

高压断路器电气控制回路通讯干扰问题分析与对策

夏许飞

江苏省如高高压电器有限公司, 江苏 如皋 226500

DOI:10.61369/ERA.2026020040

摘 要 : 高压断路器在电力系统中广泛普及后, 其电气控制回路通讯稳定性对电力系统可靠运行至关重要, 环境因素、设备老化、电磁干扰等致使通讯干扰现象屡屡出现, 严重影响设备正常工作与故障诊断分析, 高压断路器电气控制回路通讯干扰成因, 剖析常见干扰源和产生机制且给出有效防范与抑制办法像优化接地设计、强化抗干扰能力、改良通讯协议等, 为增强电气控制回路通讯稳定性提供可行方案。在保障安全运行方面, 高压断路器起着关键作用, 通过一系列措施可改善其电气控制回路通讯受干扰的状况, 进一步提升系统的可靠性。

关 键 词 : 高压断路器; 电气控制回路; 通讯干扰; 抗干扰设计; 电磁兼容

Analysis and Countermeasures of Communication Interference in Electrical Control Circuit of High Voltage Circuit Breaker

Xia Xufei

Jiangsu Rugao High Voltage Electrical Appliance Co., Ltd., Rugao, Jiangsu 226500

Abstract : After high-voltage circuit breaker is widely used in power system, the communication stability of its electrical control loop is very important for the reliable operation of power system. Environmental factors, equipment aging and electromagnetic interference frequently cause communication interference, which seriously affects the normal operation and fault diagnosis analysis of equipment. The causes of communication interference of high-voltage circuit breaker's electrical control loop are analyzed, and effective prevention and suppression methods such as optimizing grounding design, strengthening anti-interference ability and improving communication protocol are given. High-voltage circuit breaker plays a key role in ensuring safe operation. Through a series of measures, the communication interference of its electric control loop can be improved, and the reliability of the system can be further improved.

Keywords : high voltage circuit breaker; electrical control loop; communication interference; anti-interference design; electromagnetic compatibility

引言

高压断路器作为电力系统里极为重要的保护设备, 承担着保障电网安全运行的重大使命, 不过伴随电力系统复杂程度和自动化程度提升, 电气控制回路通讯稳定性问题逐渐凸显, 通讯干扰会造成设备操作延迟或失效, 还可能引发电网故障误判, 给电力系统安全运行埋下巨大隐患, 电磁干扰、设备接地不佳、老化等都可能成为通讯干扰的源头, 所以研究高压断路器电气控制回路通讯干扰问题并找到有效解决办法, 成为当下电力工程技术领域急需攻克的课题之一, 需综合考量多种因素, 采用创新思路和方法来应对这一难题, 以推动电力系统的稳定发展。

一、高压断路器电气控制回路的基本构成与工作原理

高压断路器电气控制回路在电力系统中至关重要, 是保障设备正常运行、实现安全防护的核心所在。它主要负责把控电气设备的开关状态, 可及时将电网故障隔离, 防止事故于电网内蔓延, 当系统出现故障, 断路器会依照控制信号快速切断电路, 避

免故障波及到其他区域, 然而, 控制回路中的通讯部分复杂又敏感, 通讯稳定性直接关系到断路器的反应速度与故障检测精度。高压断路器电气控制回路通常由多个控制元件、通讯模块和保护设备组成, 控制元件承担接收与处理信号的任务, 通讯模块通过电缆或无线网络和其他设备进行数据交换, 保护设备实时监测回路状态以确保通讯信号准确传输, 如此共同维持着整个回路的稳定运行, 为电力系统的安全高效运作保驾护航^[1]。

从工作原理来讲，电气控制回路利用集成的自动化系统对高压断路器进行调度控制，信号传输方式有数字信号和模拟信号，系统通过监控断路器状态实现远程控制与自动化操作，电气控制回路的核心是信号传递与反馈机制，通讯网络保证信号准确且实时地传至断路器以执行相应操作，控制回路中的保护装置根据实时数据评估电网状况，必要时触发断路器断开电路、发出报警等，确保电力系统在故障出现时能快速响应，避免更大范围的电力事故。伴随电力系统对自动化、智能化以及远程监控要求的提高，高压断路器电气控制回路也朝着信息化迈进，现代电力系统中的控制回路不再只是承担局部设备的保护工作，还涵盖复杂的数据采集、处理和远程传输，像现代断路器控制回路与电力调度系统、监控系统等相互连接，远程操作员可实时查看断路器状态并迅速做出判断。

这种智能化、信息化的控制回路提升了系统的稳定性、反应速度和故障处理能力，但也对通讯系统的稳定性提出了更高标准，任何通讯干扰问题都可能直接影响系统可靠性，特别是在紧急状况下，通讯中断可能致使系统误操作或响应延迟，带来安全风险，所以在高压断路器电气控制回路的设计和维修中，必须充分考量通讯的可靠性与抗干扰能力，随着电力系统向更高层次的自动化、智能化发展，确保通讯系统稳定可靠会成为保障电力系统安全、稳定运行的基石，防范通讯干扰、提升通讯质量是实现高效电力系统运行的要点，对保障电力设备正常操作与网络安全意义重大，关乎着整个电力系统能否持续、稳定地为社会提供可靠的电力供应^[2]。

二、 通讯干扰的主要来源及影响因素分析

高压断路器电气控制回路里的通讯干扰，主要源于电磁干扰（EMI）、接地问题、外部环境作用以及设备自身老化等，电磁干扰是极为常见的通讯干扰源头，在高压电力系统当中，强电流与电压波动会于系统内产生电磁辐射，这些辐射经电缆和电气接点进入控制回路，严重情况下或许会让通讯系统彻底失效，还会致使信号失真、引发误操作或使信号无法正确接收，进而对高压断路器的正常运转造成影响。电力设备开关操作，尤其是发生故障产生电弧时，会增强电磁干扰强度，对通讯系统稳定性造成影响，设计和实施时，采取有效的电磁屏蔽举措，挑选抗干扰能力强的设备与材料，对减少电磁干扰意义重大。

接地问题也是重要干扰因素，高压断路器控制回路的通讯信号传输时，若系统接地设计欠佳，会造成地电位不稳定，进而产生噪声，影响通讯质量，老旧电力设备中，接地系统老化或维护不足，会使接地电阻增大，加剧信号衰减和失真，电力设备与控制回路连接处，接地系统有问题易引发控制信号误传输或丢失，严重时影响断路器及时动作，甚至使保护装置无法正常投入运行。电力公司需定期检查接地系统，保证其良好运行，依据环境变化进行调整和优化^[3]。

外部环境对通讯信号的干扰不容小觑，高压电力设备常安装于恶劣环境，像室外或高压变电站，这些环境中气候变化、温度

和湿度波动等，都会对控制回路里的通讯设备产生不利作用，湿气、雨水以及高温、低温等极端气候，可能导致设备腐蚀、线路短路或电气元件性能降低，增加通讯误差出现概率，大气潮湿地区，设备保护措施和防水设计十分关键，以此确保控制回路长期稳定运行。其他电力设备如大型变压器、发电机运行产生的电磁波，也可能影响通讯回路，设备安装时要考量这些，采取合适隔离措施。

高压断路器电气控制回路中设备老化同样影响通讯稳定性，设备长期使用，通讯回路里的电缆、连接器、传感器等部件会出现物理损耗，致使信号衰减、传输效率降低，通讯电缆绝缘层、连接器接触端子等部件，随使用时间增长会变得脆弱，出现老化、松动或氧化现象，进而导致信号失真或中断。所以，对设备开展定期检查、清洁和维护，及时更换老化部件，是确保通讯系统稳定的重要途径^[4]。

三、 高压断路器通讯干扰的防范与抑制策略

处理高压断路器电气控制回路里的通讯干扰问题，采取行之有效的防范与抑制策略意义重大。优化接地设计可谓关键举措其一，系统电气接地需保障安全且要有优良的抗干扰性能，合理设计接地系统可抑制地电位差异引发的噪声干扰，保证信号稳定传输；高压设备中，控制接地电阻、挑选接地线路以及定期检测维护接地系统极为重要，大电流通过时，合理接地能降低电气回路噪声干扰，提升通讯信号可靠性与稳定性，而接地系统可靠性不止影响通讯质量，还直接关联设备运行安全。另外，电磁屏蔽技术在防范通讯干扰时也相当关键，运用合适屏蔽措施可减少外部电磁波对通讯信号的干扰，增强信号纯净度，让整个高压断路器电气控制回路的通讯能更好地稳定运行。

屏蔽材料挑选要结合电磁波的频率、强度以及信号传输特性来优化。像铜、铝这类金属材料是常用屏蔽材料，具备优良导电性与出色屏蔽效果，可有效隔绝外部干扰源，合理设计电缆布局可避免与高电流线路平行铺设，降低电磁干扰影响，双绞线和屏蔽电缆应用能增强抗干扰能力并保障信号传输稳定，在高压电力设备中，电磁干扰或会对通讯系统造成严重后果。在通讯协议设计时，选有抗干扰功能的协议是提升系统稳定性的有效办法，采用冗余度高、抗干扰性佳的通讯协议像 Modbus、Profibus 等，能在电力环境干扰大时维持通讯稳定，协议选择时除考量传输速率，还得有有效的数据校验和错误检测机制防止数据传输出错，保证系统能平稳运行，应对各类复杂电磁环境下的通讯需求^[5]。

这些技术可对通讯信号完整性开展实时监控，迅速察觉因干扰产生信号错误，保障高压断路器控制回路正确响应，防止通讯故障致使误操作或响应延迟。采用此高效通讯协议可增强整个系统稳定性，保障电力系统安全运转。防范通讯干扰，设备定期检测与维护也是关键举措。高压设备长时间使用，部分部件会出现老化，成为干扰源头，对电气组件如通讯线路、连接器、传感器等定期检查，能及时发现并解决潜在问题，避免老化或损坏造成信号失真。借助定期性能测试与数据采集，可实时掌握通讯系统

运行状况，提前识别潜在故障，降低设备故障引发的通讯干扰。在此之上，融合远程监控技术对系统故障实时监控并预警，能在问题出现前介入，大幅降低系统故障发生几率，让高压断路器在各类工况下都能稳定运行，为电力系统的持续稳定供应筑牢坚实基础。^[6]

四、提高电气控制回路通讯稳定性的技术路径与实践应用

提升电气控制回路通讯稳定性的办法，得从设计、实施与维护等多维度切入，保证系统于复杂环境下的可靠运行。设计环节，合理的控制回路架构与通讯系统配置是根基，挑选适配的通讯协议，优化线路排布并强化屏蔽举措，能显著削减外部干扰的效应，就像设计高压断路器控制回路，选用抗干扰性能佳的工业通讯协议如 IEC 61850，搭建具备冗余传输功能的网络架构，可在设备故障或通讯中断时保证系统的持续与安全运行，同时合理安排电缆布线、加固电缆屏蔽层，降低电磁干扰对信号传输的不利作用。现实应用里能结合典型电力系统实例验证这些技术路径的成效，中国江苏省南通 500kV 变电站近年来为应对愈发复杂的电力网络环境，对其高压断路器电气控制回路进行了升级改造，从实际运行情况看这些手段确实有助于提升通讯稳定性，且能更好地保障整个电力系统的安全运行，避免因通讯问题导致供电中断或设备故障等状况发生，在复杂多变的电力环境中让电气控制回路能更平稳地工作^[7]。

该变电站采用 IEC 61850 标准通讯协议达成不同设备间高效通讯与远程监控，增强系统抗干扰能力与响应速度，为应对高电磁干扰难题，于电气控制回路关键线路开展屏蔽改造，保障信号传输不受外界电磁波干扰，还强化控制回路接地设计，提升地电位稳定性，减少接地不良导致的噪声干扰。实际运营里，电气控制回路通讯稳定性既取决于设计阶段优化，也离不开持续维护监测，设备老化与环境改变情况下，定期检查维护不可或缺，电力

公司运用远程监控技术，搭配现代化数据采集分析系统，能实时监测通讯回路运行状况，及时察觉潜在通讯故障或干扰。像北京某电力公司智能化监控项目，借助在线监测系统对所有高压断路器控制回路实施 24 小时不间断监控，系统自动识别并报警通讯中断或数据错误，让维修人员能即刻干预，防止通讯故障引发误操作与电网事故，维护时，定期检查和更换通讯回路电气组件是提升系统稳定性的要点^[8]。

设备使用年限增长，老化的通讯线路与接触不良的连接点易成干扰源，定期更换电缆、接头等易损部件可避免此类问题，既提升通讯可靠性，又延长设备使用寿命、降低故障频率。上海市某变电站定期全面检查高压断路器控制回路通讯设备，保证电缆连接紧固无磨损，让信号传输稳定，还增加冗余通讯线路和备用电源系统，进一步增强控制回路可靠性。优化设计、加强屏蔽、采用先进通讯协议并定期维护，可提高高压断路器电气控制回路通讯稳定性，这些技术路径和实践应用经多个电力系统验证，保障电力设备在复杂环境高效安全运行，为电力系统的稳定运转筑牢基础，减少因通讯问题导致的潜在风险，确保电力供应的持续性与稳定性。

五、结语

高压断路器电气控制回路通讯稳定性关乎电力系统能否可靠运行，尤为重要，剖析通讯干扰主要来源，像电磁干扰、接地存在问题以及设备老化等状况，进而提出对应防范策略，像优化接地设计、实施电磁屏蔽还有合理选通讯协议等，以实际案例来说，江苏南通 500kV 变电站和北京智能监控项目就体现出这些措施发挥的成效，保障通讯稳定性，定期开展检查与维护是关键，能减少故障出现概率使系统可靠性增强，把上述技术与策略综合运用起来能够极大提升电力设备通讯稳定性，为电力系统安全高效运行提供有力保障，从长远看还能避免因通讯问题引发的一系列潜在电力供应风险，维护整个电网的稳定秩序。

参考文献

- [1] 傅守滨, 李传东. 高压断路器分合闸电气控制回路原理解析 [J]. 电世界, 2020, 61(08): 14-17.
- [2] 邹诗华, 朱明. 核电厂典型电气控制回路辅助触点接触电阻判断标准 [J]. 电工技术, 2025(01): 203-205.
- [3] 吴全祥. 电气控制回路干扰诊断与排除 [J]. 电工材料, 2024(01): 57-59.
- [4] 李华. 电气控制回路干扰诊断与排除 [J]. 工程建设与设计, 2022(14): 27-29.
- [5] 王海涛. 浅析基于决策树算法的机车电气控制回路故障精确检测方法 [J]. 中国设备工程, 2021(14): 181-182.
- [6] 傅守滨, 李传东. 高压断路器分合闸电气控制回路原理解析 [J]. 电世界, 2020, 61(08): 14-17.
- [7] 金超, 刘志兵. 机械压力机电气安全控制回路的实现研究 [J]. 锻压装备与制造技术, 2019, 54(04): 47-55.D
- [8] 王学军. 基于红外成像的电气控制回路系统过载故障诊断技术研究 [J]. 家电维修, 2025(06): 19-21+18.