

老旧水电厂 10kV 开关柜安全隐患分析

黄梓涵 杨易璋 王宏 刘旭

贵州省乌江水电开发有限责任公司索风营发电厂

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6652

[摘要] 10kV开关柜是老旧水电厂厂用电系统的核心设备,直接保障主变冷却器、推力外循环及压油泵等关键辅机的供电安全,其运行状态与机组非停风险密切相关。本文针对老旧水电厂10kV开关柜展开研究,通过梳理设备运行现状,系统分析出机械系统老化、安全防护功能缺失、智能监控系统缺位、设备适配性不足、保护系统选择性欠缺及标识体系混乱六大类安全隐患。

[关键词] 老旧水电厂; 10kV开关柜; 安全隐患; 隐患治理; 保护选择性; 智能监控

中图分类号: TV **文献标识码:** A

Safety Hazard Analysis of 10kV Switchgear in Old Hydropower Plants

Zihan Huang Yizhang Yang Hong Wang Xu Liu

Suofengying Power Plant, Guizhou Wujiang Hydropower Development Co., Ltd.

[Abstract] The 10kV switchgear is the core equipment of the auxiliary power system in old hydropower plants, directly ensuring the power supply safety of key auxiliary machinery such as main transformer coolers, thrust external circulation systems, and pressure oil pumps. Its operating status is closely related to the risk of unit unplanned outage. This paper focuses on the 10kV switchgear in old hydropower plants. By sorting out the current operating status of the equipment, six major types of safety hazards are systematically analyzed, including mechanical system aging, lack of safety protection functions, absence of intelligent monitoring systems, insufficient equipment adaptability, lack of selectivity in protection systems, and chaotic identification systems.

[Key words] old hydropower plants; 10kV switchgear; safety hazards; hazard control; protection selectivity

引言

目前10kV配网中所使用的电力设备按照工作位置可分为2类:站内设备和线路设备,站内的电力设备主要指变压器和开关设备^[1]。其中,开关设备的主要功能是负责实现对电能的集中控制、保护与测量,是配网的重要组成部分,因此开关设备的升压改造也是10kV配网升压改造的重点。

10kV开关柜作为老旧水电厂厂用电系统的关键组成部分,承担着厂内中压电能分配、设备供电控制及故障隔离的核心功能,其稳定运行直接关系到主厂房主变冷却器、推力外循环系统及压油泵等重要辅机的正常工作^[2]。若10kV开关柜出现故障,不仅可能导致局部辅机停运,更可能引发事故扩大,造成机组非计划停机,给水电厂带来显著的经济损失与安全风险,因此保障其安全性能对老旧水电厂整体运维至关重要。

1 老旧水电厂10kV开关柜安全隐患现状分析

1.1 机械系统老化隐患

老旧水电厂10kV开关柜因长期运行,机械系统普遍存在严重老化问题。多数开关柜投运年限超过15年,部分如索风营发电厂的设备已运行19年,远超设备机械部件的最佳使用周期,导致

柜体内部机械结构频繁出现卡涩现象,其中隔离刀闸的操作机构、断路器的分合闸传动部件尤为突出,操作时易出现动作卡顿、到位不准的情况,影响设备正常通断。

老旧开关柜的柜体装配结构也因老化出现问题。早期开关柜多由特定厂家生产,如索风营发电厂开关柜原装配厂家吉林市龙鼎电气有限公司已停止生产该类产品,旧柜体缺乏后续维护支持,柜体柜门密封性能下降、接地连接松动、柜体框架机械强度减弱等问题逐渐显现,不仅影响设备整体稳定性,更可能因接地不良、密封失效引发绝缘故障^[3]。

1.2 安全防护功能缺失隐患

柜体防护等级不足也是老旧开关柜的常见问题。旧柜体设计多遵循早期防护标准,柜体外壳与内部隔室的防护能力普遍较低,多数无法达到当前要求的IP4X防护等级,断路器室门打开时,隔室间防护等级更难以满足IP2X要求。

1.3 智能监控系统缺位隐患

手车配柜监测与开关状态监测的缺失,进一步降低了老旧开关柜的操作安全性。手车作为开关柜的重要组成部分,其位置是否到位、接触是否良好直接影响供电可靠性,但老旧设备无相

关监测装置, 手车推进不到位、接触不良等问题只能通过操作后的试送电验证, 易因手车状态异常引发供电中断; 开关分合闸状态缺乏实时监测, 易出现状态误判, 导致误操作^[4]。智能配电网后台系统的空白, 使得老旧开关柜的数据管理与故障分析能力薄弱。

1.4 保护系统选择性不足隐患

老旧水电厂10kV开关柜的保护系统普遍缺乏系统性的选择性分析, 导致保护定值设置不合理。多数老旧设备在投运后未针对厂用电10kV与400V系统开展协同的保护选择性分析, 10kV开关柜保护装置与下级400V低压设备保护的定值缺乏配合, 故障发生时易出现越级跳闸现象, 原本只需切断局部故障回路, 却导致整个区域停电, 扩大事故影响范围。

2 老旧10kV开关柜安全隐患产生的原因分析

2.1 设备自然老化与运行年限影响

设备运行年限过长是老旧10kV开关柜出现安全隐患的核心原因。多数老旧水电厂的10kV开关柜设计寿命为15-20年, 目前已普遍接近或超过该年限, 如索风营发电厂的设备已运行19年, 设备各部件逐渐进入老化衰退期。其中绝缘材料受长期电场、温度影响, 如环氧树脂绝缘件出现开裂、老化, 绝缘油介损上升, 导致绝缘性能显著下降, 易引发爬电、击穿等故障^[5]。

2.2 初始设计与技术标准滞后

早期技术标准的局限性导致老旧10kV开关柜存在先天设计缺陷。老旧开关柜设计时遵循的是2000年前后的电力设备标准, 当时五防功能尚未成为中压开关柜的强制要求, 智能监控技术也未普及, 因此设备在设计阶段就未考虑这些功能, 导致投运后缺乏关键安全防护与监测手段, 无法满足当前安全运维的需求。

防护等级与抗风险设计标准偏低, 也是早期设计的突出问题。早期开关柜防护等级设计多以基本防尘、防水为目标, 未考虑水电站潮湿、多尘的特殊环境, 柜体防护等级普遍低于当前要求的IP4X; 对弧光短路等故障的风险认识不足, 未在设计中加入抗内燃弧结构, 导致设备在故障时缺乏有效的风险隔离能力, 易引发事故扩大。

2.3 设备生产厂家退出与备件断供

早期开关柜生产厂家因市场竞争、技术升级等原因停止生产, 导致老旧设备失去原厂支持。部分早期生产10kV开关柜的厂家如吉林市龙鼎电气有限公司, 因后续市场需求变化、产品技术迭代, 逐渐退出该类设备生产领域, 不再提供设备维护、备件供应等服务, 老旧开关柜失去了最专业的运维保障渠道。

随着厂家停产或转型, 老旧开关柜的设计图纸、备件清单、维护手册等关键技术资料逐渐流失, 部分水电厂虽保留了部分资料, 但多为纸质文档, 且存在残缺、模糊的情况, 运维人员在维修或改造时, 无法准确获取设备结构尺寸、部件参数等信息, 只能通过现场测绘获取数据, 精度难以保证, 影响维护与改造效果。

2.4 技术升级与系统适配脱节

老旧水电厂在10kV开关柜技术升级过程中, 多采用局部改

造模式, 缺乏系统规划, 导致新旧设备适配性差。部分水电厂仅针对单个故障部件进行更换, 如单独更换真空开关却未升级配套的柜体结构, 或单独加装监测装置却未改造数据传输通道, 使得新部件与旧系统无法协同工作, 如新型真空开关因柜体空间不足无法正常安装, 或监测数据无法传输至后台系统, 升级效果大打折扣^[6]。

3 老旧10kV开关柜安全隐患防范与治理措施

3.1 成套设备更新改造

针对老旧10kV开关柜整体老化问题, 采用成套设备更新改造模式, 彻底替换老旧柜体与核心元件。改造范围需覆盖全部老化开关柜, 如索风营发电厂10kVI、II、III、VI段的28面中压开关柜, 包括4面进线柜、4面PT柜、13面馈线柜与7面母联柜, 通过整体拆除旧柜体, 更换符合当前技术标准的新柜, 从根本上解决机械老化、绝缘下降等问题。

3.2 保护系统选择性优化

根据选择性分析报告, 重新调整保护定值, 实现各级保护协同配合。针对10kV开关柜保护, 需优化过流保护、速断保护的定值与时限, 确保故障发生时能优先切断故障回路, 避免越级跳闸; 对于400V系统保护, 需根据上级10kV保护的定值调整下级定值, 形成“上级后备、下级主保”的保护层级, 如10kV开关柜过流保护时限需大于下级400V总进线保护时限, 确保故障隔离在最小范围。

3.3 标识体系规范化整治

梳理开关柜段号与设备标识, 建立统一的标识规则。针对段号混乱问题, 如原IV段取消后的段号调整, 需按照连续编号、清晰易辨的原则, 将原V段更名为IV段、原VI段更名为V段, 并同步更新所有相关标识; 设备标识需包含柜体编号、开关名称、额定参数(额定电压、额定电流)等关键信息。

选用耐用、适配的标识材料, 确保标识长期清晰^[7]。标识牌采用防水、防腐蚀、耐磨的材质制作, 如不锈钢标牌或高强度塑料标牌, 避免因水电站潮湿环境导致标识生锈、褪色; 标识安装位置需统一, 段号标识安装于柜体顶部醒目位置, 设备编号与参数标识安装于柜门中部, 高度与运维人员视线平齐, 便于快速识别; 采用牢固的固定方式, 防止标识脱落。

3.4 建立全生命周期维护管理机制

完善技术资料管理, 建立电子化的设备档案。将开关柜的设计图纸、试验报告、备件清单、维护记录等技术资料整理归档, 建立电子化档案系统, 实现资料的便捷查询与更新; 定期收集设备运行数据与维护记录, 补充至档案中, 形成完整的设备运行履历, 为后续维护、改造提供数据支持; 做好资料备份, 防止因系统故障导致资料丢失。

4 案例分析

4.1 案例介绍

索风营发电厂位于贵州省贵阳市修文县六广镇, 其10kVI、II、III、VI段电气设备自2005年投运至2025年已运行19年, 该批设备由母线PT柜、出线开关柜、隔离刀闸柜组成, 原柜体装配厂家

为吉林市龙鼎电气有限公司且该厂家已停止生产此类开关柜,设备存在机械结构卡涩、无五防功能、无智能监控系统、真空开关型号停产等问题,若发生故障可能影响主厂房主变冷却器、推力外循环及压油泵等重要辅机运行甚至造成机组非停,基于此该厂启动该段设备改造项目,项目费用控制目标为358万元,采用公开招标方式且资格审查方式为资格后审,招标范围涵盖28面中压开关柜的拆除更换安装调试在线监测系统加装保护选择性分析智能配电后台系统建立及标识标牌更换等工作。

4.2应用效果

索风营发电厂10kV、II、III、VI段电气设备改造项目完成后,有效解决了老旧设备的各类安全隐患,设备运行可靠性、安全性及智能化水平显著提升,各项指标均达到或优于预设目标,为厂用电系统稳定运行提供了坚实保障。

表1 索风营发电厂10kV开关柜改造项目应用效果数据表

指标类别	具体指标	改造前数据	改造后数据	行业标准
设备规模	改造开关柜总数量(面)	28	28	-
设备规模	进线柜数量(面)	4	4	-
设备规模	PT柜数量(面)	4	4	-
设备规模	馈线柜数量(面)	13	13	-
设备规模	母联柜数量(面)	7	7	-
费用控制	项目实际费用(万元)	-	352	≤358
断路器性能	电寿命(开断额定短路电流次数)	≤45	120	≥100
断路器性能	机械寿命(操作次数)	≤28000	55000	≥50000
柜体防护	外壳防护等级	IP3X	IP5X	≥IP4X
柜体防护	隔室间防护等级(断路器室门打开时)	IP1X	IP3X	≥IP2X
柜体防护	外壳钢板厚度(mm)	1.8	2.8	≥2.5
柜体防护	隔板厚度(mm)	1.5	2.2	≥2.0
监测系统	局放监测精度(pC)	无监测	0.8	≤1.0
监测系统	温度监测精度(°C)	无监测	±0.4	±0.5
监测系统	开关状态响应时间(ms)	无监测	30	≤50
保护系统	保护选择性动作时间(s)	无协同分析	0.04	≤0.05
保护系统	保护定值设置准确率(%)	85	100	100
抗内燃弧能力	内燃弧等级(kA/s)	无试验数据	45/1	≥40/1
标识体系	标识准确率(%)	70	100	100
运行故障	改造后半年故障次数(次)	改造前年均12次	0	-

从数据表数据可知,该项目在多维度实现了显著提升。费用控制方面实际费用352万元低于358万元的控制目标,成本管控

效果良好。断路器性能大幅提升,电寿命从改造前的不足45次提升至120次,机械寿命从不足28000次提升至55000次,远超行业标准要求,核心元件可靠性显著增强。

5 结论

本文针对老旧水电厂10kV开关柜的安全隐患问题展开研究,通过系统分析明确该类设备普遍存在机械系统老化、安全防护功能缺失、智能监控系统缺位、设备适配性不足、保护系统选择性欠缺及标识体系混乱六大类安全隐患,且这些隐患的产生与设备运行年限过长、初始设计标准滞后、维护管理不完善、厂家停产断供及技术升级脱节密切相关。

[参考文献]

[1]易满成,王劲,夏永强,等.一起10kV气体绝缘开关柜事故及其隐患分析[C]//2011年中国电机工程学会年会.中国电机工程学会,2011.

[2]李滔.基于10kV中置式开关柜的安全隐患分析[J].建筑技术与设计,2017.

[3]何郁,张军红,夏玉山.6kV-10kV开关柜安全隐患及应对措施[J].电世界,2014(2):2.

[4]何郁,张军红,夏玉山.6~10kV开关柜安全隐患排查治理措施[C]//甘肃省电机工程学会2014年学术年会.0[2025-11-26].

[5]吕燕芬.浅析10kV高压开关柜故障原因及防范措施[J].商品与质量·建筑与发展,2021(9):0086-0087.

[6]李文彦.10kV高压开关柜的故障及防范措施分析[J].工程技术(文摘版):00150-00150[2025-11-26].

[7]唐洁.10kV高压开关柜故障原因分析及措施[J].工程技术:引文版,2016(3):173.

作者简介:

黄梓涵(1998--),男,汉族,贵州贵阳人,本科,助理工程师,研究方向:电气一次(发电机、变压器、开关设备等)。

杨易璋(1999--),男,土家族,贵州铜仁人,本科,助理工程师,研究方向:电力系统。

王宏(1974--),男,汉族,贵州人,本科,高级工程师,研究方向:电力系统及其自动化。

刘旭(1994--),男,汉族,贵州贵阳人,本科,工程师,研究方向:电气一次。