

铁路信号设备的自动化控制技术分析

李 军

国家能源新朔铁路大准分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘 要：为提升铁路行车安全与运输效率，推进铁路信号系统智能化升级，本文围绕铁路信号设备自动化控制技术展开研究。首先阐述轨道电路、信号机等核心设备功能与自动化控制技术原理及优势，重点分析计算机联锁、ATC、智能故障诊断等核心技术的应用。针对设备兼容性差、抗干扰弱、智能运维不足、人才短缺等问题，从技术、运维、管理维度提出优化策略，为铁路信号自动化技术迭代升级提供参考。

关键词：铁路信号设备；自动化；控制技术

引言：随着我国铁路高速化、高密度、智能化发展，传统人工操控的信号管控模式已难以适配现代化铁路运输需求。铁路信号设备是保障行车安全、规范运输秩序的核心设施，自动化控制技术的应用是铁路智能化升级的关键。为充分发挥自动化技术优势，本文系统梳理铁路信号自动化控制的基础理论与核心技术，剖析当前技术应用的现存短板，并针对性制定优化方案，助力铁路信号系统安全、高效、智能化运行。

1 铁路信号设备与自动化控制技术基础概述

1.1 铁路核心信号设备分类及功能

(1) 轨道电路设备：作为铁路信号系统的基础核心设备，该设备主要用于精准检测列车实时位置与线路区段占用状态，可全天候采集线路基础运行数据，为信号控制系统、行车调度系统提供真实可靠的数据支撑，是实现列车精准定位、区间安全闭塞、防范列车追尾冲突的关键设施，保障铁路区间行车秩序稳定。(2) 信号机设备：是铁路行车指令传递的核心载体，主要通过不同颜色灯光、固定标识等可视化方式，向列车司机清晰传递行车、停车、减速、避让等各类行车指挥信号，明确列车运行权限与行驶规范，有效约束列车运行状态，标准化、规范化铁路整体行车运行秩序^[1]。(3) 道岔转换设备：聚焦列车线路切换作业，主要承担铁路道岔的自动转换、精准锁定及状态检测工作，可根据行车调度指令快速完成列车行驶线路切换，全面保障列车变道、折返、调车等作业的安全性与稳定性，是铁路线路灵活调度的核心配套设备。

1.2 自动化控制技术核心内涵与原理

(1) 自动化控制技术内涵：该技术是融合计算机、智能传感、网络通信等多领域技术的智能化管控技术，打破传统人工操控模式，可让铁路各类信号设备脱离人工持续干预，自主完成运行数据采集、智能分析、控制

指令输出、设备动态调控等全流程工作，实现铁路信号系统的智能化、自主化运行管控。(2) 核心工作原理：依托各类高精度传感器，实时采集铁路线路工况、信号设备运行状态、列车运行参数等核心数据，通过通信网络将数据实时传输至核心控制系统。系统依托内置的预设程序与智能算法，对数据进行快速分析研判，自动输出精准控制指令，驱动各类信号设备协同运行，同时全程实时监测设备与行车状态，形成闭环管控体系。

1.3 铁路信号自动化控制的技术优势

(1) 提升运行安全性：替代大量重复性人工操作，彻底规避人工操作疏忽、判断失误等人为风险。同时可实现设备故障实时预警、危险工况自动防护、异常状态紧急制动，全方位排查行车安全隐患，大幅降低铁路行车事故发生率，筑牢铁路行车安全防线。(2) 提高运输效率：依托自动化精准调控能力，快速完成信号切换、线路调配等操作，缩短列车运行间隔与通行等待时间，有效提升铁路线路的通行承载力，完美适配现代铁路高密度、高频次的运输需求，大幅提升全线运输周转效率。(3) 降低运维成本：系统可24小时自动化监测设备运行状态，减少人工巡检频次与运维工作量，同时能够精准定位故障点位、判定故障类型，避免盲目检修，有效降低铁路信号设备运维过程中的人力、物力损耗，压缩铁路运营维护成本。

2 铁路信号设备自动化控制核心技术及应用

2.1 计算机联锁自动化控制技术

(1) 技术原理：计算机联锁自动化控制技术是现代铁路站场信号控制的核心技术，彻底替代了传统可靠性低、逻辑固化的机械联锁与电气联锁装置。该技术以工业计算机作为核心控制单元，依托标准化、模块化的程序逻辑算法，统一统筹管控站内信号机、道岔、轨道电路三大核心设备。系统可根据列车进路需求，自动完成

逻辑判定、条件校验与联动运算,严格遵循铁路行车联锁规则,杜绝进路冲突、信号误开放、道岔误动作等安全隐患,全程保障设备联锁关系的严谨性、准确性与可靠性,实现站场行车控制的标准化、智能化升级^[2]。

(2) 实际应用:目前该技术已全面普及,广泛应用于普速铁路、高速铁路站场及城市轨道交通车站等各类铁路场景。在实际运营中,系统可根据调度指令和列车运行状态,自动完成站内列车进路的智能排列,精准开放对应行车信号,同时对动作后的道岔进行自动锁定与状态校验。相较于传统人工操控模式,其有效规避了人工操作疏漏,规范站内行车流程,有序把控列车进站、出站、折返、调车等作业秩序,大幅提升站场行车的安全性与通行效率,是车站信号自动化控制的基础核心技术。

2.2 列车运行自动控制技术(ATC)

(1) 技术组成:列车运行自动控制技术(ATC)是保障列车全程自动化、安全化运行的核心系统,整体由列车自动防护(ATP)、列车自动运行(ATO)、列车自动监控(ATS)三大独立且协同联动的子系统构成。三大子系统各司其职、深度配合,覆盖列车安全防护、自主运行、全线调度监控全流程,构建起全方位、立体化、一体化的列车自动化控制体系,摆脱了传统人工操控的局限性,是现代高铁及轨道交通智能化运行的核心支撑。

(2) 应用功能:各子系统具备明确且互补的应用功能,其中ATP作为安全防护核心,可实时监测列车运行速度、位置与行车间距,精准完成超速防护、区间防撞、临时限速管控等安全控制,从根本上杜绝列车超速、追尾等安全事故。ATO主要负责列车自动驾驶作业,可精准完成列车自动启停、匀速巡航、平稳调速、精准对标停车等操作,提升列车运行的稳定性与舒适性。ATS聚焦全线调度管控,能够实时采集全线所有列车的运行位置、速度、状态等数据,实现运行状态全域监控,同时完成调度指令自动下发、运行计划智能调整,实现全线列车调度自动化管控^[3]。

2.3 智能故障诊断与自愈控制技术

(1) 技术原理:智能故障诊断与自愈控制技术是依托大数据、人工智能算法搭建的新型运维管控技术,打破了传统事后故障检修的模式。该技术可全天候实时采集铁路信号设备的运行电压、电流、动作频次、响应时长等核心运行参数,将实时数据与设备正常运行标准阈值进行智能比对分析。通过深度学习算法精准甄别数据异常特征,快速定位故障点位、判定故障类型,同时溯源分析故障产生的核心原因,实现对信号设备故障的智能化、精准化诊断。(2) 应用价值:该技术实现了铁路

信号设备运维从“被动检修”向“主动预判”的转型,可提前预判设备潜在故障隐患,及时发出自动报警提示,为运维人员检修提供精准依据。针对接触不良、参数偏移等轻微常规故障,系统可自主完成校准、复位等自愈修复操作,无需人工介入。对于设备损坏、线路故障等重大问题,系统可第一时间触发安全防护机制,锁定故障设备、封锁故障区段,避免故障持续扩大影响全线行车,有效保障铁路信号系统稳定运行,降低故障停运时长。

2.4 无线通信自动化控制技术

(1) 技术核心:无线通信自动化控制技术是实现车地一体化智能控制的关键载体,核心依托GSM-R、5G-R等铁路专用通信技术,搭建高速、稳定、低延迟、抗干扰的专属通信网络。区别于传统公用通信技术,该技术针对性适配铁路高速移动、复杂线路、高可靠性的运行场景,可实现列车车载设备与地面信号设备、远程调度中心之间的实时双向高速数据传输,保障控制指令、运行数据、状态信息的无缝交互,为自动化控制提供稳定通信支撑^[4]。(2) 应用场景:该技术广泛应用于现代智能铁路运营场景中,有效突破了传统固定闭塞模式的技术限制,全面支撑移动闭塞信号精准控制,大幅缩短列车安全运行间隔。同时可实现列车运行状态动态调度、地面信号设备远程实时调控,灵活适配列车晚点、临时调图、突发工况等特殊场景。通过高效的车地数据交互,提升铁路调度的灵活性与精准度,有效挖掘线路通行潜力,显著提升铁路整体运输效率与智能化运营水平。

3 铁路信号设备自动化控制技术应用问题与优化策略

3.1 技术应用现存主要问题

(1) 设备兼容性不足:现阶段铁路线路改造升级分步推进,新旧信号设备长期混用,不同生产厂家、不同代次的自动化设备接口协议、数据格式缺乏统一标准,设备之间互联互通性较差,容易出现数据传输延迟、信息偏差、系统协同卡顿等问题,影响信号控制的整体性与稳定性。(2) 抗干扰能力较弱:铁路现场存在牵引供电、高压设备、通信设备等复杂电磁环境,强电磁辐射与瞬时干扰会影响自动化控制设备的信号采集与指令传输,造成数据失真、指令执行异常、设备误动作等隐患,降低控制系统运行可靠性。(3) 智能运维水平有限:现有铁路信号自动化系统多聚焦实时行车控制,在故障深度分析、数据挖掘研判、全生命周期管理方面能力薄弱,多为故障后处置,难以实现提前预警、状态预判和系统性预防性维护,运维精细化程度不足。(4) 专业人才储备不足:铁路信号自动化融合计算机、通信、

人工智能、自动控制等多学科技术,设备智能化、集成度持续提升,传统运维人员技能体系相对单一,难以适配智能设备调试、故障排查、系统升级及优化等新型工作需求。

3.2 技术层面优化策略

(1) 统一设备技术标准:针对设备兼容性差、接口不统一的行业痛点,需全面规范铁路信号自动化设备的接口协议、数据传输格式及通信标准,形成统一、通用、可兼容的技术规范。对在役老旧设备开展兼容性改造与接口适配升级,对新增设备严格执行统一技术标准,从源头解决多厂家、多型号设备混用带来的协同卡顿、数据偏差问题,实现各信号系统互联互通、稳定联动,提升整体控制一致性。(2) 强化抗干扰技术优化:结合铁路现场复杂电磁环境,从硬件与算法双重维度优化抗干扰能力。硬件层面优化设备箱体结构、布线布局,加装电磁屏蔽装置、防雷稳压模块,提升设备物理防护能力。软件层面升级数据校验、纠错与滤波算法,对异常数据进行筛选过滤与修正补偿,有效抑制电磁干扰引发的数据失真、指令偏差,保障恶劣工况下信号控制系统精准、稳定运行。(3) 升级智能控制算法:依托人工智能、机器学习、大数据技术迭代优化系统控制模型,替换传统固定逻辑控制模式。通过持续学习设备运行数据、故障样本、行车工况数据,优化故障诊断模型、自适应控制模型与安全防护模型,提升系统数据研判、风险预判、动态调控能力,让信号控制系统具备自主分析、智能适配、精准防护的智能化运行优势^[5]。

3.3 运维与管理层面优化策略

(1) 构建全生命周期运维体系:搭建一体化智能运维管理平台,全面整合信号设备运行参数、日志数据、故障记录、检修台账等信息,实现设备状态实时监测、数据动态分析、故障精准溯源。改变传统事后抢修的运维模式,依托大数据研判设备老化趋势与潜在隐患,开展常态化预防性维护,形成监测、分析、预警、检修、复盘的全流程闭环管理,大幅降低故障发生率。(2)

完善人才培养体系:针对复合型人才短缺问题,构建系统化、专业化的人才培育机制。结合铁路智能信号设备运维需求,开设自动化控制、无线通信、计算机算法、智能故障诊断等专项培训内容,补齐传统运维人员技术短板。同时搭建实操实训平台,强化理论与现场实操结合,培养兼具信号专业基础、智能技术能力与现场运维经验的复合型技术人才,匹配智能化铁路运维发展需求。(3) 建立常态化技术迭代机制:结合铁路高密度、高安全运输的发展需求,紧跟轨道交通前沿技术,建立常态化技术升级与设备迭代机制。定期对现有自动化控制系统进行性能评估、漏洞排查与功能优化,逐步淘汰落后老旧设备,引入成熟可靠的智能控制、智能运维技术。持续优化系统控制逻辑与调度模式,推动铁路信号自动化技术持续升级,全面提升铁路信号系统智能化、稳定性与安全性。

结束语

本文全面分析了铁路信号设备自动化控制的核心技术、应用价值及现存问题,明确了设备兼容、抗干扰、智能运维、人才储备等方面的优化方向。通过统一技术标准、升级控制算法、完善运维体系、培育专业人才,可有效解决技术应用短板。未来需持续跟进前沿技术,推动铁路信号自动化、智能化、精细化发展,为铁路运输安全稳定、高效运营筑牢技术根基。

参考文献

- [1]张华兴.铁路信号设备的自动化控制技术研究[J].运输经理世界,2022,6(23):50-52.
- [2]段国平.铁路信号设备的自动化控制技术分析[J].现代工业经济和信息化,2022,12(5):235-238.
- [3]朱德华.关于铁路信号设备的自动化控制技术的探讨[J].中国新通信,2022,24(3):48-50.
- [4]海鹏博.试论铁路信号设备的自动化控制技术[J].信息记录材料,2021,22(8):56-58.
- [5]王彩.铁路信号设备的自动化控制技术分析[J].电子世界,2022,17(14):98-102.