

# 基于 Vine Copula 的 REITs 市场极端风险溢出效应研究

刘 坚,刘 晨

(长沙理工大学 经济与管理学院,湖南 长沙 410114)

**摘要:**随着金融全球化不断推进,REITs(不动产信托投资基金)市场价格震荡幅度加剧,不同 REITs 市场间风险扩散加快,需准确度量价格波动带来的风险及其溢出传导机制。文章从多市场关联角度出发,结合 Vine Copula 模型与 CoVaR 模型,研究 REITs 市场间的极端风险溢出效应。研究结果表明:国际 REITs 市场间的相依性存在明显的区域集聚特征;欧美 REITs 市场对外的尾部相依性均值较高,亚洲 REITs 市场之间的尾部相依性偏弱;主要 REITs 市场间大部分都具有双向的风险溢出效应且呈现出非对称性,较强相依结构的 REITs 市场间的双向风险溢出效应极其明显。本研究有助于从整体上把握 REITs 市场间极端风险溢出效应,为维护金融稳定、防范不同地区市场间风险传导提供借鉴,帮助投资者进行风险管理。

**关键词:**REITs;极端风险;溢出效应;Vine Copula;CoVaR

[中图分类号]F299.23;F832.51 [文献标识码]A [文章编号]1672-934X(2023)04-0078-13  
DOI:10.16573/j.cnki.1672-934x.2023.04.009

## On Extreme Risk Spillover Effect of REITs Market Based on Vine Copula

Liu Jian, Liu Chen

(School of Economics & Management, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China)

**Abstract:** With the continuous advancement of financial globalization, the volatility of REITs (real estate trust and investment funds) market price has intensified, and the risks spread among different REITs markets has accelerated. It is necessary to accurately measure the risks brought by price fluctuations and their spillover transmission mechanisms. From the perspective of multi-market correlation, this paper studies the extreme risk spillover effects via combining Vine Copula model and CoVaR (contingent value at risk) model. The main conclusions are as follows: The interdependence among international REITs markets has obvious regional agglomeration characteristics; the average tail interdependence outward in European and American markets is higher, but the tail interdependence among Asian REITs markets is weaker; most of the major REITs markets have a two-way risk spillover effects and show asymmetry; the two-way risk spillover effects among REITs markets with strong interdependence structures are extremely obvious. This study is helpful to globally grasp the extreme risk spillover effects of REITs markets, to provide reference for maintaining financial stability and preventing risk transmission among markets in different regions, and to help investors manage risks.

**Key words:** REITs (real estate trust and investment funds); extreme risk; spillover effect; Vine Copula; CoVaR

**收稿日期:**2022-10-21  
**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(71871030);湖南省教育厅科学研究重点项目(22A0201)  
**作者简介:**刘 坚(1981—),女,教授,主要从事金融工程与风险管理研究;  
刘 晨(1997—),女,硕士研究生,研究方向为金融工程与风险。

## 一、引言

REITs 是不动产证券化的重要工具,对扩大投融资渠道、优化市场配置效率具有重要作用。自 1960 年诞生于美国后,REITs 市场发展迅速。截至 2023 年 3 月,已有 40 余个国家和地区推出 REITs,全球公募 REITs 总市值已超 2 万亿美元。作为仅次于股票和债券的第三大类基础性金融产品的 REITs,其行业跨度大、产品种类多,价格受多种因素影响且表现复杂。当突发极端事件时,风险通过金融加速效应在市场间不断蔓延,REITs 市场极易受到冲击而产生波动,进而对资本市场和实体经济造成不利影响。尤其在金融危机后,全球 REITs 市场间的风险联动越发明显<sup>[1-2]</sup>,单一市场的价格波动往往引发多市场间的风险联动<sup>[3-4]</sup>。因此,从多个市场关联性的角度研究 REITs 市场间的极端风险溢出效应,对于深刻认识 REITs 市场乃至监管整个资本市场具有重要意义。

在现有研究中,对于不同国家或地区 REITs 市场之间的溢出效应,学者们主要从收益率和波动率两个角度考察各 REITs 市场之间的溢出效应。前者度量市场间价格信息的相互传递,后者度量市场波动的相互传递<sup>[5]</sup>。Chang 等发现在全球主要 REITs 市场间,存在收益率传染性迹象,而这种相关关系是动态变化的<sup>[6]</sup>。Khan 发现美国 REITs 市场与欧洲和亚洲 REITs 市场之间在回报和波动性方面都存在着强大的双向联系<sup>[7]</sup>。Begiazi 等在分析美国两个主要 REITs 子行业与美洲、欧洲和亚太地区之间的回报和波动联系时,发现美国和欧洲之间没有溢出效应<sup>[8]</sup>。Liow 等揭示了 14 个国际 REITs 市场波动关联性的潜在频率来源和系统性风险来源<sup>[9]</sup>。Fasanya 等实证发现,REITs 市场与石油市场之间存在着主要由经济政策的不确定性驱动的关联,研究还表明石油市场是冲击的净接收者,而大多数 REITs 市场是波动的净传递者<sup>[10]</sup>。以往对 REITs 市场风险的研究主要集中在欧美发达国家,对亚洲地

区的研究相对较少,而且极端风险和尾部依赖的分析经常被应用到一般金融市场研究中<sup>[11]</sup>,很少涉及 REITs 市场。本文充分考虑亚洲 REITs 收益的波动行为,对欧美 REITs 市场与亚洲 REITs 的关联关系进行实证分析,以探究 REITs 市场间的极端风险溢出问题。

目前,从技术上精确刻画国际金融市场间的互动关系面临诸多挑战,其中如何测度多市场之间的相依关系是核心问题,这对于风险评估和监管而言尤为重要。长期以来,金融建模大都假设资产收益率的联合分布和边缘分布均服从正态分布。然而,大量实证研究表明,金融资产收益率分布是非正态的,具有明显的尖峰厚尾、有偏等“典型事实”特征,多主体间的相依性也表现出显著的尾部相依性和非对称性等特征。传统相关性测度方法无法刻画金融市场间复杂相依结构,如 Granger 因果关系仅着眼于研究线性的简单相关系数<sup>[12-13]</sup>,目前运用最为广泛的 ARCH 模型<sup>[14-15]</sup>需建立在所有研究对象服从相同分布的假设上。Copula 簇类模型较好地克服了上述问题<sup>[16-27]</sup>,成为构建多维随机变量联合分布和分析随机变量间相依结构的重要工具,包括椭圆型 Copula 函数、阿基米德 Copula 函数、非线性 Copula 函数等<sup>[17-18]</sup>,Copula 函数的选择是研究不同时间序列间相关性的关键。王皓晔等指出,如果仅仅单纯用某一种 Copula 函数,很难准确描述金融市场的相依关系与结构<sup>[16]</sup>。Joe 给出了利用 Pair Copula 来构造多维模型的方法<sup>[19]</sup>,但是由于多维 Copula 密度函数存在多种 Pair Copula 分解形式,如何来描述这些分解结构便成了一个新问题。Bedford 等引入了一种称之为藤(Vine)的图形来描述这种逻辑结构<sup>[26]</sup>。Vine Copula 理论利用 Pair Copula 作为基础模块来建立多维模型,将二维扩展至多维,具有广泛适用性。目前使用最多的 Vine 结构是 C-vine 和 D-vine,但 C-vine 和 D-vine 要求变量间有特定的相依关系<sup>[20-22]</sup>。而 R-vine(Regular vine)对数据的相依关系并无严格要求,对描述金融序列间复

杂相关关系具有很强的实用性,也能够更加准确地描述出多元资产间的相依关系<sup>[23]</sup>。许多学者开始借用 Vine Copula 函数来构建不同的模型,其边缘分布选择的灵活性和 Pair Copula 函数结合的多样性使其在金融领域得到广泛应用<sup>[28-29]</sup>。研究者们也开始尝试将 Copula 函数与多种计量模型结合,以更好测度金融市场。Copula 函数结合 VaR 模型可以测量出金融市场的风险值,使风险溢出效应得以进一步精确量化<sup>[24]</sup>。将 Vine Copula 函数与 CoVaR 模型结合运用,可以为 REITs 市场的风险溢出研究提供新思路。

本文运用 Vine Copula 对多个 REITs 市场的复杂相依结构及极端风险溢出效应进行研究。首先,选取了 8 个主要国家或地区的 REITs 市场指数,使用不同 Copula 函数刻画 REITs 市场间的风险相依关系。然后,对比 R-Vine、C-Vine 和 D-Vine 的拟合结果选择最优模型,获取最优 Vine 结构。最后,引入 CoVaR 模型,研究 REITs 市场间的风险溢出效应。

与已有研究相比,本文贡献主要表现在以下两点:一是从复杂相依结构的存在、极端风险溢出的强度、金融传染方向的识别三个角度综合测度风险溢出效应;二是抛却了以往常用的二维传统方法,将 Vine Copula 运用到 REITs 市场间的复杂相依性研究中。本文从多个市场关联性的角度研究主要 REITs 市场间的极端风险溢出效应,丰富了 REITs 市场的理论研究,具有重要的理论意义。同时,对 REITs 市场极端风险溢出效应的揭示,可以有助于监管部门的政策制定和市场从业者的风险管理,具有重要的实践意义。

## 二、模型

### (一)边缘分布模型

金融时间序列数据的高频性和集群特征,往往呈现出尖峰厚尾及非正态性的分布。已有研究表明,对具有集群效应的金融日频数据采用 GARCH 模型可以刻画序列的波动特征。

另外,Hansen<sup>[25]</sup>推出的偏斜  $t$  分布(Skew  $t$ )能够更好刻画出非对称性和厚尾的特征,相比一般的 GARCH 模型更具优势。因此,本文采用 ARMA( $p, q$ )-GARCH(1,1)-Skew  $t$  模型来构建边缘分布,为建立 Copula 模型提供数据基础。首先,应用 ARMA( $p, q$ )模型进行确定性信息提取;然后,以 GARCH(1,1)-Skew  $t$  刻画序列波动特征。具体公式如下:

$$\begin{cases} x_t = \phi_0 + \sum_{i=1}^p \phi_i x_{t-i} + \varepsilon_t - \sum_{j=1}^q \varphi_j \varepsilon_{t-j} \\ \varepsilon_t = \sigma_t e_t, e_t \sim SkT(skew_i, shape_i) \\ \sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $\phi_i$  为滞后  $p$  期的对数收益率参数,  $\varphi_j$  为滞后  $q$  期的误差项参数,  $skew_i, shape_i$  为偏  $t$  分布的两个参数,  $\omega, \alpha, \beta$  是待估参数。由此可得收益率序列波动性信息。

为了更好分析金融市场在极端风险下的分布情况,本文借助极值分布理论来拟合金融市场收益率序列的极端分布。极值理论是度量资产风险极端情形下的有效方法。一元极值理论包括 BMM 和 POT 两种具体模型,POT 模型由于更为灵活故应用广泛。对于序列变量  $x$ , 给予充分大的阈值  $\kappa$ , 超过阈值  $\kappa$  的极值分布近似于广义帕累托分布(GPD),公式如下:

$$G(x) = \begin{cases} 1 - (1 + \mu \frac{x}{\omega})^{-\frac{1}{\mu}}, & \mu \neq 0 \\ 1 - e^{-\frac{x}{\omega}}, & \mu = 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $\mu$  为尾部(形状)参数,  $\mu > 0$  说明厚尾;  $\omega$  为尺度参数。运用蒙特卡洛模拟技术,使用 GARCH(1, 1)-Skew  $t$  模型从每个收益序列中提取过滤后的残差,截取 10% 的尾部残差确定阈值。再用内部的高斯核估计和上下尾部的 GPD 分布估计构建每个资产的样本边际累积分布函数(CDF)。GPD 分布函数可以拟合标准化残差的累积分布函数两尾,在此基础上再建立 Vine Copula 模型。

### (二)多维 Vine Copula 模型

藤(Vine)是一种图形建模工具,研究学者

基于此提出了 Vine Copula。该模型利用 Pair Copula 作为基础模块来建立多维模型,不同资产之间的相依关系可以选择不同的 Pair Copula 函数来刻画。该方法将二维扩展至多维,允许多元资产间存在不同的相依结构。Bedford 等进一步提出了 R-vine 模型来描述这种相依性结构<sup>[26]</sup>,R-vine 由树、节点和边自由组成,每一层树上有若干个节点,节点之间的连线称之为边。每一个节点代表着一个变量或者条件变量,节点之间的连线称为边。每一条边代表的是相邻两个节点组成的 Pair Copula 联合分布函数。在 Vine 结构中,还有 C-Vine 和 D-Vine 两种结构情况。在 D-Vine( $n$  维)中,树中任一结点所连接的边的条数最多为 2,呈线状分布;对 C-Vine( $n$  维)来说,在每棵树中仅有唯一的点连接到  $n-1$  条边,呈星状分布。

$$f(x_1, x_2, \dots, x_d) = \left[ \prod_{k=1}^d f_k(x_k) \right] \left[ \prod_{i=1}^{d-1} \prod_{e \in E_i} c_{j(e), k(e) | D(e)} [F(x_{j(e)} | x_{D(e)}), F(x_{k(e)} | x_{D(e)})] \right] \quad (4)$$

其中,  $x_{D(e)}$  表示由  $D(e)$  决定的子向量  $x = (x_1, x_2, \dots, x_d)'$ , 这里包括  $d(d-1)/2$  个

$$f(x_1, x_2, \dots, x_d) = \left[ \prod_{k=1}^d f_k(x_k) \right] \left\{ \prod_{j=1}^{d-1} \prod_{i=1}^{d-j} c_{i, i+j | i+1, \dots, i+j-1} [F(x_i | x_{i+1}, \dots, x_{i+j-1}), F(x_{i+j} | x_{i+1}, \dots, x_{i+j-1})] \right\} \quad (5)$$

若它的相依结构用 C-Vine 刻画,则其密度

$$f(x_1, x_2, \dots, x_d) = \left[ \prod_{k=1}^d f_k(x_k) \right] \left\{ \prod_{j=1}^{d-1} \prod_{i=1}^{d-j} c_{j, i+j | 1, \dots, j-1} [F(x_j | x_1, \dots, x_{j-1}), F(x_{i+j} | x_1, \dots, x_{j-1})] \right\} \quad (6)$$

若能找到一个变量与其他变量的相关性明显高于其他变量,则采用 C 藤结构,将这个变量作为条件变量;若变量间的相关性程度相近,则采用 D 藤结构。

### (三) 价格风险度量模型

风险价值(Value at Risk, VaR)为在某一置信度  $\alpha$  下,主体市场  $s$  的价值在未来某一时期内可能产生的最大损失。鉴于 VaR 存在非次可加性和非充分性等诸多不足,Rockafellar 提出了条件风险价值(Conditional Value at Risk, CoVaR)。CoVaR 是一种一致性风险度

一般运用最大生成树算法来构建 R-Vine,该方法的核心思想是运用最强相依关系原则,构建具有最强相依关系的第一棵树。如果一个 R-Vine 有  $d$  个节点,每两个节点间的相依程度大小可以用它们之间的经验 Kendall 秩相关系数( $\tau$ )的绝对值来度量。选取  $\tau$  的绝对值最大的  $d-1$  条边,且保证每个节点都至少有其中的一条边与之连接来构建 R-Vine,即可以通过求解下面的最优化问题来寻找 R-Vine 中树的边:

$$\text{MAX} \sum_{e_{ij} \in \text{最大边}} |\tau_{ij}| \quad (3)$$

假设随机向量  $X = (X_1, X_1, \dots, X_d)$  的密度函数为  $f(x_1, x_2, \dots, x_d)$ , 若它的相依结构用 R-Vine 刻画,其分布密度可以分解为一系列二维 Pair Copula 和边缘分布密度之积,则其密度函数可表示为:

二元 Copula 函数。若它的相依结构用 D-Vine 刻画,则其密度函数可表示为:

函数可表示为:

量方法,具有次可加性、凸性等优良的理论性质,更有利于分散和管理风险。

CoVaR 模型是假定某个主体市场已经陷入危机时与其相依的其他主体市场的条件风险价值。假设  $\alpha$  表示置信水平,  $VaR_\alpha^s$  表示  $s$  市场在  $\alpha$  水平下的风险值,那么它对  $t$  股票市场的影响为  $CoVaR_\alpha^{t|s}$ , 满足:

$$Pr(x_i^t \leq CoVaR_\alpha^{t|s} | x_i^s \leq VaR_\alpha^s) = \alpha \quad (7)$$

由上式可知,  $CoVaR_\alpha^{t|s}$  是市场  $t$  关于  $s$  市场的条件风险,而  $s$  市场处于极端风险时对市场  $t$  的风险溢出  $\Delta CoVaR_\alpha^{t|s}$  为:



$$\Delta CoVaR_{\alpha}^{t|s} = CoVaR_{\alpha}^{t|s} - VaR_{\alpha}^s \quad (8)$$

由于不同金融市场的无条件风险相差较大,为了便于整体比较,定义出相对值—风险溢出强度  $\%CoVaR_{\alpha}^{t|s}$  :

$$\%CoVaR_{\alpha}^{t|s} = (\Delta CoVaR_{\alpha}^{t|s} / VaR_{\alpha}^s) \times 100\% \quad (9)$$

在此,本文结合之前的 Copula 结果,选择最优 Vine 结构模型,并用蒙特卡洛模拟求出 VaR 值。蒙特卡洛模拟的核心思想是:设标的的收益率是某一个金融随机过程,可通过大量的模拟获得多个样本值,这时标的的收益率分布将逐渐贴近于真实分布。按照以下具体步骤进行:

第一步,结合上述 Vine Copula 结果,选择最优藤蔓,得到该藤蔓结构下服从  $[0,1]$  均匀分布的随机数,并构造标的资产的收益率路径、重复进行大量模拟。

第二步,根据模拟所得的大量数据对标的资产的统计分布进行估计,并用分布计算出给定置信水平下的 VaR 值。

第三步,将 VaR 的值代入上述公式,最终得出风险溢出强度  $\Delta CoVaR_{\alpha}^{t|s}$ 、 $\%CoVaR_{\alpha}^{t|s}$ 。

#### (四)数据选取及描述性统计

本文使用的数据集是美国、英国、德国、加拿大、新加坡、日本、中国香港、印度 8 个国家或地区的 REITs 价格指数。这些国家或地区都是发达或重要新兴经济体,同时也是 REITs 市场发展相对成熟的国家或地区,其 REITs 市场

市值靠前,且历史数据比较完整,对全球 REITs 市场有重要影响。本文所选指数分别为 *RMZ Index* (美国)、*SREIUK Index* (英国)、*SREIGE Index* (德国)、*BBCREIT Index* (加拿大)、*SPSGDRSN Index* (新加坡)、*TSEREIT Index* (日本)、*HSI33 Index* (中国香港)、*ENEIINU* (印度)。以上 8 个 REITs 指数可按区位因素分为两组:欧美地区市场指数 (*RMZ Index*、*SREIUK Index*、*SREIGE Index*、*BBCREIT Index*)、亚太地区市场指数 (*TSEREIT Index*、*SPSGDRSN Index*、*HSI33 Index*、*ENEIINU*)。本文选取日度数据,考虑到各个国家或地区金融市场交易规则的差异,开盘、收盘时间和节假日不一致,特别是印度与中国香港 REITs 市场起步较晚等因素,为了保证数据集的完整性,样本区间选择为 2011 年 6 月 17 日至 2020 年 10 月 15 日。删去日期不一致的交易日,预处理后,各金融序列共涵盖了 2 075 个数据点。数据通过彭博社终端获取,量化分析利用 R 语言、Matlab 程序进行。

在金融风险计量中,常使用收益率的对数进行研究,具体公式为:

$$r_{i,t} = \ln\left(\frac{p_{i,t}}{p_{i,t-1}}\right) \quad (10)$$

计算出 8 个国家或地区 REITs 指数的收益率数据后,本文首先对其分别进行描述性分析、正态性检验、ARCH 效应检验等,结果如表 1 所示。

表 1 REITs 指数收益序列统计特征

	均值	标准差	偏度	峰度	J-B	Q(15)	ARCH-LM(15)
美国	0.000 1	0.014 4	-2.078 3	31.194 5	116 539***	142.7***	580.21***
英国	-0.000 1	0.016 1	-2.135 9	32.647 2	128 856***	87.972***	187.71***
德国	0.000 0	0.014 9	-1.231 7	14.832 7	39 563***	66.104***	597.64***
加拿大	0.000 0	0.010 4	-3.665 7	62.613 5	271 468***	224.45***	1 167.8***
新加坡	0.000 4	0.008 9	-0.905 4	24.588 4	51 047***	136.98***	626.88***
日本	0.000 2	0.013 4	-1.150 6	44.541 3	144 000***	127.21***	497.92***
中国香港	0.000 3	0.008 6	-1.134 7	11.316 5	9 349.2***	95.058***	237.61***
印度	-0.000 3	0.023 8	-0.574 6	3.688 8	1 890***	26.394**	49.335***

注:(1)\*\*\*、\*\*、\*表示在1%、5%、10%的水平上显著;(2)J-B是Jarque-Bera统计量,用于检验样本数据是否服从正态分布;(3)Q(15)表示滞后15阶序列自相关检验;(4)ARCH-LM(15)表示滞后15阶的异方差检验。

从表 1 结果可知:第一,就均值与标准差而言,日均收益率最高为新加坡 REITs 的 0.04%,最低为印度 REITs 的-0.03%。各市场间收益率的标准差均较大,说明 REITs 收益率波动剧烈,意味着市场存在一定风险。第二,8 个 REITs 指数收益率呈现负偏态分布,厚尾在左侧,下跌的可能性大于上涨的可能性,意味着 REITs 市场在样本期间易受到突发事件的冲击;峰度系数均大于 3, $J$ - $B$  检验结果的  $P$  值小于 1%,说明具有典型的尖峰厚尾特征。第三,本文进行了当前回报与过去的对数回报和平方回报的相关性测试,直到滞后 15 期,并在大多数情况下观察到显著的相关性。第四,LM 检验  $P$  值小于 1%,显著拒绝原假设,各序列存在明显 ARCH 效应,即条件异方差性。因此,可使用 ARMA-GARCH 模型刻画其波动情况。

三、实证分析

(一)残差序列标准化的估计结果

本文此部分实证分析先选择 5 种 ARMA-GARCH 模型进行拟合比较,以寻求拟合最优的边缘分布模型。分别选取正态分布、学生  $t$  分布、学生偏  $t$  分布、广义误差分布、正态反高斯分布作为残差满足的分布。表 2 为 5 种不同残差分布下的 ARMA-GARCH 模型的 AIC 和 BIC 统计值。综合对比发现,正态分布 GARCH 模型的效果最差,ARMA-GARCH-Skew  $t$  的效果最好,故使用 ARMA-GARCH-Skew  $t$  模型消除序列自相关性和异方差性。表 3 为用 ARMA-GARCH-Skew  $t$  模型和 POT 模型提取 8 个 REITs 指数收益序列的波动率的结果。

表 2 5 种 ARMA-GARCH 模型拟合结果

	准则	$-N$	$-t$	$-Skew\ t$	$-ged$	$-sged$
美国	AIC	-6.269 270	-6.339 281	-6.351 004	-6.328 810	-6.341 111
	BIC	-6.236 666	-6.303 960	-6.312 966	-6.293 489	-6.303 073
英国	AIC	-5.829 625	-5.916 561	-5.916 530	-5.901 452	-5.902 612
	BIC	-5.802 455	-5.886 674	-5.883 926	-5.871 565	-5.870 009
德国	AIC	-5.955 093	-6.013 880	-6.014 076	-6.012 949	-6.013 769
	BIC	-5.927 923	-5.983 994	-5.981 473	-5.983 062	-5.981 165
加拿大	AIC	-7.129 044	-7.207 912	-7.209 155	-7.204 725	-7.208 474
	BIC	-7.110 025	-7.186 176	-7.184 702	-7.182 990	-7.184 021
新加坡	AIC	-7.238 343	-7.330 034	-7.333 964	-7.320 137	-7.325 631
	BIC	-7.224 758	-7.313 732	-7.314 945	-7.303 835	-7.306 612
日本	AIC	-6.587 211	-6.637 612	-6.641 788	-6.634 864	-6.633 974
	BIC	-6.565 475	-6.613 159	-6.614 618	-6.610 411	-6.606 804
中国香港	AIC	-7.091 864	-7.200 179	-7.192 352	-7.181 163	-7.180 611
	BIC	-7.059 261	-7.164 859	-7.154 314	-7.145 842	-7.142 573
印度	AIC	-4.706 781	-4.799 124	-4.803 842	-4.802 175	-4.808 074
	BIC	-4.690 479	-4.780 105	-4.782 106	-4.783 156	-4.786 339

注: $N$  表示正态分布; $t$  表示学生  $t$  分布; $Skew\ t$  表示学生偏  $t$  分布; $ged$  表示广义误差分布; $sged$  表示正态反高斯分布。

表 3 边缘分布参数估计结果

		美国	英国	德国	加拿大	新加坡	日本	中国香港	印度
mean	$\varphi_0$	-0.000 4	0.000 2	-0.000 3	-0.000 1	-0.000 5	-0.000 4	-0.000 6	-0.000 0
	$\varphi_1$	0.918 3	0.937 8	-0.780 7	-1.848 4	-0.295 1	0.873 2	-0.228 1	—
	$\varphi_2$	—	—	0.013 7	-0.954 9	—	-0.753 3	-0.293 4	—
	$\varphi_3$	-0.933 6	-0.885 3	0.782 0	1.926 9	0.331 1	0.895 5	0.288 5	—
	$\varphi_4$	-0.007 7	-0.069 2	—	1.112 9	0.055 1	0.739 7	0.375 4	—
	$\varphi_5$	-0.002 4	—	—	0.088 9	—	—	—	—
variance	$\omega$	0.000 0	0.000 0***	0.000 0	0.000 0	0.000 0**	0.000 0*	0.000 0*	0.000 0*
	$\alpha$	0.094 5***	0.141 3***	0.073 7***	0.088 2***	0.088 5	0.220 3***	0.123 7***	0.068 7**
	$\beta$	0.884 9***	0.778 6***	0.899 1***	0.899 1***	0.890 0***	0.748 8***	0.838 2***	0.895 0***
	skew	1.194 2***	1.056 4***	1.032 1***	1.088 2***	1.097 6***	0.991 2***	1.029 0***	1.121 7***
	shape	5.584 4***	5.351 3***	5.140 9***	4.567 2***	4.470 3***	4.869 2***	4.391 9***	4.132 4***
	LogLik	5 566.1	5 207.9	5 350.2	6 229.4	6 402.8	5 746.1	6 267.0	4 237.45
right tail	形状参数	0.107 7	0.296 9	0.129 0	0.074 3	0.148 3	0.135 6	0.087 1	0.130 6
	尺度参数	0.697 5	0.479 1	0.553 9	0.714 5	0.677 6	0.597 0	0.692 7	0.670 5
left tail	形状参数	0.090 8	0.165 4	0.064 5	0.069 2	0.003 5	-0.025 5	0.097 9	-0.063 7
	尺度参数	0.475 8	0.467 5	0.561 2	0.511 3	0.550 2	0.605 3	0.475 4	0.494 8
	K-S	0.014 1***	0.014 4***	0.016 4***	0.014 1***	0.023 7***	0.016 3***	0.014 4***	0.017 5***

注:(1)\*\*\*、\*\*、\*表示在1%、5%、10%的水平上显著;(2)LogLik为对数极大似然值;(3)K-S是Kolmogorov-Smirnov统计量,检验样本的观测结果是否来自指定分布的总体。

分析表 3 结果可以发现:(1)在 GARCH 模型中,方差公式的非常数项系数  $\alpha$ 、 $\beta$  在 1% 的显著性水平下显著为正且  $\alpha < \beta$ ,表明 REITs 指数收益率上期波动对当期波动具有更大影响,具有波动聚集性。(2)系数  $\alpha$ 、 $\beta$  的值满足  $0.9 < \alpha + \beta < 1$ ,且两者之和超过 0.9,非常接近 1,说明 REITs 指数收益率序列的波动,即条件方差受到了持续性的冲击,具有长记忆性。(3)在采用 POT 模型对尾部进行拟合时,阈值设定为 10%和 90%所对应的分位数,经过蒙特卡洛计算分别为 -1.137 1 和 1.237 4。极端状态下样本均呈现出左右不对称的尾部,其中右尾尾部形状参数大于 0,服从厚尾的分布;而左尾尾部形状参数小于右尾形状参数,且出现小于 0 的情况,呈现出薄尾分布。(4)据 K-S 检验,概率积分变换后新的残差序列均在 1%的水平下显著,表明对各指数收益的残差序列均服从(0,1)均匀分布,说明以上模型能较好地刻画指数收益序列的波动特征,可以进一步构建 Vine

Copula 模型。

图 1 展示了 8 个 REITs 收益率波动情况,结果显示,8 个指数收益率序列波动幅度较大区间的时间比较接近,均具有明显的波动聚集性,特别是在 2020 上半年附近表现得格外突出,可能是受新冠疫情冲击的影响。在受到突发事件冲击时,8 个市场收益率具有相似的变动走势。收益率序列之间可能存在一定的相关性,有必要引入 Vine Copula 模型度量相依关系下 REITs 市场的系统性风险。

## (二)基于 Vine Copula 的风险相依性分析

在构建 ARMA-GARCH-Skew  $t$  模型和 EVT 模型确定了边缘分布后,运用最大生成树 MST-PRIM 算法拟合 Vine 结构并估计相依参数。本节先运用 R-Vine、C-Vine 和 D-Vine 三种 Vine Copula 函数,拟合国际 REITs 市场间相依结构,然后比较三种 Vine Copula 函数和两类二元 Copula 函数的 AIC、BIC 统计值,选择合理模型。

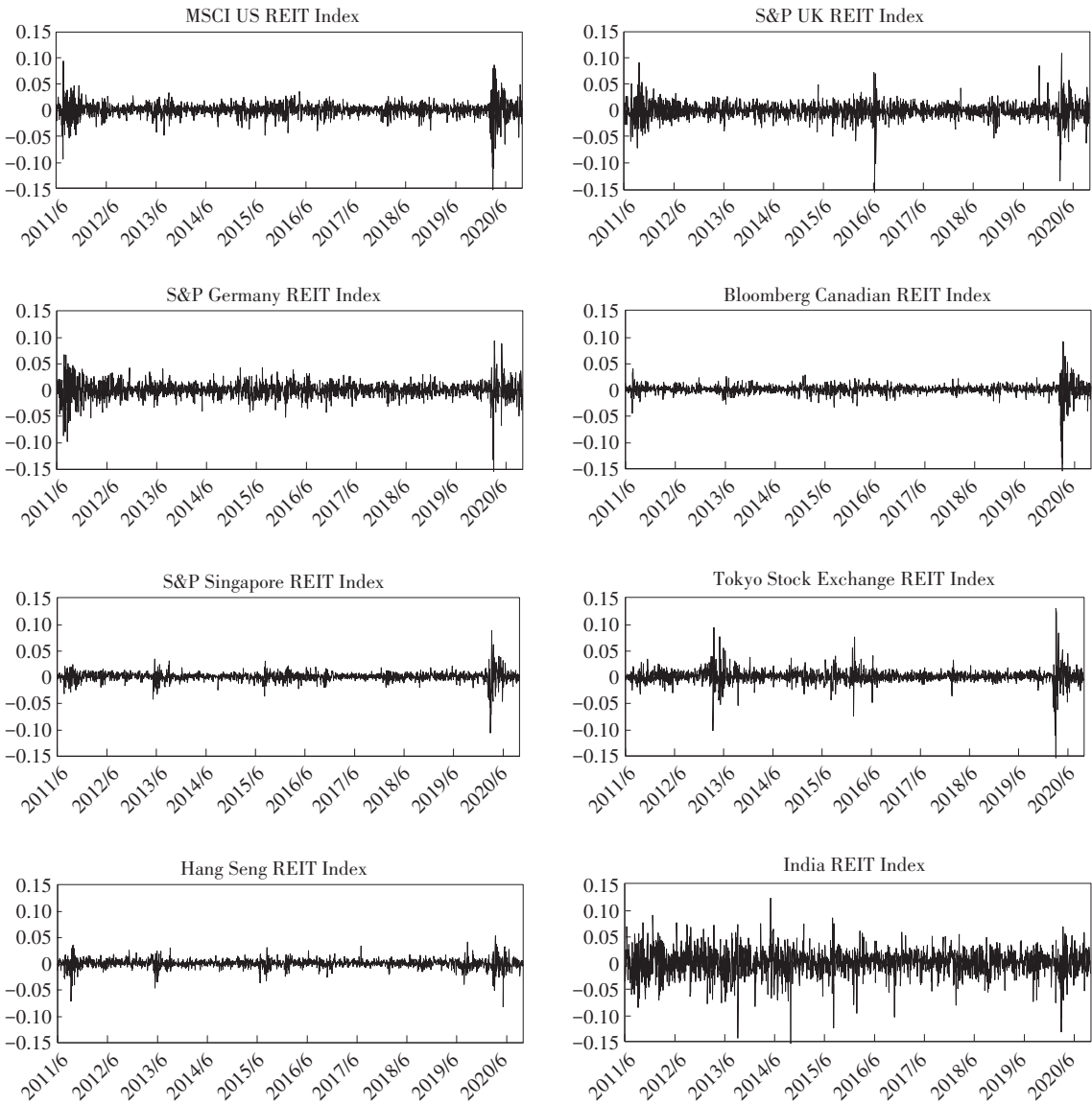


图 1 收益率波动图

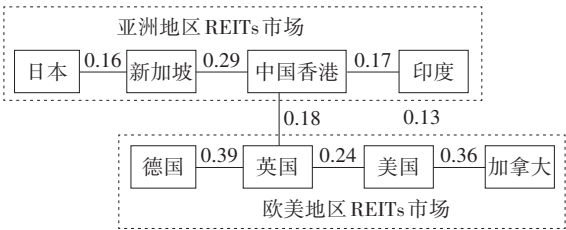


图 2 8 个市场指数的 R-Vine 结构

图 2 为拟合欧美和亚洲 REITs 市场间相依性的 R-Vine 结构图。Vine 结构中边上的数值为节点市场间的 Kendall 秩相关系数。分析可得,这 8 个市场之间的相依关系呈现出区域聚集性分布特点,欧美 REITs 市场与亚洲

REITs 市场各自聚集形成两大群体。从相依程度来看,欧美地区中 REITs 市场间的相依性分别为 0.39,0.24,0.36,亚洲地区中 REITs 市场间的相依性分别为 0.16,0.29,0.17。相较而言,欧美 REITs 市场之间的相依性普遍较强。从相依结构来看,英国 REITs 市场与中国香港 REITs 市场起到了关键的枢纽连接桥梁作用,成为两大关键性节点。其中,英国 REITs 市场成为连接中国香港、美国、德国 REITs 市场的关键性节点,中国香港 REITs 市场成为了连接英国、新加坡与印度 REITs 市场的关键节



点。英国与中国香港市场的连接,实现了亚洲 REITs 市场和欧美 REITs 市场的联结。

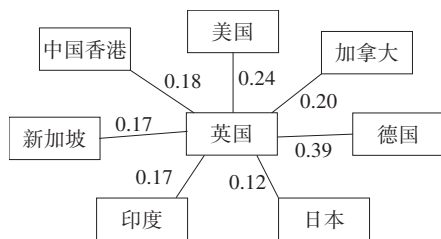


图 3 8 个市场指数的 C-Vine 结构

图 3 是拟合欧美和亚洲 REITs 市场间相依性的 C-Vine 结构图。英国 REITs 指数处于 C-Vine 结构的根节点位置,表明英国 REITs 市场与其他 7 个国家或地区 REITs 市场之间的总体相关性最大,对其他市场的影响最强。D-Vine 结构图如图 4 所示,结果与 R-Vine 结构颇为相似。在 D-Vine 中,这 8 个 REITs 市场之间的相依结构分布同样也存在一定的集聚特征,即以经济体为特征聚集在一起,其中具有较强相依性的欧美发达国家 REITs 市场联系比较紧密,然后是亚洲地区的新加坡市场、中国香港市场、印度市场、日本市场。

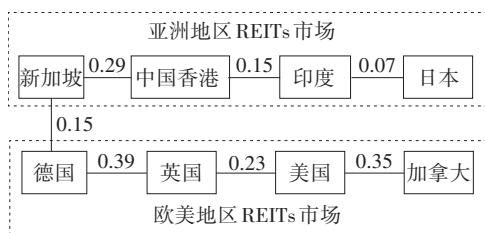


图 4 8 个市场指数的 D-Vine 结构

为更好地研究 REITs 市场的相依性,本文先将 Vine Copula 函数与传统二元 Copula 函数,如 Gumble Copula、t Copula 的拟合效果作对比,再判别 R-Vine、C-Vine 和 D-Vine 三种 Vine 结构拟合的优劣,选择 REITs 市场相依性拟合最优的函数模型。因多元 Copula 函数与传统二元 Copula 函数的主体数量不同,不便于进行比较。故将传统二元 Copula 函数的拟合视作变量间相依性均用同种二元 Copula 函数进行刻画,而 Vine Copula 函数机制在于可灵

活选择不同的二元 Copula 函数来刻画变量间的相依关系。本文采用了 LogLik、AIC、BIC 拟合检验判断准则来联合比较各模型拟合的优劣,结果如表 4 所示。经过拟合对比,Vine Copula 模型较 Gumbel Copula 模型、t Copula 模型均显示出较好的效果。因此本文选择 Vine Copula 函数来刻画多元市场主体的复杂相依性,并在此基础上进行 REITs 市场风险度量。而在 Vine Copula 的细分类别下,R-Vine 模型拟合效果最优。故本文结合最优拟合 R-Vine Copula 函数的实证结果与相依性理论,深入分析 REITs 市场的相依联动。

表 4 LL、AIC、BIC 拟合诊断判断

模型	AIC	BIC	LogLik
R-Vine Copula	-2 050.23	-1 860.43	1 067.12
C-Vine Copula	-2 048.02	-1 857.06	1 059.01
D-Vine Copula	-2 049.32	-1 863.82	1 058.66
All Gumbel Copula	-1 683.36	-1 549.39	794.33
All t Copula	-1 784.35	-1 639.45	798.46

注:(1)LogLik 为对数极大似然值;(2)All Gumbel Copula 为变量间相依关系都采用 Gumbel Copula 函数拟合,All t Copula 为变量间相依关系都采用 t Copula 函数拟合。

表 5 为 R-Vine Copula 函数的参数拟合结果。在 R-Vine 结构的第 1 层树中,英国 REITs 市场与德国 REITs 市场(第 2、3 节点)的相关性最大且有对称的 Copula 结构,说明两国 REITs 市场间存在极强相依性。美国 REITs 市场和加拿大 REITs 市场(第 1、4 节点)的 Kendall 秩相关系数为 0.36,并且拥有 0.44 的强下尾相关性,说明要注意突发极端事件时两个 REITs 市场间可能出现强传染性和高联动性。从第 2 层树到第 7 层树的 Kendall 秩相关系数可以看出,随着树的层级越高,条件市场增多,市场间所表现出的条件相依性相对较弱。在第 4 层树上,各资产间的条件相依系数均小于 0.1。因此在本文的 8 个 REITs 市场指数中,选取任意 5 个及以上的 REITs 来构建投资组合,就能够达到分散风险的目的。

表 5 R-Vine Copula 参数结果

Tree	Edge	Copula	Par	Par2	Tau	Utd	Ltd
1	5,6	Survival Gumbel Copula	1.19**		0.16		0.21
	1,4	Survival Gumbel Copula	1.56**		0.36		0.44
	2,1	Survival Gumbel Copula	1.32**		0.24		0.31
	2,3	t Copula	0.58**	10.00	0.39	0.11	0.11
	7,5	Survival Gumbel Copula	1.42**		0.29		0.37
	7,2	Survival Gumbel Copula	1.21**		0.18		0.23
	8,7	Survival Gumbel Copula	1.21**		0.17		0.23
2	7,6;5	Frank Copula	0.68		0.07		0.23
	2,4;1	Survival Gumbel Copula	1.10**		0.09		0.12
	3,1;2	Frank Copula	0.77		0.08		
	7,3;2	Normal Copula	0.08**		0.05		
	2,5;7	Frank Copula	1.02		0.11		
	8,2;7	t Copula	0.21**	10.00	0.13	0.02	0.02
	2,6;7,5	Survival Gumbel Copula	1.07**		0.07		0.09
3	3,4;2,1	Survival Gumbel Copula	1.03**		0.03		0.04
	7,1;3,2	Rotated Clayton Copula(270)	-0.02**		-0.01		
	5,3;7,2	Normal Copula	0.09**		0.06		
	8,5;2,7	Frank Copula	0.72		0.10		
	3,6;2,7,5	Frank Copula	0.32		0.04		
	7,4;3,2,1	Frank Copula	0.63**		0.07		
	5,1;7,3,2	Survival Gumbel Copula	1.04**		0.04		0.05
4	8,3;5,7,2	Survival Gumbel copula	1.03**		0.03		0.04
	1,6;3,2,7,5	Survival Clayton Copula	0.04**		0.02	0.00	
	5,4;7,3,2,1	Normal Copula	0.07**		0.05		
	8,1;5,7,3,2	Survival Gumbel Copula	1.02**		0.02		0.03
	4,6;1,3,2,7,5	Frank Copula	0.20		0.02		
	8,4;5,7,3,2,1	Frank Copula	0.24		0.03		
	7	Rotated Gumbel Copula(90)	-1.01**		-0.01		

注:(1)\*\*\*、\*\*、\*表示在 1%、5%、10%的水平上显著;(2)从 1-8 代表了 RMZ Index(美国)、SREIUK Index(英国)、SREIGE Index(德国)、BBCREIT Index(加拿大)、SPSGDRSN Index(新加坡)、TSEREIT Index(日本)、HSI33 Index(中国香港)、ENEIINU(印度);(3)Copula 部分为按照 R-Vine 结构,选择两两变量间的最优 Pair Copula 类型。Par、Par2、Tau、Utd、Ltd 分别为 R-Vine Copula 的参数 1、参数 2、Kendall 秩相关系数、上尾相关系数、下尾相关系数。

(三)REITs 市场的风险溢出分析

本节结合最优拟合相依性的 R-Vine Copula 函数,度量各指数收益率序列的  $\Delta CoVaR$  及  $\%CoVaR$  值(置信度水平为 95%),对 REITs 市场的风险溢出情况进行分析,结果如表 6、表 7 所示。表 6 及表 7 的结果表明:

第一,8 个 REITs 市场之间大部分都具有

双向的风险溢出效应。其中,印度 REITs 市场与美国、英国、德国、中国香港 REITs 市场间存在负溢出效应,其他均为正溢出。这表明印度 REITs 市场在价格信息的传递过程中,更多处于被动接收的位置,其他 REITs 市场的上涨或下跌趋势可能会在正向溢出的 REITS 市场中继续发展。总体来看,主要 REITs 市场间的风

表 6 8 个 REITs 市场收益率序列的  $\Delta CoVaR$ 

市场	美国	英国	德国	加拿大	新加坡	日本	中国香港	印度
美国	—	3.634 0	3.442 4	4.392 8	2.273 0	2.977 5	2.255 9	0.852 2
英国	5.482 5	—	5.902 5	2.341 9	1.326 9	2.349 8	2.350 4	0.905 2
德国	2.473 6	3.033 7	—	1.249 4	1.316 9	2.354 1	2.125 9	0.497 8
加拿大	3.563 5	2.590 5	2.427 8	—	1.270 1	1.264 2	1.247 3	0.368 7
新加坡	1.387 2	2.432 3	1.393 3	1.284 8	—	2.484 7	2.493 8	0.846 4
日本	2.436 9	2.440 5	1.482 6	1.285 2	2.453 7	—	4.238 5	0.945 4
中国香港	2.409 3	2.459 4	2.208 3	1.234 9	2.490 9	2.506 4	—	0.926 3
印度	-0.352 1	-0.847 5	-0.272 5	0.121 3	0.295 6	0.316 4	0.102 5	—

表 7 8 个 REITs 市场收益率序列的  $\%CoVaR$ 

市场	美国	英国	德国	加拿大	新加坡	日本	中国香港	印度
美国	—	0.494 0	0.442 4	0.584 0	0.324 9	0.399 6	0.356 7	0.101 1
英国	0.583 0	—	0.639 5	0.341 9	0.226 9	0.349 8	0.360 4	0.196 1
德国	0.373 9	0.439 8	—	0.276 8	0.208 3	0.354 1	0.344 3	0.097 8
加拿大	0.466 5	0.370 5	0.329 9	—	0.258 1	0.234 2	0.275 9	0.068 7
新加坡	0.284 7	0.300 3	0.293 3	0.279 6	—	0.387 5	0.390 8	0.146 4
日本	0.317 0	0.320 5	0.282 6	0.275 2	0.359 3	—	0.409 5	0.225 4
中国香港	0.309 3	0.299 4	0.306 3	0.235 3	0.392 1	0.392 5	—	0.196 3
印度	-0.062 6	-0.148 0	-0.072 5	0.021 3	0.095 6	0.016 4	-0.002 5	—

险溢出效应整体较强,REITs 市场的波动震荡除了归结于区域市场自身内在因素外,还有一部分来自外部的风险溢出。金融危机后,部分国家金融部门改革举措带来了一定的市场分割,以降低市场间的联动性,减少外部风险传染。而亚洲 REITs 市场和欧美 REITs 市场存在地理上的市场分割,市场间的流动性较弱,使得跨区域的风险溢出强度低于区域内的风险溢出强度。

第二,REITs 市场间的风险溢出程度大小有所差异。经济较为发达的国家或地区,其风险溢出效应较为显著。欧美 REITs 市场间存在较强的风险溢出效应,尤其是英国对德国的风险溢出将近 64%。英国、美国 REITs 市场对于其他 REITs 市场均存在很强的正溢出效应,这可能与 REITs 市场自身风险大小有关。亚洲地区 REITs 市场相互间的溢出关系较欧美的弱一些,可能原因是欧美 REITs 市场发展成熟,投资者众多,而亚洲 REITs 市场大多刚刚

起步,发展不够均衡,导致其风险溢出效应较弱。同时,这也说明亚洲地区在市场价格信息传输链中为较弱的一方,资本市场的对外关联程度和国际影响力都还比较有限。

第三,大部分市场间的溢出在表 6 和表 7 中没有明显不同,只有中国香港对印度的溢出存在正负符号的差异,这主要是  $\%CoVaR$  与  $\Delta CoVaR$  的计算方法不同所致,但不同计算方法下这两个市场的净溢出方向仍一致。总的来看,印度和中国香港两个 REITs 市场之间的风险溢出效应是相对薄弱的,印度 REITs 市场更多处于被动接收风险的位置。

第四,风险溢出效应强度具有显著的非对称性。欧美发达经济体对外的尾部相依性均值都较高,且具有显性的风险溢出效应。英美两国 REITs 市场对中国香港 REITs 市场的溢出强度约为 35%,低于英美两国 REITs 市场间的溢出强度。中国香港 REITs 市场对英美 REITs 市场的平均风险溢出强度为 30%左右,

说明英美两国的 REITs 市场的风险较易传染至中国香港 REITs 市场。

第五,较强相依结构的 REITs 市场间的双向风险溢出效应也是极其明显的。如英国与德国 REITs 市场的相关性最大,且有对称的 Copula 结构。英国对德国 REITs 市场的溢出强度达到 64%,而德国对英国 REITs 市场的溢出强度达到 44%。从相依性理论角度来看,市场间的相依程度越高,越容易产生相互间的风险溢出,由于双向的溢出关系使得风险容易相互叠加,市场的相依性强弱会影响市场间的风险溢出的大小。“太关联而不能倒”,当市场间的关联互动愈演愈烈,更需防范系统性金融风险的加速溢出和明显的市场风险传染现象。

#### 四、结论

受金融全球化影响,各经济体金融市场的联系日益紧密。本文从金融复杂性和开放系统视角出发,分析了全球 8 个 REITs 市场的风险相依结构并进行风险溢出分析,结果表明:

第一,国际主要 REITs 市场的相依性关系存在明显的区域性集聚特征,主要为亚洲 REITs 市场和欧美 REITs 市场两个区域内的相依聚集。成熟市场对外的相依性均值较高,而英国和中国香港 REITs 市场在相依结构中为重要关键性节点,在全球 REITs 市场体系链条中处于主导位置。亚洲 REITs 市场对外关联程度和国际影响力仍有限。

第二,8 个 REITs 市场之间大部分都具有双向的风险溢出效应,较强相依关系的 REITs 市场间的双向风险溢出效应也是极其明显的。欧美发达经济体对外的尾部相依性均值都较高,且具有显著的风险溢出效应。REITs 市场间的风险溢出程度有所差异。欧美 REITs 市场间存在较强的风险溢出效应,亚洲地区 REITs 市场相互间的溢出关系较欧美的弱一些,这说明亚洲地区资本市场的对外关联程度和国际影响力都还比较有限。同时,风险溢出效应强度也具有显著的非对称性。

我国 REITs 市场刚刚起步,市场的规章制度、法律框架、监管体系都不够完善,阻碍了市场的进一步发展,不断修正的市场制度也会影响价格信息的传导功能。基于金融复杂性和系统开放性,对我国 REITs 市场初期建设及风险管理提出相应的政策建议。首先,要对所面临的国际 REITs 市场风险有一个比较全面的认识,除了内部风险,还面临外部的溢出风险;其次,需要加强我国 REITs 市场监管力度,防范市场系统性风险;再次,制定严格的信息披露制度,增加信息公开度,提高市场透明度;最后,构建全面有效的 REITs 市场风险预警体系和风险管理组织框架,采取合理的风险防范应对机制和严格的风险管理责任追究机制,在一定程度上降低市场交易与风险防范的成本。

综上所述,本文从整体结构上把握 REITs 市场的极端风险溢出效应,为维护金融稳定、防范不同地区市场间风险传导提供借鉴,并对投资者的风险管理和监管者的政策制定均有重要意义。本文仍存在一些值得改进的地方,如对边缘分布的构造并不能完全反映资产真实的收益分布情况,这将是今后继续研究并完善的方向。

#### [参考文献]

- [1] Zhou J, Anderson R I. Extreme risk measures for international REIT markets[J]. The Journal of Real Estate Finance and Economics, 2012, 45: 152-170.
- [2] Ji Q, Marfatia H, Gupta R. Information spillover across international real estate investment trusts: evidence from an entropy-based network analysis[J]. The North American Journal of Economics and Finance, 2018, 46: 103-113.
- [3] Gabauer D, Gupta R. Spillovers across macroeconomic, financial and real estate uncertainties: a time-varying approach [J]. Structural Change and Economic Dynamics, 2020, 52: 167-173.
- [4] Raheem I D, Fasanya I O, Yusuf A H. Economic policy uncertainty and the co-movement between REITs and exchange rate[J]. Review of Economic Analysis, 2022, 14(01): 121-141.



- [5] 严敏,巴曙松,吴博.我国股指期货市场的价格发现与波动溢出效应[J].系统工程,2009(10):32-38.
- [6] Chang G D,Chen C S. Evidence of contagion in global REITs investment [J]. International Review of Economics & Finance,2014,31:148-158.
- [7] Khan S. Are US REITs capable to invoke shocks in foreign REITs markets? [J]. Available at SSRN 1645850, 2010.
- [8] Begiazi K, Asteriou D, Pilbeam K. A multivariate analysis of United States and global real estate investment trusts [J]. International Economics and Economic Policy,2016,13:467-482.
- [9] Liow K H, Song J S. Frequency volatility connectedness and market integration in international real estate investment trusts[J]. Finance Research Letters,2022, 45:102174.
- [10] Fasanya I O, Oyewole O J. On the connection between international REITs and oil markets: the role of economic policy uncertainty [J]. Resources Policy, 2023,81:103335.
- [11] 张雪彤,张卫国,王超. 发达市场与新兴市场的尾部风险:溢出、传染与传染动因检验[J/OL]. 中国管理科学,2023:1-12.
- [12] 邓攀,杨朝军. 汇率制度改革后中国股市与汇市关系:人民币名义汇率与上证综合指数的实证研究[J]. 金融研究,2008(1):29-41.
- [13] Zhou J. Extreme risk spillover among international REIT markets[J]. Applied Financial Economics,2013, 23(02):91-103.
- [14] Christiansen C. Volatility-spillover effects in European bond markets[J]. European Financial Management, 2007,13(05):923-948.
- [15] Lee Y H. An international analysis of REITs and stock portfolio management based on dynamic conditional correlation models[J]. Financial Markets and Portfolio Management,2014,28:165-180.
- [16] 王皓晔,杨坤. 基于 EVT-Copula-CoVaR 模型的“一带一路”沿线国家股市风险溢出效应研究[J]. 金融发展研究,2019(9):79-85.
- [17] Bouyé E, Salmon M. Dynamic copula quantile regressions and tail area dynamic dependence in Forex markets[J]. The European Journal of Finance,2009,15 (7-8):721-750.
- [18] Nelsen R B. Properties and applications of copulas: a brief survey [A]//Proceedings of the first brazilian conference on statistical modeling in insurance and finance[M]. São Paulo: University Press USP, 2003: 10-28.
- [19] 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.
- [20] 吴海龙,方兆本,朱俊鹏. 基于 R-vine Copula 方法的投资组合风险分析[J]. 投资研究,2013(10):98-107.
- [21] 龚金国,史代敏. 金融自由化,贸易强度与股市联动:来自中美市场的证据[J]. 国际金融研究,2015(6): 85-96.
- [22] 张国胜,林宇. 结构突变下投资者情绪与股市收益间的非线性溢出效应研究[J]. 数理统计与管理,2021(1): 148-161.
- [23] 许启发,王侠英,蒋翠侠,等. 基于藤 copula-CAViaR 方法的股市风险溢出效应研究[J]. 系统工程理论与实践,2018(11):2738-2749.
- [24] 刘晓星,段斌,谢福座. 股票市场风险溢出效应研究:基于 EVT-Copula-CoVaR 模型的分析[J]. 世界经济, 2011(11):145-159.
- [25] Hansen B E. Autoregressive conditional density estimation[J]. International Economic Review, 1994: 705-730.
- [26] Bedford T, Cooke R M. Vines: a new graphical model for dependent random variables [J]. The Annals of Statistics,2002,30(04):1031-1068.
- [27] 赵林海,陈名智. 金融机构系统性风险溢出和系统性风险贡献:基于滚动窗口动态 Copula 模型双时变相依视角[J]. 中国管理科学,2021(7):71-83.
- [28] 龚金国,罗焱,龚晓岑,等. 包商银行事件对我国上市银行系统性风险的影响:基于 Vine Copula SCCA 半参数模型[J]. 统计研究,2022(7):87-100.
- [29] Zhang X,Zhang T,Lee C C. The path of financial risk spillover in the stock market based on the R-vine-Copula model [J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications,2022,600:127470.