

浅析重载铁路技术发展趋势

苏振华

国能朔黄铁路发展有限责任公司 河北 沧州 061000

摘要：重载铁路因其多种优点而在世界范围内备受重视，也是我国目前铁路运输发展的必然趋势。我国的重载铁路技术兴起的较晚而且发展相对缓慢，应在发展中不断引进新技术改进、优化重载铁路存在的问题，为我国重载铁路发展开创新的局面。本文通过分析重载铁路发展现状，探讨几项重载铁路的关键技术，进一步阐述其未来发展趋势。

关键词：重载铁路技术；发展；趋势

引言重载铁路作为高效的货运方式，在全球经济发展中扮演重要角色。本文综述了重载铁路的发展现状，包括国内外典型工程和技术创新；分析了轨道结构、牵引供电、通信信号及运输组织等关键技术现状与挑战；并探讨了这些关键技术的发展趋势，如新型材料应用、智能牵引供电、5G及卫星通信技术和智能化运输组织等，为重载铁路的未来发展提供理论参考和技术支持。

1 重载铁路发展现状

重载铁路作为一种高效的货运运输方式，在全球范围内得到了广泛的应用与发展，对推动经济增长、保障资源运输起着极为关键的作用。在国外，美国、澳大利亚和巴西等国的重载铁路发展起步较早且成果显著。美国拥有庞大的重载铁路网络，其BNSF铁路公司等运输组织和技术创新方面处于领先地位，通过优化列车编组和运营管理，实现了大规模煤炭、粮食等物资的长距离运输，并且不断探索智能运输系统以提高运输效率和安全性。澳大利亚的重载铁路则以服务其丰富的矿产资源出口为特色，其采用的大轴重机车和高强度货车技术有效提升了运输能力。巴西的重载铁路也紧密围绕铁矿石等资源运输，在提高运输效率和降低成本方面持续努力，通过与港口的紧密衔接，构建了高效的物流运输链。我国的重载铁路发展也取得了举世瞩目的成就。大秦铁路堪称我国重载铁路的标志性工程，多年来持续进行技术升级和运输组织优化，运量屡创新高，成为世界上上年运量最大的重载铁路，有力地保障了我国煤炭等能源物资的运输需求。朔黄铁路在智能化运营管理方面表现突出，采用了先进的信息技术实现了运输过程的实时监控、智能调度等功能，有效提升了运营效率和服务质量。此外，我国还在不断拓展重载铁路的覆盖范围和技术应用领域，以促进区域经济协调发展，并积极开展重载铁路相关技术的自主研发与创新，为我国经济社会的

稳定发展奠定了坚实的基础。

2 重载铁路关键技术现状分析

2.1 轨道结构技术

重载列车由于轴重大、编组长、运输频次高，对轨道提出了极为严苛的要求。在承载能力方面，需承受远超普通铁路的巨大压力，以保障列车安全稳定运行，避免轨道结构因过载而发生变形或损坏。平顺性要求轨道表面高度平整，确保列车行驶时轮轨间的作用力均匀分布，这对于降低轨道部件的磨损、延长轨道使用寿命以及提高运输舒适性和货物完整性至关重要。耐久性方面，要在长期高强度的重载运输条件下，保持结构性能稳定，抵抗疲劳损伤累积，保障铁路运输的连续性。频繁的轮轨作用易引发疲劳损伤，导致钢轨、扣件等部件出现裂纹甚至断裂；道砟在重载列车的反复碾压下，容易发生粉化，降低道床弹性与排水性能；扣件系统因承受较大荷载，可能出现松动、失效等问题，影响轨道结构的稳定性与整体性。在国内外重载铁路中，交流供电技术和直流供电技术均有广泛应用。交流供电技术具有系统结构相对简单、供电距离长、设备维护方便等优点，在一些长距离重载铁路线路中得到大量应用。直流供电系统具有电压稳定、电能质量好、调速性能优越等特点，可有效降低牵引电机的损耗和维护成本。例如，某些港口内部的重载铁路采用直流供电，便于对列车进行精确的速度控制和高效的能量回收利用^[1]。

2.2 牵引供电技术

重载铁路牵引供电系统作为列车运行的动力源泉，其构成与运行机制极为关键。主要由牵引变电所、接触网、馈线等核心设备协同运作。牵引变电所承担着将外部电力系统输入的高压交流电进行转换的重任，或是降压整流为直流，或是经变压器降压后输出交流电，以适配列车牵引需求。接触网则如同桥梁，通过与列车受电

弓的滑动接触,将电能精准传输至列车牵引电机。馈线负责把牵引变电所输出的电能合理分配到各个接触网供电分区,保障供电的稳定可靠。然而,面对重载列车大功率牵引的要求,诸多难题接踵而至。重载列车启动与运行时超大电流会致使供电线路电压降显著,影响列车受电端电压质量,使牵引电机无法正常运作或效率大打折扣。交流供电技术以其系统结构相对简易、供电距离长、设备维护便捷等优势,在长距离重载铁路线路中广泛应用,如我国大秦铁路的25kV交流供电系统,其牵引变压器容量大、过载能力强,能有效应对重载列车启动加速时的大电流冲击,接触网的链型悬挂结构载流与弹性俱佳,可适应多样运行环境。直流供电技术则在城市轨道交通重载线路或特定电能质量要求较高的重载铁路场景中崭露头角,其电压稳定、电能质量优、调速性能好,能降低牵引电机损耗与维护成本,如部分港口内部重载铁路采用直流供电便于精确控速与高效能量回收^[2]。

2.3 通信信号技术

(1) 通信信号系统堪称重载铁路的“神经中枢”,对列车安全运行与运输效率提升起着决定性作用。于列车运行控制而言,凭借精准的信号传输与指令下达,确保列车按规定速度、间隔与线路安全行驶,有效预防追尾、脱轨等事故。(2) 但在复杂环境中,重载铁路通信信号系统面临严峻挑战。长大隧道内,信号易受隧道壁反射、吸收与屏蔽影响,出现衰减、失真甚至中断情况;山区地形复杂使信号传播受阻,形成信号盲区,干扰列车与地面通信质量与可靠性。(3) 国内外重载铁路常用列车自动控制系统(ATC)与全球移动通信系统铁路(GSM-R)等技术系统。我国的CTCS系列在重载列车运行控制表现突出,CTCS-2系统基于轨道电路与点式应答器实现列车定位与速度控制,在普通重载铁路线路应用广泛,满足一定速度与运输密度下的安全运行需求;CTCS-3系统结合无线通信技术,达成列车与地面连续双向通信,适用于高速重载铁路或对运输安全效率要求较高的线路。GSM-R作为铁路专用通信网络,为列车调度指挥、语音通信、数据传输等构建可靠平台,保障运营各环节信息畅通,如在列车编组站、区段站等繁忙区域能实现快速准确调度指令传达与作业信息反馈,提升作业效率与安全性^[3]。

2.4 运输组织技术

重载铁路运输组织模式丰富多样,单元万吨列车与组合列车较为典型。单元万吨列车由固定编组车辆构成,整体性强,运输组织相对简便,在大规模、高效率货物运输方面表现卓越,适用于如煤炭、矿石等货源稳

定、品类单一且运输距离长的大宗商品运输。其运输能力与效率优势明显,但对货源组织和装卸设备要求颇高,且编组固定,运输途中调整灵活性欠佳。组合列车则是将多列普通列车连挂成长大列车,一定程度上提升运输能力,在货源组织与列车编组上相对灵活,可依实际运输需求与车站作业条件组合或解编。在运输组织过程中,车流组织需合理规划货物发送、中转与到达流程,确保各方向车流均衡稳定;列车编组要依据货物种类、运输距离、线路条件等确定合适编组形式与车辆数量;运行图编制则要充分考量重载列车运行特点、车站作业时间、线路维修天窗等因素,制定科学合理的列车运行计划,以提升线路利用率与运输效率。但实际操作困难重重,不同货主运输需求差异大,精准车流组织不易实现;列车编组和解编作业耗时久,影响车站通过能力;线路维修天窗与列车运行时间协调艰难。国内外常用列车运行计划优化算法与货运资源配置模型等运输组织技术与管理方法^[4]。

3 重载铁路关键技术的发展趋势

3.1 轨道结构技术的发展与创新

在重载铁路轨道结构技术的发展进程中,新型轨道材料的研发与应用无疑是提升轨道性能的核心要素。高强度钢轨的研发取得了显著突破,其抗拉强度通过先进的合金配方和制造工艺得到了大幅提升,能够承受重载列车频繁通过所产生的巨大压力,同时耐磨性能的增强有效减少了钢轨在车轮长期碾压下的磨损,从而显著延长了钢轨的更换周期,降低了轨道维护成本并提高了线路的运营效率。良好的弹性有效吸收了轮轨相互作用产生的振动与噪声,不仅提升了轨道周边环境的舒适性,还极大地增强了轨道整体结构的稳定性,减少了因扣件松动或失效引发的轨道病害。新型道砟替代品的出现为改善道床工作状态提供了新的途径。在轨道结构设计理念方面,弹性轨道结构的兴起是一项重要创新。通过运用计算机模拟技术深入研究轮轨动力学特性,精确优化道床弹性层的厚度、材质以及轨枕间距等参数,使轨道结构能够更好地缓冲轮轨冲击力,将轮轨之间的巨大作用力均匀分散,从而显著降低轨道部件的疲劳损伤风险,延长轨道各部件的使用寿命。

3.2 牵引供电技术的发展趋势与创新方向

(1) 智能牵引供电系统的兴起成为提升供电可靠性与智能化水平的关键驱动力。该系统依托于先进的传感器技术,在牵引供电系统的各个关键部位部署了高精度、高灵敏度的传感器,能够实时、精准地采集诸如电流、电压、温度、设备运行状态等丰富多样的运行数

据。这些数据通过高速、稳定的通信网络迅速传输至数据处理中心,在那里,强大的数据分析算法会对海量数据进行深度挖掘与分析。(2)储能技术在牵引供电领域的应用正逐渐成为行业关注的焦点,并展现出巨大的发展潜力。在牵引变电所或车站等关键节点设置先进的储能装置,如高效的锂离子电池储能系统或快速充放电的超级电容器储能系统。(3)在牵引供电设备技术升级方面,开发更高电压等级的牵引供电系统已成为当前研究的热点领域之一。通过提高供电电压,可以有效降低线路电流,从而减少因线路电阻而产生的电能损耗和电压降。这不仅能够大幅提高供电能力,满足重载铁路长距离、大功率运输的严苛需求,还能显著延长供电距离,减少牵引变电所的设置数量,降低建设和运营成本。积极采用新型接触网材料与结构也是提升供电性能的重要举措。

3.3 通信信号技术的发展趋势与创新方向

(1)5G通信技术的迅猛发展为重载铁路通信信号系统注入了强大的动力。其具备的高速率、低延迟和大容量特性完美契合了重载铁路对海量数据传输和实时性通信的严苛要求。在列车运行监控方面,凭借5G网络的超高带宽,高清视频监控数据能够实现实时、流畅地回传,为及时发现安全隐患和做出精准决策提供了强有力的支持。通过与列车自动控制系统以及各类传感器的深度融合,能够实时获取列车的位置、速度、载重等信息,灵活会让以及精确的运行时间控制,有效应对重载铁路复杂多变的运输任务。(2)卫星通信技术在重载铁路通信领域发挥着不可或缺的作用,尤其是在解决偏远地区或复杂地形下的通信覆盖难题方面具有独特优势。这种全方位、无死角的通信覆盖能力,使得重载铁路的运营范围得以进一步拓展,不再受限于地理环境的限制,为铁路网络的延伸和发展提供了坚实的技术保障。(3)通信信号系统的智能化发展趋势愈发凸显,基于大数据和人工智能技术的列车智能运行控制系统成为提升列车运行安全性和效率的核心技术驱动力。通过对海量列车运行历史数据和实时监测数据的深度分析,系统能够精准预测列车运行状态和潜在故障风险,提前采取预防性措施。

3.4 运输组织技术的发展趋势与创新方向

基于信息技术与智能化算法的运输组织优化技术成为未来重载铁路运输组织的重要发展方向。利用大数据分析技术,可对海量的运输数据进行挖掘和分析,包括货物运输需求历史数据、市场动态信息、线路运行数据、气象数据等,从而实现精准的货运需求预测。通过对市场趋势和客户需求的准确把握,提前规划运输资源,优化运输组织方案,提高运输服务的针对性和及时性。运用智能算法进行列车运行计划实时调整是另一大趋势。智能算法能够根据实时监测到的信息,快速重新计算和调整列车运行计划,合理安排列车的停靠站点、运行速度、会让时间等,确保运输秩序的尽快恢复和运输效率的最大化。在多式联运模式下,重载铁路运输组织的创新与协同发展也备受关注。重载铁路与公路、水运、航空等运输方式的无缝衔接与一体化运作将成为构建综合物流运输体系的关键。例如,在港口与内陆地区之间的货物运输中,通过建立铁路-水运联运枢纽,实现货物在铁路和水运之间的快速换装和转运,优化运输流程,提高运输效率。

结语

重载铁路作为高效货运方式,在全球经济中扮演着至关重要的角色。通过轨道结构、牵引供电、通信信号及运输组织等关键技术的不断创新与优化,不仅显著提升了重载铁路的安全性、可靠性和运输效率,也为应对复杂多变的运输需求提供了坚实保障。未来,重载铁路将迎来更加智能化、绿色化的发展新时代,为全球物流运输体系的完善与升级贡献力量。

参考文献

- [1]刘彦虎.国内外重载铁路技术发展研究[J].冶金经济与管理,2020(4):24-26.
- [2]田葆栓,魏鸿亮.基于工业4.0的铁路重载技术发展分析[J].铁道车辆,2020,58(10):9-12.
- [3]钱征宇,吕忠扬.南非铁路“蓝色列车”和重载技术考察研究综述[J].中国铁路,2024(2):12-19.
- [4]董俊利,冷伍明,徐方,等.双线重载铁路路基动力响应规律研究[J].铁道学报,2024,46(1):145-155.