

工程项目施工现场安全管理数字化应用研究

阎 娜

定西市弘荣源工程咨询有限公司, 甘肃 定西 743000

[摘要]施工现场安全管理的难点就是人员流动大、危险作业监控不严、隐患排查治理链条断。数字化技术为破解上述难题提供了可靠路径。此文对物联网感知和智能视频分析这两个主要支撑技术进行了梳理,分别从人员实名制动态管理与不安全行为识别、起重机械及大型设备运行安全监控、现场环境风险及危大工程状态监测、隐患排查治理数字化闭环这四个场景出发,提出了相应的应用措施。

[关键词]施工现场;安全管理;数字化;物联网;智能预警

DOI: 10.33142/sca.v9i7.20012

中图分类号: TU712.1

文献标识码: A

Research on the Digital Application of Safety Management in Construction Site of Engineering Projects

YAN Na

Dingxi Hongrongyuan Engineering Consulting Co., Ltd., Dingxi, Gansu, 743000, China

Abstract: The difficulty of safety management on construction sites lies in the large flow of personnel, lax monitoring of hazardous operations, and a broken chain of hidden danger investigation and control. Digital technology provides a reliable path to solve the above problems. This article summarizes the two main supporting technologies of Internet of Things perception and intelligent video analysis, and proposes corresponding application measures from four scenarios: dynamic management and unsafe behavior recognition of personnel real name system, safety monitoring of lifting machinery and large equipment operation, on-site environmental risk and hazardous engineering status monitoring, and digital closed-loop of hidden danger investigation and governance.

Keywords: construction site; safety management; digitalization; Internet of Things; smart early warning

引言

建筑业事故的起数和死亡人数一直处在工商商贸领域高位,传统的安全管理手段越来越不能满足实际需要。日常巡检、旁站监督、整改复查等全部依靠人工记录、纸质流转,信息滞后、失真、不能形成持续改进的闭环。近些年来,智慧工地的概念被提出,各种监控设备以及传感器被陆续引入到施工现场,但是其中存在着重展示、轻实效,或者系统堆砌、无人使用的情况。怎样把数字化手段融入到业务流程中,破解具体问题,才是研究落地之处。

1 施工现场安全管理的现实难点与数字化需求

施工现场环境动态变化、生产要素高度集聚,安全管理长期存在四大难题。第一,人员底数不清。劳务分包队伍更替快,入场人员身份核验不严,特种作业人员持假证或者证件过期的现象时有发生。安全教育大多以签字代替培训,不能追踪真实的学时与效果。人员在场内活动轨迹、作业位置、工时状态不能掌握,超时疲劳作业也难以察觉。

第二,危险作业管控靠人盯人。塔吊安拆顶升、施工升降机运行、高大模板搭设、深基坑开挖等危大工程,主要依靠安全员旁站和司机的经验。旁站视野受限制,注意力不能长时间集中,不能同时观察到力矩、风速、倾角等参数的变化。设备突然出现故障之后到发生事故之间的时间很短,人工不能够及时作出反应。第三,隐患排查治理链条容易断。排查记录大多采用纸质通知单,拍照依靠个人手机,整改责任人及整改时限靠口头或者手写来确定。流转过程中经常出现通知单丢失、整改逾期无人提醒、复查走过场等情况。隐患台账汇总依靠手工统计,不能提取高频隐患类型及薄弱环节,不能支撑针对性改进。第四,现场信息孤岛问题十分突出。实名制系统、视频监控、机械监测、环境传感器等各自独立运行,数据不通,不能互相比对。如某区域气体浓度超标后,不能马上查询该区域人员数量及位置,指挥疏散仍靠对讲机喊话^[1]。人员身份自动核验、不安全行为主动抓拍、机械运行状态实时感知、环

境参数连续采集、隐患治理流程透明留痕并自动流转。数字化不能只是看板上的一点点缀,而应该成为安全管理流程的骨架。

2 施工现场安全数字化的关键支撑技术

施工现场数字化的物理基础就是感知和传输,智能就是视觉分析和主动决策。

2.1 物联网感知与实时数据采集

传感器小型化、低功耗、无线传输能力提高之后,在高风险区域大量部署就成为可能。塔吊回转支承附近安装倾角和风速传感器,变幅小车安装幅度限位器,起升机构加装重量传感器,施工升降机轿厢底部嵌入称重模块,深基坑冠梁处布设位移测点,地下水位管内部安装压力式液位计。这些传感器所采集到的数据会经由 LoRa 或者 4G/5G 模组传送到现场边缘网关上,网关对数据进行协议解析之后再上传到本地服务器或者云端。采集频率根据风险等级来定,塔吊运行参数每秒一次,基坑位移每小时一次,稳态环境参数每 15min 一次。传感器设备自身要达到 IP65 以上的防护等级,才能在扬尘、振动、温差等环境下使用。采集网络要具备断网续传功能,保证通信中断的时候数据不会丢失。

2.2 智能视频分析与主动预警

现场原有的监控摄像机大多为被动录像,利用率低。引入边缘计算模块,即在摄像杆箱体内安装智能分析盒,运行轻量级的深度学习模型。算法要包含安全帽戴好、反光衣穿好、安全带高挂低用、危险区域闯入、明火烟雾、人员摔倒等常见情况。模型训练应该用工地现场素材进行迁移学习,控制误报率。检测到违规事件时,分析盒就地输出开关量信号,联动附近声光报警器,将抓拍图像、短视频推送到指定人员的移动终端。整个过程不依靠云端,延迟控制在 2s 以内,能够满足现场即时干预的需求。夜间光照不足时需要补光或者切换到红外模式来保证识别的效果。

3 数字化在安全管理中的具体应用

技术要落到具体的业务场景中去,才能避免成为摆设。这四点应用是施工现场高频率、高风险的控制点。

3.1 人员实名制动态管理与不安全行为识别

入口设人脸识别闸机,同政府组织的建筑工人实名制管理平台相联接。工人刷脸进场,系统记录身份、工种、劳动合同、安全教育记录。特种作业人员资格证书信息提前录入系统,证书到期前 30 天自动提醒班组长、项目安全部门,逾期不更新则闸机禁入。智能安全帽内装有 UWB 或者蓝牙 AOA 定位模块,可以达到不低于 2m 的定位精度。定位数据可以产生场内人员分布热力图、标定禁止进入区域,一旦有人越界,安全帽振动并发出蜂鸣,同时推送告警到安全员手持机上。安全帽的脱帽状态也被持续监测,超过合理时长没有检测到佩戴数据,就判定为脱帽违规。

视频分析对人的不安全行为做二次复核、补充抓拍。未戴安全帽、安全绳低挂高用、在临边处逗留、非吸烟区吸烟等行为被自动抓取。抓拍的图像以及短视频信息会自动上传到该区域班组长手机上,班组长现场纠错。另外在后台建立个人安全行为积分,自动抓拍到的违规行为扣除相应的分数,积分小于某个阈值的时候工人需要进行离岗再培训。积分排名在班组间公示,起到激励的作用。该组合使用把人员管理的颗粒度由班组细化到个人,把静态档案拓展到动态行为,使每一个工人都是一个可以被感知、可以被追踪的管理对象。具体的采集和应用框架如下表 1 所示。

3.2 起重机械与大型设备运行安全监控

在塔吊上安装一个包含力矩、起重量、幅度、高度、回转角度、风速的传感器组,数据汇总到驾驶室的黑匣子。黑匣子实时判断,起重力矩达到额定值的 90%时在屏幕上闪烁黄灯报警,达到额定值的 100%时自动切断起升、变幅动力,只允许向安全方向动作。吊钩下装有广角摄像头,视频图像实时传到驾驶室显示屏上,司机可以从显示器中看到吊物下面的盲区,从而防止盲吊^[2]。整套装置不与塔吊原有的控制系统有任何的接口或者连接,只读取信号。施工升降机用轿厢内人脸识别摄像头核对司机身份,非备案司机不能启动。称重传感器检测轿厢总重,超载时发出声光报警并锁定启动回路。机械运行数据、违章记录按天生成报表,每周汇总分析,可以清楚地看出每台设备的违章趋势,给设备租赁方和项目部提供维修保养、司机调换的决策依据。

表 1 施工现场人员实名制动态管理数据采集及应用方式

采集终端	采集数据项	安全管控应用
人脸识别闸机	身份信息、进出时间、工种、教育记录	人员准入控制、工时统计、特种作业证过期禁入
智能安全帽	实时位置、移动轨迹、脱帽状态	区域人数热力图、越界告警、脱帽提醒、工时疲劳预警
AI 行为分析摄像	安全帽佩戴、安全带使用、危险区域闯入、吸烟等图像	自动抓拍、即时推送班组长、计入个人安全积分
移动端管理 APP	班前安全教育签到、隐患随手拍、整改回复	教育记录电子化、行为积分查询、闭环证据链

3.3 现场环境风险与危大工程状态监测

深基坑监测一般依靠测量人员定期用全站仪采点,频率低、雨天和夜间不能施测。数字化方案在支护桩顶、坡顶布设固定式测斜仪和位移计,支撑梁上安装振弦式钢筋应力计,周边水位孔内放入液位传感器。所有传感器电缆接入设在基坑边的自动采集箱,定时采集,数据通过 4G 发送。当变化速率或者累计值超过预设的阈值,比如桩顶水平位移连续三天每天大于 3mm 时,采集系统就会立刻给相关人员的手机打电话并发短信告警。高支模监测重点放在混凝土浇筑过程中。在模板支撑体系中选择有代表性的立杆,安装轴力传感器和倾角传感器,观察浇筑时立杆受力是否均匀、模板是否有不均匀沉降。数据在浇筑现场的显示屏上集中显示,设声光报警阈值。一旦出现报警立刻停止浇筑,实施加固检查,防止整体坍塌。隧道、管廊等有限空间重点监测瓦斯、一氧化碳、硫化氢、氧气含量,传感器与通风机联动,气体浓度超标时自动增大通风量。扬尘、噪声在线监测设备同围墙喷淋、雾炮机联动,既可以预警职业健康风险,又可以满足环保要求。

3.4 隐患排查治理的数字化闭环

把以前纸质的隐患通知单转移到移动端。发现隐患的人用手机拍下照片,选择隐患类型为高处作业、临时用电、消防等,写明具体位置及情况,一键上报。系统根据预先设定好的区域及类别分配表,将任务自动发给该片区整改责任人,并加上整改时限。责任人端收到任务提醒后,到现场整改并拍照上传同一角度的照片。发起人收到复核任务之后,确认整改到位之后点击关闭,形成闭环记录。整改临期没有完成的,系统就会把该隐患升级推送给项目安全总监。逾期 24h 未整改的,推送至项目经理。全过程中的每一个步骤都有时间戳以及操作人的记录,可以追溯并且不能被篡改。每周自动生成隐患排查分析图表,对高频隐患的类型、出现班组、区域、平均整改用时、责任人一次整改通过率进行统计^[3]。这些数据使得安全例会的讨论从感性思维变为理性思维,从零散的、主观的、随意的讨论变为有针对性的、系统性的、有计划的、有目的的讨论。

4 推动数字化应用落地的配套措施

技术要发挥作用,管理上也要相应地调整,否则系统和现场就是两张皮。

4.1 建立现场数字化推进组织

在项目部成立数字化推进小组,组长为项目经理,配备一名专职的数字化协调员,可以兼任安全资料员或者技术人员。协调员负责日常设备巡检,保证传感器在线、摄像头不偏转、报警装置不被人断为断电。同时该岗位还要对

系统发出的所有告警信息进行核对,剔除无效告警,跟踪告警事件的处理情况,形成日报。各分包单位指定一名对接人,负责本队组工人的人脸录入、安全帽发放和回收、终端操作问题的反馈。组织层级尽量扁平化,不能增设过多的虚职。

4.2 制定数据采集与共享规则

不同的厂家设备所产生的数据格式、接口各不相同,项目部在设备进场之前需要同供应商就数据对接协议进行约定,确定开放 API 接口或者提供标准 Modbus/TCP 输出。规定传感器采集频率、视频码流、告警等级定义,统一平台创建标准的设备物模型。数据所有权归项目部所有,施工合同中应有相关条款。向业主、监理或者上级主管部门分享数据的时候,采用只读账号以及对统计汇总信息实施脱敏处理的方式,从而避免现场管理的细节被过度解读。

4.3 开展一线人员实操技能培训

培训内容要简单、直接,只讲操作。对安全员进行培训,在手机上查看告警推送、接警后到达指定区域处理、在 APP 内完成隐患录入和复查闭环。对班组长进行培训,使其能读懂本班组的安全行为积分,能够对抓拍到的违章进行确认,可以录入工人的人脸信息。对于普通工人,只需让他们知道安全帽的正确佩戴和充电方法,在听到声光报警的时候就停止作业并观察周围的情况。培训采用小班制,现场操作,逐人考核,不合格者反复练习直到熟练为止。避免集中上大课、讲一遍理论就结束的做法。

4.4 实行分步投入与效果验证

项目开工之初,选择一段深基坑或者一台塔吊、一个楼层做为试点,先布置传感器和 AI 摄像。运行一个月后,统计真实告警次数、由于告警而避免的险兆事件数量、隐患闭环率、设备在线率等指标,与试点前的同期数据或者同类工区进行比较。根据试点效果决定是否推广到全部工区、设备。设备选型时先使用少量试用机,在现场灰尘、电压波动、雨淋等情况下进行稳定性测试,测试合格后再大批量采购。该过程可以以较低的成本发现流程设计中存在的问题,并且可以消除管理层和作业层对于投入和效果的疑虑。

5 结束语

施工现场安全管理数字化的价值,并不是看系统的功能有多少,而是要看它是否可以嵌入班组的日常作业流程中。物联网传感器和智能摄像头只是前端触角,真正起作用的,是触角引发的一系列管理动作,即不可忽视的声光告警、直达责任人手机的整改指令、到期自动升级的逾期

督办、完成复核后才能关闭的闭环记录。将过去依靠人盯人的松散流程变成机器盯防、系统流转、痕迹固化、自动问责的刚性机制。人、机、环、管各个环节的数据一旦打通,隐患治理就从事后追查转为事前预防,安全管理的颗粒度也从项目层面细化到具体的作业点和操作人员。要使这一套体系能够在现场真正运转起来,必须要有组织机构、数据规范、技能培训、分阶段检验等各方面的支持保障。只要坚持操作可行、闭环可控、效果可验证,数字化就不是在展示大屏上停留,而是会成为施工现场安全的日常运行底座。

[参考文献]

- [1]李晶.塔机数字化管理在智慧工地的实现与研究[J].中国建设信息化,2025(19):84-87.
- [2]王会涛.建筑施工现场的安全管理数字化转型研究[J].陶瓷,2025(7):120-122.
- [3]吴善亮.建筑工程监理对施工现场安全管理的影响与策略[J].建材发展导向,2026,24(3):73-75.

作者简介:阎娜(1988—),女,汉族,甘肃省定西市安定区人,本科学历,兰州理工大学土木工程专业,现就职于定西市弘荣源工程咨询有限公司,从事工程咨询工作。