

220 kV 复合绝缘子机电性能试验研究

王建国¹, 方春华¹, 刘洋¹, 韩芳², 薛健¹, 陈俊杰¹

(1. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 沈阳市供电公司, 辽宁 沈阳 110006)

摘要: 复合绝缘子的电气及机械性能是复合绝缘子能够长期可靠运行的保证。笔者抽取了 11 支在东北地区挂网运行不同时间的 220 kV 复合绝缘子, 利用工频试验变压器、冲击电压发生器和机械拉力机分别进行了自然污秽闪络、人工污秽闪络、50% 雷电冲击闪络、50% 机械负荷耐受和机械破坏负荷等性能测试。结果表明: 复合绝缘子的电气性能仍然处于较高水平, 污闪电压和雷电冲击闪络电压与运行时间没有明显关系, 与绝缘子结构高度成正比关系, 早期楔式结构的复合绝缘子机械性能下降明显, 且 160 kN 吨位复合绝缘子机械强度降至额定负荷以下, 建议有关部门密切关注复合绝缘子机械性能的下降, 采用定期抽检的方法避免事故的发生。

关键词: 复合绝缘子; 电气性能; 机械性能

中图分类号: TM85

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2008)04-0332-03

Experimental Study on Electrical and Mechanical Properties of 220 kV Composite Insulators

WANG Jian-guo¹, FANG Chun-hua¹, LIU Yang¹, HAN Fang², XUE Jian¹, CHEN Jun-jie¹

(1. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Shenyang Electric Power Company, Shenyang 110006, China)

Abstract: Electrical and mechanical properties are the key factors for long service time of composite insulator. Eleven 220 kV composite insulators that had worked on the northeast grid of China for different time were selected and tested in order to investigate their electrical and mechanical properties. Power frequency transformer, impulse voltage generator and tensile machine were utilized to test the natural pollution flashover voltage, artificial pollution flashover voltage, 50% lightning flashover voltage, 50% specified mechanical load and maximum mechanical load. The test results show that the electrical property of the composite insulators are satisfactory, and the pollution flashover voltage and lightning flashover voltage increase with the height of composite insulator structure but are independent on working time. The mechanical property of the composite insulators represent dispersivity, where the mechanical property of early stage composite insulator with wedge structure even descends below the nominal value. It is therefore suggested that attention should be paid to mechanical property of composite insulator, and periodical detection be performed.

Key words: composite string insulator; electrical property; mechanical property

0 引言

复合绝缘子以其重量轻、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。目前我国挂网运行的绝缘子已经超过 200 万支, 使用量位居世界第二, 一批新建线路也开始全线采用复合绝缘子^[1-4]。沈阳供电公司从 1991 年开始在输电线路上使用复合绝缘子, 到 2005 年 12 月已经使用了 27 120 支, 其中

1998 年 6 月前已经使用了 7 386 支, 目前最早的已经运行了 15 年, 供电单位对长期运行的复合绝缘子的性能比较关心, 因此对不同年限运行的 220 kV 复合绝缘子的电气及机械性能进行试验, 对于保障输电线路的安全运行具有重要意义。

1 复合绝缘子电气性能试验

试验前进行了外观检查, 发现编号 970030 绝缘子伞裙护套有 7 片破损; 编号 93119 绝缘子伞裙护套有 3 片破损和 1 片裂纹; 编号 915181 绝缘子灰密较

收稿日期: 2007-04-29; 修回日期: 2007-11-23

基金项目: 沈阳供电公司科研资助项目(20060710)。

作者简介: 王建国(1968-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为高电压测试与电气绝缘技术, 雷电防护与电磁兼容。

严重,憎水性较差,为HC3级。将该批复合绝缘子分别进行自然污秽工频闪络电压、人工污秽工频闪络电压和50%雷电冲击闪络电压试验。

1.1 自然污秽工频闪络电压试验

为了真实反映复合绝缘子在潮湿环境下的污闪特性,将绝缘子放入雾室中进行试验,雾室尺寸为5 m×5 m×5 m,利用蒸汽发生器产生清洁雾注入雾室内,试验电源为2250kV·A/500kV工频变压器,为保证试验结果重复性较好,将蒸汽量保持稳定,复合绝缘子布置方式按实际运行方式,球头侧接高压,球帽侧接地,施加电压直至试品闪络,每个试品试

验3次,取3次闪络电压平均值作为该试品的闪络电压,试验每次间隔5~10 min,以保证绝缘子表面再次充分湿润,试验开始以伞裙表面湿润度达到充分饱和状态,即不滴不流为准,试验现场见图1,试验结果见表1。



图1 自然污秽工频闪络试验布置图

表1 自然污秽工频闪络电压试验结果

试品编号	运行时间/年	结构高度/cm	绝缘距离/cm	工频闪络电压值/kV				盐密值/(mg·cm ²)	灰密值/(mg·cm ²)
				1	2	3	平均值		
980165	8	225.0	195.0	619.7	612.6	635.1	622.4	0.016 1	0.173 3
970927	9	225.0	195.0	568.4	579.2	578.8	575.4	-	-
970030	9	232.0	201.0	359.9	364.6	356.1	360.2	-	-
93022	13	232.0	201.0	688.9	698.7	685.6	691.1	0.095 1	0.890 3
93119	13	232.0	201.0	395.1	400.2	400.8	398.6	0.094 8	0.710 2
920078	14	232.0	201.0	673.1	650.8	669.8	664.5	-	-
915193	15	215.0	188.0	501.4	527.9	553.5	527.6	0.077 6	1.371 1
915181	15	215.0	188.0	224.8	273.5	276.0	258.1	0.080 0	2.557 3

从表1可以看出:复合绝缘子自然污秽闪络电压与运行时间没有明显关系;复合绝缘子自然污秽闪络电压随绝缘距离增加而增大;复合绝缘子自然污闪电压是线电压的1.17~3.14倍,分散性较大,其中部分绝缘子污闪电压较低,主要原因为伞裙破损多、憎水性较差和表面污秽严重。

1.2 人工污秽工频闪络电压试验

试验前按照DL/T 859-2004^[5]、GB/T 4585.2-1991^[6]要求将复合绝缘子表面用乙醇和去离子水进行清洗并放置实验室环境干燥24 h,为模拟完全丧

失憎水性的复合绝缘子的工频闪络电压,在人工涂污后1 h内进行试验,污液由一定比例的硅藻土、氯化钠及适量的去离子水配制而成,为了考核绝缘子在严酷条件下的污闪特性,污液按盐密0.4 mg/cm²、灰密2.0 mg/cm²进行配制。采用定量涂刷法将污液均匀地涂刷到复合绝缘子上。待污层干燥后测试绝缘子憎水性,发现绝缘子憎水性几乎丧失,为HC6级,将试品放入雾室中进行试验,每个试品试验3次,取3次闪络电压平均值作为该支绝缘子的工频闪络电压,试验结果见表2。

表2 人工污秽工频闪络电压试验结果

试品编号	运行时间/年	结构高度/cm	绝缘距离/cm	工频闪络电压值/kV			
				1	2	3	平均值
980165	8	225.0	195.0	440.1	281.3	291.9	399.7
970927	9	225.0	195.0	418.2	395.2	339.7	371.7
970030	9	232.0	201.0	350.2	357.2	321.8	335.0
93022	13	232.0	201.0	408.4	332.9	377.5	393.7
93119	13	232.0	201.0	284.0	395.2	273.7	277.8
920078	14	232.0	201.0	384.6	275.8	352.3	365.6
915193	15	215.0	188.0	371.8	360.0	352.8	358.2
915181	15	215.0	188.0	281.3	350.0	279.0	284.1

从表2可知:人工污秽试验环境条件严酷,其污闪电压相为线电压和1.29~1.82倍,较自然污秽污闪电压下降42%左右;编号915181人工污闪电压反而高于自然污闪电压,这可能是由于人工涂灰低于其自然污秽时的灰密;该批复合绝缘子在严酷的环境条件下,污闪电压仍能满足运行要求;复合绝缘子人工污闪电压分散性较小,污闪电压与运行时间没有明显关系;伞裙护套破损对污闪

电压影响显著。

1.3 50%雷电冲击闪络电压试验

利用冲击电压发生器进行50%雷电冲击闪络电压试验,采用升降法来选取接近于50%闪络电压水平的一个电压 U_0 作为基准点,再选取一个约为 U_0 的3%的电压间距 U_0 。在 U_0 点施加一次冲击,如果不发生闪络,则下次施加 U_0+U_0 的冲击电压,如果在 U_0 水平上发生闪络,则下次施加 U_0-U_0 的冲击

电压，以此重复 30 次来确定 50%冲击闪络电压幅值。试验温度为 17.5℃，大气压 102.3 kPa，绝对湿度为 13.5 g/m³。根据文[7]要求，利用校正因数对测得的电压值换算到标准参考大气条件下的电压值，试验见图 2，试验结果见表 3。

从表 3 可知：复合绝缘子雷电冲击闪络电压与运行时间没有明显关系；复合绝缘子的雷电冲



图 2 220 kV 复合绝缘子雷电冲击闪络试验

击闪络电压与绝缘子的结构高度成正比，结构高度越大，雷电冲击闪络电压越高；复合绝缘子雷电冲击闪络电压水平均能满足运行要求且有较大的裕度；复合绝缘子伞裙破损等对雷电冲击闪络电压没有显著的影响。

2 复合绝缘子机械性能试验

复合绝缘子在长期运行过程中，除了承受系统出现各种电压外，还要承担来自导线所产生的各种机械力，因此复合绝缘子的机械性能在电网可靠运行中起到非常重要的作用。按照文[8]要求，利用高压复合绝缘子拉压机进行机械性能试验，机械性能试验包括 50%额定机械负荷耐受和机械破坏负荷试验，试验结果见表 4 及图 3~5。

从表 4 结果可知：复合绝缘子均能够满足

表 3 50%雷电冲击闪络电压试验结果

试品编号	运行时间/年	结构高度/cm	绝缘距离/cm	有无带均压环	结构高度/cm	雷击闪络平均值/kV	
						实测值	校正值
915193	15	225.0	195.0		216.0	1 631.6	1 611.8
915181	15	225.0	195.0		216.4	1 658.3	1 638.2
920078	14	232.0	201.0		232.0	1 728.5	1 707.5
93022	13	232.0	201.0	有	232.0	1 671.4	1 651.1
93119	13	232.0	201.0		233.0	1 700.8	1 680.2
970030	9	232.0	201.0		232.0	1 944.2	1 920.6
970927	9	215.0	188.0		216.5	1 501.2	1 483.0
980165	8	215.0	188.0		216.9	1 514.4	1 496.0
970927	9	215.0	188.0	无	216.5	1 700.8	1 680.2
980165	8	215.0	188.0		216.9	1 673.0	1 652.7

表 4 220kV/70kN、220kV/160kN复合绝缘子机械破坏负荷试验结果

试品编号		运行时间/年		额定负荷/kN		破坏负荷/kN		破坏形式		端部工艺	
220kV/ 70kN	220kV/ 160kN	220kV/ 70kN	220kV/ 160kN	220kV/ 70kN	220kV/ 160kN	220kV/ 70kN	220kV/ 160kN	220kV/ 70kN	220kV/ 160kN	220kV/ 70kN	220kV/ 160kN
915181	93022	15	13	100	160	109.7	103.7	球头拉断	球头抽芯	外楔	外楔
915193	93052	15	13	100	160	140.2	109.1	球头拉断	球头抽芯	外楔	外楔
915208	93119	15	13	100	160	145.1	129.1	球头抽出	球头抽芯	外楔	外楔
920078	970030	14	9	100	160	101.5	224.3	球头抽芯	球头拉断	外楔	外楔
970855		9		100		176.3		球头抽芯		内楔	
970927		9		100		180.7		球帽抽芯		内楔	
980165		8		100		112.0		球头拉断		内楔	

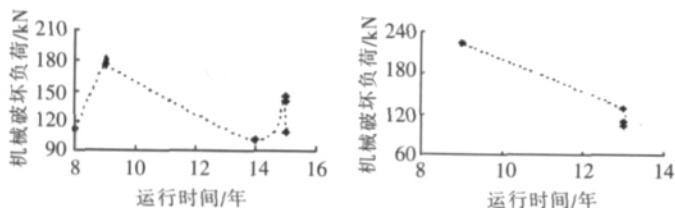


图 3 100、160 kN 绝缘子机械破坏负荷与运行时间的关系



图 4 复合绝缘子球头拉断



图 5 复合绝缘子球头抽芯

50%额定机械负荷耐受的要求；不同运行时间的复合绝缘子机械破坏强度具有分散性，可能是由于不同运行环境以及加工工艺的分散性造成的；随

着运行时间的增加，复合绝缘子机械破坏负荷呈下降趋势，已运行 13 年以上的复合绝缘子机械破坏负荷已经接近甚至低于额定机械负荷；(下转第 346 页)

神经网络的输入, 击穿电压作为网络的输出, 利用神经网络得到了输入和输出之间的映射关系。从同一起点出发运行的相同变压器油即使在不同的变压器中运行, 参数间的关联性仍然可以保证。

(3) 研究结果表明, 用基于改进 BP 算法的多参数关联模型预测变压器油的击穿电压, 预测结果与实际值之间的相对误差基本都在 5% 以下, 比基于 BP 算法的精度高。神经网络直接利用实测数据进行预测, 能有效地减少其它因素的干扰, 提高了神经网络的预测精度。

参考文献:

- [1] 翟季青, 刘志清. 变压器故障诊断的综述 [J]. 电力设备, 2003, 4(6): 60-61.
- [2] 阎春雨. 采用油中溶解气体分析法判断变压器故障应注意的事项 [J]. 变压器, 2006, 43(9): 38-41.
- [3] 刘一, 倪远平. 三比值灰关联度分析的变压器故障诊断法 [J]. 高压电技术, 2002, 28(10): 16-17, 27.
- [4] 吴晓辉, 刘炯, 梁永春, 等. 支持向量机在电力变压器故障诊断中的应用 [J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(6): 722-726.
- [5] 董玉杰, 许合利, 卢波. 基于灰色理论的矿用变压器故障诊断方法研究 [J]. 煤矿机械, 2006, 27(2): 358-360.
- [6] 熊浩, 孙才新, 廖瑞金. 基于核可能性聚类算法和油中溶解气体分析的电力变压器故障诊断研究 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(20): 162-166.
- [7] 尚勇, 闫春江, 严璋, 等. 基于信息融合的大型油浸电力

- 变压器故障诊断 [J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(7): 115-118.
- [8] 钱旭耀. 变压器油及相关故障诊断处理技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [9] 宋斌, 杨铃君, 于萍, 等. 多参数关联分析研究变压器油的热老化性能 [J]. 高电压技术, 2005, 31(1): 17-19.
- [10] 张胜寒, 范永哲, 陈颖敏. 基于 BP 神经网络的汽轮机转子钢热脆化性能的预测 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(23): 110-113.
- [11] 秦彦磊, 陆愈实. 基于 BP 神经网络模型的矿井通风可靠性研究 [J]. 工业安全与环保, 2006, 32(2): 48-50.
- [12] DIAZ C, CONDE J E, ESTEVEZ D, et al. Application of Multivariate Analysis and Artificial Neural Networks for the Differentiation of Red Wines from the Canary Islands According to the Island of Origin [J]. Agric. Food Chem., 2003, 51(15): 4303-4307.
- [13] CHEN S C, LIN S W, TSENG T Y, LIN H C. Optimization of Back-propagation Network Using Simulated Annealing Approach [C]// IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2006: 2819-2824.
- [14] 赵志勇, 张志礼, 李永利. 基于 MATLAB 的 BP 神经网络计算铁矿产品成本 [J]. 河北理工学院学报, 2003, 25(4): 78-83.
- [15] 胡任, 韩赞东, 王克争. 基于 BP 神经网络预测静置电池的剩余电量 [J]. 电池, 2006, 36(1): 58-59.
- [16] 史真惠, 朱守真, 郑竞宏, 等. 改进 BP 神经网络在负荷动静比例确定中的应用 [J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7): 25-29.
- [17] 谢开贵, 李春燕, 周家启. 基于神经网络的负荷组合预测模型研究 [J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(7): 85-89.

(上接第 334 页)

100 kN 复合绝缘子机械破坏负荷为额定负荷 1.01 ~ 1.80 倍, 160 kN 复合绝缘子机械破坏负荷为额定负荷 0.65 ~ 1.40 倍, 160 kN 吨位的复合绝缘子机械性能下降严重。

3 结语

(1) 不同运行年限的 220 kV 复合绝缘子的电气性能仍然保持较高水平, 随着绝缘子结构高度的增加, 污闪电压和雷击闪络电压与运行时间没有明显的关系, 与结构高度成正比关系。

(2) 伞裙破损、表面积污以及憎水性都对复合绝缘子污闪电压有一定影响, 应加强在线运行复合绝缘子外观的观测。

(3) 复合绝缘子机械强度均高于 50% 额定机械负荷, 随着运行时间的增加, 早期外楔式结构的复合绝缘子机械强度有所下降, 运行 13 年以上的复合绝缘子机械破坏负荷已经接近甚至低于额定机械负荷, 复合绝缘子压接方式和运行环境的不同是导致机械强度具有分散性的主要原因。

(4) 建议加强检测运行 13 年以上的复合绝缘子机械性能, 密切关注 160 kN 吨位复合绝缘子的机械强度下降问题, 定期进行抽检, 以避免电网事故的发生。

参考文献:

- [1] 崔江流, 宿志一, 易辉. 我国硅橡胶合成绝缘子的应用与展望 [J]. 中国电力, 1999, 32(1): 38-41.
- [2] 闫永利, 闫军, 郭福根, 等. 运行复合绝缘子电气及机械性能的试验研究 [J]. 内蒙古电力技术, 2004, 3(22): 7-10.
- [3] 张文亮, 吴维宁, 吴光亚, 等. 我国绝缘子的发展现状与应用前景 [J]. 高电压技术, 2004, 30(1): 10-12.
- [4] 吴光亚, 蔡炜, 罗真海, 等. 有机复合绝缘子运行性能分析 [J]. 高电压技术, 2000, 26(2): 59-64.
- [5] DL/T 859-2004. 高压交流系统用复合绝缘子人工污秽试验 [S].
- [6] GB/T 4585.2-1991. 交流系统用高压绝缘子人工污秽试验方法 固体层法 [S].
- [7] GB/T 775.2-2003. 绝缘子试验方法 第 2 部分: 电气试验方法 [S].
- [8] GB/T 775.3-2006. 绝缘子试验方法 第 3 部分: 机械试验方法 [S].