

# 第九届“企业社会责任”征文大赛

THE NINTH CSR PAPER COMPETITION -2016

## 论文

### 基于商业银行供应链金融信用风险的自适应 防范模型的仿真研究

姓名 张宸瑞  
学校 中央财经大学  
专业 物流管理  
联系方式 18810660361  
导师 周利国  
时间 2016 年 3 月 17 日

## 大赛论文（设计）诚信声明书

本人声明：我所提交的大赛论文（设计）《基于商业银行供应链金融信用风险的自适应防范模型的仿真研究》是我在指导教师指导下独立研究、写作的成果，论文中所引用他人的无论以何种方式发布的文字、研究成果，均在论文中加以说明；有关教师、同学和其他人员对本文的写作、修订提出过并为我在论文中加以采纳的意见、建议，均已在我的致谢辞中加以说明并深致谢意。

论文作者 张宸瑞（签字） 时间：2016 年 3 月 17 日

# 基于商业银行供应链金融信用风险的自适应 防范模型的仿真研究

张宸瑞

## 摘要

本文同时考虑了供应链金融运作的动态性和信用风险的相关性，关注于信用风险的防范，构造了基于 Agent 的自适应防范模型。通过设定关键风险指标，本文依靠服从既定风险分布随机数的生成进行了仿真实验。仿真结果表明，自适应风险防范模型能够反映出外部环境和供应链主体间的相关性变动对信用风险的影响，同时证实了银行对信用风险数据的收集有利于风险防范的开展。

关键词：供应链金融；信用风险；Agent

## Abstract:

The paper focuses on the prevention of credit risks and constructs the self-adaptive prevention model based on the Agent considering the operation dynamics and risk relevance of supply chain finance. By setting key risk indicators, we conduct the simulation relying on the random number generation. The results show that the self-adaptive risk prevention model could reflect the impacts from environment and the changes among the related subjects. Meanwhile, the results verify the benefits of credit data collection to the bank.

**Key words:** Supply chain finance; Credit risks; Agent

# 目录

摘要.....	1
一、引言.....	3
二、文献综述.....	4
(一) 供应链金融文献综述.....	4
(二) 供应链风险管理综述.....	4
(三) Agent 及 Copula 理论综述.....	5
三、供应链金融复杂系统分析.....	6
(一) 供应链金融复杂性分析.....	6
(二) 供应链金融重点风险领域分析.....	6
四、基于 Multi-Agent System(MAS)的信用风险控制模型.....	8
(一) Multi-Agent 系统适用性分析.....	8
(二) Multi-Agent 系统构建及关键风险指标选取.....	9
五、信用风险控制模型构建.....	10
(一) 变量说明.....	10
(二) 定义.....	11
(三) 假设.....	14
六、模型仿真分析.....	14
(一) 与传统防范模型的对比分析.....	14
(二) 融资相似性及风险损失数据库建立的必要性分析.....	16
(三) 各主体违约相关性分析.....	17
七、结论.....	17
参考文献.....	18

# 基于商业银行供应链金融信用风险的自适应 防范模型的仿真研究

## 一、引言

供应链金融作为一种创新形态，为中小企业的自主发展提供了支持。随着我国产业结构的调整，近几年中小企业纷纷涌现，急需大量的专业金融机构的资金支持，在广阔的市场前景下，商业银行纷纷进军供应链金融业务领域。然而，以供应链运作为基础，以核心企业为依托，以真实交易为融资依据的供应链金融业务，在为银行带来发展机遇的同时，也伴随着风险。其中，信用风险是银行所面临的最主要、最亟待解决的风险。特别地，供应链金融信用风险不仅仅来源于银行信贷业务本身，更多地源自供应链运作实质所产生的风险。同时，其风险不是简单地各个单一损失的加总，而是需考虑各主体信用风险的相关性，尤其当供应链处于动态复杂的外部环境中时，依赖性和传导性的特点更加显著。因此，商业银行如何在提高供应链金融业务增长率的同时规避信用风险，成为了实践和理论领域重点关注的问题。

信用风险的识别是信用风险控制及防范的前提，然而，学者们过往的研究更多地是从传统信贷角度或局部去考量供应链金融信用风险，忽视了相关整体性的供应链融资特征。针对信用风险的控制与防范，基于静态角度去控制和分析供应链金融业务的风险是目前学者们研究的角度，然而，企业是处在动态环境中的主体，其所处的供应链也在不断变化，不同的情景状况下，供应链运作的有效性、企业还款的可能性都会随之改变。因而，从动态角度构筑供应链金融信用风险的控制与防范模型将更有助于商业银行实时、无缝监测融资状况。

本文抓住供应链运作复杂性、供应链金融整体性、业务风险相关性、融资环境动态性这四个供应链金融业务的主要特征，运用 Copula 理论考量信用风险的整体性和相关性，之后，引入 Agent 技术重点构筑随环境变化的自适应风险防范模型，为商业银行信用风险的管理提出理论参考。

## 二、文献综述

### （一）供应链金融文献综述

供应链金融在供应链研究领域属于新兴话题，相关理论界定和研究框架还处于起步阶段，对本文有影响的是：Stemmler and Seuring (2003)首次提出了“供应链金融”的概念，认为其能解决由物流活动引导的资金流的控制和最优化问题。之后 Berger(2004)第一次将供应链金融运用到解决中小企业的融资问题，并初步探究了供应链金融中的潜在风险<sup>[1]</sup>。Pfohl and Gomm (2009)提出供应链金融能够改善供应链中资金流的运转效率和回收速度，相较于传统的银行融资成本更低<sup>[2]</sup>。Gomm (2010)运用应用金融的理论，分析得出供应链金融不仅可用于解决融资成本过高的问题，同时也可用于降低生产和运输成本<sup>[3]</sup>。Hofmann and Belin (2011)系统性梳理的供应链金融的适用领域、研究框架，并基于 EVA 的方法估算出了供应链金融未来的市场份额<sup>[4]</sup>。在关注供应链金融信用风险的文章中：Buzacott 和 Zhang (2004)用定量的方法研究了供应链金融业务中的一些关键性指标的确定，并探究了其对融资业务风险的影响<sup>[5]</sup>。Barsky 和 Catanach (2005)比较分析了传统的商业信贷融资与供应链融资在多方面的差异，最终得出银行应转变风险管理的理念，提出基于过程控制，而不是传统的以主体准入为基础的风险控制<sup>[6]</sup>。Hofmann and Belin (2011)强调从融资量、融资周期、融资成本三个维度来衡量供应链金融的风险与效率<sup>[4]</sup>。More and Basu (2012)系统性地提出了供应链金融实施过程中面临的六类挑战，并指出成员之间缺乏供应链整体的共识是其面临的重大风险，强调共享信息来提升整个供应链资金流的稳定性<sup>[7]</sup>。Wuttke and Blome (2013)基于六个案例的实证分析，具体分析供应链金融业务开展的流程、主体要素及风险诱因，并引入外部资金提供商（银行），首次将银行作为供应链金融的主体进行研究，为之后从银行视角研究供应链金融提供了依据<sup>[8]</sup>。

### （二）供应链风险管理综述

供应链金融是以供应链运作为基础开展的，因而，供应链运作的风险因素必然也会影响到供应链金融的实施。关于供应链风险的定义、诱因及解决方法，学者们基于不同视角有不同的看法，Juttner et al. (2003)最先提出了供应链风险的基本框架，即评估风险资源、明确风险类型、跟踪风险因素、实施风险战略；并归纳出三类风险诱因，即环境风险、网络风险和组织风险<sup>[9]</sup>。Christopher (2006)将供应链风险分为四大类，即供应风险、

需求风险、生产风险和信息风险，并针对每种不同的风险制定出了相应的应对战略<sup>[10]</sup>。Thun et al. (2011) 选取了中小企业为样本进行实证分析，发现在供应链发生风险时中小企业偏好于采取反应性战略，而核心企业则偏好于采取预防性战略，因而要着重关注中小企业的剩余能力<sup>[11]</sup>。Lavastrea et al. (2014) 强调供应链各主体之间的伙伴关系，是供应链风险管理重点，指出信息流管理、物流管理、供应链伙伴关系管理和控制活动是供应链风险管理的四个主要方向<sup>[12]</sup>。Li et al. (2015) 验证了联合供应链风险管理的两个主要机制：风险信息共享和风险共担机制，提出在风险管理时注重在个主体之间建立合作协调的机制是防范风险的有效途径<sup>[13]</sup>。综上可知，供应链风险管理的诱因具有明显的多样性和可变性，在不同的环境状况及商业情景下，商业银行在评估供应链金融中的供应链风险时应结合具体情景赋予不同风险指标不同的权重。本文在对供应链风险进行衡量时，综合前人的研究将供应链风险分为供应风险、需求风险、供应链网络风险和供应链外部风险。

### （三）Agent 及 Copula 理论综述

Agent 作为一种复杂系统仿真工具，在复杂系统中得到广泛运用，我们将采用 Agent 技术构建适宜供应链金融复杂系统的信用风险防范模型，模型构建基于了该领域学者的研究：Brooks and Davenport (2004)指出 Agent 技术所具备的自治性、社会性、主动性使其可以被用于进行有效的供应链风险管理，尤其当风险高度不确定时<sup>[14]</sup>。Mihalis (2011)利用 Multi-Agent 技术降低了高度复杂的制造型供应链中的风险，并强调 Agent 的自主学习能力使其适用于管理复杂供应链中的不确定性问题<sup>[15]</sup>。Fu and Fu (2015) 结合供应链网络理论及资源基础观理论构建了基于 MAS 的自适应模型，并提出情景分析的重要性，发现运用该模型能够有效应对环境变化的风险，提升供应链的管理效率<sup>[16]</sup>。Su and Lu (2015)结合了有限理性假设和多 Agent 仿真技术对供应链金融中的信用风险进行分析，该方法降低了银行贷款的信用风险，同时提高了整体的收益<sup>[17]</sup>。

近年来，学者们证明了信用风险的分布服从左偏、后尾等特征，这使得传统在对信用风险多维数据建模时，假设联合分布服从多元正态分布的模型受到质疑和挑战，特别当极端事件发生时，正态分布假设的偏差较大，且学者们也证明了信用风险的分布服从左偏、后尾等特征。由于单个主体的风险可以由它们各自的边缘分布来描述，而主体组合产生的风险则完全可以由连接它们的 Copula 函数来描述，因此，Copula 函数为人们研究多主体组合风险的相关性提供了一种新的研究工具。Sklar (1959)首先以 Copula 命名一类函

数，此类函数能够把一维边缘分布函数连接在一起，形成联合分布函数。Joe (1997)以 Copula 函数为主要工具研究了多维随机变量之间的相依关系<sup>[18]</sup>。Li (2000)首次用 Copula 方法来表述资产组合的联合违约概率, 用来度量资产组合的信用风险<sup>[19]</sup>。

结合对前述文献综述的分析，我们发现目前供应链金融风险管理的研究文献多关注于信用指标体系构建及信用风险度量，而有关信用风险控制及防范预警的研究尚处于起步阶段。针对衡量信用风险指标的选取，本文在借鉴现有研究的基础上，综合供应链运营与银行信贷双重视角确立了风险预警的指标体系，兼顾全面性的同时突出重点。在信用风险的衡量上，本文借用了 Copula 理论的思想度量供应链金融各主体的组合信用风险，与单独度量后加总的方法相比，更贴近风险的真实变化情况，更符合复杂系统中信用风险的传导性和关联性。此外，现有 Agent 技术在风险管理领域的研究还不成熟，本文将梳理一套基于 MAS 的自适应风险控制模型，试图为商业银行在动态环境下实时有效监控供应链金融业务的信用风险提出解决方案。

本文结构如下：第三节分析供应链金融的复杂性系统特征，提出商业银行风险控制的重点领域。第四节在分析 Agent 技术适用性的基础上，基于 MAS 构建一个信用风险防范体系。第五节从自适应的视角研究 MAS 信用风险防范体系的有效性及其运作机理。第六节通过算例进行仿真实验，根据仿真结果提出管理启示。最后是全文的总结。

### 三、供应链金融复杂系统分析

#### （一）供应链金融复杂性分析

金融系统是一个复杂系统的观点已得到理论界的普遍认可，而供应链金融系统作为金融系统的一个领域，同样具有这样的特性。供应链金融参与主体包括银行、企业、保险公司、政府、法律机构等等，这些为数众多的系统参与者，风险偏好各有差异，所掌握的信息也存在不对称，作为不同的利益单体，共处于同一个大环境下，但是又伴随自身周围局部的小环境的变化而进行调整和改变，不断地独立进行适应性及创新性学习。具体表现为供应链金融多参与主体的复杂性、供应链运作与金融信贷结合的复杂性、供应链金融基础技术的复杂性三个方面。

#### （二）供应链金融重点风险领域分析

在风险管理中，银行需综合考虑“成本-效益”的平衡点，根据业务特点梳理出重点风

险领域，将资金、时间和精力用在“刀刃”上。结合上述供应链金融复杂系统的分析，本部分从银行金融信贷视角及供应链运作视角，以参与主体为分析对象，确定了重点的供应链金融信用风险控制领域及关键风险指标。

以 Christopher (2006)等学者关于供应链风险的研究，本文将供应链风险分为供应风险、需求风险、供应链网络风险和供应链外部风险，这四种风险都是最终导致供应链金融信用风险的诱因。结合熊熊等（2009）和李晓宇（2014）构建的供应链金融风险指标体系<sup>[20],[21]</sup>，本文构建了结合银行信贷与供应链运作的信用风险指标体系，如下表 1 所示。

表 1 供应链金融信用风险指标体系

供应链主体	关键指标
核心企业	供应链关系程度
	应收账款周转率
	应付账款周转率
中小企业	债项评级
	偿债能力
物流企业	资质
	质押物状况
供应链整体	行业状况
	以往履约情况
	供需状况

供应链金融作为批发式销售业务，具有很明显的系统性风险特征。一旦核心企业出现信用风险，或由于其信用被捆绑而使其累积的或有负债超出自身承担极限。那么，以核心企业为供应链物流及资金流中枢的风险控制模型的基础就将不复存在。核心企业则由控制风险的变量转变为授信系统性风险的“震源”。

因而以往中小企业的信用违约可以认为很大程度上是由于其与核心企业在业务开展中出现的问题所引发的，具体表现为：核心企业的应收账款周转率和应付账款周转率，前者反映对下游中小企业的销售状况，后者反映对上游中小供应商的购买情况，这两个指标的变化能够代表上下游中小企业的资金状况，进而反映了其潜在信用违约的可能性。供应链关系程度则指中小企业与核心企业之间的亲密程度，通过该指标银行能够预测若中小企业发生违约，核心企业给予中小企业支持的可能性。本文所设定的以供应链主体为依据的关键风险指标，只是为了后续建模，不是我们研究的重点，因而不再过多解释各指标的含义。

## 四、基于 Multi-Agent System(MAS)的信用风险控制模型

商业银行传统的信用风险控制模型，更多从定性角度进行衡量，随着国外先进风险管理模型的引入，填补了我国定量化风险控制领域的空白。由国际银行与金融机构创建和广泛应用并被巴塞尔委员会建议使用的现代信用风险模型主要有 JP.Morgan(1997)的 Credit Metrics、KMV(1993)的 EDF(credit monitor)、CSFP(1997)的 Credit Risk+、Mckinsey(1998)的 Credit Portfolio View 等模型。然而，由于环境基础、数据收集、征信系统等的巨大差异，这些起源于西方的现代信用风险模型在我国商业银行领域的适用性及效果究竟如何有待考证，很难在近期直接用于指导我国商业银行进行信用风险管理，尤其是供应链金融信用风险的管理。因而，借鉴国际通用的风险控制模型，结合我国商业银行的实际经营背景，设计一个适用于我国的信用风险控制模型是很有必要的。

本文通过构建 Multi-Agent 系统，依靠智能体 Agent，基于供应链金融平台上各主体共享的基础数据（标准化数据）对各关键风险指标进行评分，根据评分结果实时监测供应链金融信用风险的变化，并从自适应的视角出发，适时更新风险控制模型的参数设置，从而使该模型具备一定的动态适应性。本部分将首先说明 Agent 技术的适用性，其次构建多维度的关键风险指标体系，然后分析自适应视角下 MAS 运作机理，最后构建仿真模型。

### （一）Multi-Agent 系统适用性分析

在供应链金融系统环境下，各利益主体之间的关系既体现出竞争性，同时也体现了合作性。每个主体甚至于该主体里的各职能部门都反映出智能体的特征，其针对外界变化做出的反应，是在与其他成员主体协同、合作，结合对收集的信息展开分析,并进行独立决策的基础上所形成的。而基于传统仿真方法的建模，模型主体缺乏智能性和主动性，且不具备数据整合和决策分析的能力，容易导致仿真模型偏离实际运作，使仿真过程的有效性和仿真结果对实际管理的借鉴性受到限制。Agent 属于分布式人工智能概念模型中的一类，具有自己的结果目标、知识技能和动作行为，是在一定环境下能自主运行的实体，具有主动性、智能性、独立性、交互性、反应性等特点。这些特点使得 Agent 特别适宜被运用于风险管理，进而尽可能营造一种接近于现实的仿真环境。通过多个 Agent 的组合，各实体协同运作构成了 Multi-Agent 系统（MAS）。MAS 是在对系统中的各个 Agent 的目

标、资源和知识等进行合理配置的基础上运作的，这些 Agent 之间相互协同与合作，同时各自独立地运行，在实现各自的局部目标基础上有效助力 MAS 总体目标的实现，与现实中的供应链金融业务运作具有相似的特征。

具体到本文中的运用主要为：一方面，利用 Agent 智能体的上述特性，将线上供应链金融各主体，即银行、核心企业、中小融资企业、物流企业等抽象为相互独立的 Agent，赋予其接近真实环境的行为、目标和知识，使其还原出真实地融资交易过程，这些实体 Agent 相互作用从而构成一个 MAS。另一方面，设定实现风险预警的功能型 Agent，他们的角色定位类似于真实中处理融资业务的银行操作人员，这些功能型 Agent 基于实体 Agent 在平台中共享的数据进行独立分析，并相互沟通，最终识别出关键领域的潜在信用风险。

此外，结合前文的分析，供应链金融系统属于金融复杂系统的范畴，而 Agent 技术作为复杂系统建模方法的一种，已在大量研究风险管理的理论文献中得到运用，并被证明是有效的，因而我们的研究正是基于上述 Agent 风险管理仿真的理论基础及 MAS 模型的优越性。

## （二）Multi-Agent 系统构建及关键风险指标选取

选取混合式的 Multi-Agent 系统（MAS）作为基本构架，该构架综合了集中式结构和分布式结构的特点，具体指系统中的 Agent 一般保持独立运行状态，系统只对某些重点领域的 Agent 设置高级别的 Agent 进行管理和控制。混合式结构既保证了独立运作，又保证了协调统一，实现了资源和效率的合理配置。

构建 Multi-Agent 系统（MAS）时，重点构建一个总体控制的 Agent，两个监控 Agent 和三个具体的功能性 Agent，除此之外，线上供应链金融平台中各主体（银行、核心企业、中小企业、物流企业）Agent 还原出了趋于真实环境的 Multi-Agent 系统，不同的 Agent 既基于平台数据库独立运算，同时又与其它 Agent 交换意见，共同构成一个 Multi-Agent 系统，如图 1 所示。

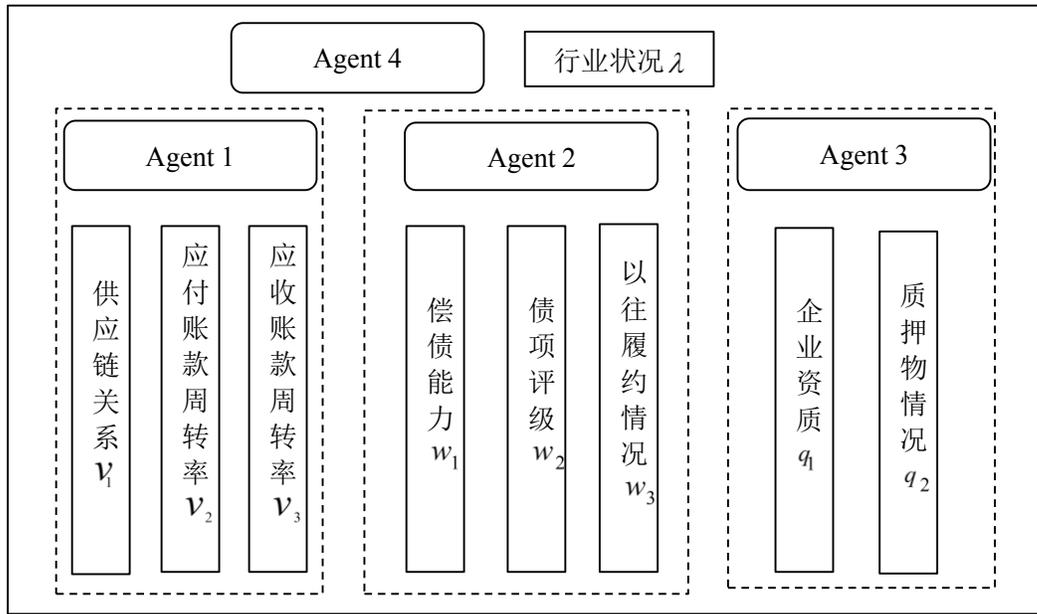


图 1 基于 MAS 的自适应风险防范模型体系

- Agent 1: 负责监控核心企业的三个 KRI;
- Agent 2: 负责监控中小企业的三个 KRI;
- Agent 3: 负责监控物流企业的两个 KRI;
- Agent 4: 负责监控供应链整体的两个 KRI。

## 五、信用风险控制模型构建

### (一) 变量说明

为了便于以下模型的描述，首先给出各种变量说明。

- $v_1$ : 供应链关系
- $v_2$ : 应付账款周转率
- $v_3$ : 应收账款周转率
- $w_1$ : 偿债能力
- $w_2$ : 债项评级
- $w_3$ : 以往履约情况
- $q_1$ : 企业资质

$q_2$ : 质押物情况

$\lambda$ : 行业状况

其中，本文设定各关键风险指标取值  $\in [0,1]$ 。

## (二) 定义

**定义一：**任意一个潜在的融资企业（中小企业）分为两类，一类是从未融资过的企业称为新客户，记为  $NC_i$ ，另一类是有过融资记录的企业称为老客户，记为  $OC_i$ 。

**定义二：**针对某一个融资企业  $i$  的融资项目，三个主体 Agent 会依据融资平台的基础数据对各主体的关键风险指标进行打分，并计算主体的风险得分  $rs_1, rs_2, rs_3$ ，得分越高代表风险越大。各主体得分的表达式如下：

$$\begin{cases} rs_1 = a_1 v_1 + a_2 v_2 + a_3 v_3 & (1) \\ rs_2 = b_1 w_1 + b_2 w_2 & (2) \\ rs_3 = c_1 q_1 + c_2 q_2 & (3) \\ s.t \ a_1 + a_2 + a_3 = 1, \quad b_1 + b_2 = 1, \quad c_1 + c_2 = 1 \end{cases}$$

其中， $a_1, a_2, a_3; b_1, b_2; c_1, c_2$  为银行赋予的各指标的权重，取决于银行的融资审批侧重点，取值为  $[0,1]$ 。之后，Agent 4 根据其他 Agent 的 KRIs 打分情况，结合三个主体的信用风险分布，运用 Copula 连接函数的原理，最终得出本次融资项目的信用风险总得分  $TRS_{i,j}$ ，其中  $i$  代表融资企业， $j$  代表融资次数。

由于信用风险得分仅仅能说明某一融资项目信用风险的状况，并不一定代表该风险实际发生的可能性，因而引入风险概率弥补传统风险防范打分法的不足是本文的创新。基于前文对供应链金融信用风险各主体的关联性分析，选择一个能衡量整体风险分布和各信用主体间联动关系的风险分布函数至关重要。为此，我们引入 Copula 连接函数参与模型构建，并重点利用该函数一个重要的定理简化分析。

**Sklar's 定理：**指若  $F(\cdot)$  是一个  $n$  维的累积概率分布函数，其边际函数是连续函数  $F_1, \dots, F_n$ ，则我们可以找到唯一的 Copula 函数使得： $F(x_1, \dots, x_n) = C(F_1(x_1), \dots, F_n(x_n))$ 。基于 Sklar's 定理我们能将一个多维的分布，拆成单维的边际函数及相关性的结构两个部分，实际的表述如下：

$$\begin{aligned} f(x_1, \dots, x_n) &= \frac{\partial F(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1 \dots \partial x_n} = \frac{\partial C(F_1(x_1), \dots, F_n(x_n))}{\partial x_1 \dots \partial x_n} = \frac{\partial C(u_1, \dots, u_n)}{\partial x_1 \dots \partial x_n} \times \prod_i \frac{\partial F_i(x_i)}{\partial x_i} \\ &= c(u_1, \dots, u_n) \times \prod_i f_i(x_i) \end{aligned}$$

其中：  $f(x_1, \dots, x_n)$  为  $F(\cdot)$  的概率密度函数，  $u_i = F_i(x_i), i = 1, \dots, n$ ，  $c(u_1, \dots, u_n)$  为 Copula 的密度函数。因而，我们接下来的工作是：第一步，确定核心企业、中小企业和物流企业各主体的信用风险分布情况，第二步，选择合适的 Copula 函数类型拟合各主体间的相关性。

基于 Dimakos (2007) 的研究<sup>[22]</sup>，我们假定核心企业、中小企业和物流企业信用风险服从 beta 分布，信用风险的概率密度函数是：

$$b(rs) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} rs^{\alpha-1}(1-rs)^{\beta-1}, 0 < r < 1$$

其中 Gamma 分布函数为：  $\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt, \alpha > 0$

根据苏静，杜子平 (2008) 的研究<sup>[23]</sup>，Clayton-Copula 对商业银行信用风险组合的分布拟合效果最佳，并且大量实证研究证实了商业银行信用风险具有左偏、肥尾的特征，常常伴有极端异常值的出现。因此，本文选用该函数度量三个主体的信用风险组合，二维 Clayton-Copula 的联合概率分布表达式如下：

$$C(u_1, u_2; \theta) = (u_1^{-\theta} + u_2^{-\theta} - 1)^{-\frac{1}{\theta}}$$

由于本文涉及三个主体，因此将二维 Clayton-Copula 扩展到三维，可得

$$C(u_1, u_2, u_3; \theta) = (u_1^{-\theta} + u_2^{-\theta} + u_3^{-\theta} - 2)^{-\frac{1}{\theta}} \quad (4)$$

其中，  $\theta \in (0, +\infty)$ 。当  $\theta \rightarrow 0$  时，表明随机变量  $u_1, u_2, u_3$  相互独立；当  $\theta \rightarrow \infty$  时，表明随机变量  $u_1, u_2, u_3$  完全相关。

根据定义一，Agent 4 计算  $TRS_{i,j}$  需区别客户类型。

对于新客户，

$$TRS_{i,j}(NC_i) = (rs_1 + rs_2 + rs_3) \cdot (1 + \lambda) \cdot [1 - C(u_1, u_2, u_3; \theta)] \quad (5)$$

对于老客户，

$$TRS_{i,j}(OC_i) = (rs_1 + rs_2 + rs_3) \cdot (1 + \lambda) \cdot [1 - C(u_1, u_2, u_3; \theta)] + \eta \cdot TTRS_{i,j} \cdot e^{\rho} \quad (6)$$

$$TTRS_{i,j} = \frac{\sum_{j=2}^n [TRS_{i,j-1} * \partial(t)]}{j-1} \quad (7)$$

其中， $TTRS_{i,j}$  为截至第  $j$  次融资时，以往所有融资的总加权风险得分。可理解为：若某一融资者  $i$ （老客户）有一笔融资记录，则该笔融资的信用风险总得分经过衰减处理可作为一种参考，适当降低下一次融资  $j$  的信用风险总得分，从而提升融资全程的稳定性，同时降低银行对该融资项目的信用风险控制，最终有助于资金供需双方实现双赢（即融资企业可以获得持续稳定的融资支持，银行可以免去对信用风险预警的管理成本）。

$\partial(t)$  为信用风险总得分的衰减函数，由  $\arctan(t)$  经过变换后得到， $t$  代表之前融资项目距本次融资项目的时间间隔，以月为单位，函数曲线如图所示。当时间间隔在较短范围时，信用风险总得分衰减较慢，但超过一定间隔时，信用风险总得分加速衰减，并逐渐趋向于 0。 $\partial(t)$  可以视为以往某次融资记录对银行监控本次融资项目的参考和鉴定价值，并伴随着时间间隔的增长，其参考价值加速降低。规定当某一融资未发生欺诈，全程无风险预警时，其对应的  $\partial(t)$  取值为图 2 示的相反数，当某一融资发生欺诈时，发生过风险预警时，其对应的  $\partial(t)$  取值为图 2 示。

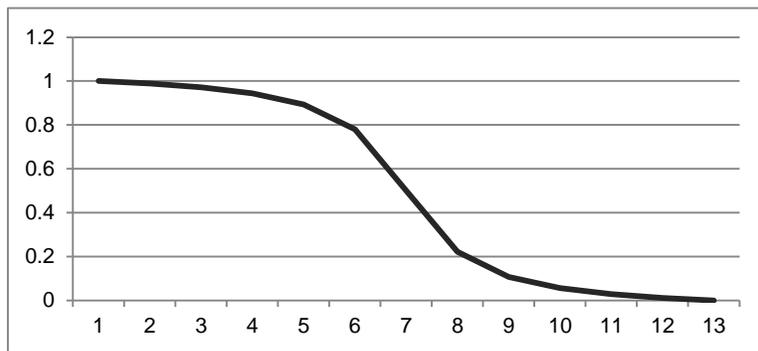


图 2 信用风险总得分衰减函数曲线

$\eta$  代表以往融资交易对本次融资交易的影响因子，由银行根据融资企业和融资项目决定，针对同一类型的企业和同一质押物类型的融资项目， $\eta$  取值相同。

$e^Q$  代表惩罚系数，用于惩罚以往融资中有欺诈行为的融资者，其会影响该融资者下一次融资的信用风险总得分，从而引起银行对此融资的重视， $Q$  代表以往融资中欺诈行为发生的次数。

**定义三：** 为保证模型打分结果的一致性和可比性，防范模型收到每一笔融资项目的

数据后，会基于自有数据库进行相似性检验，从而快速匹配与本次融资项目信用状况相似的以往融资项目，类比分析本次融资项目的潜在信用风险，相似性计算表达式如下：

$$Sim(KRI_m^{average}, KRI_m^{new}) = 1 - \frac{|KRI_m^{average} - KRI_m^{new}|}{|KRI_m^{max} - KRI_m^{min}|} \quad (8)$$

$$TotalSim(KRI_m^{average}, KRI_m^{new}) = \frac{\sum_{m=1}^n d_m Sim(KRI_m^{average}, KRI_m^{new})}{\sum_{m=1}^n d_m} \quad (9)$$

其中， $KRI_m^{new}$  指本次融资项目第  $m$  个 KRI 的得分， $KRI_m^{average}$  指数据库中第  $m$  个 KRI 的平均得分， $KRI_m^{max}$ ,  $KRI_m^{min}$  分别指数据库中第  $m$  个 KRI 的最大得分和最小得分。 $d_m$  表示第  $m$  个 KRI 的重要性程度。

**定义四：**模型能够根据外界环境的变化自动调节模型参数 ( $\theta$ 、 $\lambda$ )，从而体现其自适应的特征点，保证模型的动态性和适应性，尝试结合动态 Coupla 函数进行风险防范。最后，阈值的确定也会依据环境变化进行动态调整，不再是传统的单一阈值设定。

### (三) 假设

为了模型的分析，我们设定了本文的几个关键假设。

假设 1：核心企业、物流企业和中小企业各自的信用风险分布是已知的。

假设 2：供应链金融平台上的数据均为真实有效。

假设 3：模型是否预警取决于风险总得分  $TRS_{i,j}$ ，其他得分只作为参考。

## 六、模型仿真分析

基于随机生成的融资数据库，本文设定 beta 分布的两个参数值为  $\alpha = 2, \beta = 5$ ；设定 Clayton-Copula 的参数  $\theta = 1; \eta = 0.05$ ，从而进行仿真研究。本部分仿真分析包括：1、与传统防范模型的对比分析；2、融资相似性及风险损失数据库建立的必要性分析；3、各主体违约相关性分析。

### (一) 与传统防范模型的对比分析

基于随机生成的一组服从 Beta 分布的融资数据，其各指标得分如下表 2 所示，通过控制变量的研究方法，分析了外界环境变化时，动态参数  $\theta$ 、 $\lambda$  变化对  $TRS_{i,j}$  的影响，并

与传统防范模型（只考虑单一违约考虑，不考虑各主体违约的联合概率）相比较。

表 2 融资企业  $NC_1$  某一融资项目各指标得分情况

v1	v2	v3	w1	w2	w3	q1	q2
0.6	0.5	0.4	0.6	0.3	0.4	0.5	0.3

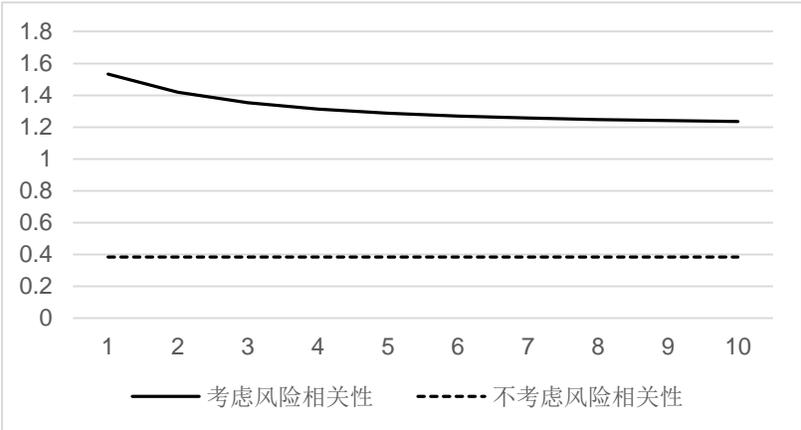


图 3  $\theta$  变化对信用风险的影响

从图 3 中我们可以发现，自适应模型与传统模型在针对同一融资企业的同一融资项目时，风险得分情况存在差异，即与自适应模型相比，传统模型倾向于低估融资项目的风险。这一结论也解释了供应链金融在银行中开展的局限，即传统模型对风险低估，使得银行在前期供应链融资实践中面临信用风险的极大挑战，一定程度上阻碍了供应链金融业务在国内的开展。可见，各主体间信用风险相关性会增强供应链融资整体的风险。因而，银行在信用风险的防范时应将各主体间的风险相关性作为重点考虑因素。

当  $\theta$  从 1 逐渐增大到 10 时，自适应模型的  $TRS_{i,j}$  逐渐减少，并逐渐趋向于某一值。这一变化趋势反映了随着供应链金融三个主体间相关性的增强，总体信用风险在下降。结合供应链中战略联盟、合作伙伴关系的研究，我们可以将这一结果分析为企业间合作伙伴关系的加深，会使得各主体更多的考虑交易方的情况，从而尽可能达成交易，银行因此确保了还款来源，从而总体的信用风险在减弱。银行应将供应链关系作为衡量供应链金融信用风险的重要依据。

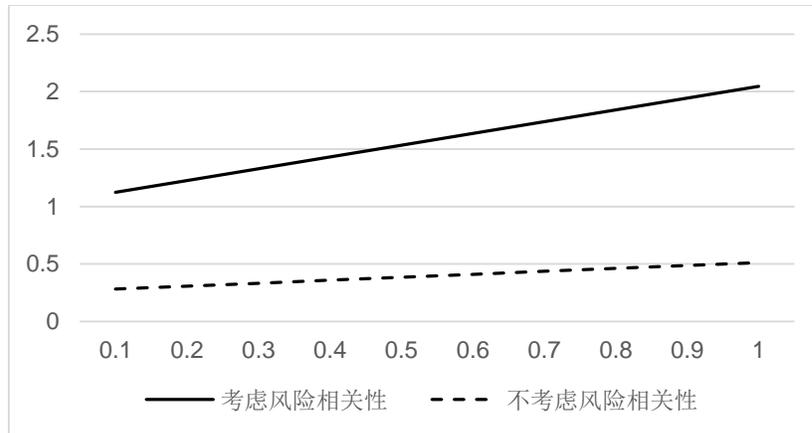


图 4  $\lambda$  变化对信用风险的影响

之后，在其他变量不变的情况下，我们探究了 $\lambda$ （行业状况）变化的影响。同样的，仿真结果再一次证实了传统风险防范模型倾向于低估总体的信用风险的结论。此外，从图 4 中我们还观察到，随着 $\lambda$ 取值的增大（行业状况逐渐恶化），信用风险逐渐上升，并且自适应模型与传统模型间的信用风险差异逐渐放大，这暗示了行业状况的恶化会使得各主体间的相关性对总体信用风险的影响程度加大，解释了实际中的捆绑性违约，群体违约的现象。同时，仿真结果也说明传统模型的有效性会随着外部行业环境的恶化逐渐减弱。据此，银行应在关注风险相关性的同时考虑供应链融资主体所处行业的发展状况。

## （二）融资相似性及风险损失数据库建立的必要性分析

通过随机生成多组融资数据，依据定义三对融资项目相似性的计算，我们探究了样本数据库规模对于信用风险防范的意义。 $TotalSim \in [0,3]$ ，数值越大代表融资项目与银行数据库中的融资相似性更高。

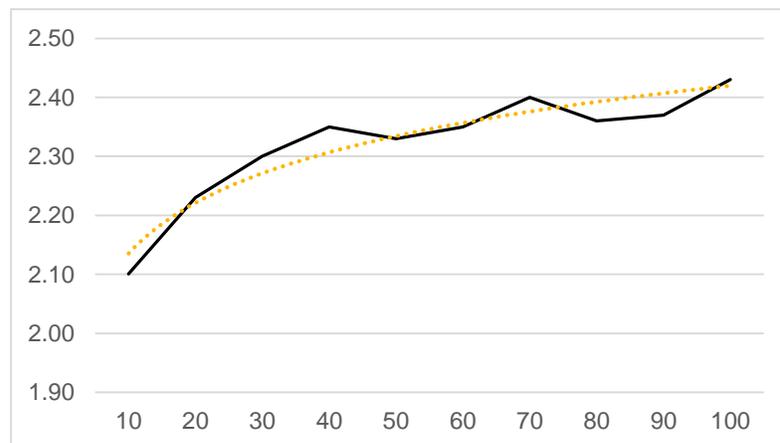


图 5 融资样本量变化对  $TotalSim$  的影响

如图 5，随着融资数据样本量的增大，观察  $TotalSim$  的变化，基本呈上升趋势。这说明银行积累越多的融资数据，针对供应链金融业务中的新融资时越容易从数据库中找出相似融资项目，能够借鉴的经验越多，从而在一定程度上增强对信用风险的管理能力。但是，这一上升幅度随着样本量的增加而衰减，出现了类似于“规模效益递减”的现象，从一个侧面警示银行不能过度依赖融资数据库的相似性分析进行信用风险的防范。

### （三）各主体违约相关性分析

基于我们提出的自适应模型，考虑各主体间信用风险的相关性，以  $NC_1$  为例，观察  $\theta$  变动情况下，融资项目中核心企业、中小企业和物流企业的信用违约概率变化，仿真结果如图 6 所示。

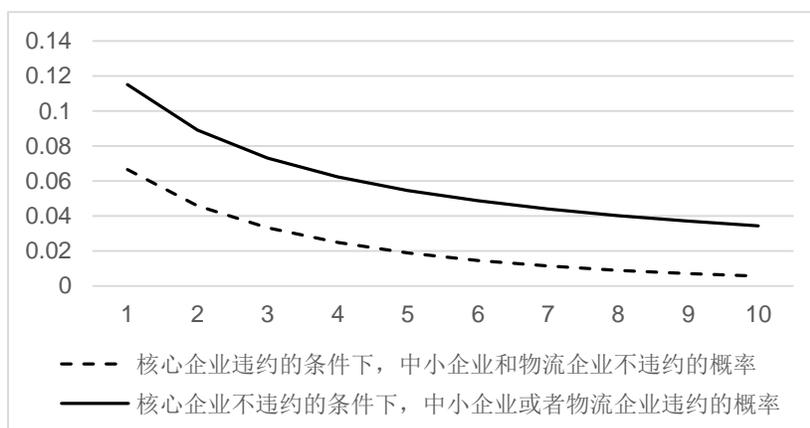


图 6  $\theta$  变动下各主体违约概率变动情况

从图 6 中，我们可以总结出以下三点：第一、图形的趋势向下，说明随着各主体间相关性的增强，其违约概率在减弱，原因是供应链金融的“信用捆绑”，各主体间相关性的增加使得捆绑效应增强，从而降低了信用风险发生的概率。第二、两条曲线的纵向差距表明，核心企业信用违约对供应链金融整体的风险危害大于中小企业或物流企业违约的危害，从概率上看增强了一倍左右。这启示银行不应该只将风险管理的重点放在信用状况较弱的中小企业，也应该重点关注信用风险的“震源”——核心企业。第三，在不同相关性水平  $\theta$  下，违约概率有显著差异，可见，银行在分析供应链金融信用风险时，应首先对供应链关系进行评价衡量，据以估计出适当的信用风险违约概率。

## 七、结论

供应链金融运作中的信用风险，既不是静态的，也不是独立的。供应链金融的存在依

赖于供应链业务运作的实质，供应链运作处于动态变化的环境下、多个主体之间形成了强度不一的供应链关系。仅仅基于银行信贷视角去防范信用风险显然不适应供应链融资的模式，因而，结合供应链业务运作及其风险的管理，从金融信贷和供应链运作两个方面去防范信用风险是必要的。仿真结果表明，银行应抓住供应链金融运作的动态性，考虑各主体间信用风险的相关性。本文提出的基于动态的自适应模型，结合动态 Copula 的信用风险连接能力，从两个视角出发为银行提供了一个可以参考的供应链金融信用风险的工具，具有一定的适用性和自适应能力。最后，本文所构建的自适应模型，还需在应用过程中加以检验并不断完善。

## 参考文献

### 1. Chinese

[21]苏静，杜子平. Copula 在商业银行组合信用风险度量中的应用[J].金融理论与实践，2008，(5):6-8.

[22]熊熊，马佳，赵文杰，王小琰，张今. 供应链金融模式下的信用风险评价[J].南开管理评论，2009，(4):92-98.

[23]李晓宇，张鹏杰.中国商业银行供应链融资的风险评价研究[J].金融论坛，2014，(9):49-56.

### 2. English

[1]Berger A N, Ashli D K. Bank Concentration and Conference: an Evolution in the Making a Conference Sponsored by the Federal Reserve Bank of Cleveland [J]. Journal of Money, 2004, (6):433-451.

[2]Pfohl H. C., Gomm M. Supply chain finance: optimizing financial flows in supply chains[J]. Logistics Research, 2009,(3-4):221-240.

[3]Gomm M. L. Supply Chain Finance: Applying Finance Theory to Supply Chain Management to Enhance Finance in Supply Chains [J].International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management, 2010, (13):133-142.

[4]Hofmann E. Belin O. Supply chain finance solutions: relevance - propositions - market value[M].Berlin: Springer Briefs in Business,2011.

[5]Buzacott J A, Zhang R. Q. Inventory Management with Asset—Based Financing [J] . Management

Science, 2004, (24):1274-1292.

[6]Barsky N. P., Catanach A H. Evaluating Business Risks in the Commercial Lending Decision [J].

Commercial Lending Review, 2005, (3):3-10.

[7]More D. Basu P. Challenges of supply chain finance: A detailed study and a hierarchical model based on the experiences of an Indian firm[J]. Business Process Management Journal,2013,(19):624-647.

[8]Wuttke D.A., Blome C., Foerstl K., Henke M. Managing the Innovation Adoption of Supply Chain Finance—Empirical Evidence From Six European Case Studies[J].Journal of Business Logistics,2013,(34):148-166.

[9]Juttner U., Peck H., Christopher M. Supply Chain Risk Management: Outlining a Agenda for Future Research[J]. International Journal of Logistics: Research & Application,2003,(6):197-210.

[10]Tang C. S. Perspectives in supply chain risk management[J]. International Journal of Production Economics,2006,(103):451-488.

[11]Lavastre O., Gunasekaran A., Spalanzani A. Effect of firm characteristics, supplier relationships and techniques used on supply chain risk management (SCRM): an empirical investigation on French industrial firms[J]. International Journal of Production Research,2014,(52):3381-3430.

[13]Li G., Fan H., Lee P. K.C., Cheng T.C.E. Joint supply chain risk management: An agency and collaboration perspective[J]. International Journal of Production Economics,2015,(164):83-94.

[14]Brooks D. J., Davenport H. T. Enterprise Systems and the Supply Chain. [J].Journal of Enterprise Information Management, 2004, 17 (1):8-19.

[15]Michalis, Michalis. A Multi-Agent Based Framework for Supply Chain Risk Management [J]. Journal of Purchasing & Supply Management, 2011, (17):23-31

[16]Fu J.X., Fu Y. L. An adaptive multi-agent system for cost collaborative management in supply chains[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence,2015,(44):91-100.

[17]Yue liang Su, Nan Lu. Simulation of Game Model for Supply Chain Finance Credit Risk Based on Multi-Agent [J]. Open Journal of Social Sciences, 2015, (3):31-36.

[18]Joe H. Multivariate Models and Dependence Concepts [M] .London: Chapman & Hall , 1997.

[19]Li D. X. On default correlation: A copula function approach [J]. Journal of Fixed Income, 2000, (03):43 - 54.

[20]Dimakos, X. K., Aas, K.. Risk capital aggregation[J].Risk Management, 2007,( 9): 82 -107.