

# 国际原油、中国煤炭与绿色能源股票市场间的溢出效应研究

李苏彤<sup>1</sup>, 王辉<sup>1</sup>, 叶鹏<sup>2</sup>

<sup>1</sup>南京信息工程大学数学与统计学院, 江苏 南京

<sup>2</sup>中国移动通信集团设计院有限公司福建分公司, 福建 福州

收稿日期: 2023年10月8日; 录用日期: 2023年12月5日; 发布日期: 2023年12月13日

## 摘要

研究能源市场间的溢出效应对于研判能源市场的复杂性和风险传递机制具有重要意义。为研究国际原油、中国煤炭及绿色能源股票市场间的溢出效应, 本文选取Brent原油期货价格、中证煤炭指数、中证绿色能源指数三组数据进行分析。以新冠疫情的发生时间为节点, 使用SVCJ模型分析疫情前后市场间的跳跃溢出。另外, 对SVCJ模型所估计出的波动率构建VAR-BEKK-GARCH模型, 探究全样本时期的波动溢出。结果显示: 疫情暴发使得市场的跳跃行为更为频繁, 原油市场在跳跃溢出关系中始终占据主导地位, 其对煤炭、绿色能源股票市场的跳跃溢出具有“一日滞后性”; 在遇到风险事件的冲击时, 原油市场与国内煤炭股市间具有风险传递效应, 国内煤炭股市则对绿色能源股市起到调节和稳定作用。这些结论有助于投资者优化投资组合, 对国家推进绿色金融发展也具有一定帮助。

## 关键词

跳跃溢出, 波动溢出, 金融市场, 绿色金融

# A Study of Spillovers between International Crude Oil, Chinese Coal and Green Energy Stock Markets

Sutong Li<sup>1</sup>, Hui Wang<sup>1</sup>, Peng Ye<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Mathematics and Statistics, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing Jiangsu

<sup>2</sup>Fujian Branch of China Mobile Communications Group Design Institute Co., Ltd., Fuzhou Fujian

Received: Oct. 8<sup>th</sup>, 2023; accepted: Dec. 5<sup>th</sup>, 2023; published: Dec. 13<sup>th</sup>, 2023

文章引用: 李苏彤, 王辉, 叶鹏. 国际原油、中国煤炭与绿色能源股票市场间的溢出效应研究[J]. 运筹与模糊学, 2023, 13(6): 6530-6545. DOI: 10.12677/orf.2023.136644

## Abstract

The study of spillover effects (SEs) among energy markets is important for revealing the complexity of energy markets and risk transfer mechanisms. To explore the SEs between international crude oil, and China's coal and green energy stock markets, this paper selects the daily closing price data of Brent crude oil futures price, CSI Coal Index and CSI Green Energy Index as the research objects. By taking outbreak time of the COVID-19 pandemic as a crucial time node, we study the change of jump SEs between markets before/after the pandemic by using the SVCJ model. Then, we construct a VAR-BEKK-GARCH model for the volatility estimated by the SVCJ model to explore the volatility SEs over the whole sample period. The conclusions are as follows: The outbreak of the pandemic makes the market jumping behavior happen more frequently. The crude oil market always dominates in the inter-market jumping spillover relationship, and its jump SE to the coal and green energy stock markets has a "one-day lag" effect. When encountering the impact of risk events, there is a risk transfer effect between the crude oil market and the domestic coal stock market, and the domestic coal stock market plays a regulating and stabilizing role in the green energy stock market. These conclusions can help investors optimize their investment portfolios, and are also helpful for the country to promote the development of green finance.

## Keywords

Jump SE, Volatility SE, Financial Market, Green Finance

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

能源是社会发展的不可或缺的资源之一，它不仅提高了社会的生产效率，也深刻影响着社会的生产结构。煤炭和石油作为全球最重要的能源，常被人们形容为“工业的粮食”和“工业的血液”，凸显了它们在能源领域不可撼动的地位。近些年，因对煤炭、石油等能源的过度利用，大气污染、温室效应、生态破坏等环境问题接踵而至，严重制约了社会经济的可持续发展。为了解决二氧化碳排放不断增加的问题，中国在“十四五”大会中提出“碳达峰、碳中和”的减排目标，使得绿色金融在社会经济发展中成为重点项目。张宇和钱水土(2017) [1]有研究表明，绿色金融的发展对调整经济结构、优化产业结构有着重要影响，绿色股票市场作为其子市场也表现出前所未有的活力。作为一种环保型股票，绿色股票通常是由一些在日常经营管理中兼顾环境效益与环境保护的企业所发行的。研究绿色股票市场能够为实现我国“双碳”目标提供帮助，同时这也是达成可持续发展的需要，国家制定了相关政策不断推进绿色发展，国内外投资者也越来越对绿色股票产生兴趣，刺激了绿色股票市场的发展，同时因绿色股票交易的便利性，流通性强等特点，未来的规模将会进一步扩张。但煤炭、石油仍然是我国能源的最大支柱，在达到“双碳”目标之前仍发挥着重要的作用。王昊(2022) [2]通过研究发现，原油价格的上升会通过影响能源相关市场对金融系统风险水平产生影响，绿色能源股票和煤炭期货相关性更高且价格变动略微滞后于煤炭股票市场，煤炭股票市场收益也会受到原油市场收益变动的的影响。可见，原油、煤炭股票、绿色能源股票三个市场间存在着一定的关联性。探讨它们之间的溢出关系，对于调整能源市场的运行机制和预测

市场变化趋势具有重要意义。

风险事件作为负向的外部冲击会对金融市场造成一定影响,单个金融市场受到外部冲击会导致风险增大,随后形成跨市场联动。根据刘庆富和许友传(2011) [3]的研究,期货市场的溢出行为与风险事件所带来的影响密切相关。隋建利和杨庆伟(2021) [4]对国内、国外金融市场间的关系进行研究,其研究结果表明,不同国家市场之间的风险传染效应加剧也是由于受到各类风险事件的冲击。沈悦等(2023) [5]研究发现在重大风险事件的冲击下,全球股票市场的风险网络关联更加紧密。2020年的重大卫生事件——新冠疫情的暴发对全球健康和经济造成了巨大影响,加上近年国际政治经济环境的冲突事件与不稳定因素的增多,煤炭、石油等大宗产品价格持续上涨,世界经济发展速度变缓,投资者在这些因素影响下会更倾向于稳定、安全的股票投资组合。在此背景下,探究疫情暴发前后国际原油、煤炭股票、绿色能源股票市场间跳跃溢出效应的变动,可以为投资人和市场参与者提供更有价值的信息,帮助他们更好地理解不同市场之间的关系,从而做出更明智的投资决策,对国家进行传统能源和新能源之间的资源配置也有重要意义;同时,由于其他市场对绿色能源股票市场的溢出效应,投资者对绿色能源股票产生消极心理,研究三个市场间的溢出传递机制有利于帮助投资者调整心态,规避由消极心理引发的投资风险,有助于促进绿色金融的发展,可对我国开始绿色低碳经济转型提供理论支撑。

## 2. 相关研究综述

溢出效应,即市场中的信息交换。本文将研究三个市场间的跳跃溢出以及波动溢出效应。Taylor (1986) [6]提出了 SV 模型,该模型被广泛应用于描绘资产收益的波动聚集现象。为了更准确地拟合序列的波动情况,Bates (1996) [7]在 SV 模型的基础上引入了跳跃项,从而构建了 SVJ 模型。与传统的 SV 模型相比,SVJ 模型能够更好地解释序列的波动性。进一步地,Duffie *et al.* (2020) [8]提出了 SVIJ 和 SVCJ 模型,他们指出收益与波动都会产生跳跃。跳跃溢出是指当一个金融市场出现跳跃现象并传染给其他相关市场时,会导致这些市场发生跳跃。Eraker *et al.* (2003) [9]分析了上面提到的四种模型,并证明 SVCJ 模型相较于其他模型而言,能够更有效地描述市场中的跳跃溢出。综上所述,SVCJ 模型在模拟市场跳跃方面具有较好的效果,且已经取得了较为成熟的发展,其在实践中也得到了广泛应用。刘庆富等(2011) [10]在研究中利用该模型对香港股市进行了分析,并发现其期货与现货市场间具有跳跃溢出。曾昭法和左杰(2013) [11]则利用 SVCJ 模型研究了沪港证券,发现沪市对港市在跳跃溢出中起到主导作用,易引起港市的跳跃行为。根据王苏生等(2019) [12]的研究,对上证 50ETF 数据建立模型,研究同样表明上文提到的几种模型中,SVCJ 模型的拟合效果最好。通过对现有研究进行梳理,可发现大部分研究仅关注了特定时期市场间的跳跃溢出效应,没有具体探讨这些时期内风险事件(金融危机、政治动荡、自然灾害等)对市场跳跃的影响。相比之下,本文特别关注了新冠疫情这一重大风险事件对市场溢出效应的具体影响,研究了疫情前后溢出效应的变化情况,能够更加明确深入地理解风险事件是如何改变市场间的溢出关系,为应对类似卫生事件时的风险管理和投资决策提供参考。

而关于市场间波动溢出的研究,一般集中于 GARCH 模型上。自 GARCH 类模型提出以来,它已被广泛应用于各种系统之间的波动溢出分析:Pan & Hsueh (1998) [13]的研究显示,他们使用两步 GARCH 模型发现了美国和日本资本市场间的单向波动溢出。Miyakoshi & Jalilov (2005) [14]则采用 EGARCH 模型发现,美国利率对六个经济体的货币-收入均产生了溢出效应影响。此外,Conrad *et al.* (2014) [15]的研究使用二元 BEKK-GARCH 模型,探究了有色金属期货之间的价格联动现象,并得出显著的研究结论。梳理可发现,以上研究大都分别涉及经济变量之间的相关关系和波动关系,没有将二者结合起来推广到多变量。作为一种多元时间序列模型,VAR-BEKK-GARCH 模型具备同时描述多个市场之间的波动溢出关系的能力,可以捕捉市场之间的动态关系,并且能够更好地反映金融时间序列的长期和短期波动性特

征。甄峰和陈丽(2016) [16]、郭栋(2023) [17]将此模型分别运用于货币市场和能源期货市场中,探究了不同市场间的波动溢出。在受到这一启发的基础上,本文将利用该模型对国际原油、我国煤炭股票和绿色能源股票三个市场的波动率进行深入分析,以此探究这三个市场间的波动溢出效应,并揭示其中的风险传递规律。

与现有研究相比,本研究具有以下特色:

一是在研究对象上,本文选取了一个新兴市场——绿色能源股票市场。该股票市场在绿色金融领域具有重要地位。本文将其与传统的原油、煤炭股票市场相结合进行研究,揭示了新能源与传统能源市场之间的溢出规律。

二是在研究内容中,本文考虑了新冠疫情的暴发对这三个市场的影响,将其作为重要因素加入分析框架中,描述了在暴发重大卫生事件时期市场间的风险传递机制。

三是在研究方法上,本文选择对 SVCJ 模型估计得出的波动率来建立 VAR-BEKK-GARCH 模型。相比于由 GARCH 模型所得出的波动率, SVCJ 模型估计出的波动率中加入了跳跃因子,对其建立模型,探究了市场间的波动溢出效应。

### 3. 模型介绍

#### 3.1. SVCJ 模型

本文通过建立 SVCJ 模型来拟合数据,得出结论。记为资产价格,假设资产价格对数,时间离散化后的模型形式为:

$$\begin{pmatrix} Y_{(t+1)\Delta} - Y_{t\Delta} \\ V_{(t+1)\Delta} - V_{t\Delta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mu \\ \kappa(\theta - V_{t\Delta}) \end{pmatrix} \Delta + \begin{pmatrix} \varepsilon_{(t+1)\Delta}^y \\ \sigma_v \cdot \varepsilon_{(t+1)\Delta}^v \end{pmatrix} \sqrt{V_{t\Delta} \Delta} + \begin{pmatrix} \xi^y \\ \xi^v \end{pmatrix} J_{(t+1)\Delta} \quad (1)$$

其中  $V_t$  表示资产在时间  $t$  的价格波动率,参数  $Y_t$  表示资产的预期收益率,参数  $\kappa$  表示均值回归系数,参数  $\theta$ ,  $\sigma_v$  分别表示波动率的均值和标准差,  $\xi^v$ 、 $\xi^y$  依次是波动率和收益率的跳跃大小,分布分别为:  $\xi^v \sim \exp(\mu_v)$ 、 $\xi^y | \xi^v \sim N(\mu_y + \rho_j \xi^v, \sigma_y^2)$ ,  $\Delta$  则表示时间间隔。

本文采用蒙特卡洛方法来估计模型中的参数,该方法通过对参数不断取样,将收敛后的取样值作为参数的估计结果。在式(1)中,涉及到多个待估计的未知参数:  $\{\mu, \kappa, \lambda, \sigma_v, \sigma_y, \mu_y, \mu_v, \rho_j\}$ 。为了确定这些参数的值,本文使用贝叶斯法进行“点估计”。参数的初始信息是根据 Ignatieva (2009) [18]中各参数的先验分布来设定的,即:  $\mu \sim N(0, 1.03)$ ,  $\kappa \sim N(0, 1)$ ,  $\sigma_v^2 \sim IG(2.5, 0.1)$ ,  $\mu_y \sim N(0, 100)$ ,  $\rho_j \sim N(0, 4)$ ,  $\sigma_y^2 \sim IG(5, 20)$ ,  $\mu_v \sim G(30, 0.1)$ ,  $\lambda \sim B(20, 30)$ 。接着,再利用吉布斯抽样方法来获得一条收敛的马尔科夫链,从而得出各参数的估计值。另外,由于本文的研究重点是跳跃溢出效应,所以需要估计隐含跳跃次数  $J$ , 其点估计为:

$$\hat{j} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M J^{(j)} \quad (2)$$

其中,  $J^{(j)}$  为后验跳跃概率,  $M$  为总共进行的模拟次数。只有当  $J^{(j)}$  大于阈值  $\lambda$  时,才能认为发生了一次跳跃,记为 1,反之则记为 0。

#### 3.2. VAR-BEKK-GARCH 模型

本文采用 VAR-BEKK-GARCH 模型,旨在探讨国际原油、中国煤炭和绿色能源股票这三个市场间的均值-波动溢出。首先,将三个市场分别标记为市场 1、市场 2 和市场 3,并设定均值方程和方差方程:

$$Y_t = \mu + \sum_{i=1}^p \Gamma_i Y_{t-i} + \varepsilon_t, \quad i=1, 2, \dots, p \quad (3)$$

$$H_t = C'C + A'\varepsilon_{t-1}\varepsilon'_{t-1}A + B'H_{t-1}B \quad (4)$$

$$\text{其中 } \mu = [\mu_1, \mu_2, \mu_3]', \quad Y_t = [\Delta Y_{1t}, \Delta Y_{2t}, \Delta Y_{3t}]', \quad \varepsilon_t = [\varepsilon_{1t}, \varepsilon_{2t}, \varepsilon_{3t}]', \quad \Gamma = \begin{bmatrix} \gamma_{11}^{(i)} & \gamma_{12}^{(i)} & \gamma_{13}^{(i)} \\ \gamma_{21}^{(i)} & \gamma_{22}^{(i)} & \gamma_{23}^{(i)} \\ \gamma_{31}^{(i)} & \gamma_{32}^{(i)} & \gamma_{33}^{(i)} \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} h_{11,t} & h_{12,t} & h_{13,t} \\ h_{21,t} & h_{22,t} & h_{23,t} \\ h_{31,t} & h_{32,t} & h_{33,t} \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & 0 & 0 \\ c_{21} & c_{22} & 0 \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix}。$$

在均值方程(3)中,  $\mu$  为常数项,  $Y_t$  为第  $t$  期波动率的一阶差分向量, 向量  $Y_{t-i}$  则是波动率的第  $i$  阶滞后变量, 自回归系数矩阵  $\Gamma$  用于反映  $Y_t$  的第  $i$  阶滞后项的影响作用,  $\varepsilon_t$  则表示市场波动率在第  $t$  期的随机波动。通过观察  $\Gamma$  中系数  $\gamma_{ij}$  的值, 可以判断三个市场间的波动溢出情况。

而在方差方程(4)中,  $H$ ,  $C$ ,  $A$ ,  $B$  分别是  $\varepsilon_t$  的条件方差协方差矩阵、常数矩阵、移动平均(MA)系数矩阵和协方差自回归(AR)系数矩阵。矩阵  $A$  可用于测度上一期的波动性, 矩阵  $B$  则是用于测度前期积累的波动性(长期)。 $\varepsilon_{t-1}\varepsilon'_{t-1}$  表示上一期扰动项的平方, 可用于度量前期得到的波动性的信息,  $H_{t-1}$  则是上一期的实际方差与上一期的预测误差平方的加权平均。对于矩阵  $A$  和  $B$ ,  $a_{ii}$  表示市场  $i$  波动率的波动对自身的 ARCH 型波动溢出效应,  $b_{ii}$  表示市场  $i$  波动率的波动对自身的 GARCH 型波动溢出效应, 非对角线元素  $a_{ij}$ ,  $b_{ij}$  分别代表市场  $i$  波动率的波动对市场  $j$  波动率的 ARCH、GARCH 型波动溢出效应。

## 4. 实证分析

### 4.1. 数据

本研究旨在探讨国际原油、中国煤炭股票以及绿色能源股票市场间的溢出效应。目前, 全球约 65% 以上的原油定价依赖于 Brent 原油体系(张振利、彭柳等, 2022 [19])。因此, 本文选取 Brent 原油期货收盘价数据(Brent)进行分析。此外, 本文还选取了中证煤炭等权指数(CSI)和中证绿色能源指数(GESI)作为研究对象, 以深入研究中国煤炭类股市和绿色能源类股市的具体情况。考虑到“碳中和”目标提出时期和疫情发生时期, 选取 2018 年 1 月 2 日至 2023 年 3 月 28 日的数据进行分析。各类指数均采用日收盘价数据( $\Delta = 1$ )。经过剔除交易日不一致的数据后, 单组数据的剩余个数为 1262。经过计算, 得到每组数据的收益率为:

$$R_t = \ln \frac{P_t}{P_{t-1}} \quad (5)$$

其中,  $P_t$  表示收盘价。根据数据的基本特征(表 1), 可以对三个市场的情况进行初步分析。首先, 观察三组收益率序列的均值, 可以发现 GESI 的收益率均值大于 CSI, 而 CSI 的收益率均值又大于 Brent。这说明近两年绿色能源受到大力扶持, 相较于原油、煤炭这些传统能源, 绿色能源的发展速度更快, 这符合经济发展的现实规律。同时还可以看到 GESI 的标准差较大, 说明绿色能源股票市场具有“高风险、高回报”的特点。此外, 三组数据的 Jarque-Bera 统计量都显著, 说明三组收益率数据均不服从正态分布。

为了避免模型拟合结果出现伪回归现象, 需要对三组收益率数据进行单位根检验, 以判定数据是否平稳, 从而保证建立时间序列模型的准确性。下表中的 ADF 检验结果可表明, 在 1% 的显著性水平下, 这三组收益率序列均拒绝了原假设, 表现出了平稳性质。因此, 这三组数据可以用于建立时间序列模型。

Table 1. Basic characteristics

表 1. 基本特征

	原油(Brent)	煤炭(CSI)	绿色能源(GESI)
均值	0.0001284	0.0004294	0.0006499
中位数	0.002494	0.0004810	0.0002575
最大值	0.1907740	0.0694272	0.0762328
最小值	-0.2797615	-0.0964643	-0.0678124
标准差	0.0215	0.0206	0.0242
峰度	17.9800	1.6200	1.1700
偏度	-1.3300	-0.2800	-0.0700
JB 统计量	17648.3750***	149.3880***	75.5800***
ADF 值	-11.3310***	-11.2170***	-9.0294***

\*, \*\*, \*\*\* 分别为在 10%、5%、1% 的显著性水平下拒绝原假设。

通过对时序图(图 1)的观察,我们可以对市场的波动趋势进行初步分析。首先,可发现从总体趋势来看, Brent 的收益率较其他两个序列更为平稳,且波动聚集性不强,而 CSI 和 GESI 的收益率则表现为剧烈的波动。具体来说,可观察到在 2020 年疫情发生后,三组收益率均出现了聚集性波动现象,收益率水平一度降至最低点,说明疫情确实对三个市场造成了一定冲击。此外,2022 年俄乌冲突发生后, Brent 的收益率也出现了一定程度的波动。

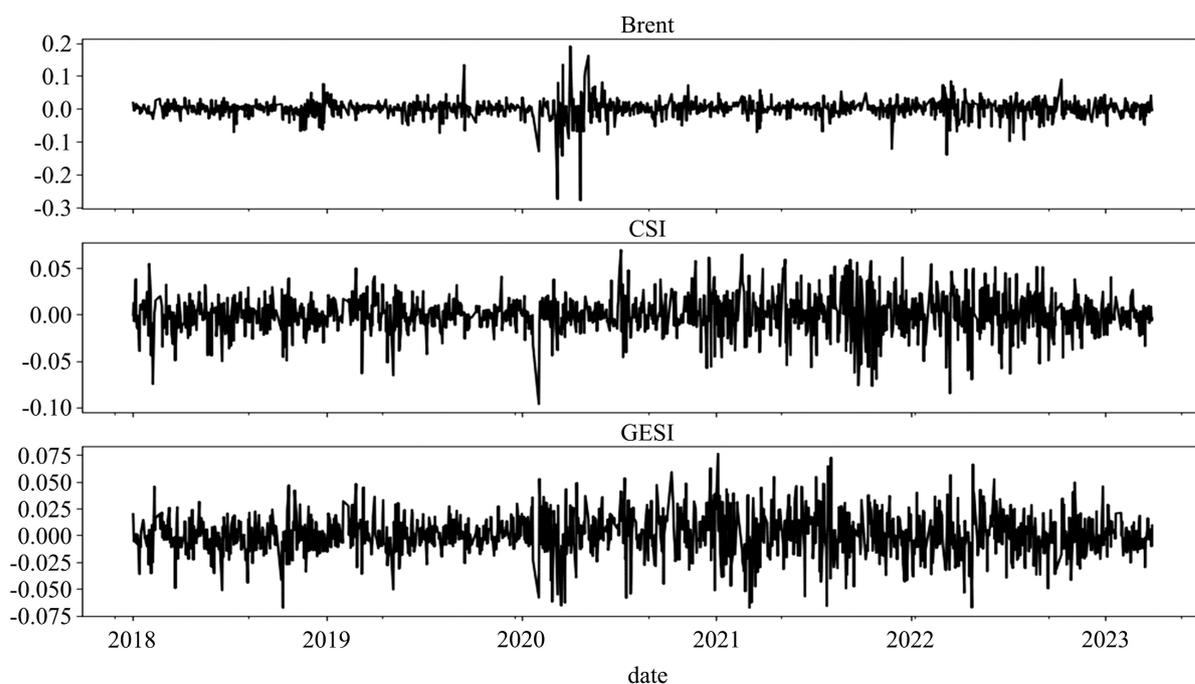


Figure 1. Diagram of the time series

图 1. 时序图

## 4.2. SVCJ 模型估计结果

本研究基于三组数据建立了 SVCJ 模型，并对模型参数进行了估计。估计过程中使用不同的初始值对其参数进行迭代，以此保证参数的稳定性和收敛性。总共进行了五万次迭代，其中前一万次被“燃烧”后，可获得各个参数的估计结果。接下来，可按照不同时期进行具体分析。

### 4.2.1. 全样本时期

首先对全样本进行建模，估计参数，最后得到的模型参数如表 2 所示。可以发现各参数的标准差和误差都比较小，且马尔科夫链达到收敛状态。

**Table 2.** Estimation results of SVCJ model parameters in the whole sample period

**表 2.** 全样本时期三个市场的 SVCJ 模型参数估计结果

参数	Brent	CSI	GESI
$\kappa$	1.995 (0.002184, 1.919E-4)	1.662 (0.004187, 4.966E-4)	1.004 (0.001413, 1.303E-4)
$\theta$	0.6291 (0.00491, 4.445E-4)	0.7499 (0.002942, 3.497E-4)	1.381 (0.003426, 3.203E-4)
$\lambda$	0.002334 (0.001326, 1.354E-5)	0.002333 (0.001352, 2.756E-5)	0.001986 (0.00135, 5.043E-5)
$\rho$	-0.9997 (1.35E-5, 3.748E-7)	0.9999 (5.529E-6, 1.528E-7)	-0.9999 (2.805E-6, 4.821E-8)
$\rho_j$	-0.02362 (0.4999, 0.02967)	-0.03006 (0.5295, 0.05016)	-0.003774 (0.4956, 0.03139)
$\sigma_v$	0.1486 (0.01449, 0.001252)	0.181 (0.0344, 0.004031)	0.2115 (0.07114, 0.0066)
$\sigma_y$	2.078 (0.515, 0.04107)	2.228 (0.4919, 0.05398)	2.161 (0.5233, 0.04334)
$\mu$	0.01233 (0.01368, 0.001216)	-0.01045 (0.01541, 0.001826)	0.01681 (0.01333, 0.001243)
$\mu_v$	2.136 (0.4758, 0.03747)	1.956 (0.37, 0.03818)	2.141 (0.4387, 0.03483)
$\mu_y$	0.1104 (0.9503, 0.08008)	-0.1659 (1.022, 0.1166)	0.16294 (0.8719, 0.07542)

通过对表中所获得的三组模型参数值进行观察，可以发现，参数  $\rho_j$  的值均为负，即三个市场的收益率与波动率之间的跳跃相关性为负。Li (2017) [20]在研究中定义收益率跳跃大小无条件均值可以表示为  $(\mu_y + \mu_v * \rho_j)$ 。可计算出国际原油、中国煤炭股票和绿色能源股票市场的收益率跳跃大小无条件均值分别为 0.05995, -0.2247, 0.1549。可以看到，只有煤炭股票市场的收益率跳跃大小无条件均值小于 0，说明总体上煤炭股票市场的负向收益率跳跃绝对值比正向收益率跳跃大，全样本时期内的跳跃通常是由坏消息(即收益的非预期的负向冲击)导致的。参数主要用于表示跳跃的强度，根据其估计值，可以看到国际原油和煤炭股票市场的跳跃强度都大于绿色能源股票市场，这与绿色能源股票市场是未成熟的新兴市场

这一事实相对应；此外，根据收益率和波动率扩散冲击之间的相关系数  $\rho$ ，我们能够看到原油和绿色能源股票市场的  $\rho$  值均为负，表明原油、绿色能源股票市场的收益率与波动率的扩散项之间存在杠杆效应。

#### 4.2.2. 疫情暴发前后

2020年1月30日，新冠疫情正式被宣布成为“国际关注的突发公共卫生事件(PHEIC)”，本文以此设定时间节点，将样本分为疫情前和疫情后两个阶段展开研究。分别针对疫情前和疫情后的数据分别建立 SVCJ 模型，并进行迭代以获得参数估计结果，结果见表 3、表 4，对结果进一步分析。

**Table 3.** Estimation results of SVCJ model parameters before the epidemic

**表 3.** 疫情前三个市场的 SVCJ 模型参数估计结果

参数	Brent	CSI	GESI
$\kappa$	1.128 (0.002466, 2.771E-4)	1.458 (0.005418, 5.145E-4)	0.9129 (0.007009, 6.33E-4)
$\theta$	1.144 (0.002308, 2.584E-4)	0.8269 (0.002569, 2.438E-4)	1.458 (0.004542, 4.051E-4)
$\lambda$	0.01094 (0.004577, 1.09E-4)	0.003728 (0.002645, 2.563E-5)	0.005834 (0.003378, 7.769E-5)
$\rho$	0.9999 (5.464E-6, 1.45)	0.9999 (5.529E-6, 1.016E-7)	1.0 (2.496E-6, 4.066E-8)
$\rho_j$	-0.1113 (0.5045, 0.0341)	9.902E-4 (0.489, 0.02268)	0.03366 (0.4935, 0.02053)
$\sigma_v$	0.2367 (0.04264, 0.004808)	0.2302 (0.07892, 0.007435)	0.3162 (0.03183, 0.002844)
$\sigma_y$	1.919 (0.4271, 0.03929)	2.226 (0.566, 0.04055)	2.094 (0.4802, 0.03082)
$\mu$	-0.00953 (0.01955, 0.002217)	-0.00888 (0.01648, 0.001563)	0.1307 (0.0117, 0.001042)
$\mu_v$	2.081 (0.4604, 0.041)	1.97 (0.4624, 0.03205)	2.065 (0.425, 0.02578)
$\mu_y$	-0.3015 (0.6932, 0.0656)	0.1117 (1.036, 0.0841)	0.05251 (0.8795, 0.06304)

**Table 4.** Estimation results of SVCJ model parameters after the epidemic

**表 4.** 疫情后三个市场的 SVCJ 模型参数估计结果

参数	Brent	CSI	GESI
$\kappa$	1.993 (0.005253, 4.274E-4)	1.434 (0.03029, 0.002207)	1.409 (0.05229, 0.003545)
$\theta$	0.6342 (0.01727, 0.001304)	0.8426 (2.472E-4, 7.732E-5)	0.9138 (0.03464, 0.002349)
$\lambda$	0.00388 (0.002242, 3.821E-5)	0.004897 (0.002681, 7.545E-5)	0.003236 (0.002115, 4.385E-5)

Continued

$\rho$	-0.9996 (2.422E-5, 8.499E-7)	-0.9998 (8.627E-6, 2.764E-7)	-0.9999 (8.493E-6, 3.375E-7)
$\rho_j$	-0.02832 (0.4954, 0.02055)	-0.02367 (0.4867, 0.01612)	-0.004865 (0.508, 0.01541)
$\sigma_v$	0.1475 (0.01748, 0.001608)	0.186 (0.0506, 0.003598)	0.2049 (0.05209, 0.003385)
$\sigma_y$	2.042 (0.4754, 0.03019)	2.036 (0.482, 0.02581)	2.117 (0.5196, 0.02394)
$\mu$	-0.004258 (0.02057, 0.001678)	0.02121 (0.03092, 0.002239)	-0.006095 (0.02791, 0.001881)
$\mu_v$	2.104 (0.4449, 0.02737)	2.015 (0.4398, 0.02298)	2.005 (0.4439, 0.02096)
$\mu_y$	0.05114 (0.8019, 0.0542)	-0.007858 (0.8526, 0.04978)	0.03531 (1.013, 0.05645)

经过计算得出, 疫情前三个市场收益率的跳跃大小无条件均值分别为-0.5331、0.1137、0.1220, 而疫情后分别为 0.008448、-0.05555、-0.02556。根据三组收益率的跳跃大小无条件均值的正负情况, 可以看出疫情前引发国际原油市场发生跳跃的信息以负面居多; 疫情后则正相反, 引发中国绿色能源和煤炭股票市场跳跃的信息以负面居多, 侧面说明国际原油市场较煤炭股票和绿色能源股票市场来说更为稳定。而根据  $\rho_j$  值, 可以得出如下结论: 在疫情前, 只有原油市场的波动率跳跃与收益率跳跃之间呈现负相关性。而在疫情后, 三个市场的波动率跳跃与收益率跳跃之间均存在负相关性。此外, 疫情后  $\rho$  值均由正值变为负值, 这意味着疫情的暴发使得三个市场均产生杠杆效应, 负向收益率冲击对波动率的影响更大, 通俗地讲就是利空消息相对于利好消息来说, 对这三个市场产生的影响更大。

#### 4.2.3. 疫情前后跳跃溢出效应测度

同时, 根据模型迭代结果, 可得出疫情前后三个市场的隐含跳跃次数(表 5)。换句话说, 无论是疫情前还是疫情后, 三组实证数据中都含有跳跃成分。Brent 的跳跃次数在疫情暴发前明显低于 CSI 和 GESI 的跳跃次数, 而疫情暴发后, 三者跳跃次数的差距明显缩小。根据资产的平均跳跃频率 = 资产的总跳跃次数/样本观测数, 计算每组资产的平均跳跃频率。疫情前 Brent、CSI、GESI 的平均跳跃频率分别为 0.1423、0.2124、0.2184, 而疫情暴发后平均跳跃频率分别为 0.2112、0.2205、0.2336, 三组资产收益率的跳跃发生频率明显增加。说明疫情的暴发对三个市场都产生了一定冲击, 使得跳跃行为更容易发生。这同杨杰和李辉(2023) [21]得到的结论一致, 新冠疫情会对金融市场造成剧烈冲击, 溢出行为会增强。同时也可看出, 作为一个国际性的较为稳定的市场, 原油市场发生跳跃的频率无论是在疫情前还是疫情后都小于国内煤炭股票以及绿色能源股票市场。

Table 5. The number of jumps

表 5. 跳跃次数

市场	疫情前			疫情后		
	Brent	CSI	GESI	Brent	CSI	GESI
跳跃次数	71	106	109	161	168	178

潘群星、孙羽佳等(2022) [22]的研究发现,中美两国股市间的跳跃溢出具有“一日滞后性”,即某市场同日的跳跃在次日才会对另一个市场产生影响。受此启发,本文也对三组数据之间的同日、次日跳跃次数(表 6)进行分析。可计算出跳跃溢出概率、频度和强度三个指标来测度国际原油、我国煤炭与绿色能源股票市场间的跳跃溢出。

**Table 6.** The number of jumps for each market in the same and the next day

**表 6.** 各市场同、次日跳跃次数

	疫情前		疫情后	
	同日	次日	同日	次日
Brent 跟随 CSI	13	19	19	39
CSI 跟随 Brent	13	14	19	41
Brent 跟随 GESI	18	14	21	36
GESI 跟随 brent	18	13	21	37
CSI 跟随 GESI	21	22	39	34
GESI 跟随 CSI	21	19	39	45

#### 1) 跳跃溢出概率(CJSP)

CJSP 描述了市场之间跳跃传递的概率,若要测度两个市场间的 CJSP,需选取其中一个市场作为基准市场,表达式如下:

$$\text{基准市场对其他市场的同/次日CJSP} = \frac{\text{同/次日跟随跳跃次数}}{\text{基准市场跳跃次数}} \quad (6)$$

计算得到三个市场间的 CJSP 指标(表 7)。国际原油与我国煤炭股票市场之间的 CJSP 显示,无论疫情前后,次日 CJSP 始终高于同日 CJSP,表明国际原油与中国煤炭能源股票市场之间的跳跃信息传递速度较慢,通常存在延迟。疫情后两者间的同日 CJSP 有所下降,而次日 CJSP 则有所上涨,这说明了疫情暴发后,两个市场需要花费更长的时间去消化对方市场的跳跃信息,一日滞后性有所增强。这可能是由于疫情蔓延期间国内外的金融贸易往来有所减少所导致的。纵向上来看,以原油市场为基准的 CJSP 始终高于以煤炭股票市场为基准市场的 CJSP,表明疫情并没有改变国际原油市场在与煤炭股市之间溢出概率中的主导地位。与上述原油和煤炭市场之间溢出关系类似,原油和我国绿色能源股市间的次日 CJSP 无论是疫情暴发前还是暴发后总是大于同日。纵向对比,疫情暴发后,同日 CJSP 下降,次日 CJSP 有所上涨,两个市场间的一日滞后跳跃溢出概率有所增大。国际原油市场在与绿色能源股票市场间的跳跃溢出概率中仍占主导地位。

中国煤炭股票与绿色能源股票市场间溢出关系则有所不同。横向来看,以绿色能源股票市场为基准,同日、次日 CJSP 在疫情前后变化幅度都不大。而以煤炭股市为基准,疫情暴发前两者的同日 CJSP 要高于次日 CJSP,疫情后则低于次日 CJSP,这表明疫情前煤炭股票市场的跳跃信息传递较快,通常能够当天引发绿色能源股票市场的跳跃,在疫情暴发后,跳跃信息传递速度逐渐降低,一日滞后跳跃溢出的可能性增加;纵向来看,疫情前绿色能源股票市场占两市场间跳跃溢出概率的主导地位,疫情后则是煤炭股票市场成为主导。

**Table 7.** Conditional jump spillover probability  
**表 7.** 跳跃溢出概率

	疫情暴发前		疫情暴发后	
	同日	次日	同日	次日
Brent 对 CSI	0.1831	0.1971	0.1180	0.2547
CSI 对 Brent	0.1226	0.1792	0.1131	0.2321
Brent 对 GESI	0.2535	0.1831	0.1304	0.2298
GESI 对 Brent	0.1651	0.1284	0.1180	0.2022
GESI 对 CSI	0.1927	0.2018	0.2191	0.1910
CSI 对 GESI	0.1981	0.1792	0.2321	0.2679

### 2) 跳跃溢出频度(FDJS)

FDJS 代表不同市场间前后两次跳跃溢出之间的平均间隔时间，表达式如下：

$$\text{两个市场间同日/次日FDJS} = \frac{\text{两个市场重叠观测数}}{\text{两个市场同日/次日跳跃次数}} \quad (7)$$

同样，两两比较市场间的 FDJS 指标(表 8)，可发现无论疫情前后，国内煤炭股票和绿色能源股票市场间的 FDJS 始终最小，说明两者互相引发对方市场跳跃所用的平均间隔时间更短，对对方市场的跳跃信息更敏感，两者之间跳跃信息传导机制更顺畅，关系也更为密切；而国际原油市场与中国煤炭股票、绿色能源股票市场间的次日 FDJS 均小于同日 FDJS，进一步说明国际原油市场与其他两个市场间的跳跃溢出具有一定的滞后性；疫情后，原油市场与另两个市场间的次日 FDJS 均有明显降低，说明疫情发生后市场间跳跃溢出的滞后性有所增强。

**Table 8.** Frequency degree of jump spillover  
**表 8.** 跳跃溢出频度

	疫情暴发前		疫情暴发后	
	同日	次日	同日	次日
Brent 对 CSI	38.3077	26.2105	40.1053	20.4103
CSI 对 Brent	38.3077	35.3714	40.1053	18.5854
Brent 对 GESI	37.6667	35.5714	36.2857	21.1667
GESI 对 Brent	37.6667	38.3077	36.2857	20.5946
GESI 对 CSI	23.7143	22.6364	19.5385	22.4118
CSI 对 GESI	23.7143	26.2105	19.5385	16.9333

### 3) 跳跃溢出强度(JSI)

JSI 是指市场间跳跃溢出的强度，表达式如下：

$$\text{两市场同日/次日的JSI} = \frac{\text{两市场同日/次日跟随跳跃的次数}}{\text{两市场重叠样本观测数}} \quad (8)$$

通过比较跳跃溢出强度(JSI)指标(表 9), 可发现疫情蔓延时期, 国际原油市场与其他两个市场间的同日 JSI 较疫情前明显减弱, 次日 JSI 明显增强, 说明疫情对国际原油市场在同日导致其他市场出现跳跃的程度有所影响, 疫情的蔓延导致市场间的跳跃信息传递减慢。而煤炭股票与绿色能源股票市场之间的同、次日 JSI 则都有所增加。与 CJSP 的测度结果类似, 疫情前, 绿色能源股票市场对煤炭股票市场的 JSI 较大, 疫情后则相反。绿色能源股票市场作为新兴市场, 在疫情前却能表现出主导作用, 后来居上, 本文认为与中国政府提出“减碳”目标以及对绿色金融项目的大力扶持有关。随着新冠疫情重创市场, 导致市场大幅波动, 煤炭股票市场作为一个相对稳定的市场重新占据了主导地位。

**Table 9.** Jump spillover intensity

**表 9.** 跳跃溢出强度

	疫情暴发前		疫情暴发后	
	同日	次日	同日	次日
Brent 对 CSI	0.0261	0.0281	0.0249	0.0538
CSI 对 Brent	0.0261	0.0381	0.0249	0.0512
Brent 对 GESI	0.0361	0.0261	0.0276	0.0486
GESI 对 Brent	0.0361	0.0281	0.0276	0.0486
GESI 对 CSI	0.0421	0.0441	0.0511	0.0446
CSI 对 GESI	0.0421	0.0381	0.0511	0.0591

总的来看, 疫情对三个市场都产生了一定的冲击, 造成了波动的加剧, 进而造成了跳跃溢出概率以及溢出强度的增大。无论是疫情前还是疫情后, 原油市场在与国内煤炭和绿色能源股市的跳跃溢出关系中, 总是起到主导作用; 而煤炭股票与绿色能源股票市场之间的跳跃溢出关系则在疫情前后有所改变, 疫情前绿色能源股票市场的主导作用明显, 疫情后则是煤炭市场的主导作用比较明显。国际原油市场在与国内煤炭股票和绿色能源股票市场的跳跃溢出效应都有“一日滞后性”; 而煤炭股票与绿色能源股票市场的跳跃溢出关系中, 疫情前, 绿色能源股票市场对煤炭股票市场的跳跃溢出具有滞后性, 而煤炭股票市场对绿色能源股票市场的溢出则有同时性, 疫情后则正相反。

#### 4.2.4. 波动溢出分析

为使溢出研究更加全面, 本文进一步分析了整个样本时期的波动溢出。借鉴张浩、韩铭辉等(2020) [23] 的做法, 本文通过建立 VAR-BEKK-GARCH 模型, 对国际原油、中国煤炭及绿色能源股票三个市场的波动率序列行实证分析。可根据模型估计结果, 研究三个市场之间的波动溢出关系。首先, 可以看到模型的自回归系数  $\gamma_{11}$ 、 $\gamma_{22}$  和  $\gamma_{33}$  显著且均为负值, 三个市场的波动率对本市场均有溢出效应。三个市场的波动率上升, 会影响自身的未来波动率使其下降, 说明在遇到突发风险事件时, 三个市场均有一定的自我调节能力。根据三个系数的大小可看出, 原油市场的自我调节能力最强, 而绿色能源股市的自我调节能力则最弱。

另外, 自回归系数  $\gamma_{12}$  和  $\gamma_{21}$  显著, 这说明了国际原油市场与国内煤炭股票市场之间的波动溢出是相互的, 两者波动率的上涨都会导致对方市场未来波动率的上涨, 即两者之间具有风险传递效应。而系数

$\gamma_{23}$  与  $\gamma_{32}$  同样显著, 正负不同, 这说明国内煤炭股票市场与绿色能源股票市场之间的波动溢出也是双向的, 煤炭股市波动率的上升会导致绿色能源股市未来波动率的上升, 绿色能源股市的上升则会导致煤炭股市未来波动的下降。即当煤炭市场受到风险事件影响时, 风险会传递到绿色能源股市中, 而当绿色能源股市受到风险事件影响时, 煤炭股市作为一个与其相关的更为稳定的市场会起到市场调节作用。煤炭股市相对于绿色能源股市来说, 主导作用更强。系数  $\gamma_{13}$  显著而  $\gamma_{31}$  不显著, 说明国际原油市场与国内绿色能源股票市场的波动溢出是单向的, 国际原油市场的波动率上涨会引起国内绿色能源股票市场波动率的上涨。以上结论符合以往文献中(李碧芳和郭驰, 2012 [24])国际原油期货与我国股市表现出显著相关关系的结论。

根据表 10 中的方差方程系数矩阵的估计结果, 可对三个市场的波动率间的波动溢出进行分析。首先, 观察系数矩阵 A, 发现其对角线元素  $a_{11}$ 、 $a_{22}$ 、 $a_{33}$  显著异于 0; 而从系数矩阵 B 来看, 对角线元素  $b_{11}$ 、 $b_{22}$ 、 $b_{33}$  也显著不为 0。这表明三个市场波动率的条件方差的变化均受自身滞后绝对残差与历史波动的影响, 波动率的波动均具备方差时变性和持久性特征。对于三个市场来说, 波动率均具有显著的集聚性。

**Table 10. VAR-BEKK-GARCH model coefficient estimation results**  
**表 10. VAR-BEKK-GARCH 模型系数估计结果**

自回归系数矩阵估计结果		方差方程系数矩阵估计结果					
参数	估计结果	C	估计结果	A	估计结果	B	估计结果
$\gamma_{11}$	-0.9917*** [0.0000]	$c_{11}$	-0.0001 [0.4142]	$a_{11}$	0.1416*** [0.0000]	$b_{11}$	0.8930*** [0.0000]
$\gamma_{12}$	0.01229*** [0.0000]	$c_{12}$	-	$a_{12}$	0.9655*** [0.0012]	$b_{12}$	0.0716** [0.0044]
$\gamma_{13}$	0.0068*** [0.0000]	$c_{13}$	-	$a_{13}$	0.6594*** [0.0000]	$b_{13}$	-0.0284 [0.2136]
$\gamma_{21}$	0.0100** [0.0010]	$c_{21}$	-0.0026*** [0.0002]	$a_{21}$	0.1005*** [0.0003]	$b_{21}$	-0.2417*** [0.0000]
$\gamma_{22}$	-0.7782*** [0.0000]	$c_{22}$	0.0025*** [0.0000]	$a_{22}$	0.5769*** [0.0000]	$b_{22}$	0.5218*** [0.0000]
$\gamma_{23}$	0.0234** [0.0014]	$c_{23}$	-	$a_{23}$	-1.6122*** [0.0000]	$b_{23}$	-0.2086*** [0.0000]
$\gamma_{31}$	0.0051 [0.1629]	$c_{31}$	-0.0008*** [0.0001]	$a_{31}$	-0.0377** [0.0082]	$b_{31}$	-0.1025* [0.0004]
$\gamma_{32}$	-0.0123*** [0.0000]	$c_{32}$	-0.0013*** [0.0000]	$a_{32}$	0.0277 [0.2350]	$b_{32}$	-0.0027 [0.7878]
$\gamma_{33}$	-0.3081*** [0.0000]	$c_{33}$	-0.0034*** [0.0000]	$a_{33}$	-0.4895*** [0.0000]	$b_{33}$	0.2057*** [0.0000]

\*, \*\*, \*\*\*分别为在 10%、5%、1%的显著性水平下拒绝原假设。

为加强系数估计结果的可信度, 本文使用 Wald 检验(表 11)来检验非对角线元素的联合显著性。其中, 若  $H_0: a_{12} = b_{12} = 0$ , 则表示原假设为  $i$  市场对  $j$  市场没有单向的波动溢出效应, 若  $H_0: a_{12} = b_{12} = a_{21} = b_{21} = 0$ , 则表示原假设为  $i$  市场与  $j$  市场之间不存在波动溢出效应。结合两表来看, 可发现  $a_{32}$ 、 $b_{32}$  均不显著, 即

绿色能源股票市场的波动率对煤炭股票市场的波动率没有溢出影响，两者波动率之间的波动溢出是单向的。另外， $b_{13}$ 、 $b_{31}$ 也显著异于0，说明国际原油市场与绿色能源股市波动率之间的波动溢出只受上一期波动的影响，即二者之间具有短期的波动溢出效应。

**Table 11.** Wald test results

**表 11.** Wald 检验结果

原假设	Wald 统计量	P 值	检验结果
$H_0 : a_{12} = b_{12} = 0$	$F(2, *) = 377.9553$	0.0000	拒绝原假设
$H_0 : a_{21} = b_{21} = 0$	$F(2, *) = 244.7251$	0.0001	拒绝原假设
$H_0 : a_{12} = b_{12} = a_{21} = b_{21} = 0$	$F(4, *) = 283.2334$	0.0017	拒绝原假设
$H_0 : a_{13} = b_{13} = 0$	$F(2, *) = 174.7645$	0.0000	拒绝原假设
$H_0 : a_{31} = b_{31} = 0$	$F(2, *) = 146.4478$	0.0000	拒绝原假设
$H_0 : a_{13} = b_{13} = a_{31} = b_{31} = 0$	$F(4, *) = 131.5602$	0.0004	拒绝原假设
$H_0 : a_{23} = b_{23} = 0$	$F(2, *) = 778.3091$	0.0000	拒绝原假设
$H_0 : a_{32} = b_{32} = 0$	$F(2, *) = 0.7835$	0.45681	不拒绝原假设
$H_0 : a_{23} = b_{23} = a_{32} = b_{32} = 0$	$F(4, *) = 475.9925$	0.0035	拒绝原假设

总之，从波动溢出的角度来看，三个市场中，仅有绿色能源股票市场与国际原油市场无波动溢出效应。在遇到风险事件的冲击时，国际原油市场与国内煤炭股市之间具有风险传递效应，而国内煤炭股市对国内绿色能源股市具有调节和稳定作用。而从波动率的波动来看，绿色能源股市波动率的波动对煤炭股市没有溢出效应，国际原油市场波动率的波动对绿色能源股市也只具有短期的溢出效应，其余的市场波动率间则均具有波动溢出关系。

## 5. 结论与建议

本文通过建立 SVCJ 模型和 VAR-BEKK-GARCH 模型，对国际原油市场、中国煤炭与绿色能源股市进行实证分析，测度了三个市场间的跳跃溢出与波动溢出效应。实证得到以下结论。

一是疫情发生后，三个市场都出现了杠杆效应，即利空消息比利好消息更容易引起市场的跳跃溢出。疫情的发生使得市场的跳跃行为更加频繁。在三个市场的跳跃溢出关系中，国际原油市场始终处于主导地位。而中国煤炭股票与绿色能源股票市场之间的跳跃溢出关系在疫情前后则有所改变，疫情之前绿色能源股票市场的主导作用明显，疫情期间则是煤炭股票市场起到主导作用。

二是基于跳跃溢出，溢出中占据主导作用的市场对另一方市场的跳跃溢出具有“一日滞后性”，也就是跳跃信息引起对方市场跳跃的时间相对来说较慢。疫情发生后，市场间信息传递一定程度上减慢，“一日滞后性”增强。

三是基于波动溢出，三个市场中，仅有绿色能源股票市场与国际原油市场无波动溢出效应。在遇到风险事件的冲击时，国际原油市场与国内煤炭股市之间具有风险传递效应，两者之间互相影响。而国内煤炭股市则在绿色能源股市产生波动时，作为一个更为稳定的能源类股票市场，对绿色能源股票市场起到调节和稳定作用。

针对以上结论, 本文提出以下建议:

第一, 投资者在进行投资决策时, 可以更多地把注意力放在作为价格传导中介的煤炭股票市场的变化上。根据三个市场的溢出效应进行有效的风险管理和资产配置。同时应注意疫情对市场的影响, 在发生新冠疫情之外的大型公共卫生突发事件时, 可以进行分散投资, 选择最优投资组合, 避免不必要的损失, 规避风险。

第二, 监管机构应该提高信息处理的效率。在面临来自不同市场间的风险外溢时, 监管机构需要动态监控市场环境, 合理充分利用信息滞后的时间差(例如市场间溢出的“一日滞后性”), 在下一个交易日来临前制定针对性的风险方案(例如提高持仓规模、调整交易频率等), 尽可能降低损失。同时, 可以加强监管和引导投资, 通过促进绿色能源类市场的发展来减少对传统能源类市场的依赖, 进而降低市场间的风险传染性。

第三, 政府也应该关注这些市场间的各类溢出效应, 建立专业化的监督管理机构和合理的风险管理指标体系。在风险事件发生后, 及时对各市场的跳跃和波动情况进行预测和分析, 发出风险警告, 并做出及时的应对措施。这样可以避免由于不同市场间所存在的风险外溢而导致的投资亏损, 更好地维持市场的运行秩序, 保障了投资者的合法权益。

## 参考文献

- [1] 张宇, 钱水土. 绿色金融理论: 一个文献综述[J]. 金融理论与实践, 2017(9): 86-91.
- [2] 王昊. 绿色债券、绿色股票与其他主要资产联动性研究[J]. 北方经贸, 2022(3): 103-106.
- [3] 刘庆富, 许友传. 中国外非同步期货交易市场之间的跳跃溢出行为: 基于风险事件的视角[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(4): 679-690.
- [4] 隋建利, 杨庆伟. 国际大宗商品市场与中国金融市场间风险的传染测度与来源追溯[J]. 财经研究, 2021, 47(8): 139-154.
- [5] 沈悦, 李朝前, 赵欣悦, 王晓霞. 重大风险事件下全球股票市场风险传染效应研究[J]. 国际经贸探索, 2023, 39(4): 82-99.
- [6] Taylor, S.J. (1986) Modeling Financial Time Series. John Wiley & Sons, Chichester, 151-152.
- [7] Bates, D.S. (1996) Jumps and Stochastic Volatility: Exchange Rate Processes Implicit in Deutsche Mark Options. *The Review of Financial Studies*, 9, 69-107. <https://doi.org/10.1093/rfs/9.1.69>
- [8] Duffie, D., Pan, J. and Singleton, K. (2000) Transform Analysis and Asset Pricing for Affine Jump-Diffusions. *Econometrica*, 68, 1343-1376. <https://doi.org/10.1111/1468-0262.00164>
- [9] Eraker, B., Johannes, M. and Polson, N. (2003) The Impact of Jumps in Volatility and Returns. *The Journal of Finance*, 58, 1269-1300. <https://doi.org/10.1111/1540-6261.00566>
- [10] 刘庆富, 朱迪华, 周思泓. 恒生指数期货与现货市场之间的跳跃溢出行为研究[J]. 管理工程学报, 2011, 25(1): 115-120.
- [11] 曾昭法, 左杰. 沪港证券市场收益的跳跃与波动溢出关系研究——基于 MCMC 算法的 SVCJ 模型[J]. 中国管理科学, 2013, 21(S1): 334-340.
- [12] 王苏生, 胡明柱, 李梓龙. 跳扩散条件下波动率风险溢价及影响因素研究——基于上证 50 ETF 期权市场的实证[J]. 运筹与管理, 2019, 28(10): 123-131.
- [13] Pan, M.S. and Hsueh, L.P. (1998) Transmission of Stock Returns and Volatility between the U.S. and Japan: Evidence from the Stock Index Futures Markets. *Asia-Pacific Financial Markets*, 5, 211-225. <https://doi.org/10.1023/A:1010000606092>
- [14] Miyakoshi, T. and Jalilov, M. (2005) Money-Income Causality Revisited in EGARCH: Spillovers of Monetary Policy to Asia from the US. *Journal of Asian Economics*, 16, 299-313. <https://doi.org/10.1016/j.asieco.2005.02.005>
- [15] Conrad, C., Loch, K. and Rittler, D. (2014) On the Macroeconomic Determinants of Long-Term Volatilities and Correlations in U.S. Stock and Crude Oil Markets. *Journal of Empirical Finance*, 29, 26-40. <https://doi.org/10.1016/j.jempfin.2014.03.009>
- [16] 甄峰, 陈丽. 离岸与在岸人民币汇率互动与风险溢出效应研究[J]. 金融监管研究, 2016(10): 1-22.

- 
- [17] 郭栋. 新能源金属的中心化演进——基于 VAR-BEKK-GARCH 模型的实证检验[J]. 金融监管研究, 2023(2): 94-114.
- [18] Ignatieva, K., Rodrigues, P. and Seeger, N.J. (2009) Stochastic Volatility and Jumps: Exponentially Affine Yes or No? An Empirical Analysis of S&P500 Dynamics. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1363959>
- [19] 张振利, 彭柳, 李香秋. 原油市场与股市联动性分析——基于主板市场、创业板、中小板数据分析[J]. 黑龙江金融, 2022(11): 14-18.
- [20] Li, X.P., Zhou, C.Y. and Wu, C.F. (2017) Jump Spillover between Oil Prices and Exchange Rates. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, **486**, 656-667. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.05.045>
- [21] 杨杰, 李辉. 中国金融市场间的风险传染测度与来源追溯[J]. 开发性金融研究, 2023(1): 19-30.
- [22] 潘群星, 孙羽佳, 高天晴, 杜修立. 中美股市跳跃溢出效应及跳跃对未来波动的影响研究[J]. 金融理论与实践, 2023(1): 12-24.
- [23] 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(7): 206-213.
- [24] 李碧芳, 郭驰. 国际原油价格对我国股票市场的影响研究——以布伦特原油市场为例[J]. 价格理论与实践, 2012(5): 62-63.