

基于物联网的公路机电设备能耗监测与节能控制实践

刘昊源

云南云交科智慧园区科创产业发展有限公司 云南 昆明 650101

【摘要】：本文聚焦物联网在公路机电设备能耗监测与节能控制的应用，针对实际应用中多工况能耗数据采集精度欠缺、设备协同调控体系缺位、节能方案与现场运行状态适配度偏低等问题，部署高精度传感网络与数据校准机制、构建多设备协同节能智能调控框架、动态优化工况适配型节能方案。物联网技术支撑能耗数据实时捕获、异常判别与精准调控，进而推动公路机电设备综合能耗下降、能源利用效率提升、运维节能成本降低，为公路机电系统节能运行提供切实可行的技术路径与实践保障。

【关键词】：物联网；公路机电设备；能耗监测；节能控制

DOI:10.12417/2811-0536.26.03.014

引言

公路机电设备是高速公路安全通行与高效运营的关键保障，涵盖照明、通风、监控等多类子系统，能耗治理效能直接关联交通运营成本与绿色发展诉求。传统能耗管理依赖人工巡检与固定调控，数据滞后且管控粗放，难以匹配复杂工况下的节能诉求。物联网具备实时感知、数据融合与智能调控特质，为破解这一困境提供有效路径，本文聚焦其在公路机电设备能耗监测与节能控制的实践应用，剖析核心价值与现存挑战，提出针对性实施路径，通过技术赋能推动能耗管理向精准化、智能化转型，为高速公路绿色低碳运营筑牢支撑。

1 物联网在公路机电设备能耗监测与节能控制中的核心作用

(1) 能耗数据采集与实时感知：公路机电设备全场景布设高精度感知终端，依托物联网技术实现能耗数据全方位采集与实时动态感知^[1]。照明系统、隧道通风设备、监控摄像终端、收费站机电设施等核心能耗单元，均配备集成电流、电压、功率及能耗因子监测功能的物联网传感器，精准捕捉设备运行中的瞬时能耗值、累计能耗量、时段能耗波动等多维度数据。LoRa、NB-IoT 等低功耗广域网技术支撑下，采集的原始数据经即时预处理，以秒级响应速率上传云端能耗监测平台，同步关联设备运行负载、环境温湿度、交通流量等关联参数，构建完整能耗数据链条。平台实时呈现各设备及区域能耗分布状态，动态更新能耗变化曲线，保障数据采集、传输至呈现全流程无延迟，为后续能耗分析与节能控制提供精确、即时的数据支撑。

(2) 能耗异常诊断与浪费定位：物联网借由布设于公路机电设备核心能耗点位的高精度传感装置，不间断采集设备运行过程中电压值、电流强度、功率损

耗及能效指标，参照设备额定能耗规范及多元工况下的能耗基准数据，边缘计算与云端大数据分析模型支撑多维度比对研判。自动辨识设备待机冗余运转、过载低效运行、线路损耗异常、部件老化引发的能耗渗漏等各类异常情形，精准界定持续性能耗异常与突发性能耗起伏，隧道照明、收费站空调、监控设备等不同品类机电设施，可进一步锁定能耗浪费对应的具体部件、运行时段及路段区间，某段隧道照明设备夜间冗余开启、某收费站通风系统风压调节失衡引发的能源浪费均能精准辨识，数据关联研判排除环境因素干扰，保障能耗异常诊断的精准度与浪费定位的有效性，为后续节能调控提供清晰靶向支撑。

(3) 节能潜力挖掘与方向指引：物联网凭借海量时序能耗数据集及多维度关联研判技术，深度解析公路机电设备在多元运行工况、环境条件及负载强度对应的能耗规律，精准定位设备运行阶段的低效能耗点位与隐性浪费情境。构建能耗与车流量、光照强度、环境温湿度等影响因子的动态关联架构，量化各类节能手段的应用空间，照明系统低峰时段亮度调节潜力、通风设备基于环境参数的智能启停阈值优化区间、供电系统无功损耗压缩空间均在考量范畴。数据驱动的研判结论厘清节能优化的具体路径，高能耗设备组件升级路径、多设备协同运行的能耗分配模式、时段差异化动态调控策略贯穿其中，为公路机电系统提供可落地、量化的节能改造及运行优化指引，保障节能举措始终契合设备实际运行诉求与公路运营场景属性。

2 物联网在公路机电设备能耗监测与节能控制中的应用问题

(1) 多场景能耗数据采集精准度不足：公路机电设备散落于高速公路隧道、收费站、服务区、桥梁等多元场景，不同场景环境条件存在差异，隧道内高湿度、强粉尘、电磁干扰，服务区大功率设备集中运行

引发的电压波动，桥梁区域极端温度变化，皆可能干扰能耗采集传感器运行稳定性^[2]。机电设备品类繁杂，囊括照明系统、通风设备、收费终端、监控摄像头，不同设备能耗参数类型、采集频率要求存在差异，部分传感器适配能力欠缺，难以精准抓取各类设备能耗细节。数据传输阶段，长距离传输造成的信号衰减、多设备并发传输诱发的信道拥堵，部分老旧传输线路损耗，易引发能耗数据丢包、延迟或失真，部分采集设备采样频率未贴合实际运行工况动态调整，车流高峰、设备高负载等特殊时段难以实时捕捉能耗波动，进一步拉低能耗采集精度。

(2) 设备间能耗协同调控机制缺失：公路机电设备体系中设备间能耗协同调控机制缺位，照明、通风、监控、收费等各类子系统常呈独立运转态势，缺乏统筹能耗调控核心与跨设备协同逻辑。各类设备能耗需求随交通流量峰谷、环境温湿度变迁、路段通行态势等因素动态更迭，针对这些动态变量的协同响应机制尚未建立，照明系统难以依据交通监控捕获的车流量数据实时调整亮度等级，隧道通风设备与环境传感数据割裂，无法结合通行车辆数量与空气质量状况精准适配运行功率。各类设备能耗数据分散留存于独立管理终端，互通互认的信息共享链路尚未搭建，调控决策难以依托全场景能耗数据构建全局优化方案，使得部分设备处于高负载低效运转状态，部分设备仍维持固定能耗输出，既造成能源资源无谓损耗，也无法实现机电设备集群能耗最优配置。

(3) 节能策略与实际工况适配性差：略拟定多依托固定参数或理论运行框架，欠缺对公路机电设备实际运行场景、负荷起伏及环境变迁的动态适配。公路交通流量峰谷分化明显，日间车流密集时段与夜间低流量时段的设备能耗诉求差异显著，现有部分节能策略未就此针对性优化运行参数。环境因素的动态更迭亦未得到充分兼顾，高温、低温、降雨等天气状况直接作用于照明、通风、监控等设备的能耗量级，固化节能方案难以契合此类变量。不同路段机电设备的品类、服役年限及运行态势各有不同，部分策略未关联设备个体特质进行调整，致使部分设备因节能措施过度干扰运行稳定性，另一部分设备则因措施欠缺未能达成预期节能成效，最终使得节能策略与实际运行诉求脱节，难以达成能耗管控与设备平稳运转的均衡。

3 物联网在公路机电设备能耗监测与节能控制中的实施策略

(1) 高精度传感网络部署与数据校准：高精度传感网络布设需贴合公路机电设备能耗特质，实现全场

景覆盖与精准布点。照明系统、通风设备、监控终端、充电桩等核心能耗单元，其供电回路、核心工作部件、能耗输出端口等关键节点均装配适配型传感器，集成电流、电压、功率、温度等多维度监测组件，兼顾户外恶劣环境适配性，甄选抗电磁干扰、耐高低温、防潮湿腐蚀的工业级传感装置，保障不同场景稳定运转^[3]。网络采用分布式架构，无线传感节点与有线传输链路结合，降低信号衰减与传输滞后，实现能耗数据实时采集与无缝传导。数据校准构建动态体系，定期与标准计量装置比对，参照设备运行年限、工况变迁调校参数，依设备能耗波动规律搭建个性化框架，边缘计算节点实时校验修正，化解外部因素干扰，确保监测数据真实可信。

(2) 多设备协同节能智能调控体系构建：物联网网关支撑跨设备数据交互链路搭建，达成照明系统、通风设备、收费终端、监控摄像头等公路机电设备能耗数据与运行状态即时联通，消解各类设备间的信息壁垒，保障各系统运行参数同步互通。边缘计算节点承载多源异构数据即时处理，整合设备能耗特征数据库与交通流量、环境光照、大气温度等动态环境因子，搭建多维度协同调度算法架构，能依据道路通行实时态势动态适配设备运行范式，车流量低谷时段联动下调非核心区域照明照度、压低通风设备运行功率，同步优化收费设备待机能耗指标，极端天气、交通高峰等特殊运行场景中合理调配供电载荷，优先确保监控、应急照明等核心设备足额运转，联动调适其余辅助设备运行态势杜绝能源无效损耗，设备间动态协同达成全场景能耗最优调配见图1。



图1 公路机电物联网协同能耗调配图

(3) 工况适配型节能策略动态优化：工况适配型节能策略动态优化以物联网实时捕获的多元工况参数为核心依托，囊括公路车流密度、环境温湿度、设备运行载荷、电网供电效能等关键因子，构建工况-能耗关联映射数据库，实现不同运行场景下设备能耗特征的精准勾勒。机器学习算法深度剖析历史能耗数据与工况参数，形成多维度节能策略模型库，涵盖低负荷运行范式、峰值错峰调度、环境自适应调适等细分方向，工况动态更迭时系统自动调取对应模型，实时校

准备设备运行指标，夜间低车流时段自动下调隧道照明功率等级并优化间隔布局，高温时段通过调节通风设备风速与启停周期适配散热需求，电网谷段合理分配高能耗设备运行时段。依托实时能耗反馈数据持续修正策略因子，消解固定策略与实际工况脱节引发的节能缺口，确保设备在满足运行性能要求前提下，始终处于与当前工况高度契合的最优节能态势。

4 物联网在公路机电设备能耗监测与节能控制中的应用成效

4.1 机电设备综合能耗显著下降

高精度传感网络为物联网提供支撑，即时捕获公路机电设备运行全流程能耗数据，照明系统、通风设备、监控终端、通信基站等各类关键设备的电能消耗态势均被覆盖，依托数据感知效能精准辨识设备不同时段、多元工况下的能耗波动规律^[4]。这些实时数据支撑智能调控系统动态适配设备运行诉求，规避设备无负荷或低负荷状态下的无效能耗，公路路段实际光照强度主导照明设备发光功率自动调节，车流密度决定隧道通风系统运行风速灵活适配，监控区域人流分布指引摄像头工作模式优化。设备运行参数持续调校减少参数失衡引发的过度能耗，各类机电设备始终维系在低能耗、高效率运行区间，各类设备能耗的合理管控共同推动整个公路机电系统综合能耗显著下行，实现能源消耗的集约式管控。

4.2 能源利用效率全面提升

物联网技术对公路机电设备运行全流程的精准管控，推动能源利用效率全域提质。系统即时捕捉各类设备运行载荷、环境适配诉求与能源消耗态势，将照明、通风、监控、供电等多类设备纳入统一能耗调控体系，依托路段车流密度、自然光照强度、隧道内温湿度等实时数据，动态调校运行指标^[5]。照明设备依昼夜交替、天气变迁及路面通行态势智能调校发光强度，兼顾行车视野清晰与能源损耗规避；通风设备联

动隧道空气质量指标与车流动态，灵活调适送风功率与运行时长，契合空气流通标准且无无效能耗。各类设备打破独立运转模式，物联网构建的协同调控机制实现跨系统能源合理分配，减少传输与转换损耗，让能源供给与设备实际诉求精准契合，每一份能源均能充分支撑设备高效运转，助力公路机电设备能源利用向精细化、高效化转型。

4.3 运维节能综合成本有效降低

物联网技术构建全流程智能化运维体系，大幅压缩传统运维非必要资源耗费。远程监控与数据可视化功能支撑沿线照明、通风、收费系统等机电设备集约化监管，无需投入大量人力开展高频次现场巡检，省去巡检相关交通出行、设备登临检查等开支，规避无效巡检造成的人力闲置损耗。智能调控机制依设备实时能耗数据与实际工况动态调校参数，避免设备长期高负荷运转或低效率待机，减缓零部件磨损、延长核心部件服役年限、降低维修更换频次，减少备件采购与故障维修的物料、人工成本。能耗异常精准定位与快速响应缩短故障排查修复周期，避免能源无效消耗及停机间接损失，各运维环节成本优化形成叠加效应，推动运维节能综合成本实质性下降。

5 结语

物联网技术为公路机电设备能耗监测与节能控制提供体系化解决方案，依托全场景数据采集、智能诊断与协同调控，攻克传统模式下数据精准度欠缺、协同机制缺位、策略适配性不足等核心难题。该技术不仅实现机电设备综合能耗实质性回落，更推动能源利用向精细化高效化转型，通过智能化运维压缩综合成本，为公路运营注入高效节能新动能。未来伴随物联网与人工智能、大数据技术深度融合，公路机电系统能耗管控将更趋智慧精准，持续助力交通基础设施绿色低碳发展，为构建可持续现代化公路运营体系筑牢支撑。

参考文献:

- [1] 黄丹枫.论公路工程项目机电系统数字监测及运行维护[J].交通科技与管理,2025,6(14):4-6.
- [2] 林奕俊.基于物联网的高速公路机电设备远程监控方法[J].交通世界,2025,(10):178-180.
- [3] 刘时雨.基于物联网的高速公路收费站机电设备状态在线监测方法[J].装备制造技术,2025,(02):44-47.
- [4] 朱虎,杜琳.基于物联网技术的高速公路机电设备远程监控研究[J].智能物联技术,2024,56(05):145-148.
- [5] 张征.基于物联网技术的高速公路机电设备监控系统分析[J].交通世界,2024,(16):181-183.