

编号：B596

基于五种时变 Copula 模型下新冠疫情对汇率波动影响分析

参赛单位：昆明理工大学

参赛队员：李薛莎、曹昌雄、任鹏

目录

摘要.....	1
Abstract.....	2
一、 究背景及意义.....	4
(一) 研究背景	4
(二) 研究意义	4
二、 数据预处理.....	6
(一) 数据来源	6
(二) 数据预分析	6
三、 模型介绍.....	8
(一) Copula 函数简介	8
(二) Copula 函数分类	9
(三) 时变 Copula 函数.....	12
(四) 模型选择	13
四、 实证分析.....	14
(一) 数据特征分析	14
(二) 时变 Copula 函数在汇率联动分析中的应用.....	16
(三) 小结	22
五、 总结与建议.....	23
(一) 总结	23
(二) 建议	23

参考文献.....	25
附录.....	27

图目录

图 1 文章技术路线图	5
图 2 疫情前相关系数矩阵图	6
图 3 疫情后相关系数矩阵图	7
图 4 二元正态 Copula 概率密度图	10
图 5 二元 Gumbel Copula 概率密度图(左) ;	11
图 6 六国汇率直方图	15
图 7 离岸人民币-美元汇率联动窗口	16
图 8 离岸人民币-欧元汇率联动窗口	17
图 9 美元-欧元汇率联动效应	18
图 10 离岸人民币-英镑汇率联动窗口	19
图 11 美元-英镑汇率联动窗口	19
图 12 离岸人民币-日元汇率联动窗口	20
图 13 美元-日元汇率联动窗口	21
图 14 离岸人民币-澳元汇率联动窗口	21
图 15 美元-澳元汇率联动窗口	22

表目录

表 1 汇率基本特征	15
------------------	----

摘要

目的：新冠疫情在全球的爆发，使全球经济进入“大萧条”时期，汇率的稳定性会直接影响到一个国家进出口产品的需求，保持汇率的稳定性可以扩大出口，缓解就业压力，降低经济发展的不确定性，为经济快速发展提供良好的成长环境，因此研究新冠肺炎疫情对人民币稳定性和国际化的影响，具有较强的前瞻性和现实意义。

方法：首先在数据处理方面，对各国的汇率数据进行特征分析(如表 1 所示)，发现数据总体上呈现“尖峰厚尾，非对称”的特征，为了研究离岸人民币(中国境外经营人民币的存放款业务)与世界主要交易货币(美元，欧元，日元，英镑，澳元)的相依性关系，本文将建立适用于具有耦合结构的变量的模型进行数据分析。其次在模型建立方面，考虑到本文旨在分析新冠疫情前后汇率稳定性的变动问题，为了更好的描述不同时间段下汇率间的相依关系，选择 5 种不同类型的时变 Copula 函数(Gaussian Copula、t-Copula、Gumble Copula、Clayton Copula 和 Frank Copula)对离岸人民币与其它五国汇率进行相依性建模，作为对比，同时也将美国与其它五国汇率进行相依性建模，进而分析人民币汇率的稳定性。

结论：研究发现，当国内疫情爆发时，离岸人民币会受到其它五国汇率的影响而出现不同程度的波动，五种 Copula 函数依据赤池信息准则(AIC)准则，选择合适的 Copula 函数刻画汇率间的相依关系。通过对相依关系的分析，可以知道，当国内疫情得到控制而国外疫情开始爆发时，离岸人民币能快速调整自身波动并恢复到稳定状态，这为人民币国际化提供了新机遇，最后对今后稳步提升人民币汇率提出政策性建议。

关键词：人民币国际化；时变 Copula；Gumble Copula；Clayton Copula

Abstract

Objective: The outbreak of the new champions in a global epidemic, the global economy into the great depression, the stability of the exchange rate will directly affect a country's import and export products demand, maintain the stability of the exchange rate can expand exports, alleviate the employment pressure, reduce the uncertainty of economic development, to provide a good growth environment for rapid economic development, Therefore, it is of great prospective and practical significance to study the impact of COVID-19 epidemic on the stability and internationalization of RMB.

Methods: First in terms of data processing, an analysis of the characteristics of exchange rate data from country to country (as shown in table 1), find the data on the whole, present the characteristics of the "rush thick tail, asymmetric", in order to study the offshore RMB (outside of China to operate RMB business of storing) and the world's major trading currencies (the dollar, euro, yen and pound, Australian dollar) of dependency relationship, In this paper, a model suitable for variables with coupling structure will be established for data analysis. Secondly, in terms of model building, considering that this paper aims to analyze the fluctuation of exchange rate stability before and after COVID-19, in order to better describe the interdependent relationship between exchange rates in different time periods, Five different types of time-varying Copula functions (Gaussian Copula, T-Copula, Gumble Copula, Clayton Copula and Frank Copula) are selected to model the dependence between

offshore RMB and the exchange rates of the other five countries as a comparison. At the same time, the exchange rates of the United States and other five countries are modeled to analyze the stability of the RMB exchange rate.

Conclusion: The research found that when the domestic epidemic outbreak, offshore RMB will be affected by the exchange rate of the other five countries and fluctuate to different degrees. The five Copula functions are selected according to Akaike Information Criteria (AIC), and the appropriate Copula function is selected to describe the correlation between exchange rates. Through the analysis of the dependent relationship, it can be seen that when the domestic epidemic is under control and the foreign epidemic begins to break out, the offshore RMB can quickly adjust its own fluctuations and restore to a stable state, which provides a new opportunity for the internationalization of RMB. Finally, policy suggestions are put forward to steadily improve the RMB exchange rate in the future.

Key words: RMB internationalization; Time-varying copulas; Gumbel copulas ; Clayton Copula

一、研究背景及意义

(一)研究背景

2019 年 12 月份,新冠疫情聚集性爆发的新闻在我国首次被报道,经过党和国家迅速行动以及有效治愈和防控,现今我国已完全控制住国内新冠疫情的传染链,同时新冠疫苗的出现,为防治新冠病毒带来了一定的转机。中国作为世界上的第二大经济体,在对新冠肺炎的统筹防控,以及恢复社会生产和经济增长上取得了重大的成果,也为世界性传染性疾病的防治提供了中国力量和方案。反观国外疫情,欧美发达国家疫情虽然得到一定的控制,每天确诊的人数还是比较多,受疫情影响较为严重,特别是近期印度的疫情爆发更为世界性的新冠病毒防控带来了重大的挑战。

由于全球疫情的影响,2020 年成为经济萧条最严重的一年,市场恐慌情绪使得传统避险资产失去“安全边际”,对疫情的恐慌情绪不仅对国内市场的生产和交易,还对外汇市场以及外贸出口企业订单产生了极大的影响,都不同程度地干扰了跨境资本的基本面,加大了汇率波动的风险。

(二)研究意义

汇率的稳定性会影响到一个国家的进出口产品的需求,汇率升值太快会导致经济的萧条,保持汇率的稳定性可以扩大出口,缓解就业压力,降低经济发展的不确定性,为经济快速发展提供良好的成长环境。本文选择离岸人民币和世界主要支付货币(美元、欧元、日元、澳元、英镑)的汇率作为研究对象,并且依据疫情相关形势,选择两个与我国新冠疫情相关度最大的阶段汇率的日度数据作为参考数据,第一阶段为疫情发生前的时间,本文选取 2018 年初至 2020 年 1 月 20 日的六国每日汇率数据,第二阶段为国内疫情爆发至稳定的时间段,选取 2020 年 1 月 20 日至 2021 年 5 月 16 日的六国每日汇率数据,研究新冠肺炎疫情对人民币国际化的影响,具有较强的前瞻性和现实意义,下面给出本文的技术路线图。

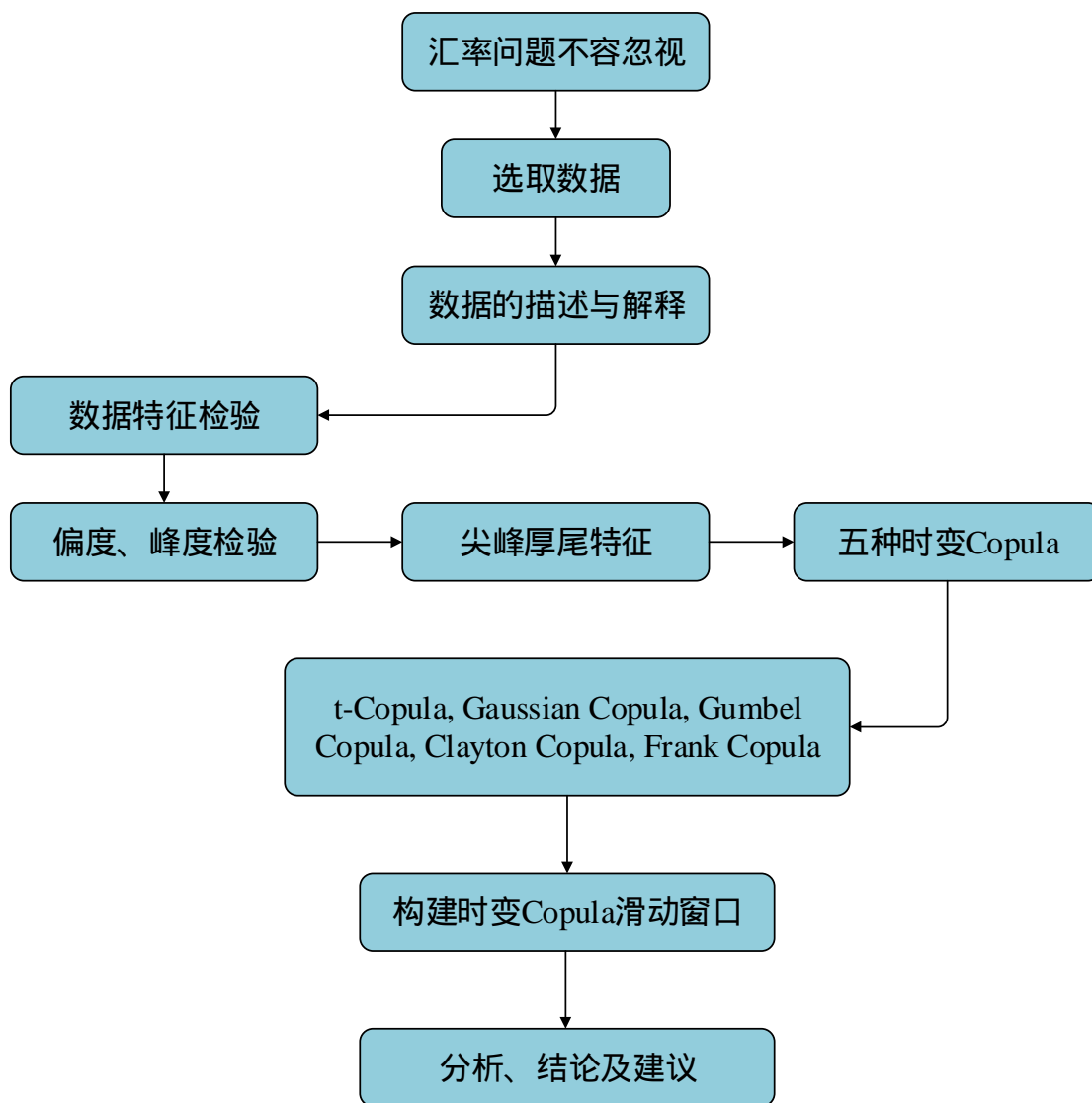


图 1 文章技术路线图

二、数据预处理

(一)数据来源

本文选取的数据包含离岸人民币与美元,欧元,日元,英镑,澳元五国的人民币汇率中间价(即 100 外币折合对应的人民币),考察新冠疫情前后五国汇率对离岸人民币的影响,分析人民币影响力及其稳定性,数据选自于:国家外汇管理局官网(<http://www.safe.gov.cn/safe/rmbhlzjj/index.html>)。

(二)数据预分析

在数据处理方面,为了统一换算单位,首先,将美、欧、日、英、澳五国的人民币汇率之间价换算成 1 外币对应的人民币市值。考察样本选取时间分为两个阶段,第一阶段为 2018 年 1 月至 2020 年 1 月 20 日六国每日的汇率数据,第二阶段为国内疫情开始爆发时间 2020 年 1 月 20 日至 2021 年 5 月 16 日六国每日汇率数据,并利用相关系数图先初步分析疫情前后各国汇率之间的关系,如图 1、图 2 所示。

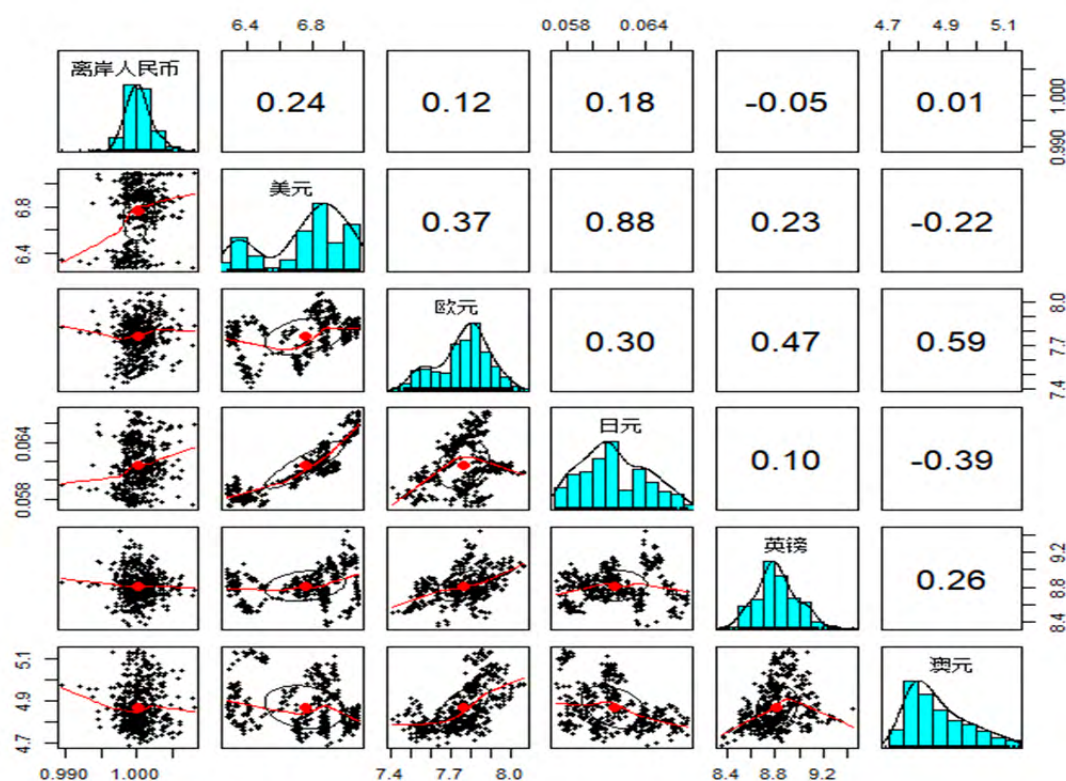


图 2 疫情前相关系数矩阵图

上图中对角线上的直方图表示不同货币汇率的数值分布,散点图中的椭圆称为相关椭圆,可视化各个变量之间的相关关系,其中椭圆越扁,表示相关性越强,例如图中美元和日元汇率相关椭圆较扁,说明相关性偏高,且相关系数为 0.88。散点图中的曲线成为局部回归曲线,表示 X 轴和 Y 轴变量之间的一般关系,例如图散点图中美元和日元的局部回归线呈现上升的趋势,这表明日元的汇率会随着美元汇率的增加而增加,并且可以看出每个国家的汇率数值分布都处于一个相对集中的状态。同时从图中可以看到,离岸人民币在疫情前也处于相对稳定的状态。

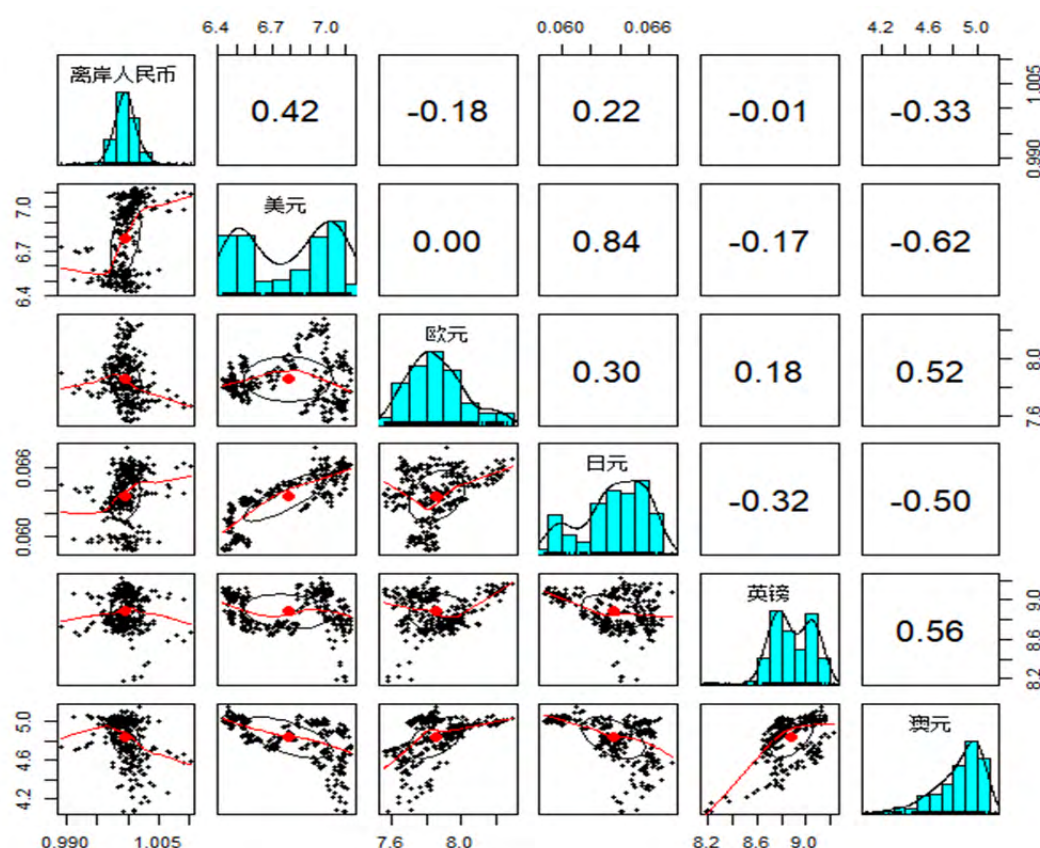


图 3 疫情后相关系数矩阵图

由图 3 可以看出当新冠疫情爆发后,各国的汇率均产生了不同程度的波动,且美欧日英澳五国汇率波动相对疫情前都较为分散,离岸人民币汇率分布较为集中且稳定。这里只是粗略对数据进行处理,接下来的工作是建立模型研究新冠疫情前后各国汇率对于中国汇率的影响作用,并根据结果为人民币国际化提供政策建议。

三、模型介绍

GARCH 模型常用于汇率之间的联动性研究,用来描述金融市场间的波动溢出,关于 GARCH 模型拟合汇率效益方面研究,众多学者研究出许多学术成果,但是由于金融市场通常处于一个非常活跃的状态,GARCH 模型无法满足对金融时间序列的实时分析,进而 Copula 模型应运而生,它可以解决上述模型无法解决的问题,达到很好的拟合效果。通过对已有方法的研究发现,大多数的研究都集中在静态情况下,没有考虑到金融时间序列之间的相关关系是随着市场条件的变化而变化的,继续使用传统模型存在许多不足,鉴于以上,本文利用时变 Copula,通过关联函数或相关参数随时间变化的特征对数据间依赖的动态结构进行建模,从而分析疫情前后人民币的稳定性。

(一) Copula 函数简介

定义(Nelsen,1999)^[1]:函数 C 满足以下条件为 N 元 Copula 函数:

- (1) $C = I^N = [0,1]^N$;
- (2) C 对于每个变量都是递增的;
- (3) C 的边缘分布 $C_i(\cdot)$ 满足 $C_i(u_i) = C(1, \dots, 1, u_i, 1, \dots, 1) = u_i$, 其中 $u_i \in [0,1], i \in [1, N]$ 。

设有一元分布函数 $F_1(\cdot), \dots, F_N(\cdot)$, 令 $u_i = F_i(x_i)$ 是一元随机变量, 那么 $F_1(\cdot), \dots, F_N(\cdot)$ 为多元分布函数 $C[F_1(x_1), \dots, F_i(x_i), \dots, F_N(x_N)]$ 的边缘分布。令 F 为包括边际分布 $F_1(\cdot), \dots, F_N(\cdot)$ 的联合分布函数, 则存在 Copula 函数 C 满足:

$$F(x_1, \dots, x_i, \dots, x_N) = C[F_1(x_1), \dots, F_i(x_i), \dots, F_N(x_N)] \quad (1)$$

如果 $F_1(\cdot), \dots, F_N(\cdot)$ 连续, 那么 C 唯一确定的; 反之, 若 $F_1(\cdot), \dots, F_N(\cdot)$ 为一元分布, 则由上式定义的函数 F 是联合分布函数, 其边缘分布为 $F_1(\cdot), \dots, F_N(\cdot)$ 。

通过 Copula 函数 C 的密度函数 c 和边缘分布 $F_1(\cdot), \dots, F_N(\cdot)$, 可以简便地求出边缘分布 N 元分布函数 $F(x_1, \dots, x_i, \dots, x_N)$ 的密度函数:

$$f(x_1, \dots, x_i, \dots, x_N) = c[F_1(x_1), \dots, F_i(x_i), \dots, F_N(x_N)] \prod_{i=1}^N f_n(x_n) \quad (2)$$

其中 $c(u_1, \dots, u_i, \dots, u_N) = \partial C(u_1, \dots, u_i, \dots, u_N) / \partial u_1 \dots \partial u_i \dots \partial u_N$, $f_i(\cdot)$ 是边缘分布 $F_i(\cdot)$ 的密度函数。

(二) Copula 函数分类

Copula 函数族中常见的分布族包含两类，一类是椭圆分布族，另一类是阿基米德 (Archimedean) 分布族。正态 Copula 和 t-Copula 二者构成椭圆分布族，Gumble Copula、Clayton Copula 和 Frank Copula 是常用的阿基米德分布族中的三类，本文用到的时变 Copula 为以以上五类 Copula 为基础进行分析，以下依次进行介绍。

1、椭圆 Copula 族

椭圆 Copula 函数族能够更好的描述尾部对称关系，其联合分布表达式如下：

$$C(u_1, \dots, u_N) = F[F_1^{-1}(u_1), \dots, F_N^{-1}(u_N)] \quad (3)$$

① 正态 Copula 函数

Nelson (1998) ^[2] 给出 N 维正态 (高斯) Copula 的分布函数和密度函数表达式如下：

$$C(u_1, \dots, u_N; \rho) = \Phi_\rho[\Phi^{-1}(u_1), \dots, \Phi^{-1}(u_N)]$$
$$c(u_1, \dots, u_N; \rho) = \frac{\partial^N C(u_1, \dots, u_N; \rho)}{\partial u_1 \dots \partial u_N} = |\rho|^{-\frac{1}{2}} \left[-\frac{1}{2} \xi^T (\rho^{-1} - I) \xi \right] \quad (4)$$

其中用 N 阶对称正定矩阵来表示 ρ ，并且这个矩阵上的对角线元素为 1， $|\rho|$ 代表这个句子的行列式值； Φ_ρ 是一个 N 维标准的正态分布函数，并且它的相关系数矩阵为 ρ ，容易知道， Φ^{-1} 是这个正态分布函数的逆函数；并且有 $\xi^T = [\Phi^{-1}(u_1), \dots, \Phi^{-1}(u_N)]$ 。

二维情况下：

$$C(u, v; \rho) = \int_{-\infty}^{\Phi^{-1}(u)} \int_{-\infty}^{\Phi^{-1}(v)} \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \exp \left[-\frac{s^2 - 2\rho st + t^2}{2(1-\rho^2)} \right] ds dt \quad (5)$$

② t-Copula 函数

1998 年，Nelson 提出 N 维 t-Copula 的分布函数和密度函数可以用如下式子来进行表示：

$$C(u_1, \dots, u_N; \rho, k) = t_{\rho, k}[t_k^{-1}(u_1), \dots, t_k^{-1}(u_N)]$$

$$c(u_1, \dots, u_N; \rho, k) = |\rho|^{-\frac{1}{2}} \frac{\Gamma\left(\frac{k+N}{2}\right) \left[\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)\right]^{n-1} \left(1 + \frac{1}{k} \xi^T \rho^{-1} \xi\right)^{-\frac{k+N}{2}}}{\left[\Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right)\right]^n \prod_{i=1}^N \left(1 + \frac{\xi_i^T}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}}} \quad (6)$$

$$\xi^T = [t_k^{-1}(u_1), \dots, t_k^{-1}(u_N)]$$

其中 $t_{\rho,k}$ 表示相关系数矩阵为 ρ 、自由度为 k 的标准 N 维 t 分布函数， t_k^{-1} 为其逆函数。二维情况的表达式为如下所示：

$$C(u, v; \rho, k) = \int_{-\infty}^{t_k^{-1}} \int_{-\infty}^{t_k^{-1}} \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \left[1 + \frac{s^2 - 2\rho st + t^2}{k(1-\rho^2)}\right]^{-\frac{k+2}{2}} ds dt \quad (7)$$

如下图所示，左边的图像表示二维正态 Copula 函数的密度函数图像，右边的图像表示 t-Copula 函数的密度函数图像。从图中可以看出二者不能捕获随机变量之间不对称的尾部相关性，同时通过观察可以看出二维 t-Copula 函数的尾部较厚，可以更好地刻画变量之间的对称尾部关系。

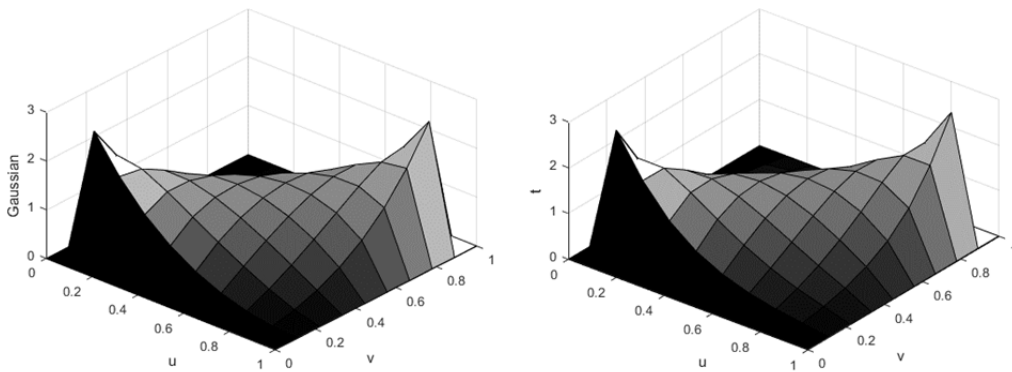


图 4 二元正态 Copula 概率密度图
二元 t-Copula 概率密度图

2、阿基米德 Copula 分布族

Genest 和 Mackay (1986)^[3] 提出阿基米德 Copula 分布函数的定义，其表达形式如下：

$$C(u_1, \dots, u_N) = \begin{cases} \varphi^{-1}[\varphi(u_1), \dots, \varphi(u_N)] & , \sum_{i=1}^N \varphi(u_i) \leq \varphi(0) \\ 0 & , \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

下面通过数学公式解释常见的三类阿基米德 Copula 函数，分别如下所示：

① 二维 Gumble Copula 函数

$$C(u, v) = \exp \left\{ -[(-\log(u))^\alpha + (-\log(v))^\alpha]^{\frac{1}{\alpha}} \right\} \quad (9)$$

其中 $\alpha \in [1, \infty]$ 为参数。

② 二维 Clayton Copula 函数

$$C(u, v) = \max \left\{ (u^{-\alpha} + v^{-\alpha} - 1)^{-\frac{1}{\alpha}}, 0 \right\} \quad (10)$$

其中, $\alpha \in ((-1, 0) \cup (0, \infty))$ 为参数。

③ 二维 Frank Copula 函数

$$C(u, v) = -\frac{1}{\alpha} \log \left(1 + \frac{(e^{-\alpha u} - 1)(e^{-\alpha v} - 1)}{e^{-\alpha} - 1} \right) \quad (11)$$

其中, $\alpha \in ((-\infty, 0) \cup (0, \infty))$ 为参数。

为了让人更加直观的感受这三类函数的密度函数的分布特点, 利用 R 软件绘制如图 5 所示的图像, 从下图可以看出, 左边的为二元 Gumbel Copula 的密度函数图像, 它的右边部分即上尾部分较厚, 说明它能很好的拟合上尾数据的变化; 中间的图是 Clayton Copula 的概率密度函数, 图像的左边部分即下尾部分较厚, 表明其对上尾部分变化的数据具有更好的拟合效果; 右边的图表示 Frank Copula 函数的密度函数图像, 它具有较为对称的上下尾部结构。

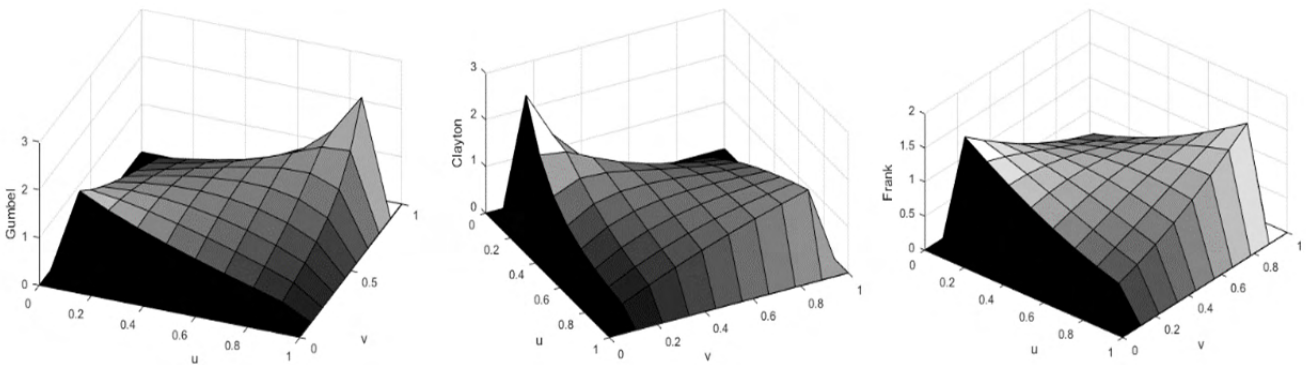


图 5 二元 Gumbel Copula 概率密度图(左);
二元 Clayton Copula 概率密度图(中);
二元 Frank Copula 概率密度图(右)

(三) 时变 Copula 函数

众所周知，Copula 函数对于相依性建模具有很强的运用价值，汇率变动会受到国家政策和国际关系的影响，同时，汇率的变化会随着时间的变动而发生变动，因此根据时间对数据之间建立动态非线性关系模型以刻画变量之间的相关关系具有重要的意义。时变 Copula 是一种指参数会随着时间变化而变化的 Copula 模型，新冠疫情的爆发，一定程度上让国际关系和大国之间的地位发生了变化，利用时变 Copula 对新冠疫情前后研究我国人民币在国际上的变化具有现实意义。

时变 Copula 函数与 Kendall 系数密切相关，他们之间的关系可以描述为一个未知参数 θ_i 对应唯一一个 Kendall 相关系数，假定随机变量 X 、 Y 的样本观测值分别为 $X_i, i = 1, 2, \dots, N$, $Y_i, i = 1, 2, \dots, N$ ，规定随机变量 X 、 Y 之间的 Kendall 的相关系数为：

$$\tau = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{1 \leq i < j \leq n} \text{sign}(x_i - x_j)(y_i - y_j)$$

下面给出几种常见的时变 Copula 函数的定义及其表达式：

1、时变 Clayton Copula 函数

由上述可知，Copula 函数的未知参数 θ_i 与 Kendall 相关系数存在如下关系式：

$$\theta_i = \frac{2\tau_i}{\tau_i - 1}$$

其中 τ_i 表示随着时间而变化的相关系数，二元 Clayton Copula 的公式则可以根据以上关系式可变化为如下所示表达式：

$$C(u, v; \theta_i) = (u^{-\theta_i} + (v^{-\theta_i} - 1)^{-\frac{1}{\theta_i}})^{-\frac{1}{\theta_i}} \quad (12)$$

2、时变 RG Copula 函数

Gumble Copula 函数生成元为：

$$\varphi_2(t; \theta) = (-\ln t)^{\frac{1}{\theta}},$$

正如前面所说的未知参数与 Kendall 系数的关系，这里的 Gumble Copula 函数生

成元与 Kendall 相关系数也存在一个一一对应的关系，可以表示为如下所示：

$$\tau_i = \frac{\theta_i - 1}{\theta_i}$$

根据上述条件可知，Gumble Copula 的分布函数为：

$$C(u, v; \theta_i) = \exp(-[(\ln u)^{\theta_i} + (\ln v)^{\theta_i}]^{\frac{1}{\theta_i}}) \quad (13)$$

Gumble Copula 函数(式 13 所示)经过一定的数学变换可以得到 RG Copula 函数，并且我们可以得到其分布函数为：

$$C_{RG} = \exp\{-[(-\ln(1-u))^{\rho_{RG}} + (-\ln(1-v))^{\rho_{RG}}]^{\frac{1}{\rho_{RG}}}\} \quad (14)$$

称为时变 RG Copula 函数，其中 $\rho_{RG} \in [1, +\infty)$ 是参数。

3、时变 Frank Copula 函数

当 Frank Copula 中的参数随着时间而变化时，时变 Frank Copula 函数的分布函数为：

$$C(u, v; \theta_i) = -\frac{1}{\theta_i} \ln(1 + \frac{(e^{-\theta_i u} - 1)(e^{-\theta_i v} - 1)}{e^{-\theta_i} - 1}) \quad (15)$$

其中生成元为：

$$\varphi(t; \theta) = -\ln \frac{e^{-\theta t} - 1}{e^{-\theta} - 1}$$

其中 $\theta_i \in (-\infty, \infty) \setminus \{0\}$ 。

(四) 模型选择

首先，边缘分布拟合是 Copula 函数准确描述变量间相关性的关键，因此有必要建立边缘分布拟合优度的评价方法。首先对原始序列进行概率积分变换，然后检验变换后的序列是否服从均匀分布，K-S 检验可以实现这一目标。此外，“Q-Q 图”还可以直观地表现变量的实际分布与指定分布之间的拟合程度。

其次，确定合适的 Copula 族来描述变量间相关关系。对每个 Copula 族的未知参数进行估计，可以通过赤池信息准则 (AIC) 或贝叶斯信息准则 (BIC) 确定最优 Copula 函数。

$$AIC = -2 \log(MLE) + 2k$$

$$BIC = -2\log(MLE) + k\log(n) \quad (16)$$

其中 k 是 Copula 模型中参数的个数, n 是样本个数, AIC (BIC) 的值越小, 模型拟合程度越高。

四、实证分析

(一)数据特征分析

本文选取离岸人民币与美元、欧元、日元、英镑、澳元自 2018 年 1 月至 2021 年 5 月 16 日的每日汇率作为研究对象, 利用五种不同的时变 Copula 将离岸人民币和美元分别与其他五个主要货币交易国家进行相关性建模, 观察它们两两之间的相互影响, 并根据不同时间段内汇率相关关系的特征选用不同的 Copula 进行模拟。

通过图 4 我们可以知道, t Copula、Gaussian Copula 函数它们的左右两边的密度函数式对称的, 即说明其可以用来描述对称的尾部关系, 它们两个的主要差别体现在于尾部的厚度; 从图 4 中还可以知道, Clayton Copula 的概率密度函数图像的左边部分即下尾部分较厚, 表明其对上尾部分变化的数据具有更好的拟合效果; 右 Frank Copula 函数的密度函数图像具有较为对称的上下尾部结构, 适合于描述具有对称厚尾结构变量的耦合关系。利用它们之间描述数据的特点来刻画疫情前后的不同时间段内各国汇率间的相关关系式是合理的。

首先利用 R 软件拟合出 2018 年 1 月至 2021 年 5 月间六国汇率数据分布直方图如图 6 所示。从图 6 可以看出六国汇率整体上都呈现出正态分布的形态, 可以看到美元汇率的分布大概是由两个正态分布组合而成的, 说明美元汇率在某个时间段内存在不稳定的因素, 导致汇率波动较大。在接下来的分析中, 本文进一步给出各国汇率数据的数据特征, 结果如表 1 所示。

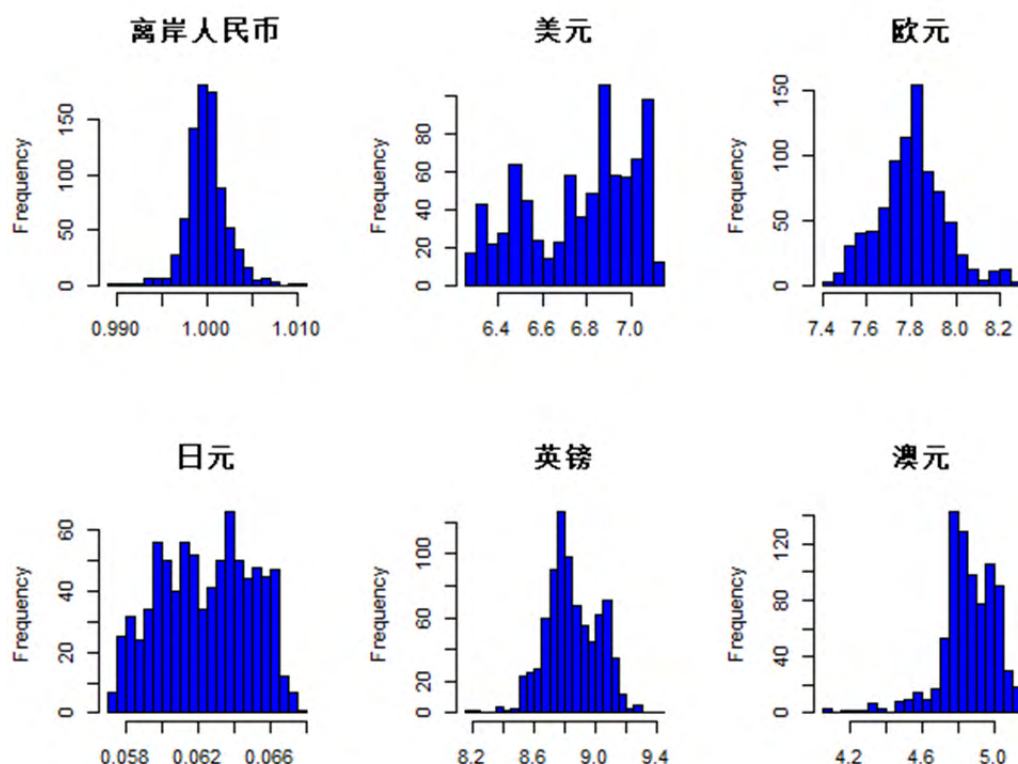


图 6 六国汇率直方图

表 1 汇率基本特征

汇率	mean	sd	var	skewness	kurtosis
离岸人民币	0.999980512	0.0022927	5.26E-06	0.053629639	3.153270036
美元	6.769476736	0.246123965	0.060577006	-0.440423739	-1.084034549
欧元	7.801902314	0.149729019	0.022418779	0.289316714	0.489280163
日元	0.062395089	0.002549727	6.50E-06	-0.093499085	-1.056369549
英镑	8.842820097	0.176881511	0.031287069	-0.108798507	0.256418123
澳元	4.852792083	0.15737033	0.024765421	-1.352361329	3.845316594

以英镑为例,观察上表可以看出,英镑汇率的偏度(skewness)为-0.108798507 小于 0,表示数据相比正态分布而言呈现左偏的趋势,即位于右边的数据多于左边,峰度(kurtosis)为 0.256418123 大于 0,表示数据形态相比正态分布而言较为陡峭,即英镑呈现出左偏且陡峭的形态;同理,可以看出离岸人民币汇率数据分布接近正态分布,但也更加陡峭;美元汇率数据分布较正态分布而言呈现出左偏

且平坦的趋势,而欧元汇率数据较正态分布而言右偏且较为陡峭,日元汇率分布较正态分布而言左偏且平坦;澳元汇率相分布相对于正态分布而言又表现出左偏且陡峭的形态,数据总体上呈现“尖峰厚尾,非对称”的特征。

(二)时变 Copula 函数在汇率联动分析中的应用

时变 Copula 函数可以根据时间的推移描述某个时间段内两个变量之间是如何相互影响,常用于分析与时间相关的两个变量之间的关系,本文以上述的 5 种 Copula 函数为基础,根据不同时间段内两个变量间的非线性相关性选择合适的 Copula 函数来对此进行描述。本文从搜集数据的第一天开始,选取的时间间隔为 200 天,依次往后推移,每两百天为一个样本区间,以此作为一个滑动窗口,体现出不同时间段内的数据特征。

为了考察出人民币汇率的稳定性,本文将离岸人民币分别与其它五个国家汇率分别进行联合分布建模,选择不同的联合分布函数以连接不同时间段的边缘分布,构成体现相关关系的滑动窗口。众所周知,美国是世界上的第一大经济体,新冠疫情对美国经济体造成不小的冲击,因此同时也将美国与其它五个国家汇率分别进行联合分布建模,通过对比考察人民币汇率的稳定性。图 6 至图 13 描述了中国与美国分别与其它五种汇率之间的联动关系。

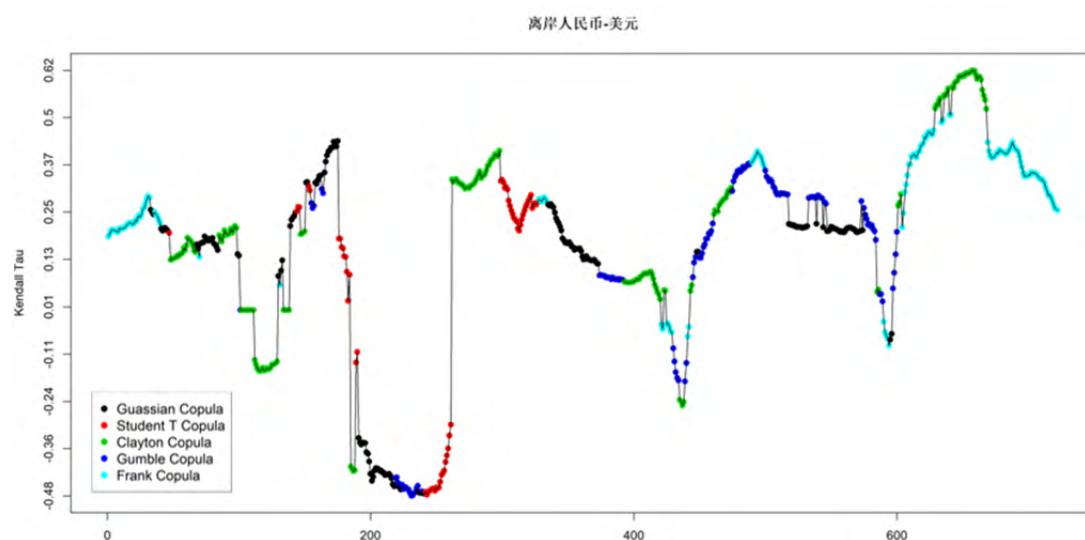


图 7 离岸人民币-美元汇率联动窗口

图 7 描述了离岸人民币与美元汇率之间的联动关系,横坐标表示联动窗口的样本数,纵坐标表示 Kendall 相关系数。黑色点表示正态 Copula 函数,一般用来表示数据稳定的时期;红色点表示 t-Copula 函数,一般用来表示对称厚尾的相依关系;绿色点表示 Clayton Copula 函数,常用来凸显下尾相依的耦合结构关系;深蓝色点表示 Gumbel Copula 函数,一般用来描述上尾相依的耦合结构关系;淡蓝色点表示 Frank Copula 函数用来拟合对称厚尾的耦合结构关系。

本文选取的时间段为第一阶段 2018 年 1 月至 2020 年 1 月 20 日,第二阶段为疫情开始时间 2020 年 1 月 20 日至 2021 年 5 月 16 日,因此图中疫情前后分割点位于样本区间 400 附近,样本区间位于 500 左右是我国新冠爆发阶段,可以看到这段时间内的数据相依性由 Gumbel Copula 函数和高斯 Copula 函数函数交替表示,这表明在这个时间段内当人民币汇率与美元汇率存在正相关关系,即当人民币偏高时,人民币兑美元也相对偏高,并且总体处于一个稳定的状态。2020 年下半年,美国开始大规模爆发新冠肺炎,并且对在美华企实施制裁,该阶段对应滚动窗口样本为 700 左右,该阶段由 Clayton Copula 函数表示,即当人民币偏低时,人民币兑美元也偏低,表明这个时间段应该减少在美投资。

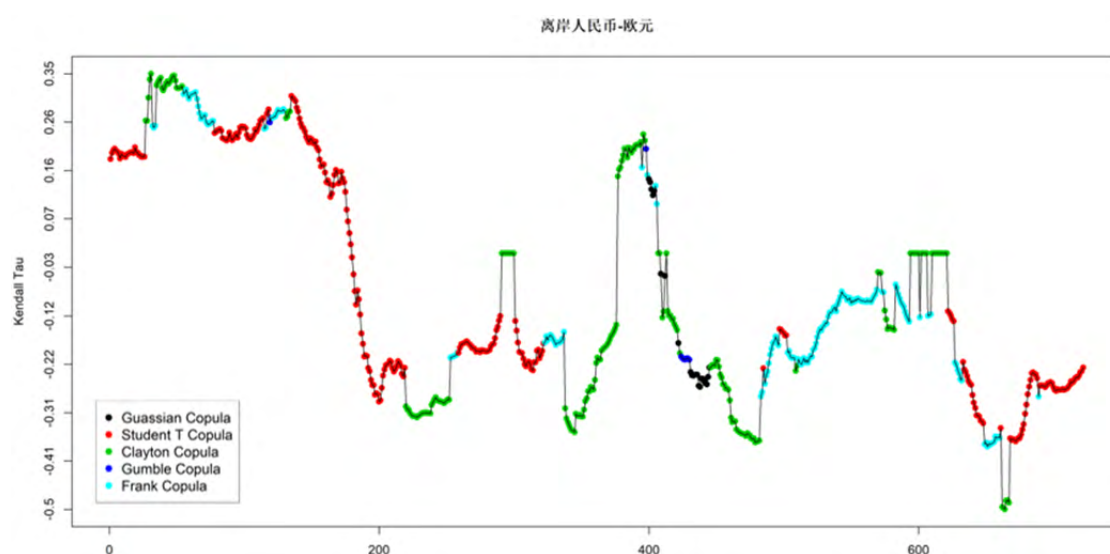


图 8 离岸人民币-欧元汇率联动窗口

图 8 描述了离岸人民币与欧元之间的联动效应,观察图像可知,在疫情发生前,数据主要是由 t-Copula 函数描述,表示两者汇率之间的联动关系总体上处于

平稳水平，国内疫情爆发时，数据主要由 Clayton Copula 函数表示，即当人民币偏低时，人民币兑欧元也偏低，但是观察后期发现，当国内疫情稳定而国外开始爆发时，数据仍由 t-Copula 函数描述，表明汇率继续恢复稳定。

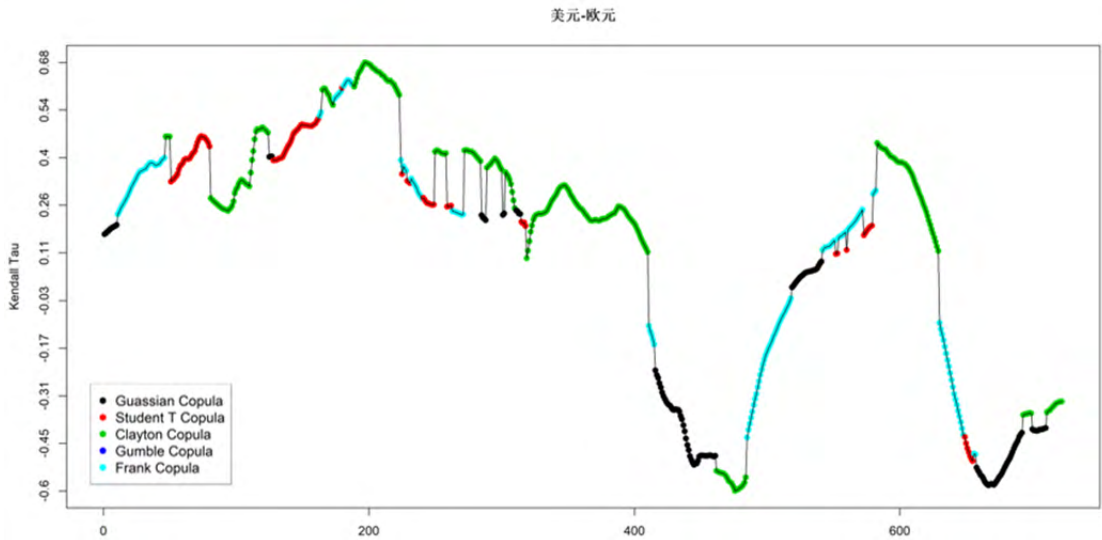


图 9 美元-欧元汇率联动效应

作为对比，图 9 描述了美元汇率与欧元汇率之间的联动关系。通过观察可以看到，在疫情之前，都处于一个汇率较平稳的时期，当美国疫情开始大规模爆发后，二者汇率之间的相依关系由 Frank Copula 函数，表明二者之间具有正负相关关系，即美元汇率偏高时，欧元兑美元汇率也偏高，反之亦然。这表明欧元汇率受美元影响较大。综合图 8 得出的结论，可以看出相对于欧元，人民币显得更具有稳定性。

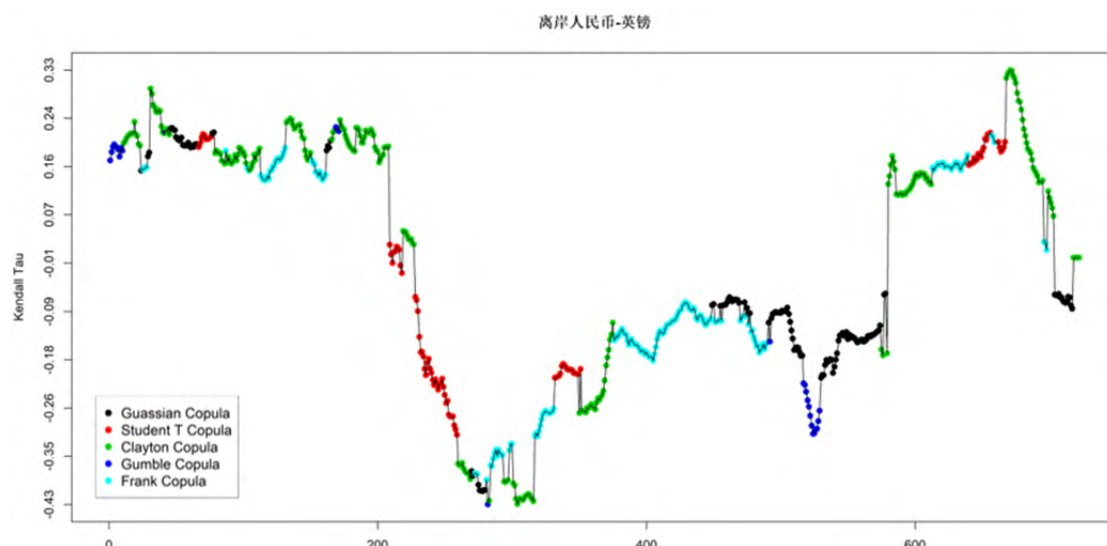


图 10 离岸人民币-英镑汇率联动窗口

图 10 描述了离岸人民币与英镑汇率之间的联动关系。通过观察可以看到，在国内疫情爆发后，二者汇率之间的相依关系前期由 Frank Copula 函数描述，之后逐渐由高斯 Copula 函数描述，表明二者在疫情爆发初期具有正负相关关系，而后又逐渐趋于稳定，说明新冠疫情的爆发对我国经济产生一定的影响，但当国内稳定之后，汇率又恢复稳定。

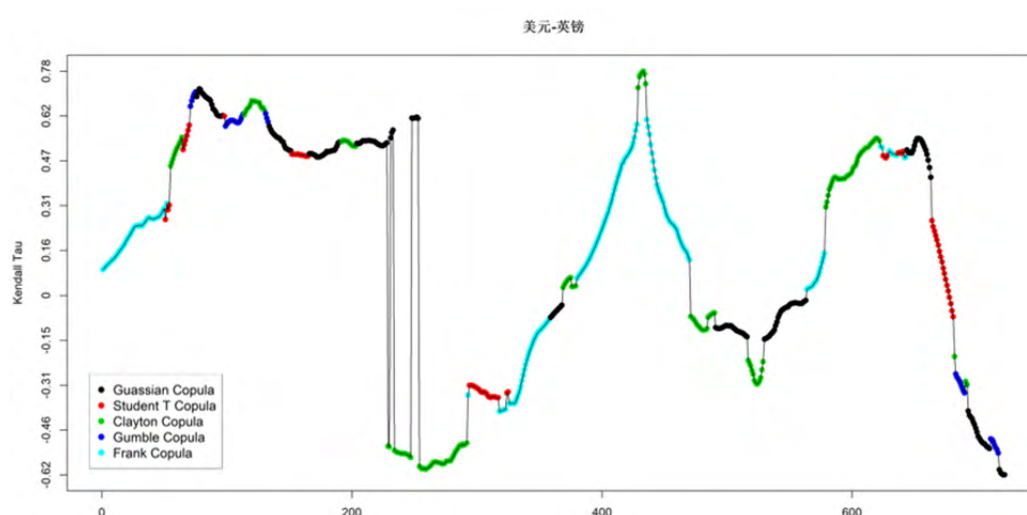


图 11 美元-英镑汇率联动窗口

图 11 描述了美元与英镑汇率之间的联动关系。通过观察可以看到，在美国

疫情爆发后，二者汇率之间的相依关系由 Clayton Copula 函数表示，具有尾部相依性，即当美元偏低时，英镑也随之偏低，到后期时，数据主要由高斯 Copula 和 t-Copula 函数表示，表明逐渐恢复了平稳，但是通过观察图 10 和图 11 中可以发现欧元对于美元的波动要大于离岸人民币的波动。综上所述，虽然人民币汇率前期由于某些因素存在一定的波动，但之后恢复力较强并逐渐趋于稳定。

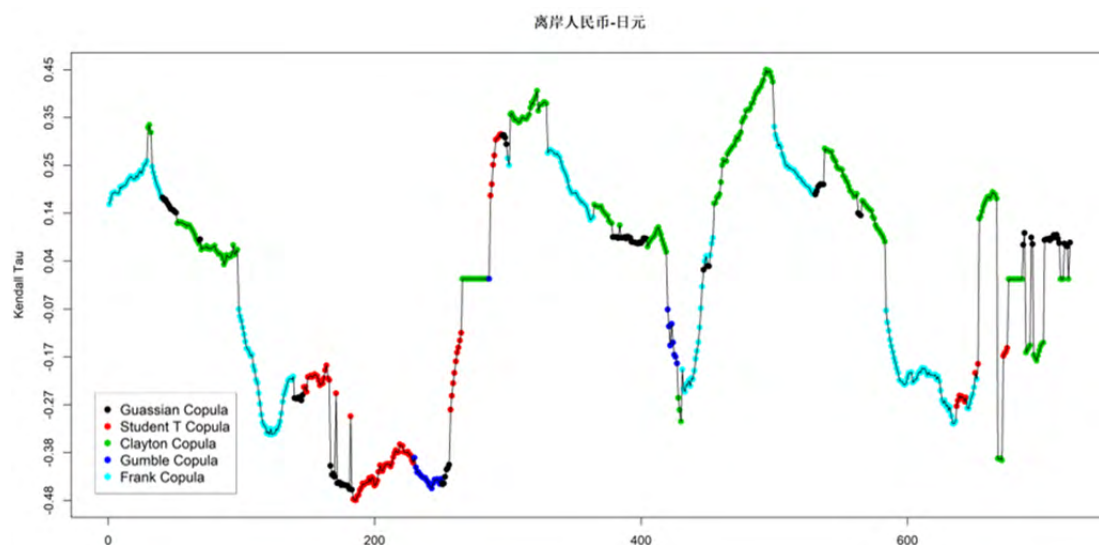


图 12 离岸人民币-日元汇率联动窗口

通过图 12 可以看出人民币与日元之间的汇率变动趋势在国内疫情期间由 Clayton Copula 函数表现，表明其具有下尾相依性，即当人民币低时，日元汇率也低。在国内疫情控制住之后，观察 Kendall 系数可知，人民币与日元的联动性加强，也能侧面说明人民币在亚太地区的影响力较强，境内外投资较多，且自身恢复能力较强。

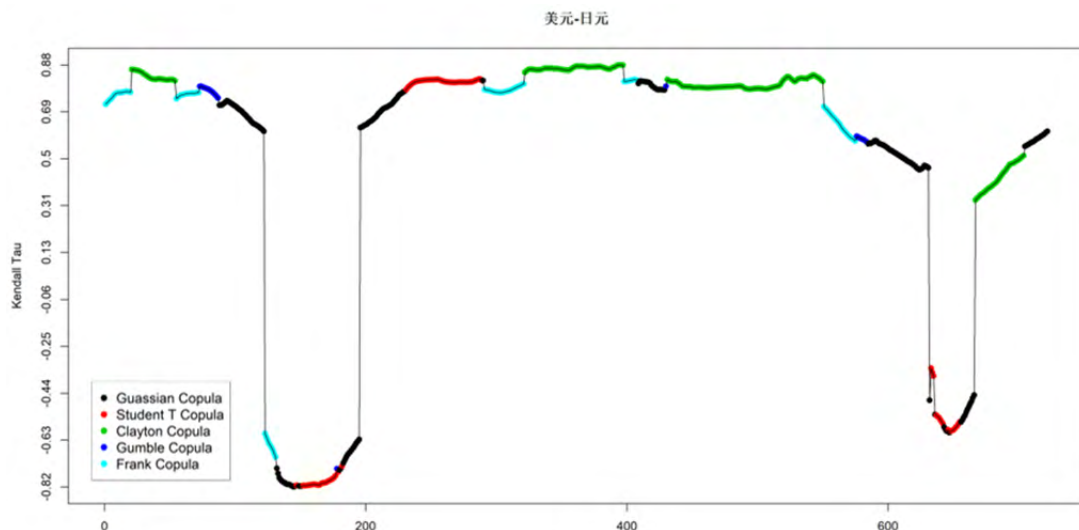


图 13 美元-日元汇率联动窗口

观察图 13 可以看出，当美国疫情大规模爆发时，对应滚动窗口的样本区间为 700 左右，该阶段内由 Clayton Copula 函数表现，表明其具有下尾相依性，即当美元降低时，日元也在降低，并且可以看到在此之前美日汇率的相依关系主要是由高斯 Copula 函数表示，表明日元在美国大规模爆发疫情后汇率发生了较大的波动。综合图 12 的结论，可以知道在一定程度上人民币较日元稳定性更强。

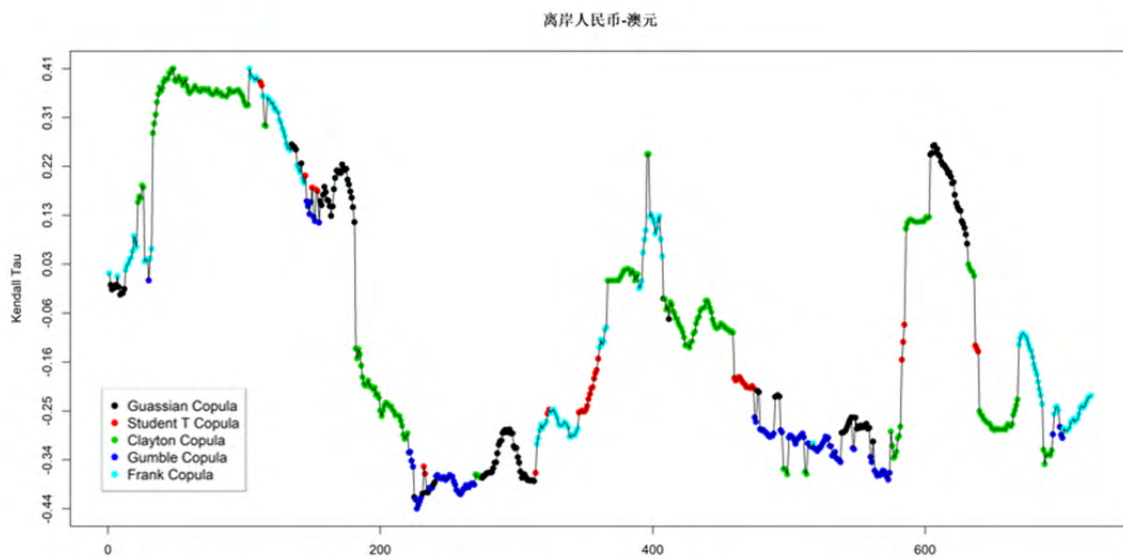


图 14 离岸人民币-澳元汇率联动窗口

观察图 14 可以看到，我国疫情大规模爆发对应的窗口样本数为 500 左右，该阶段的汇率相依性由 Gumbel Copula 函数体现，表明其具有上尾相依关系，即

当人民币偏高时，澳元也偏高，从图中也可以看出澳元对于人民币具有较强的依赖性，在 2020 年下半年，中澳关系较为紧张，从图中也可以看出，在样本区间 700 左右，汇率波动较大，但在后期明显波动变小。

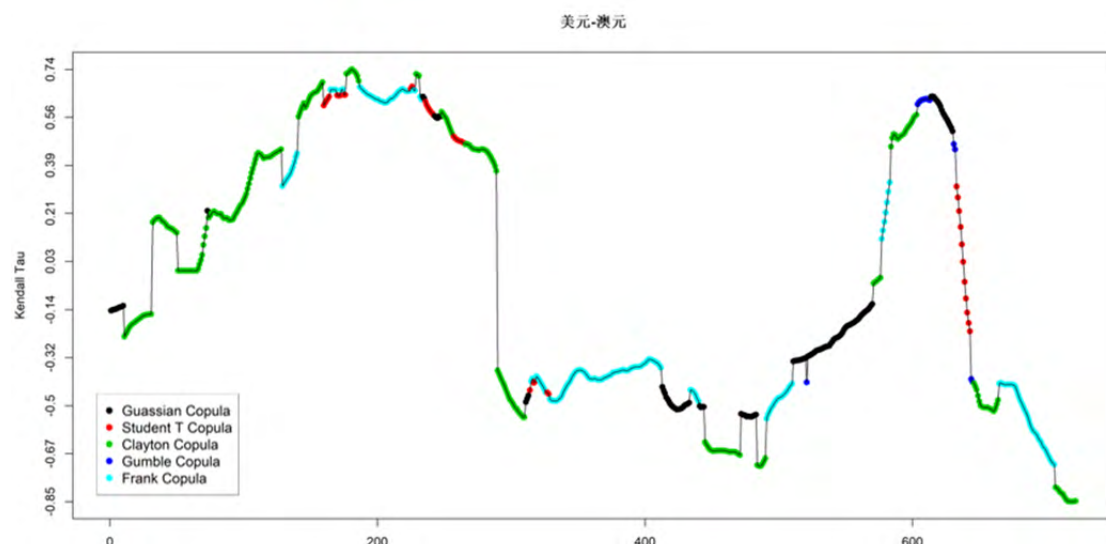


图 15 美元-澳元汇率联动窗口

从图 15 可以看出，当美国疫情大规模爆发后，对应窗口样本区间为 700 左右，该阶段内二者的相依关系由 Clayton Copula 函数和 Frank Copula 函数表现，具有正负相关性，说明在这个时间内，二者的汇率关系波动较大，且澳元对美元体现出较强的依赖关系，美元的变动对澳元的变动有较强的影响，结合图 14 的结论，体现出人民币的稳健性。

(三)小结

在本节中，我们分别将离岸人民币和美元与本文选定的五个国家的汇率：欧元、英镑、日元、澳元，两两之间进行建模比较，进行相依性分析，利用五种不同类型的时变 Copula 模型对两两之间的联动性进行建模，选择合适的 Copula 模型表示不同时间段内的二者相依性。研究发现，尽管新冠疫首先影响到我国经济，使 2020 年以来迎来了经济大萧条时期，但是在这种背景下，人民币依旧表现出较强的自我调节能力与稳定性，人民币国际化的进程没有止步。

五、总结与建议

(一) 总结

离岸人民币汇率在全球疫情的影响下的走势,主要有以下两个特征:首先是离岸人民币汇率双向波动性趋势增强。因为新冠疫情的影响,离岸人民币汇率在总体上,主要呈现为先是因国内突发新冠疫情的影响而贬值,因为有春节假期的缓冲和价格的迅速调整,到达一定弹性空间后趋于稳定,然后再随着国内防疫政策实施到位,取得很好的效果,而海外疫情迅速扩散,美指下行从而升值,后期主要是因为疫情在全球蔓延,国际油价暴跌,全球市场情绪恐慌而呈现再度贬值的趋势。从整体趋势来看,离岸人民币汇率走势呈现贬升交替,两者切换调整迅速,增强了其双向浮动弹性。

再就是表现得较为稳健,展示出其避险属性。因为全球金融市场都受到新冠疫情的猛烈冲击,但是我们发现人民币的恢复弹性较强,美股在 2020 年发生过几次熔断,而我国能汇率确在国内疫情稳住后实现了一定程度的上涨,向人民币国际化又迈出了一步,总体表现得较为稳健,应对市场异常性的能力较高,避险属性较强。

(二) 建议

在疫情影响的大环境下,政府应当加大宏观调控市场的力度,调节的周期性节奏和力度能够完全应对于新冠疫情和全球范围内市场波动的影响,为了预防疫情冲击的短期影响发展成长期性影响,需要采取一系列有效的措施。例如,更加出台更加有效的财政措施,缓解某些企业因疫情导致的资金压力,适当增加疫情防控费用,以及补贴受疫情影响较大的地区、行业的费用,以及地方政府专项债券支援受影响企业费用需得到保障。这些问题的解决会对人民币汇率产生一定程度的对冲,缓解国内市场面临的压力,从而使人民币汇率更加稳定。

从长期经济发展来看,因为国内疫情防控治愈取得极好的成果,社会生产生活逐渐恢复,国内经济趋于稳定,为我国汇率和金融市场打下了一注强心剂。而国外市场还面临着疫情防控的压力,市场波动性大,离岸人民币资产的吸引力将会双向波动中维持上升的趋势。

从国内环境看,随着新冠疫苗的普及接种,人们防范新冠病毒的警惕性增大,疫情对经济及汇率带来的冲击效应已经在逐渐减小,我国经济发展在全球范围内呈现出向好趋势,这种发展势头将会为离岸人民币汇率稳步上升提供良好的发展环境,因此,政府应该抓住机会,大力发展经济,让人民币国际化进一步迈向成功。

从外汇市场来看,我国外汇储备长期保持稳定充足的状态,近些年来,习近平主席提倡的“一带一路”计划给我国带来了许多的外汇储备空间,越来越多的国家加入这个组织发展经济建设,让世界了解到中国是一个大市场,吸引很多外来企业进入中国,我国也有许多企业进入外国,货币交易频繁,进一步促进了人民币国际化的进程。

总而言之,国内资本市场改革开放的步伐不会被此次新冠疫情所阻碍,我国资本市场将会稳步对全球开发,离岸人民币汇率会稳步提升,金融市场投资者会察觉到离岸人民币的吸引力,离岸人民币市场预期会持续走向好的方向。

参考文献

- [1] Nelsen R B. An Introduction to Copulas, volume 139 of[J]. Lecture Notes in Statistics, 1999: 414-422.
- [2] Genest C, MacKay R J. Copules archimédiennes et familles de lois bidimensionnelles dont les marges sont données[J]. Canadian Journal of Statistics, 1986, 14(2): 145-159.
- [3] Sklar M. Fonctions de repartition an dimensions et leurs marges[J]. Publ. inst. statist. univ. Paris, 1959, 8: 229-231.
- [4] Joe H. Families of m-variate distributions with given margins and m $(m-1)/2$ bivariate dependence parameters[J]. Lecture Notes-Monograph Series, 1996, 120-141.
- [5] Bedford T, Cooke R M. Vines: A new graphical model for dependent random variables[J]. Annals of Statistics, 2002, 1031-1068.
- [6] Aas K, Czado C, Frigessi A, et al. Pair-copula constructions of multiple dependence[J]. Insurance: Mathematics and economics, 2009, 44(2): 182-198.
- [7] Andersen T G, Bollerslev T, Meddahi N. Analytical evaluation of volatility forecasts[J]. International Economic Review, 2004, 45(4): 1079-1110.
- [8] 杨子轩,夏娟.基于疫情视角下对于人民币国际化的反思与未来建议[J].河北民族师范学院学报,2021,41(02):93-99.
- [9] 蔚立柱,赵越强,张凡,龚斯闻.新冠肺炎疫情前后人民币与非美货币溢出效应特征的变化:来自 30 分钟高频数据的证据[J].世界经济研究,2021(04):56-69+135.
- [10] 游燕.浅谈人民币离岸远期市场交易[J].对外经贸,2014(01):51-53.
- [11] 李正文.基于 Copula 函数失效相关系统的动态可靠性分析[D].西安电子科技大学,2019.

- [12] 陈奕播. 基于 Copula 方法的金融危机风险传染模型与应用研究[D]. 电子科技大学, 2009.
- [13] 王一鸣. 改革开放以来我国宏观经济政策的演进与创新[J]. 管理世界, 2018, 34(3): 1.
- [14] 党聪, 卢俊香. 基于 Copula-GARCH 模型的外汇风险研究[J]. 宝鸡文理学院学报(自然科学版), 2020, 40(04): 10-14+19.
- [15] 张浩, 韩铭辉, 姚佳颖. 外汇市场、股票市场与房地产市场的风险传染研究——基于三元 VAR-BEKK-GARCH 模型实证分析[J]. 运筹与管理, 2020, 29(07): 206-213.

附录

数据包：见压缩包文件夹(data)

程序包：见压缩包文件夹(code)