

Research on Evolution Process of Credit Risk Contagion Under Degree State Transition

Tianqi Wang¹, Yi Sun^{2*}

¹School of Economics and Management, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing, 100876, China

²School of Computer Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing, 100876, China

*Corresponding author. Email: sunyisse@bupt.edu.cn

ABSTRACT

This paper starts from the assumption that the credit relationship network will have a "degree transition", that is, the underlying network is a limited dynamic, and the evolution process of credit risk contagion under the open network system with noise factors is studied. Firstly, under the assumption of dynamic network, the stochastic resonance adiabatic approximation theory is used to derive the probability of moderate change in social networks, and the non-Markov model of infection probability is constructed. Based on this, the factors such as noise intensity and evolution time are discussed. The impact and discovery of the non-linear characteristics of the credit risk contagion process under the open system, indicating that the evolution process of its contagion is the interaction of the strong interaction between the system movement process and finally through the simulation program to verify the validity of the conclusion. This paper emphasizes the significant adjustment of credit relationship in the occurrence of credit risk events. By controlling the evolution of time, the nonlinear evolution process of credit contagion is more realistic.

Keywords: State transition, open network system, credit risk infection

度状态跃迁下的信用风险传染演化过程研究

王天棋¹ 孙艺^{2*}

¹经济与管理学院, 北京邮电大学

²计算机学院(示范性软件学院), 北京邮电大学

*通信作者邮箱: sunyisse@bupt.edu.cn

摘要:

本文从信用关系网络会发生“度状态跃迁”的假设出发,即底层网络是有限动态,研究了融合噪声因素的开放网络系统下的信用风险传染演化过程。首先在动态网络的假设下,利用随机共振绝热近似理论推导社会网络中度的变化概率,构建了传染概率的非马尔科夫模型,在此基础上讨论噪声强度和演化时间等因素对演化过程的影响,发现信用风险传染过程在开放系统下变化的非线性特点,说明其传染的演进过程是因素间交互强作用的系统运动过程最后通过仿真程序,验证结论的有效性。研究强调了信用关系在信用风险事件发生时的大幅度调整,通过控制时间演进,更真实地了信用传染的非线性演化过程。

关键词: 度状态跃迁, 开放网络系统, 信用风险传染

1. 引言

本文研究来源于对小微企业联保和担保制度所形成的信贷网络的思考,小微企业的信用评估由于其相关数据的缺失难以适应传统信用模型。不同于大中

企业,小微企业间不仅存在复杂的产业关系网络,基于传统融资所形成的借贷网络也较为复杂。即使通过担保和联保等增信方式,仍存在小微企业坏账烂账频发现象,特别是由于联保集体中企业的同质性和小微企业的弱信用体系,极易引发信用风险传染现象。当

下对于企业的信用研究主要集中在建立小微企业的信用评价指标体系,忽视了小微企业的一个信用风险源头,即风险传染因素带来的信用违约危机,本文试图构建具有小微企业集合特征的复杂网络模型,从动态交互的视角研究小微企业信用。

信用风险传染过程依赖信用个体之间的关联关系,时间演化和个体行为,又基于信用的社会性,信用风险传染问题较适合以复杂网络相关理论进行研究。本文提出了基于社会网络结构的信用风险传染演化模型,通过随机共振理论加入噪声因素建立开放网络系统,量化度跃迁过程,并利用非马尔科夫过程建立其系统均衡方程,在此基础上进行相关因素(时间、噪声强度等)的交互作用分析,得出相关结论。

2. 相关文献回顾

相关信用风险传染问题的研究集中在复杂网络理论上,对网络的节点、边和拓扑结构赋予一定的实际经济意义,例如基于金融资产之间的实在联系建立网络,包括业务联系、资产联系和信贷联系等,同时在经济环境的影响下,通过信用事件的发生,个体之间作为节点产生相应的信用风险传染现象,复杂网络可以直观地描述信用风险个体之间的复杂关系,并可以有效地分析影响风险传递的内生和外生因素。李永奎(2016)[1]从资产关联视角并利用复杂网络和传染病 SIS 理论分析发现,资产关联关系对关联信用风险的传染具有双向作用。韩璐(2016)[2]通过相依性网络分析方法度量上市公司的违约相依度,证实了违约传染的资金链路径。钱茜(2018)[3]认为供应链上信用风险包括信贷信用、商业信用风险和关联信用风险,商品的市场价格、供应商生产成本和无风险利率都会影响供应链上关联信用风险的传染强度。

信用环境的噪声因素对于信用风险传染过程的影响也不容忽视。环境噪声为信用网络中的舆论信息,舆论信息往往会引发群体行为,随机共振理论是指非线性双稳系统中,在噪声,弱信号和系统三者之间的协同作用下,实现信号的放大,在社会学科中主要应用在舆情传播。由于信用违约事件属于原生事件,而信用个体之间关系的调整属于衍生事件,即使是极小的噪声,也会引发调整行为的扩大,两者之间符合共振模型的基本场景。高杨(2008)[4]发现在嘈杂小世界网络中,存在特定的拓扑结构使得系统对于外界弱信号的放大作用最大。苏继超等(2017)[5]通过控制噪声强度研究网络舆论观点形成,噪声强度越大,公众观点收敛值范围越大,个体行动趋于无序化。信用风险传染演化过程中,网络系统内外会发生无效或低效的信息交换,基于行为经济学和不完全市场理论,个体决策会受到信息集合(包括他人决策行为、其他个体基本信息等)和个体有限理性的影响。

信用主体行动模式决定了信用风险传染模型复杂网络的属性演化。Chen 和 He[14]构建的信用风险传染复杂网络模型研究了信用主体的风险态度和抵

御信用风险的能力对节点关系的影响。Jiang(2018)[15]从更为微观的角度结合传播动力学理论和复杂网络分析情绪传染与信用风险传染的耦合关系,从而实现了客观信息到主观情绪的转变。现有模型多从宏观角度分析,主要通过调整感染比例来研究风险传染,少数集中在微观主体的行为和情绪角度,而过于微观会给研究带来更多不确定性,从而影响结果信度,本文通过对处于中观层面的复杂网络度的研究,而且对于网络中个体信用关系的调整过程描述是是否的单刻度,缺少时间尺度的度量,现实中信用关系的调整在信用事件发生时通常在较短时间即可完成,从而需要对信用的复杂网络的度属性做更为细化的假设。

企业等信用个体会在信用事件发生时调整自身社会关系以规避、分散和转移风险。格兰多利(1995)等认为企业网络是调节公司之间相互依赖关系的一种模式。李正彪(2005)[6]企业社会网络是获取社会资本的基础,并且在企业的各个阶段都有不同形式的网络模式,尤其是中小企业结网动机更强。程恩富(2002)[7]等针对中国企业的社会网络提出,中国制度性资源的缺乏是非国有企业利用社会关系因素作为资源配置的重要原因。所以,在正规有效金融工具供给不足的环境下,企业融资更加依赖社会网络。通过建立双向或单向的借贷关系,当信用事件冲击网络时,个体会通过调整社会关系来应对冲击。本文通过将信用风险传染过程中的信用个体相关行为简化为个体对社会关系的调整行为,进一步研究节点度的分布变化过程,实现对其演化过程动态模型的建立。

3. 模型假设与构建

3.1 模型假设

本文假设信用风险传染中通过因果关系传染的部分已经完成,信用风险传染仅通过个体之间的关联关系进行,关联关系越强,传染速率越大,初始感染节点随机确定。市场信用风险持有者的关联关系网络是一个复杂网络,其会随着传染过程的发生而变化,即社会网络中节点与节点之间相连状态会随时间调整,通过信用信息(包括真信息和舆论信息)和其他全部信息的交换发生连接和断连,从而影响社会网络中节点度的分布。

由于信用个体之间的社会网络具有小世界网络的特征,度在特定时刻的分布函数可近似泊松分布,其分布具有相对稳定性。根据 Burt(1992)[18]对于企业战略网络稳定性的相关研究,企业声誉,企业间的信任等社会资本在市场不确定的情况下是维护企业网络稳定性的主要因素,当信用事件冲击社会网络时,个体对企业间关系网络调整,可表现为度变化。本文假设度变化量在正负值两状态分别近似服从高斯分布,则两势阱可较好描述企业关系变化趋向的稳定状态,并假设度增量为正值时是提高社会关联度,为负值时为降低社会关联度。绝热近似理论可较好的

解释离散二态系统的随机共振现象, 本文利用其动力学模型构建信用风险传染过程的方程式。显然在 t 时刻, 度变化量在 0 值两边取值的概率总量之和为 1。

3.2 模型建立与推导

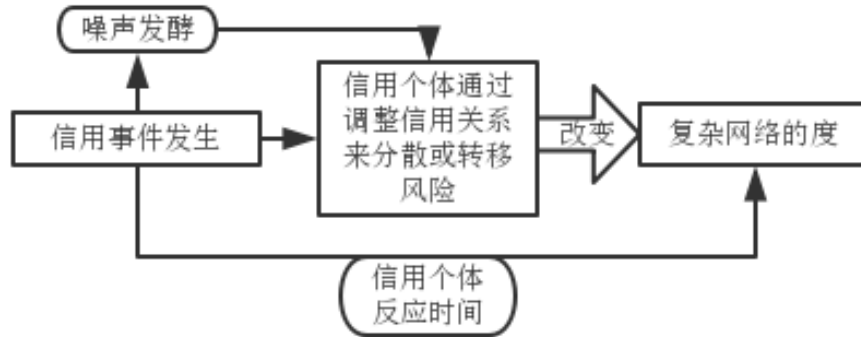


图 1 模型逻辑框架

基于随机共振的绝热近似模型, 计算度增量在噪声因素影响下, 经过时间 T 之后的变迁概率分布。由于本文研究的信用状态的跃迁主要关注非系统性因素下的跃迁, 度跃迁概率模型需要排除大部分的周期性, 绝热近似模型假设周期信号较弱, 较为适合作为信用状态跃迁的概率模型。绝热近似模型中, 假设度增量为 k_Δ , 两个稳定区域可表示为 $(0, +\infty)$ 和 $(0, -\infty)$, 与 k_Δ 或正或负的取值范围相契合。平均度为 \bar{k} , 其福克-普朗克方程表示如下:

$$\frac{\partial p(k_\Delta, t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial k_\Delta} [\bar{k}k_\Delta - k_\Delta^3 + A \cos(\Omega t)] p(k_\Delta, t) + D \frac{\partial^2}{\partial k_\Delta^2} p(k_\Delta, t)$$

定解: $p = C e^{-\frac{U(k_\Delta)}{D}}, t \rightarrow +\infty$.

其中 A 和 Ω 是周期力参数, D 为噪声强度, $U(x)$ 为势函数时, $D > 1$ 时, 噪声输入对于稳定解为数值缩小效应, $D < 1$, 噪声为扩大效应, 进一步影响两稳态势阱跃迁概率, 且 $D \neq 0$ 时, 无论周期振幅大小, 度变化量都可实现稳态间跃迁。

显然此模型是双稳态系统, 令势函数为零可以得到系统的两个势阱点和一个极大值点 $k_\Delta = 0$ (非稳定

点), 两个势阱可以表示度增量的两个基本稳定态即 $\{+, -\}$ 时的期望值, 在社会网络中, 信用个体关联关系随着系统内部的因素影响和系统外部的噪声影响, 通常在决策中以关联对象的关系优劣为依据, 实现网络的断连和重连, 降低自身与外界的关联以避免信用传染, 或者增强关联关系实现风险的转移和分散, 从而调整社会网络中信用个体节点的度。

由 Langevin 方程, 可进一步推出运动粒子在两个势阱之间的跃迁概率。设 p_s 为度不变概率, 暂且人文持续重连和持续断连行为都属于状态不变, 即在信用事件的冲击下依旧保持原行动轨迹; $P(k_\Delta > 0)$ 为度减概率, $P(k_\Delta < 0)$ 为度增概率, 度增和度减的概率之和为 p_j 。在信用风险传染模型中, 运动粒子势阱的变迁可以等价为社会网络中信用个体的行动, 即通过社会关系变动应对信用风险传染, 包括传染行为和防御行为, 本文假设传染行为者数和防御行为者数相加为行动者总数, 则根据随机共振的随机微分方程(1)推导易得二维跃迁概率公式 $p(k_\Delta, t' | k_\Delta, t)$, 由条件概率公式 $p(k_\Delta, t' | k_\Delta, t) * p(k_\Delta, t) = p(k_\Delta, t')$ 以及度的近似泊松分布假设, 可以得到度跃迁概率 ($k_\Delta \neq 0$) 和度不变 ($k_\Delta = 0$) 概率, 如下:

$$\begin{cases} p_s = p(+ \rightarrow +) + p(- \rightarrow -) = \frac{1}{2} (N_t^+ + N_t^-) \sqrt{\frac{2\pi D}{U''(k_{\Delta\pm})}} e^{\left[-\frac{U(k_{\Delta\pm})}{D} - R_0 \tau\right]} \\ p_j = p(k_\Delta > 0) + p(k_\Delta < 0) = 1 - p_s \end{cases} \quad (2)$$

其中 $N_t^+ + N_t^-$ 可设定为常数, 即信用个体对信用风险不敏感的概率, 因为风险敏感度微观行为性较强, 本文不过多的深究微观因素。

信用风险传染模型是一个动态演化过程, 复杂的网络结构与动力学关联性相互作用, 传统假设节点之间不存在动力学关联, 度异质性较低, 传染过程为马

尔科夫过程等，只适用于独立集中网络（供应链）、社区网络（联保）。本文建立非马尔科夫信用风险传染模型，假设信用个体会采取断连和重连信用关系来防御信用风险的传染，这也是加入时间间隔 τ 对传染率、恢复率和防御措施的采取概率的影响。假设 $M_k(t)$ 为 t 时刻度为 k 且被传染的个体占网络总量的比例， P_c 为传染率， P_r 为恢复率。构建传染过程的非马尔科夫性公式表示如下：

$$\frac{dM_k(t)}{dt} = (1 - M_k(t))P_c(\tau) - M_k(t)P_r(\tau) \quad (3)$$

其中(3)式右边第一项表示传染个体比例增量，第二项表示被传染信用风险后恢复正常比例，为传染个体比例湮灭量。信用风险传染网络的非马尔科夫性主要体现在时间到叠加效应，以 τ 作为时间强度作用于传染率和恢复率。

$$P_c(\tau) = \int_{t_i}^{t_j} \frac{1}{1 + e^{-f(i,j_k)}} \tau * (t - t_i) e^{-\left(\frac{1}{2}\tau^*(t-t_i)^2\right)} dt$$

$$f(i, j_k) = \ln \left[\frac{1}{(p(k_\Delta > 0) + p(k_\Delta < 0))(1 - \square_t)} - 1 \right]$$

上述式子表示传染概率的模型较符合传染变化过程，即传染率先随时间递增随后衰减，左边第一项是根据信用个体度变化的规律，构建基础传染概率函数，并添加其时间效应（非马尔科夫性）。即信用风险被传染者采取传染行为分散风险时，根据前文假设， $p(k_\Delta > 0) + p(k_\Delta < 0)(1 - \mathcal{J})$ 为被传染个体做风险分散行为的总量占比。

$$M_k(t) = 1 - \frac{2r\mathcal{J}_t(\tau)}{(N_t^+ + N_t^-) \sqrt{\frac{2\pi D}{U^*(k_{+\Delta})}} e^{\left[-\frac{U(k_{+\Delta})}{D} - (R_0 + \frac{1}{2}t_{ij}(\bar{k}))^3\right]\tau} (1 - \mathcal{J}_t)\tau * \frac{1}{2}t_{ij}^2 + 2r\mathcal{J}_t(\tau)} \quad (6)$$

3.3 理论分析

根据公式(6)，不考虑 $N_t^+ + N_t^-$ 的时间变动，且在公式中作为稳定项作为常值保留，不作进一步简化。由 $0 < M_k(t) < 1$ ，则 $P_r(\tau) > 0$ ，说明恢复率一定大于0，信用个体陷入信用风险危机后采取一定有效措施可以摆脱风险状态，且 $P_c(\tau) > 0$ ，信用风险事件发生后，一定会向传染过程演进，即信用风险在非独立网络中一定会传染，这与本文假设相一致。

当噪声强度 D 增大时，分离 D 对 $M_k(t)$ 的影响因子为 $\frac{-1}{\sqrt{De^{-1/D}}}$ ，且由 $D > 0$ 可知随着噪声强度增加，对于

假设防御个体采取防御行为的驱动仅限于信用风险信息的交换传播，不考虑其个体历史经验因素差异，个体采取防御行为的概率随信息和时间的积累强化，在积累效应强度为 γ ，信用风险传染过程起始点防御概率为 \mathcal{J}_0 时，信用个体采取防御措施的概率为：

$$\square_t = e^{-\gamma\tau} \square_0 - e^{-\gamma\tau} + 1 \quad (4)$$

且设恢复率 $P_r(\tau)$ 为 $r\mathcal{J}_t$ 。

根据信息传播理论，人的行为具有记忆性，随着传染过程的进行，个体会根据信息的积累进行决策并采取行动重连或断连网络，尤其是从而引起自身 k 值的改变，进而影响 k 分布，增加异质性或相反。本文采用融合时间衰减因素的传播概率模型来表示两个个体之间传染概率如下：

由(2)式等于0时取得均衡为： $M_k(t) = P_c(\tau)/(P_c(\tau) + P_r(\tau))$ ，传染率在演进时间的作用下，动态的由传染率和恢复率决定，而下文将以更多的参数变量来定义它们。将(4)式和(5)式带入，推导得到关于噪声和时间间隔等相关参数的动力学方程式。

确定的度， $M_k(t)$ 逐渐降低，度分布方差增大，并通过影响度变化加强其效应，即信用个体会通过改变关联关系行为来影响 $M_k(t)$ ，由此说明系统外噪声对于信用风险的传染会有扩大效应，这与小世界网络系统的随机共振理论相关研究[3]相契合，即噪声可作用在关联关系特定的中强耦合拓扑结构上，本文构建的网络特征恰好符合其拓扑结构。

恢复率 $P_r(\tau)$ 非线性变化，在度分布不变时，其越大， $M_k(t)$ 越小， \mathcal{J} 对传染率也有反作用，使得传染率也呈现非线性变化，进一步印证了网络结构与传染效应并不是单调线性关系，金融网络的高连通性可以降低感染的可能性，但也会在问题发生时增加感染风

险。这说明，社会系统的恢复作用和破坏作用相互作用，其间的交互演进过程涉及较多的因素，演化速率也会影响各个时间点的信用网络连接状态。

时间间隔 τ 可以用于度量度变化过程和传染演化过程的时间属性，根据式 (1) 可以做出度分布变化的估计， k 在度变化量跃迁的过程中，由 $\sigma(k)$ 的随机微分方程知 $\sigma(k)$ 在固定时点存在极大值点和稳定点，度分布整体先逐步分散 (异质性增加) 后回升并趋于稳定 ($t \rightarrow \infty$)，且噪声减少了回归稳定所需时间。通过式 (5) 对 τ 求一阶和二阶导，综合分析后发现度 $M_k(t)$ 并不会如预期随演进过程逐步下降，演进过程中，恢复率会呈现先增后减， k_{Δ} 跃迁概率不断下降，平均度由 τ 在 $P_c(\tau)$ 中的系数 $R_0 + \frac{1}{2}t_{ij}^3$ 可知，逃逸速度 R_0 随噪声增大， t_{ij}^3 随平均度增大而递减，所以 $M_k(t)$ 的变化幅度和频率由 $R_0 + \frac{1}{2}t_{ij}^3$ 和噪声强度决定，且 $r < 1$ 时 (表示社会系统有较差的修复能力) 其效应越强。

综上所述，信用事件发生之后信用个体的反应时间通过时间积累效应作用在恢复率和传染率上，并通过交叉效应影响信用事件的进一步发现；信用环境中舆论噪声信息的增加信用事件的发酵也会因不同的度跃迁模式而不同。

4. 仿真实验

4.1 度跃迁对信用风险传染过程的影响

利用 netlogo 软件设计仿真实验，参数设定如下：根据 2018 年债券市场主体信用评级迁移矩阵，定义信用评级下调 3 个等级代表信用事件发生，2018 年整年发生信用状态大幅下调的企业数量达到了 35 家，频率接近 1%，一般联保企业团体以 5-6 家企业为主，在仿真程序设定中，根据真实数据假设初始信用违约者比例为 1%，度的初始值为 5。根据信用个体反应速度和免疫率值将复杂网络分为成熟，半成熟和成熟系统，越成熟的信用个体越能较早地觉察信用违约事件的发生从而采取行动。当信用个体采取行动的比例达到一定程度时，设定为群体行动时点，从而可以将公式 (4) 中行动比率的动态值化为较为简明的静态值。不考虑噪声强度的变化，且调整过程都为先断连再重连，检验度跃迁对信用风险传染过程的影响程度：

表 1 仿真参数设置

仿真参数设定							
	个体调整信用关系时点	节点数	度	初始违约节点数	违约传染概率%	恢复率%	免疫率%
度不变模型	无	300	5	3	3.5	4	20
不成熟信用系统	200	300	3	3	2	5	30
	500	300	6	3	4	5	35
半成熟信用系统	100	300	3	3	2	5	30
	500	300	6	3	4	5	35
成熟信用系统	50	300	2	3	3	5	35
	300	300	4	3	3	5	40

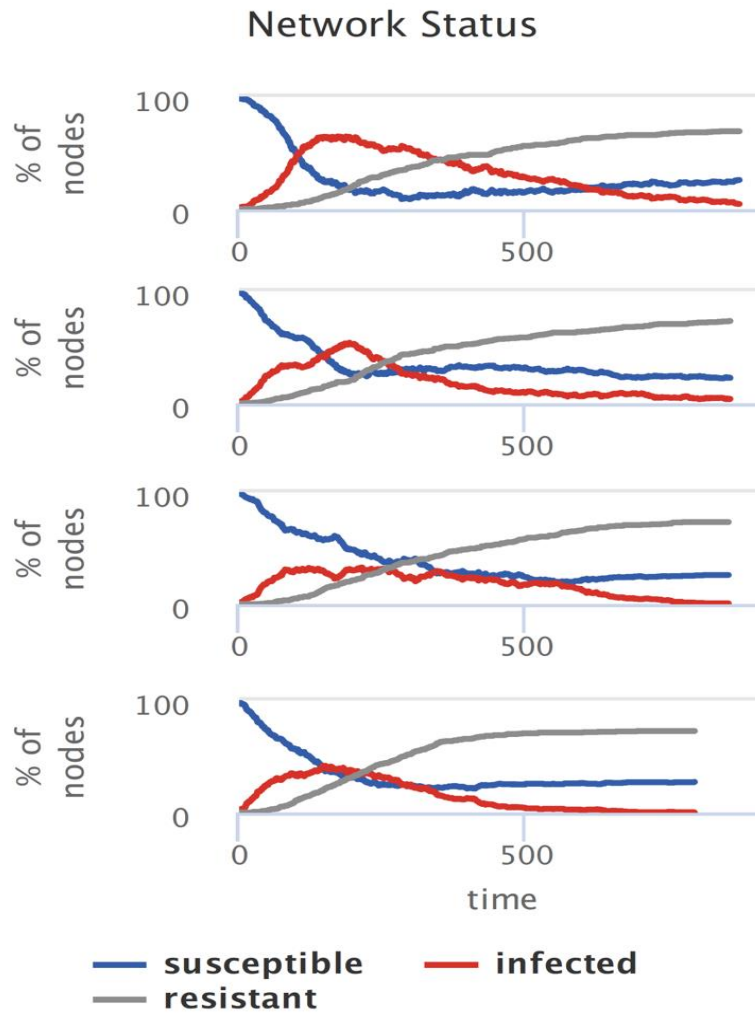


图 2 度跃迁仿真结果

仿真结果如下：通过不成熟和半成熟信用系统的比较发现，对信用事件反应敏锐可有效避开群体违约的峰值，将信用传染程度限制在可控范围之内；成熟信用系统通过假设其在信用事件发酵初期时，信用个体集体断连信用关系以避免信用风险传染，在信用事件平息前中期即开始重连行为，恢复正常信用秩序，不仅可降低信用违约群体事件的最大势能，也可以在最短的时间内有效的实现信用事件的平息。更值得注意的是，虽然设定的免疫率参数差别较大，但是平稳状态下的免疫群体比例在各程度信用体系中表现相近。

4.2 噪声在信用复杂网络中的作用

构建基本信噪比公式检验噪声强度对上节仿真结果做进一步的检验，由于信用系统同质性较高，将高耦合复杂网络作为底层网络，通过图表发现，噪声在高耦合网络中进一步扩大了耦合效应，三个系统表现出同步行为，但是信噪比的峰值点所对应的噪声强度不同，越成熟的信用系统对于微小的噪声反应越灵敏，而峰值也越小。

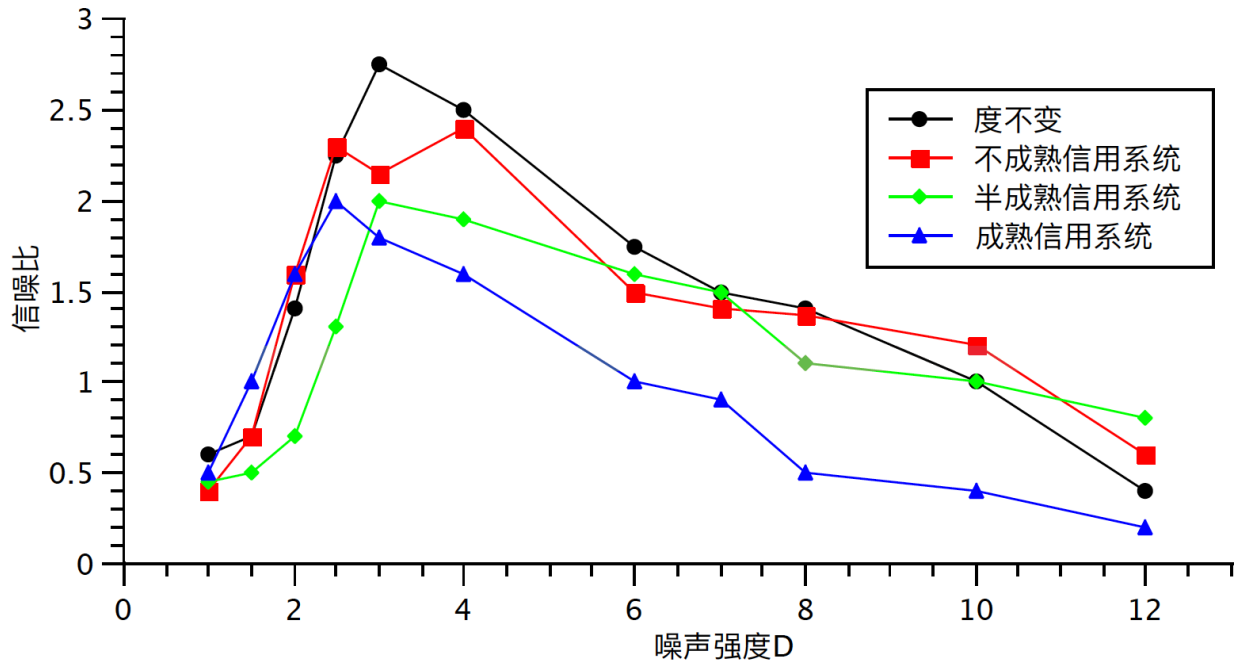


图3 度跃迁仿真结果

5. 结论

信用传染过程是一个系统演化问题,在研究个体信用风险时,不应忽略噪声的影响和企业间关联度的变化。本文利用随机共振理论实现加入信用环境噪声,并用绝热近似模型模拟资产配置过程基于信用状态不变的假定,本文通过建立信用风险传染的非马尔科夫过程,并加入系统外噪声,构建了一个开放式信用风险传染演化系统,并关注于重点精神的下的信用风险传染的演化过程,很难确定其信用传染过程的时间拐点和极值点,但系统中的交互作用都可进行局部解释,并且稳定的系统参数会使得社会系统再次恢复均衡状态。

6. 建议

金融机构在对小微企业授信的过程中,应当进行系统性的评价,包括对信用环境中各种信息质和量的评估,以及对企业社会关联度变化的监测。信用风险传染现象在小微企业网络中极易发生,小微企业管理者能力和信用水平参差不齐,对信息的辨识度和对风险的应对能力较弱,传统信用评估模型仅适用于对环境敏感度低,财务稳定性强并且依靠财务状况有应对风险可能性的企业。小微企业经营绩效依赖于其所处的社会网络状况和经济信用环境,其外部性较强,金融机构在进行小微企业信用评估时,应降低财务数据比重,结合信用风险传染演化模型进行时间上的管理,实现动态评估。积极推出适合小微企业的金融产品,并设计合理的产品内部机制,降低小微企业联保等的借贷风险。

小微企业在管理信用风险上应注意降低自身财务状况对外界的依赖度,通过合理常规渠道融资,提

高对风险管理产品的使用意识,利用恰当的风险分散手段,避免因非经营因素导致的破产或财务困境。小微企业管理者应时刻关注国家政策,树立正确的价值观和经营目标,减少无效信息的错误引导带来的损失,避免群体行为的发生。

政府在制定小微企业扶持政策时,应加强对小微企业借贷环境的管理。净化小微企业借贷环境,鼓励正规金融机构设计并推出针对小微企业的金融产品。寻求民间借贷机构存在的合理形式,并将其置于金融监管之下。政府相关部门应注意民间信用信息舆论管理,增强政府政策可预测性,及时遏制不实消息的传播,避免集体恐慌事件。

项目基金

本文为河北省重点研发项目(No. 20313701D),教育部产学合作合作教育项目(No. 201902218004)(No. 201902024006)(No. 201901197007)(No. 201901199005),教育部产学研合作教育项目(No. 201901197001),北京邮电大学教改项目(No. 500520096)的成果之一。

REFERENCES

- [1] Li Yongkui. Research on the Contagion Delay Effect of Associated Credit Risk Based on Complex Networks [D]. University of Electronic Science and Technology of China, 2016.
- [2] Han Lu. Research on Topological Structure-based Contagion by Default [A]. Uncertain System Branch of China Operations Research Society.

- Proceedings of the 14th China Uncertain System Annual Conference and the 18th China Youth Information and Management Scholars Conference [C]. Uncertain System Branch of Chinese Society for Operations Research: Department of Mathematical Sciences, Tsinghua University, 2016: 9.
- [3] Qian Qian. Research on the Contagion Effect and Management and Control Strategies of Linked Credit Risk [D]. University of Electronic Science and Technology of China, 2018.
- [4] Gao Yang, Li Qianshu. Stochastic resonance in noisy small-world networks [J]. *Journal of Molecular Science*, 2008(04):246-249.
- [5] Su Jichao, Zhu Hengmin. Research on the guidance of network public opinion under noise interference[J]. *Journal of Information*, 2017, 36(10): 91-96+122.
- [6] Cheng Enfu, Peng Wenbing. Social network: a new form of enterprise resource allocation [J]. *Journal of Shanghai Administration Institute*, 2002(02): 79-90.
- [7] Zhou Donghao, Han Wenbao, Wang Yongjun. Social network information dissemination model based on nodes and information characteristics [J]. *Computer Research and Development*, 2015, 52(01): 156-166.
- [8] Ming Tingfeng, Zhang Yongxiang, Li Jing. Self-optimization method and application of stochastic resonance model structural parameters[J]. *Journal of Tianjin University (Natural Science and Engineering Technology Edition)*, 2014, 47(10): 886-891.
- [9] Chen Tingqiang, He Jianmin. Research on Credit Risk Contagion Model Based on Complex Networks[J]. *China Management Science*, 2014, 22(11):1-10.
- [10] Lan Guolie. The statistical properties of disease transmission in complex networks with given degree distribution[J]. *Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition)*, 2018, 17(03): 1-5.
- [11] Liu Jiubiao. The average domain model of default contagion based on Markov method[J]. *Economic Mathematics*, 2017, 34(02): 89-94.
- [12] Li Yenan. Research on public opinion resonance phenomenon based on stochastic resonance model [D]. China University of Geosciences (Beijing), 2018.
- [13] Li Zhengbiao. Research on the social network of corporate growth [D]. Sichuan University, 2005.[14] P. Gai and S. Kapadia, "Contagion in financial networks," *Journal of Economic Literature*, vol. 466, no. 2120, pp. 2401– 2423, 2010.
- [15] Shanshan Jiang, Hong Fan, Credit risk contagion coupling with sentiment contagion, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Volume 512, 2018, Pages 186-202, ISSN 0378-4371.
- [16] S. Battiston, J. D. Farmer, A. Flache et al., "Complexity theory and financial regulation," *Science*, vol. 351, no. 6275, pp. 818- 819, 2016.
- [17] D. Acemoglu, A. E. Ozdaglar, and A. Tahbazsalehi, *Systemic Risk and Stability in Financial Networks*. Nber Working Papers, no. 18727, 2013 Department of Economics, Massachusetts Institute of Technology, no. 18727, 2013, Cambridge, MA, 2013.
- [18] Burt, Ronald. *Structure Holes: the social of competition*. MA: Harvard University Press. 1992:62-80.
- [19] T.-Q. Chen and J.-M. He, "A network model of credit risk contagion," *Discrete Dynamics in Nature and Society*, vol. 2012, Article ID 513982, 13 pages, 2012.
- [20] A.-C. Hüser, "Too interconnected to fail: a survey of the interbank networks literature," *The Journal of Network Theory in Finance*, vol. 1, no. 3, pp. 1–50, 2015.