

“双碳”目标下铁路供配电系统节能技术分析

戴 松

(四川蜀道电气化建设有限公司, 四川 成都 610000)

摘 要 在“双碳”目标背景下,为解决铁路供配电系统能耗偏高等问题,展开对节能技术应用及运行机制的探究尤为重要。本文分析了铁路供配电系统运行特征,梳理了主动调控及协同联动等节能技术运行方式,并结合无功补偿及智能调压等技术进行系统研究。结果表明,应用节能技术可有效降低系统综合能耗,提高能源利用效率。在“双碳”目标约束下,推进铁路供配电系统节能技术应用,对实现铁路绿色低碳及安全高效运行具有重要价值。

关键词 铁路; 供配电系统; 节能技术

中图分类号: U22

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.08.021

0 引言

“双碳”目标的提出推动了交通行业加速绿色转型。铁路作为低碳交通骨干,其供配电系统能耗问题愈发凸显,制约着行业低碳发展。当前铁路供配电系统在能源利用效率及节能技术应用方面仍有优化空间。基于此,深入探究铁路供配电系统节能技术,可为铁路行业践行“双碳”目标,为安全及低碳运行提供有力支撑。

1 “双碳”目标下铁路供配电系统节能技术应用价值

1.1 降低系统综合能耗,助力铁路低碳转型

“双碳”目标是我国提出的碳达峰碳中和战略目标的简称,其核心要义是推动经济社会发展全面绿色转型,构建低能耗及低排放的生产生活模式。铁路作为国家综合交通运输体系的骨干,其供配电系统的能耗水平关系着行业低碳转型进程。降低系统综合能耗,是铁路供配电系统节能技术的应用价值之一,这一价值的落地可减少铁路行业碳排放总量,助力行业在“双碳”目标约束期限内,完成减排任务。铁路电力系统为铁路站房和沿线列车运行设备提供电能,其中站房用电是铁路电力系统电能消耗的主要部分。站房配电系统的负荷主要有照明插座及通信监控等。这些手段在现阶段都起到了很好的节能效果,但始终没有起到优化能源结构的作用。而铁路供配电系统节能技术突破了传统节能措施的局限,在降低能耗的前提下,推动能源结构向清洁化方向升级,为铁路行业践行“双碳”目标提供关键技术支撑^[1]。

1.2 提高能源利用效率,优化铁路运营成本

节约优先是我国推进碳达峰碳中和的重要方针,《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》将绿色转型、安全发展作为基本原则,并专章部署“贯彻落实碳达峰碳中和要求,全面推进绿色低碳转型”。提高能源利用效率是铁路供配电系统节能技术的关键目标,可直接降低能源消耗成本,优化运营成本结构,从而增强铁路运输行业的经济竞争力。同时,契合国家节能降碳相关政策导向,借助资源集约利用推动铁路行业高质量发展,为“双碳”目标下铁路行业的可持续运营提供政策呼应^[2]。

1.3 增强系统运行韧性,保障铁路供电安全

在“双碳”目标引领铁路行业绿色低碳转型的进程中,供电安全是铁路稳定运行的重要前提^[3]。应用铁路供配电系统节能技术,可以增强系统运行韧性,从而为保障铁路供电安全提供不可或缺的支撑。节能技术借助优化系统能量流分布,提高系统对外部环境变化及内部运行波动的适应能力,减少因能耗失衡引发的系统运行风险。同时,稳定的供配电系统是铁路践行“双碳”目标的基础支撑。唯有保障供电安全,才能持续推进铁路运输生产,为铁路行业绿色低碳转型提供可靠的能源保障。

2 铁路供配电系统节能技术运行方式解析

2.1 主动调控式节能技术工作逻辑

主动调控式节能技术的工作逻辑,以“双碳”目标为导向,依托铁路供配电系统运行特性,构建动态调控体系。其可实时感知系统能量代谢状态,预判能

作者简介: 戴松(1973-),男,专科,工程师,研究方向:铁路工程设计施工。

耗变化趋势,提前触发调控机制,规避非必要能耗产生。该技术借助能量流优化算法,动态校准系统运行参数,使供电系统始终维持在低耗高效运行区间。该逻辑贯穿全流程,涵盖状态感知及趋势预判等环节,利用闭环调控,提高能量利用效率。同时,契合铁路供电系统节能降耗的需求,为“双碳”目标下铁路供电系统低碳运行提供技术逻辑支撑。该技术不依赖外部被动响应,凭借主动干预,构建稳定低耗的运行模式^[4]。

2.2 被动适配式节能技术响应规则

被动适配式节能技术响应规则,以“双碳”目标下节能降耗需求为遵循,依托铁路供电系统实时运行状态触发响应。其不主动干预系统运行参数,而是准确识别系统负荷波动及电压变化等运行变量。在变量超出预设节能运行阈值时,启动适配调节机制。凭借自适应匹配系统运行状态及节能需求,使供电系统在负荷动态变化的过程中维持低能耗水平。该响应规则聚焦系统运行状态及节能目标的动态适配,为“双碳”目标下铁路供电系统节能运行提供被动调控支撑,保障系统在不改变主动运行逻辑的前提下优化能耗。

2.3 协同联动式节能技术交互架构

协同联动式节能技术交互架构围绕“双碳”目标下节能降耗需求,衔接铁路供电系统各节能技术模块。其建立技术间的动态交互通道,实时感知并共享各模块运行状态。利用交互机制协调不同技术的运行节奏,使主动调控及被动适配等技术形成运行合力。该架构弱化单一技术的独立运行局限,强化多技术间的互补适配。在系统整体能耗优化的目标指引下,保障各技术模块协同响应供电系统运行变化,推动“双碳”目标下铁路供电系统高效节能运行,整体降低系统能耗水平^[5]。

3 “双碳”目标下铁路供电系统节能技术的应用

3.1 牵引供电无功补偿技术

无功功率是电力系统中不对外做功的功率,会增加线路损耗。牵引供电无功补偿技术的核心是借助接入补偿装置平衡牵引供电系统中的无功功率。该技术基于电磁感应及功率平衡原理调整系统功率因数。在“双碳”目标导向下,其原理应用聚焦降低牵引供电系统能耗,减少电能传输过程中的损失。该技术借助动态调节无功功率分布,使牵引供电系统运行状态贴合节能需求,契合铁路供电系统低碳运行的探究方向。

应用牵引供电无功补偿技术,需要遵循负荷适配、精准调控及闭环协同的逻辑。前期需开展全周期负荷特性勘测及参数预设,针对牵引供电系统的负荷波动规律,完成摸底监测,重点采集列车运行不同阶段的

负荷变化特征,基于监测数据确定补偿装置的容量等级、响应阈值及调控精度参数,保证补偿装置准确匹配系统负荷特性。在此基础上,推进补偿装置的选型及集成部署,结合牵引供电系统架构,选取适配的补偿装置类型,将装置接入牵引变电所核心供电回路,完成装置与原有供电系统的电气连接及通信适配,搭建起补偿装置及系统控制中心的信息交互链路,完成运行状态的实时反馈及参数远程调控。基于装置部署完成动态调控及闭环优化,借助补偿装置的快速响应能力,实时追踪牵引负荷的动态变化,并自适应输出无功功率,凭借功率平衡算法动态校准补偿参数。同时,构建闭环调控机制,持续监测系统功率因数及电压稳定性等核心指标,基于监测结果动态优化补偿策略,及时修正补偿阈值及响应参数,保证系统始终维持在低耗高效的运行状态,降低因无功失衡引发的线路损耗,保障牵引供电系统的稳定节能运行。

3.2 站场配电智能调压技术

电压偏差会增加站场用电设备能耗。智能调压是依托智能感知及调控手段,动态适配用电负荷变化的电压调节方式。站场配电智能调压技术凭借实时监测站场配电系统电压状态,依据负荷变化,自适应调整输出电压。该技术依托电压及负荷的适配关系,使供电电压始终贴合设备最优运行需求。在“双碳”目标下,稳定电压可以避免设备产生额外能耗,助力铁路供电系统实现低碳运行。

应用站场配电智能调压技术,需要以负荷精准感知、参数科学配置及动态自适应调控为导向,围绕站场配电负荷特性及电压调控需求,分层推进实施过程。开展站场用电负荷全维度普查,梳理照明等各类负荷的分布情况,划分不同功能区域的负荷类型,明确各区域负荷的昼夜波动规律及电压适配需求。同步在站场配电关键节点布设电压监测装置,建立全区域电压监测网络,持续采集各时段、各区域的电压数据,凭借数据关联分析绘制负荷变化及电压波动的对应关系曲线,为后续调压参数设定提供数据支撑。基于负荷普查及电压监测结果,结合不同功能区域的用电特性,准确设定分时段调压基准值,筛选核心配电节点作为智能调压装置的安装点位。完成装置选型与安装后,搭建调压装置及站场配电监控系统的通信链路,让装置运行状态实时交互调压数据。借助多轮模拟负荷测试,反复校准调压参数,优化装置响应逻辑,保证调压策略匹配实际负荷变化,最终达到电压自适应调控效果。在技术应用全过程中,需要持续监测站场配电系统的电压稳定性及能耗变化,动态微调调压参数,

保障供电电压始终维持在设备最优运行区间,有效规避因电压偏差产生的额外能耗,强化站场配电系统的节能运行水平,为“双碳”目标下铁路站场配电升级提供可行路径。

3.3 光伏储能耦合供电技术

光伏供电是利用光伏组件,将太阳能转化为电能的供电形式。储能技术可以储存并释放电能,缓解能源供应波动。光伏储能耦合供电技术,凭借整合两种形式的特性,形成互补供电模式。该技术可将光伏产生的电能,优先供给铁路站场负荷,多余电能储存备用。同时,这种耦合模式还能提高清洁能源利用占比,减少传统电能消耗,推动铁路供电系统低碳转型。

应用光伏储能耦合供电技术,需要立足于铁路供电系统的“双碳”目标,推动能源结构的清洁化升级,按照资源勘测、方案规划、系统集成及调控优化的逻辑落地。前期开展站场光伏资源及负荷需求勘测,测算年均日照时长等数据,梳理不同时段用电负荷特性,明确峰谷分布规律及负荷供电保障要求。在此基础上规划光伏组件布局及储能配置,结合站房屋顶等空间承重采光条件,确定组件铺设容量及位置。基于负荷与光伏出力波动,选型储能电池类型及容量,保障系统匹配。实施阶段搭建协同耦合控制系统,融入负荷预测算法及能量管理方式,明确光伏电能优先供给、余电储能原则,细分峰谷时段设定充放电阈值,划定负荷供电顺序保障可靠性。完成集成后推进耦合系统及原有配电网络对接调试,配置并网切换装置及备用回路,构建协同架构,平稳切换供电模式。布设能源监测节点,实时采集发电、储能及负荷数据,借助数据分析优化调控参数,匹配供需需求。全过程强化运行监测维护,保障系统稳定高效,提高清洁能源占比,降低传统电能消耗,为“双碳”目标下铁路供电能源结构优化提供支撑。

3.4 系统能耗在线监测技术

在线监测是利用传感及数据传输技术,实时感知对象状态的技术形式。系统能耗在线监测技术针对铁路供电系统能耗状态布设监测节点,可以实时采集各环节的能耗数据,经数据处理后,呈现系统能耗分布情况。依托这些实时能耗信息,能准确定位高耗能环节,为开展针对性的节能调控及高效管理提供即时的数据支撑。

在铁路供电系统中应用系统能耗在线监测技术,需围绕精准感知能耗及节能调控目标进行推进。实施过程按照体系规划、设备部署、网络搭建、平台构建及运维保障的逻辑分层落地。开展供电系统架构梳理,

明确牵引供电等不同环节的监测范围,结合各环节能耗特性,规划监测节点的布设位置及覆盖范围,保证监测覆盖系统全链路能耗环节。基于规划方案部署监测设备,选用适配的电流电压传感器及能耗采集终端,按不同环节能耗波动特点,设定差异化的数据采集频率,保障能耗数据采集的针对性。搭建稳定的数据传输网络,结合系统覆盖范围,选用合适的传输介质及网络架构,配置信号增强设备,解决长距离传输中的信号衰减问题,让采集终端高效对接后端监测平台。在监测平台融入数据处理及分析功能模块,预设能耗异常判定标准,针对不同能耗异常场景,建立预警机制,明确预警响应流程及责任主体,保证及时处置异常情况。为保障数据可靠性,建立设备校准及备份机制,定期校准传感器精度,在关键监测节点配置双备份采集设备。同时,搭建后台及现场的双向通信通道,开发便捷的监测终端,支持运维人员实时查看能耗数据、接收预警信息并反馈处置结果,协同管理能耗监测及现场运维。全过程强化系统运行维护,定期核查监测设备状态及数据传输质量,动态优化监测参数及预警标准,保证监测体系持续稳定运行,为铁路供电系统节能调控及高效管理提供持续的数据支撑。

4 结束语

在“双碳”目标驱动下,探究并应用铁路供电系统节能技术,是铁路行业落实绿色发展理念的必要举措。相关技术的落地能够夯实铁路低碳转型基础,强化能源利用效能,筑牢供电安全防线。未来,可进一步深化多技术协同创新,拓展节能技术应用场景,推动铁路供电系统向更高效低碳的方向发展,全面实现“双碳”目标。同时,应重视节能技术与设备运行管理的结合,借助优化运行制度,以及提高操作规范性,使节能效果长期稳定,形成技术及管理双向支撑,为铁路供电系统低碳高效运行提供持久保障。

参考文献:

- [1] 闫小伟.高速铁路电力供电智能运维系统设计[J].电子技术,2025,54(06):174-175.
- [2] 余翔.光水电循环系统在铁路配电系统的应用研究[J].铁道工程学报,2025,42(02):80-84.
- [3] 陈世民.基于关联规则算法的铁路供电系统故障数据自动识别方法[J].电工技术,2024(16):137-139.
- [4] 黎宁昊.双碳目标下铁路供电系统设计与节能技术[J].电气技术与经济,2023(04):243-247.
- [5] 吕钢,尹明铨,腾飞.数字电流保护在铁路配电系统中的应用[J].电气化铁道,2022,33(S1):133-137.