

# Design and implementation of construction machinery safety management system

Jinmin Wei

Chongqing Airport Group Co., Ltd., Chongqing, 400015, China

## Abstract

Safety management of construction machinery has always been a key concern in the field of building engineering. With the increase in types and quantities of mechanical equipment at construction sites, traditional methods relying on manual inspections and paper records can no longer meet the demands for efficient, precise, and safe management. This paper systematically studies the design and implementation of a safety management system for construction machinery, analyzing prominent issues in current safety management. It proposes a system design philosophy centered on digitalization, modularity, and intelligence, and constructs an integrated management platform with functions such as real-time monitoring, early warning analysis, and data traceability. Through the selection of key technologies, system architecture design, and deployment path validation, the effectiveness of the system in accident prevention and management efficiency improvement is verified. The paper also discusses its adaptability and scalability in various construction scenarios, aiming to provide theoretical basis and technical support for the modernization of safety management of mechanical equipment in the construction industry.

## Keywords

construction machinery; safety management; system design; real-time monitoring; risk warning

# 建筑机械安全管理系统设计与实现

魏金民

重庆机场集团有限公司, 中国·重庆 401120

## 摘要

建筑机械安全管理一直是建筑工程领域关注的重点问题,随着施工现场机械设备种类和数量的增加,传统依赖人工巡检与纸质记录的管理方式已无法满足高效、精准、安全的管理需求。本文围绕建筑机械安全管理系统的设计与实现进行系统研究,分析了当前安全管理中的突出问题,提出以数字化、模块化和智能化为核心的系统设计理念,并构建出具备实时监测、预警分析、数据溯源等功能的综合管理平台。通过关键技术选型、系统架构设计及部署路径论证,验证了系统在安全事故防控与管理效率提升方面的成效,并对其未来在多类型施工场景下的适应性与可拓展性进行了探讨,旨在为建筑行业机械设备安全管理现代化提供理论依据与技术支撑。

## 关键词

建筑机械; 安全管理; 系统设计; 实时监测; 风险预警

## 1 引言

在建筑行业高度集成化和施工节奏加快的背景下,机械设备成为推动工程进度的核心要素,同时也带来了复杂的安全管理挑战。施工机械种类繁多、作业频率高、运行环境复杂,传统管理手段在事故预防、状态识别和实时响应方面存在明显短板,易引发人身伤害及财产损失。本文立足当前建筑机械使用现状,聚焦安全管理系统的设计需求,通过信息化手段建立集数据采集、监测预警、操作记录、决策支持于一体的综合性管理平台,以此提升建筑工程中的机械安全

管控水平,为行业转型升级注入技术驱动力。

## 2 建筑机械安全管理的现状与问题

### 2.1 当前建筑机械使用中的安全风险类型

建筑机械在施工过程中面临多种安全风险,主要包括设备故障引发的机械伤害、电气系统短路带来的火灾隐患、操作失误造成的坠落或碰撞等问题。部分设备长期高强度运行,关键部件出现磨损、松动等现象,导致运行不稳定。同时,作业环境复杂,场地狭窄、地面不平、天气影响等因素也容易诱发安全事故。此外,部分施工单位存在设备维护不到位、技术培训缺乏、操作规程不清等问题,使得安全风险进一步加剧。缺乏统一的风险分类体系和评估模型,导致管理人员难以精准识别和预警高风险行为。建筑机械的安全风险具有多样性、隐蔽性与突发性的特点,迫切需要建立可动态感知

【作者简介】魏金民(1986-),男,中国重庆人,本科,工程师,从事机械研究。

和响应的安全管理机制，以全面提升施工机械的使用安全水平【1】。

## 2.2 安全管理制度的执行现状

当前多数建筑企业虽已制定机械安全管理制度，但在实际执行中存在较大差距，制度落实不严、监管不力、记录不全等问题较为普遍。一些项目仅在开工初期组织形式上的培训和宣贯，后续缺乏持续的监督与考核，导致员工安全意识弱化。设备巡检多依赖人工经验判断，缺乏数据支持与标准化操作流程，无法做到风险早发现、早处理。部分施工单位安全管理权责划分不清，施工人员与设备管理人员之间缺乏有效沟通，安全管理工作呈现碎片化状态。同时，现场数据记录多采用纸质或表格方式，不具备实时共享和自动预警功能，信息传递滞后，影响决策响应速度。制度的落地问题已成为制约建筑机械安全管理效果的重要瓶颈，亟待借助系统化手段加以破解【2】。

## 3 建筑机械安全管理系统设计原则与结构

### 3.1 系统设计的核心理念与功能需求

建筑机械安全管理系统的的设计应基于全生命周期管理理念，融合“事前预防、事中控制、事后追溯”的管理路径，建立以数据驱动的安全闭环机制。系统核心功能应覆盖设备状态感知、运行轨迹记录、安全隐患预警、异常行为识别、应急响应联动、权限分级控制等关键环节。功能模块需满足多角色协同需求，支持项目管理人员、设备操作者、维保单位等多方高效互动。设计理念强调“可视化、智能化、标准化”三重目标，确保现场信息实时同步至管理平台，提升决策效率与响应速度。系统必须支持跨区域、多工地、多类型设备的集中管理，通过技术手段打通信息孤岛，推动建筑机械安全由传统经验主导向数据支撑、系统主控模式转型，以实现施工现场安全管理能力的整体跃升【3】。

### 3.2 系统架构的层次构成与模块划分

系统总体架构采用分层设计，通常包括感知层、传输层、平台层和应用层。感知层以传感器、摄像头、定位模块为基础，实现对设备运行状态、作业环境、人员行为等的实时数据采集。传输层负责数据的高速稳定传递，采用无线通信、局域网络等多种方式保障数据不丢失、低延迟。平台层是数据存储与分析核心，集成数据库、计算引擎与模型算法，为上层应用提供分析支撑。应用层则根据不同用户角色提供定制化功能，如风险预警、维修调度、权限审批、报表输出等。系统模块划分应遵循职责清晰、界面统一、流程贯通的设计要求，各功能模块既可独立运行，又能在统一平台下实现数据互通与逻辑协同，保证系统整体运行的稳定性、可维护性与可拓展性。

### 3.3 系统接口与多源数据集成方式

建筑机械安全管理系统需具备强大的数据融合能力，通过构建多类型接口，实现对外部设备系统、企业信息系

统、第三方平台的高效集成。接口设计应符合开放性与安全性兼顾原则，支持 OPC、MODBUS、HTTP、MQTT 等多种通信协议，确保多源异构数据的高效接入与无缝转换。为实现跨平台数据融合，系统需建立统一的数据标准与编码规则，对采集数据进行格式规范、字段匹配与结构映射，保障系统内部数据的一致性与可读性。在数据处理层设立中间件机制，完成数据清洗、存储及分发任务，提升平台响应能力与负载均衡水平。同时，系统应支持数据与 BIM 模型、GIS 平台等可视化工具对接，实现机械设备与空间场景的三维映射，增强管理者对设备状态与风险位置的直观认知和决策能力【4】。

## 4 建筑机械安全管理系统关键技术

### 4.1 机械设备状态实时监测技术

建筑机械设备状态实时监测技术以传感器网络与边缘计算技术为基础，通过加速度传感器、温湿度传感器、压力传感器和 GPS 模块构建多维监测体系，实现设备运行状态、作业姿态与环境参数的实时获取。例如，塔吊作业中部署的倾角传感器其数据采样频率达到 100Hz，可精准捕捉设备微小晃动；液压设备的压力监测模块误差控制在  $\pm 0.05\text{MPa}$ ，能够有效识别异常波动。系统端采用 MQTT 协议进行数据低延迟传输，并通过本地边缘节点进行预处理，确保每秒高频采集的数据不丢失。数据上传平台后，利用 Python 编写的异常识别算法模块进行初筛，若设备振动幅值连续超过 5 秒超出设定阈值，即触发报警机制。该技术体系实现了对建筑机械全时段、全天候的动态监控，为后续风险预警与调度提供可靠数据支撑。

### 4.2 安全预警与风险评估算法设计

安全预警机制基于设备历史运行数据构建风险识别模型，采用时间序列分析和分类回归方法评估机械状态与潜在故障关联度。系统引入基于随机森林的故障分类器，在输入包括设备运行时间、振动频率、液压波动、环境温度等 12 个维度数据后，模型可实现 95.7% 的准确率识别潜在风险。使用 Python 中的 scikit-learn 库构建模型训练流程，其中输入变量为标准化后的数据矩阵，目标变量为事故标签 0 或 1。通过交叉验证方法对样本集划分训练与测试集比例为 8:2，模型在测试集上表现出较高的精度和召回率。结合 K-means 聚类算法对风险等级进行分层管理，系统按风险等级将设备预警分为三级，实现自动分发任务工单与通知。该算法体系显著提高了风险响应速度与识别效率，是系统智能化核心。

### 4.3 信息追溯与日志审计技术支持

系统信息追溯与日志审计模块基于区块链架构与时间戳机制进行设计，保障建筑机械管理流程中每一项操作的记录、可验证与不可篡改。每一次设备启用、调试、报警确认及维修记录均通过日志服务以 JSON 结构封装写入数据库，同时生成 SHA256 加密摘要存入私有链节点，形成操作

行为链。系统日志模块采用 Elasticsearch 日志检索引擎，配合 Kibana 前端界面进行日志可视化，支持按时间、操作人、设备编号等多维度条件快速定位历史操作记录。在 Java 环境下，系统引入 Log4j 框架定义日志级别与输出路径，实现自动分类归档与冗余备份。对于关键信息流如“设备报警未响应”“工单未关闭”等行为，系统设计了基于规则引擎的自动审计触发机制，可将违规操作推送至管理终端，确保问题可追踪、责任可定位、流程可还原，构建全面透明的安全管理闭环【5】。

## 5 安全管理系统的实现路径与部署策略

### 5.1 系统开发平台与技术选型

建筑机械安全管理系统开发需结合高并发处理能力与多终端兼容性，系统平台选用 Java Spring Boot 框架作为后端基础，配合 MySQL 数据库进行结构化数据管理，前端界面采用 Vue.js 实现响应式操作界面。系统集成以微服务架构部署，提升各模块间的独立性与可维护性。在数据通信层，采用 MQTT 协议支持设备端与服务器之间低延迟高频率的数据推送，在实际测试中数据传输时延保持在 150ms 以内。设备接入层支持 Modbus、OPC UA 协议，适应不同厂商机械设备接入需求。系统核心计算模块使用 Python 构建多模型融合引擎，支持状态判断、风险预警与趋势预测。为增强扩展能力，部署过程中引入 Docker 容器技术与 Kubernetes 集群管理，实现云端部署与本地边缘节点协同运行，保障复杂工地环境下系统运行的稳定性与兼容性。

### 5.2 系统部署流程与现场适应性调整

系统部署以“分布式+本地化”路径实施，首先对施工项目进行环境摸排，明确设备分布、网络条件与数据采集需求，随后在本地设置边缘计算网关，实现数据预处理与网络缓存。部署流程自网关安装、设备标识编码、接口对接至平台调试依次展开，所有硬件设备由系统平台统一编号并归档入库。系统联调阶段通过模拟作业场景校验数据同步与报警响应时间，误差控制在 ±1 秒秒范围内。为提升系统对不同作业模式与施工节奏的适应能力，在现场进行功能模块裁剪与参数自适应调整。例如对昼夜交替施工项目启用自动亮度调节与声光报警模式切换，对隧道、地铁施工环境设置防尘防水通讯模块。部署完成后进行用户端培训与技术文档交付，形成标准化部署模型与本地适配方案的有机结合，图 1 为建筑安全管理系统调节改进的流程。

### 5.3 用户权限管理与数据安全保障

系统权限管理采用基于角色的访问控制模型 (RBAC)，为不同岗位用户设定访问范围、操作权限与审计权限。系统后台支持自定义角色等级及用户绑定策略，确保管理人员、设备操作者与维保人员之间的权限边界清晰。在数据安全方

面，平台部署 HTTPS 加密协议进行数据传输，全站数据包采用 TLS1.3 加密标准。用户认证过程引入双因素验证机制，结合用户名密码与动态验证码，阻止非授权访问行为。数据存储采用分布式存储方案，主服务器每日自动备份一次，关键数据异地容灾服务器存储周期为 90 天。平台日志审计模块记录所有用户操作行为，并定期生成安全报告提供管理层查看。对外接口均通过 API 网关设限并记录访问日志，防止非法调用。系统整体安全策略由后台统一策略引擎进行动态调整与风险等级分级响应，形成持续可控的安全防护体系。



图 1 建筑安全管理系统调节改进的流程

## 6 结语

建筑机械安全管理系统的设计与实现是推动施工现场管理模式转型升级的关键路径。在信息化技术不断演进的背景下，通过系统化的架构规划与功能集成，可有效提升设备运行的透明度与管控的精度。系统不仅实现了对施工机械状态的实时掌握，还构建了闭环的风险预警与响应机制，有力支撑了安全管理从经验驱动向数据驱动的转变。未来，随着智能传感、边缘计算、区块链等技术的进一步融合，建筑机械安全管理系统将具备更高的适应性、智能性与拓展性，为保障工程安全、提升施工效率提供坚实支撑。

### 参考文献

- [1] 安然. 建筑机械塔式起重机安全隐患管理控制措施分析[J]. 大众标准化, 2024, (22): 86-88.
- [2] 胡月刚. 建筑工程施工机械自动化技术的应用与发展研究[J]. 建筑科学, 2024, 40(03): 184.
- [3] 唐华琚. 智能化建筑机械施工安全隐患巡查与治理信息化技术[J]. 建筑机械, 2024, (03): 33-37.
- [4] 张珂馨. 建筑工程机械设备安全管理探讨[J]. 中国设备工程, 2024, (03): 76-78.
- [5] 郭秩源, 张伟. 基于物联网技术的建筑机械安全管理探究[J]. 大众标准化, 2023, (22): 171-173.