

城市轨道交通电气系统中的照明节能设计

武春

中铁第一勘察设计院集团有限公司，陕西西安，710043；

摘要：伴随着城市化进程的加快以及可持续发展观念的加深，城市轨道交通体系的能源耗用问题愈发受到重视。其中，照明体系作为运营能耗中关键的构成部分，有着明显的节能潜能。本文全面探讨城市轨道交通电气体系里照明节能的设计途径，从先进照明技术的运用、智能控制体系的搭建、新能源的综合运用及照明系统维护与管理这四个层面展开剖析。研究显示，经由 LED 光源的替换、照明控制体系的优化以及自然光的利用等综合举措，能够切实降低体系能耗，同时提高照明质量与运营效益。研究成果为推动绿色城市轨道交通的建设给出了关键的理论依据与实践参照。

关键词：城市轨道交通；照明系统；节能设计；智能控制

DOI：10.69979/3029-2727.25.12.031

1 先进照明技术的应用与优化

1.1 LED 光源的全面替代与性能提升

LED 光源作为城市轨道交通照明体系的核心构成部分，它的推广使用正在深度改变传统照明模式。和传统照明设备相比，LED 光源呈现出显著的综合优点，不仅在能源转换效率方面表现优异，在使用寿命和响应速度上也具备明显长处。在城市轨道交通这一特殊应用场景中，LED 光源的应用价值得以充分展现，它精准的光谱调控能力，为不同功能区域提供了合适的照明环境，既满足了基础照明需要，又提升了整体视觉舒适度。目前，LED 技术持续创新发展，新一代产品在光学性能和能效表现方面不断取得突破，给城市轨道交通照明体系的升级改造提供了更多可行性。在实际应用中，需要充分考量不同区域的功能特性和使用需求，通过科学的选型与配置，充分发挥 LED 光源的技术优势，达成照明效果与能源效率的有机结合^[1]。

1.2 高效光学系统的精准化设计

在城市轨道交通场景里，各个功能区间对照明品质存有差异化的需求，这就要求借助精确的光学规划达成最优照明成效。站台区间需着重考量光线分布的安全方面要求，借由科学的光学规划防止对列车行驶产生干扰；通道与出入口区间，则要重点保障照明的均匀程度与连续程度，给乘客提供安全舒适的通行环境。随着技术的进步，现代的光学规划方式为照明体系的优化给予了有力支撑，通过先进的规划理念与技术手段，能够达成光线分布的精确掌控，大幅提升照明体系的整体效能。新

型的光学组件的运用进一步拓展了照明规划的可能性，在满足功能性需求的同时，也为城市轨道交通空间的视觉环境塑造创造了有利条件。

1.3 灯具结构的集成化与热管理创新

在城市轨道交通特殊场景下，灯具须具备良好的环境适应能力，能够应对各类复杂工况的挑战。现代灯具规划呈现出显著的集成化趋向，通过系统化的规划思路，把各个功能模块有机整合，既提升了设备的可靠程度，也优化了整体性能表现。在热管理层面，创新的散热解决办法保证了灯具在长期运行过程中的稳定程度，通过科学的热量传导与散发机制，使设备保持在适宜的工作温度范围之内。同时，驱动系统的持续改良也为照明体系的稳定运作提供了重要保障，通过优化的电路规划与元器件选型，达成了能源的高效转换与稳定输出。

2 智能控制系统的构建与实施

2.1 自适应调光系统的精细化控制

自适应调光体系作为智能照明体系的核心部分，通过搭建多层次的环境感知网络，达成了对照明环境的精确感知与智能调节，该体系采用先进的光照度感应装置、红外人员检测设备与智能时序控制设备，形成了立体化的监测体系。在具体运行过程中，体系能实时采集环境光照强度、空间使用状态以及时间参数等多维度信息，通过内置的智能算法进行综合分析，动态调整各区域照明设备的输出功率。例如，在地面站厅区间，体系会持续监测自然光照的变化走向，当室外光线充足时自动降低人工照明强度；在地下通道与站台区间，则通过人员

检测设备实时感知客流密度，在保证基本照明需求的前提下，依据人流量自动调节照明等级。这种智能调节机制不仅达成了显著的节能效果，更重要的是通过维持科学合理的照度水平，为乘客营造了舒适安全的视觉环境。

2.2 分区场景控制的智能化管理

分区场景控制系统把整个城市轨道交通空间，依据功能需求划分成多个独立的控制部分，像站厅公共区域、站台候车区域、进出站通道、设备管理区域等等，并且针对每个部分制定了专门的照明办法。在运行管理上，系统紧密结合列车运行时间表、客流变化特点以及自然光照周期等多个因素，达成了照明场景的自动转换与智能调配。在运营高峰时，系统自动开启全部照明模式，保证所有区域都能达到标准的明亮程度要求，为大量的客流提供足够的照明支持；在平峰时，就转换到基础照明模式，在满足基本照明需求的同时，做到能耗的优化控制；在夜间不运营时，系统进一步调整成节能模式，只留下必要的安全照明。除此之外，系统还设立了完善的应急办法，在特殊天气状况或者突发事情发生时，能够迅速启动相应的照明方案。这种按照分区管理的智能控制系统，不仅充分考虑到各区域实际的使用需求，还通过精细的运行策略，实现了照明质量和能源效益的较好平衡，为城市轨道交通运营给出了可靠的照明保障^[2]。

2.3 物联网平台的系统化运维

基于物联网技术的照明管理平台构建出一个把监测、控制、分析以及运维整合在一起的综合管理系统，达成照明设备从开始到结束的整个生命周期管理。这个平台依靠部署在现场的智能网关和传感设备，实时收集各种照明设备的运行状态、能耗数据、环境参数等信息，形成完整的设备运行数据库。在中央监控中心，管理人员能通过可以看到图像的操作界面，全面了解整个照明系统的运行情形，实时查看各区域照明设备的工作状态，及时察觉到异常情况并快速做出反应。系统拥有很强的数据分析能力，通过对过去运行数据的深入挖掘和分析，能够准确预估设备的使用时长，自动生成提前预防维护的计划，实现从被动修理到主动维护的管理模式转变。同时，平台支持远程诊断和在线升级功能，工作人员能够通过网络对系统进行远程调试和优化，大大提高了运维效率。另外，系统还提供完善的报表生成功能，能够自动生成能耗分析报告、设备运行评估报告等管理文件，为做决策提供数据方面的支持。这种全方位的智能化管理方式，不仅保证了照明系统稳定可靠地运行，还为系

统持续的优化和节能改造提供了科学依据，推动照明管理系统朝着数字化、智能化方向发展。

3 新能源与自然光的综合利用

3.1 光伏发电的本地化应用

光伏发电体系于城市轨道交通照明范畴的运用正呈现出极为广阔的发展前景，借由在场站顶部、高架区间遮阳棚等建筑表层铺设光伏部件，把充裕的太阳能资源转变为洁净的电能，径直供应给照明体系予以运用。这种分布式发电方式不但有效地减轻了电网供电的压力，在突发停电等紧急状况下，更是为应急照明给予了可靠的备用电源。在实际的实施过程当中，该体系采用并网与离网相互结合的混合供电规划，既达成了对市政电网的有效补充，又切实保证了在特殊情形下关键区域照明的持续运行。为了能够更为恰当地适配照明体系的用电特性，光伏体系还配备有智能储能设备，把日间所产生的多余电能予以储存，用于夜间的照明负载，从而最大限度地提升自发自用比率。除此之外，该体系还整合了智能监控功能，能够实时地监测发电效率、设备运行状态等关键参数，确保整个体系稳定且可靠地运行。这种对清洁能源的直接运用，不但显著地降低了照明体系的碳排放，同时也为城市轨道交通的绿色运营提供了具备示范性质的解决办法^[3]。

3.2 自然光引导系统创新

自然光导引技术凭借科学的光学设计以及建筑创新，将自然光线引入到城市轨道交通的地下空间，达成了照明能耗从源头处的削减，该系统主要运用导光管、棱镜采光窗以及光纤导光等先进技术，通过特殊的光学材质对自然光线进行收集、传导以及重新分配。在具体的应用过程中，设置于站厅顶部或者地面出入口的采光装置，高效地捕捉自然光线，经过光学元件的精准导引，将光线传输至地下站台、通道等核心区域。为了提高光能的利用效率，该系统还配备有智能追光装置，能够依据太阳方位的变化自动调整采光角度，保证获取最佳的自然光照成效。在光线分配环节，通过特殊的漫射器件，把直射阳光转变为柔和且均匀的室内照明，既规避了眩光问题，又维持了自然光线的视觉舒适感。这种创新性的照明方案，不但大幅减少了日间对于人工照明的需求，更为地下空间营造出自然光照环境，有效地改善了乘客的空间体验，同时也为工作人员营造出更为健康舒适的工作环境。

3.3 能源梯级利用机制

多能互补系统把多种可再生能源跟传统能源整合起来，搭建出一个稳定又高效的复合供能体系，把像光伏发电、制动能量回收这些新能源和市政电网有机关联，借助智能能量管理平台来让不同能源能优化分配、协调运作。在实际运行过程中，系统会先拿光伏发电这类清洁能源给照明负载供电，要是新能源供电不足，就自动换到市政电网来补充。特别要提的是，系统很有创意地把列车制动产生的再生电能，放进照明供电体系里，用专门的储能设备把这些断断续续的电能收集起来，在照明用电高峰时释放使用。

为了让能量在时间和空间上更好地转移，系统还配备了智能储能设备，它既能当作能量缓冲部分来平稳功率波动，又能在电网出故障的时候提供应急电源保障。整个系统靠先进的控制算法，随时监测各个能源单元的发电状况和照明系统的用电需求，动态地调整能源分配办法，保证不管在什么情况下，都能把能源用得最好，让照明系统供电的可靠性和稳定性大大增强。

4 照明系统维护与管理的智能化升级

4.1 预测性维护体系的构建与实施

预测性维护体系通过物联网传感器组成的网络，一直监测照明设备的运行情况，实时采集像电压电流波动、灯具温度变化、光衰程度这些重要参数。系统利用大数据分析技术深入研究这些运行数据，建立设备健康评估模型，准确预估潜在故障发生的可能性和时间点。比如说，通过分析LED灯具的光通量衰减曲线，系统能提前预告光源寿命；通过监测驱动电源的电流谐波变化，及时发现元器件老化的问题。这种以数据为驱动的维护方式，彻底改变了传统定期维护的不足，从“按时维护”变成了“按需维护”。系统还会自动生成维护工单，准确推送到维修人员的移动设备上，清楚地标出故障类型、需要的备件和处理的优先顺序，大大提高维护效率。同时，系统建立的设备全生命周期档案，给后面照明系统的优化改造提供了详细的数据支持，让维护管理朝着精细化、智能化的方向发展。

4.2 能效管理平台的优化与完善

当下能效管控平台借助搭建多维度的监测架构，达成了针对照明体系能耗的细致化管理。平台不但实时监测各区域的用电数量，而且结合运营时长、客流量、环境光照强度等相关参量，确立科学的能效评估模型，体

系凭借可视化界面清楚展现各区域的能耗程度与节能潜能，协助管理人员迅速辨别能效异常之处。在数据分析层面，平台运用机器学习算法，深度挖掘能耗数据与运营参量之间的内在联系，自动生成优化运行策略。比如，体系会依据历史数据预估不同时段的照明需求，动态调整照明场景的转换策略；通过对比分析类似区域的能耗差别，发掘管理漏洞并给出改进提议。此外，平台还构建了完备的能效考核机制，把能耗指标细化到各个责任区域，推动全员参与节能管理。

4.3 智慧运维模式的创新与实践、

智慧运维方式通过整合先进技术与管理观念，搭建了高效协同的运维管理架构，该体系以数字孪生技术为根基，构建照明体系的虚拟影像，达成物理体系与数字模型的实时互动。运维人员能够通过三维可视化界面，直观掌控设备分布与运行状况，迅速定位故障位置。在应急处理方面，体系设立智能决策支持模块，当监测到异常情形时，自动启动应急预案，生成最优处置方案，并同步推送到相关人员的智能终端。日常运维过程中，体系通过移动应用达成工单的智能分发与执行追踪，维修人员能够实时上传现场情形与处理结果，形成完整的运维闭环。同时，体系还搭建知识库架构，持续积累运维经验与典型事例，通过智能检索与推送，助力维修人员迅速解决复杂难题，提高故障响应速度与处理品质，且通过数据积累与分析，持续推进运维流程的优化与改进。

5 结语

综上所述，城市轨道交通照明节能设计是一项综合性工程，通过采用高效光源、搭建智能控制系统并拓展新能源利用，能够显著提升照明能效，推动城市轨道交通的绿色转变。未来，随着光电技术、人工智能与能源互联网的持续发展，照明体系将朝着更为智慧、高效与集成的方向发展，为构建绿色低碳的城市交通网络提供坚实支持。

参考文献

- [1] 陈建明. 轨道交通动力照明与低压配电系统节能优化设计 [J]. 光源与照明, 2025, (04): 11-13.
- [2] 孟宝杰. 城市轨道交通动力照明节能措施 [J]. 光源与照明, 2023, (07): 7-9.
- [3] 钱秀峰. 基于对城市轨道交通的电气节能设计探讨 [J]. 低碳世界, 2021, 11 (11): 127-128.