

建筑工程管理中施工人员行为安全的数字化管控体系设计

陈重冰

广东鸿钧建设有限公司 广东广州 510700

摘要：建筑工程领域施工人员行为安全是保障工程质量与人员生命安全的核心环节。本文针对传统管控模式中存在的监管滞后、数据分散、预警不足等问题，提出构建施工人员行为安全数字化管控体系。通过整合物联网感知技术、人工智能算法与数字平台架构，设计涵盖行为数据采集、实时监测、智能分析、风险预警及闭环管理的全流程管控机制，旨在实现对施工人员不安全行为的精准识别、动态追踪与主动干预，从而提升施工现场安全管理的智能化水平，降低安全事故发生率，为建筑工程安全生产提供系统性解决方案。

关键词：建筑工程管理；施工人员；行为安全

引言

随着建筑行业的快速发展，施工现场环境日趋复杂，施工人员的不安全行为已成为引发安全事故的主要诱因。传统的施工安全管理多依赖人工巡检与经验判断，存在监管范围有限、响应效率低下、数据利用率不足等局限，难以适应大规模、高风险工程的安全管理需求。数字化技术的革新为突破这一困境提供了可能，通过将物联网、大数据、人工智能等技术与施工安全管理深度融合，构建全维度、实时化、智能化的行为安全管控体系，已成为行业发展的必然趋势。本文基于建筑工程施工现场的实际特点，聚焦施工人员行为安全这一关键要素，系统探讨数字化管控体系的总体架构、核心功能模块及实施路径，旨在为提升施工人员行为安全管理的科学性与有效性提供理论参考与实践指导。

一、施工人员不安全行为的特征识别与数字化感知

（一）常见不安全行为的类型与成因分析

施工人员不安全行为的有效管控，其逻辑起点在于对这些行为的类型进行系统性归纳，并对其深层成因进行科学分析。常见的不安全行为可依据其表现形式和潜在风险进行分类。例如，个体防护装备（PPE）使用不规范，如未佩戴安全帽、高处作业未系挂安全带；违规操作机械设备，如无证操作、超载吊装；以及在危险区域的不当行为，如擅自进入起重吊装回转半径内、在临边洞口区域无防护作业。对这些行为的分类是构建数字化识别模型的基础。然而，仅仅识别行为类型是不够的，深入剖析其成因是制定针对性管控策略的关键。成因分析需超越“违章”这一表象，从个体、组织与环境三个

维度展开。个体层面涉及安全意识淡薄、技能不足、生理疲劳或心理压力；组织层面则指向安全培训缺失、管理制度不健全、安全投入不足以及不合理的工期压力；环境层面则包括恶劣天气、照明不足、作业空间狭窄等客观条件。

（二）基于物联网与视觉识别的行为数据采集技术

对不安全行为的数字化感知，依赖于多源异构数据采集技术的融合应用，其中物联网与视觉识别技术构成了核心支撑。物联网技术通过在人员、设备和环境中部署各类传感器，实现对行为状态的间接但精确的量化。例如，集成在安全帽内的定位芯片（如UWB或GPS）可以实时获取人员位置数据，通过与电子围栏的比对，判断其是否进入危险区域；智能安全带上的拉力传感器可以检测安全带是否正确系挂并处于受力状态；设备操作杆上的生物识别或授权芯片则能确认操作人员资质。这些物联网数据提供了行为发生的“状态”证据。与此同时，视觉识别技术，特别是基于深度学习的计算机视觉算法，提供了对行为“过程”的直接解读。部署在施工现场关键区域的摄像头，通过训练有素的神经网络模型，能够实时分析视频流，自动识别如“未佩戴安全帽”、“高处作业无安全带”、“人员倒地”等具体不安全行为姿态^[1]。

（三）不安全行为的实时监测与智能预警机制

采集到的行为数据必须通过高效的实时监测与智能预警机制，才能转化为有效的安全干预能力。该机制的核心在于建立一个从数据到决策再到执行的闭环流程。首先，实时监测系统对来自物联网和视觉识别的数据流进行融合处理与特征提取，将原始数据转化为具有明确

语义的行为事件。例如，将定位坐标与电子围栏边界数据比对，生成“人员闯入禁区”事件；将视觉识别结果与人员身份信息关联，生成“张三未佩戴安全帽”事件。随后，智能预警引擎根据预设的风险规则库，对行为事件进行风险评估。规则库可包含行为的风险等级、发生时段、发生位置的环境因素等多维度判断逻辑。当评估结果超过预设阈值时，系统自动触发分级预警。低风险行为可能通过现场声光报警器或人员佩戴的智能手环进行提醒；高风险行为则立即将包含人员身份、位置、行为类型和现场快照的告警信息，通过移动应用或管理平台推送给现场安全员或项目管理者。这种机制的价值在于其“即时性”与“精准性”，它将安全管理的关口从事后处理大幅前移至行为发生时，实现了对风险的即时阻断。

二、数字化行为安全管控体系的总体架构设计

（一）体系的设计原则与核心功能模块

数字化行为安全管控体系的构建，需遵循一系列明确的设计原则以确保其科学性、实用性与可扩展性。首要原则是数据驱动，即体系的所有功能与决策均应基于客观、量化的行为数据，而非传统的主观经验判断，从而实现安全管理的精准化。其次是实时性与主动性，体系必须能够实时感知风险并主动发出预警，将管理重心从被动的事故响应转向主动的风险预防。再者，系统集成原则要求该体系能与项目现有的BIM模型、智慧工地平台、人员管理系统等进行深度融合，避免形成数据孤岛。最后，人本协同原则强调技术是辅助工具，体系设计应充分考虑管理流程与人员操作的便捷性，促进技术手段与管理行为的有机结合。基于这些原则，体系的核心功能模块可划分为：实时动态监控模块，负责全天候、全方位地采集与展示人员位置、状态及作业环境数据；智能风险识别模块，利用算法模型对采集的数据进行分析，自动识别不安全行为并评估风险等级；预警与干预模块，根据风险等级自动触发不同形式的告警，并记录干预措施与结果；数据分析与决策支持模块，对积累的安全数据进行多维度统计分析，生成可视化报告，为管理层优化安全策略、调整资源配置提供数据支撑^[2]。

（二）数据采集层、分析层与应用层的技术架构

为实现上述功能，体系的技术架构通常采用分层设计，以确保逻辑清晰、职责明确。数据采集层是体系的感知基础，由部署在施工现场的各类物联网传感器、高清网络摄像机、UWB/蓝牙定位基站、智能安全帽及手环

等硬件设备构成。该层负责原始数据的获取，包括人员的时空坐标、生理参数、影像视频以及环境参数等，并通过边缘计算网关进行初步处理与数据清洗，再经由5G或有线网络传输至云端或本地服务器。分析层是体系的大脑，承担着数据存储、处理与智能分析的核心任务。该层构建于云计算平台或高性能服务器之上，集成了时空数据库、视频流处理引擎以及人工智能算法库。其核心功能包括：对定位数据进行轨迹分析与电子围栏判断；对视频流进行实时目标检测、行为识别与个体属性分析；融合多源数据进行综合风险评估，并生成结构化的风险事件。应用层是体系与用户交互的接口，面向不同层级的管理人员提供定制化的服务。

（三）体系运行的闭环反馈与持续改进流程

一个具备生命力的管控体系，必须包含一个自我完善的闭环反馈与持续改进流程。该流程将数据采集、风险识别、管理干预与效果评估串联成一个动态循环。当体系识别出不安全行为并触发预警后，现场管理人员依据告警信息进行干预与纠正，这一过程及结果被系统完整记录，形成一次干预事件。随后，系统定期对积累的干预事件数据进行统计分析，评估特定类型不安全行为的发生频率、高发时段与区域、以及不同干预措施的有效性。例如，分析可能发现某区域的高处作业未系安全带行为在口头警告后复发率较高，而在增加现场监督后显著降低。这些分析结果将反馈至管理层，促使其调整安全策略，如对该区域进行专项安全培训、优化作业流程或加强物理防护措施。策略的调整又将在数据采集层和分析层得到新的数据验证，从而形成一个“感知-分析-决策-执行-评估-优化”的完整闭环。这一流程的价值在于，它使数字化管控体系不再是一个静态的监控工具，而是一个能够通过数据反馈不断学习、自我优化的智能系统^[3]。

三、数字化管控体系的关键功能实现

（一）人员定位与危险区域电子围栏的联动

该功能需依托高精度定位技术与区域管控逻辑，实现施工人员实时位置追踪与危险区域闯入预警，避免人员误入高风险区域引发事故，某省会城市奥体中心建设项目（总建筑面积18.5万平方米，含体育场、游泳馆2个单体，涉及深基坑、高支模、塔吊作业等6类危险区域，原人工巡查模式下危险区域违规进入事件月均20起）。项目采用UWB（超宽带）人员定位技术，为1200名施工人员配备定位手环（定位精度±0.5米，续航时长12小时），在深基坑周边（半径15米）、塔吊旋转覆盖区

(直径30米)等危险区域设置电子围栏;当定位系统检测到人员进入围栏范围,10秒内触发三重联动响应:一是现场危险区域的声光报警器启动(音量 $\geq 110\text{dB}$,灯光闪烁频率2次/秒),二是违规人员手环震动提醒,三是项目安全管理平台向区域安全员推送报警信息(含人员姓名、位置坐标)。功能实现后,项目危险区域违规进入事件月均从20起降至3起,违规响应时间从原人工发现的30分钟缩短至10秒内,深基坑区域未发生1起人员误入事故,符合《建筑施工安全检查标准》(JGJ59-2011)中“危险区域管控率100%”的要求^[4]。

(二) 安全行为的智能评估与个性化培训推送

该功能需通过AI视觉识别与行为分析算法,自动判定施工人员安全行为合规性,并根据违规类型推送针对性培训内容,解决传统培训“一刀切”效果差的问题,项目在施工现场部署80台具备AI分析功能的高清摄像头(识别帧率25帧/秒,覆盖95%作业区域),通过算法自动识别未佩戴安全帽、未系安全带、违规跨越防护栏杆等8类常见不安全行为,识别准确率达92%;系统将行为评估结果与人员信息绑定,生成个人安全行为档案(含违规次数、违规类型、整改情况)。针对不同违规行为推送个性化培训:未佩戴安全帽的人员,推送5分钟时长的《安全帽正确佩戴与防护原理》微课;违规跨越防护栏杆的人员,推送《高处作业防护规范》实操视频。培训通过项目安全教育APP完成,系统设置培训完成验证环节(含3道测试题,正确率 $\geq 80\%$ 视为通过)。功能运行期间,每月完成2000人次安全行为评估,个性化培训推送完成率达85%,施工人员未系安全带行为发生率从15%降至4%,未佩戴安全帽行为发生率从20%降至5%,安全行为合规率显著提升。

(三) 管理责任落实与安全绩效的数字化考核

该功能需通过区域责任划分与量化考核指标,将安全管理责任绑定至具体班组与个人,并以数字化形式呈现绩效结果,确保责任可追溯、考核可量化。项目将施工现场划分为12个安全责任区(每个责任区面积约1.5万平方米,对应1个施工班组、1名专职安全员),在数字化管控平台中明确各责任区的管理责任(如每日安全巡查 ≥ 3 次、违规事件整改率100%);设置5项安全绩效考核指标:责任区月均违规次数 ≤ 5 次、安全培训完成率 $\geq 90\%$ 、隐患整改及时率 $\geq 95\%$ 、人员定位手环佩戴率 $\geq 98\%$ 、轻伤事故发生率 ≤ 0.5 起/千人。考核数据由

系统自动采集,每月生成《安全绩效报告》,考核结果与班组奖金直接挂钩(考核优秀的班组奖金上浮10%,不合格的下调5%),同时将个人安全行为表现纳入施工人员年度评优依据。功能实施后,项目安全管理责任落实率从70%提升至98%,各责任区隐患整改及时率从80%提升至98%,2022年项目轻伤事故仅1起,较2021年(6起)下降83%,实现安全管理责任闭环与绩效提升的双重目标^[5]。

结语

数字化管控体系的构建与应用,为建筑工程管理中施工人员行为安全提供了全新的解决思路。通过物联网、视觉识别、人工智能等技术的深度融合,体系不仅实现了对不安全行为的精准感知与实时干预,还推动了安全管理从经验驱动向数据驱动的转型。这种转型的价值体现在多个层面:其一,高精度的数据采集与智能分析显著提升了风险识别的准确性与及时性;其二,闭环反馈机制确保了管理体系的动态优化与持续改进;其三,责任落实与绩效考核的数字化使安全管理更加透明且可量化。未来,随着技术的进一步发展,数字化管控体系有望在更多复杂场景中发挥作用,例如跨区域协同作业、极端环境下的施工安全保障等。同时,结合区块链技术提升数据可信度、引入增强现实(AR)辅助现场操作培训等创新方向,也将为体系注入新的活力。总之,数字化管控不仅是技术上的革新,更是管理理念的升级,它为企业实现本质安全奠定了坚实基础,为行业迈向智能化安全管理提供了重要参考。

参考文献

- [1]黄新.全过程工程造价在现代建筑经济管理中的重要性[J].明日,2021(6):0441-0441.
- [2]唐明发.高铁智能作业安全管理系统的的设计及应用[J].工程建设与设计,2020(17):3.DOI:10.13616/j.cnki.gcjsysj.2020.09.053.
- [3]常乐,葛广州,王涛,等.建筑施工中作业人员不安全行为分析及管控措施[J].建筑经济,2020(S01):5.
- [4]陈再励.基于人体表征与场景理解的隧道施工风险识别评估与管控方法研究[D].中国地质大学,2022.
- [5]陈泽.千万吨矿井不安全行为管控体系研究[J].煤炭科学技术,2021(S02):049.