Research on State Analysis and Maintenance Technology of Primary and Secondary Integration Switchgear*

WU Peng*, LI Qianmin, HE Hongliu, WANG Zhuoyue, FU Yu, ZHANG Ruifeng
(Electric power Research Institute of Guizhou Power Grid Co. Ltd., Guiyang Guizhou 550002, China)

Abstract: As one of the most widely distributed equipment in distribution network, pole switch is the carrier of distribution protection control and automation function, and also an important equipment to ensure the operation safety and power supply reliability of distribution network. However, in fact, the failure rate of pole switches in power supply enterprises has been high. In some areas, the on-line rate of pole switches is less than 65%, and the reliable operation rate is only about 50%, which brings great hidden danger to the reliable operation of distribution network. Starting from the terminal operation and maintenance requirements of distribution network, combined with the research and practice status of primary and secondary fusion on column switch, focusing on the conventional defects of on column switch, deeply comparing the differences of operation and maintenance methods between traditional on column switch and primary and secondary fusion on column switch, the state analysis and operation and maintenance technology of primary and secondary fusion on column switch are studied and designed, and the primary and secondary fusion on column switch operation and maintenance business organization mode of large-scale application of equipment is deeply analyed. Through the research, the operation and maintenance scheme of primary and secondary fusion on column switch will be put forward, which will provide guidance for the design, selection and operation and maintenance of primary and secondary fusion on column switch.

Key words: primary and secondary integration, switchgear assembly, integration, defect analysis, operation and maintenance technology
EEACC: 8370 **doi**: 10.3969/j.issn.1005-9490.2023.01.030

一二次融合柱上开关状态监测与运维技术研究*

吴 鹏*, 李前敏, 何洪流, 王卓月, 付 宇, 张锐锋
(贵州电网有限责任公司电力科学研究院, 贵州 贵阳 550002)

摘 要: 柱上开关作为配电网最广泛分布的设备之一, 是配电保护控制、自动化功能实现的载体, 也是保障配电网运行安全、供电可靠性的重要装备。然而事实上, 供电企业柱上开关故障率一直居高不下, 部分地区柱上开关在线率不足 65%, 可靠动作率仅有 50%左右, 对配电网可靠运行带来重大隐患。从配电网终端运维需求出发, 结合一二次融合柱上开关研究实践现状, 重点梳理柱上开关常规缺陷, 深入对比了传统柱上开关与一二次融合柱上开关运维方法上的差异, 研究设计了一二次融合柱上开关状态监测与运维技术, 并深入分析了一二次融合配电设备规模化应用的运维业务组织模式。通过研究, 将具体提出一二次融合柱上开关运维方案, 为一二次融合柱上开关设计、选型和运维提供指导。

关键词: 一二次融合; 成套开关; 一体化; 缺陷分析; 运维技术
中图分类号: TM615 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9490(2023)01-0179-06

随着配电网一二次融合专项工作持续推进, 国内电网企业完成并发布了多项设备类技术标准和测试规范, 有效促进了配电网设备功能成套和技术深度融合[1-2]。目前, 国内众多一二次设备厂商逐步走向融合, 开展一二次融合设备联合设计研发工作, 并推出了多种功能融合、型式创新的新型开关设备, 电网公司也开展了首批一二次融合设备整机测试与挂网运行工作[3-4]。

柱上开关作为配电网最广泛分布的设备之一, 是配电保护控制、自动化功能实现的载体, 也是保障配电网运行安全、供电可靠性的重要装备[5-6]。目前, 供电企业传统柱上开关故障率一直居高不下, 部分地区柱上开关在线率不足 65%, 可靠动作率仅有 50%左右[7], 给配电网安全稳定运行带来巨大隐患。随着一二次融合柱上开关的逐步推广应用, 一二次融合柱上开关在设备可靠运行、配电自愈控制等方

项目来源: 贵州电网有限责任公司资助项目(GZKJXM20182502)
收稿日期: 2021-03-25 **修改日期**: 2021-09-30

面技术优势逐渐凸显[8-9],同时也给配电设备运行维护带来新的技术形态,开展基于一二次融合技术的配电终端运维技术研究势在必行。

本文从配电网终端运维需求出发,结合一二次融合柱上开关研究实践现状,重点梳理柱上开关常规缺陷,深入对比传统柱上开关与一二次融合柱上开关运维方法上的差异,研究设计一二次融合柱上开关状态监测与运维技术,提出一二次融合设备规模化应用的运维业务组织模式。通过本文研究,将具体提出一二次融合柱上开关运维方案,为一二次融合柱上开关设计、选型和运维提供指导。

1 一二次融合柱上开关技术趋势

随着经济和科技的不断发展,社会对电网系统的可靠性要求也越来越高,对柱上开关的性能要求也越来越高。在这种情况下,柱上开关设计与生产都加强创新改革,从而不断地提高柱上开关的综合性能。柱上开关的主要发展趋势有环保、新材料新介质的应用、维护量小、最佳人机关系、小型化等几个方面。

①环保。SF_6 气体具有良好的灭弧能力和绝缘能力,在高压电器中有十分广泛的应用,但各国签署的《京都协议书》使 SF_6 电器的生产量逐渐减少,目前一直在寻找适合代替 SF_6 气体的介质。

②新材料、新介质的应用。对于户外高压断路器,其环境适应能力对产品的要求比较高。因此,高强度、耐紫外线、自洁能力强的绝缘材料将在户外高压断路器中得到广泛的应用,如环氧树脂材料、陶瓷材料等。

③维护量小。高压断路器在运行使用过程中,受各种因素的影响,很容易出现故障,从而对电网系统的稳定运行造成很大的影响,这就需要对高压断路程器进行有效的维护。真空断路器具有灭弧能力强、维护量小、免维护等特点,可以广泛应用于低重燃、小型化真空灭弧室。

④最佳人机关系。高压断路器将朝着操作单位,电动遥控操动的方向发展,工作人员可以通过电网自动化系统对高压断路器的状态进行控制,从而极大地减轻了工作人员的工作量,提高工作人员的工作效率。

⑤小型化。随着小型化真空灭弧室、气体绝缘技术、复合绝缘技术等的应用,高压断种器的尺寸、重量将会变得越来越小,加上电子测量控制设备的快速发展,在将来,电容式分压器和电流传感器有可能融为一体,从而进一步减小高压电器的体积。

2 一二次融合柱上开关状态监测

柱上自动化开关设备主要由开关本体、开关控制单元和户外电压互感器三部分组成,三部分以户外防护控制电缆以及户外航空插件进行成套电气连接,三部分互相配合形成整体实现配电线路保护和自动化功能。在设备运行过程中,柱上开关故障三种组成部件中均存在缺陷风险点,本节详细分析柱上开关本体和控制单元常见缺陷[10]。

2.1 柱上开关本体缺陷分析

柱上开关本体主要由箱体、操作机构和附件三部分组成,各部分主要缺陷情况如表 1 所示。

表 1 柱上开关主要缺陷分析

序号	缺陷部位	缺陷名称
1	箱体缺陷	磁件受损
2		外壳锈蚀
3		套管破损、裂纹
4		分合位置指示不正确
5		路器灭弧室断口的工频耐压值下降
6		真空度下降
7		SF_6 气体泄漏
8		SF_6 气体压力不正常
9	操作机构缺陷	操作机构传输不灵活,分合不到位
10		操作机构拒合
11		操作机构拒分
12	附件缺陷	连接部分过热
13		底座、支架松动
14		引线接头连接不牢
15		线间和对地距离不足
16		标志牌掉落等
17		接地引下线破损、接地电阻不合格

部分缺陷造成原因清晰,不再详述,如外壳锈蚀是由于外壳长期处于潮湿环境下,金属部分发生氧化作用形成锈蚀,套管破损、裂纹则是由外物碰撞或原设备质量存在问题,在长期运行过程中,由于振动、温度和压力变化等形成贯穿性裂纹,导致设备故障。

SF_6 气压下降原因主要包括:①瓷件与法兰胶合处胶合不良;②瓷件的胶垫连接处,胶垫老化或位置未放正;③滑动密封圈损伤,或滑动杆光洁度不够;④管接头处及自封阀处固定不紧或有杂物;(5)压力表,特别是接头处密封垫损伤。

真空断路器真空度降低原因主要包括:①使用材料气密情况不良;②金属波纹管密封质量不良;③在调试过程中行程超过波纹管的范围或超程过大,受冲击力太大造成。

柱上断路器拒合、拒分故障原因主要包括:①电气方面故障。如分、合闸回路故障、储能线圈故障、

控制电源故障、一二次连接故障等;②机械方面故障,如机构生锈卡涩、辅助开关未正确指示等。

柱上开关本体断路器过热原因主要包括:①过负荷;②触头接触不良,接触电阻超标;③导电杆与设备接线线夹连接松动;④导电回路内各电流过渡部件、紧固件松动或氧化。

2.2　柱上开关控制单元缺陷分析

柱上开关控制单元(Feeder Terminal Unit,FTU)在设备类型上可分为箱式、罩式两种,其中罩式 FTU 防护安全级别要求为 IP67,应具备防尘、防水能力,箱式 FTU 防护安全级别要求不低于 IP65。与柱上开关本体相比,FTU 可靠性相对较低,元器件质量直接影响 FTU 寿命以及各类功能的可靠实施,通常来说柱上开关断路器设备能够可靠运行 10 年~15 年,而 FTU 设备受后备电源、传感设备寿命制约,可靠运行时间仅有 5 年~7 年。

柱上开关 FTU 缺陷主要分为外壳故障、后备电源故障、通信故障和接地故障 4 类,其中外壳故障主要包括:①外壳开裂缺损;②二次端子排接线锈蚀脱落;③二次接口腐蚀进水等。

2.3　一二次融合柱上开关状态监测

2.3.1　温湿度状态监测

温湿度对一二次融合柱上开关运行状态影响大,长期异常的温湿度环境造成机构锈蚀、绝缘下降和元器件损坏等问题。温湿度传感器安装在操作机构下面的位置,通过 FTU 的电源模块经控制电缆实现供电。

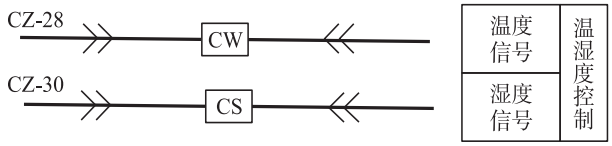

图 1　柱上开关温湿度监测

温湿度状态监测信息经 FTU 统一接入,相关数据汇聚于柱上开关运维平台,实现设备温湿度状态监视与运维管理。

2.3.2　分合闸线圈状态监测

分合闸回路是控制本体开关状态、实现 FTU 保护控制功能的重要元器件。部署分合闸线圈状态监测,主要目的在于保障分合闸线圈,避免开关控制失效问题。

如图 2 所示,将分合闸输出操作机构的电源电流穿心经过霍尔传感器,通过采集操作电源电流 I_p 实现分合闸线圈状态监测,逐步实现录波文件的在线分析,实现分合闸线圈状态的在线故障处理。

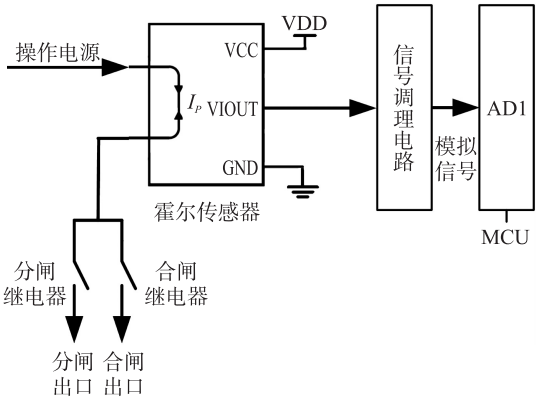

图 2　分合闸线圈状态监测

2.3.3　储能电机电流状态监测

储能电机电流是反映柱上开关弹簧与操动机构状态的重要指标,国内已开展大量基于储能电机电流的开关操作机构状态分析技术研究,通过分析电机电流波形可分析弹簧、操动机构锈蚀卡涩情况,实现开关操动状态预警,避免开关分合闸失效。

与分合闸线圈状态监测相似,建立如图 3 所示的储能电机电流状态监测方法,实现储能电机电流的在线录波。

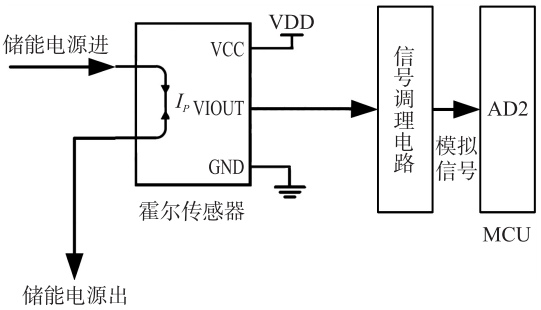

图 3　储能电机电流状态监测

2.3.4　气箱气压状态监测

开关本体的气箱内具有一定量的绝缘气体,因密封老化等问题,绝缘气体会不可避免地存在泄漏问题,其显著的状态特征为本体气箱低气压。气箱低气压会显著影响开关本体的绝缘性能,导致出现绝缘失效、局部放电等风险。在气箱中增加低气压告警功能,当气箱压力降低时产生告警,提示运维检修。低气压告警采用无源传感器,告警信号经一二次连接插头上送 FTU 实现告警与运维提示。

3　一二次融合柱上开关运维技术

3.1　传统运维技术

当前,柱上开关可靠动作率较低(据部分地区统计仅为 50%左右),其原因主要包括:①设备带故障运行,部分设备在事故发生后才发现故障;②设备管理

不到位,运维工作未定期开展;③设备本身质量问题,设备故障正确识别率不高,可靠动作率不高。因此,为提高柱上开关的可靠动作率,应从设备本身质量和运维管理两方面入手,本文重点研究基于远程配置和移动运维技术的一二次融合柱上开关运维技术。

传统配电网柱上开关运维工作自动化、智能化水平不高,柱上开关运维工作存在较大问题,主要表现在:①运维检修方式包括现场巡视和定期检查两种,巡视主要从设备外观进行检查,并配合部分测温和操作工作,现场巡视能够反映问题,但存在一定局限性,定期检查能够排查部分机构卡塞、气压下降等问题,但依旧存在局限性,难以实现柱上开关的整体功能校验;②柱上开关数量多、分布广、型号多与运维人员整体工作能力形成矛盾,电力生产运行单位缺少适用于柱上开关运维的自动化装备。

表 2 所示为当前柱上开关的主要运维方法,其运维工作主要停留在运维人员巡查和少量运维工具的应用上,造成柱上开关运维工作反映问题存在局限性,而且大部分缺陷需要设备厂家维修或配合,造成运维效率低下。

表 2 柱上开关常规缺陷及其处理方法

序号	缺陷描述	缺陷处理原则和方法
1	套管破损、裂纹	发现后及时更换
2	10 kV 柱上 SF_6 断路器 SF_6 气压不正常	根据压力表或密度继电器检测气体泄漏,SF_6 充气压力一般为 0.04 MPa~0.1 MPa,用 SF_6 气体作为绝缘和防凝露介质的开关,年漏气率应不大于 3%。
3	真空断路器真空度下降	真空管真空度应保持 1×10^{-8} Pa~1.33×10^{-3} Pa 范围内,可根据观察颜色(真空度降低则变为橙红色)及停电进行耐压试验,鉴别是否下降。
4	断路器拒分、拒合	检查电器回路有无断线、短路等现象;检查机械回路有无卡塞;检查辅助开关是否正确转换;
5	断路器分、合闸不到位	检查辅助开关转换正确性;检查分闸或合闸弹簧是否损伤;检查操动机构中其他连扳及构件是否处于正确对应状态。
6	断路器干式电流互感器故障	停电后进行常规检验;进行局部放电测量,在 1.1 倍相电压的局部放量不大于 10 pC
7	接地引下线破损、接地电阻不合格	停电后进行修复,对接地电阻不合格者应重新外引接地体
8	断路器或开关支架有脱落现象	应作紧急缺陷停电处理
9	操动机构不灵活、锈蚀	添加润滑剂
10	柱上断路器引接线接头发热	通过红外线检测实际温度,然后再判断处理

3.2 一二次融合柱上开关运维技术

一二次融合柱上开关远程运维主要包括远程服务器和相应的远程维护管理软件,实现对配电终端的远程集中监控、调试、配置和管理,从而大幅减少系统的运维成本和检修工作量,显著提高对配电自动化缺陷的响应和处理速度[11-12]。

智能移动运维系统是一二次融合柱上开关的一部分,通过无线方式获取一二次融合柱上开关设备数据信息,对一二次融合柱上开关设备在现场的运行维护管理,极大地方便现场人员的工作。在提供便捷的同时,也通过安全加密装置保证运维工作安全性。

图 4 所示为一二次融合柱上开关移动运维系统架构,柱上开关本体部分与二次 FTU 通过无线模块(蓝牙)进行通信,二次 FTU 通过自定义的通信协议实现一二次一体化移动维护,一方面获取一二次融合柱上开关设备的数据信息,显示一二次融合柱上开关的运行状态,另一方面,分析设备状态数据,实现一二次融合柱上开关设备运行维护和管理。

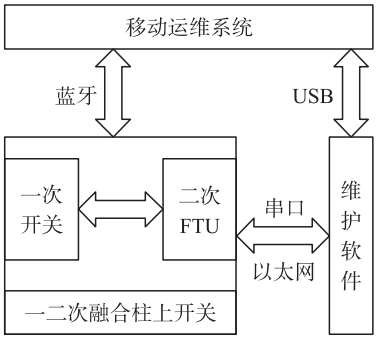

图 4 一二次融合柱上开关运维架构

如表 3 所示,列出一二次融合柱上开关移动运维主要功能,具体包括设备连接监测功能、遥测数据显示功能、一次设备状态监测功能、电源状态监测功能、二次设备状态监测功能、遥控测试功能、历史数据参数管理功能和设备参数管理功能 8 大类功能。

表 3　一二次融合柱上开关运维功能列表

序号	功能名称	功能描述
1	设备连接监测	一二次设备配对码配对监测 蓝牙通信状态监测 一二次航空插头连接状态监测
2	遥测数据显示	显示实时遥测名称、遥测值,精确到小数点后 3 位
3	一次设备状态监测	气箱温度、湿度、储能电机电流、分合闸线圈电流等信息显示与故障告警
4	电源状态监测	电源模块的状态信息显示与故障告警
5	二次设备状态监测	二次设备的状态数据信息显示与故障告警
6	遥控测试	分合闸控制命令 遥控前需要输入控制密码、需要验证权限
7	历史数据显示	电机电流、分合闸线圈电流等历史数据读取; 选择保存的记录数据,展示曲线
8	设备参数管理	读写设备参数 读取显示、修改配置、下载设备的保护定值

其中,设备连接监测功能对设备通信和连接状态进行监测,能够实现航空插头接口脱落、蓝牙通信模块故障等问题的告警;一次设备状态监测是一二次融合柱上开关的技术优势,也是移动运维的重点内容,可实现对开关本体气象温度、湿度、储能电机电流、分合闸线圈电流等信息和状态的存储显示,可实现分合闸回路、操动机构、设备绝缘等故障告警,指导运维人员及时更换故障设备;历史数据显示功能主要指移动运维系统能够对一二次设备状态信息实现存储和显示功能,能够通过柱上开关设备运行数据的全面采集和存储展示,指导柱上开关元器件故障检修和运维工作,进一步提高配电自动化设备可靠性。

一二次融合柱上开关的规模化应用,能够为配电终端管理运维带来新的组织模式,分区分片地推广应用模式,可极大程度降低配电终端定期巡视维护工作,也为部分难以观测的内部故障判断提供相应手段。一二次融合柱上开关整体运维组织模式如图 5 所示,运维系统在远端和现场移动终端协同部署,相关功能云边联动,能够全面支撑各项运维场景与需求。

在系统整体部署层面,运维系统在安全分区上部署于生产管理大区,与生产运行大区横向隔离,部分指导运维的运行信息通过正反向隔离装置周期性传输,在保证了一二次融合柱上开关高效运维的同时,满足配电自动化安全防护要求。

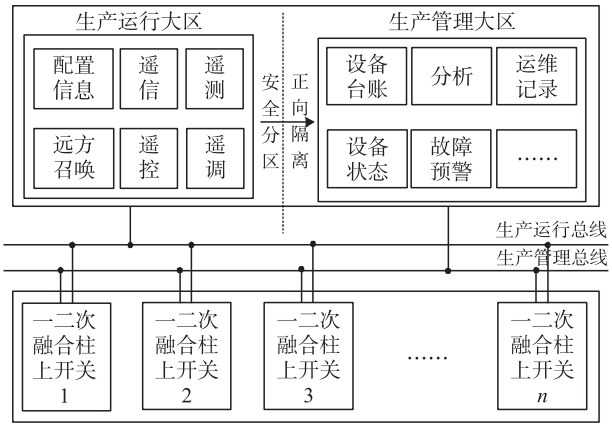

图 5　一二次融合柱上开关运维组织模式

4　结论

本文从配电网终端运维需求出发,结合一二次融合柱上开关研究实践现状,重点从柱上开关本体和控制单元两个方向梳理了柱上开关常规缺陷,同时结合柱上开关运维的难点和一二次融合配电终端技术优势,研究提出一二次融合柱上开关状态监测与运维方案,深入对比分析了传统柱上开关与一二次融合柱上开关运维方法上的差异,进一步表明了一二次融合柱上开关的运维便捷化、智能化、无人化优势。通过本文研究,具体提出了一二次融合柱上开关运维方案,提出一二次融合设备规模化应用的运维组织模式,为配电终端的一二次融合技术发展提供了思考。

参考文献:

[1]　姚光,方锦,张伟. 配电网一二次融合关键技术及应用[J]. 自动化应用,2019(2):118-119.

[2]　丁永生. 配电台区一二次设备多功能融合与信息交互的应用研究[J].电气自动化,2021,43(3):4-6,15.

[3]　黄祖委,熊洽,黄国权,等. 柱上开关一二次融合的技术发展阶段分析[J]. 大众用电,2019,34(2):29-30.

[4]　邓吉祥. 配电一二次融合成套设备 FTU 设计方案[J]. 通信电源技术,2018,35(11):201-203,207.

[5]　周倩,甄建辉,甘兴林,等. 高频传导干扰对配电网智能柱上开关保护的影响仿真研究[J]. 电力电容器与无功补偿,2020,41(4):164-170.

[6]　侯元文. 配网线路柱上开关配合存在的问题及应对措施[J]. 农村电气化,2020(7):27-30.

[7]　李维,王洪林,宋裕,等. 10 kV 电压时间型柱上开关可靠性提升技术研究[J]. 电工技术,2020(23):68-70.

[8]　黄祖委,熊洽,黄国权,等. 柱上开关一二次融合的技术发展阶段分析[J]. 大众用电,2019,34(2):29-30.

[9] 邓吉祥. 配电一二次融合成套设备 FTU 设计方案[J]. 通信电源技术,2018,35(11):201-203,207.
[10] 毕昊林,王加友,黄良栋,等. 基于边缘计算的柱上开关状态监测研究[J]. 中国新技术新产品,2020(6):13-14.
[11] 李政成,陈普凡,陈养华,等. 智能柱上开关在线监测技术分析[J]. 大众用电,2020,35(2):25-26.
[12] 林昱奂,胡嘉铭,戴伟力,等. 一种智能柱上开关状态监测与故障诊断系统[J]. 环境技术,2020,38(6):134-138.

吴 鹏(1987—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:电力系统自动化专业,wupeng56lu@163.com。