

Identification and Countermeasures for Latent Problems in Gas-Insulated Metal-Enclosed Switchgear

Wengang Kang

Sinopec Beijing Yanshan Petrochemical Company Limited, Beijing, 102500, China

Abstract

Gas-insulated metal-enclosed switchgear (GIS for short) is widely used, featuring small footprint, reliable operation, and low maintenance. However, once a fault occurs inside, the repair period is long, the process is complex, and it has a significant impact on the power supply system. Especially, the hidden dangers left during the design, manufacturing, and installation stages are not easy to detect. This paper elaborates on the root cause analysis process of two GIS faults, illustrating the analysis methods for two types of GIS faults: “conductive material splashing on the surface of the bushing insulator causing surface flashover” and “excessive micro-water in the GIS cable compartment”. Through “simulation tests” and “micro-water balance value tests”, the root causes of the faults are identified, and the defects of such equipment generated during the manufacturing process are thoroughly eliminated. It also summarizes several key tasks that should be noted during the design, manufacturing, installation, and initial operation of GIS.

Keywords

GIS fault; bushing insulator; excessive micro-water

气体绝缘金属封闭开关设备隐性问题查找和对策

康文刚

中国石油化工股份有限公司北京燕山分公司, 中国 · 北京 102500

摘 要

气体绝缘金属封闭开关(简称GIS)被广泛应用,具有占地面积小、运行安全可靠、维护工作量少的优点,但是其内部一旦发生故障,修复周期长、过程复杂、对供电系统影响较大,尤其在在设计、制造、安装等阶段给安全运行埋下的隐患不易发现。本文通过两起GIS故障的根原因分析过程的阐述,说明了“导电物质溅落盆式绝缘子表面造成沿面击穿放电”和“GIS电缆舱微水超标”两类GIS故障的分析方法,通过“模拟试验”和“微水平衡值测试”找到造成故障的根源因,彻底消除制造过程产生的该类设备缺陷,并总结了GIS在设计、制造、安装及运行初期应注意的几项工作。

关键词

GIS故障;盆式绝缘子;微水超标

1 引言

近年来,气体绝缘全封闭组合电器(简称GIS)被广泛应用于电力系统中,它是将包括母线、隔离开关、断路器、电流互感器、电压互感器、接地开关、避雷器、进出线套管或电缆终端等一次电气设备和相应的二次设备全部密封在接地金属筒内的电气设备,具有占地小、可靠性高、安全性好、抗干扰能力强、运行费用低、维护工作量少等优点。通常 110kV 及以下电压等级采用全三相封闭式,220kV 级常对断路器以外的其他元件采用三相封闭式。

GIS 的绝缘性能是确保其安全运行的重要条件。GIS 设

备内部中的金属微粒、粉末和水分等导电性杂质是引发 GIS 故障的重要原因。

2 导电物质溅落绝缘子表面造成沿面击穿放电

2.1 故障现象及检测

2013 年 6 月的一次雷雨天气,某条 110kV 供电线路差动保护动作跳闸,保护装置显示故障点在负荷侧,检查负荷侧的架空线路绝缘子无异常,未发现放电痕迹。对 GIS 气室气体进行分析,SO₂ 含量为 18.4ppm,其它舱室均未检测到,说明该舱室存在高能量放电,确定故障点在该舱室内。对该舱室开舱检查发现,气室内壁及导体上附着大量放电粉尘,导体触头出现尖锐触点,该舱与线路 PT 舱之间水平放置的盆式绝缘子上表面放电,上表面烧灼严重,盆式绝缘子与气室内壁连接处出现大量放电产物(如图 1 所示),清理后发现在 B 相导体与外壳之间有一条完整的爬电痕迹(如图 2 所示)。

【作者简介】康文刚(1985-),男,中国吉林洮南人,本科,工程师,从事电力系统运行管理、调度管理、继电保护管理等研究。

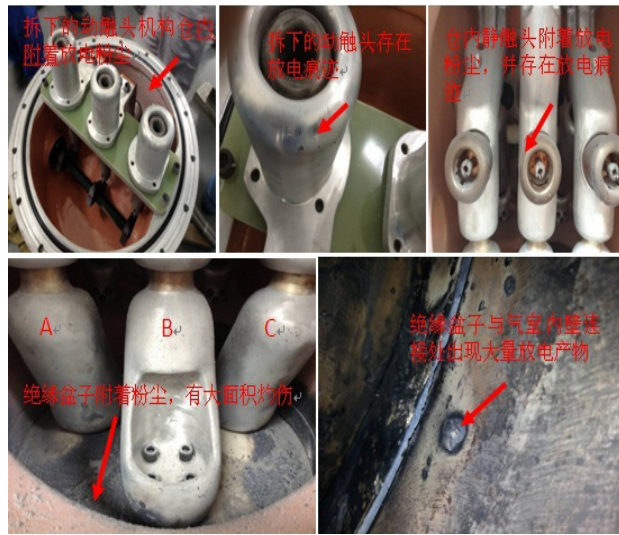


图 1 放电产物



图 2 爬痕

2.2 开舱检查情况及分析

本次故障由该盆式绝缘子上表面放电引起,为了查清绝缘子表面放电的原因,对进线过渡舱结构进行观察发现,该绝缘子放电位置的正上方是 DES 舱快速接地刀闸的断口初步断定快速接地刀闸分闸时可能带出导电性物质掉落在绝缘子表面,相邻近导电物质之间放电烧逐渐烧蚀绝缘子表面,使得绝缘子表面爬距变小,在外部过电压的作用下击穿放电。

2.3 模拟试验及根原因分析

为了验证这一判断,对其它两个结构相同的 DES 舱进行模拟试验,将快速接地刀进行几十次分合操作后开舱检查,发现 2 只水平盆式绝缘子上表面均有黑色导电性物质。由此可以确定进线 DES 舱水平绝缘盆子表面的爬电痕迹是由掉落在表面黑色导电性物质引起,而使得绝缘盆子表面爬距减小,造成绝缘水平降低。因此,找出黑色导电性物质的来源是消除设备隐患的关键。

2.4 改进措施

根据故障根原因将该间隔 DES 仓下方的线路 PT 移位,

安装至原先预留电缆终端的位置处;取消了 DES 舱快速接地刀闸断口下方的盆式绝缘子,改用金属盲板封堵,使掉落导电物质不影响绝缘性能。

3 GIS 电缆舱微水超标故障分析及处理

某项目新建一套 110kV 电压等级 GIS, GIS 整体安装试验合格后,进行 110kV 电缆和 GIS 的对接工作,共有 5 个电缆舱。

首先将 3 只电缆套管安装进电缆舱,再将电缆终端头插入电缆套管内。对接工作完成后,更换电缆舱分子筛后封舱,再进行电缆舱抽真空、保压、充气,静止 24 小时后测试电缆舱 SF6 气体微水含量。测量结果显示 5 个电缆舱 SF6 气体微水含量均超标(见表 1),同时安装的进线 PT 舱 SF6 气体微水含量合格。GB 50150—2016《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》14.0.5 测量六氟化硫气体含水量(20℃的体积分数)规定为:有电弧分解的隔室,应小于 150 μL/L;无电弧分解的隔室,应小于 250 μL/L。

表1 电缆舱、进线 PT 舱 SF6 气体微水含量测试记录表

舱室编号	E09-B3	E08-B3	E07-B4	E03-B3	E02-B3	进线 PT
露点 (°C)	-29.1	-28.9	-29.2	-28.8	-28.4	-44.8
舱室气压 (Mpa)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
微水含量 (μl/l)	> 352.5	> 352.5	> 352.5	> 352.5	> 352.5	66.5

由于 GIS 交流耐压试验电压为 220 kV, 110 kV 交联电缆交流耐压试验电压为 128kV, 因此上述舱室需要在安装电缆套管前, 随 GIS 整体进行交流耐压试验, 必须在充入额定压力的 SF6 气体且微水含量合格的条件下进行。

一般 GIS 舱室受潮只有两种可能性, 一是安装环境潮湿, 水分吸附在舱室内壁、盆式绝缘子、电缆套管及母线的表面; 二是有含水量较大的部件装入舱内。GIS 的安装均是按照厂家的作业指导书进行的, 对环境湿度的监测也是非常严格的, 为了查明原因, 对 E08-B3 舱室再次进行排气、更换分子筛、抽真空、充气作业后微水测试, 发现该舱室 SF6 气体微水含量随着时间的延长而增大, 直至超标。实际证明表面附着的水分经过抽真空基本上都能够去除, 除非在严重潮湿的环境中作业, 北京秋季是比较干燥的, 可以排除安装环境潮湿的影响。通过 SF6 气体微水含量随着时间的延长而增大的现象, 说明舱内的水分是逐渐释放出来的, 不是附着在表面的水分。经试验, 可以排除电缆舱内原有部件。怀疑最后安装进电缆舱内的 3 只电缆套管问题, 套管材质为环氧树脂, 其外表面伸进电缆舱内, 呈锥形, 表面积比较大, 如果释放水分对舱内 SF6 气体微水含量的影响很大。

套管出厂、运输、储存均密封在专用的塑料袋内, 安装时也是装一只拆一只, 尽可能减少在空气中的暴露时间, 安装肉眼检查均未发现表面受潮, 说明水分在套管内部, 可以解释水分被逐渐释放出来的现象。经过套管的生产过程的了解, 发现例行水压测试和水压破坏性试验时电缆套管同水直接接触, 例行水压测试压力为 2.6 Mpa, 水压破坏性试验压力为 3.9 Mpa, 在压力的作用下微量水分被压入环氧表面的微孔内部, 空气湿度远大于舱室内部的湿度, 因此在空气中释放的极少水分, 也会很快蒸发掉, 很难用肉眼发现套管受潮。由于舱室内部 SF6 气体的湿度极小, 渗透压很大, 导致水分释放到 SF6 气体中, 直至达到平衡点。加之舱室空间有限, 会使得舱室内部 SF6 气体微水含量超标。

GIS 的每个舱室内均装有分子筛, 用于吸收有害气体和微量水分, 实践证明, 由于分子筛吸附水分, 正常的舱室内 SF6 气体微水含量会在一定时期内下降到一个平衡值。为了查明是否只是本批次产品的问题, 更换不同批次套管 E08-B3 舱室, 结果所示规律一致, 72 小时测试结果 256 μl/l

1, 再次证明水压试验导致套管受潮, 目前厂家已改进工艺, 采取了如下措施:

- (1) 在循环空气的烘箱内烘烤到 100°C, 10 个小时;
- (2) 采用双层抽气包装, 包装内干燥剂加倍到 6 包, 加湿度卡;
- (3) 每个套管在出厂前进行微水测试需小于 150 μl/l。

4 结论

上述两起 GIS 故障根本原因均为本身及部件在生产制造中产生的, 在安装或运行中发生故障。为了防止 GIS 故障的发生, 在设计、制造、安装及运行中要做好以下几点:

- (1) 对高压电气设备尤其是 GIS 等封闭设备的质量控制在设计、制造时应该深度介入, 应该充分重视监造工作, 在监造过程中应重点关注隐蔽部位, 发现疑点不能轻易放过, 要通过试验、实际操作及模拟等方法加以验证, 以防止设备设计、制造中产生的各种缺陷。
- (2) 设备安装过程中要加强监督, 尤其 GIS 组装时, 应对每个部件认真检查, 发现缺陷必须更换, 需要先试验的部件必须试验合格后再组装。
- (3) 交接试验必须按照试验规程的要求项目和方法进行不能落项, 必要时增加特殊试验项目及试验次数。
- (4) GIS 各舱室的 SF6 气体微水应测试出各类舱室的水分平衡数值。
- (5) 投运后应加强 GIS 的局部放电的带电测试工作, 有条件同步安装局部放电在线监测系统, 对 GIS 内部绝缘状态实时监测、诊断, 及时发现设备制造和安装过程造成的设备缺陷。

参考文献

- [1] 张星宇;张小明;左秀江;戴雨薇;陈雅琦.500kV 气体绝缘金属封闭开关设备盆式绝缘子放电故障原因分析[J]. 电气技术,2021(08): 48-54.
- [2] 张丕沛;郭晨瑞;李杰;汪鹏;王江伟.GIS 内部异物放电故障的特征机理研究[J]. 山东电力技术,2023(05): 41-47.
- [3] 和晓辉;周磊;邱鹏锋;黎钟奇;彭兆裕;谭向宇;李阳;周金旺.220 kV GIS 隔离开关对地放电故障案例分析[J]. 云南电力技术,2023(02): 69-74.