

基于物联网的工程施工安全智能监测系统研究

王 栋

中国能源建设集团广西水电工程局有限公司 广西南宁 530000

摘 要：随着建筑业工业化、数字化转型的深入推进，工程施工环境日趋复杂，传统安全管理模式因依赖人工巡检、经验判断及粗放监管，逐渐暴露出风险响应滞后、决策缺乏量化依据、人员管控存在盲区及事故追溯困难等问题，制约了施工安全水平的提升。在此背景下，物联网技术凭借其泛在感知、实时传输、智能分析的特性，为破解工程施工安全管理难题提供了全新思路。研究基于工程施工安全管理的现实需求，首先分析基于物联网的智能监测系统构建目的，包括实现风险实时预警、提升决策效能、优化人员监管及固化数据追溯；进而系统阐述系统的核心设计要素，涵盖感知泛在的智能前端、稳定可靠的通信网络、多源融合的云端平台及人机协同的交互终端，旨在为构建科学、高效的工程施工安全智能监测体系提供理论与技术支撑。

关键词：物联网；工程施工安全；智能监测；智慧工地；风险预警

引言

新中国成立以来首部建筑安全生产法规《建设工程安全生产管理条例》与安全生产领域的基础性法律《中华人民共和国安全生产法》共同构成了我国工程安全管理的法律基石，明确“安全第一，预防为主”的根本方针。进入新发展阶段，数字化转型成为行业共识。“十四五”规划提出“加快数字化发展，建设数字中国”住房和城乡建设部等部门联合发布的《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》等文件，更是将BIM、物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术与建筑业的深度融合推向战略高度。政策导向清晰表明，利用科技手段提升本质安全水平，构建“智慧工地”已成为不可逆转的行业趋势。因此，研究和应用基于物联网的工程施工安全智能监测系统，是企业提升自身管理水平的技术选择，更是响应国家战略、推动行业转型升级的必然要求。

一、基于物联网的工程施工安全智能监测目的

（一）实现风险隐患的实时预警，化被动响应为主动防御

由于传统施工安全管理具有很大的被动性及滞后性，以往往往采用安全检查的方式，大多按一定的周期进行，针对日常的运行状况以及固定的部位开展相应的工作，但是却无法及时发现存在风险的关键部位，不能准确把握施工现场存在的动态变化的风险问题。物联网技术可以利用各种传感器，如高大模板支撑体系（高支模）设

置轴压、位移传感器；深基坑边坡设置应变计、倾角传感器；塔式起重机上配置风速、载重、倾角、力矩限制器系统等设备进行结构应力、变形、环境参数等全天候自动监测，一旦有监测数据值超过安全阈值即会发出警报信息（声音、灯光、短信、APP推送等多种形式），第一时间预警相关管理人员，为事故之前采取管理措施争取宝贵的时间。

（二）提升安全管理的决策效能，化经验判断为数据驱动

安全决策是否科学直接决定着管理措施是否有效，以前的安全决策大多是由管理人员根据自己的经验和主观判断做出的，缺乏客观的量化指标作为依据。物联网监测系统获取的大量数据是实施数据驱动的智能决策的基础。云端平台汇聚众多来源异构的原始数据后对其进行存储清洗以及分析，发现一些用肉眼难以观察到的风险演化过程和发展趋势。例如通过观测基坑一个月左右的沉降变化数据分析其未来变形的趋势，或是在通过关联分析塔吊作业数据与天气的数据时，可以找出哪些时间段是高风险作业时间等。还可引入人工智能案例推理或者神经网络等方法，建立风险评估及预测模型来进行事故发生的安全状态的预测。这些基于大数据的数据洞察能帮助项目管理者更好地进行巡检计划、资源配置、施工方案等方面的制定，也能在保证安全的前提下把有限的管理资源都放到最关键的问题上解决，以此提高安全管理的精细化程度及管理效率。

(三) 优化施工现场的人员监管，化粗放管理为精准管控

造成施工事故发生的重要因素之一就是人的不安全行为。于施工现场作业人员流动性大、组成成分复杂，“人盯人”的传统管理方式手段较为原始，在实际使用过程中存在着一定的疏漏和盲区，无法保证实施效果。物联网技术能够原来的方式进行彻底转变，在施工现场实现对于现场作业人员的有效管控，把人员统由粗放化管理转为精细管理和专业化管理，通过为工人配备集RFID/UWB定位芯片为一体的智能安全帽/手环/工卡等方式，获取施工现场所有人员的准确位置信息，实现电子围栏的作用，当有人误闯进入危险禁区，例如吊装区附近、深基坑边缘时，系统会触发报警，结合AI视频监控技术自动识别未戴安全帽、高空作业未系安全带、违规动火等不安全行为进行抓拍取证。此外，能联动门禁系统，确保特种作业人员全部持证上岗。对于人员实现数字化、自动化管理，解放管理人员，将安全制度“固化”于流程之中，避免侥幸心理和安全意识淡薄造成人为操作的失误，在根本上杜绝违章行为的发生。

(四) 固化安全生产的数据追溯，化权责模糊为有据可查

事故发生之后，要分清责任、搞清原因、汲取教训，避免以后出现同类问题，而传统的管理模式会因为现场

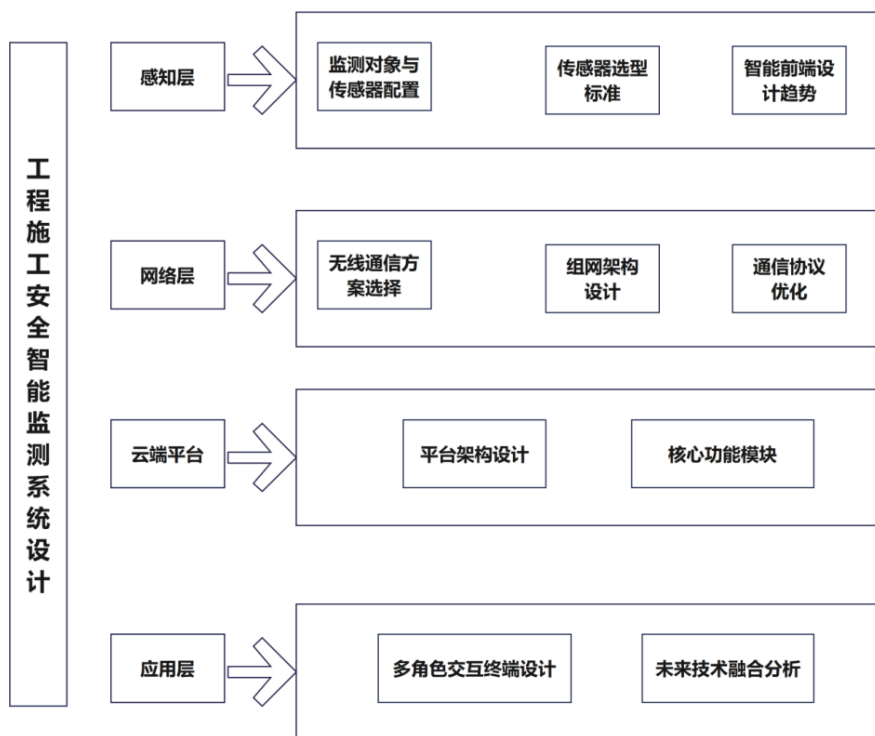
破坏、证据灭失或记录不全等问题而束手无策。物联网安全监测系统的各种数据资料——包含结构状态数据、环境参数数据、设备运行数据、人员活动数据、报警处置数据等等在指定时间点数据——被完整地、客观地、真实地保存于云服务器，成为完整的数字化证据链。一旦发生安全事故，可通过调取事故发生之前与之后的各种数据来进行调查，做到准确还原事情经过、快速确定事故直接原因及管理缺陷。

二、基于物联网的工程施工安全智能监测系统设计

(一) 构建感知泛在的智能前端，奠定全面透彻的数据基础

感知层是“五官”与“神经末梢”，目的是使系统能做到施工现场的状态全面、准确、实时采集，要根据不同的监测对象和安全要求来科学选配各种各样的传感器。对于像高支模、深基坑这样的一些重点危险源来说，就要配备比较精确的应变、位移、倾斜以及孔隙水压力计等等传感器。通过有限元分析（FEM）等仿真手段找出应力集中的地方和变形比较大的地方，再结合人工布点来布置。针对塔吊、施工升降机等大型机械设备，需集成重量、力矩、高度、风速、回转角度等多维度传感器，实现对其运行姿态和载荷的全方位监控。针对施工人员，则通过智能安全帽内置的九轴加速度传感器和定位模块进行状态感知。传感器的选型需综合考虑精度、量程、

表 1



稳定性、环境适应性及成本。智能前端的设计趋势是微型化、低功耗、无线化和智能化，即传感器本身具备初步的数据处理和自诊断能力，从而为后续的数据传输和分析奠定坚实基础。

（二）设计稳定可靠的通信网络，保障及时高效的数据传输

网络层是实现感知前端到云端平台的数据“动脉”，完成现场采集到数据稳、准、快地被传输到中心端的任务。在现场复杂的施工现场环境下，电磁干扰严重，信号容易被阻挡，布线困难，因此采用无线通信的方式是首先方案。比较常见的有两种：一是利用覆盖范围广、网速快，但功耗大且建设成本高的WiFi；二是利用建设成本低、功耗小但是覆盖范围小且受环境影响较大的LoRa无线网。如果需要测量点多且密度大，且现场电磁环境恶劣的话，可能会考虑到使用路由器加PLC或者DL830系列，这样就是通过zigbee或Wi-Fi等方式把各个检测点数据汇聚起来再上行；若现场存在视频监控，则要考虑使用4G/5G等高带宽的通信方式。同时还要结合所选用的组网方式进行具体的规划，例如可采取下层通过Wi-Fi/Zigbee组网，中层通过LoRa/NB-IoT/5G网关做汇聚后上传的组网方式。此外，在应用层，可以使用轻量级的消息协议MQTT降低通信开销，提高数据交互效率。

（三）研发多源融合的云端平台，实现智能驱动的数据分析

云端平台是系统的“大脑”，用于接收海量、多源监测数据，实现汇聚、存储、处理、分析以及可视化。云端平台的设计应使用微服务架构，保证高可扩展性及高可用性，平台的核心功能模块包含以下几部分：（1）数据接入和管理。平台应能够支持多种通信协议对接，能够接收各种不同来源的数据并将其进行结构化存储。（2）数据处理和分析。应集成数据清洗、卡尔曼滤波等预处理算法和核心智能分析引擎，结合统计分析、机器学习、深度学习等AI算法实现异常检测、趋势预测和风险评估等功能，例如运用孤立森林方法判断传感器采集数据出现突变异常，采用ARIMA时序模型预测结构变形的发展趋势。（3）可视化与预警。把分析结果通过各种直观的图表、三维模型等方式做可视化呈现；平台需要对BIM做到深度融合，在把实时监测的数据投射到BIM模型上后，进行物理空间与数字空间的同传，达到对各个监测点位状态一览无余的目的。平台预警应支持按照等级、区域和时间段不同来设置不同的阈值，并可联动对应的报警流程来自动化产生告警消息。

（四）打造人机协同的交互终端，赋能闭环高效的管理行动

应用层是系统的最终价值体现，将复杂的后台数据分析结果以最简单易懂的方式呈现给不同的管理者，是“最后一公里”连接信息和行动。交互终端应当根据不同角色的需求及场景使用情况，做到人机协同。对项目决策层可做驾驶舱式Web端看板，显示项目的整体安全评分、风险分布及预警统计等各项关键绩效指标（KPI）。对现场的安全管理人员则可开发移动APP端，通过该端随时查看相关实时数据、接收预警推送以及处理报警事件，把整个处理过程用拍照或语音等记录下来，并实现闭环管理；最后是针对现场作业人员，可通过与现场安装的声光报警器、LED显示屏等设备关联，直接给人员发送预警信息。未来可将AR（增强现实）技术应用到交互终端中，使管理人员佩戴AR眼镜，直接看到设备构件上的应力、位移等虚拟数据，提高巡检的效果。

结语

在当前建筑业向工业化、数字化、绿色化转型升级的关键时期，工程施工安全管理面临着前所未有的挑战与机遇。研究深入分析了基于物联网的工程施工安全智能监测系统的构建目的与核心设计要素。研究表明，该系统通过前端泛在感知、网络可靠传输、云端智能分析和终端协同交互的四位一体化设计，能变革传统安全管理依赖人力、依赖经验的旧模式，建立以数据为核心、以预防为目的、人机协同的新型安全管理体系。展望未来，随着5G、人工智能、数字孪生、边缘计算等技术的进一步成熟与融合工程施工安全智能监测系统将朝着更高层次的智能化方向发展。

参考文献

- [1] 苏妍怡. 加强建筑工程施工安全隐患的监督管理策略探讨[J]. 广东土木与建筑, 2025, 32(05): 115-118. DOI: 10.19731/j.gdtmyjz.2025.05.029.
- [2] 朱满朋. 智能监控系统在建筑工程施工安全管理中的应用. 河南省, 河南川越环境科技有限公司, 2023-12-01.
- [3] 陈航. 基于互联网的基坑及地下工程施工安全智能监测系统开发及应用. 广东省, 广州建筑产业开发有限公司, 2019-08-15.
- [4] 岩土工程施工与运营全过程的远距离、网络化智能安全实时监测技术. 山东省, 青岛理工大学, 2007-01-01.