

建筑工程施工现场安全管理的数字化监控技术应用

张云涵

兴国县城市发展投资有限责任公司 江西赣州 342408

摘要：随着建筑行业智能化转型加速，传统施工现场安全管理模式已难以满足复杂工程的风险防控需求。本文围绕数字化监控技术在建筑工程施工现场安全管理中的应用展开研究，分析了当前施工现场安全管理的痛点与数字化转型的必要性，系统阐述了视频监控系统、物联网感知技术、AI智能分析平台、BIM+GIS可视化管理等核心技术的应用场景与实施路径。通过探讨数字化监控技术在人员行为规范、设备运行监测、环境风险预警及应急响应等方面的具体实践，论证了其在提升安全管理效率、降低事故发生率、实现全过程动态监管中的关键作用。最后，结合实际应用中的挑战提出优化建议，旨在为推动建筑工程施工现场安全管理的数字化、智能化发展提供参考。

关键词：建筑工程；施工现场；安全管理；数字化监控

引言

建筑工程施工现场具有环境复杂、人员密集、多工序交叉作业等特点，安全风险贯穿于施工全过程，传统依赖人工巡检、纸质记录的管理方式存在响应滞后、监管盲区、数据碎片化等问题，导致安全事故隐患难以及时发现和处置。近年来，随着大数据、人工智能、物联网等数字技术的快速发展，数字化监控技术为施工现场安全管理提供了全新解决方案。通过构建“感知-分析-预警-处置”的闭环管理体系，实现对人员、设备、环境、工艺等关键要素的实时监测与智能管控，已成为提升建筑施工安全管理水平的必然趋势。

一、施工现场安全管理现状与数字化技术需求

（一）传统安全管理模式的挑战

建筑工程施工现场传统安全管理模式依赖人力巡查、纸质记录和经验判断，应对现代施工项目时局限性凸显。一是安全管理有盲区，安全员无法全方位实时监控，难以及时发现制止风险行为；二是信息传递效率低且易失真，流程长、环节多，易错失干预时机；三是安全数据记录与分析能力弱，纸质记录难系统归档、检索和分析，决策缺乏前瞻性和科学性；四是责任追溯机制不健全，事故后难精准界定责任和原因。这些挑战需引入数字化技术变革。

（二）施工现场主要安全风险源分析

建筑工程施工现场安全风险源复杂，种类多、分布广、动态演化且相互关联。从空间看，高处作业、起重

机械作业、基坑与土方开挖、临时用电和动火作业区域是主要风险源；从时间看，风险源随施工进度变化，基础施工侧重基坑坍塌，主体结构侧重高处坠落和起重伤害，装饰装修火灾与触电风险增加。此外，人的不安全行为和物的危险状态是事故诱因。识别与评估这些风险源是数字化监控的前提^[1]。

（三）数字化监控技术的应用需求

基于传统管理挑战和风险源特征，数字化监控技术应用需求多维度、深层次。一是实现风险感知实时化与自动化，用物联网传感器等设备采集数据，变“人防”为“技防”；二是实现风险预警智能化与前瞻性，构建预警模型，从“事后响应”到“事前预警”；三是实现管理决策的数据化与科学化，需集成化数字管理平台，辅助管理者掌握态势、优化资源；四是实现应急响应协同化与高效化，数字化系统集成应急功能，发生险情可快速协同响应。这些需求指向构建数字化安全监控体系，提升施工现场本质安全水平。

二、数字化监控技术在施工现场安全管理中的应用体系

（一）数字化监控技术的总体架构

施工现场数字化监控技术的总体架构是一个多层次、模块化的系统工程，旨在构建一个全面感知、智能分析、协同管控的安全管理闭环。该架构自下而上可分为四个核心层级：感知与采集层、网络传输层、平台支撑层与应用服务层。感知与采集层是整个系统的数据基础，通过部署各类前端设备，如高精度定位标签、环境传感器

(温湿度、粉尘、气体)、结构应力传感器、高清及热成像摄像头、无人机等,实现对人员、机械、物料、环境及施工过程等多维度物理信息的实时、精准捕获。网络传输层负责将采集层获取的海量数据稳定、高效地传输至处理中心,其技术选型融合了有线光纤、无线局域网(Wi-Fi 6)、5G及低功耗广域网(LoRa、NB-IoT),确保了不同场景下数据传输的可靠性与带宽需求。平台支撑层是系统的核心大脑,依托云计算基础设施,构建了集数据存储、计算、分析于一体的数据中心,并集成大数据处理引擎、人工智能算法库与数字孪生模型,为上层应用提供强大的算力与智能支持。应用服务层则直接面向安全管理的各项业务需求,开发出包括人员行为识别、危险区域闯入预警、大型设备运行状态监测、深基坑与高支模稳定性评估、应急指挥调度等一系列功能模块,通过可视化的界面为项目管理者提供直观、精准的决策支持。这一分层架构确保了系统的可扩展性、灵活性与高内聚性,为施工现场安全管理的数字化转型提供了坚实的技术框架^[2]。

(二) 关键技术的应用路径

关键技术在施工现场安全管理中的应用路径,体现了从数据获取到价值实现的完整逻辑链条。物联网技术的应用路径始于对“人、机、料、法、环”等生产要素的全面物联化,通过为作业人员佩戴智能安全帽或定位手环,实时获取其位置信息与生理状态;在塔吊、升降机等大型设备上安装传感器,监测其运行参数与疲劳状态;在关键结构部位布设应变计和位移计,追踪其形变数据。这些数据构成了安全态势感知的原始基础。计算机视觉技术的应用路径聚焦于对视频流数据的智能解析,通过深度学习算法训练出的模型,系统能够自动识别未佩戴安全帽、违规进入危险区域、动火作业无监护等不安全行为,并实时触发警报。BIM与数字孪生技术的应用路径则在于构建一个与物理施工现场同步映射的虚拟模型,将物联网采集的实时数据与BIM模型中的空间信息、进度计划相关联,实现了对安全风险的动态模拟与推演,例如,可以模拟不同施工方案下结构物的受力变化,提前预判潜在的结构失稳风险。人工智能与大数据分析技术的应用路径是整个体系的智能核心,通过对历史事故数据、实时监控数据及环境数据的融合分析,挖掘事故发生的深层次关联规律,构建风险预测模型,实现对安全隐患的超前预警。这些关键技术的应用路径并非孤立存在,而是相互交织、协同作用,共同构成了一

个从被动防御到主动预防的智能化安全管理体系^[3]。

(三) 系统集成与数据交互机制

系统集成与数据交互机制是确保数字化监控体系高效、协同运行的关键,其核心在于打破各子系统间的“数据孤岛”,实现信息的无缝流动与深度融合。首先,通过建立统一的数据标准与接口规范,对不同厂商、不同类型的硬件设备(如各类传感器、摄像头)和软件系统(如BIM平台、项目管理软件、劳务管理系统)进行标准化接入,确保所有数据在采集之初就具有统一的格式和语义。其次,构建企业级或项目级的数据中台,作为整个系统的数据枢纽。该数据中台负责对来自各子系统的异构数据进行汇聚、清洗、转换和存储,形成统一、高质量的安全主题数据库。在此基础上,通过建立数据服务总线,以API(应用程序编程接口)的形式,向上层应用提供标准化的数据服务,使得各应用模块可以按需调用数据,而无需关心其原始来源和格式。这种机制实现了数据的“一次采集、多次复用”,避免了数据冗余和不一致。此外,为确保数据交互的实时性与可靠性,系统采用消息队列等技术,对关键告警信息、控制指令等高优先级数据进行异步、可靠的传输。通过这种深度集成与高效的数据交互机制,数字化监控平台不再是各个孤立功能的简单叠加,而是一个有机的整体,能够将人员定位信息、视频监控画面、设备运行参数、BIM空间信息等多源数据进行时空对齐与关联分析,为复杂安全问题的综合研判与协同处置提供了坚实的数据基础,从而最大化地发挥了数字化监控技术的整体效能。

三、数字化监控技术应用的价值与实施要点

(一) 对安全管理效能的提升价值

数字化监控技术通过实时感知、智能识别与动态预警,从多维度提升施工现场安全管理效能。在人员安全管控方面,21年某市大型住宅项目采用AI智能安全帽监控系统,通过摄像头实时识别作业人员未佩戴安全帽、未系安全带等违规行为,识别响应时间控制在5分钟内,较传统人工巡检(平均1小时发现违规)效率提升11倍,项目建设期内人员违规发生率从15%降至3%;在大型设备管控上,该项目为塔吊、施工电梯加装物联网传感器,实时采集设备运行参数(如塔吊起重量、回转角度、电梯载重),当参数超出安全阈值时自动触发声光预警,22年施工期间未发生1起设备超载或违规操作导致的安全事故。此外,技术还能实现高风险区域动态监控,某市政桥梁项目22年在深基坑周边部署红外对射报警装置与

视频监控，实时监测人员违规进入情况，结合AI行为分析识别基坑边材料堆放超量问题，隐患整改率从传统管理的70%提升至95%，有效降低坍塌、坠落等事故风险，同时减少专职安全员配置数量30%，在保障安全的同时降低管理成本^[4]。

（二）实施过程中的关键控制点

实施过程需围绕设备部署、数据传输与人员适配三大关键环节强化控制。设备部署需结合施工现场风险等级差异化设置，高风险区域（如深基坑、高支模、起重作业区）需加密监控设备密度，摄像头覆盖半径不超过10米，传感器采样频率不低于1次/分钟，22年某建筑集团在工业厂房项目中，按此标准部署23台高清摄像头与18套设备传感器，确保高风险区域无监控盲区；数据传输需保障实时性与稳定性，采用5G+边缘计算技术，将设备采集的数据传输延迟控制在100毫秒内，避免因数据滞后导致预警失效，该集团项目通过该措施，实现违规行为识别与预警同步触发，未出现因数据延迟导致的安全遗漏。人员适配方面需强化操作培训，针对安全员开展数字化监控平台操作培训，培训内容包括系统登录、违规行为查询、预警信息处理、数据报表导出等实操环节，培训时长不少于8小时，21年某市轨道交通项目通过该培训，使安全员对监控系统的熟练操作率从45%提升至92%，确保技术功能充分发挥。

（三）技术应用的障碍与对策

技术应用面临的主要障碍集中在成本投入、系统兼容性与人员技术能力三方面。针对初期成本较高的问题，21年某市市政工程项目采用“分期采购+租赁”结合模式，优先采购高风险区域核心监控设备（如塔吊传感器、基坑报警装置），其余设备（如普通区域摄像头）通过租赁方式获取，将初期投入成本降低40%，同时与供应商签订后期运维服务协议，避免设备故障无人维护的问题；针对不同品牌监控设备（如摄像头、传感器）数据不互通的兼容性问题，某建筑企业22年在项目中采用统一数据接口标准，要求所有设备接入施工现场安全管理平台时，需符合GB/T 51447-2021《建筑施工智慧工地技术标准》中的数据格式要求，实现AI识别系统、设备传感器

与管理平台的数据无缝对接；针对一线管理人员技术能力不足的问题，22年某省建设工程质量安全监督总站组织“数字化监控技术实操培训班”，采用“理论讲解+现场演示+模拟操作”模式，培训覆盖省内200余个项目的安全员，培训后项目监控系统有效使用率从60%提升至88%，切实解决技术落地“最后一公里”问题^[5]。

结语

数字化监控技术在建筑工程施工现场安全管理中的应用，标志着传统安全管理模式向智能化、精细化方向的重大转型。通过构建全面感知、智能分析、协同决策、高效响应的技术体系，不仅实现了对施工现场复杂风险源的动态化、系统化管控，还显著提升了安全管理的效率与精准度。然而，技术的应用并非一蹴而就，其推广过程中需综合考虑成本控制、系统兼容性及人员能力提升等多方面因素，并通过科学规划与持续优化逐步克服障碍。未来，随着5G、人工智能、大数据等前沿技术的进一步发展，数字化监控技术将在施工现场安全管理中发挥更加重要的作用，为建筑行业的本质安全提供坚实保障。同时，行业各方应加强协作，推动技术标准的完善与普及，促进技术成果的共享与转化，共同助力建筑工程施工现场安全管理迈向更高水平。

参考文献

- [1] 李阳. 数字化远程监控系统在工程质量安全监督管理中的应用[J]. 中国新通信, 2022, 24(13): 56-58. DOI: 10.3969/j.issn.1673-4866.2022.13.020.
- [2] 王广茂. 建筑工程施工安全管理中BIM技术的应用研究[J]. 2020.
- [3] 龚剑, 房震宸, 冯宇. 建筑施工关键风险要素数字化监控技术研究[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2022, 50(8): 6. DOI: 10.13245/j.hust.220805.
- [4] 谢正来. 数字化技术在地下工程施工安全管理方面的应用[J]. 建筑工程技术与设计, 2021(7).
- [5] 戴兴. 基于数字化的建筑工程协同管理研究[D]. 天津财经大学, 2022.