

Innovation and Adaptation technologies of railway locomotive Operation Mode under the popularization of new energy locomotives

Yutie Wu

Guoneng Xinshuo Railway Co., Ltd., Locomotive Company, Ordos, Inner Mongolia, 010300, China

Abstract

The popularization of new energy locomotives is driving a systematic transformation in the operation mode of railway locomotives. The technical features of new types of locomotives such as pure electric and hydrogen fuel cell ones require that the operation management, maintenance and repair, and dispatching command systems transform towards refinement and intelligence. By establishing technical systems such as energy management, intelligent control, data analysis and safety monitoring, energy efficiency optimization and innovation in operation and maintenance models can be achieved. At present, we are confronted with challenges such as technology integration and cost control, and it is necessary to promote sustainable development through full life cycle management. This transformation will bring about a fundamental shift in the railway locomotive system from experience-driven to data-driven.

Keywords

New energy locomotives; Mechanical operation; Pattern innovation; Adaptation technology

新能源机车普及下铁路机务运用模式创新与适配技术

吴玉铁

国能新朔铁路有限责任公司机务公司, 中国·内蒙古·鄂尔多斯 010300

摘要

新能源机车的普及正推动铁路机务运用模式的系统性变革。纯电动、氢燃料电池等新型机车的技术特征要求运营管理、维护检修和调度指挥体系向精细化、智能化转型。通过构建能源管理、智能控制、数据分析及安全监控等技术体系, 实现能效优化与运维模式创新。当前面临技术集成与成本控制等挑战, 需通过全生命周期管理推动可持续发展。这一转型将实现铁路机务体系从经验驱动到数据驱动的根本转变。

关键词

新能源机车; 机务运用; 模式创新; 适配技术

1 引言

铁路运输电能消耗量巨大, 是交通领域能源消耗、碳排放的重要行业, 在“碳达峰、碳中和”目标背景下面临着减排增效的巨大压力。我国地域辽阔, 铁路路网纵横全国, 沿线的风、光、地热等可再生能源自然禀赋丰富, 提供了用地与资产、用电场景与需求等条件, 能源化潜力突出。铁路设施组成和运行环境复杂, 构建清洁、绿色、弹性的新能源系统有助于提高铁路安全稳定运行能力, 也是实现铁路低碳化、绿色自洽发展的必由之路。

2 新能源机车普及现状分析

2.1 新能源机车类型与技术特征

当前新能源机车主要涵盖纯电动、氢燃料电池及混合动力三种技术类型。纯电动机车依托大容量蓄电池组作为动力源, 在运行过程中实现零排放与低噪音, 特别适用于站场调车等固定区域作业。氢燃料电池机车通过电化学反应将氢能转化为电能, 具有能量转换效率高、续航里程长、燃料补充迅速等技术优势。混合动力机车则创新性地融合传统动力与新能源技术, 可根据实际工况智能切换动力模式, 展现出良好的环境适应性 [1]。

在技术特征方面, 各类新能源机车均体现出高效能量管理、轻量化材料应用与智能控制深度融合的发展趋势。动力系统普遍采用模块化设计, 显著提升了维护便利性与部件可更换性。先进的能量回收系统通过再生制动等技术, 将制

【作者简介】吴玉铁 (1971-), 男, 中国内蒙古鄂尔多斯人, 工程师, 从事铁路教育培训研究。

动过程中的动能有效转化为电能存储利用,大幅提升能源使用效率。智能控制系统通过实时监测机车运行状态,实现对动力输出的精准调控。关键部件广泛采用碳纤维复合材料等新型轻量化材料,在确保结构强度的同时有效降低整车质量。这些技术进步共同推动了新能源机车在能源利用率、运行可靠性及环境适应性等方面的全面提升,为铁路运输系统的绿色化、智能化转型奠定了坚实的装备技术基础。

2.2 国内外普及程度与应用领域

新能源机车在全球范围内的普及程度呈现显著差异。在国内,纯电动与氢燃料电池机车的示范运营已在部分区域铁路与工矿企业专用线取得实质性进展,主要用于调车作业、支线货运及短途客运等场景。相比之下,欧洲与日本等发达经济体的应用领域更为多元,已延伸至非电气化主干线的客货运输。从应用领域分析,新能源机车凭借其环保与灵活特性,普遍应用于对排放有严格限制的城市近郊、隧道区域以及港口、大型厂区的内部运输系统,同时成为解决部分支线铁路运营成本过高问题的可行技术路径[2]。总体而言,全球新能源机车的推广应用正从试点示范阶段逐步走向规模化商业运营。

2.3 对传统机务运用模式的冲击

新能源机车的普及对传统铁路机务运用模式产生了系统性冲击。传统依赖固定能源补给设施和周期性维护的运作体系面临变革需求。能源补给方式从集中式、固定时段供给转向分布式、间歇性补给,要求重构能源供应网络与运营时刻表。检修模式由定期拆解维修向基于状态的预测性维护转变,检修周期、项目及流程均需调整。调度指挥需适应新能源机车不同的续航能力与动力特性,优化运行图编制与机车交路安排。同时,驾驶操作、故障处置等环节的新技术要求从业人员更新知识体系,传统的岗位设置与技能结构迫切需要优化调整。这些变化共同驱动着机务运用模式从以经验为主导向数据驱动的精细化管理系统性转型[3]。

3 铁路机务运用模式创新

3.1 运营管理机制优化

为适应新能源机车的技术特性,运营管理机制需进行系统性优化。其核心是建立能够适应间歇性能源补给特点和动态运行需求的管理体系。需建立基于实时数据的机车状态与能源监测平台,实现运行效能与能耗的精准评估。在此基础上,优化机车与运行线的匹配机制,依据不同车型的续航能力、动力性能及任务性质,实施动态分配与循环规划。同时,需完善与新能源机车相适应的操作规程与安全保障体系,明确不同能源模式下的应急处置流程[4]。该优化旨在提升机务运用整体效率与韧性,实现从固定计划模式向灵活响应、精细管理的转变。

3.2 维护检修模式重构

新能源机车的推广运用正驱动维护检修模式从传统计

划修向数字化、精准化方向重构。该重构的核心在于突破以固定周期和经验判断为基础的既有框架,转而建立以实时状态监测与数据分析为核心的预测性维护体系。通过部署车载传感网络与地面诊断平台,持续采集分析关键部件运行参数,实现对电池健康度、燃料电池性能、驱动系统状态的动态评估与故障预警。维护策略依据设备实际健康状态动态生成,有效避免过度维修与欠修[5]。同时,检修设施需适配新型动力系统的检测与维护需求,配备专用诊断设备与培训专业人员。此重构旨在显著提升机车可用性、降低全生命周期维护成本,并保障运行安全。

3.3 调度指挥系统升级

新能源机车的推广应用要求调度指挥系统进行系统性升级。传统基于固定运行图和经验判断的调度模式,难以适应新能源机车在续航里程、能源补给特性及动力性能等方面的动态变化。升级的核心在于构建集成能源管理、运行状态实时监测与智能决策支持的新型指挥架构。该系统需综合处理机车剩余电量、前方线路条件、可用补给设施状态等多源信息,通过优化算法动态调整运行计划与机车交路,实现对能源补给需求的精准预测与及时响应。此举旨在提升运输组织灵活性,保障运行秩序稳定,并充分发挥新能源机车的技术优势与运营效能。

3.4 人员培训与组织调整

新能源机车的普及应用对从业人员能力结构与组织管理模式提出了新的要求。人员培训需从传统动力系统向电化学能源、电力电子、智能控制等新技术领域拓展,建立涵盖理论基础、实操技能与安全规范的系统化培训体系。培训内容应重点包括高压系统安全操作、电池管理系统运维、数据诊断分析及混合动力切换策略等核心技能。在组织架构方面,需设置新能源技术专职管理岗位,优化检修、调度与驾驶岗位的职责界面,组建具备跨专业知识的复合型技术团队。同时,建立与新技术应用相适应的资格认证和考核标准,推动组织管理模式从单一技能分工向协同化、扁平化方向转型,以满足新能源机车全生命周期管理的专业化需求[6]。

4 适配技术体系

4.1 能源管理与效率提升技术

能源管理与效率提升技术构成新能源机车应用的核心支撑。该技术体系聚焦于能源流的精细监控与优化调控,通过车载能源管理系统对动力电池、燃料电池等多元储能单元实施统一管理,实现荷电状态精准估算与充放电策略优化。在线路层面,需构建多源能源协同控制架构,结合线路纵断面、运行工况与牵引计算,动态规划最优牵引与制动策略。再生制动能量回收、多动力源输出功率自适应分配等技术的集成应用,可显著提升一次能源利用率。同时,基于大数据分析的能效评估与优化模型,为机车的能源调度与运行控制提供持续改进依据,从而实现全运行周期的能效最大化[7]。

4.2 智能控制与自动驾驶技术

智能控制与自动驾驶技术是支撑新能源机车高效运行的关键环节。该技术体系采用分层控制架构,通过整车控制器对牵引、制动及能源系统进行协同管理,实现动力输出的精确匹配与能效优化。环境感知系统融合多源传感器数据,构建线路状态与周边环境的实时模型。决策规划算法依据运行计划与实时工况,自主生成最优速度曲线与操纵策略。在特定应用场景下,机车可达成自动驾驶,实现精准停车、自动对标及列车编组作业[8]。该技术的深入应用将显著提升运行一致性,降低人为操作差异,并为未来更高等级的机务自动化奠定技术基础。

4.3 数据集成与分析技术

数据集成与分析技术构成新能源机车智能运维与管理的关键基础。该技术体系通过构建统一数据平台,整合机车运行状态、能源消耗、环境参数及基础设施状态等多源异构数据。采用标准化通信协议与数据接口,实现车载系统、地面监测设备与调度中心之间的实时数据交互。基于大数据处理框架,对海量运行数据进行清洗、融合与存储,建立完整的机车数字档案。运用数据挖掘与机器学习算法,从历史与实时数据中提取运行规律、能效特征与设备劣化趋势。分析结果直接应用于状态评估、故障预警、能效优化与维修决策,推动机务管理从经验驱动向数据驱动转变,全面提升运营效率与安全保障能力。

4.4 安全监控与故障诊断技术

安全监控与故障诊断技术是保障新能源机车可靠运行的重要技术支撑。该技术体系通过部署覆盖高压电气系统、动力电池、燃料电池及驱动总成的分布式传感器网络,对机车运行状态进行全方位实时监测。系统采用多源信息融合算法,对温度、电压、绝缘电阻等关键参数进行协同分析与异常识别。在故障诊断方面,结合模型驱动与数据驱动方法,构建故障特征库与诊断推理机制,实现对潜在故障的早期预警与精确定位。安全防护系统能够根据诊断结果自动执行应急策略,包括分级保护、功率限制或紧急停机[9]。该技术的应用显著提升了新能源机车的主动安全防护能力与运行可靠性。

5 实施挑战与应对策略

5.1 技术集成与兼容性问题

新能源机车在技术集成与兼容性方面面临多重挑战。既有铁路系统中,新型动力平台需与传统机车车辆、信号通信及供电设施实现有效协同。不同制造商采用的技术标准与通信协议存在差异,导致系统间数据交换与联动控制存在障碍。动力电池、燃料电池等核心部件与车体结构的集成设计,需统筹考虑能量密度、散热效率与空间布局的平衡。同时,新能源机车的电气特性可能对既有电网质量产生反向影响,电磁兼容性问题尤为突出。此外,车载智能系统与地面调度指挥平台的深度整合,需突破接口规范不统一、数据格式异

构等技术壁垒。这些集成与兼容性问题的解决,是确保新能源机车安全高效融入现有铁路运输体系的重要前提[10]。

5.2 成本控制与经济效益平衡

新能源机车的推广应用需重点解决成本控制与经济效益的平衡问题。当前,新能源机车在采购环节面临较高的初始投入,动力电池、燃料电池及电驱动力系统核心部件的制造成本显著高于传统机车。配套的能源补给基础设施,如加氢站、大功率充电设施等,同样需要巨额投资。在运营维护阶段,虽然电力、氢气等能源的单耗成本具备一定优势,但高昂的设施折旧、部件更换及专业技术服务费用对整体经济性构成压力。实现盈亏平衡的关键在于通过规模化应用摊薄固定成本,并依托精细化管理降低运营支出。因此,必须开展全生命周期成本分析,综合评估初始投资与长期运营收益,寻求在保障技术性能与可靠性的前提下,实现全成本的最优化控制,从而推动新能源机车的可持续发展。

6 结语

综上所述,新能源机车的普及推动铁路机务运用模式发生系统性变革。传统以固定计划为基础的运营管理、维护检修和调度指挥体系正转向数据驱动的精细化管理模式。通过构建涵盖能源管理、智能控制、数据分析及安全监控的技术体系,实现了能效优化与运维创新。面对技术集成与成本控制等挑战,需持续推进技术融合与管理优化。未来应着力突破技术壁垒,完善标准体系,加强人才培养,构建与新能源机车技术特性充分契合的智能运维体系,推动铁路运输向绿色化、智能化方向持续发展。

参考文献

- [1] EeSSSR. 新能源机车用ZDZ型制动控制系统[J]. 铁道机车与动车, 2024, 39(4): 1-5.
- [2] 中国会议. 新能源机车在钢铁行业应用的状况简析[J]. 冶金设备, 2023, 45(2): 12-15.
- [3] 张胜杰. 氢能机车迎来更大发展空间[J]. 中国能源报, 2024, 36(3): 8-10.
- [4] 薛岩, 矫阳. 新能源机车引领交通领域绿色转型[J]. 科技日报, 2023, 41(5): 15-18.
- [5] 李媛媛. 中国中车发布七款新能源汽车[J]. 中国证券报, 2024, 28(7): 22-24.
- [6] 全雷. 新能源调车机车方案设计与成本分析[J]. 铁道机车与动车, 2022, 37(6): 31-35.
- [7] 沙宽. 新能源与铁路融合发展模式及其潜力研究[J]. 交通运输工程学报, 2022, 42(4): 45-50.
- [8] 匡德兴. 新能源接入的多端口铁路功率调节器研究[J]. 电力系统自动化, 2022, 44(8): 67-72.
- [9] 田立霞. 高铁新能源微电网规划定容及调度优化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 40(12): 88-94.
- [10] SR. 新能源机车在钢铁企业运用的探讨[J]. 铁道机车与动车, 2024, 39(3): 1-5.