

基于复杂网络的存货质押供应链融资风险致因网络研究

赵一鸣

江苏大学管理学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2024年4月22日; 录用日期: 2024年6月20日; 发布日期: 2024年6月28日

摘要

在存货质押供应链融资业务过程中, 由于各种因素的共同影响, 导致在融资实际业务过程中难以避免的会存在风险事故的发生。基于此, 本文利用扎根理论对80起存货质押供应链融资风险案例进行编码分析, 从中得到了85个概念化、44个初始范畴、13个主范畴及5个核心范畴, 并以此为基础, 构建出了存货质押融资风险事故致因因素体系。本文的案例主要来自中国裁判文书网等资料积累的存货质押融资民事纠纷案例, 使得致因因素更能够体现融资担保本身的性质; 同时基于复杂系统网络构建的存货质押融资风险事故致因关联网络模型的构建原理与过程, 通过不同角度分别从度中心性、介数中心性、聚类系数、K-Shell出发, 综合节点的局部、全局、位置等属性, 找出风险事故致因网络中的关键事故及风险致因因素, 接着利用TOPSIS法综合上述角度, 更加全面地评价存货质押融资风险网络节点的重要程度, 得出了流程操作事故和监管事故为关键事故及质押物交付不规范和经营策略不当为关键风险致因因素的结论。

关键词

存货质押供应链融资, 扎根理论, 复杂网络, 致因因素

Research on the Risk Causation Network of Inventory Pledge Supply Chain Financing Based on Complex Network

Yiming Zhao

School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Apr. 22nd, 2024; accepted: Jun. 20th, 2024; published: Jun. 28th, 2024

文章引用: 赵一鸣. 基于复杂网络的存货质押供应链融资风险致因网络研究[J]. 运筹与模糊学, 2024, 14(3): 861-875.
DOI: 10.12677/orf.2024.143322

Abstract

In the process of inventory pledge supply chain financing, due to the common influence of various factors, it is difficult to avoid the occurrence of risk accidents in the actual process of financing. Based on this, this paper uses grounded theory to code and analyze 80 inventory pledge supply chain financing risk cases, from which 85 conceptualization, 44 initial categories, 13 main categories and 5 core categories are obtained, and on this basis, a system of factors causing inventory pledge financing risk accidents is constructed. The cases in this paper are mainly from the inventory pledge financing civil dispute cases accumulated by China Judgment Documents Network, so that the causative factors can better reflect the nature of financing guarantee itself; At the same time, based on the construction principle and process of the correlation network model of inventory pledge financing risk accident causation, the key accidents and risk causation factors in the risk accident causation network are identified by integrating the local, global and location attributes of nodes from different perspectives from degree centrality, intermediate centrality, clustering coefficient and K-Shell. Then, TOPSIS method is used to comprehensively evaluate the importance of inventory pledge financing risk network nodes from the above perspectives, and the conclusion is drawn that process operation accidents and supervision accidents are the key accidents, and non-standard pledge delivery and improper business strategy are the key risk factors.

Keywords

Inventory Pledge Supply Chain Financing, Grounded Theory, Complex Network, Cause Factors

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前, 供应链融资业务在我国各金融机构中已广泛开展, 与以往的传统信贷业务相比, 供应链融资业务最显著的特征在于可以通过研究供应链融资方式从而锁定风险, 并确保上下游企业都能够通过供应链融资业务获得融资贷款。而以往的传统信贷业务中作为抵押物进行担保的大多都是企业财产, 这在实际操作过程中, 往往会给融资企业带来较大的压力。2020年9月, 中国人民银行联合八部委分别从对供应链金融的内涵和发展方向、规范与创新发展、配套基础设施建设、政策支持体系以及供应链金融风险防范等方面出发, 对供应链融资业务提出指导性意见, 并也发布了《关于规范发展供应链金融支持供应链产业链稳定循环和优化升级的意见》提出了相关政策要求。由此可以看出, 发展供应链融资业务正逐渐成为一项国家战略, 对于中小企业融资难等问题, 供应链融资业务有助中小企业更好地进行融资业务, 从而解决它们在发展过程中面临的融资困境。

然而, 由于信息不对称及监管不力, 作为委托人的金融机构和作为代理人的物流监管企业在实际操作中, 在审核企业信用资质和监管质押过程中常常为了追求自身利益最大化而节约成本, 忽视了风险防范, 导致监管风险事件频发, 如虚假操作、重复质押、违规出库等问题。近年来供应链融资风险事故也频繁发生, 例如2019年的诺亚财富踩雷事件以及2022年佛山的铝锭集体提货事件, 均由于信息不对称以及对质押物核查力度不足导致重复质押, 最终造成大量损失。根据世界银行集团的估算, 我国动产规模约在230万亿元至400万亿元之间, 但动产质押融资规模不足1万亿元。许多金融机构由于无法有效

控制供应链融资业务风险,陷入“想贷却不敢贷”的困境,阻碍了供应链融资业务的发展。同时这也导致金融机构逐渐对融资企业的信用资质的信任程度降低,出现拒贷怕贷的情况。银保监会的监管意见呼吁在降低和控制风险的同时扩大金融机构的业务范围的前提下,鼓励供应链融资发展,从而为中小企业融资提供更多的资金支持。

Watts 和 Strogatz (1998)以及 Barabási 和 Albert (1999) [1]第一次提出现实各种情形的网络中具有“小世界性”和“无标度性”的拓扑性质特征,国内外研究也表明金融网络也大致遵循相同的规律,因此可以通过构建复杂网络模型来研究金融网络。近年来,我国不少学者也通过复杂网络对融资风险这一领域进行研究,如陈庭强和何建敏(2014) [2]以信用风险主体之间的关联机制为基础,结合融资风险网络的结构特性,建立起信用风险传播网络模型,研究出上述网络结构特征对信用风险传播及演化的影响。林砚和陈志新(2018) [3]站在金融机构及金融机构之间关系的角度构建风险传染性评估模型,得出了我国金融网络中影响金融机构风险传染的因素包括多层次、多因素共同作用的结论。王宇等(2019) [4]探究了金融网络的形成机理,并对最优网络结构进行研究,得出了金融网络在分散各金融机构的风险的同时,也增加了系统性金融风险出现的可能。傅培华,王秀丽等(2020) [5]为了评估融资企业违约风险传播对建材行业供应链金融发展的影响,以供应链成员间的合作程度为依据,建材供应链金融违约风险传播模型,得出了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的结论。谢赤等(2021) [6]通过研究中国泛金融市场的上下行极端风险溢出效应,构建出有向加权复杂网络,经过仿真分析,研究出各个子市场之间的极端风险溢出演化规律。罗晓黎等(2021) [7]通过构建复杂网络模型研究旅游业中各企业间的风险传染过程,发现影响旅游业发展的关键风险因素是企业资产负债率、企业的现金流、当地经济发展水平以及企业的产权比率等风险指标。王磊等(2022) [8]构建了内生性企业间信用担保网络以及担保网络风险传染模型,并通过分析企业间的信用担保网络结构及其风险传染演化特征,得出了企业间信用担保网络结构呈现“弱去中心化”特征的结论。刘琦铀,林丽婷等(2024) [9]在区块链技术的背景下,构建出复杂网络演化博弈模型来研究农户融资上链行为,发现上链率、农户规模、上链成本等是影响上链行为的关键因素。

因此,对于银行等金融机构、物流监管企业乃至整个金融行业来说,研究供应链融资业务过程中的风险致因因素,探究其发生规律及作用机制有重要意义,在此基础上建立起完善的现代化的物流监管系统,减少存货质押融资风险事故的发生,提高存货质押供应链融资业务的安全水平。

2. 相关理论基础

2.1. 扎根理论

扎根理论强调以未经加工的原始资料(如访谈、观察、实物分析)为研究对象,建立理论或形成结论。该理论要求研究者收集真实可靠的原始资料,通过系统化程序对研究资料进行全面分析和梳理,在此基础上提出新的理论观点,同时对于研究对象情境还需要进行理论饱和性检验,来确保理论的不断更新和完善。

扎根理论的基本特征包括:1) 使用多样来源的原始资料(如报告、访谈、记录);2) 注重从原始资料中提取理论,进行归纳和浓缩;3) 使用持续比较方法,不断比较资料 and 理论以发现新线索;4) 需要回到原始资料中检验理论,以实现理论的饱和状态。

2.2. 复杂网络理论

2.2.1. 复杂网络理论简介

复杂网络由节点和边组成,节点代表网络中的个体,边代表个体之间的相关关系。除了互联网外,

生活中的复杂网络处处可见，例如由大量神经元组成的复杂神经网络，由中转站和运输线路组成的复杂物流网络以及轨道交通网络、电力基础设施网络、人际社交网络等等。

2.2.2. 复杂网络的统计特征

1) 节点的度与度分布

节点的度 k 是节点最为经典且直观的属性之一，表示目标节点的总连边数。通常来说，目标节点的重要程度越大其度值也会相应增加。而平均度 $\langle k \rangle$ 则表示网络中存在的所有节点度值之和的平均值，具体可表示为

$$\langle k \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i \quad (1)$$

式(1)中， k_i 为节点 v_i 的度， N 为网络节点总数。

度分布函数 $P(k)$ 表示在网络中随机抽取一个节点且该节点的度值为 k 的概率为 $P(k)$ ，具体定义如下所示：

$$P(k) = \frac{\lambda^{k e - \lambda}}{k!} \quad (2)$$

其中，参数 $\lambda > 0$ ，当 λ 越大，度分布图像越接近正态分布。

2) 平均路径长度与网络直径

在网络模型中，两个节点间的最短路径指连接两个节点所需要经过的最少连边数量，也称为两个节点间的最短距离。而网络的平均路径长度则是将网络中所有节点间的最短路径长度和的平均值，具体如下式所示：

$$L = \frac{1}{\frac{1}{2} N(N-1)} \sum_{i \neq j} d_{ij} \quad (3)$$

式(3)中， d_{ij} 表示节点 v_i 和 v_j 的最短路径长度， N 则表示网络中节点的总数量。

3) 介数

介数是基于节点间最短路径数量来定义的全局特征量，分为节点介数和边介数。若通过某节点或某条边的最短路径数量越多，代表该节点或边的重要程度也就越高。节点 v_i 的介数可表示为

$$BC(i) = \sum_{s \neq i \neq t} \frac{\sigma_{st}^i}{\sigma_{st}} \quad (4)$$

式(4)中， σ_{st}^i 表示路径中包含节点 v_i 的数量， σ_{st} 表示节点 v_s 和 v_t 的最短路径数。

4) 聚类系数

网络的聚类系数衡量了节点间共同邻居节点的可能性，反映了各相邻节点间连接的紧密性。节点 v_i 的聚类系数可表示为

$$C_i = \frac{E_i}{(k_i(k_i-1))/2} = \frac{2E_i}{k_i(k_i-1)} \quad (5)$$

其中， E_i 表示节点 v_i 相邻节点间的连边数， k_i 表示节点 v_i 的度。

5) K-shell 中心性

K-shell 中心性[10]是 2010 年 Kitsak 等人为了确定节点在网络中的位置所提出的一种概念，Kitsak 等人认为越靠近网络中心位置的节点，其重要程度也就越高。该方法通过对网络中的节点进行剥离分解，

从外向内一层层移除外围的节点，剥离次数越高，说明节点越处于网络中的核心地位。

3. 存货质押供应链融资风险致因网络模型构建

3.1. 数据来源

为了使本文研究的存货质押供应链融资风险因素分析结论能够反映存货质供应链押融资的真实情况，在存货质押供应链融资过程中更具实际意义，一方面要考虑风险案例的丰富性，另一方面也保证风险案例的真实可靠性。并且本文的资料来源主要包括以下几方面：① 在中国裁判文书网上公示的有关存货质押供应链融资风险事故的判决书以及裁定书等；② 中证网、东方财富等财经网站公开发表的存货质押供应链融资风险事故的相关文章和评论。

3.2. 基于扎根理论的存货质押供应链融资风险致因提取

本文利用扎根理论对 80 起存货质押供应链融资风险案例进行编码分析，从中得到了 85 个概念化、44 个初始范畴、13 个主范畴及 5 个核心范畴，并以此为基础，参考文献[11]的供应链融资风险类型建立了存货质押融资风险事故致因因素体系，如表 1。

Table1. Inventory pledge financing risk case report spindle coding
表 1. 存货质押融资风险案例报告主轴式编码

核心范畴	主范畴	初始范畴
环境因素	经济环境因素	市场环境恶化
	物理环境因素	自然灾害、气候变化
	法律和政策因素	法律政策变动
企业信用问题	融资企业信用问题	经营策略不当、融资策略不当、企业资金问题、恶意伪造质物价值、恶意不还款、违规质押、无视监管强行出库
	监管企业信用问题	监管企业规模不足、违规处理质物、拒绝履行监管职责、与融资企业合谋
质物变现问题	质物形态	质物状态不稳定、质物价值问题、质物成分问题
	质物处置	需求市场波动性大、未及时变现导致贬值、无稳定质物变卖渠道
操作因素	监管企业具体操作	监管义务履行不到位、监管执行力度不足、现场监护不到位、质物管理混乱、质押操作不当、质物信息不对称、监管人员与外人合谋
	金融机构具体操作	信息中介职责履行不到位、对监管企业信用审核不力、对融资企业信用审核不力、人员安全意识不足、人员职业素养不足
	质押流程	质押物交付不规范、解押流程不规范、费用支付不规范
法律问题	质押合同	合同到期未及时解押或续约、合同未签订、合同条款纰漏、第三方代签合同、编造合同、合同条款不清晰
	质物产权	质物产权不明确
	刑事犯罪	监管人员刑事犯罪

利用通过扎根分析得到的致因因素初始范畴作为存货质押供应链融资风险事故致因网络模型中的节点，同时归纳出存货质押融资风险的事故类型，并对此进行编号处理，如表 2、表 3 所示。

Table 2. Causes sets of inventory pledge financing risk accidents
表 2. 存货质押融资风险事故致因集

类别	编号	风险因素	类别	编号	风险因素
环境因素	r_1	市场环境恶化		r_{23}	监管执行力度不足
	r_2	自然灾害		r_{24}	现场监护不到位
	r_3	气候变化		r_{25}	质物管理混乱
	r_4	法律政策变动		r_{26}	质押操作不当
企业信用问题	r_5	经营策略不当	操作因素	r_{27}	质物信息不对称
	r_6	融资策略不当		r_{28}	监管人员与外人合谋
	r_7	企业资金问题		r_{29}	信息中介职责履行不到位
	r_8	恶意伪造质物价值		r_{30}	对监管企业信用审核不力
	r_9	恶意不还款		r_{31}	对融资企业信用审核不力
	r_{10}	违规质押		r_{32}	人员安全意识不足
	r_{11}	无视监管强行出库	法律问题	r_{33}	人员职业素养不足
	r_{12}	监管企业规模不足		r_{34}	质押物交付不规范
	r_{13}	违规处理质物		r_{35}	解押流程不规范
	r_{14}	拒绝履行监管职责		r_{36}	费用支付不规范
	r_{15}	与融资企业合谋		r_{37}	合同到期未及时解押或续约
	r_{16}	质物状态不稳定		r_{38}	合同未签订
质物变现问题	r_{17}	质物价值问题		r_{39}	合同条款纰漏
	r_{18}	质物成分问题		r_{40}	第三方代签合同
	r_{19}	需求市场波动性大		r_{41}	编造合同
	r_{20}	未及时变现导致贬值		r_{42}	合同条款不清晰
	r_{21}	无稳定质物变卖渠道		r_{43}	质物产权不明确
	r_{22}	监管义务履行不到位		r_{44}	监管人员刑事犯罪

Table 3. Sets the types of inventory pledge financing risk accidents
表 3. 存货质押融资风险事故类型集

编号	事故类型	编号	事故类型
r_{45}	企业经营事故	r_{48}	质押物变现事故
r_{46}	监管事故	r_{49}	恶意违约事故
r_{47}	流程操作事故	r_{50}	其他事故

3.3. 存货质押供应链融资风险事故致因网络模型构建

以前文扎根分析中存货质押供应链融资风险案例报告的数据为基础, 研究各个风险致因因素及风险事故类型在各案例中的共现关系, 并统计出其共现频次, 构造共现矩阵 W_1 。

$$W_1 = \begin{pmatrix} & r_1 & r_2 & \cdots & r_5 & \cdots & r_{49} & r_{50} \\ r_1 & 0 & 0 & \cdots & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ r_2 & 0 & 0 & \cdots & 2 & \cdots & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ r_5 & 1 & 2 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ r_{49} & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ r_{50} & 0 & 1 & \cdots & 1 & \cdots & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

其中 $r_1 \sim r_{44}$ 为融资风险事故致因因素, $r_{45} \sim r_{50}$ 为融资风险事故类型。

接着, 将对应具有共现关系的节点记为 1, 无共现关系的节点记为 0, 构建出邻接矩阵 W_2 。

$$W_2 = \begin{pmatrix} & r_1 & r_2 & \cdots & r_5 & \cdots & r_{49} & r_{50} \\ r_1 & 0 & 0 & \cdots & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ r_2 & 0 & 0 & \cdots & 1 & \cdots & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ r_5 & 1 & 1 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ r_{49} & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ r_{50} & 0 & 1 & \cdots & 1 & \cdots & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

其次, 利用 Jaccard 指数作为各节点共现率的指标, 其计算公式为:

$$J_{ij} = \frac{m_{ij}}{m_i + m_j - m_{ij}} \quad (8)$$

式(8)中: m_i 和 m_j 为节点 i 和节点 j 出现的频次; m_{ij} 为节点 i 和节点 j 的共现频次; J_{ij} 为节点 i 和节点 j 的共现率, 其中 $0 \leq J_{ij} \leq 1$ 。

在共现矩阵 W_1 的基础上, 得出各节点之间的共现率, 进而得出 Jaccard 指数矩阵 W_3 。

$$W_3 = \begin{pmatrix} & r_1 & r_2 & \cdots & r_5 & \cdots & r_{49} & r_{50} \\ r_1 & 0 & 0 & \cdots & 0.022727 & \cdots & 0 & 0 \\ r_2 & 0 & 0 & \cdots & 0.071429 & \cdots & 0 & 0.142857 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ r_5 & 0.022727 & 0.071429 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 0.032258 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ r_{49} & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ r_{50} & 0 & 0.142857 & \cdots & 0.032258 & \cdots & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

根据邻接矩阵以及 Jaccard 指数矩阵, 通过 Matlab2020 软件构建加权无向存货质押融资风险事故影响因素网络模型, 如图 1 所示。

最终, 构建的网络模型包括 50 个节点、214 条边。

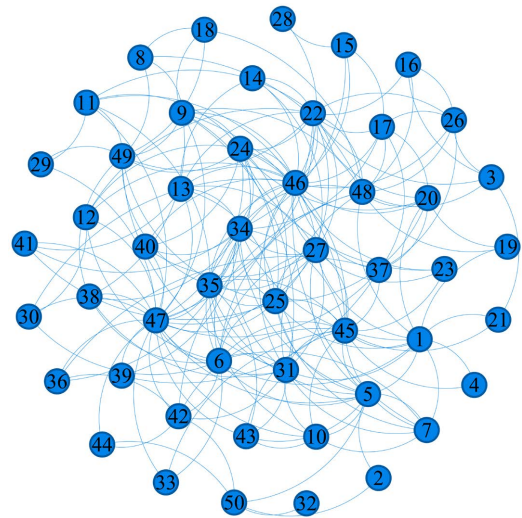


Figure 1. Network diagram of inventory pledge financing risk accident causes
图 1. 存货质押融资风险事故致因网络图

4. 存货质押供应链融资事故致因网络结构特性分析

4.1. 致因网络结构统计指标分析

4.1.1. 节点度与度分布

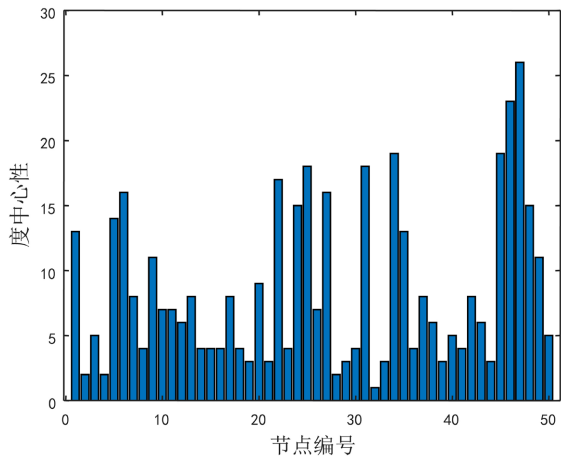


Figure 2. Degrees of nodes
图 2. 节点的度

图 2 为存货质押供应链融资风险事故致因网络中各节点的度值，由于存货质押供应链融资风险事故致因网络为无向加权网络,其度值呈现不均匀分布。可以看出，大约 24% 的节点度值之和占有所有节点度值之和的 54%，其中，操作因素所占比例较大，约为 42%。而节点 r_{32} 人员安全意识不足的度值较小，仅为 1，表示该致因因素在融资风险致因网络中只存在一个相邻节点。

在风险致因因素中度值较大的节点有 r_{34} 质押物交付不规范、 r_{25} 质物管理混乱、 r_{31} 对融资企业信用审核不力以及 r_{22} 监管义务履行不到位。其中节点的度值越大，说明与之有直接关联的节点越多，表明这些要素更容易与其他要素产生相互作用，从而成为致因网络中的中心节点，即致因网络的关键节点。这

些节点中多数节点属于操作因素，可以看出操作因素与其它致因之间联系较为紧密并且对整个网络有着较大的影响力。尽管这类节点的数量不多，但它们在网络中扮演着主导角色，一旦出现问题，对整体网络的影响也更为显著。因此，加强对这些关键节点的管理和控制显得尤为重要。

在事故类型中度值较大的节点包括 r_{47} 流程操作事故及 r_{46} 监管事故，可见该两种类型的事故受到多种致因因素的影响，对整个网络容易产生重大影响。因此，流程操作事故和监管事故在存货质押融资风险事故中处在关键地位，需要重点加强防范。

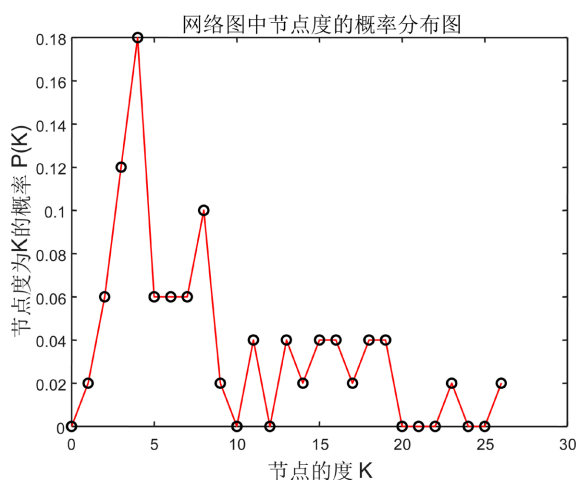


Figure 3. Probability distribution of node degree in the network diagram

图 3. 网络图中节点度的概率分布图

利用第二章公式(2)计算得知节点度的概率分布如图 3 所示，由图 3 分析可得，度为 4 的概率最高为 0.18，没有节点的度值为 10、12、20、21、22、24、25，节点最大的度为 26，其节点度分布概率为 0.02，从整体上我们可以看出，度小的节点分布概率高，度大的节点分布概率低，呈现长尾分布的特征，符合无标度网络的特性。

针对上面的概率分布，做双对数曲线线性回归方程分析结果如下，其分布情况如图 4 所示：

$$p(k) = 7.8392k^{-0.9474} \quad (10)$$

$$R^2 = 0.7641 \quad (11)$$

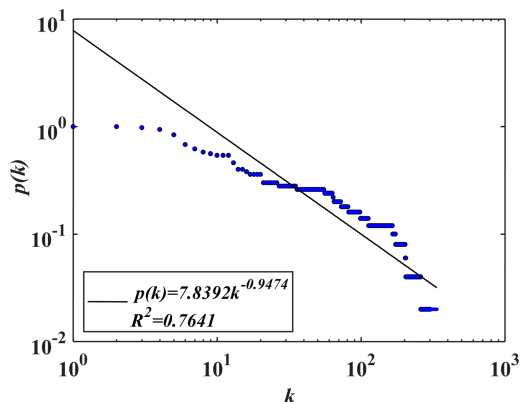


Figure 4. Linear regression equation of log-double curve

图 4. 双对数曲线线性回归方程

4.1.2. 网络直径与平均距离

存货质押供应链融资风险事故致因网络的直径为 5，说明网络中最长的最短路径为 5；平均距离的长度为 2.1192，表示存货质押融资风险致因网络中的事故节点连接到其他事故节点的平均步数为 2.1192 步。由此可以看出，在存货质押融资风险事故中，各致因因素之间的关联关系较为密切，同时也导致了风险传播的速度较快，容易引发风险事故。一旦某些因素出现问题，其影响有可能迅速扩散，导致连锁效应，这极大提升了控制存货质押融资风险事故发生与传播的难度。因此，需要构建风险预警系统，以便在影响因素出现问题时迅速中断其扩散途径，避免连锁反应的发生，减少事故可能造成的损害。

4.1.3. 介数中心性

节点介数可以反映出节点在网络连通性中的影响力，通过观察网络中的节点介数值，可以发现，介数的值越大，其对整个网络连通性的影响也就越大。由图 5 中可知， r_5 、 r_{22} 、 r_{34} 等风险致因因素节点的介数值明显较大，说明经营策略不当、监管义务履行不到位、质押物交付不规范等风险致因因素在最短路径上出现的概率最高，发挥着关键连接作用；同时，在风险事故类型方面， r_{46} 、 r_{47} 等事故类型节点相较于其他事故类型节点介数值也更大，说明监管事故、流程操作事故在最短路径上出现的概率最高。

因此，在存货质押融资业务过程中需重点防范这几个风险因素，同时也需要对这几种类型的风险事故多加防范，从而能够切断整个网络中的风险传播，提高存货质押供应链融资风险网络的安全性。而对于其他介数较低的风险因素节点，控制这些节点对整个融资风险网络中风险传播的影响较小。

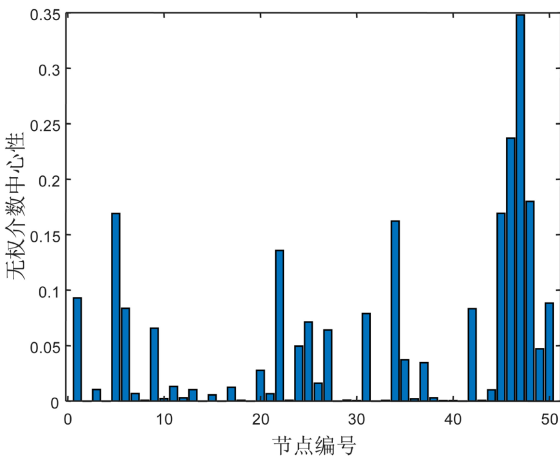


Figure 5. Number of network nodes caused by inventory pledge financing risk accidents

图 5. 存货质押融资风险事故致因网络节点介数

4.1.4. 聚类系数

存货质押融资风险事故致因网络的平均聚类系数为 0.5984，其聚类系数范围为 0.2~1.0，约 54% 节点的聚类系数在 0.6~1.0 范围之内，由此可以看出网络中各节点的聚集程度较为密集，风险在各节点间的影响速度较快，这给存货质押供应链融资业务的进行带来了风险隐患。

图 6 为存货质押融资风险事故致因网络节点的聚类系数。由图 6 可以看出，节点 r_{32} 的聚类系数为 0，这是因为其度值为 1，由于只有一个邻接点，导致周围不存在其他的边。节点 r_2 、 r_4 、 r_{14} 、 r_{16} 、 r_{19} 、 r_{28} 、 r_{41} 的聚类系数最大为 1。但是通过图 2 以及图 5 又发现这些节点的度和介数都较小，说明与自然灾害、法律政策变动、拒绝履行监管职责、质物状态不稳定、需求市场波动性大、监管人员与外人合谋、编造合同等因素存在关联关系的节点较少或者较弱。然而，与这些因素相关的风险因素之间的相关性却非常

强。同时，在风险事故类型节点中，因为 r_{49} 恶意违约事故的发生往往会涉及到多种致因因素，因此其聚类系数也较小。

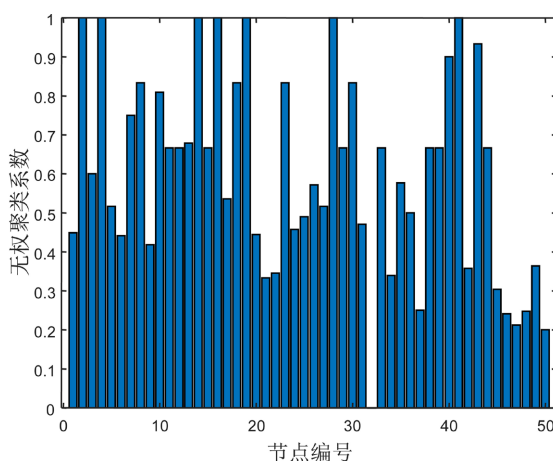


Figure 6. Clustering coefficient of network nodes caused by inventory pledge financing risk accidents

图 6. 存货质押融资风险事故致因网络节点聚类系数

4.1.5. 基于 K-Shell 的复杂网络关键节点识别方法分析

本小节按照 K-Shell 算法对风险致因网络进行分解，得到了每个致因节点和事故节点在网络中对应的 shell 值，具体结果如图 7 所示。由图 7 分析可得，网络最大 Shell 值为 7，说明网络经过了 7 次分解。

其中风险致因节点中， r_1 、 r_5 、 r_6 、 r_7 、 r_{24} 、 r_{25} 、 r_{27} 、 r_{31} 、 r_{34} 、 r_{35} 的 Shell 值最高为 7，说明致因节点市场环境恶化、经营策略不当、融资策略不当、企业资金问题、现场监护不到位、质物管理混乱、质物信息不对称、对融资企业信用审核不力、质押物交付不规范、解押流程不规范等节点在网络中的层次最高，属于网络最中心位置；最低节点 r_{32} 人员安全意识不足的值最低为 1，处于网络最外围位置。

就风险事故类型而言，Shell 值最高为 7 的事故类型分别是 r_{45} 企业经营事故、 r_{46} 监管事故、 r_{47} 流程操作事故，说明这几种类型的风险事故在网络中处于最高层次，需要对这几种类型的风险事故多加防范。

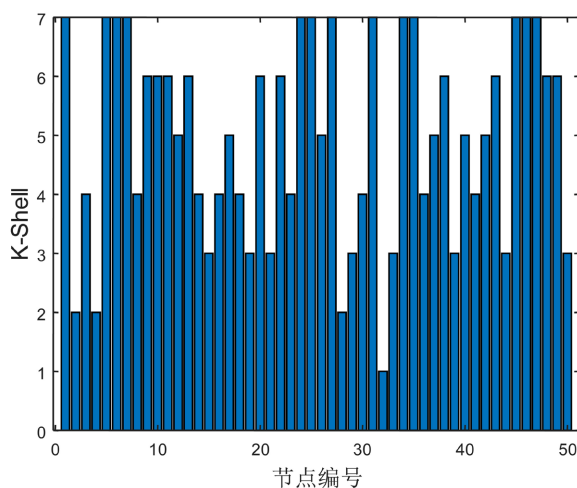


Figure 7. K-Shell value of network node caused by inventory pledge financing risk accident

图 7. 存货质押融资风险事故致因网络节点 K-Shell 值

4.2. 基于 TOPSIS 综合评价法的网络关键节点排序及分析

4.2.1. TOPSIS 综合评价法的基本步骤

TOPSIS 综合评价法，即逼近理想解排序法，这种方法常被用在进行多目标决策分析。其核心思路在于以评价目标与理想化目标的接近程度高低为基础，将评价目标与理想化目标距离进行排序，并评估相对优劣，其中最优解指标值为各评价指标最优值，最劣解指标值为各评价指标最差值。本小节将基于前文所采用的度中心性、介数中心性、聚类系数、K-Shell 等评价指标，综合节点的局部、全局、位置等属性，利用 TOPSIS 法更加全面地评价存货质押融资风险网络致因的重要程度。其排序步骤如下：

1) 构造决策矩阵

假设存货质押供应链融资风险网络中待评估的风险因素有 m 个，每个风险因素中的脆弱度评价指标有 n 个，通过这些脆弱度评价指标构造出存货质押供应链融资风险致因因素脆弱度评价体系，依据此评价体系对风险致因节点脆弱度进行排序。其中第 i 个网络要素的第 j 个脆弱度指标的数据为 a_{ij} ，其决策矩阵 A 如下：

$$A = (a_{ij})_{m \times n} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (12)$$

2) 决策矩阵标准化处理

将决策矩阵进行标准化处理，得出标准化决策矩阵 $B = (b_{ij})_{m \times n}$ 如公式(13)所示：

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (13)$$

3) 确定各个脆弱度评价指标的正理想解 $B^+ = (b_j^+)_{1 \times n}$ 和负理想解 $B^- = (b_j^-)_{1 \times n}$ 如下所示：

$$b_j^+ = \max\{b_{1j}, b_{2j}, \cdots, b_{mj}\}, \text{ 若第 } j \text{ 个指标为正向指标。} \quad (14)$$

$$b_j^+ = \min\{b_{1j}, b_{2j}, \cdots, b_{mj}\}, \text{ 若第 } j \text{ 个指标为负向指标。} \quad (15)$$

$$b_j^- = \min\{b_{1j}, b_{2j}, \cdots, b_{mj}\}, \text{ 若第 } j \text{ 个指标为正向指标。} \quad (16)$$

$$b_j^- = \max\{b_{1j}, b_{2j}, \cdots, b_{mj}\}, \text{ 若第 } j \text{ 个指标为负向指标。} \quad (17)$$

4) 计算各待评价风险因素到正负理想解的欧氏距离

假设第 i 个风险因素到正理想解的欧氏距离为 S_i^+ ，到负理想解的欧氏距离为 S_i^- ，当到正理想解的欧氏距离 S_i^+ 越小，到负理想解的欧氏距离 S_i^- 越大时，表示该风险因素越接近正理想解，同时也越远离负理想解，如下：

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (b_{ij} - b_j^+)^2} \quad (18)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (b_{ij} - b_j^-)^2} \quad (19)$$

5) 确定第 i 个风险因素与理想解的接近度 f_i ，如公式所示：

$$f_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (20)$$

风险因素与理想解接近度 f_i 的值域在 0~1 之间，在脆弱度评价体系中，可以将 f_i 视为风险因素脆弱度的大小，并依据此对风险因素的脆弱度大小进行排序。当风险因素的接近度越接近 1 时，则该风险因素为存货质押供应链融资风险网络中脆弱度越大；同理当风险因素的接近度越接近 0 时，则该风险因素为存货质押供应链融资风险网络中脆弱度越小。

4.2.2. 基于 TOPSIS 法的风险节点脆弱度评价

结合上文所采用的度中心性、介数中心性、聚类系数、K-Shell 等方法，从不同角度对节点重要性指标进行描述，本小节利用 TOPSIS 方法综合上述角度评估节点的重要性，对网络节点重要性进行排序。

Table 4. Positive and negative ideal solutions of each index of node vulnerability
表 4. 节点脆弱度各指标正负理想解

指标	DC	WDC	CC	BC	WBC	KS
Z_j^+	0.3632	0.2991	0.2173	0.5716	0.5755	0.1967
Z_j^-	0	0	0	0	0	0

Table 5. Order the Euclidean distance from risk factors to positive and negative ideal solutions and the top 20 nodes of vulnerability
表 5. 风险因素到正负理想解的欧氏距离及脆弱度前 20 节点排序

编号	风险致因/风险事故	到正理想解欧氏距离	到负理想解欧氏距离	节点脆弱度	
				数值	排序
47	流程操作事故	0.204283	0.896751	0.814463	1
46	监管事故	0.25095	0.837091	0.769356	2
34	质押物交付不规范	0.426939	0.591622	0.580841	3
5	经营策略不当	0.447456	0.556621	0.554361	4
45	企业经营事故	0.479569	0.567058	0.541796	5
22	监管义务履行不到位	0.519198	0.498061	0.489611	6
31	对融资企业信用审核不力	0.592918	0.472266	0.443366	7
48	质押物变现事故	0.634703	0.45949	0.419935	8
25	质物管理混乱	0.671748	0.427729	0.389029	9
6	融资策略不当	0.74147	0.387664	0.343329	10
1	市场环境恶化	0.709067	0.369579	0.342632	11
24	现场监护不到位	0.755618	0.383311	0.336554	12
27	质物信息不对称	0.767093	0.37441	0.327997	13
35	解押流程不规范	0.782138	0.334889	0.299804	14
49	恶意违约事故	0.752637	0.320304	0.298529	15
9	恶意不还款	0.754567	0.303514	0.286853	16
50	其他事故	0.755112	0.29022	0.277635	17
7	企业资金问题	0.873457	0.287659	0.247744	18
42	合同条款不清晰	0.801054	0.262292	0.246667	19
13	违规处理质物	0.833779	0.267855	0.243143	20

首先将存货质押供应链融资风险网络节点脆弱度评价指标体系中的各指标数据标准化,再求出各指标对应的正负理想解,如表 4 所示。接着依次求出各风险因素到正负理想解的欧氏距离和相对接近度,并依据此进行排序,其中脆弱度的排名前 20 的节点如表 5 所示。其中 DC 为度中心性, WDC 为加权度中心性, CC 为聚类系数, BC 为介数中心性, WBC 为加权介数中心性、KS 为 K-Shell 值。

4.2.3. 脆弱度评价结果分析

上文通过 TOPSIS 法对风险节点进行脆弱度排序,在排名靠前的节点中, r_{47} 流程操作事故以及 r_{46} 监管事故的脆弱性遥遥领先于其余节点,且均为风险事故类型,因此本文将分别对事故类型节点和致因因素节点进行分析。

1) 事故类型节点脆弱性分析

在事故类型层面,节点 r_{47} 流程操作事故以及 r_{46} 监管事故的节点脆弱度值远高于其他事故类型,说明在存货质押融资过程中,流程操作事故以及监管事故为关键事故。流程操作事故主要指在存货质押流程中存在的不规范行为,包括质物交付及解押的不规范和对融资企业信用和监管企业信用资质审核不规范;而监管事故针对的主要是监管企业,包括监管义务的履行、监管的执行力度、质押现场的管理以及对于质押物的操作是否得当。因此,在建立存货质押融资风险事故应急预案的同时,规范化质押流程、加强对各主体企业的信用审核以及加强监管企业的监管水平就显得尤为重要,从而能够在事故发生时降低相应的事故风险程度甚至规避风险事故发生。

2) 致因因素节点脆弱性分析

而在风险致因因素层面,节点 r_{34} 质押物交付不规范与 r_5 经营策略不当为脆弱度最高的节点。质押物交付不规范包括商品交易未真实发生、质押物未登记、质押过程未发生等情况,此风险因素往往伴随着虚假质押或质物数量模糊,在融资企业违约时使得金融机构无法充分受偿,从而给存货质押业务带来极大风险;经营策略不当主要是指企业自身经营不善、过度依赖融资业务、预付款过多导致资金链断裂等情况,这些因素是企业违约还款的重要致因,因此需要重点核查与防范。

5. 结论

1) 存货质押供应链融资风险事故致因网络呈现长尾分布的特征,符合无标度网络的特性,即该网络平均路径长度较短,聚集程度较为密集,风险在各节点间的影响速度较快,这给存货质押供应链融资业务的进行带来了风险隐患。

2) 利用 TOPSIS 法综合各方法,更加全面地评价存货质押融资风险网络节点的重要程度,对脆弱度评价结果分析得出了流程操作事故和监管事故为关键事故及质押物交付不规范和经营策略不当为关键风险致因因素的结论,为现实业务的风险管控提供一定的参考。

参考文献

- [1] Watts, D.J. and Strogatz, S.H. (1998) Collective Dynamics of "Small-World" Networks. *Nature*, **393**, 440-442. <https://doi.org/10.1038/30918>
- [2] 陈庭强, 何建敏. 基于复杂网络的信用风险传染模型研究[J]. 中国管理科学, 2014, 22(11): 1-10.
- [3] 林硯, 陈志新. 基于复杂网络理论的金融网络风险传染性评估模型[J]. 南方金融, 2018(5): 16-26.
- [4] 王宇, 肖欣荣, 刘健, 等. 金融网络结构与风险传染理论述评[J]. 金融监管研究, 2019(2): 79-96.
- [5] 傅培华, 王秀丽, 赵萌, 等. 基于复杂网络的建材供应链金融风险传播与防范研究[J]. 供应链管理, 2020, 1(9): 21-35.
- [6] 谢赤, 贺慧敏, 王纲金, 等. 基于复杂网络的泛金融市场极端风险溢出效应及其演变研究[J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41(8): 1926-1941.

-
- [7] 罗晓黎, 芦静, 闵剑. 基于复杂网络的企业风险传染动态监测研究——以旅游业为例[J]. 财会通讯, 2022(4): 135-139.
 - [8] 王磊, 李守伟, 陈庭强, 等. 基于企业行为偏好的企业间信用担保网络与风险传染研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(2): 80-93.
 - [9] 刘琦铀, 林丽婷, 张成科. 区块链环境下基于复杂网络演化博弈的农户融资上链行为研究[J]. 金融理论与实践, 2024(2): 15-24.
 - [10] Kitsak, M., Gallos, L.K., Havlin, S., *et al.* (2010) Identification of Influential Spreaders in Complex Networks. *Nature Physics*, **6**, 888-893. <https://doi.org/10.1038/nphys1746>
 - [11] 李毅学. 供应链金融风险评估[J]. 中央财经大学学报, 2011(10): 36-41.