

# 路灯照明系统节能改造与能效评估研究

杨斌

吴忠市市政建设管理中心

DOI:10.32629/etd.v6i11.17538

**[摘要]** 随着全球能源危机与环保意识的日益增强,路灯照明系统作为城市基础设施的重要组成部分,其节能改造与能效评估显得尤为重要。本研究聚焦于路灯照明系统的节能改造技术,通过采用高效节能灯具、智能控制策略及可再生能源集成应用等手段,有效降低能耗,提升照明质量。同时,建立科学的能效评估体系,对改造前后的照明效果、能耗数据及经济效益进行全面分析,为城市照明系统的绿色可持续发展提供理论依据与实践指导。

**[关键词]** 路灯照明系统; 节能改造; 能效评估

**中图分类号:** TU113.6 **文献标识码:** A

## Research on Energy-Saving Renovation and Energy Efficiency Evaluation of Street Lighting Systems

Bin Yang

Wuzhong Municipal Construction Management Center

**[Abstract]** With the growing global energy crisis and increasing environmental awareness, street lighting systems, as an important component of urban infrastructure, have made their energy-saving renovation and energy efficiency evaluation particularly crucial. This study focuses on energy-saving renovation technologies for street lighting systems. By adopting measures such as high-efficiency energy-saving luminaires, intelligent control strategies, and integrated application of renewable energy sources, energy consumption is effectively reduced while lighting quality is improved. Simultaneously, a scientific energy efficiency evaluation system is established to conduct comprehensive analyses of lighting performance, energy consumption data, and economic benefits before and after renovation, providing theoretical foundations and practical guidance for the green and sustainable development of urban lighting systems.

**[Key words]** Street Lighting System; Energy-Saving Renovation; Energy Efficiency Evaluation

### 引言

在全球能源形势日趋紧张、可持续发展理念深入人心的当下,城市照明能耗问题备受关注。路灯照明系统作为城市能源消耗的大户,其高能耗状况不仅加重了城市能源负担,也与节能减排目标相悖。传统的路灯照明系统在控制方式、灯具能效等方面存在诸多不足,导致能源浪费严重。对路灯照明系统进行节能改造,并构建科学合理的能效评估体系,不仅能有效降低能源消耗、减少运营成本,还能提升城市照明品质。因此,开展路灯照明系统节能改造与能效评估研究具有重要的现实意义。

### 1 路灯照明系统节能改造技术分析

#### 1.1 光源技术改造

(1) LED光源的能效优势显著,光效普遍达120-180lm/W,远超传统光源,相同照度下耗电量大幅降低;寿命长达5-10万小时,是传统光源的3-5倍,减少更换维护成本;显色性RA值多在70-90

之间,能更真实还原物体色彩,提升夜间照明舒适度与安全性。(2) 与传统光源对比,高压钠灯光效约80-120lm/W,寿命1.5-2.5万小时,显色性差(RA<30),但成本较低;金卤灯光效70-100lm/W,寿命1-1.5万小时,显色性较好(RA=60-80),却存在启动慢、光衰快问题;LED光源在能效、寿命、显色性上全面领先,虽初始成本较高,但长期节能收益显著。

#### 1.2 智能控制技术

(1) 分时调光控制可根据需求灵活调节亮度,时控能按预设时间(如深夜降至50%亮度)调整;光控通过光敏传感器感知环境光,自动开关灯;车流量感应借助雷达或摄像头,检测到车辆时提升亮度,无车时降低,有效减少无效能耗。(2) 远程监控与故障预警系统通过传感器实时采集路灯运行数据(电压、电流、亮度),传输至管理平台,工作人员可远程监控状态;当出现故障时,系统自动报警,缩短维修响应时间,保障照明稳定性,同时避免故

障路灯长期耗电。(3)物联网(IoT)集成应用案例丰富,如某城市将路灯接入IoT平台,实现单灯控制与能耗监测,结合大数据分析优化亮灯策略,年节能率达30%;部分项目还整合环境监测、WiFi覆盖功能,提升路灯多功能性<sup>[1]</sup>。

### 1.3 能源供应优化

(1)太阳能路灯适用于光照充足、市电接入困难的区域(如郊区、乡村),依靠太阳能电池板供电,零电费支出,但受天气影响大,阴雨天需依赖储能电池,在高纬度、多雨地区适用性受限。(2)市电与新能源混合供电模式结合两者优势,晴天优先使用太阳能,不足部分由市电补充;阴天或夜间则以市电为主,新能源为辅,既降低能耗,又保障供电稳定性,适合光照条件中等的城市道路。(3)储能技术中,电池选型需兼顾容量与寿命,常用磷酸铁锂电池,循环寿命2000次以上,安全性高,适合路灯长期使用;寿命管理可通过充放电控制(如避免过充过放)、定期检测维护,延长电池使用寿命,降低更换成本。

### 1.4 其他辅助技术

(1)光学设计优化通过合理设计配光曲线,将光线集中在照明区域,减少光浪费,提升光照利用率;防眩光设计(如加装遮光罩、优化光源角度)可降低光线对行人、驾驶员的视觉干扰,提升夜间行车安全。(2)灯具结构轻量化采用铝合金等轻质材料,减少灯具重量,降低安装与运输成本;材料改进方面,使用耐腐蚀、耐高温材料(如工程塑料、钢化玻璃),延长灯具使用寿命,减少维护频次,间接实现节能。

## 2 路灯照明系统能效评估体系构建

### 2.1 能效评估指标设计

(1)节能率是核心指标,通过单位照度能耗对比计算,公式为:节能率=(改造前单位照度能耗-改造后单位照度能耗)/改造前单位照度能耗×100%。其中单位照度能耗以“W/(lx·m<sup>2</sup>)”为单位,需在相同照明区域、相同照度标准下,分别采集改造前后路灯总耗电量与有效照明面积数据,确保对比的公平性,该指标直接反映技术改造的节能效果。(2)经济性指标聚焦成本效益,投资回收期计算公式为:投资回收期=初期改造总投资/(改造前年均能耗费用-改造后年均能耗费用+年均维护成本节约额),通常以“年”为单位,回收期越短说明项目经济性越好;全生命周期成本需涵盖初期投资(设备、安装)、运行成本(电费、维护)、报废处置成本,按项目预期使用寿命(通常10-15年)折算为现值,全面衡量长期经济可行性<sup>[2]</sup>。(3)环境效益指标以碳排放减少量为核心,计算方式为:碳排放减少量=(改造前单位时间耗电量-改造后单位时间耗电量)×运行时间×电力碳排放系数(如我国平均电力碳排放系数约0.58吨CO<sub>2</sub>/MWh),单位为“吨CO<sub>2</sub>”,直观体现路灯系统对“双碳”目标的贡献。(4)照明质量指标保障节能不牺牲体验,照度均匀度为照明区域内最小照度与平均照度的比值,道路照明需≥0.4(依据GB50617-2010标准);显色指数(RA)需≥70(LED路灯常见值),确保夜间物体色彩还原度,避免因显色性差引发安全隐患,两者共同构成照明性能的基础评价标准。

### 2.2 评估方法与模型

(1)层次分析法(AHP)用于确定指标权重,先将评估目标(能效评估)分解为目标层、准则层(如节能、经济、环境、质量)、指标层(如节能率、投资回收期),再通过专家打分构建判断矩阵,计算各指标权重(如节能率权重可能达30%-40%),解决多指标评估中权重分配主观化问题,提升评估科学性。(2)数据包络分析(DEA)适用于效率评价,以多个路灯改造项目为决策单元(DMU),将耗电量、投资成本作为输入指标,照度、节能率作为输出指标,通过线性规划计算各DMU的相对效率值(0-1之间),效率值为1表示该项目达到最优能效水平,可作为行业标杆,为其他项目提供优化方向。(3)基于机器学习的能效预测模型可提前预判效果,通过收集历史改造数据(如光源类型、控制方式、区域光照)与能效结果,训练随机森林、神经网络等模型,输入新项目参数即可预测节能率、全生命周期成本等关键指标,误差率通常控制在5%-10%,为项目前期决策提供数据支撑<sup>[3]</sup>。

### 2.3 评估流程与标准

(1)改造前基线调研是评估基础,需明确评估范围(如某路段100盏路灯),采集基线数据:能耗数据(连续7-15天的日耗电量、电压电流)、照明质量数据(用照度计实测路面照度、均匀度)、成本数据(当前电费、年维护次数及费用),同时记录区域环境参数(如日均光照时长、车流量),确保基线数据完整可追溯。(2)改造后效果验证需与基线数据对比,改造完成后稳定运行1个月,重复采集能耗、照明质量数据,计算节能率、照度均匀度等指标,验证是否达到预期目标(如节能率是否≥25%);若未达标,需分析原因(如调光策略不合理、光源安装角度偏差)并提出优化方案,直至指标满足要求<sup>[4]</sup>。(3)第三方检测与认证需符合行业标准,检测机构需具备CMA资质,检测项目包括能效(依据GB/T31832-2015《LED路灯和隧道灯能效限定值及能效等级》)、照明质量(依据GB50617-2010《城市道路照明设计标准》),检测合格后出具认证报告,作为项目验收、补贴申请的关键依据,避免企业自评数据失真。

## 3 路灯照明系统节能技术案例分析与实践验证

### 3.1 案例选取与数据采集

(1)典型区域选取某二线城市核心主干道(全长3.2公里),该路段日均车流量约2.8万辆、人流量约1.5万人次,照明需求高且能耗基数大,改造结果可复用于同类城市道路,具备行业参考价值。(2)改造前参数:灯具类型为高压钠灯,单灯功率150W,共布设256盏,间距30米,采用“全夜亮灯”模式;能耗数据经15天基线监测,日均耗电量864kWh,年耗电量约31.54万kWh;照明质量实测照度均匀度0.32(低于GB50617-2010标准的0.4),显色指数RA=28,夜间易出现视觉辨识模糊问题。

### 3.2 改造方案设计

(1)技术选型采用“LED+智能控制+新能源”组合方案:光源替换为100W高光效LED路灯(光效160lm/W, RA=80);加装车流量感应调光模块(无车时亮度降至40%,有车时自动回升);在道路两侧人行道布设20W太阳能电池板,配套12V磷酸铁锂电池(循

环寿命2500次),实现“太阳能补电+市电兜底”混合供电。(2)分阶段实施计划:第一阶段(1个月)完成1/3路段试点改造,同步搭建远程监控平台;第二阶段(2个月)根据试点数据优化调光策略,完成剩余路段改造;第三阶段(1个月)系统调试与数据校准,确保设备稳定运行<sup>[5]</sup>。

### 3.3改造效果评估

指标	改造前	改造后	变化幅度
单灯功率(W)	150	100	降低33.3%
日均耗电量(kWh)	864	320	降低63%
照度均匀度	0.32	0.48	提升50%
显色指数(RA)	28	80	提升185.7%

(1)节能率实测数据对比:改造后稳定运行3个月,日均耗电量降至320kWh,结合下表数据计算,综合节能率达63%,远超预期目标(25%)。(2)经济性分析:初期总投资218万元(含设备、安装、平台建设);改造后年电费节省约18.9万元(按0.6元/kWh计算),年维护成本从8.5万元降至2.2万元(LED寿命长、故障少),经公式计算投资回收期约8.2年,全生命周期(10年)总成本较改造前降低42%。(3)用户满意度调查:通过线上问卷(收回有效样本826份)与线下访谈,92%的驾驶员认为“夜间路面辨识度提升”,87%的行人反馈“无眩光刺眼问题”,故障率从改造前的12%/年降至1.5%/年,整体满意度达89分(百分制)。

### 3.4问题与改进建议

(1)技术适配性不足:该城市年均阴雨天数约120天,阴雨期太阳能供电占比仅15%(晴天占比40%),建议后续在多雨地区增加太阳能电池板功率(如升级至30W),并优化储能电池充放电逻辑,

延长续航时长。(2)初期投资成本回收周期长:8.2年回收期超出部分城市预期(通常6年以内),建议联合政府推出“节能改造补贴”(如覆盖30%初期投资),或采用“合同能源管理(EMC)”模式,由节能服务公司承担投资,分享节能收益。(3)标准化与模块化推广障碍:当前智能控制模块接口不统一(如不同品牌调光器无法兼容),建议行业制定《路灯智能控制设备接口标准》,统一数据传输协议与安装规范,降低规模化改造的适配成本。

## 4 结束语

综上所述,本研究围绕路灯照明系统节能改造与能效评估展开,通过深入剖析现有系统问题,提出并实施了一系列切实可行的节能改造措施,如更换高效节能灯具、引入智能控制系统等。经实践验证,改造后的系统在节能效果上成效显著,有效降低了能源消耗与运营成本。同时,构建的能效评估体系为系统性能量化分析提供了科学依据。未来,将持续优化改造方案,推动路灯照明系统向更加绿色、智能、高效的方向发展,助力城市可持续发展。

### [参考文献]

- [1]赵瑞阳,许和明,同刚.智能家居系统在项目现场路灯改造中的应用实践[J].科技与创新,2025,(08):32-35.
- [2]骆芳芳.存量设施智慧化改造下路灯低压直流配电系统研究[J].照明工程学报,2021,32(03):186-188.
- [3]石卓勇,宋亚菲.路灯照明节约用电的经验研究[J].石子科技,2020,(04):38-39.
- [4]余佳鑫,黄金福,王新军.工业园区路灯监控系统智能化改造[J].机电工程技术,2020,49(06):69-70.
- [5]刘晓营,曹世超.路灯智能监控技术在节能改造中的应用[J].数字技术与应用,2020,38(01):37+39.