

铁路电力贯通线自动闭塞技术应用与维护分析

张国杰

河南鹏瑞铁道工程有限公司 河南 洛阳 471002

【摘要】：本文针对铁路电力贯通线自动闭塞系统运行中存在的信号受电力线路电磁干扰、供电中断引发闭塞逻辑失效及传统运维响应滞后三大问题，开展技术分析与优化研究。部署高精度状态监测网络与自适应滤波算法实现干扰源识别及信号净化，构建双电源冗余切换机制与分布式逻辑自愈控制策略保障供电连续及闭塞功能稳定，建立基于智能诊断平台的标准化故障处置流程，实现故障信息结构化推送与现场作业规范执行。实践结果验证了所提方法可提升系统抗干扰能力、故障恢复速度与运行可靠性，支撑系统在复杂工况下安全高效运行。

【关键词】：铁路电力贯通线；自动闭塞系统；电磁干扰抑制；供电冗余切换；标准化故障诊断

DOI:10.12417/2811-0536.26.08.009

引言

随着我国铁路网规模持续扩展与列车运行密度不断提升，电力贯通线与自动闭塞系统的深度融合已成为保障行车安全与调度效率的重要基础。然而，在实际运行中，贯通线不仅承担着沿线信号设备的供电任务，其电磁环境、供电稳定性及运维响应能力也直接影响闭塞逻辑的准确性与系统可靠性。近年来，因电力干扰、电源中断及故障处置滞后引发的信号异常事件频发，暴露出当前技术架构与运维模式在复杂工况下的适应性不足。为此，亟需从干扰机理识别、供电可靠性提升和智能运维机制构建等维度开展系统性研究，以支撑自动闭塞系统在高负荷、强干扰、多变环境下的稳定运行。

1 铁路电力贯通线自动闭塞技术应用问题剖析

(1)自动闭塞信号受电力线路干扰的故障特征辨识：在铁路电力贯通线自动闭塞系统运行过程中，自动闭塞信号常因邻近高压电力线路产生的电磁干扰而出现异常。此类干扰主要源于三相不平衡电流、谐波注入及雷电冲击等，导致轨道电路中感应出杂散电压，进而影响信号继电器的正常动作^[1]。典型故障特征表现为信号异常误报率升高、区段无车占用却显示红光带、或相邻区段信号状态紊乱。尤其在雨雪潮湿环境下，绝缘子泄漏电流增大，进一步加剧干扰强度。此外，贯通线与信号电缆平行敷设距离过近、屏蔽层接地不良或破损，也会显著削弱抗干扰能力。通过对故障录波数据分析可发现，干扰信号频率多集中在工频及其奇次谐波范围，幅值随负荷波动而变化，具有明显的时变性和随机性，需结合频谱分析与现场布线核查进行精准辨识。

(2)贯通线供电中断导致闭塞逻辑失效的触发机

制：贯通线作为自动闭塞系统的核心供电部件，供电中断会直接破坏轨道电路的持续运行态势，短路、接地故障或上级变配电所跳闸引发的贯通线失压，会让沿线区间信号点、轨道继电器及逻辑控制器同步断电。无有效备用电源时，轨道电路难以维持“空闲”或“占用”的稳定输出，相邻闭塞分区的状态信息随之丢失或错乱，联锁设备无法获取有效轨道继电器前接点条件，闭塞逻辑判断模块因输入信号异常，难以完成区段占用核查与发码调控，信号机随之出现红灯误显或灭灯现象。ZPW-2000 等移频自动闭塞制式线路上，供电中断还会导致发送器与接收器断电，低频编码信息传输链路断裂，闭塞逻辑失效范围进一步扩大，最终引发连锁性区段故障。

(3)现有维护体系下故障响应迟滞与定位困难成因：现有维护体系在应对贯通线故障时普遍存在响应迟滞与定位困难的问题，根源在于监测手段滞后与信息孤岛现象并存。多数线路仍依赖人工巡检或调度端被动接收跳闸信号，缺乏对电压、电流、绝缘电阻等关键参数的实时在线监测，导致故障发生后无法第一时间获取异常区段数据。故障点定位多采用分段试送电或绝缘遥测方式，过程耗时且受天气、地形及设备分布影响较大^[2]。电力运动系统与信号闭塞系统之间数据接口不统一，故障信息难以跨专业自动关联分析，使得调度、电力与信号三方协同效率低下。尤其在长距离山区铁路中，通信盲区进一步限制了故障录波与远程诊断功能的覆盖，造成从故障发生到现场处置的时间窗口显著拉长，直接影响自动闭塞系统的恢复时效与行车安全间隔控制。

2 贯通线自动闭塞系统运维优化与故障处置

(1)基于状态监测的干扰源隔离与信号净化方法：基于状态监测的干扰源隔离与信号净化方法在铁

路电力贯通线自动闭塞系统中，依托高精度传感器网络对轨道电路信号、供电线路谐波及电磁环境进行全时域采集。系统通过部署于关键节点的智能监测单元，实时分析移频信号的幅值、频率偏移及相位畸变特征，识别由牵引回流不平衡、邻近通信线路串扰或雷电感应所引发的异常波动^[3]。一旦判定存在干扰，立即启动自适应滤波机制，结合数字信号处理技术如FFT频谱分析与卡尔曼滤波，剥离噪声成分并重构有效信号。同时，利用拓扑结构信息与阻抗匹配原理，动态调整发送端输出参数或激活局部屏蔽接地装置，实现干扰路径的物理或电气隔离。该方法还融合历史干扰数据库与边缘计算能力，在毫秒级内完成干扰类型判别与响应策略生成，显著提升信号传输的完整性与闭塞指令的执行可靠性。

(2) 供电冗余切换与闭塞逻辑自愈控制策略：供电冗余切换与闭塞逻辑自愈控制策略是保障铁路电力贯通线自动闭塞系统高可用性的关键技术环节（见图1）。在双电源或多路供电架构下，当主供电回路发生电压跌落、断电或设备故障时，系统需在毫秒级时间内完成向备用电源的无缝切换，避免信号设备失电导致闭塞分区状态异常。切换过程中，需同步校验相位、频率及电压幅值的一致性，防止因电源不同步引发继电保护误动作。同时，闭塞逻辑自愈机制依托分布式智能终端与区域控制器协同工作，在检测到轨道电路信息异常或通信链路中断后，可依据预设逻辑规则动态重构闭塞分区边界，临时调整信号显示权限，并在主控系统恢复后自动回归正常运行模式。该策略融合了实时状态感知、故障隔离与拓扑重构能力，有效提升了系统在复杂扰动下的容错性与运行连续性，确保列车运行安全不受短暂供电波动或局部逻辑失效影响。

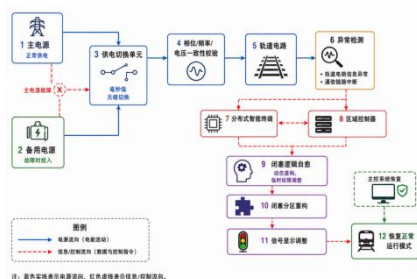


图1 铁路电力贯通线闭塞系统供电冗余与逻辑自愈流程图

(3) 面向快速修复的标准化故障诊断与维护流程：面向快速修复的标准化故障诊断与维护流程以提升贯通线自动闭塞系统恢复效率为核心目标，依托统一的故障代码体系、设备状态数据库及智能诊断平台构建闭环运维机制。当系统监测到异常信号如轨道电路红光带、电源模块告警或通信中断时，自动触发分级告警并推送结构化故障信息至运维终端，包含故障类型、发生位置、关联设备及历史相似案例。现场维护作业依据预设的标准化操作手册执行，涵盖端子排检查、绝缘电阻测试、继电器动作验证及通信链路环回检测等关键步骤，确保排查路径清晰、工具配置统一、数据记录规范。同时，所有处置过程通过移动终端实时上传至运维管理平台，形成可追溯、可分析的维修档案，为后续故障模式识别与预防性维护提供数据支撑。该流程有效压缩了平均修复时间，减少人为判断偏差，保障闭塞系统在最短时间内恢复逻辑完整性与运行可靠性。

3 结语

铁路电力贯通线自动闭塞系统的安全稳定运行，是保障列车高效有序通行的重要基础。当前系统面临复杂电磁环境、供电可靠性不足、传统运维模式滞后等问题，亟需实现技术手段与管理机制协同升级。通过运用高精度状态监测、智能干扰识别、冗余供电快速切换及逻辑自愈控制等技术，提升系统抗扰动与故障处置能力。同时建立标准化、数字化、闭环化的运维流程，打破电力与信号专业数据壁垒，实现故障精准定位与快速处置。伴随智能化运维平台及预测性维护体系落地应用，该系统将进一步提升运行可靠性、环境适应性及运维效率，持续为铁路运输高质量发展筑牢供电保障根基。

参考文献：

- [1] 章波.基于改进 SVM 的高速铁路 10 kV 电力贯通线短路故障自动识别[J].自动化应用,2025,66(06):150-152.
- [2] 孙汝杨.高速铁路全电缆电力贯通线相关研究[J].电气化铁道,2021,32(01):29-32+36.
- [3] 郭晓宇,刘伟,康强,等.铁路架空电力贯通线感应电影响规律研究[J].电工技术,2025,(13):122-125.