

基于 SNA 的装配式建筑施工安全风险因素及其关联关系研究

李艳芳 王淑娴* 聂琳然 陈庆辉

河北建筑工程学院 河北张家口 075000

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21118

[摘要] 为实现系统识别装配式建筑施工安全风险因素并揭示其关联关系的目标,以建筑安全事故调查报告为基础,运用文本挖掘方法提取高频词汇,通过绘制事故致因鱼骨图提炼风险因素,并构建风险因素共现矩阵。随后借助社会网络分析方法,从整体网络与个体网络两个维度展开分析,系统探究风险因素间的传导路径与作用机制。结果表明:临时支撑体系失稳、违规操作与资格不符、施工技术方案缺陷、起重吊装作业风险是关键风险因素;H21→H5、H6→H5、H2→H15等10条路径为关键风险关联关系。针对上述风险因素及关联关系提出控制措施后,风险传导路径得到有效切断,风险网络实现优化。为装配式建筑施工安全风险管控提供了新的方法。

[关键词] 装配式建筑; 施工安全风险; 社会网络分析; 文本挖掘

引言

建筑业多年来一直承受着高能耗、高排放以及施工安全等方面的多重压力,传统建造模式越来越跟不上绿色、低碳、高效的发展步伐^[1]。装配式建筑作为一种新型建造形式,依托标准化设计、工厂化生产和装配化施工的优势,在政策扶持下快速发展,正逐渐成为推动行业转型的关键路径^[2]。不过装配式建筑推广过程中仍存在技术体系不完善、产业链协同不够紧密等难题^[3]。它的施工流程繁杂,对精度要求严苛,安全风险还具有较强的隐蔽性,这无疑提高了管理工作的难度,而当前的风险防控机制却无法很好地适配这种需求^[4]。系统研究装配式建筑施工安全风险,为行业风险防控提供新的实践方法。

现在已有学者围绕装配式建筑施工安全的风险识别、评估模型搭建及安全管控技术方向开展研究。李强年等^[5]先识别出各类风险因素,分析它们之间的交互关联以明确管理核心,再通过搭建管理体系,实现吊装过程的信息化监控与风险管控,切实提升了施工安全等级与作业效率;Luo Z等^[6]结合德尔菲法、结构熵权法、物元理论和证据理论,建立起施工安全风险混合评估模型,证实该模型可精准识别关键风险点,为风险管理提供可靠决策支撑;鲍宜周^[7]搭建了安全管理控制体系与绩效评价指标,测算出绩效综合效度,进一步验证这套安全管理控制体系能有效降低事故发生概率。

目前已有相关研究涉及装配式建筑风险的识别、评估与安全管控,只是针对风险因素间关联关系的探讨还比较欠缺,仅有少数研究者对这类关联关系进行过研究和控制。通过运用文本挖掘技术,从事故报告里提取风险因素及其关联情况,同时结合专家的相关意见,采用社会网络分析法对这些风险因素和它们的关联关系进行全面探究,进而找出关键风险因

素与核心关联关系,为装配式建筑施工安全风险控制提供全新的思路和可行方案。

1 基于文本挖掘的装配式建筑事故致因分析

首先从国家应急管理部、国家住房和城乡建设部及省市住房和城乡建设部门官网,收集2015-2025年建筑施工安全生产事故报告127例^[8],包含25份装配式建筑事故报告作为文本挖掘的分析语料,所选取的报告涉及全国27个省份,能够有效保证后续采用文本挖掘方法识别装配式建筑施工安全风险因素的客观合理性。ROSTCM6软件虽在文本格式兼容性方面存在局限,但支持自定义词库、网络分析等功能,且界面友好、操作简便^[9],因此选用该软件开展事故报告的挖掘分析。具体步骤如下:先将文本语料转换为标准纯文本格式,并剔除图表、标点、引注等无关信息;再结合装配式建筑施工特点与土木工程相关特征,在ROSTCM6软件中构建自定义词表、过滤词表及归并词群表,完成文本清洗;随后将清洗后的语料重新导入软件进行词频分析,提取高频词汇;最后将词频≥30的高频词汇绘制成词云图,如图1所示。

高频词汇主要包括作业人员、安全管理、违规、安全生产、吊装等。建筑安全事故的发生往往具有突发性,且大多由人为过失造成。这类人为过失主要表现为安全管理上的疏漏,进而影响材料、机械设备、施工技术及施工环境等因素,导致物处于不安全状态、人置身于不安全环境,最终引发安全事故。对高频词汇展开分析,并结合装配式建筑施工特点与安全事故调查报告,通过施工现场咨询及相关专家访谈,在对装配式建筑施工已发生事故进行致因分析与总结的基础上,绘制出装配式建筑施工安全生产事故致因鱼骨图,如图2所示。

将事故致因鱼骨图中原因的作为风险因素,形成风险因素清单,见表1。



图 1 建筑事故报告词云图

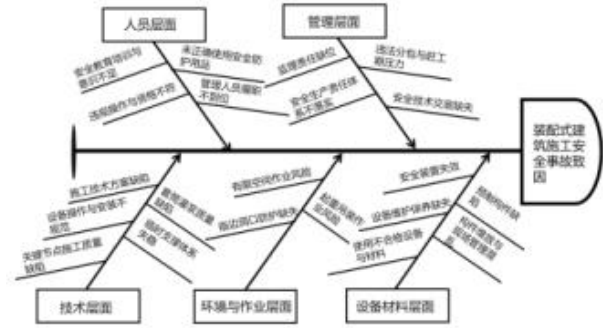


图 2 装配式建筑施工安全生产事故致因鱼骨图

表 1 装配式建筑施工安全风险因素清单

一级指标	二级指标	编码	一级指标	二级指标	编码
人员层面	安全教育培训与意识不足	H1	技术层面	套筒灌浆质量缺陷	H20
	违规操作与资格不符	H2		临时支撑体系失稳	H21
	未正确使用安全防护用品	H3		安全装置失效	H8
	管理人员履职不到位	H4		设备维护保养缺失	H9
	监理责任缺位	H5	设备材料层面	使用不合格设备与材料	H10
管理层面	安全生产责任体系不落实	H13		预制构件缺陷	H11
	违法分包与赶工期压力	H14		构件堆放与现场管理混乱	H12
	安全技术交底缺失	H16		有限空间作业风险	H7
	施工技术方案缺陷	H6		临边洞口防护缺失	H15
技术层面	设备操作与安装不规范	H17	环境与作业层面	起重吊装作业风险	H19
	关键节点施工质量缺陷	H18			

2 风险因素网络分析

将共现矩阵导入对应软件实现风险网络的可视化，同时运用社会网络分析（Social Network Analysis, SNA）方法对风险因素及其关联关系展开分析，通过计算相关指标，明确关键风险因素及其关联关系。

2.1 风险因素网络可视化

基于风险因素清单，结合清洗后的建筑安全事故报告，提取风险因素间的共现矩阵；将该矩阵导入 Ucinet 软件，通过 Netdraw 模块进行可视化处理，最终得到装配式施工安全风险网络，如图 3 所示。

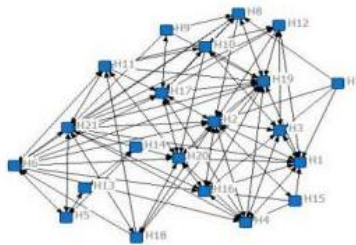


图 3 装配式建筑施工安全风险网络图

2.2 整体网络分析

网络密度用于衡量网络中各节点之间联系的紧密程度，其数值范围介于 0 到 1 之间，数值越大，意味着节点间的连接越紧密^[10]。通过 Ucinet 软件测得整体网络密度为 0.3357，

该结果表明，网络中实际构建的关联约占据理论最大关联总数的 34%，体现出该网络存在一定程度的联结紧密性。聚类系数主要用于刻画网络节点的相邻节点彼此相连的紧密程度。采用 Ucinet 软件计算出网络聚类系数为 0.491，其数值高于整体网络密度，体现出风险网络的结构具有相对复杂的特征。块模型能够从宏观视角对风险网络开展分区与结构化解析^[11]，通过对网络结构进行简化，能够将复杂的风险网络划分为多个便于分析和管控的子集群。在 Ucinet 软件中开展分组分析，具体分组结果，见表 2。并同步获取该风险网络块模型所对应的密度矩阵。在模型构建阶段，采用整体网络密度作为区分“1 块”与“0 块”的划分依据：将节点间密度数值与 0.3357 这一临界值进行对比，密度矩阵中低于该临界值的结果记为 0，高于临界值的结果记为 1，据此得到的风险网络块模型相似矩阵，见表 3。

根据 BURT 提出的位置划分观点^[12]，网络中不同块扮演着不同角色，主要包括首属人位置、经纪人位置、边缘位置和孤立者位置。首属人位置同时存在发送关系与接收关系，且内部联系紧密；经纪人位置虽有发送和接收关系，但内部联系较弱；边缘位置主要表现为发送关系；孤立者位置则与其他块无任何联系。根据分析，块模型的发出与接收情况，见表 4。

表 2 风险网络分块结果

块	风险因素	块	风险因素	块	风险因素	块	风险因素
1	H1 H2 H4 H16	3	H3	5	H5	7	H8 H11 H17 H18
2	H7 H12 H15	4	H6 H19 H20 H21	6	H13 H14	8	H9 H10

表 3 风险网络块模型像矩阵

块	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0	1	1	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	1
4	1	0	0	1	1	0	1	0
5	0	0	0	1	0	1	0	0
6	0	0	0	0	1	1	0	0
7	0	0	0	1	0	0	0	1
8	0	0	1	1	0	0	1	0

表 4 块模型的发出与接送关系

块编号	发出关系	接送关系	内部关系	块编号	发出关系	接送关系	内部关系
1	2	3	有	5	2	2	无
2	2	0	无	6	1	1	有
3	2	3	无	7	2	2	无
4	3	4	有	8	3	2	无

结合上表信息能够看出，块 1、块 4 与块 6 均处于首属人位置。块 1 和块 4 作为网络核心块，内部联系十分紧密，还与其他多个块形成双向关联，其包含的风险因素在网络中影响力较强，也是风险传导的核心节点；块 6 规模不大，但内部联系紧密，还与块 5、块 4 存在交互，说明其管理层面的风险因素具备一定影响作用。块 3、块 5、块 7 和块 8 属于经纪人位置，在网络中承担着连接不同块的功能，内部联系虽不紧密，却可能在风险传导过程中发挥“桥梁”作用。块 2 处于网络边缘位置，其包含的风险因素在网络中影响力较

弱，主要接收外部传来的影响，很少对其他块产生作用。

2.3 个体网络作用分析

计算点度中心度、中间中心度和接近中心度，能够揭示整体风险的关联情况，找出网络中的关键点、风险传导的桥梁节点以及独立风险源，理清关键风险因素的关联情况并做好有效控制。点度中心度是衡量网络中节点是否处于核心位置的指标^[13]。一个节点若是和其他大量节点有直接关联，它的点度中心度就会偏高。取总度数排名前 20%（四舍五入）的风险因素，这些因素的点入度、点出度以及总度数，表 5。

表 5 风险因素点度中心度

风险因素	点出度	点入度	总度数	风险因素	点出度	点入度	总度数
H2	10	14	24	H19	8	14	22
H21	11	13	24	H6	10	11	21

由上表分析可知，点出度最高的风险因素为 H21，其次是 H2、H6，这表明这些风险因素对其他因素的影响力最强，是风险传播的重要源头；点入度最高的风险因素为 H2 和 H19，其次是 H21，说明这些因素易受其他风险影响，是风险累积的关键节点；总度数最高的风险因素为 H2 和 H21，这些因素在风险网络中处于核心枢纽地位，应作为风险防控的重点对象。

中间中心度用于衡量节点在其他节点间“最短路径”中

充当桥梁的程度^[14]。若某节点在大量两两节点的连接中发挥中介作用，则其中间中心度较高。边中间中心度则衡量有向边在其他节点对最短路径上的占比，反映风险传导路径的关键程度；数值越大，表明该路径在风险传播中的重要性越强。分别对节点中间中心度和边中间中心度进行测算。选取排名前 20%（四舍五入）的风险节点及前 20 的关键风险关系，见表 6、表 7。

表 6 节点中间中心度

风险因素	中间中心度	风险因素	中间中心度	风险因素	中间中心度	风险因素	中间中心度
H21	18.406	H6	11.131	H5	11.913	H2	10.583

表 7 边的中间中心度

风险关系	中间中心度	风险关系	中间中心度	风险关系	中间中心度	风险关系	中间中心度
H21→H5	29.014	H17→H9	15.1	H13→H5	9.793	H6→H8	8.273
H6→H5	24.986	H5→H21	12.991	H13→H14	9.207	H3→H10	8.242
H2→H15	20	H14→H21	12.95	H9→H21	9.135	H21→H18	8.146
H5→H14	19.5	H5→H6	12.778	H1→H21	8.682	H21→H11	7.544
H5→H13	19	H14→H20	12.281	H21→H12	8.464	H21→H17	7.457

分析上表内容不难发现，H21、H5、H6、H2 这几个节点的中间中心度明显偏高，这意味着它们在风险网络中承担着核心中介职责，是风险管控需要重点关注的对象。在前 20 个关键风险关系当中，不少关系都涉及 H21、H5、H6 等核心节点，可见这些因素之间的传导路径，正是风险网络的关键通道。H21→H5、H6→H5、H2→H15 等路径，中间中心度特别高，尤其需要重点做好监控工作。

中间人分析的目的，是打破传统中心度分析只能识别核心节点的局限，进一步弄清装配式建筑风险因素在网络中的具体互动模式^[15]。在社会网络分析体系中，节点一般可划分为协调者、守门人、代理人、咨询人以及联络人这五类角色。这种分类能明确不同风险因素在跨子群传导时的功能定位，帮助解读风险从“源头”扩散到“全链条”的微观过程。使用 Ucinet 软件，完成块模型分析后，把风险因素的分组信息重新导入软件，开展中间人角色分析，对网络中各类角色的分布情况进行量化，并依据计算得到的频次判断各风险因素在网络中的重要程度，即出现频次越高，说明该风险因素在风险网络中的中介作用越突出。依据软件计算结果，选取数量排名前 20%（四舍五入）的风险因素，见表 8。

分析上表内容可以发现，这四个风险因素是网络里最核心的中间人，承担了大部分跨子群的中介行为。这些节点大多来自分组 4（H6、H19、H21）和分组 1（H2），和前期中介中心度的分析结果有着高度的一致性。

表 9 关键风险因素指标综合得分表

风险因素	Deg _i	Bet _i	Bro _i	S _i	风险因素	Deg _i	Bet _i	Bro _i	S _i
H21	1.00	1.00	1.00	1.00	H2	1.00	0.57	0.77	0.78
H6	0.85	0.60	0.58	0.68	H19	0.90	0.33	0.68	0.64

基于边中间中心度排序结果，选取边中心度≥10 的关联关系作为关键风险因素关联关系，计算结果见表 10。

表 10 关键风险关联关系的中间中心度表

风险关联关系	中间中心度	风险关联关系	中间中心度
H21→H5	29.014	H17→H9	15.1
H6→H5	24.986	H5→H21	12.991
H2→H15	20	H14→H21	12.95
H5→H14	19.5	H5→H6	12.778
H5→H13	19	H14→H20	12.281

结合表中数据能够看出，关键风险的关联情况大体上与

表 8 风险因素中间人分析

风险因素	中间人					数量总计
	协调人	守门人	代理人	咨询人	联络人	
H21	0	6	3	6	66	81
H2	0	15	6	7	34	62
H19	0	4	6	6	39	55
H6	4	3	6	5	29	47

3 关键风险因素及其关联关系的控制

采用多指标综合赋权的评价体系，以克服单一指标的局限性。具体而言，通过综合运用点度中心度、中间中心度与中间人分析这三个指标，在对指标进行标准化处理后确定权重，通过计算各项风险因素的综合得分，甄别出关键风险因素及其关联关系。

3.1 关键风险因素及关联关系的确定

由于三个指标的量纲和数值范围存在差异，为便于后续计算，需先对各指标进行标准化处理，使其取值处于[0,1]区间内^[16]。点度中心度标准化采用总度数，即点出度+点入度^[17]，记为 Deg_i；中间中心度记为 Bet_i^[18]；中间人分析标准化计算以各节点扮演的五类中间人角色总频次作为度量^[19]，记为 Bro_i。标准化后，各指标值均处于 [0,1]，且数值越大表示该节点在该维度上越重要。指标重要性相当，因此选取等权重法计算指标权重，将各风险因素综合得分记为 S_i^[20]；按 S_i 从高到低排序，选取排名前 20%作为关键风险因素，见表 9。

关键风险因素相符，只有 H5→H14、H5→H13、H17→H9 和 H14→H20 这四组关联未纳入关键风险因素范畴。这一结果进一步印证了边中间中心度指标在挖掘风险传导路径上的独特意义，它不仅能识别核心风险间的直接关联，还能捕捉到容易被忽视的“桥梁型”非关键风险因素，为后续制定全面的风险防控办法提供了更精准的支撑。

3.2 关键风险因素及其关联关系的控制措施

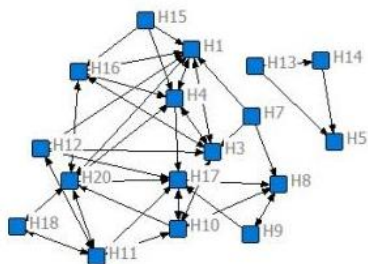
完成关键风险因素及其关联关系的识别后，针对这些核心风险因素和相关关联关系，结合专家的建议，制定了对应的控制办法。具体的控制措施，见表 11。

关键风险因素/关联关系	控制措施	关键风险因素/关联关系	控制措施
H2 违规操作与资格不符	严格执行特种作业人员持证上岗制度与动态核查工作；开展关键工序专项培训及实操考核；现场配备专职安全员，将违规操作与薪酬挂钩。	H6→H5	监理方案审核责任纳入考核；提前介入编制，把控技术要点；建立方案缺陷追责机制。
H6 施工技术方案缺陷	结合工况专项编制方案，明确关键工序参数；实行施工、监理、建设三方联审；应用 BIM 模拟验证方案可行性。	H17→H9	规范设备操作流程，避免误操作加速老化；要求记录设备运行状态；将设备完好率纳入操作岗位考核。
H19 起重吊装作业风险	编制专项方案并专家论证，明确设备与吊点参数；实行试吊制度，作业前全面检查吊具；吊装过程设专职指挥与安全员，监理旁站。	H5→H6	明确监理方案审核权限与责任，未审核不得实施；要求监理具备专业知识，识别方案缺陷；动态核查方案实施情况，及时叫停违规施工。
H21 临时支撑体系失稳	对支撑体系进行受力专项验算；采用物联网实时监测支撑沉降、应力；监理全过程旁站支撑安装、验收与拆除。	H5→H21	压实监理支撑体系管控责任，未验收不得施工；监理参与支撑设计验算，把控风险；支撑安全状况与监理履职评价挂钩。
H2→H15	培训中强化临边作业防护规范；重点管控临边作业人员行为，及时纠正违规；将临边防护完好率纳入班组考核。	H14→H20	科学制定工期，避免提前拆除支撑；严禁违法分包单位承担支撑施工；将支撑稳定性作为赶工审批前置条件。
H5→H14	明确监理分包资质审核责任，动态核查合规性，严禁违法分包；监理参与工期制定调整审批，对不合理赶工下达整改指令；将分包合规性与工期管控纳入监理履职考核，阻断缺位风险传导。	H14→H21	科学制定工期，避免提前拆除支撑；严禁违法分包单位承担支撑施工；将支撑稳定性作为赶工审批前置条件。
H5→H13	监理需参与招投标环节及合同审核工作，重点核查安全、分包及工期相关条款。对合同履行情况实施动态监督，发现违规违约行为及时下达相关指令，同时将合同管理合规情况纳入考核范围，以此强化前期的风险防控工作。	H21→H5	监理需构建全过程旁站支撑体系，把稳定性指标纳入考核范围。搭建失稳预警机制，对各类安全隐患及时处理解决，若是因监理缺位造成失稳问题，将对相关责任人严肃追究责任。

聚类系数由 0.497 降至 0.381, 降幅为 23.34%。将控制后的网络图与原始网络图对比可见, 控制后的网络不仅明显更为稀疏, 还能发现 H5 (监理责任缺位)、H13 (安全生产责任体系不落实)、H14 (违法分包与赶工期压力) 形成了一个孤立子网络, 与其他风险节点无直接关联。针对关键风险因素 (H21、H2 等) 及关键关系 (H21→H5、H6→H5 等) 实施的控制措施, 有效切断了管理类风险向技术、人员及设备层面传导的核心路径。

借助文本挖掘技术,从装配式建筑事故报告中提取风险因素,并结合社会网络分析方法,系统构建了装配式建筑施工安全风险因素及其关联关系网络。通过综合运用整体网络分析与个体网络分析,成功识别出关键风险因素及其核心风险关联关系,在此基础上提出了具有针对性的风险控制措施,并通过效果检验验证了措施的可行性与有效性。具体结论如下:

在各类风险应对措施落地执行后,开展效果监测工作是保障措施切实发挥作用的重要步骤。通过定期总结分析并评价措施的落实情况与实际成效,可及时优化完善相应的管控方案,确保风险管理工作能够平稳有序推进。这种具备动态性的风险管理模式,能够帮助施工团队更高效地处理装配式建筑项目建设期间产生的各类风险及不确定状况。装配式建筑施工阶段在执行风险应对措施后的风险网络结构,如图 4 所示。



在假定各项风险控制措施均落实到位的前提下, 风险因素数量由 21 个减少至 17 个, 风险关联数量从 141 条降至 58 条; 整体网络密度由 0.3357 下降至 0.2132, 降幅为 36.49%;

头,也是风险累积的关键节点,在跨子群风险传导中承担着主要的中介角色。

(2) 关键风险关系的识别。通过边中间中心度分析,筛选出10条中间中心度 ≥ 10 的关键风险关联关系。这些关系构成了风险在网络中传导的核心路径,其中 $H21 \rightarrow H5$ 、 $H6 \rightarrow H5$ 、 $H2 \rightarrow H15$ 等路径的中间中心度尤为显著。关键风险关系基本与关键风险因素吻合,但 $H5 \rightarrow H14$ 、 $H5 \rightarrow H13$ 、 $H17 \rightarrow H9$ 和 $H14 \rightarrow H20$ 四条关系涉及非关键风险因素,揭示了风险传导路径中易被忽视的“桥梁型”节点。

(3) 从风险控制措施的实施效果来看,在采取针对性管控策略后,风险网络内的风险因素数量由21个缩减至17个,风险关联数量由141条下降至58条;整体网络密度由0.3357降至0.2132,下降率达36.49%;聚类系数由0.497降至0.381,下降率达23.34%。网络结构显著稀疏, $H5$ 、 $H13$ 、 $H14$ 等管理类风险因素形成孤立子网络,有效切断了管理类风险向技术、人员及设备层面传导的核心路径,验证了控制措施的有效性。

5 结语

通过综合运用文本挖掘与社会网络分析方法,对装配式建筑施工安全风险要素及其相互关联展开系统性探究。搭建了风险网络并从整体结构与个体节点特征两个层面开展分析,筛选出临时支撑体系失稳、作业行为违规、人员资质不达标等重点风险因素,同时确定 $H21 \rightarrow H5$ 、 $H6 \rightarrow H5$ 等关键传导路径,证实了专项管控策略在阻断风险传递链条、优化网络拓扑结构中的实际作用。研究仍存在一定局限,主要体现在专家评价存在主观偏差、缺少动态演变过程与量化分析等问题。后续可引入动态网络分析手段,结合系统动力学或贝叶斯网络模型,深入解析风险要素的演变机制与耦合作用特征,并构建依托现场监测数据的风险预警体系。

【参考文献】

- [1]张亚军. 前瞻应对技术变革夯实建筑业高质量发展根基[J]. 建设科技, 2026, (02): 10.
- [2]“十四五”建筑业发展规划[J]. 工程造价管理, 2022, (02): 4-10.
- [3]赵娟, 焦丽明. 装配式建筑产业发展现状及对策[J]. 建筑科学, 2024, 40(06): 116-122.
- [4]安宁祺, 李永周, 王卓. 高质量发展背景下的建筑施工企业安全文化建设[J]. 安全与环境工程, 2025, 32(05): 105-112.
- [5]李强年, 王乔乔. 基于NB-IoT技术的装配式建筑吊装安全风险管控[J]. 工程管理学报, 2020, 34(06): 113-118.
- [6]Luo Z, Guo J, Han J, et al. Research on the construction safety risk assessment of prefabricated subway stations in China[J]. Engineering Construction and Architectural Management, 2024, 31(4): 1751-1787.

[7]鲍宜周. 装配式建筑安全管控体系及其绩效评价[J]. 建筑经济, 2020, 41(S1): 297-300.

[8]本刊编辑部. 2025 公布调查报告的重特大事故[J]. 劳动保护, 2026, (02): 14-15.

[9]张雯雯, 许鑫. 文本挖掘工具述评[J]. 图书情报工作, 2012, 56(08): 26-31+55.

[10]刘晓霞, 郭晓婕. 基于 SNA 的施工现场火灾事故关键风险识别与对策研究[J]. 建筑安全, 2025, 40(12): 94-98.

[11]张爱琳, 王光浩, 丁超, 等. 基于社会网络分析法的装配式建筑供应链关键风险因素[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(19): 8372-8381.

[12]Alessio M. A Note on Matricial Ways to Compute Burt's Structural Holes[J]. Symmetry, 2023, 15(1): 211-211.

[13]白新华. 基于社会网络分析法的农村基础设施 PPP 项目残值风险研究[J]. 农业经济, 2023, (05): 89-91.

[14]Ren R, Hu G, Fang J, et al. Investment Risk Analysis of Municipal Railway Construction Projects Based on Improved SNA Methodology[J]. Buildings, 2025, 15(22): 4025-4025.

[15]Huang J, Fang J, Guo P, et al. Coupling analysis of multiple risk factors in deep foundation pit construction of metro station based on the N-K/SNA model[J]. Scientific Reports, 2025, 15(1): 15919-15919.

[16]江新, 简丽, 彭佳雨, 等. 基于 SNA-SD 的高支模施工安全风险演化规律研究[J]. 人民长江, 2025, 56(08): 162-169.

[17]骆明真, 李红星. 基于 N-K 和 SNA 模型的旧工业建筑施工改造风险耦合分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2025, 22(05): 2293-2302.

[18]王青娥, 荆浩飞, 蔡超勋. 基于 SNA 的铁路工程技术创新双重风险网络特征及演化研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2024, 21(10): 4288-4298.

[19]许璨, 宇德明, 罗含. 基于 SNA 的大型工程项目关键利益相关者和社会稳定风险因素识别[J]. 铁道科学与工程学报, 2024, 21(05): 2048-2058.

[20]周云, 邹少豪, 周晓枫, 等. 基于星载 InSAR 技术的房屋建筑安全风险评价指标体系综述[J]. 建筑结构学报, 2026, 47(01): 1-25.

作者简介: 李艳芳(1981—), 女, 副教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 房地产开发与管理;

王淑娴(通信作者)(2001—), 女, 研究方向: 工程建造与管理;

聂琳然(1998—), 女, 研究方向: 工程建造与管理;

陈庆辉(2001—), 男, 研究方向: 工程建造与管理。