

LED 路灯改造工程的综合效益分析与路径优化研究

Research on Comprehensive Benefit Analysis and Path Optimization of LED Streetlight Renovation Project

聂永雄 | Nie Yongxiong

肇庆市高要区路灯管理所, 广东 肇庆 526100

(Street Lamp Management Office of Gaoyao District, Zhaoqing City, Zhaoqing 526100, Guangdong Province, China)

DOI: <https://doi.org/10.71411/rae.2026.v2i2.0000>

摘要: 本文以广东省肇庆市高要区大规模 LED 路灯改造工程为研究对象, 通过改造调查、聚类分析等方法, 对两期工程 (分别采用 BT 模式和 EMC 模式) 的实施过程、验收数据及节能效果, 进行深入比较, 旨在探讨不同改造模式的适用性与经济性, 并对改造项目进行了多维度的效益评估。研究发现, LED 路灯改造效益体现在三个方面, 兼具现实效益和长远价值。并对两种模式进行了有益探索, 提出路径优化建议。

关键词: LED 路灯改造; 节能效益; 合同能源管理; 城市照明

Abstract: This paper takes the large-scale LED streetlight renovation project in Gaoyao District, Zhaoqing City, Guangdong Province as the research object. By adopting the methods of renovation survey and cluster analysis, it makes an in-depth comparison on the implementation process, acceptance data and energy-saving effect of the two phases of the project, which adopt the BT mode and EMC mode respectively. This study aims to discuss the applicability and economic efficiency of different renovation modes, and conducts a multi-dimensional benefit evaluation on the renovation project. The research results show that the benefits of LED streetlight renovation are reflected in three dimensions, with both practical benefits and long-term value. It also conducts a beneficial exploration of the two modes and puts forward suggestions for path optimization.

Key word: LED streetlight renovation; energy-saving benefit; Energy Performance Contracting (EMC); urban lighting

据统计, 我国照明用电占总用电量 12% 至 15% 左右。其中公共照明占比较高, 已成为地方财政不可忽视的刚性支出。传统高压钠灯虽光通量大、穿透性强, 但光效偏低、显色性差, 使用寿命较短, 后期运行能成本高。LED 高光效、

长寿命、可控性强、无频闪、启动迅速, 成为各地道路照明新建与改造工程的首选^[1]。本文以肇庆市高要区近年实施的大规模 LED 路灯改造项目为案例, 对其节能效果、经济效益和社会价值进行系统分析。总结成功经验, 剖析潜在问题, 并将“双碳”目标与智慧城市潮流相结合, 探讨优化改造路径的对策, 以期为各地城市开展照明节能工作提供参考。

1 改造前区域照明能耗现状与政策驱动分析

1.1 改造前照明系统能耗及运维负担

在实施 LED 改造前, 高要区 (原高要市) 城市道路照明系统面临着严峻的能源与财政压力。城区及各镇共拥有各类路灯 9100 余盏, 光源全部为传统高压钠灯。为兼顾照明需求与节能考量, 在运行模式上采用了一种分时控制策略: 每日 18:00 开启, 双侧照明至 23:00, 后换单侧照明至次日 7:00。经测算, 全区域路灯的年总耗电量仍高达约 1000 万千瓦时。按照当时约 0.8 元 / 千瓦时电价计算, 财政每年支出电费接近 800 万元。这笔巨大的开销, 无疑是一个沉重的负担。若不对既有高能耗照明系统进行根本性改造, 这一用电负荷和财政支出还将呈刚性增长态势, 将制约城市的可持续发展^[2]。

1.2 政策导向与区域产业发展的双重驱动

肇庆市政府高度重视 LED 照明改造推广工作, 多次召开专题会议进行部署。时任省领导在相关会议上也明确指出, 必须先公共照明领域, 即由政府财政投资建设的道路、政府机关、企事业单位照明工程中, 完成 LED 照明的推广应用。这一系列政策导向, 为高要区开展大规模路灯改造提供了明确的行动指南和强有力的组织保障。与此同时, 肇庆市也对推广 LED 照明产品工作成效纳入了考核体系, 并制定了具

体的任务目标。在此背景下, 高要区积极响应, 迅速行动, 将全区 17 个镇 (街道) 共计超过 11318 盏路灯纳入改造规划。这一举措不仅是对上级政策的坚决落实, 更是结合本地实际, 希望通过终端应用市场的强力拉动, 为本地区的 LED 产业链创造市场空间, 培育新的经济增长点, 实现节能减排与产业升级双赢。

3 分阶段实施的不同改造模式与工程实践

基于对既有路灯能耗现状的深刻认识和各级政府的明确要求, 高要区路灯管理部门审时度势, 决定采取分阶段、差异化的策略推进 LED 路灯改造工程。针对不同区域、不同规模和不同条件的改造对象, 分别引入了“建设 - 转让” (简称 BT) 模式和“合同能源管理” (简称 EMC) 模式, 以探索最优化、最经济的改造路径。

3.1 第一期工程: BT 模式下的快速试点与经验积累

第一期 LED 路灯改造工程主要覆盖高要城区核心区域, 东至江口大桥及祈福大道, 西至清湾基, 南至湖西路, 北至沿江路。该区域路网结构相对完善, 路灯数量集中, 且属于政府直接管辖范围。鉴于该期工程具有一定的试点性质, 且需要快速见效, 经批准, 决定采用 BT 模式进行实施。

BT 模式的核心在于, 中标企业负责筹措项目资金及工程待工程竣工验收合格后方可组织实施。由政府按合同约定分期支付工程款项并回购项目资产。在此模式下, 工程最终中标价为 1116.08 万元, 计划改造路灯 3429 盏, 实际实施中因部分路段优化调整, 最终安装 LED 灯具 3612 盏, 包括街灯 2681 盏、政府大院及城区巷灯 931 盏。该模式的优势在于能够有效缓

解政府短期内集中投入的资金压力，并利用企业的专业优势加快工程进度，积累了宝贵工程管理和验收经验。

3.2 第二期工程：EMC 模式下的深度节能与风险共担

在总结第一期 BT 模式经验的基础上, 针对改造范围更广、涉及镇区更多、情况更为复杂的第二期工程(覆盖剩余未改造区域及下辖各镇), 决策层选择了一种更为市场化的合作模式——合同能源管理(EMC)模式。

EMC 模式是一种节能新机制。在该模式下, 节能服务公司为项目提供包括能源审计、项目设计、设备采购、施工安装、运行维护在内的全过程服务, 并承担项目实施所需的全部前期投入。项目运行后, 双方通过合同约定, 以项目产生的节能收益 (节省的电费) 作为支付节能服务公司成本和利润的主要来源。此次第二期工程共改造路灯 5686 盏, 工程中标价为 2134 万元。

与 BT 模式相比, EMC 模式在节能效益上实现了更深层次的捆绑。对政府而言, 实现了“零投入、负风险”, 不仅避免了巨大的前期财政支出, 还将节能效果不达标的商业风险前移至节能服务公司。但对节能服务公司来说, 虽承担了前期的投资及运营的风险, 但通过其高效的技术和产品, 可以从长期的节能收益中获得稳定回报。这种“你节能、我受益”的双赢机制, 极大地激发了节能服务公司的技术创新和管理优化动力, 为实现更高节能率奠定了基础。

4 改造效果的多维度评估与对比分析

为科学、客观地评估两期 LED 路灯改造工程的实际成效，项目验收小组依据国家相关标准，组织第三方专业检测机构，对工程质量、照明效果、节电效益等关键指标进行了严格测试和数据分析。

4.1 照明质量与工程验收评价

在照明质量方面，验收工作聚焦于三个核心环节：一是对灯具性能的一致性进行抽检，确保实际安装产品在功率、光效、耐候性等关键参数上与省 LED 标杆体系目录产品一致，杜绝以次充好；二是对路面照度及照度均匀度进行现场实测，依据 CJJ45-2006《城市道路照明设计标准》对不同等级道路（主干道、次干道、支路）的照明指标进行评判；三是通过问卷调查等方式，征集市民主观评价改造后的灯光效果。

验收结果显示，所有抽检的 LED 灯具性能指标均符合合同及国家标准要求。路面照度及均匀度测试结果均达到或优于《城市道路照明设计标准》的规范要求。尤为值得一提的是，在市民主观评价环节，绝大多数受访者对改造后路面的亮度、均匀度、无眩光、整体美观度等方面给予了高度评价。这表明，LED 改造不仅实现了节能目标，更从根本上改善了道路的照明品质，为市民夜间出行提供了舒适、安全的视觉环境。

4.2 节能效益的定量分析

节能效果是本次改造的核心目标,也是检验项目成败的关键。两期工程均采用了前后对比法进行节能量审核,即对比改造前后相同时间段内(考虑季节变化、天气影响等因素)的用电量^[3]。

第一期路灯改造项目采用 BT 模式的节能效果：通过抽查城区部分道路在当年 7-10 月与去年同期的电表数据，并进行现场同功率灯具替换后的实测对比，数据显示，改造后 LED 路灯的用电量相比原高压钠灯平均节约了 53.59%。这一结果不仅大幅超过了项目合同中约定的基本要求，也验证了 LED 灯具在实际运行环境下的卓越节能潜力。

第二期路灯改造项目采用 EMC 模式的节能效果：经专业能源审计机构审核，第二期项目边界内，改造前的高压钠灯年总耗电量（基准线电耗）为 688.90 万千瓦时。改造后，采用 LED 灯具的年耗电量骤降至 183.42 万千瓦时。据此计算，项目年节电量达到 505.48 万千瓦时，节电率高达 73.37%（详见下表）。这一节电率显著高于第一期项目，也远超合同中规定的 50% 的底线要求。按当时 0.8455 元 / 千瓦时的电价计算，相当于每年节省了电费支出 427.38 万元，平均每季度节省超过 106 万元（见表一）。

表1 完工验收节能量审核结论

项目 技术 指标	指标名称	项目实际情况	设计或改造
	年耗电量(万 kWh)	888.90	183.42
	年节电量(万 kWh)	505.48	

高要市第二期及各镇 LED 路灯改造项目完工验收时节能率统计结果：

经审计，该改造项目涉及《高要市审价：世光大道线路改造工程、世光大道（高要至肇庆公路）改造大花站、金渡大花站、金渡二中队、新会大道、肇江中路（河口桥至金渡大桥路段）、321 国道（小布大桥特设西线工程）、肇海公路段、272 省道（金渡镇至新会圩路段）、肇南客专防胀裂加固工程、南界上坊路（张堤路段）、堤涌路、韶广公路、石岐、沙湾各镇：金利、跃进、金渡、白土、阳北、坡头、那文、定边、白藤溪边、小布、绿步、河台、水东、大冲和沙市（程安乡）》路段共计 119 条。该项目总节约电费折合达 5656 套，节能量达 52.1 吨标煤折合 5676 套。

经现场核实，该改造项目总节约基础电量为 688.90 万千瓦时，改造后耗电量 183.42 万千瓦时，项目总节约节电量为 505.48 万千瓦时，节电率为 73.37%，电价按照 0.8445 元/千瓦时，年节省电费 427.01 万元，折合约 120.85 套。

4.3 不同改造模式的效益比较

两期工程显著节电率的差异，综合考虑了 LED 技术的先进性因素外，从侧面反映了不同合作模式对节能效果的潜在影响。BT 模式下，政府的投资回报主要体现在未来长期的电费节约上，其对项目长期运行中的节能表现优化动力相对有限。EMC 模式下，节能服务公司的利润完全依赖于项目生命周期内实际产生的节能收益。因此，为了最大化自身利益，节能服务公司有极强的动力去选择最高效的产品、进行最优化的系统设计，并通过更精心的维护来确保其长期的高效运行。这在一定程度上解释了为何 EMC 模式项目取得了更为出色的节能率。

5 综合效益的系统性剖析

5.1 经济效益：从电费节约到成本优化

一是直接电费节约。两期改造项目合计节约电费超过 500 万元 / 年，这是一笔极为可观的减支。二是维护成本大幅降低。高压钠灯平均寿命约为 1. 万至 2 万小时，而高品质 LED 路灯的设计寿命可达 5 万小时以上。这意味着在长达数年的时间内，LED 路灯几乎无需更换光源，极大地减少了日常巡检、高空作业车调用、灯泡更换、镇流器维修等运维工作量。据初步估算，改造后年度维护成本可降低 50%-60%。三是资产价值提升与财政压力缓解。无论是 BT 模式下分期回购，还是 EMC 模式下零投入改造，都显著减缓了政府财政支出压力。

5.2 环境效益：助力碳减排与循环经济

节电直接等同于减排。以第二期项目为例, 年节电 505.48 万千瓦时, 等于减少了化石能源的大量消耗。相当于每年减少大约 4000 多吨二氧化碳的排放。这对于地方政府完成上级下达的碳减排考核指标具有直接贡献。其次, 传统高压钠灯内含汞等重金属元素, 其报废处理存在环境污染风险。LED 灯具为全固体光源, 不含汞, 且铝质外壳、电子元件等材料回收利用率更高, 更符合循环经济发展理念^[4]。

5.3 社会效益：提升城市治理水平与公众满意度

一是提升了交通安全系数。LED 灯具显色指数高，能够更真实地还原物体本来颜色，且光线均匀柔和，无频闪，显著提高了驾驶员的视觉清晰度和行人夜间通行的安全感，有助于降低交通事故发生率。二是改善了居民生活品质。LED 灯光亮度更高，其色温也可根据道路等级和周边环境进行选择，创造出明亮舒适的

光线环境。这使得城市的夜间景观更具魅力。三是促进了节能意识普及。它向全社会传递了低碳的绿色发展理念，有助于引导和带动社会公众和企业非公共照明领域主动应用高效节能产品，在全社会形成节能减排的良好风气^[5-6]。

6 结论与展望：从改造项目到可持续发展路径

高要区两期 LED 路灯改造工程的成功实践，体现了公共领域节能管理模式的有益探索。项目依托多元模式、严格监管与数据验收，总结出了 LED 改造在经济、环境与社会层面的综合效益。基于实践经验，为深化城市照明节能工作，提出以下优化建议：

（一）健全质量监管机制。节能成效的根本保障是质量。应构建覆盖“产品准入—安装施工—运行监测—效果评估”的全过程监管链条，严格执行 LED 标杆产品目录制度，强化进场产品一致性检测。

（二）创新商业模式应用。财政条件允许且需求明确时，可沿用 BT 或政府采购模式；对

于覆盖面广、节能空间大的区域，可优先考虑 EMC 模式^[7]。针对不同改造场景，灵活选择合作方式，借助市场化手段实现风险共担与效益共享双赢局面。

（三）促进产业链协同。推广应用 LED 产品应与本地产业发展相结合。通过终端市场需求的拉动，吸引上下游企业在区域内集聚，逐步完善产业链条，推动本地经济发展。

（四）融入智慧城市建设。城市照明正从绿色化迈向智慧化。未来 LED 路灯不仅是节能照明终端，在智慧城市中更能成为一个重要的节点。因此，应超前布局，推动路灯改造与智慧城市建设同步规划，构建集节能、智能、多功能于一体的新一代城市公共照明网络。

综上所述，城市道路照明 LED 改造是一项兼具现实效益与长远价值的系统工程。高要区的实践证明，坚持科学规划、模式创新、质量为本，并主动融入数字化转型，就能将节能压力转化为发展动力，为实现“双碳”目标贡献市政力量。

参考文献：

[1] 努尔尼沙·阿不力米提. 智慧路灯在城市道路照明中的应用 [J]. 灯与照明, 2025, 49(04): 70-72.

[2] 吴敏. 路灯更亮了电费更少了 [N]. 中国政府采购报, 2025-09-09(008). DOI: 10.28071/n.cnki.ncgcg.2025.001288.

[3] 周士浩, 樊月波, 金晓静, 等. 上海市嘉定区道路照明节能改造的效果提升与减碳量分析 [J]. 中国照明电器, 2024, (07): 92-95+103.

[4] 吴明成. 探究 LED 路灯在城市道路照明中的应用 [J]. 电子世界, 2021, (10): 194-195. DOI: 10.19353/j.cnki.dzsj.2021.10.087.

[5] 黄茅. 市政道路 LED 路灯的应用与优化 [J]. 灯与照明, 2025, 49(04): 34-36.

[6] 周蓓蓓. LED 路灯在城市道路照明中的应用研究 [J]. 建材与装饰, 2019, (01): 98-99.

[7] 蔡子韬. 基于合同能源管理模式的深圳市路灯节能改造创新实践研究 [J]. 智能建筑电气技术, 2025, 19(06): 133-137. DOI: 10.13857/j.cnki.cn11-5589/tu.2025.06.029.