[绝缘子]

基于多元技术手段分析失效瓷支柱绝缘子

文/庄建煌[1] 林丹丹[2] 林俊超[1] 洪毅诚[3] 韩纪层[3]
1.国网福建省电力有限公司莆田供电公司；2.国网福建省电力有限公司超高压分公司；3.国网福建省电力有限公司电力科学研究院

通过分析某供电公司某变220 kV变电站一起瓷支柱绝缘子歪斜事故，开展宏观分析、安装受力分析、有限元应力分析及超声波检测分析等多元技术手段分析，发现该站某瓷支柱绝缘子存在绝缘子本身质量缺陷。针对该问题，提出了强化瓷质绝缘子检测培训、加强监督管理与巡查等相应的预防对策。

2019年07月20日下午，某供电公司2#主变压器220 kV侧24A3与24A7之间B相瓷支柱绝缘子向24A3侧歪斜，如图1所示。经现场技术人员对该瓷支柱绝缘子进行检查，确认为下节瓷绝缘子根部与法兰交界处断裂，断裂面位于瓷体与下部法兰盘上表面的连接处，连接处的水泥胶装发生脱落，断面贯穿整个瓷体截面，如图2所示。已知该瓷支柱绝缘子型号为ZSW-220/10 K-3，系湖南某设备厂2013年生产，并于2015年在该变电站投运。据悉，该供电公司2#主变压器220 kV侧断裂瓷支柱绝缘子是由上部金属法兰盘、中部瓷体和下部金属法兰盘组成。为查找其断裂原因，技术人员对现场情况进行全面勘查，同时对该瓷支柱绝缘子进行失效分析。

图1 歪斜的瓷支柱绝缘子

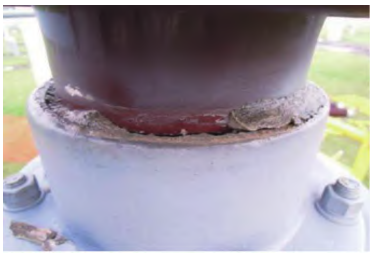

图2 瓷支柱绝缘子断裂处

试验方法及结果

1. 断口宏观分析

断裂瓷支柱绝缘子断口的宏观形貌如图3所示。断裂截面呈银灰色，越接近中心颜色越深，为黑芯的典型特征。断口芯部分为三层，尺寸为ϕ168 mm、ϕ73 mm及ϕ18 mm，其中心明显存在长约10 mm的条状裂纹。

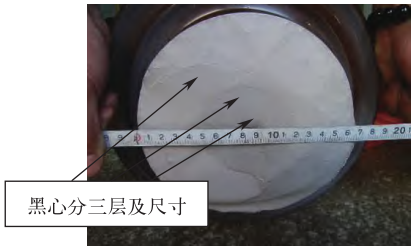

图3 断裂瓷支柱绝缘子断口形貌

2. 结构设计、安装受力分析

对断裂瓷绝缘子的安装情况进行现场勘查发现，其底部法兰盘未与支撑水泥杆安装法兰盘完全贴合。断裂瓷绝缘子法兰盘安装情况如图4所示，由于靠近24A7旁路刀开关侧的一颗螺栓垫片放置于两个法兰盘之间，而相邻螺栓也未加垫片，导致断裂瓷支柱绝缘子底部仅受该安装错误螺栓与对面螺栓两点的支撑力，造成其平稳度低。利用水平尺测量法兰盘底部的水平度断裂瓷支柱绝缘子底部的水平度如图5所示，可以发现其安装时并未处于水平位置。

图4　断裂瓷支柱绝缘子法兰盘安装情况

图5　断裂瓷支柱绝缘子底部的水平度

此外，现场勘查还发现，24A3与24A7连接导线B相两水泥支撑柱相距约12 m，导线截面积1 440 mm^2，为双导线结构。断裂瓷支柱绝缘子与24A7相距4 m，与24A3相距8 m。由于跨度不对称使瓷支柱绝缘子两侧受力不均，24A3侧导线悬垂相比于24A7侧较大，瓷支柱绝缘子受24A3侧导线的拉力作用较大，瓷体与下部法兰盘连接处近24A3侧受压，近24A7侧受拉。

3. 高压瓷支柱绝缘子有限元应力分析

瓷支柱绝缘子受力主要来自导线和绝缘子自身重量，及各种自然条件下如风载、覆冰及结构附加外力等引起的载荷。瓷支柱绝缘子的动态疲劳和循环疲劳的载荷受力涉及因素较多且计算复杂，而其静态载荷受力分析是绝缘子强度设计计算的重要内容。通过对绝缘子的拉应力和剪应力进行有限元分析计算结果如图6所示。从拉应力集中部位（图中红色区域）刚好在隔离开关支柱瓷绝缘子下瓷体下法兰附近；剪应力分布图中，最大剪应力分布在整个圆周上，分析计算结果进一步说明了本次瓷支柱绝缘子断裂部位发生在下法兰面约20 mm区域的原因。

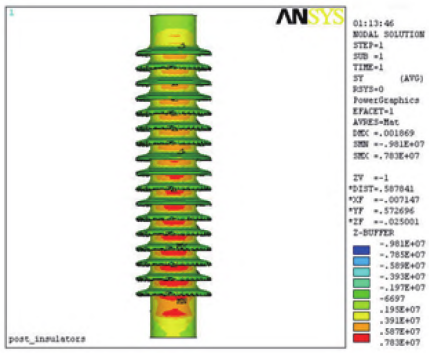

图6　瓷支柱绝缘子下节拉应力分布

4. 自然环境因素分析

从该地市提供的天气预报资料可知，7月初该地市天气连续几天处于高温、干燥状态，而到7月中旬，是暴雨、阵雨及温度急剧回落下的潮湿天气。瓷质绝缘子、水泥及铸铁法兰热胀冷缩膨胀系数不同，在连续交变温度下产生附加应力。

5. 超声波检测分析

依据该省电力公司发布的《瓷支柱绝缘子超声波检验技术导则》，对该断裂瓷支柱绝缘子进行超声波检测，检测选取断口处和上法兰两处进行探伤，如图7所示。经探伤发现，断口处缺陷：波幅DAC+8 dB，深约44 mm（距表面），长整圈；上法兰处缺陷：波幅DAC+9 dB，深约46 mm（距表面），长整圈。以上两处缺陷依据导则均判为不合格，如图8、图9所示。

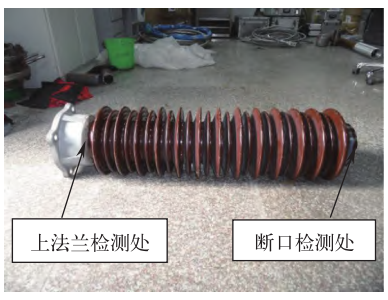

图7　超声波检测位置图示

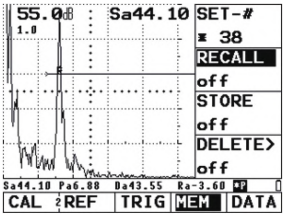

图8　断口处缺陷反射波形图

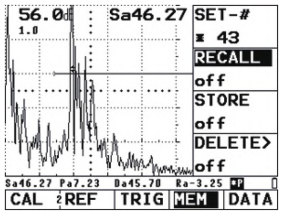

图9　上法兰处缺陷反射波形图

从超声波检测结果可以看出，若该瓷支柱绝缘子做了100%入网检测或投运后，并依据管理规定进行了检测，该超标缺陷是可以检出的。由于该供电公司在上次年检时，超声波探伤仪尚未配置到位，未能开展探伤检测，故无相应的技术报告。

事故原因综合分析

本次研究，通过对断裂瓷支柱绝缘子展开宏观分析、安装受力分析、有限元应力分析及超声波检测分析等综合分析，得出以下几点原因：

1）断口分析表明，断裂瓷支柱绝缘子的原料黏土化学成分不稳定，黏土中含较多有机质和碳素（与煤系的沉积型黏土有关），烧结过程中，未能将有机质和碳素完全分解和氧化掉，保留在坯体内的碳素在还原期无法完全燃烧，从而形成黑芯，造成瓷支柱绝缘子的质量存在严重缺陷，这是导致断裂的主要原因。

2）从现场分析可知，因设计及安装原因致使瓷支柱绝缘子长期受到不对称的一侧受拉，一侧受压外力作用，及近期半个月的天气因素产生的附加外力触发下是导致其断裂的外在原因。

3）超声波检测分析表明，该断裂瓷支柱绝缘子整个芯部存在直径约76 mm的黑芯，与端口宏观检查结果一致。另外，从超声波反射波形可知，芯部材料晶粒粗大，与宏观检查黑芯呈絮状结果也一致。以上结果进一步说明黑芯的存在造成瓷支柱绝缘子的强度严重下降，且芯部存在极大的内应力，因而芯部出现裂纹。

结束语

通过本次分析可得，该供电公司2#主变压器220 kV侧24A3与24A7之间B相瓷支柱绝缘子因其本身质量存在严重的黑芯缺陷，其所能承受的拉、剪应力大大降低，这是导致断裂的主要原因。设计结构不合理和安装偏斜造成瓷支柱绝缘子受力极不均匀，在高温、干燥和潮湿的交变天气下，及产生膨胀伸缩不均的附加应力共同作用下，触发绝缘子在最薄弱环节的表面缺陷处诱发裂纹源，并最终发生脆性断裂。通过本次研究分析，本文提出了以下几点防范措施：

1）立即核查该供电公司某变同类型、同厂家的瓷支柱绝缘子数量。

2）运行中加强对瓷支柱绝缘子的巡查工作。

3）尽可能提前安排对湖南某设备厂生产的所有瓷支柱绝缘子进行超声波探伤。

4）加强对瓷支柱绝缘子的入网检测工作。

5）加强瓷支柱绝缘子的监督管理工作及强化瓷质绝缘子检测人员的培训工作。**EA**

（收稿日期：2020-10-26）

参考文献

[1] 欧阳文敏，杨俊，王成昊，等．500 kV高压直流断路器支架绝缘设计[J]．电网技术，2020，44(3)：1175-1179．

[2] 刘文晖，庞小峰，王增彬，等．550 kV剪刀式隔离开关支柱瓷绝缘子断裂分析及解决方案[J]．广东电力，2020，33(6)：114-121．

[3] 黄晔凯，俞晓鹏，马骁，等．线路柱式瓷绝缘子抗弯曲性能研究[J]．机电一体化，2020，26(Z1)：52-57．

[4] 陈重洪，庄建煌，林俊超，等．瓷支柱绝缘子带电状态检测系统的研制[J]．高压电器，2020，56(7)：212-217．

[5] 唐信，范亚洲．一起线路氧化锌避雷器故障原因分析及防范措施探讨[J]．电网技术，2012(6)：1-3．

[6] 王琼，侯宇嘉，褚文超，等．支柱绝缘子断裂原因分析及其隐患排查方法[J]．电瓷避雷器，2020(3)：213-218．

[7] 杨海涛，陈庆涛，丁国成，等．高压支柱瓷绝缘子力学特性分析及断裂机理研究[J]．电瓷避雷器，2017(4)：178-183．

[8] 周龙武，黎诗义，汤文胜，等．防冰型复合绝缘子性能评估方法[J]．电气应用，2020，39(2)：53-58.