

铁路信号系统轨道电路分路不良的危害及防治研究

杜 林

国家能源集团新朔铁路有限责任公司大准铁路分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘 要：轨道电路是铁路信号联锁与行车防护的核心设备，分路不良是铁路现场高发的顽固性故障，严重威胁铁路行车安全与运输秩序。本文以轨道电路工作原理为基础，明确分路不良的具体定义与分类，系统剖析该故障引发的区段虚假空闲、联锁逻辑紊乱、行车安全隐患及运输效率下降等各类危害。结合铁路现场实际工况，从硬件改造、轨面整治、智能监测、特殊区段治理四个维度提出针对性技术防治措施，并配套完善常态化运维管理机制。研究成果可有效解决现场分路不良治理短板，对提升铁路信号设备稳定性、保障行车安全具有实际参考价值。

关键词：铁路信号系统；轨道电路分路不良；危害；防治措施

引言：随着铁路运输运力持续提升、线路服役年限不断增长，信号设备故障发生率逐步增加，轨道电路分路不良问题已成为影响线路安全运营的突出隐患。该故障具备间歇性、隐蔽性、反复性的特点，常规巡检难以彻底排查整治，极易引发信号逻辑异常及行车风险。当前多数治理方式多为故障后的被动处置，缺乏系统性、常态化的防治体系。基于新朔铁路大准铁路现场运维实际，本文结合轨道电路设备运行特性，深入分析故障危害与成因，整合技术手段与管理方法构建综合防治体系，为一线信号设备运维及故障治理提供实操依据。

1 铁路信号系统轨道电路的基础原理与分路不良核心内涵

1.1 轨道电路的结构组成与工作原理

轨道电路是铁路信号系统的核心基础设备，主要由钢轨、绝缘节、送电设备、受电设备、连接线等部分构成，以铁路两条钢轨作为传输载体，形成完整的电气闭合回路。其核心作用是利用电气导通原理，监测轨道区段的空闲与占用状态。正常无列车通行时，送电端输出的电信号通过钢轨传输至受电端，设备正常接收信号，判定轨道区段空闲。当列车车轮驶入对应区段，车轮轮对会短接两根钢轨，分流轨道电路信号，使受电端信号中断，系统即可识别轨道被列车占用，以此实现行车位置的实时监测，为信号显示、联锁控制提供基础依据。

1.2 轨道电路分路不良的定义与分类

轨道电路分路不良是铁路现场常见信号故障，指列车轮对碾压覆盖轨道区段时，无法有效短接钢轨电路，轨道电路仍持续显示区段空闲状态，无法正常触发占用反馈的异常现象。结合现场故障工况，可将其分为两

类，一是永久性分路不良，多由钢轨锈蚀、绝缘配件破损、设备老化等固定性设备问题导致，故障持续存在；二是偶然性分路不良，主要受雨雪天气、钢轨表面油污、落叶杂物覆盖等临时因素影响，故障具有随机性、间歇性特点，排查和处置难度相对更高。

1.3 铁路信号系统对轨道电路的运行要求

为保障铁路行车安全与运营稳定，信号系统对轨道电路运行有着严格的实操标准。首先是分路可靠性，无论列车低速、高速通行，均需精准响应轮对分路动作，实时反馈轨道占用状态，杜绝虚假空闲现象。其次是运行稳定性，轨道电路需适应雨雪、温差、沙尘等复杂户外环境，保持电气参数稳定，避免环境干扰引发故障。同时，设备需具备良好的绝缘性能和抗干扰能力，规避周边设备电磁干扰，且结构工况需满足常态化运营、反复碾压的使用需求，保障信号联锁、防护系统精准联动^[1]。

2 轨道电路分路不良对铁路信号系统的危害

2.1 造成轨道区段占用显示虚假空闲

轨道电路分路不良最核心、最直接的危害即为区段状态采集失真，引发虚假空闲问题，彻底影响信号系统的基础感知能力，具体表现如下：（1）轨道电路的核心功能是依托轮对分路作用反馈区段占用状态，分路不良发生时，列车已完全驶入并占用轨道区段，但钢轨与轮对接触电阻过大，无法改变轨道电路电气参数，信号采集设备持续接收空闲电平信号，控制台始终显示区段空闲，形成虚假空闲故障。该故障隐蔽性极强，无明显设备报错提示，难以通过系统自检发现。（2）虚假空闲状态会直接导致信号系统基础采集数据失真，彻底丧失对线路区段的实时监测能力，使信号系统的运行判断失去

真实依据,是后续联锁异常、行车风险的根本诱因,严重破坏信号系统的数据采集可靠性。

2.2 引发信号设备联锁失效、逻辑紊乱

铁路信号联锁系统依托轨道电路状态构建安全逻辑闭环,分路不良造成的状态失真会直接冲击联锁运行机制,引发系统性逻辑故障:(1)铁路信号联锁系统遵循严格的安全冗余逻辑,进路排列、信号开放、道岔转换、区段解锁等所有操作,均以轨道区段占用状态为核心判定条件。分路不良产生的错误空闲信号,会打破联锁系统固有的安全闭锁机制,出现列车占用区段仍可正常排列进路的违规逻辑漏洞。(2)在半自动闭塞、自动闭塞区段,分路不良会造成闭塞分区无法正常锁闭和解锁,出现逻辑卡死、程序错乱等问题,导致信号设备联锁功能降级,严重时触发系统保护机制,造成局部信号设备停用,破坏信号系统整体运行稳定性。

2.3 诱发列车运行安全风险与行车隐患

信号系统是列车运行的核心安全屏障,逻辑紊乱与数据失真会直接击穿安全防护体系,滋生各类行车隐患:(1)信号系统逻辑紊乱会直接弱化铁路行车安全防护屏障,错误的区段空闲信息会误导车载信号设备与行车调度判断,易造成后续列车盲目跟进、越区行驶,极大提升列车追尾、侧面冲突的事故风险,属于铁路行车高危安全隐患。(2)在车站调车作业、列车折返等复杂作业场景中,分路不良故障会导致进路提前解锁、信号误开放,引发调车冲突、道岔挤伤等问题,直接突破信号系统的安全防护底线,威胁设备与行车安全。

2.4 影响铁路运输效率、造成运营拥堵

分路不良故障引发的信号设备异常,会改变标准化行车作业模式,对铁路日常运输组织造成明显负面影响:(1)分路不良故障多为间歇性发作,无固定故障规律,信号系统无法自行修复纠错。故障发生后,现场需停用自动信号模式,采用人工确认区段、人工办理闭塞的作业方式,大幅增加作业流程与处置时长,降低信号系统自动化运行效率。(2)为规避安全风险,故障区段需采取限速、临时封锁等管控措施,直接打乱正常列车运行图,造成列车晚点、区间滞留。长期反复的故障问题会持续影响线路通行能力,引发线路运营拥堵,严重干扰铁路常态化、标准化运输秩序^[2]。

3 轨道电路分路不良技术性防治措施

3.1 优化轨道电路设备结构与硬件配置

设备硬件选型不合理、结构设计老旧是永久性分路不良的核心诱因,针对传统轨道电路设备存在的绝缘性

能差、配件易老化、适配性不足等问题,需通过硬件升级与结构优化夯实设备运行基础:(1)针对重载、高频次行车区段,淘汰老旧落后的轨道电路设备,优先选用适配重载工况、抗干扰能力强的新型轨道电路制式。结合线路运营等级、行车速度、车流密度匹配设备参数,提升轨道电路整体电气稳定性,降低列车碾压、长期荷载造成的设备参数偏移问题,从源头减少硬件性分路不良故障。(2)优化轨道电路配套配件配置,更换老化破损的绝缘节、轨端接续线、引接线等关键配件。采用高强度、耐老化的绝缘材料,杜绝绝缘破损、漏电、串电等问题;更换截面积达标、导电性能稳定的铜质接续线,避免线路接触电阻过大、传输信号衰减异常,保障钢轨电气回路的完整性与稳定性。(3)改进轨道电路安装结构,规范设备安装间距、固定方式,避免配件松动、钢轨位移、线路拉扯等结构性问题。对隧道、桥梁等特殊路段,增设设备固定防护装置,减少环境震动、温差形变对轨道电路设备的影响,提升设备整体抗扰动能力^[3]。

3.2 落实钢轨界面处理与电气性能整改

钢轨表面状态不佳、电气参数不达标是间歇性分路不良的主要原因,钢轨锈蚀、油污、氧化层及杂物覆盖,会大幅增加轮轨接触电阻,直接导致分路失效,需常态化开展钢轨界面整治与电气参数校准:(1)定期开展钢轨接触面精细化打磨作业,采用专业钢轨打磨设备清除轨面氧化层、铁锈、油污、油漆及附着杂物,保证轮对与钢轨接触面干净平整,有效降低接触电阻,保障列车轮对能够快速、有效短接轨道电路,恢复正常分路功能。打磨作业需严格遵循技术标准,避免过度打磨损伤钢轨结构。(2)针对雨后、雾天、潮湿环境引发的临时性分路不良,及时开展轨面干燥清理作业,清除轨面积水、泥沙、落叶等绝缘杂物,杜绝杂物隔离轮轨接触面导致的分路失效问题。同时对轨端、轨缝等隐蔽位置重点清理,消除局部绝缘隐患。(3)常态化检测校准轨道电路电气参数,定期测量轨道电压、分路电阻、绝缘电阻等核心指标,对参数偏移、数值不达标的区段及时进行调整整改。通过调整送电、受电设备参数,匹配线路工况,保证轨道电路分路灵敏度符合铁路技术标准,提升设备容错能力。

3.3 搭建智能化故障监测与预警系统

传统人工巡检模式存在监测滞后、排查效率低、隐蔽故障难发现等问题,无法适配现代化铁路运维需求,依托智能技术搭建实时监测体系,可实现分路不良故障的提前预警与精准定位:(1)在轨道电路关键区段加

装电压、电流、电阻采集传感器,全天候采集轨道电路运行电气数据,实时上传至信号运维平台。系统自动对比标准参数阈值,对参数异常、波动频繁的区段进行标记,精准识别潜在分路不良故障,实现故障早发现、早处置。(2)依托大数据技术建立故障数据分析模型,结合季节、天气、行车频次、设备运行年限等数据,分析分路不良故障的发生规律,预判高风险区段与故障高发时段。通过智能化数据分析替代人工经验判断,提升故障预判的精准度,降低故障漏判、误判概率。(3)配套搭建移动端预警推送机制,系统识别异常数据后,实时向运维人员推送故障位置、异常参数、风险等级等信息,缩短故障排查响应时间。

3.4 针对性开展特殊区段专项整治

不同线路区段的工况、环境差异较大,分路不良故障的发生概率与故障类型存在明显区别,需摒弃统一化整改模式,针对特殊区段开展定制化专项技术整治:(1)对林区、郊区、潮湿低洼区段,重点开展环境整治工作,定期清理线路周边杂草、落叶、积污,完善线路排水设施,杜绝长期积水、潮湿环境引发的钢轨氧化、设备绝缘受潮问题,从环境层面降低分路不良故障发生率。(2)对重载货运、高频作业区段,建立专项整治台账,缩短设备巡检、参数校准、轨面打磨的作业周期。针对长期碾压导致的钢轨磨损、配件疲劳、参数不稳定等问题,及时更换受损设备,强化电气性能管控,保障重载工况下轨道电路分路性能稳定。(3)对隧道、桥梁、弯道等特殊路段,结合区段故障特点定制整改方案,重点加固轨道电路设备,优化线路绝缘配置,加装防潮、防尘、防震防护装置^[4]。

4 轨道电路分路不良常态化防治管理对策

单纯依靠技术整改无法实现长效治理,必须配套标准化、常态化的管理机制,从运维制度、作业规范、人员管控、故障复盘等方面补齐管理短板,稳定设备运行状态。(1)建立分级巡检与专项检修机制。根据线路工况、车流密度、故障高发特点对轨道区段分级划分,针对潮湿区段、重载区段、老旧设备区段提高巡检频次。日常巡检重点排

查轨面状态、配件老化、绝缘破损问题,定期开展分路不良专项排查,提前甄别隐性故障,避免隐患累积引发设备异常。(2)规范现场标准化运维作业流程。统一轨道电路检修、调试、清洁及设备更换作业标准,杜绝不规范操作造成的电气参数偏移、设备安装偏差等问题。明确各岗位作业权责,严格落实作业登记、设备复查、质量验收流程,保证每一次运维作业均可溯源、可核查。(3)强化运维人员专业培训与岗位考核。针对分路不良故障识别、参数调试、隐患处置等重点内容开展专项培训,提升人员现场故障研判能力。将故障处置质量、巡检达标率纳入岗位考核,杜绝巡检流于形式、隐患漏查等问题,夯实现场运维工作质量。(4)落实故障闭环管理与溯源机制。对所有分路不良故障记录存档,统计故障位置、诱因及处置方式,梳理高频故障区段的共性问题。针对反复故障区段开展溯源分析,针对性优化检修方案,形成发现、处置、复盘、优化的闭环管理模式,从管理层面降低故障复发率^[5]。

结束语: 本文系统梳理了轨道电路分路不良的基础理论、故障危害、技术防治手段与常态化管理对策,明确设备、环境、运维是故障发生的核心因素,证实单一整改方式无法实现长效治理。技术整治可从源头降低设备故障概率,标准化管理能够巩固治理成效,二者结合可有效控制分路不良故障风险。后续可结合不同区段运营数据,进一步优化精准化、定制化的故障防治方案。

参考文献

- [1] 胡振辉. 铁路信号系统轨道电路分路不良的危害及防治研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2025, 9(12): 206-209.
- [2] 毕超. 铁路信号系统轨道电路分路不良的危害及防治研究[J]. 中国设备工程, 2024, (1): 223-225.
- [3] 赵立国. 铁路信号系统轨道电路分路不良的危害及防治分析[J/OL]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022, (9): 186-189.
- [4] 袁继斌. 铁路信号系统轨道电路分路不良的危害及防治策略思考[J]. 电力系统装备, 2022, (2): 117-119.
- [5] 钟晓波. 铁路信号系统轨道电路分路不良的防治对策[J/OL]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2024, (8): 066-069.