

Exploration on the Construction and Application of Information System for Expressway Mechanical and Electrical Engineering

Xiang Xiao¹ Hang Zhang²

1. Zhejiang Jinhua Yongjin Qushang Expressway Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang, 321000, China

2. Zhejiang Jiaotou Expressway Construction Management Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract

Currently, the construction of electromechanical engineering on highways in China is booming. In order to improve the operational efficiency of electromechanical production equipment, the electromechanical engineering information system has emerged. The new system changes the traditional mode of manual inspection and passive response, and adopts a new mode of intelligent automation, integration, and proactive prevention. This article will discuss the construction architecture of the information system for highway electromechanical engineering, and explore the application scenarios and methods of its system technology, such as intelligent monitoring and operation scheduling platform, monitoring system platform, intelligent inspection system, holographic perception system, electromechanical operation and maintenance comprehensive management system, etc. These systems all adopt advanced intelligent information technology and have a relatively wide range of technological radiation. Finally, we look forward to the future development direction of system construction and operation.

Keywords

expressway; Mechanical and electrical engineering information system; Building architecture; Intelligent inspection; Holographic perception

高速公路机电工程信息化系统构建与应用探析

肖翔¹ 张航²

1. 浙江金华甬金衢上高速公路有限公司, 中国·浙江 金华 321000

2. 浙江交投高速公路建设管理有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

摘要

当前中国高速公路机电工程建设如火如荼,为实现机电生产设备运行效率提高,机电工程信息化系统应运而生。新系统一改传统中人工巡检与被动响应的固有模式,而是采用智能自动、集成化、主动预防新模式。本文将泛谈高速公路机电工程信息化系统的构建架构,探讨其系统技术的应用场景以及应用方法,如智慧监测以及运维调度平台、监控系统平台、智能巡检系统、全息感知系统、机电运维综合管理系统等。这些系统均采用了目前先进的智能信息化技术,且技术辐射范围相对较广。最后,展望系统构建与运行的未来发展走向。

关键词

高速公路; 机电工程信息化系统; 构建架构; 智能巡检; 全息感知

1 引言

现代高速公路机电工程信息化系统已经引入大量信息化技术,例如监控、巡检、感知等分支系统不但智能化水平高,而且还能全方位跟踪高速公路车辆运行状态,为某些突发事件状况给出客观评价,精准计算提供条件。同时,该系统具有较高的运维效率,可以保障所有机电工程设备安全稳定运行,它的系统核心架构内容复杂,非常值得深入研究。

2 高速公路机电工程信息化系统的基本架构构建

高速公路机电工程信息化系统的信息化水平高,基本满足从云技术、边缘技术到端对端技术的三位一体系统,技术架构比较完整。其中,更集成了大量前沿技术,满足高效率生产管理运维要求。从云、边到端,系统的基本架构构建内容如下:

2.1 云——云计算与大数据信息化系统架构

系统的云计算与大数据信息化系统架构内容表现丰富,其中的核心架构分层就包括中心云与区域云两种。前者负责统一管理系统基本架构,它的决策分析以及 AI 训练能力较强;后者负责融合云计算、大数据智算流程,它的多云化管

【作者简介】肖翔(1988-),男,中国浙江衢州人,本科,工程师,从事机电工程、高速公路建设信息化研究。

理机制健全且可以存储海量数据。

在区域云周边，还有边缘云，它是系统分支架构的关键。边缘云的公路路段部署能力较强，所以主要用于收费站部署，具有较强的本地实务数据以及业务处理能力。边缘云的低时延响应速度较快，可以配合工艺协议兼容使用。边缘

云所对应的边缘设备终端比较复杂，包括情报处理器、摄像机、传感器等，它们还被接入区域云，负责管理物联网 IoT 网关，解析诸多协议内容，采集状态数据以及相关指令^[1]。

云计算与大数据信息化系统架构拥有多个核心业务环节，具体参考表 1 内容。

表 1 云计算与大数据信息化系统架构核心业务内容

云计算与大数据信息化系统架构项目	云计算与大数据信息化系统架构内容
智慧收费站、云收费平台	部署一体化设备，简化运维稳定运行机制，满足收费业务快速上线要求
视频云联网与 AI 分析机制	创建视频云联网与 AI 分析机制，存储海量视频数据，分析事件智能检测机制与结果
全生命周期运维平台	设立云计算与大数据数字档案，记录采购设备从生产运行到报废全过程。建立设备健康预测模型，建立全生命周期运维精准养护平台
一体化监控与应急指挥管理机制	分析气象环境、设备状态等多维数据，通过可视化大屏调整“一图统览”功能应用，满足一键应急预案启动应用要求

2.2 边——物联网与全面感知信息化系统架构

在系统边缘，分支系统主要为物联网系统，系统中的传感器设备部署较为丰富。例如在隧道、门架等部署位置均处于边端位置，可以实现对设备的专门调整优化，环境参数表现多元，可以满足全息采集技术应用需求。

例如在物联网巡检系统中，诸如“灵机”、“灵犀”等智能巡检系统属于中国自主研发系统，系统的二维码安全外网数据比较丰富，可以满足自动巡检与数据传输要求，并配合微信自动派单。该智能巡检系统的巡检频率水平较高，可以达到 3 分钟 / 次的高巡检效率，响应速度相当理想。

2.3 端——人工智能与数字孪生信息化系统架构

最后是端，系统包含人工智能 AI 端以及数字孪生端，二者都遵循 AI 算法自动检测故障，捕捉高速公路行车异常状况。例如，采用两种技术的异常状况识别率高达 96% 以上，配合数字孪生技术构建高速公路的隧道三维可视化模型，满足隧道的映射以及监控工作要求。除此之外，地理信息系统 GIS 端则负责管理系统以及行车状态信息，并将状态信息与电子地图相互结合，满足机电设备的空间信息可视化定位要

求，智能化管理技术水平较高。

3 高速公路机电工程信息化系统的应用场景与技术方法

在中国，高速公路机电工程信息化系统已经在多个省份地区被使用，且实践应用成果卓越。下文主要结合系统应用场景，分析其具体技术应用方法。

3.1 云计算与大数据信息化系统的应用场景与技术方法

系统的云计算与大数据信息化分支系统应用技术水平较高，它的应用场景主要是高速公路的机电系统智慧监测以及运维调度平台。在平台上，所集成的大数据、云计算 AI 机器人可以满足对高速公路的全域监控管理，一旦发现问题统一报警，并分层调度大数据内容，具体分层参考设备侧所部署的传感器展开，传感器的数据采集能力较强，可以在网络边缘侧实现初步数据处理，实时分析云端海量大数据，深度挖掘并智能调度“通算 + 智慧”一体化云平台，支撑系统模型构建智能化训练机制，完成云计算推理任务。该套系统的核心功能满足了四大智能化技术跨越，具体参考表 2。

表 2 云计算与大数据信息化系统的应用场景与技术实践方法

云计算与大数据信息化系统核心功能	云计算与大数据信息化系统功能内容
状态感知可视化功能	采用云计算 + 数字孪生技术构建比例为 1:1 的三维可视化模型，满足设备状态“一图统览”功能要求
运维模式主动化功能	分析 AI 算法应用情况，了解性能参数发展趋势，满足预测性维护机制，解决故障发生前预警问题。目前，国内某些地区的高速公路平台利用 AI 模型预判故障问题，系统故障主动发现率大幅度提高
故障处置协同化功能	建立平台自动故障诊断机制，智能生成工单分析系统运维机制，压缩维修与响应时间
决策支持数据化功能	建立平台收费与监控决策支持机制，构建并运行数据分析模型。满足设备更新与资源调配要求，建立决策量化参考机制

3.2 物联网与全面感知信息化系统的应用场景与技术方法

3.2.1 物联网与全面感知信息化系统及其应用场景

物联网与全面感知信息化系统拥有比较灵活的应用场景，例如智能巡检系统应用场景或者供配电一体化管控应用

场景。例如在中国众多大高速工程项目中，隧道全息感知系统应用范围广泛，它的综合应用 AI 以及机器视觉算法发挥了作用，在隧道综合管控平台中主要负责构建高速公路路网，重点管控高速公路车辆。在隧道中，它可以通过物联网与全面感知系统实现对车辆的状态立体化、可视化监控，

搭建隧道控制综合运维系统。该套系统是中国从美国、日本等国家借鉴的先进技术系统，它的系统信息共享功能表现突出，配合以太网以及图像处理通信技术突破固有技术瓶颈，满足隧道监控一体化操作要求，对高速公路隧道中可能发生的交通状况进行及时预判。如果交通事故已经发生，系统中的感知信息化分支系统则能发挥作用，报警调度相关救援人员参与现场救援活动。在计算机网络信息监控操作过程中，主要联动相关责任人员快速采取措施。客观讲，当前绝大部分高速公路隧道都安装了隧道综合管控平台，该系统所发挥的交通运营压力缓解作用显而易见，对隧道内安全形成以及系统安全功能应用最大化有极大利好。根据系统实际操作结果，它的最快响应时间仅为 24s^[2]。

3.2.2 二级计算机系统及其应用场景

为确保系统响应快速，与物联网、传感器有效联动，系统还专门设计了一套二级计算机系统。该系统专门服务于中下级网与上级网相互连通应用场景，且下级网部分采用双环光纤操作，最速响应时间低于 10s。同时，还配合系统安装了一套无线通信以及电力交通控制系统，二者都能实现第一时间火灾报警，并配有 10 个子系统平台，模拟系统响应全过程，并满足画面监控与显示要求。系统的中央计算机控制中心则能够直接控制一级计算机系统，这一系统的主要工作任务是采集数据系统内容，形成双机备份，利用软件模块分析数据内容。例如，系统的 MTBF 指标可以达到 10000H 以上，如此可以至少提高高速公路的营运能力水平约 30%。所以说，该系统的信息化运营能力水平极高，可以实现对高速公路的科学运维。

3.3 人工智能与数字孪生信息化系统的应用场景与技术方法

人工智能 AI 技术可以与数字孪生技术相互配合，共同打造高速公路机电工程信息化系统，它的主要应用场景为工程中的机电运维综合管理系统。该系统便于技术人员操作，因为它采用微信 App 小程序报修平台，技术人员随时都能报修并查看系统以及设备故障问题，构建一套“四维一体化”的巡检技术体系，满足系统的全流程线上闭环管理技术要求。

例如，数字孪生技术负责在系统所设计的数字虚拟空间中模拟构建真实物理的高速公路机电工程映射，实现与系统之间的交互式反馈，打造闭环管理数字监控模型。该模型的主要任务是定期检查高速公路的隧道、路面以及桥梁安全状况，配合集成安装的传感器、摄像头分析桥梁状态，分析交通流数据以及周边环境数据等。以高速公路机电工程的基本映射为例，数字孪生技术所提供的指挥功能表现比较全面，可以为技术人员直观且全面观察路段工程运行状况提供直观参考^[3]。

另外采用人工智能 AI 技术，该技术的应用范围更广，可以为系统提供智能化机器学习功能，解算视觉观察成果，建立深度学习分析机制。机电工程信息化系统的感知水平较高，可以分析并决策高速公路的实际运行状况，基于系统感知建立公路管理“智慧大脑”，它的数字孪生技术对海量数据处理能力较强，可以为系统提供某些智能化、信息化、自动化解决技术方案。以临金高速公路临安至建德段为例，该项目隧道综合管控平台的节能智能化控制技术水平较高，配合数字孪生技术集成高速公路上所有车辆的车流量数据。以 AI 算法为基础，动态控制高速公路隧道中的照明以及通风系统。当隧道中车辆较少时，系统可以提供自动调暗灯光方案，并同时降低通风系统的风机运行频率。如此看来，系统的精细化节能水平较高，可以降低系统的综合运维成本。

该系统的人工智能技术与数字孪生技术相互融合打造了全新的机电工程信息化系统，这一融合并非简单的技术堆砌，而是强调建立技术感知、映射与控制决策闭环。该套闭环的规划与设计内容丰富，可以通过数字孪生技术衍生创建 BIM 信息模型，配合 GIS 地理信息系统构建高速公路的完整三维数字模型，准确模拟不同方案下的高速公路管理技术细节。就目前看，临金高速公路临安至建德段项目隧道综合管控平台全面通过 AI 人工智能算法等仿真优化计算方案，可以对系统摄像头、传感器布设点位进行动态调整，最大限度提高系统监控效率以及覆盖范围。该系统能够有效预测高速公路的交通流量增减情况，为运营单位缓解监控工作压力。

4 结语

在高速公路建设项目中，针对机电工程信息化系统持续优化相当重要，要基于设备灵活应用属性与稳定性来提出一系列系统信息化技术机制，建立基于云、边、端的综合技术应用体系。在该套技术体系中，主要希望提出对高速公路的不良管理机制的技术性解决方法，所以数字孪生技术、AI、云计算、大数据等技术方法都有用武之地，可以切实满足对项目运行中交通运维、交通事故的有效预判。如果事故已经发生，也能快速报警规划提出救援方案，保证其它车辆安全通过事故路段。所以，本文所研究工程项目内容具有科学价值，可以为未来的机电工程项目建设提供技术性参考，提高高速公路整体运行效率。

参考文献

- [1] 陈曦.信息化背景下高速公路机电工程通信系统技术的应用研究[J].移动信息, 2025, 47(5):43-45.
- [2] 郭志荣.论基于物联网技术的高速公路机电设备智能监控系统[J].微型计算机, 2025(4):22-24.
- [3] 徐野.现代通信技术在高速公路机电工程信息化建设中的应用[J].今日自动化, 2024(3):125-127.