

# Application of Composite Insulators Used in the Technology of Anti-Flashover in Transmission Lines

Qinglong Xu<sup>1</sup>, Yuanshuai Xu<sup>1</sup>, Jizong Zhao<sup>2</sup>, Yuanyuan Xu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>State Grid of China Shandong Laixi Power Supply Company, Qingdao

<sup>2</sup>State Grid of China Ningbo Power Supply Company, Ningbo

<sup>3</sup>State Grid of China Technical College, Jinan

Email: [330408973@qq.com](mailto:330408973@qq.com)

Received: Apr. 15<sup>th</sup>, 2014; revised: May 16<sup>th</sup>, 2014; accepted: May 28<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

In the operation of power system, insulator flashover is a common accident which has serious effect on high voltage transmission line. Some methods, such as cleaning contamination, creepage distance adjustment, using anti-flashover coating and using composite insulators, have been emerged with the development of anti-flashover technology. Among those methods, the composite insulators were widely used because of its excellent stain resistance characteristics. This paper reviews the mechanism of flash insulator pollution, measures of anti-flashover, structural characteristics and excellent performance of composite insulators. Finally, frequently asked questions in the course of its use were discussed.

## Keywords

Transmission Line, Anti-Flashover, Composite Insulators

---

# 复合绝缘子在输电线路防污闪技术中的应用

许青龙<sup>1</sup>, 许元帅<sup>1</sup>, 赵纪宗<sup>2</sup>, 许园园<sup>3</sup>

<sup>1</sup>国网山东莱西市供电公司, 青岛

<sup>2</sup>国网宁波供电公司, 宁波

<sup>3</sup>国网技术学院, 济南

Email: [330408973@qq.com](mailto:330408973@qq.com)

收稿日期: 2014年4月15日; 修回日期: 2014年5月16日; 录用日期: 2014年5月28日

---

## 摘要

电力系统运行中, 高压输电线路绝缘子污闪是一种常见的事故, 其对于输电线路的安全运行以及电力系统安全运行有着非常重要的影响。随着输电线路的防污闪技术研究不断深入, 清扫积污、调整爬电距离、使用防污闪涂料、采用复合绝缘子等技术应运而生。其中复合绝缘子以其优良的抗污特性, 被广泛应用于防污闪技术中。本文综述了绝缘子污闪的机理、输电线路防污闪措施、合成绝缘子结构特点、优良性能, 及其使用过程中的常见问题。

## 关键词

输电线路, 防污闪, 合成绝缘子

---

## 1. 引言

绝缘子是架空输电线路的重要部分, 绝缘子同时满足电气性能和机械性能两方面的要求。绝缘子直接关系到电网的稳定和安全运行。因此防止绝缘子发生闪络事故对于电力系统运行起着至关重要的作用。

输电线路绝缘子要求在大气过电压、内部过电压和长期运行电压下均能可靠运行。但沉积在绝缘子表面上的固体、液体和气体污秽颗粒与雾、露、毛毛雨、融冰、融雪等恶劣气象条件的作用, 将使绝缘子的电气强度大大降低, 从而使得输电线路不仅可能在过电压的作用下发生闪络, 更频繁的是在长期运行电压下发生污秽闪络, 造成停电事故。据统计, 由于污秽而引起的绝缘闪络事故次数目前在电网事故次数总数中已占第二位, 仅次于雷害事故, 而污闪事故造成的损失大约是雷害事故的 10 倍。

绝缘子污闪事故给电网造成的损失都是灾难性的, 必须采用相应的措施防止事故的发生, 保证电力系统的稳定和安全运行[1]-[5]。

## 2. 绝缘子污闪的机理

污闪放电是一个涉及到电、热和化学现象的错综复杂的变化过程。大体上可以分为以下四个阶段: 绝缘子表面的积污、绝缘子表面的湿润、局部放电的产生、局部放电的发展并导致闪络。

### 2.1. 绝缘子表面的积污

输变电设备外绝缘表面不可避免地会落下大气中的烟尘、扬尘等各种污秽物, 大气污染越严重的地区, 绝缘子的积污也越严重。一般说来, 绝缘子表面的积污是一个缓慢变化的过程, 在干旱少雨的季节里绝缘子表面的污秽量是逐渐积累的, 但在沿海地区海风的袭击可使污秽迅速建立。

### 2.2. 绝缘子表面的湿润

绝缘子表面的湿润过程与气象条件密切相关, 大雾、凝露、毛毛雨、雨夹雪、粘雪、溶雪、溶冰、雾凇、雨凇等对污秽绝缘子是极为不利的气象条件。在相对湿度较大的时间里, 污秽绝缘子表面容易湿润, 因而容易发生污闪。

在干燥的气候条件下, 绝缘子表面的污秽物并不能明显降低绝缘子表面的闪络电压。脏污和湿润是

构成污闪的两个基本条件，二者缺一不可。

脏污和湿润条件也可能会同时建立，例如在海风袭击下的海水飞溅、湿沉降、酸雨和酸雾等。这些都是可导致污闪的极为不利的气象条件。

### 2.3. 局部放电的产生

在潮湿的气象条件下，污秽绝缘子表面受潮湿润后，污秽物中的可溶物质会逐渐溶于水，在绝缘子的表面会形成一层具有一定导电性的水膜。污秽物中的可溶物质决定了水膜的电导率，污秽物中的不溶物质可起吸附水份的作用。此水膜构成了沿绝缘子表面导电的通道，从而有泄漏电流沿绝缘子表面流过。泄漏电流的大小不仅取决于绝缘子表面脏污的程度及污秽物的成份，而且和污秽物的湿润程度有关。

### 2.4. 局部放电的发展并导致闪络

如果绝缘子脏污比较严重，绝缘子表面又充分受潮，再加上绝缘子的泄漏距离较小，这些因素决定了绝缘子湿污层的电阻较小，从而会出现较强烈的局部放电现象。在这种条件下，跨越干区的放电形式为电弧放电。与这种放电形式相对应的泄漏电流脉冲值较大，可达数十或数百毫安，局部电弧越强烈，相应的泄漏电流值就越大。这种间歇脉冲状的放电现象的发生和发展也是随机的、不稳定的，在一定的条件下，局部电弧会逐渐沿面伸展并最终完成闪络。一旦所有绝缘子的干区都被电弧桥络，泄漏电流将决定于绝缘子串湿污层的电阻，此时泄漏电流大增，强烈的放电有可能发展成整串绝缘子的闪络。

## 3. 输电线路防污闪措施

1996年长江中下游6省1市和2001年辽宁、华北和河南电网的大面积污闪事故再次提醒人们，依靠大规模人工清扫建立起来的输变电设备外绝缘配置无法满足现代化大电网安全运行的需要，难以杜绝大面积污闪事故的发生。实现我国电网的有效防污闪设计，必须提高电网外绝缘的整体水平，做到“绝缘到位，留有裕度”。

### 3.1. 减少积污量

清扫绝缘子，如图1。为提高瓷绝缘子的抗污闪能力，应抓好绝缘子的清扫工作，对瓷绝缘子做到逢停必扫。清扫只是线路防污闪工作的辅助手段，而不是主要手段，要从根本上提高线路的抗污闪能力，才是防止输电线路发生污闪事故的可靠保证。

### 3.2. 调整爬电距离

对线路绝缘来讲，调整爬距就是增加绝缘子片数或换用耐污型绝缘子。增加绝缘片数存在影响导线



Figure 1. Cleaning insulators

图1. 清扫绝缘子

长度的问题,尤其是耐张串,导线增长引起跨越档弧垂增大,悬垂串增加片数也受到杆塔窗口尺寸的限制。较理想的办法是把标准型绝缘子换成耐污型绝缘子,或者改成V型串,如图2。后者倾斜安装可节省杆塔尺寸,而且,一般认为标准型绝缘子在V型串时的污闪电压可比悬垂串高25%~30%,但需要更改杆塔挂点,实施起来难度相对较大。

### 3.3. 采用防污闪涂料

对于耐张杆塔,在初次调爬时已经选用了与原普通绝缘子等高度且爬距最大的耐污绝缘子,如果继续调爬,在技术上较困难且工作量大,因此建议采用涂室温硫化硅橡胶RTV长效防污闪涂料的办法。RTV涂料是当前国内外认为性能优异的耐污固体涂层,根据在实验室内做的人工污秽试验,有RTV的绝缘子污闪电压是无RTV的2倍多,且RTV的增水性可以迁移到污层表面。

### 3.4. 采用复合绝缘子

复合绝缘子(如图3)比较细长,形状系数大,硅橡胶表面具有憎水性,使其具有较高的湿闪和污闪电压,能有效防止污闪事故的发生。至今为止,国内目前还没有复合绝缘子污闪的报告。根据运行经验,复合绝缘子可以免测零和清扫,减少了维护工作量。



Figure 2. V shape insulator string  
图 2. V型绝缘子串



Figure 3. Composite insulators  
图 3. 复合绝缘子

## 4. 复合绝缘子在防污技术中的应用及挑战

### 4.1. 复合绝缘子的广泛应用

在当今电力线路建设中，越来越多的采用了复合绝缘子，其应用的范围也越来越广。各电压等级的线路新建，特别是运行中的输电线路防污，通常选用复合绝缘子。复合绝缘子的广泛使用，主要有以下几方面的原因：1) 环境污染因素，大气中粉尘含量呈上升之势，通过对输电线路绝缘子表面的盐密测试，表明大部分区域积污量在加大，对输变电设备的防污闪又有了更高的要求。2) 复合绝缘子的制造工艺近年来飞速提高，质量较为成熟稳定，经受了挂网运行的检验，具有结构紧凑、重量轻、强度高、不清扫、不检零、不易破碎断裂以及优良的抗污性等优点。3) 在价格方面，复合绝缘子串与防污绝缘子串价格已相差不多。这些都为合成绝缘子近年的广泛应用奠定了基础[6]。

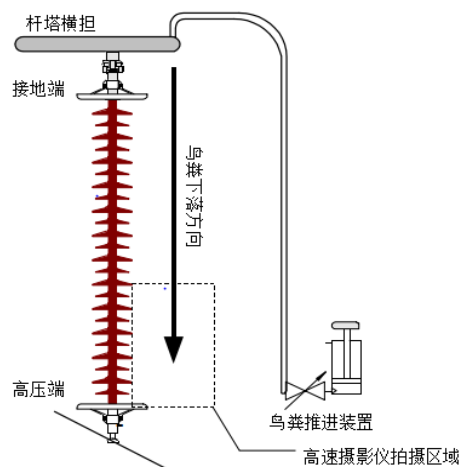
### 4.2. 采用复合绝缘子常见的问题

复合绝缘子因其优良耐污闪性能广泛用于输电线路防污应用中，提高了电网的抗污闪能力，效果较为明显。但同时，在使用合成绝缘子的过程中，需注意几方面的问题。

#### 4.2.1. 复合绝缘子的鸟粪闪络

复合绝缘子的鸟粪闪络的形成与发展过程可大致描述为：鸟粪排出后，以自由落体的方式下落，形成一细长的下落体。长条形鸟粪通道下落时由于首末端开始下落的时间有先后，最先开始下落的那段总是比最后下落的那段下落速度快。这样，随着下落时间的推移，鸟粪通道首末端间的距离将越来越大，即鸟粪通道越来越细、越来越长，鸟粪到达绝缘子高压端附近时的长度要比刚开始下落时长得多。当鸟粪通道的前端越来越接近绝缘子的高压端时，它们之间空气间隙的电场强度越来越强，当达到击穿场强后，间隙击穿，形成局部电弧。当鸟粪的电导率超过一定值和通道超过一定长度时，局部电弧最终导致绝缘子闪络。

对此，我们采用人工模拟鸟粪实验装置(如图 4)进行鸟粪闪络实验。得出的实验结论有：1) 鸟粪闪络与鸟粪的电导率、离均压环的距离、鸟粪的粘度有关。2) 鸟粪闪络并非沿面闪络，而是鸟粪下落过程中绝缘子周围的电场发生严重畸变而发生的空气间隙击穿。因鸟粪引起的合成绝缘子闪络，绝缘子表面



人工模拟鸟粪试验装置

Figure 4. Experimental device of artificial guano  
图 4. 人工模拟鸟粪试验装置

不一定都有鸟粪，导致闪络的鸟粪通道大部分被高温大电流的电弧所气化。因此，部分鸟粪闪络被误认为是不明原因闪络。

鸟粪闪络事故通常发生在 110 kV 和 220 kV 电压等级的电网中。

防止鸟粪闪络的措施有：防鸟害均压环；在鸟经常出没的地段加装防鸟刺；采用驱鸟器等方法。

#### 4.2.2. 复合绝缘子的脆断

芯棒是一种单向纤维增强复合材料，不是脆性材料。其短时拉伸断裂形态是纤维在芯棒中不同位置的逐渐断裂，同时伴随大量的纤维与树脂基体的分离分层现象，断口粗糙如扫帚形，如图 5。对于合成绝缘子芯棒而言，其短时拉伸断裂一般是从应力集中的金具与芯棒连接区域起。此外，芯棒在能导致绝缘子强度蠕变的负荷作用下的破坏形态也与此相似，被统称为芯棒的通常断裂模式。

#### 4.2.3. 内击穿

内击穿多发生在真空灌胶工艺生产的复合绝缘子，主要是灌胶时因真空度不够或胶固化收缩量大而形成气泡或气隙，在运行电压下气泡或气隙产生局部放电并沿轴向发展，当剩余的部分承受不了运行电压时，产生内击穿；也有雷击时产生的内击穿；也有因芯棒质量问题而产生的内击穿。

### 5. 不同的污染源对复合绝缘子的影响

#### 5.1. 海洋污秽对复合绝缘子的影响

沿海附近运行的合成绝缘子，经常受到海雾污染，海雾中含有一定量的盐份，附着在绝缘子表面的雾滴蒸发后将盐留在合成绝缘子的表面上，长此以往，复合绝缘子表面上积累一定量的盐份，在雾、露、毛毛雨等气象条件下，附着在合成绝缘子表面上的水份溶解其表面上的部分盐分，使水份的电导率增加，高电导率的水使合成绝缘子表面的憎水性很快丧失，电场集中在合成绝缘子下表面和杆径处，若均压环均压效果不好，严重的会产生局部放电。在进行湿闪试验时，因复合绝缘子表面污秽中灰盐比例低，含盐量高，合成绝缘子表面的憎水性丧失得快，湿闪电压降低，工频干湿闪电压差值较大，但仍能满足线路运行的需要。

#### 5.2. 水泥污秽对复合绝缘子的影响

对在水泥厂附近运行的复合绝缘子，跟踪进行过试验。以淄博局 220 kV 辛周线#61 杆为例，其处在水泥厂附近，周围环境污染严重。其左相运行近 8 个月的合成绝缘子，摘取后检查其表面有一层厚厚的水泥污秽，湿闪电压平均值仅为 357.68 kV(湿闪淋雨时间约 40 分钟)。由此可见水泥污秽对合成绝缘子的



Figure 5. Brittle fracture of mandrel

图 5. 复合绝缘子脆断



Figure 6. Composite insulators running six and a half years

图 6. 水泥厂附近运行 6 年半的复合绝缘子

影响很大。

该复合绝缘子在水泥厂附近运行一段时间后，由于降尘量大，复合绝缘子表面积污速度快，表面附有一层水泥污垢，水泥吸收空气中的水份，在复合绝缘子伞裙和护套表面形成一层半凝固状态的水泥污秽。这层污秽阻碍了憎水性的迁移，使污层表面的憎水性变差，甚至丧失，在雾、毛毛雨等气象条件下，根径部位产生局部电弧，在此局部电弧的长期作用下，护套和伞裙产生电蚀，部分伞裙被电蚀烧穿，护套烧损至芯棒。如图 6 为水泥厂附近运行 6 年半的复合绝缘子。

由此可见，水泥污秽对合成绝缘子表面的憎水性、憎水性的迁移性和憎水性的丧失和恢复特性影响较大，对复合绝缘子的安全运行具有致命的威胁(几种绝缘子之间比较，复合绝缘子在水泥厂附近运行应是最好的，运行几年没出现过问题，也没有进行清扫维护等)。因此，需加强在水泥污染环境运行的复合绝缘子检测。

## 6. 结论

本文综述了复合绝缘子在输电线路防污闪技术中的应用，主要结论如下：

1) 绝缘子污闪大体分为绝缘子表面的积污、绝缘子表面的湿润、局部放电的产生、局部放电的发展并导致闪络等四个阶段。

2) 输电线路防污闪措施主要有：减少积污量、调整爬电距离、采用防污闪涂料、采用复合绝缘子。

3) 采用复合绝缘子常见的问题大致有：复合绝缘子的鸟粪闪络、复合绝缘子的脆断、内击穿等。

4) 海洋污秽和水泥污秽对复合绝缘子的影响很大。

复合绝缘子在电网中的使用越来越广泛，随着科技的发展其制造工艺不断完善，质量和性能得到进一步的提高，实时掌握了解复合绝缘子的发展动向，将有利于电网的建设和安全运行。

## 参考文献 (References)

- [1] 张璐, 王超胜 (2013) 220kV 输电线路防污闪技术分析. *电网技术*, **7**, 12-14.
- [2] 袁红波, 张鸣 (2005) 佛山电网 110kV~500kV 输电线路防污闪实践. *电力标准化与计量*, **3**, 15-20.
- [3] 樊灵孟, 刘平原, 郑晓光, 何宏明 (2006) 广东电网污闪原因分析和防污对策. *电瓷避雷器*, **2**, 1-6.
- [4] 赵铭 (2010) 架空输电线路防污闪存在的问题及解决措施. *黑龙江电力*, **2**, 155-160.
- [5] 洪沿明 (2010) 浅谈 RTV 涂料在输电线路防污闪中的运用. *企业技术开发*, **11**, 65-66.
- [6] 李敬雄 (2001) 浅谈合成绝缘子. *四川电力技术*, **3**, 45-46.