

智慧工地背景下大型机械设备安全智能管控

陈浩, 程亚杰, 余海涛, 陈贤, 高东宇
中建三局第二建设工程有限责任公司, 湖北 武汉 430000
DOI:10.61369/ERA.2026070027

摘 要 : 智慧工地建设是推动建筑行业数字化转型、提升工程安全管理效能的关键, 大型机械设备作为工程建设核心生产要素, 其运行安全直接关系到施工人员生命财产安全、工程进度与质量。当前, 大型机械设备安全管控存在人工监管滞后、风险识别不精准、设备状态监测不全面、协同管控不足等问题, 难以适配智慧工地精细化、智能化管理需求。本文梳理智慧工地背景下大型机械设备智能管控的技术支撑体系, 剖析该体系的构建逻辑与运行机理, 探讨其在设备准入、状态监测等全流程的应用实践, 通过对比分析明确应用效能, 挖掘应用难点并提出优化策略, 为建筑行业大型机械设备安全管理智能化升级提供理论参考与实践指引。

关 键 词 : 智慧工地; 大型机械设备; 安全智能管控; 物联网; 人工智能

Safety and Intelligent Management and Control of Large-scale Mechanical Equipment in the Context of Smart Construction Sites

Chen Hao, Cheng Yajie, Yu Haitao, Chen Xian, Gao Dongyu
China Construction Third Engineering Bureau Second Construction Engineering Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430000

Abstract : The construction of smart construction sites is pivotal in driving the digital transformation of the construction industry and enhancing the efficiency of engineering safety management. As core production factors in engineering construction, the operational safety of large-scale mechanical equipment directly relates to the life and property safety of construction personnel, project progress, and quality. Currently, safety management and control of large-scale mechanical equipment face challenges such as delayed manual supervision, inaccurate risk identification, incomplete equipment condition monitoring, and insufficient collaborative management and control, making it difficult to meet the refined and intelligent management needs of smart construction sites. This paper outlines the technical support system for intelligent management and control of large-scale mechanical equipment in the context of smart construction sites, analyzes the construction logic and operational mechanism of this system, and explores its application practices throughout the entire process, including equipment access and condition monitoring. Through comparative analysis, it clarifies the application effectiveness, identifies application challenges, and proposes optimization strategies, providing theoretical references and practical guidance for the intelligent upgrading of safety management for large-scale mechanical equipment in the construction industry.

Keywords : smart construction sites; large-scale mechanical equipment; safety and intelligent management and control; Internet of Things (IoT); artificial intelligence (AI)

引言

伴随我国建筑行业高质量发展步伐不断加快, 大型机械设备 (如塔式起重机、施工升降机、履带式起重机、盾构机等) 在各类大型工程与重点项目建设中的应用愈发广泛, 其智能化水平与安全管控能力已然成为衡量智慧工地建设质量的核心指标^[1]。智慧工地凭借物联网、人工智能、大数据、数字孪生等新一代信息技术的支撑, 突破传统工地“分散管理、人工主导”的管控局限, 构建起“全域感知、智能分析、精准管控、协同联动”的一体化管理体系, 为大型机械设备安全管控开辟了全新的技术路径、提供了新型管理模式。大型机械设备自身存在体型庞大、结构复杂、作业环境恶劣、运行风险高、管控难度大等特性, 具有不可忽视的安全风险, 一旦管理不善或操作不当, 就可能导致严重事故^[2]。传统管控模式以人工巡检、经验判断和纸质台账记录为主要方式, 存在监管盲区较多、风险识别滞后、数据传递不及时、协同效率偏低等问题, 极易诱发设备故障与安全事故, 进而造成人员伤亡和财产损失。在智慧工地的发展背景下, 推进大型机械设备安全智能管控, 实现设备全生命周期、全流程的智能化监测与精细化管控, 已成为破解传统管控困境、提升工程安全管理水平的必然选择。

一、智慧工地背景下大型机械设备安全智能管控体系构建与应用

（一）智能管控体系构建逻辑

在智慧工地发展场景下，大型机械设备安全智能管控体系以“全生命周期管控、全要素感知、全流程闭环”为核心逻辑，以技术支撑体系为根基，以多方协同配合为保障，搭建起“感知终端层-网络传输层-数据中台层-业务应用层-用户协同层”的五级架构体系。其中，感知终端层承担数据采集的核心职责，网络传输层负责实现数据高效传递，数据中台层专注于数据处理与深度分析，业务应用层负责具体管控功能落地实施，用户协同层保障多方主体协同联动，各层级无缝衔接、协同运转，形成“数据采集-传输-分析-决策-执行-反馈”的闭环管控机制，见图1。



图1大型机械设备安全智能管控体系架构图

智能管控体系的搭建遵循“安全优先、预防为先、综合施策”的核心原则，紧密围绕大型机械设备全生命周期的管控实际需求，整合技术支撑、人员配置、管理机制等多维度资源，明确各参与主体的管控职责边界，优化管控环节与流程设计，实现对设备准入审核、安装验收、运行实时监测、日常维护保养、作业现场管控、应急处置响应及报废规范处置等全流程的智能化管控，保障该体系具备较强的实用性、精准的针对性以及良好的可操作性^[3]。

（二）智能管控体系核心应用实践

智能管控体系全面覆盖大型机械设备全生命周期各阶段，其核心应用集中于设备准入管控、运行状态监测、作业行为管控、风险预警管控及应急处置管控五大关键领域，依托各环节的协同管控与高效联动，搭建起设备安全全方位、全流程的防控架构^[4]。

在设备准入管控环节，智能管控体系通过搭建专属准入审核模块，整合设备出厂合格证明、专业检测报告、定期维护保养记录等基础资料，推动设备准入线上审核与备案流程的规范化。对于未达到安全标准、未完成检测验收的设备，严格禁止其进入施工现场，从源头遏制设备安全风险。与此同时，该体系可对设备产权信息、租赁信息实施集中管控，实现设备来源可追溯、去向可追踪，进一步规范设备流转管理流程。

在运行状态监测环节，智能管控体系借助各类感知终端，实时采集设备运行参数、结构状态、现场环境条件等相关数据，经数据中台层的AI算法与大数据分析技术处理后，完成对设备运行

状态的实时评估及故障提前预判^[5]。该体系能够自动识别设备运行过程中的异常参数，诸如塔身倾斜超标、臂架变形、制动系统失效、电机温度异常升高等，及时发出预警提示，督促管理人员采取针对性防控措施，防止设备故障进一步恶化。此外，体系会自动留存设备全程运行数据，形成完整的设备运行台账，为设备后续维护保养工作提供精准的数据支撑。

5G塔吊远程智能管控系统依托5G高带宽、低时延特性，将高空驾驶室迁移至地面，实现远程操控、无人值守及自动防碰撞。系统搭载倾角、力矩、风速、高度传感器与多路高清监控设备，实时采集运行数据并回传后台，通过AI算法自动识别超载、斜拉歪吊、群塔干涉等危险行为，毫秒级声光预警并强制限位。该系统已在全国多地住宅、商业综合体项目规模化应用，彻底消除塔吊高空攀爬风险，群塔碰撞事故同比下降90%以上。

无人智能施工升降机整合人脸识别、指纹核验与RFID射频识别等多元身份验证技术，从根本上杜绝无资质人员违规上岗；同步集成载重感应、门体闭锁监测及楼层呼叫应答等核心功能，可实现自动平层对齐、门体自动启闭、智能调度及超载防护等全流程自动化操作。该系统可对钢丝绳张力、导轨垂直精度等设备关键运行参数实施实时动态监测，一旦捕捉到参数异常，将立即启动自动停机流程并发出警报提醒。目前，该类设备已成为超高层建筑项目的标准配置，广泛应用于各类超高层工程中，不仅有效降低了人工操作失误的发生率，更使施工升降机安全事故发生率下降70%以上。

作业行为管控环节，智能管控体系借助高清监控摄像设备、北斗卫星定位系统及RFID识别终端，对操作人员的作业全流程进行实时动态监测。该体系具备违规行为自动识别能力，可精准辨别无证上岗、违规操作、超载运行、疲劳作业等各类违规情形，在实时触发告警信号的同时，将违规相关信息同步推送至现场管理人员^[6]，并自动记录违规具体情况、生成标准化台账，为后续人员培训、考核评价工作提供坚实的数据支撑。除此之外，通过搭建地理围栏界定施工危险区域，限制设备作业范围，有效避免了交叉作业冲突问题，进一步筑牢了施工安全防线。

风险预警管控阶段，智能管控体系以多源监测数据为核心支撑，构建了多指标、分级别的风险评估体系，实现对设备运行风险的实时评估与分级预警^[7]。该体系将设备运行风险明确划分为一般、较大、重大三个等级，针对不同等级的风险采取差异化预警策略与管控手段，严格落实“早发现、早预警、早处置”的安全管控要求。与此同时，系统可精准推送预警信息，明确各环节处置责任主体、处置流程及时间限制，构建形成“监测-预警-处置-反馈”的闭环管控体系，全面提升施工安全风险管控的针对性与实效性。

在应急处置管控环节，智能管控体系对于应急资源、应急预案、应急队伍等相关信息进行整合，搭建形成智能化应急处置模块。当设备发生故障或出现安全事故时，该体系能够自动定位事件具体位置、调取现场实时视频画面，精准研判事件等级，快速推送应急预案及处置指引，统筹协调周边应急资源（包含应急设备与应急人员），实现指挥中心与现场的实时联动，进而有效缩

短应急响应时长,提高应急处置效能。与此同时,体系会全面留存应急处置的全过程数据,为后续事故复盘以及管控方案优化提供可靠的数据支撑。此外,智能管控体系还达成了设备维护保养的智能化管控目标,通过系统对设备运行数据与故障记录的分析,制定出贴合设备实际运行情况的个性化维护保养计划,提醒管理人员按时开展维护保养工作,详细记录维护保养的具体内容与实施结果,保障设备始终处于良好运行状态,进一步延长设备使用寿命,降低设备故障发生的频次。

二、大型机械设备安全智能管控体系应用难点分析

(一) 技术适配性不足

大型机械设备品类繁多,不同生产厂家生产的设备在规格参数、接口标准上存在明显差异,这种差异导致感知设备与管控系统之间难以实现无缝衔接和相互兼容。部分老旧设备受自身结构限制,改造难度较大,无法顺利接入智能管控体系,进而形成管控盲区;同时,当前相关领域部分技术仍处于完善阶段,在复杂作业环境下,传感器的测量精度、人工智能算法的识别准确率仍有提升空间,直接影响了智能管控的精准性与可靠性。

(二) 资金投入压力较大

构建大型施工机械安全智能管控体系,涉及智能感知硬件购置、管理平台研发、系统上线部署及从业人员技能培训等多个环节,前期整体建设投入规模大、一次性成本支出偏高。中小建筑企业普遍资金储备不足、融资渠道有限,难以承受智能化改造所需的高昂前期投入,在很大程度上制约了这类智能管控体系在行业内的普及落地^[8]。与此同时,体系投入常态化运行后,还需承担设备检修、系统更新、平台运维等长期持续性开支,持续加重了建筑企业的日常运营与管理成本负担。

(三) 管理机制不完善

在大型机械设备安全智能管控工作的实际开展过程中,部分建筑企业重视程度不足,既未构建完善的配套管理机制,也未梳理规范可行的管控流程,且未清晰划分各相关主体的管控职责,直接导致智能管控体系的应用流于表面,无法充分发挥其实际效用。从跨主体协同管控角度分析,现有协同机制存在明显缺陷,建设、施工、监理、监管等多方主体之间,普遍存在数据共享不及时、流程联动不顺畅的问题,难以形成高效协同的管控合力,进而制约了整体管控工作成效的提升。

(四) 专业人才短缺

大型机械设备安全智能管控工作的有序推进,离不开具备复合型知识体系的专业人才提供支撑。此类人才须具备多领域交叉知识储备,一方面要扎实掌握建筑施工工艺、大型机械设备日常运维及检修技术,另一方面要熟练运用物联网、人工智能、大数据等前沿现代信息技术,推动传统运维技术与智能技术的深度融合。结合当前行业发展实际,此类复合型人才的市场供给量与实际工作需求存在较大差距,部分一线作业人员及管理人员的专业技术水平有待提升,无法熟练操作和运用智能管控系统,这不仅限制了安全智能管控体系的应用广度与深度,也导致该管控体系

的应用效能难以充分释放^[9]。

(五) 数据安全风险突出

智能管控体系运行过程中,会持续收集各类关键数据,包括机械设备运行参数、现场作业人员信息及施工环境指标等,这些数据直接关系到企业商业秘密和作业人员隐私。若企业未建立完善的数据安全防护体系,缺乏有效防护手段,极易出现数据泄露、篡改、违规使用等问题,进而威胁智能管控体系安全稳定运行,阻碍管控工作有序推进。

三、大型机械设备安全智能管控体系优化策略

(一) 优化技术适配,推动标准统一

政府监管部门需发挥牵头引领作用,加快完善大型机械设备智能管控领域的标准规范体系,明确设备接口协议要求、数据格式标准、算法评价参数等核心内容,促进不同生产厂家、不同规格型号设备的兼容联动,打破技术应用过程中的标准壁垒^[10]。对于施工单位正在投入使用的老旧设备,应联合科研机构打造个性化改造方案,采用成本经济、部署便捷的感知设备及改造技术,推动老旧设备顺利接入智能管控体系,全面填补传统管控模式下的监管空白。科研机构需聚焦复杂施工场景中的技术难题,强化核心技术研发与创新力度,提高传感器的测量精度与运行稳定性,优化人工智能风险识别及故障预判算法,提升风险识别的精准度,进一步增强管控体系的技术适配能力与实际应用效能。

(二) 创新资金投入模式,缓解资金压力

在智能管控体系建设的资金保障工作推进中,政府相关部门积极创新“引导+激励”双向投入模式,重点围绕智慧工地建设与大型机械设备智能管控两大核心领域发力,不断加大政策扶持力度,同步落实各项资金支持举措,对主动开展智能管控体系推广应用的企业,精准发放专项财政补贴与政策性奖励,切实激发各类企业的参与热情与主动性。作为资金投入的核心主体,建设企业主动调整资金运营思路,通过融资租赁、建运一体化等多元化渠道,有效缓解一次性资金投入造成的周转难题;同时,重点优化智能管控体系建设及后期运维的成本管控结构,在设备选型与技术引进阶段优先兼顾性价比,强化资金使用的针对性与合理性,持续提升资金利用效能。此外,政府部门主动搭建政企社合作桥梁,积极引导社会资本投身智能管控技术研发与平台搭建工作,逐步完善“政府引导、企业主导、社会参与”的多元化资金投入格局,为智能管控体系的广泛普及和普惠化应用筑牢资金根基,推动行业数字化转型平稳有序推进。

(三) 完善管理机制,强化责任落实

在管理机制优化过程中,建设企业需进一步重视大型机械设备安全智能管控工作,完善相关管理制度与管控流程,清晰划分建设、施工、监理、操作人员等各参与方的管控责任,将智能管控体系的应用效果纳入绩效考核范畴,确保各项管控要求落地落细。政府监管部门主动牵头,搭建跨主体协同管控平台,破解各方数据壁垒,促进数据互通与流程协同,打造“多方协同、齐抓共管”的全方位管控体系。监理单位需加大对智能管控体系应用

的监督力度，定期核查系统运行情况及数据真实性，及时发现应用中的问题并督促整改，保障体系稳定规范运行。

（四）加强人才培养，补齐人才短板

针对人才短板问题，建设企业携手高校、科研机构共建复合型人才培养体系，开展精准化学历教育与技能实训，着力培育既懂建筑施工、机械设备专业知识，又掌握物联网、人工智能等信息技术的复合型人才。施工单位重点开展现有操作人员与管理的技术提升培训，结合现场实操、线上授课、技能比拼等多种形式，全面增强相关人员对智能管控系统的操作熟练度与实际应用能力。政府与企业联动发力，优化人才激励机制，通过高薪引才、职称评定倾斜、项目专项奖励等举措，吸引优秀复合型人才投身大型机械设备安全智能管控领域，为体系的应用推广与优化升级提供有力人才保障。

（五）强化数据安全，保障体系稳定

从数据安全保障角度出发，企业应完善内部数据安全管理制度，对数据采集、存储、传输、应用及销毁等全业务环节划定明确安全管控标准。依托数据加密、敏感信息脱敏、分级权限管控等成熟技术举措，落实数据全生命周期防护管理，有效防范数据外泄、信息篡改以及违规使用等各类安全问题。施工相关单位可协同专业技术服务机构，构建完善的数据安全应急处置流程，配套制定专项应急处置预案，并常态化组织开展应急模拟演练。一

旦出现数据安全突发情况，能够做到快速响应、规范处置，从整体上压降各类数据安全风险。与此同时，行业主管及监管部门需强化日常监督与专项检查力度，督促相关经营主体按期开展数据安全自查与综合评估，针对性整改安全管理漏洞与薄弱环节，全方位保障智能管控体系的数据安全，维持系统长期稳定有序运行。

四、结语

智慧工地建设稳步推进的当下，大型机械设备安全智能管控体系已然成为建筑行业数字化、智能化转型进程中的核心支撑力量。从行业发展趋势而言，该智能管控体系在未来将持续迭代升级，朝着更智能、更协同、更精准、更普惠的方向稳步前行。与此同时，随着绿色建筑与智能建造理念的深度普及，大型机械设备安全智能管控体系将与绿色节能、低碳环保要求深度融合，通过优化设备运行参数、规范运行流程，实现设备节能降耗与环保管控的协同推进，为建筑行业落实“双碳”目标提供有力支撑。今后，需持续加大技术研发力度、健全专业人才培养机制、推进相关管理机制创新，不断完善智能管控体系建设，充分发挥其在大型机械设备安全管理中的核心作用，为建筑行业高质量发展筑牢坚实根基。

参考文献

[1] 苏美文, 杨文爽, 李博文, 等. 推动人工智能与实体经济深度融合加快发展新质生产力 [J]. 工业技术经济, 2025, 44(04): 32-59.

[2] 吴克华, 王建士. 建筑起重机械安全风险分析与安全管理实践——以塔式起重机为例 [J]. 建设监理, 2023, (10): 65-69.

[3] 尹冉, 王海刚. "双一流"背景下高校科研实验室数智赋能安全管理探索与实践 [J]. 实验室检测, 2025, 3(23): 159-161.

[4] 张红展. 供应链金融招采全生命周期协同机制风险控制研究——基于"链式招标"模式的创新实践 [J]. 中国招标, 2026, (01): 84-88.

[5] 万从容, 孙悦. 超大城市道路智能化全息测绘技术研究与应用 [J]. 工程勘察, 2026, 54(02): 88-94.

[6] 熊飞翔. 智能建造技术在建筑工程施工中的应用 [J]. 建筑工人, 2025, 46(12): 37-40.

[7] 代展鹏, 张锋, 李朋. 智能化技术在建筑施工安全管理中的应用研究 [J]. 城市建设, 2026, (03): 53-55.

[8] 姜永亮, 杨烁, 刘晓峰, 等. 崂山区智慧工地监管平台创新实践与智慧化工程监管体系构建研究 [J]. 住宅产业, 2025, (12): 87-90.

[9] 林国强. 智慧工地系统在建筑工程管理中的应用研究 [J]. 新城建科技, 2026, 35(01): 188-190.

[10] 姚瑞. 智慧工地技术在建筑工程现场管理中的应用探索 [J]. 居业, 2026, (01): 177-179.