

基于 Copula 的我国多元外汇储备组合的应用研究*

李强 周孝华

(重庆大学经济与工商管理学院, 重庆, 400030)

摘要: 本文运用 Copula-SV-MT-GPD 模型对我国多元外汇储备组合进行风险研究。首先针对外汇收益的尖峰厚尾、波动的异方差性等典型事实特征, 采用 SV-MT 模型与极值理论结合刻画单个外汇收益的波动性及尾部分布, 然后运用更为灵活的 t Copula 函数进行拟合多元外汇储备的相关结构, 最后结合 Monte Carlo 模拟对外汇组合进行了风险度量。通过对外汇储备组合的实证分析, 结果表明, 基于 SV-MT-GPD 的边缘分布模型能有效地刻画多元外汇收益时序并较为精确地描述外汇收益尾部的极端变化, 相比其他风险度量模型具有优越性, 因而能有效地管理外汇储备风险。

关键词: Copula; SV-MT-GPD模型; Monte Carlo模拟; 外汇储备

The Application of Foreign Exchange Reserve Portfolio Based on Copula Function and SV-MT-GPD Model

Abstract: The purpose of this paper is to study the multiple foreign exchange reserve in China by the use of Copula-SV-MT-GPD model. Based on the characteristic of fat tail, fluctuation heteroscedasticity and nonlinear correlation of the combination of multiple foreign exchange reserve portfolio, this articles combine the SV-MT models with the EVT to depict the single exchange rate asset return volatility and tail characteristics, apply t Copula function to treat with the non-linear structures among assets and combine with Monte Carlo simulation the risk of portfolio is measured. By empirical analysis of the multiple foreign exchange reserve, it is found that the SV-MT-GPD model could effectively depict the time series of return for financial assets and accurately treat abnormal changes of the tail, and the method based on Copula Function and SV-MT-GPD model to measure portfolio risk can manage effectively risk.

Key words: Copula; SV-MT-GPD Model; Monte Carlo Simulation; Foreign Exchange Reserve

引言

自 1973 年以固定汇率制度为特征的布雷顿森林体系崩溃以后, 国际货币体系进入以浮动汇率占主导地位的牙买加体系, 体现为国际汇率波动的频率和幅度增大, 汇率互动趋势增强。在此背景下, 我国于 2005 年 7 月 21 日宣布不再盯住单一美元的固定汇率制度, 开始实行以市场供求为基础、参考一篮子货币来确定人民币汇率的浮动制度。这种汇率制度从动态的角度考虑中心汇率和汇率波幅, 利用几种主要货币汇率变动的相互抵减, 使人民币的对外价值得到相对稳定, 从而形成更富弹性的

*[作者简介]: 周孝华 (1965~), 男, 湖南武冈人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 金融市场及风险管理。
李强 (1969~), 男, 河南焦作人, 博士生, 研究方向: 金融工程和风险管理。Email: xueqiang72@sohu.com.cn。

人民币汇率机制。同时借鉴新加坡的成功经验，参考一篮子货币而不公布货币篮子的全部组成货币和权重，但一篮子货币的选取及其权重的确定是以对外贸易权重为主。需要注意的是，尽管一篮子货币的权重不能完全等同于外汇储备币种的权重，但由于外汇储备与汇率制度有着密切的联系，因而在考虑外汇储备币种组合权重时，同样也需参考一篮子货币的组成结构。

根据 2012 年 3 月中国海关统计的进出口主要国别总值数据，美国、欧元区、日本、韩国和英国等是中国最主要的贸易伙伴，主要的篮子货币自然包含美元、欧元、日元、韩元和英镑等货币。但由于韩元不可自由兑换且盯住美元，故在选择储备货币时可以排除韩元。同时考虑到为了降低管理成本和管理难度，中国外汇储备基于经济实力、币值稳定和交易匹配三大原则应选择美元、日元、欧元和英镑作为中国外汇储备的主要币种。目前国内外对外汇储备货币结构的研究主要建立在资产组合模型、海勒-奈特模型与杜利模型基础上，但上述模型均存在局限性，如资产组合模型的收益和风险只是决定外汇储备货币结构的因素之一，并非唯一因素。再如海勒-奈特模型忽视外债因素和不能解决外汇储备的币种应该怎样分配问题，杜利模型存在近似模拟现实的误差问题等。因而本文采用国际货币基金组织(IMF)2011 年 1 月执行的特别提款权(SDR)新的权重为我国外汇储币的最优参考权重，SDR 新的权重为美元占 41.9%、欧元占 37.4%、英镑占 11.3%及日元占 9.4%。其优势体现于一方面面对疲弱的美元，提高了欧元在外汇储备中的比重；另一方面 SDR 权重每五年调整一次，具有相对的稳定性。因此，选择和优化外汇储币结构、构建有效的投资组合并准确测度其风险，以确保实现既定的宏观经济目标进行更加深入的探讨和研究，具有一定的理论意义和现实意义。

在险价值 (VaR) 以其简明的经济含义、综合度量风险以及易操作性，广泛应用于风险管理和金融监管领域，已成为金融分析中度量某一个资产或组合的市场风险的标准方法。组合风险价值测度的精确性主要取决于资产收益的方差及概率分布，进而择选适宜的波动率模型及设定概率分布成为影响风险度量稳健性的关键因素。然而在刻画组合收益的联合分布时，简单基于线性相关性假设则可能产生误导性的结论，为了解决以上问题，引入 Copula 理论来构造多元联合分布函数就显得尤为必要。Copula 的优势在于可以将变量的边缘分布与其联合分布分开来研究，并且不要求联合分布中各个变量的边缘分布服从同一分布类型，可以更加灵活的解决实际问题。由 Copula 导出的相关性度量，不仅可以捕捉到变量间的非线性相关关系，而且在协同性及波动溢出方面与其他计量分析方法相比存在着明显的优势。

组合风险测度另一个重要的问题是确定合适的边缘分布函数，其对金融时序拟合的精确性，不仅影响到 Copula 参数估计而且还影响到组合风险价值测度的准确性。鉴于金融时序呈现出偏斜、厚尾和异方差性等典型事实特征，目前国内学者大多基于 Copula 和 GARCH 模型相结合来度量多元资产组合的风险,然而大量实证表明，随机波动率(SV)类模型在描述金融时序方面具有两个噪声过程与 GARCH 类模型仅有一个误差项相比更具优势，因而被认为是刻画金融市场波动性的理想模型。尽管 SV 类模型在描述 Copula 函数的边缘分布更符合实际情形，但其在描述金融极端风险方面却相对薄弱，尤其是在刻画尾部极值方面，而极值模型 (EVT) 是目前研究尾部分布最有效的方法。EVT 仅关注于金融时序尾部的极值分布，提供了超越样本的预测能力，估计得到的风险值非常接近于经验分布，在刻画厚尾特征上优势显著。尽管已有学者结合 EVT 和 Copula 理论在刻画金融市场多元联合分布方面进行了有益的探索,但是鲜有文献把 SV 模型与 EVT 和 Copula 理论结合起来测度多元外汇储币组合风险，通过度量真实的多元外汇储币的相关性风险，不仅对外汇组合择选有重要影响，而且还直接影响到分散化投资降低汇率风险的效果。

基于以上分析,为了更为精确测度我国多元外汇储备组合风险(以下简记为外汇组合),需要建立一种能恰当反应各外汇储备收益率实际分布和外汇组合收益率相关性的外汇组合模型。本文以随机波动模型反映外汇收益率与波动性的关系,极值理论反映外汇收益率的尾部分布,把两者结合起来刻画外汇收益的边缘分布,再结合 Copula 函数来构建外汇组合的相依关系,并通过 Monte Carlo 模拟计算外汇组合的 VaR,最后通过实证分析和回测检验表明该组合模型对外汇组合风险测度的有效性和稳健性。

1 构建外汇组合的边缘分布模型

Copula 模型正确估计外汇组合收益风险的前提是对外汇组合中的边缘分布进行精确的拟合,同时考虑到外汇收益序列存在厚尾和异方差性等典型事实特征,首先采用 SV-MT 模型刻画单个外汇储备收益率波动,测度其条件方差,并对外汇收益序列进行过滤,得到近似独立的随机扰动项,再运用 POT 模型对随机扰动项的上下尾部进行建模,得到 SV-MT-GPD 模型,即描述外汇组合收益的边缘分布模型。

1.1 SV-MT 模型及其参数估计

考虑到条件分布对预期收益率与波动之间关系的影响,在 Koopman 的 SV-M 模型基础上,黄大海基于预期收益率与波动之间的关系提出了 SV-MT 模型,其形式如下:

$$\begin{cases} y_t = d \exp(h_t) + \varepsilon_t \exp(h_t / 2), \varepsilon_t \sim t(0, 1, \nu) \\ h_t = \mu + \phi(h_{t-1} - \mu) + \eta_t, \eta_t \sim NID(0, 1 / \tau) \\ \text{corr}(\varepsilon_t, \eta_t) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中, $y_t | h_t, d$ 服从期望为 $d \exp(h_t)$, 方差为 $\exp(h_t)$, 自由度为 ν 的 t 分布。其待估参数为 $h = (\mu, \phi, \tau, d, \nu)'$, 金融资产收益 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)'$ 。采用 Gibbs 抽样的 MCMC 方法,借助 WinBUGS 软件来实现对 SV-MT 模型的参数估计,同时选取以下分布做为先验分布:

$$\mu \sim i.i.N(0, 10), \frac{1+\phi}{2} \sim \text{Beta}(20, 1.5), \tau^2 \sim \text{IGamma}(2.5, 0.025), d \sim N(0, 1), \nu \sim \chi^2(8)$$

1.2 结合极值理论的边缘分布模型

鉴于金融收益序列多具有厚尾和异方差等特征,极值理论的优势在于不考虑整个收益率的分布而只关注于超阈值的渐进值分布。EVT 适用前提是金融时序近似是独立同分布。故本文在采用 MCMC 方法估计出 SV-MT 模型参数的基础上,通过对外汇储备收益率序列进行相应转换得到渐进独立同分布的随机扰动项 Z_t ,以符合 GPD 模型的尾部建模条件。

设 y_1, y_2, \dots, y_n 为随机变量的收益序列, $\hat{\mu}_t$ 、 $\hat{\sigma}_t^2$ 分别为随机变量收益序列的条件均值及条件方差,则最近 n 期的随机扰动项 Z_t 为:

$$(Z_{t-n+1}, \dots, Z_t) = \left(\frac{y_{t-n+1} - \hat{\mu}_{t-n+1}}{\hat{\sigma}_{t-n+1}}, \dots, \frac{y_t - \hat{\mu}_t}{\hat{\sigma}_t} \right) \quad (2)$$

假设随机扰动项 $\{Z_t\}$ 的分布函数为 $F(Z)$, 给定某一充分大值 u , 则超额量 $z_t - u$ 根据 Balkema, de Haan 和 Pickands 定理, 当 $y \in [0, -\beta / \xi]$ 时, 则条件超额分布函数 $F_u(y)$ 收敛于广义帕累托 $G_{\xi, \beta}(y)$, 使

得：

$$F_u(y) \approx G_{\xi, \beta}(y) = \begin{cases} 1 - (1 + \xi y / \beta)^{-1/\xi}, & \xi \neq 0 \\ 1 - \exp(-y / \beta), & \xi = 0 \end{cases} \quad (3)$$

然后采用广义帕累托分布（GPD）对随机变量 Z_t 的超阈值的样本进行参数估计，运用高斯核平滑方法（经验累计分布函数，CDF）对边缘分布的中间部分进行非参数估计，在综合了参数估计和非参数估计优点的基础上，从而得到半参数（SV-MT-GPD）模型：

$$F(Z) = \begin{cases} \frac{N_u^L}{N} (1 + \xi^L \frac{u^L - z}{\beta^L})^{-1/\xi^L}, & z < u^L \\ CDF \quad \Phi(z), u^L \leq z \leq u^R \\ 1 - \frac{N_u^R}{N} (1 + \xi^R \frac{z - u^R}{\beta^R})^{-1/\xi^R}, & z > u^R \end{cases} \quad (4)$$

其中， u^R 和 u^L 分别表示为随机扰动项的上下尾阈值，相应地， ξ^R 和 ξ^L 为上下尾的形状参数， β^R 和 β^L 为上下尾的尺度参数。 N_u^L 为 Z 中低于下尾阈值的样本数， N_u^R 为 Z 中高于上尾阈值的样本数， N 为随机扰动项的样本数。

GPD 实质上是对超阈值 u 的数据次序量进行观测，若选取阈值过高，虽然满足了 GPD 分布特点，但由于超限值过少易使参数估计产生较大方差；若择选阈值过低，则难以确保超阈值分布的收敛性，易产生有偏估计。如何合理确定阈值，优化样本分割，平衡偏差与方差关系，目前尚无统一方法标准。鉴于实际中常用的定性方法如超额均限、Hill 图解法，存在较强的主观性，本文依据样本次序量的峰度系数值，采用定量的峰度法选取阈值，详见文献[21]。

2、基于 Copula 函数的外汇组合风险价值度量

鉴于 Copula 函数通过构建多元联合分布来拟合外汇组合内各外汇储币收益的相关关系。故在确定边缘分布模型后，可先基于 Copula 构建反映外汇储币收益率的相依结构，再籍此测度外汇组合的风险值。考虑到多元 t Copula 在描述外汇组合的相关性风险方面更具灵活性和精确性，因而本文选取多元 t Copula 并基于蒙特卡洛模拟来测度该外汇组合风险。

2.1 外汇组合联合分布的 Copula 函数估计

依据 Copula 函数中的 Sklar 定理可知，Copula 函数由一个多元联合分布 $C:[0,1]^n \rightarrow [0,1]$ 和其边缘分布 F_1, \dots, F_n 为区间 $[0, 1]$ 上的均匀分布组成。具体表述为：令 F 为具有 n 维边缘分布 $F(x_1), F(x_2), \dots, F(x_n)$ 的联合分布函数，则存在一个 Copula 函数 C ，满足： $F(x_1, x_2, \dots, x_n) = C(F(x_1), F(x_2), \dots, F(x_n))$ 。若 $F(x_1), F(x_2), \dots, F(x_n)$ 连续，则 Copula 函数则是唯一的；反之，如果 C 是 n 维 copula 函数， F_1, F_2, \dots, F_n 是分布函数，则函数 F 是边缘分布为 F_1, F_2, \dots, F_n 的 n 维随机变量的联合分布函数。

在假设相依结构不具有时变的前提下，鉴于 t Copula 的尾部相关性与相关系数矩阵和自由度的参数有关，且可通过调整此两参数来获取更好的拟合效果，因而本文采用 t Copula 对 k 维随机变量 $R = \{R_{T+1,1}, R_{T+1,2}, \dots, R_{T+1,k}\}$ 的相依结构进行拟合， k 维 t Copula 形式为：

$$C_{v, \Sigma}^t(u_1, \dots, u_k) = t_{v, \Sigma}^k(t_v^{-1}(u_1), \dots, t_v^{-1}(u_k)) \quad (5)$$

其中, ν 和 Σ 两参数分别为 t Copula 的自由度和相关系数矩阵, 可考虑基于秩相关与 Σ 的关系求得相关系数矩阵^[22], 在估计 Σ 后, 再运用极大似然估计求得 ν 值。

2.2 外汇组合的 Monte Carlo 模拟测度 VaR

确定 t Copula 函数参数值之后, 运用 Monte Carlo 模拟法来模拟计算外汇组合风险值, 其具体步骤如下: (1)对估计的随机扰动项的相关系数矩阵 Σ 进行 Cholesky 分解 $\Sigma = A^T A$; (2)根据标准正态分布, 模拟 d 个相互独立的随机变量 $y = (y_1, \dots, y_d)^T$; (3)根据 χ^2_ν 分布, 生成与 y 相互独立的变量 S ; (4)令 $w = Ay$, $x = (\sqrt{\nu}/\sqrt{S})w$, 则 x 服从自由度为 ν 的 t 分布; (5)令 $u_i = t_\nu(x_i)$, $i = 1, 2, \dots, d$, 则 $(u_1, u_2, \dots, u_d) \square C_{\nu, \Sigma}^t$; (6)根据 $(z_1, z_2, \dots, z_d) = (F_1^{-1}(u_1), \dots, F_d^{-1}(u_d))$, 得到联合分布为 $F(z_1, z_2, \dots, z_d)$, 连接函数为 $C_{\nu, \Sigma}^t$ 的 d 维随机扰动项 (z_1, z_2, \dots, z_d) ; (7)根据 SV-MT 模型得到外汇收益率的条件均值 u_i 和条件方差 δ_i^2 , 在上述步骤基础上, 然后根据随机波动方程 $r_i = u_i + z_i \delta_i$, $i = 1, 2, \dots, d$ 得到外汇组合收益率向量 (r_1, \dots, r_d) ; (8)给定各外汇货币在组合中的权重, 计算外汇组合收益 R 的值; (9)重复上述步骤 2000 次, 模拟求得外汇组合未来收益的 2000 个可能的情景, 进而得到其经验分布, 对于给定的置信度 $1-\alpha$, 由 $1-\alpha$ 水平分位数即可得到外汇组合的 VaR 值, 即 $P\{R \leq VaR\} = 1-\alpha$ 。

3 实证研究

3.1 样本的选取及 Copula 模型的参数估计

考虑到 2005 年 7 月 21 日中国汇率制度由单一汇率调整为实行以市场供求为基础、参考一篮子货币进行调节、有管理的浮动汇率制度, 基于三大原则选择美元、日元、欧元和英镑作为中国外汇储备的主要币种, 采用 IMF 自 2011 年 1 月起执行的 SDR 新的权重为我国外汇储备的最优参考权重, 相应为美元占 41.9%、欧元占 37.4%、英镑占 11.3%及日元占 9.4%。因此本文选取 2005 年 7 月 22 日至 2012 年 2 月 29 日的美元(USD)、欧元(EUR)、英镑(GBP)和日元(JPY)兑人民币汇率每日中间价作为样本数据, 共计 6616 个有效数据。数据来源于国家外汇管理局网站。其日对数收益定义为: $y_t = 100 * (\ln p_t - \ln p_{t-1})$, 其中 p_t 为 t 时刻的汇率中间价。

表 1 多元外汇货币样本收益率的统计特征

汇率	ADF 检验	均值	标准差	偏度	峰度	J-B 检验	Q(16)	Q ² (16)
USD	-39.01*(0.0000)	-0.0068	3.6283	-0.6211*	6.3299*	848.39*(0)	31.47*(0)	406.48*(0)
EUR	-38.50*(0.0000)	-0.0092	6.9327	-0.3678*	7.9751*	1743.1*(0)	77.75*(0)	405.68*(0)
GBP	-38.13*(0.0000)	-0.0040	0.4769	-0.2673*	277.64*	5198059*(0)	158.35*(0)	661.29*(0)
JPY	-23.83*(0.0000)	0.0016	2.2828	-0.0065	417.72*	11853159*(0)	412.26*(0)	780.60*(0)

注: 括号中的值为相应的 P 值, *表示在 1%显著水平下显著。J-B 检验为 Jarque-Bera 检验。

由表 1 的描述性统计可知, 多元外汇收益序列呈现出明显的尖峰厚尾特征, 极其显著的 JB 统计量证实了其不服从正态分布。同时, ADF 检验显示多元外汇收益序列不存在单位根, 均为 0 阶平稳的随机过程。进一步, Ljung-Box 修正统计量 Q 拒绝 16 期序列不相关的假设, 即在收益序列中存在序列相关。检验时间序列 R_t^2 的统计量 $Q^2(16)$ 值显示出多元外汇收益序列具有异方差性, 这表明多元外汇收益的波动存在较为显著的持续性, 可考虑用 SV-MT 建模。因此, 多元外汇收益率序列均为左偏态、厚尾但平稳的分布。

接下来运用 SV-MT 模型对多元外汇的收益序列进行拟合, 消除其条件异方差和得到不可观测的波动率序列, 然后基于 MCMC 的 Gibbs 的抽样 40000 次, 舍去前 20000 个抽样值作为“燃数期”确保收敛, 退火计算蒙特卡洛积分, SV-MT 模型的参数估计结果见表 2。

表2 厚尾SV模型的参数估计结果

模型		SV-MT 模型										
汇率	USD	EUR			GBP			JPY				
参数	Mean	std	MC *	Mean	std	MC*	Mean	std	MC*	Mean	std	MC *
μ	-8.49	0.561	0.032	-3.19	0.228	0.016	-3.01	0.253	0.016	-3.39	0.218	0.014
ϕ	0.997	0.001	3.8E-5	0.996	0.002	7.8E-5	0.996	0.002	7.8E-5	0.996	0.002	1.1E-4
τ	17.46	3.501	0.262	162.5	42.83	3.417	105.1	23.95	1.852	145.1	52.38	4.302
ν	14.83	4.163	0.285	5.204	0.493	0.022	12.38	2.582	0.147	2.873	0.176	0.005
d	-3.486	0.617	0.011	-0.033	0.118	0.001	-0.122	0.104	0.001	-0.108	0.144	0.002

注: std 为标准差, MC*为 MCMC 标准误。d 与 ν 为 SV-MT 模型参数。

由表 2 可知,通过对参数估计值 CODA 序列进行 Geweke 谱密度收敛性检验, SV-MT 构造的 t 统计量均小于临界值 2, 因而基于 MCMC 模拟的样本序列是平稳收敛的,参数估计值是有效的。表明 SV-MT 模型较好地刻画了多元外汇的预期收益率和波动关系。因此考虑把 SV-MT 参数估计结果代入式(2), 得到渐进独立同分布的标准残差序列, 再应用 GPD 模型对其进行建模。限于篇幅, 下面以欧元兑人民币 (EUR) 直接标价法汇率为例, 进而基于构建的标准残差, 得出参数的边缘分布 SV-MT-GPD 模型的参数估计及检验结果。

表 3 EUR阈值及GPD参数的估计和检验结果

市场	尾部	阈值	超阈值比例	峰度系数	形状参数 ξ		尺度参数 β		K-S 检验	
					ξ 值	标准误	β 值	标准误	KS 统计量	p 值
EUR	上尾	1.7122	9.069%	2.9937	0.0849	0.0854	0.8662	0.1022	0.0222	0.5983
	下尾	-1.8650	9.008%	2.9949	0.4378	0.1052	0.7208	0.0926		

由表 3 可以看出, 采用极大似然估计方法估计的参数 ξ 为正, 表明服从厚尾的帕累托分布。同时峰度系数取值接近上限 3, K-S 的相伴概率说明原序列做概率积分变换后的序列服从[0, 1]的均匀分布。通过对各序列的自相关检验认为变换后的各序列均不存在自相关, 可视作均是独立的。K-S 检验和自相关检验以及概率 p 值较显著表明, 基于 SV-MT-GPD 模型较好地描述了 EUR 的边缘分布。为了进一步验证 GPD 尾部估计, 图 1 直观地描述了 EUR 随机扰动项上尾拟合 GPD 分布的效果图, 可以看到 GPD 模型对构建的标准残差序列拟合得比较好。因此认为以 SV-MT-GPD 模型做为边缘分布模型的选择是合理的。

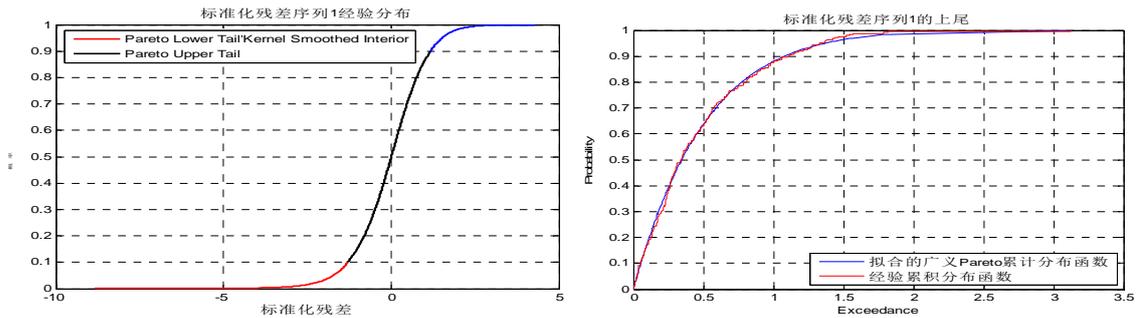


图1 EUR的经验累积分布图和上尾拟合 GPD分布的效果图

同理，可得其他外汇储币的边缘分布，利用各样本边缘分布的标准残差序列做概率积分变换，容易估计得到多元 t Copula 函数的相关系数矩阵。表 4 直观显示出其他三种外汇储币与美元呈现负相关关系，欧元与英镑也显示为微弱负相关。

表4 多元 t Copula 的相关系数矩阵的估计（自由度为 4.0035）

	USD	JPY	EUR	GBP
USD	1.0000	-0.4603	-0.3033	-0.1653
JPY	-0.4603	1.0000	0.6195	0.1180
EUR	-0.3033	0.6195	1.0000	-0.0042
GBP	-0.1653	0.1180	-0.0042	1.0000

3.2 多元外汇储币组合的 VaR 计算

基于前述 2.2 内容，在确定 t Copula 的参数值后，即可应用蒙特卡洛模拟 2000 次来测度三种不同置信度下的单一外汇储币和外汇储币组合的 VaR。计算结果见表 5。由表 5 可知，外汇组合风险要小于单个外汇储币的风险，依据外汇组合间的负相关关系来选择投资组合，可以有效降低外汇组合风险。如果从预期收益角度出发，可以考虑降低美元和英镑的比重，增加欧元和日元比例。另外，由 VaR 差值可以看出，置信水平越高，外汇组合降低风险的程度就越大。

表5 外汇储币及其外汇储币组合的 VaR 值

外汇储币	90%	95%	99%
USD	1.1603	1.7740	3.3888
JPY	1.2164	1.8639	3.5285
EUR	1.5583	2.0333	3.8898
GBP	1.0601	1.4955	2.6832
VaR 均值	1.2488	1.7917	3.3726
外汇组合 VaR	0.7237	0.9670	1.8270
VaR 差值	0.5251	0.8247	1.5456

表 5 表明基于 Copula-SV-MT-GPD 外汇储币组合的风险度量方法是有效的，接下来为检验该方法的精度，选取 Copula-GPD、Copula-SV-N 模型进行风险度量对比，结果见表 6。

表6 三种模型在 99% 置信度下模拟的外汇组合的 VaR 值

模型类型	VaR 值	标准差	VaR 值/标准差
Copula-GPD	2.0951	1.4729	1.4224
Copula-SV-N	2.2873	1.5944	1.4346
Copula-SV-MT-GPD	1.8270	1.1348	1.6099

由表 6 可以看出, 由三种模型估计的 VaR 值差别不大, 主要是由于三者的连接函数都选择 t Copula 函数形式, 但由 Copula-SV-MT-GPD 模型估计出的 VaR 值稍小, 其与标准差比值较高, 差别主要是由于边缘分布 SV-MT-GPD 模型比 GPD 和 SV-N 模型对外汇组合波动的尾部刻画更为细致, 得到组合风险 VaR 值较小, 说明边缘分布的择选对外汇组合的联合分布具有重要作用, 从而说明 Copula-SV-MT-GPD 模型对外汇组合风险的计算精度相对较高。

4 结束语

考虑到外汇收益序列存在“尖峰厚尾”及波动的异方差性等典型事实特征, 本文采用考虑预期收益率的 SV-MT 模型与帕累托分布相结合来描述单个外汇收益的边缘分布, 同时应用 Copula 函数, 并结合 Monte Carlo 模拟对我国多元外汇储备组合进行风险测度。实证结果表明, 如果基于预期收益角度, 可考虑降低美元和英镑比重, 适时增持欧元和日元比例, 使得风险对冲, 在不同的置信度下外汇储备组合的风险均小于单一外汇的风险。同时, 置信度越高, 外汇储备组合降低风险的程度越大, Copula-SV-MT-GPD 模型与 Copula 其他风险度量模型相比更具优越性。

应用 SV-MT-GPD 模型不仅较好地刻画了多元外汇储备组合的边缘分布, 而且还能有效的描述外汇收益尾部的异常变化, 这为一维风险测度模型提供了一定的参考价值。最后需要说明的是, 该模型对于有些多元资产如混合型金融资产组合的适用性效果还有待进一步研究, 比如刻画边缘分布波动性的 SV 模型也可选择更多的形式, 如选择杠杆效应的、长记忆性等 SV 模型来验证其适用性。同样也可选择其它的多元 Copula 函数来描述边缘分布的相依结构以检验构建组合的风险测试效果。此外, 考虑到外部环境的变迁, 刻画多元金融资产相依结构也具有时变性, 因而对于金融组合的风险测度也提出了更高的要求, 当然这也是下一步需要研究的问题。

参考文献

- 黄大海,郑丕谔.2005.股市预期收益率与波动关系的研究.管理科学学报,10:76-81.
- 孔立平.2010.全球金融危机下中国外汇储备币种构成的选择.国际金融研究,3:64-72.
- 李悦雷,张维,熊熊,梁朝辉.2010.基于极值相关分析方法的股指期货操纵防范研究.管理科学学报,13(11):104-111.
- 刘琼芳,张宗益.2011.基于 Copula 房地产与金融行业的股票相关性研究.管理工程学报 1:165-169.
- 刘志东.2006.基于 Copula-GARCH-EVT 的资产组合选择模型及其混合遗传算法.系统工程理论方法应用.15(2):149-157.
- 任仙玲,叶明确,张世英.2009. 基于 Copula-APD-GARCH 模型的投资组合有效前沿分析.管理学报,6(11):1528-1535.
- 吴振翔,陈敏,叶五一,缪柏其.2006.基于 Copula-GARCH 的投资组合风险分析.系统工程理论与实践,3:45-52.
- 徐正国,张世英.2004.调整已实现波动率与 GARCH 及 SV 模型对波动的预测能力的比较研究.系统工程, 11(8):60-63.
- 杨湘豫,夏宇.2008.基于 Copula 方法的开放式基金投资组合的 VaR 研究.系统工程,26(12):40-44.
- 杨湘豫,周再立.2011.基于 Copula-TARCH 的开放式基金投资组合风险的实证分析.系统工程,29(6):65-70.
- 余素红,张世英,宋军.2004.基于 GARCH 模型和 SV 模型的 VaR 比较.管理科学学报,7(5):61-66.
- 战雪丽,张世英.2007.基于 Copula-SV 模型的金融投资组合风险分析.系统管理学报.16(3):302-306

-
- 张尧庭.2002.连接函数(copula)技术与金融风险分析.统计研究.(4):48-51.
- Ang A, Bekaert G.2002. International asset allocation with regime shifts. *Review of Financial Studies*,15(4):1137-1187.
- Hotta L, Lucas K, Palaro E C.2008.Estimation of VaR using Copula and extreme value theory. *Multinational Financial Journal*,12(3):205-218.
- Kim S, Shephard N, Chib S. 1998.Stochastic volatility: Likelihood inference and comparison with ARCH models. *Review of Economic Studies*,65(3):361-393.
- Koopman S J, Uspensky E H. 2002.The stochastic volatility in mean model : Empirical evidence from international stock markets .*Journal of Applied Econometrics*,17(6):667 —689.
- Kupiec P.1995. Techniques for verifying the accuracy of risk measurement models. *Journal of Derivatives*,3(2):73-84
- Longin F, Solnik B. Extreme correlation of international equity markets . *Journal of Finance*, 56(2):649-676.
- Marshal R, Zeevi A.2002.Beyond correlation: extreme co-movements between financial assets.Working Paper, Columbia Business School.
- Patie P.2000. Estimation of value at risk using extreme value theory. <http://www.math.ethz.ch/patie/VaR EVT>.
- Rodriguez J C. 2007.Measuring financial contagion: A copula approach. *Journal of Empirical Finance*,14(3):401-423.
- Viviana Fernandez. 2008.Copula-based measures of dependence structure in assets returns. *Journal of Physica A* ,387(14): 3615-3628.