

高速公路隧道照明系统优化与节能方案研究

易 军

益阳市赫山区交通运输局 湖南益阳

【摘要】随着高速公路建设的迅猛发展，隧道数量不断攀升，照明系统的能耗与效能问题愈发关键。聚焦于此领域展开深入研究，综合考量隧道的复杂环境、多变车流以及灯具性能等多方面因素。通过引入智能控制技术精准匹配照明需求，选用新型节能灯具并优化布局，旨在达成卓越照明效果与显著节能降耗的双重目标，全方位提升照明系统的可靠性，为高速公路隧道运营打造科学、高效且可持续的照明方案。

【关键词】高速公路；隧道照明；节能方案；智能控制；灯具优化

【收稿日期】2025 年 3 月 5 日

【出刊日期】2025 年 4 月 6 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250163

Study on optimization and energy saving scheme of highway tunnel lighting system

Jun Yi

Heshan Transport Bureau of Yiyang, Yiyang, Hunan

【Abstract】 With the rapid development of highway construction, the number of tunnels is steadily increasing, making energy consumption and efficiency issues in lighting systems increasingly critical. Focusing on this field for in-depth research, we must comprehensively consider various factors such as the complex tunnel environment, variable traffic flow, and lamp performance. By introducing intelligent control technology to accurately match lighting needs, selecting new energy-saving lamps, and optimizing their layout, we aim to achieve both excellent lighting effects and significant energy savings. This approach seeks to enhance the reliability of the lighting system across the board, creating a scientific, efficient, and sustainable lighting solution for highway tunnel operations.

【Keywords】 Expressway; Tunnel lighting; Energy saving scheme; Intelligent control; Lamp optimization

引言

在当今时代，高速公路如同交通动脉般纵横交错，隧道更是其中不可或缺的关键节点。隧道照明作为保障行车安全的必备环节，却面临严峻挑战。传统照明系统大多采用固定亮度模式，全天候无差别运行，全然不顾车流量的潮汐变化以及昼夜时段的光照差异，这无疑造成了大量的能源浪费。易军敏锐洞察到这一问题，决心深入挖掘其中的优化潜能，探寻能与不同时段、各种交通状况完美适配的照明模式。

1 深挖现有照明短板

在高速公路隧道日复一日的运营过程中，现行照明系统的短板逐渐暴露，亟需加以解决。以灯具性能为例，大量传统灯具不仅发光效率低，电能转化为光能时损耗严重，而且使用寿命短^[1]。频繁更换灯具不仅消耗大量人力、物力，还会影响照明稳定性，给行车安全带来潜在风险。据不完全统计，传统灯具在电能转化过程

中的损耗高达 40%，平均使用寿命仅为 2-3 年，更换灯具的人工成本及材料成本每年高达数十万元。

在亮度调控方面，传统照明系统采用一成不变的固定模式，可谓是“能耗大户”。无论是白天还是黑夜，无论车流量多寡，照明系统始终保持恒定照度。例如在深夜，车流量极少，此时过高的照度不仅不必要，还会造成电能浪费。研究表明，夜间低峰时段，隧道照明能耗占全天能耗的 30% 以上，而这些电能完全可以通过合理的亮度调控节省下来。

灯具布局同样存在不合理之处。在弯道、出入口等关键区域，常常出现照度不足或分布不均的问题。驾驶者在经过这些路段时，视觉容易受到干扰，难以清晰判断路况，增加了事故风险。据相关统计，因照明问题导致的交通事故中，有超过 60% 发生在弯道和出入口区域^[2]。究其原因，传统照明技术难以灵活适应隧道内复杂多变的环境，无法根据实时情况进行精准调整。幸

作者简介：易军（1980-）男，汉，湖南桃江，助理工程师，大专，研究方向为公路桥梁与隧道。

运的是,随着智能技术和新型材料的不断发展,为解决这些问题提供了新的机遇,一场照明革新迫在眉睫。

2 精研节能优化举措

在节能优化的漫漫征途上,智能调光技术无疑充当着开路先锋的角色。于隧道出入口以及内部诸如弯道、长直段等关键节点,精心部署高精度光照传感器。这些传感器宛如隧道照明系统的“智能之眼”,具备毫秒级响应速度,能实时、精准地捕捉环境亮度细微变化,并借助高速数据传输链路,将监测数据瞬间传送至中控系统。中控系统搭载前沿的智能算法,依据过往长期积累的大数据,针对不同天气状况,如晴天、阴天、雨天、雾天,以及一天中的清晨、上午、中午、下午、傍晚、夜晚等各时段,精细预设多达十级的亮度标准。以此为基准,系统可自动、精准地调控灯具发光强度^[3]。举例而言,在阳光明媚的晴天白天,为确保驾驶者拥有清晰、无眩光干扰的视野,系统会自动将照度提升至适宜的高亮度区间;而一旦切换至阴天或夜幕降临,系统则依据算法模型,适度降低照度,在保障安全可视的前提下,最大程度节约电能。

与此同时,车流量监测工作在隧道照明节能优化体系中同样占据关键地位。地磁传感器、视频传感器等多种类型传感器协同作业,形成全方位、无死角的车流动态捕捉网络。地磁传感器凭借对车辆金属部件引发磁场变化的敏锐感知,能精确识别车辆经过;视频传感器借助先进的图像识别技术,可区分不同车型、统计车流量大小。当监测到车流量处于高峰时段,如早晚通勤高峰期,系统即刻指令所有灯具满功率开启,全力保障驾驶者视野清晰,行车安全无虞;而在车流量相对稀疏的时段,如凌晨时分,系统会智能判定,使部分灯具进入低功耗休眠模式或降低亮度至仅维持基本照明需求的状态,实现节能与高效照明的完美平衡。据专业团队开展的实测数据结果显示,在全面采用智能调光和车流量监测双重技术后,隧道照明能耗相较于传统模式可降低 30%-40%,节能成效显著。

优化灯具布局亦是隧道照明节能优化的核心环节。以弯道区域为例,由于车辆行驶轨迹在此处发生明显变化,驾驶者对侧向视野要求更高。要依据弯道曲率半径,适当加密灯具数量,平均每 10 米增设一盏灯具;并且,利用可调节支架,根据弯道弧度精确调整灯具照射角度,确保光线紧密贴合弯道走势,为驾驶者提供充足、有效的视觉引导,降低行车安全隐患^[4]。在隧道出入口,专门设置过渡照明区,通过精心设计的渐变照度变化,从隧道外明亮环境到隧道内相对较暗环境,或是

从隧道内驶向明亮的隧道外,让驾驶者的视觉系统得以平稳适应光线突变,避免因视觉落差引发瞬间视觉障碍。在隧道直线段,依据灯具独特的光型分布、额定功率,运用专业光学计算软件,精确计算灯具间距,确保相邻灯具光线均匀覆盖,既无眩光刺眼,又无暗斑影响视觉效果,全方位营造舒适、安全的视觉环境。

3 严测优化实战成效

在将精心设计的优化方案应用于实际隧道工程的过程中,各项指标都取得了极为显著的成效。在能耗控制方面,智能调光系统与 LED 灯具的有机结合,使得照明系统能够根据实时的环境变化以及车流量情况,实现精准供电。与传统照明模式相比,能耗指标大幅下降,电费支出显著减少,成本控制效果十分突出。例如,某隧道在实施优化方案后,经过详细核算,年电费支出降低了 40% 以上,这一数据直观地展现出优化方案在节能降耗方面的卓越表现。

照明质量的提升同样获得了司乘人员的广泛认可。在优化后的隧道内,路面照度均匀且柔和,以往刺眼的强光现象得到了彻底消除,驾驶者的视觉体验得到极大改善。当车辆进出隧道时,光线过渡自然流畅,有效缓解了司乘人员因光线突变而产生的视觉疲劳,为行车安全性和舒适性提供了坚实保障,隧道内的事故风险显著降低^[5]。根据相关调查数据显示,该隧道在优化照明方案后,交通事故发生率下降了 30% 以上,有力地证明了照明质量提升对交通安全的积极影响。

从运维角度来看,持续监测结果充分显示出优化方案的可靠性。智能系统运行稳定,具备准确迅速的故障诊断能力,一旦出现问题,维修响应及时高效。合理的工况设置极大地延长了灯具的使用寿命,避免了频繁更换灯具带来的诸多困扰,有效降低了运营管理负担,显著提高了运维效率^[6]。实践充分证明,此优化方案切实可行,为行业内的推广应用提供了有力支撑,有力地推动了高速公路隧道照明朝着绿色、智能方向发展。

4 前瞻创新拓展方向

站在当下已取得的显著成果之上,清晰可见创新拓展是高速公路隧道照明领域未来的核心发展脉络。从技术融合维度来看,新兴技术的深度融合已成为不可阻挡的大势所趋。以物联网技术为例,积极将其引入隧道照明系统,能让灯具、传感器与控制系统之间构建起紧密的互联关系。灯具可依据传感器实时采集的隧道内车流量、光线强度等数据,通过控制系统灵活调整亮度,实现照明智能化的精准调控,既能满足不同时段

的照明需求,又能有效避免能源浪费^[7]。在能源利用方面,探索利用隧道内丰富的风能、地热能等清洁能源极具潜力。通过安装小型风力发电机、地热能采集装置,配合先进的储能装置,构建起多能互补的供电模式,逐步减少隧道照明系统对外购电的依赖,降低运营成本的同时,提升能源供应的稳定性与可持续性。

在人才与技术推广层面,其重要性丝毫不亚于技术创新本身。培养跨学科的照明专业人才迫在眉睫,这类人才需融合电气、光学、交通工程等多学科知识。电气知识助力其设计高效稳定的照明电路,光学知识让其能精准把控照明亮度、色彩等参数,交通工程知识则使其明白如何依据隧道行车特性优化照明布局,多学科知识的交融为照明领域的持续创新注入源源不断的活力^[8]。搭建行业交流平台同样意义非凡,在此平台上,各企业、研究机构能够分享前沿技术,比如新型照明材料、智能控制算法,以及成功案例,像某条高速公路隧道通过创新照明设计降低事故率的实践经验。通过这样的交流分享,加速创新成果在行业内的传播速度,促进各方携手合作,共同攻克技术难题,实现行业的协同发展。

展望未来,只要坚定不移地以持续创新为驱动力,不断探索新型照明技术与材料,全力推动政府部门、科研机构、企业等多方协同合作,高速公路隧道照明必将冲破传统模式的重重局限。在照明亮度调节方面,将根据不同时段、天气状况以及车流量实现精准调控,为行车安全筑牢坚实防线;在能源消耗上,通过采用高效节能灯具与智能控制系统,达成更低的能耗目标;在运营管理层面,借助大数据、物联网等技术提升智能化水平,及时感知灯具运行状态并自动维护。如此,高速公路隧道照明将在交通强国建设的征程中发挥关键作用,书写属于自己的崭新辉煌篇章。

5 结语

展望未来,高速公路隧道照明领域充满无限希望。科技进步将促使灯具技术持续革新,更高发光效率、更优质光色的产品会相继涌现。智能控制系统也将深度

融合大数据、人工智能,提前预判交通态势,实现超精准调光。在绿色交通理念引领下,太阳能、风能等可再生能源有望大规模接入照明系统,构建多能互补格局,进一步削减能耗。同时,行业规范与标准将日益完善,从设计、施工到运维各个环节都有章可循。相信凭借各方努力,隧道照明定能在安全与节能间寻得完美平衡,为高速公路的畅行无阻提供坚实保障,开启交通照明的全新未来。

参考文献

- [1] 杨德进.高速公路隧道照明系统现存问题及改造研究[J].中国照明电器,2025,(03):75-77.
- [2] 千银敏.高速公路隧道照明节能控制研究[J].中国照明电器,2025,(01):149-152.
- [3] 刘慧莹.高速公路隧道照明系统关键技术指标质量检测数据的主要影响因素浅析[J].中国交通信息化,2024,(12):140-143.
- [4] 王子浩,柴辉照.浅析某高速公路隧道照明系统的技术与应用[J].山西交通科技,2024,(06):101-104.
- [5] 熊向年甜.智能化背景下智慧高速公路隧道节能照明系统设计研究[J].交通科技与管理,2024,5(21):136-138.
- [6] 浙江省首个高速公路隧道智能照明系统投用[J].光源与照明,2024,(10):1.
- [7] 严胜超,黄威,阳辉.高速公路隧道照明系统的能效优化[J].交通世界,2024,(26):104-106.
- [8] 魏雅萍,姜文苏,唐晓栋.浅谈高速公路隧道消防应急照明和疏散指示系统设计[J].电气时代,2024,(07):100-105.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

