

浅谈朔黄铁路2万吨重载列车操纵优化及应对

张地

国能朔黄铁路发展有限责任公司机辆分公司 062350

【摘要】朔黄铁路作为我国重载运输领域的标杆线路，其2万吨重载列车的运行对操纵技术有着更为严苛的要求。本文将朔黄铁路2万吨重载列车操纵优化当作研究对象，剖析了长大坡道制动距离控制、轮轨黏着系数低以及制动系统冻结等一系列技术难题，提出了依据地形特征的速度控制策略、车轮打滑检测与防滑控制以及回收利用列车制动能量等创新解决办法，以此提升重载列车运行的安全性与经济性，为同类铁路给予技术方面的参考。

【关键词】朔黄铁路；2万吨重载列车；操纵优化；自动调速；轮轨黏着；制动系统

A brief discussion on the optimization of operation and response of 20, 000-ton heavy-haul trains on Shuohuang Railway

Zhang Di

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

【Abstract】As a benchmark line in China's heavy-haul transportation sector, the operation of 20, 000-ton heavy-haul trains on the Shuohuang Railway imposes more stringent requirements on operational techniques.This paper focuses on optimizing the operation of 20, 000-ton heavy-haul trains on the Shuohuang Railway, analyzing a series of technical challenges such as long gradient braking distance control, low wheel-rail adhesion coefficient, and brake system freezing.It proposes innovative solutions based on speed control strategies tailored to terrain characteristics, wheel slip detection and anti-slip control, and the recovery and utilization of train braking energy.These measures aim to enhance the safety and economic efficiency of heavy-haul train operations, providing technical references for similar railways.

【Key words】Shuohuang Railway; 20, 000-ton heavy-haul train; operation optimization; automatic speed control; wheel-rail adhesion; braking system

朔黄铁路作为我国第一条专门设计用于运营重载运输的线路，肩负着山西、内蒙古等地煤炭向外运输的关键使命。近些年来，为了契合能源运输需求的增长态势，朔黄铁路持续提高运力，顺利达成了2万吨重载列车的常态化运行。在复杂的地形状况以及恶劣天气的影响之下，重载列车的操纵遭遇了诸多技术方面的难题，在长大坡道段、连续曲线区段等特殊路段，对列车的控制精度以及安全性提出了更高的要求。剖析重载列车操纵技术的难点，并研发创新的解决办法，对于提升运输效率、降低运营成本有着关键的现实意义，同时也可为我国重载铁路的技术升级给予一定的参考。

一、重载列车操纵优化关键技术分析的重要意义

（一）提升运输安全性

重载列车操纵优化关键技术应用，运输安全性显著提高。先进的自动控制系统能准确地调整列车速度及制动力，从而有效地预防因列车超速行驶或者制动不到位而发生安全事故。该智能化操纵系统能够根据线路特征对复杂地形下的运行参数进行自动调节，减少人为操作出错的风险。采用

防冻装置后，列车对极端天气适应能力增强，保证制动系统的可靠工作。动态监测系统对列车关键部件的状态进行实时追踪，对可能出现的故障隐患进行及时地发现和预警，从而为列车的安全运营提供强有力的保障。这些技术创新在降低事故发生概率的同时，也加强了重载运输稳定性与可靠性，对于提高铁路运输安全水平至关重要。

（二）提高运输效率

重载列车操纵优化技术大大提高运输效率。智能化控制系统使列车的运行更平稳流畅，减少由于天气和地形原因造成的非计划停车现象，极大地缩短运输时间。尤其对于长大坡道及复杂地形区路段，自动控制能一直保持最佳的运行速度以避免人工操作的保守，增强线路通过能力。本实用新型的防冻装置较好地解决了制动系统在冬季结冰的难题，降低了由于天气等因素导致的拖延。优化后列车调度更科学、合理、车辆周转速度加快、装卸效率较高、运输能力明显提高。这些改善在提高铁路运输效率的同时，也提升了重载运输在市场竞争中的竞争力。

（三）降低运营成本

重载列车操纵优化技术在铁路运营中带来明显的成本

节约。智能化控制系统使列车运行更顺畅,制动部件磨损更小,关键设备寿命更长,维修费用大幅度降低。能量回收技术能够将火车下坡过程中产生的制动能量进行回收并反复使用,每年可节约大量电费支出。对防冻系统进行改造,减少冬季检修数量,降低人工成本及备件更换成本。改进轮轨黏着控制,减少车轮打滑,既节约车轮维修费用又缩短钢轨更换周期。这些技术创新在节省直接运营成本的同时,通过增加设备可靠性来降低非正常停车、临时检修等费用,从而避免因此而增加的费用,给铁路运营带来相当大的经济效益。

(四) 促进技术创新

重载列车操纵优化技术不断发展,拉动铁路行业总体技术水平不断提高。智能控制系统研究与发展促进人工智能技术在铁路领域中的运用,并带动相关软件与算法不断创新。新型防冻装置研制推动材料科学进步和防寒技术创新。能量回收系统取得突破性进展,引领储能技术与电力电子技术蓬勃发展,并对其他方面节能减排具有参考意义。这些技术创新在培养一大批专业技术人才的同时,也推动科研院所,高校与企业之间的深入合作,营造出良好创新生态。我国重载铁路技术经过技术创新逐渐迈向世界前列,提高了国际市场竞争能力,给铁路装备制造带来新的动力。

二、朔黄铁路2万吨重载列车操纵面临的主要挑战

(一) 长大坡道制动距离控制难题

朔黄铁路在长大坡道制动距离控制方面遭遇严峻挑战。列车总重达到2万吨,在坡度超过10‰的长大下坡道路段,制动系统要克服极大的惯性力与坡道分力。实践显示,列车下坡制动时,受车辆间连接器松紧度变化影响,容易产生纵向冲击力,使得制动距离预测精度降低。更麻烦的是,制动系统在持续高强度工作状态下,制动缸压力波动较大,制动蹄片温度上升,造成制动力矩衰减。并且坡道曲线段的轮轨黏着条件发生变化,加大了制动距离控制的不确定性,对列车安全运行构成潜在威胁。

(二) 重载列车轮轨黏着系数低问题

重载列车在运营过程中遇到的主要问题是轮轨间摩擦力不足。正如汽车在湿滑路面上易发生打滑现象,火车车轮与钢轨必须有足够大的摩擦力来确保安全行驶。朔黄铁路因常受雨水,落叶及煤炭粉尘等作用,车轮与钢轨摩擦力显著减小。尤其下雨天轮轨表面形成水膜使摩擦力大大减小,易造成车轮打滑或者空转等现象。这一现象在转弯及坡道上较为严重,由于车轮侧向力的增加,使局部受力趋于集中,易引起车轮的微小滑移。长时间如此运行,不但影响列车的牵引及制动效果,而且会对车轮及钢轨表面造成损伤,提高检

修成本。解决好这一问题,对保证重载列车的安全运行,降低维护成本有着十分重要的作用。

(三) 高寒地区制动系统冻结风险

朔黄铁路穿越高寒地区,制动系统面临的冻结风险问题较为明显。当冬季气温下降到零下30℃的时候,制动管路里的压缩空气所含水分极易凝结成冰,致使制动阀门出现卡阻现象。统计数据说明,制动系统冻结故障在低温季节所占比例高达40%,空压机排气管路以及制动缸活塞处最容易结冰。凝结水在管路中积聚并冻结以后,会影响制动响应的时间,而且会造成制动力不均匀,引发列车纵向冲动力增大,这种冻结隐患直接对重载列车运行安全构成威胁,成为冬季运输的一项重大考验。传统的管路加热装置和防冻措施难以满足新型重载列车的运行要求,亟须开发更加可靠的防冻技术,提升制动系统在极寒环境下的适应性。

(四) 不同区段牵引功率需求变化大

朔黄铁路的线路状况较为复杂,各个不同的区段对于牵引功率的需求存在着明显差异。在实际运行的过程当中,当处于长大上坡段时,机车要输出最大的牵引功率,然而在平直段的时候,仅仅需要较低的功率便可维持运行,如此巨大的功率需求落差给机车的牵引系统造成了严峻的考验^[9]。在复杂的地形条件之下,列车经过连续坡道以及曲线时,机车的牵引特性曲线需要频繁地进行切换,这很容易引发功率分配不均衡的情况,动力系统在高负荷与低负荷工况之间反复进行切换,降低了能源的利用效率,而且还加剧了机车部件的疲劳损耗,对整体运行稳定性产生了影响。

(五) 降坡段再生制动能量浪费问题

在朔黄铁路的长大下坡段运行期间,重载列车会产生数量众多的再生制动能量,然而这些能量却无法得到有效地利用。当列车采用电制动方式时,机车电机就会转变为发电机的工作模式,所产生的再生电能因为缺少合适的储能装置以及能量回馈系统,大部分都依靠制动电阻以热能的形式被消耗掉了。在连续的下坡路段,持续的电制动作用会产生大量的热量,这造成了能源的浪费,又加重了制动系统的散热负担,这种能量浪费的现象与节能环保的理念不相符合,同时还提高了列车的运营成本,迫切需要开发高效的能量回收利用技术。

三、2万吨重载列车操纵优化解决方案

(一) 基于地形特征的速度控制策略

对于长大坡道制动距离控制方面存在的难题,研究并开发了基于地形特征的速度控制策略。此策略借助数字地图技术,预先获取线路坡度、曲线等地形信息,再结合列车动力学模型,自动规划出最优速度曲线,系统凭借实时计算制动

距离储备,在进入下坡段之前提前降低速度,以此保持安全裕度。并且采用模糊自适应控制算法,依据坡度变化动态调整制动力分配,达成列车速度的平稳过渡,这种智能化的速度控制方案提升了重载列车在复杂地形条件下的运行安全性。该系统还内置了基于深度学习的故障预警模块,能够实时监测制动系统性能参数,提前发现潜在风险,为列车操纵决策提供可靠依据。

(二) 车轮打滑检测与防滑控制

轮轨黏着系数低,故而开发了高精度车轮打滑检测与防滑控制系统。此系统运用多传感器融合技术,依靠速度传感器以及加速度传感器实时监测车轮转速变化,再结合卡尔曼滤波算法快速识别打滑状态,防滑控制器依据检测结果,自动调整牵引力矩与撒砂量,优化轮轨黏着条件。系统还整合了基于神经网络的黏着特性预测模型,可提前预判潜在打滑风险,达成主动防护。这套智能化防滑方案切实提升了重载列车在低黏着条件下的运行可靠性。

(三) 制动管路新型防冻装置应用

严寒地区列车制动系统最害怕结冰。针对这一困难,可在制动系统中加装一套智能防冻装置。该装置以专用碳纤维发热带为中心,如同为管路披上了能加热的保暖衣一样紧紧地包裹住关键管路外。配套温度传感器如同体温计,实时监控管路温度变化。智能控制系统在温度刚升高时会自动对发热带工作强度进行调节,正如我们要根据气候冷暖来调节空调温度。空压机出口设置的除湿装置可以像除湿机那样吸出压缩空气里的水,从根本上防止结冰。易冻关键部位还设置有自动排水阀、专用防冻加热器等,构成紧密的防冻保护网。新近采用的密封材料,即使温度很低,仍不发硬和发脆,像冬季不受冻的弹簧那样保持较好的弹性。这几项措施相互配合,保护制动系统能够在严寒天气中正常运行,如同为列车披上防寒服一样,使列车在严寒的冬季也能够安全、可靠地行驶。

(四) 智能调控机车牵引功率

朔黄铁路沿线错综复杂,各段牵引功率要求相差较大。针对该问题,利用深度学习及大数据分析技术构建一套线路

特征-功率需求关系模型。实际作业时,该系统可根据当前地理位置及前方地形特征预先计算不同路段需要的牵引功率并对机车输出进行自动调节。采用模糊自适应控制技术能够准确地对多台机车牵引功率进行分配,从而避免功率分配不均匀所造成的影响。长大上坡段与平直路段切换过程中,由系统自动规划出最优功率输出曲线,既能保证牵引力充足,也能避免能源不必要浪费。该智能化功率调控方案可显著提高机车运行效率、降低设备磨损、使动力系统和线路条件达到完善匹配。

(五) 回收利用列车制动能量

朔黄铁路长大下坡段在运营过程中会产生巨大制动能量,需研发高效回收技术。利用新型碳化硅功率器件制作的双向变流系统,结合大容量的超级电容储能装置,可以有效地回收和储存制动能量。整套系统运用智能化管理策略,能根据坡道特点及列车运行状态自动调整能量回收与释放流程。储能装置以分散式布置方式分别设置于机车的不同部位,极大地降低了能量传递时的损失。回收后的电能不仅可用于列车内照明,空调及其他装置,还可回到接触网中用于其它列车。多能先进能量回收系统在降低列车运营成本的同时也减少制动系统发热负担,对铁路运输节能减排做出巨大贡献,体现绿色环保发展思想。

结束语

总结来看,朔黄铁路2万吨重载列车运行时,会碰到制动距离控制、轮轨黏着、制动系统冻结等多项技术难题。经由开发智能化速度控制策略、高精度防滑系统、新型防冻装置等创新解决办法,列车运行的安全性与可靠性有了明显提升。这些技术创新为我国重载铁路运输水平的提高给予了有力支持,也为同类线路的技术升级提供了宝贵经验。将来要持续深入智能化控制技术研究,强化新材料、新工艺的应用,优化重载列车操纵性能,促使铁路运输朝着更高效、更安全、更节能的方向迈进。

参考文献

- [1]羿珂羿珂.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]黄建民.浅谈朔黄铁路2万吨重载列车操纵优化及应对措施[J].中国设备工程, 2021, (08): 86-88.
- [3]温军刚.朔黄铁路两万吨重载列车平稳操纵优化方案[J].中国高科技, 2019, (06): 58-60.
- [4]苏明亮.朔黄铁路重载列车模式化操纵系统的研究及运用[J].电力机车与城轨车辆, 2018, 41(02): 81-84+86.
- [5]丁志庭.关于大秦铁路开行2万吨重载列车的探讨[C]//中国铁道学会——2004年度学术活动优秀论文评奖论文集.中国铁道学会重载委员会, 2005: 768-771.

作者简介:张地(1987.4-)男,河北石家庄人,大专,助理工程师,研究方向:铁路机务专业。