

智慧交通背景下公路隧道通风照明节能技术研究

赵海军

新疆生产建设兵团交通建设有限公司 新疆乌鲁木齐 830000

摘要：在智慧交通快速发展的背景下，公路隧道作为交通网络的关键节点，其通风照明系统的节能优化成为行业关注焦点。传统隧道通风照明技术存在能耗过高、控制模式僵化、供需匹配度低等问题，难以适应智慧交通对高效、低碳、智能的发展要求。本文基于智慧交通的信息化、智能化技术优势，系统分析公路隧道通风照明系统的运行现状与节能痛点，从智能感知与监测、协同控制策略、新型节能技术应用、智慧管理平台构建四个核心方向，提出针对性的节能优化方案，旨在实现隧道通风照明系统的按需供给、精准调控与高效节能，为智慧交通时代公路隧道工程的绿色低碳发展提供技术支撑。

关键词：智慧交通；公路隧道；通风照明；智能控制

引言

公路隧道在提升交通通行效率、改善区域交通格局中发挥着不可替代的作用，但隧道内特殊的封闭环境导致通风照明系统成为主要能耗来源。随着智慧交通技术的不断革新，物联网、大数据、人工智能等技术为隧道通风照明节能提供了新的解决方案。传统通风照明系统依赖固定控制模式，缺乏对交通流量、环境参数的动态响应，造成能源浪费与运行效率低下。因此，将智慧交通技术与隧道通风照明节能深度融合，探索科学有效的节能优化路径，对于降低交通行业能耗、推动绿色交通发展具有重要现实意义。本文结合智慧交通技术特点，对公路隧道通风照明节能技术展开系统研究。

一、公路隧道通风照明系统运行现状与节能痛点

（一）通风系统运行痛点

公路隧道通风系统的核心功能是排出车辆尾气、补充新鲜空气，保障通行安全。传统通风系统多采用固定频率运行或简单的分段控制模式，存在显著的节能短板。首先，通风需求与控制模式不匹配，系统无法根据实时交通流量、车辆行驶状态及污染物浓度动态调整通风强度，往往在低流量时段仍维持高功率运行，造成能源浪费；其次，通风设备协同性差，隧道内不同区域的通风机多独立运行，缺乏全局统筹调度，导致气流组织不合理，部分区域通风过度而部分区域通风不足，既影响节能效果又降低通行舒适度；此外，传统通风系统的监测手段单一，仅依赖有限的传感器采集数据，难以全面、

实时反映隧道内空气质量与气流状态，导致控制决策缺乏精准依据。同时，隧道进出口的空气交换效率低，外界自然风的利用不足，进一步加剧了能耗负担。在长隧道工程中，传统通风系统还存在气流衰减快、远端通风效率低的问题，为保障远端空气质量不得不提高整体通风功率，形成“局部需求倒逼全局高能耗”的困境。

（二）照明系统运行痛点

公路隧道照明系统需解决明暗过渡、均匀照明等问题，确保驾驶员视觉适应与行车安全。传统照明系统存在诸多节能瓶颈：一是照明模式固化，多采用“全时段、全亮度”的粗放式控制，未根据自然光照强度、交通流量变化进行动态调光，白天强光时段与夜间低流量时段的照明强度缺乏灵活调整，能源浪费严重；二是照明布局与实际需求脱节，隧道内不同区段（入口过渡段、中间段、出口过渡段）的视觉需求存在差异，但传统系统多采用统一照明标准，未能实现精准适配；三是光源与控制设备老化，部分隧道仍沿用高能耗光源，且缺乏智能调光模块，无法实现照明强度的精细化调节；此外，照明系统与交通运行状态缺乏联动，未能根据车辆行驶速度、车流密度等参数优化照明策略，既影响节能效果又可能降低行车安全性。部分隧道的照明系统还存在眩光控制不佳的问题，为抵消眩光影响不得不提高照明亮度，间接增加了能耗^[1]。

（三）智慧化水平不足的制约

当前多数公路隧道通风照明系统的智慧化程度较低，难以满足智慧交通的发展要求。一方面，感知系统不完

善, 缺乏对交通流量、车速、污染物浓度、光照强度、温湿度等多维度参数的实时精准采集, 数据传输与共享不畅, 导致系统无法获取全面的运行状态信息; 另一方面, 控制决策缺乏智能化支撑, 未充分运用大数据分析、人工智能等技术, 控制策略多基于经验设定, 难以实现通风照明需求与供给的动态平衡; 此外, 缺乏统一的智慧管理平台, 通风系统与照明系统各自独立运行, 无法实现协同控制与全局优化, 且系统运行数据的分析利用不足, 难以通过数据挖掘发现节能潜力, 制约了整体节能效果的提升。部分已投入使用的智能系统还存在兼容性问题, 不同厂商的感知设备、控制模块数据接口不统一, 导致系统集成困难, 无法充分发挥智慧化优势。

二、智慧交通背景下公路隧道通风照明节能技术优化方向

(一) 智能感知与监测技术应用

智能感知是实现隧道通风照明精准节能的基础, 依托智慧交通的物联网技术构建全方位感知网络。在感知终端部署方面, 在隧道内合理布设交通流量检测器、车速传感器、一氧化碳/烟雾浓度传感器、光照度传感器、温湿度传感器等设备, 实现对交通运行状态与隧道内环境参数的实时采集。采用无线传感网络技术实现传感器数据的高效传输, 确保数据传输的稳定性与实时性, 避免因数据延迟影响控制决策。同时, 结合视频监控与图像识别技术, 辅助判断交通拥堵状态、车辆类型等信息, 为通风照明需求分析提供更丰富的数据支撑。通过多维度感知数据的融合处理, 全面掌握隧道内的实时运行状态, 为后续的精准确控制提供可靠依据。此外, 利用边缘计算技术对感知数据进行就近处理, 降低数据传输压力, 提高控制响应速度, 确保系统能够及时应对隧道内的工况变化。针对长隧道特点, 采用分布式感知布局, 在隧道中段、远端增设传感器节点, 实现污染物浓度、光照强度的分段精准监测, 避免因单点数据偏差导致的控制失误^[2]。

(二) 通风照明协同控制策略优化

基于智慧交通的大数据与人工智能技术, 构建通风照明协同控制体系, 实现供需精准匹配。在通风控制方面, 摒弃传统固定控制模式, 采用动态自适应控制策略。根据实时交通流量、污染物浓度数据, 结合车辆尾气排放模型, 精准计算通风需求, 通过变频控制技术调节通风机的运行频率, 实现通风强度的动态调整。针对隧道不同区段的污染物分布特点, 采用分区通风控制模式,

对高污染区域重点强化通风, 低污染区域适当降低通风强度, 优化气流组织。同时, 充分利用隧道进出口的自然风, 通过智能通风百叶的角度调节, 引导自然风进入隧道, 减少机械通风的运行时间与功率消耗。引入人工智能算法构建通风需求预测模型, 结合历史交通数据、气象数据提前预判通风负荷变化, 实现通风系统的预判性调节, 进一步提升节能效果与响应速度。

在照明控制方面, 采用分级调光与分区控制相结合的策略。根据隧道外自然光照强度、隧道内不同区段的视觉需求, 将照明强度划分为多个等级, 通过光照度传感器的数据反馈, 实现照明强度的自动切换。结合交通流量变化, 在车流密集时段维持较高照明亮度, 保障行车安全; 在车流稀疏时段适当降低照明亮度, 实现节能目标。利用车辆感应技术, 当检测到车辆即将进入隧道时, 提前启动相应区段的照明系统, 车辆通过后自动降低亮度或关闭部分灯具, 避免“长明灯”现象。针对隧道入口过渡段的视觉适应需求, 采用动态渐变调光技术, 根据外界光照强度与车辆行驶速度, 平滑调整照明亮度, 既保障视觉舒适又减少能源消耗。

(三) 新型节能技术与设备集成

依托智慧交通的技术创新优势, 集成新型节能技术与设备, 从源头降低隧道通风照明系统能耗。在通风系统方面, 选用高效节能型通风机, 其具有运行效率高、能耗低、噪声小等特点, 可显著降低机械通风的能源消耗。采用无刷直流电机驱动技术, 提高通风机的调速性能与运行稳定性, 实现通风量的精准调节。同时, 探索应用太阳能、风能等可再生能源辅助通风系统, 在隧道进出口或顶部设置太阳能集热板、小型风力发电设备, 为通风机运行提供部分电力支持, 降低对传统电网的依赖。针对长隧道通风能耗高的问题, 采用射流风机与轴流风机协同运行模式, 通过射流风机增强气流输送距离, 减少轴流风机的运行数量与功率, 优化能耗结构。

在照明系统方面, 全面推广LED等高效节能光源, 其具有发光效率高、使用寿命长、能耗低、环保无污染等优势, 相较于传统光源可大幅降低照明能耗。结合智能调光技术, 实现LED光源的精细化调光, 进一步提升节能效果。采用隧道专用的防眩光、高显色性LED灯具, 在保障照明质量的同时, 减少光线浪费与视觉疲劳。此外, 应用光导照明技术, 在隧道进出口或浅埋段设置光导装置, 将外界自然光线引入隧道内部, 替代部分人工照明, 实现自然光的高效利用。探索应用微波感应LED

灯具，通过微波传感器实时检测车辆位置，仅在车辆通行区域维持高亮度照明，非通行区域保持低亮度待机状态，最大化降低照明能耗。

（四）智慧管理平台构建与应用

构建基于智慧交通技术的隧道通风照明智慧管理平台，实现系统的集中管控、数据共享与智能决策。平台整合感知层采集的各类数据，建立统一的数据库，实现交通流量、环境参数、设备运行状态等数据的集中存储与管理。利用大数据分析技术对运行数据进行深度挖掘，分析隧道通风照明系统的能耗规律、需求变化趋势，为节能策略优化提供数据支撑。通过人工智能算法构建预测模型，提前预判交通流量与环境参数的变化，实现控制策略的提前调整，提高系统的响应速度与适应能力。

平台具备远程监控与控制功能，管理人员可通过终端实时查看隧道通风照明系统的运行状态，远程调整控制参数、启停设备，实现无人化值守与远程运维。设置故障预警模块，通过对设备运行数据的实时监测，及时发现设备故障与异常运行状态，发出预警信号并自动生成维修方案，提高设备运维效率，减少因设备故障导致的能源浪费与安全隐患。

三、节能技术应用的保障措施

（一）技术标准与规范完善

建立健全智慧交通背景下公路隧道通风照明节能技术标准与规范体系，明确智能感知设备的安装要求、数据传输协议、控制策略优化准则等，为技术应用提供统一依据。制定节能技术选型标准，规范LED光源、节能通风机、智能控制设备等产品的技术参数与性能指标，确保产品质量与节能效果。同时，完善系统验收与评估标准，建立科学的节能效果评价体系，从能耗降低率、控制精准度、运行稳定性等方面对节能技术应用效果进行全面评估，推动技术应用的规范化与标准化。针对新技术应用制定专项指南，明确智能感知网络部署密度、协同控制逻辑、智慧平台数据接口等关键技术要求，避免技术应用的盲目性^[1]。

（二）人才培养与技术创新

加强智慧交通与隧道工程交叉领域的人才培养，培养既掌握隧道通风照明专业知识，又熟悉物联网、大数据、人工智能等智慧交通技术的复合型人才，为节能技术的研发与应用提供人才支撑。鼓励企业、高校与科研

机构开展产学研合作，加大对隧道通风照明节能技术的研发投入，重点攻关智能感知、协同控制、可再生能源利用等关键技术，推动节能技术的持续创新与升级。建立技术交流平台，促进行业内节能技术经验的分享与推广，加速先进技术的落地应用。开展职业技能培训，提高一线运维人员对智能系统的操作与维护能力，确保节能技术在实际运行中充分发挥作用。

（三）政策支持与激励引导

出台相关政策支持公路隧道通风照明节能技术的推广应用，对采用智慧节能技术的隧道工程给予财政补贴、税收优惠等激励措施，降低项目建设与运营成本。将隧道通风照明节能效果纳入交通工程绿色发展评价指标体系，引导建设单位与运营单位重视节能技术应用。鼓励开展节能技术示范工程建设，通过典型案例的示范引领作用，带动行业内节能技术的广泛应用，推动智慧交通与隧道工程的绿色低碳融合发展。建立节能效益分享机制，对节能效果显著的项目运营单位给予额外奖励，激发其采用先进节能技术的积极性。

结语

智慧交通技术的发展为公路隧道通风照明节能提供了全新的发展机遇，打破了传统节能技术的局限。本文通过分析隧道通风照明系统的运行痛点，从智能感知、协同控制、新型节能技术、智慧管理平台四个方面提出了节能优化方案，并辅以相应的保障措施。在实际应用中，需充分结合隧道的地理位置、交通流量、环境条件等具体情况，灵活运用各项节能技术，实现技术与工程实际的精准适配。未来，随着智慧交通技术的不断进步，隧道通风照明节能技术将朝着更智能、更高效、更低碳的方向发展，为构建绿色低碳交通体系、推动交通行业可持续发展作出重要贡献。

参考文献

- [1] 赵亮, 黄丽娟, 孙焕钦. 智慧公路隧道照明控制技术分析[J]. 人民交通, 2023(16): 0115-0117.
- [2] 巩雯, 吴金锁, 石垚, 等. 公路隧道照明节能评价与智慧管控技术研究[J]. 公路交通技术, 2024(001): 040.
- [3] 李嘉麟, 李嘉麒. 隧道照明智能控制技术及其应用研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2023(12): 164-166.