智能调光控制系统在 LED 路灯节能运行中的应用研究

蒋景华
梧州市路灯管理处，广西 梧州 543000

[摘要]伴随城市化进程日益加速，道路照明用电量不断上扬，传统照明系统因存在能耗高与管理效率低等毛病，已难以适应节能减排与智慧城市建设的双重诉求。LED 路灯依靠高效、长寿命的特性，在城市照明里大量应用，而智能调光控制系统让其节能潜力得以进一步提高。该文把 LED 路灯当作研究对象，探究了智能调光控制系统于实际照明运行中的节能成效与管理长处，审视了当前系统于应用中面临的问题，继而给出恰当的优化策略。依托案例分析与数据比对，核实了智能调光技术在促进路灯运行效率、降低能源消耗、延长设备寿命方面的显著成果，为城市智慧照明发展提供了理论借鉴与实践路子。
[关键词]LED 路灯；智能调光；节能控制；智慧照明；城市照明管理
DOI：10.33142/sca.v8i5.16432　　中图分类号：TM923.34　　文献标识码：A

Research on the Application of Intelligent Dimming Control System in Energy-saving Operation of LED Street Lights

JIANG Jinghua
Wuzhou Street Lamp Management Office, Wuzhou, Guangxi, 543000, China

Abstract: With the accelerating process of urbanization, the electricity consumption of road lighting continues to rise. Traditional lighting systems, due to their high energy consumption and low management efficiency, are no longer able to meet the dual demands of energy conservation, emission reduction, and smart city construction. LED street lights are widely used in urban lighting due to their high efficiency and long lifespan, and the intelligent dimming control system further enhances their energy-saving potential. This article takes LED street lights as the research object, explores the energy-saving effectiveness and management advantages of intelligent dimming control systems in actual lighting operation, examines the problems currently faced by the system in application, and then provides appropriate optimization strategies. Based on case analysis and data comparison, the significant achievements of intelligent dimming technology in promoting the efficiency of street lamp operation, reducing energy consumption, and extending equipment life have been verified, providing theoretical reference and practical path for the development of urban smart lighting.
Keywords: LED street lights; intelligent dimming; energy-saving control; smart lighting; urban lighting management

引言

伴随国家“双碳”目标的稳步推进与城市照明规模的持续扩大，怎样在保障照明质量的局势下，实现道路照明系统节能的高效化，成为城市建设的关键议题。LED 路灯凭借其高能效、长寿命等优点，正稳步替换传统高压钠灯，成为城市路灯更新的核心方向。仅仅依赖 LED 自身的节能属性，依旧难以满足不同时间阶段、不同环境情境下的动态照明渴望。智能调光控制系统的崭露头角，为 LED 路灯实现节能运行提供了更灵活且高效的解决途径[1]。该系统借助对环境光强、交通流量、时段等要素的综合察觉，实现对照明亮度的自动调控，由此极大减少能耗并改进运维管理效能。本文将以智能调光系统在 LED 路灯的实际应用为核心展开研究，审视其功能原理、节能的好处、应用现有的状态以及技术与管理上的瓶颈，并制定可行性的改良路径，以求为智慧城市照明建设提供参考例证。

1 智能调光控制系统的基本原理

智能调光控制系统是借助现代信息技术与传感技术的先进控制途径，目的在于依据环境变化自动调控 LED 路灯的亮度，从而达成节能、环保并增进照明质量的意图。该系统采用多种传感器与控制装置共同协作，及时捕捉环境光强、交通流量与时段变化等要素，实时调控路灯的工作情形，以此达成能效的最大化。

智能调光系统主要由传感器、控制器、通信模块及数据处理模块组成。传感器能采集环境光强、车流量、天气情况的相关信息，光敏传感器可察觉环境中自然光强度的变化。红外传感器可发觉周边有无行人或车辆经过，控制器可谓系统的核心构成部分。

通信模块可把路灯连接至中央控制平台，支持远程操作及实时监测工作。这让管理人员实时掌握路灯的运行状况，依靠数据分析实施优化变动。数据处理模块借助网络将传感器实时数据传输至中央服务器，系统凭借大数据分析找出最佳的照明策略，依照不同时间段、交通流量或天气情形调整亮度，防止了能源无端浪费的现象[2]。

智能调光控制系统的运行方式主要借助其智能化的反馈控制手段。光线强的时段，系统会自动把路灯的亮度调低，以实现削减电力消耗；若处于夜间或者光线微弱的

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

时候，系统会自动拉高亮度，保障道路的照明质量。智能调光系统可依据各时间段的需求进行个性化调整，就像在交通繁忙的时候调高亮度，于人流量少的时段调低亮度。采用这种办法，智能调光控制系统可切实降低能耗，还能提升 LED 路灯的使用期限，降低维护的次数。

2 智能调光控制系统存在的问题

2.1 系统硬件设备成本较高

实施智能调光控制系统，需投入大笔资金来完成硬件设备的采购与安装。这些硬件有高精度传感器、智能控制器、通信模块及其他相关配套设施等，其成本一般都偏高，尤其是高性能的传感器跟智能控制器。对某些资金不宽裕的城市或地方政府而言，没准会是实施智能调光系统的重大妨碍。此外，系统设备的维护及更换也需持续资金投入，某些老旧设施在设备升级期间大概会有兼容性问题，进而加剧了资金方面的压力[3]。以梧州市西环路节能试点为例，灯具采用了智能调光直流电源，通过不同时段控制直流电源输出功率，达到调光的目的，该方案虽然成本控制较好，但存在不可以远程控制调光系统，智能每次通过拆下直流电源，控制 PC 端口烧录调光程序后再安装回灯具内部，人力物力投入较大，管理效率低下。

虽然智能调光控制系统可实现能源节省及长期好处，但对于大量小型城市或地区，初期的资金投入依旧构成了不小的负担。为克服这一困境，政府与相关部门宜考虑运用分期投入、分阶段落实等形式，渐渐提升资金运用的效率。

2.2 传感器和控制系统的稳定性问题

尽管智能调光系统能根据实时环境的变化及时调整路灯亮度，传感器和控制系统的稳定性依旧是个亟待攻克的难题。面对不同环境条件，传感器也许会受到天气变化、环境污染、机械故障等因素的作用，造成数据采集精度降低。尤其是处于像大风、大雨这类恶劣天气或极端气候条件里，传感器有概率产生故障或延迟现象，阻碍系统实现正常运行。

控制系统的稳定性也面临考验。智能调光系统控制器必须马上处理大量传感器数据，然后依据算法调节灯光的强弱。若控制系统的处理速度与算法存在瑕疵，也导致路灯调光反应出现迟缓，甚至出现错误的调光调节。信号传输过程中或许会遭遇网络干扰，引发数据出现丢失或延迟，进而影响到系统的可靠程度与准确程度。因此，保障系统软硬件的稳定性，对智能调光控制系统的长效稳定运转意义重大。

2.3 网络通信问题

智能调光系统需依靠传感器与控制器间的通信传输。系统依靠无线通信或者有线网络，把传感器数据传递至中央控制平台，再依照控制平台给出的指令调整路灯亮度。在实际应用场景里，通信不稳定和信号丢失乃是常见难题。尤其是大范围的城镇或乡村地带，网络信号覆盖不到位或信号干扰厉害，大概会引起数据传输中断，系统难以马上响应环境变化[4]。以梧州市西环路试点的路灯节能改造中，单灯通讯使用了 5G 技术，依靠安装在通讯公司的基站发射器，通讯效果达到技术要求，但后期的施工、维护严重依赖通讯公司的基站，给后期的运维带来困扰。

选择不同的通信技术同样会影响系统运行效率。无线通信虽呈现方便灵活态势，然而易遭受各类电磁干扰，引起信号质量变弱。而有线通信有可能面临布线棘手、维护繁杂等难题，在各类区域和应用场景范围里，如何选取恰当的通信渠道，维持系统通信稳定有序，依旧面临技术难题。

2.4 系统升级与兼容性问题

伴着技术的不断升级，智能调光控制系统需不断革新，以契合新需求与技术标准。系统升级及兼容性方面难题是另一个挑战，很多老旧的 LED 路灯以及智能控制设备无法直接跟新系统兼容，或许要开展大规模的设备替换或改良，这无疑会增添资金和时间上的压力。对于一些已安装智能调光系统初期版本的城市，怎样保证后续的升级能顺利实施，并保证现有系统的稳定性和效率不受干扰，属于急需应对的难题。

由于智能调光控制系统的技术水平要求高，普通维护人员对系统的更新与升级也许没有足够的技术支持。在这个过程里面，技术培训及专业支持的欠缺，说不定会造成系统不能及时进行优化更新，怎样建立一套高效的系统升级机制并保障其兼容性，也是一项绝不能忽视的问题。

3 智能调光控制系统针对 LED 路灯节能运行的应用策略

3.1 完善系统硬件设计与成本控制

为让智能调光控制系统在 LED 路灯节能运行里展现更大效益，首先得改进其硬件设计且把控相关成本。智能调光系统所涉及的核心硬件有传感器、控制器、通信设备及电力调节装置等，系统的稳定性及节能效果会被这些设备的性能直接左右。然而，高昂的硬件成本屡屡成为普及与广泛应用的绊脚石。因此，维持系统性能的同时削减硬件成本，属于优化智能调光系统的关键策略范畴。

选取高性价比的传感器及控制器是降低成本的要点。伴随技术的不断进步，诸多传感器与控制设备的价格渐趋下降，开发商应留意市场里性价比不错的产品，尽可能减少对高端设备的过度依赖。硬件须具备长久的使用寿命与强大的抗干扰能力，以降低长期的维护开支。为进一步达成成本降低，可考虑借助系统集成来削减中间环节，直接采办定制化的硬件设施，杜绝冗余和过度配置的情形[5]。

优化 LED 路灯跟智能调光系统之间的协同设计，可有力削减系统部署及维护的成本。经由硬件与软件的整合协同，既可以简化系统的结构，还可削减额外的设备投资。例如，采取模块化的设计理念，实现系统硬件依需求灵活开展扩展及升级事宜，这样不但有利于初期投资的把控，还为后期升级搭建了便利桥梁。政府以及相关单位可凭借政策引导，拟定补贴、奖励之类的激励举措，为低成本高

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

效的智能调光系统的研发与应用提供支持。这些政策的支持可缓解部分企业资金难题，促使智能调光控制技术走向普及推广。

3.2 提升系统稳定性与传感器精度

传感器精度是智能调光控制系统里的重要组成，精度欠缺会直接影响到路灯亮度的调节效果。为化解这一难题，可挑选采用先进的传感器技术，诸如红外线传感器、光纤传感器和温湿度传感器，以增进检测环境参数的准确水平。此外，凭借定期对传感器校准与维护的手段，保证设备在各类环境下正常运行，也可明显提升传感器的稳定性与可靠水平。

传感器与控制系统间通信的稳定性对系统正常运行起着关键作用。为增强通信稳定性，可采用更先进的无线通信技术，诸如 LoRa、NB - IoT 等长距离且低功耗的通信技术。这些技术不仅可提升传感器跟控制平台之间的通信能力，还能削减因信号干扰引起的数据丢失或谬误。采用双向的通讯系统，实现实时数据传输及控制反馈，能缩短响应时间，促进系统运行效率提升。

系统具备的抗干扰能力是增强其稳定性的关键要素。实际运行中，智能调光控制系统面临着各式各样的电磁与环境干扰，导致传感器失去正常工作能力，加大系统的抗干扰设计力度。采用屏蔽手段和干扰抑制办法，可切实提升系统稳定性与数据采集的精确性，设计系统时，还需考虑潜在的故障检测与报警机制。若传感器或控制器出现异常情形时，会自动进行报警，迅速实施修复或调整操作[6]。

3.3 优化数据分析与算法调整

数据采集与传输具备高效性极为关键，为获得精准的环境数据，系统的采集众多传感器数据，并实时传送到中央控制平台。这些数据含有光照强度、周边环境的温度与湿度等内容，系统要利用高效的网络通信途径达成传输，以此降低数据丢失或者延迟。采用数据压缩及传输优化算法，可于保证数据精度的情况下减少带宽占用，促进数据传输高效性。

基于算法进行亮度调节是智能调光控制系统的核心要点。借助对环境数据的分析，系统可自主算出最合适的照明亮度，环境数据体现出时变性与不确定性，因此，以往简单的调光算法无法适应复杂多变应用要求。把机器学习跟人工智能技术整合在一起，构建更智能的自适应调光算法，能随环境变化自动对控制策略做出调整，改善节能效果且优化照明质量水平。利用人工智能算法针对历史数据实施训练，持续改进调光方案，使系统于不同时间阶段、不同气候条件下皆能维持最佳亮度调节。

系统同样要具备应对异常状况的应急反应能力。比如，在诸如大雨、大雪、雾霾的极端天气条件里，智能调光系统应当拥有对环境变化的敏感感知与快速调节本领。借助算法剖析不同天气状况对路灯照明产生的影响，系统有能力动态调整灯光的亮度及色温，在维系公共安全的阶段中，最大程度地削减能源消耗[7]。

3.4 提高用户体验与系统可维护性

智能调光控制系统运用并非仅仅为了节能，也要顾及用户体验以及系统的长期可维护程度。为让市民与管理者更有效地感受智能路灯的便利，应重视系统的可操作性以及可维护性。智能调光系统的亮度调控应适配不同时段要求，在夜间需足够亮度以保障安全，于深夜或非高峰时段，可适当降低亮度以节约能源。系统应拥有智能识别及调节的本领，保障亮度平稳变化且契合实际需求，杜绝出现过亮或过暗的情形，这对路灯视觉效果以及市民出行时的体验十分关键。

系统可维护性对其长期运行的稳定性有直接关联。智能调光控制系统得定期开展检查维护事宜，以让传感器、控制器等硬件设备正常开展工作。为提升可维护的水平，可以设置远程监控及诊断功能，让运维人员可随时对系统运行状态进行检查，并马上识别潜在故障。系统应构建自动报警的机制，若出现故障或性能减弱的状况时，可凭借后台自动诊断情况，马上通知相关人员实施维修[8]。

4 结语

智能调光控制系统于 LED 路灯节能运行里的应用，作为技术进步的一种映照，是智慧城市建设的核心支撑。本文借助系统分析 LED 路灯跟智能调光系统结合的优势，指明目前推广过程中存在系统集成度偏低、响应机制不充分、标准化程度较差等问题，进而从完善系统架构、推进技术整合、减少应用成本三个层面给出了相应策略提议。未来，科学合理的智能调光控制极大地降低了照明能耗，还可有力增进运维效率以及城市管理智能化水平。

[参考文献]

[1]陆晖.公路隧道照明智慧控制系统探析[J].设备管理与维修,2024(22):170-173.
[2]钱明.基于深度学习的智能照明控制系统设计[D].长春:吉林建筑大学,2024.
[3]袁欣欣.智能调峰与排放控制系统中的集成技术分析[J].集成电路应用,2024,41(1):264-265.
[4]刘晨.公路隧道照明系统智能控制关键技术研究[D].西安:长安大学,2023.
[5]王玲玲,吴品一.智能遥控调光灯控制系统设计[J].信息与电脑(理论版),2022,34(12):79-81.
[6]刘红平.模块化设计的 LED 智能控制系统研究[J].科技视界,2021(12):21-23.
[7]魏来.集成多网络协议和动态调光的智能路灯控制系统[D].杭州:中国计量大学,2018.
[8]余剑青.基于 LED 光衰补偿的节能型路灯控制系统研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2017.

作者简介：蒋景华（1986.1—），毕业院校：湖南理工学院，所学专业：自动化，就职单位名称：梧州市路灯管理处，就职单位职务：生产技术科科长，当前职称级别：中级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.