

基于移动闭塞方式下的重载铁路运输能力的探析

孟祥书

国能朔黄铁路发展有限责任公司肃宁分公司 062350

【摘要】在科技革命持续推进背景下，物联网、大数据与人工智能技术深度渗透至各行业、各领域，为促进产业智能化升级提供了技术保障。这一形势下，我国铁路运输的运营模式也逐渐向数字化、智慧化趋势转变。如何在保障运输安全的情况下提升运输效率，已成为行业发展的核心命题。移动闭塞系统凭借实时定位追踪、动态间隔优化及智能调度决策等技术优势，逐渐取代传统固定闭塞模式，为列车提高运行效率奠定了良好基础。所以，本文将对移动闭塞技术展开分析，并将其与固定闭塞方式下重载铁路运输能力进行对比，同时基于移动闭塞方式，提出几点提高铁路运输能力的有效策略，旨在为铁路事业健康发展贡献一己之力。

【关键词】移动闭塞方式；重载铁路；运输能力

Analysis of Heavy-Haul Railway Transport Capacity under Mobile Block System by

Meng Xiangshu

Suining Branch of Guoneng Shuo-Huang Railway Development Co., Ltd. 062350

【Abstract】Against the backdrop of ongoing technological revolution, IoT, big data, and AI technologies have permeated various industries and fields, providing technical support for industrial intelligent upgrading. Under this trend, China's railway transportation operation model is gradually shifting towards digitalization and smart transformation. How to enhance transport efficiency while ensuring safety has become a core challenge in industry development. The mobile block system, with its advantages of real-time positioning tracking, dynamic interval optimization, and intelligent dispatching decision-making, is gradually replacing traditional fixed block systems and laying a solid foundation for improving train operation efficiency. This paper analyzes mobile block technology, compares it with heavy-haul railway transport capacity under fixed block systems, and proposes several effective strategies to enhance railway transport capacity based on mobile block methods, aiming to contribute to the healthy development of the railway industry.

【Key words】Mobile block system; Heavy-haul railway; Transport capacity

引言：

重载铁路是国家能源与物资运输主要途径，在维护能源供应安全、稳定产业链供应链等方面发挥重要作用。但结合重载铁路运输情况来看，以往使用的固定闭塞技术普遍存在列车运行间隔划分僵化的问题，使得线路时空资源严重浪费，无法满足重载列车大运量运输需求。并且传统固定闭塞系统在极端天气或设备故障的情况下，容易因灵活性欠缺出现运输秩序紊乱问题，继而影响列车运输效率。而移动闭塞技术以动态化的列车间隔控制与智能化的车地协同为核心，为突破上述困局开辟了全新路径。通过实时感知列车位置、速度信息，该技术可精准计算安全距离，显著提升线路通行密度。深入研究其在重载铁路场景下的应用策略，不仅能够有效挖掘线路运输潜能，还可以优化铁路货运服务质量。

一、移动闭塞技术分析

（一）精确列车定位技术

在钢铁脉络上，列车的精准定位是移动闭塞系统高效运转的关键所在。全球卫星导航系统（GNSS）能够以纳秒级响应速度，精准捕捉列车经纬度坐标，继而为路网中的宏观定位提供保障；但面对山区隧道信号遮挡、城市电磁干扰等影响因素，单一卫星定位往往难以满足重载铁路的严苛要求。此时，沿铁轨铺设的轨道传感器可以通过电磁感应、激光测距等技术，将定位精度提升至厘米级^[1]。二者发挥协同作用，卫星导航呈现全局图景，轨道传感器校准细微偏差，共同构建起覆盖范围广泛的定位网络。与传统静态记录模式不同，移动闭塞系统的定位能够促进数据传递：列车行驶过程可以实时回传速度、制动、轴温等参数；控制中心则结合线路环境与前方列车位置，动态调整虚拟坐标。这种毫秒级的“车—地”高频交互，让列车在复杂路况中始终处于实时追踪状态，每一次位置修正都为列车间隔计算与调度指令生成提供精准支撑，确保其安全高效穿行于复杂路网。

（二）高可靠通信技术

在移动闭塞系统中，通信作为维系列车安全运行的核心，任何信号中断都可能引发严重后果。为此，系统构建起多层冗余通信架构与全链路安全防护体系：一方面，以5G蜂窝网络或铁路专用数字集群系统作为数据传输主要路径，确保日常运营中列车控制中心间的毫秒级高速通信；同时铺设光纤网络，确保通信在遭遇暴雨沙尘、隧道地形等干扰时，依然能够无缝接管传输任务，杜绝信号盲区。另一方面，面对铁路沿线变电站、工业设备等干扰源交织的复杂电磁环境，系统通过扩频通信、跳频技术将信号打散并动态调频，使其在电磁场中突破干扰屏障；辅以AES、量子加密等前沿算法，将行车指令、列车状态等核心数据加密成密文，仅授权设备可解密，从传输抗干扰到数据加密形成全链路防护，为铁路通信筑起兼具韧性与安全性的双重防线，全力守护铁路运输生命线的稳定运行。

（三）信号显示优化算法

在移动闭塞体系下，信号显示并非固定不变，而是依据实时路况动态生成。相关算法会综合前方列车位置、速度、线路承载能力等多方面数据，为后续列车规划最佳行驶指令。当线路繁忙时，算法自动调整信号，在保障安全的基础上，尽可能缩小列车间距^[2]；一旦出现突发状况，算法迅速发出制动信号，让列车及时减速或停车，防止事故发生。信号显示优化算法，不仅聚焦于技术层面的精准控制，也重视与列车司机的交互体验。通过优化信号显示界面，运用鲜明的色彩搭配和简洁的图形符号，使司机能瞬间理解信号含义。同时，算法依据列车运行状态，提前预判并推送提示信息，协助司机做出决策，实现技术与人的紧密配合，确保铁路运输高效且安全。

二、移动闭塞与固定闭塞方式下重载铁路运输能力对比

（一）固定闭塞方式下运输能力分析

固定闭塞采用预先划定的等长线路区段作为列车运行安全间隔单元，每段区间仅允许一列车占用，列车通过地面信号机的红、黄、绿显示获取运行指令。这种“硬隔离”式的行车组织存在三大弊端：其一，受信号系统刷新频率和闭塞分区物理长度双重制约，列车安全追踪间隔难以突破2-3分钟，导致高峰时段运能提升受限；其二，当某一闭塞分区发生设备故障或占用时，后续列车必须遵循“红灯停车”原则，故障影响会沿线路上下游逐级传导，形成“多米诺效应”，极易引发全线运输效率骤降；其三，固定化的分区设置无法匹配重载列车差异化的牵引重量、运行速度，在运量季节性波动或临时加开专列时，难以通过灵活调整间隔实现运力动态调配。

（二）移动闭塞方式下运输能力优势

1. 显著提升行车密度

移动闭塞方式主要依托高精度列车定位技术与实时车地双向通信系统，构建“动态安全距离”防护体系，取代传统固定分区隔离模式。以集成卫星定位与无线通信(LTE-M)的新一代系统为例，前后列车可根据实时速度、载重等参数动态计算最小安全间距，将追踪间隔压缩至80-120秒级，较固定闭塞缩短50%以上。这种“按需分配间隔”的模式使线路时空资源利用率显著提升，相当于在不扩建物理线路的前提下，将重载铁路货物输送能力提升近一半，尤其适用于煤运通道、矿石专线等大运量场景的运能瓶颈突破。

2. 大幅提高线路利用率

移动闭塞依托高精度列车定位系统与实时双向车地通信网络，构建起动态化的行车管控体系。其核心优势体现在：一方面，通过感知列车实时载重数据、车辆技术状态及线路坡度等多维信息，系统可精确计算并动态优化安全行车间隔。当重载列车因载荷过大或设备异常减速时，后方列车能即刻接收运行参数更新指令，以最优速度曲线安全跟进，避免因固定间隔造成的线路资源闲置，使线路时空利用率提升显著^[3]。另一方面，面对突发线路故障，智能调度算法可迅速生成替代运行方案，借助车地通信链路向受影响列车下发路径调整指令，引导列车绕行故障区域。这种灵活的应急处置机制，有效阻断故障对运输秩序的传导影响，最大程度维持重载铁路运输的连续性与稳定性。

3. 增强运输灵活性与适应性

移动闭塞系统依托前沿的信息感知与智能决策技术，精准适配运输需求的动态演变。在货运旺季，当运量激增时，系统通过毫秒级数据交互与复杂算法运算，迅速压缩列车间隔，将线路运能利用率推向极限，可以让更多重载列车在有限时间内穿梭于铁路网络，保障物资高效运输。而在货运淡季，系统能够智能拉大列车间隔，避免列车空驶造成的能源浪费，在保障运输任务的同时实现绿色节能。面对不同载重、速度的重载列车混编运行这一复杂场景，移动闭塞系统展现出卓越的调度能力。其综合考量每列车的载重参数、运行性能及实时速度，精确计算安全行车间距，合理规划运行时序。

4. 提升行车安全水平

移动闭塞构建起一体化的智能安全防护体系，借助高精度卫星定位与实时车地通信网络，可以为每列重载列车配备24小时不间断通信保障。系统通过毫秒级数据更新，持续监测列车运行轨迹、即时速度以及前方线路状态，一旦检测到超速、异物侵限或车距过近等异常情况，便会立即启动智能决策程序，以“零延迟”的速度触发紧急制动指令，将潜在风险扼杀在萌芽状态。移动闭塞凭借主动式安全策略，实现了从“被动预警”到“主动防御”的跨越，极大降低了列车追尾、碰撞等事故发生率，有效避免因安全事故导致的线路中断和运输效率损失，为重载铁路的安全高效运行筑牢坚实防线。

三、移动闭塞方式下提高重载铁路运输能力的策略

(一) 优化移动闭塞系统核心技术

通过构建全域精准感知网络,融合北斗三号厘米级定位、惯性导航连续监测及地面应答器高精度校验,打造误差0.5米内的超精密定位矩阵,为列车间隔动态计算提供数据支撑;同步部署5G-A增强通信网络,以10毫秒级超低时延与百兆级带宽,实现数据毫秒级实时回传,形成智能控制闭环。基于此,依托深度学习与时空大数据分析,培育智能调度数字大脑,通过超千万条历史数据训练动态时空预测模型,依据车流、载重等参数精准调控列车间隔,自动生成最优行车方案,切实提升线路通过能力^[1]。此外,采用核心设备三重冗余和分布式灾备相辅相成的架构,在关键节点部署热切换备份模块,确保单点故障50毫秒内完成切换;借助数字孪生平台模拟极端场景,以强化学习优化故障自愈策略,将平均故障恢复时间压缩至15分钟内,全方位保障重载铁路运输的连续可靠。

(二) 创新运输组织模式

为了提升重载铁路运输效能,可通过多维联动的创新运输组织模式实现突破。以货物属性与运输时效为基准,构建模块化与定制化两种编组体系,对大宗货物采用大轴重列车编组,对时效敏感货物启用中小载重量高机动编组,借助移动闭塞智能调度算法实现混编动态错峰运行,以此来提升线路时空利用率。同时,打破线路运营壁垒,搭建跨区域智慧协同平台,利用移动闭塞标准化数据接口实现干线与编组站信息实时交互,通过智能路径规划将枢纽中转效率大幅度提升,形成干支互联的高效运输网络。此外,摒弃固定时刻表模式,依托移动闭塞系统的实时监测与大数据预测能力,构建“需求驱动型”动态调度机制,针对货运量波动、设备状态、天气变化等因素,运用智能算法实时优化列车开行计划,在保障运输需求的同时,继而提升运力供需匹配度。

(三) 加强基础设施建设与维护

为了支撑移动闭塞系统高效运行,需要从线路、运维、站场三方面系统推进基础设施升级。以大轴重重载列车运行

需求为核心,实施线路强化提质工程,通过铺设高强度无缝钢轨、应用弹性缓冲扣件,降低轮轨损耗,提升列车运行稳定性;对桥梁、隧道等关键结构采用新材料与创新工艺,增强承载性能与耐久性。依托物联网与大数据技术,构建智能运维管理体系,在钢轨、接触网等关键设施部署传感器,实时采集运行参数,运用机器学习算法分析数据,构建故障预测模型,实现从被动抢修到主动维护的转变,减少故障对运输的干扰。同步推进站场智能化改造,引入自动化装卸设备与智能仓储系统,缩短列车在站停留时间;优化站场布局,增加到发线与调车区域,借助智能调度系统提升作业效率,增强站场对高密度列车的承载能力,全方位提升重载铁路运输效能。

(四) 加强人才培养与技术创新

为了强化移动闭塞技术在重载铁路的应用效能,需构建完善的人才培养体系,并加强技术创新。在人才培育上,联合高校与职业院校开设移动闭塞技术应用等特色课程,将理论教学与实际案例结合,着重培养系统运维、运输组织优化的复合型人才;同时依托企业内部培训基地,开展技能培训与应急演练,夯实人才基础。创新层面,整合高校、科研院所及企业资源,搭建产学研融合平台,围绕5G、人工智能等前沿技术开展移动闭塞关键技术攻关,建立成果转化通道,推动科研成果落地应用^[5]。激励机制方面,设立专项创新基金表彰突出成果,并打造孵化平台为员工提案提供资源支持,形成全员参与创新的文化氛围,全方位推动重载铁路运输技术迭代与能力提升

结束语:

综上所述,移动闭塞作为智能化铁路运输的关键技术,通过重塑列车运行控制逻辑,为破解重载铁路运能瓶颈提供了创新解决方案。通过多管齐下的发展策略,将全面释放重载铁路的运输潜能。展望未来,随着数字技术与轨道交通的深度融合,移动闭塞必将成为驱动铁路货运高质量发展的核心引擎,助力铁路运输稳健发展。

参考文献

- [1]耿放,侯双苗,杨兆峰.重载铁路通道能力利用优化策略研究[J].铁路采购与物流,2024,19(3):17-19.
 - [2]杨晓明,杨在旭,宋宗莹.基于虚拟编组技术的单线重载铁路通过能力计算方法研究[J].铁道运输与经济,2024,46(6):17-26,41.
 - [3]张海山,张剑铠,张永恒,等.重载铁路反向运输碳排放效果案例研究[J].环境科学与管理,2024,49(5):25-30.
 - [4]杨楠.重载铁路通道空车列车回送运输方案的优化[J].铁道运输与经济,2023,45(1):7-15.
 - [5]宋宗莹,王文斌,刘子扬,等.重载铁路运输大数据分析平台架构设计研究[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(11):44-49.
- 作者简介:孟祥书(1993.10-)男,河北廊坊人,本科,助理工程师,研究方向:铁路运输专业。