

# 500 kV 进口合成绝缘子芯棒脆断原因分析及对策

刘洋<sup>1</sup>, 刘贞瑶<sup>1</sup>, 周志成<sup>1</sup>, 魏旭<sup>1</sup>, 李鸿泽<sup>2</sup>, 范晓东<sup>3</sup>

(1. 江苏省电力试验研究院有限公司, 江苏南京 211103; 2. 江苏省电力公司, 江苏南京 210024;  
3. 苏州供电公司, 江苏苏州 215000)

**摘要:**通过对一起合成绝缘子芯棒脆断事故的分析以及同批次运行的 500 kV 进口合成绝缘子的抽样试验, 分析了合成绝缘子芯棒脆断的原因, 发现该绝缘子芯棒脆断主要是由于端部密封不良及界面结构设计不合理, 造成酸蚀并最终导致芯棒机械性能下降而发生脆断, 同时, 对该类运行中合成绝缘子的使用提出了相应的对策, 以保证电网的安全可靠运行。

**关键词:**合成绝缘子; 脆断; 芯棒; 硅橡胶

**中图分类号:** TM216

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2011)02-0025-03

合成绝缘子以其重量轻、机械强度高、憎水性强、耐污闪性能好、不测零值和少维护等优点, 受到用户普遍认可和好评, 发展十分迅猛。江苏电网使用合成绝缘子较早, 目前 110~500 kV 交直流线路上运行的合成绝缘子已超过 26.5 万支。合成绝缘子分内外绝缘两部分, 外绝缘主要靠硅橡胶伞裙护套, 内绝缘主要依靠芯棒, 芯棒同时也是合成绝缘子机械负荷的承载部件, 内外绝缘主要通过密封胶进行绝缘密封, 目前合成绝缘子端部连接和密封技术已经经历了三代产品, 1991~1997 年第一代合成绝缘子采用真空灌胶内楔工艺, 1996~1999 年第二代合成绝缘子采用挤包穿伞内楔工艺, 2000 年至今第三代合成绝缘子采用挤包穿伞或整体注射压接工艺。随着合成绝缘子运行时间的增加, 早期合成绝缘子在压接工艺和端部密封的不成熟导致了多起芯棒脆断事故, 其中 2004 年浙江 500 kV 线路发生 3 起, 2002~2003 年广东 500 kV 线路发生 2 起, 2006~2007 年河南 220 kV 线路发生 2 起, 2009 年福建电网发生数起。芯棒脆断已成为当前合成绝缘子所发生的最严重的事故, 据不完全统计, 国内发生的合成绝缘子脆断故障已超过 20 起<sup>[1-4]</sup>, 产品涉及国外和国内的多个厂家, 造成导线掉落等电网恶性事故, 给电网安全带来巨大威胁。本文对江苏电网 500 kV 合成绝缘子芯棒脆断事故进行总结分析, 并提出相应的防范措施。

## 1 合成绝缘子事故概况

500 kV 5649 玉车线起始于玉山变电站, 止于车坊变电站。线路全长 16.19 km, 2010 年 6 月 13 日上午 7:49 巡线人员发现 17 号 A 相 (下相大号侧) 合成绝缘子断裂, 断串绝缘子型号为 99K6697/A, 为德

国赫斯特公司产品, 2001 年 3 月投运, 运行时间 9 年。合成绝缘子断裂发生在 17 号杆塔 A 相靠近导线侧高压端处, 距离金具约 30 cm。事故地段距离蓝天热电厂约 2.91 km, 距离吴淞江 1.49 km, 属于 D1 级污秽区。2007 年 5 月对该线路绝缘子进行了单串改为双串挂点, 因此断串事故未造成导线落地重大事故。现场照片见图 1。为了防止运行合成绝缘子再次发生芯棒脆断事故, 对同批次运行的绝缘子进行红外普测, 巡线发现 500 kV 5278 石山线 38 号杆塔 B 相北侧的合成绝缘子芯棒异常发热, 发热点集中在高压侧距离金具约 30 cm 处, 发热点温度为 26.02 °C (对比温度为 17.89 °C)。该绝缘子亦为德国赫斯特公司产品, 2001 年 3 月投运, 运行时间 9 年。该故障点距离断串绝缘子运行线路 7.48 km, 也属于 D1 级污秽区, 如图 2 所示。



图 1 合成绝缘子芯棒脆断现场图片

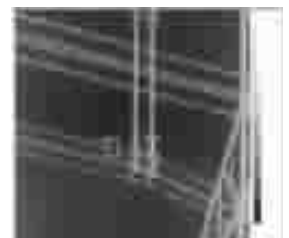


图 2 合成绝缘子红外异常发热

## 2 试验分析

### 2.1 外观检查

如图 3 所示, 断串合成绝缘子伞裙无破损, 表面覆盖一层致密污秽, 伞裙较硬, 靠近高压侧护套有一处开裂, 裂纹约 5 cm, 高压侧护套有多处蚀损点。端部金具与芯棒连接的密封处发现有裂缝, 局部地区密封胶脱落, 界面密封处为凹槽结构, 堆积了较多的污秽物。芯棒护套约 3 mm 厚, 芯棒呈不规则拉丝断裂状, 芯棒端口部位与棒轴成 90° 垂直, 断裂表面

光滑平整。

异常发热的合成绝缘子与断串绝缘子外观特征相似,伞裙无破损,表面污秽致密,伞裙较硬,高压护套侧多处蚀损点。端部金具锈蚀,金具与芯棒护套联接处出现密封胶脱落现象,如图4所示。

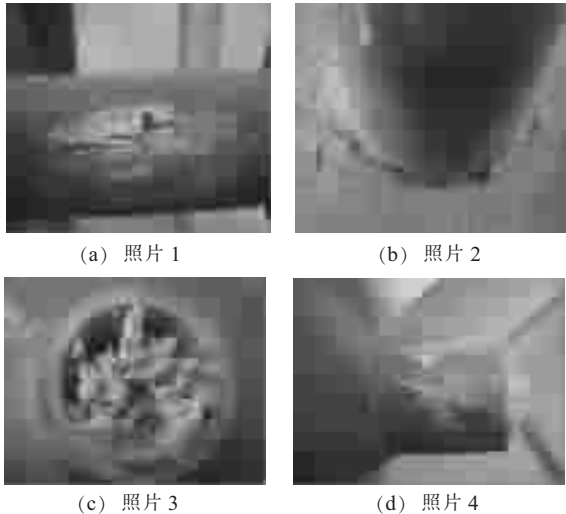


图3 断串合成绝缘子外观照片

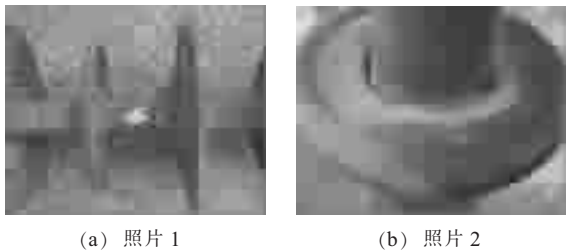


图4 异常发热合成绝缘子外观照片

## 2.2 憎水性试验

采用喷水分级法对两支合成绝缘子进行憎水性测试,分别按高压侧、中部、低压侧3个部分进行试验。试验结果发现,断串绝缘子高压侧憎水性为HC3,中部为HC4,低压侧为HC4。异常发热绝缘子高压侧憎水性为HC3,中部HC4,低压侧为HC3,见图5,6。按照DL/T 864—2004<sup>[5]</sup>标准判定准则要求,两支合成绝缘子憎水性良好,满足继续运行要求。

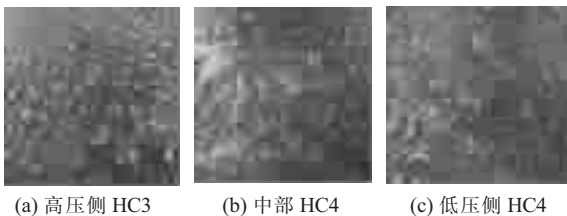


图5 断串绝缘子憎水性

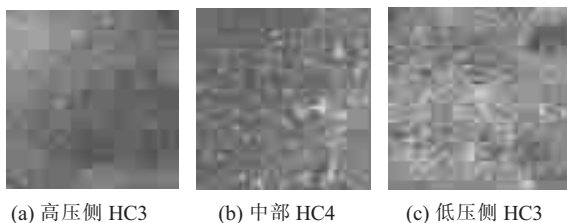


图6 异常发热绝缘子憎水性

## 2.3 机械试验

按照标准要求,对5278石山线发热绝缘子先进行50%额定机械负荷耐受试验,再进行水煮试验和陡波冲击电压试验。试验要求合成绝缘子应在50%额定机械负荷下耐受1 min而不损坏、不位移。

该合成绝缘子额定负荷为180 kN,将合成绝缘子固定在拉力试验机上,当施加90.4 kN拉力时,合成绝缘子发生断裂。绝缘子未通过50%额定机械负荷耐受试验。断裂后的芯棒颜色变为黄褐色,断口处的玻璃纤维均已酥脆,属脆性断裂并伴有拉丝现象,断裂部位与异常发热点位置吻合。根据DL/T864判定准则,该类绝缘子应退出运行。

## 3 故障原因分析

合成绝缘子憎水性良好,排除了绝缘子表面劣化造成的绝缘性能下降引起断串的可能。从外观可以看出,硅橡胶护套厚度较薄约3 mm,芯棒护套与金属界面处为凹槽结构,容易积水和污秽,设计不合理,密封胶工艺较差。5649玉车线合成绝缘子断串事故是由芯棒脆断引起,主要原因是长期运行后芯棒护套与金具界面部位密封胶出现脱落,由于高压端电场强度高,电晕放电使得空气发生电离生成氮氧化物 $\text{NO}_x$ ,在水和潮气的环境下发生反应生成弱硝酸,渗入芯棒后加剧了芯棒的腐蚀,另外,工业的发展使得环境污染下酸雨尤为普遍,酸雨通过端部密封部分直接与芯棒接触,在芯棒护套处长期烧蚀,由于绝缘子护套厚度薄,伞裙耐漏电起痕性能较差,导致护套逐渐烧穿,芯棒酸蚀后拉伸强度严重下降,芯棒脆化后强度一旦低于运行所承受的载荷时即发生断裂。合成绝缘子异常发热的原因与断串合成绝缘子相同,也是密封不良导致芯棒长期渗水或酸性物质,芯棒异常发热是脆断发生的早期症状,一旦继续运行将存在断串的安全隐患。

## 4 结束语

(1) 芯棒脆断是合成绝缘子护套与金具界面密封胶在运行中出现破损,脏污水长期入侵至芯棒,导致局部放电和酸蚀,芯棒强度下降至无法承受运行所受拉力时即被拉断。

(2) 芯棒脆断是一个长期积累的结果,芯棒发热是发生脆断的早期症状,且发热点通常集中在绝缘子高压端。

合成绝缘子经过了几代产品的发展,在界面密封、压接方式、材料配方方面取得长足的进步,逐渐成熟,早期的国内外合成绝缘子在材料和工艺技术落后,是目前线路运行需要重点关注的对象。通过

500 kV 合成绝缘子断串及发热缺陷的事故分析,给出以下几点建议:

(1) 尽早用新一代合成绝缘子更换已运行多年的早期合成绝缘子,消除输电线路隐患,保证电网安全可靠运行。

(2) 早期国外合成绝缘子护套厚度较薄,密封胶多采用室温硫化硅橡胶材料,密封性能差,存在安全隐患,建议加强对该类合成绝缘子的抽检试验。

(3) 建议线路维护部门加强对 2000 年前生产的合成绝缘子开展红外检测,及时发现各类隐性缺陷。

#### 参考文献:

[1] 包建强,余长水,周立波,等. 进口 500 kV 复合绝缘子断裂

的原因分析[J]. 绝缘材料,2009,42(5):71-76.

[2] 钱之银,包建强. 进口合成绝缘子断裂原因分析[J]. 高电压技术,2003,30(5):3-4.

[3] 张鸣,陈勉. 500 kV 罗北甲线合成绝缘子芯棒脆断原因分析[J]. 电网技术,2003,27(12):51-53.

[4] 张畅生,王晓刚,黄立虹. 500 kV 惠汕线合成绝缘子芯棒脆断事故分析[J]. 电网技术,2002,26(6):71-73.

[5] DL/T 864—2004, 标称电压高于 1 000 V 交流架空线路用复合绝缘子使用导则[S]. 北京:中国电力出版社,2004.

#### 作者简介:

刘洋(1982-),男,江西景德镇人,工程师,从事输电线路及电气外绝缘相关工作。

## Analysis and Countermeasures of Core Brittle Fracture of Imported Composite Insulator on 500 kV Transmission Line

LIU Yang<sup>1</sup>, LIU Zhen-yao<sup>1</sup>, ZHOU Zhi-cheng<sup>1</sup>, WEI Xu<sup>1</sup>, LI Hong-ze<sup>2</sup>, FAN Xiao-dong<sup>3</sup>

(1. Jiangsu Electric Power Research Institute Co. Ltd, Nanjing 211103, China;

2. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China; 3. Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215000, China)

**Abstract:** Through the study on the feature of fractured core of composite insulator in a certain accident and the sampling test of the imported composite insulator on the same lot operating on 500 kV transmission line, the reason of the core fracture of composite insulator is analyzed. The fracture reason is ascertained that the mechanical performance of core is degraded by acid erosion on account of poor sealing end and unreasonable interface design. At last, the countermeasures of such composite insulator in operation are given to ensure the safety and reliability of power system.

**Key words:** composite insulator; fracture; core; silicone rubber

(上接第 24 页)

次反冲洗压力较以往要高,当时因压力调整阀出问题,反冲洗水压力意外由原来的 2 bar 上升至 3.5 bar。可见开展发电机反冲洗工作时,压力低影响效果,应选择接近于发电机正常运行时的额定水压,现已将反冲洗的水压力标准改为 3.5 bar。

#### 4 结束语

上述为利港电厂近年来发电机在检运过程中遇到的一些重要问题及对问题的分析和处理,这些重要问题的及时解决,对于利港电厂发电机长年健康运行起到不可忽视作用。

#### 参考文献:

[1] 李伟清. 汽轮发电机故障检查分析及预防[M]. 北京:中国电力出版社,2002.

[2] 陈化钢. 电力设备预防性试验方法及诊断技术[M]. 北京:中国科学技术出版社,2001.

[3] QFSN-600~660-2 型汽轮发电机说明书[S]. 上海:上海汽轮发电机厂出版,2009.

[4] 国电发 1999-579 汽轮发电机运行规程[S]. 北京:中国电力出版社,1999.

#### 作者简介:

兰秀蔚(1973-),男,江苏溧阳人,电气工程师,长期从事电厂高压电气设备、技术管理工作。

## Research on Issues Occurred During Maintenance Period of Large-scale Power Plants

LAN Xiu-wei

(Jiangsu Ligang Power Generation Co. Ltd., Wuxi 214444, China)

**Abstract:** The issues associated with the generator stators, rotors and the accessory systems occurred during the maintenance period in recent years are introduced and analyzed in the paper. The conclusions can provide valuable reference for the operation, maintenance and management of generators in large-scale power plants.

**Key words:** generator; stator; rotor; winding bar; slot wedge; hydrogen-cooled device