

智能照明系统在城市道路照明中的应用研究

王乐奔

浙江大丰数艺科技有限公司 浙江杭州 310020

摘要: 随着城市化进程的加快,道路照明需求持续增长,传统照明系统在能效管理、智能控制与运维效率方面暴露出诸多短板。智能照明系统依托感知控制、网络通信与能源管理等关键技术,已在城市道路照明中展现出显著的节能降耗与智能管理优势。本文结合实际应用场景,重点分析了自适应调光控制、无线远程管理、能耗监测与复合照明终端等应用路径,阐明智能照明系统在提升城市照明效能与支撑智慧城市建设中的实践价值。

关键词: 智能照明系统;城市道路照明;自适应控制;能源管理;物联网通信

城市道路照明是城市运行不可或缺的重要基础设施,其建设水平直接关系到交通安全、市容形象与公共能耗水平。近年来,面对用能紧张与管理效率要求提升等现实问题,城市照明系统的智能化转型日益迫切。依托物联网、传感控制与数据分析等新兴技术,智能照明正在逐步取代传统模式,推动照明从“照明功能”向“综合服务平台”转变,成为智慧城市建设的重要支撑载体。

1. 城市道路照明现状分析

传统道路照明系统广泛采用高压钠灯或金卤灯,存在能效低、控制方式单一、维护成本高等问题,普遍缺乏感知与调节能力,造成能源浪费与管理滞后。随着智慧城市建设推进,城市对照明系统提出了更高的智能化与节能化要求,引入感知控制、无线通信与远程管理等技术,成为提升运行效率、实现按需照明的重要路径^[1]。部分城市已试点部署智能路灯,实现了节能、远控和故障预警功能,但整体仍处于探索阶段,系统集成度不高,标准化不足,亟需技术优化与政策引导,推动智能照明系统全面落地与规范发展。

2. 智能照明系统关键技术研究

2.1 自适应照明控制技术

自适应控制技术是智能照明系统中实现节能与安全并重的关键环节。系统通过部署多类型传感设备,如微波雷达、红外传感器、摄像头与光照传感器等,实现对车流密度、行人活动与环境亮度的同步监测。控制中心接收数据后,根据照明策略模型,自动调整LED灯具的功率输出,使照度水平动态适配当前道路使用状态。

在深夜车流低于100辆/小时的路段,系统可将照明功

率降低至额定值的40%左右;在高峰路段,当车流密度超过每分钟30辆时,亮度自动提升至90%以上。部分系统配备基于模糊逻辑或神经网络优化的控制算法,可根据历史交通规律进行预测性调光,实现照明与道路运行状态的精准匹配,节能效果普遍在30%~45%之间。

2.2 高效能源管理技术

能效管理技术贯穿于智能照明系统的实时运行与长期评估中。终端节点配置有能耗采集模块,采集电压、电流、功率因数等数据,每15分钟上传一次运行参数。系统后台基于能效阈值对运行状态进行自动诊断,对异常能耗点及时预警。

能源管理平台支持分区照明能耗统计与日/周/月趋势分析,帮助运维人员发现光源老化、电源波动等问题。针对功能性差异明显的区域,如快速路、住宅区、商业街,系统可设定不同照度曲线与运行时长,实施差异化控制策略。杭州某智慧照明项目在引入动态分区控制后,全市主干道年均电能消耗减少约2700万千瓦时,运行效率显著提升^[2]。

2.3 智能网络通信技术

高效稳定的通信系统是智能照明架构的基础支撑。系统多采用ZigBee、LoRa或NB-IoT协议搭建无线网络,具备低功耗、广覆盖、高节点容量等优势。NB-IoT在500米至5公里范围内具备良好穿透能力,特别适用于高密度城区及隧道等封闭场景;LoRa则因其自组网特性,在山区道路和桥梁区域得到广泛应用。

通信模块集成于灯控终端,实现照明控制命令、能耗数据、故障信息的快速传输。平台后台可远程控制灯具开关、

调光等级,并在发生故障(如电流突变、电压跌落)时自动触发报警与定位。系统数据传输采用 AES-128 加密标准,保障通信安全,部分系统引入双通道冗余机制以提升抗干扰能力和系统可靠性。

2.4 系统集成与互操作性

智能照明系统通常由不同厂商设备、传感平台与控制系统构成,具备良好互操作性与模块集成能力,是实现系统稳定运行的关键。系统需支持多种标准通信协议(如 Modbus、TCP/IP、RS485)与设备接口协议,通过统一数据接口实现照明系统、视频监控、交通诱导与环境感知系统的联动控制。

平台侧通过中台架构整合多源数据,实现接口统一、协议转换与逻辑编排,形成标准化、高兼容的数据集成环境^[3]。在照明系统中引入边缘计算节点,可在本地实现感知数据的快速处理、设备级调光决策及断网保护逻辑,提升系统响应速度与独立运行能力。

3. 智能照明系统在城市道路照明中的应用

3.1 基于交通流量感知的智能调光控制

城市道路照明受车流、人流与光照条件影响显著,传统定时控制难以适应动态需求,易造成能耗浪费或照度不足。智能照明系统通过部署微波雷达、视频设备与光照传感器,实时感知道路状况,并依据设定阈值自动调节照明强度。在车流稀少时降低功率至 30%-50%,高峰期恢复至满负荷,提升能效与安全性。部分系统结合历史数据与自学习算法,动态优化调光策略,实现照明精准响应与节能并举。

以某大型城市快速路照明系统为例,智能调光方案实施后,夜间照明平均功率下降 42%,设备故障率明显减少,且通过提升亮度响应速度,夜间交通事故率较改造前降低约 18%。该类调光机制不仅提升了系统运行效率,更通过数据驱动的主动管理思维,为城市节能与智慧运行提供了有力支撑。

3.2 无线通信与远程集中管理技术的集成

智能照明系统的网络通信能力是实现集中控制和精准运维的基础。无线通信协议如 LoRa、NB-IoT 具备广覆盖、低功耗、抗干扰强的特点,能够满足大规模照明终端的数据交互需求^[4]。照明节点通过内嵌通信模块与控制中心互联,实现设备状态实时上报、控制指令远程下发、运行数据自动采集,构建起完整的系统控制闭环。

管理平台基于 GIS 地图展示照明布局与运行状态,支持区域照明策略制定、设备统一调度和多维数据分析。当照明设备出现故障、电压异常等情况时,系统能够自动报警并定位异常节点,提升了响应效率与维护精准度。在应对交通事故、临时封道等突发情况时,平台可快速调整特定路段照明策略,保障现场照明需求。

无线通信系统在基础设施复杂或老旧区域的应用效果尤为突出,无需铺设电缆即可完成照明控制改造,减少施工成本与周期。对于高架桥、隧道、跨区域道路等场景,系统通过信号中继确保通信稳定性,实现各类场景下的全面覆盖与统一管理。

3.3 能耗监测与节能效果评估系统的嵌入

实时能耗监测技术是提升照明系统能效的重要支撑。智能照明系统通过内置电能计量模块,获取每个照明节点的用电数据,并同步上传至管理平台。系统根据区域、时段、负荷等维度对照明能耗进行综合分析,识别异常能耗设备,优化运行策略,提升能效利用水平。

部分城市已将智能照明系统纳入综合能源管理平台,实现照明数据与市政建筑、交通等其他基础设施的能源联动管理,构建城市级能源监测体系。节能效果可通过能耗对比、照明效率评估等方式量化反映,为后续投资决策与政策制定提供依据。

3.4 多功能复合照明终端的拓展应用

智能照明终端正逐步演化为具备多种城市功能的综合感知平台,在标准照明灯杆上集成环境监测模块、摄像头、信息发布屏、无线网络接入点、5G 基站等设施,可实现对城市运行环境的多维感知与数据汇聚^[5]。通过统一供电与通信协议,系统支持对各功能模块的集中配置与远程运维。

多功能灯杆广泛部署在主干道、景观大道、学校周边等区域,不仅提高了空间利用效率,还减少了多类基础设施的重复建设。在智慧交通、城市安防、应急管理等领域,多功能灯杆发挥着越来越重要的作用。例如,在极端天气或突发事件中,系统可同步推送应急信息、采集现场图像,并通过语音广播协助人群疏导,显著提升了城市应急联动能力。

平台通过统一的后台系统管理各类传感数据,实现功能整合、信息共享和资源联动,为构建“可感知、可响应、可调控”的智慧城市照明系统奠定基础。多功能照明终端已成为推动城市智能基础设施融合化、一体化发展的重要载体,

展现出良好的扩展性与应用前景。

总结：智能照明系统在城市道路照明中的应用不仅是技术升级的表现，更体现了城市治理理念从粗放管理向精细调控的深层转变。通过构建感知精准、响应高效、管理可控的照明网络，城市照明不再是单一能源消耗单元，而成为服务民生、支撑城市智能运行的重要基础。未来，随着城市数字化水平不断提升，智能照明系统将在跨领域融合中释放更大潜力，助推城市建设向绿色、高效、智慧方向持续迈进。

参考文献：

[1] 袁广明. 防撞预警路灯在城市照明中的应用研究 [J].

中国照明电器,2024(11):117-119.

[2] 周旭良. 基于物联网的城市道路 LED 路灯照明智能控制系统研究 [J]. 光源与照明,2024(8):48-50.

[3] 范红梅. 智慧城市道路照明系统关键技术研究与应用 [J]. 光源与照明,2024(4):38-40.

[4] 刘治奉. 城市道路照明智能化管理控制系统研究 [J]. 百科论坛电子杂志,2024(13):100-102.

[5] 王申辰,姚铭峯,宁磊. “双碳”背景下智慧照明系统的研究与应用 [J]. 深圳职业技术学院学报,2024,23(4):72-79.