

基于 SNA 的绿色建筑施工阶段风险管理研究

张玉琢,穆晓丹,毕天平

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要:首先,识别了绿色建筑施工阶段的风险因素,并根据不同利益相关者进行了归类;其次,运用社会网络分析(Social Network Analysis, SNA)方法构建了风险关联网络,通过研究风险因素及其相互影响,确定了风险网络中的关键风险及其关联;再次,研究揭示了通过对核心风险因素及其相互关系的精准控制,能够有效切断风险在网络中的传播路径;最后,提出了有针对性的风险应对策略,并通过实证分析验证其实际效果,旨在为绿色建筑施工阶段的风险管理提供理论指导和实践参考。

关键词:绿色建筑;施工阶段;风险管理;社会网络分析;利益相关者

中图分类号:TU712.1 **文献标志码:**A

引用格式:张玉琢,穆晓丹,毕天平.基于 SNA 的绿色建筑施工阶段风险管理研究[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2024,26(3):259-265.

为实现建筑行业的绿色转型,提高建筑性能并确保建筑业可持续发展,绿色建筑的推广与实施已成为了紧迫的任务^[1]。绿色建筑相较于传统建筑,在环境保护和建造技术方面有着更为严格的要求。此外,绿色建筑的实施不仅要求各参与方具备相关的绿色建筑知识和经验,还需要各方之间开展更加紧密的合作,共同关注建筑的最终用户的安全与健康^[2]。这些要求使得绿色建筑在施工过程中面临着比传统建筑更为复杂的挑战和风险。

目前,已有学者对绿色建筑风险的识别与评价进行了研究。万欣等^[3]运用统计分析方法对中国绿色建筑全寿命周期风险的重要性进行了评估。Hwang B 等^[4]运用结构访谈的方法对 25 家新加坡建筑公司进行了调研,并对新加坡绿色商业建筑项目全寿命

周期中的风险因素进行了识别和评估。王淋等^[5]采用复杂网络分析的方法,证明了绿色建筑利益相关者间的风险关联性较强,并提出了一种风险协同治理的思路。俞洪良等^[6]基于总承包视角,利用结构方程探究了绿色建筑的关键风险因素。

尽管目前已有研究对绿色建筑的风险进行了初步的识别和评估,但这些研究大多将风险因素视为孤立的存在,忽略了它们之间的相互关联。本研究旨在通过社会网络分析(Social Network Analysis, SNA)方法,对绿色建筑施工阶段的风险因素及其相互依赖关系进行系统的量化分析。这种方法有助于揭示风险因素之间复杂的相互作用,为绿色建筑的风险管理提供更为精确的指导。另外,已有研究虽从利益相关者角度对绿色建筑风险进行了识别与管理,但是缺乏对绿色建

筑施工阶段的关注,施工阶段是绿色建筑项目实施过程中风险较高的阶段,对其进行有效管理可以推动绿色建筑在中国的进一步发展。因此,本研究运用 SNA 方法,从利益相关者角度对绿色建筑施工阶段风险因素及其相互依赖关系进行定量分析,从而准确界定各利益相关方在潜在风险管理中的具体职责和角色,并尝试提出有针对性的风险应对措施。

一、相关概念与分析方法

1. 项目风险管理

项目风险管理涉及识别、监控和评估可能影响项目目标和进度的不确定因素,旨在通过科学且高效的管理策略制定风险应对方案。风险管理的关键步骤包括:风险识别(通过专家评估、数据分析等方法精准定位项目潜在风险因素)、风险分析(探讨风险的根源、影响力和相关性)、风险评估(运用层次分析法、蒙特卡洛模拟等技术评价风险的可能性和潜在影响)以及风险应对(基于风险评估结果采取针对性措施)。

2. 社会网络分析

SNA 方法通过图表和矩阵来表示由节点及其相互关系构成的集合,使研究者能够对网络结构及节点进行定量分析。SNA 不仅揭示了节点分布和网络中的传递机制,而且能够评估单个节点对整体网络的影响^[7]。在建筑工程风险管理领域,SNA 方法已经得到了广泛地研究和应用,如利用 SNA 方法构建风险网络^[8]、评估风险因素的相互关联性以及对风险的传播机制进行量化分析等^[9]。

3. 基于 SNA 的风险管理

基于 SNA 的绿色建筑施工阶段风险管理研究主要包含 5 个环节(见图 1):风险因素的识别和分类(基于利益相关者视角)、风险关系的确立、风险网络的构建、关键风险因素及其关系的识别以及有针对性的风险应对措施制定和效果评估。这一研究框架旨在为绿色建筑施工阶段的风险管理提供系统性的理论指导和实践策略。

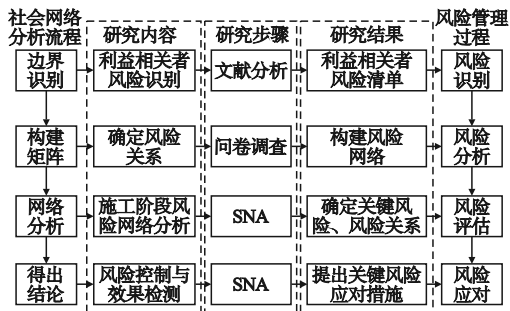


图 1 基于 SNA 的绿色建筑施工阶段
风险管理研究框架

二、利益相关者与风险识别

1. 利益相关者的识别

本研究针对绿色建筑施工阶段,细分并识别出六大核心利益相关群体,包括开发商、设计团队、承包商、监理单位、供应商及政府监管机构。这些利益相关方之间形成了多层次、复杂的互动关系网络。例如,开发商与承包商、供应商、监理单位以及设计团队之间建立了合同关系;承包商需与供应商、设计团队保持紧密合作关系;监理单位则承担着对承包商施工过程的监管责任。综上所述,绿色建筑施工阶段各利益相关者间的关系如图 2 所示,其中实线为合同关系,双向虚线为合作关系,单向虚线为监督关系。

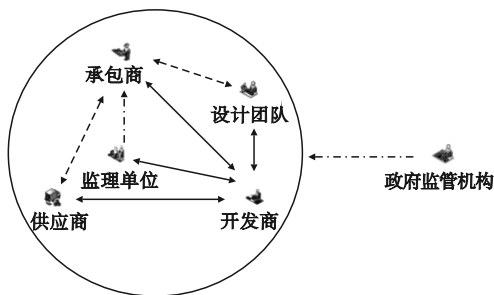


图 2 绿色建筑施工阶段利益相关者的关系

2. 风险因素的识别与归类

绿色建筑施工阶段风险管理首要任务是对风险因素进行识别,风险因素包括无法由项目管理者直接控制的外部风险因素和项目内部风险因素。本研究聚焦于施工阶段的内部风险,综合前期研究成果,构建了涵盖 23 个风险因素的风险清单(见表 1),为进一步的风险评估与管理奠定了基础。

表 1 绿色建筑施工阶段风险因素的识别与归类

利益相关者	编号	风险因素
开发商 S1	S1R1	绿色建筑投资超出预期
	S1R2	为达成绿色目标变更建筑要求
	S1R3	缺乏绿色建筑管理经验
设计团队 S2	S2R4	缺乏绿色建筑设计经验
	S2R5	绿色建筑设计方案的可操作性差
	S2R6	绿色建筑设计水平低
	S3R7	缺乏有绿色施工经验的技术人员和管理人员
承包商 S3	S3R8	承包商对新材料、新技术及新设备的应用经验不足
	S3R9	承包商未有效执行绿色施工方案
	S3R10	施工现场人员流动性大
	S3R11	使用性能不稳定的绿色材料或设备
	S3R12	绿色建筑项目未按期完工
	S3R13	绿色施工成本超出预期
	S3R14	绿色施工方法的可行性差
	S3R15	绿色施工导致的施工难度增大
	S3R16	对绿色建筑理解偏差导致的返工
	S3R17	绿色施工未达到节能环保的要求
监理单位 S4	S4R18	未严格执行绿色建筑标准
	S4R19	缺乏绿色建筑经验
供应商 S5	S5R20	绿色建材及设备价格过高
	S5R21	建筑材料及设备质量达不到相关要求
政府监管机构 S6	S6R22	绿色建筑法律法规体系不健全
	S6R23	绿色建筑标准及激励政策变化

三、网络模型的构建与分析

1. 数据收集与分析

在确定绿色建筑施工阶段的利益相关者和风险因素后,通过问卷调查方式收集数据。利用风险相关矩阵来明确风险因素间的互影关系。其中,存在影响关系用“1”标记,无影响关系用“0”标记。问卷的题项设计仅针对可能存在的影响关系,有效减少了填写工作量并提升了问卷质量。问卷通过网络平台发放,共回收 122 份问卷,其中有效问卷 96 份。

为验证问卷填写的一致性,应用 SNA 工具 Ucinet 6.0 进行数据一致性和拟合共识检验。将收集到的 96 份有效问卷通过“Data→Spreadsheet→Matrix”路径构建“问卷-结果”矩阵,在“Tools→Consensus Analysis”操作程序中得到一致性矩阵的第一大特征值与第二大特征值的比值为 6.492,超过了 3.0 的标准阈值,说明问卷数据具有较高的一致

性,为构建风险关联关系邻接矩阵打下了可靠的基础。

2. 风险网络分析

(1) 风险网络可视化

将邻接矩阵导入社会网络可视化工具 Netdraw,得到了绿色建筑施工阶段风险有向网络的可视化结构(见图 3)。图 3 揭示了网络的高密集性和风险因素间的广泛联系,特别是 S3R12、S3R13 等风险因素位居网络核心,说明它们在风险网络中具有重要作用。

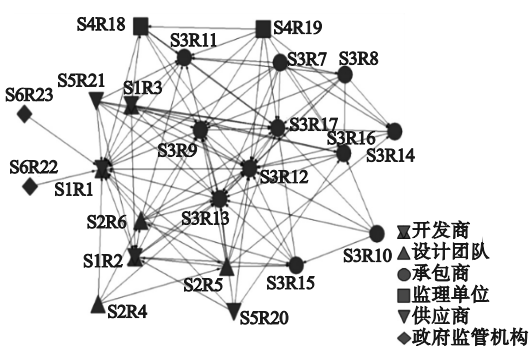


图 3 绿色建筑施工阶段风险网络

(2)整体网络分析

网络密度反映了网络中节点的紧密程度,是整体网络分析中的常用指标。整体网络密度的计算公式为

$$D = \frac{K}{N(N-1)}, 0 \leq D \leq 1 \tag{1}$$

式中: D 为整体网络密度; K 为网络中实际存在的关系数量; N 为网络中的节点数量; $N(N-1)$ 为风险网络中各节点之间可能存在的最大关系总数。

利用 Ucinet 6.0 软件在“Network→Cohesion→Density→Old density procedure”操作程序下计算得到的整体网络密度为 0.209 5,表明该网络中实际关系总数约占各节点之间可能存在最大关系总数的 21%,说明网络具有一定的紧密性。聚类系数指风险网络中节点间最短路径的关系数,能反映网络节点的聚集程度,利用 Ucinet 6.0 软件在“Network→Cohesion→Clustering Coefficient”操作程序下计算得到的聚类系数为 0.331,该值大于整体网络密度,表明风险网络结构较为复杂。

利用块模型(Block-modeling)对风险网络进行整体分析是一种高效的方法,它通过简化网络结构,将复杂的风险网络分解为若干更易于管理和分析的子群。通过应用 Ucinet 6.0 软件的 CONCOR 算法,风险节点被有效地分类,并以此形成了清晰的风险网络结构。在“Network→Roles & Positions→CONCOR”操作程序下对绿色建筑施工阶段风险网络中的风险因素进行分块(见表 2),同时得到风险网络块模型密度矩阵。此过程中,整体网络密度被用作区分不同块(“1 块”和“0 块”)的标准,通过比较每个节点间的密度值与预定的阈值(0.209 5),即将密度矩阵中小于阈值的值记为 0,大于阈值的值记为 1,构建的风险网络块模型像矩阵结果如表 3 所示,这为深入理解风险网络的内部结构奠定了基础。

基于 Burt R S^[10]提出的位置划分观点(不同的块在网络中扮演着不同的角色)对表 3 进行分析:块 1 没有与网络中的其他节

表 2 风险网络分块结果

块	风险因素
1	S1R1
2	S3R12, S3R13
3	S3R9, S3R11, S3R14
4	S3R16, S3R17
5	S1R2, S2R5, S2R6
6	S2R4, S6R22, S6R23
7	S1R3, S3R7, S3R8, S4R18, S4R19, S5R21
8	S3R10, S3R15, S5R20

表 3 风险网络块模型像矩阵结果

块	1	2	3	4	5	6	7	8	发送关系	内部关系
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	0	0	0	0	0	2	1
3	1	1	0	1	0	0	0	0	3	0
4	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
5	1	1	1	1	1	0	0	0	4	1
6	1	0	0	0	1	0	0	0	2	0
7	1	1	1	1	0	0	0	0	4	0
8	1	1	0	1	0	0	0	0	3	0
接受关系	6	5	3	4	1	0	0	0	—	—

点建立联系,因此为孤立者位置;块 2 和块 5 同时存在发送关系和接受关系,且显示出紧密的内部关系,这标志着它们在网络中为首属人位置;块 3 和块 4 虽然也具有发出和接受关系,但内部联系相对较弱,因此被认定为经纪人位置;块 6、块 7 和块 8 主要表现为发送关系,这些块在网络中处于边缘位置。这样的分析揭示了风险网络中各个节点群体的关键特征和相互作用,特别是首属人位置的块(块 2 和块 5),它们因其密切的内部和外部联系,在网络中占据核心地位。通过这种方式,块模型分析不仅简化了对复杂风险网络结构的理解,而且揭示了网络中潜在的影响力分布和信息流动路径,为风险管理策略的制定提供了重要的依据。

(3)个体网络分析

中间人分析。中间人分析能揭示哪些风险因素在风险网络中起到了连接不同部分的关键作用,在个体网络分析中占据着重要地位。社会网络中一般包含 5 类中间人(角色):协调人、守门人、代理人、咨询人和联络人,这些中间人能有效地将原本分隔的风险

节点连接起来,对于风险信息的流通和风险传递具有决定性的影响。利用 Ucinet 6.0 软件“Network → Ego Networks → Brokerage roles”操作程序下进行的中间人分析能够量化这些角色的存在,通过计算风险因素在扮演不同中间人角色的频率来评估它们在网络中的重要性。频率高的风险因素说明它们在风险网络中充当了重要的中介角色,这对于理解风险传播的路径和动态极其关键。

基于计算结果,列出了排名前 20% 的风险因素(见表 4),这 5 个风险因素为在风险网络中起到桥梁作用的关键节点。这些风险因素不仅数量多,而且在扮演不同中间人角色的种类上也表现出多样性,说明它们在连接网络各部分、促进风险信息流通方面起到了不可替代的作用。

表 4 绿色建筑项目风险因素中间人排序

排名	风险因素	中间人					数量
		协调人	守门人	代理人	咨询人	联络人	总计
1	S3R13	0	1	0	1	19	21
2	S2R6	1	1	3	0	5	10
3	S1R2	0	3	0	1	4	8
4	S2R5	0	1	1	0	5	7
5	S3R12	0	0	0	0	6	6

中间中心性分析。中间中心性表示基于最短路径的特定节点或连线位于其他节点或连线之间的发生概率^[11]。中间中心性分析是个体网络分析的一个重要方面,它关注特定节点或连线在网络中作为中介的能力和频率,能揭示某些节点或连线在风险传播过程中的关键作用。通过计算每个节点或连线的中间中心度,可以量化它们在连接网络中两点之间最短路径上的重要性。一个高中间中心度的节点或连线表明它在网络中占据了一个关键的“桥梁”位置,能频繁地参与不同节点间的连接和风险传递。这样的节点或连线对于网络的结构和功能具有显著的影响,其存在可能促进或阻碍信息、资源或风险在网络中的流动。节点或连线的中间中心度的计算公式为

$$b_{jk}(i) = \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}} \tag{2}$$

式中: g_{jk} 为连接节点 j 、 k 的路径数量; $g_{jk}(i)$

为连接点 j 、 k 且经过节点或连线 i 的路径数量; $b_{jk}(i)$ 为节点或连线 i 位于连接节点 j 、 k 之间的概率。

使用 Ucinet 6.0 软件在“Network → Centrality → Freeman Betweenness → Node Betweenness/Line Betweenness”操作程序下求得计算结果,并分别列出了中间中心度排名前 20% 的风险因素和风险关系(见表 5、表 6)。对计算结果进行中间中心性分析,能够识别出风险网络中的核心节点和连线。例如,S3R13 的高中间中心度表明它在风险网络中的传播路径上占据了显著的位置,对其他风险因素的传递起到了强有力的影响作用。此外,与 S3R13 相关的风险关系在网络中的频率也非常高,进一步佐证了其在网络中的核心作用。

表 5 节点的中间中心度排序

排名	风险因素	中间中心度
1	S3R13	18.150
2	S1R2	13.600
3	S2R6	12.200
4	S2R5	8.167
5	S3R17	6.833

表 6 连线的中间中心度排序

排名	风险关系	中间中心度	排名	风险关系	中间中心度
1	S1R2→S2R6	13.066	12	S1R2→S3R15	4.533
2	S3R13→S3R11	10.700	13	S2R4→S2R5	4.167
3	S2R6→S2R5	10.000	14	S3R12→S1R1	4.083
4	S3R17→S3R13	9.333	15	S3R14→S3R17	4.000
5	S3R13→S3R9	8.033	16	S2R4→S2R6	3.667
6	S2R5→S3R14	7.000	17	S3R13→S1R1	3.083
7	S3R20→S3R2	6.100	18	S3R10→S3R13	3.000
8	S3R21→S1R2	5.500	19	S5R20→S3R13	2.900
9	S3R11→S3R17	5.200	20	S3R9→S3R13	2.833
10	S1R3→S1R2	5.000	21	S3R9→S3R17	2.733
11	S3R16→S3R13	4.833			

四、风险控制与效果检测

1. 关键风险及关系识别

在风险控制与效果检测环节,综合应用个体网络分析和整体网络分析的结果对关键风险因素进行识别是至关重要的第一步。通过对网络中节点的中间人角色和中间中心性的深入分析,可以确定风险网络中的潜在关

键风险因素。第二步,将潜在关键风险因素与整体网络分析中识别出的核心块中的风险因素进行对比,找出两者的交集,从而确定关键风险因素。

在本研究中,由个体网络分析中的中间人分析得到的潜在关键风险因素分别为 S3R13、S2R6、S1R2、S2R5 和 S3R12;通过节点的中间中心度分析得到的潜在关键风险因素分别为 S3R13、S1R2、S2R6、S2R5 和 S3R17;整体网络核心块 2 和块 5 中包含的风险因素分别为 S1R2、S2R5、S2R6、S3R12 和 S3R13。通过上述方法确定的 5 个关键风险因素分别为 S1R2、S2R5、S2R6、S3R12 和 S3R13,这些风险因素不仅在个体网络分析中表现出高度的中间人角色和中间中心性,而且位于整体网络的核心块中,这表明它们在风险传播和网络结构稳定性中起到了重要作用。关键风险关系的确定取决于连线的中间中心度,由表 6 可知,除排名为第 9、第 15

和第 21 的关键风险关系外,其他均与 S3R13、S1R2、S2R6、S2R5 和 S3R17 这几个关键风险因素相关。对关键风险因素进行管控,能间接对与之相关的关键风险关系产生控制作用,因此,不再提出应对措施。

2. 风险应对措施

在识别了关键风险因素之后,风险应对措施的制定和实施变得尤为关键。针对这些关键风险因素和相关的风险关系,应制定一套具体可行的措施来减少它们对绿色建筑施工阶段的潜在负面影响。这些措施包括但不限于改善项目管理流程、增强项目团队的风险意识、优化供应链管理、加强与关键利益相关者的沟通等。此外,对于与关键风险因素直接相关的风险关系,可以通过加强对这些关键风险因素的管理和监控来间接进行控制,从而避免对整个风险网络进行逐项分析,提高风险管理的效率。具体的风险应对措施如表 7 所示。

表 7 关键风险因素和关键风险关系应对措施

利益相关者	关键风险因素/关系	应对措施
开发商	S1R2	开展相关培训学习活动,提高对绿色建筑的认知程度;对市场供需、政策补贴等情况进行翔实的市场研判,找准项目在绿色建筑市场的定位;使设计团队、承包商等主要利益相关者尽早介入项目前期规划阶段并加强协调沟通,尽早明确己方绿色建筑目标
	S2R5、S2R6	组织学习关于绿色建筑项目的技术和经验;实地考察项目所在地的气候、资源和地理环境,确保设计方案因地制宜,同时做好设计创新的可行性调查与论证;尽早与开发商、承包商沟通建筑目标及施工细节,可应用 BIM 技术实现高效协同设计并进行碰撞检查
承包商	S3R12、S3R13	加强与开发商的合同管理,明确项目工期并严格规定工程变更事由;制定科学合理的施工进度计划和资金分配计划,保证人力、材料和设备按时按需进场;全面考虑绿色施工成本,增强风险意识,通过分批、分期采购材料与设备来降低因价格波动而造成的影响
	S3R9→S3R17	通过熟悉绿色建筑规范标准,切实提高对绿色施工的认知水平并改善项目管理流程;加强与设计团队的沟通,根据设计方案拟定的绿色材料与设备制定相应的施工方案
	S3R11→S3R17	选择有资质且具备供货保障的供应商;联合监理单位共同制定合理的质量监管体系,持续优化供应链管理,严格执行绿色建材、设备进场验收工作
	S3R14→S3R17	积极组织项目人员学习绿色建筑施工技术和管理方法(如开展研讨会等),总结类似项目的施工经验与教训;吸引具备绿色建筑项目施工经验的专业人才

3. 应对措施效果检测

风险应对措施实施后,进行效果检测是确保这些措施有效性的关键。通过定期回顾和评估应对措施的执行情况和效果,可以及时调整和优化策略,确保风险管理的持续有

效。这种动态的风险管理过程有助于施工团队更好地应对绿色建筑项目实施过程中可能遇到的各种挑战和不确定性。采取风险应对措施后的绿色建筑施工阶段风险网络如图 4 所示。

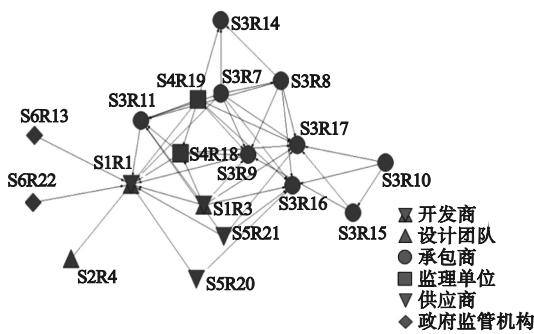


图 4 采取风险应对措施后的绿色建筑
施工阶段风险网络

在本研究中,假定风险应对措施都得到有效执行,则风险网络中的风险因素由 23 个减少为 18 个,风险关系数量由 106 降至 45;整体网络密度由 0.209 5 降至 0.147 1,下降率达 29.79%;聚类系数由 0.331 降至 0.143,下降率达 56.8%。将图 4 与图 2 进行对比,可以直观地看出风险网络的节点和连线数量显著减少,风险网络更加稀疏。检测结果表明,本研究提出的措施能够减少风险因素和风险关系的数量,降低风险网络的复杂程度,有效阻断风险在网络中的传递。

五、结 论

本研究通过深入分析绿色建筑施工阶段的风险网络,采用 SNA 方法成功地识别了关键风险因素和关键风险关系,通过对关键风险及其关系的综合分析,提高了各参与方控制风险的有效性和准确性,通过应对措施的实施和效果检测,展示了风险网络结构的显著变化,验证了措施的有效性。具体研究结论如下。

- (1)关键风险因素的识别。通过个体网络分析和整体网络分析的结合,本研究确定了 5 个关键风险因素: S1R2、S2R5、S2R6、S3R12、S3R13,这些因素在风险网络中占据核心位置,对风险传递和网络结构稳定性有重大影响。
- (2)关键风险关系的识别。通过连线的中间中心度分析,确定了 21 条关键风险关系,其中 3 条与关键风险因素无直接关联,揭示了风险传递的关键路径。

(3)风险应对措施的效果。实施有针对性的风险应对措施后,风险网络中的风险因素数量和风险关系数量显著减少,整体网络密度和聚类系数均有显著下降,表明风险网络的紧密程度和复杂度显著降低,有效地阻断了风险在网络中的传递。

参考文献:

[1] 孔凡文,张晴晴,李洪波. 绿色建筑发展中存在的问题及对策建议[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版),2021,23(3):258-262.

[2] 秦旋,李怀全,莫懿懿. 基于 SNA 视角的绿色建筑项目风险网络构建与评价研究[J]. 土木工程学报,2017,50(2):119-131.

[3] 万欣,秦旋. 基于实证研究的绿色建筑项目风险识别与评估[J]. 建筑科学,2013,29(2):54-61.

[4] HWANG B,SHAN M,SUPAAT N N B. Green commercial building projects in Singapore: critical risk factors and mitigation measures[J]. Sustainable cities and society, 2017 (30): 237-247.

[5] 王淋,马力,宁金华. 绿色建筑项目风险协同治理的演化博弈研究[J]. 工程管理学报,2019,33(1):90-94.

[6] 俞洪良,陈佳络. 基于 SEM 的 EPC 模式下绿色建筑项目风险链研究[J]. 科技管理研究,2021,41(17):199-205.

[7] 李丽红,张如梦. 利益相关者视角下的老旧小区改造利益补偿策略研究[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版),2022,24(4):379-384.

[8] 王淋,马力,张平. 基于 SNA 的我国绿色建筑项目风险关联关系研究[J]. 施工技术,2016,45(4):62-65.

[9] 王柔佳,王成军. 基于 SNA 的装配式建筑项目关键风险识别与对策[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2019,50(2):247-250.

[10] BURT R S. Positions in networks[J]. Social forces,1976,55(1):93-122.

[11] 黄桂林,张闯. 基于 SNA 的装配式建筑绿色供应链风险[J]. 土木工程与管理学报,2020,37(2):41-49.