

# 超高压输电线路绝缘子的可靠性评价

蓝健均<sup>1</sup>, 李大勇<sup>2</sup>

(1 四川省电力公司, 四川 成都 610041; 2 四川省电力设计院, 四川 成都 610072)

**摘要:**对输电线路绝缘子的可靠性评价准则和影响绝缘子可靠性的因素进行了分析,对输电线路绝缘子的安全施工和可靠运行具有参考价值。

**关键词:**输电线路;绝缘子;可靠性

**Abstract:** The reliability evaluation criteria of transmission line insulators and the factors influencing the reliability of insulators are analyzed. It gives a reference to the safe construction and reliable operation of transmission line insulators.

**Key words:** transmission line; insulator; reliability

**中图分类号:** TM261 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)03-0039-02

绝缘子性能的优劣直接影响到输电线路,特别是超高压(EHV)输电线路运行的可靠性和经济性。因此,如何评价 EHV 输电绝缘子的可靠性,已成为电力部门和绝缘子制造部门尤为关注的问题。

在架空输电线路现在使用的有三种材料绝缘子——瓷绝缘子、玻璃绝缘子和有机复合绝缘子。中国目前的生产现状是以生产和使用瓷绝缘子为主,玻璃绝缘子国内生产能力只占国内绝缘子总需求量的 20%;虽然复合绝缘子的研制起步较晚,由于近年来国内外在此技术上的进展较快,生产和使用量已呈上升态势。

## 1 对绝缘子可靠性评价的五项准则

运行的可靠性是决定绝缘子生命力的关键。最好的评价应是大量绝缘子在输电线路长期运行的统计结果和可靠性试验所反映出来的性能水平。因此,评价绝缘子应遵循下述准则。

### 1.1 寿命周期

产品在标准规定的使用条件下,能够保持其性能不低于出厂标准的最低使用年限为“寿命周期”。此项指标不仅反映绝缘子的安全使用期,也能反映输电线路投资的经济性。中国曾先后多次对运行 5~30 年的玻璃和瓷绝缘子进行机电性能跟踪对比试验。结果表明,玻璃绝缘子的使用寿命取决于金属附件,瓷绝缘子的使用寿命取决于绝缘件。玻璃绝缘子的寿命周期可达 40 年,而瓷绝缘子除全面采用国外先进制造技术后有可能较大幅度地延长其寿命周期外,

其平均寿命周期仅为 15~25 年;复合绝缘子经历了“三代”的发展,但从迄今世界范围内的试验及运行结果分析来看,其平均寿命周期只有 7 年。

### 1.2 失效率

运行中年失效绝缘子件数与运行绝缘子总件数之比称为年失效率。对于国产玻璃绝缘子,其寿命周期内平均失效率为  $(1\sim4) \times 10^{-4} / \text{a}$ 。对于国产瓷绝缘子的失效率,除个别合资企业产品将有可能降低外,比玻璃绝缘子约高 1~2 个数量级;对于复合绝缘子,由于寿命周期不能预测、复合材料配方和制造工艺还不能完全定型,其失效率很难预测。

### 1.3 失效检出率

绝缘子失效后能否检测出来的检出率对线路安全运行的影响是比失效率本身更为重要的因素。检出率取决于绝缘子失效的表现形式和失效的原因。玻璃绝缘子失效的表现形式是“自动破碎”和“零值自破”。“自破”不是老化,而是玻璃绝缘子失效的唯一表现形式,所以只需凭借目测就可方便地检测出失效的绝缘子,其失效检出率可达百分之百;瓷绝缘子失效的表现形式为头部隐蔽“零值”或“低值”,复合绝缘子失效的主要表现形式为伞裙蚀损以及隐蔽的复合“界面击穿”。此外,瓷和复合绝缘子失效的原因是材料的老化,而老化程度是时间的函数。老化是隐蔽的,因此给检测带来极大的困难,造成检出率极低;对于复合绝缘子,实际上根本无法检测。

### 1.4 事故率

年掉线次数与运行绝缘子件数之比称为年事故率。绝缘子掉串是架空输电线路最为严重的事故之

一。对于 EHV 输电,若造成大面积、长时间停电,后果则不堪设想。

国产玻璃绝缘子 30 年来的运行经验证明:在 220~500 kV 的输电线路,从来没有因为玻璃绝缘子失效而发生掉线事故,而国产瓷绝缘子掉线事故率则高达  $2 \times 10^{-5}$ 。前苏联的研究指出,即使失效率相同,瓷绝缘子较玻璃绝缘子事故率也至少高一个数量级。由于复合绝缘子为长棒式,掉线事故一般很少发生,但导致内绝缘击穿、芯棒断裂和强度下降的因素始终存在,一旦失效,事故概率会高于由多个元件组成的绝缘子串。

### 1.5 可靠性试验

为对绝缘子进行可靠性评价,国内外曾对玻璃绝缘子和瓷绝缘子作过各种方式的加速寿命试验和强制老化试验。如:陡波试验、热机试验、耐电弧强度试验、1 500 万次低频 (18.5 Hz) 和 200 万次高频 (185~200 Hz) 振动疲劳试验及内水压试验,都从不同角度得出结论:与玻璃绝缘子相反,绝大多数瓷绝缘子都不能通过这些试验。对于复合绝缘子,可靠性试验则还是一个有待于继续探索的课题。

## 2 影响绝缘子可靠性的三大因素

### 2.1 材料是基础

玻璃和瓷均属铝硅酸盐,瓷是三相(结晶相、玻璃相和气相)共存的不均质体,而玻璃是液态和玻璃态互为可逆的均质体。"均质性"是影响绝缘材料介电强度的重要因素。脆性材料的机械强度和热稳定性,不完全取决于材料力学性质,而极大程度上取决于材料内部的缺陷和表面状态。这就是钢化玻璃较之退火玻璃和瓷、上釉的瓷较不上釉的瓷强度高得多的原因。此外,玻璃的"热钢化"技术,赋予玻璃表层一个高达 100~250 MPa 的永久预应力。这就是"钢化玻璃"强度钢铁化,热稳定性高,较瓷不易老化和寿命长的道理。对于复合绝缘子的难点是解决有机材料在户外条件下的老化、芯棒的脆断和蠕变。可见,钢化玻璃既较瓷有得多的机械、绝缘强度,又较有机材料具有优良的抗老化性能,为绝缘子的可靠运行奠定了良好的基础。

### 2.2 产品结构和耐污性能是关键

玻璃绝缘子采用圆柱头结构,承力组件受力均匀。较之国内传统瓷绝缘子数十年一贯制的圆锥头结构,具有尺寸小、重量轻、强度高和电性能优良的特

点。由于玻璃的线膨胀系数较瓷大得多,外型尺寸较复合绝缘材料小得多,且与金属附件和水泥易连接,因而受力组件材质匹配良好。在各种气候条件下,不会象瓷绝缘子和复合绝缘子那样容易产生危险应力而导致老化。且复合绝缘子很难解决复合界面的结构质量。

但复合绝缘子具有优良的耐污性能,而且通常无需清扫。这就极大地减少了线路维护费用。就此而论,复合绝缘子发展前景广阔。玻璃的介电常数较大,因而单只玻璃绝缘子的干闪络电压比瓷绝缘子的低,但有较大的主电容来改善表面的电压分布,使之与瓷绝缘子串的闪络电压相当。加之玻璃绝缘子泄漏比距大,表面产生的凝聚物少,抵抗由污秽引起的热应力的能力强,因而不易因闪络而出现事故。华东电网十年来的污闪实践一再证明,玻璃绝缘子的耐污性能优于瓷绝缘子。

### 2.3 制造水平是保证

在国外,优质产品的生产均已形成相当经济规模,且具有工艺先进的高自动化生产线。因而,整个西欧和前苏联,玻璃绝缘子的市场占有率高达 90% 以上;整个北美复合绝缘子使用量为世界之最,占本地绝缘子市场总量的 25%~30%;在日本,瓷绝缘子则一统天下。在中国,所幸的是国产玻璃绝缘子通过技术引进和自己开发,已具备了上述生产条件。对于瓷和复合绝缘子,除个别合资企业外,上述制造水平在中国尚未达到。可见,选用何种产品还取决于产品的制造水平和对产品性能及使用环境的全面了解。

## 3 结 语

(1) 绝缘子的寿命周期、失效率、失效检出率、事故率和可靠性试验,应成为综合评价 EHV 绝缘子可靠性的五项准则。

(2) 扩大使用国产玻璃绝缘子在当前有着较大优势。作为玻璃绝缘子制造者应精益求精,有效降低绝缘子运行头几年的失效率。

(3) 复合绝缘子有着较为广阔的发展前景,应集中力量开发研制,以求在延缓材料老化和预测寿命周期上取得突破。

(4) 具有悠久生产历史的国产瓷绝缘子,应加大技术改造力度,在材料配方、产品结构和制造水平上取得更大的进展。

(收稿日期: 2008-12-26)