

Key Technologies and Fault Disposal Strategies of Operation and Maintenance of Secondary System of State Grid Smart Substation

Chaofan Bao

State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd. Ultra High Voltage Branch, Beijing, 102488, China

Abstract

As the State Grid accelerates its digital and intelligent transformation, smart substations have become the core hub of power systems. Their secondary systems perform critical functions including measurement, protection, control, and communication, exhibiting digitalization, networking, and intelligence compared to traditional systems. The integration of equipment and complexity of signal transmission have significantly increased operational challenges. This paper examines the structural characteristics and current maintenance status of State Grid's smart substation secondary systems, identifies key maintenance technologies, analyzes common fault types and their causes, proposes scientifically efficient fault resolution strategies, and validates the feasibility of these technologies and strategies through engineering case studies. The aim is to enhance the operational reliability of secondary systems and ensure safe and stable power supply for the grid.

Keywords

State Grid smart substation; secondary system; operation and maintenance technology; fault handling; reliability

国网智能变电站二次系统运维关键技术及故障处置策略

鲍超凡

国网冀北电力有限公司超高压分公司, 中国·北京 102488

摘要

随着国家电网向数字化、智能化转型加速,智能变电站成为电力系统核心枢纽。其二次系统承担测量、保护、控制、通信等关键职能,相较传统系统呈现数字化、网络化、智能化特征,设备集成度与信号传输复杂度提升,运维难度显著增加。本文结合国网智能变电站二次系统结构特点与运维现状,梳理运维关键技术,分析常见故障类型及成因,提出科学高效的故障处置策略,并结合工程实例验证技术与策略的可行性,以期提升二次系统运行可靠性,保障电网安全稳定供电。

关键词

国网智能变电站;二次系统;运维技术;故障处置;可靠性

1 引言

二次系统作为智能变电站的“大脑”与“神经”,涵盖继电保护、测控装置、合并单元、智能终端、通信网络、后台监控等环节,直接负责一次设备的运行监测、故障保护、控制调节,其运行状态的稳定性与可靠性,直接决定整个智能变电站乃至区域电网的安全运行水平。因此,深入研究国网智能变电站二次系统运维关键技术,建立科学完善的故障处置体系,实现故障的快速定位、高效处置与复发防范,对提升国网智能变电站运维水平、保障电力系统安全可靠供电具有重要的理论意义与现实价值。

【作者简介】鲍超凡(1991-),女,蒙古族,中国河北承德人,本科,工程师,从事变电运维研究。

2 国网智能变电站二次系统运维关键技术

2.1 全维度设备状态在线监测技术

设备状态在线监测是二次系统智能化运维的基础,核心是通过部署高精度监测装置,实时采集二次设备运行状态数据,实现设备异常的早期发现与预警,打破传统定期巡检的局限性,为状态检修、预测性检修提供数据支撑。

针对不同类型二次设备,需采用差异化监测方案:保护装置与测控装置重点监测电源状态、CPU 负荷、内存占用率、通信状态及定值参数,数据超阈值时自动告警;合并单元重点监测模拟量采集精度、数字化信号传输稳定性、同步时钟精度,通过高精度同步监测装置检测采样同步性,同时监测光纤信号衰减程度;智能终端重点监测指令执行状态、反馈信号准确性、断路器操作回路状态,通过动作电流与动作时间判断运行状态;通信网络重点监测带宽、报文传

输延迟、丢失率及拓扑结构，实时捕获网络报文，分析传输质量。

2.2 大数据驱动的智能诊断与预警技术

在故障智能诊断方面，通过挖掘分析历史故障数据与设备运行数据，提取故障特征，建立故障与特征参数的映射关系。设备出现异常时，模型可自动匹配故障特征，精准判断故障类型、位置及成因，并给出排查建议。在故障预警方面，基于设备运行数据趋势分析，预测设备未来运行状态，设备状态恶化时自动发出预警信号，提醒运维人员及时防控。

此外，结合神经网络、支持向量机等人工智能算法优化诊断与预警模型，提升对复杂故障、隐性故障的诊断预警能力。整合国网范围内二次系统故障数据，构建大数据共享平台，实现故障案例与诊断经验的共享，提升整体智能诊断水平。

2.3 三级网络通信运维与优化技术

通信系统是二次系统的“生命线”，过程层、间隔层、站控层三级网络的稳定运行，直接决定二次系统的正常工作。针对通信网络运维难度大、故障频发的问题，需重点应用三级网络通信运维与优化技术。

其一，优化网络拓扑结构。过程层采用环形拓扑，实现双向通信，某段光纤破损时自动切换备用链路；间隔层与站控层采用星形拓扑，简化结构，便于运维管理。同时合理规划 VLAN，减少网络广播风暴，提升传输效率，避免业务间相互干扰。其二，开展网络报文监测与优化。采用高精度网络报文分析仪，实时捕获三级网络报文，分析传输延迟、丢失率、格式规范性等指标。针对延迟过大问题，优化带宽分配，优先保障保护跳闸、控制指令等关键报文传输；针对丢失率过高问题，检查光纤链路和网络端口，优化拓扑结构；针对报文格式不规范问题，排查设备协议配置，确保遵循 IEC61850 标准协议。其三，强化网络同步技术。采用 GPS+ 北斗双模同步时钟系统，实现时钟信号双重备份；通过 IEEE1588 精密时钟同步协议，将各二次设备时钟同步偏差控制在 $1\mu\text{s}$ 以内。同时实时监测时钟同步状态，同步信号异常时自动切换备用时钟源并发出告警。

2.4 状态检修与预测性检修技术

打破传统定期检修模式，基于设备状态监测数据与智能诊断结果，构建二次系统状态检修与预测性检修体系，实现“按需检修、精准检修”，降低运维成本，提升运维效率，延长设备使用寿命。

第一，实施设备状态评估技术。建立涵盖设备运行参数、故障历史、检修记录、环境因素的状态评估指标体系，采用层次分析法、模糊综合评价法，将设备状态划分为“正常、注意、异常、严重”四个等级，并针对性采取不同运维策略。第二，应用预测性检修技术。基于设备状态趋势分析与故障

预警模型，预测设备剩余使用寿命、可能发生的故障类型及时间，制定个性化检修计划。同时结合设备运行负荷与环境条件，动态调整检修计划，提升针对性与有效性。第三，推进检修流程标准化。制定国网统一的状态检修、预测性检修标准化流程，明确检修内容、步骤、标准与安全规范。检修前制定详细方案，明确重点、人员、时间及安全措施；检修中严格按流程操作，做好记录；检修后全面测试设备，更新检修记录与状态评估数据，形成闭环管理。

2.5 网络安全防护技术

硬件防护上，在站控层与间隔层、间隔层与过程层之间部署防火墙、隔离装置，实现网络分层隔离；在网络入口部署入侵检测系统、入侵防御系统，实时监测网络流量；采用加密路由器、加密光纤，对传输报文加密处理；定期巡检升级网络设备与防护设备。软件防护上，定期升级二次设备操作系统与应用软件，修复漏洞；安装正版杀毒软件与终端安全管理系统，监控操作行为；采用数据加密、数字签名技术，保障关键数据完整性与真实性；建立软件版本管理制度，规范软件使用。管理防护上，建立健全网络安全管理制度与操作规程，明确运维人员岗位职责；加强网络安全培训，提升运维人员安全意识与技能；定期开展应急演练，提升应急处置能力。

3 国网智能变电站二次系统常见故障及处置策略

3.1 故障处置基本原则与流程

3.1.1 处置基本原则

二次系统故障处置需遵循“安全优先、快速响应、精准定位、科学处置、闭环管理”原则。安全优先是指始终将人身、设备、电网安全放在首位，严格执行安全规程；快速响应要求故障发生后，运维人员最短时间到达现场，启动处置流程；精准定位需结合状态监测数据、智能诊断结果与故障现象，科学排查故障点；科学处置要求根据故障类型与成因，制定合理方案，规范操作；闭环管理是指故障处置后，及时复盘分析，总结经验，完善防控措施，更新设备数据。

3.1.2 处置基本流程

二次系统故障处置分为五个步骤：一是故障告警接收，运维人员通过后台监控系统、状态监测平台等接收告警信号，记录告警时间、内容及设备信息；二是故障初步判断，结合告警信息、设备运行数据与智能诊断结果，初步判定故障类型与范围，制定排查方案；三是故障精准排查，使用万用表、示波器、网络报文分析仪等专业工具，对相关设备与线路逐一排查，定位故障点与成因；四是故障科学处置，采取设备重启、参数调整、元器件更换等针对性措施，处置后全面测试设备，验证运行状态；五是故障复盘与闭环，组织运维人员复盘分析故障，总结经验教训，完善防控措施，更新检修与状态评估记录。

3.2 常见故障及处置策略

3.2.1 保护装置故障

保护装置常见故障包括装置死机、定值错误、采样异常、误动作、拒动作。装置死机多由CPU故障、内存损坏、电源模块故障或软件崩溃导致,可先尝试重启装置,恢复后升级软件、清理内存,未恢复则检测更换故障元器件;定值错误源于录入、保存或传输异常,需对照运维规程核对参数,重新录入保存并检查传输链路;采样异常多因合并单元故障、通信链路问题或装置采样模块故障,先排查合并单元与通信链路,再检测采样模块;误动作由采样异常、定值错误、外部干扰或硬件故障引发,需停止装置运行,排除采样与定值问题,屏蔽外部干扰并检测硬件;拒动作多因硬件故障、通信故障、跳闸回路问题或定值不合理,需排查装置硬件、通信链路与跳闸回路,调整定值参数。

3.2.2 合并单元故障

合并单元常见故障有采样精度超标、同步异常、通信中断、电源故障。采样精度超标由采样模块故障、输入回路接触不良或校准过期导致,需对装置校准,调整模块参数,紧固接头或更换采样模块;同步异常源于时钟信号异常、同步模块故障或通信链路问题,需检查同步时钟系统,修复更换同步模块,确保同步信号传输正常;通信中断多因光纤破损、接头松动、端口故障或协议配置错误,需使用光功率计等工具排查光纤与端口,核对协议配置;电源故障由电源模块损坏或供电线路中断导致,需检查修复供电线路,更换故障电源模块,安装浪涌保护器防范浪涌冲击。

3.2.3 智能终端故障

智能终端常见故障为指令执行异常、状态反馈错误、通信中断、电源故障。指令执行异常多因传输链路故障、硬件故障或操作回路问题,需排查传输链路与智能终端硬件,检查操作回路接线与断路器线圈;状态反馈错误源于传感器故障、传输链路问题或软件故障,需更换故障传感器,修复传输链路并升级软件;通信中断由光纤破损、协议配置错误或端口故障导致,需排查光纤、端口与协议配置;电源故障由模块损坏或供电线路中断引发,需修复供电线路,更换电源模块。

3.2.4 通信网络故障

通信网络常见故障包括网络拥堵、报文丢失、通信中断、协议冲突。网络拥堵源于带宽不足、非关键报文过多或拓扑结构不合理,需优化带宽分配,优先保障关键报文传输,优化拓扑结构并清理网络垃圾;报文丢失多因光纤破损、端口故障、网络干扰或优先级设置不合理,需排查光纤与端口,采取屏蔽措施减少干扰,调整报文优先级;通信中断由光纤

大面积破损、网络设备故障或拓扑结构问题导致,需使用专业工具排查故障范围,修复更换故障设施,优化拓扑结构;协议冲突源于配置错误或软件版本不统一,需核对设备协议配置,统一软件版本,确保遵循IEC61850标准协议。同时可构建双路由架构,采用主备并行光纤链路 with 交换机冗余电源模块,避免单点失效引发通信中断。

3.2.5 后台监控系统故障

后台监控系统常见故障有系统崩溃、数据采集异常、告警失灵、控制指令无法下发。系统崩溃多由操作系统故障、软件崩溃或服务器硬件故障导致,可重启服务器,恢复后升级软件、清理内存硬盘,未恢复则检测更换故障硬件,重装系统与监控软件;数据采集异常源于通信链路故障、采集模块故障或软件配置错误,需排查修复通信链路,更换采集模块,核对调整软件配置参数;告警失灵由参数设置不合理、软件故障或通信问题导致,需调整告警阈值,升级软件并排查通信链路;控制指令无法下发多因通信链路故障、权限设置错误或软件故障,需修复通信链路,核对运维人员指令权限,升级软件修复故障。

4 结论

国网智能变电站二次系统是电力系统安全稳定运行的“神经中枢”,其运维工作的智能化、精准化与高效化,直接决定电网的供电可靠性与安全性,本文明确的故障处置原则与流程,以及针对五类常见故障提出的处置策略,经工程实例验证具备可行性与有效性。实践表明,应用上述技术与策略,能够大幅降低二次系统故障发生率,提升故障处置效率,降低运维成本,提升设备运行可靠性,为国网智能变电站二次系统运维工作提供有力的理论支撑与实践参考。

参考文献

- [1] 龚琰. 智能变电站与传统变电站的继电保护技术分析[J]. 低碳世界, 2024, 14(12): 34-36.
- [2] 陈伟骥. 提高智能变电站设备安装调试效率的创新策略与实践[C]// 广西信息化发展组织联合会. 第四届工程技术管理与数字化转型学术交流论文集. 广东威恒输变电工程有限公司, 2024: 169-171.
- [3] 全国首座500kV智能变电站完成母线保护改造[J]. 变压器, 2024, 61(05): 70.
- [4] 刘京辉, 徐振, 杨哲. 智能变电站配置文件管控校验技术与系统的研究[C]// 中国国际科技促进会. 2023第二届世界前沿科技大会论文集. 国网浙江省电力有限公司超高压分公司, 2023: 27-31.
- [5] 王岩. 电网110kV智能变电站模块化建设的通用设计[J]. 电子技术与软件工程, 2023, (06): 155-158.