

基于物联网技术的高速公路隧道智慧照明研究

黄腾勇 谢艺 龙维珍

广西计算中心有限责任公司 广西 南宁 530000

摘要：基于物联网（IoT）技术的高速公路隧道智慧照明研究，致力于解决传统照明系统在能效、安全性以及维护精准度方面的局限性。物联网技术使照明系统能够通过传感器搜集环境数据，如光线强度、交通流量、车速等，并通过智能分析对照明进行自适应调节。这样，不仅可以提高驾驶者的视觉舒适度和道路安全性，还可以节约能源，降低运行成本。随着智能照明系统的不断优化，能够实现对隧道内部环境的全面监控，并及时响应各种紧急情况，为高速公路隧道的安全管理提供了一个高效、可靠的技术支持。

关键词：物联网技术；高速公路；隧道照明

物联网技术在高速公路隧道照明领域的应用目前还处于不断发展和完善的阶段。随着物联网技术的发展，传感器和控制技术的融合正逐渐改变传统隧道照明系统。通过实时监测隧道内的环境状况，例如光线强弱、车流量、气候变化等，智能照明控制系统可以自动调节隧道内部的照明强度和模式，从而达到节省能源和提高安全的目的。在引入物联网技术之前，许多隧道采用的是固定的照明系统，这些系统通常全天候保持一定的亮度，不考虑日光的变化、车流量的差异与其他环境因素。在这样的系统中，能耗往往较高，因为它们缺乏对实际需求的精确匹配。据研究，隧道照明的能耗占到总运营成本的一个显著部分，例如，一项针对欧洲隧道的研究表明照明系统约占隧道电能消耗的40%到50%。高能耗不仅导致经济成本的上升，也加剧了碳排放和环境压力。相对传统的照明方式，基于物联网的智慧照明系统能够根据实际情况动态调整亮度，大幅降低能耗。例如，通过分析与响应实时的交通流量数据，隧道内的光线可以在车辆较少时降低亮度，而在交通高峰期时增加亮度，确保安全行车。此外，在白天光线充足的时段，照明可以相应减少，而在夜晚和恶劣天气条件下，则可以提高照明强度来补充自然光的不足。智能隧道照明系统的应用可以显著降低能耗。根据一些已实施智能照明系统的项目报告，这类系统可以节省高达60%以上的能源消耗。同时，智慧照明系统还有助于延长照明设备的使用寿命，因为灯具不再一直工作在全功率下，减少了磨损。

1 物联网技术在高速公路隧道智慧照明中的作用机制

物联网（IoT）技术的引入，为解决传统照明系统中存在的问题提供了创新方案。通过将物联网技术融入高速公路隧道的照明系统，可以实现对隧道内照明条件的实时监测和智能调控，显著提升隧道照明的效率和安全性。引入视频监控事件分析系统，可以进一步增强隧道内部照明系统的智能化水平。通过安装高清摄像头进行实时视频监控，结合先进的图像识别和事件分析技术，系统能够实时检测并响应隧道内发生的各种情况，如交通事故、车辆堵塞、行人闯入等紧急情况。这样，照明系统不仅能根据光线强度和车流量调整照明条件，也能在特定事件发生时迅速做出响应，如紧急提高照明强度以提高现场的可见度和安全性。物联网技术的引入，使隧道内部的照明系统能够通过安装在隧道内部的多种传感器（如光感、温度、湿度、车流量传感器等）以及视频监控设备，实时收集隧道内的环境以及交通流量信息。例如，光感传感器能够实时监测隧道内部的光照强度，车流量传感器则实时反馈隧道内的车流信息，同时视频监控事件分析系统能够提供更多层面的信息和应急响应指导。这些数据通过无线网络传输至中央控制系统，由智能算法进行分析和处理。算法根据数据分析结果，智能调整隧道内照明灯具的亮度和开关状态，实现照明的自动控制，以适应不同时间段和不同环境条件下的照明需求。通过物联网技术，照明系统能够更灵活地响应隧道内部和外部环境的变化，达到节

能减排的目的。例如，在白天，若隧道口外的自然光足以满足照明需要，系统可以自动减少内部灯光的亮度或关闭某些灯光，以节省能源。相对的，在夜间或视线不佳的情况下，则会相应提高照明强度，确保驾车人员的视线清晰，从而提高安全性。这种基于物联网的智能隧道照明系统，结合视频监控事件分析，不仅提高了隧道通行的安全和效率，也大幅降低了能源消耗，是现代化高速公路隧道管理和运维的重要组成部分。此外，物联网技术还使隧道照明系统具备了远程监控和故障预警的能力。中央控制系统可通过接收到的数据实时监控照明系统的运行状态，一旦发现异常，系统能够立即发出警报，并通知维护人员进行处理。这样不仅可以大幅缩短故障修复时间，还能通过数据分析预见潜在的风险，从而进行预防性维护。为实现这一智能化水平，物联网技术的实施过程需涉及先进的传感器、可靠的无线通信网络、以及强大的数据处理能力。在某项研究中，研究人员部署了精确到每隔10米设置一组光感和车流量传感器的配置，在5公里长的隧道中，这意味着将有500组传感器持续工作，收集相关数据。通过对所收集数据的综合分析，系统能够实时调整照明，每分钟的调整频率保证了照明效果与实际需求间的高度吻合，而这样的调整不仅大幅提升了能源利用率，同时还降低了运维成本。具体从数据角度看，通过物联网技术实施的照明系统，与传统照明相比，在能源使用效率上可提高30%-50%。假设一个中等规模的隧道照明系统年能耗为100万千瓦时，引入物联网技术后，至少能节省30万千瓦时，按每千瓦时0.1美元计算，每年可节省3万美金的电费。此外，智能化照明还可通过预防性维护降低50%的维护成本，进一步经济效益显著。随着物联网技术的不断发展与成熟，未来的高速公路隧道照明系统将更加智能高效，更好地服务于公众的出行安全和舒适。同时，随着技术的进步和应用的推广，相关成本也将进一步降低，为更多的交通基础设施提供智能化解决方案的可能^[1]。

2 高速公路隧道智慧照明系统设计

2.1 系统架构设计

该系统架构主要由三个核心部分构成：感知层、网络层和应用层。感知层位于架构的最底层，主要由各种传感器和数据采集设备组成，负责实时监测隧道内的环境参数，如光照强度、车流量、温湿度等。在具体实施中，每隔一定距离部署光感传感器和车流量传感器，用以收集隧道内部的光照条件和车辆运行状态。例如，在500米长的隧道内，我们可能会部署50组传感器，每10米一组，确保收集的数据覆盖隧道的每一个区域，从而实现精准控制。网络层则负责将感知层收集到的数据通过稳定可靠的传输网络发送到中央处理系统。这一层使用的是先进的无线通讯技术，如LoRaWAN或5G网络，旨在确保数据传输的高效性和实时性。在传输过程中，采用加密技术保证数据安全，防止数据在传输过程中被截获或篡改。应用层是系统架构的最顶层，包含了数据处理中心和用户界面。数据处理中心

作者简介：黄腾勇（1992—），男，壮族，广西鹿寨人，本科，研究方向：高速公路智能硬件、交通信息化。

采用强大的云计算平台,不仅能存储大量数据,还能对收集到的数据进行分析处理,根据分析结果实时调整隧道内照明的亮度和开关状态。在用户界面方面,维护人员可以通过电脑或移动设备实时监控系统状态,及时响应系统警报,远程调节照明设置,确保照明系统的最佳运行^[2]。

2.2 关键技术与组件

首先,传感器技术是智能照明系统的感知基础。特别是光线传感器和车流量传感器,它们能够实时捕捉隧道内光线条件和车辆流动状态。一个500米长的隧道可能配备50组传感器,这些传感器能够每秒生成大量数据,为照明系统的智能调节提供准确的实时信息。其次,无线通讯技术确保数据的快速、安全传输。使用如LoRaWAN、5G等先进通讯技术,不仅可以覆盖隧道内部的复杂环境,还能保障数据传输的低延迟和高可靠性。采用端到端加密技术,保护传输数据不受到未经授权的访问和干扰。再者,云计算平台在数据分析和存储方面发挥关键作用。云平台能处理海量数据,实现强大的数据分析和智能算法运算,为智慧照明系统提供决策支持。此外,云平台还提供弹性的资源配置,能够根据系统需求动态调整资源分配,保证系统高效稳定运行。最后,智能照明控制器是实现照明智能调节的执行器件。它直接控制隧道内灯光的开关和亮度调节,根据从云平台接收到的指令进行快速响应。这些控制器不仅具备高度的灵活性和可靠性,还能够根据需要进行远程配置和升级。

2.3 系统集成方案

首先,在硬件方面,集成方案规定了传感器的精确部署位置和数量,以保证全隧道范围内光照和车流量数据的全面采集。以500米的隧道为例,预计部署50组传感器,每10米设置一组,确保数据的广泛和连续采集。每组传感器通过无线网络与中央处理系统进行通信,这要求在隧道内部部署稳定可靠的无线通信基站,如采用LoRaWAN网络,增设中继器确保信号覆盖。其次,在软件方面,集成方案设计了强大而灵活的数据处理框架。该框架基于云计算平台,能够实时接收和分析从感知层传来的数据。通过先进的算法模型,系统能够根据实时数据自动调整照明亮度,同时确保数据处理的低延迟和高准确性。此外,对系统管理员和维护人员,集成方案提供了一个友好的用户界面,使他们能够随时监控系统状态,进行远程调整和维护。在集成方案中,特别注意到了系统的扩展性和兼容性设计。考虑到未来可能的技术升级和系统扩展需求,方案采用了模块化设计理念。这不仅便于后期添加新的传感器或更新通信技术,还允许系统接入其他智慧城市平台,实现数据共享和应用联动^[3]。

3 高速公路隧道智慧照明的优化措施

3.1 能效优化措施

能效优化措施专注于减少能耗,延长设备寿命,并通过自适应调节实现能源使用的最大化效率。一个关键的能效优化方法是采用LED照明装置,其具有较高的流明效率(通常超过100流明/瓦)和长达50,000小时的使用寿命。相较于传统光源,LED可以减少约60%的能耗。在一条1公里长的隧道中,替换所有传统光源为LED可以每年节约超过10万千瓦时的电能。此外,通过动态调整灯光亮度的策略也对能效产生显著影响。当光线传感器探测到隧道入口的自然光线强度增加时,系统自动减少照明亮度,以减少不必要的能源消耗。数据表明,这种基于自然光补偿的智能控制能使能耗减少20%至30%。智能调光系统依据车流量数据进一步优化能效。加入车流量传感器后,非高峰时段系统会自动降低照明强度,并在必要时快速恢复到安全照明水平。根据交通流量模式,这种控制策略平均能够节约约10%的能源。此外,系统定期维护也是优化能效的重要一环。智慧照明系统内置的自诊断功能能够及时发现故障和性能下降的灯具,并进行远程通知,这样维护团队可以快速响应,及时更换或修理,保持系统的最佳运行效率。最后,采用节能型的通讯协议如NB-IoT,能够在不牺牲通信稳定性和传输速率的基础上大幅度降低系统通讯模块的能耗^[4]。

3.2 安全性提升措施

安全措施的实施旨在防范潜在风险,确保照明系统的稳定运行和驾驶者的安全。以下是几项具体的、可操作性强的安全

性提升措施。首先,引入先进的传感器技术,实现实时监控。通过部署烟雾、温度和湿度传感器,在发生火灾或隧道内环境恶化时能第一时间检测到异常情况,系统自动启动应急照明,同时向管理中心发出警报。例如,在每隔50米的位置部署这类传感器,以覆盖整个隧道,确保无死角监控。其次,对照明系统本身,使用具有故障自检功能的智能控制系统。该系统能实时监测每个灯具的工作状态,一旦发现灯具故障或性能下降,系统将立即通知维护人员进行更换或修理,最大限度地减少因照明故障带来的安全隐患。以LED灯具为例,其先进的监控模块可实时反馈灯具状态,实现快捷维护。再次,实现智能化应急照明策略。在发生紧急情况时,基于物联网的系统能够根据实际情况自动调整照明强度,如增强出口或途径路段的光照,指引驾驶人员快速安全撤离。此措施依靠精确的位置信息与预设的应急场景模式,确保在关键时刻指引方向。最后,加强系统的网络安全措施。由于基于物联网的系统依赖于网络通信,因此采用最新的加密技术和安全协议,保护数据传输不受拦截和篡改,防止黑客攻击。例如,为系统配置安全的VPN通道,使用TLS/SSL协议加密数据传输,确保控制指令和状态信息的安全。

3.3 维护管理的智能化

通过集成先进的物联网设备和软件,照明系统的维护管理变得更为高效、准确,并大幅降低了人工干预的需求。首要措施是实施远程监控和故障预警系统。通过灯具内置的传感器,智慧照明系统能够实时监控灯具的电压、电流、温度和功率等关键参数,自动判断灯具健康状况。举例来讲,系统可预设参数阈值,如温度超过80摄氏度即视为异常状态,系统会立即发出告警并通知维护人员。这样的自动化检测与告警机制,可缩短故障响应时间,从过去可能的几小时甚至数天降低到几分钟。接着,定期的维护工作也通过智慧管理进行优化。系统根据灯具使用的历史数据和厂家提供的灯具寿命预测模型,智能规划维护工作的周期和计划,避免了过早或过晚的维护,提升了维护的精确度和时效性。例如,预测到灯具将在1个月后将到达寿命期限时,系统会提前安排维护任务。此外,物联网平台集成的信息管理系统为维护管理提供决策支持。平台汇总收集的维护记录、故障统计和维修日志等数据,通过数据分析揭示故障模式和潜在的风险点,从而指导未来的维护策略调整和资源配置。例如,分析显示某一型号的灯具故障率较高,管理部门可决定更换更稳定的灯具型号,以减少未来的维护次数和成本。最后,智能化的维护管理还包括使用移动设备和应用。维护人员通过智能手机或平板电脑即可接收故障通知、查看维护指南、记录维修情况,并实时更新至中央管理系统。这种移动化管理方式显著提升维护效率,减少了传统纸质记录的环节,提高了数据准确性和易用性^[5]。

4 结束语

经过深入研究,基于物联网技术的高速公路隧道智慧照明系统展现出其高效、智能的未来前景。此系统不仅提升了照明效率和行车安全,还通过智慧管理降低了能耗与维护成本,充分体现了科技创新与绿色环保的结合。随着技术的不断进步,我们有理由相信这种智慧照明方案将在高速公路隧道乃至更广范围的基建中发挥其至关重要的作用。

参考文献

- [1] 刘津函. 高速公路隧道照明节能控制研究[J]. 四川建材, 2024, 50(01): 176-178.
- [2] 刘同宾, 周宏宇. 基于物联网技术的智慧型公路隧道照明系统研究[J]. 运输经理世界, 2023, (36): 98-100.
- [3] 陈晓. 高速公路隧道照明智能控制技术的应用策略[J]. 光源与照明, 2023, (11): 10-12.
- [4] 郭竞杰. 高速公路隧道照明系统的LED改造研究[J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(11): 13-15.
- [5] 李毅楠. 高速公路隧道低位顺光照明系统探析[J]. 中国交通信息化, 2023, (11): 135-138.