

地铁低压动力照明系统节能优化设计研究

董明帅

昆明地铁运营有限公司 云南 昆明 650000

摘要: 地铁低压动力照明系统作为轨道交通运营的基础能耗载体,其节能优化设计对降低运营成本具有重要意义。本文围绕地铁低压动力照明系统的架构特征与能耗损耗机理展开分析,揭示了设备本体参数、系统控制模式及场景适配性三类因素对系统能耗的作用路径。在此基础上,从动力设备、照明系统及系统联动控制三个维度提出节能优化设计方案,并就线路配电结构、智能化适配及运维体系给出配套设计思路。该设计框架为地铁低压动力照明系统的节能改造提供了系统化的技术路径。

关键词: 地铁低压系统; 动力照明; 节能优化; 联动控制; 智能化设计

引言: 地铁低压动力照明系统承担着站内环境调控与空间照明供给的双重职能,是地铁日常运营中能耗占比较高的基础系统。随着城市轨道交通网络规模的持续扩张,该类系统的能源消耗问题日益受到关注。动力设备的低效运行、照明供给与场景需求的错配以及系统管控方式的固化,共同推高了整体能耗水平。对该系统开展节能优化设计,从设备选型、控制策略及系统架构等层面进行系统性调整,已成为地铁绿色运营的关键课题。

1 地铁低压动力照明系统架构与能耗损耗机理

1.1 地铁低压动力照明系统组成结构

地铁低压动力照明系统分为动力运行与场景照明两大功能板块,是支撑地铁公共区域与设备区间正常运转的基础配套体系。低压动力板块涵盖各类机电配套设备,主要服务于地铁通风、排水、扶梯及各类辅助机电设施的常态化运转,不同类型设备依据场地功能需求完成差异化配置^[1]。各类机电设备按照场地运行需求完成布设排布,依托低压配电网络实现电力输送与功能运转,对应承担地铁不同场景下的机械运行任务。照明板块覆盖地铁站台、站厅、通道及设备机房等全部功能区域,结合不同空间的使用需求匹配对应照明设备,形成全覆盖的灯光供给体系。各功能模块依托整体配电框架形成联动体系,不同模块对应专属的运行服务场景与功能覆盖范围,整体架构具备分区布设、分类运行的典型特征,能够适配地铁复杂的空间布局与运营需求。

1.2 地铁低压动力照明系统运行特征

地铁低压动力照明系统的运行状态贴合地铁整体运营节奏,具备长时运行、动态波动的运行特点。轨道交通保持固定的日间运营时长与夜间停运检修模式,系统设备会跟随运营时段完成常态化启停与状态切换。公

共区域的照明设备保持长时间持续运行,机电动力设备会跟随客流变化与环境状态调整运行强度。客流高峰阶段,地铁各类机电辅助设备运行频次与负荷强度会出现明显提升,客流低谷阶段设备运行负荷会逐步回落。地下封闭的运营环境对设备运行稳定性有着较高要求,动力与照明设备需要维持持续稳定的工作状态,以此保障地铁空间环境的舒适性与运营的规范性。设备长期处于频繁负荷切换的运行状态,整体运行状态会随运营场景的变化产生规律性波动。

1.3 地铁低压动力照明系统能耗损耗机制

地铁低压动力照明系统的能耗损耗贯穿设备运行的全流程,电力资源在转换传输与设备运转过程中会产生各类无效消耗。低压配电网络的线路传输过程中会产生基础电能损耗,电网阻抗会造成部分电力资源的自然消耗,无法作用于设备实际功能运转。各类动力机电设备在非满负荷运行状态下,会产生多余的能耗支出,设备额定功率与实际运行工况的不匹配会造成能源资源的闲置浪费。照明系统的能耗损耗多来源于固定照明模式与动态场景需求的不匹配,空间照度供给无法适配实时环境使用需求,造成持续性的能源冗余消耗。设备长期持续运行产生的性能衰减,会改变设备运行能耗转化效率,进一步加剧电力资源的无效损耗,构成系统整体能耗偏高的主要诱因。

2 地铁低压动力照明系统能耗影响因素分析

2.1 设备本体参数对能耗的影响

地铁低压动力照明系统的能耗水平与各类运行设备的本体属性存在深度关联,设备基础性能指标直接决定电能转化与利用的整体效率。动力设备与照明设备的出厂性能参数设定标准,决定设备适配地铁运营工况的基础能力,参数匹配程度不足会大幅降低电能利用效率。

设备长期投入连续运行后会出现性能衰减,内部元器件运行状态逐步衰退,电能转换过程中的损耗量会持续增加^[2]。不同规格型号的设备功率配置、运行效率、负载适配区间存在明显区别,不合理的设备选配方式会让设备长期处于低效运行状态。设备运行过程中积累的老化损耗会持续改变运行参数标准,弱化电能做功的有效转化率,逐步放大系统运行过程中的能源损耗规模。各类设备的参数匹配度与运行健康状态,成为制约地铁低压动力照明系统能耗控制水平的基础条件。

2.2 系统控制模式对能耗的影响

低压动力照明系统的运行管控方式,直接干预设备的启停节奏与负荷调节状态,对整体能耗水平产生关键作用。传统运行管控方式依托固定运行逻辑完成设备调度,难以跟随地铁运营场景的动态变化完成灵活调节。固定化的运行设定会让部分设备在低负荷运营阶段持续保持高功率运行状态,催生大量无效能源消耗。常规时序管控逻辑仅依托固定时段完成设备状态切换,无法结合空间人流密度与环境变化做出动态适配调整。各区域设备独立管控的运行形式,会打破系统整体运行的协调性,出现局部设备运行冗余与功能重叠的情况。固化且单一的管控逻辑无法适配地铁多变的运营场景,持续增加系统整体的能源消耗总量,制约节能运行的整体空间。

2.3 场景适配性对能耗的影响

地铁不同功能区域的空间环境与使用需求存在显著差异,设备运行状态与场景需求的匹配程度,会直接作用于系统能耗损耗水平。站台与站厅作为人员流动密集的公共区域,环境照度标准与设备运行负荷需求相对更高,设备运行参数需要适配高频次的运营状态。通道区域人员通行流动性强、停留时长较短,恒定不变的设备运行模式会造成长期的能源浪费。设备机房等专属功能区域仅需满足基础运维需求,过高的照明照度与动力设备冗余运行状态,会持续产生不必要的能耗支出。各类功能空间的环境通风、采光、人员活动规律存在差异化特征,统一化的设备运行标准无法适配场景动态需求。场景适配度不足带来的运行偏差,会让系统产生持续性的冗余能耗,成为推动系统整体能耗升高的重要诱因。

3 地铁低压动力照明系统节能优化设计方案

3.1 低压动力设备节能优化设计

地铁低压动力设备承担站内环境调节与客运服务的基础功能,通风设施、排水设施及客运扶梯长期保持高频次运行状态,是低压系统能源消耗的主要载体。结合地铁各类运营场景的实际运行条件,对现有动力设备的工作工况进行全方位优化调整^[3]。传统设备运行体系多采

用固定的启停规则,难以适配站内环境参数与客流状态的动态变化,长期固定的运行模式会造成大量无效能源消耗。结合站内环境通风换气需求、积水排放条件以及客运通行状态,重新梳理设备启停管控逻辑,摒弃僵化的运行规则。依托地铁不同运营时段的负荷变化规律,调整设备运行的匹配模式,让设备工作负荷贴合现场实际运营需求。结合各类动力设备的性能特征与工作属性,重新搭建常态化运行配置体系,优化设备空载运行与低负荷运行的工作状态。通过对动力设备运行工况与管控逻辑的双重优化,改善设备低效运行的现状,让动力设备运行状态深度适配地铁各类运营场景,稳步提升低压动力体系的能源利用效率。

3.2 照明系统节能优化设计

地铁内部空间划分具备极强的功能性特征,不同功能区域的人员活动频次、光照使用标准、环境运营要求存在明显差异,统一化的照明运行模式难以适配差异化的空间使用需求。依据地铁空间功能属性,对公共通行区域、设备作业区域、应急保障区域开展分层分区的专项节能优化。结合各区域空间结构与人员活动规律,调整照明设备整体布设格局,优化光源排布密度与安装点位,改善空间光照分布均匀度,减少冗余光源布设带来的能源浪费。结合不同区域的长期运营需求,筛选适配性更强的光源品类,提升光源光电转化效率与长期运行稳定性,从设备源头降低照明体系的能耗支出。搭建梯度化的照明运行层级,结合日常常规运营、客流低谷运维、夜间设备检修等不同运营状态,划分多档位光照输出标准。通过精细化的分区调控与层级化运行管控,精准匹配各类场景的光照使用标准,杜绝光照供给过剩引发的能源损耗,实现照明体系的精细化节能管控。

3.3 系统联动控制节能优化设计

传统地铁低压动力照明体系采用分散化的管控模式,动力设备与照明设备独立完成运行作业,设备之间缺乏有效的运行关联,整体运行资源利用率偏低。针对分散运行模式存在的运行弊端,构建一体化的动力与照明系统联动控制逻辑体系。整合低压系统内各类动力设备与照明设备的运行资源,梳理不同设备运行状态的内在关联,升级多设备协同作业的运行机制。破除单类设备独立运行的管控局限,打通设备运行状态互通与动态调度的运行通道。结合地铁全天运营节奏的变化规律以及站内环境动态变化特征,重新规划系统化的节能控制逻辑。构建适配地铁全时段运营状态的设备联动方案,实现不同运营阶段下动力设备与照明设备的协同调配。系统化的联动模式可以有效规避设备独立运行产生的能

耗冗余,强化低压系统整体运行的统筹性与科学性,完善低压动力照明系统节能运行的整体框架。

4 地铁低压动力照明系统节能优化配套设计

4.1 系统线路与配电结构优化设计

低压配电线路与层级架构是地铁动力照明系统电力传输的核心载体,线路布设形式与配电架构的合理性直接影响电力传输的损耗水平。原有配电架构与线路布设方式多依据基础供电需求搭建,侧重供电稳定性与覆盖范围,缺乏对节能运行需求的深度考量。电力资源在长线传输、多级配电转接过程中会产生持续性损耗,不合理的线路走向与繁复的配电层级会持续增加传输能耗^[4]。针对现有配电体系存在的能耗短板,对整体配电线路布局开展系统性梳理与调整,精简多余的线路转接环节,梳理各类设备的供电路径。优化层级划分形式,简化配电传输的整体流程,压缩电力传输过程中的损耗空间。结合地铁各功能区域的设备分布特征,重新规划线路布设方案,缩短供电传输距离,规整线路排布秩序。依托节能运行的核心需求重构整套配电架构,让配电体系适配优化后的设备运行模式,从传输层面实现能耗损耗的有效控制,夯实系统节能运行的基础条件。

4.2 系统智能化适配优化设计

智能化改造是提升地铁低压动力照明系统节能水平的重要支撑,能够实现系统运行状态的动态精细化调控。结合地铁全天候运营、场景状态动态变化的运行特点,针对节能优化的核心需求搭建智能化运行配套体系。搭建环境与设备运行感知体系,捕捉站内空间环境参数、人员流动状态与设备运行负荷的动态变化数据。依托采集的运行数据构建自主调节运行逻辑,让系统根据现场运行条件自主调整设备运行状态与功率参数。完善智能调控的底层运行架构,打通数据采集、分析判断、状态调节的完整运行链路,实现设备运行模式与场景需求的自动适配。弱化传统人工干预的管控模式,提升系统运行的自主调控能力,让节能运行策略可以根据现场工况动态落地,持续强化系统节能运行的智能化

水平。

4.3 系统运维适配性优化设计

节能优化后的低压动力照明系统具备全新的运行模式与调控逻辑,传统运维管理体系难以适配新型系统的运行特征。结合优化改造后设备运行规律与系统架构特点,对现有运维管理体系开展针对性调整升级。优化设备常态化运维方案,调整设备检修、状态排查、故障监测的工作内容,适配节能化、智能化的系统运行形式。更新系统运行管理逻辑,贴合动态调控、联动运行的新型工作模式,建立适配节能体系的管理流程^[5]。精准匹配优化后系统的运行特性,及时排查设备低效运行、线路异常损耗、智能调控失灵等各类问题。稳定的运维管理体系可以持续保障节能策略的有效落地,维持整套低压动力照明系统长期平稳的节能运行状态。

结束语

地铁低压动力照明系统的节能优化设计是一项涉及设备、控制与系统架构的综合性工程。从动力设备工况调整到照明分区精细管控,再到系统联动与智能化改造,各环节的优化设计相互支撑、协同发力。配电结构的合理重构与运维体系的同步升级,为节能策略的长期稳定运行提供了保障。整套设计方案以降低系统无效能耗为导向,以场景适配与动态调控为手段,为地铁低压动力照明系统的节能改造奠定了完整的技术基础。

参考文献

- [1]刘利川.地铁低压动力照明系统节能优化设计研究[J].人民公交,2026(8):53-55.
- [2]周文燕.地铁低压动力照明系统的优化及应用[J].文渊(小学版),2022(8):688-690.
- [3]邵松.地铁低压动力照明系统的测试及优化措施研究[J].光源与照明,2023(01):48-50.
- [4]黄晶.地铁低压动力照明系统的测试方法及系统优化措施[J].光源与照明,2022(01):37-39.
- [5]刘丹丹,姚石伟.地铁低压动力照明系统的测试及优化措施研究[J].越野世界,2024,19(16):167-168.