

智能化技术在冶金铁路调车作业中的应用与实践

刘忠保

河南省安阳市安阳钢铁集团有限责任公司运输部作业区 河南 安阳 455000

摘要: 冶金铁路调车作业面临高温重载、连续性强及人工依赖度高等挑战。机器视觉、北斗定位、无线电测长、人工智能、物联网及数字孪生等技术的融合应用,实现了车辆自动识别、精确定位、智能编组、溜放速度控制及安全风险主动预警。在自动化编组、智能溜放、机车驾驶辅助及多层安防等核心场景中,系统有效提升了作业效率与安全水平。基础设施改造、数据治理、系统联调及人员培训构成了智能化调车作业落地的完整实施路径。

关键词: 智能化技术;冶金铁路;调车作业

引言: 冶金铁路调车作业是厂内物流运转的核心环节,长期面临高温重载、作业频次高及人工依赖度大等挑战。传统模式下信息传递滞后、编组效率低、安全风险突出,已难以满足现代冶金生产对高效连续作业的要求。随着机器视觉、北斗定位、人工智能及数字孪生等技术的快速发展,智能化手段为调车作业的效率提升与安全管控提供了可行路径。围绕关键技术应用、核心业务场景及实施保障展开研究,对推动冶金铁路调车作业转型升级具有重要意义。

1 冶金铁路调车作业的特征与智能化需求分析

1.1 冶金铁路调车作业的工艺流程与作业特点

冶金铁路调车作业涵盖原料进厂、成品出厂及内部物料倒运等多种场景,形成厂内铁路物流的完整链条。作业环境具有高温、重载与连续性强等特征,车辆及设备长期在高温条件下运行,对系统可靠性要求较高。生产流程的不间断性决定了调车作业必须保持高度连续,任何中断都可能影响上下游工序衔接。作业频次高、节奏紧凑的时间要求进一步增加了调车组织的难度,车辆周转速度快,各操作环节需要在短时间内完成对位、连挂、分解等动作。

1.2 传统调车作业存在的主要问题

传统调车作业中,信息传递依赖人工瞭望与口头指令,在复杂环境下容易产生信息滞后或理解偏差,导致指令执行不同步。车辆编组计划多由人工编制,面对多去向、多车种的组合条件,编制过程耗时较长且难以避免逻辑遗漏,降低了编组效率。溜放作业中的速度控制主要依靠经验判断,缺乏精确的测速反馈手段,速度偏差较大会增加车辆撞击风险。安全防护手段相对单一,主要依靠固定规则和人员自我警觉,难以全面覆盖动态作业风险点,人员在高频操作环境中面临较高的安全风险。

1.3 智能化技术引入的必要性与需求维度

引入智能化技术是解决冶金铁路调车作业现有矛盾的重要途径。提升作业效率的需求要求系统缩短计划编制时间、优化车辆走行路径、减少非生产等待间隔。降低安全事故率的需求要求系统具备主动感知与预警能力,实时监测车辆状态、人员位置及轨道占用情况。优化车辆调度与编组的需求体现在智能算法可快速处理多约束条件,生成合理编组方案,减少人工干预^[1]。实现全流程数据可追溯的需求强调对调车作业各环节信息的完整记录与统一管理,便于事后分析与持续改进。

2 关键智能化技术及其在调车作业中的应用

2.1 机器视觉技术的应用

机器视觉技术通过图像采集与处理,为冶金铁路调车作业提供自动化的视觉感知能力。车辆身份识别功能自动捕捉车身上的编号信息,完成车号快速读取与数据库核对,替代人工抄录。车厢状态检测判别车辆为空载、满载及所装载物料的基本类型,为卸车对位和编组顺序提供依据。人员行为识别与侵入检测针对作业区域内的人员活动进行实时分析,当有人进入运行限界或出现违规操作时及时发出提示。轨道障碍物自动识别持续扫描轨面及两侧区域,发现异物后立即上报控制系统。

2.2 无线电测长与定位技术的应用

无线电测长与定位技术主要解决调车作业中车辆间距离及相对位置的精确测量问题。车辆间距实时测量功能通过无线电信号计算出前后车之间的实际距离,为连挂操作和溜放控制提供精确的空间参考。调车机车与车辆的相对位置确定技术能够判断机车相对于待连挂车辆的距离和方位,辅助完成平稳对位。编组长度精确计算基于对多辆车位置的连续测量,自动累加得到整个编组的实际全长,便于判断是否满足线路容车要求。站场内多目标同步跟踪能力同时监控多个移动目标的空间坐标变化,避免了单点测量造成的信号覆盖盲区。

2.3 北斗高精度定位技术的应用

北斗高精度定位技术为冶金铁路调车作业提供厘米级的绝对位置基准。安装在机车或车辆上的定位终端能够实时获取精确的空间坐标,实现对运行位置的连续锁定,其精度远高于传统轨道电路的分段定位方式^[2]。运行轨迹记录与回放功能将每次作业的完整路径以坐标序列形式存储,便于事后分析行驶路线的合理性。停车位置精确控制依靠高精度定位的实时反馈,引导机车在指定位置前准确停下,减少反复调整所占用的时间。调车作业路径实时描绘将所有移动目标的当前位置与历史轨迹展现在电子地图上,调度人员可直观掌握车辆动态分布。

2.4 人工智能与深度学习技术的应用

人工智能与深度学习技术赋予调车作业自主决策与优化能力。调车作业计划自动编制算法依据车辆到达顺序、去向分组要求及股道占用情况,快速生成可执行的编组与解体方案,减少人工编制的时间和主观偏差。溜放速度智能预测模型通过对历史溜放数据的学习,建立起车辆属性与最优溜放速度之间的对应关系,为自动制动提供参考依据。编组方案优化求解针对多车种、多去向的组合问题,寻找作业时间较短或设备占用较均衡的编组序列。作业冲突自动检测与消解功能对计划中可能出现的路径交叉或时间重叠进行识别,并输出具体调整建议。

2.5 物联网与传感器技术的应用

物联网与传感器技术实现了对调车作业中车辆及设备状态的实时感知与联网管理。车钩状态监测通过安装在车钩部位的传感器判断车钩处于连接还是摘解状态,为确认车辆分离或连挂完成提供可靠信号。车轮传感器采集轮对通过时的信号,用于计算车速及通过车辆数量,为轨道占用判断提供基础数据。环境温湿度与能见度监测装置实时感知作业区域的气象条件,当低能见度或极端温湿度影响安全时调整作业节奏。制动系统状态反馈获取制动缸内的压力变化及闸瓦动作情况,确认制动是否正常施加或完全缓解,数据汇集后形成综合感知网络。

2.6 数字孪生技术的应用

数字孪生技术在冶金铁路调车作业中构建物理场站与虚拟模型之间的实时映射与闭环优化机制。调车场虚拟仿真建模以实际线路走向、道岔布置及客车股道有效长度为对象,建立高精度数字化场景。作业方案预演与验证功能允许在虚拟环境中完整运行待执行的调车计划,提前发现路径冲突或时间不匹配问题,避免带入实际作业。实时作业状态映射与对比将现场采集的位置、速度、车钩状态等信息同步更新至数字模型,形成虚实对照,

辅助判断作业是否偏离计划^[3]。瓶颈分析与流程优化支撑基于虚拟模型中各环节作业时间的统计,识别制约效率的关键节点。

3 智能化调车作业的核心业务场景实现

3.1 自动化编组作业

自动化编组作业以约束条件为基础,实现车辆配对的自动决策。系统根据车辆去向、载重状态、物料类型及线路可用长度等多重约束,自动筛选可连挂的车辆组合,完成配对逻辑判断。在此基础上,自动计算各车辆在编组中的先后顺序,并生成可执行的作业指令,涵盖连挂点位置、走行路径及操作时序。面对多个可行编组方案时,系统采用多目标优化方法,兼顾作业时间、走行距离及设备占用均衡等指标,选出综合性能较优的方案。编组完成后,系统自动校验实际连挂顺序、车辆数量及车钩状态是否与计划一致,发现偏差时给出提示。

3.2 智能溜放作业控制

智能溜放作业控制针对车辆溜放过程中的速度与间隔进行精细调节。系统采用分级控制策略,将溜放过程划分为不同的速度阶段,每个阶段对应特定的制动目标与距离要求。车辆间隔自动保持算法实时计算前车与后车之间的时间差或距离差,动态调整后车的溜放初速或制动时机,防止追尾或间隔过大。目的制动点的计算依据车辆重量、走行阻力及目标股道位置,动态确定最佳制动触发位置,使车辆准确停靠于指定区域。在溜放过程中,系统通过实时修正机制持续监测实际速度与计划速度的偏差,并对制动施加量进行微调。

3.3 调车机车智能驾驶辅助

调车机车智能驾驶辅助为司机提供精确的运行控制支持。自动对标与精准停车控制功能依据高精度定位数据,引导机车在指定位置前平稳减速并准确停靠,减少反复对位操作。运行速度自适应调节根据前方线路条件、车辆载荷及作业指令要求,自动调整走行速度,使机车在不同区段保持适宜的车速^[4]。作业指令自动接收与执行反馈将调度中心下发的任务直接传送至机车显示终端,司机确认后系统可辅助执行,同时将执行状态实时回传。多机协同作业的调度协调处理同一站场内多台机车的任务分配与路径错时安排,防止作业冲突。

3.4 智能安防与风险管控

智能安防与风险管控围绕调车作业中的人、车、环境构建多层防护体系。作业区域电子围栏在关键地段设置虚拟边界,当机车或人员越过授权范围时触发越界报警,防止误入危险区域。人员接近危险区域的实时告警通过定位或视觉识别,监测作业人员与移动车辆之间的

距离,当小于安全阈值时发出警示。车辆超速与溜逸的自动制动触发功能在检测到速度超过限值或发生非受控溜动时,自动施加制动,阻止事态扩大。作业全过程视频智能分析与记录对所有调车操作进行持续录像,并通过智能算法识别违规动作或异常状态,为安全复盘提供依据。

4 智能化调车作业系统的实施路径与技术保障

4.1 基础设施改造与部署方案

智能化调车作业系统的实施首先需要完成现场基础设施的改造与部署。现场传感器与摄像头的布设应遵循覆盖关键区域、减少盲区、便于维护的原则,重点布置于道岔区、装卸点及车辆编组地段。通信网络采用专网与公网融合的覆盖方案,核心作业区域以专用网络保障传输的实时性与可靠性,辅助区域可利用公共网络进行数据回传。边缘计算节点部署于靠近数据源的位置,其算力配置需满足多路视频处理与实时定位解算的需求。供电系统应保证设备连续运行的稳定性,防护等级需适应当地高温、多尘及振动的环境特点,确保硬件在长期连续作业条件下的可用性。

4.2 数据治理与平台建设

数据治理与平台建设是智能化系统运行的支撑基础。多源异构数据的采集需覆盖视觉图像、定位信号、传感器读数及作业记录等不同来源,并按照统一的数据格式进行标准化处理,消除格式差异带来的集成障碍。数据存储架构应采用分层策略,热数据用于实时查询与决策,冷数据用于长期归档与历史趋势分析,同时建立历史数据管理制度。数据质量监控与清洗机制对输入系统的数据进行完整性、一致性与时效性检查,自动识别异常值并进行清洗或标注。数据安全与访问权限控制通过身份认证、操作审计及分级授权等手段,防止未经授权的访问或数据泄露。

4.3 系统联调与测试验证

系统联调与测试验证是确保智能化调车作业系统可靠上线的重要环节。单机功能测试对每台设备或模块的技术指标进行逐项验证,包括视觉识别准确率、定位测量误差及传感器响应时间等,确保各单元满足设计规范。系统集成联调将各子系统连接至统一平台,开展多场景覆盖测试,验证信息流转的连贯性和决策指令的正确性。极端

工况下的鲁棒性测试在高负载、通信干扰或恶劣天气条件下运行系统,观察其性能衰减程度及自我恢复能力^[5]。人工与自动化模式的切换验证确保操作人员可在必要时平稳接管控制权,切换过程不引发指令冲突或状态丢失。

4.4 人员培训与作业模式转型

人员培训与作业模式转型是智能化技术落地的组织保障。岗位技能要求发生变化,操作人员需从直接操控设备转向监控系统运行与处理异常情况,分析人员需掌握数据查询与结果解读能力。分级培训体系针对不同岗位设置基础操作、系统维护及应急处理等层级的培训内容,确保各类人员掌握相应技能。人机协同作业流程明确智能化系统自动执行的范围与需人工确认的环节,建立清晰的职责交接与信息通报规范。应急处置能力的专项训练模拟通信中断、定位失效或设备故障等异常场景,训练人员在脱离自动化支持的情况下完成基本调车操作,保障极端条件下的作业延续性。

结束语: 冶金铁路调车作业智能化是提升生产效率与安全水平的必然趋势。通过机器视觉、北斗定位、人工智能及数字孪生等技术的深度融合,调车作业实现了从人工经验驱动向数据智能驱动的转变,在自动化编组、智能溜放、驾驶辅助及主动安防等场景中展现出显著优势。系统的落地实施需统筹基础设施改造、数据治理、联调测试及人员转型等环节,形成技术与管理协同推进的完整闭环,为冶金企业铁路物流的高质量发展提供有力支撑。

参考文献:

- [1]苑航.铁路运输调车智能化技术在安全保障中的应用分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(11):177-180.
- [2]宋大同.VR技术在铁路编组站调车作业培训中的应用[J].铁路计算机应用,2021,30(9):35-41.
- [3]刘行.北斗高精度定位技术在铁路调车作业安全防护系统中的应用研究[J].哈尔滨铁道科技,2025(4):4-7.
- [4]黄圣文,刘海东,徐嫣,白改萍.铁路车站调车作业综合安全防护关键技术研究[J].铁路计算机应用,2025,34(5):90-93.
- [5]王生国.重载铁路智慧调车中调车作业一体化技术的应用措施[J].新潮电子,2026(6):31-33.