

BIM技术支撑下绿色建筑智能建造的施工安全预警系统设计

夏雨薇

湖北交通职业技术学院 湖北 武汉 430079

摘要：随着绿色建筑智能建造的蓬勃发展，施工过程中的安全问题愈发突出，传统安全管理方式已难以满足复杂施工环境的需求。本文基于BIM技术，设计了一套绿色建筑智能建造施工安全预警系统。该系统以解决施工中的安全隐患为目标，通过构建包含硬件和软件的总体架构，实现了安全监测、风险评估和预警发布等功能。系统将BIM技术与传感器、数据处理等技术相结合，能实时采集施工数据，准确评估风险等级并及时发出预警，可有效提升施工安全管理水平，为绿色建筑智能建造的安全施工提供有力保障。

关键词：BIM技术；绿色建筑；智能建造；施工安全；预警系统；安全监测；风险评估

1 引言

在当今建筑行业，绿色建筑已成为发展趋势，智能建造技术的融入更是推动了绿色建筑快速发展。然而，绿色建筑智能建造施工过程中，由于施工环境复杂、涉及的新技术和新工艺较多、人员流动大等因素，安全事故时有发生，严重威胁着施工人员的生命安全和工程的顺利进行。传统的施工安全管理方式主要依赖人工巡查和经验判断，存在着信息滞后、监测不全面、风险评估不准确等问题，已难以适应绿色建筑智能建造的安全管理需求。BIM技术作为一种集成化的信息技术，具有可视化、参数化、协同化等特点，在建筑工程领域得到了广泛应用。将BIM技术应用于绿色建筑智能建造的施工安全预警系统设计中，能够实现施工过程的数字化管理和实时监控，提高安全管理的效率和准确性。因此，研究BIM技术支撑下的绿色建筑智能建造施工安全预警系统具有重要的现实意义，可为绿色建筑智能建造的安全施工提供有效的技术支持。

2 绿色建筑智能建造施工安全现状与问题

2.1 施工安全现状

目前，绿色建筑智能建造施工过程中，安全事故时有发生。一方面，绿色建筑在施工过程中注重节能环保，采用了许多新型的建筑材料和施工工艺，这些新材料和新工艺在应用过程中可能存在一些未知的安全风险。另一方面，智能建造技术的应用使得施工设备更加智能化、自动化，但也增加了设备操作和维护的复杂性，一旦操作不当或维护不及时，就可能引发安全事故^[1]。此外，施工场地往往比较狭小，各施工工序交叉作业频繁，容易导致人员碰撞、物体打击等安全事故。

2.2 存在的问题

2.2.1 安全管理方式落后

传统的安全管理主要依靠人工巡查，不仅耗费大量的人力物力，而且难以实现对施工全过程的实时监控，信息反馈滞后，不能及时发现和处理安全隐患。

2.2.2 风险评估不准确

由于施工过程中影响安全的因素众多，且各因素之间相互关联，传统的风险评估方法难以全面、准确地评估施工风险，导致安全预警的针对性和有效性不足。

2.2.3 信息共享不畅

在绿色建筑智能建造施工中，涉及建设单位、施工单位、监理单位等多个参与方，各参与方之间的信息交流不及时、不顺畅，导致安全管理工作难以协同开展^[2]。

3 BIM技术在绿色建筑智能建造施工安全管理中的应用优势

3.1 可视化功能

BIM技术可以构建三维可视化模型，将建筑的结构、构件、设备等信息直观地呈现出来。在施工安全管理中，通过BIM模型可以清晰地展示施工场地的布置、施工工序的安排以及潜在的安全隐患，使管理人员能够更加直观地了解施工情况，及时发现安全问题。

3.2 参数化管理

BIM模型中的每个构件都具有丰富的参数信息，如尺寸、材质、性能等。通过对这些参数的管理，可以实现对施工过程中构件的碰撞检测、进度模拟等，提前发现施工中可能存在的安全风险，为安全管理提供准确的数据支持。

3.3 协同化工作

BIM技术为各参与方提供了一个协同工作的平台,使建设单位、施工单位、监理单位等能够实时共享施工信息。在安全管理方面,各参与方可以通过该平台及时交流安全隐患信息、提出整改意见,实现安全管理工作的协同开展,提高安全管理效率。

3.4 模拟分析功能

利用BIM技术可以对施工过程进行模拟分析,如施工进度模拟、施工方案模拟等。通过模拟分析,可以提前预测施工过程中可能出现的安全问题,并采取相应的预防措施,降低安全事故的发生概率。

4 施工安全预警系统设计

设计目标要实现施工过程的实时安全监测,及时发现安全隐患。准确评估施工风险等级,为安全预警提供依据。及时发布安全预警信息,提醒相关人员采取措施。实现各参与方之间的信息共享与协同工作,提高安全管理效率。该系统的总体架构分为硬件部分和软件部分^[3]。

4.1 硬件部分

(1) 传感器:用于采集施工过程中的各种数据,如温度、湿度、振动、噪声、人员定位信息等。根据施工现场的特点和监测需求,选择合适类型的传感器,并合理布置在施工区域。例如,在高支模、深基坑等危险区域布置振动传感器和位移传感器,实时监测结构的稳定性;在施工现场出入口和重要区域布置人员定位传感器,掌握施工人员的动态。

(2) 数据采集设备:负责将传感器采集到的数据进行汇总和初步处理,并传输至数据中心。数据采集设备应具备较高的稳定性和可靠性,确保数据的连续采集和传输。

(3) 服务器:用于存储和处理系统中的各种数据,包括BIM模型数据、传感器采集的数据、风险评估结果等。服务器应具备较强的计算能力和存储能力,以满足系统的运行需求。

(4) 终端设备:包括计算机、手机、平板电脑等,用于管理人员查看系统信息、接收预警通知等。

4.2 软件部分

(1) BIM模型构建模块:结合绿色建筑的特点,将建筑的结构、构件、设备、材料等信息融入BIM模型中,构建一个完整的三维可视化模型。该模型不仅可以用于施工进度管理、碰撞检测等,还为安全预警系统提供了基础数据支持。

(2) 数据处理与分析模块:对传感器采集到的数据进行处理和分析,去除噪声数据,提取有效信息。通过数据挖掘、机器学习等技术,建立数据与安全风险之间

的关联模型,为风险评估提供数据支持^[4]。

(3) 风险评估模块:根据数据处理与分析模块提供的信息,运用相关算法计算风险值。风险评估算法应综合考虑施工环境、施工工艺、人员状态等多种因素。当风险值超过设定阈值时,系统会将其判定为高风险,为后续的预警提供依据。

(4) 预警模块:当风险评估模块判定为高风险时,预警模块会及时发出预警信息。预警信息可以通过短信、邮件、系统弹窗等方式发送给相关管理人员和施工人员,提醒他们采取相应的措施。

(5) 信息共享与协同模块:为各参与方提供一个信息共享的平台,使他们能够实时查看施工安全信息、风险评估结果和预警信息等。同时,该模块支持各参与方之间的信息交流和协同工作,提高安全管理的效率。

5 系统功能实现

5.1 安全监测功能

安全监测模块作为施工安全预警系统的“感知神经”,在硬件部署上采用网格化覆盖策略,沿基坑边坡、脚手架、塔吊等高危区域密集布设智能传感器阵列。其中,温湿度传感器采用低功耗LoRa技术组网,每隔30秒自动采集环境数据;三轴加速度振动传感器嵌入关键结构节点,以100Hz高频采样率捕捉细微形变;噪声传感器集成声纹识别功能,可区分施工机械噪声与异常警报声;人员定位则通过UWB定位基站配合可穿戴设备,实现±10cm级精准定位。

采集的数据经边缘计算网关初步清洗后,通过5G+光纤双链路传输至数据中心。数据处理与分析模块采用分布式计算架构,运用机器学习算法建立安全阈值动态模型,例如基于历史温湿度数据预测混凝土养护期风险,通过振动数据的频谱分析识别结构共振隐患。系统创新性地将处理后的数据与BIM模型的构件ID深度绑定,在三维可视化界面中,当监测数据超过阈值时,对应构件将自动触发颜色预警(黄色预警、橙色预警、红色预警),同时生成包含风险等级、影响范围、处置建议的弹窗提示。

管理人员通过移动端APP或PC端管理平台,可实时调取BIM模型中任意区域的监测数据,利用时间轴回溯功能查看历史数据曲线。系统还支持自定义监测看板,将重点关注的监测指标以图表形式直观呈现,例如塔吊垂直度变化趋势图、深基坑位移云图等,帮助管理人员快速定位安全隐患,实现“早发现、早预警、早处置”的智能管控目标。

5.2 风险评估功能

风险评估模块基于数据处理与分析模块提供的信息,采用层次分析法、模糊综合评价法等算法进行风险评估。首先,通过文献调研、现场勘查与行业规范梳理,系统性确定影响施工安全的核心因素。其中,施工环境涵盖地质条件、气象变化、周边建筑干扰等;施工工艺涉及深基坑支护、高空作业流程、大型机械安装等复杂环节;人员操作包含资质合规性、疲劳作业状态、安全规程执行度等维度,并以此建立涵盖三级指标的风险评估指标体系。然后,运用层次分析法构建判断矩阵,结合德尔菲法组织建筑安全领域专家进行多轮研讨,量化各指标权重。同时引入熵权法对主观权重进行客观修正,形成动态权重组合。最后,基于实时监测数据,将传感器采集的温湿度、位移变形、设备运行参数等数据,通过模糊综合评价法进行归一化处理,结合权重计算出施工风险值。依据《建筑施工安全风险分级管控标准》,将风险等级划分为低(风险值0-30)、中(31-70)、高(71-100)三个等级,并针对不同等级制定差异化预警阈值与应对策略。

5.3 预警发布功能

当风险评估模块判定施工风险等级达到高风险级别时,预警模块将触发三级响应机制:首先启动多终端立体式预警体系,通过移动端APP、短信平台、智能穿戴设备、施工现场智能终端、LED大屏及VR监控系统进行多维度同步推送。预警信息采用可视化动态图表形式,精准标注风险坐标定位、危险源类型、风险等级及潜在危害等关键数据。为确保信息及时触达,除向管理人员手机发送加密短信外,还会在施工现场智能终端弹出全屏强制提醒窗口,LED大屏以轮播形式循环展示风险详情,VR监控系统则通过场景叠加特效进行沉浸式警示。同时,基于BIM技术构建的数字孪生模型将对风险区域实施动态标红处理,并附加高频闪烁警示特效,配合三维空间坐标标注及隐患成因文字说明。管理人员可通过移动端或PC端,利用BIM模型的三维剖切、视角切换功能,从不同角度观察风险区域周边环境及设备状态。系统还会自动生成风险处置预案,同步推送至相关责任人终端,指导其快速锁定隐患点,开展针对性处置^[5]。此外,预警信息将同步上传至项目安全管理云平台,便于管理层实时监控风险态势,统筹协调应急资源。

5.4 信息共享与协同功能

信息共享与协同模块采用分布式存储架构与区块链技术相结合的方式,将BIM模型的几何信息、材料属性、施工进度等全生命周期数据,以及通过物联网设备实时采集的温湿度、结构应力、人员定位等监测数据,连同

AI算法生成的风险评估报告和预警信息,加密存储于共享数据库。各参与方凭借权限分级认证机制,通过PC端BIM协同平台、移动端APP等终端设备,可随时随地访问数据库,实现跨地域、跨部门的信息实时同步。

在协同工作层面,该模块构建了标准化的业务流程引擎。以安全隐患整改为例,施工单位通过模块内置的整改报告模板,上传隐患照片、整改措施、完成时间等详细资料,系统自动触发流程节点,将报告推送至监理单位指定负责人。监理单位在收到报告后,可通过模块内的在线批注功能,对整改方案提出修改意见,并实时反馈;若审核通过,系统会自动生成电子验收单并归档。此外,模块还支持多方在线会议、文档协同编辑等功能,利用WebRTC技术实现音视频实时交互,配合BIM模型的在线标注与版本管理,显著提升各方在施工安全管理中的协同效率。

6 结论与展望

本文设计的基于BIM技术的绿色建筑智能建造施工安全预警系统,通过构建合理的硬件和软件架构,实现了安全监测、风险评估、预警发布和信息共享与协同等功能。实际案例分析表明,该系统能够实时、准确地监测施工过程中的安全隐患,及时发出预警信息,有效降低了安全事故的发生概率,提高了施工安全管理水平,为绿色建筑智能建造的安全施工提供了有力保障。虽然该系统在实际应用中取得了较好的效果,但仍存在一些不足之处。例如,风险评估算法的准确性还有待进一步提高,系统的兼容性和扩展性还需要加强。未来,将进一步优化风险评估算法,结合大数据、人工智能等技术,提高风险评估的准确性和智能化水平;同时,加强系统的兼容性和扩展性,使其能够与更多的智能建造技术和设备进行集成,为绿色建筑智能建造的安全管理提供更加全面、高效的服务。

参考文献

- [1]郭凯颖,董正清.智能建造与BIM技术在建筑工程管理中的应用研究[J].住宅与房地产.2024,(5).106-108.
- [2]李聪,李振,孟辉,等.智能建造技术在模块化建筑工程中的应用[J].广东土木与建筑.2024,31(3).9-13
- [3]孙佳,董浩.基于BIM的施工安全预警系统设计与实现[C].2023年全国建筑信息技术学术交流会论文集.2023:45-50.
- [4]顾子臣,封小艳.智能建筑BIM技术在高层住宅施工中的应用[J].城市建设理论研究(电子版).2022,(16).72-74.
- [5]孙彦.BIM与大数据融合的建筑施工安全管理研究[J].施工技术,2021,50(10):89-92.