

人工智能技术在工程施工安全管理中的应用

程 飞

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

【摘 要】：随着人工智能技术的不断发展，其在各个领域都发挥了更加重要的作用。本文从工程施工安全管理角度深入分析常用的各类人工智能技术，对各种人工智能技术的核心功能应用场景及技术优势进行对比分析，然后围绕人工智能技术在工程行为监控、高风险作业监测与预警、环境风险感知与联动预警、人员定位、安全风险综合评估与决策等不同施工安全管理场景中实践应用展开深入探讨，并针对人工智能技术在工程施工安全管理中的挑战提出了相应的对策，以供参考。

【关键词】：人工智能；工程施工安全管理；风险预警；智能监控；挑战对策

DOI:10.12417/2811-0528.25.20.056

引言

工程建设由于具有环境复杂、工序繁多、人员密集等特点，因此对工程施工安全管理有着较高的要求和标准。传统安全管理主要通过规章制度、安全管理人员的现场检查等进行风险的识别和监控，存在安全监管滞后、主观影响因素较大等问题，严重影响安全管理的成效。近年来人工智能技术在工程施工安全管理领域应用的不断加深，为安全管理提供了更加高效、实时化、智能化的技术支持。

1 人工智能技术在工程施工安全管理中的应用优势

人工智能技术在工程施工安全管理中的应用，有助于打破传统管理模式的束缚，为安全管理带来质的改变。

第一，人工智能技术代替管理人员完成对施工现场的全方位全天候监控。传统人工巡检难以覆盖施工现场的每个角落，且巡检频率有限，容易出现监管盲区，而借助人工智能技术，通过视频监控、GPS 定位、传感器等设备技术就能够实现对施工现场的不间断监测，及时发现违规操作、设备异常状态等安全隐患^[1]，为安全管理提供依据。

第二，人工智能技术具备更高的安全风险识别准确率和效率。工程建设中存在大量安全风险因素，如人员未佩戴安全防护用品、高空作业不规范、设备运行异常等因素，仅通过人工识别容易受主观因素的影响，风险识别效率和准确度低。但是借助人工智能技术就可以利用机器学习算法对大量的施工现场数据进行训练，形成精准的风险识别模型，精准识别工程建设中的各类安全隐患。例如智能视频监控技术可以自动识别施工人员是否佩戴安全帽、安全带等防护用品。

第三，人工智能技术能够实现安全风险的前瞻性预警。以往工程安全管理存在一定的滞后性，而人工智能技术通过算法预测和现场数据的实时分析，能够发现潜在的安全风险，并提前发出预警信息。比如结合所监测到的设备运行数据形成设备

故障规律模型，当故障模型检测到设备运行数据参数超过既定阈值时，就会提醒管理人员进行检修，避免设备故障引发安全事故。

2 工程施工安全管理中常用人工智能技术分析

在工程施工安全管理智能化过程中会应用到各种不同的人工智能技术，如表 1 所示。不同人工智能技术在施工安全管理中发挥着不同的作用，但是其在施工安全管理中有着具体的应用逻辑，主要包括数据采集、AI 分析层和闭环反馈三个层级，其中数据采集层主要是通过高清摄像头、IoT 传感器、定位设备等实时采集施工现场的人员、设备及作业信息，然后再通过通信技术将信息汇总到 AI 分析层，通过计算机视觉、机器学习模型、数据融合算法、定位分析引擎等技术实现对施工过程中违规行为、环境风险的识别、评估、预测和预警^[2,3]。最后，执行层会将识别到的结果反馈至知识图谱与 BIM 模型之中，持续优化风险规则库和施工模拟逻辑，从而形成具备自我迭代功能的安全管理智能体。具体应用框架如图 1 所示。

表 1 人工智能技术应用对比分析表

技术类型	核心功能	典型应用场景	技术优势	主要局限性
计算机视觉	实时图像识别与行为分析	安全装备检查、危险区监控	响应快、覆盖广	光照/遮挡场景精度波动
IoT 传感器	多源数据实时采集	结构健康监测、环境预警	数据实时性强	部署成本高、易受干扰
ML/DL	风险模式识别与预测	坍塌预警、异常监测	复杂数据分析能力强	依赖高质量标注数据
边缘计算	本地化实时推理	设备状态监控、实时告警	低延迟、节省带宽	边缘设备算力有限

BIM+AI	设计风险识别与施工模拟	碰撞检测、虚拟培训	风险前置化控制	需高精度BIM模型支持
知识图谱	风险逻辑推理	动态决策支持	知识可复用	构建维护成本高
自然语言处理	文本分析与智能交互	安全报告解析、培训答疑	提升知识管理效率	专业术语理解偏差

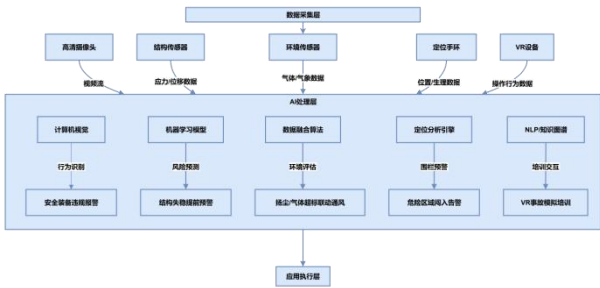


图1 人工智能施工安全管理技术应用体系架构

3 人工智能技术在施工安全管理中的实践应用分析

3.1 基于计算机视觉的智能行为监控系统

计算机视觉技术在现代工地安全监控发挥着极其重要的作用，该技术的应用主要是利用施工现场布置的各种高清摄像头结合云端平台运行的深度学习算法，完成对施工现场人员行为和状态的自动化和全天识别分析。其核心功能主要包括以下几点：（1）识别作业人员是否佩戴安全帽、安全带，是否穿着反光衣；（2）实时监测人员是否违规进入塔吊作业半径、深基坑边缘、高压线附近等高危禁区。（3）识别脚手架攀爬姿势是否规范、多人协同作业是否存在操作冲突以及通过识别特定标识验证高风险区域作业人员的资质权限。一旦系统在运行中检测到违规行为和潜在的危险状态，就会立即联动现场声光报警装置进行示警，同时自动抓拍现场情景并将告警信息发送给管理人员，大幅提升风险管理的时效性。

3.2 高风险作业过程的智能监测与预警机制

在工程建设中，深基坑支护、高大模板支撑、大型起重设备安装拆卸等环节都存在较高的安全风险，基于人工智能技术能够实现对上述过程的精细化监控和实时风险预警。在施工现场，可以结合作业情况布置物联网传感器，比如倾角计、应变计、测斜仪、沉降传感器等，将这些设备安装在结构的关键受力点或位移敏感区域就能够持续采集位移、沉降、倾斜角度、应力应变等实时数据变化，然后再通过机器学习模型，就可以对这些数据进行在线分析，自动捕捉监测数据接近预设安全阈值或变化速率出现异常的征兆，从而在结构失稳或设备故障发生前发出早期预警^[4]。比如在高支模施工中，通过系统就能够

自动分析杆件的应力应变数据变化，及时识别高支模支架有无倾倒风险；再或者对塔式起重机、施工升降机等大型设备运行状态的智能分析，准确识别设备有无超载或者结构疲劳风险。

3.3 环境风险的智能感知与联动预警

复杂多变的环境因素汇兑对施工现场安全构成持续威胁。在施工中，通过人工智能技术与部署环境传感器网络，就能够构建环境风险的智能感知与预警体系。其中，传感器主要负责持续采集包括颗粒物浓度（PM2.5/PM10）、温湿度、风速风向、噪声水平，以及甲烷、硫化氢、一氧化碳等环境数据；人工智能算法则是能够将多源异构数据进行融合分析，建立动态的环境风险评估模型。基于该模型就能够实现下述功能：（1）实时监测并预警扬尘污染是否超标；（2）结合气象预报数据，预测大风、暴雨、高温等恶劣天气对高空作业、临建设施（如工棚、围挡）安全的潜在冲击，提前发布防范指令；（3）在密闭或半密闭空间作业前及过程中，系统能持续监测并预警有害气体浓度，有效防范中毒窒息事故，确保作业人员的职业健康与生命安全。

3.4 人员定位与生理状态的安全管理应用

人员安全管理作为施工现场安全管理的重点，通过物联网配合定位技术能够。更加精准监测施工现场人员的位置和作业行为。比如利用智慧安全帽就能够实现对作业人员位置的精准定位，智慧安全帽中内置有定位系统和蓝牙信标，能够将作业人员的位置信息实时上传至系统，这样管理人员就可以在电子地图上掌握各作业人员的位置，如果人员未经授权或误入爆破警戒区、重型机械设备密集作业区等预设危险区域时，系统自动触发声光或远程报警。与此同时，该技术体系在事故应急救援场景中也可发挥关键作用，能够帮助救援人员快速定位被困人员的位置，提高救援效率。

3.5 沉浸式与交互式的智能安全培训教育

人工智能技术在安全教育培训中也展现了良好的应用价值，基于虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术能够构建高度仿真的施工场景，使受训者得以在绝对安全的环境中“亲身”体验高处坠落、物体打击、坍塌、触电等各类事故的惊险过程及其严重后果，增强受训人员的安全风险意识和自我保护能力。与此同时，基于人工智能才能够构建个性化学习平台，统计每位学员的学习进度和考核反馈成绩，为其提供针对性的学习内容和训练题目，提升培训的效率。此外，人工智能也支持自动问答，受培训人员可以随时向平台进行提问，由人工智能给出相应的答案和建议，帮助受训人员更好学习相关安全知识和技能。

3.6 数据驱动的安全风险综合评估与决策支持

人工智能技术能够为安全管理的宏观决策与端优化配置提供精准数据依据和决策建议。由于人工智能技术所形成的安全管理平台会集成来自视频监控、物联网传感器网络、建筑信息模型（BIM）、施工进度计划、历史安全事故数据库等多源头、多类型的数据，然后利用知识图谱技术结构化地组织安全法规条文、操作规程、风险识别要素、历史事故案例及其因果关联，形成可推理的知识网络。在此基础上就可以实现对海量、多维数据集的深度挖掘与分析，准确评估项目的整体安全风险等级，并识别当前阶段最主要的风险源及其动态演变趋势，同时生成相应的决策建议，如优化日常安全巡检的路线和频次、优化安全作业资源的分配确定可能出现的安全风险热点等，使施工安全管理更具前瞻性和科学性。

4 人工智能技术在工程施工安全管理中的应用挑战与对策

尽管人工智能技术在工程施工安全管理中展现了巨大的应用潜力和价值，但其在施工安全管理应用中仍面临较多的挑战。

4.1 数据质量和数据获取方面的挑战

AI 模型的运行必须建立在高质量数据的基础上，但是施工现场环境复杂多变，通过各种设备传感器采集到的数据常存在噪声大、不完整、格式不统一的问题，部分关键风险数据，比如内部结构状态、特定事故场景等数据难以直接大量获取，并且监控、传感器、BIM、管理系统间的数据存在互通共享难题，这都会影响 AI 模型的运行。针对上述挑战，在今后人工智能技术应用过程中需要积极推动 BIM 与 AIoT 平台深度融合，制定统一的数据采集、存储和交换标准，并尽可能提升传感器的精度，并利用数据增强技术来扩充样本，为 AI 模型的运行提供更高质量、更完善的数据库支持。

4.2 算法的可靠性与可解释性问题

工程施工现场环境相对复杂，各种传感器设备、监测设备在信息采集时容易受光照、遮挡、粉尘、振动等的影响，这就对 AI 模型的鲁棒性提出极高要求。

AI 模型在一些场景中可能出现误报或者漏报情况影响算法的可信度，深度学习模型由于其决策过程缺乏透明性，常被视为“黑箱”，并不能为安全管理决策提供令人信服的解释，所以在发生事故分析追责时容易出现纠纷。为了解决上述问题，在今后需要进一步加强对模型架构的优化和训练，并研发更具鲁棒性的专用算法和可解释人工智能（XAI）技术，使 AI 模型输出的结果，能够作为风险判定的依据，提升算法决策的透明度和用户可信度^[5]。

4.3 缺乏统一标准的技术标准和安全规范

人工智能在施工安全管理中的应用仍处于快速发展阶段，现阶段并没有形成统一的技术标准、应用指南和数据隐私安全规范，行业内部对 AI 于系统的各项性能指标，如识别准确率、误报率、响应时间、验收标准等都缺乏共识，这都会影响人工智能在施工安全管理中的良性持续发展。因此，作为行业协会以及领先企业及科研机构需要加快研究制定覆盖 AI 技术选型、数据管理、系统部署、性能测试、安全评估、运维管理全流程的标准规范体系，为人工智能技术在施工安全管理中的应用奠定良好基础。

5 结语

在工程施工安全管理中，人工智能技术在风险感知、预警预测、过程监控、辅助决策等方面展现出了巨大的优势和应用价值，能够有效推动。施工安全管理向更精准、更高效、更智能化方向发展。但是随着技术的演进以及施工安全管理工作要求的变化，在今后发展中，需要进一步提升人工智能技术的分析能力，并降低部署成本，这样才能够更好适应工程建设行业的发展，为工程施工安全管理提供更强有力的技术支撑。

参考文献：

- [1] 陈刚.基于 AI 技术的建筑施工安全管理策略研究[J].新城建科技,2025,34(04):178-180.
- [2] 薛颖迪.人工智能技术在工程施工安全管理中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(04):53-55.
- [3] 何思聪.人工智能技术在工程施工安全管理中的应用[J].云南水力发电,2024,40(S1):42-46.
- [4] 唐世强.基于人工智能的建设施工安全管理研究[J].中国建设信息化,2024,(03):60-63.
- [5] 甘雨龙.智能化技术在施工安全管理中的应用[J].电子技术,2023,52(08):152-153.