

数字化技术在工程安全管理中的应用

陈升云

华电科工股份有限公司 北京 100070

摘要: 工程安全管理正经历从人工经验驱动向数据智能驱动的深层转变。本文梳理了物联网、计算机视觉、BIM及数字孪生等数字化技术在安全管理前期准备、施工过程监控、隐患闭环处置及安全培训四大环节的具体应用路径,并从硬件感知、软件平台与人员队伍三个维度剖析了技术落地的支撑条件,同时就精细化、协同化与适配性三个优化方向展开探讨。数字化技术的有效嵌入需兼顾技术闭环构建与管理流程再造,方能推动安全管控由被动应对转向主动防控。

关键词: 工程安全管理; 数字化技术; 物联网; 隐患闭环; 主动防控

引言: 建筑工程体量持续攀升,多工序交叉作业使现场风险日益复杂,传统安全管理依赖人工巡查与纸质记录,信息滞后、覆盖面窄等弊端突出。物联网、计算机视觉与数字孪生等技术的成熟,为安全管理提供了实时感知、自动识别与智能预警的全新手段。将数字化技术系统嵌入工程安全管理各环节,已成为提升管控效能、降低事故率的现实路径,也是行业管理范式转型的核心议题。

1 数字化技术在工程安全管理中的应用基础

1.1 工程安全管理的数字化需求

工程建设现场环境复杂多变,人员流动性大且作业工种繁多,传统安全管理手段主要依赖人工巡查与纸质台账记录,信息传递存在明显滞后性,管理层难以在第一时间掌握现场风险动态^[1]。随着建筑工程体量与施工难度持续攀升,仅凭经验判断已无法满足多工序交叉作业场景下的安全管控要求,管理者迫切需要一种能够实时感知现场状态、自动识别违规行为并快速推送预警信号的技术手段。物联网传感器可对基坑变形、塔吊载荷、环境温湿度等关键参数进行全天候采集,计算机视觉算法能够替代人工完成对安全帽佩戴、临边防护等常规检查项目的不间断监控,数字化管理平台则将分散的人员、机械、环境数据汇聚至统一界面,使安全决策从事后处置转向事前预防。工程安全管理对数字化技术的需求并非单纯的工具替代,而是管理范式从被动应对向主动防控转型的内在驱动,数据的实时性、准确性与可追溯性构成了新型安全管理体系运转的基本条件。

1.2 数字化技术应用的核心前提

数字化技术在工程安全管理中的落地并非简单的设备堆叠与软件部署,而是需要在数据采集、传输、处理与应用各环节建立完整的技术闭环。传感器网络的覆盖

范围与采集精度须与现场风险等级相匹配,高风险区域应部署高密度监测终端,低风险区域则以无线传感节点覆盖即可。数据传输链路需具备足够的带宽与稳定性,确保海量监测数据能够实时回传至管理平台而不出现丢包或延迟。平台架构应兼容多种通信协议与数据格式,使不同厂商生产的传感设备与管理软件之间能够实现无缝对接。操作人员须经过系统培训方可熟练使用数字化管理工具,技术方案的制定应充分考虑施工现场网络条件、供电能力与空间布局等客观约束,避免因技术选型脱离实际而导致系统闲置。唯有在技术适配、人员能力与管理流程三个维度均做好准备,数字化技术才能真正嵌入工程安全管理的日常运转之中。

2 数字化技术在工程安全管理各环节的应用

2.1 安全管理前期准备环节应用

工程开工前,数字化技术为安全策划提供了数据化决策依据。BIM模型可在施工前对深基坑开挖、高大模板支撑、塔吊群交叉作业等高风险工序进行三维仿真,提前暴露空间冲突与操作盲区,使方案优化在虚拟环境中完成而非在现场试错^[2]。基于历史工程事故数据库,机器学习算法能对拟建项目的风险等级做出量化评估,输出重点管控区域与关键防控节点清单。施工组织设计中的安全技术交底可借助AR设备向作业班组进行沉浸式演示,工人通过佩戴终端直观看到临边防护的设置标准与应急逃生路线,比传统口述交底的信息留存率显著提高。人员实名制管理系统在进场阶段即完成生物特征采集与安全资质核验,自动筛选出无证上岗或超龄人员,从源头堵住管理漏洞。前期准备阶段的数字化介入,将安全管理的重心前移至方案编制与资源配置层面,为后续施工过程的动态管控奠定数据基础。

2.2 施工过程安全管理环节应用

施工阶段是安全风险最为集中的时段，数字化技术在此环节承担着实时感知与动态干预的核心角色。塔吊、升降机等大型机械配备的智能终端持续回传载荷、风速、倾角等运行参数，一旦数值逼近设定阈值，系统即刻触发声光报警并自动切断危险操作。计算机视觉摄像头覆盖基坑边缘、高空作业面等关键点位，对未佩戴安全帽、未系安全带、违规进入危险区域等行为实施全天候自动抓拍，识别结果同步推送至班组长与安全员的移动终端。UWB定位系统实时追踪人员在工地内的分布轨迹，当有工人误入塔吊回转半径或深基坑临边时，电子围栏自动告警。环境传感器对粉尘浓度、有毒气体、噪声等指标进行连续监测，数据超标时联动喷淋降尘与通风设备自动启动。多源数据在管理平台上汇聚为一张动态安全态势图，管理人员无需逐一巡查即可掌握全局风险状况。

2.3 安全隐患管理环节应用

隐患从发现到闭环的全流程借助数字化工具实现了可追踪、可量化与可考核。一线人员通过移动端APP拍摄现场隐患照片并标注位置信息，系统依据预设规则自动判定隐患等级并生成电子工单，工单内容包含整改要求、责任人与时限，推送至对应管理人员。整改完成后，责任人上传整改前后对比照片，安全管理人员在线审核确认，整个流程留有完整的时间戳与操作记录，杜绝了纸质台账中常见的漏签、代签问题。平台后台对隐患数据进行统计分析，生成高频隐患类型分布图谱与各班组整改效率排名，管理层据此调整巡检重点与资源投入方向。对于反复出现的同类隐患，系统自动标记为顽固项并提升预警级别，推动从个案处理转向系统性治理。隐患管理由过去的人工传递、口头催办转变为线上流转、自动催办，整改周期与闭合率均获得明显改善。

2.4 安全培训与教育环节应用

传统安全教育以集中授课与纸质试卷为主，效果难以量化且遗忘率高，数字化手段为培训模式的革新提供了可行路径。VR安全体验馆可模拟物体打击、高处坠落、触电等典型事故场景，受训者在虚拟环境中亲历事故发生过程，形成的安全意识远比文字说教更为深刻。线上学习平台将安全知识拆解为短视频与互动测验，工人利用碎片时间即可完成学习任务，系统自动记录学时并与上岗权限挂钩，未完成规定学时者无法通过门禁闸机。智能题库根据工人所在工种与既往答题表现推送个性化练习内容，薄弱环节被反复强化。培训效果不再仅凭一张试卷判定，平台从答题正确率、实操模拟得分、日常违规频次等多个维度生成个人安全能力画像，为班

组分配与岗位调整提供参考依据。

3 数字化技术应用的支撑体系

3.1 数字化技术应用的硬件支撑

数字化技术在工程安全管理中的落地，离不开一套稳定且高效的硬件体系作为物理载体。施工现场需要部署大量传感器节点，用于采集温度、湿度、位移、应力等多维数据，传感器的选型与布设密度直接关系到数据采集的完整度与精度^[3]。视频监控设备作为现场感知的重要手段，需具备高清画质与夜视功能，以适应不同光照条件下的持续拍摄需求。网络通信设备构成了数据上传下达的通道，5G基站与Wi-Fi热点的合理布局能够保障海量数据在传输过程中不出现丢包与延迟。边缘计算网关部署在靠近数据源的位置，承担着数据预处理与初步筛选的任务，可有效降低云端平台的计算压力。大型机械设备上安装的智能终端能够实时回传运行参数，为设备状态监测提供原始数据来源。供电系统的稳定性同样不可忽视，户外设备多采用太阳能与蓄电池相结合的供电方案，以确保全天候不间断运行。硬件设备之间的接口标准需要统一，便于后期维护与扩容，避免因设备品牌差异导致的系统割裂。

3.2 数字化技术应用的软件支撑

软件平台承担着数据汇聚、处理、分析与展示的全部功能，是连接硬件与管理行为的桥梁。底层数据库需要具备处理结构化与非结构化数据的能力，将传感器回传的数值、视频流中的图像以及文本信息统一纳入存储框架。中间件负责不同系统之间的数据交换与协议转换，使来自不同厂商的设备能够在同一平台上协同工作。安全管理业务模块涵盖人员管理、设备监控、隐患排查、环境监测等功能分区，各模块之间通过统一的数据接口实现信息互通。可视化模块将抽象的数据转化为图表、热力图与三维模型，帮助管理人员快速把握现场安全态势。移动端应用使一线人员能够随时随地上报隐患、查看预警信息，打破了办公场所对管理行为的空间限制。算法模块嵌入在平台后台，对采集到的数据进行模式识别与异常判断，自动触发告警推送。软件系统的迭代更新需要与硬件升级保持节奏一致，确保功能扩展不受制于底层架构的瓶颈。

3.3 数字化技术应用的人员支撑

再完善的技术系统也需要具备相应能力的人员来操控与维护，人才队伍的建设构成了数字化应用能否持续运转的关键变量。项目管理层需要掌握数据分析的基本方法，能够从平台输出的报表中提炼出安全管理的改进方向。技术运维人员负责硬件设备的日常巡检与故障排

除,保障传感器、摄像头等终端设备始终处于正常工作状态。一线作业人员需要接受操作培训,学会使用移动端工具完成隐患上报与安全交底的签收。安全管理人员应具备将业务需求转化为技术需求的能力,能够向技术团队准确描述现场管理中的痛点。组织内部需要建立数字化技能的分层培训机制,针对不同岗位设计差异化的学习内容。管理制度应将数字化工具的使用纳入日常工作流程,避免技术手段与管理行为形成两张皮。人员的数字素养直接决定了系统中沉淀的数据质量,只有当操作人员养成规范录入与及时反馈的习惯,平台上的数据才能真正服务于安全决策。

4 数字化技术应用的优化方向

4.1 技术应用的精细化优化

数字化技术在工程安全管理中的应用已从粗放式部署迈向精细化运作阶段,但传感器布设密度与算法识别精度仍有较大提升空间。深层结构监测需从点状布设升级为面状覆盖,使光纤传感网络能够完整捕捉应力分布的空间变化特征,而非仅获取离散节点的单一数值。计算机视觉算法的训练数据应涵盖更多复杂光照与天气条件下的作业场景,提升模型在夜间、雨雾等低能见度环境中的识别稳定性^[4]。数字孪生平台中的安全风险模型须与施工进度实时联动,当某一工序进入高风险阶段时,模型自动调高相关区域的监测频率与预警灵敏度。数据采集的时间粒度也应从小时级压缩至分钟级,使管理者能够捕捉到风险演变的瞬态特征,而非依赖滞后的统计报表做出判断。精细化优化的本质在于让每一项技术手段都能在恰当的时间、恰当的位置发挥恰当的作用。

4.2 技术应用的协同化优化

单一技术的孤立运行难以形成完整的安全防控链条,各系统间的数据壁垒与接口标准不统一是制约协同效能的主要障碍。物联网感知层采集的环境数据须实时回写至BIM模型中,使三维场景能够动态呈现温度场、风场与沉降场的空间分布。AI视觉识别模块发现的违规行为应自动触发电子工单并推送至责任人终端,工单完成状态回传至管理平台后更新风险评估结果。塔吊黑匣子的运行参数与防碰撞系统的调度指令需在同一平台内完成数据交互,避免因信息割裂导致的指令冲突。协同

化优化要求各子系统遵循统一的数据交换协议,使人员定位、设备监测、环境感知与隐患管理在一个闭环中流转,任何一个环节产生的数据都能被其他环节调用与分析,从而释放出远超单一系统的安全管控效能。

4.3 技术应用的适配性优化

技术方案的制定须以施工现场的客观条件为基准,而非盲目追求功能的全面堆砌。偏远工地网络带宽有限,云端计算方案应向边缘计算架构迁移,将数据处理任务下沉至现场网关,缩短从采集到预警的响应时间。高温高湿环境下,传感设备的防护等级与通信模块的抗干扰能力须经过专项验证,防止因环境因素导致数据失真。小规模项目的安全管理需求与大型工程存在显著差异,技术配置应遵循够用即止原则,避免高端设备因操作门槛过高而被闲置。适配性优化还体现在技术选型与人员能力的匹配上,管理平台的交互界面应充分考虑一线操作人员的数字化素养水平,以简洁直观的操作逻辑降低使用阻力,让技术真正融入日常管理流程而非成为额外负担。

结束语

数字化技术为工程安全管理注入了实时感知与智能决策的新动能,从前期策划到过程监控再到隐患治理,技术手段已渗透至安全管理的全链条。硬件体系、软件平台与人员素养三者缺一不可,唯有同步推进方能避免技术与管理脱节。精细化、协同化与适配性三条优化路径,为技术应用的持续深化指明了方向。当数据真正成为安全决策的依据,工程安全管理便完成了从经验判断向科学防控的根本跨越。

参考文献

- [1]薛峰.数字化技术在高速公路工程施工质量与安全中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2026(4):113-115.
- [2]王灿灿.数字化技术在建筑工程安全管理中的应用与挑战[J].砖瓦世界,2025(1):169-171.
- [3]马潇潇.数字化管控技术在电力工程建设安全管理中的应用[J].建筑工程与设计,2022,1(1):21-23.
- [4]杨仕龙.建设工程数字化技术在职业健康安全管理中的应用[J].建设监理,2023(5):81-83.