

铁路营业线施工管理数智化应用研究

解亚龙^{1,2}, 朱宝石³, 刘玉明¹, 陈亮⁴, 魏新元⁵, 聂现会³

(1. 北京交通大学经济管理学院, 北京 100044; 2. 中国铁道科学研究院集团有限公司电子计算技术研究所, 北京 100081;

3. 北京经纬信息技术有限公司, 北京 100081; 4. 中国铁路建设管理有限公司, 北京 100844;

5. 成都局集团公司成都成铁工程项目管理有限公司, 成都 610036)

摘要:【目的】在新建铁路项目中,既有线路工程和改建铁路的数量不断增加,铁路营业线施工管理逐渐成为项目建设与运营的重点。本文探讨如何设计并构建一个数字化、智能化的营业线施工管理平台,以解决计划审批困难、现场安全管理不足及传统粗放式管理三个问题。【方法】首先,运用矢量图形和图层堆叠技术,智能分析施工计划,识别施工影响范围和计划冲突,实现施工计划的可视化管理;其次,借助多源信息的边缘计算分析和重组融合技术,将现场安全管理从人工监控转变为自动化监控预警,全面监测现场人员、机械及运营铁路的安全状况;最后,以BIM技术为基础,结合多种专业数据,对施工过程、环境和工法进行三维模拟,达到数字化精细管理的虚拟建造效果。【结果】通过平台的应用,最终实现营业线施工管理的数智化,提高整体施工质量和安全性。【结论】部分研究内容在西安局、成都局及成渝中线的多个项目中得以成功实施与应用,取得显著效果,这些实际应用的有效性为研究奠定坚实可行的基础,也进一步推动营业线施工数智化应用的发展。

关键词: 营业线; 数智化; 智能分析; 多源信息融合; BIM; 数字化; 智能化

中图分类号: U215.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.13238/j.issn.1004-2954.202409090004

Research on Application of Digital and Intelligent Technologies in Construction Management for Operational Railway Lines

XIE Yalong^{1,2}, ZHU Baoshi³, LIU Yuming¹, CHEN Liang⁴, WEI Xinyuan⁵, NIE Xianhui³

(1. School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Institute of Computing Technologies,

China Academy of Railway Sciences Group Co., Ltd., Beijing 100081, China; 3. Beijing Jingwei Information Technologies

Co., Ltd., Beijing 100081, China; 4. China Railway Construction Management Co., Ltd., Beijing 100844, China; 5. Chengdu

Chengtie Engineering Project Management Co., Ltd., Chengdu Railway Bureau Group Co., Ltd., Chengdu 610036, China)

Abstract: [Objective] In the construction of new railway projects, as the number of existing line projects and railway reconstruction projects increases, construction management of existing railway lines is gradually becoming a focus in project development and operation. This study explores how to design and build a digital and intelligent construction management platform for operational railway lines to address three issues: difficulties in plan approval, inadequate on-site safety management, and traditional coarse management practices. [Methods] First, vector graphics and layer stacking technology were used to intelligently analyze construction plans, identify the scope of construction impact and plan conflicts, thereby achieving visualized management of construction plans. Second, with the support of edge computing analysis and restructuring and fusion technologies for multi-source information, on-site safety

management was transformed from manual monitoring to automated monitoring and early warning, enabling comprehensive monitoring of the safety conditions of personnel, machinery, and railway operations on site. Finally, based on building information modeling (BIM) technology, and integrating various professional data,

收稿日期: 2024-09-09; 修回日期: 2024-10-04; 网络首发日期: 2025-03-12

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究计划重点课题 (N2023G074)

作者简介: 解亚龙(1980—), 男, 研究员, 2006年毕业于昆明理工大学计算机应用技术专业, 工学硕士, 主要从事铁路信息技术研究工作, E-mail: 20183808@qq.com。

通信作者: 朱宝石(1986—), 男, 工程师, 2009年毕业于西南交通大学信息管理与信息系统专业, 工学学士, 主要从事铁路信息化、铁路建设管理工作, E-mail: qzmpbaoshi@163.com。

three-dimensional simulation of construction process, environment, and methods were conducted to achieve virtual construction for refined digital management. [**Results**] Through application of this platform, digital and intelligent construction management of operational railway lines was ultimately achieved, thereby improving the overall quality and safety of construction. [**Conclusion**] Some of the research outcomes have been successfully implemented in multiple projects of the Xi'an Railway Bureau, Chengdu Railway Bureau, and the Chengdu-Chongqing Middle Line, achieving significant results. The effectiveness of these practical applications provides a solid and feasible foundation for this study and further promotes the development of digital and intelligent applications in construction management of operational railway lines.

Key words: operational railway lines; digital and intelligent transformation; intelligent analysis; multi-source information fusion; BIM; digitalization; intellectualization

引言

当前铁路营业线施工管理面临着许多挑战,包括施工过程中的安全风险、工期延误以及资源配置不均等问题。传统管理方法往往依赖人工监控和纸质记录,导致信息传递不及时、数据分析困难,且难以实时掌握施工进度和现场状况。随着铁路营业线施工需求的增加和施工项目的复杂化,2021年国家铁路局发布《铁路营业线施工安全管理办法》,强调铁路营业线施工是铁路运输的重要部分,办法要求统筹运输和施工,优化施工组织,按计划推进施工工作。同时,鼓励使用先进技术和信息化手段提升施工组织和安全管理。

在营业线施工管理领域,众多专家进行了深入研究。罗星^[1]重点分析武汉局在施工管理信息化中面临的主要挑战,并提出“数字化、图形化、信息链”等建设思路,旨在促进系统间的互联互通与数据共享。王武良^[2]则通过对营业线施工背景、需求及技术架构的分析,建议开发铁路营业线施工管理辅助决策系统,以实现运输与施工的协调统一。朱涨鑫等^[3]研究一种结合 UWB 与 GIS 技术的定位与风险防控方法,优化基站布局 and 电子围栏设计,以实现机械与人员的实时定位及安全风险的分级预警,从而显著提升施工现场的安全性。汤飞等^[4]在国防部体系结构框架下,从系统化视角构建多个施工 DoDAF 模型,包括全景视图、能力视图、作战视图和系统视图,明确施工防护的目标、能力、任务及功能等核心要素。冯小芳等^[5]则提出铁路营业线施工一体化管理系统的总体设计方案,通过统一资源描述、信息动态采集、冲突检测和综合监控,实现施工管理的整合、专业协同与多级联动。王子瑞等^[6]倡导施工计划的矢量化理念及改造策略,以整合各模块,提升系统的自动化能力,从而提高计划的准确性和审查效率。

1 铁路营业线施工面临的挑战

铁路营业线施工涉及多个工种和部门的协同作战^[7-9],影响施工和行车安全的因素多且复杂,管理难度大,处理不当可能导致事故,随着铁路信息化的发展,施工管理取得了显著进展。目前,工务、电务等设备维护单位均建设了各自的信息系统^[10-13],但各施工信息来源广泛且分散,导致跨专业信息查询验证繁琐,存在的主要问题如下。

(1)施工影响范围广,导致计划审批困难^[14-15]。随着铁路建设的发展,营业线铁路施工影响范围立体而复杂,涉及工务、电务、供电、通信等多个专业领域,需要将线路、信号、供电等技术参数及影响情况反复分析,才能够对施工计划进行审核,因此,通过人工难以验证施工计划内容的完整性、准确性和影响范围的冲突关系。

(2)施工现场安全管理困难^[16]。在安全管理上,不仅需要应对空间上的复杂性和作业上的多样性,还需要在时间维度上平衡施工需求与运营要求,确保施工过程中的各项安全措施得到有效执行,同时尽量减少对正常铁路运营的干扰。

(3)传统且多元的粗放式管理已无法满足当前精细化管理的需求^[17]。精细化管理不仅要求实现多专业数据融合,提高多方协同信息透明度,还需对施工流程进行细致规划,在此背景下,BIM 技术的应用显得尤为重要,如何有效利用 BIM 三维建模技术实现精细化管理成为当前邻近营业线施工管理亟待解决的关键问题^[18]。

2 关键技术及创新应用

2.1 基于二维矢量几何图形的冲突检测技术

通过图形设计软件将铁路营业线、场站等复杂数据转化为易于存储、编辑和组织的清晰矢量几何图形。

再借助图层叠加技术,使轨道、建筑和设备等信息得以综合展示,并结合详细的施工计划信息,对工务、电务及供电等专业的影响范围进行自动标注,智能分析展示各专业在施工中的潜在冲突。这一创新应用不仅大幅度降低传统人工分析的复杂性和时间成本,而且还提升了施工计划的可视化与有效管理水平,确保项目更加顺利、高效推进。轨道、设备等内容的二维内容展示如图 1 所示。



图 1 站场二维矢量图

Fig. 1 Two-dimensional vector diagram of station yard

2.2 基于多源信息融合的动态分析预警技术

通过采集项目现场不同场景的多源数据,借助边缘计算技术的快速分析与数据融合处理,利用机器学习和人工智能技术,提升预警的准确性和速度,使营业线施工的安全监控不再依赖于传统的人工监控方式,而是转向高效的自动化监控与智能预警;实时综合现场人员、机械设备和运营铁路的多维安全数据,全面监测潜在风险,及时发出预警,从而大幅提升安全管理的智能化水平,有效保障现场作业环境安全,为铁路运输的顺利运营提供强有力的技术支撑。

2.3 基于 BIM 三维建模的虚拟建造技术

通过激光扫描^[19]、倾斜摄影等 BIM 三维建模技术,借助多专业、多部门信息数据的综合集成,利用数据传输和缓存策略,实现施工过程、环境和工法的全面三维模拟。进而突破传统营业线施工局限,不仅使得施工管理的数字化水平大幅提升,还通过虚拟与现实相结合的方式,促进施工过程的精细化管理,增强各参与方的协作与沟通。通过真实再现项目全貌和动态变化,项目团队能够更加精准地识别潜在问题、优化施工方案,从而提高施工效率和质量,推动铁路营业线施工向更智能化和高效化的方向发展。

3 总体设计

3.1 设计目标

针对当前铁路营业线施工所面临的挑战,结合关键技术创新应用,构建一个数字化、智能化的营业线施工管理平台(以下简称“平台”),以提升铁路营业线施工管理效率。在平台中,通过将二维矢量几何图形与 BIM 三维模型相结合,利用虚拟展示技术,能够对项目全貌进行全面可视化分析,提前识别施工计划潜在的

问题与冲突。此外,通过多源信息的融合集成和数据驱动,能够精细化管理施工计划、施工过程和现场安全,实现营业线施工从传统管理向数字化、智能化的转变。这种全方位的信息整合,有助于提升决策的科学性和准确性,推动铁路运营与施工协调,最终达到双赢的目的。

3.2 架构设计

平台架构分为 5 个主要层次,以实现更高的内聚性和低耦合度,从而更好地组织和管理平台功能。

(1)表现层:平台通过图符、图表和 BIM 模型等技术提供多维度展示,并支持 LED 大屏、Web 浏览器、电脑客户端和手机 APP 等多种交互方式,确保用户全面、直观和高效地获取和操作信息。

(2)应用服务层:以施工过程监控、数据分析、安全管理与风险控制为应用场景,提供施工计划智能分析、现场动态智能预警和 BIM 数字化管理等功能。确保施工过程顺利进行,提升现场安全保障。

(3)业务支撑层:整合平台中的服务和模块,并通过 API 提供统一的业务服务接口,使各个业务模块之间能够以更高的效率进行集成,促进平台整体的灵活性和可维护性。

(4)技术支撑层:通过引入数据引擎、负载均衡、边缘计算和网络通信安全等中间件技术,为整个系统提供坚实的技术基础,确保各种应用能够在稳定和安全的环境中运行。

(5)数据持久层:负责管理平台数据的存储与检索,确保数据的高可用性、一致性和持久性,为平台提供稳定、可靠的数据支持。

通过 5 个层次的有机结合,使得平台架构变得更加清晰,进而提升平台的可扩展性和可维护性。各层之间的解耦合,能够有效减少平台内部故障的影响,便于故障隔离和恢复。在架构中,应用服务层扮演着至关重要的角色,其承担着深入的业务管理分析任务,是实现平台数字化、智能化管理的核心枢纽。平台架构设计如图 2 所示。

3.2 功能设计

3.2.1 施工计划可视化

平台运用二维矢量几何图形技术,以图形和符号的形式呈现站场示意,清晰展示轨道、信号等设备的关系。通过整合行车设备、车站设施及施工资料等基础数据,并结合计划模板,快速制定营业线的施工计划。基于计划信息,平台会在站场示意图中自动标注施工活动对工务、电务、供电等领域的影响范围。同时,平台具备智能检测施工计划中任务重叠和资源冲突的能力。审批人员可以通过站场示意图直观地评估计划的

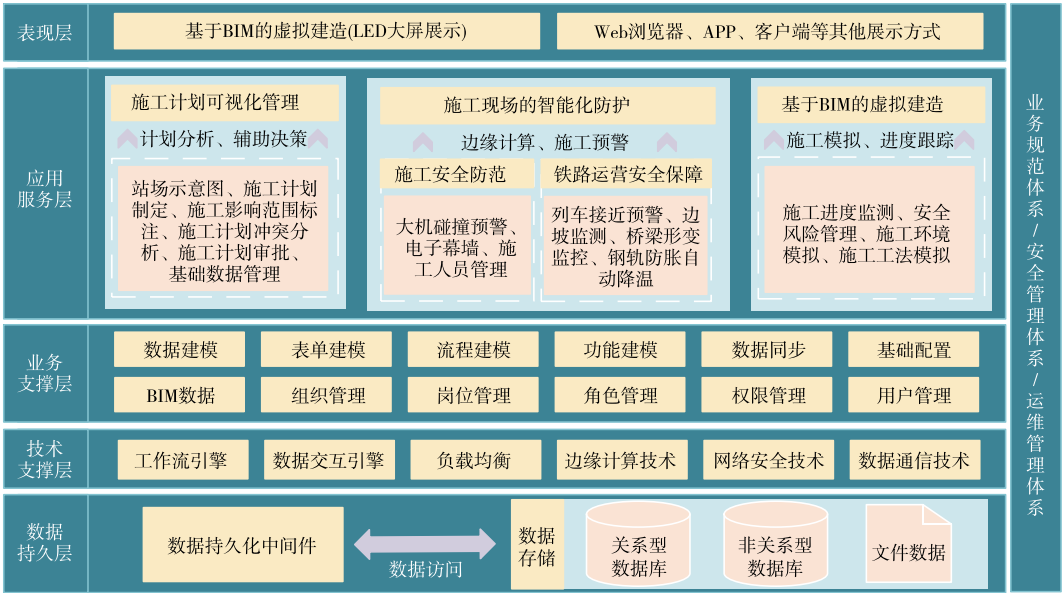


图 2 营业线施工管理平台架构

Fig. 2 Construction management platform architecture for operational railway lines

可行性,并提出修改建议,从而形成可查询、可追溯的审批记录。这一过程不仅解决人工验证施工计划的困难,还实现施工计划的可视化管控与智能审查。主要功能关系如图 3 所示。

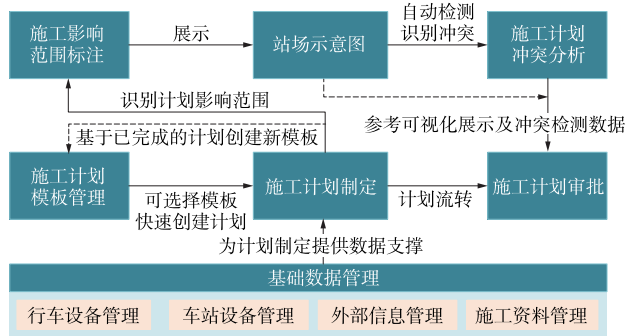


图 3 施工计划可视化模块关系

Fig. 3 Relationship among modules of construction plan visualization management

3.2.2 施工现场智能化防护

在施工现场的安全管理过程中,涉及多种策略与方法。根据安全管理不同方向,该过程可分为施工安全和铁路运营安全两个方面。在施工安全方面,本文着重研究大机碰撞预警、电子幕墙以及施工人员管理等内容;而铁路运营安全则涵盖列车接近预警、边坡监测、桥梁形变监控及钢轨防胀自动降温等内容。各功能的实现原理及实现方式如下。

(1)大机碰撞预警

通过高精度差分定位、UWB 定位、角度传感器和吊车控制系统数据可以确定吊车的工作位置和吊臂旋转区域,进而确定每个吊机的预警区域,当两个吊臂臂

尖投影都接近重叠区域时即可提前预警。其原理如图 4 所示。

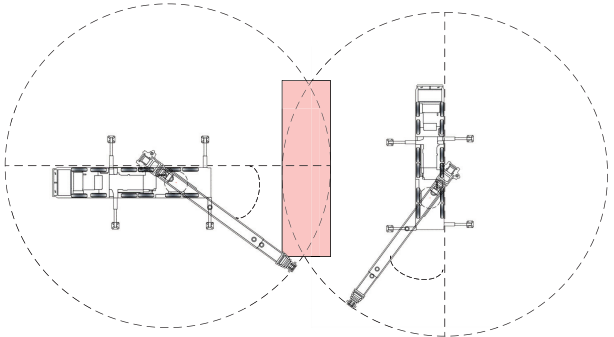


图 4 吊车预警原理示意

Fig. 4 Schematic of early crane warning principle

(2)电子幕墙

在施工区域靠近营业线设置雷达电子屏障,通过激光雷达不间断扫描,形成二维电子平面,并启动声光报警和摄像记录,实时监测,并制止人员、机械的越界和其他不安全行为。其原理如图 5 所示。

(3)列车接近预警

由监测传感器、智能视频分析设备、云监测平台和声光报警设备组成。在距施工现场两侧 5 km 处安装监测传感器和智能视频设备,识别到列车信息后,通过云监测平台,将信息传递至施工现场,并自动启动声光报警,提醒作业人员撤离至安全区域。其原理如图 6 所示。

(4)边坡监测

用于监测施工区域和铁路附近边坡(如山坡、土坡)的稳定性变化,防止滑坡、崩塌等自然灾害。利用

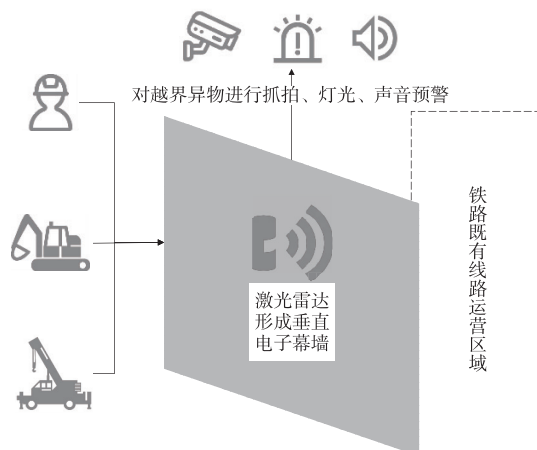


图 5 电子幕墙原理示意

Fig. 5 Schematic of electronic curtain wall principle

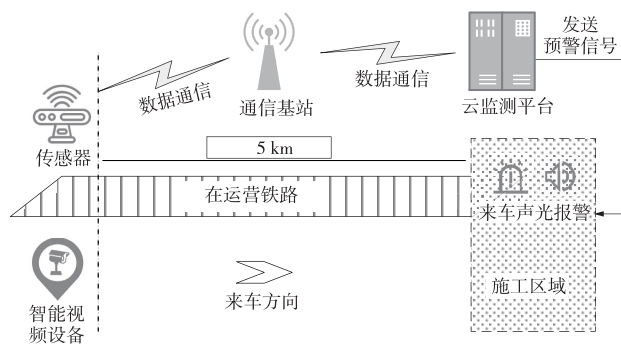


图 6 列车接近预警原理示意

Fig. 6 Schematic of train approach early warning principle

北斗位移、深部位移监测站,测斜和含水率监测站等,实时监测跟踪边坡参数^[20],一旦数据超限即发出预警,便于作业人员及时知晓并处理边坡稳定性风险。其原理如图 7 所示。

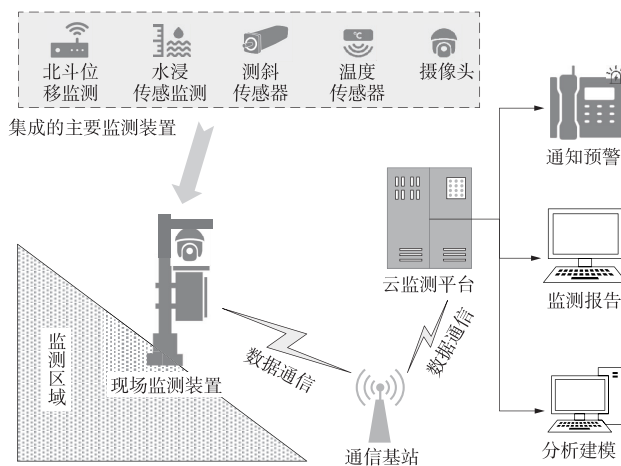


图 7 边坡检测原理示意

Fig. 7 Schematic of slope detection principle

(5) 桥梁形变监控

该系统利用 GNSS 高精度位移和传感器技术^[21],

监测桥梁线性、挠度、高塔摆动、墩台沉降以及主梁位移。通过数据采集和分析,实现桥梁形变预警,解决因周围施工或营业线改造造成的桥梁结构变形。其原理如图 8 所示。

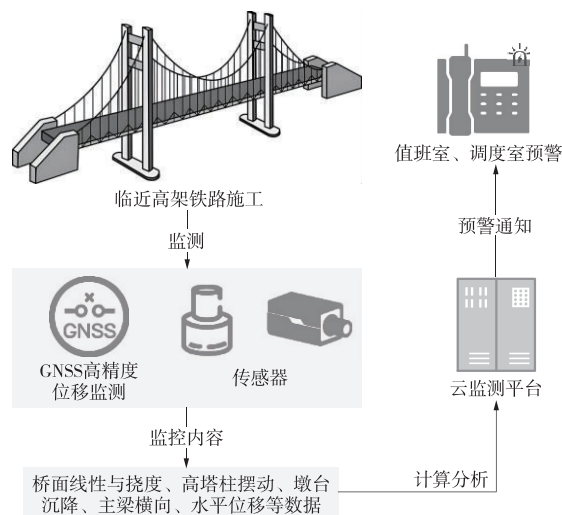


图 8 桥梁形变监控原理示意

Fig. 8 Schematic of bridge deformation monitoring principle

(6) 钢轨防胀自动降温

该系统通过温度传感器、主控装置和远程 APP 等手段,自动监测轨道温度,当温度达到或超过预定值时,自动启动喷淋装置喷洒水雾,降低钢轨温度,防止因热膨胀导致钢轨的变形或损坏。其原理如图 9 所示。

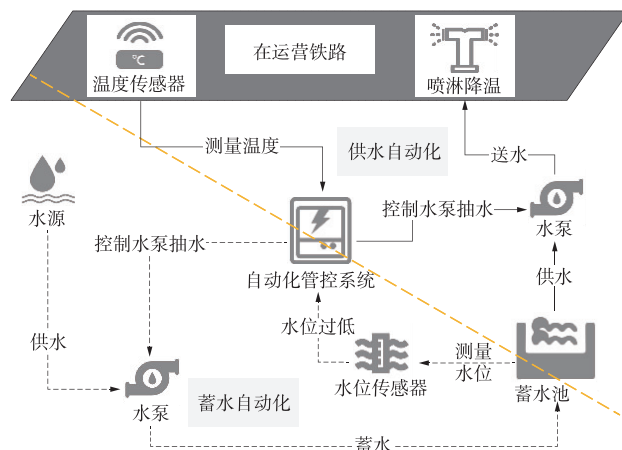


图 9 钢轨防胀自动降温原理示意

Fig. 9 Schematic of automatic cooling principle for rail anti-swelling

(7) 施工人员管理

通过智能安全帽或智能手环^[22],实现一人一档管理,模块融合人员定位、危险源提醒、语音播报、紧急呼叫、工作效率统计、电子围栏和门禁考勤等多项功能。实时监控人员轨迹、施工行为、出勤和培训等情况,在对施工人员统一管理的同时,确保施工作业人员的作

业安全。其原理如图 10 所示。

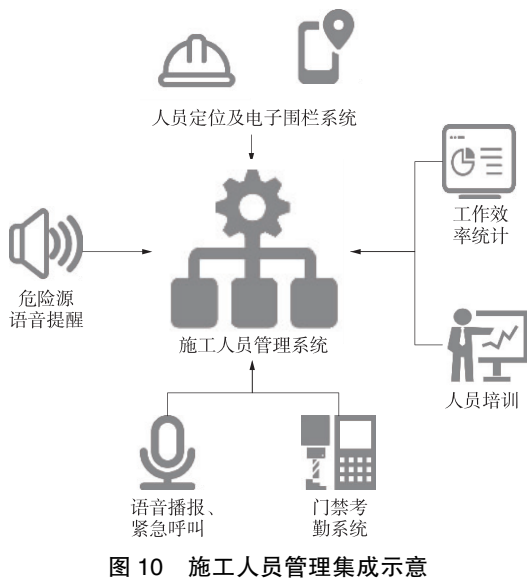


图 10 施工人员管理集成示意

Fig. 10 Schematic of integrated management of construction personnel

3.2.3 基于 BIM 的虚拟建造

基于 BIM 三维建模技术,构建一个可视化的虚拟平台,实现多专业和多部门的数字化展示^[23],在实现实时监测施工进度和安全风险的同时,也针对联络线的复杂、周边环境的多变等情况,借助倾斜摄影和激光点云数据等快速建模手段,创建施工环境的模型影像,形成虚拟与现实的有机结合,从而协助对重、难点施工方案进行推演与模拟^[24]。此外,为了减少对运营铁路的干扰,利用 BIM 三维建模技术对特殊工法进行施工模拟^[25],例如桥梁顶推法、桥梁 T 构转体、门式墩跨越施工以及多组道岔梁施工等。通过施工前的论证与优化,能够更有效地利用天窗时间,最大限度降低对营业线的影响。其中,安全风险监控及施工环境模拟如图 11 所示。



图 11 基于 BIM+GIS 的三维施工场景作业监控

Fig. 11 Three-dimensional monitoring of construction site operation based on BIM+GIS

4 应用情况

(1)在西安铁路局开展营业线施工辅助决策系统

研究与应用,结合其邻近营业线施工管理需求,实现施工计划的智能编辑和可视化管理。系统直观展示施工区域、任务和时段信息,通过整合行车设备数据,可以及时调整施工计划。此外,系统也解决不同专业上报施工计划时未能全面考虑工务、电务等设备信息的问题,进而提高施工过程的灵活性和响应速度。西安铁路局营业线施工辅助决策系统可视化部分页面如图 12 所示。

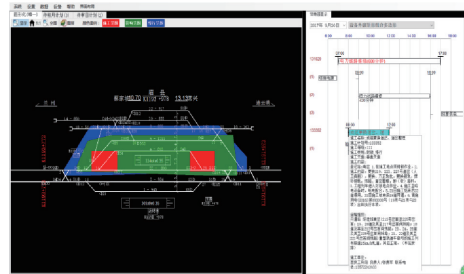


图 12 西安铁路局营业线施工辅助决策系统可视化展示

Fig. 12 Visual display of auxiliary decision-making system for construction on operational railway lines of Xi'an Railway Bureau

(2)在现场防护智能化研究中,成都局所管辖的南充至成都高速公路扩容工程 LJ2-2 项目采用大机防撞预警和 AI 智能识别,旨在对现场机械在铁路边界附近进行安全防护预警。同时,在龙石路南延线改扩建工程中,应用钢轨防涨自动降温,能够实时监测运营铁路的温度,并在必要时启动喷淋装置进行钢轨降温,以确保行车稳定和安全。在成都龙石路南延线现场钢轨防涨自动降温如图 13 所示。



图 13 龙石路南延线项目施工现场钢轨自动降温

Fig. 13 Automatic cooling of rails at construction site of Longshi Road South Extension Project

(3)在成渝中线铁路建设项目中,成功应用基于 BIM 的虚拟建造技术。其中,在正线 5 个站房的建筑、装修、结构、电力、暖通空调、室内给排水等专业都进行基于 BIM 技术的正向设计,形成一个各专业协同的系统。在施工过程中,通过 BIM 技术进行工程量统计,包括通信和信息设备的数量、规格及材料等信息,为工程预算、进度管理和材料采购提供准确依据,实现设

计、建设、运营全生命周期的管理体系。成渝中线 BIM 建设管理平台部分页面如图 14 所示。



图 14 成渝中线 BIM 建设管理平台

Fig. 14 BIM construction management platform for Chengdu-Chongqing Middle Line

5 结语

系统分析当前营业线施工管理所面临的核心挑战,并针对这些问题提出相应的关键技术和创新应用。在此基础上,研究并构建一个信息集成的营业线施工管理平台,有效整合工务、电务、供电、通信等多个专业和部门的信息资源,实现跨专业的数据互通与高效校核。此外,该平台通过二维几何图形化表达,实现施工计划审批过程的可视化与智能化,显著提升审批效率。应用多源信息融合技术,该平台进一步提高施工现场安全防护的智能化动态预警能力,有效预防潜在风险。同时,利用 BIM 三维建模技术,推动施工过程的虚拟与现实深度融合,最终实现施工管理向精细化、数字化和智能化方向的转型与升级。

本文部分研究内容在西安局、成都局及成渝中线的多个项目中得以成功实施与应用,取得显著效果,这些实际应用的有效性为本文研究奠定坚实可行的基础,也进一步推动营业线施工数智化应用的发展。

利益冲突声明/Conflict of Interests:

所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献/Authors' Contributions:

解亚龙、朱宝石、刘玉明、陈亮、魏新元、聂现会参与了研究设计,解亚龙、朱宝石参与了论文的写作和修改。

参考文献:

- [1] 罗星. 铁路营业线施工管理信息化建设与思考[J]. 中国铁路, 2023(11):28-32.
LUO Xing. Information-based Development of Construction Management for Operational Railway[J]. China Railway, 2023(11):28-32.
- [2] 王武良. 铁路营业线施工管理辅助决策系统研究[J]. 铁道技术监督, 2020,48(8):51-54.
WANG Wuliang. Research on Auxiliary Decision-making System of Railway Business Line Construction Management[J]. Railway Quality Control, 2020,48(8):51-54.

- [3] 朱涨鑫,谢以顺,铁栋,等. 基于 UWB 的铁路营业线施工要素定位与风险防控研究[J]. 铁道标准设计, 2025,69(2):60-66.
ZHU Zhangxin, XIE Yishun, TIE Dong, et al. Study on the Positioning and Risk Prevention of Construction Elements of Railway Operation Line Based on UWB[J]. Railway Standard Design, 2025,69(2):60-66.
- [4] 汤飞,宁雪,张鹏,等. 基于 DoDAF 的铁路营业线施工安全防护体系[J]. 中国铁路, 2024(1):175-183.
TANG Fei, NING Xue, ZHANG Peng, et al. Safety Protection System of Operating Railway Line Construction Based on DoDAF[J]. China Railway, 2024(1):175-183.
- [5] 冯小芳,林宏. 铁路营业线施工一体化管理系统设计研究[J]. 铁道运输与经济, 2022,44(1):80-86.
FENG Xiaofang, LIN Hong. Integrated Management System Design of Railway Operation Line Construction[J]. Railway Transport and Economy, 2022,44(1):80-86.
- [6] 王子瑞,金龙,李瑞,等. 铁路营业线施工管理系统信息矢量化技术研究[J]. 铁道运输与经济, 2022,44(S1):202-207.
WANG Zirui, JIN Long, LI Rui, et al. Research on Information Vectorization Technology for Construction Management Information System of Railway Business Lines[J]. Railway Transport and Economy, 2022,44(S1):202-207.
- [7] 桂怀武. 跨营业线门式墩钢横梁吊装施工技术[J]. 工程技术研究, 2020,5(8):90-91.
GUI Huaiwu. Construction Technology for Lifting Steel Beams of Portal Piers Across Business Lines[J]. Engineering and Technological Research, 2020,5(8):90-91.
- [8] 戴志仁,王泽宇,王俊,等. 基于专业协同的轨道交通线路改造方案研究[J]. 铁道工程学报, 2022,39(6):24-30.
DAI Zhiren, WANG Zeyu, WANG Jun, et al. Research on the Overall Reconstruction Scheme of Rail Transit in Operation Based on Professional Synergism[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2022,39(6):24-30.
- [9] 张红波. 电气化铁路既有站场改造施工方案优化与施工的探讨[J]. 价值工程, 2019,38(14):90-92.
ZHANG Hongbo. Discussion on Construction Scheme Optimization and Construction of Existing Station Yard Renovation for Electrified Railway[J]. Value Engineering, 2019,38(14):90-92.
- [10] 乔凯庆. 铁路供电管理信息系统的研究及应用[J]. 铁路计算机应用, 2024,33(1):38-43.
QIAO Kaiqing. Railway Power Supply Management Information System[J]. Railway Computer Application, 2024,33(1):38-43.
- [11] 郭心全,李林,沈鹏,等. 铁路桥隧养护作业智能终端设计与应用[J]. 铁路计算机应用, 2023,32(2):28-33.
GUO Xinquan, LI Lin, SHEN Kun, et al. Intelligent Terminal for Maintenance Operation of Railway Bridge and Tunnel[J]. Railway Computer Application, 2023,32(2):28-33.
- [12] 张玉梅,张大林. 铁路信号设备维修管理信息系统设计与开发[J]. 铁道通信信号, 2018,54(4):68-71.
ZHANG Yumei, ZHANG Dalin. Design and Development of Maintenance Management Information System for Signaling Devices[J]. Railway Signalling and Communication, 2018,54(4):68-71.
- [13] 姚冬,陈东生,陶凯,等. 高速铁路基础设施综合检测监测技术探

- [J]. 铁道标准设计, 2020, 64(3): 42-48.

YAO Dong, CHEN Dongsheng, TAO Kai, et al. Discussions on Comprehensive Inspection and Monitoring Technologies for Railway Infrastructures [J]. Railway Standard Design, 2020, 64(3): 42-48.

[14] 吴剑锋, 蒙云琪, 陈沛, 等. 邻近营运铁路隧道爆破安全评估方法和实例分析[J]. 中国铁路, 2020(12): 199-204.

WU Jianfeng, MENG Yunqi, CHEN Pei, et al. Methods and Case Study of Safety Assessment of Tunnel Blasting Adjacent to Operating Railways[J]. China Railway, 2020(12): 199-204.

[15] 黄瑞. 邻近铁路营业线施工计划管理的问题及对策[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2024(7): 13-15.

HUANG Rui. Problems and Solutions in Construction Plan Management of Adjacent Railway Business Lines [J]. Chinese Science and Technology Journal Database (Full Text Edition) Engineering Technology, 2024(7): 13-15.

[16] 关达, 白铭. 铁路营业线施工智能安全防护管理系统研究[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(12): 25-30.

GUAN Da, BAI Ming. Research on Intelligent Safety Protection Management System for Railway Business Line Construction[J]. Railway Standard Design, 2020, 64(12): 25-30.

[17] 杨育龙. 关于加强铁路营业线施工组织安全管控的研究[J]. 铁道运营技术, 2021, 27(4): 54-56.

YANG Yulong. Research on Strengthening Safety Control of Railway Business Line Construction Organization [J]. Railway Operation Technology, 2021, 27(4): 54-56.

[18] 朱肖. 基于 BIM 技术的智能建造管理系统设计与应用[J]. 铁路计算机应用, 2024, 33(6): 31-34.

ZHU Xiao. Intelligent Construction Management System Based on BIM[J]. Railway Computer Application, 2024, 33(6): 31-34.

[19] 毕创. 高速铁路站场断面测量新方法研究[J]. 铁道勘察, 2023, 49(4): 59-63.

BI Chuang. Research on a New Method of High-speed Railway Station Section Survey [J]. Railway Investigation and Surveying, 2023, 49(4): 59-63.

[20] SELAMAT S N, MAJID N A, TAHA M R. Multicollinearity and Spatial Correlation Analysis of Landslide Conditioning Factors in Langat River Basin, Selangor [J]. Natural Hazards, 2025, 121(3): 2665-2684.

[21] 徐伟昌, 谭社会, 杨兴旺, 等. 基于多源传感数据的千米级公铁两用桥梁线形自动化监测技术[J]. 铁道建筑, 2024, 64(3): 66-71.

XU Weichang, TAN Shehui, YANG Xingwang, et al. Automatic Alignment Monitoring Technologies for Kilometer-level Rail-cum-road Bridges Based on Multi-source Sensor Data [J]. Railway Engineering, 2024, 64(3): 66-71.

[22] CHEN H Y, MAO Y H, XU Y D, et al. The Impact of Wearable Devices on the Construction Safety of Building Workers: a Systematic Review [J]. Sustainability, 2023, 15(14): 11165.

[23] YANG C H, PENG J H. Digital Application of BIM Technology in the Architectural Design Stage [J]. Journal of Architectural Research and Development, 2024, 8(5): 7-12.

[24] ZHAO T T. Research on Simulation and Optimization of Construction Technology Based on BIM Technology [J]. Journal of Civil Engineering and Urban Planning, 2024, 6(2): 76-83.

[25] 吴洋. BIM 技术在新建鲁南高铁跨越营业线施工中的应用[J]. 铁道标准设计, 2021, 65(9): 24-28.

WU Yang. Application of BIM Technology in the Construction of Newly-built Lu'nan High-speed Railway Crossing Existing Railway [J]. Railway Standard Design, 2021, 65(9): 24-28.

(编辑: 邓帅)

termesures of High-quality Development of Intercity Railway in Urban Agglomerations [J]. Journal of Transportation Engineering, 2024, 24(2): 125-128.

[26] 潘昭宇. 多层次轨道交通规划技术体系研究[J]. 铁道标准设计, 2022, 66(5): 7-14.

PAN Zhaoyu. Research on Multi Level Rail Transit Planning Technology System [J]. Railway Standard Design, 2022, 66(5): 7-14.

(编辑: 邓帅)