

城市轨道交通（地铁）能效管理技术创新与实践

韩成浩 张祥杰 赵泉业

青岛地铁运营有限公司

DOI: 10.12238/ems.v6i8.8756

[摘要] 随着我国城市化进程的加速和出行需求的不断增长,城市轨道交通(地铁)作为一种高效、便捷的交通方式得到了广泛推广和应用,然而随着能源消耗量的急剧增加,如何在保障轨道交通运行效率和服务质量的同时,合理管理和利用能源成为了行业关注的重点,本文旨在探讨城市轨道交通能效管理技术的创新与实践,分析当前存在的问题,并提出相应的解决方案和策略。

[关键词] 城市; 轨道交通; 管理技术; 创新; 实践

Innovation and Practice of Energy Efficiency Management Technology for Urban Rail Transit (Metro)

Han Chenghao, Zhang Xiangjie, Zhao Quanye

Qingdao Metro Operation Co., Ltd

[Abstract] With the acceleration of urbanization in China and the continuous growth of travel demand, urban rail transit (subway) has been widely promoted and applied as an efficient and convenient mode of transportation. However, with the sharp increase in energy consumption, how to manage and utilize energy reasonably while ensuring the operational efficiency and service quality of rail transit has become a focus of industry attention. This article aims to explore the innovation and practice of energy efficiency management technology for urban rail transit, analyze the current problems, and propose corresponding solutions and strategies.

[Keywords] Urban Rail Transit Management Technology Innovation Practice

引言:

城市轨道交通作为现代城市公共交通的骨干力量,其能效管理水平是衡量城市交通系统绿色化、智能化程度的重要标尺,直接关系到城市交通的可持续发展与双碳目标的实现;随着国家对生态环境保护的高度重视及双碳战略的深入实施,轨道交通行业在能效管理技术领域不断探索与创新,虽已取得一系列显著成就,但仍需直面技术瓶颈、资金投入、管理体系构建等多重挑战。

本文旨在深入探讨城市轨道交通能效管理的创新路径与实践成果,聚焦于三大核心领域:一是通过设备升级与节能改造,深入挖掘提高能源利用率的潜力;二是推进能源管理系统的智能化升级,运用大数据、云计算、人工智能等先进技术实现能源使用的精准调控与优化;三是构建多元化、可靠的能源供应体系,增强能源供应的稳定性与安全性,为城市轨道交通系统的绿色高效运行提供坚实保障,通过这些努力共同推动城市轨道交通行业向更加低碳、环保、智能的未来迈进。

一、城市轨道交通能效管理现状

(一) 能耗特点

城市轨道交通作为现代城市公共交通的骨干,其运营高度依赖于电力供应,这一特点使得其能耗具有显著的高峰时段能源消耗量大、能耗波动大等特性,早晚高峰时段,随着乘客流量的急剧增加,列车运行频次和牵引能耗也相应攀升,导致该时段能耗占据全天的较大比例。据统计我国城市轨道交通系统的总电能耗已达到惊人的 227.92 亿千瓦时,其中高峰时段的能源消耗更是尤为突出,对电力供应和能源管理提出了更高要求。

(二) 存在的问题

尽管城市轨道交通在促进城市交通绿色、低碳发展方面发挥着重要作用,但在能效管理方面仍面临诸多挑战:

1. 能源利用率低: 目前部分城市轨道交通系统存在运行调度不够优化、设备设施老化等问题,导致能源利用效率低下,浪费现象严重;这既增加了运营成本,也影响了企业的经济效益。

2. 能源管理系统缺乏智能化: 传统的能源管理模式往往依赖于人工操作和经验判断,缺乏智能化和自动化的技术手段,这导致能源管理难以实现精准化、实时化和高效化,无法及时响应运营需求和能源市场的变化。

3. 能源供应稳定性不足：城市轨道交通作为城市公共交通的重要组成部分，其运营稳定性直接关系到市民的出行安全和便利，然而目前部分城市轨道交通系统在能源供应方面仍存在稳定性不足的问题，特别是在极端天气或突发事件情况下，能源供应的可靠性受到严重威胁，可能导致列车停运或延误，给乘客出行带来不便。

综上所述，城市轨道交通在能效管理方面仍需加强技术创新和管理优化，以提高能源利用效率、提升能源管理智能化水平、增强能源供应稳定性，从而推动城市轨道交通行业的可持续发展。

二、能效管理技术创新

（一）提高能源利用率

1. 优化运行调度

为了更有效地利用能源并提升城市轨道交通系统的整体运营效率，积极引入并深度整合智能调度系统成为关键举措，该系统深度融合了大数据、云计算及人工智能等前沿技术，构建起一个高度智能化、自动化的列车运行管理平台，该智能调度系统能够实现对列车运行的全方位、全天候实时监控，确保每一列车的运行状态尽在掌握之中。

通过精准分析实时客流数据和列车运行数据，智能调度系统能够迅速响应并自动调整列车运行间隔和速度，确保列车运行与乘客需求紧密匹配，这一动态调整机制极大地减少了列车的空驶时间和不必要的等待时间，不仅提升了乘客的出行体验，更在无形中降低了能源消耗，同时系统的智能性还体现在对列车运行的高效性和稳定性的保障上，通过优化调度策略，避免了因人为因素或设备故障导致的能源浪费。

此外智能调度系统还具备强大的数据分析能力，能够基于历史数据和先进的预测模型，提前规划出更为科学合理的运营计划，这不仅有助于进一步优化能源分配和使用，还能在特殊情况下（如大型活动、恶劣天气等）迅速调整运营策略，确保城市轨道交通系统的稳定运行和高效服务，总之智能调度系统的引入为城市轨道交通系统的能效管理注入了新的活力，为实现绿色低碳、可持续发展的城市交通体系奠定了坚实基础。

2. 设备节能改造

除了优化运行调度策略外，对城市轨道交通系统中的老旧设备进行节能改造同样是一项至关重要的任务，它对于提升整体能源利用率具有不可忽视的作用，具体而言这一改造过程应当从多个维度同时推进。

必须坚决淘汰那些高能耗、低效率的老旧设备，转而引进并应用高效节能的新型设备。这些新型设备在设计和制造阶段就融入了先进的节能理念和技术，如高效节能电机、LED照明设备以及智能温控空调系统等，它们在确保实现既定功能的同时，能够显著降低能耗，为城市轨道交通系统的绿色运行贡献力量。

其次加强对现有设备的维护和保养工作同样不容忽视。

通过实施定期的检查、清洁和维修计划，可以确保设备始终处于最佳运行状态，避免因设备老化、磨损或故障导致的能源浪费现象，这种预防性维护措施不仅能够延长设备的使用寿命，还能提高设备的运行效率，从而进一步促进能源的高效利用。

合理的设备调度和管理也是提高能源利用率的关键，通过运用先进的信息化手段，对设备的运行状态进行实时监控和数据分析，可以实现对设备的精确调度和管理，这有助于避免设备的空载运行和过度使用，确保每一份能源都能得到充分利用，为城市轨道交通系统的可持续发展奠定坚实基础。

（二）能源管理系统的智能化

在推动城市轨道交通能效管理的过程中，能源管理系统的智能化发挥着至关重要的作用，这一目标的实现依赖于先进的技术手段和创新的管理模式。

1. 智能感知与数据采集

为实现能源管理系统的智能化，首先需要构建一套完善的智能感知网络。通过在城市轨道交通系统的各个环节安装各类高精度传感器和监测设备，如电力消耗监测仪、设备运行状态传感器等实现对系统能耗数据的实时、全面采集，这些采集到的数据涵盖了电力消耗、设备运行状态、环境温度湿度等多个维度，为后续的能效管理提供了丰富的数据源。

随后利用大数据和云计算技术，对这些海量数据进行智能分析和处理，通过数据清洗、去噪、聚合等预处理步骤，提取出有价值的信息，并构建数据仓库和数据分析平台，借助数据挖掘和机器学习算法，对数据进行深度分析，揭示能耗分布规律、设备效率瓶颈等问题，为能效管理提供科学依据。

2. 智能优化算法

在数据采集和分析的基础上，引入智能优化算法是实现能源智能管理的关键，这些算法包括神经网络、遗传算法、粒子群优化等，它们能够基于历史数据和实时数据，建立精确的能耗模型，预测未来的能耗趋势。

通过智能优化算法，系统能够自动调整能源分配策略、优化设备运行参数，以实现能源的最优配置和利用，例如在电力供应紧张时，系统可以自动调整列车运行速度和间隔，减少电力消耗；在设备效率低下时，系统可以提示维护人员进行检修或更换，提高设备效率，这些优化措施不仅降低了能耗成本，还提高了系统的整体运行效率和稳定性。

（三）增强能源供应稳定性

为确保城市轨道交通系统的持续稳定运行，增强能源供应的稳定性是不可或缺的一环。针对这一需求，我们可以从多元化能源供应和应急能源储备两个方面入手，构建更加稳固的能源保障体系。

1. 多元化能源供应

面对传统电力供应可能存在的波动性和不确定性，城市轨道交通系统应积极探索多元化能源供应模式。具体而言可

以充分利用可再生能源的优势,如太阳能和风能。在车站、车辆段及沿线适宜位置安装太阳能光伏板,通过光电转换技术将太阳能转化为电能,为系统提供清洁、可再生的能源支持,同时在地铁隧道等特定环境下,也可以尝试安装风力发电设备,利用地铁列车运行时产生的气流带动风力发电机转动,从而转化为电能,这种多元化能源供应模式不仅有助于减少对单一能源的依赖,还能提高能源供应的稳定性和可靠性,降低运营成本。

2. 应急能源储备

为了应对突发停电或供电不稳定等紧急情况,城市轨道交通系统必须建立完善的应急能源储备系统,这包括在关键节点和区域设置应急电源和储能设备,如柴油发电机、蓄电池组等,这些应急设备应定期进行维护和测试,确保其在需要时能够迅速启动并投入运行,此外还应制定详细的应急预案和操作流程,明确应急响应的各个环节和责任人,确保在紧急情况下能够迅速、有序地应对,保障轨道交通系统的正常运行和乘客的安全出行;通过构建完善的应急能源储备系统,城市轨道交通系统能够进一步提升其能源供应的稳定性和可靠性,为城市的公共交通事业提供更加坚实的保障。

三、能效管理实践案例

在城市轨道交通领域,能效管理的实践不仅关乎技术的创新与应用,更体现在实际运营中的精细化管理和持续改进。以下通过几个具体案例,展示城市轨道交通在能效管理方面的成功实践。

1. “风-水联动”空调节能优化控制

在炎热的夏季,城市轨道交通车站内的空调系统成为能耗的主要来源之一,为了在保证乘客舒适度的同时降低能耗,某城市轨道交通系统引入了“风-水联动”空调节能优化控制方案。该方案通过在车站各区域安装温湿度传感器、风速传感器等,实时采集不同空间的温度、湿度及风速数据,这些数据随后被传输至中央控制系统,利用高精度设备性能建模和系统全局优化算法进行深度分析。

基于分析结果,系统能够自动调整空调系统的运行模式和温度设定值,例如在人流密集且温度较高的区域,系统会适当调低温度并增加风速,以确保乘客的舒适度;而在人流较少或温度适宜的区域,则会相应提高温度和降低风速,以减少不必要的能耗,此外系统还实现了风水系统的联动控制,通过优化送风量和冷却水流量,使整个空调系统始终处于高效运行状态,有效提高了能源资源的利用率。

2. 智能照明系统优化控制

照明系统作为城市轨道交通车站内不可或缺的基础设施,其能耗同样不容忽视,为了降低照明系统的能耗,某城市轨道交通系统采用了智能照明控制系统。该系统通过集成光敏传感器、人体感应传感器等多种传感器设备,实现了对照明设备的智能化管理。

在车站大厅、站台等公共区域,系统根据光照强度和人

员流动情况自动调节照明亮度和时间,当光照强度足够时,系统会自动降低照明亮度甚至关闭部分灯具;而当人员流量增加时,则会相应提高照明亮度以确保乘客的行走安全,此外系统还具备远程监控和故障诊断功能,运维人员可以通过远程终端实时查看照明设备的运行状态并进行必要的调整和维护。

通过智能照明系统的应用,该城市轨道交通系统不仅显著降低了照明能耗,还提高了乘客的出行体验,同时系统的智能化管理也减轻了运维人员的工作负担,提高了工作效率。

3. 能量回收与利用

在城市轨道交通系统中,列车制动过程中产生的能量以及设备运行过程中产生的余热等能量形式往往被浪费掉。为了充分利用这些能量资源,某城市轨道交通系统引入了能量回收与利用技术。

在列车制动过程中,系统通过安装制动能量回收装置将制动能量转化为电能并存储在电池中,这些电能随后可以供车站内的照明、通风等设备使用,从而减少了对传统电能的依赖,此外系统还利用余热回收技术将设备运行过程中产生的余热转化为热能或冷能进行再利用,例如在夏季可以将余热用于车站的空调系统以降低能耗;在冬季则可以用于供暖系统以提高能源利用效率。

通过能量回收与利用技术的应用,该城市轨道交通系统不仅实现了能源的高效利用和循环利用,还减少了环境污染和碳排放量,这一实践案例充分展示了城市轨道交通在能效管理方面的创新能力和社会责任感。

结论

本文深入探讨了城市轨道交通(地铁)能效管理技术的创新与实践,从提高能源利用率、能源管理系统的智能化、增强能源供应稳定性等方面进行了详细分析,通过引入智能调度系统、节能改造、智能感知与数据采集、智能优化算法等技术手段,可以显著降低城市轨道交通的能耗,提升运营效率和乘客体验,同时通过多元化能源供应和应急能源储备策略,增强了能源供应的稳定性和可靠性,为城市轨道交通的可持续发展提供了有力保障。

[参考文献]

- [1]张慧丽,刘亚飞.建筑信息模型技术在城市轨道交通设备维护管理中的应用[J].城市轨道交通研究,2020,23(5): 135-139
- [2]卢光霖.技术创新与广州城市轨道交通的发展[J].城市轨道交通研究,2004,7(3): 10-13 李宇杰,王艳辉,蔺陆洲,夏志成,王伟.城市轨道交通生产运营技术创新与发展关键问题[J].中国铁路,2022(12): 99-105
- [3]卢锦生.城市轨道交通网络化运营管理实践[J].城市轨道交通研究,2018,21(8): 170-173 177
- [4]刘明辉,杜英豪,王霆,毛海超,崔峰.城市轨道交通工程创新发展探索与实践[J].建设科技,2021(2): 70-73