

中文引用格式:赵荣泳,彭星竹,韦炳宇,等. 大语言模型与知识图谱在建筑安全领域的技术发展综述[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(12): 1-7.

英文引用格式: ZHAO Rongyong, PENG Xingzhu, WEI Bingyu, et al. A review of technology development of large language model and knowledge graph in field of construction safety [J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(12): 1-7.

大语言模型与知识图谱在建筑安全领域的 技术发展综述*

赵荣泳¹副教授, 彭星竹¹, 韦炳宇¹, 曾国毅², 刘丰年³, 闫鹏⁴

(1 同济大学 电子与信息工程学院 CIMS 研究中心, 上海 201804; 2 上海飞机制造有限公司, 上海 201324; 3 上海冠龙阀门节能设备股份有限公司, 上海 201812;
4 同济大学 计算机科学与技术学院, 上海 201804)

中图分类号: X915.1

文献标志码: A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.12.0044

基金项目: 国家自然科学基金资助(72374154)。

【摘要】 为厘清建筑安全领域中大型语言模型(LLM)与知识图谱(KG)技术的潜在研究价值和应用前景, 综合分析建筑安全领域知识驱动的数字化转型现存问题, 梳理 LLM 和 KG 在该领域的技术发展现状。首先, 在中国知网(CNKI)和科学网(WoS)中检索相关文献, 确定分析范围; 其次, 分析建筑安全生产数字化转型的现存问题与挑战, 并阐述 LLM 和 KG 引入的必要性; 然后, 简述 LLM 和 KG 技术发展及其在建筑安全领域的应用研究现状, 探讨 LLM 和 KG 在建筑安全领域的融合应用初步成果; 最后, 总结现有研究不足之处, 展望未来发展。结果表明: LLM 与 KG 技术在建筑安全知识管理、风险识别、智能决策等多个场景中已展现出显著的应用潜力, 表现出可观的应用前景, 但当前研究仍存在实时性缺乏、融合不足等问题。未来应着手建立全面精准的建筑安全 KG, 深入探究 LLM 与 KG 融合应用新思路。

【关键词】 大语言模型(LLM); 知识图谱(KG); 建筑安全; 安全管理; 融合应用

A review of technology development of large language model and knowledge graph in field of construction safety

ZHAO Rongyong¹, PENG Xingzhu¹, WEI Bingyu¹, ZENG Guoyi², LIU Fengnian³, YAN Peng⁴

(1 School of Electronic and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;
2 Shanghai Aircraft Manufacturing Co., Ltd., Shanghai 201324, China;
3 Shanghai KARON ECO-VALVE Manufacturing Co., Ltd., Shanghai 201812, China;
4 School of Computer Science and Technology, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: In order to clarify the potential research value and application prospects of LLMs and KG technologies in the field of construction safety, the existing problems in the knowledge-driven digital transformation of this domain were comprehensively analyzed, and the current state of technological development regarding knowledge graphs and large language models within it was reviewed. First, relevant literature was retrieved from the China National Knowledge Infrastructure (CNKI) and Web of Science

(WoS) databases to define the scope of analysis. Then, the existing problems and challenges in the digital transformation of construction safety were analyzed, and the necessity of introducing KG and LLM was elaborated. Subsequently, the technological development of KG and LLM, along with the current status of their application research in construction safety, was briefly described. Preliminary achievements in the integrated application of KG and LLM within the construction safety domain were explored. Finally, the shortcomings of existing research were summarized, and future research directions are outlined. The results indicate that LLMs and KG technologies have demonstrated significant application potential in various scenarios within construction safety, including knowledge management, risk identification, and intelligent decision-making, highlighting considerable prospects for future implementation. However, current research still faces challenges such as a lack of real-time capabilities and insufficient integration. Future efforts should focus on establishing comprehensive and precise construction safety KG and exploring novel approaches for the integrated application of LLM and KG.

Keywords: large language model (LLM); knowledge graph (KG); construction safety; safety management; integrated application

0 引言

建筑业是国民经济的支柱产业,为我国经济持续健康发展提供了有力支撑。但建筑业因其高风险和高事故率的特点^[1]而被普遍认为是危险行业之一,因此施工安全至关重要。

尽管多种智能技术已经引入建筑安全领域。例如:自然语言处理技术用于事故文本分析^[2]、计算机视觉识别安全行为^[3],但建筑业的数字化程度相对偏低^[4]。近年来,大语言模型 (Large Language Model, LLM) 和知识图谱 (Knowledge Graph, KG) 技术获得广泛关注。PRIETO 等^[5]首次探讨了 LLM 在建筑行业的应用场景,初步探索了生成式预训练变换模型 (Generative Pre-trained Transformer, GPT) 在施工调度方面的适用性。但 2 种技术在建筑安全领域的深入讨论仍为少数,综述型研究较为缺乏。

鉴于此,笔者拟通过文献分析法,回顾 LLM 和 KG 技术原理,综述二者在建筑安全领域的应用研究现状,探讨现有研究不足和未来方向,以期对建筑安全领域的智能化发展提供新思路。

1 文献检索与综述方法

为全面系统地梳理建筑安全领域 LLM 与 KG 的研究和应用进展,采用文献检索、筛选、分析与综述方法研究,流程如图 1 所示。

选择中国知网 (China National Knowledge Infrastructure, CNKI) 和科学网 (Web of Science, WoS) 核心合集作为主要文献来源数据库,选用 LLM、建筑安全、KG 等中英双语关键词检索,限定时

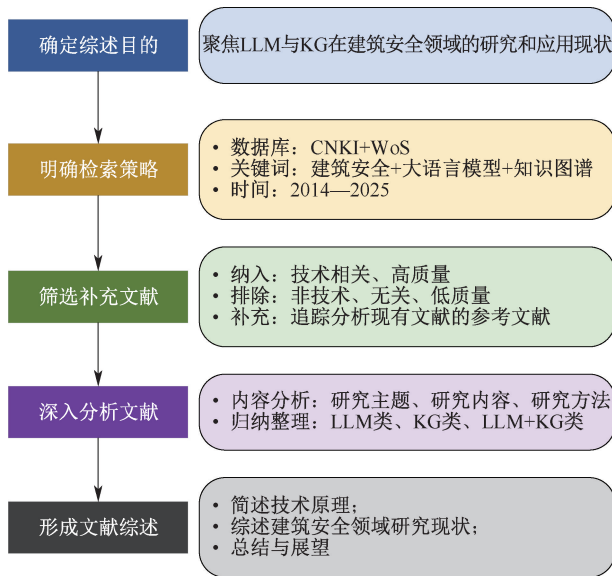


图 1 研究流程

Fig. 1 Research workflow diagram

间范围为 2014 年至今,排除不相关文献,筛选代表性成果,围绕 LLM、KG 及其融合应用 3 大主题,通过对比、归纳和批判性思考,提炼研究现状和未来趋势。

2 知识驱动的数字化转型现状与需求

建筑施工涉及动火、登高、空间受限等多类危险作业,安全管理面临挑战,现实状况不容乐观,建筑施工安全管理现存问题如图 2 所示。

从知识数据层面看,建筑安全领域积累了大量多源非结构化数据,知识碎片化严重,阻碍了信息整合与智能决策。尽管建筑信息模型 (Building Information Modeling, BIM)、计算机视觉等技术已发

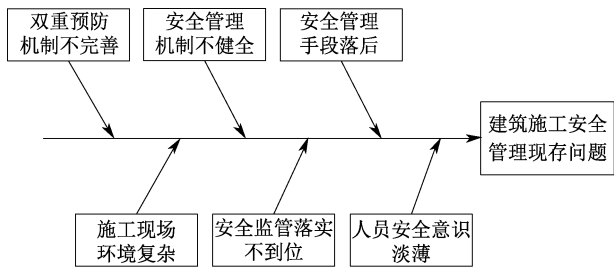


图 2 建筑施工安全管理现存问题

Fig. 2 Existing problems in construction safety management

挥作用^[6],但在提高海量数据管理水平和应用效率方面存在缺陷。因此,LLM 和 KG 技术的引入十分关键。LLM 则可从安全事故资料中总结经验教训,为安全管理和隐患治理提供建议和帮助,KG 可实现建筑安全领域知识和数据的结构化管理。

3 LLM 应用现状

GPT 展现出显著的语言能力,引起了各行各业的关注和研究。尽管 LLM 在建筑领域的研究应用仍处于起步阶段,但已有若干研究展望其应用前景与价值。SAKA 等^[7]通过文献综述、专家讨论、案例验证,探讨了 GPT 模型在建筑行业的应用场景和限制;古博韬等^[8]综述了 LLM 在建筑安全领域的应用潜力、优势和挑战,有望进一步提高行业安全水平。覃思中等^[9]提出了一套基于提示语和本地知识库的 LLM 应用方案,初步探讨验证了 LLM 在建筑行业的可行性。KATOOZIANI 等^[10]论述了 LLM 在建筑行业不同安全管理中的潜力。分析现有文献可知,LLM 在建筑安全领域的研究和应用可分为知识管理与决策辅助、安全教育与能力提升和风险分析与预测 3 个方面。

1) 知识管理与决策辅助层面。LLM 通过其自身知识储备和外部知识输入,结合其推理和涌现能力,辅助开展安全管理工作并支持决策生成。例如:ALADAĞ^[11]与 NYQVISTĜ^[12]等均认为 GPT 能够提供建筑工程风险应对的知识基础,辅助管理人员做出有效决策;TRAN 等^[13]利用 LLM 增强建筑安全规范的提取与知识转化能力,构建建筑安全查询助手,降低不合规风险,提升施工安全管理水平。

2) 安全教育与能力提升层面。LLM 作为安全教育辅助工具,开展成效更显著的安全培训,提升相关人员的安全素养。例如:UDDIN 等^[14-15]探讨了 GPT 作为教育干预手段,在提升建筑行业相关人员的危险识别水平和解决通过设计预防施工危害应用

障碍的适用性;NADERI 等^[16]提出一种 LLM 驱动的建立在情境学习和游戏化学习理论基础上的互动式安全培训框架,提升安全培训的参与度、知识留存度和行为表现,提升工人的安全素养。

3) 风险分析与预测层面。LLM 作为推理工具,分析历史安全事故数据,以预防和管控建筑作业风险。YOO 等^[17]利用建筑安全事故文本数据微调 GPT,实现 6 类安全事故的模型预测。ORAL 等^[18]利用 LLM 实现了建筑工程项目的风险评估和决策支持,并验证了方案有效性。

总体来看,LLM 在建筑安全领域的研究呈现多元化发展态势。知识管理与决策辅助研究侧重于利用大模型处理海量数据,为安全分析和决策提供支持;安全教育与能力提升研究侧重于通过人机交互提升从业人员的安全素养和意识,保护自身安全;风险分析与预测研究侧重于探索大模型用于预测性安全管理的潜力。整体上大模型在建筑安全领域的研究和应用有着显著的发展前景。

4 KG 应用现状

KG 在建筑安全领域的研究和应用大致分为以下 4 个层面。

1) 建筑安全领域的可视化现状分析层面,不涉及领域专业知识,而是借助 KG 的空间形态可视化展现信息特点,帮助研究人员分析领域文献,了解领域的研究现状。例如:朱记伟等^[19]利用 Citespace 软件绘制国内外 BIM 文献 KG 开展对比研究;孙龙龙等^[20]利用 VOSViewer 可视化定量分析了计算机视觉技术在建筑安全领域的研究现状与发展趋势。

2) 建筑安全领域知识管理与查询层面,通过构建领域 KG,实现领域专业知识的有效存储和利用,为相关人员提供可靠的知识基础。例如:JIANG Yukun 等^[21]为完善建筑安全标准知识管理,构建了建筑安全标准 KG,并基于 KG 进行知识推理、知识检索,促进了安全标准知识的分析、查询和共享;WU Wenjing 等^[22]构建了融合文本和图像的建筑安全事故 KG,探讨了 KG 在建筑安全领域的可操作性;许慧等^[23]构建了建筑施工事故 KG,提出更高效的基于 KG 的建筑工程施工事故分析流程。但上述研究的知识覆盖范围尚不全面。

3) 建筑施工现场危险识别与风险分析层面,将领域 KG 作为识别危险的可靠数据支持,结合计算机视觉等技术达到识别不安全行为、分析风险位置的目的。例如:FANG Weili 等^[24]提出了一种结合

计算机视觉和本体论的 KG,识别以高空坠落为主的建筑工地危险;龙丹冰等^[25]构建施工安全事故 KG,改进基于灰聚类的施工行为安全风险分析方法,并提出基于 KG 的关键危险位置识别算法;MEI Xinyu 等^[26]融合计算机视觉与 KG,集成图像特征构建图谱,从现场图像中识别不安全行为并提供决策建议;王茹等^[27]基于施工安全 KG 改进作业条件危险性评价方法,实现风险位置识别和不安全因素分析。但上述研究识别结果的准确性有待提高。

4) 建筑施工安全管理与决策支持层面,基于 KG 的知识管理和推理优势,为安全管理人员提供帮助,减少了施工安全管理对人工经验依赖程度。ZHU Yifan 等^[28]提出了一种基于条件的 KG 来存储知识,自动识别安全违规;LI Wangxin 等^[29]将 KG 和事故数据库引入 BIM 施工安全管理早期阶段,为安全管理人员提供关键风险要素和管理方向。JOHANSEN 等^[30]构建了领域 KG,为专业人员提供可操作的安全信息。上述研究都为减少施工安全管理对人力的依赖带来了显著参考价值。

综上所述,当前建筑安全领域 KG 的研究与应用已形成较为清晰的脉络:基础层面聚焦于领域 KG 的构建以实现高效的知识管理与查询,解决信息孤岛问题;应用层面则拓展至危险源识别与风险分析、安全管理与决策支持等方向,依托 KG 的关联推理能力提升安全管控的智能化水平。

5 LLM 与 KG 融合应用

基于 LLM 和 KG 各自特点,二者融合应用已经成为一个重要研究方向。

在 LLM 辅助构建 KG 层面,宋建炜等^[31]开展了建筑施工安全领域的 NER 研究,提出基于预训练语言模型 BERT 的建筑安全领域 NER 模型,辅助构建领域 KG;刘怡晴^[32]借助 GPT 和提示语工程辅助构建建筑领域 KG;XIANG Yunfei 等^[33]使用 LLM 从文本和半结构化数据中抽取实体构建安全隐患 KG,针对多个事故场景提供整改措施,为提高工程项目安全管理有效性提供参考。

在 KG 检索增强生成层面,LI Hao 等^[34]构建了建筑标准 KG 为 LLM 提供外部领域专业知识,融合 KG 和 LLM 实现施工方案智能审查,显著提高了施工方案检查的效率和精度。林佳瑞等^[35]集成领域 LLM 和常识 KG,建立了建筑工程标准规范文本解译系统。YANG Yingliu 等^[36]结合 LLM 和 KG 构建了建筑安全事故回溯分析系统。类似地,UHM

等^[37]集成多模态 LLM 与 KG,设计了安全事故视频分析框架,减轻人工负荷;WANG Yiheng 等^[38]结合多模态大模型和领域知识库,设计了建筑安全风险识别系统。当前研究表明:LLM 融合 KG 的技术路径在建筑安全领域成果初现、价值显著,既能提高领域 KG 的构建效率和覆盖范围,又为 LLM 提供可靠数据支持,是提升领域智能化水平的关键。

LLM 与 KG 在建筑安全领域的技术架构与应用总览如图 3 所示,总结了 LLM、KG 及二者融合 3 大技术路径在建筑安全领域的典型应用场景,揭示了从领域数据知识到领域场景应用的完整技术链条。

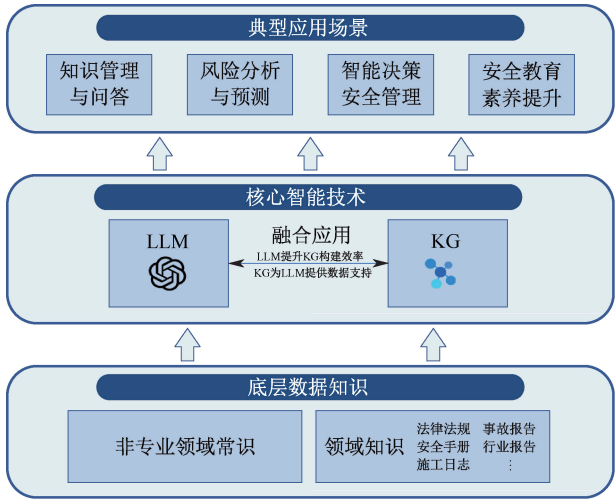


图 3 技术架构与应用总览

Fig. 3 Technology architecture and application overview

KG 与 LLM 在建筑安全领域的研究现状总结见表 1。从表中看出,KG 与 LLM 在建筑安全中的应用已涵盖知识管理、决策支持、安全管理、安全教育及风险分析等多个方向。其中,知识管理和风险分析的研究更为集中,且相关成果自 2023 年以来增长显著。

6 研究不足与展望

目前,LLM 和 KG 在建筑安全领域的技术应用仍处在起步阶段,还存在以下不足:① LLM 在建筑安全领域的研究涉及的内容较为粗犷,缺少对细致领域的深入探讨;②对于构建建筑安全领域的 KG,缺乏标准流程和标准数据模式;③缺乏数据动态更新的 KG 研究,未能实现实时安全 KG 更新迭代;④缺乏 KG 和 LLM 深度融合应用的研究。为此,提出以下展望:①深入挖掘 LLM 在细分施工场景与类型中的专项应用;②构建面向建筑安全领域的 KG,整合法规、事故数据等多源信息;③研究自动化与高

表 1 KG 与 LLM 在建筑安全领域的研究总结

Table 1 Research summary of knowledge graphs and large language models in the field of construction safety					
研究主题	研究类别	侧重点	特色	参考文献	
				作者	年份
大语言模型	知识管理与决策辅助	利用大模型的知识储备与推理能力	知识转化与决策辅助	ALADAĞ ^[11]	2023
				NYQVIST 等 ^[12]	2024
				TRAN 等 ^[13]	2024
				KATOOZIANI 等 ^[10]	2025
	安全教育与能力提升	利用大模型的交互性能	情境模拟与游戏化互动	UDDIN 等 ^[14, 15]	2023、2024
				NADERI 等 ^[16]	2025
	风险分析与预测	利用大模型的分析推理能力	数据驱动的预测和预防	YOO 等 ^[17]	2024
				ORAL 等 ^[18]	2025
知识图谱	可视化领域现状分析	领域文献计量与趋势可视化	使用文献计量软件构建领域文献 KG	朱记伟等 ^[19]	2018
				孙龙龙等 ^[20]	2021
	领域知识管理与查询	领域知识结构化存储与高效检索	构建领域 KG	JIANG Yukun 等 ^[21]	2021
				WU Wenjing 等 ^[22]	2023
				许慧等 ^[23]	2023
	危险识别与风险分析	动态识别施工现场危险源与行为风险	多模态技术融合	FANG Weili 等 ^[24]	2020
				龙丹冰等 ^[25]	2021
				MEI Xinyu 等 ^[26]	2024
				王茹等 ^[27]	2024
	安全管理与决策支持	为安全管理提供智能决策依据	系统集成应用	ZHU Yifan 等 ^[28]	2022
				LI Wangxin 等 ^[29]	2024
				JOHANSEN 等 ^[30]	2025
KG 融合 LLM	大模型增强 KG	大模型辅助 KG 构建	大模型作为知识抽取工具	宋建炜等 ^[31]	2021
				刘怡晴 ^[32]	2024
				XIANG Yunfei 等 ^[33]	2024
	KG 增强大模型	KG 增强大模型生成	KG 作为大模型的外部知识库	LI Hao 等 ^[34]	2024
				林佳瑞等 ^[35]	2025
				YANG Yingliu 等 ^[36]	2025
				UHM 等 ^[37]	2025
				WANG Yiheng 等 ^[38]	2025

效率的 KG 构建与实时更新技术;④推动 KG 与 LLM 的系统性融合,增强 LLM 在垂直领域的支撑能力。

7 结 论

- 1) LLM 研究集中于知识管理、决策辅助、安全教育、风险分析等方面,能够快速处理海量数据。当前存在研究场景少、知识理解浅等不足,未来应拓展应用场景,研发行业 LLM 和业务智能体。
- 2) KG 和 LLM 在建筑安全领域展现出广阔的应用前景,可提升风险管控与隐患治理水平。但目

前研究仍处于起步阶段,存在知识覆盖不足、技术融合不够、实时性缺失等问题。

- 3) KG 研究集中在知识管理、风险识别、决策支持方面。当前存在知识深度不足、构建效率低、更新机制缺乏等问题,未来应推动本体标准化、自动化构建、实时更新与细分应用。
- 4) 融合应用方面,研究集中于 KG 和 LLM 的相互辅助,提高知识抽取效率与输出结果可靠性。当前存在场景匮乏、浅层结合等不足,未来应发展双向增强框架并扩展应用场景。

参 考 文 献

[1] 王丹, 宫晶晶. 基于知识图谱的国内建筑安全领域可视化研究[J]. 工程管理学报, 2016, 30(6):43-48.

WANG Dan, GONG Jingjing. Visualization research in China building safety analysis based on mapping knowledge

- domain[J]. *Journal of Engineering Management*, 2016, 30(6):43-48.
- [2] ZHANG Fan, FLEYEH H, WANG Xinru, et al. Construction site accident analysis using text mining and natural language processing techniques [J]. *Automation in Construction*, 2019, 99:238-248.
- [3] FANG Weili, DING Lieyun, LUO Hanbin, et al. Falls from heights: a computer vision-based approach for safety harness detection [J]. *Automation in Construction*, 2018, 91:53-61.
- [4] 刘宇轩, 马智亮. 大模型及其在建筑工程中的研究与应用综述[C]. 第十届全国 BIM 学术会议, 2024: 506-513.
- [5] PRIETO S A, MENGISTE E T, DE SOTO B G. Investigating the use of ChatGPT for the scheduling of construction projects [J]. *Buildings*, 2023, 13(4):DOI:10.3390/buildings13040857.
- [6] 殷伟. 建筑施工安全隐患的识别与防控策略 [J]. *中华建设*, 2024(12):25-27.
- [7] SAKA A, TAIWO R, SAKA N, et al. GPT models in construction industry: opportunities, limitations, and a use case validation [J]. *Developments in the Built Environment*, 2024, 17:DOI:10.1016/j.dibe.2023.100300.
- [8] 古博韬, 石开铭, 李建华, 等. 基于大语言模型的施工安全管理技术[J]. *施工技术:中英文*, 2024, 53(17):15-19,29.
- GU Botao, SHI Kaiming, LI Jianhua, et al. Construction safety management techniques based on largelanguage modeling[J]. *Construction Technology*, 2024, 53(17):15-19,29.
- [9] 覃思中, 郑哲, 顾焱, 等. 大语言模型在建筑工程中的应用测试与讨论[J]. *工业建筑*, 2023, 53(9):162-169.
- QIN Sizhong, ZHENG Zhe, GU Yi, et al. Exploring and discussion on the application of large language models in construction engineering[J]. *Industrial Construction*, 2023, 53(9):162-169.
- [10] KATOOZIANI A, JEELANI I, GHEISARI M. GPT applications for construction safety: a use case analysis [J]. *Buildings*, 2025, 15(14):DOI:10.3390/buildings15142410.
- [11] ALADAĞ H. Assessing the accuracy of ChatGPT use for risk management in construction projects [J]. *Sustainability*, 2023, 15(22):DOI:10.3390/su152216071.
- [12] NYQVIST R, PELTOKORPI A, SEPPÄNEN O. Can ChatGPT exceed humans in construction project risk management? [J]. *Engineering Construction and Architectural Management*, 2024, 31(13):223-243.
- [13] TRAN S V, YANG J, HUSSAIN R, et al. Leveraging large language models for enhanced construction safety regulation extraction [J]. *Journal of Information Technology in Construction*, 2024, 29:1 026-1 038.
- [14] UDDIN S M J, ALBERT A, OVID A, et al. Leveraging ChatGPT to aid construction hazard recognition and support safety education and training [J]. *Sustainability*, 2023, 15(9):DOI:10.3390/su15097121.
- [15] UDDIN S M J, ALBERT A, TAMANNA M. Harnessing the power of ChatGPT to promote construction hazard prevention through design (CHPTd) [J]. *Engineering Construction and Architectural Management*, 2024:DOI:10.1108/Ecam-1103-2024-0314.
- [16] NADERI H, SHOJAEI A. Large-language model (LLM)-powered system for situated and game-based construction safety training [J]. *Expert Systems with Applications*, 2025, 283:DOI:10.1016/j.eswa.2025.127887.
- [17] YOO B, KIM J, PARK S, et al. Harnessing generative pre-trained transformers for construction accident prediction with saliency visualization [J]. *Applied Sciences-Basel*, 2024, 14(2):DOI:10.3390/app14020664.
- [18] ORAL M, ALBOGA Ö, AYDINLI S, et al. Usability of large language models for building construction safety risk assessment [J]. *Engineering Construction and Architectural Management*, 2025:DOI:10.1108/ecam-1108-2024-1143.
- [19] 朱记伟, 蒋雅丽, 翟翌, 等. 基于知识图谱的国内外 BIM 领域研究对比[J]. *土木工程学报*, 2018, 51(2):113-120.
- ZHU Jiwei, JIANG Yali, ZHAI Zhao, et al. Comparative research of BIM based on mapping knowledge domains at home and abroad[J]. *China Civil Engineering Journal*, 2018, 51(2):113-120.
- [20] 孙龙龙, 王其宽, 施凯, 等. 基于知识图谱的建筑安全领域计算机视觉研究综述[J]. *安全与环境工程*, 2021, 28(2):44-49.
- SUN Longlong, WANG Qikuan, SHI Kai, et al. Overview of computer vision research in construction safety field based on knowledge graph[J]. *Safety and Environmental Engineering*, 2021, 28(2):44-49.
- [21] JIANG Yukun, GAO Xin, SU Wenxin, et al. Systematic knowledge management of construction safety standards based on knowledge graphs: a case study in China [J]. *International journal of environmental research and public health*, 2021, 18(20):DOI:10.3390/ijerph182010692.
- [22] WU Wenjing, YUAN Qi, CHEN Qiulan, et al. Construction safety knowledge graph integrating text and image information[C]. *Proceedings of the 2023 6th International Conference on Information Management and Management Science*, 2023: 26-32.
- [23] 许慧, 廖榕铭. 基于知识图谱的建筑工程施工事故智能分析[J]. *中国安全生产科学技术*, 2023, 19(3):46-52.
- XU Hui, LIAO Huiming. Intelligent analysis of construction accidents in construction engineering based on knowledge graph[J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2023, 19(3):46-52.

[24] FANG Weili, MA Ling, LOVE P E D, et al. Knowledge graph for identifying hazards on construction sites: integrating computer vision with ontology [J]. Automation in Construction, 2020, 119: DOI:10.1016/j.autcon.2020.103310.

[25] 龙丹冰, 魏君豪, 杨成. 知识图谱改进的施工行为安全风险与危险位置识别算法[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(12): 10-16.

LONG Danbing, WEI Junhao, YANG Cheng. An improved algorithm for construction behavior safety risk and harzard location identification based on knowledge graph[J]. China Safety Science Journal, 2021, 31(12): 10-16.

[26] MEI Xinyu, XU Feng, ZHANG Zhipeng, et al. Unsafe behavior identification on construction sites by combining computer vision and knowledge graph-based reasoning [J]. Engineering, Construction and Architectural Management, 2024: DOI:10.1108/ECAM-1105-2024-0622.

[27] 王茹, 赵俊浩, 黄伟, 等. 基于知识图谱的建筑施工安全风险量化与分析[J]. 安全与环境学报, 2024, 24(6): 2138-2147.

WANG Ru, ZHAO Junhao, HUANG Wei, et al. Quantification and analysis of building construction safety risks based on knowledge graph[J]. Journal of Safety and Environment, 2024, 24(6): 2138-2147.

[28] ZHU Yifan, LUO Xiaowei. A knowledge graph for automated construction workers' safety violation identification[C]. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction. IAARC Publications, 2022: 312-319.

[29] LI Wangxin, WU Ping, HUANG Jiaming, et al. A new paradigm for construction safety management in China: introducing knowledge graph and accident database into the early-stage of BIM [J]. Journal of Cleaner Production, 2024, 470: DOI:10.1016/j.jclepro.2024.143367.

[30] JOHANSEN K W, SCHULTZ C, TEIZER J. Knowledge graph exploitation to enhance the usability of risk assessment in construction safety planning [J]. Advanced Engineering Informatics, 2025, 65: DOI:10.1016/j.aei.2025.103305.

[31] 宋建伟, 邓逸川, 苏成. 基于预训练语言模型的建筑施工安全事故文本的命名实体识别研究[J]. 图学学报, 2021, 42(2): 307-315.

SONG Jianwei, DENG Yichuan, SU Cheng. Research on named entity recognition of construction safety accident text based on pre-trained language model[J]. Journal of Graphics, 2021, 42(2): 307-315.

[32] 刘怡晴. 基于大规模预训练模型的建筑领域知识图谱的研究[D]. 郑州: 河南财经政法大学, 2024.

LIU Yiqing. Research on knowledge graph in the construction domain based on large-scale pre-traind models[D]. Zhengzhou: Henan University of Economics and Law, 2024.

[33] XIANG Yunfei, LIN Peng, LUO Yiming, et al. A knowledge graph-based approach for construction safety hazards management and rectification measures intelligent recommendation[C]. Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering(ICCBE) 2024, 2024: 133-141.

[34] LI Hao, YANG Rongzheng, XU Shuangshuang, et al. Intelligent checking method for construction schemes via fusion of knowledge graph and large language models [J]. Buildings, 2024, 14(8): DOI:10.3390/buildings14082502.

[35] 林佳瑞, 陈柯吟, 郑哲, 等. 建筑工程标准规范智能解译关键技术及应用 [J]. 工程力学, 2025, 42(2): 1-14.

LIN Jiarui, CHEN Keyin, ZHENG Zhe, et al. Key technologies and applications of intelligent interpretation of building engineering standards [J]. Engineering Mechanics, 2025, 42(2): 1-14.

[36] YANG Yingliu, XIANG Pengcheng. A knowledge graph for the vulnerability of construction safety system in megaprojects based on accident inversion [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2025, 150: DOI:10.1016/j.engappai.2025.110630.

[37] UHM M, KIM J, LEE G. Automated analysis of construction safety accident videos using a large multimodal model and graph retrieval-augmented generation [J]. Automation in Construction, 2025, 177: DOI:10.1016/j.autcon.2025.106363.

[38] WANG Yiheng, LUO Hanbin, FANG Weili. An integrated approach for automatic safety inspection in construction: Domain knowledge with multimodal large language model [J]. Advanced Engineering Informatics, 2025, 65: DOI:10.1016/j.aei.2025.103246.

作者简介: 赵荣泳 (1976—),男,山东济南人,博士,副教授,主要从事公共安全系统工程和复杂系统优化等方面的研究。E-mail: zhaorongyong@tongji.edu.cn。

