

地铁供电系统节能降耗技术应用研究

高则湘

徐州轨道交通运营有限公司 江苏 徐州 221000

摘要: 本文聚焦地铁供电系统节能降耗。先分析能耗成因,涉及系统结构、设备特性及运行管理层面。接着阐述核心技术应用,包括供电设备节能优化、能源智能调度管控及再生能源回收利用。随后构建保障体系,涵盖技术、管理、监督评估三方面。最后指出技术应用关键注意事项,要遵循安全性优先原则,实现技术与经济协同平衡,且与运营工况相适应,为地铁供电系统节能降耗提供全面指导。

关键词: 地铁供电系统;节能降耗;应用研究

引言:在能源紧缺与绿色发展理念深入人心的当下,地铁作为城市交通的重要支柱,其供电系统的节能降耗意义重大。地铁供电系统能耗成因复杂,涉及系统结构、设备特性及运行管理多个层面。为有效降低能耗,需从核心技术应用入手,涵盖供电设备节能优化、能源智能调度管控及再生能源回收利用等方面。同时,构建完善的保障体系并关注技术应用关键事项,确保节能降耗工作安全、经济、高效推进,实现地铁供电系统的可持续发展。

1 地铁供电系统能耗成因分析

地铁供电系统的能耗贯穿于能源从输入到最终利用的完整传输、转换与使用链条,成因复杂多样,可从系统结构、设备特性、运行管理三个关键层面展开深入剖析。(1)系统结构层面:地铁供电系统由牵引供电系统与动力照明供电系统构成,二者独立运行且缺乏有效的能源协同调度机制。在实际运营中,不同时段、不同区域的用电需求差异显著。例如,列车进出站高峰时,牵引供电系统负荷剧增,而动力照明系统负荷相对稳定。但由于缺乏协同,能源无法在不同系统间灵活调配,导致能源分配难以贴合实际需求,出现部分系统能源过剩、部分系统能源不足的情况,造成能源浪费。供电网络拓扑设计对能耗的影响不容小觑。若设计时未充分考虑负荷分布的差异,会引发一系列问题。电缆选型是关键环节,若电缆载流量与实际负荷不匹配,当实际负荷超过电缆载流量时,线路电阻增大,发热现象加剧,电能损耗大幅增加;反之,若电缆载流量远大于实际负荷,也会造成电缆资源的闲置浪费。此外,供电距离过长也是导致能耗增加的重要因素。电能传输过程中会因线路电阻产生热损耗,供电距离越长,线路损耗就越多,无效能耗也就随之增大。(2)设备特性层面:牵引变流器、整流器等核心供电设备在能量转换过程中,

由于物理原理的限制,不可避免地存在固有损耗。若设备技术水平落后,其能量转换效率会显著偏低,大量能源在转换环节被白白浪费。同时,车站照明、通风空调等设备也是能耗的主要来源。若这些设备未采用节能型产品,或者因使用年限过长导致设备老化、性能下降,其能耗会进一步加剧。例如,老化的照明设备发光效率降低,为了达到相同的照明效果,就需要消耗更多的电能。(3)运行管理层面:列车运行计划与能源调度之间的衔接不够紧密。在列车高峰时段与平峰时段,供电负荷波动较大。若供电系统不能根据负荷变化及时、精准地调整输出功率,就会出现能源冗余的情况。此外,能源监测体系不完善,无法实时、准确地掌握各子系统的能耗动态,使得管理人员难以精准识别能耗浪费点,进而影响节能措施的针对性和有效性,不利于地铁供电系统的节能降耗^[1]。

2 地铁供电系统节能降耗核心技术应用

2.1 供电设备节能优化技术

供电设备是能源转换与传输的核心载体,通过设备技术升级与结构优化,可有效降低固有损耗。(1)在牵引供电设备方面,采用高转换效率的牵引变流器与整流器,通过优化电路拓扑结构、选用低损耗功率器件,减少能量转换过程中的热损耗;同时,对牵引变压器进行节能改造,采用非晶合金铁芯材料,降低变压器的空载损耗与负载损耗,提升能源转换效率。(2)在动力照明设备方面,推广应用LED节能灯具替代传统荧光灯,LED灯具具有光效高、寿命长、能耗低的特点,可降低照明系统能耗30%以上;对车站通风空调系统,采用变频风机与变频水泵,根据车站客流量与环境温度变化,动态调节设备运行转速,避免设备长期满负荷运行造成的能耗浪费;此外,对供电系统中的电缆、开关等设备,选用低电阻、低损耗的节能型产品,减少能源传输过程中的

线路损耗^[2]。

2.2 能源智能调度管控技术

通过构建智能化的能源调度体系,实现供电系统与负荷需求的精准匹配,减少能源冗余。(1)建立负荷预测模型,结合历史客流数据、列车运行计划、设备运行规律,采用大数据分析算法,精准预测不同时段、不同区域的供电负荷需求,为能源调度提供数据支撑;根据负荷预测结果,动态调整牵引变电站与动力照明变电站的输出功率,实现“按需供电”,避免能源过度输出。

(2)应用供电系统协同调度技术,打破牵引供电与动力照明供电系统的独立运行模式,建立统一的能源调度平台,实现两类系统的能源互补;例如,在列车高峰运行时段,优先保障牵引供电需求,适当调整车站照明与通风空调的运行参数,降低非核心负荷;在列车平峰运行时段,将多余电能合理分配至动力照明系统,提升能源利用率。(3)实施电压无功优化控制,通过在供电网络中安装无功补偿装置(如SVG静止无功发生器),实时补偿系统无功功率,改善功率因数,减少无功电流造成的线路损耗;同时,优化供电系统电压水平,将母线电压控制在合理范围内,避免因电压过高或过低导致设备能耗增加。

2.3 再生能源回收利用技术

地铁列车在制动过程中会产生大量再生电能,若不加以回收利用,将通过制动电阻转化为热能浪费,通过再生能源回收技术,可将这部分能量重新利用,降低外部电能消耗。(1)应用列车再生制动能量直接利用技术,在同一供电臂内,当有列车处于制动状态产生再生电能时,若同一区间内存在处于牵引状态的列车,通过牵引变流器的双向运行功能,将再生电能直接供给牵引列车使用,实现能量的就地回收,减少再生电能向电网的反馈损耗。(2)采用再生电能储能系统,当同一供电臂内无牵引列车需求时,通过超级电容或锂电池储能装置,将再生电能储存起来;在列车需要牵引或车站设备需要供电时,将储存的电能释放至供电系统,实现再生能源的错峰利用;储能系统还可在电网电压波动时,起到稳压作用,提升供电系统稳定性。(3)探索太阳能辅助供电技术,在地铁车站屋顶、出入口雨棚等区域安装太阳能光伏板,将太阳能转化为电能,接入车站动力照明供电系统,用于补充车站照明、通风空调等设备的电能需求,减少对电网电能的依赖,降低系统整体能耗。

3 地铁供电系统节能降耗保障体系构建

3.1 技术保障体系

技术保障是节能降耗工作的基础,需从技术标准、

设备维护、监测平台三个方面入手。(1)制定完善的节能技术标准体系,明确供电设备节能性能指标、能源调度技术规范、再生能源利用技术要求等,为技术应用提供统一的标准依据;例如,规定牵引变流器转换效率需不低于96%、LED灯具光效需不低于120lm/W等,确保选用的节能设备与技术满足要求。(2)建立节能设备全生命周期维护机制,制定针对性的设备维护计划,定期对牵引变流器、储能装置、LED灯具等节能设备进行检修与校准,确保设备长期处于高效运行状态;同时,建立设备故障预警系统,通过实时监测设备运行参数,及时发现设备性能异常,避免因设备故障导致能耗上升。

(3)构建能源智能监测平台,整合牵引供电、动力照明、再生能源回收等子系统的能耗数据,实现能耗数据的实时采集、存储与分析;平台需具备能耗可视化展示、能耗异常报警、能耗数据分析等功能,帮助运营人员精准掌握能耗动态,识别能耗浪费点,为节能措施优化提供数据支持。

3.2 管理保障体系

通过规范的管理流程,确保节能降耗工作的有序推进与持续落实。(1)建立节能管理组织机构,明确各部门与岗位的节能职责,如技术部门负责节能技术研发与应用,运营部门负责节能设备日常运行管理,财务部门负责节能项目资金保障等,形成分工明确、协同配合的管理机制;同时,设立节能工作专项小组,统筹协调各类节能工作,定期召开节能工作会议,解决节能过程中存在的问题。(2)制定节能工作计划与考核机制,根据地铁供电系统的能耗目标,分解年度、季度、月度节能任务,明确各部门的节能指标;将节能工作纳入部门与个人绩效考核体系,设定能耗降低率、能源利用率等考核指标,对节能工作成效显著的部门与个人给予奖励,对未完成节能指标的进行问责,激发员工参与节能工作的积极性。(3)加强节能培训与宣传,定期组织员工开展节能技术与管理培训,提升员工的节能意识与专业能力,如培训牵引变流器优化运行方法、能源调度平台操作技能等;通过内部宣传栏、公众号等渠道,宣传节能降耗的重要意义与相关知识,营造“人人参与节能”的良好氛围^[3]。

3.3 监督评估体系

通过有效的监督与评估,确保节能降耗措施的实施效果,及时发现并改进存在的问题。(1)建立节能措施实施监督机制,安排专人对节能技术应用、设备运行状态、能源调度执行情况进行日常监督检查,确保各项节能措施严格按照计划落实;例如,检查再生能源储能系

统是否正常运行、能源调度是否按照负荷预测结果执行等,避免节能措施流于形式。(2)开展节能效果定期评估,按照月度、季度、年度周期,对供电系统的能耗数据进行分析,对比节能措施实施前后的能耗变化,评估节能技术的实际效果;同时,结合地铁运营工况的变化,分析节能措施的适应性,如在客流增长、设备老化等情况下,节能效果是否仍能满足要求,为节能措施的优化调整提供依据。(3)建立节能工作持续改进机制,根据监督检查与效果评估结果,总结节能工作中的经验与不足,针对存在的问题制定改进方案;例如,若发现某一区域线路损耗过高,及时调整电缆选型或优化供电网络拓扑,不断完善节能措施,确保节能降耗工作持续推进。

4 地铁供电系统节能降耗技术应用的关键注意事项

4.1 技术应用的安全性优先原则

地铁供电系统直接关系到列车运行安全与乘客出行安全,节能技术应用必须以保障系统安全为前提。在选用节能设备时,需优先考虑设备的安全性能,如牵引变流器的过载能力、储能系统的防火防爆性能等,确保设备在节能运行的同时,能够应对突发工况,避免安全事故发生。在实施能源调度优化时,不得因降低能耗而牺牲供电可靠性,需确保牵引列车、车站应急设备等核心负荷的供电保障,避免因功率调整不当导致列车停运或设备故障。在再生能源回收利用过程中,需建立完善的能量转换与传输保护机制,防止再生电能反馈异常对电网造成冲击,确保供电系统电压与频率稳定。

4.2 技术与经济的协同平衡

节能降耗技术应用需考虑投入成本与节能收益的平衡,避免出现“节能不经济”的情况。在选择节能技术与设备时,需进行全生命周期成本分析,综合评估设备采购成本、安装成本、维护成本与节能收益,优先选用性价比高的技术方案;例如,虽然某些新型节能设备初始采购成本较高,但长期运行过程中能耗降低带来的收益显著,且寿命更长,从全生命周期角度更具经济性。在制定节能改造计划时,需结合地铁运营企业的资金状况,分阶段、分区域推进节能项目,优先实施能耗浪费

严重、节能效果显著的项目,如再生能源回收系统改造、LED照明替换等,确保节能投入能够快速产生效益。

4.3 与运营工况的适应性匹配

地铁供电系统的能耗与列车运行计划、客流变化、环境条件等运营工况密切相关,节能技术应用需充分考虑工况适应性,避免技术与实际需求脱节。在构建负荷预测模型时,需结合不同季节、不同工作日与节假日的客流差异,优化预测算法,确保负荷预测结果与实际需求相符;例如,在节假日客流高峰时段,需适当提高供电负荷预测值,避免因预测偏低导致供电不足。在应用变频通风空调技术时,需根据车站实时客流量与环境温度,动态调整变频参数,避免因参数设置固定导致能耗浪费或环境舒适度下降。在实施再生能源利用技术时,需结合列车运行间隔、制动频率等工况特点,优化储能系统的充放电策略,确保再生电能能够高效回收与利用^[4]。

结束语

地铁供电系统节能降耗意义重大且迫在眉睫。从能耗成因剖析,到核心技术应用,再到保障体系构建与关键事项把控,各环节紧密相连、缺一不可。通过供电设备优化、能源智能调度、再生能源回收等举措,并依托完善的技术、管理与监督体系,在保障安全、平衡经济、适应工况的前提下,定能实现地铁供电系统能耗的有效降低,推动地铁行业朝着绿色、可持续方向稳步迈进。

参考文献

- [1]刘浩恺,马飞,张德胜等.地铁车站通风空调系统风水控制工艺节能难点及实现方法[J].工程技术研究,2021,6(21):38-39.
- [2]李波.地铁低压供电系统节能降耗策略探析[J].电力设备管理,2020(06):183-184+189.
- [3]赵智军.地铁供电系统节能降耗技术应用研究[J].电工技术,2025,(01):70-72+78.
- [4]杨栋山.地铁供电系统节能降耗技术实践探究[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(34):10-12.
- [5]杨文旭.地铁供电系统节能降耗技术应用研究[J].设备管理与维修,2023,(08):39-41.