

35kV AIS 开关柜绝缘故障跳闸分析及 整改方案

由恒远^{1,2} 姜伦³ 梁晓洪⁴

(1. 青岛特锐德电气股份有限公司 2. 四川山地轨道交通技术研究院 3. 济南铁路局青岛供电段
4. 重庆轨道四号线建设运营有限公司)

摘要: 35kV 空气绝缘 (AIS) 开关柜体积相对紧凑, 如果环境控制不够完善, 凝露情况时有发生, 本文针对一起凝露引起的跳闸事故进行分析, 综合各种因素, 得出凝露发生的直接因素是由开关柜内部母排加热产生的“烟囱”效应与外部高温高温差环境共同作用造成的。从全面杜绝环境凝露和控制局放条件两个方向上, 项目的整改措施是更换已经碳化的绝缘件, 优化环境控制, 优化控制母排局放, 并加强运维管理。

关键词: 35kV 开关柜; AIS; 凝露; 烟囱效应

2024.08.DQGY
34

0 引言

35kV 开关柜考虑安装尺寸及重量等因素, 柜体设计得比较紧凑, 如柜内各关键绝缘距离采用复合绝缘来实现绝缘加强, 那么电气间隙多处均小于单纯以空气作为绝缘介质的规定, 对使用过程的绝缘性能下降, 埋下了隐患。近年来全国中压 10~35kV 开关柜事故频发。据统计, 6~10kV 断路器及开关柜事故中, 绝缘事故达 38%, 35kV 级绝缘事故达 25%, 事故原因主要是外绝缘损坏、绝缘子闪络和相间闪络^[1]。开关柜的绝缘问题主要有绝缘击穿、表面放电和局部放电等问题。产生绝缘问题的外部原因主要有污秽积存、雨雪冰冻、沙尘盐雾、电磁干扰等环境因素; 产生绝缘问题的内部原因主要是绝缘材料的劣化, 设计不合理或者存在缺陷等^[2]。

1 事故现象及分析

35kV 某变电站 35kV 开关室内 1# 变压器出线柜母线室内闪络短路, 将开关柜母线室顶盖掀开, 并发生速断跳闸。

跳闸后, 随即在现场进行勘察分析:

1) 开门进入配电室后, 室内有明显的臭氧味道, 打开开关柜门后更加明显, 说明开关柜出现长时间大量的闪络放电。

2) 观察 2 段母线在运行的开关柜, 在后门观察窗可以看到明显的触头盒对侧板的持续放电。绝缘问题已经是普遍现象, 存在开关柜已经因为长期的放电形成通路, 绝缘问题很严重。

3) 配电室内湿度过大, 实测为 85%, 温度为 37°C, 由于周围有水沟和农田, 配电室在无空调的情

况下，长期有凝露的产生条件（此时户外环境湿度为90%以上）。

4) 开关柜电缆沟内干燥无积水，开关柜电缆室内虽有放电痕迹，SMC绝缘板也有部分碳化痕迹，但是，碳化程度不严重，绝缘件表面放电痕迹不够深，说明问题不在常见的电缆室。

5) 配电室母线室打开后，开关柜内的SMC绝缘板上和套管上有明显的水迹，母线室内有多处的放电痕迹。穿墙套管和绝缘板均有多处碳化，母线室底部尚有积水，说明母线室的问题最为严重，也是这次故障的发生位置。

6) 根据现场开关柜顶盖的锈蚀情况分析，靠近变电站西进出大门处4面开关柜的顶盖锈蚀严重，尤其是变压器出线柜的顶盖锈蚀严重（这是此次故障分析的重点，后面独立分析）。

7) 停电5000V绝缘耐压测试，只有2~5MΩ，并且发现部分位置有明显持续的放电点，放电点已经严重碳化，尤其是变压器出线柜。说明开关柜经历长时间放电，已经无法恢复，只能更换部分绝缘件。

8) 在绝缘件凝露位置发现白色盐结晶，变电站四周有河沟，另外距海较近，存在盐雾侵蚀。另外开关柜顶盖锈蚀过于严重，存在加速锈蚀的因素，初步判断是盐雾引起^[3]。

9) 触头盒内部铜排搭接处，PT端子搭接处及流互搭接处铜排头出现明显的放射性的绝缘劣化，判断铜排工艺制造简陋，用粗砂轮打磨，倒角太大，尤其是触头盒内铜排搭接端不是正圆弧形。

本事故分析最大的难点在于变压器出线柜的锈蚀情况相对其他柜体特别严重，尤其是母线室上顶盖，已经严重锈蚀（见图1）。而旁边的开关柜顶盖却无锈蚀，尤其是开关柜东侧柜体顶盖几乎无痕迹，而西侧顶盖上有部分的锈迹。因此判断西侧可能是凝露问题的源头。从配电室内部结构简图（见图2）中可以看

到，西侧有进出配电室的检修门，且有通风窗。综合地理环境分析，变电站位于胶东地区，四周有河流和农田，西北风从西门进入配电室就成为最大的隐患。

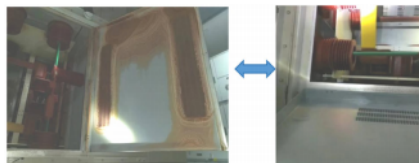


图1 变压器出线柜顶盖与旁边顶盖锈蚀程度对比图

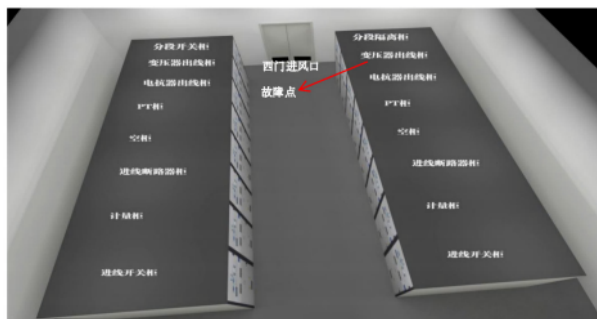


图2 配电室内部结构简图

环境的湿度和温差是造成此次事故的关键，因此，开关柜故障后，采取的紧急措施是，增加空调和除湿机，经过除湿机干燥，封堵西部通风窗，恢复供电后，短时间内将开关柜中的凝露消除，虽然还有部分柜内有局放电晕现象，但是大多数柜内已经无放电现象。运行过程中，现场实测盖顶和底板温差为3~4℃，在一般条件就有如此大温差，不难理解未封堵前，如果湿度达到75%以上，基本5℃就产生凝露^[4]，那么在温差大的时候，更容易达到露点条件，从而产生持续的凝露。

综合各种资料，现场凝露现象比较明显，因此可以基本定性为凝露引起的绝缘故障^[5-7]。但为什么是靠西大门第二面开关柜发生故障，且其顶盖锈蚀极为严重，是本次故障勘查分析的重点。

根据图3开关柜内结构综合分析原因如下：西大门存在通风窗，尤其是秋季雨后，（只要存在内外高

温差高湿度的气体条件，均是隐患) 变电站内外温差高，户外高湿度的空气随季风涌向变电站内开关柜。一部分低温高湿气体向上流过开关柜上顶盖，从顶盖处与开关柜进行热交换，降低了顶盖处的温度，尤其是顶盖通风窗处的温度。一部分低温高湿的空气通过开关柜的前面通风窗进入断路器室，经过触头盒进入母线室，流经触头盒时，其内部触臂因流过电流产生热量，进而加热流过的空气，空间狭小修长产生负压条件，形成烟囱效益，让热空气连绵不断地积累到母线室内，在顶盖处与温度最低的通风窗处产生最大温差，并积累凝露，环境湿气含盐离子进而加速了顶盖的锈蚀。而为什么是变压器出线柜锈蚀更为严重，则是因为靠近西侧门处只有变压器出线柜内的触臂上流过

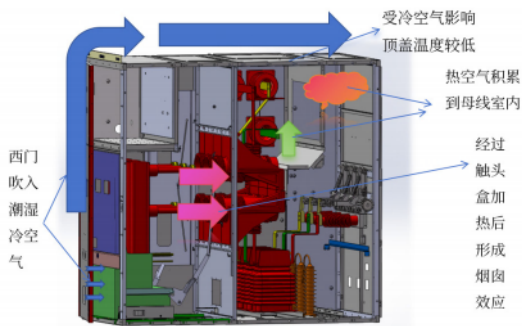


图3 开关柜内部结构图

2 整改措施

整改措施主要包括三个方面，一是更换无法复原的绝缘件；二是优化环控措施，杜绝产生达到露点产生凝露的条件；三是优化场强条件，限制产生局放的条件。

(1) 更换绝缘件工作内容说明

1) 更换已经出现严重碳化的绝缘件，更换所有已经绝缘劣化的 SMC 绝缘板，为了增强 SMC 板抗水老化能力，推荐其表面喷涂一遍 SRTV 防污闪涂料^[8]。

2) 有条件选用爬距更高的绝缘件。

(2) 环控措施主要工作内容

1) 更换变压器出线柜顶盖，增加顶盖结构通风窗通风面积，控制开关柜母线室与顶盖的温差。

2) 正常情况下，坚持空调全天变频运行，保持高压室内的环境温度和湿度基本满足中压配电室的运行要求温度 25℃、湿度 50%。在空调无法除湿的情况下，采用除湿机补充环境除湿功能。

3) 由于中压运行中会产生臭氧，需要定期对配电室进行换气，建议换气扇户内端设置防尘盐雾初级过滤器，一方面过滤灰尘，一方面过滤盐雾（尽管受电晕影响所产生的氮氧化物和臭氧不会在短期内对断路器的绝缘性产生明显的损害，但在长时间作用下，也会逐步腐蚀断路器中的金属材质，进而加快绝缘材料老化的速度，进一步导致电晕现象的加重^[9]）。

4) 开关柜底部设置加热器，出现极端温差的时候，起到辅助升温除湿的作用。在个别温差大的环境，比如初冬时温差大，温度低，湿度相对大，空调无法除湿，需要配合除湿机和辅助电加热实现缓和温度变化和破坏露点条件的作用。

(3) 限制局放工作内容

1) 所有的铜排头现场打磨，减少粗糙度，尽量形成圆角。

2) 搭接铜排处采用硅橡胶胶带缠绕 5~6 圈，包括穿墙套管内的裸露铜排。作用除了减少局放外，减少金属裸露，减少凝露条件。

3) 铜排保护盒选用 35kV 专用的硅橡胶保护盒，密封性好，电介性强，保护薄弱位置。

4) 铜排安装完后，在裸露的铜排搭接处刷上 SRTV 防污闪涂料刷涂。断路器触臂安装热缩套筒后也刷一层防污闪涂料加强密封和绝缘^[8]。

其他管理方面整改：

(1) 制定维护计划

制定详细的维护计划，包括定期清洗的时间间隔、清洗方法以及所需的工具和人力资源。确保维护计划能够有效地执行和维护开关柜的绝缘性能。

(2) 培训和监督人员

为了确保绝缘防污措施的有效实施，需要培训相关人员了解相关技术和操作要点。此外，还需要建立监督机制，定期检查和维护工作的情况，及时发现并解决问题。

3 结束语

开关柜受潮故障是常见问题，需要得到充分的重视，并应从原理上找对思路进行系统的优化设计，尤其是体积相对紧凑的 35kV AIS 开关柜。通过事故分析和整改得出如下结论：

1) 环境条件是根本，不能盲目相信配电室土建环境难以形成凝露条件，为了设备长期稳定运行，配置空调和除湿机是更好的选择。

2) 铜排制造工艺需要严格控制局放条件，有条件的情况下增加绝缘包裹。

3) 环境控制影响因素较多，控制方式需要更加灵活，通风和密封，辅热和除湿等需要根据环境特点灵活应用。

4) 科学的运维计划和培训监督也是必要的，有条件多配置一些在线的监测装置，尽量向状态检修的智能运维靠近。

本文所述内容可能存在遗漏或不全面之处，希望对运维和设备管理人员提供一些参考和帮助。在实际应用中，建议综合考虑各种因素，制定更加全面有效的措施。

参考文献

- [1] 刘志宏, 王玉田, 刘宝华. 高压开关柜事故原因及技术对策 [J]. 技术监督纵横, 1999 (6): 21.
- [2] 李旭, 杨鼎革, 尚宇, 等. 不同老化条件对开关柜绝缘件绝缘性能的影响研究 [J]. 高压电器, 2020, 56 (10): 48-55.
- [3] 谷裕, 郝艳捧, 张福增, 等. 沿海地区与内陆地区复合支柱绝缘子直流污闪特性比较 [J]. 电网技术, 2014 (5): 1373-1378.
- [4] 潘歧泽, 杨芳, 杨志. 12kV 高压开关柜受潮凝露机理及防治关键技术探讨 [J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47 (5): 160-172.
- [5] 田祝和. KYN61-40.5 型开关柜电晕及凝露现象分析 [J]. 电子制作, 2014 (21): 213.
- [6] 唐强, 杨毅, 魏森, 等. KYN61-40.5kV 高压开关柜多物理场分析及部件绝缘特性试验研究 [J]. 高压电器, 2021, 57 (12): 33-41.
- [7] 舒胜文, 许俊炜, 占兆璇, 等. 高湿环境下 40.5kV 开关柜凝露发展特性与加热器布置方法 [J]. 高电压技术, 2023, 49 (2): 493-504.
- [8] 谷裕, 郝艳捧, 张福增, 等. 沿海地区与内陆地区复合支柱绝缘子直流污闪特性比较 [J]. 电网技术, 2014, 38 (5): 1373-1378.
- [9] 杨涛, 顾志斌, 孟佳, 等. 高湿地区电力系统绝缘材料防污闪分析 [J]. 内蒙古电力技术, 2022, 40 (3): 76-79.
- [10] HASSAN JAVED. 空气绝缘电气设备不同放电故障下的空气分解特性研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2019.

(收稿日期: 2024-03-05)