

基于化学清洗剂与气动清洗机的绝缘子带电 清扫技术的研究

张涛¹ 毕睿华^{2,3} 张云翔¹ 陈昊¹ 张明¹ 潘朝贤²
(1. 国网江苏省电力公司检修分公司 江苏 南京 210019;
2. 淮安市宇阳电力科技有限公司 江苏 淮安 223001;
3. 南京工程学院电力工程学院 江苏 南京 211167)

摘要: 介绍一种适用于 220 kV 及以下的广自由度手持式带电清扫绝缘子的综合机械的研制。该装置集气动传动与流体传动优势于一体,克服目前绝缘子清扫技术存在的不足,对处于悬式绝缘子进行无死角清洗,使电气设备的绝缘水平控制在安全范围之内,试验结果表明了该方法的有效性。

关键词: 悬式绝缘子; 带电清扫; 污闪; 气动泵; 化学清洗剂

Abstract: The research on handheld live cleaning device with wide degree of freedom for 220 kV insulator and lower level is introduced, which has the advantages of both pneumatic and fluid drives. It overcomes the shortcomings of current insulator cleaning technology in power industry and can realize the complete cleaning to ensure the insulation security of electrical equipment. The test results verify the effectiveness of the proposed method.

Key words: suspension insulator; live cleaning; pollution flashover; pneumatic pump; chemical detergent

中图分类号: TM855 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)03-0012-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.03.003

0 引言

20 世纪 80 年代以来,随着工业生产飞速发展,中国大气环境污染日趋严重,引起电网设备污闪事故随之突增,严重影响电力系统安全运行。1989 年 1 月 6 日和 12 月 5 日,华东电网 220~500 kV 线路多座变电站污闪,造成华东、上海 500 kV 主网长时间停电;1990 年 2 月 10 日—28 日京津唐电网及河北南网、河南西部与北部电网发生大面积污闪停电;此后,1996 年末、1997 年初、1998 年初、2000 年初全国电网均出现过较大范围的污闪事故^[1]。

变电所绝缘子表面受到固体、液体和气体的导电物质的污染,使绝缘层表面电导增大,泄漏电流增加,产生局部放电,在运行电压下绝缘件表面的局部放电发展成为电弧闪络。污闪时电力系统的重合闸成功率降低,容易造成较大面积停电;另外,污闪中伴随的强力电弧极易损坏电气设备,所以在国家电网新发布的十八项反措^[2]中,设备防污闪是重要的

措施之一。

绝缘带电清扫提供了一种非常好的设备防污闪的手段。

1 绝缘子防污闪的措施对比

现阶段中国广泛使用的电力设备外绝缘维护技术还是“爬、扫、涂”的方式。“爬”指调节电力设备外绝缘爬电距离,“扫”主要包括停电清扫和带电清扫,其中带电清扫有带电水清洗、带电气吹清扫、带电干清扫和近年来新发展的带电化学剂清扫等;“涂”主要指在绝缘子表面涂敷 RTV 防污材料。

调整爬电距离的一般是将普通绝缘子更换为合成绝缘子或防污型绝缘子,或适当增加绝缘子片数,对于无法更换的设备,加装用硅橡胶制作的增爬裙,弥补爬电比距之不足。这种方法一次性投入成本非常高,另外,绝缘子表面污闪的耐压水平与爬电距离之间具有的“饱和效应”会给线路的架设带来困难。

而在绝缘子表面涂抹 RTV 涂料的方法也只能提高绝缘子防污能力 6—7 年。RTV 涂料呈现出优异的憎水性和憎水迁移性,在绝缘子表面染污后,

科技项目: 国家电网江苏省电力公司科技创新项目(JSDL-XLFW-DJX-2014-06-5B14)

RTV 将憎水性传递给表面的污层,使污层表面也呈现憎水性。污层表面不会形成水膜,水滴在重力下掉落从而有效地防止沿面闪络。如果 RTV 表面污层过厚或者长时间处于潮湿条件下,会使憎水性难以迁移至污层表面,从而导致绝缘子的外绝缘性能大大降低。尤其在 RTV 丧失绝缘性能后,很难从外绝缘表面上清除下来,涂料的氧化起皮,同样会降低绝缘子的外绝缘性能。

停电清扫是工作人员用抹布或刷子等简易工具在停电设备上进行的清扫,这种清扫只能降低绝缘子表面 10% ~ 30% 的盐密度和 20% 的泄漏电流。而且对于停电机机会越来越少的超高压变电设备,停电清扫成为难以实现的措施。

近些年,根据输变电设备绝缘的具体污染情况,定期或不定期地进行带电绝缘清扫,成为设备绝缘防污闪高效、可靠、简便的重要措施。而传统的带电清扫方式都存在一定的缺陷,具体表现如下:

1) 带电水清扫的限制条件较多,如:清扫前,应掌握绝缘子的脏污情况,当盐密值大于临界盐密值的规定时,不宜带电水清扫;避雷器及密封不良的设备,不宜带电水清扫;在潮湿环境下,容易造成人身伤害;清扫路线要格外注意,一旦在绝缘子表面形成污水线,将会引起绝缘闪络。

2) 带电气吹清扫难以达到理想的去污效果,而且由于灰尘或锯末会到处飘落,会形成对绝缘的二次污染。

3) 带电干清扫只能清扫粘结不牢固的浮尘,清扫效果不彻底,同样也会形成二次污染。

4) 带电机械驱动化学剂清扫的方式是目前研究较多的方式。但该种方式由于采用操作杆头部的机械马达驱动毛刷转盘,因此,其持举的清扫机较重(达到 10 kg 左右),导致作业不灵活,容易产生清扫死角;而对于不是对地垂直悬挂的一部分悬式绝缘子,该清扫机将无能为力。另外,该清扫机作业时有电动马达靠近高压设备,将会影响高压设备的安全净距,带来一定的安全隐患。对于设备上一些顽固的油污,如果采用清洗剂大力冲洗,容易造成电气设备部件脱落的危险。

江苏省电力公司检修分公司和淮安宇阳电力科技有限公司联合研制的采用专利清洗剂浸湿污秽,并用气动马达驱动毛刷旋转的清扫方式很好地解决了上述缺点,具有可靠性高、操作方便、清扫效果好

的特点。

2 绝缘清洗剂的技术特点

论文[8]、[10]对不同地区的绝缘子污秽成分进行研究,结果表明污秽主要成分为 CaSO_4 、 SiO_2 、 Al_2O_3 。其中沿海地区污秽中可溶性成份是以 NaCl 为主,而内陆主要成份是以 CaSO_4 为主。论文[9]指出绝缘子表面污秽由杂乱排列的结晶状物质紧密堆积,有空隙存在。论文[11]指出污秽与 RTV 涂料结合紧密,仅靠水洗或者人工擦洗很难将其彻底清洗干净,绝缘清洗剂对绝缘子(16KNM-E)表面污秽有较好的清洗作用,但是清洗剂喷洒到绝缘子表面后,需要借助外力擦拭才能将污秽彻底清洗掉。

绝缘清洗剂的主要成分为助洗剂和表面活性剂,助洗剂的沸点较低(48 ~ 50 °C),约占带电清洗剂的 80%;带电清洗剂中的表面活性剂为非离子表面活性剂,沸点较高,颜色为淡黄色,占 10%。绝缘清洗剂的优点如表 1;绝缘的化学清洗剂的相关技术特性如表 2 所示。

表 1 绝缘清洗剂的技术优点

序号	特点	作用
1	无毒性	不会伤及人体健康,不会污染环境。
2	不易燃	不会由于接触放电而引起火灾事故。
3	易挥发	沸点低,1 min 内挥发,不会形成挂淋而导致绝缘击穿问题,
4	绝缘强度高	平板电极下 1 min 击穿电压达到 70 kV 以上,不会引起击穿。
5	表面张力小	清洗剂能在绝缘子表面自发浸湿和铺展,使污秽从表面脱离。
6	无腐蚀	不会引起金属、橡胶、陶瓷等导体和绝缘体的化学损坏。

该种绝缘清洗剂与传统的清洗介质(如蒸馏水、水蒸汽、其他化学清洗剂)相比,具有适用电压等级高、安全性高、高绝缘、无闪点、不燃烧、易挥发、除污能力强、环保等特点,同时清洗后会在设备表面形成保护膜,具有憎水、防霉、提高绝缘值、抗氧化等保护作用,可有效提高系统设备运行安全性和使用寿命。

3 绝缘气动清扫机的技术特点

所提出的绝缘子自动清扫机由落地式动力源和

表2 绝缘清洗剂的技术特性

技术参数	数值
沸点	50 ~ 75
密度/ $g \cdot (cm^3 \cdot 25^\circ C)^{-1}$	1.45 ~ 1.65
pH 值	6.9 ~ 7.1(中性)
燃点/ $^\circ C$	大于630
闪点/ $^\circ C$	大于72,带电清洗电力设备无火花或电弧
蒸汽可燃温度/ $^\circ C$	无
ODP 值 (臭氧消耗指数)	0
击穿电压/kV	> 70(平板电极)
绝缘性 (绝缘电阻)/GΩ	2.5
蒸发速度 及腐蚀性	在1 min内挥发,并将污秽充分溶解、剥离,并形成粉尘状腐蚀性对铜、锌、铝、铁等均无腐蚀;对聚酯、橡胶、塑料、玻璃、陶瓷、合成绝缘子等材料无腐蚀;对RTV涂料无腐蚀

手持清扫器两部分组成,利用空压机作为动力源。清扫器有高绝缘的操作杆、气管、气动马达和毛刷组成。气管内置于绝缘操作杆的手持的那一节中,而其余几节绝缘杆上,气管则是螺旋状缠绕在绝缘杆表面。气管的末端接入固定于绝缘杆端部的气动马达上。马达头部装有圆形旋转毛刷。绝缘杆和气动马达之间通过聚丙烯材料制成的接头连接,接头可以做到上下270°旋转,从而可以调整毛刷与绝缘子的接触角,做到清扫无死角。绝缘杆手持部分末端装有限位套,并连接有接地线,充分考虑操作人员的安全。

清扫机的接头是个多功能接头,除了可以固定气动马达外,也可以固定用来喷洒绝缘清洗剂的喷壶,喷壶可以根据绝缘的污秽程度来调节喷洒的剂量,见图1。绝缘气动清扫器的主要技术参数见表3。



图1 绝缘气动清扫机

表3 绝缘清扫器的主要技术参数

技术项目	技术参数
电压等级/kV	22
结构高度/m	3.6
主绝缘杆长度/m	2.3
绝缘操作杆 试验绝缘长度/m	1.8
耐受水平 试验电压/kV	440 耐受1 min
绝缘操作杆电阻值/GΩ	1
气管绝缘电阻值/GΩ	1
毛刷数量/个	下层硬毛,上层软毛刷头2个;软毛刷头3个
空压机输出压力/MPa	无油、无水的空气8
空压机的工作电压/kV	交流220
气动马达转速/($r \cdot min^{-1}$)	≥ 1400
手持清扫器部件重量/kg	4
使用环境温度与使用海拔高度/ $^\circ C$	-20 ~ 60 2000 m及以下

气动绝缘清扫器工作原理如下:

第1步:空压机对空气处理后,将无油无水的高压空气通过绝缘气管驱动气动马达,由气动马达带动清扫刷进行高速清扫,通过干扫可以一定程度地提高绝缘子的绝缘性能;

第2步:然后利用气动喷壶将绝缘清洗剂形成雾状均匀喷射于待清扫设备上,使污秽湿润而不形成挂流(污水流),充分溶解污秽积垢,清洗剂将在1 min内挥发干燥,并将污秽积垢转化为粉尘;

第3步:用气动马达带动清扫刷对设备进行清扫,可以做到绝缘清扫后绝缘清洁如新。

4 试验验证

装置试制成功后在南京地区某220 kV的变电站进行现场模拟带电清扫作业试验。清扫对象为某型220 kV变电所的支柱绝缘子,并进行清扫前后绝缘子上的盐密、灰密试验,以供对比。其中A相绝缘子的试验结果如表4所示。

表4 绝缘清扫试验记录

A相 绝缘子	电导率 $I/(\mu S \cdot cm^{-1})$	盐密 $I/(mg \cdot cm^{-2})$	灰密 $I/(mg \cdot cm^{-2})$
清扫前	752	0.156	1.023
清扫后	22.3	0.004	0.002

(下转第22页)

[10] 刘洪建 和伟 徐八林,等. 导线电压对其雷电绕击耐雷性能的影响[J]. 南方电网技术, 2011, 5(2): 72 - 75.

[11] 王志勇 余占清 李雨,等. 减小地线保护角对改善线路防雷性能的效果[J]. 高电压技术, 2011, 37(3): 622 - 628.

[12] 王茂成 张治取 滕杰,等. 1 000 kV 单回特高压交流输电线路的绕击防雷保护[J]. 电网技术, 2007, 32(1): 155 - 159.

[13] IEEE Std 1410 - 2004, IEEE Guide for Improving the

Lightning Performance of Electrical Power Overhead Distribution Lines[S].

[14] 陈国庆. 交流输电线路绕击仿真模型及同杆双回耐雷性能的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2003.

作者简介:
刘意(1982), 工学硕士, 工程师, 研究方向为高压输电线路运行状态监测与安全评价;
文艺(1988), 男, 工学硕士, 研究方向为输变电设备状态监测与故障诊断.

(收稿日期: 2015 - 03 - 19)

(上接第14页)

现场试验结果表明, 该装置在清扫速度、清扫质量、安全性能等方面表现出显著的效果。



图2 220 kV 变电站试验

5 结 论

这套基于气动原理和化学绝缘清洗剂的自由度绝缘清扫机具有下列优点: 1) 绝缘性能优良, 抗潮性能强, 确保带电作业人员的安全; 2) 机具重量轻, 减轻带电作业人员的劳动强度; 3) 刷头可以 270° 旋转, 配合绝缘操作杆与绝缘子的相对位置, 完全做到清扫不留死角; 4) 清洗剂呈雾状喷洒, 充分湿润污垢而不挂淋; 5) 易损零部件少, 维护方便, 使用寿命长。

这套装置研制成功后已经在 35 kV、110 kV、220 kV 的变电站多次进行现场清扫作业。装置在清扫速度、清扫质量、安全性能等方面表现出显著的效果, 既节约人力、物力、时间, 又减少了设备因停电清扫带来的经济损失, 具有广泛的应用前景。

参考文献

[1] 徐文澄, 喻华玉. BRQ 便携式软轴连接高压带电清扫器研制[J]. 中国电力, 2001, 34(12): 75 - 78.

[2] 李小永. “十八项反措”意义试析及实施浅议[J]. 电力系统通信, 2007(51): 4 - 6.

[3] 王瑜, 张平安. 500 kV 高压带电绝缘清洗[J]. 清洗世界, 2013, 29(10): 22 - 26.

[4] 张晋, 汲胜昌, 曹涛, 等. 电力设备带电清扫技术的现状及展望[J]. 绝缘材料, 2009, 42(2): 63 - 66.

[5] 向平, 向鹏, 周敏, 等. 车载式电力绝缘子清洗装置的设计及特点分析[J]. 重庆电力高等专科学校学报, 2012, 17(4): 89 - 94.

[6] 孙阳盛, 华月申. 高分子带电清洗技术在 220 kV 变电站中的应用[J]. 华东电力, 2013, 41(1): 238 - 240.

[7] 黄燕. 电气设备清洗剂的研制[J]. 化工技术与开发, 2010, 39(11): 23 - 25.

[8] 刘凯, 朱天容. 绝缘子污秽成分分析与清洗剂去污机理研究[J]. 高电压技术, 2012, 38(4): 892 - 898.

[9] 朱正国, 钟建灵. 变电站绝缘子清洗试验数据分析[J]. 高压电器, 2008, 44(5): 472 - 473.

[10] 李恒真, 叶晓君. 广州地区输电线路沿线绝缘子自然污秽化学成分的来源分析[J]. 高电压技术, 2011, 37(8): 1937 - 1943.

[11] 王彬, 梁曦东, 张轶博, 等. 交、直流电压下复合绝缘子和瓷绝缘子的自然积污试验[J]. 高电压技术, 2009, 35(9): 2322 - 2328.

[12] 荣小平. 高压电路防污闪带电清洗维护技术可行性研究[J]. 清洗世界, 2005, 21(9): 13 - 17.

[13] 陈昊. 负荷时间序列 GARCH—GED 模型厚尾动态结构研究[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(增): 378 - 381.

[14] 陈昊. 基于非高斯分布 GARCH 模型的负荷预测. 电力自动化设备[J]. 2008, 28(7): 65 - 68.

作者简介:
张涛(1979), 硕士, 工程师, 从事输变电运检管理和高压绝缘技术的研究.

(收稿日期: 2015 - 01 - 10)