市政道路照明系统节能改造中的电气设计优化研究

霍月辉

中铁建安工程设计院有限公司 河北 石家庄 050043

【摘　要】：市政道路照明系统在城市基础设施中能耗较高，亟待节能改造。本文针对其高能耗、低效能设计、控制技术不合理及设施老化等问题，提出基于智能控制技术的节能改造方案，涵盖照明设备升级、智能控制系统构建、供电系统优化、管理平台搭建及故障监测与预警。以杭州市富阳区路灯节能改造项目为例，分析其节能效益显著、经济效益可观、照明质量提升、智能化控制助力节能以及环境效益与社会效益突出等特点，验证方案的可行性。结果表明，该方案可有效降低能耗，提升照明质量，减少故障率，具有良好的经济和环境效益，为市政道路照明系统节能改造提供了实践依据。

【关键词】：市政道路照明；节能改造；智能控制；经济效益；环境效益

DOI:10.12417/2811-0536.25.11.002

引言

随着城市化进程的加速，市政道路照明系统作为城市基础设施的重要组成部分，其能耗问题日益凸显。传统的照明方式不仅能耗高，且存在光效低、控制技术不合理、设施老化等问题，难以满足现代城市高效节能的要求。因此，探索科学合理的节能改造方案，提升照明系统能效，减少能源浪费，已成为城市可持续发展的关键任务之一。近年来，智能控制技术的快速发展为市政道路照明节能改造提供了新的思路和技术支持。

1 市政道路照明系统节能改造面临的主要问题及挑战

（1）高能耗与低效能设计问题：市政道路照明系统通常采用传统的高压钠灯、金属卤化物灯等光源，这些光源在提供足够亮度的也伴随着较高的能耗和较低的光效。传统照明系统的设计未能充分考虑能效优化，导致在相同照明效果的前提下，消耗了大量能源。由于技术的滞后，许多道路照明系统仍使用较为落后的电气设施和设备，电能转化效率低下，难以满足节能环保的要求。更为严重的是，部分老旧的照明设施经常发生灯具损坏、光源老化等问题，照明效果难以保障，但能耗却并未因此降低，反而导致能源的浪费。因此，提高道路照明的能效，优化电气设计，已成为亟待解决的主要问题。

（2）照明系统控制技术的不合理性：在许多市政道路照明系统中，照明控制技术的设计较为简单，常采用全开全关或基于固定时间段的控制方式。这种控制方法未能根据实际的交通流量、天气状况等因素灵活调整照明强度，造成了无谓的能源浪费。夜间交通较少时，照明强度往往维持在高亮度状态，无法有效节能。另外，缺乏智能化的调控系统也使得照明系统无法根据实时的路况变化、环境亮度等条件进行自动调节，未能充分利用现有的技术手段来减少能耗。因此，提升照明控制系统的智能化水平，合理调节照明强度，是实现节能目标的关键所在。

（3）照明设施老化对节能效果的影响：随着使用年限的增加，市政道路照明设施不可避免地会出现老化问题，特别是照明灯具和电气线路的老化，导致照明效率下降。灯具的光源逐渐退化，光效降低，同时也可能出现灯具损坏、线路接触不良等问题。此时，尽管原本的设计和规划能够提供较为理想的照明效果，但由于设备老化，实际的照明效果远不如预期，导致能源的浪费和照明质量的下降。为了确保照明系统的高效运行，必须定期对设施进行维护与更换，尤其是在节能改造过程中，及时更新老化设备，采用节能高效的新型照明设备，提升系统的整体能效。

2 基于智能控制技术的市政道路照明节能改造方案

为解决市政道路照明系统面临的高能耗、低效能设计、控制技术不合理以及设施老化等问题，基于智能控制技术的节能改造方案应运而生，该方案涵盖照明设备升级、智能控制系统构建、供电系统优化、管理平台搭建以及故障监测与预警等多个方面。

（1）照明设备升级：在市政道路照明系统节能改造中，照明设备升级是关键环节之一。传统高压钠灯和金属卤化物灯等光源虽然能够提供足够的亮度，但能耗高、光效低且寿命较短，难以满足现代节能需求。相比之下，LED 灯具凭借其高光效、低能耗和长寿命的特性，成为理想的替代选择。在同等亮度条件下，LED 灯具的能耗显著低于传统灯具，能够有效减少电能消耗。此外，LED 灯具的使用寿命长，减少了更换频率，降低了维护成本。为了进一步提升照明系统的

智能化水平，为 LED 灯具配置单灯控制模块和联动控制模块是必要的。单灯控制模块可以实现对每盏路灯的独立控制，根据实际需求灵活调节亮度，例如在深夜交通流量较小时降低亮度以节能，而在交通繁忙时段保持足够亮度以保障照明需求。联动控制模块则能够实现多盏路灯之间的协同工作，进一步优化照明效果。对于使用年限较长、光衰严重的 LED 灯具路段，必须及时进行更换。通过定期检查和维护，确保照明效果和节能目标的实现，从而提升整个市政道路照明系统的性能和效率。

（2）智能控制系统构建：智能控制系统是市政道路照明节能改造的重要组成部分，其核心功能是根据实时交通流量和环境光照度自动调节路灯亮度。系统通过安装在路灯上的传感器收集数据，这些传感器能够实时监测交通流量、环境光照强度以及其他相关参数。在深夜时段，交通流量显著减少，系统会自动降低路灯的亮度，从而减少不必要的能耗。相反，在交通繁忙的高峰时段，系统会保持路灯的高亮度，以确保道路照明的充足和交通安全。除了亮度调节功能外，智能控制系统还具备实时监测路灯运行状态的能力。通过内置的监测模块，系统可以持续跟踪每盏路灯的工作状态，包括电流、电压、功率以及灯具的温度等关键参数。一旦检测到异常情况，如灯具故障或功率异常，系统会立即发出警报信号，并将相关信息发送至维护中心。维修人员可以凭借这些精确的故障信息，快速定位并处理问题，从而减少因故障导致的能源浪费，同时确保照明系统的稳定运行和高效节能。

（3）供电系统优化：在市政道路照明系统的节能改造中，供电系统的优化是实现高效节能的关键环节之一。首先，采用智能型断路器替代传统断路器，能够实时监测电流、电压等参数，实现对供电系统的精准控制和保护。智能断路器具备故障诊断功能，一旦检测到异常，可迅速切断电源并发出警报，减少故障对系统的影响，同时提高供电系统的可靠性和安全性。其次，根据用电设备的实际耗电率总和重新计算变压器容量，确保变压器的容量与实际需求相匹配。更换后的变压器应符合现行国家标准中的 2 级能效等级要求，以降低变压器自身的能耗。通过合理配置变压器容量，不仅可以提高供电效率，还能减少因变压器过载或轻载运行导致的电能浪费。此外，结合新能源技术是供电系统优化的重要方向。在市政道路照明中，可以安装太阳能光伏板或小型风力发电机，利用太阳能和风能为路灯提供部分或全部电力。这些新能源设备能够将可再生能源转化为电能，存储在高效的储能设备中。储能设备可以在白天或风力充足时储存多余的电能，并在夜间或用电高峰时释放，进一步提高能源利用效率，减少对传统电网的依赖，实现市政道路照明系统的可持续发展。

（4）管理平台搭建：在市政道路照明系统的节能改造中，管理平台的搭建是提升系统整体运行效率和管理水平的核心环节。通过部署智能照明管理平台及云平台，可以实现对照明系统的统一精细化管理。该平台利用先进的物联网技术，构建一个覆盖整个照明系统的物联网络，确保每一盏路灯及其控制设备都能实时、可靠地进行数据通信。这种网络不仅支持当前的系统运行，还具备高度的可扩展性，能够适应未来技术升级和系统扩展的需求。管理平台具备强大的数据处理能力，能够集中监控和分析来自不同地域、具有不同物理特征的照明设备数据。通过对这些数据的深度分析，平台可以实现对照明系统的动态调节和灵活配置。例如，根据实时交通流量和环境光照度数据，自动调整路灯的亮度；或者根据季节变化和天气条件，优化照明时间。这种智能化的管理方式不仅提高了照明系统的运行效率，还减少了人工干预，降低了运营成本。此外，管理平台预留了公共 API 接口及协议，这为未来的系统集成和数据共享提供了便利。第三方开发者和上层城市管理平台可以通过这些接口获取照明系统的实时数据，并进行进一步的应用开发和服务调用。

（5）故障监测与预警：在市政道路照明系统的节能改造中，故障监测与预警系统的构建是确保照明设施稳定运行和高效节能的重要保障。通过在每盏路灯及相关设备上安装智能传感器，实时采集电压、电流、功率、温度等关键运行参数，系统能够对道路照明设施的运行状态进行全面监测。这些传感器将采集到的数据实时传输至中央监控平台，平台利用先进的数据分析算法对数据进行处理和分析，能够迅速识别出异常数据，从而及时发现照明故障。一旦检测到故障，系统会立即生成详细的故障预警信息，包括故障类型、发生时间、具体位置等关键信息，并通过短信、邮件或 APP 推送等方式，将这些信息发送给维修人员。维修人员可以根据预警信息快速定位故障点，携带相应的工具和备件前往现场进行维修，大大提高了维修效率。同时，系统还具备故障原因分析功能，通过对历史数据和当前数据的对比分析，能够初步判断故障原因，为维修人员提供参考，进一步提高维修的针对性和准确性。

3 市政道路照明电气设计优化方案的可行性分析

杭州市富阳区的路灯节能改造项目为市政道路照明电气设计优化方案提供了有力的实践依据，该项目通过实施一系列优化措施，在节能、经济和社会效益等方面取得了显著成效，以下从多个方面展开可行性分析。

（1）节能效益显著：富阳区的路灯节能改造项目涉及 15011 盏路灯，改造前使用的是传统钠灯，改造后全部更换为 LED 灯具。改造后，平均照度提升了 10%左右，功率降低了 2542kW。根据相关数据，改造后路灯的平均功率从改造前的约 169.3W 降低到约 110.2W，年节约电量约为 1136.18 万 kWh。这一显著的节能效果表明，通过采用高效节能的 LED 灯具，能够在保证照明质量的同时，大幅降低能耗。

（2）经济效益可观：从经济角度来看，富阳区的改造项目不仅节约了大量电能，还带来了显著的经济效益。根据当地电价计算，改造后每年节省的电费约为 3080 万元。具体计算如下：假设当地平均电价为 0.6 元/kWh，年节约电量为 1136.18 万 kWh，那么每年节省的电费为：

$$1136.18 \times 10^4 \text{kWh} \times 0.6 \text{ 元/kWh} = 681.708 \times 10^4 \text{元}$$

即每年节省约 681.708 万元。此外，该项目的投资回收期较短，能够在较短时间内收回改造成本并实现盈利。这说明市政道路照明电气设计优化方案在经济上是可行的，能够为城市带来可观的经济收益。

（3）提升照明质量：在富阳区的改造案例中，机动车道、非机动车道、人行道的照度增亮达 40%以上。具体来看，机动车道的平均照度从改造前的 20lx 提升到 28lx，非机动车道从 15lx 提升到 21lx，人行道从 10lx 提升到 14lx。故障维修率从改造前的 4.59%降至 2.06%，有力保障了市民群众夜间出行的安全。这说明通过优化电气设计，不仅可以降低能耗，还能有效提升照明质量，减少故障发生率，为居民提供更安全、舒适的夜间出行环境。

（4）智能化控制助力节能：富阳区的路灯改造项目中还安装了单灯控制器，实现了智能化控制。这种控制方式可以根据实际需求灵活调节路灯的亮度，避免了不必要的能源浪费。具体而言，通过智能控制系统，路灯可以根据交通流量和环境光照度自动调节亮度。在深夜交通流量较小时，路灯亮度可降低至 50%，而在交通繁忙时段则保持 100%亮度。通过这种方式，进一步节约了电能。根据估算，智能控制系统可额外节约 15%的电能，即每年额外节约约 170.43 万 kWh（1136.18 万 kWh×15%）。智能化控制系统的应用，进一步提升了节能效果，同时也提高了照明系统的管理效率和灵活性，是市政道路照明电气设计优化方案的重要组成部分。

（5）环境效益与社会效益突出：从环境效益来看，富阳区的路灯节能改造项目每年可减少大量的二氧化碳排放。根据相关数据，每节约 1kWh 电能可减少约 0.997kg 的二氧化碳排放。因此，每年节约的 1136.18 万 kWh 电能可减少二氧化碳排放量为：

$$1136.18 \times 10^4 \text{kWh} \times 0.997 \text{kg/kWh} = 1133.77 \times 10^4 \text{kg}$$

即每年减少二氧化碳排放量约为 11337.7 吨。这表明该改造项目对缓解能源危机、改善环境质量具有重要意义。此外，该项目还入选了国家机关事务管理局举办的“2019-2020 年度公共机构能源资源节约示范案例”，为其他城市提供了可借鉴的经验，具有良好的社会效益。

4 结语

市政道路照明系统的节能改造是应对能源危机、推动城市可持续发展的重要举措。通过照明设备升级、智能控制系统构建、供电系统优化、管理平台搭建及故障监测与预警等多方面的综合改造，杭州市富阳区的路灯节能改造项目取得了显著的节能效益、经济效益和环境效益。未来，应进一步推广智能控制技术在市政道路照明中的应用，结合新能源技术，提升照明系统的智能化水平和能源利用效率，为城市节能减排和环境保护做出更大贡献。

参考文献：

[1] 张涛,李敏.智能化道路照明系统的设计与优化[J].电气技术与经济,2020,36(5):42-48.

[2] 刘强,王芳.市政照明节能改造技术与实践研究[J].节能技术,2021,29(6):150-156.

[3] 高鹏,刘佳.LED 照明在市政道路中的应用与能效分析[J].照明工程学报,2019,30(3):112-119.

[4] 张锐,陈峰.基于智能控制的道路照明系统节能改造方案[J].电力系统及其自动化学报,2022,34(1):88-94.

[5] 赵刚,韩梅.市政道路照明电气设计优化研究[J].建筑电气工程学报,2021,38(2):54-60.