

# 不同 RTV 喷涂方式对绝缘子污闪特性的影响研究

陈 杰<sup>1</sup>, 周 源<sup>2</sup>

(1.江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211100; 2.扬州供电公司, 江苏 扬州 225009)

**摘 要:** 目前变电站设备防污闪主要采用清扫、喷涂 RTV 涂料等方式, 但 RTV 涂料一般采用整涂方式, 喷涂后的设备, 因憎灰性能较差, 整体观感极差。本文就支柱绝缘子, 进行全喷涂、半喷涂等方式下防污闪效果进行电场仿真和试验评估。仿真结果表明 RTV 的涂覆与否或涂覆方式对支柱绝缘子整体的电场分布影响很小。污闪试验表明, 支柱绝缘子不喷涂 RTV 时污闪电压为 156.42kV, 半喷涂 RTV 时为 213.61kV, 全喷涂 RTV 时为 340.33kV; 亦即支柱绝缘子半喷涂 RTV、全喷涂 RTV 后, 其污闪电压分别提高至未喷涂 RTV 的 136.56%和 217.57%。

**关键词:** RTV 涂料; 支柱绝缘子; 电场仿真; 污闪

## 0 引言

近年来, 随着江苏工业化进程加快, 局部地区污染日益严重, 特别是特殊气象环境(如长时间大范围雾霾天气等)的出现, 电网设备外绝缘裕度不足现象明显。2013 年初, 曾多次出现绝缘子串放电现象, 甚至发生闪络事故。绝缘子的污闪由两个因素决定, 一是大气污染造成的绝缘子表面积污; 二是能使所积聚的污秽物质充分受潮的气象条件。在干燥气象条件下, 表面脏污的绝缘子仍有很高的绝缘强度。但在大雾、凝露、毛毛雨等气象条件下, 污层中的电解质成分会充分溶于水中, 在绝缘子表面形成导电通路, 使绝缘强度大大降低, 在正常运行电压下就可能导致绝缘子沿面闪络, 即污闪。

电力部门的防污闪措施也逐渐发展成熟: 人工清扫与测量等值盐密, 建立污秽分级标准、污区分布图与调爬, 确立污秽外绝缘配置原则和广泛使用有机复合绝缘。针对污闪发生各环节, 国内外防治污闪的措施主要分为三类: (1) 针对污秽积累: 维持绝缘子清洁; (2) 针对污层润湿: 防止表面形成连续的水膜; (3) 针对局部放电: 增加爬距, 减小表面泄漏电流。

尽管目前变电站设备防污闪主要采用清扫、喷涂 RTV 涂料等方式, 但 RTV 涂料一般采用整涂方式, 喷涂后的设备, 因憎灰性能较差, 整体观感极差。而变电站内设备形式多样, 直径不同, 设备周围电场分布也不相同, 采用同样的喷涂方式, 不但

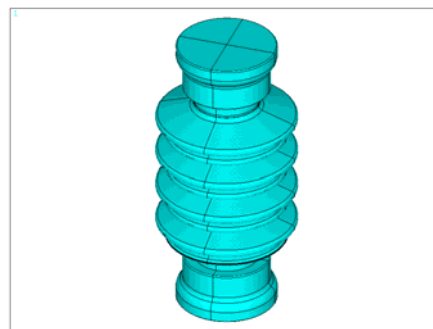
造成极大的浪费, 其防污闪效果的提升也有待研究。本文将就支柱绝缘子, 进行全喷涂、半喷涂等方式下防污闪效果进行评估, 以指导生产实际。

## 1 RTV 不同涂覆方式下支柱绝缘子电场仿真

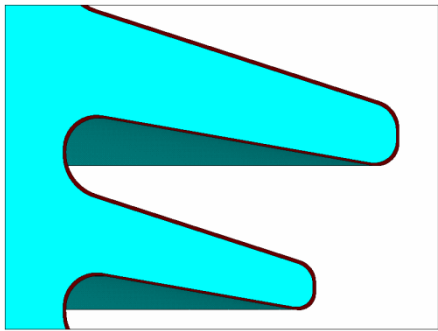
由于 RTV 与支柱绝缘子瓷件的介电常数略有不同, 将其涂覆在支柱绝缘子上后, 会使绝缘子表面的电场分布有所变化, 可能影响绝缘子的闪络特性, 因而有必要分析涂覆 RTV 前、后绝缘子电场分布的变化。本文运用电磁场仿真软件建立支柱绝缘子的三维有限元模型, 分析不同的 RTV 涂覆方式对支柱绝缘子表面电场的影响。

### 1.1 计算模型

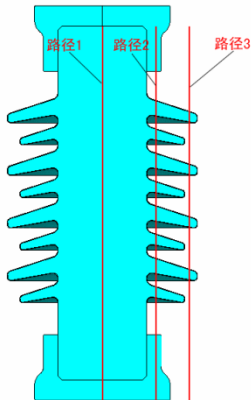
为了便于计算分析, 对支柱绝缘子的瓷件长度进行了简化, 取其中四组大小伞建立计算模型, 伞裙大小、间距及上下法兰的尺寸与实际一致, 如图 1 所示。



(a) 三维视图



(b) 涂覆 RTV 后局部放大图



(c) 路径示意图

图 1 支柱绝缘子简化后计算模型

计算中支柱绝缘子上法兰加载 110kV 相电压的峰值 89303V，下法兰加载 0 电位。

为了观测支柱绝缘子由下至上整体的电场分布状况，每种涂覆方式下载取了三条不同位置直线路径上的电场强度进行对比分析，路径位置如图 1（c）所示。

1.2 计算结果

由于 RTV 涂覆厚度仅为毫米级，因而其对支柱绝缘子整体及空间中的电位、电场分布趋势影响较小，如图 2、图 3 所示。

支柱绝缘子整体呈现上部电位、电场高，下部电位、电场相对较低的分布规律，最高场强出现在上法兰端部，瓷件或 RTV 与空气界面处空气中电场强度相对较高。

(1) 不涂覆 RTV 时电位、电场分布

不涂覆 RTV 时，伞裙附近电场分布如图 4 所示。伞裙中电场强度相对较低，在 500V/mm 以下，伞裙根部和头部空气中场强较高，在 500V/mm~1000V/mm 之间。

此时支柱绝缘子由下至上三条路径上的电场分布如图 5 所示。由图 5（a）可知，瓷件两端由于

法兰的屏蔽电场相对较低，其它部位则越往上场强越高；由图 5（b）和 5（c）可知，瓷件中的场强显著低于附近空气中的场强。

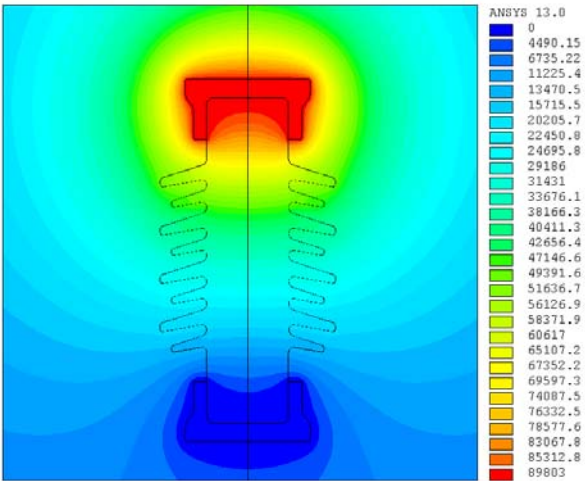


图 2 支柱绝缘子整体电位分布

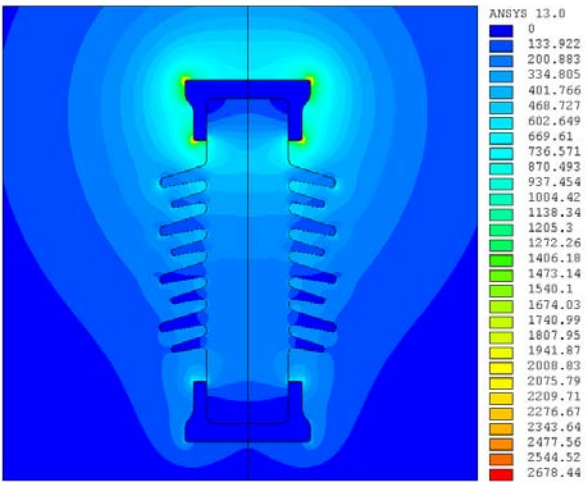


图 3 支柱绝缘子整体电场分布

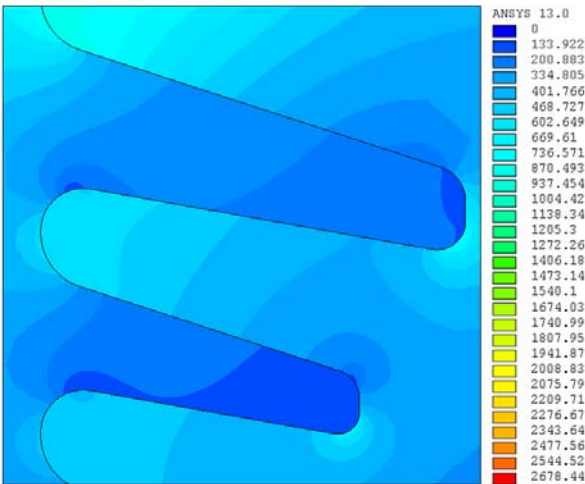
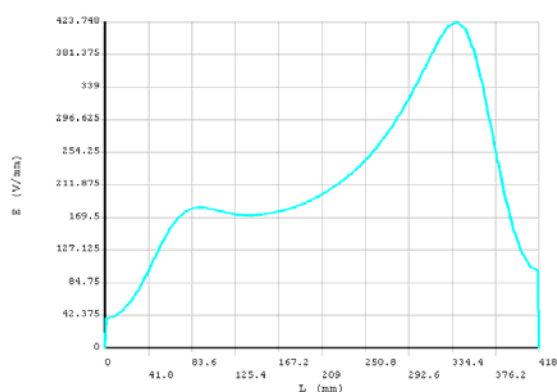
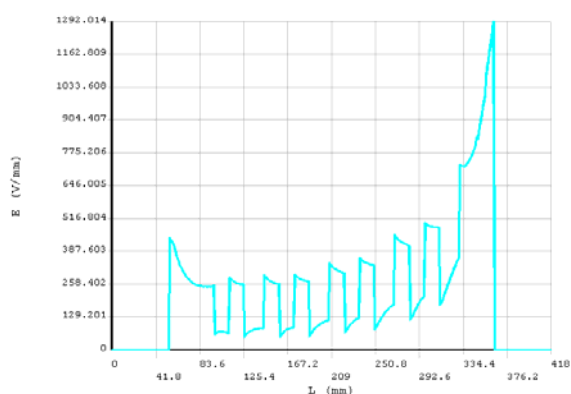


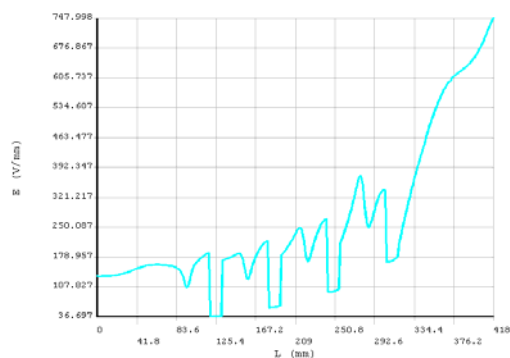
图 4 不涂覆 RTV 时伞裙附近电场分布



(a) 路径 1 上电场分布



(b) 路径 2 上电场分布



(c) 路径 3 上电场分布

图 5 不涂覆 RTV 时路径上的电场分布

## (2) 上半部涂覆 RTV 时电位、电场分布

支柱绝缘子上半部涂覆 RTV 后,伞裙附近电场分布如图 6 所示。RTV 的存在对瓷件场强影响较小,伞裙内部及附近空气中的电场分布规律与未涂覆 RTV 时情况相同。

此时支柱绝缘子由下至上三条路径上的电场分布如图 7 所示。与图 5 对比可知,支柱绝缘子上半部涂覆 RTV 后电场强度变化很小,电场分布规律一致。

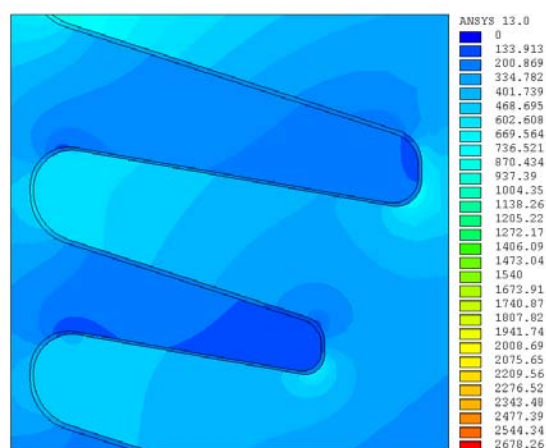
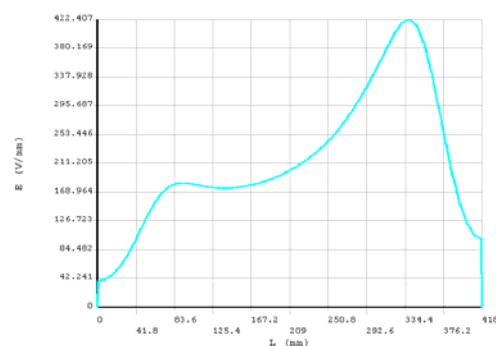
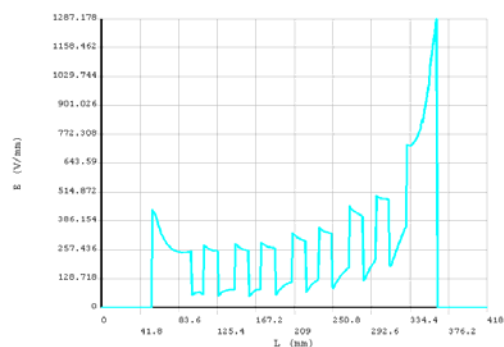


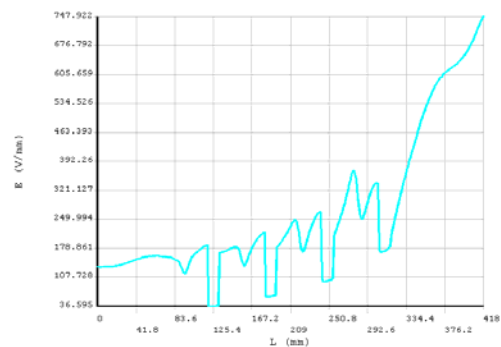
图 6 上半部涂覆 RTV 时伞裙附近电场分布



(a) 路径 1 上电场分布



(b) 路径 2 上电场分布



(c) 路径 3 上电场分布

图 7 上半部涂覆 RTV 时路径上的电场分布

（3）整体涂覆 RTV 时电位、电场分布

支柱绝缘子整体涂覆 RTV 后，伞裙内部及附近空气中的电场分布规律与未涂覆 RTV 时和半喷涂 RTV 时情况相同，电场分布规律一致（仿真图略）。

2 试验试品及方法

试验在江苏电科院污秽试验室进行，主要设备包括试验变压器、分压器、高压套管、调压器、喷雾装置、和实验控制台等。试验变压器的最高输出电压为 600kV，容量为 2400kVA；雾室尺寸为 17m×15m×15m；小型气象站，可采集的信息包括温度、湿度等；泄漏电流传感器和工控机，采集和处理泄漏电流。图 10 是试验设备原理图。

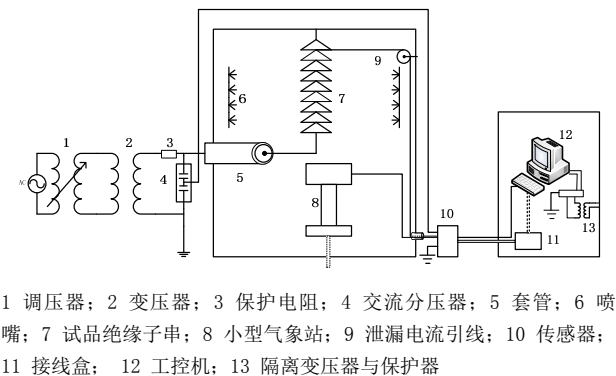


图 10 试验设备原理图

所用支柱绝缘子型号为 ZSW-126/6-4，爬电距离为 3906mm，干护距离≥950mm。

试验时，按照图 11 所示对支柱绝缘子进行区域划分为上半部和下半部，并通过对支柱绝缘子上下不同部位进行 RTV 防污闪涂料的喷涂配置，以研究其污闪特性。绝缘子表面防污闪涂料不同的涂刷配置方式如表 1 所示。

表 1 支柱不同 RTV 涂料喷涂配置方式

配置编号	RTV 喷涂方式
1	不喷涂
2	上半部喷涂
3	全喷涂



图 11 支柱绝缘子 RTV 不同涂刷配置方式

试验前用清洗剂仔细清洗绝缘子表面以除去所有污物和油脂的痕迹，然后用自来水彻底冲洗干净。清洗后的绝缘子晾干后涂污进行试验。选择 NaCl 和硅藻土分别模拟可溶物和不可溶物，选择 NSDD=1mg/cm<sup>2</sup>，ESDD=0.1 mg/cm<sup>2</sup>，盐和硅藻土按绝缘子表面积称取后，用一定量的蒸馏水搅拌均匀后涂于经过预处理的支柱绝缘子绝缘表面。

待上述人工污秽全部完成后，绝缘子整体静置 24 h，以使污层干燥并完成 RTV 憎水性的迁移后。

悬挂绝缘子后，采用起雾锅炉，全部锅炉开启后 1 个小时，相对湿度达到 90%并使得污秽充分受潮。

人工污秽闪络试验采用升压法，先对试品绝缘子在污秽试验室内进行起雾，使其达到饱和受潮，当受潮一段时间对试品绝缘子表面受潮状态进行观察，当下表面有大量水珠凝聚并且上表面出现大面积水膜，并且在边沿开始有水珠滴落时，即可认为已经达到饱和受潮。然后对试品绝缘子进行升压法闪络，闪络过程中，保持雾室处于饱和受潮环境。

升压法时，电压从零上升直至闪络发生，升压速度为 1 kV/s-2 kV/s。记录下首次闪络电压值，之后调压器回零，重新让绝缘子受潮 10 min，施加运行电压再次闪络，记录其闪络电压值，每个绝缘子如是重复 3 次；取 3 次闪络电压的算术平均值作为该状况下的最终污闪电压值，要注意 9 次闪络电压值与平均值的误差应该小于 15%，否则认为是无效值，需重新进行试验。

3 支柱绝缘子污闪试验结果

对上述 3 只绝缘子分别进行污闪试验，得到的试验数据如表 2 所示。

表 2 支柱绝缘子不同喷涂 RTV 形式下污闪试验结果

RTV 涂覆方式	闪络电压/kV	数据有效性
----------	---------	-------



	试验值	平均值	误差/%	是否有效
不喷涂	153.72	156.42	1.72	有效
	149.02		4.73	有效
	166.53		6.46	有效
	212.35		0.06	有效
半喷涂	209.23	213.61	2.05	有效
	219.26		2.64	有效
	330.64		2.85	有效
	346.61		1.84	有效
全喷涂	343.75	340.33	1.00	有效

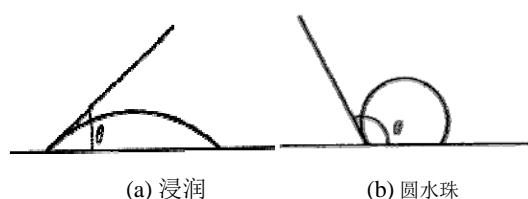
由表 2 可以看出, RTV 不同涂覆方式下, 支柱绝缘子污闪电压差别显著: 不喷涂时污闪电压为 156.42kV, 半喷涂时为 213.61kV, 全喷涂时为 340.33kV。且试验过程中, 各试验数据与平均值最大误差为 6.46% (不喷涂 RTV 第三次试验), 各试验数据均有效。

通过对上述试验结果进行分析, 发现支柱绝缘子半喷涂 RTV、全喷涂 RTV 后, 其污闪电压分别提高至未喷涂 RTV 的 136.56% 和 217.57%。且在试验过程中, 未喷涂 RTV 的支柱绝缘子在污闪发生前, 绝缘子表面整体呈现出明显的爬电现象; 而半喷涂 RTV、全喷涂 RTV 后, 支柱绝缘子表面的爬电现象未见明显爬电现象。

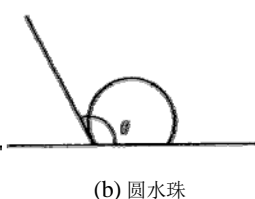


图 12 未喷涂 RTV 的支柱绝缘子污闪前爬电现象严重

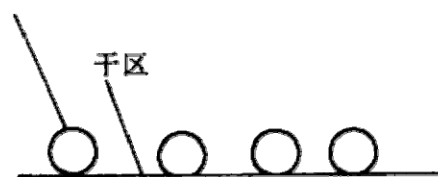
绝缘子发生污闪的基本条件之一, 是其表面的湿润。瓷和玻璃是亲水性材料, 污秽物本身也吸收水分。水落到这些材料表面, 使污层中的电解质电离并在其表面形成导电水膜, 如图 13 (a) 所示, 增大了外绝缘的表面电导, 最后导致放电。



(a) 浸润



(b) 圆水珠



(c) 多个圆水珠

图 13 水落到有无涂料绝缘子表面的情况

有 RTV 涂料的绝缘子是把具有良好憎水性的 RTV 涂料涂敷在瓷和玻璃绝缘子表面, 使亲水性的瓷和玻璃表面变为憎水性的 RTV 涂料表面, 且利用 RTV 涂料本身憎水性的迁移作用以及对污秽物的吞噬作用等, 使绝缘子表面的污层也具有一定的憎水性能。憎水性的表现, 就是水落至这些材料表面, 不会像水落到瓷表面那样浸润一片形成水膜, 而是彼此孤立的小圆水珠, 如图 13 (b) 所示, 其结果使绝缘子表面构成许多水珠和高电阻带相串联的放电模型, 如图 13 (C) 所示。保持着绝缘子表面具有较高的污层电阻, 限制了泄漏电流的发展, 提高了绝缘子污闪电压。

## 4 结论

(1) 建立了简化后的支柱绝缘子三维有限元计算模型, 分析了不同 RTV 涂覆方式下支柱绝缘子的电位、电场分布, 结果表明 RTV 的涂覆与否或涂覆方式对支柱绝缘子整体的电场分布影响很小。

(2) 支柱绝缘子污闪试验表明: 支柱绝缘子不喷涂 RTV 时污闪电压为 156.42kV, 半喷涂 RTV 时为 213.61kV, 全喷涂 RTV 时为 340.33kV; 亦即支柱绝缘子半喷涂 RTV、全喷涂 RTV 后, 其污闪电压分别提高至未喷涂 RTV 的 136.56% 和 217.57%。

(3) 对于污秽不太严重的地区, 可采用半喷涂方式, 节约人力物力。

### 参考文献:

- [1] DL/T 627-2012 绝缘子用常温固化硅橡胶防污闪涂料[S].
- [2] 关志成, 刘瑛岩, 周运翔, 等. 绝缘子及输变电设备外绝缘[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [3] 吴光亚, 陈原, 张胜才, 等. 绝缘子用常温固化硅橡胶防污闪涂料的应用[J]. 电力设备, 2007, 8(10): 22-26.
- [4] 关志成, 薛家麒. 一种新型绝缘子防污闪涂料—RTV[J]. 电力技术, 1990, 23(10): 10-13.

- [5] 高海峰.硅橡胶憎水迁移机理及其表面染污放电的研究  
[D].北京:清华大学,2007.

---

**作者简介:**

陈 杰 (1984—), 男, 安徽淮北人, 工程师, 工学博士,  
从事输电线路外绝缘研究;

周 源 (1967—), 女, 江苏扬州人, 高级工程师, 从事高  
电压技术管理。