

# 基于非参数时变 Copula 模型的美次贷危机传染分析<sup>①</sup>

叶五一, 韦伟, 缪柏其  
(中国科学技术大学统计与金融系, 合肥 230026)

摘要: 金融危机传染分析是国际金融领域中的重要课题, 本文对 Copula 变点检测方法进行推广, 采用时变非参数阿基米德 Copula 模型检验金融危机传染的存在性及其变化趋势, 以时变尾部相依系数的大小来度量危机传染程度, 并结合系数的变化趋势和时间段对金融危机传染效应进行分析. 最后选择全球六个主要股票市场指数和 S&P500 指数进行危机传染实证研究, 得出次贷危机对不同国家或地区的传染效应有所差别.

关键词: 次贷危机; 非参数时变 Copula; 局部极大似然估计

中图分类号: F830.9 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2014)11-0151-08

## 0 引言

1997 年, 亚洲金融市场经历了一次大规模的金融危机, 许多国家陷入了经济萧条, 而这次危机起源于泰国. 十年后, 美国房地产价格下跌引爆次贷危机, 并迅速演变成了席卷全球的金融风暴, 以至于全球经济至今都没有完全从危机中恢复过来. 由于金融危机最终会经由金融机制传导至实体经济中, 因此在危机发生期间是否存在危机传染, 危机国对各个国家的传染程度有没有不同, 这些都是非常重要的课题.

所谓金融危机传染, 是指一个国家的危机导致另一个国家发生危机的可能性, 它强调的是某一个国家发生危机的原因就是由于另一个国家发生了危机, 也就是说如果另一个国家不发生危机的话, 该国很大程度上也不会发生危机<sup>[1]</sup>. 最初研究金融危机传染的方法是基于相关性基础上, 分析危机期间和正常时期金融市场之间的 Pearson 相关系数, 如果危机时间相关系数变的较大, 就说明存在金融危机传染效应. 在研究不同市场

资产价格的协同运动方法基础上检验危机传染方面, Ang 和 Chen 在 2002 年应用了非对称多元 GARCH-M 模型分析金融危机传染<sup>[2]</sup>. Bae 和 Karolyi 等通过应用多元 Logistic 回归模型分析地区间极端事件来检验金融危机传染<sup>[3]</sup>. 张志波等在 2005 年通过运用 VAR 方法分析危机前后波动性因果关系以及冲击响应的变化分析了亚洲金融危机传染<sup>[4]</sup>. 但是所有协同运动的分析方法都只是检验了危机传染的存在性, 没有给出传染程度的大小及其变化趋势. 一些学者为了弥补以上缺陷提出了更精确地检测危机传染的方法, 叶五一等于 2009 年提出基于变点检测的 Copula 方法对金融危机传染进行了研究, 实证发现在金融危机爆发时期亚洲主要市场都或多或少地受到了美国次贷危机的影响, 存在金融危机传染效应<sup>[5]</sup>.

上述 Copula 方法局限于常系数, 即假定相依结构为静态的, 不随时间发生变化. 为了弥补这一缺陷, Patton 在 2001 年利用条件 Copula 对外汇率之间相依关系进行建模, 并提出条

① 收稿日期: 2014-05-20; 修订日期: 2014-09-16.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (71371007; 71001095); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 (20103402120010).

作者简介: 叶五一 (1979), 男, 山东安丘人, 博士, 讲师. Email: wyue@ustc.edu.cn

本文入选第十二届全国青年管理科学与系统科学学术会议优秀论文.

件相依关系应该是时变以及非对称的<sup>[6]</sup>, Engel 在前人的基础上提出了 DCC 模型, 使得对时变线性相关系数的估计变得十分简便<sup>[7]</sup>, Patton 在 2006 年进一步提出当前 Copula 的系数可以由历史 Copula 系数和两个变量累计概率的历史平均值进行解释, 并认为可以根据相依系数的变化趋势判断金融危机传染<sup>[8]</sup>, 叶五一等提出了时变分位点回归模型的变点检测方法, 对亚洲金融危机传染进行了研究, 并将分位点回归系数作为危机传染程度的一种度量<sup>[9]</sup>. 冯宗宪等应用时变增强型向量自回归模型并结合经济形势详细分析了利率风险与商业银行信用风险之间的动态关联性<sup>[10]</sup>. 郑国忠应用 DCC-GARCH 模型分析了汇率弹性空间与弹性指数之间的动态相关性, 但此种方法没有考虑到非对称的线性, 导致结果可能有所偏差<sup>[11]</sup>. 苏海军等提出了 MIS-DCC 方法, 通过观察不同马尔科夫机制下 DCC 系数以及平滑概率来分析金融危机传染的程度, 以及其发展进程<sup>[12]</sup>.

纵观之前的研究, 一些文献主要验证危机传染存在性或者对变点的检测, 而忽视对危机传染变化趋势的分析, 基于时变 Copula 方法的模型对参数演变方程也有过于严格的假设. 本文利用 Hafner 和 Reznikova 提出的时变 Copula 方法来研究金融危机传染的变化趋势<sup>[13]</sup>, 由于 Archimedean Copula 能够捕捉到金融市场之间非对称尾部相依关系, 比较适合金融危机传染的研究, 因此本文选用的是 Archimedean Copula.

本文应用了时变 Archimedean Copula 方法分析了美国次贷危机传染, 通过时变尾部相依系数的变化来刻画次贷危机的传染进程. 文中首先对几个相关国家的股票指数与美国 S&P500 指数的对数收益率进行 Archimedean Copula 建模, 依据拟合优度检验选择合适的 Copula 种类, 不同的 Copula 种类代表不同的尾部相依关系. 通过此种 Copula 进行时变相依结构建模, 得到时变尾部相依系数, 并将此相依系数看作金融危机传染程度的度量, 如果该系数在一段时期内明显升高且绝对值很大, 说明被分析国家与传染国在金融市场

上的风险相关性在逐渐增强, 也就是受传染的程度上升. 本文依据尾部系数随着时间的变化情况为几个相关国家划分了金融传染期、衰退期, 并将此期间系数的平均值作为此国家受传染程度大小的度量.

## 1 时变 Archimedean Copula 及金融危机传染

### 1.1 Archimedean Copula

Copula 方法是由边缘分布来构造联合分布的函数, 由于边缘分布不能唯一确定联合分布, 因此对于一个确定的边缘分布有很多种联合分布. 设  $C$  为一个 Copula 函数, 则  $C(F_1(x_1), F_2(x_2), \dots, F_p(x_p))$  确定了  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  的联合分布  $F$ , 它们的边缘分布是  $F_i$ .

一种常见的 Copula 组是二元阿基米德 (Archimedean) Copula, 此 Copula 族包含的范围非常大, 足以覆盖大多数常见的相依结构, 下面给出 Archimedean Copula 的定义.

**定义 1** (Archimedean Copula) 设  $\phi: [0, 1] \rightarrow [0, +\infty]$  为连续、严格递减的凸函数,  $\phi(0) = \infty, \phi(1) = 0$ , 具有连续严格递减凸的逆函数  $\phi^{-1}: [0, 1] \rightarrow [0, +\infty], \phi^{-1}(\infty) = 0, \phi^{-1}(0) = 1$ , 则  $C(u, v) = \phi^{-1}(\phi(u) + \phi(v))$  称为由  $\phi(\cdot)$  生成的 Archimedean Copula,  $\phi(\cdot)$  称为该 Copula 的生成函数.

### 1.2 Archimedean Copula 的极大似然估计

假定随机变量  $(X, Y)$  的样本观察值为  $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ , 其边缘分布函数分别是  $F(x)$  和  $G(y)$ , 密度函数相应记为  $f(x)$  和  $g(y)$ . 记  $(X, Y)$  的联合分布为:  $H(x, y) = C(F(x), G(y))$ , 则其联合密度函数可以写为  $h(x, y) = C_{12}(F(x), G(y))f(x)g(y)$ .

这里  $C$  为 Archimedean Copula 函数, 其中  $C_{12}(u, v) = \frac{\partial}{\partial u} \frac{\partial}{\partial v} C(u, v)$ .

于是, Archimedean Copula 函数中参数的极大似然估计为

$$\hat{\alpha} = \arg \max_{\alpha \in R} \sum_{i=1}^n \log C_{12}(\alpha; F(x_i), G(y_i)) \quad (1)$$

1.3 时变 Copula 的局部极大似然估计方法

假设 Copula 的参数  $\alpha$  是外生变量时间的函数, 并且关于其至少二阶可导, 借鉴局部多项式回归的思想对其进行估计, 假设在某个范围内  $\alpha(\tau)$  可以进行局部多项式展开 (即泰勒展开)

$$\alpha\left(\frac{t}{T}\right) \approx \alpha(\tau) + \alpha'(\tau)\left(\frac{t}{T} - \tau\right) + \frac{1}{2}\alpha''(\tau)\left(\frac{t}{T} - \tau\right)^2 \quad (2)$$

其中  $\frac{t}{T}$  在  $(\frac{t}{T} - h, \frac{t}{T} + h)$  范围变化,  $\tau \in [0, 1]$  是时间刻度.

因此, 在任何的时间刻度  $\tau$  上, 局部似然函数就可以表示为

$$L(\alpha; h, \tau) = \sum_{i=1}^T K_h\left(\frac{t}{T} - \tau\right) \cdot \log c(F(x_i), G(y_i));$$

$$\alpha(\tau), \alpha'(\tau), \alpha''(\tau) \quad (3)$$

其中  $F(x_i), G(y_i)$  是  $(x_i, y_i)$  的经验分布函数.  $K(\cdot)$  是核函数,  $K_h(\cdot) = \frac{1}{h}K\left(\frac{\cdot}{h}\right)$ ,  $h > 0$  是窗宽, 本文在实证分析时选取了常用的 Epanechnikov 核函数

$$K(u) = 0.75(1 - u^2)I(-1 \leq u \leq 1) \quad (4)$$

于是参数  $\alpha$  在时间刻度  $\tau$  时的局部极大似然估计为

$$\hat{\alpha}(\tau) = \arg \max_{\alpha} L(\alpha; h, \tau) \quad (5)$$

极大化式 (5) 后可以得到  $\hat{\alpha}(\tau), \hat{\alpha}'(\tau), \hat{\alpha}''(\tau)$ ,  $\hat{\alpha}(\tau)$  即为时变 Copula 参数值.

1.4 金融危机传染的检验以及传染程度的度量

在上一部分本文给出了时变 Copula 参数的局部极大似然估计法, 本节将根据估计出来的时变 Copula 参数以及上尾相依系数检验和度量金融危机传染, 下面首先给出上尾相依系数的定义.

定义 2 (上尾相依系数) 设随机变量  $X$  和  $Y$  分别有连续的分布函数  $F(x)$  和  $G(x)$ , 两个随机

变量的上尾相依系数定义为  $\lambda_U = \lim_{u \rightarrow 1^-} P\{Y > G^{-1}(u) | X > F^{-1}(u)\}$ , 假定极限  $\lambda_U \in [0, 1]$  存在.

Joe 对上面定义进行了推导, 并给出了连续性随机变量的一个等价定义<sup>[14]</sup>

$$\lambda_U = \lim_{u \rightarrow 1^-} \frac{1 - 2u + C(u, u)}{1 - u} \quad (6)$$

其中 Gumbel Copula 的分布函数可以写为

$$C(u, v) = \exp\{-[-\ln u]^\alpha + [-\ln v]^\alpha\}^{1/\alpha} \quad (7)$$

通过上式可以推导得出上尾相依系数  $\lambda_U$  与 Gumbel Copula 的参数  $\alpha$  之间的关系

$$\lambda_U = \lim_{u \rightarrow 1^-} \frac{1 - 2u + C(u, u)}{1 - u} = 2 - 2^{1/\alpha} \quad (8)$$

作为相依性的一个重要测度, 尾部相依系数广泛地应用于金融市场极值理论中, 与简单线性相关系数相比, 它能够很好地刻画了金融市场非对称的相关性, 着重分析极端风险事件. 从上尾相依系数的定义中可以看出: 它是  $X$  在发生正极端事件时  $Y$  同时发生正极端事件的极限概率测度. 如果  $\lambda_U \in (0, 1]$  那么随机变量  $X$  和  $Y$  就存在上尾相关, 它的值越大尾部相关性就越强; 如果  $\lambda_U = 0$ , 则随机变量  $X$  和  $Y$  上尾不相关. 因而, Copula 尾部相依系数可以直观的反映一个国家股指收益率发生剧烈变动时是否会引起另一个国家金融市场发生同样的变动, 这对研究股票市场之间的非对称相关性是非常方便的.

由于本文对收益率的负数(损失率)进行建模, 因此上尾相依系数能够捕捉金融危机传染的程度, 即大损失事件的联动性. 由于股票市场之间的相关性随着时间的变化而变化, 其相依结构在不同时期也会有所变化, 本文基于时变 Copula 对金融市场相依结构进行建模, 能够满足金融市场时变相依结构的需要, 得到时变尾部相依系数. 如果在某一段时期上尾相依系数从较小值剧烈上升, 本文可以将此段时期看作危机传染期, 反之可以看作是金融危机逐渐进入低谷, 市场风险逐渐下降. 相依系数的大小更可以用来判断此国家受危机传染的程度, 通过分析这些时期关联国家的政治、经济政策也能够进一步解释这些系数大小

以及变化的经济意义.

## 2 实证分析

### 2.1 数据描述

本文选取了美国 S&P500 指数与全球 6 个主要国家 (或地区) 的股票市场指数日对数收益率进行实证分析, 分别为: 中国沪深 300 指数, 日经 225 指数, 韩国 KOSPI 指数, 法国 CAC 指数, 英国 FTSE100 指数, 德国 DAX 指数. 本文着重研究美国次贷危机传染的传染、高峰、衰弱三个阶段, 因此选取数据的时间段是从 2006 年 1 月到

2010 年 1 月, 这涵盖了此次危机大部分时间, 这之后的时间段有较多干扰因素, 重要性较小, 本文暂不作研究. 为了分析的方便, 对对数收益率取了负号.

### 2.2 全部数据 Copula 拟合结果

首先应用阿基米德 Copula 对整体数据进行拟合, 并寻找最优的 Copula 类型, 然后再对最优 Copula 进行时变分析. 实证结果发现, 各国收益率与 S&P500 收益率之间的相依结构可以被 Gumbel Copula 很好的描述, 这与叶五一等<sup>[15]</sup>、叶五一等<sup>[5]</sup>在文献中得到的实证结果相同.

表 1 各指数与 S&P500 收益率 Gumbel Copula 拟合结果

Table 1 Fitting results of Gumbel Copula between S&P500 and other stock indexes' return

	沪深 300	日经指数	韩国 KOSPI	德国 DAX	法国 CAC	英国 FTSE
$\alpha$ 估计值	1.043 3	1.057 3	1.133 1	1.649 7	1.654 7	1.585 3
上尾相依系数	0.056 7	0.073 7	0.156 4	0.478 8	0.479 7	0.451 6
P-Value(分布函数法)	0.472 4	0.620 9	0.185 2	0.281 9	0.213 4	0.194 4
P-Value( Klugman-Parsa 法)	0.754 5	0.681 8	0.839 9	0.323 8	0.225 7	0.289 9
P-Value(非参数方法)	0.957 3	0.958 9	0.505 4	0.452 1	0.304 9	0.419 6

因为 P-Value 越大拟合效果越好, 由上面得出的结果看出美国 S&P500 指数与全球主要股票指数收益率之间的相依结构可以由 Gumbel Copula 很好的描述, 其他阿基米德 Copula 与 Gumbel 相比拟合的效果都远远不如, 由于本文篇幅所限这里就不列举出具体结果.

### 2.3 时变 Gumbel Copula 结果

在此, 将应用 2.2 节给出的方法对七大

股票指数对数收益率与 S&P500 对数收益率之间的时变 Copula 参数进行估计. 本文基于每个交易日计算一个时变 Copula 参数值, 可以近似将得到的 Copula 参数序列看作是时间的平滑函数, 在计算出时变 Copula 参数后, 根据式 (8) 得到 Copula 时变上尾相依系数, 下面的图 1 和表 2 给出了具体的实证结果.

表 2 上尾相依系数极小值 极大值日期, 平均值

Table 2 The date of minimum, maximum uppertail dependence coefficients and the average value

	日经 225	韩国 KOSPI	沪深 300	德国 DAX	法国 CAC	英国 FTSE
起始日期	2007-01-20	2007-01-18	2007-05-10	2008-03-12	2008-02-13	2007-09-18
最高日期	2008-06-04	2008-05-14	2007-12-20	2008-06-05	2008-06-19	2008-06-03
$\lambda_U$ 平均值	0.410 6	0.360 7	0.117 8	0.214 7	0.214 2	0.174 5

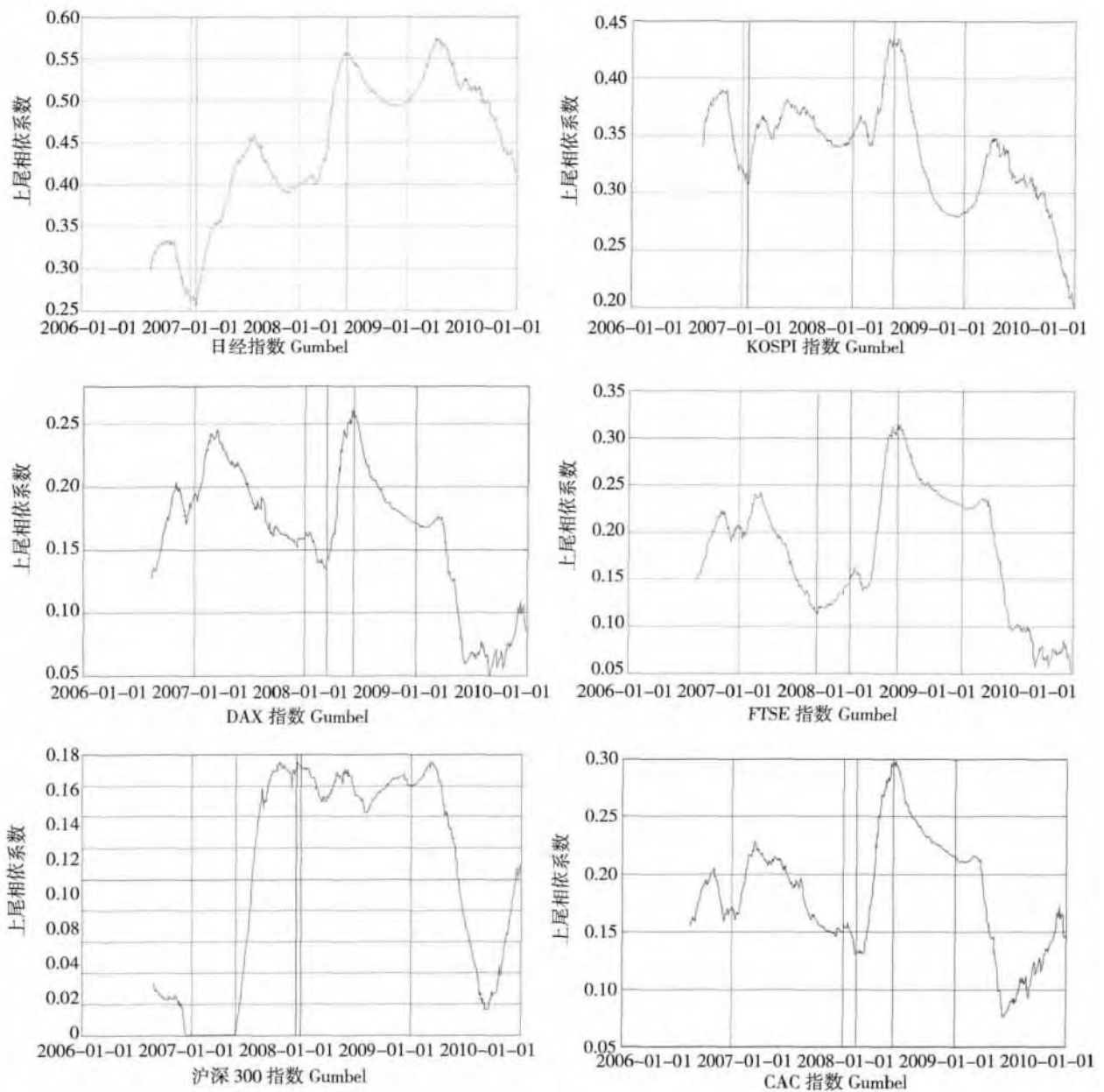


图 1 各指数与 S&P500 收益率 Copula 时变上尾相依系数

Fig. 1 The time-varying upper tail dependence coefficients of Copula between S&P500 and other indexes return

首先分析亚洲国家,图 1 和表 2 显示日本的危机传染程度最为严重,这也与日本的实际特性相一致. 日本施行汇率自由浮动制,经济严重依赖于国际贸易,而此时日本还没有从 20 世纪 90 年代房地产泡沫崩溃的泥沼中完全爬出,银行坏账率较高,因而表现较为脆弱. 图 1 中日本在 2008 年 7 月至 2009 年 5 月内上尾相依系数仍然一直保持较高水平,虽然在 2009 年末大大下降,但是远远没有达到危机前水平,可以看出日本与

美国在次贷危机后金融市场大损失事件极高的一致性.

韩国受危机传染程度也较大,与其他国家相比其很早就保持了较高的上尾相依系数,在进入 2008 年后风险更是剧烈上升,这也与其自身特性有关. 金融体制的脆弱一直是韩国经济系统中最大的问题,对银行外资控股比不加控制的开放式经济,吸引了相当大规模的外资进入,促进了韩国经济的活力,但也导致了韩国银行系统对外部

资金过于依赖,对外贸易的企业对韩元兑美元汇率就更加敏感了,因此韩国在此次危机中首当其冲,很早便暴露出了巨大的风险,而在其后的危机中更是损失惨重.

图 1 中看出中国比较具有特殊性,其上尾相依系数直到 2007 年下半年才开始剧烈增加,随后陷入波动,且从表 2 中看出相依系数与其他亚洲国家相比较小.中国长期以来一直实施国际资本管制,其金融动态与全球金融市场较为独立,但投资者羊群效应较为严重,从表 2 可以看出危机传染的区间正是中国 2007 年末 A 股泡沫最为严重的时期,而且此次金融危机引发了 A 股市场的恐慌情绪,因而美国次贷危机正是中国股市泡沫崩溃的导火索.由于中国是一个出口依赖型国家,外部经济体危机导致国内经济增速下滑,2008 年底国务院颁布四万亿人民币的经济刺激政策,而此后图 1 显示上尾相依系数在 2008 年底开始剧烈下降,可见此政策对中国金融市场的安抚和刺激较为有效.

此次金融危机中欧元区国家的损失次于亚洲(除中国)的国家,从图 1 中看出欧元区成员法国、德国受金融危机传染时期较晚,2007 年初风险只是稍微增加随后开始下降,并且几乎在同一时间即 2008 年中期达到上尾相依系数的极大值,传染期较短,在此次金融危机中反应极为一致.事实上欧洲央行起初并没有重视此次金融危机,数次公开否决受次贷危机影响,而在 2007 年末欧洲数家银行宣布卷入次贷危机后,上尾相依系数才开始剧烈增加.次贷危机造成了欧洲大量与次贷相关的资产损失与减计,2008 年下半年欧洲政府对濒临破产的金融机构进行了一揽子的担保、注资和经济刺激计划,各大央行颁布了降息政策,图 1 中看出 2009 年下半年上尾相依系数下降到极小值.由于储蓄率较低,货币政策迟钝,随后欧元区又陷入了主权债务危机,图 1 可以看到其相依风险在 2009 年底有所回升.

英国不是欧元区成员,受传染时期较早.2007 年 9 月 1 日,英国银行遭遇流动性恐慌,12 月 12 日着手与欧洲、美国等国家联手救市,从

2008 年 10 月开始英国央行不断宣布降息,试图挽救金融市场.图 1 看出正是 2007 年 9 月上尾相依系数剧烈上升,在 2008 年中期达到顶峰.图 1 中也可以看出 2009 年后英国上尾相依系数持续下降,可见此时美国对英国的金融危机传染已经基本上完成,没有加入欧元区也使英国未受主权债务危机波及,图 1 中其风险在 2009 年末没有回升.

为了突出时变尾部相依系数在分析风险相关性上的优势,本文与 Naoui 等<sup>[16]</sup>的文章进行了对比分析,该文利用 DCC-GARCH 方法分析次贷危机期间美国与世界各国股指的时变线性相关系数,该文中得出结论认为中国股市以及与美国股市的相关性在危机前后没有明显变化,甚至有较强的负相关性,而本文发现中国股市尾部相依系数虽然保持较低水平,但是在次贷危机期间发生明显上升,这是由于线性相关系数不能准确地分析尾部相依性,即风险相关性,因而产生一些无法解释的变化.从该文得出的结果中可以观察到美国与欧盟国家的相关性在危机前处在较弱的水平,而在危机后上升至极高水平一直持续到 2010 年,这与事实并不相符,因为欧盟作为一个极大的经济体,其金融市场与美国关系密切,尾部相依系数精确地捕捉到他们在危机前就已经有一定的风险相关性,在次贷危机发生后有所上升,随后在 2008 年 6 月后开始下降,这与欧盟的经济刺激政策地颁布相符,因此可以看出时变尾部相依系数作为一种非对称的相关系数比线性相关系数能够更准确的分析金融危机传染的进程.

### 3 结束语

许多方法都被应用验证了金融危机传染的存在性,但这些方法都有一些不可忽视的缺陷,因而导致所得出的结论有所偏差或不全.本文基于非参数时变 Copula 的方法,使用上尾相依系数度量危机传染程度,能够捕捉金融市场中的非线性相依关系,得到的结论也就更为准确.而且本文分析的时间段较长,通过时变上尾相依系数还可

以给出危机传染的具体演变过程,这在以往文献中都较少涉及. 实证结果显示: 亚洲股市在此次金融危机中受传染最早,并且最为严重,但由于中国实施严格的资本管制,风险意识较强,没有受到显著影响,虽然在此期间风险有所增加,但可以推测其并非受次贷危机直接影响. 欧元区国家法国、德国受次贷危机影响较晚,损失的严重程度仅次于日、韩等国,2009 年末因债务危机风险有所回升. 英国没有加入欧元区,其受传染时期与欧元区成员国法国、德国相比大大提前,

但受传染程度较小.

研究金融危机传染的过程、程度以及发展趋势有助于在全球范围内更好的进行投资分析,但是研究这方面的方法还远远不足. 本文直接从图中来判断危机传染期以及高峰期,这种方法具有一定的主观性,需要研究新的统计方法来准确判断金融危机传染的各个发展阶段,另外研究如何应用危机传染规律在全球范围内进行分散投资以降低黑天鹅事件风险也是不错的课题.

### 参 考 文 献:

- [1]王春峰,康莉,王世彤. 货币危机的传染: 理论与模型[J]. 国际金融研究,1999,1: 44-50.  
Wang Chunfeng, Kang Li, Wang Shitong. Contagion of currency crises: Theory and model[J]. Studies of International Finance, 1999, 1: 44-50. (in Chinese)
- [2]Ang A, Chen J. Asymmetric correlation of equity portfolios[J]. Journal of Financial Economics, 2000, 63: 443-494.
- [3]Bae K H, Karolyi G A, Stulz R M. A new approach to measuring financial contagion[J]. Review of Financial studies, 2003, 16(3): 717-763.
- [4]张志波,齐中英. 基于 VAR 模型的金融危机传染效应检验方法与实证分析[J]. 管理工程学报,2005,3: 115-120.  
Zhang Zhibo, Qi Zhongying. Testing approach and empirical analysis on contagion effect based on VAR model[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2005, 3: 115-120. (in Chinese)
- [5]叶五一,缪柏其. 基于 Copula 变点检测的美次级债金融危机传染分析[J]. 中国管理科学,2009,17(3): 1-7.  
Ye Wuyi, Miao Baiqi. Analysis of sub-prime loan crisis contagion based on change point testing method of copula[J]. Chinese Journal of Management Science, 2009, 17(3): 1-7. (in Chinese)
- [6]Patton A J. Modeling time-varying exchange rate dependence using the conditional Copula[J]. Department of Economics Discussion Paper, San Diego: University of California, 2001, 09.
- [7]Engle R. Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models[J]. Journal of Business & Economic Statistics, 2002, 20(3): 339-350.
- [8]Patton A J. Modelling asymmetric exchange rate dependence[J]. International Economic Review, 2006, 47(2): 527-556.
- [9]叶五一,缪柏其,谭常春. 基于分位点回归模型变点检测的金融传染分析[J]. 数量经济技术经济研究,2007,10: 151-161.  
Ye Wuyi, Miao Baiqi, Tan Changchun. Analysis of financial contagion based on change point testing of quantile regression model[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2007, 10: 151-161. (in Chinese)
- [10]冯宗宪,李祥发. 风险联动视角下的利率与商业银行信用风险考察[J]. 现代财经: 天津财经大学学报,2013, (7): 42-56.  
Feng Zongxian, Li Xiangfa. A study on the risk linkage between interest rate and credit risk of commercial banks[J]. Modern Finance and Economics: Journal of Tianjin University of Finance and Economics, 2013, (7): 42-56. (in Chinese)
- [11]郑国忠. 人民币汇率弹性与汇率弹性空间测度及其动态关联性分析[J]. 现代财经: 天津财经学院学报,2013,8: 52-62.

- Zheng Guozhong. An analysis of flexibility of RMB exchange rate and measure of elastic space of exchange rate and its dynamic correlation[J]. *Modern Finance and Economics: Journal of Tianjin University of Finance and Economics*, 2013, 8: 52 – 62. ( in Chinese)
- [12] 苏海军, 欧阳红兵. 危机传染效应的识别与度量——基于改进 MIS-DCC 的分析[J]. *管理科学学报*, 2013, 16(8): 20 – 30.
- Su Haijun, Ouyang Hongbing. Identification and measurement of contagion effects of the crises: Based on improved Markov independent switching dynamic conditional correlation model analysis[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2013, 16(8): 20 – 30. ( in Chinese)
- [13] Hafner C M, Reznikova O. Efficient estimation of a semiparametric dynamic copula model[J]. *Computational Statistics & Data Analysis*, 2010, 54(11): 2609 – 2627.
- [14] Joe H. Parametric families of multivariate distributions with given margins[J]. *Journal of Multivariate Analysis*, 1993, 46(2): 262 – 282.
- [15] 叶五一, 缪柏其, 吴振翔. 基于 Copula 方法的条件 VaR 估计[J]. *中国科学技术大学学报*, 2006, 36(9): 917 – 922.
- Ye Wuyi, Miao Baiqi, Wu Zhenxiang. Estimating conditional VaR based on Copula method[J]. *Journal of University of Science and Technology of China*, 2006, 36(9): 917 – 922. ( in Chinese)
- [16] Naoui K, Liouane N, Brahim S. Adynamic conditional correlation analysis of financial contagion: The case of the subprime credit crisis[J]. *International Journal of Economics & Finance*, 2010, 2(3): 85 – 96.

## Analysis of sub-prime loan crisis contagion based on non-parametric time-varying copula

YE Wu-yi, WEI Wei, MIAO Bai-qi

Department of Statistics and Finance, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China

**Abstract:** The analysis of financial contagion has been always an important subject in international finance. In this paper, the existence and development of financial contagion is verified by time-varying Archimedean Copula and applying the time-varying tail dependence coefficient to measure the degree of financial contagion. Finally, an empirical analysis of S&P500 index and other six primary stock market indexes is presented by the method above.

**Key words:** sub-prime loan crisis; non-parametric time-varying Copula; local maximum likelihood estimation