

# LED 路灯在公路工程中的应用探究

文 / 林 波 昆山市鹿通交通安全设施有限公司

**摘要：**公路照明是保障交通安全与实现现代化运营管理的关键组成，其性能水平直接影响夜间道路的通行能力、行车安全性以及公众的出行感受。LED 技术凭借其在发光效率与控制能力上的本质优势，不仅展现出显著的节能环保前景，也肩负着引领道路照明向智能、精细与人本化方向升级的重要使命。由此，系统研究 LED 路灯在公路建设中的实际作用、当前面临的难题以及未来发展趋势，对于增强我国公路网络的综合服务能力和可持续性发展水平具有关键意义。

**关键词：**LED 路灯；公路工程；照明

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.076

## 引言

照明技术的发展历程与人类提升公共空间安全及效率的需求始终密切相关。在道路照明系统中，从最早的白炽灯光源，到后来广泛应用的高压钠灯和金属卤化物灯，每一代照明产品的更新都体现了光效和寿命方面的显著进步。LED 技术由于具备快速启停、精准光型分布和数字化调控等特点，为打造更安全、舒适、节能且智能的当代道路照明系统提供了新的技术支撑。因此，系统研究如何最大程度释放 LED 路灯的应用潜力，并有效解决其在大规模实际应用中出现的各类问题，已成为促进公路交通基础设施向更高质量迈进的重要研究方向。

### 一、LED 路灯技术特殊性

#### （一）高光效与低节能

LED 路灯的核心优势在于其出色的光电转换效率，即高光效，这直接带来了显著的节能效果。与传统照明依赖加热灯丝或激发气体发光不同，LED 属于半导体发光器件，其发光机制源于半导体材料中电子与空穴复合时直接产生光辐射。这种电致发光原理从本质上减少了能量以热形式的浪费，使电能更多地转化为有效可见光。因此，在达到同等照明亮度时，LED 路灯的功率消耗明显低于高压钠灯、金属卤化物灯等传统道路光源。这种高效的能源利用不仅降低了照明系统的运行成本，缓解了供电压力，更在整体上符合绿色低碳的发展导向。凭借低能耗特点，LED 路灯为公路与城市照明的应用提供了一条经济可行且环境可持续的路径，节能表现也成为其得以广泛推广的关键动因。

#### （二）优异的耐久性与光通维持性能

LED 路灯的另一个重要技术优势在于其理论使用寿命极长，且具备出色的光通维持性能。与依赖灯丝或气体发光的传统光源不同，LED 属于固态光源，其寿命通常不由突然失效决定，而是以光输出随时间的衰减程度来评判。由于发光过程中不存在电极消耗或玻璃外壳老化问题，LED 的使用年限显著超过常规照明产品。

实现长久寿命的核心在于有效地散热控制。尽管 LED 被归类为冷光源，但在电光转换中芯片仍会发热，

若热量无法及时导出，将引起结温上升，加速光衰并影响寿命。因此，优质 LED 路灯通常配备精密散热系统，如铝制鳍片与热管组合，确保芯片热量快速传导至外界空气中，使结温始终保持在较低水平。

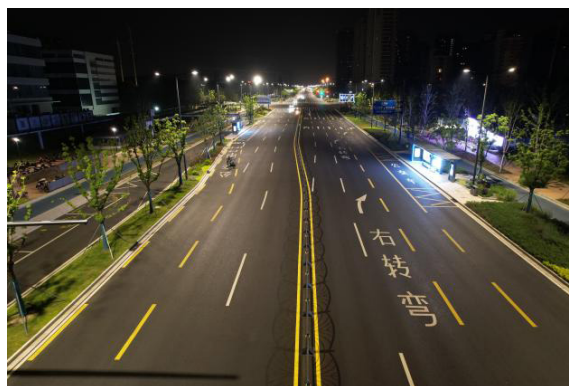
可靠的热管理使 LED 在运行数千至数万小时后仍能保持较高的亮度输出，从而显著减少了维护次数与更换成本，为公路照明系统提供了持久稳定的支持。

#### （三）数字化可控性

LED 路灯的数字化可控性是支撑其智能化应用的基础特性。与传统光源仅能实现简单的开关操作不同，LED 能够通过外置驱动电路，实现对亮度、发光时序乃至光谱组成的精确调节。这一特性使其成为构建智能道路照明系统的理想光源。

基于数字可控性，LED 路灯可灵活实施多种节能运行策略。例如，在后半夜车流稀少时段，系统可按预设程序自动调低亮度，或在特定路段采用“随车亮灯”的按需照明模式。结合传感与通信技术，路灯可组网形成统一的智能管理平台，实现远程监控、故障自动报警、能耗精准统计等功能。

这种智能化管理显著提升了运维效率。管理人员无需亲赴现场即可掌握全线照明状态，及时发现问题并定位，从而大幅缩短维护响应时间，降低人工巡检成本。智能调控在实现二次节能的同时，也避免了传统照明“过亮”或“长明灯”造成的能源浪费，使照明服务更加精准高效。



因此，LED路灯的智能化维度不仅拓展了节能空间，更推动了公路照明从单一照明功能向综合感知、高效管理与精细化服务的方向演进，为智慧公路基础设施建设提供了关键支撑。

## 二、LED路灯在公路工程中的制约因素

### （一）高投资成本

LED路灯在长期使用中能够带来显著的节能效果，然而其较高的前期投入成本，尤其是在大规模公路工程项目中，仍是推广过程中的主要制约因素。与常规高压钠灯相比，优质LED路灯的单灯价格通常更为昂贵。这主要源于其并非简单替代型光源，而是融合了光学、热学与电子技术的综合性系统。其成本不仅包括LED芯片本身，还涉及确保性能稳定和寿命所需的关键组成部分，如精密的热管理结构、高效驱动电源模块以及优化光分布的二次光学设计。

在延绵数十至上百公里的公路新建或改造项目中，灯具需求规模庞大，因此前期设备支出成为不可忽视的负担。项目决策者常需在短期资金压力与长远经济效益之间进行权衡，尤其在预算受限的情况下，较高的初始投资可能直接制约其规模化应用。因此，如何通过技术升级进一步压缩制造成本，或借助更具说服力的全周期经济性评估来转变以初始报价为导向的采购决策习惯，已成为推动LED路灯广泛落地的重要课题。

### （二）热管理与使用寿命的关键性挑战

LED作为一种半导体发光器件，在运行中会产生热量，且本身对工作温度十分敏感。如果散热效率不足，未能将热量快速导出并散发至环境空气中，LED芯片的结温便会显著上升。

结温过高将引发多重问题：一方面会造成光电转换效率下降，即在输入功率不变的情况下，实际光输出因温度升高而减弱，照明效果大打折扣；另一方面，高温还会加速芯片与封装材料的光衰，使光通维持率迅速降低，导致实际使用寿命远低于理论数值，同时驱动电源等关键部件的可靠性也会受损。

公路照明环境复杂，灯具需耐受昼夜及季节性温变，甚至极端气候条件，因此对其散热结构的稳健性要求极高。散热材料的选用、形态的工程设计，以及与驱动电路的协同匹配，均需经过精密仿真与实测验证。任何散热环节的不足，都将在长期运行中逐渐显现，最终影响整个照明系统的稳定性与经济性。

### （三）产品质量影响选型

当前LED路灯行业市场准入条件相对宽松，吸引了众多生产企业涌入，导致各家在技术能力、制造工艺与品控标准上差异显著。部分企业为占据低价市场优势，可能选用光效、显色指数及耐久性均较差的中低档芯片，难以满足道路照明功能与可靠性需求。

更为隐蔽的质量风险存在于关键组件上的成本削减行为。例如采用散热性能不足的散热器，或使用电路简化、

元件劣质的驱动电源，这些都将直接引发灯具过早出现光衰甚至成批失效。从用户角度而言，公路项目建设与设计方往往缺乏有效手段在选型阶段准确判断产品内在质量，大多依赖厂商提供的检测报告或短期样品演示，存在明显的质量信息不对称。

若在项目中误选质量不可靠的产品，不仅无法实现节能降耗与长效运行的初衷，还可能因后期频繁维护更换大幅增加运营成本，甚至因照明效果下降对道路交通安全形成潜在威胁，最终导致更大的经济与社会损失。

### （四）系统互通成为智能化核心瓶颈

LED路灯的调光能力为其智能化应用奠定了基础，但实现规模化路网的精准调控需依赖一套稳定的智能管理系统。该系统通常由安装在每盏灯上的控制单元、区域集中管理器、通信网络及后台管理平台共同构成，其本身在建设及运维上就具有较高复杂性。

目前市场上各厂家采用的设备规格与通信标准往往不一致，容易造成系统间互联困难，形成数据隔离，为后续的系统整合、功能扩展及长期维护带来挑战。这一现状很大程度上源于行业内尚未建立统一的通信协议、数据接口及功能规范的国家强制标准，导致技术方案多样化，增加了用户的选型难度与项目风险。

此外，智能系统的引入也带来了新的安全威胁，如网络攻击可能导致区域照明失效，影响公路正常运行。同时，系统产生的大量运行数据如何有效挖掘，以及如何制定科学的调光策略以兼顾行车安全与节能效果，这些问题都对管理方的技术能力和运维水平提出了超越传统照明管理范畴的更高要求。

## 三、LED路灯在公路工程中制约因素的解决方案

### （一）强化全周期经济性评估

为应对LED路灯初始投资较高的挑战，核心在于推动采购决策思路的转型，即从仅关注前期购置成本转向全面评估其全周期经济价值，并配合灵活的融资机制支持。首要工作是构建并应用科学完整的全生命周期成本分析体系，该体系需系统核算项目建设、运营至报废处置各阶段相关成本，重点衡量LED路灯在十年或更长时间内因节能效果显著、使用寿命延长及可靠性提高所减少的电费与维护更换开支。

通过这种长周期、动态化的经济分析，可清晰向决策方表明，尽管前期投入较大，但其整体持有成本通常低于传统照明方案，具备明显的长期经济合理性。与此同时，应积极拓展项目融资渠道。在政府投资的公路项目中，可引入节能效益保证型合作模式，由能源服务公司先行出资实施改造，政府再以未来实现的节能收益分期偿付，缓解初期资金压力。针对经营性公路，则可把照明系统效益纳入运营成本统筹考量，申请绿色信贷等专项金融支持。通过拉长评估周期并将融资与节能实效挂钩，能够有效突破初始投资高的决策障碍，促进资源更高效配置。

## （二）引领材料与结构的协同创新

提升LED路灯散热能力的根本途径在于持续推进技术研发，核心方向是开发新型导热材料并完善系统层面的热控制体系。首先应在光源模块级别着力提高电光转化效率，从发光源头降低热量生成。产学研各方可加强协作，深入研究氮化镓等第三代半导体材料的应用前景，通过提升芯片的量子效率，使输入电能尽可能转化为光输出而非无效热能。

在材料领域，需积极引入热导性能更优异的创新型材料，如金属基复合材料替代常规铝合金，或在关键导热路径中使用石墨烯薄膜等纳米材料，大幅增强热量由芯片向周围介质传递的效率。

结构设计方面，需突破传统翅片式散热的局限，向多物理场耦合的系统方案演进。可借助热管、均温板等被动散热技术实现热量的高效输运与均匀分布；利用流体仿真手段优化散热器形态与气流组织，提升自然对流或强制风冷的效果；还可将散热需求与灯具造型、杆体结构进行一体化设计，通过增大有效散热面积增强自然冷却能力。通过材料革新与结构设计的协同创新，方能实质性增强LED路灯在复杂工况下的热稳定性能。

## （三）优化市场价格环节与监管机制

治理当前LED路灯市场乱象、保障项目选型可靠性的根本举措，在于建立一套覆盖标准制定、产品认证与市场监管的闭环质量治理体系。国家层面应尽快健全并强制实施更为全面的技术标准，除基础光电性能（如光效、显色指数与色温一致性）外，还需重点纳入关乎长期可靠性的关键指标——例如明确规定在高温环境下持续运行数千小时后的光通维持率，以淘汰那些仅注重初始亮度却缺乏耐久性的产品。

同时，标准应对驱动电源的能效、功率因数及使用寿命提出明确要求，并对散热器材质与结构设计制定具体规范。在此基础上，应大力推动权威第三方检测认证，实施节能标识或高性能产品认定等标志性制度，为采购方提供直观、可信的筛选工具。

市场监管部门需持续加强对在售产品的抽样检查，并公开检测结果，建立不合格企业及产品清单，形成长效约束机制。通过标准引领、认证甄别与监管约束多方协同，可有效净化市场环境，引导形成优质优价的良性竞争生态，帮助用户放心决策，推动行业整体迈向高质量发展。

## （四）推动产业标准化与生态化协同发展

为解决LED路灯智能控制系统在整合过程中面临的技术与管理难题，需从顶层设计着手，积极推进通信协议与数据规范的标准化，并着力构建开放协作的产业生态。行业主管部门应协同骨干企业及科研机构，加快

制定适用于全国或行业范围智能路灯通用技术要求。该规范应以实现设备兼容与数据互通为目标，明确开放型通信接口标准，使不同厂商的硬件设备与软件平台能够顺畅对接；同时统一数据定义、设备标识与核心功能架构，为系统间的数据采集、交互与集成应用奠定基础。

在标准框架下，应推动软件平台向模块化、服务化方向发展，使底层控制功能与上层应用服务相互分离。鼓励第三方开发专注于能效优化、运维管理或数据分析的专业应用，并支持其以“插件”形式灵活接入统一管理平台，形成良性互补的产业创新格局。

此外，需对系统全生命周期的网络安全、数据隐私及故障冗余保护提出明确的技术与管理要求，确保智能化升级过程安全可控。通过标准化降低系统集成门槛，以开放架构促进技术迭代，才能实现LED路灯智能化应用的持续健康发展。

## 结语

总体而言，LED路灯在公路领域的应用成效已清晰显现，其综合性能与未来发展潜力明显优于传统照明方式。高效的光电转换能力和灵活的智能控制特性，正成为推动公路照明质量提升与绿色升级的关键力量。

虽然在初始投资、技术完善度和系统集成等方面尚存挑战，但依托持续的技术进步、更全面的全周期成本评估、严格的质量标准建设以及健康的产业链协同，这些问题预计将逐步得到解决。随着半导体光效和智能网联技术的持续迭代，未来的LED路灯将超越基础照明功能，逐步发展成为智慧公路系统中具备环境感知、信息交互与服务赋能能力的重要基础设施单元。

因而，稳健推进LED路灯的规模化部署与智能化升级，持续优化相关技术标准与应用模式，对于构建更安全、高效、绿色和智能的现代公路交通体系具有重要而深远的战略价值。

为此，有必要将LED路灯的部署纳入智慧交通建设的整体框架，强化其与车路协同、智能感知等系统的深度融合，使其从单纯的照明设施演进为支撑公路数字化、网联化发展的关键节点，为未来自动驾驶、智慧出行等高级应用奠定坚实的路侧基础。

## 参考文献

- [1] 黄茅. 市政道路LED路灯的应用与优化[J]. 灯与照明, 2025(04): 34-36.
- [2] 李瑞华, 刘建国. LED路灯在节能环保中的应用与技术优化[J]. 中国照明电器, 2025(07): 158-161.
- [3] 葛明. LED路灯在城市照明中的应用及经济效益研究[J]. 灯与照明, 2025(03): 20-22.
- [4] 龚冠彩, 龚冠云. LED路灯在市政道路照明中的应用研究[J]. 光源与照明, 2024(03): 13-15.