

智慧工地在建筑施工中的关键技术应用与实践研究

于海枫

上海汇迪电子有限公司

摘 要：从 2020 年开始，国家住房和城乡建设等十几个部门相继出台了关于推进建筑工业化、数字化和智能化的文件，智能建造是建筑工业化发展的大势所趋，很多发达国家也都制定了很多指导政策。我国在智能建造方面和发达国家还存在很大的差距，加之我国实现双碳的宏观目标，所以我国加大力度推动智能工地的建设来提高国际竞争力，从 2020 年 1 月 1 日要求建筑工人实名制管理，要求采用人像、指纹等进行电子打卡，落实建筑工人实名制考勤制度，建设建筑工人管理服务信息平台。在这样的政策背景下，本文通过智慧工地在建筑施工中的应用，融合多学科的综合性的应用，其中包含物联网、大数据、云计算、人工智能和 BIM 等关键技术，探讨其在人、机、料、法、环方面的数字化的管理手段，人员管理、设备监控、进度管理、质量控制、绿色施工、安全管理等方面的具体实践。研究表明，智慧工地系统的实施能显著提高施工效率 30%、降低安全事故发生率 50%、减少项目管理成本 10%，并为建筑行业的数字化转型提供技术支持。另外，当前智慧工地推广应用建设还面临着技术成本高、数据安全风险隐患大和智慧工地运维方面的专业人才短缺等一系列的挑战，通过对建筑工程施工现场开发应用智慧工地解决方案的探究，针对目前或者未来的一系列的挑战提出相应的解决办法与发展建议。

关键词：智慧工地；物联网；BIM 技术；安全管理；数据分析；建筑施工

引言

鉴于我国城镇化的推进和加速，建筑行业也随之发展壮大，我国的建筑市场规模越来越大，传统工地管理模式在信息不对称、管理效率低下和安全隐患较多等方面的局限性日益凸显，建筑工地的安全事故时有发生，对人民的生命财产安全造成很大的威胁。对建筑的工地管理的要求也越来越高。智慧工地的建设应运而生，这种新兴的管理模式是时代的要求，对于智慧工地的解决方案，通过现代化的信息技术手段，包括大数据、云计算、物联网、人工智能等技术手段，实现对施工现场的安全态势感知、实时信息传输、智能决策、及时报警、智能处理等，为建筑工程智能化、绿色化、数字化提供支持和保障。

智慧工地不仅是一种技术手段，更是一种管理理念的革新，其核心是通过信息化、智能化技术手段，实现工地施工现场的人、机、料、法、环等关键要素的有机整合和优化配置。

本文基于实际工程案例，分析智慧工地的关键技术应用效果，以期为建筑行业的智能化转型提供参考和借鉴。

1 智慧工地的内涵与体系架构

1.1 智慧工地的定义与特点

国家提出的数字中国概念是国家的基本战略，数字城市和智慧城市是智慧中国的组成单元，数字城市

理念在建筑施工行业的具体体现是对人和物全面感知、施工技术全面智能、工作互通互联、信息协同共享、决策分析管理、风险智能预控的新型数字化智能化信息化手段，智慧工地是一种集成了物联网、传感网络、大数据、云计算、人工智能等现代信息技术的建筑行业数字化管理模式。它通过将施工现场的各个环节进行信息化、智能化、绿色化改造，实现资源的优化配置和协同作业，具体而言，智慧工地管理体系将施工现场的规划设计、施工管理、质量监管、安全监控、环境保护等环节有机结合起来，形成一个全方位、全过程、全参与的管理体系。

智慧工地管理体系的特点主要体现在三个方面：一是高度集成性，通过将施工现场的各类资源、信息和技术平台进行整合，实现数据的互联互通；二是实时监控能力，通过部署各类传感器和监控设备，实现对施工现场的实时数据采集和动态分析；三是强大的数据分析能力，通过对施工现场的实时采集的各种数据进行存储、清洗、挖掘、分析，为建筑施工现场的管理赋能，管理水平实现了质的提升，对工程的进度、工程的施工质量、建筑施工的安全有序进行和项目决策提供有力支持。

1.2 技术架构与组成

智慧工地管理体系的技术架构包括感知层、传输层、数据层和应用层四个部分。见图 1。



图1 智慧工地管理体系的技术架构

感知层通过部署各类传感器、控制器等设备，实现对施工现场的实时数据采集；传输层采用两种传输方式：有线传输方式和无线传输方式。其中有有线传输方式包括：Ethernet、RS232、RS485，无线传输方式包括：Wi-Fi、4G、5G、NB-IOT，将采集到的数据传输至数据中心；数据层负责对数据进行存储、处理和分析；应用层则提供丰富的功能模块，如施工进度管理、质量监管、安全管理、环境监测、文明施工、劳务管理、设备管理、绿色施工管理等。这种多层次的架构设计为智慧工地管理体系的灵活性和可扩展性提供了保障，同时支持与第三方系统的集成，如BIM系统、ERP系统等，以实现数据共享和协同工作。

2 智慧工地关键技术分析

2.1 人工智能物联网技术 (AIoT, Artificial Intelligence of Things)

人工智能物联网技术是智慧工地的基础，核心是将AI（人工智能）技术与IoT（物联网）结合，让物联网设备（如传感器、控制器）实现对施工现场的实时数据采集和监控，具备数据分析、自主决策能力，例如智能音箱识别语音指令、工业设备通过数据分析预测故障。通过安装环境监测传感器、人员定位系统、视频监控系统等设备，实时收集施工现场的温度、湿度、噪声、振动等多种信息，为施工管理提供数据支持。

2.2 大数据与云计算

大数据和云计算技术的应用，使得智慧工地管理系统能够对海量数据进行存储、分析、清洗和处理，进而实现数据监测和数据回溯，进一步为指挥调度提供决策依据。在一个建设工程项目中，通过云计算平台实现了对施工进度、机械设备、材料使用、人员考勤、施工质量、安全管控等数据的集中管理，使项目管理更加科学化、精细化。

2.3 BIM技术

BIM技术在智慧工地中的应用主要体现在施工场地布置、施工过程模拟和协同管理等方面，通过构建建筑几何形状的3D模型，包含材料、成本、施工进度等模型，贯穿于建筑工程的设计、施工和运维全生命周期。在智慧工地的项目中，通过BIM建模手段对施工场地内各功能区的划分、塔吊位置的确定、现场施工道路的布置进行了建模，实现了三区分离（施工区域、材料堆放区域、办公及生活区域）、人车分流，提高了施工现场的安全性和有序性。

2.4 人工智能与VR技术

人工智能技术的融入，使得智慧工地管理体系能够实现智能化决策和自动化控制。在建筑工程施工项目中，引入了VR安全体验馆，通过虚拟现实技术让施工人员体验安全事故的后果，提高了安全培训的效

果。此外,人工智能算法还可以对施工过程中的潜在风险进行自动识别和预警,有效降低事故发生率。引入 AI 智能眼镜高效率巡检,巡检上传,语音智能控制解放双手,数据自动记录,异常行为自动抓拍上报。

3 智慧工地的应用场景与实践案例

3.1 劳务管理和人员管理

在建筑工程施工项目中,劳务人员实名制管理,实现和政府数据之间的打通,包含 AI 无感考勤、闸机人脸考勤、人员定位、轨迹查询、智能安全帽集成双向对讲功能、Wi-Fi 安全教育、安全之星评选、消费、通道、监控、信息发布、员工档案管理等系统, AI 智能识别未戴安全帽行为、未穿反光衣行为、吸烟行为等,系统做到进入施工现场的每一个人,包括管理人员和劳务工人,实时可以查询,透明化管理,现场劳务工人的风险实时监控,做到及时预警、报警,最终实现安全风险完全可控

3.2 质量管理

在建筑工程的施工现场,通过应用二维码技术,将项目概况、组织机构、管理体系、工程进度、技术方案、技术交底、安全管理、人员设备等信息整合到一起,生成二维码。在每一个施工部位只要扫一扫对应的二维码,就可以了解到该施工部位的施工情况、技术、质量、安全负责人以及相应的技术方案、技术交底、验收情况等。这种方式不仅提高了管理效率,还增强了管理人员的责任心。

3.3 安全管理

智慧工地在安全管理方面的应用效果显著,能够通过数据分析预测潜在的安全风险,并采取有效的措施进行防范。在建筑工程施工项目中,通过"VR 技术助力安全教育系统",借助 VR 的真实体验感强化安全教育的参与感和教育效果,实时培训施工人员。模拟的场景基本上是工地实际场景的还原,现实的场景材料可以通过技术输入进去,这样可以让施工人员更加有真实感。

3.4 环境监测与节能减排

国家双碳战略目标的达成离不开各行各业的节能减排的监管和落实,千行百业都要齐心协力方能实现蔚蓝色的天空。毫无例外的智慧工地在环境保护和节能减排方面也必须推广落地,作用也是不容忽视的。在建筑工程施工项目中,通过在塔吊大臂上安装喷淋系统,定期开启,有效地减少施工场地的粉尘,裸土要及时覆盖,对扬尘治理大有裨益。渣土车、混凝土车 AI 识别,联动道闸,如果不经冲洗无法出厂;施工现场收集雨水和基坑降水,作为中水通过蓄水池储

存起来,然后可以为现场消防、喷淋、绿化灌溉、车辆和道路冲洗用水。

3.5 智慧工地物联监测系统

智慧工地物联监测系统是借助物联网技术,通过在建筑工地上部署各类传感器、智能设备等,实现对工地现场多方面数据的实时采集、传输、分析与应用,从而提升工地管理的精细化水平和安全性。

3.5.1 设备管理方面

塔吊检测系统、升降机监测系统和卸料平台监测系统,对塔吊、升降机、卸料平台等大型机械设备安装传感器,像塔吊上安装高度限位传感器、幅度传感器、重量传感器、风速传感器、倾角传感器、回转传感器、防碰撞模块等,吊钩进行可视化设计,可以实时监测塔吊的起升高度、吊运重量、作业时的风速情况等。还有 AI 智能摄像机,防止司机出现抽烟、瞌睡、打手机等行为,还有驾驶员身份验证识别设备,核验司机权限,仅具备塔吊设备操作权限者方可操作,一旦出现超载、超高等违规操作或者风速过大等危险情况,能立即触发报警,避免安全事故发生。

对施工机械的运行状态进行监测,通过设备健康监测系统,利用声音来监测设备是否有故障,可以对设备健康状况进行预警,通过分析这些数据来提前预判设备可能出现的故障,便于安排合理的维护保养计划,延长设备使用寿命,保障施工的正常进行。

3.5.2 环境监测方面

部署粉尘传感器、噪声传感器、气象传感器等,实时监测工地现场的空气质量(包括 PM2.5、PM10 浓度等)、噪声分贝值以及温湿度、风速风向等气象参数。当粉尘超标时,可自动启动喷淋降尘系统进行降尘;噪声过大影响周边居民时,能及时提醒调整施工工序等,以满足环保要求。监测工地的土壤、水质等情况(如有需要,比如涉及地下施工等可能影响周边环境时),确保施工过程不对周边生态环境造成不良影响。通过部署 AI 摄像机智能识别裸土覆盖情况。

危险品仓库通过各种有毒有害气体传感器,温湿度等实时监测危险品仓库是否满足环境要求,并且设定报警阈值,加强危险品仓库的管理

危大工程是监管的重灾区,深基坑监测系统、高支模监测系统、临边监测系统是智慧工地的重要的安全管理模块。深基坑监测系统通过部署,无线位移传感器、无线压力传感器监测深层水平位移、顶部地表位移、支撑轴力、锚杆轴力;高支模检测系统除了部署以上两种传感器以外,还需要再部署无线倾角传感器,进行轴力监测、倾角检测、位移监测和沉降监测。

3.6 智慧工地智能化监管

智能化监管旨在借助先进的信息技术手段和各种智能化检测仪器仪表,改变传统依靠人工巡检、经验判断为主的工地监管模式,实现对工地全方位、全时段、高效精准的实时监管,提高工地的质量、安全、环保、进度等各方面的管理水平,预防和减少事故发生,保障工程顺利推进。项目端安全员存在不巡检以及巡检不到位等履职方面的问题,通过安全员佩戴智能巡检仪,集团管理人能通过平台调取项目端安全员巡检记录,做到可以追溯,透明化监管。安全员使用巡检仪对安全巡检过程记录,实现对人员履职的监督。

在工地各关键区域(如出入口、施工作业面、材料堆放区、塔吊作业范围等)安装高清摄像头,部分摄像头具备AI智能分析功能,比如能自动识别未佩戴安全帽、未系安全带、抽烟动火等人员违规行为,以及物体非法闯入塔吊作业半径等危险情况,一旦发现可立即发出警报并推送消息给相关管理人员。实现远程视频巡查,管理人员可通过手机端、电脑端随时随地查看工地现场实时画面,不受时间和空间限制,及时发现问题并下达整改指令。

安全风险预警智能化:

基于物联监测系统采集的数据以及预设的安全风险阈值,建立风险预警模型。例如,当塔吊的起重力矩接近临界值、深基坑的边坡位移超过警戒值、建筑物的沉降数据出现异常等情况时,系统自动发出不同等级的预警信息(如短信、APP推送等),提醒管理人员和相关作业人员采取相应的防范和处置措施。对预警信息进行分级分类管理,方便管理人员快速判断风险的严重程度,优先处理高风险事项,同时系统可记录预警的历史情况,便于后续复盘分析,不断优化监管策略。

4 智慧工地实施的挑战与对策

4.1 技术成本与投入

技术水平和设备成本是制约智慧工地应用的重要因素。为了解决这个问题,需要加强技术研发和推广,降低设备和系统的成本,使更多的企业能够采用先进的技术手段。政府和企业需要加大对技术研发和推广的投入,鼓励企业采用先进的技术手段,提高施工效率和质量。

4.2 数据安全与隐私保护

数据安全和隐私保护也是智慧工地应用中需要关注的问题。智慧工地数据的安全问题涉及到传输和存储风险,数据类型包括工程数据和设备数据,此类数据若泄露可能导致工程泄密、设备被恶意操控,甚至

发生安全事故。工程数据比如施工图纸、进度计划、质量检测数据,尤其国外跨国的项目;设备数据如塔吊运行参数、监控录像等。个人隐私保护问题涉及人员隐私泄露,工地人脸信息、劳务工人的身份信息、工资数据信息,若这些隐私泄露会产生滥用风险。

防范包括加强技术防护、完善管理制度、提高员工安全意识等方面。

数据安全防范包含以下三个方面:1. 分级分类管理:按数据敏感度(如核心工程数据、普通设备数据)分级,核心数据加密存储(如采用AES加密算法),限制访问权限(一人一岗一权限)。2. 强化传输与存储防护:数据传输采用加密协议(如HTTPS、VPN);云端存储选择合规服务商(符合《数据安全法》要求),本地服务器安装防火墙、杀毒软件,定期备份数据。3. 定期安全检测:聘请第三方机构对系统进行渗透测试、漏洞扫描,及时修复安全隐患;严禁员工使用私人设备接入工地办公网络。

隐私保护防范包含以下三个方面:1. 规范数据采集:采集人脸、身份信息前,明确告知用途并获得同意;监控设备仅覆盖施工区域,避免拍摄周边居民生活区域。2. 严控数据使用范围:人脸数据仅用于考勤和门禁,不得用于其他用途;员工信息仅授权HR、财务等必要部门访问,禁止向第三方泄露(法律法规要求除外)。3. 落实合规要求:遵循《个人信息保护法》,建立隐私保护制度,指定专人负责隐私投诉处理;定期对员工开展隐私保护培训,提升安全意识。

4.3 标准化与规范化

在智慧工地的应用过程中,应注重推动其标准化与规范化。通过制定相关标准和规范,明确智慧工地的技术要求、应用范围、管理流程等,确保智慧工地的应用能够符合行业发展的需要。同时,也要加强标准的宣传和推广,提高行业内的认知度和接受度。

5 结论与展望

5.1 研究结论

智慧工地的关键技术及其在建筑施工中的应用,是国家建筑工程数字化、智能化、绿色化转型的很重要的环节,实现智慧城市的关键的组成部分,整个国家城市治理又上一个新的台阶:

首先,智慧工地通过人工智能物联网、云计算和大数据等现代的信息技术手段,对建筑施工现场做到了360度无死角全面态势感知,通过对人、机、料、法、环、进度、质量、安全八个维度全面提升管理水平,显著提高政府城市治理水平和提高施工效率。其次,智慧工地在人员管理、质量管理、安全管理和

环境监测等方面的应用效果显著，能够降低安全事故发生率，提高工程质量，减少资源浪费和环境污染。

最后，智慧工地的实施仍面临技术成本、数据安全、人才短缺和标准化等挑战，需要政府、企业、高校和研究机构的共同努力来解决。

5.2 未来展望

未来，随着科技的不断发展，智慧工地将会在建筑施工中发挥更加重要的作用。首先，随着人工智能物联网、大数据、云计算等技术的不断进步，智慧工地的应用将更加广泛和深入。其次，随着环保和节能要求的不断提高，智慧工地将更加注重环保和节能技术的应用。最后，随着用户需求的不断变化，智慧工地将更加注重用户体验和反馈机制的建立和完善。

未来研究可以重点关注智慧工地技术的创新与应

用，如 BIM 技术与物联网、大数据等技术的深度融合，以及智慧工地在绿色建筑和可持续发展方面的应用等。同时，还需要加强国际交流与合作，引进先进的技术和管理经验，推动智慧工地的国际化和标准化发展。

参考文献：

[1] 建筑施工行业智慧工地应用现状调查与分析——《中国建筑施工行业信息化发展报告(2017)——智慧工地应用与发展》摘编 [J]. 建筑, 2017(16):31-34.
[2] 薛延峰. 基于物联网技术的智慧工地构建 [J]. 科技传播, 2015, 7(15):64+156.
[3] 侯朝, 郝丁默, 杨阳, 等. 智能建造及智慧工地管理系统在施工中的应用 [J]. 建筑技术, 2025, 56(1):27-30.
[4] 张传君, 莫言迟, 李文元, 等. 基于 BIM 技术的绿色智慧工地建设 [J]. 建筑技术, 2024, 55(5):547-551.