

# BIM技术赋能的城市燃气工程施工阶段安全风险智能识别与防控研究

张成杰, 徐兵强

中油(新疆)石油工程有限公司, 新疆 克拉玛依 834000

DOI:10.61369/ETQM.2025100035

**摘 要 :** 本文聚焦城市燃气工程施工阶段安全风险的智能识别与防控, 深入探索 BIM 技术与多学科技术的融合应用路径。在风险智能识别方面, 构建了多源信息融合方法体系, 搭建五层框架, 整合 BIM、IoT、计算机视觉与大数据技术, 实现物理风险实时感知、人员行为智能识别及多源异构数据融合判定。在风险智能防控与决策支持层面, 建立了 BIM 闭环管理机制, 开发了基于 BIM 4D/5D 的动态评估模块, 构建智能决策支持与应急预案模拟体系, 并设计“云-边-端”三层架构的一体化系统原型, 实现全周期数据互通与流程联动。研究通过技术融合与体系构建, 推动施工安全风险“识别精准化、评估动态化、防控闭环化、决策科学化”, 为提升建筑行业安全管理信息化水平提供理论方法与技术支撑。

**关 键 词 :** BIM 技术; 城市燃气工程; 施工安全; 风险智能识别

## Research on Intelligent Identification and Prevention of Safety Risks during the Construction Phase of Urban Gas Engineering Projects Empowered by BIM Technology

Zhang Chengjie, Xu Bingqiang

CNPC (Xinjiang) Petroleum Engineering Co., Ltd., Karamay, Xinjiang 834000

**Abstract :** This paper focuses on the intelligent identification and prevention of safety risks during the construction phase of urban gas engineering projects, delving into the integrated application pathways of BIM technology with multidisciplinary techniques. In terms of intelligent risk identification, a multi-source information fusion methodology framework has been established, featuring a five-tier architecture that integrates BIM, IoT, computer vision, and big data technologies. This enables real-time perception of physical risks, intelligent recognition of personnel behaviors, and fusion judgment of multi-source heterogeneous data. At the level of intelligent risk prevention and decision support, a BIM closed-loop management mechanism has been established, with the development of a dynamic assessment module based on BIM 4D/5D. An intelligent decision support and emergency plan simulation system has been constructed, along with the design of an integrated system prototype with a "cloud-edge-end" three-tier architecture, facilitating full-cycle data interoperability and process linkage. Through technological integration and system construction, this research promotes "precision in identification, dynamism in assessment, closed-loop in prevention, and scientificity in decision-making" for construction safety risks, providing theoretical methods and technical support for enhancing the informatization level of safety management in the construction industry.

**Keywords :** BIM technology; urban gas engineering; construction safety; intelligent risk identification

## 引言

本研究以提升城市燃气工程施工阶段安全管理智能化水平为目标, 聚焦安全风险的智能识别与精准防控两大核心问题开展研究。构建多源信息融合的施工安全风险智能识别方法, 整合 BIM、IoT 与计算机视觉技术, 实现物理风险、行为风险与状态风险的全面感知与精准判定; 设计基于 BIM 的安全风险智能防控体系, 开发 BIM 4D/5D 风险动态评估模块与智能决策支持系统, 建立“识别-评估-预警-处置-优化”的闭环管理机制; 通过系统原型开发与测试验证, 为城市燃气工程施工安全管理提供可落地的技术方案。本研究的开展不仅能够丰富 BIM 技术在特种设备工程施工安全领域的应用理论, 更能为降低城市燃气工程施工安全事故发生率、保障城市公共安全提供重要的技术支撑与实践指导。

## 一、多源信息融合的施工安全风险智能识别方法

### （一）智能识别总体框架

近年来，随着建筑业信息化水平的快速发展，许多新兴信息技术为施工现场安全管理提供了一定的技术支持和新的监管视角，施工安全智能化安全管理趋势必不可免。在多种信息技术发展和融合使用的背景下，目前对施工现场安全问题的研究也逐渐形成了一个智能安全管理体系，这对于全面推进建筑行业的安全管理信息化水平有着重要的意义<sup>[1]</sup>。多源信息融合的施工安全风险智能识别总体框架以“数据驱动、多技协同、分层识别、综合判定”为核心思路，整合 BIM、IoT、计算机视觉与大数据分析技术，构建“感知层-传输层-处理层-识别层-应用层”五层架构，实现对燃气工程施工阶段物理、行为与状态风险的全面感知与精准识别<sup>[2]</sup>。感知层通过 IoT 传感器、计算机视觉设备及 BIM 与既有系统获取多源异构数据；传输层采用“5G+边缘计算”混合架构保障数据高效安全传输；处理层对数据进行清洗、转换与关联，为识别提供高质量支撑；识别层以“分层识别+协同联动”模式分别识别物理、行为与状态风险，并通过数据交互提升识别针对性；应用层则通过风险推送、BIM 可视化呈现与历史数据查询，为管理人员提供直观、及时的风险决策支持，形成闭环管理。

### （二）基于 BIM 与 IoT 的物理风险智能感知

基于 BIM 与 IoT 的物理风险智能感知，通过深度融合传感器与 BIM 模型，实现对燃气工程施工中设备、环境、材料三类物理风险的实时感知与预警<sup>[3]</sup>。其核心在于传感器部署优化、感知数据与 BIM 的动态关联、风险阈值模型构建三大环节<sup>[4]</sup>。传感器部署采用“关键区域重点部署、全域覆盖补充”策略，针对焊机、起重机等设备部署电流、温度、振动传感器，在管道区、受限空间等区域安装燃气浓度、有毒气体传感器，为关键材料配备 RFID 标签与质量检测传感器，并通过 BIM 仿真优化部署方案<sup>[5]</sup>。感知数据通过实时映射机制写入 BIM 构件属性，实现模型状态动态更新，同时 BIM 为传感器提供空间与逻辑支持，二者通过 API 接口与联动插件实现双向交互。风险阈值模型则结合施工规范、设备参数与历史数据建立分级预警机制，如焊机电流超标 10% 预警、20% 报警，燃气浓度达爆炸下限 10% 预警、20% 报警，PE 管道壁厚偏差超 5% 判定缺陷，焊接合格率低于 98% 触发质量预警，并利用机器学习算法动态优化阈值灵敏度，提升预警准确性，为施工安全提供智能化支撑。

### （三）基于计算机视觉的行为与状态风险智能识别

基于计算机视觉的行为与状态风险智能识别，通过对施工区域图像视频数据的实时分析，识别人员违规行为、设备状态异常及施工环境隐患<sup>[6]</sup>。核心技术包括视觉数据采集与预处理、行为风险识别算法、状态风险识别算法及识别结果与 BIM 关联四大环节，视觉数据采集根据识别目标选择适配设备，如高清摄像头用于识别安全帽佩戴，红外摄像头用于夜间设备监测，全景摄像头实现大场景覆盖，并结合 BIM 模型在风险高发区域优化部署位置。预处理环节通过降噪、增强和分割提升图像质量，并根据识

别需求调整帧提取频率<sup>[7]</sup>。行为风险识别采用“目标检测+行为分析”两阶段算法，通过 YOLOv8 等检测人员目标与关键部位，结合动作序列判断是否违规，如未佩戴安全帽、违规攀爬脚手架等。状态风险识别通过特征比对分析设备与环境状态，如焊机火花异常、基坑无防护等<sup>[8]</sup>。识别结果通过空间坐标映射与 BIM 构件属性更新实现精准关联，并在模型中以颜色标注和图标提示可视化呈现，实现风险的空间化与可视化管理。

### （四）多源异构数据融合与风险综合判定

通过整合 BIM、IoT、计算机视觉及历史管理等多源异构数据，采用数据层、特征层与决策层三级融合架构，结合多维度融合算法消除数据歧义与冗余，实现对燃气工程施工安全风险的全面、精准判定<sup>[9]</sup>。数据层对同源异构数据进行加权平均、卡尔曼滤波等整合与一致性校验；特征层提取多源数据特征，经降维与归一化后构建统一特征向量；决策层采用多分类器融合策略输出最终风险等级。风险综合判定从发生概率、后果严重程度和可控性三维度建立量化评估体系，结合泊松分布、贝叶斯模型与模糊综合评价等方法，动态计算风险值并划分等级。融合结果通过离线与在线双重验证，确保模型准确率、漏报率、误报率及管理人员满意度等指标达标<sup>[10]</sup>。该体系不仅解决了单一数据源识别精度低、覆盖范围有限的问题，还实现了风险的全方位感知、多维度评估与精准化判定，为后续风险智能防控与决策支持提供了科学、可靠的信息基础。

## 二、基于 BIM 的安全风险智能防控与决策支持

### （一）智能防控闭环管理机制

基于 BIM 的燃气工程施工安全风险智能防控闭环管理机制，以“风险识别—风险评估—风险预警—风险处置—效果验证—持续优化”为核心流程，通过 BIM 平台实现全周期数据互通与流程联动，形成“发现—管控—反馈—改进”的闭环体系。风险识别与评估环节将多源融合结果自动同步至 BIM 平台，结合构件参数与历史数据可视化模拟风险影响范围；风险预警采用分级推送策略，根据风险等级触发差异化通知方式，并联动 BIM 模型精准定位风险位置；风险处置环节自动匹配责任人与处置方案，通过内置方案库与操作规范指导现场执行，并实时跟踪处置进度；效果验证通过数据核验与现场复核双重方式确认风险消除，未通过则重新触发处置；持续优化环节基于闭环数据定期生成防控报告，分析风险规律并更新方案库与评估模型，推动防控机制不断迭代提升，实现风险防控的精准化、可视化与智能化。

### （二）基于 BIM 4D/5D 的风险动态评估

基于 BIM 4D/5D 的风险动态评估通过融合时间（进度）、成本与三维模型，结合实时风险数据，实现“时空联动、成本关联”的动态风险管控。其核心包括 BIM 4D 动态评估、BIM 5D 成本关联评估、评估结果可视化与趋势预测三大模块，BIM 4D 动态评估以“进度—空间—风险”三维联动为核心，将施工进度计划与 BIM 模型绑定形成 4D 模型，关联实时风险数据，实现风险随进度的动态评估，包括分析风险对工期的影响、量化延误时

间并模拟后续工序影响，以及评估不同施工阶段的风险分布与变化趋势。BIM 5D成本关联评估在4D基础上融入成本维度，构建5D模型，整合工程量清单、材料单价、人工费用等数据，将风险分为直接成本损失（如维修费、返工费）和间接成本损失（如违约金、信誉损失），自动计算风险成本占比，支持处置策略的成本对比分析。评估结果通过4D风险进度图、空间风险热力图和成本风险关联表进行可视化呈现，直观展示风险在进度、空间和成本上的分布与影响。趋势预测采用时间序列算法（如ARIMA、LSTM），基于历史风险数据与未来进度计划，预测后续工序的风险发生概率与成本损失，生成预警提示，实现前瞻性管控。整体而言，该评估方法实现了风险在时间、空间、成本维度的全面联动，为燃气工程施工风险提供精准、动态、前瞻的评估与决策支持。

### （三）智能决策支持与应急预案模拟

智能决策支持与应急预案模拟基于BIM平台与多源数据，为燃气工程施工风险防控提供科学决策依据与应急演练支撑。风险处置决策支持采用“数据驱动+规则匹配+多方案对比”模式，整合风险基础数据、资源数据、历史案例与规范标准，自动匹配处置流程并结合实时资源优化方案，提供多方案量化对比与推荐，辅助管理人员快速决策。应急预案数字化建模将文本预案转化为BIM可视化模型，实现空间化、流程化、参数化，构建应急资源模型、关联处置流程与责任人，并设置可调参数，支持直观漫游查看。应急预案模拟与优化通过虚拟演练检验预案可行性，动态展示应急处置全过程，自动监测漏洞并生成报告，提出优化建议，反复模拟直至关键指标达标，确保预案科学可执行。

### （四）系统原型设计与开发

基于BIM的安全风险智能防控与决策支持系统原型设计与开发，以“实用性、易用性、可扩展性”为原则，整合风险识别、动态评估、智能防控与决策支持功能，构建面向燃气工程施工安全管理的一体化系统，核心包括系统架构设计、功能模块开发、数据库设计、界面设计与测试验证五大环节。系统架构采用“云-边-端”三层结构，云端部署核心数据库与算法模块，负责全局协同与复杂计算；边缘端就近处理实时数据，支持本地预警与离线缓存；终端包括PC端、移动端与现场大屏，提供差异化交

互入口，三者通过5G/4G/Wi-Fi网络与MQTT/HTTPS协议实现高效安全的数据交互。功能模块开发涵盖BIM模型管理、风险识别与评估、风险防控闭环、决策支持与应急模拟、系统管理五大模块，各模块独立运行且协同联动。数据库采用“关系型+非关系型+时序数据库”混合存储架构，分别处理结构化、非结构化与高频IoT数据，建立索引与分区策略，支持高效查询与安全备份。界面设计针对三类终端进行差异化布局，PC端采用顶部导航+左侧功能栏+中间主视图，移动端以底部导航+简洁界面为主，现场大屏则分屏展示风险热力图、统计指标与实时预警，确保操作便捷与视觉清晰。测试验证采用四阶段体系，包括单元测试、集成测试、系统测试和现场试用，从功能、性能、安全、易用性四维度全面评估系统表现，并在实际项目中部署1-2个月，收集反馈进行优化迭代。通过系统原型设计与开发，实现燃气工程施工安全风险“识别精准化、评估动态化、防控闭环化、决策科学化”，为提升城市燃气工程施工安全管理水平提供有力技术支撑。

## 三、结束语

本研究围绕城市燃气工程施工阶段安全风险管控的核心需求，以BIM技术为核心载体，深度融合IoT、计算机视觉、大数据分析等新兴技术，系统构建了“多源信息融合的风险智能识别—BIM驱动的风险智能防控—一体化系统支撑”的完整技术体系，有效破解了传统安全管理中“感知滞后、评估片面、防控被动”的痛点问题，为城市燃气工程施工安全管理的数字化转型提供了理论方法与实践路径。未来研究可引入数字孪生技术，构建“物理实体-虚拟模型”实时映射的动态管控平台，实现风险演化过程的可视化模拟与预判；结合区块链技术优化数据共享机制，保障多参与方数据传输的安全性与不可篡改性，提升跨主体协同管理效率；开展多场景实证研究，在不同规模、不同地质条件的燃气工程中验证技术方案的通用性，进一步完善风险评估模型与防控策略，推动研究成果向行业标准与实践规范转化，为城市燃气工程施工安全管理的智能化、标准化发展贡献更大力量。

## 参考文献

- [1] 吴晗. 施工人机碰撞事故风险智能识别与预警方法研究 [D]. 江苏: 江苏大学, 2024.
- [2] 朱昊梁. 数字孪生驱动的弦支梁结构施工安全智能管理方法研究 [D]. 广东: 华南理工大学, 2022.
- [3] 刘增辉. BIM驱动的水电工程施工区安全管控方法研究与系统开发 [D]. 天津: 天津大学, 2022.
- [4] 张萌. 基于深度学习的脚手架高空作业险态智能识别方法研究 [D]. 江苏: 江苏大学, 2022.
- [5] 靳鲁生. 燃气工程施工风险防控分析 [J]. 数码精品世界, 2020(2): 240. DOI: 10.12277/j.issn.1009-0428.2020.02.211.
- [6] 王士铭. 基于BIM技术的燃气管线工程项目安全风险管控研究 [D]. 天津: 天津大学, 2022.
- [7] 王胥朋. 燃气工程安全管理措施的分析与研究 [J]. 机械与电子控制工程, 2022, 4(8). DOI: 10.37155/2717-5197-0408-19.
- [8] 黄文浩. 城市燃气工程施工阶段的项目管理问题与对策 [J]. 百科论坛电子杂志, 2018(4): 193.
- [9] 谢城, 董晓, 商玉姣. 建筑工程施工阶段燃气管道安全防护关键技术探讨 [J]. 数字化用户, 2024(46): 19-20.
- [10] 王华波. 简谈燃气工程施工中的安全管理工作 [J]. 大众标准化, 2020(22): 152-153. DOI: 10.3969/j.issn.1007-1350.2020.22.070.