

doi: 10.19868/j.cnki.gylgl.2020.09.003

# 基于复杂网络的建材供应链金融风险传播与防范研究\*

傅培华 王秀丽 赵 萌 郭雨辰

(浙江工商大学管理工程与电子商务学院, 浙江 杭州 310018)

**摘 要:** 为了评估企业违约风险传播对建材供应链金融发展的影响, 文章以基于平台的建材供应链金融为研究对象, 以供应链成员间的合作程度为依据, 将建材供应链网络转化为无向加权的复杂网络, 并将网络节点的度和边的权重作为影响违约风险传播速度和传播范围的主要因素, 构建了基于 SI 病毒传播模型理论的建材供应链金融违约风险传播模型。以此模型进行仿真分析, 对建材供应链金融网络的违约风险传播与防控进行研究。通过案例研究发现, 企业自身的抗风险能力和网络中违约企业的数量对风险传播的影响较大, 平台和企业都应制定风险防范措施来应对建材供应链金融违约风险的产生和传播。

**关键词:** 供应链金融; 复杂网络; 建材行业; 风险传播

**中图分类号:** F832.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7934 (2020) 09-0021-15

## 一、引言

进入 21 世纪, 我国城市化的推进为建材行业的发展奠定了基础。在国家政策的大力支持下, 建材行业蓬勃发展, 水泥和平板玻璃生产总量分别占据国际市场的 70% 和 90%, 其他各类建材产品的产量都占到全世界 60%, 是名副其实的建材大国。据公开数据统计, 2015—2019 年我国建材行业的年销售总利润从 3615.6 亿元上升到 4624 亿元, 2019 年建材行业主营业务收入 5.3 万亿元, 同比增长 9.9%, 利润总额达到了 4624 亿元, 同比增长 7.2%, 销售利

\*基金项目: 国家社科基金项目“‘一带一路’倡议下国际供应链金融风险传播与防范研究”(18BGL101)

作者简介: 傅培华(1966—), 男, 浙江绍兴人, 浙江工商大学管理工程与电子商务学院教授、博士生导师, 研究方向: 供应链金融、供应链网络优化、物流大数据应用;

王秀丽(1993—), 女, 浙江绍兴人, 浙江工商大学管理工程与电子商务学院硕士研究生, 研究方向: 供应链管理;

赵萌(1996—), 女, 河南漯河人, 浙江工商大学管理工程与电子商务学院硕士研究生, 研究方向: 供应链管理;

郭雨辰(1997—), 男, 浙江杭州人, 浙江工商大学管理工程与电子商务学院硕士研究生, 研究方向: 供应链管理。

润率为 8.7%<sup>[1]</sup>。

在建材行业中，多数经销商和项目方为中小型企业，在其生产运作与经营活动中需要大量资金的长期支持。当涉及房地产项目或政府部门的项目时，前期投入巨大，而且工程交付期较长，单靠企业自身的流动资金往往无法独自承接这些项目，需要从企业外部寻求资金的支持。但是由于中小企业的资信、财务及内部经营管理等问题达不到银行信贷的要求，很难从银行得到融资服务，而抵押担保贷款的手续较为繁杂，中小企业需要承担较高的时间成本和相关费用<sup>[2]</sup>。由于缺乏资金的支持，企业的发展严重受限，诸多中小建材企业面临“融资难、融资贵”的发展瓶颈。在这样的环境背景下，供应链金融应运而生。

供应链金融是近年来兴起的一种新型融资模式，以供应链上各节点企业信用为背书，运用互联网技术手段对交易数据进行全程信用监控，能够有效解决中小企业“融资难、融资贵”的问题<sup>[3]</sup>。

“互联网+”战略促进了建材供应链金融的发展。在实际的建材供应链中，上游供应商往往会借助其地位优势要求下游经销商不断缩短赊销账期，而下游经销商企业由于资金困难导致还款时间逐步延长，导致违约情况的发生，进一步恶化了企业信誉，加大了融资难度。同时，互联网的虚拟性和主体结构的复杂性也加大了供应链金融的资金风险<sup>[4]</sup>。因此，研究建立供应链金融违约风险的传播模型，以便有效地防范供应链金融违约风险，对于解决我国建材行业建设和发展中出现的融资风险问题具有重大意义。

## 二、文献综述

国外对供应链金融的研究比较早，已取得大量研究成果。Berger<sup>[5]</sup>等最早研究了供应链金融思想，并提出一些关于中小企业融资路径。Guillen<sup>[6]</sup>提出将企业生产与融资相结合的供应链管理新模式，有利于企业的运营和资金流通，增加整体收益。Berger<sup>[7]</sup>基于供应链上企业贸易往来的情况构建供应链金融的基本框架，认为供应链金融有助于中小企业进行融资。张晓涛<sup>[8]</sup>认为供应链金融在相当程度上能有效解决供应链上中小企业的融资难题。杜航<sup>[9]</sup>的研究表明供应链金融能够为供应链上的核心企业、金融机构以及中小企业提供更高的收益，实现多方共赢。付静<sup>[10]</sup>聚焦中小企业的融资困境和传统融资模式的弊端，分析了供应链金融的优势，为解决中小企业融资问题提出了新方向。

随着经济的发展，供应链金融应运而生，其独特的运作模式和 market 价值既能给企业创造商机和价值，也可能会给企业带来风险，因此要对风险进行有效防范<sup>[11]</sup>。Hallikas<sup>[12]</sup>针对供应链金融风险不确定的特点提出了风险是供应链内在和外在各种不确定性因素的产物，并将供应链金融风险命名为“供应链的薄弱性”。Seifer<sup>[13]</sup>提出供应链上下游企业之间与商业银行之间存在的信息不对称会导致供应链金融产生风险。Rao<sup>[14]</sup>在识别供应链风险过程中，进一步将风险细分为企业经营风险、企业内部风险、外部宏观环境风险和行业系统性风险。张志浩<sup>[15]</sup>提出中小企业的违约风险是银行机构面临的最严峻的风险，并依据供应链融资模式违约风险成因构建评价体系，利用 Logistic 回归分析中小企业的违约概率。陈志明<sup>[16]</sup>基于制造商、分销商和零售商的三级供应链，运用考虑违约风险和实践价值因素的改进报童模型，分析违约概率和信用期导致的风险对企业订货批量决策的影响。樊新民<sup>[17]</sup>分别对三种基本的融资模式进行分析，基于融资企业潜在的违约风险点探讨供应链金融违约风险的特征，并制定应对的风险防范规则。徐勇戈<sup>[18]</sup>基于供应

链金融信用风险理论, 结合建材企业的行业特征, 建立风险评价体系的 Lasso - SVM 模型, 用于识别建材企业的违约风险, 为信贷银行融资业务提供新思路。

在供应链网络风险和金融信用风险等的传播中, 基于传播动力学的研究是目前国内外学者关注的重点。Garvey<sup>[19]</sup>利用叶贝斯网络构建供应链网络风险传播的模型, 用于分析不同风险之间的相互依赖性, 以便更好地研究供应链金融网络中的风险。Serrano<sup>[20]</sup>提出支付不确定性会对供应链金融网络产生风险, 并研究了其对上游供应商造成的风险影响。庞春媛<sup>[21]</sup>将 SIRS 传染病模型运用到供应链网络中, 探究了网络的稳定性及违约风险发生的可能性, 并提出有效的控制策略。杨康<sup>[22]</sup>在供应链风险传播的研究中引入 SIS 模型, 并构建供应链网络风险传播模型 (SIS - RP), 通过仿真分析了其在供应链风险传播中的适用性, 以及风险传播的阈值和传播速度。谭禹臻<sup>[23]</sup>等人通过研究供应链金融风险和风险传播的相关内容, 证明风险传播在供应链金融融资过程中是客观存在的。储雪俭<sup>[24]</sup>认为风险的传播性是供应链违约风险在供应链金融复杂网络中扩散的主要原因。因此, 传染病模型可以被引入到供应链金融风险的传播中。李永奎<sup>[25]</sup>基于传染病学原理在小世界网络的框架下, 构建不完全免疫情境下的企业间关联信用风险的传染模型, 分析了关联信用风险的传染概率和企业自身的免疫治理能力, 认为传染病模型的应用对于预防和控制关联企业间信用风险的传播具有现实意义。

综上所述, 目前已有大量学者对供应链金融和供应链金融风险进行了研究, 但较多的研究集中在对供应链金融信用风险的防范和控制上, 很少有学者研究供应链金融网络中节点企业间的违约风险问题。相关研究都是从不同角度来证明供应链金融网络中存在风险以及风险对网络中企业运营的影响, 但是没有深入的考虑供应链金融违约风险的传播情况, 例如违约风险在供应链金融网络中的传播速度、不同风险源和不同风险数量对违约风险传播的影响。而且研究者大多是对广义的供应链金融的研究, 较少将研究对象具体到某一行业或领域中。因此, 本文以基于平台的建材供应链金融网络为对象, 在 SI 传染病模型的基础上构建建材供应链金融违约风险传播模型, 探究违约风险在供应链金融网络中的传播速度和传播特点, 来研究对违约风险的防范和控制。

### 三、基于复杂网络的建材供应链金融违约风险传播模型

#### (一) 建材供应链金融网络

供应链金融是供应链上各成员之间以实际的贸易往来为基础开展的金融活动。把建材行业的整个供应链看作是一个复杂的系统, 其系统结构是由众多主体企业相互作用自发形成的, 并且会随着时间的推移动态演化。由于供应链上的主体企业的多样性以及各成员之间的动态联系导致了供应链结构的复杂性。供应链金融网络的演化过程表现为: 根据企业选择偏好性和自身条件的不断调整, 供应链金融网络中与网络不适应的节点企业消失以及相适应的节点企业加入, 这些节点企业的不断更新又会形成新的供应链金融网络。

本文研究的建材供应链金融网络是由品牌供应商、经销商和项目方三层节点构成:

$$T = \{T_b, T_d, T_p\} \quad (1)$$

式中,  $T_b$  代表品牌供应商层级,  $T_d$  代表经销商层级,  $T_p$  代表项目方层级。每个层级内包含有不同个数的同类型节点企业:

$$T_b = \{v_b^1, p_b^2, \dots, p_b^i, \dots, p_b^{n_b}\} \quad (2)$$

$$T_d = \{v_d^1, v_d^2, \dots, v_d^i, \dots, v_d^{n_d}\} \quad (3)$$

$$T_p = \{v_p^1, v_p^2, \dots, v_p^i, \dots, v_p^{n_p}\} \quad (4)$$

式中,  $v_b^i, v_d^i, v_p^i$  分别代表建材供应链网络中品牌供应商  $T_b$ 、经销商  $T_d$ 、项目方  $T_p$  中的第  $i$  个节点企业。

以建材供应链上的各节点企业建立供应链金融网络的拓扑结构, 如图 1 所示。

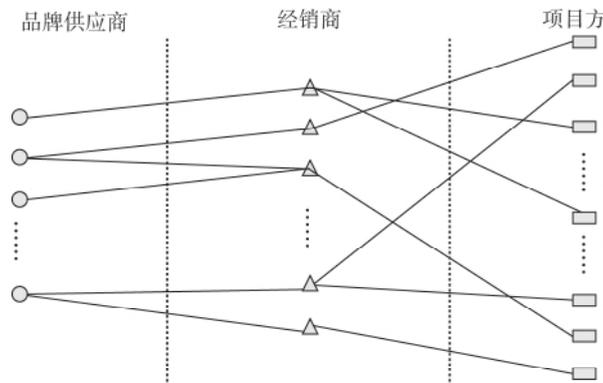


图 1 建材供应链金融网络的拓扑结构

本文建立的建材供应链金融违约风险传播模型是以无标度网络模型为参考模型, 以节点企业之间的合作程度为依据。为更好地贴合实际网络的连接特征, 通过引入多个随机变量 (如边的权重) 来增加建材供应链金融网络的真实性, 提出加权建材供应链金融复杂演化模型。

建材供应链金融网络  $T$  在  $t = 0$  时刻是由  $n_0$  个企业节点构成的层次结构, 且  $n_0 = n_b + n_d + n_p$ 。其中,  $n_b$  个品牌供应商、 $n_d$  个经销商和  $n_p$  个项目方。在之后每隔单位时间间隔  $t$ , 建材供应链网络中将新增一个度为  $m_i$  ( $m_i$  小于  $\min \{n_b, n_d, n_p\}$ ) 的节点  $v_i$ , 并与网络中其他层级的节点企业相连接, 不断更新形成新的建材供应链金融网络。

### 1. 节点的增长与连接

随机产生新的节点  $v_i$ , 其中  $i \in \{b, d, p\}$ , 根据  $i$  的取值区别建材供应链金融网络中不同层级的新增节点, 其概率为  $p(v_i) = \frac{n_i}{n_0}$ 。根据新增节点  $v_i$  的不同类型, 其连接机制也不相同:

当  $i = p$  时, 新增的节点  $v_i$  为项目方。新增节点  $v_p$  与相邻经销商层级  $T_d$  中的  $m_{pd}$  个经销商节点相连, 此时网络中将增加  $m_{pd}$  条边。

当  $i = d$  时, 新增的节点  $v_i$  为经销商。此时新增节点  $v_d$  的连接企业的选择类型有两个: 选择一是与下游项目方相连, 选择二是与上游品牌供应商相连。

在选择一中, 新增经销商节点  $v_d$  与项目方层级  $T_p$  中的  $m_{dp}$  个节点相连, 并生成  $m_{dp}$  条边。在选择二中, 新增节点  $v_d$  与上游品牌供应商层级  $T_b$  中的  $m_{db}$  个节点相连, 同时网络中生成  $m_{db}$  条边。

当  $i = b$  时, 新增的节点  $v_i$  为品牌供应商, 根据建材供应链金融网络的实际情况, 此时存在一定的特殊性。新增品牌供应商  $v_b$  会与经销商层级  $T_d$  中的  $m_{bd}$  个节点相连, 同时网络中会增加  $m_{bd}$  条边。此外, 品牌供应商节点  $v_b$  往往还会带入新的经销商和项目方节点。本文假定新增品牌供应商节点带入  $n'_d$  个经销商, 其中  $n'_d = \text{randi}(ul, 1, 1)$ ,  $nl \leq 5$ 。同时每个经销商会带有一

个项目方, 且由品牌供应商带入的经销商和项目方不与网络中的其他节点相连。

## 2. 节点的择优连接偏好

建材供应链金融网络中的新增节点  $v_i$  会与相邻层级中已经存在的节点企业进行连接, 其连接时具有择优选择偏好, 会优先选择在供应链金融网络中影响力较大、财政实力较强的企业, 即在一定范围内倾向于度值较大的节点, 这就体现了“马太效应”。根据节点的择优连接偏好, 新节点  $v_i$  在网络中可选择连接的节点集合表示为  $M_i$ , 其中集合中的节点  $m_i$  与新节点  $v_i$  相连的概率为:

$$\prod_{m_i \in M_i} = \frac{K_{m_i}}{\sum_{m_i \in M_i} K_{m_i}} \quad (5)$$

其中,  $K_{m_i}$  表示为节点  $m_i$  的度,  $\sum_{m_i \in M_i} K_{m_i}$  是选出的可连接节点集合  $M_i$  中所有节点的度数之和。

## 3. 节点和边的退出及重连

在建材供应链金融网络中, 与网络发展不适应的节点企业会被淘汰、退出。假定网络中每增加 10 个节点就会退出 1 个节点和 1 条边, 根据反偏好规则, 建材供应链金融网络中节点退出的概率为:

$$\prod_{v_i} = \frac{1 - \frac{K_{v_i}}{\sum K_{v_i}}}{N(t) - 1} \quad (6)$$

式中,  $N(t)$  表示节点  $v_i$  在  $t$  时刻退出时网络中存在的节点总数量。当网络中有节点退出时, 与其相连的相邻层级的节点可重新选择一个与退出节点同类型的节点进行连接, 其连接规则与新增节点的连接规则相同。

建材供应链金融网络中边的退出有两种情形: 当网络中有节点退出时, 与其有关的边都随之退出; 当网络中仅有边退出时, 退出的边  $e'$  是随机产生的。该边  $e'$  的两端连接的节点企业可重新选择一个对应类型的节点企业进行连接, 其连接规则与新增节点的连接规则一致。

## 4. 边的权重

重复以上步骤, 直到网络中节点总数量达到  $N$ 。此时, 整个网络趋于平衡, 得到一个新的建材供应链金融网络。该网络的无标度网络中边的权重满足  $w_{ij} \sim (K_i K_j)^\theta$ ,  $\theta$  代表权重涨幅控制系数。当  $\theta = 0$  时, 得到  $w_{ij} = 1$ , 此时网络中的各边权重为 1, 为无权网络。随着网络中节点企业间的贸易往来及企业自身的不断发展, 网络中边的权重也在发生相应的变化:

$$w_{ij} = w_0 (K_i K_j)^\theta \quad (7)$$

式中,  $w_0$  表示边的平均权重控制参数,  $K$  表示网络中企业节点的度,  $w_0$  的计算公式如下:

$$w_0 = \frac{K_0^2}{(K_0^{1+\theta})^2} \quad (8)$$

式中,  $K_0$  代表无标度分布的底数。

## 5. 供应链金融网络的演变

通过调研资料整理分析, 并结合供应链金融违约的相关研究对参数设置进行分析, 设  $\theta = 0.5$ ,  $K_0 = 2$ 。由于涉及到商业机密, 结合实际情况将边的权重  $w_{ij}$  乘以 1000 倍, 来代表企业之间的交易金额。计算边的权重  $w_{ij}$ , 并将其引入到建材供应链金融网络中, 形成建材供应链金融的复杂网络  $ST$ :

$$T \xrightarrow{\Delta W_{ij}} ST \quad (9)$$

通过实际调研，现对建材行业中的其中一条供应链网络上的企业进行金融违约风险传播分析。该建材供应链金融网络目前包含有 68 家品牌供应商企业、410 家经销商企业和 1013 个项目方企业。整理调研资料可知建材供应链金融网络中各企业间的业务资金往来情况，并根据企业之间的实际贸易往来状况构建邻接矩阵，并对网络中的节点企业进行度数和度分布分析（如图 2 所示）。

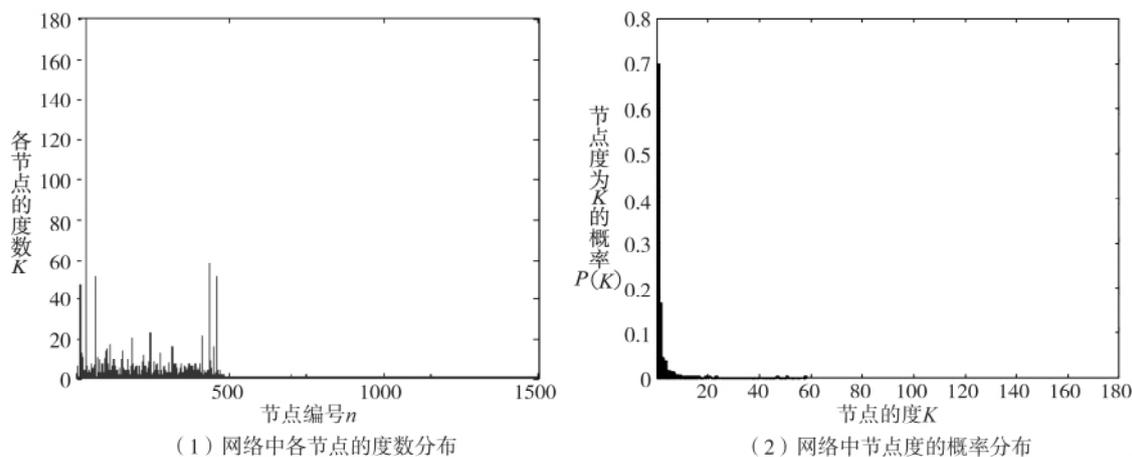


图 2 建材供应链金融网络的度分布

从图中能够明显看出在建材供应链金融网络中数值较大的节点数目较少，所占比率（概率）较小，即显现出“长尾效应”。这也较为符合幂律分布的特点。

## （二）建材供应链金融违约风险的传播模型

随着“互联网+”战略的推进，供应链金融和互联网的结合已成为一种发展趋势，在扩大企业融资渠道、推进普惠金融和提高金融体系效率方面起到积极作用的同时，也导致了互联网金融的野蛮生长。互联网的虚拟性和开放性使得供应链金融风险的爆发更为复杂和严重。因此，越来越多学者专注于供应链金融违约风险的研究。

### 1. 违约风险来源

违约风险又被称为信用风险，从金融学角度来讲，违约风险指的是债务人未按照约定日期付息或归还本金而导致债权人遭受损失的风险；从合约角度来讲，违约风险指的是签订合约的其中一方由于自身原因或其它原因无法履行合约内容，从而给合作者带来损失的风险。

违约风险来源主要涉及到建材供应链金融网络上的品牌供应商、经销商和项目方。A 公司是一个致力于为中小型建材企业提供融资服务的专业的建材供应链金融平台，根据对建材行业的融资需求情况开展业务，从而保证建材供应链上的各个环节高效运转。在建材供应链金融网络中的企业为了满足生产运作的资金流动而进行融资活动时，其品牌供应商可根据自身的品牌效应、资金实力或大批量的订单向金融平台 A 进行资产抵押来达到融资的目的；建材经销商大多是中小型企业，企业运作主要是连接品牌供应商和项目方；建材项目方大多由于自身资信能力不足、企业内部账务问题或无资产抵押等状况导致很难从金融平台得到融资服务，目前较多的是项目方通过应收账款模式进行产品采购活动。通过调研发现目前建材供应

链金融网络中的主要违约风险来自项目方，特别是在涉及房地产项目或政府项目时，项目方往往会由于前期采购金额较大、项目工期交付期较长、资金不能及时回笼等原因，不能按时将账款打入到融资时合约指定的账户中，这就导致了项目方还款逾期，造成违约风险；另外，还有一个违约风险来自建材供应链金融网络中的经销商。

## 2. 违约风险传播过程

供应链网络的复杂性和市场经济发展的不确定性导致金融风险的传播中存在很多不确定性。在建材供应链金融的复杂网络中，当一个企业发生违约，违约风险就会随着网络的连接关系蔓延，建材供应链上企业间的直接关系或间接关系都会受到违约的影响。但是某企业的违约并不会对关联企业的违约状况起决定性的作用，关联企业的违约状况取决于其自身资金实力和抗风险能力，能否消化违约企业给其带来的风险。若关联企业的综合实力能够抵御违约企业带来的违约风险，则该企业就会不受到违约企业违约风险的影响；反之，不仅企业会受到违约企业违约风险的影响并成为新的违约企业，而且违约风险还会通过该企业在供应链金融网络中继续向外传播。建材供应链金融违约风险传播过程如图 3 所示。

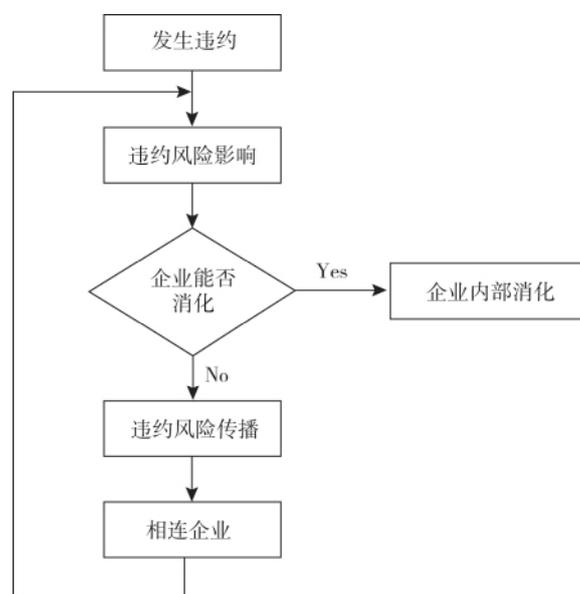


图 3 建材供应链金融违约风险传播

## 3. 违约风险传播模型

本文研究的是一个无向加权的复杂建材供应链金融网络，网络中的节点企业具有不同程度的抵御风险的能力，不同于传统的 SI 传染病模型。因此，本文基于 SI 传染病模型的基本理论，采用一系列可以表示违约风险传播的规则来构建建材供应链金融违约风险传播模型。当网络中的某一企业发生违约后，随着建材供应链金融网络的不断运作发展，其违约风险则会向与其相关联的节点企业继续传播，进而影响整个建材供应链金融网络上的所有企业。根据这一传播规则，建材供应链金融网络中违约风险的传播演化模型描述如下。

(1) 违约风险传播：建材供应链金融网络中节点企业之间若存在资金往来，则其在网络中就有连线，即资金往来就是网络中的连边，用逻辑变量  $a_{ij}$  ( $a_{ij} \in \{0, 1\}$ ) 来表示节点企业  $i$

和节点企业  $j$  之间是否有直接的资金来往情况，边的权重代表两节点企业间的资金来往程度  $cap_{ij}$ ：

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{两节点企业之间没有资金往来,} \\ cap_{ij}, & \text{两节点企业之间有资金往来} \end{cases} \quad (10)$$

(2) 企业违约风险状态：在建材供应链金融网络中，节点企业仅有违约风险状态和无违约风险状态两种情况，用  $S_{i,t}$  来表示节点企业  $i$  在  $t$  时刻的违约风险状态：

$$S_{i,t} = \begin{cases} 0, & \text{无违约风险,} \\ 1, & \text{有违约风险} \end{cases} \quad (11)$$

(3) 违约风险传播程度：当建材供应链金融网络中有企业发生违约风险时，其他企业节点都有可能受到风险的影响，且企业之间的资金往来金额越大，风险传播的速度越快，企业受到风险感染的几率越大。同时，节点企业受风险影响的情况和与其相连接的违约企业数量也有关，因此节点企业受到违约风险影响的概率  $\lambda_{i,t}$  与相邻节点中违约企业的数量和边的权重值呈正比例关系：

$$\lambda_{i,t} = \frac{\sum_{j=1}^N a_{ij} S_{j,t}}{\sum_{j=1}^N a_{ij}} \quad (12)$$

式中， $\lambda_{i,t}$  表示网络中的节点企业  $i$  在  $t$  时刻受到相邻节点企业违约风险影响的概率。可以明显看出，随着时间的推移，建材供应链金融网络中违约企业的数量在增加，与节点企业相邻的违约企业数量也在逐渐增加，即  $\sum_{j=1}^N a_{ij} S_{j,t}$  不断增大。因此网络中节点企业受到违约风险影响的概率增大。

(4) 企业抗风险能力：建材供应链金融网络中的节点企业自身具有一定的经济实力，当相邻违约企业的风险对其进行传染时，企业能够抵御风险的影响。当节点企业  $i$  的抗风险能力能够抵御相邻违约企业对其的影响，则节点企业将继续保持无风险状态；反之，该节点企业则成为新的违约企业。本文定义企业的抗风险能力函数为：

$$f(r_\lambda) = \begin{cases} 0, & \lambda_{i,t} > r_\lambda, \\ 1, & \lambda_{i,t} \leq r_\lambda \end{cases} \quad (13)$$

式中，网络上的节点企业对违约风险传播的抵御能力用  $r_\lambda$  来表示， $r_\lambda \in (0, 1)$ 。当  $f(r_\lambda) = 0$  时，企业未能够抵御风险的传播，则此时节点企业  $i$  处于风险状态；当  $f(r_\lambda) = 1$  时，节点企业  $i$  处于无风险状态。

综上所述，在  $t$  时刻，建材供应链金融网络中的节点企业  $i$  的风险状态依赖于该节点企业自身在  $t-1$  时刻的风险状态以及该节点企业从  $t-1$  时刻到  $t$  时刻受到其相邻节点企业违约风险影响的程度，可用以下数学模型表述：

$$S_{i,t} = S_{i,t-1} + * (1 - f(r_\lambda)) \quad (t \geq 1) \quad (14)$$

式中， $\overline{S_{i,t-1}}$  表示  $S_{i,t-1}$  的相反状态，即当  $S_{i,t-1} = 1$  时， $\overline{S_{i,t-1}} = 0$ 。

在描述建材企业违约的风险在整个建材供应链金融网络中的传播影响程度时，把网络中违约企业的数量与企业总数的比值作为衡量指标，该指标被定义为风险传播影响密度：

$$\rho(t) = \frac{\sum_{i=1}^N S_{i,t}}{N} \quad (15)$$

#### 四、建材供应链金融违约风险传播的仿真分析

经调查研究, 根据 A 公司目前业务经营的实际情况, 其面临的违约风险主要来自项目方违约和经销商违约。结合实际调研数据和 A 公司提供的资料, 现对建材供应链金融违约风险的传播进行仿真分析。主要从违约企业的类型、违约企业的数目和建材供应链金融网络中的企业的抗风险能力这三方面来研究违约风险的传播情况。

##### (一) 不同风险源对风险传播的影响

首先分析不同类型的企业发生违约对建材供应链金融风险传播的影响, 即风险传播的不同风险源差异性分析。本文研究的建材供应链金融网络中的违约风险主要来源是建材项目方和经销商, 以风险传播影响密度  $\rho(t)$  作为衡量指标, 利用 MATLAB 进行实验仿真。为了避免实验仿真结果的偶然性, 以下数据均以 20 次实验结果的均值来表示, 得到如图 4 的仿真结果。

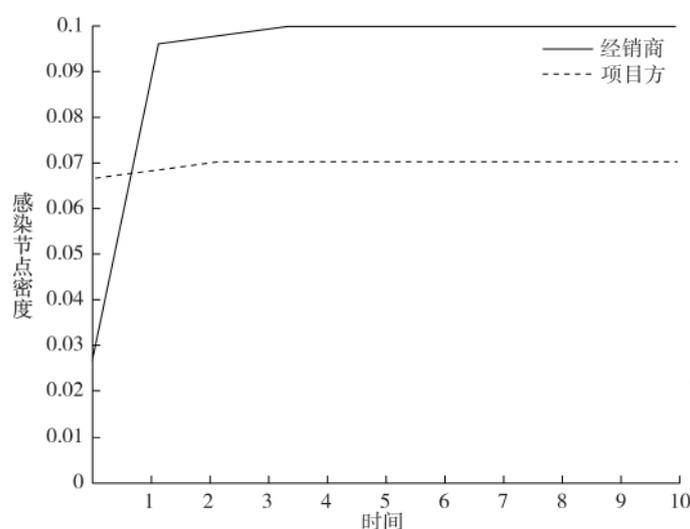


图 4 不同类型企业的违约风险传播趋势

在网络中违约的经销商节点数目和项目方节点数目均占该类型企业节点总数目的 10%, 同时设定建材供应链金融网络中节点企业对违约风险传播的抵御能力  $r_{\lambda} = 0.2$ 。由图 4 能够明显看出, 当经销商发生违约行为时, 其违约风险能够在短时间内迅速通过网络连接影响与其相连的节点企业; 而当项目方发生违约行为时, 经销商能够通过自身综合实力内部消化违约引起的风险, 则由项目方违约导致的违约风险不会通过经销商向外传播。因此, 在进行金融业务交易时, A 公司要格外警惕经销商违约情况的发生。在建材供应链金融网络中, 经销商处于中间位置, 具有承上启下的连接作用, 一旦其发生违约, 则该违约风险将会影响与其有合作关系的项目方和建材品牌供应商, 尤其是会导致建材项目方违约。

##### (二) 不同违约企业数量对风险传播的影响

违约企业数量对违约风险在供应链金融网络中的传播也有较大的影响。采用同一类型企业的不同数量分别来对经销商违约风险和项目方违约风险在建材供应链金融网络中的传播情况进行仿真分析, 其仿真结果如图 5 和图 6 所示。

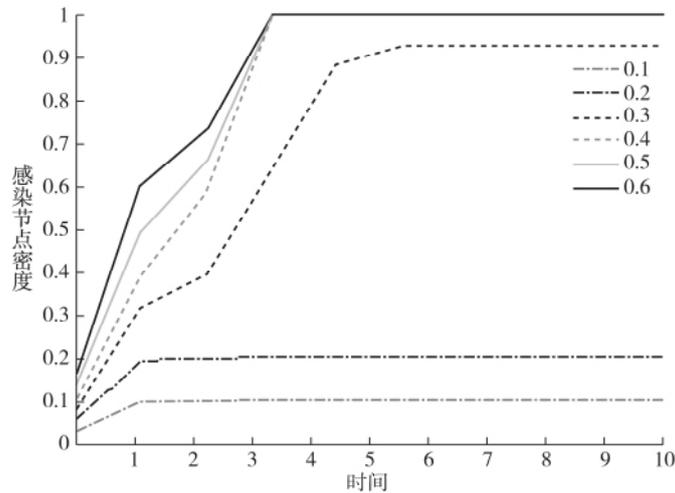


图 5 不同数量经销商违约时的风险传播趋势

以经销商为分析对象时，设定建材供应链金融网络中节点企业对违约风险传播的抵御能力  $r_\lambda = 0.2$ 。由图 5 可以明显看出，当网络中经销商的违约企业数量不同时，风险在建材供应链金融网络中的传播速度和影响范围具有明显差异。当网络中的经销商的违约企业数目超过 20% 时，其违约风险将会传播至整个建材供应链金融网络，且传播速度呈现出先快后慢的趋势，并最终趋于一个较为稳定的状态。仿真结果表明，随着经销商违约企业数量的增大，风险传播对 A 公司建材供应链金融的影响也越来越大。因此 A 公司应加强对经销商企业的金融业务监管，从而时刻监察经销商的违约情况，并及时采取相对应的防范措施来阻止违约风险的传播。

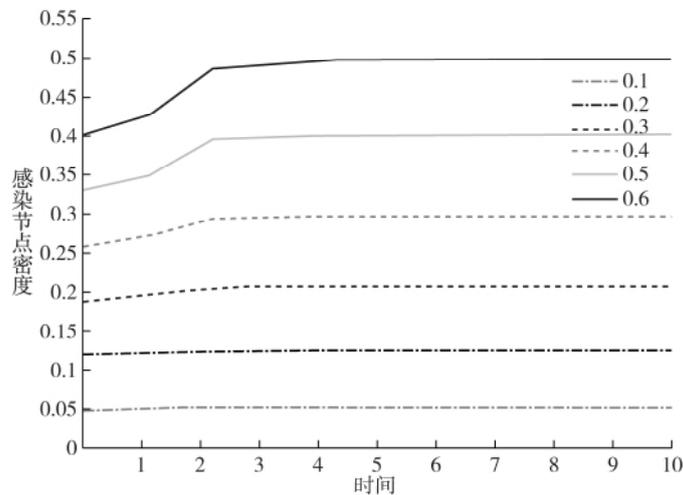


图 6 不同数量项目方违约时的风险传播趋势

以项目方为分析对象时，设定建材供应链金融网络中节点企业对违约风险传播的抵御能力  $r_\lambda = 0.2$ 。由图 6 可以明显看出，当网络中项目方的违约企业数目不超过 20% 时，由于项目方的企业规模较小，与其相连接的经销商数量也较少，因此当项目方违约时，其违约风险所能波及的

企业数量有限, 违约风险的传播速度和影响范围也就相对有限, 对建材供应链金融网络的影响较小。部分经销商对于项目方传来的违约风险能够内部消化, 从而中断其违约风险的继续传播; 对于继续在网络中传播的违约风险, 其传播速度及传播范围则呈现出先慢后快, 并最终趋于一个稳定状态的趋势。

### (三) 企业不同的抗风险能力对风险传播的影响

当建材供应链金融网络中的企业具有不同程度的抗风险能力时, 违约风险在 A 公司建材供应链金融网络中的传播情况也不一样。因此研究企业的抗风险能力对网络中风险传播情况的影响是非常有必要的。本节通过企业不同的抗干扰能力来对违约风险在网络中的传播情况进行研究分析, 设定建材供应链金融网络中经销商和项目方的违约企业数量均占该类型企业总数量的 10%, 仿真结果如图 7 和图 8 所示。

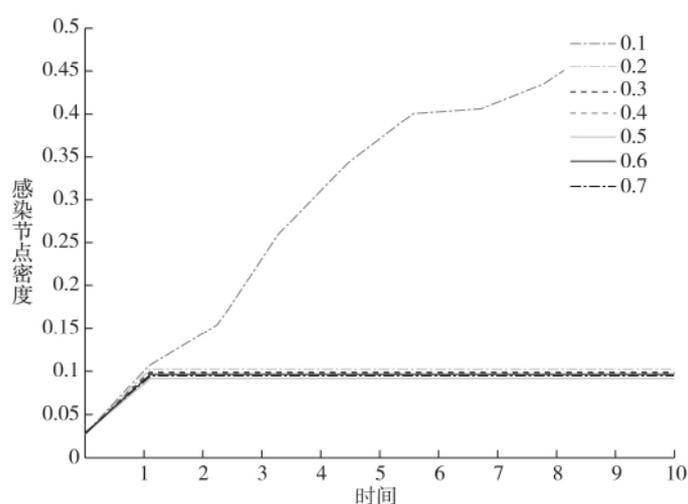


图 7 经销商违约时企业不同抗风险能力对风险传播的影响

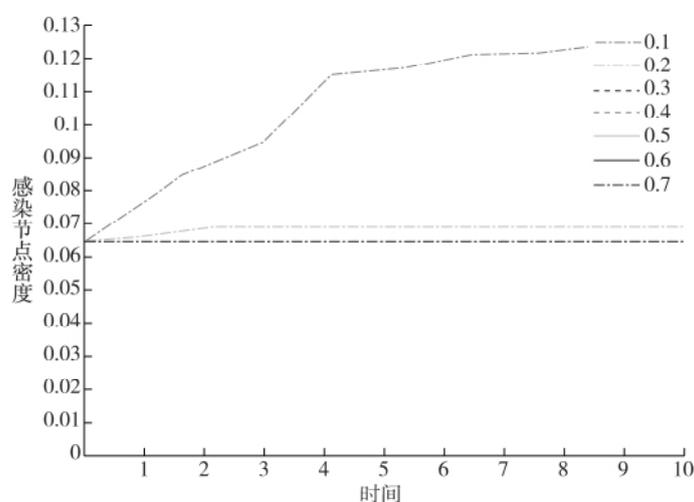


图 8 项目方违约时企业不同抗干扰能力对风险传播的影响

由图 7 可知, 设定建材供应链金融网络中的违约企业为经销商, 当网络中企业的抗风险能力为 0.1 时, 此时经销商产生的违约风险在网络中的传播速度和传播范围都呈缓慢增长趋势; 当企业的抗风险能力由 0.1 增加到 0.2 时, 违约风险在网络中的传播情况则大幅度下降。同时, 当建材供应链金融网络中企业的抗风险能力超过 0.2 时, 企业的抗风险能力对违约风险在网络中的传播情况影响不大, 则对 A 公司而言, 继续增加企业的抗风险能力对其并无实质性意义。

由图 8 可以明显看出, 建材供应链金融网络中的违约企业为项目方, 当网络中企业的抗风险能力由 0.1 增长到 0.2 时, 违约风险在建材供应链金融网络中的传播速度及传播范围都大幅度下降; 且当网络中企业的抗风险能力足够高时, 便可以阻止违约风险在建材供应链金融网络中的传播。

综上所述可以发现, 能够在建材供应链金融网络中继续向外传播的违约风险情况, 将会在短时期内引起网络的感染节点密度大幅度上升, 这就体现了风险的爆发性和突发性的特点。因此, 针对违约风险在 A 公司建材供应链金融网络中的传播特征, A 公司应对经销商加强监管, 对突发性的违约情况要及时作出应对措施, 以防风险蔓延并阻止其风险传播。必要时要对违约企业进行资金扶持, 使其风险控制在安全的范围之内。同时, 要对建材供应链金融网络中企业的抗风险能力进行加强。由仿真结果可知, 企业的抗风险能力达到 0.2 是较好的一种情况, 对于网络中的企业来讲这个要求不会太高, 对于防范和控制违约风险具有重要意义。

## 五、建材供应链金融违约风险防范和控制策略

根据 A 公司建材供应链金融网络中企业违约风险传播的仿真分析结果, 和风险传播中影响因素的研究结论, 提出对应的违约风险防范措施和控制策略, 主要从风险源头和风险的传播过程两个方面进行防范与控制。

### (一) 风险源头的防范与控制

建材供应链金融违约风险主要来自项目方和经销商。其产生原因是企业未能按时履行合约而导致合作者陷入危机之中。因此, 从风险的源头进行防控是最有效的方式。

#### 1. 建立严格的合作标准体系

对合作企业的管理情况、规模大小、财务状况、行业地位、信用情况进行全面的综合评估, 并结合国务院办公厅的指导意见, 以信用评级为核心建立合作标准体系, 来严格衡量合作企业的资信情况, 以判断企业是否具有违约倾向, 以及对违约风险的抗风险能力。这种体系对于不同类型的企业应设定不同的衡量标准和严格程度。例如, 建材供应链金融网络中风险传播影响密度较大的企业发生违约时, 其违约风险在网络中的传播影响较大。对于此类型的企业而言, 该体系应设立非常严格的风险评价标准和监管措施。培养专业的信用评估人员, 使之充分掌握和完全具备有关交易流程正常性、贸易往来规范性、企业经营状况真实性和授信资产真实有效性的评价能力。

金融平台在与客户企业签订协议以及提供资金支持之前, 要对企业进行复杂详尽的调查。随着供应链金融的发展, 平台的目标客户将会越来越多, 应建立完善的信用评价体系, 运用大数据对建材供应链成员进行分析, 实现信息共享; 运用区块链技术来加强体系的适用性, 以确保其实际交易中的融资需求, 保障建材供应链金融网络的顺畅运作。

## 2. 建立风险预警机制

风险预警是企业将风险降到最低的最及时、有效的手段和措施。平台应加强对融资企业的监督管理,提升企业对于违约风险出现前、中、后各时期的风险管理水平,跟踪检查并分析信贷合作流程、融资企业运营状况以及抵押担保资质条件等各个方面,及时发现融资过程中融资企业存在的问题,并采取相对应的管控措施,以达成防范、控制和解决违约风险的目的。

建立相对健全的风险预警机制,能够及早监测到各种潜在风险,同时为决策者指出风险发生带来的后果,使其根据不同的风险程度制定相应的决策方案,当风险爆发之际能够及时有效地将风险化解或控制在企业自身可承受的范围之内。要密切关注建材供应链金融网络中中小企业的经营状况,对其贸易往来进行动态跟踪,预测其可能存在的风险,以便及时应对违约风险在网络中的爆发。同时还要对网络中违约企业进行预测和统计,由于违约企业的数量对于风险的传播影响较大,因此有必要将网络中违约企业的数量控制在一个较为安全的范围之内,防止由于违约企业数目过多而影响整个建材供应链金融网络正常运作的情况。

## 3. 加强供应链上下游企业的风险防范能力

从仿真结果可以明显看出企业自身的抗风险能力在很大程度上能够影响违约风险在建材供应链金融网络中的传播。因此,加强供应链上下游企业的风险防范能力对于有效降低违约风险在网络中的传播速度和传播范围具有重要作用。

企业首先要规范其内部经营管理制度,提高财务管理能力、业务拓展能力及员工的业务能力,从而加强企业的抗风险能力。对于项目方而言,应对拖欠账款的委托单位进行综合评估来划分一个可能性的等级,并做好每个可能性的应对方案。同时要合理安排资金使用和人员配备,在确保自身业务不受影响的情况下来缓解可能发生的风险。对于经销商而言,要持有一定量的安全备用金,以防项目方违约带来的风险。同时要时刻警惕项目方违约的可能性,使自己有足够长的时间来应对和消化项目方带来的违约风险,确保不会影响到其他业务的合作方以及与金融平台之间的战略合作关系。此外,金融平台要综合考量建材供应链上的各个成员企业,在自己可承受的风险范围之内给予它们一定程度的资金支持,使其提高抗风险能力,共同努力以最小的成本将风险降到最低,来维持建材供应链金融网络的整体稳定性。

### (二) 风险传播过程的防范与控制

从源头控制风险对于整个供应链的风险防控是最及时有效的措施。但风险源头的防控行为并非万无一失的,当源头违约已经发生,违约风险开始在网络中传播时,就要在违约风险的传播过程中对其进行防范与控制,来达到维护建材供应链金融网络的目的。

由本文的仿真结果可知,企业的违约风险向外的传播速度和传播范围是比较大的,会在短时期内对整个建材供应链金融网络造成冲击。所以一旦发生情形较为严重的违约风险,将会引起整个建材行业的动荡。当违约风险在网络中进行传播的时候,通过监察机制预测风险的大小以及该风险可能波及的企业,并及时阻断其传播渠道,以防风险继续在网络中蔓延。这就要求金融平台和建材供应链成员能够充分了解风险的传播机理。通过对违约风险的传播过程进行仿真,直观地感受到违约风险的传播过程,充分掌握风险在不同阶段的影响因素、传播特点、传播速度及变化趋势,以便制定相应的实施方案来及时阻止违约风险的传播。

平台可从三个阶段对建材供应链金融网络中的风险传播进行防范和控制。首先,在风险传播初期,对建材供应链金融网络中的违约企业提供应急资金支持,使违约企业提高一定程度的抗风险能力,同时及时阻断可能向外传播的渠道,从而降低风险、缩小风险传播范围。其次,当风险

已经传播至网络中的一定范围时，该范围内的企业已经受到了违约风险不同程度的影响，此时平台应对违约企业进行评估，风险传染性较大且自身抗风险能力较弱的企业应阻断其与相连企业之间的业务往来，及时止损，避免风险范围扩大。同时平台应对此类企业调低破产成本，将违约造成的损失降到最低。最后，当风险传播的规模较大或失去控制时，需要采取强制性措施来控制建材行业的发展，必要时可牺牲某些企业甚至是缩减平台的经营范围来稳定整个供应链的局势。但是这种极端措施对于一部分企业而言并不公平，如果实施过程中出现意外情况反而加剧风险的严重性，需慎重决策。

## 六、结论

在建材行业中，“融资难、融资贵”已成为中小建材企业发展中面临的首要问题，不仅限制了企业的发展，还严重影响了整个建材行业的发展。建材供应链金融能够有效解决建材行业中小企业资金短缺的问题。“互联网+”战略的推进、互联网技术和区块链技术的迅速崛起，也为供应链金融的应用提供了一种新思路。同时，建材企业类型的多样性和企业间贸易往来的复杂性形成了建材供应链金融的复杂网络。企业的违约风险会随着网络间的连接进行传播，其带来的后果会影响整个建材供应链金融网络，因此，需要对违约风险的产生和传播进行有效防范和管控，进而维护整个建材供应链的稳定性。

本文的研究仍具有一些不足之处：

(1) 本文的研究是基于平台的品牌供应商—经销商—项目方三级建材供应链。但是实际的建材供应链运作中可能涉及多个层级的品牌供应商和经销商，他们之间可能还存在合作、竞争等关系，情况更为复杂。

(2) 在讨论网络中各层节点的连接时，本文未考虑跨层级连接和同层级连接的情况。可多结合实际情况，考虑企业之间的贸易往来和交易关系变化。

(3) 在对建材供应链金融违约风险传播进行分析时是基于 SI 病毒传播模型的原理，构建了建材供应链金融违约风险传播模型。其中没有考虑企业对风险的修复情况，且未对企业的抗风险能力进行层级划分。在现实企业中，其往往具有一定程度的自我修复能力，因此之后的研究可以将其量化并引入 SIS 病毒传播模型、SIR 病毒传播模型或其他动力学传播模型。

### 参考文献：

- [1] 中国建材. 工业和信息化部发布 2019 年建材行业运行情况 [J]. 中国建材, 2020 (2): 61.
- [2] 马晓宁. 中小企业融资思考 [J]. 合作经济与科技, 2019 (1): 70-71.
- [3] 韩祥. 我国建材行业供应链金融发展的现状探析 [J]. 中国市场, 2018 (26): 164-167.
- [4] 郑明轩, 龚亚芹. 互联网供应链金融的财务风险及其防范研究 [J]. 绿色财会, 2019 (8): 12-14.
- [5] BERGER A N, UDELL G F. A more complete conceptual framework for SME finance [J]. Journal of banking & finance, 2006, 30 (11): 2945-2966.
- [6] GUILLÉN G, BADELL M, PUIGJANER L. A holistic framework for short-term supply chain management integrating production and corporate financial planning [J]. International journal of production economics, 2007, 106 (1): 288-306.
- [7] BERGER A N. More complete conceptual framework for SME finance [J]. World Bank Conference Small and Medium Enterprises: Overcoming Growth Constraints, 2014 (11): 43-46.

- [8] 张晓涛. 供应链金融: 金融创新视角下银企双赢的融资解决方案 [J]. 今日中国论坛, 2008 (10): 34-36.
- [9] 杜航, 李金焰, 刘继海. 基于供应链金融的中小企业融资博弈研究 [J]. 中国商贸, 2011 (14): 115-118.
- [10] 付静. 供应链金融与中小企业融资 [J]. 中国市场, 2017 (13): 54-55.
- [11] 李娜. 浅析商业银行在供应链贸易融资中的商机和风险防范 [J]. 广西金融研究, 2008 (3): 49-51.
- [12] HALLIKAS J, VIROLAINEN V - M, TUOMINEN M. Risk analysis and assessment in network environments: a dyadic case study [J]. International journal of production economics, 2002, 78 (1): 45-55.
- [13] SEIFER D. Demand and supply: supply chain finance [J]. Journal of economics and business, 2011, 8: 25-29.
- [14] RAO S, GOLDSBY T J. Supply chain risks: a review and typology [J]. The international journal of logistics management, 2009, 20 (1): 97-123.
- [15] 张志浩. 我国银行供应链金融违约风险评估 [J]. 中国商论, 2012 (11Z): 124-125.
- [16] 陈志明, 周少锐, 周建红. 两级商业信用下考虑违约风险的供应链协调 [J]. 管理学报, 2018, 15 (12).
- [17] 樊新民, 王千红. 试析金融供应链中融资企业违约风险的成因 [J]. 财会月刊, 2010 (27): 38-40.
- [18] 徐勇戈, 李冉. 供应链金融视角下的房地产企业信用风险 [J]. 财会月刊, 2018 (8): 164-169.
- [19] GARVEY M D, CARMOVALE S, YENIYURT S. An analytical framework for supply network risk propagation: a Bayesian network approach [J]. European journal of operational research, 2015, 243 (2): 618-627.
- [20] SERRANO A, OLIVA R, KRAISELBURD S. Risk propagation through payment distortion in supply chains [J]. Journal of operations management 2018, 58 (2): 1-14.
- [21] 庞春媛. 供应链违约风险传染模型及控制策略研究 [D]. 西安: 长安大学, 2015.
- [22] 杨康, 张仲义. 供应链网络风险传播 SIS - RP 模型及仿真 [J]. 北京交通大学学报, 2013, 37 (3): 122-126.
- [23] 覃禹臻, 王奇. 供应链金融风险传染效应分析 [J]. 财讯, 2017 (13): 67.
- [24] 储雪俭, 李聘飞. 供应链金融信用风险扩散防控机制研究 [J]. 金融发展研究, 2017 (2): 63-67.
- [25] 李永奎, 周一懋, 周宗放. 基于不完全免疫情景下企业间关联信用风险传染及其仿真 [J]. 中国管理科学, 2017, 25 (1): 57-64.

## Research on Risk Propagation and Prevention of Building Materials Supply Chain Finance Based on Complex Network

FU Pei-hua, WANG Xiu-li, ZHAO Meng, GUO Yu-cheng

(School of Management and E-business, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou, Zhejiang 310018)

**Abstract:** In order to evaluate the impact of corporate default risk propagation on the financial development of building materials supply chain, this paper takes platform-based building materials supply chain finance as the research object, studies the cooperation level among supply chain members, converts building materials supply chain network into undirected weighted complex network, and considers the degree of network nodes and edge weights as the influencing factors of the range and speed of default risk propagation. Then the paper establishes the building materials supply chain finance default risk propagation model based on the SI virus propagation model. This model is used for simulation analysis to study the spread and prevention of default risk in the financial network of building materials supply chain. Through the case study, it is found that the enterprise's risk resistance capacity and the number of defaulters in the network have a great impact on the risk propagation, so both the platform and the enterprise should formulate risk prevention measures to deal with the generation and dissemination of financial default risks in the building materials supply chain.

**Keywords:** supply chain finance; complex network; building materials industry; risk propagation