明确的物理意义, 能更明显地表示出海拔高度对污闪电压的影响。相对于采用物理意义无法清晰表述的 n 来反应闪络电压随气压之间的非线性关系, k 更便于工程设计应用^[19-22]。

因此, 对于 4000 ~ 5500 m 的海拔条件, 可采用上述海拔校正方法。

3.2 海拔校正系数

根据高海拔试验结果, 不同机械强度和伞形的

绝缘子其系数如图 6 所示。

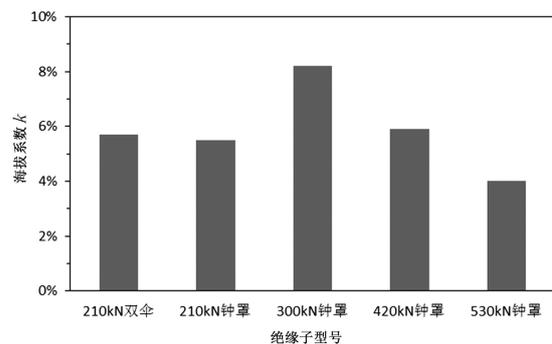


图6 不同绝缘子海拔系数

530 kN(CA - 597EZ)、420 kN(CA - 596EZ)、300 kN(CA - 590EZ)、210 kN 钟罩绝缘子海拔下降系数 k 平均值为 5.9%, 最大值为 7.9%。对于双伞型 210 kN 绝缘子, 其 k 为 5.5%。

按照保守考虑, 对于工程所用绝缘子, 外伞形和钟罩型绝缘子取 7.9%。

3.3 500 kV 交流线路绝缘子片数选择

考虑目前高海拔地区工程以轻中冰区为主, 且污区划分以 b 级为主, c 级污区零星分布, 暂无 d 级及以上污区, 故仅针对 b 级和 c 级污区开展研究。

表6 10 mm、15 mm 冰区复合绝缘子推荐长度

海拔 H/m	3000	4000	5000	5500
绝缘子长度/m	5.3	5.6	5.8	5.96

注: 其中, 金具长度按 0.54 m 计算; 复合绝缘子按照外伞形考虑, 高海拔修正系数为 0.055, 即海拔每升高 1000 m, 绝缘子闪络电压下降 5.5%。

根据上述原则, 按照 c 级污区计算, 以 I 串为基

表7 10 mm、15 mm 冰区绝缘子推荐片数

型号	结构高度	爬电距离	污秽等级	片数				
				3000 m	4000 m	4500 m	5000 m	5200 m
210 kN 外伞形	170	450	b 级	25	27	28	29	30
210 kN 钟罩形	170	450	b 级	29	31	32	33	34
210 kN 外伞形	170	450	c 级	30	32	33	34	35
210 kN 钟罩形	170	450	c 级	32	35	36	37	37
300 kN 钟罩形	195	545	c 级	29	31	32	33	34
420 kN 钟罩形	205	550	c 级	28	29	30	32	33
550 kN 钟罩形	240	635	c 级	25	27	28	29	30

注:表中300~550 kN 绝缘子为交流标准型推荐片数,外伞形具有更好的积污性能,但是考虑到高原地区积污特性的积累数据较少,因此建议外伞形绝缘子串片数按照标准型绝缘子串片数同等考虑。

础,保守考虑,Ⅴ串、耐张串与Ⅰ串积污相同(串长一致),海拔系数取7.9%。计算得出500 kV 交流输电线路的片数和串长,复合绝缘子长度推荐见表6,瓷/玻璃绝缘子片数推荐见表7。

4 结 语

1) 总结了国内外高海拔污闪放电与海拔修正的相关成果,推导了污闪电压随海拔下降的程度与海拔高度成线性关系。

2) 在北京特高压直流基地和西藏高海拔试验基地,开展了0 m 和4300 m 海拔条件下的交流绝缘子人工污秽试验,在试验盐密为0.05 mg/cm² 和0.1 mg/cm² 条件下,对210 kN、300 kN、420 kN 和550 kN 的悬式盘型绝缘子进行了污闪试验,获得了污闪特性。按照线性外推的原则,给出了FC-210P 绝缘子在海拔4000 m 和5500 m 时两种盐密下的污闪电压值。

3) 结合不同海拔条件的试验结果,给出了4000~5500 m 海拔条件下的污闪海拔修正方法,即适用于工程的随海拔高度下降的线性表达式。获得了不同海拔条件下的海拔修正系数。钟罩绝缘子海拔下降系数k 平均值为5.9%,最大值为7.9%。对于双伞型210 kN 绝缘子,其k 为5.5%。按照保守考虑,对于工程所用绝缘子,外伞形和钟罩型取7.9%。

4) 基于污耐受法,推荐了500 kV 交流输电线路绝缘子片数及串长。

参考文献

[1] 华普校. 格尔木盐湖地区高海拔输电线路外绝缘问题

研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2002.

[2] 孙昭英, 丁玉剑, 廖蔚明, 等. 青藏直流联网工程空气间隙的海拔校正[J]. 电网技术, 2010, 34(5): 8-12.

[3] 王向朋, 周军. 特高压直流用绝缘子污闪特性研究概况[J]. 企业技术开发, 2010, 29(15): 31-33.

[4] 关志成, 刘瑛岩, 周远翔, 等. 绝缘子及输变电设备外绝缘[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

[5] 王向朋, 周军, 王黎明, 等. 高海拔下特高压直流绝缘子的污闪特性[J]. 高电压技术, 2008, 34(9): 1869-1874.

[6] 杨建明. 污秽绝缘子泄露电流监测系统的设计[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.

[7] 任泽生, 赵莉华, 于昕哲, 等. 三伞玻璃型绝缘子泄露电流特性研究[J]. 电气应用, 2015(8): 72-76.

[8] 宿志一, 周军, 李武峰, 等. 交流特高压1000 kV 级绝缘子选型研究[J]. 中国电力, 2006, 39(10): 15-20.

[9] 周建博, 奚海波, 张乔根. 基于泄露电流的复合绝缘子憎水性能诊断技术[J]. 绝缘材料, 2014(2): 76-83.

[10] 万小东, 黄浩, 徐涛, 等. 绝缘子长串交流污耐压特性及海拔修正系数[J]. 高电压技术, 2015, 41(12): 4144-4149.

[11] 孙昭英, 廖蔚明, 宿志一, 等. ±800 kV 直流输电工程空气间隙海拔校正系数试验研究[J]. 电网技术, 2008, 32(22): 13-16.

[12] 李武峰, 范建斌, 李鹏, 等. 直流绝缘子串污秽闪络特性研究[J]. 电网技术, 2006, 30(15): 21-24.

[13] 汪洋, 王志明, 潘灵敏. 影响绝缘子污闪电压的综合因素分析[J]. 电力与能源, 2016(1): 123-128.

[14] 张志劲. 低气压下绝缘子(长)串污闪特性及直流放电模型研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.

[15] 汪洋, 王志明. 影响绝缘子污闪电压因素的分析[J]. 电力安全技术, 2016, 18(7): 32-36.

(下转第72页)

不同之处在于:

1) 常规智能变电站合并单元通过电缆与电流、电压互感器连接,通过测试仪给合并单元输出电流、电压模拟量,传输媒介为电缆。新一代智能变电站中,采集器模拟器给合并单元输入的信号为数字信号,传输媒介为光纤跳线。

2) 常规智能变电站各厂家的继保测试软件界面简单,操作便捷。而全场景测试系统的 ISTS 软件,需具有一定仿真建模能力,各项参数配置较为复杂。ISTS 能够直观看到变电站的一次模型,将整个系统的输入信息纳入到了试验的范围中,进行系统级别的仿真,保证了变电站二次系统的完整性。

3) 传统继电保护测试仪只能对单间隔装置进行加量,其电流、电压输出端口也有限。全场景测试系统可根据试验需求,使用相应数量的采集器模拟器,且模拟器数量可扩充。

全场景测试系统的试验方法能发现工程实施中存在的错误。同时还具有以下优势:

1) 可以检验母线电压合并单元输出到间隔合并单元数据的延时正确性,检验各合并单元自身参数的设置;

2) 可以对多个间隔同时进行加量,检查动作行为,提高工作效率;

3) 可以检验智能变电站的监控系统、信息一体化平台对实际故障信息的处理能力。

5 结 语

全场景测试系统适用于新一代智能变电站的整组传动调试,该系统的先进性及可靠性已在某 220

kV 新一代智能变电站现场得到了验证。同时,该系统在现场试验中的效率优势具体体现在:线路间隔较多的情况下,利用多台采集器模拟器同时设置各线路间隔故障,可以同步完成各间隔的传动试验及检修一致性试验。该次试验结果也为今后新一代智能变电站整组传动试验积累了经验,提供了参考。

参考文献

[1] 井实. 智能变电站二次系统测试方法及其关键技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.

[2] 陈鑫, 李冰. 智能变电站二次系统的调试方法研究及其应用[J]. 电子世界, 2016(16): 115.

[3] 宋璇坤, 刘开俊, 沈江. 新一代智能变电站研究与设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.

[4] 汪兴旺. 220 kV 绵阳东智能变电站调试研究[J]. 通讯世界, 2014(1): 77-79.

[5] 王彪, 甄威, 张华, 等. 智能变电站二次系统试验方法综述[J]. 四川电力技术, 2012, 35(2): 4-8.

[6] 李静. 智能变电站全场景试验系统仿真与测试软件平台研制[D]. 成都: 电子科技大学, 2012.

[7] 姜振超, 刘明忠. 智能变电站二次设备系统级调试方法探讨[J]. 四川电力技术, 2012, 35(2): 1-3.

[8] 井实, 黄琦, 甄威, 等. 基于无线同步技术的智能变电站全场景试验系统[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(2): 72-78.

作者简介:

李泳龙(1988), 硕士研究生、工程师, 从事电力系统继电保护相关研究工作。

(收稿日期: 2018-02-01)



(上接第30页)

[16] 李亚伟, 张星海, 陈洪波, 等. RTV 涂层表面绿球藻的生长对绝缘支柱电气性能的影响[J]. 电工技术学报, 2015, 30(12): 330-335.

[17] 马仪, 李明. 高海拔直流绝缘子污秽特性试验研究[C]. 云南电力装备制造业振兴与创新论坛文集, 2008.

[18] 赵宇明, 黎小林, 吕金壮, 等. 高海拔地区外绝缘参数海拔修正方法研究[J]. 南方电网技术, 2011, 5(2): 59-63.

[19] 高电压试验技术 第1部分: 一般试验要求: GB/T 16927.1-2011 [S], 1998.

[20] 高电压试验技术 第2部分: 测量系统: GB/T 16927.2-2011 [S], 1998.

[21] 谷琛, 张文亮, 范建斌. 超/特高压输电工程典型间隙

操作冲击放电特性试验研究综述[J]. 电网技术, 2011, 35(1): 11-17.

[22] Insulation Coordination, Part 2: Application Guide(3rd ed.): IEC 60071-2: 1996 [S], 1996.

作者简介:

罗强(1965), 高级工程师, 从事输电线路技术研究和设计工作;

王强(1965), 硕士、教授级高级工程师, 从事输电线路技术研究和设计工作;

罗鸣(1983), 硕士、高级工程师, 从事输电线路技术设计工作;

黄瑞平(1984), 硕士、高级工程师, 从事超高压输电研究工作;

张劲骁(1991), 硕士、助理工程师, 从事输电线路技术设计工作。

(收稿日期: 2018-01-29)