

DOI:10.12158/j.2096-3203.2021.02.020

特殊工业粉尘地区复合绝缘子腐蚀失效过程研究

李明哲, 邵仕超, 吴笑寒, 梅红伟, 王黎明

(清华大学深圳国际研究生院, 广东 深圳 518055)

摘要:硅橡胶复合绝缘子因其优异的憎水性及憎水迁移性而具备较好的防污闪能力, 往往作为应对污闪事故的首选方案。但在部分特殊工业粉尘地区, 复合绝缘子在短时间运行后会出现爬电及蚀损现象, 并发展为绝缘失效。为研究特殊工业粉尘地区复合绝缘子的腐蚀失效过程, 测试了某特殊工业园区内运行的复合绝缘子的表面污秽度及污秽成分、污闪电压梯度、憎水性能及微观性能, 并分析了其腐蚀失效过程。主要结论如下: 绝缘子表面等值盐密为 $0.1\sim 0.2\text{ mg/cm}^2$, 其污秽成分与化工污源类似; 存在自然污秽时绝缘子表面憎水性良好, 但其憎水性的减弱、恢复及迁移特性均不能满足运行要求; 绝缘失效的起因是电晕放电导致憎水性降低, 进而导致伞裙电蚀损, 最后发展为绝缘失效。

关键词:复合绝缘子; 泄漏距离; 化工污源; 憎水性; 绝缘失效

中图分类号: TM852

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2021)02-0141-06

0 引言

污闪事故因其多点跳闸几率大、重合闸成功率低、影响范围大等典型特点, 一直威胁着电力系统的安全稳定运行^[1-3]。已有研究表明, 不同地区运行的绝缘子受污源影响而具备不同的污秽成分^[4-6], 污秽成分中可溶盐的不同会直接影响绝缘子的污闪性能^[7-10]。为解决污闪问题, 研究人员提出了多种方案, 如优化绝缘配置^[11-14], 使用在线监测方法监测绝缘子运行状态^[15-16], 使用复合绝缘子或室温硫化硅橡胶涂料^[17-18]等。

复合绝缘子因使用了硅橡胶材料而具备优异的憎水性能和憎水迁移性能, 从而具有了极佳的防污闪性能。但已有运行经验表明, 作为一种有机材料, 硅橡胶存在老化问题^[19-21]。常见的硅橡胶老化原因主要有运行中的电晕放电、气隙等缺陷导致局放而产生的发热、紫外光、臭氧等。诸多因素共同作用下引发硅橡胶伞裙的硬化、粉化、开裂、憎水性下降等老化现象, 进而影响复合绝缘子的闪络特性, 严重情况下甚至可能导致绝缘失效。

2017—2018年, 某特殊工业粉尘地区出现了线路绝缘子串的持续爬电现象。为了避免污闪事故, 当地运维部门将原有瓷绝缘子更换为复合绝缘子, 但运行仅1a后, 该串复合绝缘子同样出现了爬电现象, 现场观察到部分绝缘子表面已出现明显烧蚀, 初步判断该批复合绝缘子已发生绝缘失效。

针对该典型现象, 文中研究了在特殊工业粉尘

地区运行的复合绝缘子的运行状态, 对该批次复合绝缘子进行了污秽度分析、憎水性分析、闪络特性分析以及微观分析。基于分析结果, 提出了该地区复合绝缘子可能的腐蚀失效过程。该结果同样适用于运行条件、污源情况与之类似的其他工业粉尘地区, 文中旨在分析这一特定运行条件下的绝缘子失效过程, 帮助各地运维部门完善复合绝缘子运维策略, 有效延长复合绝缘子运行寿命。

1 试样选取及试验方法

1.1 试样选取及运行条件概述

该批绝缘子位于某化工园区附近, 现场污秽程度较为严重。部分输电线路直接穿过化工厂厂区, 附近220kV及110kV线路的复合绝缘子短时间挂网后出现多次爬电现象, 取样调研后发现绝缘子表面已出现明显伞裙烧蚀, 泄漏距离显著降低。

选取具有典型特点的3支复合绝缘子进行检测, 型号均为FXBW-220/120, 对绝缘子进行编号及外观检查, 结果如图1所示。可见, 1号绝缘子表面存在严重的电弧烧蚀痕迹, 伞裙裂口处明显发黑, 部分严重处已有芯棒裸露。2号绝缘子完好, 伞裙无破损。3号绝缘子部分伞裙破损, 但裂口无明显烧蚀痕迹, 伞裙破损原因不明。

1.2 污秽度及污秽成分分析

绝缘子污秽度检测参照GB/T 26218.1—2010进行, 计算等值盐密(equivalent salt deposit density, ESDD)和灰密(non-soluble deposit density, NSDD)表征污秽中可溶盐和难溶灰分含量。使用电感耦合等离子体发射光谱和离子色谱等工具, 分析污秽可溶

收稿日期: 2020-09-13; 修回日期: 2020-10-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51977118)

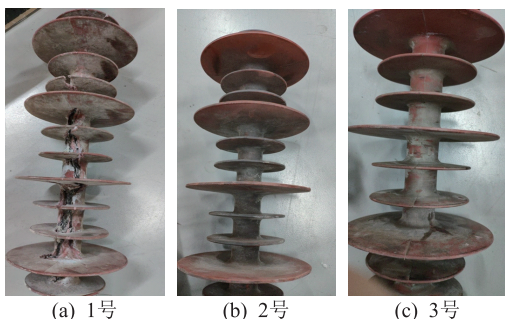


图1 绝缘子外观

Fig.1 Appearance of insulators

盐成分中的阴阳离子组成及浓度。

1.3 污秽闪络电压梯度测量

污闪电压数值可直接反映绝缘子的绝缘性能,参考作用最佳。文中由于试验条件的限制,选择测量绝缘子串部分伞裙的闪络电压,换算为每支绝缘子污秽闪络电压梯度,以此表征每支绝缘子的电气性能。

从高压端将每支绝缘子截取4大伞8小伞的一段,将其表面污秽洗干净后均匀地涂上人工污秽。以氯化钠模拟盐分,以硅藻土模拟灰分,使得盐密为 0.1 mg/cm^2 ,灰密为 1.0 mg/cm^2 ,待憎水性完全迁移(48 h左右)后进行人工污秽试验,使用均匀升压法进行试验,每支绝缘子闪络3次,最后计算每支绝缘子的污秽闪络电压梯度。

1.4 憎水性及憎水迁移性测量

选取每支绝缘子相同位置的伞裙作为样品进行试验,在保留自然污秽的情况下测量其憎水性,然后洗去自然污秽,按照DL/T 376—2010《复合绝缘子用硅橡胶绝缘材料通用技术条件》的规定测量其憎水性的减弱、恢复及迁移特性。

1.5 傅里叶红外光谱分析

为了分析老化过程对复合绝缘材料微观性能的影响,使用傅里叶变换红外光谱仪分析样品的傅里叶红外光谱(fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)。不同的有机化合物在红外区域会产生特征光谱,吸收峰的高度可以反映各官能团的含量。因此,FTIR的测试结果能够反映硅橡胶表面官能团含量的变化情况。

2 试验结果与分析

2.1 污秽度及污秽成分

3支绝缘子表面污秽度的检测结果如表1所示,其中 V_{ESDD} 和 V_{NSDD} 分别为ESDD值和NSDD值。检测结果表明,3支绝缘子表面等值盐密均为 $0.1 \sim 0.2 \text{ mg/cm}^2$,可划入c~d级污区^[11]。

表1 绝缘子污染物的ESDD值和NSDD值

序号	V_{ESDD}	V_{NSDD}
1	0.088	0.116
2	0.210	0.161
3	0.157	0.327

绝缘子表面污秽可溶盐成分检测结果如表2、表3所示。可以看出,绝缘子污秽以 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 、 F^- 及 Cl^- 为主,从离子成分看与化工污源附近的绝缘子污秽成分类似^[6]。

表2 各阳离子摩尔分数

编号	$x(\text{Na}^+)$	$x(\text{K}^+)$	$x(\text{Ca}^{2+})$	$x(\text{Mg}^{2+})$
1	9.39	1.13	82.66	6.82
2	11.14	1.96	80.00	6.90
3	12.60	1.58	76.72	9.11

表3 各阴离子摩尔分数

编号	$x(\text{F}^-)$	$x(\text{Cl}^-)$	$x(\text{SO}_4^{2-})$	$x(\text{NO}_3^-)$
1	37.81	8.31	50.66	3.23
2	49.60	8.15	39.49	2.76
3	13.87	15.76	55.59	14.78

2.2 污秽闪络电压梯度

3支绝缘子的污闪电压梯度测量结果如表4所示。其中3号绝缘子第1次闪络的闪络电压值误差较大,故舍去,保留后2次闪络电压值计算其平均闪络电压及闪络电压梯度。

表4 闪络电压及闪络电压梯度

序号	闪络电压/kV				闪络电压梯度/ ($\text{kV} \cdot \text{cm}^{-1}$)
	第1次	第2次	第3次	后2次 平均值	
1	41.548	39.726	40.525	40.599	0.316
2	65.987	67.861	69.137	67.661	0.527
3	168.862	149.008	141.906	145.453	1.133

可以看出,尽管1号、3号绝缘子都存在伞裙开裂现象,泄漏距离均有一定损失,理论上其闪络电压梯度应低于2号绝缘子,但结果并非如此。1号绝缘子闪络电压梯度最低,3号绝缘子闪络电压梯度反而高于2号绝缘子。可见伞裙破损导致的泄漏距离损失并不是影响绝缘子闪络电压的唯一因素。

2.3 憎水性能分析

根据DL/T 376—2010的规定,分别用静态接触

角及喷水分级法对3支绝缘子表面的憎水性、憎水性的减弱、恢复及迁移特性进行测量,结果见表5。

表5 憎水性测试结果

性能		1	2	3
憎水性	接触角/(°)	134.3	131.2	132.9
	喷水分级	HC1~2	HC2~3	HC1~2
减弱	接触角/(°)	82.1	73.2	82.3
	喷水分级	HC5~6	HC5~6	HC4~5
恢复	接触角/(°)	83.2	83.4	89.6
	喷水分级	HC4~5	HC4~5	HC3~4
迁移	接触角/(°)	91.8	77.5	93.3
	喷水分级	HC5~6	HC5~6	HC3~4

结果表明,尽管3支绝缘子在表面存在自然污秽时憎水性优异,接触角可达130°,但其减弱、恢复及迁移特性均未能达到DL/T 376—2010中的规定,可判定其憎水性能基本丧失。而表面存在自然污秽时该批次绝缘子憎水性优异,是因为在长期运行过程中,其表面小分子已充分迁移到污层中,且污层较为致密,故能够维持较好的憎水性。但一旦遇到大雨等天气将表面污秽层部分冲洗或在已有污秽上继续积污,都会破坏污层的憎水性,新污层会因绝缘子薄弱的憎水性恢复、迁移特性而憎水性减弱,容易引发污闪事故,人工污秽试验中3支绝缘子较低的闪络电压梯度可以说明这点。因此,这种仅憎水性达标的复合绝缘子无法满足运行要求。

憎水性能方面,3号绝缘子最好,2号绝缘子最差,解释了3号绝缘子泄漏距离较小,但污闪电压梯度较高的原因。也说明憎水性能对污闪电压的影响大于泄漏距离对污闪电压的影响。1号绝缘子同时具备较差的憎水性能及较小的泄漏距离,故表现出了最低的污闪电压梯度。

2.4 傅里叶红外光谱分析

为进一步了解3支绝缘子硅橡胶材料官能团的变化,对其进行FTIR分析。硅橡胶材料主要特征吸收峰如表6所示。

表6 硅橡胶主要特征峰

特征基团	波数/cm ⁻¹
OH	3 700~3 200
CH in CH ₃	2 962~2 960
CH in Si—CH ₃	1 270~1 255
SiO in Si—O—Si	1 100~1 000
SiO in O—Si(CH ₃) ₃	870~850
SiO in O—Si(CH ₃) ₂ —O	840~790
Si(CH ₃) ₃	700

对1号复合绝缘子近腐蚀侧、远腐蚀侧分别取样,2号、3号绝缘子正常取样。分别对所取得的4个样本的表面及内部进行FTIR分析,结果如图2—图5所示。

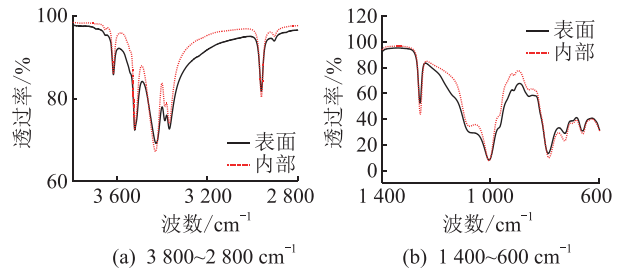


图2 1号绝缘子近腐蚀侧红外光谱

Fig.2 Infrared spectrum of No.1 insulator near corrosion side

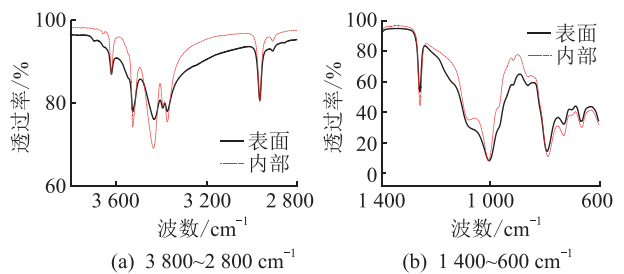


图3 1号绝缘子远腐蚀侧红外光谱

Fig.3 Infrared spectrum of No.1 insulator far away from corrosion side

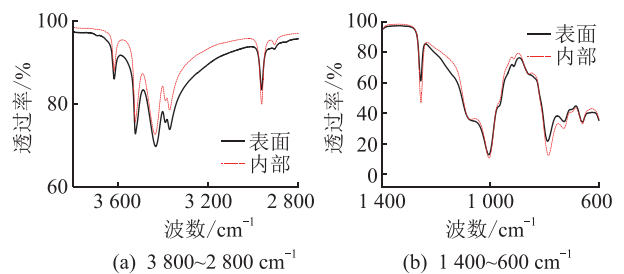


图4 2号绝缘子红外光谱

Fig.4 Infrared spectrum of No.2 insulator

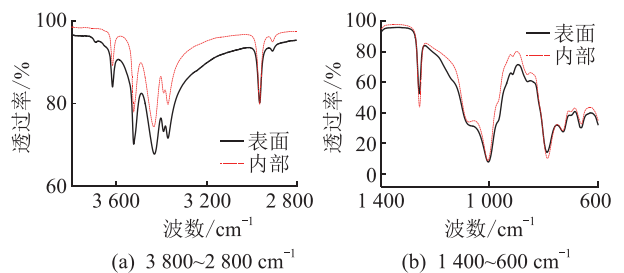


图5 3号绝缘子红外光谱

Fig.5 Infrared spectrum of No.3 insulator

一般认为绝缘子内部老化程度较低,可以通过对比表面及内部的官能团差别以分析硅橡胶的老化程度。

由波数较低的波段分析结果可知,3支绝缘子的红外光谱中 $1\ 270\sim 1\ 255\ \text{cm}^{-1}$ 处 $\text{Si}-\text{CH}_3$ 中的 $\text{C}-\text{H}$ 键的吸收峰较内部明显降低,说明复合绝缘子表面的硅橡胶材料中的侧链被打断。 $1\ 100\sim 1\ 000\ \text{cm}^{-1}$ 处的吸收峰未有明显下降,说明硅橡胶主链未被打断。

已有经验表明,硅橡胶绝缘子侧链的甲基基团对硅橡胶表面的憎水性存在明显影响,该基团减少将导致该绝缘子表面憎水性、憎水迁移性下降,这与憎水性测试结果相吻合。

从波数较高的波段分析结果来看,3支绝缘子的羟基吸收峰出现了明显差异。1号绝缘子近腐蚀侧表面的羟基吸收峰变化不明显,而远腐蚀侧的羟基吸收峰明显下降,2号、3号绝缘子的羟基吸收峰明显增大。

从烧蚀情况看,2号绝缘子不存在明显烧蚀,无烧蚀的情况下羟基吸收峰增大说明有机成分减少,无机成分析出;或是主链断裂,形成硅醇,从而展现出了羟基吸收峰。但从其主链的特征峰检测结果看,硅橡胶表面并未存在显著的主链降解与小分子硅氧烷的生成。因此,2号绝缘子主要证明了无烧蚀情况下,该地区复合绝缘子存在无机填料析出的情况。

1号绝缘子表面明显存在烧蚀情况。氢氧化铝(aluminum trihydrate, ATH)作为阻燃剂,在硅橡胶表面存在烧蚀时会因高温而吸热分解,保护硅橡胶的有机成分不因高温而被破坏。因此1号绝缘子远腐蚀侧,其羟基吸收峰明显下降。而近腐蚀端,由于主链被烧蚀、打断,生成了硅醇,从而弥补了因ATH分解而导致的羟基吸收峰下降,其羟基吸收峰下降不明显。

3号绝缘子表面尽管存在裂纹,但从微观性能、憎水性能的测量结果看,这支绝缘子的材料老化相对较轻,主要体现在无机填料析出,由于其裂纹处没有发现明显的炭化痕迹,因此尚不能证明其裂纹的形成与电弧烧蚀有关,其伞裙开裂可能由鸟啄、运输过程中的碰撞等导致。

3 硅橡胶腐蚀失效过程分析

以测试结果为基础,对特殊工业粉尘地区的硅橡胶腐蚀失效机理进行分析,得到如下腐蚀失效过程:

(1) 电晕放电等导致硅橡胶侧链被打断。特殊工业粉尘地区污秽种类特殊,积污速度快,当出现浓雾、小雨以及浓烟等特殊气象条件时,绝缘子表

面污层憎水性急剧下降,容易产生爬电现象或是电晕放电。此外,积污后特别是污层中的金属微粒污秽等会导致绝缘子表面电场分布发生畸变,同样可能导致电晕放电的产生。

高温硫化硅橡胶的主链 $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ 键能在 $446\ \text{kJ/mol}$ 左右, $\text{Si}-\text{CH}_3$ 中 $\text{C}-\text{H}$ 键能在 $413\ \text{kJ/mol}$ 左右,当硅橡胶表面发生电晕放电时,其产生的带电粒子在撞击硅橡胶表面时将释放高达 $963\ \text{kJ/mol}$ 的能量,将导致硅橡胶中分子键被打断,表现在FTIR中为 $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ 和 $\text{Si}-\text{CH}_3$ 对应特征吸收峰的下降^[21]。文中通过FTIR测试证明了该批次绝缘子表面的电晕放电主要导致侧链被打断,其主链所受影响不明显。

(2) 硅橡胶憎水性能的下降。硅橡胶侧链被打断将导致硅橡胶表面憎水性及憎水迁移性下降,进一步加剧硅橡胶材料表面的电晕放电及爬电现象,电晕放电及爬电现象将进一步打断硅橡胶侧链,形成恶性循环。最终表现为硅橡胶材料表面憎水性能下降乃至丧失。

(3) 电弧、烧蚀及泄漏距离降低。在憎水性逐渐丧失的过程中,硅橡胶材料中的ATH填料因高温而逐渐分解,硅橡胶的耐电蚀损性能下降。同时,憎水性的丧失还将加剧其表面电弧的发展,两方面综合作用下,将导致硅橡胶伞裙表面产生大电弧,大电弧将对伞裙产生烧蚀现象,表现为伞裙穿孔,最后表现为伞裙大面积贯穿,甚至是护套被烧穿、芯棒裸露等。

(4) 憎水性丧失、泄漏距离降低引发污闪。硅橡胶表面的憎水性丧失会造成其污闪电压显著下降(如2号绝缘子),而伞裙穿孔导致的泄漏距离损失同样会明显降低其电气性能,两方面综合作用下,硅橡胶绝缘子将表现出较低的污闪电压(如1号绝缘子),在某些恶劣环境下,将引发污闪事故。

因此,绝缘子腐蚀失效的主要原因是电晕放电等因素导致硅橡胶憎水性丧失,继而发展为大电弧,严重时可为闪络。可通过改善绝缘子表面电场分布、采用超疏水涂料等手段抑制绝缘子表面的电晕放电,从而延缓硅橡胶材料憎水性的丧失,进而延缓其腐蚀失效过程。

4 结论

文中以特殊工业粉尘地区运行的复合绝缘子为研究对象,研究了典型的工业粉尘环境中复合绝缘子的污闪电压梯度及材料性能,分析了绝缘子的腐蚀失效过程,得到如下结论:

(1) 特殊工业粉尘环境下,绝缘子表面污秽度较重,属于 c~d 级污区,污秽成分以 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 、 F^- 及 Cl^- 为主,与化工污染源附近绝缘子表面污秽成分类似。

(2) 特殊工业粉尘地区,绝缘子在表面存在自然污秽时其憎水性优异,但其减弱、恢复及迁移特性均未能达到 DL/T 376—2010 中的规定,可以判定其憎水性能已经基本丧失。一旦由于降雨、积污等因素导致旧有污层破坏,新污层形成,则绝缘子表面憎水性极差,污闪电压将急剧降低。

(3) 复合绝缘子的污闪性能是由绝缘子憎水性能及泄漏距离共同决定的,憎水性能对污闪电压的影响更大。

(4) 特殊工业粉尘地区,绝缘子腐蚀失效的起因是电晕放电等引发的硅橡胶侧链断裂,宏观表现为憎水性降低、爬电增多,进而发展为污层憎水性完全丧失,绝缘子伞裙烧蚀严重、泄漏距离大幅缩短,最终导致闪络电压下降、绝缘失效。

参考文献:

- [1] 关志成,刘瑛岩,周远翔. 绝缘子及输变电设备外绝缘[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
GUAN Zhicheng, LIU Yingyan, ZHOU Yuanxiang. External insulation of insulator, transmission and transformation equipment [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [2] 蒋兴良,舒立春,孙才新. 电力系统污秽与覆冰绝缘[M]. 北京:中国电力出版社,2009.
JIANG Xingliang, SHU Lichun, SUN Caixin. Pollution and icing insulation of power system [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2009.
- [3] 卢明,李瑶琴,李黎,等. 哈邦特高压直流负极线路上 U70BL 型绝缘子自然积污规律[J]. 高电压技术,2016,42(2): 557-563.
LU Ming, LI Yaoqin, LI Li, et al. Natural contamination deposit law of U70BL type insulators of Hami—Zhengzhou UHVDC negative line [J]. High Voltage Engineering, 2016, 42(2): 557-563.
- [4] 廖一帆,杨宇轩,张福增,等. 南方电网沿海绝缘子积污成分与海洋盐雾及附近污染源的关联性[J]. 电瓷避雷器,2018(5): 191-196,201.
LIAO Yifan, YANG Yuxuan, ZHANG Fuzeng, et al. The correlation between the pollution components of coastal insulators in the CSG and the salt fog and the nearby pollution sources [J]. Insulators and Surge Arresters, 2018(5): 191-196, 201.
- [5] 黄青丹,杨忠毅,宋浩永,等. 不同材料绝缘子表面的自然污秽成分测量与离子配对分析[J]. 高电压技术,2016,42(12): 3917-3923.
HUANG Qingdan, YANG Zhongyi, SONG Haoyong, et al. Measurement and ion-pairing analysis of natural contamination constituents on insulators with different material [J]. High Voltage Engineering, 2016, 42(12): 3917-3923.
- [6] 郭飞,刘世涛,李秀广,等. 宁夏典型环境绝缘子污秽成分分析[J]. 绝缘材料,2017,50(4): 61-66.
GUO Fei, LIU Shitao, LI Xiuguang, et al. Component analysis of insulator contaminant in typical environment of ningxia province [J]. Insulating Materials, 2017, 50(4): 61-66.
- [7] ABDULAZIZ-EL-SULAIMAN, QURESHI M I. Effect of contamination on the leakage current of inland desert insulators [J]. IEEE Transactions on Electrical Insulation, 1984, 19(4): 332-339.
- [8] RAMOS N G, CAMPILLO R M T, NAITO K. A study on the characteristics of various conductive contaminants accumulated on high voltage insulators [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1993, 8(4): 1842-1850.
- [9] 蒋兴良,杨忠毅,韩兴波,等. 硅橡胶复合绝缘子在不同可溶污秽成分下的闪络特性研究[J]. 中国电机工程学报,2018,38(1): 320-329,370.
JIANG Xingliang, YANG Zhongyi, HAN Xingbo, et al. Research on flashover performance of silicone rubber insulators polluted by different soluble pollution constituents [J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(1): 320-329, 370.
- [10] 谷裕,郝艳捧,张福增,等. 沿海地区与内陆地区复合支柱绝缘子直流污闪特性比较[J]. 电网技术,2014,38(5): 1373-1378.
GU Yu, HAO Yanpeng, ZHANG Fuzeng, et al. Comparison of DC flashover performances of polluted composite post insulators in coastal areas and inland areas [J]. Power System Technology, 2014, 38(5): 1373-1378.
- [11] 宿志一. 用饱和盐密确定污秽等级及绘制污区分布图的探讨[J]. 电网技术,2004,28(8): 16-19.
SU Zhiyi. Study on defining pollution classes and mapping pollution areas by saturated equal salt deposit density [J]. Power System Technology, 2004, 28(8): 16-19.
- [12] 刘贞瑶,叶辉. 应用饱和盐密原理修订江苏电网污区分布图[J]. 华东电力,2008,36(8): 51-54.
LIU Zhenyao, YE Hui. Modifying pollution plots of Jiangsu Power Grid by using saturated equal salt deposit density [J]. East China Electric Power, 2008, 36(8): 51-54.
- [13] 钱之银,张铭,肖嵘. 华东电网 500 kV 线路历年污闪事故分析及外绝缘配置优化研究[J]. 电网技术,2007,31(19): 47-51.
QIAN Zhiyin, ZHANG Ming, XIAO Rong. Analysis on pollution flashover accidents in 500 kV transmission lines of East China power grid over the years and research on optimal configuration of external insulation [J]. Power System Technology, 2007, 31(19): 47-51.
- [14] 胡伟,霍锋,徐涛,等. 特高压倒 V 型串杆塔间隙放电特性及绝缘配置分析[J]. 高电压技术,2017,43(12): 4117-4122.
HU Wei, HUO Feng, XU Tao, et al. Air-gaps flashover characteristics and insulation coordination of inverse V-type insulator string tower for UHVAC transmission line [J]. High Voltage

- Engineering, 2017, 43(12):4117-4122.
- [15] 关志成,毛颖科,王黎明. 污秽绝缘子泄漏电流特性研究[J]. 高电压技术, 2008, 34(1):1-6.
GUAN Zhicheng, MAO Yingke, WANG Liming. Review on leakage current characteristics of contamination insulators[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(1):1-6.
- [16] 曹燕明,马为民. 特高压直流绝缘子的污秽测量技术[J]. 高电压技术, 2007, 33(1):22-25.
CAO Yanming, MA Weimin. Pollution measurement technology of insulators for UHVDC[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(1):22-25.
- [17] 舒立春,毛峰,蒋兴良,等. 复合绝缘子与瓷和玻璃绝缘子直流污闪特性比较[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(36):26-30.
SHU Lichun, MAO Feng, JIANG Xingliang, et al. Comparison of the DC pollution flashover performances among composite insulators and porcelain and glass insulators[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(36):26-30.
- [18] 梁曦东,高岩峰,王家福,等. 中国硅橡胶复合绝缘子快速发展历程[J]. 高电压技术, 2016, 42(9):2888-2896.
LIANG Xidong, GAO Yanfeng, WANG Jiafu, et al. Rapid development of silicone rubber composite insulator in China[J]. High Voltage Engineering, 2016, 42(9):2888-2896.
- [19] 夏云峰,宋新明,何建宗,等. 复合绝缘子用硅橡胶老化状态评估方法[J]. 电工技术学报, 2019, 34(S1):440-448.
XIA Yunfeng, SONG Xinming, HE Jianzong, et al. Evaluation method of aging for silicone rubber of composite insulator[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2019, 34(S1):440-448.
- [20] 胡建林,钟睿,刘泽辉,等. 1 000 kV 特高压交流线路用 RTV 绝缘子表面涂层老化分析[J]. 电网技术, 2018, 42(10):3436-3443.
HU Jianlin, ZHONG Rui, LIU Zehui, et al. Aging analysis of RTV insulator coating on 1 000 kV UHVAC transmission line[J]. Power System Technology, 2018, 42(10):3436-3443.
- [21] 梁英,董平平,高丽娟. 基于正交试验的复合绝缘子电晕老化特性[J]. 高电压技术, 2018, 44(12):4083-4089.
LIANG Ying, DONG Pingping, GAO Lijuan. Corona aging characteristics of composite insulators based on orthogonal experiment[J]. High Voltage Engineering, 2018, 44(12):4083-4089.

作者简介:



李明哲

李明哲(1995),男,博士在读,研究方向为高电压外绝缘(E-mail:1179874860@qq.com);
邵仕超(1996),男,硕士在读,研究方向为绝缘子污秽闪络;
吴笑寒(1995),男,博士在读,研究方向为高电压外绝缘。

Corrosion and insulation failure process of composite insulators in special industrial dust area

LI Mingzhe, SHAO Shichao, WU Xiaohan, MEI Hongwei, WANG Liming
(Tsinghua Shenzhen International Graduate School, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Because of the excellent hydrophobicity and hydrophobicity migration, silicone rubber composite insulators have an out-standing anti-pollution flashover performance, so they are often selected as the first choice to deal with pollution flashover accidents. However, in some special industrial dust areas, creepage and electric erosion occurs on the surface of composite insulators after short-term operation, which eventually develops into insulation failure. In order to study the corrosion failure process of composite insulators operated in special industrial dust areas, the samples of composite insulators from a special industrial park are taken, and the pollution degree and pollution composition, pollution flashover voltage gradient, hydrophobicity, and microscopic properties of samples are tested. Furthermore, the failure process of the insulators is analyzed. The results show that the equivalent salt deposit density (ESDD) of insulators is about 0.1~0.2 mg/cm², and the pollution composition is similar to that in chemical industry pollution area. With natural pollution on the surface, the hydrophobicity of the insulators is great, but the hydrophobicity loss, recovery, and migration properties cannot meet the operation requirements. The cause of insulation failure is the decrease of hydrophobicity caused by corona discharge. The decrease of hydrophobicity leads to electric erosion of the umbrella skirts, and finally develops into insulation failure.

Keywords: composite insulator; leakage distance; chemical industry pollution; hydrophobicity; insulation failure

(编辑 方晶)