

基于5G与物联网技术的智慧工地安全管理 体系构建与应用

史亚

国核示范电站有限责任公司, 山东 威海 264300

DOI:10.61369/ERA.2026010030

摘要 : 随着工程建设信息化、智能化转型加速,传统工地安全管理因环境复杂、监管滞后等问题,已难以满足现代工程安全管控需求。本文以“国和一号”示范工程为例,研究5G与物联网技术在智慧工地安全管理中的创新应用,构建涵盖人员、设备、环境和应急的全场景安全管理体系。通过融合5G网络、物联网传感、AI图像识别与人员定位等关键技术,实现安全风险的实时感知、智能预警、精准管控与追溯分析。^[1]实践表明,该体系显著降低现场违章率,识别隐患数据3万余条,避免大量安全事故,降低停工风险,提升了安全管理智能化水平和管控效率,为大型复杂工程安全管理提供了可复制的实践经验。^[2]

关键词 : 5G技术;物联网;智慧工地;安全管理体系;国和一号工程

Construction and Application of Smart Construction Site Safety Management System Based on 5G and Internet of Things Technology

Shi Ya

Nuclear Demonstration Power Plant Co., LTD. Weihai, Shandong 264300

Abstract : With the accelerated digital and intelligent transformation of construction projects, traditional site safety management has become inadequate for modern engineering safety requirements due to complex environments and lagging supervision. Taking the "Guohe No.1" demonstration project as a case study, this paper explores innovative applications of 5G and IoT technologies in smart construction site safety management, establishing a comprehensive safety management system covering personnel, equipment, environment, and emergency response. By integrating key technologies such as 5G networks, IoT sensors, AI image recognition, and personnel positioning, the system achieves real-time risk perception, intelligent early warning, precise control, and traceability analysis. ^[1] Practical implementation has demonstrated that this system significantly reduces on-site violation rates, identifies over 30,000 potential hazards, prevents numerous safety incidents, minimizes construction suspension risks, enhances intelligent safety management capabilities, and improves operational efficiency, providing replicable practical experience for large-scale complex engineering safety management. ^[2]

Keywords : 5G technology; Internet of Things; smart construction site; safety management system; Guohe No.1 project

引言

工程建设行业是国民经济的支柱产业,其安全管理水平直接关系到人民生命财产安全和行业可持续发展。传统工地安全管理依赖人工巡检和经验判断,存在监管盲区多、响应慢、数据不通、预判弱等问题,难以满足现代复杂工程需要。随着国家推动“新基建”和智慧工地建设,5G、物联网、人工智能等新技术为安全管理转型提供了重要支撑。

本文以“国和一号”三代核电示范工程为研究对象,系统研究5G与物联网技术在智慧工地安全管理中的应用,构建了覆盖感知层、网络层、应用层的全链条安全管理体系,推动安全管理向“主动预防、数据驱动、协同治理”转变。通过分析该工程的实践成效,总结可复制的技术方案与管理经验,不仅丰富了工程安全管理理论,也为其他大型工程提供了重要借鉴,对提升行业整体安全水平具有显著的经济价值和社会意义。^[3]

一、智慧工地安全管理体系构建的理论基础与技术支撑

(一) 核心理论

1. 风险预控理论：风险预控理论强调通过识别、分析、评估潜在风险，采取针对性的预防措施，将风险控制在萌芽状态。智慧工地安全管理体系基于该理论，通过物联网设备实时感知风险源，利用大数据分析进行风险评估与预判，实现“事前预防、事中控制、事后追溯”的全流程风险管控。

2. 协同治理理论：协同治理理论主张多元主体通过协同合作，实现治理效益最大化。智慧工地安全管理体系整合建设单位、施工单位、监理单位、监管部门等多方资源，通过数据共享与信息互通，形成协同监管合力，提升安全管理效率。^[4]

3. 闭环管理理论：闭环管理理论以“计划-执行-检查-处理”(PDCA)循环为核心，强调管理流程的完整性、连续性与迭代优化。智慧工地安全管理体系依托该理论，构建从安全制度制定、风险隐患排查、整改措施落实到效果评估反馈的闭环流程，通过实时数据跟踪与动态调整，持续优化安全管理策略，确保安全管控无漏洞、责任可追溯。^[5]

(二) 关键技术

1. 5G 技术：5G 技术具有大带宽、低时延、高并发的特点，能够解决工地复杂场景下的网络覆盖问题，支持高清视频回传、海量传感设备接入、远程控制等功能，为智慧工地安全管理提供稳定、高效的网络支撑。

2. 物联网技术：物联网技术通过各类传感器、射频识别(RFID)、北斗定位等技术及设备，实现人员、设备、环境等物理实体的信息采集与互联互通，是安全管理数据感知的核心技术。

3. AI 图像识别技术：基于深度学习的 AI 图像识别技术能够对视频监控数据进行实时分析，自动识别安全帽未佩戴、反光背心缺失、违规闯入高危区域、火灾等违规行为与安全隐患，实现 24 小时不间断监督。^[6]

4. 大数据分析技术：大数据分析技术对物联网采集的海量数据进行清洗、分析与挖掘，提取风险特征，进行风险评估与趋势预测，为安全管理决策提供数据支撑。

5. VR/AR 技术：VR/AR 技术通过构建虚拟仿真场景，开展安全培训与应急演练，提升施工人员的安全意识与应急处置能力，降低实际作业中的安全风险。

二、基于 5G 与物联网的智慧工地安全管理体系构建

以国和一号工程为依托，遵循“软硬结合、永临结合、全周期管控、数字化移交”的建设思路，构建基于 5G 与物联网的智慧工地安全管理体系，该体系分为感知层、网络层、应用层、展示层四个层级，实现安全管理的智能化、可视化、协同化。^[7]

(一) 体系总体架构

1. 感知层：感知层是安全管理体系的数据来源，通过部署各类物联网传感设备，实现对人员、设备、环境、作业过程等安全要素的全面感知。主要包括人员定位卡、设备传感器、环境监测设备、视频监控摄像头、RFID 标签、无人机等设备，能够采集人员位置、设备运行状态、环境参数、作业行为等实时数据。

2. 网络层：网络层以 5G 网络为核心，结合 4G、GPS、RFID 等技术，构建全覆盖、高可靠的通信网络，实现感知层数据的实时传输。国和一号工程已建成厂区 5G 专网，实现了施工区、生产区的网络全覆盖，支持高清视频回传、AI 分析结果反馈、设备远程控制等功能，解决了传统工地网络覆盖不足、数据传输延迟等问题。

3. 应用层：应用层是安全管理体系的核心功能模块，基于感知层采集的数据，结合 AI、大数据等技术，实现人员管理、设备管理、环境管理、安全预警、应急处置等一系列安全管理功能，形成全场景的安全管控能力。

4. 展示层：展示层通过统一门户、工程指挥中心大屏、移动 APP、预警平台、报表中心等形式，实现安全管理数据的可视化展示与便捷查询，为管理人员提供实时、直观的安全状态信息，支持远程指挥与决策。^[8]

三、核心功能模块设计

智慧工地安全管理以五大核心模块为支撑，通过多技术融合实现全流程管控，保障施工安全。

1. 人员安全管理模块作为核心模块，依托人员定位、AI 图像识别、VR 安全教育三大技术实现闭环管控。为人员配发有源定位卡，基于 5G 与北斗技术实时显示位置及轨迹，支持出勤统计，并通过虚拟分区电子围栏实现高危区域越界预警，联动积分制与门禁系统强化约束。AI 图像识别 24 小时监测安全帽佩戴等防护措施落实情况，及打电话、睡岗等违规行为，降低违章率。VR 系统构建急救、消防及 15 类事故模拟场景，开展违章人员再教育与管理人员体验式培训，提升安全意识与应急能力。

2. 设备安全管理模块针对大型机械多、交叉作业频繁特点，实现机械实时监控与预警。塔吊防撞系统部署传感器与定位设备，监测位置、角度等参数，具备限位、碰撞、风速报警功能，国和一号工程 12 套系统覆盖交叉作业塔吊集群，杜绝碰撞事故。通过 GPS 与传感器实时监测机械位置及运行状态，定期性能检测排查故障。吊钩可视化系统借助高清摄像头与 5G 网络，将吊装画面回传操作室及监控中心，避免盲目吊风险。

3. 环境安全管理模块通过监测与应急联动管控现场环境。部署 PM2.5、噪声、风速等传感器，实时采集环境参数，风力达 6 级及以上时自动预警并暂停高危作业。结合 AI 图像识别与气体传感器，监测起火点及危险气体浓度，异常时触发预警，联动广播系统告警并启动应急流程。

四、智慧工地安全管理体系在国和一号工程的应用实践

(一) 工程概况

国和一号示范工程是我国自主三代核电标志性项目，位于山东荣成，规划建设两台百万千瓦级核电机组，具有建设周期长、投资规模大、技术难度高、安全要求严等特点。施工现场峰值人员数千人，覆盖核岛、常规岛等多区域，作业面复杂且大型机械密集，安全管理难度极大。为落实监管要求，工程于 2020 年启动智慧工地建设，目前已全面建成投用，成为工程建设期核心技防手段。

（二）应用实施过程

实施分五阶段推进：一是需求分析与方案设计，聚焦人员、设备等关键要素，确立智能化、可视化、全周期管控目标，设计感知、网络、应用、展示四层总体方案；二是硬件部署与网络建设，实现厂区5G全覆盖，部署330支监控摄像头、120套质量防造假记录仪等设备，构建全域感知网络；三是软件开发与系统集成，开发人员定位、AI图像识别等模块，搭建集成平台打破数据壁垒；四是人员培训与试运行，开展全员培训强化安全理念，通过试运行优化系统；五是全面推广与持续优化，结合工程进度动态升级功能、拓展场景。

（三）应用成效

成效显著体现在四方面：其一，安全风险防控能力跃升，累计识别隐患3万余条，据DNV模型测算避免50项严重伤害事故，AI识别降低人员违章率，塔吊防撞系统等系统防范设备及环境风险；其二，经济效益突出，通过减少事故停工整改，可大大减少因停工导致的经济损失；其三，管理效能提升，自动化监管减少人工巡检量，车辆测拍等系统降低劳动强度，预警平台推动建设、施工、监理单位协同监管；其四，安全文化深化，“两个零容忍”理念深入人心，施工人员安全意识与主动防控能力显著增强。

五、问题与优化建议

（一）存在的问题

1. 技术融合深度不足：部分系统功能碎片化，5G、物联网、AI等技术融合不深入，数据互联在安全风险模拟分析中应用待拓展，数据价值挖掘不充分。
2. 标准规范不统一：智慧工地缺乏统一技术标准与数据规范，不同厂家设备及系统兼容性差，数据共享受阻，影响体系扩展性与互联互通性。
3. 人员技术素养待提升：部分施工及管理人员信息化素养不足，对系统使用不熟练，制约系统功能充分发挥。
4. 运维保障体系不完善：系统涉及大量软硬件，工程期设备点位调整量较大，运维工作量大，现有运维团队技术能力与人员配置不足，存在设备故障处置不及时风险。

（二）优化建议

1. 深化技术融合创新：深度融合5G、物联网、AI等技术，

拓展大数据在风险模拟、应急演练中的应用；通过大数据分析预测风险趋势，探索区块链用于安全数据追溯，保障数据真实可追溯。

2. 推动标准规范制定：建议行业主管部门牵头，联合企业、科研机构制定技术标准、数据规范及管理办法，统一设备接口、数据格式等要求，促进系统互联互通与数据共享。

3. 强化人员培训培养：建立常态化培训机制，提升人员系统操作及信息化应用能力；与院校合作培养工程管理与信息化复合型人才，提供人才支撑。

4. 完善运维保障体系：组建专业运维团队并强化技术培训，提升故障处置能力；建立设备定期巡检维护制度，结合远程监控实时监测运行状态，及时处置故障保障系统稳定运行。

六、结论与展望

（一）结论

本文以国和一号示范工程为研究对象，构建了基于5G与物联网技术的智慧工地安全管理体系，该体系以感知层、网络层、应用层、展示层为总体架构，整合人员定位、AI图像识别、安全预警、三维可视化等核心功能模块，实现了安全风险的实时感知、智能预警、精准管控与协同治理。实践表明，该体系在国和一号工程中的应用，有效提升了安全风险防控能力，缩短了项目工期，提升了管理效率，形成了良好的安全文化氛围，为大型复杂工程的安全管理提供了成功范例。^[8-10]

（二）展望

随着5G、物联网、人工智能、大数据等技术的持续发展，智慧工地安全管理体系将向更加智能化、精细化、协同化的方向发展。未来，应进一步深化新技术的融合应用，拓展安全管理的应用场景，实现从施工阶段向设计、运维全生命周期的延伸；推动智慧工地安全管理的标准化、规模化应用，促进行业整体安全管理水平的提升；加强跨行业、跨区域的合作与交流，分享成功经验，共同推动智慧工地安全管理技术的创新与发展，为我国工程建设领域的安全生产与高质量发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 国家能源局，生态环境部. 关于加强核电工程建设质量管理的通知 [Z]. 2020.
- [2] 汪映荣. 对智慧工地助力国和一号工程建设的研究和探索 [J]. 核工程研究, 2021, 43(2): 56-62.
- [3] 李明, 王强. 5G与物联网技术在智慧工地安全管理中的应用 [J]. 建筑技术, 2020, 51(8): 987-990.
- [4] 张华, 刘伟. 智慧工地安全预警系统的设计与实现 [J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(12): 234-240.
- [5] 陈建国, 赵丽. 基于数字孪生的智慧工地安全管理模式研究 [J]. 施工技术, 2022, 51(3): 156-160.
- [6] 王建华, 陈晓峰. 大型核电工程智慧工地建设实践与思考 [J]. 中国核电, 2021, 14(4): 523-528.
- [7] 张磊, 王强, 刘畅. 5G+MEC边缘计算在核电智慧工地安全监管中的应用 [J]. 自动化与仪器仪表, 2023, (08): 189-193+198.
- [8] 李进, 张明, 陈曦. 基于物联网的危大工程智慧监测平台研究与应用 [J]. 建筑机械化, 2025, 46(06): 35-38.
- [9] 刘军, 吴敏, 赵伟. 5G+AI赋能智慧工地安全监督平台创新实践 [J]. 中国安全生产科学技术, 2024, 20(03): 156-162.
- [10] 王浩, 孙悦, 周宇. 大型核电工程智慧工地安全管理体系构建与实践——以“国和一号”示范工程为例 [J]. 施工技术, 2024, 53(12): 89-94.