

# 信用贷款风险中反向 CDS 协议设计与定价模型<sup>①</sup>

庞素琳<sup>1,2</sup>, 王立<sup>1,2</sup>

(1. 暨南大学应急管理学院/管理学院金融工程研究所, 广州 510632;  
2. 广东省公共网络安全风险评价与预警应急技术研究中心, 广州 510632)

**摘要:** 在信用违约互换(CDS 协议)的基础上,提出了反向信用违约互换(RCDS)协议,以规避信用贷款风险.首先定义反向 CDS 协议,然后对反向 CDS 协议的定价合约进行设计,探讨反向 CDS 协议的风险“囚禁”原理;并在无套利的原则下,建立了含有未知违约概率的反向 CDS 协议定价模型;再进一步通过假设贷款企业的资产价值运动由一个布朗运动和若干个互相独立的泊松过程合成的复合泊松过程,在风险中性测度下,建立了资产价值运动的布朗运动和复合泊松过程随机微分方程,以此求出违约概率,并最终求出反向 CDS 协议定价公式.最后,通过数值分析,讨论了信用贷款利率、反向 CDS 价格、贷款期限、违约概率以及初始资产与违约边界之比等因素之间的相互影响关系,给出了相应风险规避方法的结论和建议.本文研究对实际应用具有很好的参考价值.

**关键词:** 信用违约互换(CDS); 反向 CDS 协议; 定价模型; 违约概率; 布朗运动; 复合泊松过程  
**中图分类号:** F830 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2016)06-0114-11

## 0 引言

在现代社会的经济体系中,银行等金融中介机构有着不可或缺的重要作用.一般来说,银行金融风险主要存在于贷款业务中,而贷款业务又分为有担保的贷款(如抵押贷款、质押贷款)和无担保的信用贷款.近年来随着我国中小企业地迅猛发展,灵活多变的信用贷款也得到广大中小企业的喜爱,具有很大的发展潜力.但是,信用贷款存在严重的信息不对称问题,贷款企业的真实信用水平和贷款企业的运作状况等信息,都只有企业管理层能有较为充分地了解,而银行则对此缺乏了解.如果银行错误地高估了企业的真实信用水平,或者是企业的信用状况突然发生变化,银行都有可能受到损失.加上银行的工作人员为了能完成贷款任务,有些不良的中介公司为了牟利,而为

企业进行不合法地“包装”,如为企业做假订单、假合同和假的资产证明等来取得贷款,导致银行风险控制部门无法判断企业的真实情况,更加增大了不良贷款率.这样就迫使银行不断提高信用贷款的利率和设置较高的贷款条件来保证它的收益,也使得有优质项目的中小企业难以满足高的贷款门槛和贷款利率而无法进入信贷市场,从而使信用贷款市场产生“逆向选择”的困境.

银行在管理其各类贷款的过程中,通常会用信用违约互换(CDS)协议来分散贷款风险,从银行个体来说,风险在一定程度上转移了,但这种方法并没有降低整个信贷市场中的风险,反而让风险更加难于控制和管理.因此,本文提出在信用贷款合同中,设计一个出售给贷款企业管理层的“反向”CDS 协议,通过这个协议绑定企业管理层

① 收稿日期: 2015-03-26; 修订日期: 2015-12-25.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71173089); 广东省科技计划资助项目(1311220800027; 2016A020224001). 本文入选“第十二届金融系统工程与风险管理年会”优秀论文(山西大学, 2014年8月).

作者简介: 庞素琳(1963—),女,广西柳州人,博士,教授,博士生导师. Email: pangsulin@163.com

与银行的利益,从而促使管理层谨慎地贷款和使用信用贷款,积极地去运作贷款,并在出现信用贷款违约的情况下尽可能地减少贷款损失。从长期作用来看,这也是促进银企长期持续合作,不断降低信用贷款门槛,优化资源配置,让金融更好地服务于社会生产的一种实现方式。

在国际上, Merton<sup>[1]</sup>建立了信用风险定价模型的基本框架,用公司资本价值的变化来表示公司的违约状况,奠定了信用风险管理的理论基础。Manove 和 Padilla<sup>[2,3]</sup>研究贷款担保与违约率的关系,发现高的贷款担保与高的违约率具有高的相关度。Stango<sup>[4]</sup>通过对信用卡市场风险的研究,给出通过顾客的消费转化成本的定价方法。Beatty 等<sup>[5]</sup>则发现业绩定价贷款合同与贷款契约之间有很大的互补性。Stein<sup>[6]</sup>则通过讨论违约风险和预期利润的关系,建立了基于成本定价模式的模型。Jankowitsch 等<sup>[7]</sup>在简约式信用风险模型不能够同时精确地定价两个基本的信用风险工具即债券和信用违约掉期(CDS)的假设下,通过使用以欧元计价的公司债券和 CDS 数据集以及校准这些债券数据的模型,来确定定价误差。利用这个模型来对 CDS 进行定价,结果导致模型误差达到 50%,定价低于市场预测值。他们建立了一个扩展模型,该模型包含交付一篮子债券交割违约的 CDS 合约,通过使用一组常量的回收率标准模型,假设等于所有债券和所有支付选择权的回收率,然后对两个模型进行了比较研究,以此改进原来模型定价的误差。Wu 等<sup>[8]</sup>在回收率是随机的且遵循具有一致的延迟时间的不同的 Copula 函数的假设下,他们提出了一个仿真算法对第  $N$  个 CDS 进行定价。根据模拟定价的仿真结果,第  $N$  个 CDS 的价格在恒定的回收率、随机独立的回收率和 Copula 结构回收率的条件下是不同的。Amert 等<sup>[9]</sup>研究了信用违约掉期(CDS)溢价和债券收益率利差在 9 个新兴市场主权借款人之间的关系。研究结果发现,由于诸如流动性和合同规范等因素的影响,信用风险的这两个测量工具在短期内偏离较大,他们对大多数国家稳定的长期均衡关系进行了估计。特别是,CDS 保费比一对一收益利差更波动,通过短期动态分析发现 CDS 保费常变化到债券市场之首。Liu 等<sup>[10]</sup>研究美国国内利率或汇率是否会影响主权信用违约掉期。他

们关于企业 CDS 市场大多数的研究都强调诸如利率这样因素的重要性。Chiaromonte 等<sup>[11]</sup>基于中端和顶级国际活跃银行的 5 年期优先 CDS 样本,探讨了信用违约掉期(CDS)利差的决定因素以及 CDS 利差是否可被认为是银行业绩的好代表性。他们具体分析包括三个时间段:危机前的期间(2005 年 1 月 1 日—2007 年 6 月 30 日),危机期间(2007 年 7 月 1 日—2009 年 3 月 31 日)和后危机时期(2009 年 4 月 1 日—2011 年 6 月 30 日),并且重点关注个别银行资产负债比率。实证分析的结果表明,银行 CDS 利差,无论是在金融危机前的时期,还是在危机中的时期,通过银行资产负债平衡表都反映了风险被囚禁。Gökgöz 等<sup>[12]</sup>研究发现,监管机构、银行和其他市场参与者意识到了信用风险的真实评估比美国信贷紧缩后的事前评估更为重要和复杂。因此,他们通过现金流量折现法与两个先驱结构性信用风险模型(Merton 模型和具有常系数的 Black-Cox 模型)研究了一个称为 CDS 的定价。

我国牛锡明<sup>[13]</sup>根据银行的筹资成本、直接与间接费用和贷款利润率等因素为主体建立了确定贷款利率的基本模型。王俊寿<sup>[14]</sup>从企业负债及股权成本、违约损失概率和企业信息不对称这三个角度出发,比较了不同的贷款定价模型,对商业银行不同的贷款定价模型进行比较研究。杨文瀚等<sup>[15]</sup>通过假设市场风险和信用风险具有线性相关性,在交易双方互不违约的情况下建立了基于某一个参照信用的标准信用违约互换和远期信用违约互换的简约定价模型,然后以公司的相关数据为样本,对标准信用违约互换模型进行了实证检验。检验结果表明,由模型模拟的价差期限结构与实际报价的价差期限结构具有高度相似性。么向华等<sup>[16]</sup>将风险债券定价问题进行分解,建立了基于简约型方法的贷款定价模型。詹原瑞等<sup>[17]</sup>在分析了不同 Copula 函数的特点基础上并结合信用风险模型,建立了信用违约互换组合(basket credit default swap)定价模型,研究信用违约互换组合风险及商业银行的不良贷款和流动性过剩等问题。过蓓蓓等<sup>[18]</sup>利用 CDS 欧洲指数每日中间价,建立价差日改变变量的马尔科夫结构转换模型,以捕捉金融事件对违约风险的影响,将此结构转换模型应用到标准化抵押债务证券(CDO)权益

分券的定价中,得到修正后的结合市场环境的分券价格.他们还建立了适应市场环境的定价及风险监控模型,对次贷危机进行分析.王安娇等<sup>[19]</sup>(在约化模型的框架下,采用双曲衰减违约传染模型来研究三个公司具有交易对手违约风险的信用违约互换(CDS)定价问题;通过引入一种几何双曲类型的衰减函数表示一方违约对另外两方违约强度的影响,研究了三种风险资产的传染效应;再通过测度变换,对一类特殊的双曲衰减违约传染模型进行研究,给出了这三个公司违约时间的联合密度函数,和完全市场下无套利定价公式对CDS的保护费率.迟国泰和隋聪<sup>[20]</sup>则采用逆向求解DEA效率的思路,以Malmquist指数为工具,通过过去银行的DEA效率,推导未来贷款时段可达的最大未来DEA效率,从而进行贷款定价,解决了贷款时段的利率与贷款时段的可达效率相对应的问题.庞素琳<sup>[21]</sup>研究了违约风险下的信贷决策模型与机制,通过以银行个体合理性和激励相容性作为约束条件,建立了在考虑违约风险和项目成功概率条件下的信贷决策模型,分别给出了基于抵质押贷款和信用贷款策略下的信贷决策机制,探讨了信贷配给机制与无配给机制的设计方法,给出了在信贷出现配给时银行发放信用贷款和有抵质押贷款的条件.龚朴等<sup>[22]</sup>基于前人研究结果的基础之上,提出了一种基于违约相关性矩阵的多因子变方差的重要性抽样算法,该算法通过主成分分析选择违约结构中的占优成分并扩大其方差来实现.数值算例证明了该方法在信用组合遭遇极值事件时,能够提高模拟效率及计算精度,具有一定的计算优势.杨星等<sup>[23]</sup>在分析交易对手违约的基本信用事件基础上,运用生存分析技术研究了交易对手信用违约事件对信用违约互换合约价格的影响.其研究表明,不同的信用事件对信用违约互换合约的价格是有影响的,包含考虑交易对手违约事件的信用违约互换价格比不包含时会更低;参考资产和卖方违约的相关性在信用衍生品的定价中至关重要,无论相关系数为正或为负,都会影响到信用违约互换的合理估值.梁进等<sup>[24]</sup>研究含多交易对手信用违约互换(CDS)产品的交易对手估值调整(CAV)计算模型,在约化模型的框架下,利用单因子(反)Cox-Ingersoll-Ross模型来刻画交易对手和参考公

司的违约正(负)相关性,得到了一个由耦合的非线性偏微分方程组来表达交易对手估值调整计算模型,并用迭代的算法求解分析,比较了标准的交易对手估值调整的值.牛伟华<sup>[25]</sup>考虑作为风险因素的利率的跳跃,以研究信用衍生品的定价问题,通过考虑影响信用衍生品参考债务实体违约概率相应的违约强度,在线性—二次跳跃—扩散框架下给出了一般定价模型,并可通过Riccati方程组对其进行求解,最后在特定的随机过程下将所得定价模型应用在CDS上,并给出定价公式的显性表达式.周宏等<sup>[26]</sup>以期权定价与现金流贴现理论为基础,剖析了企业债券信用风险定价模型的产生及发展的原因,并对近年来国内外3种主流的信用风险定价模型系统(即结构模型、强度模型和混合模型)进行了系统的述评,通过从不同角度对3种模型进行扩展与比较分析,阐述了3种定价模型的优势和不足.

本文在现有CDS的基础上,创新提出反向CDS,给出反向CDS的设计原理与定价方法,建立反向CDS模型,推导出反向CDS定价公式.

## 1 反向CDS协议设计

### 1.1 反向CDS协议

在信贷市场中,信用违约互换(credit default swap,CDS)协议是指:在信用违约互换交易中,希望规避信用风险的一方(银行)称为信用保护买方,向信用风险规避方提供信用保护的一方(第三方投资者)称为信用保护卖方.信用保护买方(银行)将定期向信用保护卖方(第三方投资者)支付一定的费用.一旦出现信用违约风险时,信用保护卖方(第三方投资者)将承担信用违约损失债务,向信用保护买方(银行)代偿信用违约损失资金,从而使信用保护买方(银行)有效规避信用风险.信贷市场中的CDS协议如图1所示.

从图1中看出,在CDS协议中,贷款企业是通过从银行获得贷款资金,把投资风险转嫁给银行.而银行则通过以这类贷款作为信用资产,再将风险转嫁给第三方投资者,比如保险公司.一般情况下,第三方投资者(如保险公司)与贷款企业是没有任何关系的,当然这里更主要指两者之间的

利益关系 如图 2 所示.

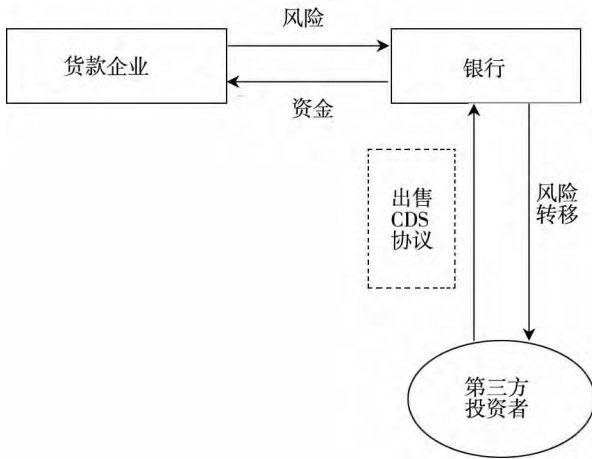


图 1 信用违约互换(CDS)协议  
Fig. 1 Credit default swap (CDS) agreement

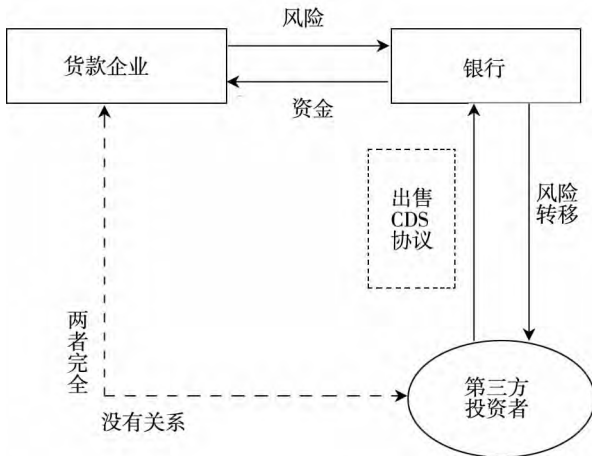


图 2 第三方投资者与贷款企业没有利益关系  
Fig. 2 No interests relationship between third party investors and loan companies

CDS 协议核心的含义是: 银行要把贷款风险转嫁给第三方投资者, 就必须购买由第三方投资者出售的一种称之为 CDS 协议的合约, 即银行与第三方投资者要签订一份 CDS 协议合约, 银行按合约向第三方投资者定期或一次性支付相应的信用违约保护费. 一旦企业发生信用违约风险, 则由第三方投资者向银行代付合约中规定的贷款违约比例金额. 这就是银行通过 CDS 协议将贷款风险分散给第三方投资者的原理.

本文利用信贷市场信用违约互换(CDS)的原理, 设计提出一种反向信用违约互换(reverse credit default swap, 简称为反向 CDS 或 RCDS). 其基本思想是: 银行为了规避贷款企业的信用风险,

将贷款信用风险直接转移给贷款企业管理层, 让贷款企业管理层承担其企业贷款的信用风险. 因此, 银行和贷款企业管理层之间需要签订一份称为反向信用违约互换协议(简称 RCDS 协议或反向 CDS 协议), 用来改进原有信用违约互换(CDS)在信用风险管理方面的不足, 以进一步降低企业贷款的信用违约风险.

在本文的研究中, 寻求规避信用风险的一方(银行)同样称为信用保护买方, 为承担信用风险而提供信用保护的一方(企业管理层)同样称为信用保护卖方. 因此, 在反向 CDS 协议中, 银行将贷款信用风险转移给贷款企业管理层, 贷款企业管理层则向银行出售一份反向 CDS 协议(或 RCDS), 以作为承担信用风险的补偿(正补偿或负补偿). 信贷市场中的反向 CDS 协议原理如图 3 所示.

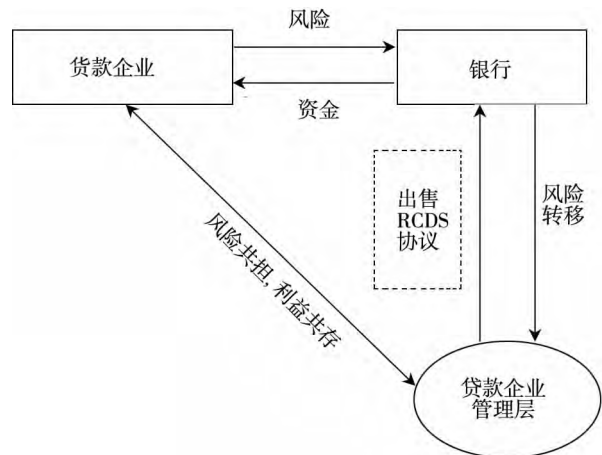


图 3 反向信用违约互换(RCDS)协议  
Fig. 3 Reverse credit default swap (RCDS) agreement

### 1.2 风险“囚禁”原理

在本文的研究中, 反向 CDS 协议的核心含义为银行把贷款风险直接转嫁给企业管理层, 银行通过与企业管理层签订一份反向 CDS 协议来对企业还款行为进行正向约束(即朝着努力还款的方向约束). 因此, 无论是从企业管理层需要承担信用违约债务的一定比例赔偿责任来看, 还是从如期如数偿还银行贷款获得奖励来看, 都会使企业管理层认真经营项目, 努力管理资金, 使项目向顺利完成的方向努力和发展, 最大限度地减少信用风险的发生. 因此, 企业管理层与企业两者之间是相互积极影响, 盈亏共存. 在反向 CDS 协议, 企业管理层与贷款企业的正向关系如图 4 所示.

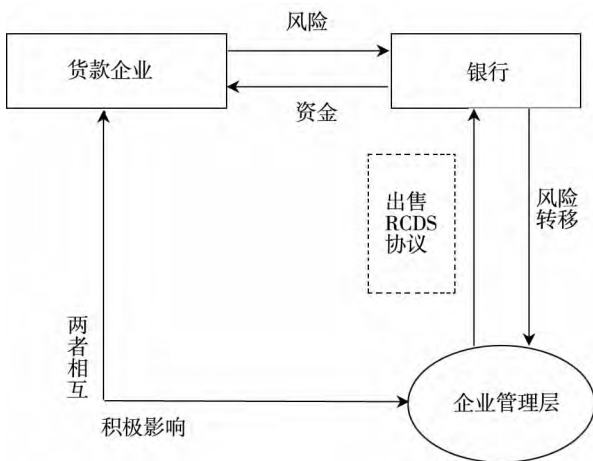


图4 企业管理层与贷款企业的正向关系(RCDS协议)

Fig. 4 The positive relationship between enterprise management and loan enterprises(RCDS agreement)

由图4知,由于银行是把贷款风险让企业管理层承担,因而给企业管理层一种还款的约束力,迫使企业在贷款申请时自动有效消除道德危害的风险,并使企业管理层认真管理和运营贷款资金,从而使贷款风险被“囚禁”在银行、贷款企业和企业管理层的一个闭环系统中,不会向外分散和扩散,真正达到风险管理的目的。反向CDS协议的风险“囚禁”如图5所示。

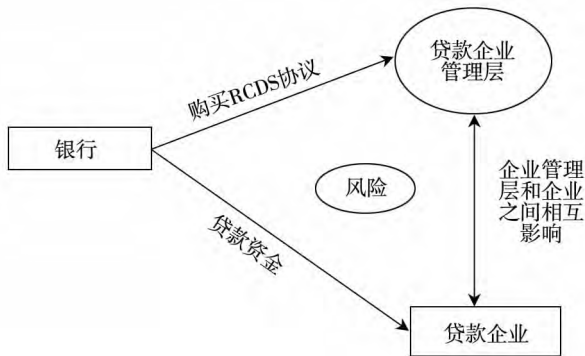


图5 反向CDS协议的风险“囚禁”

Fig. 5 The risk "captive" of reverse CDS agreement

由图5知,本文设计的反向CDS协议绑定了银行、贷款企业和企业管理层三者之间的风险和利益关系,在三者之间形成风险共担、利益共存的格局,迫使企业管理层为了避免出现由于企业信用违约风险而产生的赔付给个人造成“纯损”的风险,同时也为了获得贷款一旦运作成功所获得的银行“奖励”,企业管理层将会更加坦诚地与银行合作,在工作中付诸坚实的努力!比如通过采取各种有效的措施,加大资金管理和监督力度,最

大限度地降低投资成本,做好应收帐款和财务风险的管理等等,对企业和项目施以正面积积极的影响,提高项目投资成功率。而且,哪怕由于市场种种客观的原因造成项目失败的情况下,也会积极挽回损失,尽最大努力提高贷款的实际回收率,以降低个人赔付成本风险。

由此可见,本文设计的反向CDS协议的核心意义不在于分散和转移信用违约风险,而在于要找到信用风险源,通过设计有效的奖惩机制把风险源控制住,以减少企业的信息不对称,达到从源头控制企业贷款风险和过滤掉不合格贷款企业的目的。

## 2 反向CDS协议的定价模型

### 2.1 变量假设

在反向CDS协议中,银行在给企业贷款的同时,作为一个放款的附带条件,银行要求企业管理层对贷款资金进行反担保,并且按贷款资金一定的比例反担保。一方面,一旦出现信用违约风险时,企业管理层需要对银行贷款资金承担一定比例的损失作为对银行的补偿;另一方面,如果企业不违约,能如期如数偿还贷款,则银行将对企业管理层进行一定比例的奖励。因此,本文特别设定:企业管理层对银行的补偿比例(发生违约时)和银行对企业管理层的奖励比例(不发生违约时)。

假设企业向银行申请的贷款资金为  $F$ , 银行贷款利率为  $R$ , 无风险利率为  $r_0$ , 反向CDS协议的期限为  $T$ , 企业的违约概率为  $p$ , 故不违约的概率为  $1 - p$ , 在发生违约条件下银行贷款资金的回收率(或清偿率)为  $\delta$ , 此时银行贷款资金的损失为  $(1 - \delta)F$ ; 进一步假设企业管理层对银行贷款资金损失的补偿率为  $k$ , 银行对企业管理层奖励的固定支付率为  $s$ ,  $V(t)$  为企业贷款资产在  $t$  时刻的价值,  $L$  为企业贷款资产违约的边界值, 即当  $V(t) \leq L$  时认定为违约; 布朗运动的资产波动率为  $\sigma$ , 违约边界与初始资产之比为  $l, l = \frac{L}{V(t)}$ 。

由于企业管理层对银行贷款资金损失的补偿率为  $k$ , 因此在企业发生违约时, 企业管理层对银行的补偿资金为  $k(1 - \delta)F$ , 从而银行实际损失的金额为  $(1 - \delta)(1 - k)F$ 。这就相当于银行与企业

业共同承担了贷款资金的损失风险,如图 6 所示。

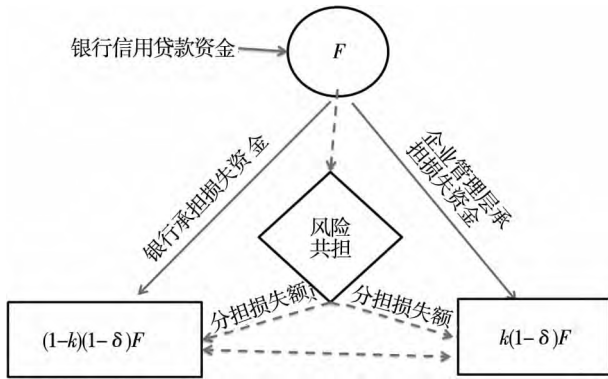


图 6 银行与企业管理层共同承担贷款资金风险

Fig. 6 Bank and enterprise management to bear the risk of loan funds

在本文设计中,银行以该贷款为信用资产设计针对贷款企业管理层的反向信用违约互换(RCDS)协议,向贷款企业管理层购买资产本金



图 7 反向 CDS 协议规则设计

Fig. 7 Reverse CDS agreement rule design

## 2.2 定价模型

下面,考虑反向信用违约互换协议依托于信用贷款而存在,它的购买者和补偿比例与普通的 CDS 也是不同的,但是它作为一种金融工具,仍然要满足无套利原则,即初始的现值为 0,那么银行在拥有反向 CDS 协议时总损益的现值要等于未拥有反向 CDS 协议时的总损益,于是得到反向 CDS 协议的无套利原则如下:

无套利原则:假设  $Q_1$  表示银行在拥有反向 CDS 协议时总损益的现值,  $Q_2$  表示银行未拥有反向 CDS 协议时总损益的现值, 则  $Q_1 = Q_2$  .

1) 当银行拥有反向 CDS 协议时,银行贷款资金的总损益现值  $Q_1$  包括以下 4 项:未违约部分的贷款资金收益贴现  $(1-p)Fe^{-(R-r_0)T}$ 、违约部分清偿后的资金收益贴现  $p\delta Fe^{-r_0T}$ 、违约未清偿部分的补偿费用贴现  $kp(1-\delta)Fe^{-r_0T}$ 、未违约部分支出的奖励费用贴现  $(1-p)sFe^{-r_0T}$  . 于是,银行贷款资金的总损益现值  $Q_1$  的数学表达式为

$$Q_1 = (1-p)Fe^{-(R-r_0)T} + p\delta Fe^{-r_0T} + kp(1-\delta)Fe^{-r_0T} - (1-p)sFe^{-r_0T} \quad (1)$$

2) 当银行未拥有反向 CDS 协议时,银行贷款

为  $F$  的反向信用违约互换. 因此,该反向 CDS 协议的规则设计如下:

1) 若企业不发生违约,则信用违约互换买方(银行)在合约到期日  $T$  一次性支付  $sF$  给信用违约互换卖方(贷款企业管理层). 此时称银行拥有反向 CDS 协议;

2) 若企业发生违约,设违约时贷款的预期回收率(也称为预期资产清偿率)为  $\delta$ ,信用违约互换买方(银行)将不用给信用违约互换卖方(贷款企业管理层)支付任何费用. 而相反,信用违约互换卖方(贷款企业管理层)将补偿给信用违约互换买方(银行)支付损失补偿费用  $k(1-\delta)F$ ,其中  $k$  为违约情况下企业管理层对银行损失的补偿比例. 此时称银行未拥有反向 CDS 协议. 反向 CDS 协议规则设计如图 7 所示.

资金的总损益值  $Q_2$  包括以下 2 项:未违约部分的贷款资金收益贴现  $(1-p)Fe^{-(R-r_0)T}$ 、违约部分清偿后的资金收益贴现  $p\delta Fe^{-r_0T}$  . 于是,银行贷款资金的总损益现值  $Q_2$  的数学表达式为

$$Q_2 = (1-p)Fe^{-(R-r_0)T} + p\delta Fe^{-r_0T} \quad (2)$$

根据无套利原则  $Q_1 = Q_2$  ,于是可得

$$(1-p)Fe^{-(R-r_0)T} + p\delta Fe^{-r_0T} + kp(1-\delta)Fe^{-r_0T} - (1-p)sFe^{-r_0T} = (1-p)Fe^{-(R-r_0)T} + p\delta Fe^{-r_0T} \quad (3)$$

即

$$kp(1-\delta)Fe^{-r_0T} = (1-p)sFe^{-r_0T} \quad (4)$$

由式(4)求得含有未知违约概率  $p$  的反向 CDS 协议的定价公式为

$$s = \frac{pk(1-\delta)}{1-p} \quad (5)$$

由式(5)可知,反向 CDS 协议的价格  $s$  既受到企业违约概率  $p$  的影响,还受到补偿比例  $k$  和预期贷款违约回收率  $\delta$  的影响. 式(5)中的违约概率  $p$  未确定,因此需要选择适当的模型来计算违约概率  $p$ ,将之代入式(5),即可最终确定反向 CDS 协议的价格  $s$

### 2.3 违约概率的确定

为了确定违约概率  $s$ , 本文选取由布朗运动和泊松过程的混合模型来计算贷款企业的违约风险. 假设在完备市场条件下, 贷款企业的资产价值  $V(t)$  的运动由一个布朗运动  $W(t)$  和一个由  $M$  ( $M$  为正整数) 个互相独立的泊松过程  $N_m(t)$  的复合泊松过程  $Q(t)$  所构成.

在此仍假设无风险利率为  $r_0$ , 贷款企业的收益率为  $\mu$ , 布朗运动的资产波动率为  $\sigma$ ,  $\lambda_m > 0$  ( $m = 1, 2, \dots, N$ , 下同) 为第  $m$  个泊松过程的强度,  $\lambda = \sum_{m=1}^M \lambda_m$  为复合泊松过程的强度, 令  $Y_m = y_m N_m(t)$ , 而  $y_m$  ( $y_m > -1$  且  $y_m \neq 0$ ) 则代表第  $m$  个泊松过程的跳跃幅度(在实际模拟中, 可以根据未来可能发生的影响企业资产的事件来预测设定  $M$  与每个  $y$  的值), 且  $P\{Y_i = y_m\} = p(y_m) = \frac{\lambda_m}{\lambda}$ , 令  $\beta$  为复合泊松过程幅度的期望值, 则有

$$\beta = \sum_{m=1}^M y_m p(y_m) = \frac{1}{\lambda} \sum_{m=1}^M \lambda_m y_m \quad (6)$$

$$p = \tilde{P}\{V(T) \leq L\} = \tilde{P}\left\{\exp\left\{\sigma \tilde{W}(T) + (r_0 - \tilde{\beta}\tilde{\lambda} - \frac{1}{2}\sigma^2)T\right\} \leq \frac{L}{V(0) \prod_{i=1}^{N(T)} (Y_i + 1)}\right\}$$

$$= \tilde{P}\left\{\sigma \tilde{W}(T) \leq \ln\left(\frac{L}{V(0) \prod_{i=1}^{N(T)} (Y_i + 1)}\right) - (r_0 - \tilde{\beta}\tilde{\lambda} - \frac{1}{2}\sigma^2)T\right\}$$

$$= \tilde{P}\left\{\frac{\tilde{W}(T)}{\sqrt{T}} \leq \frac{\ln\left(\frac{L}{V(0) \prod_{i=1}^{N(T)} (Y_i + 1)}\right) - (r_0 - \tilde{\beta}\tilde{\lambda} - \frac{1}{2}\sigma^2)T}{\sigma \sqrt{T}}\right\}$$

$$= N\left\{\frac{\ln\left(\frac{L}{V(0) \prod_{i=1}^{N(T)} (Y_i + 1)}\right) - (r_0 - \tilde{\beta}\tilde{\lambda} - \frac{1}{2}\sigma^2)T}{\sigma \sqrt{T}}\right\} \quad (11)$$

最后, 将式 (11) 代入式 (5) 可得反向 CDS 协议的定价公式为

$$s = \frac{kN(D)(1 - \delta)}{1 - N(D)} \quad (12)$$

其中

$$D = \frac{\ln\left(\frac{L}{V(0) \prod_{i=1}^{N(T)} (Y_i + 1)}\right) - (r_0 - \tilde{\beta}\tilde{\lambda} - \frac{1}{2}\sigma^2)T}{\sigma \sqrt{T}} \quad (13)$$

$$Q(t) = \sum_{m=1}^M Y_m = \sum_{m=1}^M y_m N_m(t) \quad (7)$$

企业资产价值  $V(t)$  在  $t$  时刻遵循如下的微分方程<sup>[27]</sup>

$$dV(t) = \mu V(t) dt + \sigma V(t) dW(t) + V(t-) d(Q(t) - \beta \lambda t) \quad (8)$$

设企业的初始资产价值为  $V(0)$ , 由 Itô-Doebelin 公式, 可推出该方程的一个解为<sup>[27]</sup>

$$V(t) = V(0) \exp\left\{\sigma W(t) + (\mu - \beta\lambda - \frac{1}{2}\sigma^2)t\right\} \prod_{i=1}^{N(t)} (Y_i + 1) \quad (9)$$

再根据 Girsanov 定理, 将测度变为风险中性测度  $\tilde{P}$ . 于是在风险中性测度  $\tilde{P}$  下, 企业资产价值  $V(t)$  满足

$$V(t) = V(0) \exp\left\{\sigma \tilde{W}(t) + (r_0 - \tilde{\beta}\tilde{\lambda} - \frac{1}{2}\sigma^2)t\right\} \prod_{i=1}^{N(t)} (Y_i + 1) \quad (10)$$

企业发生违约的概率  $p$  为

于是, 得到了反向 CDS 协议的基于布朗运动和复合泊松过程的定价模型, 反向 CDS 的价格和公司初始价值、合同期限、贷款回收率等等许多因素有关. 它不仅涉及到对公司未来价值连续变化趋势(布朗运动)的预测, 还涉及到对未来公司价值突变(复合泊松过程)的预测. 这要求银行和企业 在合作中, 要加深对企业所处的市场环境和市场中的突发事件的了解, 才能更好地进行金融产品的定价, 实现两者的双赢.

### 3 数值模拟分析

#### 3.1 市场假设

下面主要讨论定价模型中反向 CDS 协议的价格  $s$  与各影响因素之间的关系. 考虑以下几种情形:

根据反向 CDS 定价模型(12), 从代数关系上可以发现, 反向 CDS 价格  $s$  与补偿比例  $k$ 、违约概率  $p$  成正相关的关系, 而与贷款回收率  $\delta$  是成负相关的关系. 这说明, 企业管理层在降低违约概率  $p$  的同时, 如果还想获得较大的信用违约支付, 那么可以根据自有资产的价值选择相对较大的违约补偿比例  $k$ , 这样在不违约的情况下自身能获得更多的收益.

假设无风险利率  $r_0 = 0.05$ , 企业所处的市场环境为平稳随机过程, 其资产价值报价复合泊松过程, 并假设市场上分别存在 10 类对公司价值产生积极作用的相互独立的突发事件和 10 类对公司价值产生消极作用的相互独立的突发事件, 即该复合泊松过程含有 20 个互相独立的泊松过程, 且积极突发事件和消极突发事件种类之比为 1:1.

在风险中性测度下  $\tilde{p}$  20 个泊松过程跳的幅度  $\tilde{\beta}$  (即对公司价值的影响程度) 依次为  $-0.1, -0.09, -0.08, \dots, -0.01, 0.01, \dots, 0.08, 0.09, 0.1$ , 而复合泊松过程的强度  $\tilde{\lambda}$  服从  $\ln \sim N(0, 1)$  的对数正态分布, 分别取以下两组数据来做实验:

第 1 组:  $l = 0.75$ ,  $\sigma$  分别取为 0.15、0.18、0.20;

第 2 组:  $\sigma = 0.18$ ,  $l$  分别取为 0.85、0.75、0.50.

#### 3.2 实验 1

对 3.1 节中的两组数据, 采用公式(11)和(12)分别计算违约概率  $p$  与反向 CDS 协议价格  $s$ . 然后分别重复模拟 10 万次该种假设条件下的泊松过程, 则可得违约概率  $p$  与反向 CDS 协议价格  $s$  与期限  $T$  的关系图, 及资产波动率  $\sigma$  与初始资产与违约边界之比  $l$  对  $p$  与反向 CDS 协议价格  $s$  的影响, 其中第 1 组数据的模拟实验结果如图 8 所示, 第 2 组数据的模拟实验结果如图 9 所示.

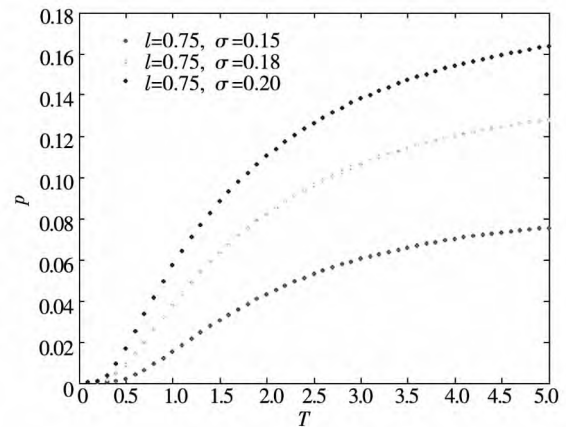


图 8  $p$  与  $T$  的关系曲线及  $\sigma$  对曲线的影响图

Fig. 8 Relationship curve between  $p$  and  $T$ , and effect of  $\sigma$  on the curve

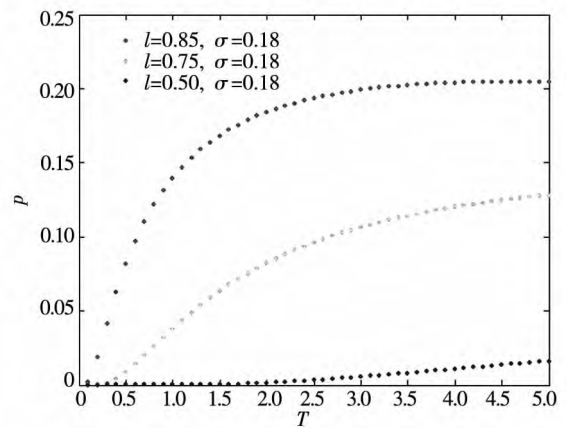


图 9  $p$  与  $T$  的关系曲线及  $l$  对曲线的影响图

Fig. 9 Relationship curve between  $p$  and  $T$ , and effect of  $l$  on the curve

从图 8、图 9 中可以发现, 从整体上来看, 违约风险  $s$  随着贷款期限  $T$  的增大而增大, 并且曲线呈“S”型, 企业资产波动率  $\sigma$  和违约边界占初始资产比  $l$  都显著地影响了企业的违约概率, 其中资产波动率  $\sigma$  增大, 违约概率显著增大, 而  $l$  增大, 违约概率也显著增大, 当  $l$  较小且期限较短时, 违约概率几乎为 0. 所以, 银行在发放任何形式的贷款时(不限于含有反向 CDS 协议的信用贷款这一种), 如果想要尽可能地降低违约概率, 则应该选择那些初始资产雄厚(超过违约边界很多)、资产波动率较小的企业, 并且缩小贷款期限.

#### 3.3 实验 2

在本实验中, 进一步假设企业管理层的补偿比例  $k = 0.7$ , 违约后贷款回收率  $\delta = 50%$ . 于是



对 3.1 节中的两组数据,采用式(11)和式(12)分别计算违约概率  $p$  与反向 CDS 协议价格  $s$ 。然后分别重复模拟 10 万次该种假设条件下的泊松过程,则可给出在资产价格波动  $\sigma$  与初始资产和违约边界之比  $l$  的影响下,反向 CDS 协议价格  $s$  与期限  $T$  的关系曲线图,其中第 1 组数据的模拟实验结果如图 10 所示,第 2 组数据的模拟实验结果如图 11 所示。

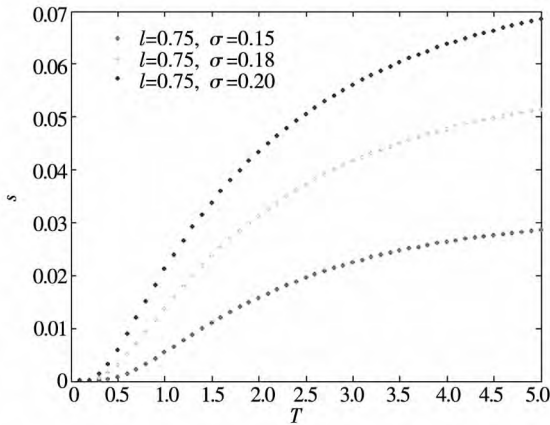


图 10  $s$  与  $T$  的关系曲线及  $\sigma$  对曲线的影响图

Fig. 10 Relationship curve between  $s$  and  $T$ , and effect of  $\sigma$  on the curve

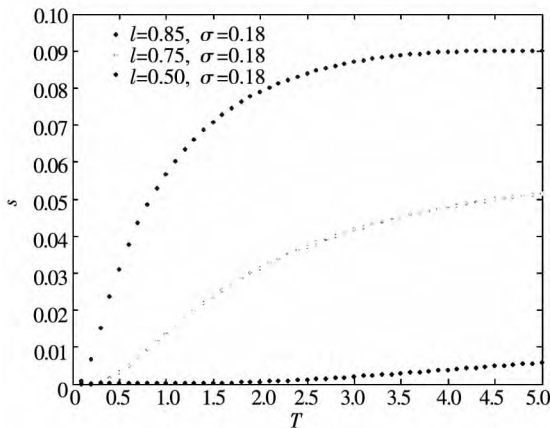


图 11  $s$  与  $T$  的关系曲线及  $l$  对曲线的影响图

Fig. 11 Relationship curve between  $s$  and  $T$ , and effect of  $l$  on the curve

由图 10 和图 11 可以看出,在 5 年之内,反向 CDS 协议的价格  $s$  是随着  $T$  的增大而增大的。而

和违约概率  $p$  一样,反向 CDS 协议价格  $s$  与  $l$  及  $\sigma$  都成正相关关系。并且他们极大地影响了  $s$  的值,所以正确设定违约边界和估算企业资产波动率,对反向 CDS 协议的定价有着非常重要的作用。

#### 4 结束语

为了促进企业的优胜劣汰,降低中小企业融资成本和融资门槛,加强银行和企业之间的持续合作,本文选取信用贷款这种贷款形式,将 CDS 协议嵌套于信用贷款中,提出并设计了含有反向 CDS 协议的信用贷款。通过建立基于布朗运动和复合泊松过程的定价模型,给出反向 CDS 定价公式,这种反向 CDS 的定价,能从风险源上控制和降低贷款信用风险,既能帮助银行消除信息不对称问题对信用贷款的不良影响,又可以识别优质的贷款企业。本文还进行了数值计算,通过数值分析的方法,研究讨论了各种因素对信用贷款利率、反向 CDS 价格和违约概率的影响,确定了贷款期限  $T$  和三者的关系曲线,直观地展现信用违约互换价格与协议期限以及其他因素的关系,并给出相应的结论和建议。

由于该 CDS 协议的购买者由广大投资者变成了贷款企业管理层,故而称之为“反向 CDS 协议”,它起到了甄别贷款企业、绑定银行和企业利益和降低信息不对称问题影响的作用。并且该反向 CDS 协议的引入,优化了信用贷款定价逻辑,降低了银行的交易成本。本文的研究促进了信贷市场的健康发展,对实际应用具有很好的参考价值。

本文的研究是以改善信贷市场和促进银行与企业的长期合作为目的,在适当的企业激励机制的前提下,以信用贷款为信用资产设计的“反向”CDS 协议,当银行对贷款企业管理层出售该“反向”CDS 协议时,则会绑定两者的利益,通过该反向 CDS 协议来达到筛选贷款企业、促进银企合作和改善信贷市场的作用。

#### 参考文献:

[1] Merton R C. On the pricing of debt: The risk structure of interest rates [J]. Journal of Finance, 1974, (29): 449-470.  
 [2] Manove M, Padilla A J. Banking (conservatively) with optimists [J]. RAND Journal of Economics, 1999, 30(2): 324

- 350.

- [3] Manove M, Padilla A J. Collateral versus project screening: A model of lazy banks [J]. *RAND Journal of Economics*, 2001, 32(4): 726 - 744.
- [4] Stango V. Pricing with consumer switching costs: Evidence from the credit card market [J]. *The Journal of Industrial Economics*, 2002, 55(4): 475 - 491.
- [5] Beatty A, Dichev I, Weber J. The Role and Characteristics of Accounting-Based Performance Pricing in Private Debt Contract [R]. Working Paper, Philadelphia: Penn State University, University of Michigan and MIT, 2002.
- [6] Stein R M. The relationship between default prediction and lending profits: Integrating ROC analysis and loan pricing [J]. *Journal of Banking & Finance*, 2005, 29(5): 1213 - 1236.
- [7] Jankowitsch R, Pullirsch R, Veža T. The delivery option in credit default swaps [J]. *Journal of Banking & Finance*, 2008, 32(7): 1269 - 1285.
- [8] Wu H, Peng C, Xiong L, et al. N-th CDS Monte Carlo Pricing under Stochastic Recovery Rates [C]. 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE), Jinan, 2010, 7: 1385 - 1388.
- [9] Ammer J, Cai F. Sovereign CDS and bond pricing dynamics in emerging markets: Does the cheapest-to-deliver option matter [J]. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 2011, 21(3): 369 - 387.
- [10] Liu Y, Morley B. Sovereign credit default swaps and the macroeconomy [J]. *Applied Economics Letters*, 2012, 19(2): 129 - 132.
- [11] Chiaramonte L, Casu B. The determinants of bank CDS spreads: Evidence from the financial crisis [J]. *The European Journal of Finance*, 2013, 19(9): 861 - 887.
- [12] Gökğöz I, Uğur Ö, Okur Y. On the single name CDS price under structural modeling [J]. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2014, 259(15): 406 - 412.
- [13] 牛锡明. 我国商业银行实行贷款定价之研究 [J]. *金融研究*, 1997, (10): 15 - 20.  
Niu Ximing. A study on loan pricing of commercial banks in China [J]. *Journal of Finance*, 1997, (10): 15 - 20. (in Chinese)
- [14] 王俊寿. 商业银行贷款定价模型比较研究 [J]. *南开经济研究*, 2004, (2): 99 - 102.  
Wang Junshou. Comparative study on loan pricing model of commercial banks [J]. *Nankai Economic Studies*, 2004, (2): 99 - 102. (in Chinese)
- [15] 杨文瀚, 王燕. 信用违约互换的定价模型及实证研究 [J]. *统计与决策*, 2005, 8: 57 - 58.  
Yang Wenhan, Wang Yan. Pricing model and empirical study of credit default swap [J]. *Statistics and Decision*, 2005, 8: 57 - 58. (in Chinese)
- [16] 么向华, 蒋东明. 基于简约型方法的商业银行信用贷款定价研究 [J]. *北京交通大学学报*, 2007, 6(3): 59 - 63.  
Me Xianghua, Jiang Dongming. Research on credit loan pricing of commercial banks based on the reduced form method [J]. *Journal of Beijing Jiaotong University*, 2007, 6(3): 59 - 63. (in Chinese)
- [17] 詹原瑞, 韩铁, 马珊珊. 基于 Copula 函数族的信用违约互换组合定价模型 [J]. *中国管理科学*, 2008, 16(1): 1 - 6.  
Zhan Yuanrui, Han Tie, Ma Shanshan. The combination pricing model of credit default swap based on Copula function family [J]. *Management Science in China*, 2008, 16(1): 1 - 6. (in Chinese)
- [18] 过蓓蓓, 方兆本. CDS 价差结构转换模型及对标准化 CDO 价格的修正 [J]. *中国科学技术大学学报*, 2010, 40(9): 902 - 907.  
Guo Beibei, Fang Zhaoben. Regime-switching model of CDS spreads and an improved pricing method of standard CDO [J]. *Journal of University of Science and Technology of China*, 2010, 40(9): 902 - 907. (in Chinese)
- [19] 王安娇, 吴彦瑾, 叶中行. 3 家公司双曲衰减违约传染模型下信用违约互换定价 [J]. *上海交通大学学报*, 2011, 45(12): 1852 - 1856.  
Wang Anjiao, Wu Yanjin, Ye Zhongxing. The pricing of credit default swaps under the 3 companies' hyperbolic decay model [J]. *Journal of Shanghai Jiao Tong University*, 2011, 45(12): 1852 - 1856. (in Chinese)
- [20] 迟国泰, 隋聪. 基于未来 DEA 效率的贷款定价模型 [J]. *系统工程理论与实践*, 2011, 31(1): 18 - 27.  
Chi Guotai, Sui Cong. Loan pricing model based on future DEA efficiency [J]. *System Engineering: Theory and Practice*, 2011, 31(1): 18 - 27. (in Chinese)
- [21] 庞素琳. 违约风险下的信贷决策模型与机制 [J]. *管理科学学报*, 2012, 15(4): 58 - 70.

- Pang Sulin. Credit decision model and mechanism under the default risk [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2012, 15(4): 58–70. (in Chinese)
- [22] 龚 朴, 邓 洋, 胡祖辉. 银行信用组合风险多成分重要性抽样算法研究 [J]. *管理科学学报*, 2012, 15(11): 3–22.
- Gong Pu, Deng Yang, Hu Zuhui. Principal component importance sampling for bank credit portfolio risk management [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2012, 15(11): 3–22. (in Chinese)
- [23] 杨 星, 胡国强. 交易对手信用违约事件与信用违约互换公允价值 [J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(6): 1389–1394.
- Yang Xing, Hu Guoqiang. Research on multiple component importance sampling algorithm for bank credit portfolio risk [J]. *System Engineering: Theory and Practice*, 2013, 33(6): 1389–1394. (in Chinese)
- [24] 梁 进, 李文毅. 含多交易对手信用违约互换的信用风险模型 [J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2014, 42(1): 144–150.
- Liang Jin, Li Wenyi. Research on multiple component importance sampling algorithm for bank credit portfolio risk [J]. *Journal of Tongji University (Natural Science Edition)*, 2014, 42(1): 144–150. (in Chinese)
- [25] 牛伟华. 利率带有跳跃情形下的信用衍生品定价研究 [J]. *管理科学学报*, 2014, 17(4): 71–85.
- Niu Weihua. Pricing credit derivatives with jumps in interest rates [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2014, 17(4): 71–85. (in Chinese)
- [26] 周 宏, 李国平, 林晚发, 等. 企业债券信用风险定价模型评析与进展 [J]. *管理科学学报*, 2015, 18(8): 20–30.
- Zhou Hong, Li Guoping, Lin Wanfa, et al. Analyze and progress of credit risk pricing model of corporate bonds [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2015, 18(8): 20–30. (in Chinese)
- [27] Shreve S E. *Stochastic Calculus for Finance* [M]. Beijing: World Book Publishing Company, 2007.

## Design and pricing model of the reverse CDS in credit loan risk

PANG Su-lin<sup>1,2</sup>, WANG Li<sup>1,2</sup>

1. School of Emergency Management/ Institute of Finance Engineering of Management School, Jinan University, Guangzhou 510632, China;
2. Guangdong Emergency Technology Research Center of Risk Evaluation and Prewarning on Public Network Security, Guangzhou 510632, China

**Abstract:** Based on the credit default swaps (CDS) agreement, this paper proposes a reverse credit default swap (RCDS) agreement to avoid credit loan risk. It defines the reverse CDS agreement, designs the pricing contracts about the reverse CDS agreement, and discusses the risk “captivity” principle about the reverse CDS agreement. Under the no arbitrage principles, the paper establishes a reverse CDS agreement pricing model with unknown default probability. Assuming the asset value movements of a corporation abides by a Brownian motion and a compound Poisson process with the synthesis of a plurality of independent Poisson process, under the risk neutral measure, the paper establishes a stochastic differential equation about the asset value movements of the corporation with both Brownian motion and the compound Poisson process. The default probability and the reverse CDS agreement pricing formula are derived. Finally, through a numerical analysis, it discusses the relationship between interest rates, reverse CDS prices, loan terms, default probabilities, the ratio of the initial assets over default boundary and other factors. Corresponding risk avoiding measures are given. The research has a good reference value for the practical applications.

**Key words:** credit default swap (CDS); reverse CDS agreement; pricing model; probability of default; Brown movement; compound Poisson process