

Transmission Line Fault Analysis of Electrical Insulation Components

PING Lin-tao ZHANG Yi-qun SHEN Si-mian

(Pingdingshan Power Supply Company, Pingdingshan 467000, China)

pdsplt@163.com

Abstract: Transmission Line is an important part of the line in the long run, the floating dust would be dirty, wind, snow, fog, heavy rain, high temperature, humidity, temperature changes, lightning, birds, the interference of external factors such as damage and impact, will be struck by lightning over-voltage, the system operating voltage, leakage current due to dirty short-term impact on the insulator will withstand the impact of current and arc current frequency transient impact; detailed grasp the line running, in-depth analysis of the common faults, scientific and effective precautionary measures taken to actively use the state maintenance, rapid elimination lack comprehensively enhance the line the whole life-cycle safety in working conditions and operational capabilities.

Keywords: Transmission Line; Electric; Insulation; Fault; Countermeasure

输电线路电气绝缘元件故障分析

平林涛 张逸群 申思勉

(平顶山供电公司, 河南省 平顶山市 467000)

pdsplt@163.com

【摘要】架空输电线路是电网重要的组成部分, 线路在长期运行中, 会受到污秽漂尘、大风、冰雪、大雾、大雨、高温、高湿、温差巨变、雷击、鸟害、外力破坏等因素的干扰和影响, 会受到雷击过电压、系统操作过电压、污秽引起的泄漏电流对绝缘体的短期影响, 会承受冲击电流和工频电弧电流瞬时冲击; 详细把握线路运行状态, 对常见故障进行深入分析, 采取科学有效的防范措施, 积极运用状态检修技术, 快速消缺, 全面提升线路全工况和全寿命安全运行能力。

【关键词】输电线路; 电气; 绝缘; 故障; 对策

0 引言

架空输电线路是电网重要的组成部分, 线路分布点多面广。面对这个开放的系统, 如何坚持科学发展观, 采取科学有效的防范措施, 全面提升线路全工况和全寿命安全运行能力, 提高线路设备完好率、提高设备可用率、降低线路事故率、降低线路非计划停用率、降低运行维护成本、推广应用现代化管理方法已经成为输电线路专业管理的永恒主题。

1 输电线路电气元器件故障原因分析及对策

1.1 瓷绝缘子

1.1.1 瓷绝缘子故障原因分析

瓷绝缘子是输电线路使用最广泛的电气元器件, 它承担了架空线路导线的长期电气绝缘和机械荷载,

绝缘子绝缘部分系无机材料具有良好的抗电腐蚀、抗老化、抗酸碱盐长期侵蚀, 公认使用寿命可达 30 年左右, 220kV 线路电瓷劣化率为千分之一, 当前世界上最好的高压电瓷年劣化率为十万分之一。下面对瓷绝缘子在运行中产生的十种劣化原因分析如下:

(1) 瓷件吸湿性劣化

瓷绝缘子的磁体是致密无气孔的不应有吸湿性, 由于制造方面的原因, 汝原料配方不当, 粉碎粒度不均匀, 烧烤火力不足等可能会造成吸湿性气孔, 这些细微气孔若和瓷裙表面的釉面的微裂隙相吻合, 就会不断的从空气中汲取水分, 使绝缘电阻逐年下降, 最终形成低值或零值瓷瓶, 根据资料统计耐张串比悬垂串瓷绝缘子的平均年劣化率高出 1-2 倍。检查方法: 将瓷裙剖一新鲜断面, 滴上一滴红墨水, 若出现颜色面积改变或呈现出蜘蛛丝状扩展, 则证明该瓷件有吸湿性, 可视为不合格的绝缘子。

(2) 瓷件中内外应力重叠性劣化

悬式绝缘子在制造中, 由于窑炉设备和烧成方面某些环节控制不好, 会造成不少的内应力, 由于瓷是一种多晶型构成的无机材料, 在烧结和冷却过程中, 结晶相要在一定温度和相应气氛下完全转化, 不完全时则产生内部应力和应力集中, 一般情况下, 内应力不可能造成瓷件损坏, 但是随着绝缘子的长期运行, 在时间、温度、负荷、机械、电气的作用, 会使内部晶型颗粒裂缝扩展热导致绝缘击穿。

(3) 瓷体微裂纹造成的劣化

瓷件的弹性模数微 $750000\text{kg}/\text{cm}^2$, 约为钢的 $1/3$, 弹性限度与破坏强度几乎一致, 约在 $350\text{kg}/\text{cm}^2$, 弹性变形的绝对量微 $350/750000$, 还不到钢的 0.05% , 这说明瓷的塑性变形等于零, 这是脆性材料的典型特征, 因此瓷件表面形态的微小改变在长期自然风化下会导致裂隙扩大而使绝缘全面破坏。

(4) 瓷绝缘子热膨胀造成的劣化

瓷的热膨胀系数 $3-5 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$; 水泥则为 $10 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$; 金属则为 $12 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, 当这些材料紧密粘接各自不能自由膨胀时, 一旦温度出现急剧变化, 将有可能产生很大温差应力, 导致水泥开裂或瓷件裂纹。

(5) 瓷绝缘子浇装水泥化学膨胀造成的劣化

水泥时绝缘子的粘结剂, 浇装完水泥体积随着硬化将缩小, 随后在运行中又吸收水份和二氧化碳并逐步时体积增大, 这种现象称为化学膨胀, 亦称为饱和膨胀, 水泥的弹性系数不超过瓷的 $1/3$, 故应力很小。根据电瓷行业资料, 在一定温度条件下, 高硅质瓷的绝缘子水泥膨胀大 0.3% , 可引起瓷头炸裂, 高铝质瓷绝缘子水泥膨胀大 0.5% , 可引起瓷头炸裂, 导致绝缘击穿。

(6) 瓷绝缘子浇装水泥内部水份冻结膨胀造成的劣化

水泥在钢帽内凝结后, 存在吸湿性气孔, 会产生微裂纹, 在寒冬多雪中运行, 水泥会吸收水份, 深夜冻结膨胀, 时裂隙增大, 白天温度上升, 水分溶解并向更深的地方渗透。反复循环, 时水泥产生鳞状裂纹龟裂, 导致绝缘子劣化。

(7) 瓷绝缘子金具电腐蚀造成的劣化

绝缘子钢帽钢脚在空气中氧化和交变电场作用下, 使金属表面的镀锌层变色老化、腐蚀损坏, 导致绝缘子劣化。

(8) 过电压造成的瓷绝缘子劣化

瓷绝缘子承受外部过电压(雷电)和内部过电压(操作谐振)会产生闪络放电, 因电弧引起的表面灼伤, 使绝缘电阻下降, 在电场中, 表面污脏可使电弧沿表面放电, 造成跳闸, 每施加一次高电压, 可使电瓷件受到陡波冲击, 产生类似材料的疲劳, 导致绝缘子劣化。特别是在污湿状态下, 瓷瓶串中又零值、低值绝缘子存在时, 改变了电压分布。使它加速达到疲劳极限和环境极限导致闪络跳闸。

(9) 瓷绝缘子内在缺陷造成的劣化

因制造原因筛选不好和烧结不好, 造成瓷质中含有导电物质、溶洞、针孔、小裂纹、冲撞性损伤等形成瓷绝缘子的隐性劣化。

(10) 机械过负荷造成的劣化

瓷绝缘子常年运行中的机械负荷一般在额定机电破坏荷载 $30\%-40\%$ 左右, 达到额定机电负荷对于完好绝缘子也是没有问题的, 在特殊工况下, 瞬时过负荷一般不会出现, 但是由于瓷绝缘子会出现吸湿、内外应力重叠、化学膨胀、冻结膨胀、过电压冲击等影响, 因此瓷绝缘子不允许过负荷运行, 一旦出现过负荷问题, 应及时更换瓷绝缘子串, 防止出现因疲劳产生掉串事故。

1.1.2 瓷绝缘子劣化防范对策

(1) 建立健全绝缘子运行档案, 按照运行状态的分类, 确定不同的瓷绝缘子检查周期, 针对不同的劣化源采取不同的测试手段。

(2) 加强定期监测, 应在瓷绝缘子投运后 $1-3$ 年内, (内部缺陷劣化高发期) 进行测零和测量分布电压, 更换零值和低值绝缘子。

(3) 对新安装的瓷绝缘子要进行认真外观检查, 对剔除存在缺陷的绝缘子, 对钢脚晃动的绝缘子应剔除, 使用 $5000\text{M}\Omega$ 逐片测量, 对低于 $300\text{M}\Omega$ 的绝缘子坚决剔除。

(4) 定期抽查绝缘子, 进行电器试验和拉力试验, 试品应选取山头、大跨越、风口、河湖湿地区、严重污秽区、雷击区、鸟害区、腐蚀区的绝缘子做试验样本, 有代表行的进行分析, 对危险点采取必要的技术措施, 超前防范。

(5) 加强对瓷绝缘子的盐密和灰密测量, 根据饱和盐密配置外绝缘, 根据测量结果指导盐密清扫。

1.2 钢化玻璃绝缘子

1.2.1 钢化玻璃绝缘子故障原因分析

钢化玻璃绝缘子是由石英砂、白云石、长石、石灰石和化工原料(如Na⁺)经高温溶成500℃的液体在制造成型的绝缘子,其组分相间物理、化学反应是完全均匀的,制品经钢化处理后,表面获得了均匀的分布压应力,显著提高了其抗拉强度,抗拉是瓷的2倍,击穿强度是瓷的3.4~4.3倍,它突出的特点是钢化玻璃的内应力不随时间延长而降低,可保持在整个运行种抗拉不衰减。因玻璃的介电系数是瓷的1.2~1.6倍,使得玻璃绝缘子具有较大的主电容,受旁路电容影响较小。成串使用时每片绝缘子分布电压也较为均匀,这是瓷和复合绝缘子不能具备的优点。钢化玻璃绝缘子存在的特点和缺点如下:

(1) 钢化玻璃绝缘子的自爆

由于制造过程中产生的内应力与冷却过程中外应力相叠加,产生应力差,在制成绝缘子成品后,一般应放置一段时间,或采取特殊的生产工艺消除内应力的影响然后再销售。此间出厂前已经淘汰了自爆的不合格产品,出厂投入运行后一年左右,出现第二个自爆高峰期,即零值自爆,钢化玻璃的自爆率(劣化率)一般在0.02%~0.06%,自爆后伞裙炸碎,缺陷明显,地面容易发现,残锤抗击破坏强度较高,根据资料,运行10年LXP-16钢化玻璃绝缘子自爆后抗拉强度仍达到187.13kN,确保导线不会落地。

(2) 钢化玻璃绝缘子碰撞

钢化玻璃绝缘子在工程安装。物资搬运中不能采用暴力撞击和摔打,一旦碰撞可能发生破碎,或留下隐性裂纹在运行中遇强对流天气或温差剧烈变化时容易出现自爆。

(3) 钢化玻璃绝缘子表面电弧灼伤

钢化玻璃绝缘子在遭受雷击闪络后或其他闪络后,虽然玻璃表面出现电弧灼伤痕迹,只要该绝缘子未出现自爆,仍可坚持运行。

1.2.2 钢化玻璃绝缘子劣化防范对策

(1) 建立健全钢化玻璃绝缘子运行档案,按照运行状态的分类,确定不同生产批次的钢化玻璃绝缘子检查周期,针对不同的劣化源采取不同的测试手段。

(2) 加强定期监测,应在钢化玻璃绝缘子投运后1~2年内,(内部缺陷劣化高发期),对自爆进行认真统计,发现自爆率成上升趋势,应提高警惕,及时采取技术措施。

(3) 定期抽查钢化玻璃绝缘子,进行拉力试验,试品应选取山头、大跨越、风口、河潮湿地区、严重

污秽区、雷击区、鸟害区、腐蚀区的绝缘子做试验样本,有代表性的进行分析,对危险点采取必要的技术措施,超前防范。

(4) 加强对钢化玻璃绝缘子的盐密和灰密测量,根据饱和盐密配置外绝缘,根据测量结果指导盐密清扫。

1.3 复合绝缘子

1.3.1 复合绝缘子伞裙的主要成份

复合绝缘子是棒形悬式有机硅橡胶绝缘子的简称。复合绝缘子与传统的瓷质绝缘子、玻璃绝缘子相比,具有质量轻、体积小、便于运输和安装、机械强度高以及耐污秽性能好等优点,同时在运行中可以免清扫,免预防性测试,可避免污闪事故。特别适用于城市电网和中等以上污秽地区使用。复合绝缘子伞裙的主要成份是聚硅氧烷(Polysiloxane)^[1],它是高摩尔质量的线性聚硅氧烷,是以Si-O键为主链的有规则重复排列的长键有机基聚合物。

1.3.2 复合绝缘子故障原因分析

(1) 近年来,虽然复合绝缘子的伞裙形状有较大的改善,但其伞裙形状的合理性不及瓷、玻璃绝缘子。伞径和伞径的伞裙形状易使相邻伞裙间局部爬电距离被空气短路和发生伞裙间飞弧间短接,使其爬电距离减少。尤其是在运行若干年后,憎水性完全或部分丧失后,这种现象更易发生。伞裙形状的不合理性也是目前运行复合绝缘子发生闪络的原因。

(2) 无论何种成型工艺所制造的复合绝缘子都是由多种不同介质组合而成,在制造过程中会残留一些气泡。在运行过程中也同样会产生新的气泡。这些微小的气泡就会形成游离并发展到击穿。

(3) 在运行工况较差的情况下,加之挂网运行较长的复合绝缘子表面已出现不同程度的老化和憎水性丧失或部分丧失,形成连续的导电层,使泄漏电流进一步增大了。

1.3.3 复合绝缘子制造中主要质量控制的关键点

(1) 复合绝缘子由于脱模上的困难,其伞裙直径难以同盘形悬式瓷、玻璃绝缘子的盘径大小一致,因此,早期复合绝缘子伞裙盘径和伞间距设计相比进行大量研究后,所确定的伞裙设计原则的盘形悬式瓷、玻璃绝缘子不大合理。当在长期高湿度大气条件下运行时,若复合绝缘子憎水性出现部分丧失或完全丧失时,易发生伞裙间飞弧短接而导致闪络事故,严重地

威胁电网安全可靠运行。目前,对于输电线路用复合绝缘子,其伞裙形状较以往有了大幅改进,基本上以“大小伞”、“三伞结构五伞组合”和“两大两中”三种伞型为主,伞径达到 200 毫米,伞间距达到了 140 毫米;对于各类空心复合绝缘子,要防止较为密集的伞裙结构设计易在大雨或暴雨下雨水连成链状,引起雨闪。因此,复合绝缘子伞裙形状的优化设计仍是一个需要系统研究的重点。

(2)复合空心绝缘子的芯体是玻璃纤维浸环氧树脂高温缠绕的,它同时承受机械应力、电应力、六氟化硫及其分解物的化学作用,大气中的水分可能由于设计缺陷、质量缺陷等进入内部,使玻璃纤维增强环氧树脂管发生劣化。并且,玻璃纤维增强环氧树脂管的膨胀系数接近于零,而铝合金的膨胀系数为 0.26×10^{-6} ,两者相差尽管很小,但气体无孔不入,为了保证产品在户外长期运行的可靠性与安全性,设计和制造时要能保证端部附件、玻璃纤维增强环氧树脂管和护套的界面联接和密封可靠。

(3)复合绝缘子关键是对压接过程的控制。现在已要求压接过程必须采用声发射探测法并配有其他有效的质量控制手段逐个检测,杜绝发生端部连接过压和欠压问题。

1.3.4 复合绝缘子劣化防范对策

(1)组织对 110 千伏及以上的所有输电线路安装的复合绝缘子进行大规模的现场调查,彻底摸清复合绝缘子基本情况,对不同批次、不同生产厂家的绝缘子进行跟踪监测。确定生产日期和生产型号、批次、生产商和安装时间,进一步建立健全绝缘子档案。

(2)积极参加复合绝缘子憎水性研究科研活动,科学评估电网挂网运行的复合绝缘子实际质量,根据全省运行工况,制定复合绝缘子更新计划,督促复合绝缘子生产商进一步提高生产质量。

(3)河南省电力公司根据运行单位的现场测试“四步法”(一看:外观检查、二照:红外测温、三掰:掰伞裙、四喷:测量憎水性)对复合绝缘子进行认真的检查,发现问题及时采取主动防范措施,及时更换局部的复合绝缘子。

References (参考文献)

[1]ZHANG Yi-qun. Composite Insulators loss of Hydrophobicity[J]. Electrical Technology.2009(01):45-48.

张逸群《复合绝缘子憎水性丧失的研究》[J].《电气技术》.2009(01):45-48

[2] Evaluation of Overhead Transmission Line Guide. Q/GDW 173—2008

《架空输电线路状态评价导则》Q/GDW 173—2008