系统性风险传染机制中的级联故障研究[[1]](#footnote-1)\*

——兼论“多而不能倒”与“大而不能倒”

范小云 荣宇浩 段月姣

摘要：本文将违约损失风险参数内生于网络，兼顾偿还风险传导和流动性风险传染渠道，构建了复杂银行系统网络的级联故障模型，并且结合可得的我国263家商业银行财务数据进行仿真模拟，量化了共同冲击、特定银行倒闭等几个情境下的级联故障程度。研究发现：第一，我国银行系统“多而不能倒”不仅与“大而不能倒”并存，且独立于“大而不能倒”而存在。第二，中小银行相对于大银行能承受的破产故障边界更低、波动更小，更容易发生联合倒闭情形。因而，研究中小银行联合倒闭极具现实意义。第三，大型银行是众多中小银行倒闭的第一道防线，而中小银行的救助成本远低于大型银行。因此，防范化解重大风险时要重视多家中小银行风险集聚现象而规避传染源，兼顾“多而不能倒”和“大而不能倒”，低成本救助，从而实现风险在银行间的缓冲疏散和对抗吸收。

关键词：系统性风险 传染网络 级联故障模型 多家中小银行

# 一、 引言

通常认为，由于影响能力和波及范围有限，不同于系统重要性银行“大而不能倒”的市场地位和风险传染机制，个别中小银行风险的发生不具有系统性。然而，此种理论观点，却与我国的金融风险实践存在矛盾。我国银行体系存在规模较大银行与中小型银行的显著分层。据中国银行保险监督委员会网站显示，截至2020年4月，中国有4000多家银行类中小金融机构，资产总和约占整个银行体系的1/4。这些中小银行具有高度的同质性，对经济社会发展与稳定具有重要影响。

我国中小银行风险集聚之势日趋严重。近些年来，受内外部环境复杂多变的影响，不论是监管层面还是现实层面，中小银行风险问题日益突显。2019年上半年人民银行压力测试，评估银行体系在“极端但可能”冲击下的稳健性状况。流动性风险压力测试表明，参试的1171家银行（银行资产规模合计占银行业金融机构资产规模的70.3%）在遭受重度冲击时，159家未通过，其中，资产规模在8000亿以上的30家大中型银行中，有10家在全部可动用的合格优质流动性资产耗尽后仍无法弥补缺口。特别的是，中小银行的情况不容乐观。与此同时，在风险实际发生层面，2019年5月开始，由于流动性被股东占用，包商银行出现了严重风险被托管、锦州银行同样因流动性问题重组、南粤银行不行使二级资本债赎回选择权。此类罕见的风险事件接连出现，使得我国中小商业银行风险问题成为焦点。因此，数量众多、规模较小的商业银行风险能否演化成系统性风险，成为我国监管部门和学术界高度关注的问题。

从我国中小银行体系自身性质特点着眼，已具有形成系统性风险的可能。首先，受限于规模的“市场化业务模式”是中小银行引发系统性风险集聚的先决条件。有别于大型银行开展同业及信贷业务，相对较小的经营规模迫使中小银行以拓展市场份额和盈利空间为目的，不得不强力开展同业及信贷之外的市场型资产业务，并形成过度依赖，而这些业务的市场性迫使其对周期性波动更敏感，从而诱使中小银行风险承担策略更激进，在系统中累积较大风险（方意、陈敏，2019）；其次，出于政策、绩效考核等要求，“非市场化”行为的增加成为中小银行系统性风险集聚的催化剂。支持中小微企业、发展普惠金融业务等相对“非市场化”行为，一定程度上加深了资金需求与贷款供给间期限错配问题。在“贸易战”“新冠肺炎疫情”等国内外复杂环境影响下，中小微企业受影响巨大，企业对资金流动性需求加大，这也进一步推高了中小银行可能面临的风险；再次，金融风险监管导向，也可能诱发中小银行风险的发生。在系统性风险监管实践上，系统重要性银行“大而不能倒”一直是监管部门以及学术研究关注的核心，即监管部门重点考察一家核心银行倒闭可能对经济、金融和政治产生的影响，从而对其提供隐形担保。而此种监管对中小银行产生有害激励机制，是对中小银行的歧视性待遇（李文泓，2003）。研究表明，不受系统性风险相关监管的银行，可能基于存款保险制度而诱发道德风险，亦有可能受股东利益驱动而过度抬升杠杆，承担较高风险（Furlong & Keeley，1989)。

上述因素都可能招致系统性风险发生，却未必一定能够引发系统性风险。那么，中小银行发生风险到底是否会诱发影响全局的系统性风险发生，其中的演化机制是什么，成为关键性问题。“众多中小银行多而不能倒”是否存在于我国银行体系中？具体来说，“大而不能倒”和“多而不能倒”本质上是围绕着为避免系统性风险爆发，政府应该采取何种救助策略而展开的两种危机监管理念的讨论。“大而不能倒”指的是大银行倒闭会引发系统性风险，应该救助所有的大银行从而保护所有的存款人和债权人。因此，“大而不能倒”更多的是关注单个银行及其风险的选择，而识别“多而不能倒”则需要一个群体羊群效应及其联合风险的选择。“多而不能倒”指的是即使大银行是健康的，足够多的中小银行短时间内暴雷，可能会导致银行危机。特别地，“多而不能倒”并非直觉上的“大而不能倒”的反映（Brown & Dinç，2011），亦不是简单的线性加总。由于中小银行受到冲击，易产生集体的道德风险及羊群效应，从而使得其集体倒闭后产生的损失和传染效应可能会导致银行危机（Acharya，2007）。为了避免持续的损失，监管机构在破产银行数量较多的情况下，对银行进行事后最优的救助，在系统性危机期间救助银行的政策为银行创造了羊群激励，导致了“多而不能倒”的系统性银行危机。

本文研究认为，受我国银行体系结构和银行个体行为的影响，中小银行在多重原因叠加下风险集聚，并通过其与大型银行之间形成的互补、关联、不可分割的级联网络关系，触发系统性风险。换言之，从众多中小银行组成的整体来看，其风险不等同于各家中小银行风险的线性累加，而是会产生远超于简单加总的“涌现”现象，进而触发系统性风险。因为，银行体系是一种复杂的网络体系，银行个体间相互联系而形成网络，而网络特定的拓扑结构决定了风险传导机制。为清晰刻画中小银行风险聚集可能引发的系统性风险在网络中的生成、累积、传染过程，文章创新地引入“级联故障”理论来进行仿真模拟。

级联故障（cascade of failures）是复杂银行网络发生崩溃的一种情形，是指网络中由于某一个或多个节点故障导致其风险在系统中的传播。具体来说，在相互作用的复杂系统中，一个节点出现功能故障，将会导致其他依赖它的节点（直接或间接）也发生功能故障（Zuccaro et al，2019）。[[2]](#footnote-2)不同于传统的链式传染，“级联”更加强调其风险在多层级网络间的传染，而非同类或同层次之间的链式传染，进而引发整个网络系统“雪崩”。银行体系作为一种复杂的网络结构，将单家银行视为复杂网络中的节点，银行间的直接与间接联系作为链接节点的边。不同类型、不同资产的银行形成网络中的层。因此，一旦众多中小银行接连风险暴露，所持资产被重新托管分配，那么，当中小银行承担的风险亦被转移至系统中经营良好的银行时，是否会导致这些好银行风险上升，出现低风险银行被动风险“过载”进而引发“级联故障”呢？

本文结合级联故障理论对现实已然发生的中小银行风险事件进行思考分析，认为中小银行风险集聚问题是诱发我国金融系统级联故障的较大风险源，相比于大型银行，更可能成为触发系统性风险的“导火索”，而这一重要问题尚未被深入研究。因此，本文将偿还风险违约损失参数内生网络化，兼顾流动性风险传染和借贷偿付能力风险传染渠道，搭建多层级银行系统级联故障理论模型，从而完善银行间级联故障的理论机制；进一步地，基于上述理论模型，通过263家商业银行现实数据进行压力测试，以排除大银行后的数据样本为参照，量化对比受到共同冲击、众多中小银行联合倒闭与大型银行倒闭等不同初始传染源所诱发的级联故障程度，为金融稳定提供强有力参考。这是对既往大多围绕系统重要性银行探究“大而不能倒”的补充，也更加契合我国金融监管亟待解决的重大现实问题。

本文可能的贡献有以下两方面：第一，理论层面。在Huang et al（2013）、Elliott et al（2014）和Covi et al（2021）研究的基础上，本文将偿还违约损失风险参数内生于网络，兼顾偿还风险传导和流动性风险传染渠道，设计构建了适合银行复杂网络的级联故障理论模型，补充了系统性风险传染机理的相关研究。第二，实证层面。结合我国263家银行可得数据，通过级联故障动态算法实现不同情景下的损失成本估计，并证实在我国“大而不能倒”和“众多中小银行而不能倒”并存的典型事实。文章具体分析了我国银行系统受到共同冲击、大型银行倒闭、众多中小银行联合倒闭等多种传染情景，证实大型银行是中小银行联合倒闭极端风险发生的第一道防线，但对中小银行的救助成本相对更低。因而，日本文建议监管部门应进行综合有效控制防止破产故障银行资产折价率过低、外部流动性冲击过大，合理确定银行同业往来的规模，以破除中小银行发生集体性风险危机的根源。同时，从救助成本来看，关注城商行、农商行等中小银行，防止其经营失败诱发银行系统性风险。

# 二、文献综述

金融系统天然具有脆弱性（Gai & Kapadia，2010)，近20年来频发的金融危机促使各国将系统性风险的诱发因素及违约传染路径列为重要议题。研究发现，初始破产倒闭银行的规模以及银行间的网络结构，是金融系统中风险发生、累积与传染的关键因素（Allen & Gale，2000；范小云等，2012）。学者对于金融中系统性风险的研究也大多集中在银行规模、网络结构和传染渠道等方面。

首先，既往研究中，单家规模较大的银行长期是被重点监管对象。“大而不能倒”观点认为救助大型银行或系统重要性银行是避免系统性风险爆发的关键（Hetzel et al，1991；高国华、潘英丽，2012）。然而，在金融风险传染的众多诱导因素中,差异化的银行分布也是系统性风险水平的决定因素（马君潞等，2007）。虽然单家规模较大银行诱发系统性风险的后果较为严重，但是规模较小银行发生违约破产，并引发风险在中小型银行间传染的可能性更高。特别地，当破产违约的中小银行数量达到一定程度时，可能诱发大银行的风险传染和倒闭。受外源冲击下，中小银行抵御风险能力相对较弱，将累积的风险通过关联网络传染给经营良好的大银行，且众多中小银行违约倒闭越集中，引发的系统性风险越大（王晓枫等，2015；方意，2016）。

其次，银行体系中网络结构是系统性风险研究关注的焦点。目前，系统性风险的网络研究主要可分为以下两大类：第一，基于业务关联的银行间网络；第二，基于特定网络规则下的银行风险传染效应研究。其中，直接构建银行间网络的研究中，主要考量资产减值与银行同业渠道的影响，Upper & Worms（2004）、马君潞等（2007）先后利用矩阵法估算了我国银行系统的双边传染风险网络。Diebold & Yılmaz(2014)、宫晓莉等（2020）根据方差分解网络方法分别构建了金融机构信息溢出网络。上述网络的初始条件通常设定为可能诱发系统性风险的外部冲击。基于网络特征与规则的金融风险研究中，常见的有小世界网络、无标度网络和银行-资产二分网络等模型。Watts（2002）论证了重大但罕见的级联现象可由小的初始冲击触发，而且可以通过小世界网络特征来描述。Krause & Giansante（2012）设计并构建一个遵循幂律分布的无标度网络，发现初始倒闭银行的规模及网络特征是系统性风险传染的主要决定因素。随后，隋聪等（2014）和王晓枫等（2015）对我国银行系统性风险进行了研究，先后分析了无标度特征复杂网络在银行风险传染效应过程中的影响效应，并创新研究了违约风险传染渠道、作用机制，从而完整刻画了无标度网络下的银行间违约传染路径。随着网络研究的深入，Huang et al（2013）构建了一个由银行和银行所持有相关资产的二分网络模型，探究了系统性风险累积过程与网络中的传播路径。

再次，基于银行网络评估系统性风险的研究往往围绕风险传染渠道的探讨。银行网络系统性风险的传染渠道主要有偿还风险传染和流动性风险传染渠道。如Covi et al（2021）通过构建欧元区双边联系网络，开发了一种传染映射方法来考察由于信贷和融资风险而造成的直接损失和随后的传染效应，以评估外源性冲击带来的损失数量和违约数量。而在涉及偿还风险传染渠道的探讨中，传染风险的大小取决于传染渠道中的贷款结构分布和违约损失率（Wells，2005）。既有研究往往将偿还风险传染渠道中的违约损失率设定为常数，或者多个常数进行敏感性压力测试。如王占浩等（2016）等将违约损失率θ的取值为0.6，收集了75家主要银行2011年年报的数据，构建银行间风险传染模型。研究发现大型银行倒闭具有一定的风险传染性，而中小银行倒闭则传染范围和概率很小。杨子晖和李东承（2018）设定违约损失率为中间值70%，运用“去一”法发现股份制商业银行是系统性风险的主要源头。

最后，为明晰“级联故障”在复杂网络及系统性风险中的表现，本文梳理了国内外相关理论进行说明。网络系统中由节点故障诱发级联故障的作用机制主要有以下两类：第一类是功能过载导致的级联故障，第二类是由结构依赖造成的级联故障。其中，第一类过载级联故障模型常见于电力网络、交通网络等有流量运输任务的网络。当网络中某一节点流量超过承载上限，导致此节点故障以及流量的重新分配，将加剧其他正常运转节点的压力，引发批量节点故障，形成级联效应（Motter，2004）。而第二类结构依赖故障则强调风险危害通过网络结构直接快速传播，由于毗邻节点存在关联性，故障如“多米诺”般在节点中传播。Centola & Macy（2007）认为网络中节点的故障阈值取决于其邻域节点，一旦其邻域节点的安全指标低于临界阈值，将造成此节点故障。Buldyrev et al（2010）将复杂网络中的故障级联定义为当某一节点发生故障后，系统压力通过节点间的耦合关系作用在其相邻节点而引发故障，可能产生连锁效应从而导致整个系统瘫痪的动态过程。上述结构依赖的级联故障理论已被运用到金融系统分析中。系统性风险源自银行间拓扑网络导致的级联违约，违约银行能否引发系统级联效应，取决于自身受冲击的大小以及网络连通性的相互作用（Karimi & Raddant，2016），因而在相对固定的网络中，研究冲击下的某家银行可能引发级联效应的情况极具现实意义。Elliott et al（2014）将级联故障的思想引入交叉持股的复杂网络研究中，研究证实当某家机构倒闭，基于交叉持有的复杂网络转变为故障级联的传染介质，每个直接或间接相连的银行能否存活，取决于自身初始的自有资产以及遭受风险传染后的违约成本。若一家机构经营不善出现技术性破产继而对金融网络造成级联故障，将对经济造成巨大损失（Leitner，2005；Rogers & Veraart，2013)。

综上，既有系统性风险的研究中，往往较为关注大型银行，而对中小银行研究相对较少；所构建的银行网络多数聚焦单一传染渠道，较少兼顾偿还风险和流动性风险两种渠道；在对偿还风险传染渠道的探讨中，也多将违约损失率设定为常数。因而，本文关注中小银行金融机构，构建了包含银行同业与资产价格的银行-资产二分网络，尝试运用级联理论思想，将违约损失系数内生于上述网络，以此分析我国银行业系统性风险的级联传染机制。

# 三、复杂银行系统网络的级联故障模型

借鉴Huang et al (2013)、Elliott et al（2014）和Covi et al（2021）的研究，本文构建了复杂银行系统网络的级联故障模型，以刻画银行系统内级联故障触发及放大的动态机制。首先，文章参考Huang et al(2013)建立了银行-资产二分网络模型；其次，基于Covi et al（2021）和Huang et al (2013)探讨的风险传染机制，分析并刻画了复杂银行网络系统内资产流动性以及偿付能力的双渠道风险传染机制；再次，参考Elliott et al（2014）复杂金融网络中的级联故障模型，自建了复杂银行网络系统的级联故障动态模型。具体来说，本文在设置银行网络中破产故障临界条件的基础上，将偿付风险违约损失参数内生于网络，综合考虑破产成本剖析了级联故障机制，构建了复杂银行网络系统的级联故障模型，为后文分析我国现实银行系统奠定了理论基础。

### 银行网络系统级联故障模型的建立

本文借鉴Huang et al (2013)建立的银行-资产二分网络以及Covi et al（2021）构建的双边联系网络中对风险传染机制的描述，拓展了银行-资产二分网络的资产流动性以及偿付能力双渠道传染机制模型。资产流动性传染渠道是指，在银行-资产二分网络中，资产价格波动可能招致银行系统性风险，原本经营良好的银行因市场中资产的折价抛售而遭受流动性冲击；偿付风险渠道是指，银行通过同业网络持有其他银行资产，所形成的错综复杂债权债务的网络级联路径。结合上述偿付风险和流动性风险的作用机理，本文聚焦资产流动性、借贷信用性两方面，根据违约定义设定级联故障触发临界条件，细述级联效应框架。

### 1.银行网络触发破产故障的临界条件。定义为拥有家银行的整个银行网络的完备集。每个银行根据资产负债表可以得到：

 （1）

其中，银行资产端由银行间资产和外部资产组成，指的银行给银行提供的贷款（资产端的风险暴露），指银行的外部资产；银行间负债端由储户存款、银行间负债和净资产组成，指银行的储户存款，指银行对银行的债务（负债端的风险暴露），指的是银行的净资产。

资产高于负债的部分是银行的净资产，根据上述会计恒等式（1），可以得到银行的净资产值：

 （2）

当时，银行破产故障，进入破产程序。当某个银行由于外部冲击使得银行资产贬为而出现资不抵债的违约风险时，该风险可经由银行间负债渠道传染到其他银行。而银行系统内，遭受破产的冲击及传导通常来自于偿还冲击和流动性风险两方面，下文将结合这两个传导渠道出发，搭建银行网络系统级联故障模型框架[[3]](#footnote-3)。

2.银行网络中系统性风险级联故障模型。为进一步探讨该网络中的级联故障动态演化过程，文章首先借鉴Huang et al (2013)为研究系统性金融风险而提出的银行-资产二分网络（如图1所示），并融合上述资产价格和偿付风险两种传染渠道，拓展量化了该网络的级联故障传染机制——以银行为一种节点类型，以资产为另一种节点类型的银行-资产二分网络模型。银行和资产之间的连接表示银行*i*的资产负债表内持有资产*m*。图1（a）为银行节点和资产节点的示意图。代表银行*i*拥有的总资产值。表示银行*i*持有的资产*m*的值。表示银行*i*持有的资产*m*占银行*i*总资产的份额。为资产*m*的总值。表示银行*i*持有的资产*m*值占资产*m*总值的比例。图1（b）为多个银行节点和多个资产节点的网络示意图。其中银行节点不仅与资产节点有联系，银行节点之间还通过银行间市场建立连接。银行节点间的连接表示银行两两之间的借贷关联。具体来说，矩形表示资产节点，圆形表示银行节点。各个矩形资产与各个圆形银行节点之间的连接代表银行对资产的持有关系。如为银行*i*与资产*l*之间连接的权重，表示银行*i*持有资产*l*占银行*i*总资产的份额，为银行*k*与资产*n*之间连接的权重，表示银行*k*持有资产*n*占银行*k*总资产的份额。资产与资产之间无关联。银行之间的连接表示银行节点在银行间市场之间的连接。如为银行*b*和银行*i*之间的连接权重，表示银行*b*与银行*i*之间的同业往来，为银行*i*和银行*k*之间的连接权重，表示银行*i*与银行*k*之间的同业往来。

|  |  |
| --- | --- |
|  |       |
| （a） | （b） |

图1 银行-资产双重网络示意图

其次，对银行系统中的资产价格和偿付风险两种传染渠道的关键变量进行定义并量化，为银行持有的银行的贷款占银行银行间资产的比例，银行的外部资产可用资产与资产价格的乘积来表示，表示银行的资产值。量化公式如下：

 （3） （4）

 （5）

其中，对于任意，表示银行持有的银行的贷款占银行银行间负债的比例，为银行间负债占银行总资产的比例，同时对于每个。矩阵可以看作是一个网络，若持有的正的银行间贷款资产份额，则表示一个从到的有向链接。此网络中的路径为银行间资本流动的路径，也被称为“网络级联路径”。

一家银行的资产值等于该银行的外部资产值加上它对其他银行的债权，将式（3）~（5）代入式（1）可得：

 （6）

式（6）的矩阵形式可以写为：，整理可得：

 （7）

结合式（2）整理可得：

 （8）

特别地，本文将样本系统外其他银行给银行的贷款占银行银行间资产的份额用表示，即。由所有形成的矩阵的非对角线元素定义为0。这部分资产不参与系统内银行的交易活动，也不影响银行间系统性风险的传染路径，因而。

矩阵形式为：

 （9）

在式（9）中替换，整理偿付力值R为：

（10）[[4]](#footnote-4)

记为相依矩阵，式(13)表明，一个银行的储户存款与净资产之和可以表示为其外部资产的最终债权值之和，下文将一个银行的储户存款与净资产之和定义为偿付力值。表示银行的偿付能力对银行的外部资产份额的直接持有份额，也表明了银行*i*如何受到银行*j*破产的影响。因而，相依矩阵的出现突破了既有文献将违约损失率设定为固定值的局限。

### 系统级联故障模型动态算法

基于上述级联故障框架的建立，本文进一步剖析并模拟系统内级联故障触发及放大的动态动态演变过程，将级联故障引入到银行网络系统中。有别于Elliott et al（2014）构建的交叉持股网络，本文将级联故障思想进一步推演至银行-资产二分网络中，综合考虑了破产成本以及偿还违约系数内生于网络等因素，构建了银行网络系统级联故障模型的动态算法。

本文设计并构建的银行网络级联故障过程描述如下：首先，当银行受到流动性冲击而留存资产值低于特定阈值时，银行发生技术性破产的可能性上升。银行的违约破产风险通过银行间市场诱发级联效应的传播，进一步导致银行资产的减值抛售，对资本市场中的流动性产生冲击，形成“流动性螺旋”，从而对持有相关资产的其他银行产生不利影响，导致其资产总价值下降，增加这些银行违约的可能性。这种级联故障过程在银行和资产之间来回传播，直到没有更多的银行倒闭。其次，当市场中受影响的银行违约风险上升需要大银行救助干预，原本经营良好的大银行在面对众多出现“故障”的银行时，亦具有自身的承载上限，当大批量银行处于资产急剧缩水的极端情形下，被赋予救助使命的大银行可能发生“过载”。因此，银行风险通过持有资产传递的同时造成部分银行违约风险上升，亦会增加其他非资产持有银行“过载”的可能性，从而产生“级联”。

具体来说，银行遭受冲击后发生资产减值，非连续地资产减值使得银行以不连续的方式陷入流动性危机，进而触发破产级联故障。银行由于资产减值而发生违约故障并导致故障违约成本描述为，违约成本的增大伴随着资产与资本的降低，当银行的偿付力值等于阈值（储户存款）时，银行的资产为：

 （11）

其中，是指示函数，当->0时值为1，否则值为零。

式(9)的矩阵形式改写为：

 （12）

相应地，式(10)偿付力值R换算为：

（其中，） （13）

相依矩阵表示当出现故障违约时，银行的偿付力所承担的违约成本的比例。如果银行违约导致的违约成本，则的偿付力值减少。特别地，本文将银行的违约成本定义为银行的故障边界（），其约束条件为：

 (14)

综上，级联故障的传导使得即使相对小的冲击也可能触发一系列级联故障。简化举例来说，假定机构1对于单一的价格为资产具有完全的所有权，同时与的区别也仅仅体现在资产1上，假定，因而，银行1在冲击后资产的价格由降至。超出由于资产1的价值下降而带来的价值损失，银行2的价值由于银行1的违约成本产生的故障成本。如果银行2同样倒闭，银行3吸收了银行1与银行2二者的违约成本：,进而造成银行3的故障，按照这种情形扩展。对于每次故障，对每个剩余银行偿付能力的联合冲击增加，新的银行一步一步陷入到故障级联中。换言之，资产1的价格下降如若共带来个银行破产故障，向该经济中累积的故障成本为，从而大大超过引发级联初始故障银行的资产值的下降。这表明，金融网络中，网络中违约级联的严重性在于，即使对一家小银行产生较小冲击可能触发一连串的违约而对金融系统产生巨大影响，因而识别级联分层结构的简单算法以探究违约的传导机制就显得至关重要。值得一提的是，既有研究中，通常将银行网络中违约损失率设定为固定值。而现实中，不同类型债权银行和债务银行应具有不同的破产违约损失率。因此，本文引入的级联故障理论，以相依矩阵为媒介，更合理的反映不同银行之间受到偿还风险冲击时，级联故障所导致的不同偿还风险水平

更进一步地，文章中的仿真模拟算法基于一单位银行由违约而产生的特定冲击并传播，核心求解同时满足最少故障集和最大可能违约阈值（）的两重约束下的最优均衡状态。具体来说，在步骤中，代表的一组违约银行，初始设置，具体步骤如下：

第一，是带有元素的向量，如果，否则为0；

第二，是输入资产后，使所有下列向量的值为负数的集合：；

第三，如果=，则程序结束；否则返回第一步。

当该算法终止于步骤(给定的有限个银行数目)时，集合对应于均衡状态下的违约银行集合。该算法提供了违约的层次结构。具体而言，每一步中增加的银行(相对于)均是由先前违约银行的累积列表而触发的银行，否则记作不违约，也即是如果上一步银行未产生违约，后续银行就不会由此受到传染而违约。因此，是触发违约的首家银行，而是由于首个违约银行引发的违约银行，依此类推。

违约的层级结构具有意义。该结构可用于分析银行间风险的直接传播能力及相关联的政策影响效力。如果层级结构的多层级别为空时，那么传播停止导致级联效力终止，从而没有进一步的银行将违约。这表明，限制违约影响的一个强有效政策应当是，锚定银行脆弱层，考察银行的网络特征，从而精准调整目标银行。

# 四、复杂银行网络模型中的级联故障分析

### （一）数据来源

以我国的银行系统为研究对象，本文选取Wind数据库中2019年可获得的263家商业银行为研究样本，具体包括6家国有商业银行、11家股份制银行、100家城商行和146家农商行。结合表1发现，我国商业银行各项统计数据与监管要求仍存在差异，例如：样本内银行规模自然对数均值为16.23，即8.503万亿元；各商业银行平均资本充足率为14.07%，高于监管值8%，说明我国银行业银行经营层出于审慎目的留存较多资本；而流动性监测指标存贷比均值为72.87%，则相对较低。因此，为厘清我国商业银行系统内的风险传染过程，本文借鉴杨海军和胡敏文（2017），选取同业往来资产和同业往来负债作为指标，运用最大熵法构建银行间双边敞口矩阵，得到2019年我国商业银行资产负债表传染网络，并在此基础上基于级联故障理论模型对我国银行系统的开展级联故障分析。

表1 样本商业银行特征描述性统计

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 均值 | 方差 | 25分位数 | 50分位数 | 75分位数 |
| 总资产的对数 | 16.23 | 1.660 | 14.94 | 16.14 | 17.07 |
| 资本充足率 | 14.07 | 2.418 | 12.66 | 13.84 | 15.14 |
| 风险加权资产/总资产 | 50.34 | 31.42 | 0 | 64.92 | 72.32 |
| 财务杠杆率 | 13.48 | 2.731 | 11.74 | 13.06 | 14.87 |
| 不良贷款率 | 2.023 | 1.407 | 1.270 | 1.730 | 2.240 |
| 贷款拨备率 | 4.127 | 1.419 | 3.150 | 3.810 | 4.750 |
| 存贷比 | 72.87 | 12.82 | 65.89 | 71.60 | 78.73 |

注：数据来源于2019年商业银行年报。

### （二）银行系统破产级联故障的实证分析

1.银行倒闭的破产故障边界。违约边界表示商业银行受到冲击后可以吸收的最大违约损失值，用以衡量商业银行受到冲击后的资产安全范围。为考察中小银行的违约边界，本文以不同规模类型的银行作为对比。按照样本银行资产规模排序得到银行分组类型，并以前15家国有商业作为大银行，依次得到30家中小银行和100家中小银行[[5]](#footnote-5)。

表2和表3分别显示了商业银行破产边界的规模及其统计性结果。表2依次列出了各个大银行发生破产故障、30家中小银行联合破产故障、100家中小银行联合破产故障的违约边界。其中，国有大银行的破产边界普遍远远高于股份制银行，中国工商银行以40.838万亿元高居榜首，股份制商业银行次之，中小银行联合倒闭的情形最低。无论是30家中小银行还是100家中小银行的破产边界，都远低于国有大型银行和股份制银行。这表明，当受到流动性风险渠道或偿还风险渠道等不利冲击后，中小银行相对于大银行，远远小于国有大型银行所能承受的损失规模。

表3比较了4种不同类型的银行组合内的破产边界差异。大银行的破产故障边界差异为12.100（万亿元），30家中小银行和100家中小银行的破产故障边界差异为4.760（万亿元）和0.937（万亿元）。这说明中小银行相对于大银行，其破产边界相对区域更加平均和稳定，更易受到冲击后形成集体联合倒闭的现象。

结合表2和表3的结果，当银行网络系统受到不利冲击后，中小银行相对于大银行所能承受的损失规模较小，且其破产故障边界的波动更小，更容易发生联合倒闭的情形。因而，对于中小银行联合倒闭的研究是十分有必要的。

表2 不同类型银行破产边界分析

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 银行名称 | 破产边界（万亿） | 银行名称 | 破产边界（万亿） |
| 中国工商银行 | 40.838 | 招商银行 | 10.498 |
| 中国建设银行 | 35.432 | 兴业银行 | 15.589 |
| 中国银行 | 31.680 | 上海浦东发展银行 | 13.697 |
| 中国农业银行 | 31.473 | 中信银行 | 12.887 |
| 交通银行 | 15.309 | 中国民生银行 | 13.653 |
| 中国邮政储蓄银行 | 5.770 | 100家中小银行联合倒闭 | 0.589 |
| 30家中小银行联合倒闭 | 1.422 |  |  |

表3 不同类型银行组合破产故障边界的统计性结果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 组合名称 | 均值 | 方差 | 最小值 | 最大值 | 25分位数 | 50分位数 |
| 大银行 | 17.500 | 12.100 | 5.140 | 40.800 | 7.440 | 13.700 |
| 30家中小银行 | 1.180 | 4.760 | 0.003 | 40.800 | 0.026 | 0.083 |
| 100家中小银行 | 0.589 | 0.937 | 0.071 | 5.530 | 0.177 | 0.262 |

2.银行系统级联故障情景模拟结果分析。本部分通过设定受到共同冲击和特定银行倒闭两类情景，考察受到来自共同冲击和特定银行倒闭等两类不利冲击后，银行网络系统内级联故障的结果。特别地，为厘清中小银行倒闭后形成的级联故障诱因，是“大而不能倒”还是“多而不能倒”，本文同时考虑共同冲击、特定银行倒闭等不同情景下，所有商业银行级联故障和排除大银行的商业银行级联故障的结果，以分析中小银行这一特定组合的系统性风险传染特点。

### （1）受到共同冲击后银行网络的级联故障分析

图2（a）和图2（b）分别模拟了全部银行同时受到共同冲击和排除大银行后众多中小银行这两种受试系统内所受到的级联故障传导结果。其中，α轴表示系统中所有商业银行初始同时承受的流动性冲击系数，该值越大，表示系统受到的共同冲击越强烈。β轴表示当发生流动性风险冲击时商业银行减值出售资产的折价率α，该值越高代表流动性耗散越多、银行亏损越多。z轴为破产银行数目占所有受试系统内银行家数的比例。即当不利共同冲击发生后，随着系统内不利冲击系数和商业银行减值出售折价率的不断增加，受试系统内由于系统性风险级联故障增加而产生的破产银行数目在总受试银行中的占比。在图2中，形成的曲面为级联故障曲面，颜色越接近于顶端的颜色，表示级联故障传染程度较高，银行系统内级联故障倒闭的家数越多，占比越接近于1，类似地，颜色越接近于底端的颜色，代表级联故障传染程度较低，银行系统内级联故障倒闭的家数越少。

|  |  |
| --- | --- |
| 2019ME受到共同冲击按比例表坐标 |  |
| （a）所有银行同时受共同冲击后的级联故障图 | （b）中小银行同时受共同冲击后级联故障图（排除大银行） |

图2 商业银行同时受到共同冲击后银行网络的级联故障

下面，分别从系统性风险级联故障的传染趋势和传导程度两方面进行分析。就传染趋势而言，由图2（a）可知，当银行系统受到的冲击一定时，随着资产减值出售折价率的增加，级联故障倒闭银行数目逐渐增多。当α轴不变时，随着β轴的增加，图2 (a)图中的颜色逐渐发生变化，颜色越来越接近于顶端的颜色，系统性风险级联故障传导的程度越高；当β轴不变时，随着α轴的增加，颜色同样递增性地接近于顶端的颜色，表明银行倒闭家数越来越多，系统性风险级联故障的传导程度越来越强烈。对比图2（b），排除大银行后，随着共同冲击系数α和减值出售折价率β的增加，系统内级联故障倒闭的银行家数与未排除前基本趋势一致。这表明，系统性风险级联故障的传导程度与受到共同冲击系数和资产减值出售系数成正相关性。就传导程度来说，图2显示，随着共同冲击系数和减值出售折价率的增加，破产银行家数高度递增。特别地，排除大银行后，整体来看级联故障曲面更加陡峭，级联故障程度呈现增长态势。

综上，当银行同时受到共同冲击后，系统性风险级联故障的传导程度与受到共同冲击系数和资产减值出售系数成正相关性，且排除大银行后，整体来看级联故障曲面更加陡峭，级联故障程度相对更高。

### （2）特定银行倒闭后银行网络的级联故障分析[[6]](#footnote-6)

本部分设定了两组情景分析，第一组是全样本银行内，大银行倒闭所诱发的级联故障程度，第二组则是分别考察所有银行和排除了大银行后，30家中小银行和100家中小银行联合倒闭等四种级联故障传导情况。通过两组样本在五种不同初始倒闭情形下的银行系统性风险级联故障后果，对比和考察中小银行在我国银行网络系统中的作用。

第一，假设仅有大型商业银行倒闭，通过银行网络系统中的级联故障造成其他银行倒闭的家数。横向来看，以大型银行作为传染源银行时，在折价率为0.55时，级联故障仅停留在第一层。随着折价率的增加，每一层级联故障破产的银行家数呈增加趋势。这表明，以大型银行为传染源，级联故障的程度随着资产折价率的增加而增加；纵向来看，随着第一层中国工商银行的倒闭，如果不加救助，不管资产减值损失折价率多少，最接近第一层大型银行的倒闭的所产生的第二层发生级联故障的银行，是其他大型银行。而大型银行作为我国的系统重要性银行，毋庸置疑是防范和监管系统性风险的重中之重（范小云等，2021）。这表明，我国银行系统内确实存在“大而不能倒闭”的这一典型事实。特别地，大型银行倒闭的结论与已有大型银行倒闭的相关研究结论与高度一致（马君潞等，2007；王占浩等，2016）。

第二，分别以30家中小银行联合倒闭和100家中小银行联合倒闭为传染源，通过设定不同的资产出售折价率参数，得到银行系统级联故障的结果。结果显示，横向来看，不管是30家中小银行联合倒闭还是100家银行联合倒闭，当传染源一定时，随着资产折价率系数的增加，系统内银行倒闭的家数递增，级联的程度增加，若不加救助，第二层倒闭的即为大型国有银行。纵向来看，众多中小银行联合倒闭传染源一定时，不加干预，则当资产减值折价率超过一定值后，最终系统性风险传染程度是相对确定的，即所有倒闭的银行是相对确定的。

第三，排除大银行，分别以30家中小银行联合倒闭和100家中小银行联合倒闭为初始传染源，根据级联故障传导理论设定不同的资产出售折价率参数。相对于全样本银行系统，横向来看，不管是30家中小银行联合倒闭还是100家中小银行联合倒闭，仅仅需要很小的资产减值折价率β，就会导致诱发系统内众多中小银行和小银行的级联破产故障。纵向来看，排除大银行后，中小银行倒闭的速度也变得更快，级联故障的层数变得更少。这表明，相较于全样本银行，众多中小银行联合倒闭在排除大银行后所产生的级联故障影响程度更加严重。换言之，众多中小银行联合倒闭是否产生的级联故障以及所产生的级联故障的程度并不取决于系统内大银行的作用，即并非“大而不能倒”导致。

综上，银行系统受到特定银行倒闭冲击，从级联故障趋势来看，相比于以大型银行倒闭为传染源，众多中小型银行联合倒闭所诱发的级联故障水平，同样随着资产折价率的增加而增加，且如若不加外力救助，级联故障的第二层均为大型国有银行，这说明我国商业银行系统存在“大而不能倒”的同时，也论证了“多而不能倒”的这一典型特征，同时大型银行是众多中小银行倒闭的第一道防线。就级联故障损失而言，当传染源一定时，不加救助，则当资产减值折价率超过一定值后，最终倒闭的商业银行是相对确定的。且排除大型银行后，众多中小银行所引起的级联故障相较于全样本银行系统，倒闭家数更多、速度越快。因而，众多中小银行联合倒闭是否产生级联故障以及所产生的级联故障的程度独立于“大而不能倒”而存在。因而，规避传染源，降低救助成本是相关政策亟须考察的问题。

# 五、结束语

金融系统中的级联故障问题是系统性风险防范中亟待探讨的重要课题。在理论上，本文将偿还风险违约损失参数内生于网络，兼顾偿还风险和流动性风险传染渠道，构建了适合银行系统的级联故障理论模型。在实证上，本文运用2019年我国263家商业银行的数据，通过最大熵法探析我国银行间双边风险敞口，并在此基础上结合构建的级联故障理论模型，压力测试和对比分析了全样本银行和排除大银行后，共同冲击和特定银行倒闭等多情景下的级联故障结果。

本文研究发现：（1）当银行网络系统受到不利冲击后，中小银行相对于大银行所能承受的损失规模较小，且其破产故障边界的波动更小，更容易发生联合倒闭的情形，因而，对于中小银行联合倒闭的研究是十分有必要的。（2）相比于以大型银行倒闭为传染源，众多中小型银行联合倒闭所诱发的级联故障水平，同样随着资产折价率的增加而增加，且如若不加外力救助，级联故障的第二层均为大型国有银行，这说明我国商业银行系统存在“大而不能倒”的同时，也论证了“多而不能倒”的这一典型特征；（3）排除大型银行后，众多中小银行所引起的级联故障相较于全样本银行系统，其倒闭家数更多，倒闭速度越快。因而，众多中小银行的风险会呈现“涌现”现象，触发级联故障形成系统性风险，且众多中小银行联合倒闭所诱发的级联故障后果独立于“大而不能倒”。此外，银行受到共同冲击，系统性风险级联故障的传导程度与受到共同冲击系数和资产减值出售系数成正相关性，且排除大银行后，中小银行系统的级联故障程度更加严重。因此，增强对中小银行的有效监管，以及时精准切断级联故障传染中重度过载的连接，实现网络中风险的缓冲疏散和对抗吸收是十分必要的。

本文的研究为监管部门实施风险防控三道防线管理机制提供科学支持：第一，通过将偿还风险违约损失参数内生，构建银行系统级联故障模型，为日常审慎监管提供理论支撑；第二，在外部流动性冲击下导致金融系统风险上升，及时发现并解决问题，是第二道防线判别干预所必须的；第三，压力测试表明，中小银行联合倒闭的研究十分有必要，且我国存在“多而不能倒”这一典型事实，有助于第三道防线纾困救助的对比实施。因此，本文为金融稳定监管以及遭受危机银行的救助提供了理论依据。

对中小银行进行全局监管是“银行系统内部自律”的必要条件。一方面，就破解危机发生的根源来看，监管部门应综合有效控制防止破产故障银行资产折价率过低、外部流动性冲击过大的情形，适量将大型银行与中小银行联动以合理确定银行同业往来的规模，以破除中小银行发生集体性风险危机的根源，进而缓解我国金融系统中的级联故障危机。另一方面，从降低救助成本来看，目前外部救助对银行系统的改善主要作用于全国性的系统重要性银行的策略掩盖了这种金融稳定之下的救助成本高昂的问题，考虑到本文研究证实大型银行是众多中小银行倒闭的第一道防线，且中小银行的救助成本远远低于大型银行。因而，从降低救助成本出发，本文认为监管还应对城商行、农商行等中小银行进行严密关注以防止其经营失败产生的级联故障而导致系统性风险事件爆发。

参考文献：

陈湘鹏 等，2019：《微观层面系统性金融风险指标的比较与适用性分析——基于中国金融系统的研究》，《金融研究》第5期。

方意，2016：《系统性风险的传染渠道与度量研究——兼论宏观审慎政策实施》，《管理世界》第8期。

方意 陈敏，2019：《经济波动、银行风险承担与中国金融周期》，《世界经济》第5期。

范小云 荣宇浩 王博，2021：《我国系统重要性银行评估:网络层次结构视角》，《管理科学学报》第2期。

范小云 王道平 刘澜飚，2012：《规模、关联性与中国系统重要性银行的衡量》，《金融研究》第11期。

高国华 潘英丽，2012：《基于资产负债表关联的银行系统性风险研究》，《管理工程学报》第4期。

宫晓莉 熊熊 张维，2020：《我国金融机构系统性风险度量与外溢效应研究》，《管理世界》第8期。

李文泓，2003：《监管当局处理有问题银行所面临的两难选择》，《世界经济》第6期。

马君潞 范小云 曹元涛，2007：《中国银行间市场双边传染的风险估测及其系统性特征分析》，《经济研究》第1期。

隋聪 迟国泰 王宗尧，2014：《网络结构与银行系统性风险》，《管理科学学报》第4期。

王晓枫 廖凯亮 徐金池，2015：《复杂网络视角下银行同业间市场风险传染效应研究》，《经济学动态》第3期。

杨海军 胡敏文，2017：《基于核心-边缘网络的中国银行风险传染》，《管理科学学报》第10期。

杨子晖 李东承，2018：《我国银行系统性金融风险研究——基于“去一法”的应用分析》，《经济研究》第8期。

王占浩 郭菊娥 薛勇，2016：《资产负债表关联、价格关联与银行间风险传染》，《管理工程学报》第2期。

Allen, F. & D.Gale(2000), “Financial contagion”, *Journal of political economy* 108(1):1-33．

Buldyrev, S.V. et al(2010) , “Catastrophic cascade of failures in interdependent networks”, *Nature* 464(7291):1025-1028.

Brown, C.O. & I.S.Dinç(2011) , “Too many to fail? Evidence of regulatory forbearance when the banking sector is weak”, *Review of Financial Studies* 24(4):1378-1405.

Centola, D. & M.Macy(2007) , “Complex contagions and the weakness of long ties”, *American Journal of Sociology* 113(3):702-734.

Covi, G. et al(2021) , “CoMap: Mapping contagion in the euro area banking sector”, *Journal of Financial Stability* 53, https://doi.org/10.1016/j.jfs.2020.100814.

Diebold, F.X. & K.Yılmaz(2014), “On the network topology of variance decompositions: Measuring the connectedness of financial firms”, *Journal of Econometrics* 182(1):119-134.

Elliott, M. et al(2014), “ Financial networks and contagion”, *American Economic Review* 104(10):3115-3153.

Furlong, F.T. & M.C.Keeley(1989), “Capital regulation and bank risk-taking: A note”, *Journal of Banking & Finance* 13(6):883-891.

Gai，P. & S.Kapadia(2010) , “Contagion in financial networks”, *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 466(2120):2401-2423．

Hetzel, R.L.(1991), “Too big to fail: Origins, consequences, and outlook”, *FRB Richmond Economic Review* 77(6):3-15.

Huang, X. et al(2013) , “Cascading failures in Bi-partite graphs: Model for systemic risk propagation”, *Scientific Reports* 3, https://doi.org/10.1038/srep01219.

Leitner, Y.(2005) , “Financial networks: Contagion, commitment, and private sector bailouts”, *Journal of Finance* 60(6):2925-2953．

Karimi, F. & M.Raddant(2016) , “Cascades in real interbank markets”, *Computational Economics* 47(1):49-66．

Krause, A. & S.Giansante(2012), “Interbank lending and the spread of bank failures: A network model of systemic risk”, *Journal of Economic Behavior & Organization* 83(3):583-608.

Motter, A.E.(2004), “Cascade control and defense in complex networks”, *Physical Review Letters* 93(9), https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.93.098701.

Rogers, L.C. & L.A.Veraart (2013) , “Failure and rescue in an interbank network”, *Management Science* 59(4):882-898．

Upper, C. & A.Worms(2004) , “ Estimating bilateral exposures in the German interbank market: Is there a danger of contagion? ”, *European Economic Review* 48(4):827-849.

Watts, D.J.(2002), “A simple model of global cascades on random networks”, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99(9):5766-5771.

Wells, S.(2005) , “Financial interlinkages in the United Kingdom's interbank market and the risk of contagion”, Bank of England Working Paper, No. 230.

Zuccaro, G. et al(2019), “Theoretical model for cascading effects analyses”,*International Journal of Disaster Risk Reduction* 30:199-215.

Cascading Failures and Systemic Risk in China's Banking System

——“TMTF”and “TBTF”

FAN Xiaoyun RONG Yuhao DUAN Yuejiao

（Nankai University, Tianjin, China）

**Abstract:** While considering both of the credit risk and the liquidity risk, this paper generates loss given defaults through the interbank networks,then establishes a framework for modeling cascading failures in bank networks. Using this model, we quantified the size of common shocks and bank-specific liquidity shocks respectively with the data of 263 commercial banks in China. The study suggests that:(1) China's banking system is largely linked to the Too-Many-Too-Fail (TMTF) problem, independently with the Too-Big-Too-Fail (TBTF) problem.(2) Small and medium-sized banks are bounded by their own lower boundaries and less fluctuations than big banks, and they are more likely to fall into a joint bankruptcy. So it is of great practical significance to focus on these banks.(3) Big banks are the first line of defense for protecting the system compared to the other small banks, but the cost to rescue the latter banks are far lower. Striking a balance between TBTF and TMTF, we need pay attention to the small and medium-sized banks and avoid the sources of contagion, so that facilitate risk confrontation and absorption to provide lower-cost assistance and to prevent systemic risks.

**Keywords：**Systemic risk；Contagion network；Cascade failure；Multi-small and medium-sized banks

**附录A: 银行网络中系统性风险传染传导及作用机理**

银行系统内，遭受破产的冲击及传导通常来自于偿还冲击和流动性风险两方面，文章从这两个传导渠道出发，搭建银行网络系统级联故障模型框架。

首先，偿付风险冲击反映了一家银行破产对其他银行资产端的影响。具体而言，偿还风险传染渠道下的银行系统风险传染，初始于一家或多家银行发生信用违约甚至破产清算，而后风险将通过信用渠道在银行间网络传染，可能引发连锁反映，若伴随级联效应发生，传染不断增强，从而使得其他银行风险骤升甚至是破产。发生偿还风险冲击时，银行i由于违约银行j所遭受的损失，既取决于银行j持有银行i的资产，也取决于银行i持有银行j的负债。因此，基于银行i根据资产负债结构，量化偿还风险步骤如下：

假设风险冲击时，银行g发生了破产故障，为违约损失率，则银行的偿还风险损失记为。若银行i吸收了该损失，该银行资产负债结构由正文的公式（1）演变为：

 （1）

当新的资本值低于零时，银行i的资本不足以吸收破产故障导致的损失，银行i破产故障，进入技术性破产程序。如此，由于偿付风险渠道所导致的银行的损失超过了其资本，那么该银行破产倒闭可能性上升。如此循环，直至银行网络中面临技术性破产的银行数量停止增加。

其次，流动性风险传染及作用机理对于银行网络中系统性风险传导同样重要。流动性冲击对经济产生不利影响，迫使商业银行为避免陷入流动性危机或倒闭而抛售其资产，使得银行持有的资产减值，资产规模降低，可获取的流动性头寸减少。流动性头寸的下降，会进一步刺激银行抛售更多的资产以获取充足的流动性，形成“流动性螺旋”，导致银行资产遭受损失。若损失大于银行资本，则可能使原本状况良好的银行因折价出售资产反而陷入危机，并进一步引发新一轮的危机，直至倒闭银行数量停止增加，该冲击的传染终止。流动性冲击可通过资产价格渠道进行，一家银行从其他银行撤回资金，迫使它们通过折价出售资产。结合银行网络的流动性风险传染模型如下：

具体来说，对应于银行网络系统中个银行组成的集合N，相应的初始资产值为。资产的资产价格表示，是银行所持有的资产的原始份额（代表不同资产类别）。银行的资产负债表公式改写为：

 （2）

当流动性风险冲击发生时，假设商业银行必须按照一定的折价率低价出售其外部资产以满足其流动性需求。减值出售资产导致银行亏损，这种亏损将从资本中扣除。定义商业银行折价率为，减值出售后银行资产的价格由变为，。继而银行i资产端为：

 = （3）

从而简化得到银行资产负债表公式为：

 （4）

与偿付风险冲击一致，折价出售资产所形成的损失由资本吸收，因而银行的其他负债也会下降。当流动性风险冲击所形成的损失超过银行i的资本吸收能力时，银行i发生技术性破产故障。资产值的进一步恶化可能导致更多银行故障，并协同银行间的网络级联路径传递，可能使得新增的银行流动性被耗尽，剩余资产不足以弥补流动性缺口，诱发下一轮银行技术性破产故障，直至网络中技术性破产故障银行数量停止增加，破产级联故障进程终止。

**附录B:**

表4 中国工商银行倒闭后，银行网络系统内的级联故障传染

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 冲击级联层数 | 0.55 | 0.60 | 0.625 | 0.650 |
| 第一层 | 中国工商银行 | 中国工商银行 | 中国工商银行 | 中国工商银行 |
| 第二层 |  | 中国农业银行 | 中国农业银行中国邮储银行 | 中国农业银行中国邮储银行中国建设银行 |
| 第三层 |  | 中国建设银行中国银行中国邮储银行山东诸城农商行 | 中国建设银行中国银行山东诸城农商行 | 中国银行山东诸城农商行 |
| 第四层 |  | 福建长乐农商行 | 福建长乐农商行 | 福建长乐农商行 |
| 第五层 |  | 山东青州农商行 | 山东青州农商行 | 山东青州农商行 |
| 第六层 |  |  | 交通银行 | 交通银行 |
| 第七层 |  |  |  | 招商银行 |

表5 中国工商银行倒闭后，银行网络系统内的级联故障传染

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 冲击级联层数 | 0.5 | 0.5275 | 0.55 | 0.65 |
| 第一层 | 30家中小银行 | 30家中小银行 | 30家中小银行 | 30家中小银行 |
| 第二层 |  | 中国工商银行 | 中国工商银行 | 中国工商银行中国建设银行中国农业银行中国邮储银行 |
| 第三层 |  | 中国银行中国建设银行中国农业银行中国邮储银行山东诸城农商行 | 中国银行中国建设银行中国农业银行中国邮储银行山东诸城农商行 | 中国银行山东诸城农商行山东青州农商行福建长乐农商行 |
| 第四层 |  | 山东青州农商行福建长乐农商行 | 山东青州农商行福建长乐农商行 | 福建福清汇通农商行 |
| 第五层 |  | 福建福清汇通农商行 | 福建福清汇通农商行 | 江西新建农商行 |
| 第六层 |  | 江西新建农商行 | 江西新建农商行 | 交通银行 |
| 第七层 |  | 交通银行 | 交通银行 | 招商银行安徽太和农商行 |
| 第八层 |  | 安徽太和农商行 | 招商银行安徽太和农商行 |  |
| 第九层 |  | 招商银行 |  |  |

表6 100家中小银行银行网络系统内的级联故障传染

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 冲击级联层数 | 0.45 | 0.475 | 0.55 | 0.6 |
| 第一层 | 100家中小银行 | 100家中小银行 | 100家中小银行 | 100家中小银行 |
| 第二层 |  | 山东诸城农商行 | 中国工商银行山东诸城农商行 | 中国工商银行中国农业银行山东诸城农商行 |
| 第三层 |  | 中国工商银行中国建设银行中国农业银行中国邮储蓄银行 | 中国工商银行中国建设银行中国农业银行中国邮储蓄银行 | 中国建设银行中国银行股份中国邮储银行福建长乐农商行 |
| 第四层 |  | 中国银行股份山东青州农商行福建长乐农商行 | 福建福清汇通农商行 山东青州农商行福建长乐农商行江西新建农商行 | 福建福清汇通农商行山东青州农商行江西新建农商行 |
| 第五层 |  | 福建福清汇通农商行 江西新建农商行 |  |  |

表7 30家中小银行联合倒闭的级联故障传染（排除大银行）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 冲击级联层数 | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.225 |
| 第一层 | 30家中小银行延边农商行 | 30家中小银行延边农商行山东青州农商行山东寿光农商行福建福清汇通农商行山东诸城农商行贵州乌当农商行安徽太和农商行福建长乐农商行江西新建农商行贵州清镇农商行 | 30家中小银行延边农商行山东青州农商行山东寿光农商行福建福清汇通农商行山东诸城农商行贵州乌当农商行安徽太和农商行福建长乐农商行江西新建农商行贵州清镇农商行安徽濉溪农商行 | 30家中小银行延边农商行山东青州农商行山东寿光农商行福建福清汇通农商行山东诸城农商行贵州乌当农商行安徽太和农商行福建长乐农商行江西新建农商行贵州清镇农商行 |
| 第二层 | 山东青州农商行 | 安徽濉溪农商行 |  | 浙江青田农商行 |

表8 100家中小银行联合倒闭的级联故障（排除大银行）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 冲击级联层数 | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.265 |
| 第一层 | 100家中小银行延边农商行山东青州农商行山东寿光农商行福建福清汇通农商行山东诸城农商行浙江江山农商行贵州乌当农商行浙江青田农商行安徽太和农商行安徽濉溪农商行福建长乐农商行江西新建农商行浙江三门农商行贵州清镇农商行 | 100家中小银行延边农商行山东青州农商行山东寿光农商行福建福清汇通农商行山东诸城农商行浙江江山农商行贵州乌当农商行浙江青田农商行安徽太和农商行安徽濉溪农商行福建长乐农商行江西新建农商行浙江三门农商行贵州清镇农商行 | 100家中小银行延边农商行山东青州农商行山东寿光农商行福建福清汇通农商行山东诸城农商行浙江江山农商行贵州乌当农商行浙江青田农商行安徽太和农商行安徽濉溪农商行福建长乐农商行江西新建农商行浙江三门农商行贵州清镇农商行 | 100家中小银行延边农商行山东青州农商行山东寿光农商行福建福清汇通农商行山东诸城农商行贵州乌当农商行安徽太和农商行福建长乐农商行江西新建农商行贵州清镇农商行 |
| 第二层 |  |  |  | 朝阳银行 |

**附录C:**

表9 30家中小银行

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 银行名称 | 序号 | 银行名称 |
| 1 | 北京银行股份有限公司 | 16 | 厦门国际银行股份有限公司 |
| 2 | 广发银行股份有限公司 | 17 | 广州农村商业银行股份有限公司 |
| 3 | 上海银行股份有限公司 | 18 | 锦州银行股份有限公司 |
| 4 | 江苏银行股份有限公司 | 19 | 中原银行股份有限公司 |
| 5 | 浙商银行股份有限公司 | 20 | 天津银行股份有限公司 |
| 6 | 南京银行股份有限公司 | 21 | 长沙银行股份有限公司 |
| 7 | 宁波银行股份有限公司 | 22 | 哈尔滨银行股份有限公司 |
| 8 | 徽商银行股份有限公司 | 23 | 广州银行股份有限公司 |
| 9 | 渤海银行股份有限公司 | 24 | 贵阳银行股份有限公司 |
| 10 | 重庆农村商业银行股份有限公司 | 25 | 成都银行股份有限公司 |
| 11 | 杭州银行股份有限公司 | 26 | 重庆银行股份有限公司 |
| 12 | 盛京银行股份有限公司 | 27 | 郑州银行股份有限公司 |
| 13 | 北京农村商业银行股份有限公司 | 28 | 东莞农村商业银行股份有限公司 |
| 14 | 上海农村商业银行股份有限公司 | 29 | 江西银行股份有限公司 |
| 15 | 大连银行股份有限公司 | 30 | 深圳农村商业银行股份有限公司 |

表10 100家中小银行

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 银行名称 | 序号 | 银行名称 |
| 1 | 北京银行股份有限公司 | 51 | 富滇银行股份有限公司 |
| 2 | 广发银行股份有限公司 | 52 | 龙江银行股份有限公司 |
| 3 | 上海银行股份有限公司 | 53 | 晋商银行股份有限公司 |
| 4 | 江苏银行股份有限公司 | 54 | 厦门银行股份有限公司 |
| 5 | 浙商银行股份有限公司 | 55 | 杭州联合农村商业银行股份有限公司 |
| 6 | 南京银行股份有限公司 | 56 | 广西北部湾银行股份有限公司 |
| 7 | 宁波银行股份有限公司 | 57 | 浙江稠州商业银行股份有限公司 |
| 8 | 徽商银行股份有限公司 | 58 | 广东华兴银行股份有限公司 |
| 9 | 渤海银行股份有限公司 | 59 | 温州银行股份有限公司 |
| 10 | 重庆农村商业银行股份有限公司 | 60 | 张家口银行股份有限公司 |
| 11 | 杭州银行股份有限公司 | 61 | 威海市商业银行股份有限公司 |
| 12 | 盛京银行股份有限公司 | 62 | 台州银行股份有限公司 |
| 13 | 北京农村商业银行股份有限公司 | 63 | 四川天府银行股份有限公司 |
| 14 | 上海农村商业银行股份有限公司 | 64 | 廊坊银行股份有限公司 |
| 15 | 厦门国际银行股份有限公司 | 65 | 重庆三峡银行股份有限公司 |
| 16 | 广州农村商业银行股份有限公司 | 66 | 浙江泰隆商业银行股份有限公司 |
| 17 | 锦州银行股份有限公司 | 67 | 广东南粤银行股份有限公司 |
| 18 | 中原银行股份有限公司 | 68 | 珠海华润银行股份有限公司 |
| 19 | 天津银行股份有限公司 | 69 | 江苏紫金农村商业银行股份有限公司 |
| 20 | 长沙银行股份有限公司 | 70 | 广东南海农村商业银行股份有限公司 |
| 21 | 哈尔滨银行股份有限公司 | 71 | 江苏常熟农村商业银行股份有限公司 |
| 22 | 广州银行股份有限公司 | 72 | 浙江萧山农村商业银行股份有限公司 |
| 23 | 贵阳银行股份有限公司 | 73 | 吉林九台农村商业银行股份有限公司 |
| 24 | 成都银行股份有限公司 | 74 | 邯郸银行股份有限公司 |
| 25 | 重庆银行股份有限公司 | 75 | 营口银行股份有限公司 |
| 26 | 郑州银行股份有限公司 | 76 | 赣州银行股份有限公司 |
| 27 | 东莞农村商业银行股份有限公司 | 77 | 日照银行股份有限公司 |
| 28 | 江西银行股份有限公司 | 78 | 阜新银行股份有限公司 |
| 29 | 深圳农村商业银行股份有限公司 | 79 | 天津滨海农村商业银行股份有限公司 |
| 30 | 大连银行股份有限公司 | 80 | 福建海峡银行股份有限公司 |
| 31 | 贵州银行股份有限公司 | 81 | 无锡农村商业银行股份有限公司 |
| 32 | 江苏江南农村商业银行股份有限公司 | 82 | 沧州银行股份有限公司 |
| 33 | 吉林银行股份有限公司 | 83 | 乌鲁木齐银行股份有限公司 |
| 34 | 青岛银行股份有限公司 | 84 | 浙江民泰商业银行股份有限公司 |
| 35 | 东莞银行股份有限公司 | 85 | 宁夏银行股份有限公司 |
| 36 | 河北银行股份有限公司 | 86 | 潍坊银行股份有限公司 |
| 37 | 华融湘江银行股份有限公司 | 87 | 宁波鄞州农村商业银行股份有限公司 |
| 38 | 九江银行股份有限公司 | 88 | 佛山农村商业银行股份有限公司 |
| 39 | 苏州银行股份有限公司 | 89 | 承德银行股份有限公司 |
| 40 | 青岛农村商业银行股份有限公司 | 90 | 莱商银行股份有限公司 |
| 41 | 兰州银行股份有限公司 | 91 | 柳州银行股份有限公司 |
| 42 | 昆仑银行股份有限公司 | 92 | 长沙农村商业银行股份有限公司 |
| 43 | 甘肃银行股份有限公司 | 93 | 齐商银行股份有限公司 |
| 44 | 广东顺德农村商业银行股份有限公司 | 94 | 绍兴银行股份有限公司 |
| 45 | 天津农村商业银行股份有限公司 | 95 | 辽阳银行股份有限公司 |
| 46 | 桂林银行股份有限公司 | 96 | 厦门农村商业银行股份有限公司 |
| 47 | 齐鲁银行股份有限公司 | 97 | 江苏江阴农村商业银行股份有限公司 |
| 48 | 长安银行股份有限公司 | 98 | 江苏苏州农村商业银行股份有限公司 |
| 49 | 西安银行股份有限公司 | 99 | 中山农村商业银行股份有限公司 |
| 50 | 洛阳银行股份有限公司 | 100 | 海口农村商业银行股份有限公司 |

**附录C:**

级联算法步骤详情：

（i）输入数据：外部资产数据、存款总额、银行名称、银行间双边敞口数据、银行间同业负债占总资产比例、冲击系数/指定银行倒闭

（ii）求得网络级联路径矩阵C；

（ii）求得相依矩阵A（） ；

（iii）计算违约成本；

（iv）级联动态算法：

在步骤中，代表的一组违约银行，初始设置，具体步骤如下：

①是带有元素的向量，如果，否则为0；

②是输入资产后，使所有下列向量的值为负数的集合：；

③如果=，则程序结束；否则返回第一步。

当该算法终止于步骤(给定的有限个银行数目)时，集合对应于均衡状态下的违约银行集合。

（v）输出数据：倒闭银行

1. \* 范小云、荣宇浩、段月姣，南开大学金融学院，邮政编码：300350，电子邮箱：fanxiaoyun@vip.sina.com，rongyuhao@mail.nankai.edu.cn，dyj417@163.com。基金项目：国家社会科学基金重大项目“基于结构性数据分析的我国系统性金融风险防范体系研究（17ZDA074）”、教育部人文社会科学研究青年基金项目（21YJC790067）。感谢匿名审稿专家的宝贵建议，文责自负。 [↑](#footnote-ref-1)
2. 例如，电力系统出现级联故障。电力传输系统中，元件可用复杂网络中的节点表示，大量元件以不同的连接方式相互连接作用形成异构网络，恶劣天气、电路老化会导致某一个或多个元件故障而无法传输功率，使得系统中电流按照电路定律重新分配给其他正常元件，可能引发其他正常元件过载而崩溃，致使电路中正常的元件也发生故障。 [↑](#footnote-ref-2)
3. 篇幅所限，具体推导过程备索。 [↑](#footnote-ref-3)
4. $R=E+DD=CσV-(I-\hat{C})σV+Dp-DD=(C-I+\hat{C}))σV+Dp-DD=(C-I+\hat{C}))σ（I-Cσ）^{-1}Dp+Dp-DD=(I-σ+\hat{C}σ)（I-Cσ）^{-1}Dp+Dp-DD$ [↑](#footnote-ref-4)
5. 30家和100家商业银行的名称因篇幅所限，备索。 [↑](#footnote-ref-5)
6. 篇幅所限，本部分仿真模拟结果备索。 [↑](#footnote-ref-6)