

The Application of Internet of Things Technology in the Operation and Maintenance of Electromechanical Equipment for Expressway Toll Collection

Heng Zhu

Guangxi Communications Investment Group Liuzhou Expressway Operation Co., Ltd., Liuzhou, Guangxi, 545001, China

Abstract

Expressways are an important driving force for national economic development. The rapid development of expressways has put forward higher requirements for the operation and maintenance of mechanical and electrical equipment. Against this backdrop, this paper studies and analyzes the traditional manual operation and maintenance sites and pain points of expressway toll collection electromechanical equipment. As an important component of the new generation of information technology, the core of the Internet of Things is to achieve the interconnection and intercommunication between people and things, as well as among things themselves. This article conducts an in-depth discussion on the operation and maintenance technology, platform architecture, and application functions of expressway toll collection electromechanical equipment based on the Internet of Things. Through specific technical principles, architecture design, and functional implementation, it demonstrates the innovative role of Internet of Things technology in the operation and maintenance mode of toll collection electromechanical equipment, providing practical references for the upgrade of expressway operation and maintenance under the background of smart transportation.

Keywords

Internet of Things Technology Expressway; Operation and maintenance of charging electromechanical equipment

物联网技术在高速公路收费机电设备运维中的应用

朱恒

广西交通投资集团柳州高速公路运营有限公司, 中国 · 广西 柳州 545001

摘 要

高速公路是国家经济发展的重要驱动力, 高速公路快速发展对机电设备运维提出了更高要求。在此背景下, 本文研究就高速公路收费机电设备传统人工运维现场与痛点进行分析。物联网作为新一代信息技术的重要组成部分, 其核心是实现人与物、物与物的互联互通。本文从基于物联网的高速公路收费机电设备运维技术、平台架构、应用功能三方面展开深入探讨, 通过具体技术原理、架构设计及功能落地, 论证物联网技术对收费机电设备运维模式的革新作用, 为智慧交通背景下高速公路运维升级提供实践参考。

关键词

物联网技术; 高速公路; 收费机电设备运维

1 引言

我国高速公路发展迅速, 路程长、环境复杂、高速公路车流量持续增加, 高速公路收费机电设备数量激增、分布分散且面临环境复杂。传统运维依赖人工巡检, 存在四大痛点: 一是故障发现滞后, 常靠司机反馈, 易引发车道拥堵; 二是排查效率低, 人工成本高; 三是管理粗放, 设备寿命凭经验判断; 四是人工运维管控缺乏全局性。当前背景下, 高速公路收费机电设备传统人工运维难以适配智慧交通发展

需求, 亟需技术革新。物联网是新一代信息技术的重要组成部分, 其核心是实现人与物、物与物的互联互通, 本次研究中就物联网技术在高速公路收费机电设备运维中的应用进行介绍和分析。

2 高速公路收费机电设备传统运维现状与痛点

高速公路收费机电系统是保障通行效率的核心基础设施, 高速公路收费机电设备分布广、数量多、工况复杂, 传统人工运维模式已暴露出明显短板。

2.1 故障发现被动、通行影响显著

传统人工运维以“故障后报修”为主, 缺乏实时监测手段。当收费设备出现问题时, 需等待现场收费员上报或车

【作者简介】朱恒(1983-), 男, 中国广西柳州人, 本科, 工程师, 从事高速公路机电、网络、通信研究。

主反馈,再安排运维人员赶赴现场排查,响应时长过长,据文献资料,传统人工运维下,高速公路收费机电设备故障从发生到修复超过3小时,单次故障甚至影响上千余辆车次通行,严重降低通行体验,甚至引发大型交通事故^[1]。

2.2 人工巡检效率低、成本高

传统人工运维模式多采取定期巡检模式,组建专门运维对位,以“按路段排班、逐车道排查”的方式开展工作,人力成本较高,单次巡检耗费时间长,整体运维效率低下。人工巡检存在明显“感知盲区”,对于计重传感器内部磨损、车道控制器芯片温度异常等隐性故障难以及时发现,经常出现“巡检时设备正常、实际使用中突发故障”的问题。

2.3 管理碎片化,缺乏全局管控

人工运维模式下,高速公路收费机电设备管控呈现碎片化模式。当前不同路段高速公路收费机电设备来自不同厂商,像ETC设备多为华为、金溢,计重设备多是中航电测,各厂商设备数据格式不统一。这些数据还分散存储在各路段管理系统中,未整合形成全局数据库。

当跨路段设备出现关联性故障,运维人员无法借助统一数据平台快速定位故障根源,只能逐路段、逐设备排查,严重降低故障修复效率,影响高速公路通行顺畅。

2.4 设备老化预测难,运维计划性差

收费机电设备平均使用寿命为5-8年,但受工况差异影响,老化速度不同。传统运维坚持“固定年限更换”原则,缺乏基于设备实际状态的老化预测,导致部分设备未到年限已频繁故障,部分设备超期使用仍性能良好,造成资源浪费^[2]。

3 基于物联网的高速公路收费机电设备运维技术

3.1 传感器技术

传感器技术,能实时捕捉高速公路收费机电设备运行状态,采集设备实施运行数据。传感器主要包括了温度传感器、压力传感器、振动传感器等,采集设备实时数据,并将数据传输到中心控制系统,实现对设备情况的全面、实施掌握^[3]。应用传感器网络能够分析设备运行数据来及早识别设备故障,例如对车道控制器、ETC天线等核心设备,嵌入温湿度与电流电压传感器,监测内部温度和供电稳定性,及时预警硬件过载风险;ETC门架装振动传感器,捕捉震动导致的结构松动,避免设备损坏;计重设备内部署磨损传感器,监测组件损耗,提前发现影响称重精度的故障。借助传感器有效实现全面、实时运维和预警式运维。

3.2 数据采集与传输技术

数据采集与传输技术是连接传感器和运维平台的关键,借助数据采集和传输技术解决收费机电设备多源数据整合与稳定传输问题。数据采集时,因收费机电设备来自不同厂商,数据格式存在差异,需通过数据采集与传输技术实现数据格式的标准化。此外,依托大数据分析能力,分析监测数

据潜在规律与发展趋势,还能够为设备故障预测、运行性能优化及维护计划制定提供科学且可靠的决策依据。数据分析通过整合设备历史运行数据与实时监测数据,能够构建针对性的预测分析模型。该模型可精准捕捉设备运行中的异常征兆,提前识别潜在故障风险——例如通过分析设备长期温度波动、电流变化等数据,预判硬件老化引发的故障,从而让运维人员在设备事故前提前介入,采取预防性措施,最大限度降低故障对通行的影响^[4]。数据分析还为运维策略的优化提供了重要助力。对设备运行数据的深度剖析,能够清晰呈现设备的实际负荷状态,基于数据制定的维护计划,既能避免过度维护造成的资源浪费,又能防止因维护不足导致的设备故障,降低运维成本。

3.3 实时监测与远程监控技术

实时监测与远程监控技术实现对设备状态的远程掌控与快速干预。实时监测技术集中展示全网收费机电设备关键指标和核心参数,支持按路段、故障类型等多维度筛选,让运维人员快速掌握全局状态。当设备参数超出预设阈值,如控制器温度超60℃、ETC天线信号强度不足,系统推送预警,明确标注设备位置、异常参数与可能影响,帮助运维人员精准定位。远程监控技术则聚焦故障预诊断与远程干预,减少现场巡检频次。运维人员可通过平台远程登录设备操作系统,查看通信超时记录、错误代码等运行日志,定位网络中断、软件配置错误等故障常见非硬件原因,借助系统完成非硬件故障一键维修。

4 基于物联网的高速公路收费机电设备运维平台架构

采用“四层架构”设计,从感知层、网络层、平台层到应用层,各层协同工作,构建完整的运维体系。

4.1 感知层

感知层是物联网运维平台的核心数据来源,主要功能是采集收费机电设备及周边环境的原始数据。其关键组成包含三类设备:一是设备状态感知设备,即温湿度、电流电压、振动、信号强度等传感器,直接安装在设备本体或内部,实时获取硬件状态与功能运行数据;二是身份识别设备,为每台收费机电设备分配唯一标识(如RFID标签、二维码),通过专用阅读器或手机APP扫码,快速确认设备身份并关联合账信息(如型号、安装时间、保修期限);三是环境感知设备,如降雨量、能见度、粉尘传感器,部署在设备周边,采集影响设备运行的环境数据,为设备防护提供支撑。感知层需满足“全面覆盖、稳定采集”要求,确保每台核心收费设备都配备对应感知设备,根据设备特性设定采集频率,保障数据采集成功率,避免因数据缺失影响运维判断。

4.2 网络层

网络层是连接感知层与平台层的关键数据传输通道,负责感知层数据上传与平台层控制指令下发,架构遵循“分

层组网、多网备份”原则^[5]。本地接入网覆盖收费站及周边，通过工业以太网交换机连接设备与边缘网关，实现数据本地汇聚；区域传输网覆盖沿线设备，采用双模传输模块，将数据传至区域级边缘节点；骨干传输网通过专线汇总区域节点数据至运维云平台，借助VPN保障传输安全稳定。同时，网络层具备网络状态监测功能，实时追踪链路带宽、丢包率与延迟，链路故障时自动切换备份链路；边缘节点设数据缓存功能，网络中断时暂存数据，恢复后自动补传，避免数据丢失。

4.3 平台层

平台层是运维平台的“大脑中枢”，负责数据存储、计算、分析，实现数据的整合分析和应用支持。数据存储与管理采用分布式数据库架构，分为实时数据库与历史数据库：实时数据库记录设备实时运行数据，满足设备实时监测需求；历史数据库存储设备历史运行数据、故障记录、运维工单等数据，支持运维决策。数据计算分析部署实时与离线引擎：实时引擎判收费机电设备数据阈值、检测异常，给予检修预警和提示；离线引擎深析历史数据，统计设备故障率、关联故障与环境因素，借模型预测设备寿命，支撑预防性维护。

4.4 应用层

应用层是平台与用户的交互界面，针对一线运维人员、管理人员、决策人员等不同角色，提供差异化应用功能，实现运维业务全流程数字化。设备监控中心面向所有运维人员，运维人员可通过平台查看设备实时参数、历史故障等信息；故障管理系统识别收费机电设备故障给予故障红色提醒，运维人员在线接收维修信息，到指定地点完成维修并上传维修记录；预防性维护系统立足于设备运行数据对设备寿命故障进行分析和预测，生成更换建议与巡检提醒建议；决策分析系统为管理人员提供设备在线率、月度故障统计、平均修复时长、运维成本分析等可视化报表，支持自定义报表生成，通过数据挖掘发现潜在问题，为运维策略优化提供依据。

5 物联网技术在高速公路收费机电设备运维中的应用功能

5.1 设备状态实时监测与预警

物联网技术应用解决传统人工运维故障发现滞后问题，实现全设备、全参数实时监测与精准预警。例如，针对ETC门架、车道控制器、计重设备及费显屏、车牌识别相机等辅助设备，分别监测核心运行参数，参数异常时立即触发预警，预警机制明确设备位置、异常参数、可能影响与处

置建议，同时在平台地图以红色闪烁标识故障设备，关联设备编号、负责人员及历史故障记录，助力运维人员快速定位、规划路线，缩短响应时间，降低故障对通行的影响。

5.2 故障诊断及预测性维护

依托数据联动分析与历史数据库，平台自动判断故障类型与根源，准确率高。复杂故障通过设备拓扑图展示关联关系，辅助判断故障是否扩散，并调取历史故障记录与维修方案参考。远程预诊断支持运维人员远程登录设备后台查看运行日志、发送测试指令，线上解决多数非硬件故障；预测性维护基于数据分析技术，科学预测设备寿命与故障风险，生成预防性更换建议与提前巡检计划，更换老化部件，降低突发故障率。

5.3 远程控制与智能决策支持

远程控制可解决软件配置错误、通信链路中断等非硬件故障，通过远程重启设备、调整参数、刷新显示、校准设备等操作，大幅缩短修复时间，减少现场运维工作量。智能决策支持自动统计关键运维指标，生成多维度可视化报表，从设备、路段、成本维度提供数据参考；通过数据挖掘发现潜在问题并给出优化建议，助力管理人员制定科学运维计划，优化资源配置，提升运维智能化水平与效率。

6 总结

高速公路收费机电设备传统运维存在故障发现被动、人工巡检效率低、管理碎片化、设备老化预测难等痛点，难以适配智慧交通发展。物联网技术通过传感器、数据采集传输、实时监测远程监控等技术，构建四级运维平台，实现技术革新。传感器实时掌握设备状态，数据传输技术实现数据高效传输和整合，平台层分析决策，快速处置和维修。物联网技术应用于高速公路收费机电设备运维，设备故障响应与修复时间缩短，运维成本降低，设备稳定性与通行效率提升，为智慧交通下高速公路运维升级提供有力支撑。

参考文献

- [1] 郑文礼. 基于物联网技术的高速公路机电设备智能监控与运维管理[J]. 张江科技评论, 2024, (12): 93-95.
- [2] 刘博. 高速公路机电设备运维信息化管理探究[J]. 中国设备工程, 2024, (16): 60-62.
- [3] 张璐. 高速公路项目智能机电设备运维管理系统研究[J]. 交通世界, 2024, (12): 174-176.
- [4] 陈志英. 基于物联网和大数据应用的高速公路机电系统数字监测与运维[J]. 运输经理世界, 2023, (21): 160-162.
- [5] 刘阳. 基于物联网的高速公路机电设备智能运维系统关键技术及设备研发. 广西壮族自治区, 广西交科集团有限公司, 2023-07-04.