

自动闭塞区段重载列车自动驾驶运行决策分析

赵志浩

国能朔黄铁路发展有限责任公司机辆分公司 062350

【摘要】随着铁路现代化水平的不断提升,自动驾驶技术正逐步应用于铁路运输领域。在自动闭塞区段引入重载列车自动驾驶,对于提升行车安全性、运输效率,降低人力成本具有重要意义。然而受复杂多变的轨道环境、恶劣气象条件、货物特性差异、设备故障风险等因素影响,自动闭塞区段重载列车自动驾驶运行面临诸多挑战。文章分析了重载列车自动驾驶的必要性,剖析了其面临的主要难题,并从速度控制、间距控制、节能优化、故障处理等方面,探讨了自动驾驶运行决策的关键要素以期对相关研究提供参考。

【关键词】自动闭塞;重载列车;自动驾驶;运行决策;铁路安全

Decision analysis of automatic driving operation of heavy-haul trains in automatic block sections

Zhao Zhihao

National Energy Shuohuang Railway Development Co., LTD.Locomotive and rolling stock branch 062350

【Abstract】As the modernization level of railways continues to improve, autonomous driving technology is gradually being applied to railway transportation.Introducing heavy-haul train autonomous driving in automatic block sections is significant for enhancing operational safety,improving transport efficiency,and reducing labor costs.However,due to the complex and variable track environment,adverse weather conditions,differences in cargo characteristics,and equipment failure risks,the operation of heavy-haul trains under automatic block sections faces numerous challenges.This article analyzes the necessity of heavy-haul train autonomous driving,examines the main difficulties it encounters,and discusses key elements of autonomous driving decision-making from aspects such as speed control,spacing control,energy optimization,and fault handling,aiming to provide a reference for related research.

【Key words】automatic block; heavy-haul train; automatic driving; operation decision; railway safety

引言:

伴随铁路运输现代化步伐的加速,目标为提高行车安全及运输效率的自动驾驶技术日趋成熟,在既有自动闭塞区间引入重载列车自动驾驶技术,既是契合智能铁路发展的必然需求,也是应对日益凸显的货运需求与人力资源紧张问题的有效途径,同传统有人驾驶相比较,自动驾驶可明显降低人为失误风险,提高列车运行安全的水平;采用智能手段优化列车运行曲线,促进区间通过效率提升;降低驾驶人员成本支出,为铁路可持续发展添力,本文计划在剖析自动闭塞区段重载列车自动驾驶必要性的前提下,分析其面临的主要技术难题,继而剖析自动驾驶运行决策的关键环节,以期对相关研究与实践提供指引。

一、自动闭塞区段重载列车自动驾驶的必要性

(一) 提高行车安全性

保障行车安全是铁路运输的头等大事。重载列车编组长、载货量大,一旦发生事故极易造成重大人员伤亡和财产损失。引入自动驾驶技术通过先进的环境感知、智能决策系统,能够及时识别列车运行过程中的潜在风险,启动紧急制动避免追尾、侧碰等事故发生。同时自动驾驶使列车能够精

准执行编制的运行计划,严格控制时速、保持安全距离从而最大限度保障行车安全^[1]。2018年7月由神华宝日希勒能源公司开发的世界首列智能重载列车在准格尔旗露天煤矿正式投入载货试运行。自动驾驶系统根据矿区轨道、天气等情况实时优化列车运行参数,实现了在复杂环境中的自动运行、精准停靠,试运行期间列车运行平稳,在保证安全的同时运量大幅提升,为重载铁路自动驾驶安全应用积累了宝贵经验。可见基于大数据、人工智能的自动驾驶决策系统,能够在恶劣环境下动态分析运行风险,合理规避危险,为重载铁路的本质安全护航。

(二) 提升行车效率

自动闭塞是我国铁路常用的列车运行控制方式,自动闭塞分区内的轨道电路划分为若干闭塞分区,当列车完全占用闭塞分区后,闭塞分区的信号能开放并允许后续列车进入这就限制了区间通过能力。尤其是重载列车由于自重大、制动距离长,在通过闭塞区段时速度慢、间隔大,进一步降低了区段通过效率。引入自动驾驶技术后,列车在行驶过程中可根据前方线路、信号情况实时调整行车参数。通过对速度、加速度、制动等的智能控制,使列车在保证安全的前提下提速通过,减小运行间隔。同时自动驾驶还可对列车运行做整体优化,在满足线路容量、到发时间的约束下,实现列车能耗最优,进一步提升运营效率。以大秦铁路“小慢车”为例引入自动驾驶后其运行效率得到极大提升。“小慢车”指

在大秦线既有自动闭塞系统下,速度慢、编组短、跟踪间隔大的散装货物列车。“小慢车”时速一般在60公里以下,列车跟踪间隔大于10分钟。而智能驾驶系统在综合分析线路、信号条件后能够自动调整“小慢车”的速度,在与前方列车保持安全距离的同时尽可能提高时速缩小跟踪间隔至6分钟以内。据测算升级智能驾驶系统后,大秦线日均通过能力可提升15%以上。由此可见自动驾驶是重载铁路从“增量速度”到“提质增效”的关键抓手。

(三) 节约人力成本

重载列车需要多名司机、列检员同乘,以应对长时间、高强度作业环境。人工成本在重载铁路运营支出中占比重大,而随着重载列车密度、载重量的不断提高,对驾驶人员的需求还将进一步增加。尤其是随着铁路“无人化”的推进,传统的人工驾驶与智能铁路发展的矛盾日益突出,引入自动驾驶技术,可大幅减少驾驶人员数量节约人力成本^[2]。同时自动驾驶还可降低人工作业强度,尤其是在恶劣天气、复杂路况下,自动驾驶系统能够代替人工执行部分驾驶操作,降低人员疲劳风险。2019年鲍威尔F3重载列车在澳大利亚皮尔巴拉地区铁路网投入使用,该列车配备自动驾驶系统,可实现从车站启动到停靠的全自动运行。系统大幅提升了列车编组灵活性,平均编组长度从130节增至236节,牵引重量提升60%,而驾驶室人员编制减少4到5人,据测算每年可为矿区节约运营成本约1亿美元。由此可见自动驾驶既是重载铁路人力资源管理的重要手段,也是促进其提质增效、可持续发展的内在要求。随着自动驾驶技术不断成熟,必将在重载铁路领域得到更广泛应用。

二、自动闭塞区段重载列车自动驾驶运行面临的挑战

(一) 轨道环境复杂多变

自动闭塞区间往往跨度宽广、线路迢迢,沿线轨道的环境复杂又多变,给列车自动驾驶的运行决策构成挑战,尤其处于山区、隧道、桥梁和道岔地段,轨道线形呈现大幅变化,还因钢轨、枕木、道砟、道床等设备设施出现了老化与磨损,提升了轮轨动态作用的强度,使线路通行状况出现恶化。铁路沿线的植被以及障碍物也影响着列车感知、决策系统性能的稳定状况,恶劣环境易造成传感器、控制装置的错误判定,引发列车速度、位置测量出现误差,进而损害自动驾驶运行决策的科学性与可靠性,若想在复杂路况场景中实现重载列车自动驾驶,得构建完整无误的线路地图,构建智能环境感知分析系统,使控制决策可动态适应多样路况,才可保障自动驾驶的安全与可靠,这就需深化轨道环境多源异构数据融合的相关研究,增强复杂场景下感知与决策的智能水平。

(二) 气象条件影响大

铁路线路长、跨度大,各区段气象条件差异显著,暴雨、大雾、风沙等恶劣天气频发,给重载列车安全自动驾驶运行带来严峻考验。恶劣天气会降低环境感知装置的性能,雨雪使视觉传感器图像质量下降,大雾易引起激光雷达散射衰

减,影响障碍物检测的准确性、可靠性^[3]。可见要提升自动驾驶系统的全天候适应性,必须加强复合传感器感知融合,建立面向不同能见度等级的分级驾驶控制策略,以动态应对极端气象条件。同时还应加强与铁路气象部门协同,实现区域性恶劣天气的精准预报预警,为自动驾驶运行决策提供气象保障。

(三) 货物特性差异显著

重载列车装载的大宗散货多为煤、矿石等,不同货物的密度、颗粒度、含水率差异大,导致列车装载特性、动力学性能变化大。装载密度大的货物,增大了列车牵引质量,对机车牵引特性、制动性能提出更高要求。可见动态测算不同货物特性下的列车力学模型,是重载列车智能驾驶的基础。应加强货物特性数据库建设,通过大数据分析货物密度、颗粒度与列车动力学性能关系,建立智能化的货物特性识别与驾驶策略生成系统,实现基于货物差异的精细驾驶控制。充分考虑货物特性因素,能确保重载列车自动驾驶决策的可靠性、经济性。

(四) 设备故障风险高

重载列车自带大量设施设备,运行线路偏长,设备故障无法躲开,若车载的感知、控制设施,若轨旁的通信、信号设施出现故障,极易引起列车失控、追尾撞击等重大事故,怎样在设备出现故障时保障自动驾驶系统安全、稳定运行,是亟待冲破的一个技术壁垒。尤其是偏远地区,其抢修条件有局限,一旦出现故障便难以迅速恢复,进一步拉高了事故降临的风险,因而必须推进故障诊断与容错控制技术研究,提升重载列车自动驾驶系统的容错本领及鲁棒性能,搭建自动驾驶系统故障诊断与应急处理机制,达成感知、控制、执行等多阶段的容错方案,是实现列车安全、可靠运行的关键条件,应深度剖析重载列车运行工况、故障模式,研发面向各异故障的驾驶策略组合,实现故障境遇下的自主决策控制,全面增强自动驾驶系统的容错本领,夯实重载铁路安全运行的根基。

三、自动闭塞区段重载列车自动驾驶运行决策的关键要素

(一) 速度控制策略

科学合理的速度控制是确保自动驾驶安全、高效的关键。自动闭塞方式下,列车运行须严格执行速度限制,时刻与轨旁信号装置保持信息交互,接受调度指挥。同时自动驾驶系统须综合线路、信号条件,实时优化列车速度,在确保安全的前提下,提高运行效率。就重载列车而言由于自身惯性大、制动距离长,对超速控制的要求更加严格^[4]。尤其在下坡、曲线、隧道、道岔区,需进一步限制列车速度,以避免引起轮轨冲击、偏移等危害运行安全的情况发生。速度控制策略的优劣,直接影响着重载列车自动驾驶的安全性、经济性。同时系统采用分段递降的方式控制列车通过道岔区,避免了原有驾驶方式通过道岔时的急停降,有效降低了轮轨

动态作用力。可见建立全局优化的速度控制模型,开发智能决策系统,对重载列车实现安全、平稳、高效控速是实现自动驾驶的关键。要充分考虑线路特点、信号状态等约束,优化速度控制曲线,并根据货物特性、环境条件的变化,实时校正速度指令,最终实现重载列车运行全过程的高效节能控速。

(二) 间距控制策略

在自动闭塞运行方式下列车运行间距不得小于安全保护距离,这就对列车跟踪间距控制提出了更高要求。尤其是在区段通过能力饱和状态下,列车间距过大将降低线路利用率。因此如何在确保行车安全的前提下,缩小列车跟踪间距,提高区段通过能力,是自动驾驶系统必须重点攻关的难题。就重载列车而言,编组长、载重大,惯性大,制动距离长,运行间距往往远大于客车、快速货车。可见融合线路、信号、列车特性等信息,建立全局动态优化的列车跟踪模型,开发自动跟踪控制系统,对压缩重载列车运行间隔、提升通道能力具有重要意义,要充分运用大数据分析、人工智能等先进技术,在海量历史行车数据中挖掘列车运行规律学习优化列车跟踪控制策略,再辅以实时在线仿真动态校正列车运行间距,进而在确保行车安全的前提下最大限度地压缩重载列车运行间隔,不断刷新既有线路通过能力。

(三) 节能优化策略

铁路运输能耗大重载列车更是耗能大户。一列 5000 吨级重载列车,百公里综合能耗约 80 吨标准煤,远高于普通货车。因此如何利用自动驾驶技术,在满足正点率的约束下实现列车能耗最优控制,是重载铁路可持续发展的重要课题。传统人工驾驶模式下,列车速度、牵引制动等参数多依赖于人的经验判断,难以达到节能最优^[9]。引入自动驾驶技术后通过智能优化列车运行曲线、始发制动控制等,可在较大程度上降低重载列车能耗。但要在复杂路况、恶劣天气等条件下实现全局能效最优,尚需攻克速度优化、再生制动能量回馈等难题。国家重点研发计划“复杂线路智能节能优化控制技术”取得系列原创性成果,为重载铁路节能减排提供了新思路。课题组研制了自适应实时优化的列车智能节能驾驶系统。该系统能够结合线路地图、区间运行图实时求解出节能最优的列车运行轨迹,通过优化速度、加速度等指令,实现列车的经济驾驶控制。应用人工智能、大数据分析等前沿技术,深挖重载列车全生命周期运行数据,学习构建普适

性的节能优化策略,辅以车地协同优化,多列车编组级联控,最终实现重载列车全寿命周期的节能管控,助力铁路高质量、绿色发展。

(四) 故障处理策略

重载列车线路长、设备多,设施设备故障在所难免。列车自动驾驶运行时车载感知、控制系统或线路信号设备一旦发生故障,若不能及时处置,极易引发追尾、脱轨等重大事故。因此必须加强列车和路网设备的实时状态监测,构建从单个列车到路网级的设备智能监测预警系统。要充分运用大数据分析、机器学习等技术,建立重载列车关键部件故障预测模型,对车钩、制动装置等部件的性能退化进行评估,实现设备从“亡羊补牢”到“未雨绸缪”的转变。同时还要建立完善的应急预案,开发面向不同故障模式的驾驶策略,确保在部分设备失效状态下,列车仍能安全、可靠运行。可见建立重载列车全生命周期故障预警与应急处置体系,开发基于深度强化学习的故障自主决策系统,是确保自动驾驶列车在复杂工况下安全可靠运行的重要保障。应充分利用物联网、边缘计算等新技术,部署车-路一体化的设备状态实时监测系统,结合海量历史运维数据开展设备智能监测预警,并动态生成应急处置策略集,为列车运行全过程智能诊断、自主决策提供支撑。构建立体化的故障监测、预警与处置闭环,重载列车自动驾驶运行能告别“人在回路中”的被动局面,不断迈向更高的安全自动化水平。

结语:

随着“公转铁”战略的深入实施,重载铁路作为国家大宗货物远距离运输的主要方式,在建设交通强国、服务国家能源安全方面肩负着更加重要的使命。推进重载列车自动驾驶技术,是顺应智能铁路发展的必由之路,是提升重载铁路本质安全、运输效率的必然选择。广大铁路科技工作者立足使命、面向未来,在建设“安全、便捷、高效、绿色”的现代化铁路网进程中奋勇争先,在“交通强国”的宏伟蓝图中谱写智慧化的崭新篇章,重载列车“无人驾驶”的美好愿景会从梦想照进现实,成为支撑国家经济社会高质量发展的中流砥柱。

参考文献

- [1]刘骥阳,张进川,宋宗莹.基于移动闭塞的重载列车追踪间隔模型研究[J].铁道运输与经济,2024,(05):12-21+30..
 - [2]陶学亮.朔黄铁路基于移动闭塞的机车自动驾驶系统运用展望[J].中国新技术新产品,2023,(14):27-30.
 - [3]付上源.包神铁路重载列车自动驾驶平稳控制研究[J].控制与信息技术,2024,(02):63-71.
 - [4]胡云卿,江帆,张征方.机车自动驾驶关键技术与问题研究[J].控制与信息技术,2024,(04):1-10.
 - [5]石斌.浅谈朔黄铁路基于自动驾驶下的乘务员运用方案研究[J].中国高科技,2024,(22):37-39.
- 作者简介:赵志浩(1997.4-)男,河北衡水人,本科,助理工程师,研究方向:铁路机务专业。