

重载列车制动系统性能对驾驶安全的影响及改进策略

杨玉华

国能朔黄铁路机辆分公司机务电力运用管理中心 河北省沧州市 062350

【摘要】随着铁路运输的持续发展和重载列车的广泛应用，如何优化其制动系统性能，提升驾驶安全性，已成为铁路行业面临的重要课题。本文分析了影响重载列车制动系统性能的多个因素，并提出了具体的优化策略。通过引入智能制动控制系统、采用再生制动技术、提升制动系统的热管理能力、增强冗余设计以及定期智能监控与维护等手段，可以有效提升重载列车制动系统的安全性和可靠性。这些优化策略的实施不仅能提高制动效率，还能延长制动系统的使用寿命，减少突发故障的风险。本文为相关领域的研究者和工程技术人员提供了实际可行的优化方法，具有较强的应用价值。

【关键词】重载列车；制动系统；智能制动

Impact of the brake system performance on driving safety and improvement strategy

Yang Yuhua

Guoneng Shuohuang Railway Machinery Branch locomotive power operation management Center Cangzhou City,
Hebei Province 062350

【Abstract】With the continuous development of railway transportation and the wide application of heavy-duty trains, how to optimize the performance of its braking system and improve the driving safety has become an important topic facing the railway industry. This paper analyzes several factors affecting the performance of heavy-duty train braking system and proposes specific optimization strategies. By introducing intelligent braking control system, adopting regenerative braking technology, improving the thermal management ability of the braking system, enhancing the redundancy design and regular intelligent monitoring and maintenance, the safety and reliability of the heavy-duty train braking system can be effectively improved. The implementation of these optimization strategies can not only improve the braking efficiency, but also extend the service life of the braking system and reduce the risk of sudden failure. This paper provides practical and feasible optimization methods for researchers and engineers in related fields, which has strong application value.

【Key words】heavy-duty train; braking system; intelligent braking

引言

随着现代化铁路运输的迅速发展，重载列车在各类货运任务中发挥着至关重要的作用。由于重载列车承载的货物重量大、惯性大，传统的制动系统往往难以满足其在各种运行环境下的安全需求。尤其是在复杂的地形和紧急情况下，制动性能不佳可能导致列车无法及时停车，增加安全风险。因此，如何优化重载列车的制动系统，提升其在各种运行状态下的制动性能，成为保障列车运行安全的关键。本文将从多个角度探讨优化重载列车制动系统性能的具体策略，旨在为相关技术研究提供借鉴，推动铁路运输安全技术的进一步发展。

1.重载列车制动系统现状

1.1 制动系统性能受限于传统技术

在传统制动技术基础上，空气制动系统属普遍采用之技术，该系统运用压缩空气操控气动设备产生制动效能，确保列车停运时具备充足摩擦力。尽管该系统成熟稳定，但在遭遇高速、重载等特定工况时，存在一定不足。空气制动系统反应速度较慢，制动反应速度较慢，在紧急状况下，难以立即产生效用，延长制动距离，安全隐患突出。

1.2 制动系统受限于轨道和设备的兼容性

关于传统铁路运输，重载列车频繁高载荷制动将加剧轨道及车辆轮对的磨损，影响铁路整体运行安全与效能。重载列车多在较长的行驶段内实施制动，各地轨道状况各有不同，轨线半径、坡度、制动分岔，将影响制动效能。若制动系统未能针对各条轨道状况实施自适应调节，将引发制动力分配不均，影响铁路运行安全，提升脱轨或制动故障风险。

1.3 制动系统的自动化和智能化程度较低

目前制动系统普遍依靠人工操作及传统机械操控,此举亦提升了人为错误的可能性,系统响应速度与效率受到限制。尽管部分高端列车已启动运用基于传感器的数据反馈实施控制,制动系统智能化水平尚不达高效、安全、高速之需。现有的制动系统未能实现对列车速度、载重和轨道条件变化的实时自动调节。

1.4 制动系统的可靠性和耐久性问题

现有制动系统因长时间承受高温作业及反复制动操作,面对磨损、老化及腐蚀等挑战,引发其持续运行后性能降低。特别是在高频率启动或制动减速过程中,制动系统易发生高温状况,导致制动功能失效或反应滞缓。随着时日的流逝,制动系统核心组件,如刹车盘、刹车片等将逐步损耗,性能下降。如不迅速保养或更新,制动效能可能受到影响,出现故障现象。

2.重载列车制动系统性能对驾驶安全的影响

2.1 列车制动距离增加

同等制动配置条件下,重载列车制动距离显著延长,此将直接影响列车安全。制动距离延长可能使列车在紧急状况下难以迅速停车,特别在复杂地貌或设有障碍的区域,事故风险有所提升。制动距离增长亦可能造成列车间安全距离不足,事故追尾发生率增加。重载列车制动期间对轨道的冲击力度更显著,冲击可能危及轨道稳固性,增加铁路设施损耗,对列车运行安全造成间接影响。

2.2 制动系统负担加重

鉴于列车承载能力提升,制动系统须增强制动力度以确保有效减速或停车,此额外负担对制动系统使用寿命及效能构成挑战。在持续进行制动调速后,制动系统易发生高温现象,制动效能下降,甚至可能因高温导致火灾或其它安全事故。若难以有效减轻制动系统压力,重载列车存在显著安全隐患。

2.3 制动性能衰退的速度更快

鉴于重载列车的高载重特性,制动作业中释放的热能较轻载列车更为显著,制动系统性能退化加速。遇制动多次或长时间运用,内部摩擦元件、刹车盘、刹车油等部件可能因磨损加剧或温度过高而影响功能。制动效能的下降直接影响到列车的制动效果,在突发状况或复杂路情中,列车未能按时有效制动或降低速度,事故发生风险随之提升。制动系统

长距离带闸易引发制动系统过热甚至出现列车自动开缓,出现列车制动失效,制动装置故障。该现象在重载列车中尤为突出,因负荷较重,须投入更多时间与精力以实现有效减速或停车。

2.4 对操控性和驾驶员判断的挑战

重载列车制动性能与轻型列车存在明显区别,驾驶人员执行操作时务必提高警惕度与准确性。鉴于列车惯性较大,驾驶人员执行制动动作时,需预先预估并适时调控制动强度,否则可能引发反应迟缓或制动过强,引发非必要的安全隐患。在重载列车条件下,制动反应时长偏长,驾驶员可能难以及时发现制动效能的波动,对此提出了更高的判断与决策能力要求。若司机经验不足或对列车制动系统特性认识不足,操作失误风险存在,致使列车未能按时安全停靠。

3.优化重载列车制动系统性能以提升驾驶安全性的策略

3.1 引入智能制动控制系统

智能制动系统融合当代计算机技术、传感技术与人工智能算法,确保对列车运行状况的实时监控与评估,优化制动控制策略。智能制动系统可在列车行驶过程中实时收集关键信息,如列车运行速度、承重能力、坡道倾斜度、铁路线路状态等相关信息,运用数据算法对相关要素实施动态调节制动力度。列车驶入下坡阶段,本系统将依据铁路坡度与行驶速度,自动降低制动效能,防止因制动过度引发的过热现象;列车行经急弯或复杂路段时,系统将提升制动效能,保障列车安全顺畅运行。为执行该系统,须在列车上增设若干传感器及数据搜集设备,监测铁路车辆各技术指标。研发适应铁路运输的智能化计算模型,可依实时数据作出精确制动判断。鉴于智能制动系统的复杂性及高科技性,须反复测试与核实,确保系统在各种复杂工况下均能正常运作。如图1所示。

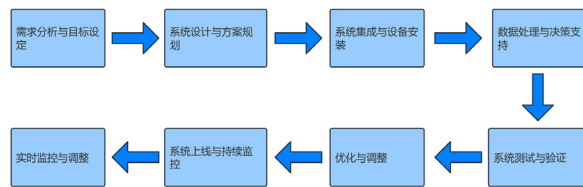


图1 智能制动控制系统流程图

3.2 采用再生制动技术

再生制动原理在于将列车动能转换成电能,经电力系统反送或储存。须在列车牵引电机与制动系统间增设能量回收

设施。列车实施制动操作时，牵引电机将发动机运行，将火车动能转换为电力，经电力逆变器转换，电能可反送至电网或储存在列车蓄电池内。对列车牵引系统实施改造系技术时要保障具备能量回收性能。对铁路电气化系统实施兼容性设计，确保电力回馈安全接入电网，或在非电气化轨道上，通过车载电池储存电能。列车控制系统中需融入能量回收控制策略，确保制动能量回收与常规制动系统的同步协作，避免因回馈电能过多损害列车制动效能。

3.3 提升制动系统的热管理能力

在项目规划阶段，务必选用高效散热材料制作制动系统组件，可采用铝合金或高导热陶瓷等创新材料，该材料在高温条件下仍可维持稳定，改进散热效率。可于制动体系内融入液体冷却或气体冷却机制，提升热交换效能。制动器周围常设冷却管道循环冷却液以达降温目的，而气冷系统则借助风扇或压缩空气流动导出热量，确保制动系统维持于安全温域。优化制动盘及摩擦材料设计，亦是提高热能管理效能的关键途径，选用创新碳化物材料制作刹车盘，改进制动系统耐热性能，延长使用期限，降低高温引发的热退化现象。关于热管理系统推进，在设计阶段，必须充分考量制动时的热能分布及散热要求，随后在列车行进过程中实时监测气温变动，运用智能系统优化冷却手段，保障制动系统热力平衡。

3.4 增强制动系统的冗余设计

提升冗余设计水平，实现制动系统的全面多重保障，可增设备用制动回路，在列车制动系统增设备用气源或备用制动阀，若主回路出现故障，备用回路即刻启动，确保制动系统之连贯性。制动系统关键部件应配备备份元件。采用双电源供电方案，即便一处电源出现故障，该电源依旧确保系统正常运行。关于液压制动系统的说明，可选用双泵输送装置，保障单泵故障时，另一台泵可继续运行。冗余设计需涵盖传感器及控制系统的备用方案。在设计初期应对核心部件进行审查，明确列车制动关键部件，制定相应部件的备用计划，对冗余系统实施全面检验，确保备用系统能够在主系统出现故障时迅速无间断接替，防止因系统冗余性不足引发的安全风险。

风险。

3.5 定期智能监控与维护系统

在列车关键部件（例如制动器、制动管道、液压系统等）配置多样传感器，包含温度传感器、压力传感器、振动传感器等，实时监控制动系统运行状况。若系统监测到某部件运行参数异常超出常规标准，监控系统自动触发报警，请工作人员执行检查或保养任务。运用数据分析系统，对所搜集的数据进行综合剖析，运用大数据与机器学习技术对系统健康状况进行预测，消除潜在风险，此预测性维护方式亦能提升维修效能，进一步降低突发故障引发的安全隐患。智能监控系统能够助力优化维护方案，规避传统定期审查模式所引发的时效与资源损耗。需投入资金购置高精度传感器及构建数据解析系统，对维护人员实施智能监控技术培训，保障智能系统高效精准地执行故障检测与维护任务。如表 1 所示。

表 1 制动系统运行状况数据表

部件	传感器类型	测量参数	实际值	状态
制动器	温度传感器	制动器温度	180 ° C	正常
制动管道	压力传感器	管道压力	8.2 bar	正常
液压系统	流量传感器	液压流量	120 L/min	正常
牵引电机	振动传感器	电机振动强度	1.0 m/s	正常
制动器	压力传感器	制动压力	9.5 bar	异常

结语

优化重载列车制动系统的性能是提升其安全性、可靠性和效率的关键，引入智能制动控制系统、采用再生制动技术、提升热管理能力、增强冗余设计和定期智能监控与维护等手段，能够有效缓解传统制动系统在重载条件下的各种局限性。这些策略不仅可以提升制动系统的响应速度和安全性，还能降低系统故障率，延长设备使用寿命。然而，实施这些优化措施需要依赖于现代技术的支持，尤其是智能化与数据分析技术的发展，未来的研究和技术创新将对优化策略的实际应用发挥重要作用。

参考文献

- [1]吴吉恒，杨建平，蒋勇，等.重载列车无线电空制动技术研究[J].铁道车辆，2024，62（03）：181-186.
- [2]高殿柱，樊运新，王开云，等.重载列车纵向冲动抑制及安全保障设计研究[J].电力机车与城轨车辆，2024，47（01）：1-7+25.
- [3]王开云，閤鑫，陈清华，等.重载列车系统动力学研究进展[J].应用力学学报，2023，40（05）：973-986.
- [4]刘博阳，魏伟，豆飞.重载列车制动力判断标准及纵向冲动研究[J].大连交通大学学报，2022，43（06）：38-44.