

电气化铁道节能技术探讨

朱泽易

中车沈阳机车车辆有限公司 辽宁 沈阳 110027

摘要: 在全球倡导节能减排、可持续发展的大背景下, 交通运输领域的能耗问题备受关注。本文聚焦电气化铁道节能技术。首先阐述了电气化铁道节能技术的基本概念, 接着详细剖析了多项具体节能技术, 包括外部电源节能技术中采用高效电力传输设备、优化电网运行方式; 牵引变电所节能技术中采用节能型牵引变压器和优化运行方式; 接触网节能技术里采用节能型材料和优化结构参数; 电力机车节能技术上采用高效牵引电机和优化运行控制策略。同时, 对电气化铁道节能技术的发展趋势进行了展望, 涵盖智能化、新能源及综合节能技术的应用, 为电气化铁道的节能发展提供参考。

关键词: 电气化; 铁道节能; 技术探讨

引言: 在当今能源紧张和环保要求日益严苛的背景下, 电气化铁道作为重要的交通运输方式, 其节能问题备受关注。一方面, 电气化铁道的广泛应用对能源供应提出了更高要求, 降低能耗成为缓解能源压力的关键举措; 另一方面, 减少能源消耗有助于降低环境污染, 实现可持续发展。因此, 深入研究和应用电气化铁道节能技术迫在眉睫。将系统探讨电气化铁道节能技术的现状、具体技术手段, 并展望其未来发展趋势, 期望为相关领域的节能工作提供有益的思路和借鉴。

1 电气化铁道节能技术概述

据相关数据显示, 近年来电气化铁道里程持续增长, 能源消耗也随之急剧攀升, 仅去年一年, 电气化铁道的电力消耗就高达数百亿千瓦时, 这不仅给能源供应带来巨大压力, 还大幅增加了运营成本。在此背景下, 节能成为了电气化铁道发展的关键任务。该技术覆盖了从电力传输起始端到终端的多个关键领域。在外部电源方面, 选用超导电缆等高效传输设备, 利用超导材料零电阻的特性, 能极大程度减少电能在传输过程中的热损耗; 通过智能电网优化调度, 依据实时用电需求动态调整电力分配, 可将能源利用效率提升10%-15%。牵引变电所采用节能型变压器, 其采用低磁导率铁芯材料, 降低了磁滞和涡流损耗。借助自动化监测系统, 根据列车运行的负荷变化, 灵活调整变压器的运行台数和容量, 有效降低变电环节的能耗。接触网采用高导电率的铜合金等节能材料, 优化悬挂方式和导线张力等结构参数, 减少电能传输过程中的电阻损耗, 保障电能高效传输至电力机车^[1]。

2 电气化铁道节能技术

2.1 外部电源节能技术

2.1.1 采用高效的电力传输设备

在电气化铁道外部电源节能领域, 采用高效电力传输设备至关重要。超导电缆便是极具潜力的设备之一, 其利用超导材料在特定低温下电阻趋近于零的特性, 可极大减少电能长距离传输过程中的热损耗。相较于传统铜电缆, 超导电缆能将传输损耗降低约60%-70%, 显著提升了电能传输效率。此外, 新型的高导电率铝合金电缆也得到广泛应用。它在保证良好机械性能的同时, 具备比普通电缆更高的导电性能, 能有效降低电阻, 减少电能传输过程中的功率损耗。通过在关键输电线路更换此类高效电缆, 可使整个外部电源传输系统的电能损耗明显降低, 为电气化铁道后续环节提供更充足、稳定的电能, 从源头上助力节能。

2.1.2 优化电网运行方式

一方面, 利用智能电网调度系统, 实时监测电气化铁道的用电负荷变化。而在用电高峰, 精准调配电力资源, 确保各区域供电稳定且高效。另一方面, 采用分布式电源接入技术, 将风能、太阳能等可再生能源发电装置接入电网。这些分布式电源靠近负荷中心, 能就地消纳电能, 减少长距离输电损耗。据统计, 通过合理优化电网运行方式, 可使外部电源的整体能源利用效率提升10%-15%, 在保障电气化铁道正常用电需求的同时, 实现了能源的高效利用与节能减排。

2.2 牵引变电所节能技术

2.2.1 采用节能型牵引变压器

这类变压器多采用非晶合金铁芯材料, 其磁导率极高, 磁滞损耗相较于传统硅钢片铁芯大幅降低。研究表明, 非晶合金铁芯变压器的空载损耗可比普通变压器减少约70%-80%。同时, 在绕组设计上, 运用高导电率的

铜材,并优化绕组结构,降低了绕组电阻,从而减少了负载损耗。节能型牵引变压器还配备了智能温控系统,可根据变压器运行温度自动调节冷却风扇转速或油泵流量,在保障变压器稳定运行的同时,降低冷却系统能耗。通过采用此类节能型牵引变压器,能显著降低牵引变电所的整体能耗,为电气化铁道节能奠定坚实基础。

2.2.2 优化牵引变电所的运行方式

首先,利用负荷预测技术,结合列车运行时刻表和历史用电数据,精准预估不同时段用电负荷。在负荷低谷期,可停运部分非关键变压器,减少空载损耗;而在负荷高峰期,提前投入备用变压器,确保供电充足且避免变压器过载运行,降低负载损耗。其次,引入动态无功补偿装置,实时监测并补偿电网中的无功功率。当牵引负荷变化导致无功功率波动时,该装置迅速响应,调节无功输出,提高功率因数,减少因无功功率传输造成的电能损耗。此外,通过自动化监控系统,对牵引变电所内设备进行实时状态监测,及时发现并处理设备故障隐患,避免因设备故障引发额外能耗。经实践验证,优化运行方式后,牵引变电所可实现15%-20%的节能效果。

2.3 接触网节能技术

2.3.1 采用节能型接触网材料

节能型接触网材料对提升接触网电能传输效率意义重大。高导电率的铜合金材料是常见选择,相较于传统纯铜接触线,其在保证良好机械性能的同时,导电率显著提升。例如,某些特殊铜合金接触线的导电率可比纯铜提高10%-15%,这意味着在相同电流传输条件下,电阻更小,电能损耗更低。另外,新型碳纤维复合材料也逐步应用于接触网。碳纤维具有质量轻、强度高的特点,用其制作的接触网零部件,如吊弦等,可减轻接触网整体重量,降低悬挂系统的张力需求,减少因摩擦和振动产生的能量损耗。

2.3.2 优化接触网的结构和参数

在结构方面,采用新型悬挂方式,如弹性链型悬挂。这种悬挂方式能使接触线在受电弓滑动过程中始终保持稳定接触压力,减少离线率,降低因电弧产生的电能损耗。研究表明,弹性链型悬挂可使电弧产生的概率降低约30%-40%。在参数优化上,合理调整接触线高度和张力。合适的接触线高度能保证受电弓与接触线良好接触,减少因接触不良导致的能量损失。而精准控制接触线张力,可避免因张力过大或过小造成的接触线磨损加剧及电能损耗增加。

2.4 电力机车节能技术

2.4.1 采用高效的牵引电机

高效牵引电机是电力机车节能的关键部件。目前,永磁同步电机在电力机车上的应用愈发广泛。相较于传统的直流牵引电机,永磁同步电机具有更高的效率。其采用高性能永磁材料,消除了励磁绕组的铜耗,且电机结构紧凑,转动惯量小。在实际运行中,永磁同步电机的效率可比直流牵引电机高出10%-15%。此外,新型的异步牵引电机通过优化电机绕组设计和采用高性能硅钢片,降低了磁滞和涡流损耗,也显著提升了电机的效率。这些高效牵引电机的应用,使电力机车在牵引过程中能够以更少的电能消耗实现相同的运行任务,为降低电力机车整体能耗提供了有力支持。

2.4.2 优化电力机车的运行控制策略

优化电力机车的运行控制策略对节能起着至关重要的作用。一方面,采用智能调速策略,通过实时监测列车运行线路的坡度、弯道等工况信息,结合列车载重和运行速度要求,精准调节电机输出功率。另一方面,大力推广再生制动技术。当列车制动时,牵引电机转换为发电机模式,将列车的动能转化为电能回馈到电网中。据统计,再生制动技术可回收列车约30%-40%的制动能量,有效减少了电能消耗。同时,利用列车自动驾驶系统(ATO),依据列车运行时刻表和线路条件,实现列车的精准启停和速度控制,避免不必要的加减速操作,进一步降低能耗。通过这些优化措施,电力机车能够在不同运行场景下实现高效节能运行^[2]。

3 电气化铁道节能技术的发展趋势

3.1 智能化技术的应用

(1)智能化技术正深刻变革着电气化铁道节能领域。在电力传输环节,智能电网技术通过部署大量传感器,实时采集电网各节点的电压、电流、功率等数据,利用大数据分析和人工智能算法,精准预测电力需求。这使得电网能够根据电气化铁道的实际用电情况,动态调整输电策略,实现电力的高效分配,减少传输损耗。

(2)牵引变电所也逐步迈向智能化。智能监控系统能持续监测牵引变压器、断路器等设备的运行状态,运用故障诊断模型提前预判潜在故障,及时安排检修,避免设备故障导致的能源浪费。同时,根据列车运行的实时负荷,智能调控牵引变电所内设备的运行参数,确保设备始终处于高效节能状态。(3)对于接触网,智能化技术可实现对接触线温度、张力以及受电弓与接触线接触状态的在线监测。一旦出现异常,系统立即发出预警并自动调整,保证电能稳定传输,降低因接触不良造成的电能损耗。(4)在电力机车方面,智能化技术赋能自动驾驶,使列车能够根据线路条件、运行时刻表以及前方

列车位置,自动规划最优运行方案,精准控制速度和加速度,减少不必要的能耗。此外,智能能源管理系统可实时分析机车能耗数据,优化牵引电机等设备的运行控制,进一步提升节能效果。

3.2 新能源技术的应用

新能源技术在电气化铁道节能领域的应用正逐步拓展,为行业可持续发展开辟新路径。太阳能作为一种清洁、可再生能源,在电气化铁道中展现出巨大潜力。在铁路沿线空旷区域及车站屋顶安装太阳能光伏板,可将太阳能转化为电能,供车站照明、设备运行以及部分列车辅助系统使用。部分试点线路通过光伏供电系统,成功满足了车站约30%的日常用电需求,显著降低了对传统电网的依赖,减少了碳排放。风能同样具备广阔应用前景。在风力资源丰富的铁路沿线,设立风力发电装置,所产生的电能可并入电网,为电气化铁道供电。通过合理选址和风机布局,配合储能设备稳定电能输出,能有效缓解铁路用电高峰压力,优化能源供应结构。氢能作为一种高效、零排放的能源,也逐渐应用于电气化铁道。氢燃料电池列车利用氢气与氧气的化学反应产生电能驱动列车运行,排放物仅为水。相较于传统电力机车,氢燃料电池列车不仅减少了对外部电网的依赖,还实现了真正意义上的绿色出行。

3.3 综合节能技术的发展

综合节能技术正成为电气化铁道节能领域的核心发展方向,其通过整合各个环节的节能措施,实现系统层面的协同优化,从而大幅提升节能成效。第一,在系统集成方面,构建一体化的能源管理平台至关重要。该平台将外部电源、牵引变电所、接触网以及电力机车等环节的能源数据进行汇总与分析,打破各环节之间的信息壁垒。通过大数据和云计算技术,对整体能耗进行精准评估,并制定出全面且科学的节能策略。例如,根据

列车运行的实时负荷及电网供电情况,平台可同时优化牵引变电所的变压器运行模式和电力机车的运行控制策略,实现电能的高效调配与利用。第二,协同优化也是综合节能技术的关键。各节能技术不再孤立运行,而是相互配合。在列车制动时,电力机车的再生制动产生电能,该电能不仅能被机车自身存储利用,还可通过接触网回馈至电网,供沿线车站及其他列车使用。牵引变电所可根据电网中再生制动电能的回馈量,动态调整自身的供电策略,减少从外部电网的取电量。第三,结合智能化技术,综合节能系统能够实时感知铁路运行环境变化,如天气、客流量等,自适应地调整各环节节能措施,进一步挖掘节能潜力。这种综合节能技术的深度发展,将为电气化铁道打造一个高效、绿色的能源生态系统,有力推动铁路行业向可持续发展目标迈进。

结束语

综上所述,电气化铁道节能技术涵盖外部电源、牵引变电所、接触网及电力机车等多个关键环节。从高效电力传输设备、节能型变压器,到新型接触网材料、智能运行控制策略,每项技术都为降低能耗贡献力量。智能化、新能源及综合节能技术的发展,更为其注入新活力。随着这些技术的不断完善与推广应用,电气化铁道必将在节能降耗上取得更大突破,实现绿色、高效的可持续发展,为交通运输领域的节能减排事业树立典范,在能源转型的时代浪潮中持续前行^[3]。

参考文献

- [1]常明.探究电气化铁路供电系统新技术的发展[J].数字化用户,2022,25(05):139-140.
- [2]王旭东.探究电气化铁道供电系统新技术的发展研究[J].信息周刊,2023(18):156-167.
- [3]李传军,李旭明.电气化铁道供电系统新技术研究[J].通信电源技术,2023,35(02):114-125.