

铁路工程

朔黄铁路两万吨重载列车平稳操纵优化方案

许河

国能朔黄铁路发展有限责任公司机辆分公司 062350

【摘要】新时期，我国铁路货运逐渐向重载化、高效化趋势发展。朔黄铁路作为我国能源运输的主要载体，肩负着西煤东运的重要职责。现如今，两万吨重载列车正式投入运行，其运行状态不仅与国家能源调配的稳定性密切相关，还直接影响铁路运输行业的发展状况。尤其近年来，我国各行各业对煤炭运输的需求进一步增长，如果两万吨重载列车依然沿用传统列车操纵模式，则容易增加能源浪费情况，同时加大列车关键部件磨损风险。因此，为了保障国家能源战略的顺利实施，同时提升铁路运输的运营效益与安全性能，本文将深入探索朔黄铁路两万吨重载列车运行现状和平稳操纵优化方案，旨在为推动重载铁路运输高质量发展贡献一己之力。

【关键词】朔黄铁路；两万吨；重载列车；平稳操纵

Optimization scheme for smooth operation of 20, 000-ton heavy-haul train on Shuohuang Railway

Xu He

National Energy Shuohuang Railway Development Co., LTD.Locomotive Division 062350

【Abstract】In the new era, China's railway freight is increasingly moving towards heavier and more efficient operations.The Shuohuang Railway, a key carrier for energy transportation in China, plays a crucial role in the west-to-east coal transport.Recently, 20, 000-ton heavy-haul trains have been put into operation.Their performance is crucial for the stability of national energy allocation and directly impacts the development of the railway transportation industry.In recent years, the demand for coal transportation across various sectors in China has significantly increased.If these 20, 000-ton heavy-haul trains continue to use traditional train operation methods, it could lead to increased energy waste and higher wear on critical components.Therefore, to ensure the smooth implementation of the national energy strategy and enhance the operational efficiency and safety of railway transportation, this article will explore the current status of 20, 000-ton heavy-haul trains on the Shuohuang Railway and propose optimization strategies for smooth operation, aiming to contribute to the high-quality development of heavy-haul railway transportation.

【Key words】Shuohuang Railway; 20, 000 tons; heavy-haul train; smooth operation

引言：

朔黄铁路两万吨重载列车在我国铁路运输中占据重要地位，但在日常操纵实践中，依然存在诸多问题亟待解决。众所周知，两万吨重载铁路运行环境复杂多变，需要穿越连续坡道、曲线区段等诸多特殊地形，会频繁出现车钩冲击与冲动波动，由于传统驾驶模式在加减速操作方面具有随意性特点，随意容易造成部件、轮轨磨耗及能源损耗。并且一旦遇到恶劣天气，列车制动距离延长、牵引响应滞后等风险会进一步凸显。这些问题的长期存在，不仅降低了列车周转效率，还提高了设备维护成本与安全管控压力。所以，针对重载列车操纵问题展开研究，制定行之有效的平稳操纵优化策略，已经成为重载列车突破运输效能瓶颈的当务之急。

一、朔黄铁路线路特点

朔黄铁路是我国铁路运输中的重要组成部分，也是第一条双线电气化重载铁路，自北向南贯穿晋北黄土高原、太行山脉与华北平原，沿线地形复杂，需要跨越诸多险峻地势，且桥隧占比高，这也对列车牵引制动性能提出严苛要求。同时，朔黄铁路在运行过程中，南北气候存在明显差异，北端温带大陆性气候与南端沿海季风气候带来暴雨、雷电、冰冻等复杂天气挑战，增加线路维护与行车安全难度。另外，现行的线路技术标准专门为 2 万吨级重载列车打造，采用 75kg/m 高强度钢轨、25kV 双线电气化供电及重型轨道结构，神池南至西柏坡段 12‰ 的连续上坡与山区小半径曲线，十分考验机车转向灵活性与运行稳定性^[1]。从运输组织上来看，

朔黄铁路主要以煤炭运输为主，高频次开行超 2000m 的组合式重载列车，依赖多台机车协同牵引，部分区段客货混跑且在冬煤保供期灵活调度货运优先。但运营中面临诸多难题，如长大下坡道上两万吨重载列车制动距离长，易引发轮轨磨损、热轴问题，需要多类型制动系统与监控技术保障安全。并且，高频重载运输加剧轨道、桥梁等设施损耗，有限天窗时间下维护任务艰巨。与此同时，极端天气诱发地质灾害、设备冻结等风险，亟待完善灾害监测与应急体系应对。

二、朔黄铁路两万吨重载列车运行现状

（一）纵向冲击问题

朔黄铁路作为西煤东运的主要渠道，沿线需要穿越地势险峻地势，线路形态呈现显著的立体落差。尤其连续上坡和漫长下坡路段，为两万吨的重载列车带来严峻考验。列车在持续爬坡时，机车需输出强劲牵引力，致使车头与车厢连接处瞬间承受巨大拉力。而进入下坡制动阶段，巨大惯性迫使车厢间产生强烈推力，频繁交替的应力循环使得车钩冲击力呈指数级增长，不仅加速车辆关键部件的损耗，更可能引发货物移位等安全隐患。从操作层面来看，部分司机的驾驶习惯加剧了这一问题^[2]。在提速过程中，如果司机未能采用循序渐进的牵引策略，而是盲目大幅提升动力，车头会迅速加速，而后端车厢因惯性无法及时响应，导致各车厢间形成速度差，引发车钩剧烈冲击。同样，制动时若制动力施加过于急促，前端车厢骤然降速，后端车厢因惯性向前挤压，产生强烈顿挫。这些不规范操作使车钩长期处于超负荷状态，极大缩短了部件使用寿命，增加了脱钩、断钩等事故的发生概率。此外，朔黄铁路两万吨重载列车采用超长编组设计，整列车长度突破 2000m，并依赖多台机车协同牵引。由于车厢之间存在连接间隙，列车在加速或制动时，纵向冲击会像涟漪般从车头向车尾逐级传导。这种传递具有明显的累积效应，随着编组长度增加，车尾所受冲击力呈倍数增长。实际运行中，车头的轻微冲动经过数十节车厢的传导放大，可能在车尾引发剧烈晃动。制动时，滞后的冲击力甚至可能导致车厢碰撞，严重威胁列车运行的稳定性与安全性。

（二）制动系统协调控制难题

朔黄铁路两万吨重载列车采用多台机车联挂牵引模式，制动时各机车因设备性能差异与信号传输延迟等因素影响，难以实现毫秒级同步响应，前端机车率先制动而末端机车滞后的时差，会导致整列车纵向制动力分布失衡，部分车厢因过载制动力面临抱死风险，部分车厢则因制动力不足出现滑行，紧急制动时前后机车制动力的非对称作用还会使车钩承受异常应力，甚至引发蛇行摆动、脱轨等安全隐患。另外，制动系统采用的空气制动与电制动协同的复合制动方案，因电制动受速度、电网负荷限制且空气制动存在响应延迟，在

山区长大下坡等复杂场景下，司机缺乏精准切换控制算法与实时工况监测手段，易出现制动力断层或过载，导致制动盘过热、闸片磨损等问题，影响制动效能。同时，当前制动系统故障诊断依赖周期性人工巡检与基础传感器监测，关键部件早期疲劳裂纹、微小泄漏等隐患难以被及时捕捉，突发故障时司机仅能获取有限故障代码，无法快速定位故障点与评估危害程度，如制动管路局部泄漏导致制动力渐进衰减时，因缺乏实时压力波动数据，难以及时处置，直至可能发展为紧急制动失效，威胁行车安全与效率。

（三）通信信号延时对操纵的影响

朔黄铁路作为西煤东运核心通道，高频重载运输下调度指挥任务艰巨，却受通信网络信号干扰、基站设备老化影响，调度指令从指挥中心到司机端传输存在显著时延，致使突发设备故障、临时限速等紧急指令难以及时送达，司机错过调速或制动时机，如遇前方道岔故障，指令延迟会使列车高速闯入危险区，增加脱轨碰撞风险^[3]。同时，两万吨重载列车多机车协同牵引依赖实时通信，然而穿越隧道群、山区等信号遮挡路段时，主控机车的加减速指令传至从控机车严重滞后，造成机车动力与制动力不同步，引发车厢受力不均、剧烈晃动，甚至损伤车钩。此外，沿线复杂电磁环境与设备老化，导致信号显示和线路实际状态常不一致，如信号机显示进路正常，实际道岔却未到位或密贴不良，司机按错误信号操作易致轮轨卡滞、脱轨，且通信信号不稳定与延迟，使地面监测系统无法及时发现修正偏差，多重通信信号问题交织，严重威胁朔黄铁路行车安全与运输效率。

（四）复杂线路条件下的操纵难度

朔黄铁路沿线穿越诸多小半径曲线和长大坡道等复杂地貌特征，部分曲线半径 $\leq 800\text{m}$ 、连续坡道坡度达 12‰，列车通过时需要同时应对重力分力与曲线离心力，上坡时机车要额外输出牵引力克服重力，小半径曲线的离心力加剧车轮与钢轨横向磨损，下坡制动时惯性与离心力叠加易致轮对打滑或列车蛇行，司机需精准匹配牵引、制动力与速度参数，一旦牵引力不足则可能中途停车中断运输。另外，线路沿线贯穿南北，气候环境存在明显差异，晋北冬季最低气温 -25°C 易致道岔冻结、接触网覆冰 10mm 以上影响取流，河北段夏季年均超 10 天暴雨可能引发太行山区泥石流，极端天气下司机瞭望距离不足 50m、制动距离延长 50% 以上，冰雪覆盖的 20‰ 下坡道以 60km/h 运行时制动距离从 800m 延长至 1500m 以上，制动力调整不及时易致追尾；年运量超 3 亿吨的高频重载运输使 75kg/m 钢轨年均磨损 0.5mm、曲线轨距扩大率年均增 1.2‰、道岔尖轨侧磨达 15mm，轨道几何尺寸超限激发垂向振动加剧车钩冲击，道岔转换阻力增大致转换时间延长 3-5 秒可能引发信号与实际位置不符，磨损严重的道岔可能跳轨，司机凭经验调整操纵策略时因缺乏道床刚度、钢轨温度等实时数据易致失误，使复杂线路条件下的操

纵难度显著提升。

三、朔黄铁路两万吨重载列车平稳操纵优化策略

（一）机车设备优化

依托 5G 通信与北斗定位技术构建主控与从控机车实时协同控制网络,将机车间指令传输时延压缩至 10 毫秒以内,确保牵引或制动指令同步。同时,开发多模式制动智能决策算法,基于速度、载重、坡度等参数建立动态切换逻辑,速度高于 50km/h 时优先调用再生制动,并在速度降至 30km/h 前 5 秒启动空气制动预充风,将制动空走时间缩短至 1.2 秒以内,针对西柏坡至黄骅港长大下坡路段构建“电制动主导、空气制动补偿”分级控制模型,通过车载微处理器实时计算剩余制动力需求,动态调节空气制动缸压力,将制动盘温度控制在 280℃ 以下,闸片磨损率降低 32%^[4];构建基于物联网的制动系统全息监测网络,在制动缸、管路等关键部件部署高精度传感器,实时采集 128 路数据上传云端大数据平台,运用深度学习算法建立故障预测模型,可提前 72 小时预警制动缸密封圈老化、管路微泄漏等隐患,如单节车厢制动缸压力波动超过 $\pm 4\text{kPa}$ 时自动触发三级预警机制,确保制动系统故障可控率达 98% 以上。

（二）操纵策略改进

通过构建朔黄铁路全线路数字孪生体,融合坡度、曲线半径、道岔分布等基础地理信息与超 10 万条历史操纵数据开发智能操纵决策支持系统,车载终端可实时解析线路工况,使制动距离控制误差尽量缩小。另外,建立包含暴雨、冰雪、大风等 6 类极端天气的智能操纵规则引擎并与气象监测站实时交互,当监测到前方 5 公里内降雪强度 $\geq 5\text{mm/h}$ 时自动激活冰雪模式,将制动距离补偿系数从 1.0 提至 1.8、限制牵引手柄最大级位为 12 级、降低启动加速度 $\leq 0.05\text{m/s}^2$ 防止空转,在能见度 < 100 米大雾天气启用间歇制动和自动防护策略,要求每 2 公里预防性减压制动 50kPa、ATP 强制限速 30km/h 并结合雷达探测障碍物,使恶劣天气事故风险降低。针对 2000 米超长编组列车纵向冲动难题,设计主从协同操纵逻辑,启动时主控机车以 5 级手柄缓慢加载、从

控机车延迟 3 秒响应,利用车钩间隙弹性变形梯度传递牵引力,将启动冲击力峰值降低至 1500kN 以下,制动时采用双级制动能量管理模式,前 10 秒施加 50%电制动抑制惯性冲量,待纵向加速度衰减至 $\pm 1.5\text{m/s}^2$ 后同步施加空气制动至满负荷,仿真验证显示车钩最大冲击力从 2000kN 降至 1200kN、降幅 40%,且再生制动能量回收率提升至 28%。

（三）人员培训强化

依托 VR 技术搭建的高仿真模拟驾驶实训平台,通过高度复刻朔黄铁路隧道群、20‰长大下坡等典型复杂工况,构建起多维度实操训练体系。在基础操作强化方面,要求司机完成不少于 300 次标准化起停车作业,借助传感器将车钩冲击力严格控制在 800kN 阈值内。应急能力锻造环节,创设如信号系统瘫痪、制动管路泄漏等突发故障场景,训练司机在 90 秒内完成切换引导接车模式、启用备用制动方案等应急处置;极端环境适应训练则在 VR 模拟的暴雨、冰雪等恶劣天气下,考核司机信号辨识与制动距离控制能力^[5]。同时,打造专家级操纵数据库,采集 10 年以上资深司机 5000 余组优质操纵数据,利用大数据与机器学习挖掘关键操纵特征,配套智能培训系统通过实时比对学员与专家操作数据,实现动态教学反馈,及时纠正如坡道启动时牵引手柄提升过快等操作偏差。此外,开展车站值班员、调度员、司机三方联动实战演练,针对调度指令传输延迟和机车同步控制失效等复合场景,明确调度员 30 秒指令补发、司机 10 秒状态反馈、车站值班员 15 秒启动引导接车等标准化流程,通过常态化演练优化跨岗位协作,使复杂故障场景下应急响应效率提升超 50%,全面增强运输组织安全韧性。

结束语:

综上所述,朔黄铁路两万吨重载列车的平稳操纵优化方案,主要围绕机车设备革新、操纵策略创新及人员能力强化三大核心方向展开,精准破解纵向冲动控制难、制动系统协同差等运行瓶颈,如此不仅确保煤炭运输大动脉高效运转,更为我国重载铁路技术升级提供可复制的实践范本。

参考文献

- [1]羿珂.朔黄铁路两万吨重载列车平稳操纵典型问题分析及优化措施[J].铁路采购与物流, 2024, 19 (12): 28-30.
- [2]谭可林.朔黄铁路两万吨列车运行至北大牛站冲动大的调查与分析[J].中国设备工程, 2023 (23): 245-249.
- [3]李晓治.两万吨列车运行状态测力装置的研究与运用[J].仪器仪表用户, 2024, 31 (7): 55-57, 60.
- [4]张景义.朔黄铁路 1.6 万 t 重载列车操纵难点及解决措施[J].科技创新与应用, 2024, 14 (12): 152-154, 158.
- [5]王普.朔黄铁路 2 万 t 重载列车模式化操纵技术应用及发展方向[J].能源科技, 2023, 21 (2): 80-84.

作者简介: 许河 (1995.10-) 男, 山西大同人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 铁路机务专业。