

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2022.02.002

复杂网络视角下行业风险传染与银行信贷配置^①

周 骐^{1,4}, 李仲飞^{2,4*}, 曾 燕^{3,4}

(1. 华南理工大学工商管理学院, 广州 510641; 2. 南方科技大学金融系, 深圳 518055;
3. 中山大学岭南学院, 广州 510275; 4. 中山大学金融工程与风险管理研究中心, 广州 510275)

摘要: 信贷业务是银行业主要的收益和风险来源. 然而, 我国的银行对行业风险进行评估的过程中, 没有考虑行业间的整体关联性. 因此, 基于已有研究, 从复杂网络视角研究我国行业风险的主要聚类类型(循环型、中介型、吸收型和扩散型), 在考虑行业聚类风险的基础上构建行业层面的银行信贷配置模型(Min-C 即最小聚类系数模型)并给出信贷配置最优策略和信贷配置集中化的度量指标 *C-I-HHI*(clustering-industry-HHI). 研究表明: 在 4 种聚类风险中, 国内的行业间聚类风险主要是吸收型, 属于较高风险传染类型; Min-C 模型由于综合考虑了行业间的聚类风险类型, 所以其信贷配置策略在贷款收益率、不良贷款率等指标上优于传统的 Naïve 策略、Min-V 模型和 Min-CVaR 模型下的最优策略; Min-C 模型下的最优策略的银行不良贷款率也分别低于我国城市商业银行与农村商业银行的平均不良贷款率; 稳健性检验中构造的 *C-I-HHI* 指标不仅说明了 Min-C 模型的稳定性, 还为银行信贷配置是集中化还是多元化更优的争论提供了新的分析思路.

关键词: 复杂网络; 信贷配置; 聚类风险; Min-C; *C-I-HHI*

中图分类号: F830.59; F832.48 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2022)02-0024-23

0 引 言

2008 年的金融危机已过去十多年了, 但危机的影响并未消失殆尽. Bernanke^[1] 探讨了金融恐慌和信贷中断对经济的冲击. 他指出: “10 年前金融危机最严重的时候, 经济学家和政策制定者低估了随之而来的经济衰退的深度和严重性. 要纠正这种失败就需要在经济模型和预测中更全面地纳入信贷市场因素.” 银行的信贷业务是银行收益来源的核心, 其信贷配置效率影响社会资金对具有核心竞争力行业的支持, 从而影响国家经济的运行质量. 2019 年习近平总书记在中共中央政治局集体学习时强调, 要深化金融供给侧结构性

改革, 增强金融服务实体经济能力. 银行业对实体经济的服务主要体现在控制风险的前提下为各行业的发展提供正常的信贷资金. 因此, 科学合理地进行银行信贷配置是实体经济正常运行的重要保障. 目前中国的银行信贷配置多数依赖银行自有的历史信贷数据进行简单的总结和定性分析, 多为“行业配置 + 公司信用评级 + 审批”的配置思路, 缺乏对信贷市场风险的量化分析和预测. 例如, 国内某商业银行在 2019 年信贷和投融资政策报告中将信贷投放行业分为鼓励发展、适度支持、审慎介入、压缩控制 4 类, 进而优化信贷结构. 另一国有股份制银行关于信贷配置的行业筛选主要

① 收稿日期: 2020-04-03; 修订日期: 2021-07-22.

基金项目: 国家自然科学基金资助重大项目(71991474); 国家自然科学基金创新研究群体资助项目(71721001); 国家自然科学基金资助项目(71771220); 广东省自然科学基金资助项目(2022A1515011472); 高校基本科研业务费中山大学优秀研究生创新发展资助项目

通讯作者: 李仲飞(1963—), 男, 内蒙古鄂尔多斯人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: lizf6@sustech.edu.cn

定性地考虑行业政策对市场的影响、行业发展阶段及其特点和行业竞争程度。上述的配置方式具有很强的主观性和偏差性。此外,通过实地调研发现,目前银行风控部门将工作重点放在了具体公司的信用评级上,对于行业信贷比例,主要以定性分析为主,量化分析方法使用极少,但是,行业风险的量化分析将是未来的发展趋势。2019年5月包商银行被接管的事件为银行业再次敲响警钟,同时也提醒中小银行需要提升风险识别能力和优化银行的信贷配置结构。

行业聚类风险对基于行业层面的银行信贷配置有着极其重要的影响。传统的银行信贷配置研究忽略了单个行业在整个行业系统中的重要性以及行业网络之间的关联性。银行信贷配置问题本质上是投资组合选择问题,但信贷配置由于涉及行业较多(出于国家政策、经济发展的需要),更容易面临由行业间风险传染导致的聚类风险,并有可能引发银行系统性金融风险。此外,信贷配置面临不良贷款率和贷款收益率的双重目标。目前关于银行信贷配置的研究主要有两个视角:社会视角和银行视角。

先简要综述基于社会视角的银行信贷配置的研究。基于该视角,银行应该将资金配置到边际效用较大,对国家发展和社会贡献较大的行业。关于社会视角的资金配置效率问题,具有代表性的是 Wurgler^[2]在2001年的研究。他分析了65个国家基于行业层面的银行信贷配置,发现发达国家更倾向于将信贷资金配置到增长型行业中,且资金配置效率反比于行业的国有化程度,正比于法律对于中小型投资者的保护程度。此后,中国人民银行营业管理部课题组^[3]借鉴 Wurgler 的研究方法对北京市的银行信贷资金在26个行业的配置效率进行了分析,发现配置效率与产业结构调整情况、行业利润率和创造力高度相关以及部分行业存在信贷过度集中的现象。后续,较多学者研究了信贷资源配置效率的影响因素。例如,盛丹和王永进^[4]研究了产业集聚效应对信贷资源配置的影响,发现产业集聚效应降低了企业融资成本,从而提高了信贷资源的配置效率。影响信贷资金配置效率的因素还有公司集团化程度^[5]和金融发展程度^[6]。徐飞^[7]研究了银行信贷与企业创新的关系,指出了银行

针对企业创新活动的信贷业务存在着风险与收益不对称问题。周永圣等^[8]基于政府、银行以及企业三方关系研究了三方参与主体的演化稳定策略。Cong等^[9]研究了中国19家银行与制造业企业的信贷关系,详细分析了信贷扩张和刺激计划对民营企业发展的影响。

基于银行视角的信贷配置是指银行在信贷政策等条件约束的前提下,最大化信贷收益,提高银行经营能力。具体而言,银行通过信贷配置降低不良贷款率,提高贷款收益。Dell' Ariccia 和 Marquez^[10]研究了信息不对称程度对银行贷款收益率的影响。在行业研究中,各行业的信息不对称程度差异较大,比如房地产、国防军工和金融行业的信息不对称程度明显高于农林牧渔业和制造业。李卫东等^[11]从价值投资理论的角度分析银行信贷决策,以某银行为例进行实证分析,指出该银行应重点投资建筑业和零售业以及重点关注住房价格指数和CPI等指标。Metawa等^[12]运用人工智能中的遗传算法研究了在信贷紧缩的环境下,银行如何进行最优的贷款决策使得利润最大化。隋聪等^[13]研究了银行债务流动性对银行风险传染的影响,发现在系统性风险方面,流动性差异可能比“规模大”和“联系多”更重要。Simper等^[14]运用欧盟26个成员国的银行数据分析了风险管理技术与创新对银行不良贷款率的影响。上述文献主要研究了银行信贷配置的影响因素,鲜有考虑基于行业层面的银行信贷配置策略。关于信贷配置策略,当前银行的实际操作中主要依赖自有的历史信贷数据进行简单的总结和定性分析确定信贷行业配置比例,没有充分运用量化的工具防范信贷风险。大多数银行仅仅考虑了单个行业的预期收益和风险承担,忽略了单个行业在整个行业系统中的重要性以及行业网络之间的聚类特征。

基于银行视角的银行信贷配置需要考虑的重要问题之一是信贷配置应该集中化还是多元化。Acharya等^[15]研究了意大利的105家银行的贷款分散程度对贷款收益率和违约率的影响,发现与传统投资组合不同,行业多元化并不能降低风险,反而会带来更低的贷款回报率。研究表明在银行贷款的行业配置中不能单纯地运用行业数目多元化来进行决策,仅仅考虑方差风险的贷款决策并

不能达到最优配置的目的。随后, Rossi 等^[16]、Berger 等^[17]和 Tabak 等^[18]分别使用奥地利、中国和巴西的银行数据探讨了银行信贷配置是集中化还是多元化更优的问题。就贷款收益率而言,运用奥地利的银行样本研究表明多元化会提高贷款收益效率,但是运用巴西和中国的银行样本得出的研究结果恰恰相反,贷款组合的集中化可以提高贷款收益率;就不良贷款率而言,运用奥地利的银行样本研究表明多元化会降低银行风险,但是巴西的银行样本研究表明集中化会降低不良贷款率,3篇文章的研究结果完全不同。之后, Adzobu 等^[19]运用非洲的银行数据研究表明,贷款组合多元化既没有提高银行的盈利能力,也没有降低银行信贷风险。目前,银行信贷配置是集中化还是多元化更优的问题仍无定论。

本文将基于银行视角运用复杂网络方法研究银行信贷配置问题。复杂网络方法是图论和统计学的交叉,具有灵活性和通用性,几乎可以表示包括动态变化的拓扑结构在内的任意自然或社会结构,可以构造包括有向连接、无向连接、加权有向、加权重无向在内的4种主要网络结构。研究者可以结合自己的数据特征,构建所需的网络结构,然后利用“社区结构分析”、“幂律的度分布”、“中心性”和“聚类性”等结构特征分析研究问题^[20,21]。运用复杂网络方法研究行业聚类风险问题可以提升对行业间关联结构的认识,它将不同的行业通过关联关系(相关关系或因果关系等)连成一个复杂网络,从而研究行业网络的聚类性和中心性。张维等^[22]综述了复杂网络方法在实验金融研究中的具体应用。

将采用复杂网络方法研究行业指数的聚类风险问题和均值约束条件下的 Min-C 模型,进而分析银行视角下的基于行业层面的银行信贷配置效率问题,在“行业指数”、“商业银行不良贷款表”和“上市公司向银行贷款文件”3套数据的支撑下,提出“预测+配置”的银行信贷行业配置比例问题的模块化解决方案。此外,尝试从行业网络聚类风险而非信贷行业配置数的角度提出银行信贷配置是集中化还是多元化更优的新的分析思路。

首先运用广义方差分解法构建行业指数收益率溢出效应矩阵与行业关联有向加权网络。其次,基于网络聚类系数^②提出了4种类型聚类风险(循环型、中介型、吸收型和扩散型)。然后,根据聚类风险的具体特征和均值-方差模型的思想提出均值约束条件下的 Min-C 模型,分析银行信贷的行业配置策略。相比方差风险和 CVaR 风险,基于聚类风险的行业配置不仅可以分散风险,而且可以将风险分散到关联性较低的行业中,同时通过对高连接度节点的定位增强对高收益率行业的识别。最后通过实证分析对比 Min-C 模型下的最优策略、传统的 Naïve (等权 $1/N$, 下文简称 $1/N$) 策略, Min-V 模型和 Min-CVaR 模型下的最优策略在样本外的不良贷款率和贷款收益率以及实际的城市商业银行、农村商业银行和外资银行的平均不良贷款率,发现 Min-C 模型下的最优策略均稳定占优。对于这样的结果,本文认为可能的原因是银行信贷配置是集中化还是多元化更优不能单纯地从行业数目多少的角度分析,还需考虑具体行业的聚类特征。即使银行信贷配置的行业数目较多,多元化明显,但是若所配置的行业属于同一聚类特征,也无法达到分散风险的效果。为此,构建了新的信贷配置集中化的度量指标 $C-I-HHI$ 。在新的度量标准下,我国银行信贷配置多元化优于集中化。

与现有文献相比,本文的主要贡献在于:1) 运用“有向加权”网络中的聚类系数指标细化行业聚类风险类型为循环型、中介型、吸收型和扩散型,其中吸收型和扩散型风险较高,循环型和中介型风险较低。此举为行业聚类风险的研究提供了新视角,并发现中国的行业间聚类风险类型主要是吸收型;2) 运用聚类系数作为聚类风险的度量指标,提出了银行信贷配置(分行业)的 Min-C 模型,实证结果其优于传统的配置模型和实践中商业银行的表现;3) 提出的信贷配置的集中化度量指标 $C-I-HHI$, 不仅为银行信贷配置的风险衡量提供直接参考,还提供了银行信贷配置是集中化还是多元化更优的新的分析思路。

^② 网络中节点属性的指标有很多,例如中心性、连通度和聚类系数等等。选择聚类系数的原因是 Schwaab^[25]研究了不同国家和行业的系统性风险,发现信用违约风险的确存在行业聚类的现象。

1 模型构建

现有文献关于行业风险的研究主要基于单个行业的市场波动测算损失概率, 忽视了行业之间的“两两关联”和“整体关联”. 为此, 先对风险形成的路径进行分析. 在清晰刻画行业风险形成的路径后再研究如何进行银行信贷配置. 为解决上述问题, 在研究方法上, 首先参考 Diebold 和 Yilmaz^[23] 以及杨子暉和周颖刚^[24] 的研究, 对 VAR (vector auto-regression) 模型的预测结果采用广义方差分解, 得到行业指数收益率溢出效应矩阵; 然后采用网络拓扑分析法计算行业聚类风险, 分析行业聚类风险类型; 最后基于均值 - 方差模型思想构建 Min-C 银行信贷配置模型.

1.1 广义方差分解

以 VAR(1): $Y_t = \phi Y_{t-1} + \varepsilon_t$ (其中 Y_t 表示指数收益率, ϕ 为系数矩阵, ε_t 为误差项且 $E(\varepsilon_t) = 0$) 为例进行预测误差的方差分解. 记 $Y_t = (Y_{1t}, Y_{2t}, \dots, Y_{nt})^T$ 表示 n 个行业在时刻 t 的指数收益率. 在 t 时刻的一步预测结果为 $\hat{Y}_{t+1} = \phi Y_t$ (\hat{Y} 表示预测值), 两步预测结果为 $\hat{Y}_{t+2} = \phi \hat{Y}_{t+1} = \phi(\phi Y_t) = \phi^2 Y_t$. 故两步预测的误差为 $Y_{t+2} - \hat{Y}_{t+2} = \phi^2 Y_t + \varepsilon_{t+2} + \phi \varepsilon_{t+1} - \phi^2 Y_t = \varepsilon_{t+2} + \phi \varepsilon_{t+1}$. 预测误差的方差分解就是测算 n 个变量 (本文中即 28 个行业的指数收益率) 中, 某一行业的收益率波动引发其它行业的收益率波动, 在预测期为 L 的预测误差的方差

占预测期为 L 的总体预测误差的方差的比重, 计算公式如下

$$S_{j \rightarrow i}^{(L)} = \frac{\sum_{q=1}^L (\phi_{ij}^{(q)})^2 \delta_{jj}}{\sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^L (\phi_{ij}^{(q)})^2 \delta_{jj}}, \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \tag{1}$$

式中 $S_{j \rightarrow i}^{(L)}$ 表示在 L 期滞后的 VAR 模型中行业 j 对行业 i 的收益率溢出效应的百分比; δ_{jj} 表示误差项第 j 个变量误差项 ε_j 的方差 ($Y_{it} = \sum_{j=1}^n (\phi_{ij}^{(0)} \varepsilon_{j,t} + \phi_{ij}^{(1)} \varepsilon_{j,t-1} + \dots + \phi_{ij}^{(L)} \varepsilon_{j,t-L})$); $\phi^{(q)}$ 表示滞后 q 期 VAR 模型的系数矩阵, q 值运用 SC (Schwarz criterion) 准则确定.

关于方差分解需要说明的是, 传统的方差分解大多采用上述的 Cholesky 方差分解法, 但 Cholesky 方差分解法的结果对变量的顺序高度依赖. 因此, 目前国内外学者更多使用的是 Pesaran 和 Shin^[26] 提出的不依赖于变量顺序的广义方差分解法, 计算公式如下

$$GS_{j \rightarrow i}^{(L)} = \frac{\sigma_{jj}^{-1} \sum_{q=1}^L (e_i' \phi^{(q)} \Sigma e_j)^2}{\sum_{q=1}^L (e_i' \phi^{(q)} \Sigma \phi^{(q)'} e_i)} \tag{2}$$

式中 $GS_{j \rightarrow i}^{(L)}$ 度量了在 L 期滞后的广义方差分解中行业 j 对行业 i 的收益率溢出效应的百分比; e 为 n 维列矩阵, 元素 $e_i, i = 1, 2, \dots, n$, 其中第 i 个元素为 1, 其余元素均为 0; Σ 表示行业收益率方差 - 协方差矩阵; σ_{jj} 表示 Σ 中的第 j 个对角元素. 这样就得到了行业收益率溢出效应矩阵, 如表 1 所示.

表 1 行业收益率溢出效应矩阵

Table 1 Spillover effect matrix of industry return

行业	行业				入度
	1	2	.....	n	
1	$GS_{1 \rightarrow 1}^{(L)}$	$GS_{2 \rightarrow 1}^{(L)}$	.....	$GS_{n \rightarrow 1}^{(L)}$	$\sum_{j=1, j \neq 1}^n GS_{j \rightarrow 1}^{(L)}$
2	$GS_{1 \rightarrow 2}^{(L)}$	$GS_{2 \rightarrow 2}^{(L)}$	.....	$GS_{n \rightarrow 2}^{(L)}$	$\sum_{j=1, j \neq 2}^n GS_{j \rightarrow 2}^{(L)}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
n	$GS_{1 \rightarrow n}^{(L)}$	$GS_{2 \rightarrow n}^{(L)}$	.....	$GS_{n \rightarrow n}^{(L)}$	$\sum_{j=1, j \neq n}^n GS_{j \rightarrow n}^{(L)}$
出度	$\sum_{i=1, i \neq 1}^n GS_{1 \rightarrow i}^{(L)}$	$\sum_{i=1, i \neq 2}^n GS_{2 \rightarrow i}^{(L)}$	.....	$\sum_{i=1, i \neq n}^n GS_{n \rightarrow i}^{(L)}$	$\frac{1}{n} \sum_{i,j=1, i \neq j}^n GS_{j \rightarrow i}^{(L)}$

在收益率溢出效应矩阵中,第一行的行业分类表示行业收益率溢出的来源地(对应元素下标的左侧元素),第一列的行业分类(对应元素下标的右侧元素)表示行业收益率溢出的接受地.最右侧列为对应行的非对角元素之和,表示其它行业收益率对该行业产生的冲击或溢出的总效应之和(行业的入度).表中末行是对应列的非对角元素之和,表示该行业对其它行业收益率产生冲击或溢出的总效应之和(行业的出度).此外,对“入度”所在列元素或“出度”所在行元素进行加总并求平均则是行业收益率溢出总效应

$$\frac{1}{n} \sum_{i,j=1, i \neq j}^n GS_{j \rightarrow i}^{(L)} \quad (3)$$

1.2 行业关联网络和聚类风险

运用表 1 可以构建行业关联网络 $G = (V, E)$, 其中 V 表示网络节点的集合, 每个节点表示 1 个行业, 共选取 28 个行业(申银万国行业分类标准一级名录); E 为网络中边的集合, 其元素为有序实数对, 即如果行业 i 对行业 j 有收益率溢出效应, 则 $(i, j) \in E$. 在网络研究中, 网络的连接边的数值大小一般用邻接矩阵^③ $A = \{a_{ij}\}$ 来表示, 当 $(i, j) \in E$ 时, $a_{ij} \neq 0$; 否则 $a_{ij} = 0$. 本文所构建的行业关联网络邻接矩阵 A 中, $a_{ij} = GS_{j \rightarrow i}^{(L)}$, $i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, 28$ (即在行业收益率溢出效应矩阵的基础上设定对角元素为 0). 此网络为加权有向金融网络.

为了度量网络中每个行业与其它行业的关联水平, 运用聚类系数这一网络拓扑指标. Watts 和 Strogatz^[27] 首次提出聚类系数, 用来度量网络中节点的集聚程度. 它在数值上表示为以节点 i 为顶点的三角形的数量与以节点 i 为顶点的三元组的数量的比值, 三元组的特征如图 1 所示. 聚类系数在金融网络中具有重要的应用, Schwaab 等^[25] 的研究表明发生信贷违约风险的行业存在一定的聚类现象.

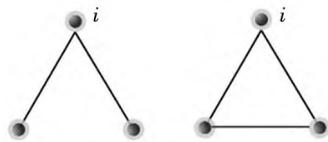


图 1 以节点 i 为顶点的三元组的两种可能形式

Fig. 1 Two possible forms of a triple with node i as its vertex

③ 邻接矩阵是表示顶点之间相邻关系的矩阵.

④ 循环型三元组的最大可能数是指不考虑节点 1 和节点 2 是否有连接, 节点 i 与节点 1、节点 2 的连接满足循环型三元组的条件的数量. 其它类型三元组的最大可能数同理可得.

定义 1 设节点 i 的邻居节点数为 k_i, k_i 个邻居节点之间实际存在的边数记为 E_i , 可能存在的边数为 $C_{k_i}^2$ ($C_{k_i}^2 = k_i(k_i - 1)/2!$)^[27]. E_i 和 $C_{k_i}^2$ 之比定义为节点 i 的聚类系数, 记为 C_i , 即

$$C_i = \frac{E_i}{C_{k_i}^2} = \frac{\text{与节点 } i \text{ 相连的三角形数量}}{\text{与节点 } i \text{ 相连的三元组数量}}$$

上述聚类系数的定义仅仅适用于无向网络, 有向网络的聚类系数可以直接从无向网络中的定义延拓过来, 但会丢失网络中的数据信息, 无法全面反映网络节点的具体聚类效应. 究其原因, 有向网络中的节点连接有方向区别, 不同的方向代表了不同的经济含义. Fagiolo^[28] 根据有向网络中三元组的不同形态特征定义了 4 种类型聚类系数.

Watts 和 Strogatz^[27] 定义的无向网络聚类系数在风险度量中已有直接的应用^[29, 30], 将 Fagiolo 的思想引入金融风险管理领域, 用聚类系数度量风险, 简称聚类风险, 具体定义如下.

定义 2 根据 4 种类型三元组, 相应的聚类风险定义如下(参见图 2).

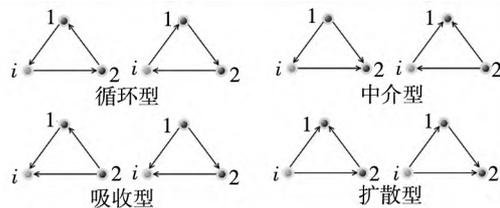


图 2 4 种类型聚类风险对应的三元组类型

Fig. 2 Four types of clustering risk correspond to the triad types

1) 节点 i 的循环型聚类风险定义为以 i 为中心的子网络中, 循环型三元组个数占子网络中循环型三元组的最大可能数^④的比例为

$$C_i^{cyc} = \frac{(A^3)_{ii}}{d_i^{in} d_i^{out} - \tilde{d}_i} \quad (4)$$

2) 节点 i 的中介型聚类风险定义为以 i 为中心的子网络中, 中介型三元组个数占子网络中中介型三元组的最大可能数的比例为

$$C_i^{mid} = \frac{(AA^T A)_{ii}}{d_i^{in} d_i^{out} - \tilde{d}_i} \quad (5)$$

3) 节点 i 的吸收型聚类风险定义为以 i 为中心的子网络中, 吸收型三元组个数占子网络中吸收型三元组的最大可能数的比例为

$$C_i^{in} = \frac{(A^T A^2)_{ii}}{d_i^{in} (d_i^{in} - 1)} \quad (6)$$

4) 节点 i 的扩散型聚类风险定义为以 i 为中心的子网络中, 扩散型三元组个数占子网络中扩散型三元组的最大可能数的比例为

$$C_i^{out} = \frac{(A^2 A^T)_{ii}}{d_i^{out} (d_i^{out} - 1)} \quad (7)$$

其中 \tilde{d}_i 表示与节点 i 有双边关系的邻居节点数, $\tilde{d}_i = \sum_{j \neq i} a_{ij} a_{ji} = (A^2)_{ii}$ (A_{ii} 表示矩阵 A 的第 i 个对角线元素); d_i^{in} 表示节点 i 的入度; d_i^{out} 表示节点 i 的出度^⑤. 节点 i 的“入度”表示网络中指向节点 i 的边的加权(权重为 $a_{ij}, i \neq j$) 和, 节点 i 的“出度”表示网络中由节点 i 指出的边的加权和, 即

$$\begin{aligned} d_i^{in} &= \sum_{j \neq i} a_{ji} = (A^T)_i \mathbf{e}, \\ d_i^{out} &= \sum_{j \neq i} a_{ij} = (A)_i \mathbf{e} \end{aligned} \quad (8)$$

其中 $(A)_i$ 表示矩阵 A 的第 i 行元素; \mathbf{e} 表示 n 维单位列矩阵 $(1, 1, \dots, 1)^T$. 记 d_i^{tot} 为节点 i 的入度和出度的和, 即 $d_i^{tot} = d_i^{in} + d_i^{out}$.

为了反映两两行业间的聚类特征, 同时构造行业组合的风险矩阵, 首先计算行业关联网 (邻接矩阵为 A) 中每个行业的聚类风险 $C_i^{(ty)}$, 然后运用 $C_i^{(ty)}$ 定义风险矩阵 C . 矩阵 C 的元素定义如下

$$c_{ij} = \begin{cases} C_i^{(ty)} \times C_j^{(ty)}, & \text{当 } i \neq j \text{ 时,} \\ 1, & \text{当 } i = j \text{ 时} \end{cases} \quad (9)$$

其中 $ty = cyc, mid, in, out$. 对行业 i, ty 只取 4 种中的 1 个, 选取规则为: 取 4 种聚类风险中最大者

为该行业的聚类风险类型(如果最大值不止 1 个, 则该行业同时兼具多种聚类风险类型, 由于最大值的数值只有 1 个, 故不影响实证分析).

矩阵 C 是仿照均值 - 方差模型中的协方差矩阵, 反映行业组合的聚类风险. 矩阵 C 中元素 c_{ij} 的构造是借鉴了数学中耦合度的思想(耦合度是对模块间关联程度的度量, 反映了模块之间的依赖关系, 模块间联系越多, 其耦合性越强^[31, 32]), 对应到本文中, c_{ij} 反映了任意一对行业节点和整个行业网络的关联水平和聚类程度.

在考虑行业网络的聚类风险的同时, 仍然不能忽视行业的波动率风险(方差风险), 借鉴协方差矩阵和相关系数关系的思想, 对 C 进行标准差加权处理, 记为 $H = \Delta^T C \Delta$. 其中 Δ 为对角矩阵, 其

对角线元素为 $s_i = \frac{\sigma_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}}$, 其中 σ_i 为行业 i 指

数收益率的标准差. 标准差加权后的风险度量矩阵 H , 既包含传统方差风险(体现在矩阵 Δ), 又考虑了聚类风险(体现在矩阵 C), 综合两种风险考虑银行信贷的行业配置问题.

命题 1 若 $0 \leq c_{ij} < 1 (i \neq j)$, 则 C 和 H 均为正定矩阵. (证明见附录)

1.3 银行信贷配置(分行业)模型

在运用行业指数分析行业风险时, 一方面, 由于行业指数波动较小, 方差无法对风险进行很好度量; 另一方面, Schwaab 等^[25]的研究表明发生信贷违约风险的行业存在一定的聚类现象. 故尝试运用聚类风险替代方差风险度量银行信贷配置中的行业聚类风险.

均值 - 方差模型框架中, 相关系数矩阵 ρ 反映的是两两行业间的相关程度, 而本文所构建的矩阵 C 反映的是两两行业间的聚类程度. 协方差矩阵 Σ 由相关系数矩阵 ρ 与标准差对角矩阵

⑤ 在有向网络中, 所有的边都是有方向的, 所以连接关系不一定是对称的. 节点 1 指向节点 2 并不意味着节点 2 指向节点 1, 两个节点之间的不同方向连接边的权重大小也不一定相等. 若入度或出度等于 0, 则该节点没有相对应的风险传染类型. 下文的实证分析中, 本文所构建的邻接矩阵非对角线元素均大于 0.

$\sigma = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$ 确定 ($\Sigma = \sigma^T \rho \sigma$). 标准差加权的聚类风险矩阵 H (以下简称聚类风险矩阵) 由矩阵 C 和标准化的标准差对角矩阵确定 ($H = \Delta^T C \Delta$). 众所周知, 投资组合 ω 的方差风险为 $\omega^T \Sigma \omega$. 同理, $\omega^T H \omega$ 也是一种风险度量, 称其为投资组合 ω 的聚类风险 $\omega^T H \omega$. 在此基础上, 本文提出银行信贷配置的最小化聚类风险模型, 简称 Min-C 模型

$$\begin{cases} \min_{\omega} \omega^T H \omega \\ \text{s. t. } e^T \omega = 1, \\ \omega_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n \\ \omega^T R \geq d, \\ l_i \leq \omega_i \leq u_i, i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (10)$$

其中 ω 为银行贷款的行业分配比例; R 为 n 维列向量, 表示每个行业贷款平均的收益率; d 为银行所要求的贷款最低收益率; l_i 和 u_i 分别为银行对行业 i 的贷款比例的最低和最高约束. l_i 可以理解为银行对中小微企业、重点扶持、重点发展和贷款收益高的企业的最低贷款比例约束; u_i 可理解为银行为预防在某一行业的投资过度倾斜而设置的最高贷款比例约束. l_i 和 u_i 的取值范围为 $[0, 1]$. 优化问题 (10) 是要将银行信贷配置到聚类风险最小的行业组合中去, 因为聚类风险大意味着行业之间的经济联系越大, 更容易造成风险在这些行业之间传染. 在满足银行信贷配置收益率约束和配置比例约束 (对应不同的信贷政策, 银行自身考虑等) 情况下最小化聚类风险, 确保银行信贷配置能够在满足相关要求下更好地实现多元化, 以预防行业间风险传染可能导致的系统性风险.

本文的模型具有很大的扩展性和兼容性, 提出的方法在现实中具有较大的意义. 例如, 在新冠肺炎疫情冲击下, 国家政策需要对医药卫生行业的信贷进行倾斜, 可以单独调整医药卫生行业的配置比例下限 ($l_{\text{医药卫生}}$). 若某具体银行考虑自身信贷制度约束, 对所有行业的投资比例不能超过 20% 时, 可以将所有行业的 u_i 设置为 0.2. 此

外, 若中国农业银行根据自身发展优势, 需要向农林牧渔行业重点投放贷款, 亦可单独调高农林牧渔行业的比例下限 ($l_{\text{农林牧渔}}$). 综上所述, 每家银行可以依据国家政策, 制度约束和自身情况调整优化问题 (10) 中的约束条件参数, 从而满足信贷配置要求.

观察优化问题 (10) 可以发现, 若没有约束条件 $\omega^T R \geq d, l_i \leq \omega_i \leq u_i, i = 1, 2, \dots, n$ 和 $\omega_i \geq 0$, 当 $0 \leq c_{ij} < 1 (i \neq j)$ 时, 由命题 1 可知, 矩阵 H 可逆, 故最优解一定存在, 由拉格朗日乘子法得到拉格朗日函数为 $L(\omega, \lambda) = -\omega^T H \omega + \lambda(e^T \omega - 1)$, 进而由 Kuhn-Tucker 定理可得解为 $x = (H^{-1}e)/(e^T H^{-1}e)$. 增加了 3 个约束条件以后, 很难得到解析解, 故使用数值方法求解优化问题 (10).

为了与 Min-C 模型进行对比, 构建相应的 Min-V 模型和 Min-CVaR 模型.

1) 最小方差模型 (Min-V)

$$\begin{cases} \min_{\omega} \omega^T \Sigma \omega \\ \text{s. t. } e^T \omega = 1, \\ \omega_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n, \\ \omega^T R \geq d, \\ l_i \leq \omega_i \leq u_i, i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (11)$$

其中 Σ 表示行业收益率的方差 - 协方差矩阵. 其它符号的含义与模型 (10) 相同.

2) 最小条件在险价值模型 (Min-CVaR)

$$\begin{cases} \min_{\omega} CVaR_{\beta} = \frac{\varphi[\Phi^{-1}(\beta)]}{1 - \beta} \sigma_p - E(R_p) \\ \text{s. t. } e^T \omega = 1, \\ \omega_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n, \\ \omega^T R \geq d, \\ l_i \leq \omega_i \leq u_i, i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (12)$$

其中 $\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_i \omega_j \text{Cov}(R_i, R_j)}$; $R_p = \sum_{i=1}^n \omega_i R_i$; β 表示损失容忍度; $\Phi(\cdot)$ 表示多元标准正态分布; $\varphi(\cdot)$ 表示多元标准正态分布的密度函数. 其它符号的含义与模型 (10) 相同.

2 行业聚类风险分析

2.1 研究数据

主要对申银万国行业分类标准下的 28 个一级行业的指数收益率溢出效应与每一个行业的聚类风险类型进行实证分析,同时给出行业聚类风险的动态变化趋势。选取 2006 年~2015 年^⑥的行业数据为研究样本,主要涉及 3 套行业研究数据。第一套是申银万国 28 个一级行业指数,第二套是商业银行不良贷款表(分行业),第三套是上市公司向银行贷款文件^⑦。由于第三套数据中没有公布贷款公司所在的行业,故需手工匹配,初步整理后共有 1 396 条包含上市公司贷款期限、贷款利率和发款银行等指标的有效数据,但是进一步整理后发现,和申银万国 28 个一级行业指数相比,有 6 个行业的贷款公司数量低于 10 家,数据量较少,故在银行信贷配置比例的研究中删除这 6 个行业。删除的 6 个行业的总贷款占全部行业总贷款不到 10%,故不会对研究结果造成较大影响。而在行业收益率溢出效应分析时,由于只需用到行业指数的数据,故行业样本仍然为 28 个。

2.2 行业聚类风险分析

对申银万国 28 个一级行业指数进行收益率溢出效应分析,以考察在证券市场行业收益率之间的聚类风险类型。首先,基于 SC (Schwarz criterion) 准则确定 VaR 模型的最佳滞后阶数。同时,为了确保结论的稳定性,分别进行预测期为 5 天、10 天和 20 天的方差分解分析,3 种预测期下的结果均处于稳健状态。然后,运用式(2)计算得到行业收益率溢出效应矩阵,分析每一个行业的风险溢入总和(Net_in ,表 1 中的最后一列元素)和风险溢出总和(Net_out ,表 1 中的最后一行元素)。最后运用式(4)至式(7)计算行业的每一类型的聚类风险,进而分析聚类风险类型。其中,每个行业聚类风险类型的判定规则^⑧是:分别计算每个行业的 4 种类型聚类风险,取 4 种聚类风险中最大者为该行业的聚类风险类型(如果最大值不止 1 个,则该行业同时兼具多种聚类风险类型,由于最大值的数值只有 1 个,故不影响实证分析)。对 4 种类型聚类风险变量的描述性统计结果如表 2 所示,每类聚类风险的分布没有过于集中,故适合采用最大系数标准作为行业风险传染类型的判定规则。预测期为 20 天的方差分解结果和行业聚类风险类型如表 3 所示。

表 2 4 种聚类风险描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of four clustering risks

聚类风险类型	样本量	均值	最小值	中位数	最大值	标准差
C_cyc	110	7.012 5	1.688 8	7.493 0	10.472 4	8.132 6
C_mid	110	7.226 5	1.704 3	7.685 8	10.823 7	8.202 2
C_in	110	7.637 0	2.890 5	8.233 5	13.757 2	14.343 1
C_out	110	7.663 3	0.629 1	7.824 0	9.328 0	3.774 3

⑥ 由于本文使用的是 3 套数据库,时间上需要取交集,2015 年以后上市公司向银行贷款利率数据没有更新,故本文数据跨度只到 2015 年。

⑦ 证券市场方面,本文使用行业层面的指数数据;银行市场方面,使用的也是行业层面的信贷数据。证券市场行业指数数据对行业之间的风险传染具有映衬作用,而行业之间的风险传染会直接影响银行信贷的行业配置。此外,亦有历史文献运用证券市场数据研究银行市场的风险问题^[33,34]。本文将 3 套研究数据结合使用。

⑧ 由于现实网络中,以节点 i 为中心的三元组同时包含了 4 种类型的三元组结构,即节点 i 同时具有四种类型的聚类风险,我们主要关注行业面临的主要聚类风险类型,故取四种风险中占比最大的风险类型作为该行业的聚类风险类型。

表3 行业指数收益率溢出效应分析

Table 3 Analysis on the spillover effect of industry index returns

行业	Net_{in}	$1 - Net_{in}$	Net_{out}	C_{cyc}	C_{mid}	C_{in}	C_{out}
农林牧渔	0.894 1	0.105 9	0.961 4		√		
采掘业	0.934 4	0.065 6	0.820 9				√
化工	0.950 4	0.049 6	1.104 4			√	
黑色金属	0.885 6	0.114 4	0.832 5			√	
有色金属	0.898 2	0.101 8	0.870 1			√	
电子元器件	0.948 6	0.051 4	1.052 4			√	
家用电器	0.942 9	0.057 1	0.945 7		√		
食品饮料	0.933 8	0.066 2	0.804 2		√		
纺织服装	0.950 2	0.049 8	1.095 8	√			
轻工制造	0.950 0	0.05	1.087 8	√			
医药卫生	0.904 3	0.095 7	0.964 1		√		
公用事业	0.946 4	0.053 6	1.016 7			√	
交通运输	0.947 2	0.052 8	1.036 6			√	
房地产	0.936 0	0.064	1.087 3				√
商业贸易	0.949 3	0.050 7	1.076 2			√	
餐饮旅游	0.941 1	0.058 9	0.912 4			√	
综合	0.949 4	0.050 6	1.074 5	√			
建筑材料	0.946 5	0.053 5	1.017 8			√	
建筑装饰	0.944 4	0.055 6	0.976 8			√	
电气设备	0.947 3	0.052 7	1.028 6			√	
国防军工	0.933 9	0.066 1	0.799 9				√
计算机	0.944 2	0.055 8	0.959 5		√		
传媒	0.941 1	0.058 9	0.907 2				√
通信	0.937 5	0.062 5	0.856 8				√
银行	0.893 3	0.106 7	0.480 8				√
非银金融	0.920 7	0.079 3	0.679 8				√
汽车	0.947 8	0.052 2	1.043 9			√	
机械设备	0.950 1	0.049 9	1.094 6			√	

注： Net_{in} 表示其它所有行业到该行业的收益率溢出效应，即表1中除对角线元素的行和； $1 - Net_{in}$ 代表行业收益率被自身所解释的比例； Net_{out} 表示由该行业到其它所有行业的收益率溢出效应，即表1中除对角线元素的列和；由于表1中，元素行和为1，矩阵元素中的列和可以大于1； C_{cyc} 表示循环型聚类风险； C_{mid} 表示中介型聚类风险； C_{in} 表示吸收型聚类风险； C_{out} 表示分散型聚类风险。由于本文没有采用收益率净溢出效应指标（行业A对行业B的溢出效应 - 行业B对行业A的溢出效应 = 行业A对行业B的净溢出效应），故 Net_{in} 和 Net_{out} 在数值上差距较小。没有采用收益率净溢出效应指标是因为该指标只能度量差距不能很好地刻画初始行业A和行业B之间的溢出效应值（无法区分 $0.9 - 0.8 = 0.1$ 和 $0.2 - 0.1 = 0.1$ 之间的差别）；“√”表示该行业的聚类风险类型。

从表3可以看出,大部分行业的收益率可以归因于其它行业收益率对其的溢入效应(Net_in),但农林牧渔、黑色金属、有色金属行业受到其它行业的收益率溢出效应影响较小,更倾向于被自身收益率所解释($1 - Net_in$,被自身所解释的效应均超过10%,是其它行业的两倍左右),究其原因,上述行业在整个行业产业链中处于边缘位置.值得一提的是银行业受到其它行业的收益率溢出效应影响也较小,其收益率较大比率($1 - Net_in$, 10.67%)被自身所解释.银行业属于高端第三产业,其行业本身面临较高的系统性金融风险,其收益来源属于虚拟经济的发展,实体经济对于金融行业的收益率虽有冲击,但由于过度分散效应和滞后效应的存在,银行业指数收益率较大程度被自身所解释.相反,化工、纺织服装、轻工制造和机械设备业受其它行业的收益率溢出效应影响较为明显,其被自身的历史收益率解释的程度均不到5%.同时,化工、纺织服装、轻工制造和机械设备业对所有其它行业的收益率溢出效应也更明显.本质原因是它们属于高端制造业和服务业的支持行业,故其对外溢出效应较大.同样值得一提的是,房地产行业对其它行业的收益率也具有较强的溢出效应(Net_out).究其原因,房地产行业可以说是中国经济发展的“晴雨表”,其兴衰对其它行业的发展有着较强的推进或抑制作用.在分析行业对外溢出总效应(Net_out)时,发现国防军工、银行和非银金融行业的对外溢出总效用较少(Net_out , 50%左右),结合银行和非银金融行业受到其它行业的收益率溢出效应也较少的特点,虽然金融业本身系统性金融风险较大,但是在整个行业系统中,其收益率受其它行业的影响相比第二产业受其它行业的影响要小.

以行业指数收益率构造行业收益率溢出效应的加权有向网络,并根据网络聚类特征将行业聚类风险类型分为循环型、中介型、吸收型和扩散型.从表3右侧4列可以看出,多数行业的聚类风

险特征为吸收型,属循环型的行业最少.扩散型多为传媒、通信、房地产、银行和非银金融等第三产业,中介型多为家用电器、食品饮料、医药卫生和农林牧渔等民生行业.4种聚类风险类型中,吸收型和扩散型行业为较高风险行业,循环型和中介型行业为较低风险行业.因此国家应重点防范以传媒、通信、房地产、银行和非银金融等第三产业为代表的风险扩散型行业,上述行业如果发生风险,将对整个行业系统影响较大.我国行业间的主要聚类风险类型为吸收型,应通过上下游供应链调整,行业自身技术升级等手段降低行业关联性,减少扩散风险.

对于银行来说,风险的度量只是信贷配置的第一步,风险的度量多种多样,同时风险的种类也不止一种,例如系统性金融风险(聚类风险)和系统风险(方差风险),但是银行关心更多的是与贷款收益率、不良贷款率和贷款配置效率相关的风险.因此,对4种类型的聚类风险、方差风险、以及贷款收益率、不良贷款率和贷款配置效率8个指标进行相关性分析,结果如表4所示.循环型、中介型和吸收型3种聚类风险的相关性较高,进一步验证了上文的分析结果.4种类型的聚类风险和方差风险的相关性均很低,且相关性的方向也不一致,进一步说明了聚类风险和方差风险存在本质区别.进一步观察风险度量指标和信贷配置评价指标(贷款收益率、不良贷款率和贷款配置效率)之间的相关性,发现聚类风险与信贷配置评价指标的相关性要明显高于方差风险与信贷配置评价指标的相关性(见表4).这里需要说明的是,在计算风险度量指标(聚类风险与方差风险)和信贷配置评价指标的相关性时,将风险度量指标滞后了1年.因此,相关性的结果还有一定的预测功能.表4的右下角展示了信贷配置评价指标间的相关性,贷款配置效率和不良贷款率之间存在明显的负相关.表4的结果为本文提出的基于聚类风险的银行信贷配置理论模型提供了有力的支撑.

表 4 行业风险度量指标之间的相关性以及行业风险指标与行业贷款度量指标之间的相关性
Table 4 Correlation between industry risk measures; Correlation between industry risk and loan measures

	<i>C_cyc</i>	<i>C_mid</i>	<i>C_in</i>	<i>C_out</i>	<i>Var</i>	贷款收益率	不良贷款率	贷款配置效率
<i>C_cyc</i>	1	0.998 455	0.980 17	0.759 915	0.034 271	-0.339 57	0.415 814	-0.503 26
<i>C_mid</i>	0.998 455	1	0.984 287	0.746 89	-0.008 21	-0.319 89	0.409 228	-0.505 11
<i>C_in</i>	0.980 17	0.984 287	1	0.635 219	-0.051 18	-0.274 58	0.388 399	-0.482 23
<i>C_out</i>	0.759 915	0.746 89	0.635 219	1	0.226 18	-0.347 79	0.366 76	-0.423 06
<i>Var</i>	0.034 271	-0.008 21	-0.051 18	0.226 18	1	-0.263 13	0.202 476	0.124 728
贷款收益率	-0.339 57	-0.319 89	-0.274 58	-0.347 79	-0.263 13	1	-0.211 03	0.303 951
不良贷款率	0.415 814	0.409 228	0.388 399	0.366 76	0.202 476	-0.211 03	1	-0.598 26
贷款配置效率	-0.503 26	-0.505 11	-0.482 23	-0.423 06	0.124 728	0.303 951	-0.598 26	1

3 Min-C 模型实证分析

使用第 2 节计算得到的行业聚类风险数据、商业银行不良贷款表(分行业)数据以及上市公司向银行贷款文件数据对第 1 节所建立的银行信贷配置模型进行数值求解与分析。对比了不同的约束条件(经济环境)下 Min-C 模型的最优策略, Naïve (等权 1/N, 市值加权 1/N) 策略, Min-V 模型和 Min-CVaR 模型的最优策略在银行信贷配置的样本外表现。在对比不同策略时, 还对比了基于 Min-C 模型下的最优策略的样本外不良贷款率和城市商业银行、农村商业银行的平均不良贷款率表现。采用银行不良贷款率、银行贷款收益率和银行贷款配置效率(银行贷款收益率/银行不良贷款率)度量样本外模型表现^⑨。Min-C 模型, Min-V 模型和 Min-CVaR 模型中的贷款最低收益率约束根据上市公司向银行贷款文件中贷款利率数据设定为 3 个档次, 分别是 5%, 7% 和 9%。时间窗口的选择上, 选取滞后 1 年行业聚类风险作为历史数据。然后运用 Min-V 模型、Min-CVaR 模型和 Min-C 模型计算第二年的银行信贷配置比例。最后根据第二年市场公布的平均不良贷款率和行业贷款收益率数据计算在不同模型下, 基于行业配置的银行不良贷款率、贷款收益率和贷款配置效率。计算步骤如下:

步骤 1 运用第 $t-1$ 年的行业指数收益率数据计算行业关联网邻接矩阵 A , 进而得到每个行业的聚类风险, 最后计算矩阵 C 和矩阵 H ;

步骤 2 将运用第 $t-1$ 年历史数据计算得到的邻接矩阵 H 以及第 $t-1$ 年的行业贷款收益率数据代入模型(10), 运用 Matlab 软件中的“quadprog”函数计算不同约束条件(表 5 至表 7)下最优投资比例的数值解, 得到第 t 年各行业信贷配置比例;

步骤 3 结合第 t 年每个行业的真实不良贷款率和贷款收益率数据计算在第二步 Min-C 模型和其它传统模型行业配置比例(ω_i) 结果下的第 t 年银行不良贷款率、贷款收益率和贷款配置效率(第 t 年银行不良贷款率 = $\sum_{i=1}^n$ 第 t 年行业 i 的真实不良贷款率; 第 t 年银行贷款收益率 = $\sum_{i=1}^n$ 第 t 年行业 i 的真实贷款收益率; 贷款配置效率 = 贷款收益率/不良贷款率);

步骤 4 运用第 $t-1$ 年的行业指数收益率数据计算在传统模型 (Min-V、Min-CVaR 和 Naïve (1/N 等权和市值加权)) 的最优策略下的各行业信贷配置比例, 然后类似第三步计算第 t 年银行不良贷款率、贷款收益率和贷款配置效率;

步骤 5 比较 Min-C 模型下最优策略和其它传统模型下的最优策略在贷款收益率、不良贷款率和贷款配置效率指标下的表现。此外, 对比 Min-C 模型下的最优策略的银行不良贷款率和我国城市商业银行与农村商业银行的平均不良贷款率。在两个维度的比较下, Min-C 模型的最优策略均获得了显著优势。

具体计算结果如表 5 至表 7 所示。

^⑨ 在评价指标上, 本文没有选取 Wurgler^[2] 提出的资金配置效率指标是因为他是从社会和行业发展的角度度量资金使用效率, 而本文是从银行视角度量资金使用效率。

表5 Min-C模型和传统模型样本外结果比较(各行业贷款最小配置比例0,最大配置比例为1)

Table 5 Comparison of out-of-sample results between the Min-C model and the traditional model (the minimum allocation ratio of loans in each industry is 0, and the maximum allocation ratio is 1)

变量	年份	1/N (等权)	1/N (市值 加权)	Min-V			Min-C			Min-CVaR		
				最低收益率/%								
				5	7	9	5	7	9	5	7	9
不良贷款率	2009	1.931 7	1.152 4	0.791 2	0.791 2	1.677 3	0.805 8	0.805 8	1.470 4	1.301 3	1.301 3	1.666 5
	2010	1.299 1	0.992 6	0.965 2	0.795 2	无解	0.819 3	0.758 7	无解	0.803 2	0.787 8	无解
	2011	1.048 7	0.849 6	0.452 0	1.222 1	无解	0.429 4	1.170 2	无解	1.247 0	1.247 0	无解
	2014	0.983 5	0.873 6	0.732 3	0.732 3	0.883 3	0.646 7	0.646 7	0.318 3	0.755 9	0.755 9	0.755 9
	2015	1.322 6	1.597 9	0.590 7	0.651 6	0.557 5	0.766 2	0.766 2	0.578 9	0.810 0	0.810 0	0.810 0
贷款收益率	2009	5.626 9	6.288 6	5.567 3	5.567 3	6.121 7	6.613 8	6.613 8	6.491 0	6.321 6	6.321 6	6.140 9
	2010	5.339 2	5.430 5	5.825 8	5.706 8	无解	5.922 7	5.811 5	无解	5.716 3	5.698 9	无解
	2011	6.564 7	6.670 9	6.617 7	8.446 9	无解	7.154 1	8.772 4	无解	8.750 8	8.750 8	无解
	2014	6.733 1	6.947 9	6.779 1	6.779 1	7.930 8	6.733 5	6.733 5	8.083 5	6.694 8	6.694 8	6.694 8
	2015	6.442 5	7.119 5	6.784 5	7.257 4	9.171 4	7.412 2	7.412 2	8.886 6	8.621 3	8.621 3	8.621 3
贷款配置效率	2009	2.912 9	5.456 9	7.036 5	7.036 5	3.649 7	8.207 8	8.207 8	4.414 4	4.857 9	4.857 9	3.684 9
	2010	4.109 9	5.470 9	6.035 8	7.176 6	无解	7.229 0	7.659 8	无解	7.116 7	7.233 5	无解
	2011	6.259 8	7.851 9	14.642 4	6.912 0	无解	16.660 7	7.496 5	无解	7.017 4	7.017 4	无解
	2014	6.846 1	7.953 2	9.257 3	9.257 3	8.978 6	10.412 1	10.412 1	25.395 9	8.856 7	8.856 7	8.856 7
	2015	4.871 1	4.455 6	11.485 5	11.137 8	16.450 9	9.674 0	9.674 0	15.350 8	10.643 6	10.643 6	10.643 6

注:表中“无解”是由于设定的贷款最低收益率为9%,但是当年的统计结果中没有行业的贷款收益率大于或等于9%的,故模型无解。

表6 Min-C模型和传统模型样本外结果比较(各行业贷款最小配置比例0.01,最大配置比例为1)

Table 6 Comparison of out-of-sample results between the Min-C model and the traditional model (the minimum allocation ratio of loans in each industry is 0.01, and the maximum allocation ratio is 1)

变量	年份	Min-V			Min-C			Min-CVaR		
		最低收益率/%								
		5	7	9	5	7	9	5	7	9
不良贷款率	2009	0.996 3	0.996 3	2.047 0	0.863 3	0.863 3	1.847 0	1.455 6	1.455 6	无解 2
	2010	1.090 9	0.709 1	无解	1.067 3	0.685 8	无解	1.053 8	0.709 1	无解
	2011	0.553 9	1.050 6	无解	0.542 6	1.249 0	无解	1.233 5	无解 2	无解
	2014	0.717 0	0.717 0	0.577 7	0.718 3	0.718 3	0.468 5	0.733 4	0.733 4	0.677 7
	2015	0.758 9	0.875 2	0.950 9	1.019 1	1.019 1	0.956 2	0.985 8	0.985 8	0.985 8
贷款收益率	2009	5.521 7	5.521 7	6.688 7	6.542 0	6.542 0	6.688 6	6.144 8	6.144 8	无解 2
	2010	5.823 5	5.397 1	无解	5.803 9	5.423 4	无解	5.457 1	5.397 1	无解
	2011	6.634 3	10.967 2	无解	7.109 4	9.446 9	无解	8.134 9	无解 2	无解
	2014	6.746 7	6.746 7	8.657 0	6.667 4	6.667 4	8.657 1	6.324 1	6.324 1	6.657 0
	2015	6.628 1	7.191 4	8.218 0	7.412 5	7.412 5	8.148 1	8.142 0	8.142 0	8.142 0
贷款配置效率	2009	5.542 2	5.542 2	3.267 5	7.577 9	7.577 9	3.621 3	4.221 6	4.221 6	无解 2
	2010	5.338 4	7.610 7	无解	5.437 9	7.908 1	无解	5.178 5	7.610 7	无解
	2011	11.977 4	10.439 0	无解	13.102 5	7.563 6	无解	6.595 1	无解 2	无解
	2014	9.409 6	9.409 6	14.985 3	9.282 2	9.282 2	18.478 3	8.622 9	8.622 9	9.822 9
	2015	8.733 8	8.216 9	8.642 3	7.273 6	7.273 6	8.521 3	8.259 3	8.259 3	8.259 3

注:表中“无解”是由于设定的贷款最低收益率为9%,但是当年的统计结果中没有行业的贷款收益率大于或等于9%的,故模型无解;“无解 2”表示在 Min-CVaR 模型中由于模型的最低收益率设定较高(7%或9%),加之损失容忍度参数($\beta=0.95$)的设置,导致模型无解,记为“无解 2”,“无解 2”仅出现在最低收益率设定为7%和9%的情况下。

表 7 Min-C 模型和传统模型样本外结果比较 (各行业贷款最小配置比例 0.01, 最大配置比例 0.5)

Table 7 Comparison of out-of-sample results between the Min-C model and the traditional model (the minimum allocation ratio of loans in each industry is 0.01, and the maximum allocation ratio is 0.5)

变量	年份	Min-V			Min-C			Min-CVaR		
		最低收益率/%								
		5	7	9	5	7	9	5	7	9
不良贷款率	2009	0.996 3	0.996 3	2.059 3	0.812 4	0.812 4	2.013 1	1.408 9	1.408 9	无解 2
	2010	1.090 9	0.709 1	无解	1.067 3	0.685 8	无解	1.084 0	0.709 1	无解
	2011	0.557 2	1.206 9	无解	0.542 6	1.211 1	无解	1.231 5	无解 2	无解
	2014	0.717 0	0.717 0	0.570 2	0.654 6	0.654 6	0.567 2	0.638 1	0.638 1	无解 2
	2015	0.758 9	0.875 2	0.886 0	0.759 1	0.759 1	0.872 2	0.808 9	0.808 9	无解 2
贷款收益率	2009	5.521 7	5.521 7	6.999 4	6.542 0	6.542 0	6.828 0	6.263 0	6.263 0	无解 2
	2010	5.823 5	5.397 1	无解	5.803 9	5.647 2	无解	5.591 1	5.397 1	无解
	2011	6.630 2	9.112 3	无解	7.109 3	9.932 1	无解	8.154 5	无解 2	无解
	2014	6.746 7	6.746 7	8.712 3	6.667 4	6.667 4	8.633 1	6.359 4	6.359 4	无解 2
	2015	6.628 1	7.191 4	11.585 0	7.412 5	7.412 5	11.953 8	8.527 3	8.527 3	无解 2
贷款配置效率	2009	5.542 2	5.542 2	3.399 0	8.052 7	8.052 7	3.391 8	4.445 4	4.445 4	无解 2
	2010	5.338 3	7.611 2	无解	5.437 9	8.234 5	无解	5.157 8	7.610 7	无解
	2011	11.899 1	7.550 2	无解	13.102 3	8.200 9	无解	6.621 6	无解 2	无解
	2014	9.409 6	9.409 6	15.280 1	10.185 5	10.185 5	15.220 6	9.966 1	9.966 1	无解 2
	2015	8.733 8	8.216 9	13.075 4	9.764 9	9.764 9	13.705 3	10.542 0	10.542 0	无解 2

注: 表中“无解”是由于设定的贷款最低收益率为 9%, 但是当年的统计结果中没有行业的贷款收益率大于或等于 9% 的, 故模型无解; “无解 2”表示在 Min-CVaR 模型中由于模型的最低收益率设定较高 (7% 或 9%), 加之损失容忍度参数 ($\beta = 0.95$) 的设定, 导致模型无解, 记为“无解 2”, “无解 2”仅出现在最低收益率设定为 7% 和 9% 的情况下。

表 5 所示的结果是信贷行业配置比例约束 $0 \leq \omega \leq 1$ 的情况下各模型的样本外表现. 此时意味着银行对任何行业都没有信贷倾斜, 同时对任何行业都没有最低贷款约束, 可以将贷款集中到几个行业投放.

当综合贷款最低收益率设定为 5% 时, Min-V, Min-CVaR 和 Min-C 模型都有满足要求的解, 但是 Min-V 和 Min-CVaR 模型投资比例大于 1% 的行业仅有 4 个至 5 个, 贷款配置数过于集中化. 而本文提出的 Min-C 模型投资比例大于 1% 的行业每年均有 8 个至 12 个, 大大分散了贷款风险. 在行业配置数多元化的同时, Min-C 模型也没有牺牲贷款收益率, 没有增大不良贷款率, 尤其是贷款收益率反而比 Min-V 模型略高. 贷款配置效率只有在 2015 年略低于 Min-V 和 Min-CVaR 模型.

当贷款最低收益率设定为 7% 时, 3 个模型均有最优解, 配置结果和最低收益率 5% 的结果相差较小. 随着贷款最低收益率的增加, Min-V 模型投资比例大于 1% 的行业减小到 3 个至 5 个, Min-C 风险模型投资的行业数也减少到 7 个至

12 个. 投资收益率目标的增加必将带来投资行业数的减少, 需要集中比例投资优质行业. 此时, Min-C 模型总体上仍然优于 Min-V 模型. 当最低收益约束增加时, Min-CVaR 模型的投资比例变化范围较小, 仅有 2010 年的投资比例发生了变化. 该结果证明 Min-CVaR 模型中的最大损失约束 (体现在模型 (12) 中的损失容忍度参数 β , 实证中的 β 取值为 0.95) 要强于最低收益率约束.

当综合贷款最低收益率设定为 9% 时, 此种最低收益率的设定虽然不合理 (银行很难达到这样的业绩), 但是出于对模型比较, 仍然计算了此种设定的结果. 此时, 银行需将大部分贷款投放到房地产市场, 因为房地产市场的贷款收益率较高. 但是在 2009 年和 2010 年, 没有行业贷款利率超过 9%, 所以以 2009 年和 2010 年为历史数据分别预测 2010 年和 2011 年的行业贷款配置时无解. 此外, 需要说明的是, 在这种极端设定的情况下, Min-C 模型在样本外 5 年的投资表现上均要优于 Min-V 和 Min-CVaR 模型. 这间接表明 Min-C 模型

在行业风险的度量与风险分散上要明显优于 Min-V 和 Min-CVaR 模型。

在证券市场投资组合中, Naïve (1/N) 策略绝对不容忽视. Miguel 等^[35] 提出了 Naïve (1/N) 投资策略, 检验了市场中主流的投资模型, 发现没有任何一个模型可以完全优于简单而直接的 Naïve (1/N) 投资策略. 但是在银行信贷配置过程中, Naïve (1/N) 策略(无论是等权还是市值加权)显得无所适从. 无论从不良贷款率的风险分散角度, 还是贷款收益率的投资业绩角度, 均不如 Min-V 模型和 Min-C 模型的最优策略. 为了更加真实地模拟银行信贷配置, 接下来对各行业的最小和最大配置比例进行了限制, 分别模拟了配置比例区间为 $[0.01, 1]$ 和 $[0.01, 0.5]$ 两种情况.

当最小投资比例设置为 0.01, 最大投资比例为 1 时, Min-C 模型在总体要优于 Min-V 和 Min-CVaR 模型, 同时 Min-V 和 Min-CVaR 模型原本投资行业集中化程度有所缓解, 即使如此, Min-V 和 Min-CVaR 模型的投资分散化程度仍然没有 Min-C 模型高.

当最小投资比例设置为 0.01, 最大投资比例为 0.5 时, 可能最符合银行的实际贷款情况, 既考虑了对基础设施、民生医疗、中小微等行业的支持, 也防止了将贷款额度集中到房地产, 金融行业(房地产和金融行业的贷款收益率在整个行业系统中最高)的风险. 此时, 虽然 Min-V 模型部分解决了贷款行业集中度的问题, 但更重要的是模型需识别出不良贷款率稳定、贷款收益率高的行业. Min-C 模型再一次体现出识别优质行业的性能. 前文在无贷款比例约束的情形中, Min-C 模型在样本外 2015 年的投资表现不佳, 但是在配置比例 $[0.01, 0.5]$ 的情形下相比其它投资比例约束已

经有明显提高. Min-CVaR 在此约束条件下, 配置效率有明显提高, 但是由于损失约束的限制, 导致大量情况无解, 尤其在最低收益率约束为 9% 时, 所有年份均无解.

在表 5 ~ 表 7 中, Min-CVaR 模型的配置效率和贷款收益率在 2015 年均高于 Min-C 模型. 分析各模型的行业配置比例发现, Min-CVaR 模型在 2015 年重仓配比了房地产行业, 各种约束条件下配置比例均不低于 50%. Min-C 模型即使在没有投资比例约束的情况下, 房地产行业的配置比例也仅有 11.8%. 此外, 2015 年房地产行业不良贷款率仅为 0.81%, 远低于 2015 年 28 个行业的平均不良贷款率 1.32%, 而在样本外的其余年份, 房地产行业的不良贷款率均在平均线水平左右, 具体见表 8 所示. 贷款收益率方面, 房地产行业一直超过所有行业的平均水平. 房地产行业在 2015 年贷款收益率高, 不良贷款率低, 可以说是各大银行眼中的优质信贷配置行业. 综上所述, Min-C 模型在行业配置中分散了聚类风险, 导致配置结果在 2015 年不如 Min-CVaR 模型. 具体来看, Min-CVaR 模型受单个资产的波动率影响较大, 容易造成配置集中化, 而 Min-C 模型由于是最小化聚类风险, 配置策略更倾向于分散化以预防行业间风险传染导致系统性风险, 故最大程度地将风险分散到关联性较低的行业中, 虽然在某些“异常”的年份, Min-C 模型的贷款收益率和配置效率不如 Min-CVaR 模型, 但是 Min-C 模型持续稳定的风险分散能力在信贷配置这样更多考虑风险的决策中是有存在优势的. 此外, 类似 2015 年房地产行业这样贷款收益率高且违约率低的情况出现概率并不高, 市场仍然遵循风险补偿的客观规律.

表 8 不同年份下房地产行业贷款收益率和不良贷款率

Table 8 Loan yield rate and non-performing loan ratio of the real estate industry in different years

变量	2009 年	2010 年	2011 年	2014 年	2015 年
房地产行业不良贷款率/%	1.93	1.26	0.97	0.91	0.81
行业平均不良贷款率/%	1.931 7	1.299 1	1.048 7	0.983 5	1.322 6

3 种不同约束条件($[0, 1]$, $[0.01, 1]$, $[0.01, 0.5]$)下的银行信贷配置结果同时也证明了模型的稳定性. 图 3 给出了样本外基于不良贷款率、贷款收益率和贷款配置效率 3 种度

量指标的 Min-V 模型, Min-CVaR 模型和 Min-C 模型比较. 其结果显示, Min-C 模型在银行行业信贷配置的应用上要优于 Min-V 模型和 Min-CVaR 模型.

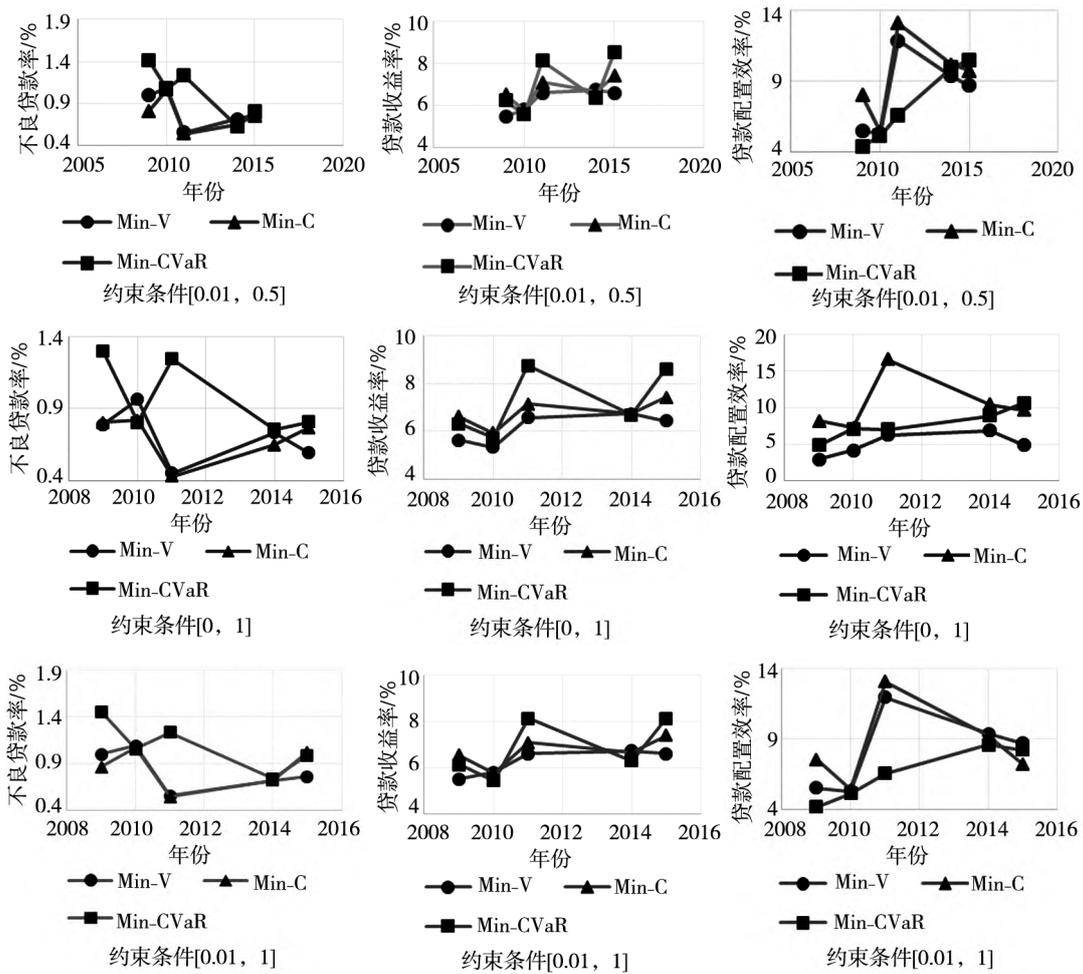


图3 不同配置比例约束下 Min-V, Min-CVaR 和 Min-C 模型在不良贷款率, 贷款收益率等指标上的样本外表现

Fig. 3 Out-of-sample performance of Min-V, Min-CVaR and Min-C models in non-performing loan ratio, loan return and so on

表9给出了 Min-C 模型(各行业贷款最小配置比例 0.01,最大配置比例 0.5,最符合实际情况的约束条件)下样本外不良贷款率与城市商业银行、农村商业银行和外资银行的平均不良贷款率对比结果.3 种不同类型的商业银行中,外资银行的不良贷款率最低,其次是城市商业银行,最后是

农村商业银行. Min-C 模型下的不良贷款率要明显低于农村商业银行和城市商业银行. Min-C 模型样本外表现仅在 2010 年,在最低贷款收益率约束为 5%的情况下不如城市商业银行.不过,外资银行的不良贷款率要低于 Min-C 模型,究其原因,其贷款体量较小且业务限制范围较大.

表9 Min-C 模型和不同类型银行样本外不良贷款率比较(各行业贷款最小配置比例 0.01,最大配置比例 0.5)

Table 9 Comparison of out-of-sample non-performing loan ratios between Min-C model and different types of banks (the minimum allocation ratio of loans in each industry is 0.01, and the maximum allocation ratio is 0.5)

变量	年份	Min-C 模型			银行种类		
		贷款最低收益率/%			城市商业银行	农村商业银行	外资银行
		5	7	9			
不良贷款率	2009	0.812 4	0.812 4	2.013 1	1.3	2.8	0.9
	2010	1.067 3	0.685 8	无解	0.9	1.9	0.5
	2011	0.542 6	1.211 1	无解	0.8	1.6	0.4
	2014	0.654 6	0.654 6	0.567 2	1.16	1.87	0.81
	2015	0.759 1	0.759 1	0.872 2	1.4	2.5	1.2

注:城市商业银行、农村商业银行和外资银行的不良贷款率数据来自 Wind 数据库.

由于银行信贷市场的收益还和贷款期限有较大的关系,故将研究样本分为短期贷款和中长期贷款分别研究,结果如表10所示。通过表10可以发现,短期贷款的收益率要明显低于长期贷款。此外,对比表7可以发现,当没有将样本分为短期贷款和中长期贷款时,Min-C模型在最低收益率设定为9%的情况下,仅在2010年和2011年模型无解。当样本分为短期和中长期贷款后,短期贷款中,在最低收益率设定为9%的情况下,模型在所

有年份均无解,而在中长期贷款中,结果相反,模型在最低收益率设定为9%的情况下有解年份比不分贷款期限的样本多1个。上述实证结果也验证了短期贷款的收益率要明显低于长期贷款。综上所述,银行若想提高贷款收益率,可以通过增加长期贷款的方式。大型企业由于发展实力,资金流动等方面一般要优于中小型企业,故大型企业长期贷款的违约率一般低于中小型企业,可考虑通过多配置大型企业的长期贷款提高信贷配置效率。

表10 Min-C模型在短期和中长期贷款配置下的收益率表现(各行业贷款最小配置比例0.01,最大配置比例0.5)

Table 10 Return on the Min-C model under the allocation of short-term, medium-term and long-term loans (the minimum allocation ratio of loans in each industry is 0.01, and the maximum allocation ratio is 0.5)

变量	年份	Min-C(短期)			Min-C(中长期)		
		最低收益率/%					
		5	7	9	5	7	9
贷款收益率	2009	5.442 8	5.590 5	无解	7.245 2	7.245 2	7.590 5
	2010	4.813 6	无解	无解	6.810 1	6.810 1	无解
	2011	6.732 2	无解	无解	8.139 4	8.732 2	无解
	2014	5.667 4	6.034 9	无解	7.472 8	7.472 8	8.034 9
	2015	6.286 5	7.325 4	无解	8.532 6	8.532 6	9.325 4

4 稳健性检验

通过实证分析发现,聚类风险是影响银行信贷业务不良贷款率和贷款收益率的重要因素之一。稳健性检验中直接采用聚类风险指标进行银行信贷配置,并在此基础上将聚类风险指标纳入到信贷配置的集中化的度量中去,提出一种新的信贷配置集中化度量指标 $C-I-HHI$ 。

稳健性检验的具体操作如下。首先,分别设定银行信贷配置行业个数为5,7,10,13,15。然后,银行选择4种不同的行业选取规则,确定具体配置的行业:1) 聚类风险高的行业;2) 聚类风险低的行业;3) 随机选取的行业;4) 上一年度表现好的行业(参考指标为:不良贷款率和贷款收益

率)。最后,分别计算在上述4种不同的行业选取规则 and 不同配置行业数下银行的不良贷款率、贷款收益率和贷款配置效率。为了避免不同的模型对银行信贷配置结果产生的影响,参考 Peralta 和 Zareei^[36]的做法,模型的稳健性检验中均采用等权的方法对不同规则挑选出来的股票进行配置。该过程也可进一步回答银行信贷配置应该集中化还是多元化^⑩。

表11是选取2014年银行信贷配置中的“高聚类风险”行业、“低聚类风险”行业、“不良贷款率指标最优”行业、“贷款收益率指标最优”行业和“随机”行业(行业数分别选取5个,7个,10个,13个和15个)直接对2015年运用1/N策略(等权)^⑪进行配置下计算不良贷款率、贷款收益率和贷款配置效率。表11的行业选取

⑩ 由于我国各大银行没有公布其信贷业务的具体数据(贷款给哪些公司),故本文无法运用回归检验银行信贷配置应该是集中化还是多元化,只能使用分组检验的方法回答集中化还是多元化的问题。

⑪ 本文参考 Peralta 和 Zareei^[36]中稳健性检验方法,选取1/N策略进行稳健性检验。这是因为Min-C和Min-V等模型都包含一种风险度量指标(分别是聚类风险和方差风险),而1/N模型不包含风险度量指标,属于基准模型。在稳健性检验中,从数据分析的角度检验聚类风险指标的有效性,在不同行业选取规则选定行业后运用1/N模型配比,可以避免其它因素的干扰。

规则较符合我国现有的银行信贷配置行业选取规则,即根据历史数据的不同指标确定下一年的贷款行业.在这样的规则下,无论选取多少个行业进行配置,“低聚类风险”行业组仍然要优于“不良贷款率指标最优”行业组和“贷款收益率指标最优”行业组.究其原因,聚类风险指标

是根据行业上下游特征和聚类特征构建而来,其指标的延续性要优于不良贷款率和贷款收益率等指标.而且“低聚类风险”行业组的表现要显著优于“高聚类风险行业”行业组,再次证明了银行信贷中行业聚类风险是重要风险来源之一.

表 11 2014 年数据结合 1/N 策略进行信贷配置下的 2015 年银行不良贷款率、贷款收益率和贷款配置效率

Table 11 Non-performing loan ratio, loan return and loan allocation efficiency in 2015 under the credit allocation strategy based on the data of 2014 (1/N strategy)

变量	行业组别	行业数 N /个				
		5	7	10	13	15
		1/N 策略下的 HHI 值				
		1/5	1/7	1/10	1/13	1/15
不良贷款率	高聚类风险	2.310 0	2.177 0	2.212 9	2.234 5	2.055 3
	低聚类风险	1.054 0	0.952 9	0.821 0	0.858 5	0.817 3
	不良贷款率指标最优	1.098 0	0.998 6	1.017 0	1.150 0	1.309 9
	贷款收益率指标最优	1.076 0	1.180 0	1.200 0	1.655 3	1.795 9
	随机	2.310 0	1.294 1	1.736 0	1.882 3	1.825 9
贷款收益率	高聚类风险	5.949 9	6.130 1	6.085 9	5.982 0	5.108 2
	低聚类风险	7.144 8	7.030 5	6.921 3	6.533 0	6.488 4
	不良贷款率指标最优	6.930 0	6.930 2	6.679 3	6.543 3	6.473 0
	贷款收益率指标最优	6.964 8	7.029 9	7.078 5	6.817 7	6.681 5
	随机	5.949 9	6.905 3	6.095 6	6.609 4	6.297 7
贷款配置效率	高聚类风险	2.575 7	2.815 8	2.750 2	2.677 1	2.485 4
	低聚类风险	6.778 7	7.378 0	8.430 3	7.609 8	7.938 8
	不良贷款率指标最优	6.311 5	6.939 9	6.567 6	5.689 8	4.941 6
	贷款收益率指标最优	6.472 9	5.957 5	5.898 8	4.118 7	3.720 4
	随机	2.575 7	5.336 0	3.511 3	3.511 3	3.449 1

考虑将聚类风险指标纳入到信贷配置的集中化的度量中去.现有关于银行信贷配置研究的文献中,集中化和多元化的度量主要借用赫芬达尔-赫希曼指数 (Herfindahl-Hirschman Index, HHI),简称赫芬达尔指数.赫芬达尔指数最初是用来度量产业集中度,即一个行业中各市场竞争主体所占行业总收入或总资产百分比的平方和.后来,Acharya 等^[15]运用到银行信贷配置研究中,他在文中构造了两个 HHI 指数: $I-HHI$ (industrial- HHI) 和 $A-HHI$ (asset- HHI),分别用来度量银行信贷配置的行业集中化程度和资产集中化程度. Rossi 等^[16], Berger 等^[17] 和 Tabak 等^[18] 3 篇文章亦采用类似的度量方式,计算公式如下

$$I-HHI = \sum_{i=1}^n (X_i/Q)^2, Q = \sum_{i=1}^n X_i, \quad (13)$$

$$A-HHI = \sum_{j=1}^m (Y_j/Q_1)^2, Q_1 = \sum_{j=1}^m Y_j$$

其中 n 表示银行信贷配置的行业数量; m 表示银行信贷配置的资产类别数量; X_i 和 Y_j 分别表示配置到行业 i 和资产 j 的金额.

上述对于信贷配置的集中化的度量具有一定的局限性,其默认任何两个行业之间均是独立的,单纯的行业数目就可以减少集中化程度.但是,事实情况并非如此,行业之间的关联性不容忽视,本文第 3 节的实证结果也证明了这一点.行业配置个数最多的 Naïve (1/N) 策略的信贷配置结果在贷

款收益率和不良贷款率等指标上均不如 Min-V, Min-CVaR 和 Min-C 模型. 因此, 在本文第 1.2 节行业关联网络的基础上, 提出了新的信贷配置集中化度量方法, 将行业之间的关联程度和聚类特征纳入集中化的度量指标.

定义 3 设银行将信贷资金配置到 n 个行业的数量分别为 X_1, X_2, \dots, X_n , n 个行业的聚类风险分别为 $C_1^{\text{in}}, C_2^{\text{in}}, \dots, C_n^{\text{in}}$, 定义该银行信贷配置的集中化程度为

$$C-I-HHI = \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i (\hat{C}_i^{\text{in}})^k}{Q} \right)^2, Q = \sum_{i=1}^n X_i \quad (14)$$

其中 k 表示行业聚类风险整体敏感指数. 当所有

行业聚类风险都处于较小范围, 即行业聚类风险差异不明显时, $k = 2$, 否则, $k = 1$; \hat{C}_i^{in} 表示归一化的聚类风险, 为了保证 $C-I-HHI$ 的取值范围在 $[0, 1]$, 且当银行将所有的信贷资金配置到 1 个行业时, 为满足 $C-I-HHI = 1$ 的条件, 设定 $\hat{C}_i^{\text{in}} = C_i^{\text{in}} / (C_1^{\text{in}} + C_2^{\text{in}} + \dots + C_n^{\text{in}})$; Q 表示银行信贷配置总额. 定义 3 既考虑了行业数目分散对于不良贷款率和贷款收益率的影响, 又兼顾了行业之间的关联关系和聚类特征. 根据定义 3, 计算了不同行业选取规则和行业选取数目情况下对应的 $C-I-HHI$ 值, 计算结果如表 12 和表 13 所示.

表 12 2013 年不同行业选取规则和行业选取个数情况下对应的 $C-I-HHI$ 值

Table 12 $C-I-HHI$ value corresponding to different industry selection rules and number of industry selection in 2013

行业组别	行业数 N /个				
	5	7	10	13	15
	1/ N 策略下的 HHI 值				
	1/5	1/7	1/10	1/13	1/15
高聚类风险	0.593 1	0.459 2	0.292 4	0.209 1	0.172 2
低聚类风险	0.224 0	0.175 6	0.140 2	0.119 8	0.110 5
不良贷款率指标最优	0.301 1	0.228 4	0.193 5	0.141 4	0.120 3
贷款收益率指标最优	0.295 3	0.221 3	0.174 5	0.164 4	0.141 8
随机	0.436 3	0.285 9	0.226 9	0.163 2	0.146 8

表 13 2014 年不同行业选取规则和行业选取个数情况下对应的 $C-I-HHI$ 值

Table 13 $C-I-HHI$ value corresponding to different industry selection rules and number of industry selection in 2014

组别	行业数 N /个				
	5	7	10	13	15
	1/ N 策略下的 HHI 值				
	1/5	1/7	1/10	1/13	1/15
高聚类风险	0.705 2	0.487 7	0.322 4	0.231 3	0.191 0
低聚类风险	0.139 4	0.137 6	0.127 8	0.119 3	0.114 7
不良贷款率指标最优	0.230 6	0.260 5	0.182 5	0.142 2	0.129 1
贷款收益率指标最优	0.239 4	0.221 9	0.179 4	0.154 3	0.139 2
随机	0.677 1	0.375 5	0.246 9	0.163 4	0.138 1

如表 12 和表 13 所示, $C-I-HHI$ 值随着行业数的增加而下降, 此结果满足初始 HHI 的定义: 当信贷配置行业数不断减少时, HHI 的数值越接近于 1. 但是区别于 HHI 定义, $C-I-HHI$ 考虑了行业聚类风险, 故当行业选取规则不同时, 即便是行业数相同, $C-I-HHI$ 值差别仍然很大. 这一点是传统的 HHI 度量无法做到的. 具体分析不同行业选取规则下的 $C-I-HHI$ 值, 发现由于 $C-I-HHI$ 的定义相当于运用了每个行业的聚类风险作为加权系数, 故“高聚类风险”行业组比“低聚类风险”行业组的值要高很多, 但是随着行业数的不断增加, “高聚类风险”行业组与“低聚类风险”行业组的 $C-I-HHI$ 值在不断减小, 原因在于高聚类风险行业在整个行业类别中为数不多, 当银行信贷所配置的行业数达到一定数量时, 会稀释高聚类风险行业对银行信贷配置的影响. “不良贷款率指标最优”行业组和“贷款收益率指标最优”行业组的 $C-I-HHI$ 值位于“高、低聚类风险”行业组中间, 且接近“低聚类风险”行业组的 $C-I-HHI$ 值. 再一次说明了银行信贷配置应该倾向于低聚类风险行业, 和第 3 节中 Min-C 模型的结论一致. “随机”行业组的 $C-I-HHI$ 值分布较为分散, 但仍然满足“行业数增加, 会导致 $C-I-HHI$ 值下降”的规律. 再次证明了本文所构建的 $C-I-HHI$ 指标的合理性.

由表 5 发现, Min-C 模型的最优配置策略在不良贷款率、贷款收益率等指标上要优于 Min-V 模型、Min-CVaR 模型的最优配置策略. 究其原因, Min-C 模型的最优策略不仅在行业配置数方面呈现多元化特征, 而且分散了行业间聚类风险, Min-V 模型和 Min-CVaR 模型的最优策略在行业配置数上集中化严重, 也没有考虑行业间的聚类风险. 此外, 由于 Naïve 策略仅仅考虑了行业配置数的多元化, 并没有考虑行业间聚类风险, 故 Naïve 策略下的信贷配置效率也不如 Min-C 模型. 综上所述, 在以 $C-I-HHI$ 指标作为集中化的度量标准下, 我国银行信贷配置多元化优于集中化.

此外, 通过比较 $1/N$ 策略下的 HHI 值和不同行业选取规则下的不良贷款率、贷款收益率和贷款配置效率, 发现 HHI 值(行业集中化程度)和信贷配置表现不存在明显的线性关系, 和历史文献

的结论保持一致. 最后, 检验 $C-I-HHI$ 值和信贷配置表现之间是否存在线性关系或者说 $C-I-HHI$ 值和信贷配置表现之间的线性关系是否强于 HHI 与信贷配置表现之间的线性关系. 利用如下线性回归模型进行检验

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 C-I-HHI + \alpha_2 HHI \quad (15)$$

其中被解释变量 y 选取不良贷款率, 贷款收益率和贷款配置效率 3 个指标. 回归结果如表 14 所示. 与 HHI 指标相比, $C-I-HHI$ 的确提高了对不良贷款率、贷款收益率和贷款配置效率的解释力度. 从这个意义上讲, 基于 $C-I-HHI$ 的集中性度量要优于基于 HHI 的集中性度量. $C-I-HHI$ 越低, 即网络聚类风险加权的分散度越高, 银行信贷配置表现越好.

表 14 模型(15)的回归结果

Table 14 Regression results of Model (15)

指标	不良贷款率	贷款收益率	贷款配置效率
$C-I-HHI$	3.139 5*** (0.548 0)	-2.571 2*** (0.556 4)	-10.863 8*** (2.208 6)
HHI	-6.257 5* (1.767 8)	7.351 0** (1.795 0)	24.425 6* (7.124 9)
常数项	1.454 4*** (0.180 3)	6.294 9*** (0.183 1)	4.823 9*** (0.726 7)

注: 括号内为 t 值; **、* 和 * 分别表示估计系数在 1%、5% 和 10% 的水平上显著.

5 结束语

结合现有银行信贷配置在风险管理方面的不足, 尤其在对行业风险进行评估的过程中, 没有考虑行业间的整体关联性和聚类特征. 本文运用复杂网络方法构建了行业收益率溢出效应关联网络, 结合历史文献采用网络聚类系数度量行业聚类风险, 识别了循环型, 中介型, 吸收型, 扩散型 4 种聚类风险类型, 细化了风险传染过程, 分析了 4 种风险的动态变化趋势. 然后, 结合聚类风险类型提出了分行业的银行信贷配置 Min-C 模型, 通过网络方法为银行的信贷业务提供了量化解解决思路. 最后, 结合网络聚类风险指标和赫芬达尔指数, 构建了银行信贷配置集中化程度的新的度量指标 $C-I-HHI$. 新的度量指标不仅可以为银行信贷

配置的风险衡量提供直接参考,还提供了银行信贷配置是集中化还是多元化更优的新的分析思路。

聚类风险的分析结果表明,国家应重点防范以传媒、通信、房地产,银行和非银金融等第三产业为代表的风险扩散型行业,上述行业如果发生风险,将对整个行业系统有较大影响。此外,我国行业间的主要聚类风险类型为吸收型聚类风险,应通过上下游供应链调整,行业自身技术升级等手段降低行业关联性,减少行业吸收风险。循环型聚类风险行业有纺织服装,轻工制造和综合行业。中介型聚类风险行业多为家用电器,食品饮料,医药卫生,农林牧渔等民生行业。循环型和中介型行业面临的关联风险较少,尤其在金融危机来临之际,可通过整个行业系统进行风险分散。行业聚类风险的研究结果还表明,银行业和非银金融业虽然在自身行业内部面临较大的系统性金融风险,但是在整个28个行业关联网络中其聚类风险较小。

无论是国有银行还是商业银行在进行信贷配置时,不可忽略行业关联和聚类带来的风险。关于聚类风险的度量,本文的实证研究表明,聚

类系数在度量行业聚类风险中具有一定的优势。Min-C模型不仅在不同约束条件下优于传统的Naïve(1/N)策略和Min-V模型,同时,基于Min-C模型配置结果下的不良贷款率要优于城市商业银行和农村商业银行的平均不良贷款率。运用Min-C规避了已有关于银行信贷配置是集中化还是多元化结论不一致的问题。即使银行信贷配置的行业数较多、多元化明显,但是若所配置的行业属于同一聚类特征,也无法达到分散风险的效果。银行信贷配置究竟是集中化还是多元化取决于所配置行业的网络聚类特征。

本文构建了银行信贷配置集中化程度的新的度量指标C-I-HHI,实证分析表明,传统的信贷配置集中化指标HHI仅考虑了行业数的多元化,忽略了行业上下游特征和关联特征。基于网络聚类风险的信贷配置集中化度量指标C-I-HHI在传统的HHI指数基础上利用网络聚类风险进行加权计算,在保留传统HHI指数性质的基础上,不仅为银行信贷配置的风险衡量提供直接参考,还提供了银行信贷配置是集中化还是多元化更优的新的分析思路。

参 考 文 献:

- [1] Bernanke B. The Real Effects of the Financial Crisis[R]. WDC: Brookings Papers on Economic Activity, 2018.
- [2] Wurgler J. Financial markets and the allocation of capital[J]. Journal of Financial Economics, 2001, 58(1): 187-214.
- [3] 中国人民银行营业管理部课题组. 北京市金融机构信贷资金配置效率研究——对26个主要行业贷款情况的实证分析[J]. 金融研究, 2005, 27(2): 69-81.
Research Group of Operation Management Department, People's Bank of China. On the efficiency of credit resources allocation of financial institutions in Beijing: An empirical analysis of the loan situation of 26 major industries[J]. Journal of Financial Research, 2005, 27(2): 69-81. (in Chinese)
- [4] 盛 丹, 王永进. 产业集聚、信贷资源配置效率与企业的融资成本——来自世界银行调查数据和中国工业企业数据的证据[J]. 管理世界, 2013, 29(6): 85-98.
Sheng Dan, Wang Yongjin. Industrial agglomeration, credit resource allocation efficiency and financing cost of enterprises: Evidence from World Bank survey data and Chinese industrial firm data[J]. Journal of Management World, 2013, 29(6): 85-98. (in Chinese)
- [5] 潘红波, 余明桂. 集团化、银行贷款与资金配置效率[J]. 金融研究, 2010, 32(10): 83-102.
Pan Hongbo, Yu Minggui. On the business group affiliation, bank loans and capital allocation efficiency[J]. Journal of Financial Research, 2010, 32(10): 83-102. (in Chinese)
- [6] 李青原, 李江冰, 江 春, 等. 金融发展与地区实体经济资本配置效率——来自省级工业行业数据的证据[J]. 经济学(季刊), 2013, 12(2): 527-548.
Li Qingyuan, Li Jingbing, Jiang Chun, et al. Financial development and local real economy capital allocation efficiency:

- Evidence from province-level industrial data[J]. *China Economic Quarterly*, 2013, 12(2): 527–548. (in Chinese)
- [7] 徐 飞. 银行信贷与企业创新困境[J]. *中国工业经济*, 2019, (1): 119–136.
Xu Fei. Research on bank credit and enterprise innovation dilemma[J]. *China Industrial Economics*, 2019, (1): 119–136. (in Chinese)
- [8] 周永圣, 梁淑慧, 刘淑芹, 等. 绿色信贷视角下建立绿色供应链的博弈研究[J]. *管理科学学报*, 2017, 20(12): 87–98.
Zhou Yongsheng, Liang Shuhui, Liu Shuqin, et al. The game study of establishing green supply chain from the perspective of green credit[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2017, 20(12): 87–98. (in Chinese)
- [9] Cong L W, Gao H, Ponticelli J, et al. Credit allocation under economic stimulus: Evidence from China[J]. *Review of Financial Studies*, 2019, 32(9): 3412–3460.
- [10] Dell’Ariccia G, Marquez R. Information and bank credit allocation[J]. *Journal of Financial Economics*, 2004, 72(1): 185–214.
- [11] 李卫东, 刘 畅, 郭 敏. 结构调整、贷款集中度与价值投资: 我国商业银行信贷投向政策实证研究[J]. *管理世界*, 2010, 26(10): 174–175.
Li Weidong, Liu Chang, Guo Min. Structural adjustment, loan concentration and value investing[J]. *Journal of Management World*, 2010, 26(10): 174–175. (in Chinese)
- [12] Metawa N, Hassan M K, Elhoseny M. Genetic algorithm based model for optimizing bank lending decisions[J]. *Expert Systems with Applications*, 2017, 80: 75–82.
- [13] 隋 聪, 王宪峰, 王宗尧. 银行间债务网络流动性差异对风险传染的影响[J]. *管理科学学报*, 2020, 23(3): 65–72.
Sui Cong, Wang Xianfeng, Wang Zongyao. The impacts of interbank debt network liquidity differences on risk contagion [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2020, 23(3): 65–72. (in Chinese)
- [14] Simper R, Dadoukis A, Bryce C. European bank loan loss provisioning and efficient technological innovative progress[J]. *Journal of Banking and Finance*, 2019, 63(5): 119–130.
- [15] Acharya V V, Hasan I, Saunders A. Should banks be diversified? Evidence from individual bank loan portfolios[J]. *Journal of Business*, 2006, 79(3): 1355–1412.
- [16] Rossi S P S, Schwaiger M S, Winkler G. How loan portfolio diversification affects risk, efficiency and capitalization: A managerial behavior model for Austrian banks[J]. *Journal of Banking and Finance*, 2009, 33(12): 2218–2226.
- [17] Berger A N, Hasan I, Zhou M. The effects of focus versus diversification on bank performance: Evidence from Chinese banks[J]. *Journal of Banking and Finance*, 2010, 34(7): 1417–1435.
- [18] Tabak B M, Fazio D M, Cajueiro D O. The effects of loan portfolio concentration on Brazilian banks’ return and risk[J]. *Journal of Banking and Finance*, 2011, 35(11): 3065–3076.
- [19] Adzobu L D, Agbloyor E K, Aboagye A. The effect of loan portfolio diversification on banks’ risks and return: Evidence from an emerging market[J]. *Managerial Finance*, 2017, 43(11): 1274–1291.
- [20] Barabási A L, Albert R. Emergence of scaling in random networks[J]. *Science*, 1999, 286(5439): 509–512.
- [21] 刘景卿, 车维汉, 夏方杰. 全球价值链贸易网络分析与国际风险传导应对[J]. *管理科学学报*, 2021, 24(3): 1–17.
Liu Jingqing, Che Weihang, Xia Fangjie. Network analysis of global value chain and coping with international risk transmission[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2021, 24(3): 1–17. (in Chinese)
- [22] 张 维, 武自强, 张永杰, 等. 基于复杂金融系统视角的计算实验金融: 进展与展望[J]. *管理科学学报*, 2013, 16(6): 85–94.
Zhang Wei, Wu Ziqiang, Zhang Yongjie, et al. Agent-based computational finance on complex financial system perspective: Progress and prospects[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2013, 16(6): 85–94. (in Chinese)
- [23] Diebold F X, Yilmaz K. On the network topology of variance decompositions: Measuring the connectedness of financial firms[J]. *Journal of Econometrics*, 2014, 182(1): 119–134.

- [24] 杨子晖, 周颖刚. 全球系统性金融风险溢出与外部冲击[J]. 中国社会科学, 2018, (12): 69–90.
Yang Zihui, Zhou Yinggang. Global systemic financial risk spillovers and their external impact[J]. Social Sciences in China, 2018, (12): 69–90. (in Chinese)
- [25] Schwaab B, Koopman S J, Lucas A. Global credit risk: World, country and industry factors[J]. Journal of Applied Econometrics, 2017, 32(2): 296–317.
- [26] Pesaran H H, Shin Y. Generalized impulse response analysis in linear multivariate models[J]. Economics Letters, 1998, 58(1): 17–29.
- [27] Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks[J]. Nature, 1998, 393(6684): 440–442.
- [28] Fagiolo G. Clustering in complex directed networks[J]. Physical Review E, 2007, 76: 026107.
- [29] 巴曙松, 金玲玲. 巴塞尔资本协议Ⅲ的实施——基于金融结构的视角[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2014.
Ba Shusong, Jing Lingling. The Implementation of Basel Capital Accord Ⅲ: From the Perspective of Financial Structure [M]. Beijing: China Renmin University Press, 2014. (in Chinese)
- [30] 何 伊, 曾嵘欣, 邓 飞, 等. 系统性金融风险溢出效应研究[R]. 北京: 中国人民银行, 2020.
He Yi, Zeng Rongxin, Deng Fei, et al. Study on Spillover Effect of Systemic Financial Risk[R]. Beijing: The People’s Bank of China, 2020. (in Chinese)
- [31] Miyaura N. Cross-Coupling Reactions: A Practical Guide[M]. Berlin: Springer, 2002.
- [32] Clemente G P, Grassi R, Hitaj A. Asset allocation: New evidence through network approaches[J]. Annals of Operations Research, 2021, 299(1): 61–80.
- [33] 辛兵海, 张晓云, 陶 江. 异质性条件、资产价格和银行信贷[J]. 国际金融研究, 2015, (9): 66–75.
Xin Binghai, Zhang Xiaoyun, Tao Jiang. Heterogeneous conditions, asset price and bank credit[J]. Studies of International Finance, 2015, (9): 66–75. (in Chinese)
- [34] Cheung W, Fung S, Tsai S C. Global capital market interdependence and spillover effect of credit risk: Evidence from the 2007–2009 global financial crisis[J]. Applied Financial Economics, 2010, 20(1/2): 85–103.
- [35] De Miguel V, Garlappi L, Uppal R. Optimal versus naive diversification: How inefficient is the 1/N portfolio strategy? [J]. Review of Financial Studies, 2009, 22(5): 1915–1953.
- [36] Peralta G, Zareei A. A network approach to portfolio selection[J]. Journal of Empirical Finance, 2016, 38(A): 157–180.

Industry risk contagion and bank credit allocation from the perspective of complex network

ZHOU Qi^{1, 4}, **LI Zhong-fei**^{2, 4*}, **ZENG Yan**^{3, 4}

1. School of Business Administration, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China;
2. Department of Finance, Business School, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China;
3. Lingnan (University) College, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
4. Center for Financial Engineering and Risk Management, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: Credit business is the main source of return and risk in banking industry. However, China’s banks fail to consider the overall correlation among industries when evaluating risks. Based on existing research, this paper studies the main infectious types of industrial risks in China from the perspective of complex networks. An allocation model of bank credit (Min-C, Minimum clustering coefficient model at the industry level) is constructed, the optimal strategy is put forward, and a measurement index for the centralization of bank credit

allocation, *C-I-HHI* (clustering-industry-HHI), is constructed. The results show that among the four subdivided infection types (circulation, intermediary, absorption and diffusion), risk infection among industries in China is mainly the absorption type, which belongs to the higher risk infection type. The optimal allocation strategy of the Min-C model is superior to both the traditional Naïve strategy and the optimal strategy of the Min-V and Min-CVaR model in terms of loan yield, non-performing loan ratio and so on. The non-performing loan ratio of banks is also lower than the average non-performing loan ratio of urban commercial banks and rural commercial banks in China using the optimal strategy of Min-C model. The *C-I-HHI* index constructed in the robustness test not only illustrates the stability of the Min-C model, but also provides new analysis logic for the debate over whether bank credit allocation should be better concentrated or diversified.

Key words: complex network; credit allocation; risk contagion; Min-C; *C-I-HHI*

附录

命题 1 证明过程

证明 由定义 2 可知 $0 \leq C_i^{(ty)} \leq 1, \forall x \in R^n$

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^T \mathbf{C} \mathbf{x} &= \sum_{i=1}^n x_i^2 + \sum_{i,j=1, i \neq j}^n C_i^{(ty)} C_j^{(ty)} x_i x_j = \sum_{i=1}^n x_i^2 + 2 \sum_{i < j}^n C_i^{(ty)} C_j^{(ty)} x_i x_j \\ &\geq \sum_{i=1}^n C_i^{(ty)^2} x_i^2 + 2 \sum_{i < j}^n C_i^{(ty)} C_j^{(ty)} x_i x_j = \left(\sum_{i=1}^n C_i^{(ty)} x_i \right)^2 \geq 0 \end{aligned} \quad (\text{A-1})$$

所以 \mathbf{C} 为半正定矩阵.

因为 $c_{ij} = C_i^{(ty)} C_j^{(ty)} < 1 (i \neq j)$, 所以 $C_i^{(ty)}$ 和 $C_j^{(ty)}$ 不能同时等于 1, 故 $\sum_{i=1}^n x_i^2 > \sum_{i=1}^n C_i^{(ty)^2} x_i^2$.

至此, 不等式 (A-1) 可以修改为 $\mathbf{x}^T \mathbf{C} \mathbf{x} > \left(\sum_{i=1}^n C_i^{(ty)} x_i \right)^2 \geq 0, \forall x \neq 0$. 所以 \mathbf{C} 为正定矩阵. 又因为 $s_i > 0, \forall i$, 所以 \mathbf{H} 也为正定矩阵. 证毕.