

# 基于 ANSYS 仿真的 10kV 开关柜绝缘改造

卢 昊

(江苏省电力公司淮安供电公司, 江苏 淮安 223002)

**摘要** 分析了两起 10kV 手车式开关柜爆炸事故, 根据 ANSYS 有限元仿真计算结果实施了相应的绝缘改造方案, 并通过仿真试验予以验证。改造后的实际运行中再无同类型事故发生, 也在实践上证明了改造的有效性。同时就开关柜绝缘防护中存在的若干问题提出了建设性意见。

**关键词:** 高压开关柜; ANSYS; 绝缘改造; 电场强度

## 10kV High Voltage Switch-gear Insulation Modification based on ANSYS

Lu Min

(JiangSu Power Grid Corporation Huaian Power Supply Company, Huai'an, Jiangsu 223002)

**Abstract** This paper analyses the reason of two 10kV switch-gear explosions, and proposes the corresponding insulation improvement, which based on ANSYS experiment. The validity of this method is testified by the experiment and actual operation, the similar explosion accidents does not happen again. In addition, appropriate suggestions about insulation prevention was presented.

**Keywords:** high voltage switch-gear; ANSYS; insulation modification; electric field

作为电网中压系统中应用最为广泛的电气设备, 手车式开关柜的运行情况直接影响到整个电网的安全稳定。据调查, 在国内 10kV 手车式开关柜的爆炸事故中, 绝缘击穿是引发故障的根本原因。加之粉尘、潮湿环境运行, 使得绝缘劣化, 最终形成绝缘缺陷<sup>[1-6]</sup>。

本文结合某 110kV 变电站 10kV 开关柜连续性爆炸事故, 利用 ANSYS 有限元仿真手段模拟正常工况环境下开关柜电场强度及电压分布情况, 在仿真数据引导下对开关柜进行绝缘改造, 并在模拟实验和运行实践中得到验证。

## 1 故障简述

5月9日16时11分05秒, 10kV 261 线开关柜爆炸, #1 主变低后备保护动作跳开 101 开关, 切除 10kV I 段母线所有负荷, 二次侧 A、B、C 三相故障电流分别为: 20.17A、21.12A、20.45A, CT 变比 3000/5。

同日 18 时 40 分 59 秒, 10kV 271 线开关柜爆炸, #2 主变低后备保护动作跳开 102 开关, 切除 10kV II 段母线所有负荷, 二次侧 A、B、C 三相故障电流分别为: 20.12A、20.18A、19.96A, CT 变比

3000/5。

图 1 为该站一次系统接线示意图。110kV I 母、II 母并列运行; 10kV I 母、II 母分列运行, #1、#2 主变分供 10kV I、II 段母线。

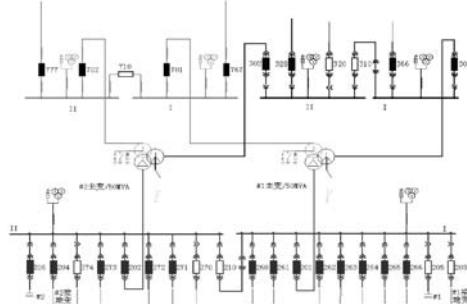


图 1 一次系统接线示意图

图 2 为 I、II 段母线在 261、271 开关柜故障前后的三相电压示意图。

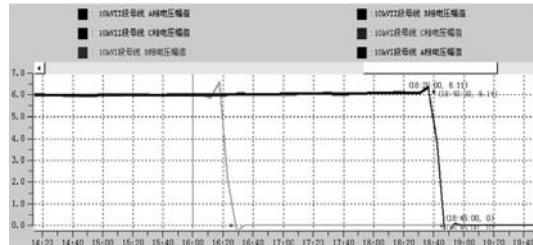


图 2 I、II 段母线三相电压示意图

经检查, 10kV 261、271 线路保护测控装置及#1、#2 主变保护装置无异常, 二次回路接线正确, 定值及压板投退正确, 故障前各项监控数据正常, 无任何检修工作。

## 2 故障现场检查

现场解体发现 261 开关柜断路器严重损坏, 拉出手车时断路器灭弧室已与本体分离, 如图 3 所示。271 开关柜母线后隔板被电弧灼熔呈洞状, 金属中隔板下部存有电弧灼烧迹象, 如图 4 所示。



图 3 261 开关柜现场图



图 4 271 开关柜现场图

对多个未爆炸间隔进行解体检查, 发现引发故障的共性产品缺陷, 如图 5、图 6 所示。从图 5 中现场实测距离来看金属中隔板到母侧触头盒表面的距离大于 100mm, 而电缆侧触头盒表面到金属中隔板的空气净距离小于 40mm。

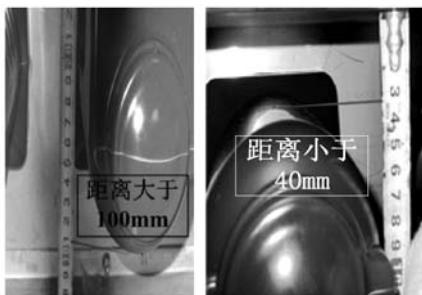


图 5 上、下静触头盒与金属中隔板间距

由于电场强度分布与空气间距存有直接关系, 从而导致金属中隔板两侧的空气中场强有明显差异, 预判这就是连续爆炸事故的根本原因。

## 3 ANSYS 仿真实验

为了证明金属中隔板安装结构造成的隐患,

根据开关柜实际运行特点进行 ANSYS 有限元仿真建模分析。仿真模型如图 6 所示。为了仿真精度较高, 对仿真模型进行了精细的剖分。图 7 是仿真模型的边界条件, 边界条件必须按照实际运行的情况进行设定, 否则容易直接导致仿真结果失真。图 8 和图 9 分别是仿真区域内电势与电场强度分布图。

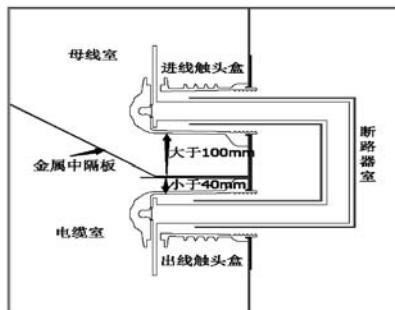


图 6 电场分布仿真模型示意图

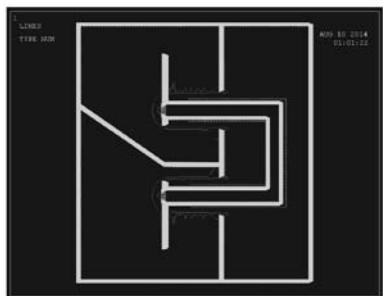


图 7 仿真模型边界条件

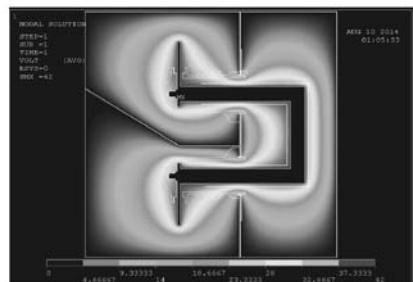


图 8 仿真模型电压分布图

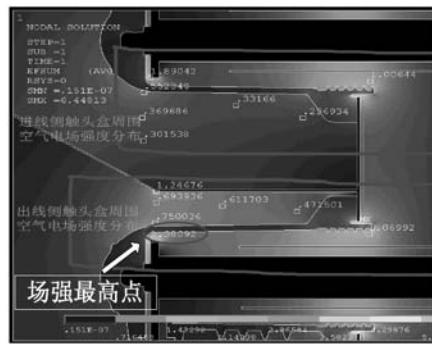


图 9 关键部位电场强度分布图

从图 9 中可见, 出线侧触头盒与金属中隔板所夹区域内的空气电场强度与触头盒内部空气中的电场强度较大。



图 10 与仿真结果相对应的实物放电图片

由于触臂上表面到金属中隔板的空气距离较小, 导致场强较大, 在粉尘、水分等因素促发下引起局部放电, 最终导致拉弧而烧蚀电场集中处, 如 10 图所示, 这种放电现象与图 9 中仿真结果具有良好的一致性。

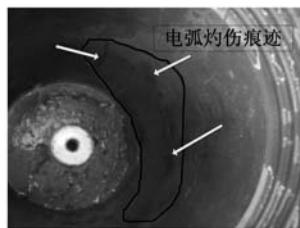


图 11 触头盒上侧电弧灼伤痕迹

触头盒上内壁黑色放电痕迹都与 ANSYS 仿真结果具有良好的对应性。从而证明了产品结构对内部电场分布影响的重要性, 也从原理上验证了前期分析的预判。

#### 4 事故要因及绝缘改造

通过对爆炸开关柜故障痕迹以及未发生故障开关柜内部结构现场勘查, 及对关键区域进行了电场强度 ANSYS 仿真分析。

261、271 开关柜因下触头盒、动触头导电杆端部电场强度较大, 形成局部放电现象, 长时间的局放发热最终致使触头盒及周边绝缘失效, 加之污秽粉尘、连续阴雨湿度上升形成绝缘组件绝缘性能下降, 从而三相绝缘击穿, 引发三相短路事故。

针对结构上的缺陷, 为改善电缆出线侧触头盒与金属中隔板之间电场分布, 采用加装 SMC 绝缘板的办法进行改善, 改造情况如图 12 所示。绝缘板与金属板之间的固定采用尼龙绝缘螺丝, 避免金属螺杆带来的金属尖端放电效应。

对比图 9、图 13 中电场分布可以看出, 在金属中隔板表面加装绝缘板之后明显改善了关键部位的

电场强度, 同时降低绝缘失效风险。



图 12 金属中隔板下部加装绝缘板

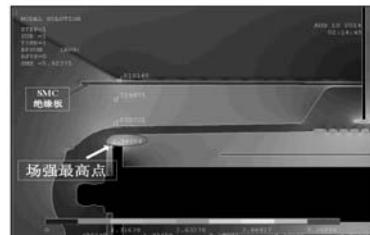


图 13 绝缘改造后电场分布图

#### 5 结论

针对同一点连续两起开关柜爆炸事故, 通过 ANSYS 进行仿真模拟, 查明故障原因, 对开关柜进行相应绝缘改造, 并通过仿真与实践证明了改造的有效性。

作为粉尘污染、绝缘件表面凝露等间接因素也是促使本次绝缘失效的主要原因。层积在绝缘件表面的污秽在电压的作用下产生感应电荷, 形成悬浮电位; 而湿度过大是导致绝缘件绝缘能力下降的重要因素, 在绝缘能力的下降过程中, 发生局部放电, 从而加速了绝缘失效速度。因此开关柜防尘、防污、防潮也是以后绝缘防护研究的重点方向。

#### 参考文献

- [1] 王贵宾. 关于 XGN\_2-12 型开关柜的几点改造意见 [J]. 电网技术, 2007(S1): 241-242.
- [2] 潘长明, 刘刚, 熊炬, 等. 高压开关柜绝缘事故的分析及防范措施 [J]. 高压电器, 2011, 47(7): 90-93.
- [3] 朱根良. 浅议中压开关柜事故调查中的故障分析 [J]. 高压电器, 2002, 38(5): 62-63.
- [4] 李英奇, 王战红, 梅超美, 等. 一起开关柜凝露闪络事故分析与预防措施 [J]. 陕西电力, 2009, 37(4): 51-53.
- [5] 印华, 王勇, 王谦. 12 kV 开关柜内部放电的分析与处理 [J]. 高压电器, 2006, 42(5): 395-396.

#### 作者简介

卢 昂 (1982-), 男, 江苏淮安人, 工学硕士, 注册电气工程师, 研究方向为高电压电气试验、电力系统故障分析。