 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i10.7898

Research and Application of a Visualization Management Platform for Railway Communication and Signaling Concealed Works

Lan Li

Guoneng Huangda Railway Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257000, China

Abstract

The railway communication and signaling system plays a crucial role in ensuring the safe, stable, and efficient operation of trains. However, during the construction process, tasks such as cable laying, box pre-embedding, and grounding device installation fall under the category of concealed works, rendering the railway communication and signaling system invisible after construction. This significantly complicates subsequent management and maintenance efforts. In the past, the traditional manual inspection model suffered from delayed information transmission, vague data recording, and frequent quality issues, thereby posing substantial safety risks to train operations and even endangering the lives of passengers. A visualization management platform built on Building Information Modeling (BIM), IoT technology, mobile video surveillance, and blockchain technology effectively addresses these challenges. Therefore, this paper will focus on the conceptual framework and practical application of the visualization management platform for concealed railway communication and signaling works, aiming to provide theoretical insights and practical references for innovative management models of similar concealed projects.

Keywords

Railway Communication Signals; Concealed Works; Visualization; Management Platform; Construction Approach

铁路通信信号隐蔽工程可视化管理平台的研究与应用

李兰

国能黄大铁路有限责任公司，中国 · 山东 东营 257000

摘　要

铁路通信信号系统在保障列车安全、稳定、高效运行方面扮演着重要角色，而在施工过程中，由于电缆敷设、箱盒预埋、接地装置安装等环节属于隐蔽工程范畴，导致铁路通信信号系统在施工后不可见，这就给后续管理、维护工作增加了难度，过去，传统的人工巡检模式信息传导滞后、数据记录模糊、质量问题频出，进而给列车运行埋下重大的安全风险隐患，甚至会危及广大乘客的生命安全。而基于建筑信息模型（BIM）、物联网技术、移动视频监控技术、区块链技术构建的可视化管理平台则有效解决了这一问题。为此，本文将重点围绕铁路通信信号隐蔽工程可视化管理平台的构建思路及具体应用展开论述，旨在为同类隐蔽工程的管理模式创新提供理论借鉴与实践参考。

关键词

铁路通信信号；隐蔽工程；可视化；管理平台；构建思路

1 引言

与显性工程相比，隐蔽工程多位于地下，工程主体不显露在外，而铁路通信信号系统恰恰与隐蔽工程的特征相吻合，在实际施工当中，电缆敷设、箱盒预埋、接地装置安装等环节往往通过人工介入的方式对施工全过程进行统筹管理，这种管理模式不仅工作量大、响应速度慢、运维成本高，并且给工程的正常运营产生诸多不利影响。但是，随着铁路建设高速化、智能化发展进程的持续推进，一种依托于先进技术手段的可视化管理平台应运而生，借助于该平台实现了对铁路通信信号隐蔽工程的事前精准预判、事中智能管控，工程建设质量及运营效率显著提升。

【作者简介】李兰（1983–），女，中国四川资中人，本科，助理工程师，从事通信研究。

2 铁路通信信号隐蔽工程可视化管理平台的构建思路

2.1 构建标准统一的数据支撑体系

可视化管理以数据为核心支撑，只有整合设计、施工、监理、运维等全生命周期的数据信息，才能对铁路通信信号系统的运行状态进行精准预判与实时监督。首先，收集工程区位、里程、设备型号等基础数据；CAD 图纸、BIM 模型参数等设计数据；工序记录、检测数据、影像资料等施工数

据；监理报告、检测报告等质量验收数据以及故障记录、巡检日志等运维数据，确保数据收集无死角。其次，整合上述数据构建标准化数据模型，利用 BIM 技术将原有的二维图纸转化为三维可视化模型，并将施工时间、责任人、检测结果等结构化数据与现场照片、视频、语音记录等非结构化数据统一在模型上面呈现，同时确保铁路现有的信息管理平台与可视化平台实现数据互通、互联，为铁路通信信号系统的安全稳定运行提供有力的参考依据 [1]。

2.2 建立动态管控体系

为实现铁路通信信号隐蔽工程的实时监控与动态管理，在构建可视化管理平台时，需要融合多元技术建立和完善动态管控体系。首先，利用高清摄像头、射频识别（RFID）、物联网传感装置收集电缆敷设、箱盒安装、接地施工等环节的影像信息。借助于 RFID 技术对材料、设备进行定位追踪，利用温度、湿度、振动传感器收集环境数据，并同步上传至可视化平台，一旦收集的数据超出阈值，平台将自动发出预警信号，然后责令施工人员进行现场整改。其次，为了对施工过程进行可视化管理，应当基于 BIM 技术，将施工进度与三维模型关联到一起，管理人员借助于可视化平台可以实时查看施工进度，对比计划与实际进度偏差。比如管理人员点击 BIM 模型的电缆井构件，能够清晰直观地查看该部位的现场施工照片、视频及质量检测报告，哪里存在问题，将直接反馈给平台，这就给问题溯源提供了强大的技术支撑。

2.3 完善质量风险数据库

针对铁路通信信号隐蔽工程实施可视化管理的目的是挖掘和查找工程项目的质量风险，以提早做出防范。首先，在现有数据库的基础上进一步完善质量风险数据库，仔细梳理铁路通信信号隐蔽工程中的电缆损伤、接地不良、信号干扰等常见风险点，并与行业规范、历史事故案例进行比对分析，制定风险评估指标，比如施工工艺的合规性、材料质量合格率、检测数据稳定性等。然后利用人工智能算法对平台采集的各类数据进行实时分析，并结合 BIM 模型对风险位置进行精准定位，进而为风险防范与治理提供有力数据支撑 [2]。比如在数据信息分析阶段发现电缆绝缘电阻突然下降，这时通过 BIM 模型锁定具体位置，同步生成风险预警信息，信息内容包括预警等级、风险原因、整改建议等，最后统一推送至终端管理人员。这种流畅的信息流通方式为风险隐患排除争取了大量时间。

3 铁路通信信号隐蔽工程可视化管理平台架构设计

3.1 终端层

终端层是可视化平台数据的采集入口，能够对铁路通信信号隐蔽工程的施工、运维全过程数据进行实时采集，主要包括视频监控终端、物联网感知终端、移动作业终端以及定位终端。其中，视频监控终端主要是在电缆井、信号机基础、箱盒安装区域部署 4k 高清红外摄像头，支持 24 小时全天候拍摄，能够清晰地获取电缆接头处理、设备固定方式等施工细节，一旦有非授权人员进入施工区域，视频监控终端即刻发出预警信号，在工程施工全过程，高清红外摄像头的部署点位占比达到 95% 以上。物联网感知终端主要借助于各类传感器获取环境参数及工程质量数据。比如利用测量范围 0-1000MΩ，精度 ±2% 电缆绝缘电阻传感器获取电缆性能数据，利用精度分别为 ±0.5℃、±3%RH 的温湿度传感器采集环境温度与湿度数据等，采集数据过程中，管理人员可以任意设置采样间隔时间，以满足不同工序的监测需求。移动作业终端则是专门为现场管理人员、施工人员或者监理人员配备的工业级平板电脑、RFID 手持终端等。以 RFID 手持终端为例，管理人员通过识别材料的标签信息，能够对材料缺陷进行溯源与合规性核查，以杜绝存在质量缺陷的材料入场。而定位终端则是利用北斗 +GPS 双模定位技术，对现场施工人员的位置、施工机械位置、作业轨迹等数据进行采集，一旦施工人员进入危险作业区域，定位终端通过声光报警的方式发出警示，以最大限度地降低安全事故的发生概率 [3]。

3.2 边缘层

边缘层的部署区域多位于铁路沿线基站或者施工现场的临时机房内，其主要职责是对各类数据进行预处理与实时分析、决策。其核心功能模块与具体的技术参数如表 1 所示。

表 1 边缘层核心功能模块与具体的技术参数

功能模块	核心作用	技术参数	应用场景
数据过滤与清洗模块	剔除终端采集数据中的噪声（如传感器异常值、视频画面干扰），保留有效数据	数据清洗准确率≥ 98%，单节点每秒可处理≥ 1000 条结构化数据、2 路 4K 视频流	过滤电缆绝缘电阻传感器因电磁干扰产生的异常峰值，确保上传数据真实可靠
实时分析与预警模块	基于预设阈值（如接地电阻＞ 10Ω、电缆绝缘电阻＜ 500MΩ）分析数据，触发本地预警	预警响应时间≤ 1 秒，支持短信、声光报警双模式，可联动现场广播系统	检测到某路段接地电阻超标时，1 秒内触发现场声光报警
本地存储模块	缓存关键数据（如施工视频、检测报告），避免网络中断导致的数据丢失	存储容量≥ 1TB（支持扩展至 10TB），数据留存时间可设置（1-30 天），支持断点续传	野外路段网络信号不稳定时，临时存储施工视频，待网络恢复后同步至云端
设备联动控制模块	连接现场控制设备（如施工机械启停开关、警示灯），实现预警后的自动处置	支持 RS485/Modbus 协议，设备控制响应时间≤ 0.5 秒，单节点可联动≥ 20 台现场设备	视频监控检测到非授权人员进入施工区域时，自动触发现场警示灯闪烁
数据转发模块	按优先级将预处理后的数据（如关键质量数据、预警信息、常规记录）转发至云端	支持 5G/ 光纤双链路传输，带宽自适应，关键数据传输优先级最高	将电缆绝缘电阻超标数据优先转发至云端，常规温湿度数据按批次低优先级转发

3.3 云端层

云端层时可视化管理平台的数据存储中枢，同时兼具模型构建、智能应用与安全管理能力，为铁路通信信号隐蔽工程全生命周期提供有力的参考数据，其单项目数据存储容量达到 500GB 以上。其中，数据存储中心采用分布式存储架构，存储的数据类型包括施工记录、检测报告等结构化数据，BIM 模型、现场照片、施工视频等非结构化数据，其强大的数据备份能力使数据安全得到可靠保障。模型与算法中心基于 AI 算法、故障预测算法能够对现场数据模型的各项参数予以优化，以提高智能决策精度。应用服务中心涵盖多个可视化应用模块，质量验收模块支持在线审核检测报告、查看施工视频佐证，验收效率大幅提升。故障定位与辅助决策模块的故障定位精度≤ 5 米，维修方案生成时间≤ 3 分钟。而安全管理中心则依靠于 VPN/SSL 加密传输终端构建角色权限管理模型，进而给不同角色分配差异化权限。比如现场施工人员在登录平台以后仅可以查看本标段数据，管理人员可以查看全项目数据 [4]。同时，安全管理中心还部署了入侵检测系统与漏洞扫描工具，针对云端平台运行进行实时监测，以避免非法访问、数据篡改问题的出现，为铁路通信信号数据安全构建一道坚固防线。

4 铁路通信信号隐蔽工程可视化管理平台的应用效果

以某新建350km/h高铁隧道段信号电缆敷设管控为例，该高铁项目含 18 公里特长隧道，需敷设 2 条总长 36 公里的信号主干电缆，该隧道内光线昏暗、通风条件差，且电缆需沿隧道壁支架敷设，离地高度 3.5 米。如果采用传统的施工方法，极易出现施工记录与实际脱节、接头处理不规范等问题，导致电缆短路故障频发，不仅增加了返工率，并且工程整体质量与进度也受到严重影响。而在建立可视化管理平台之后，电缆敷设管控效果得到明显改善。

首先，技术人员在隧道内每 300 米部署 1 台 4K 红外防爆摄像头，该摄像头的最低照度为 0.001Lux，可清晰拍摄电缆敷设细节。沿电缆敷设路径每 500 米安装 1 套测量范围 0°~90° ，精度 ±1° 的电缆弯曲度传感器与 1 套测量范围 0~1000MΩ，精度 ±2% 的绝缘电阻传感器。并为施工班组配备 3 台工业级 RFID 手持终端，专门用于核验电缆进场信息。然后将隧道BIM模型上传至云端平台，与设计图纸中“电缆弯曲半径≥ 15 倍直径、绝缘电阻≥ 500MΩ”等规范参数相关联，同时设置预警阈值，当弯曲度超 8° 、绝缘电阻低于 450MΩ 自动报警。

其次，在施工阶段，现场施工人员利用手持 RFID 终端对进场电缆外皮的电子标签进行扫描，获取生产厂家、合格证明、检测报告、型号等信息，经分析比对，该项目电缆进场核验通过率达 100%，未出现 1 次材料问题。敷设电缆时，利用摄像头同步获取施工过程视频影像，利用弯曲度传感器实时采集电缆弯曲度数据，结果发现对应弯曲半径约 500mm，远低于规范值 750mm，边缘层 1 秒内触发隧道内声光报警器，云端平台同步推送预警信息至施工负责人与监理手机，附带具体位置信息、实时画面、即时整改方案。接收到预警信号之后，立即指派专人到达现场，将弯曲度降至 6° ，弯曲半径为 830mm，与规范要求相符。

最后，在工程验收与运维阶段，通过 AI 算法对工程合规性进行自动核验，核验时间仅需 1 天，验收效率提高 85%，一次性通过率达到 99%，仅有仅 1 处因绝缘电阻略低需复测，复测后达标。该项目运营 1 年以后，隧道 K11+800 处信号出现轻微衰减，运维人员通过平台调取该部位电缆的历史施工记录、近 1 年绝缘电阻数据，判断为“电缆接头氧化”的问题，并准确定位接头位置，然后利用随身携带的专用工具进行现场处理，仅耗时 30 分钟便恢复了通信信号，其故障处理效率显著提升。

5 结语

铁路通信信号隐蔽工程可视化管理平台的建立，有效解决了传统人工管理模式工作效率低、信息传输滞后、故障定位偏差大等问题，为此，在对铁路通信信号隐蔽工程的设计、施工、监理、运维全生命周期进行监控时，需要保障可视化管理平台的各个功能模块与技术迭代升级进程相匹配，以体现可视化管理平台的最大应用价值，进而为轨道交通的安全运行保驾护航。

参考文献

[1] 段贺辉,许庆阳,杨吉.铁路通信信号检测控制与编辑系统设计与实现[J].铁路计算机应用,2024,33(04):71-75.

[2] 杨旭.保障铁路通信信号安全传输的有效策略[J].网络安全技术与应用,2022,(10):12-14.

[3] 倪玮良.铁路通信信号技术的发展研究[J].中国信息化,2021,(02):58-59.

[4] 司静.高速铁路通信信号系统联调联试标准化管理[J].铁路通信信号工程技术,2021,18(01):85-90.