

碳市场和能源市场动态风险传导

韩晶晶，纪家哲，李昕瑶，宋佳铃，赵颖秀*

华北理工大学，河北 唐山 063000

摘要： 本文研究采用 TVP-VAR-DY 模型，分析 2021 至 2024 年间中国碳交易市场和能源市场间的风险溢出效应及其方向，揭示两个市场之间的风险传递机制。研究发现，全国碳交易市场和能源市场之间存在随时间变化的双向非对称溢出效应，极端风险事件期间市场间的波动传递效应更加显著。从长期角度来看，碳市场通常充当风险的主要接收方，而焦炭市场则成为风险的主要发出者，原油市场则更多地表现为风险的接收端。最后，针对中国碳市场的构建、金融监管、风险防控和投资者策略等方面提出建议。

关键词： TVP-VAR-DY；碳市场；能源市场；风险溢出

Risk transmission dynamics between carbon and energy markets

Han Jingjing, Ji Jiazhe, Li Xinyao, Song Jialing, Zhao Yingxiu*

North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei 063000

Abstract： This study employs the TVP-VAR-DY model to analyze the risk spillover effects and their directions between China's carbon trading market and energy markets from 2021 to 2024, revealing the risk transmission mechanism between the two markets. The research finds a time-varying bidirectional asymmetric spillover effect between the national carbon trading market and energy markets, with more significant volatility transmission effects during extreme risk events. From a long-term perspective, the carbon market typically serves as the primary receiver of risk, while the coke market becomes the main emitter of risk, and the crude oil market often appears as the receiver of risk. Finally, suggestions are provided regarding the construction, financial regulation, risk prevention and control, and investor strategies for China's carbon market.

Keywords： TVP-VAR-DY; carbon market; energy market; risk spillover

引言

当前，全球的气候变化问题严峻，走绿色发展道路日益成为国际社会共识。中国是全球温室气体排放的关键贡献者之一，面对着经济增长与气候应对的双重挑战。为了达到“碳达峰”和实现“碳中和”的环境保护目标，中国政府已经在多个地区启动了碳排放权交易的试点项目，并将在 2017 年构建全国碳市场^[1]。Tan 等人^[2]指出，随着碳市场金融化程度的日益加深，市场间联动效应上升，风险传染性会更强。为此学术界对碳市场机制、效果及其对可持续发展的影响展开一系列相关研究。

随着碳市场的迅速扩张，它与能源市场之间的互动关系变得愈发紧密，使得信息冲击导致的市场波动能够在两个市场间相互传递，从而加剧了市场的复杂性和不确定性。中国碳交易市场不断发展壮大，深入分析碳市场与能源市场之间的风险溢出效应，不仅有助于揭示市场间的动态风险传导机制，而且对制定更为有效的宏观经济政策和提升跨市场风险管理能力具有显著意义^[3]。已有的研究表明，中国碳市场与能源市场并非孤立存在，而是呈现出复杂的相互作用关系。此外，这种交互作用在不同地区的碳市场和能源市场之间表现出独特的模式和特征，揭示了地区间在风险传导方面的多样性。然而，在能源市场波动加剧期间，市场间总溢出水平明显增加，中国碳市场所承受的风险溢出效应相较于其他时间段更为显著。

ZENG 等人^[4]通过运用 VECM 模型进行分析后发现，在短期内，碳市场与传统能源市场的价格变动呈现出一定的正相关特性；然而，当时间跨度拉长时，这种关联性转为负相关，表明两市场间存在复杂的动态交互作用。刘建和^[5]等的研究认为，焦煤市场与碳市场之间维持着一种持久的相关性，并且它们之间的溢出效应强度会依据溢出的方向而变化。Chang & Zhang 等人^[6]探讨了中国地方碳市场与汽油市场间的互动关系，利用 GARCH-copula 模型表明这两个市场之间存在显著的联动性；Chang 等人^[7]采用 DCC-GARCH 模型对中国的五个区域碳市场与常规能源市场之间的波动传递效应进行探究，发现碳市场与传统能源市场之间的风险溢出强度呈现出区域性差异。

通过对国内外文献的分析，我们发现学者们在研究碳市场与能源市场的风险溢出时，多采用 GARCH、VAR 以及 DY 溢出指数模型等方法。传统 DY 溢出指数模型在动态估计过程中依赖于滚动窗口方法，这种方法可能会因为窗口大小的选择而影响估计效率，存在一定的局限性。

因此，本研究采用 TVP-VAR-DY 模型来研究碳市场与能源市场间的风险传递机制。这一模型的优势在于它允许参数随时间变化，能够更精确地捕捉到样本期内重大经济事件对两个市场间动态关系和特征的影响，实现了对风险溢出指数的更加平稳和精确的估算。

基金项目：2024 华北理工大学大学生创新创业训练计划双碳项目“双碳目标下碳-新能源股票-能源市场间风险波动溢出效应研究-基于 TVP-VAR-DY 交叉量化分析”(202410081009)

作者简介：韩晶晶（2002.3-），女，汉族，河北邯郸人，本科在读，国际经济与贸易；

通讯作者：赵颖秀（1990-），女，汉族，河北省张家口市人，讲师，绿色金融。邮箱：zhao_ying_xiu@163.com

一、TVP-VAR-DY 模型的构建 TVP-VAR 模型构建

构建 TVP-VAR 模型，其形式为：

$$\Delta x_t = \Phi_t \Delta x_{t-1} + \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim N(0, \Sigma_t) \quad (1)$$

$$\text{vec}(\Phi_t) = \text{vec}(\Phi_{t-1}) + v_t, v_t \sim N(0, R_t) \quad (2)$$

式中， Δx_t 和 ε_t 为 $N \times 1$ 维向量，分别表示所有序列以及其相应的误差项； Φ_t 和 Σ_t 为 $N \times N$ 维的协方差矩阵； $\text{vec}(\Phi_t)$ 与 v_t 为 $N^2 \times 1$ 维向量； R_t 为 $N^2 \times N^2$ 维向量。

首先将向量自回归 (VAR) 模型转换为矢量移动平均 (VMA) 表示，进行广义预测误差方差分解 (GFEVD) 的计算。具体的分解计算公式如下：

$$\Delta x_t = \sum_{i=1}^N \Phi_{it} \Delta x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3)$$

引入 N 维变量 W_{jt} ，其形式转化为：

$$\Delta x_t = \sum_{j=1}^N W_{jt} \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \quad (4)$$

之后，通过执行 GFEVD 的计算，能够量化变量 j 的波动性中有多少是由变量 i 引起的，其具体的量化公式表述为：

$$\phi_{ijt}^g = \frac{U_{ii,t}^{-1} \sum_{i=1}^{J-1} (v_i' W_{it} U_{it} v_j)^2}{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{J-1} (v_i' W_{it} U_{it} W_{it}' v_j)} \quad (5)$$

$$\widetilde{\phi}_{ijt}^g = \frac{\sum_{j=1}^N (j)}{\sum_{j=1}^N \phi_{ijt}^g(j)} \quad (6)$$

式中， v_j 表示在 1 和 N 上具有单位的零向量， W_{it} 表示第 t 个元素为 1 其他元素为 0 的 N 维向量。

基于 GFEVD，测量 TCI，其形式为：

$$TCI_t^g = \frac{\sum_{i=1, j=1}^N \widetilde{\phi}_{ijt}^g}{\sum_{i=1, j=1}^N \phi_{ijt}^g} \quad (7)$$

为了评估系统内部的整体溢出效应，引入一个综合溢出指数，其计算公式如下：

$$C_t^g = 1 - N^{-1} \sum_{i=1}^N \phi_{ii,t}^g \quad (8)$$

接着，分别确定了变量 i 对变量 j 的特定方向溢出指数以及变量 j 对变量 i 的相反方向溢出指数，各自的计算公式分别表述为：

$$C_{i \rightarrow jt}^g = \sum_{j=1}^N \widetilde{\phi}_{ijt}^g \quad (9)$$

$$C_{i \leftarrow jt}^g = \sum_{j=1}^N \widetilde{\phi}_{jit}^g \quad (10)$$

通过分析变量间溢出效应的不同，可以得出总的方向性溢出指数。随后，使用净溢出效应 (NET) 指标来衡量变量 i 对整个系统影响的净效果。如果变量 i 的净方向性溢出指数为正，这表明该变量在系统内部扮演着风险传递的主要角色；否则反之。该指标的计算公式如下所列：

$$C_{it}^g = C_{i \rightarrow jt}^g - C_{i \leftarrow jt}^g \quad (11)$$

MCMC

通常情况下，目标平稳分布与马尔科夫链的状态转移矩阵不一定符合细致平稳性要求，因此，必须引入一个调整因子 $\alpha(i, j)$ 来保证这一条件的满足，以确保马尔科夫链能够收敛至目标分布。

$$\pi(i) Q(i, j) \alpha(i, j) = \pi(j) Q(j, i) \alpha(j, i) \quad (12)$$

$$\alpha(i, j) = \pi(j) Q(j, i) \alpha(j, i) = \pi(i) Q(i, j) \quad (13)$$

$$P(i, j) = Q(i, j) \alpha(i, j) \quad (14)$$

二、实证分析

(一) 数据的选取与预处理

本文选取了全国碳排放权交易市场 (CEA) 指数作为反映中国碳市场的指标，同时，选取了中国原油期货价格 (SCO)、焦炭价格指数和液化天然气价格作为能源市场的指标。研究的样本期间定于 2021 年 7 月 16 日至 2024 年 6 月 31 日，所使用的数据来源源于 CSMRA 和 WIND 数据库。考虑到碳市场和能源市场价格指数可能存在日期不匹配的问题，本研究对样本数据进行了仔细筛选，确保时间序列数据的连续性和匹配性。

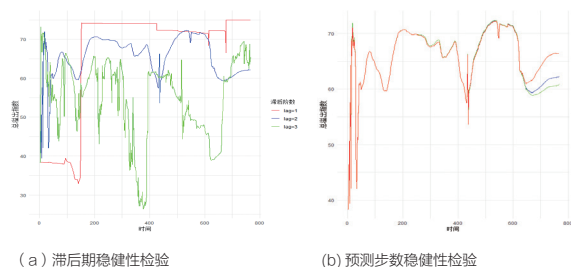
通过对碳市场、能源市场 (焦炭、原油、液化天然气) 数据进行初步分析，结果如表 1 所示。如表 1 可知， t^* 、OIL、LNG 和 COAL 的峰值值远大于 3，表明这些数据分布具有尖峰厚尾特征，这表明重大经济事件会对市场价格造成冲击。

表格 1 变量描述性统计

	mean	sd	median	min	max	range	skew	kurtosis
Carbon	65.09	15.11	58.50	38.50	103.00	64.50	0.75	-0.42
OIL	589.92	77.59	583.95	401.00	805.00	404.00	-0.03	-0.56
LNG	5650.70	1280.67	5338.00	3783.00	8568.00	4785.00	0.39	-1.07
Coal	2581.18	612.26	2580.00	1544.50	4090.50	2546.00	0.71	-0.09

(二) 稳健性检验

在建立时变溢出指数模型时，首先根据赤池信息准则 (AIC) 选定最佳滞后阶数为 2 阶，同时将模型的预测期限设定为 10 个交易日的长度。之后分别采用不同的滞后阶数 (1、2、3) 以及不同的预测步长 (5 天、10 天、15 天) 来重新拟合模型，并对分析这些情况下得到的溢出指数变化情况。如图 1，尽管动态溢出指数的数值在调整滞后阶数后经历了一些波动，但其整体走势依旧保持一致。类似地，当改变预测期长度时，并未观察到显著不同的动态溢出表现，这表明增加或减少预测天数对于最终估计结果的影响是有限的。基于上述稳

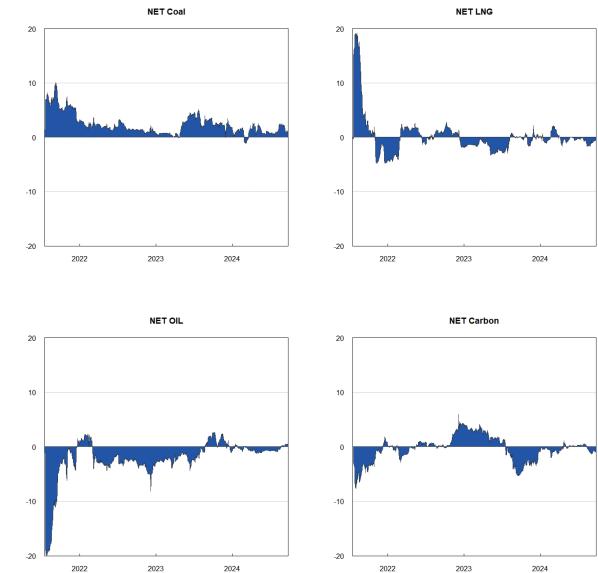


> 图表 1 稳健性检验

健性检验的结果，可以得出结论：所选参数设置下得到的研究结论是可靠的，因此可继续深入探讨该领域的动态溢出效应。

碳市场与能源市场风险溢出

为了分析碳市场与能源市场之间风险溢出效应的时间变化特征，本研究运用了 TVP-VAR-DY 模型，对两个市场之间的总体溢出和净溢出进行了动态评估。具体结果如下所示。



> 图表 2 净溢出指数

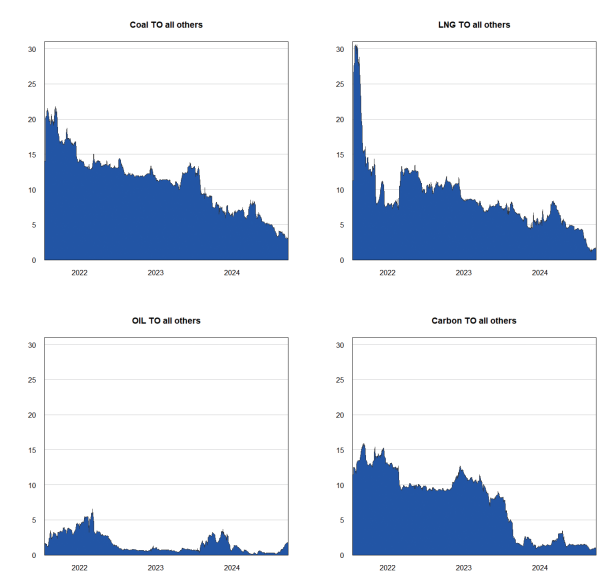
根据图2的分析结果，可以观察到碳市场与天然气市场之间的时变风险溢出效应颇为显著，在大部分观测期内，碳市场表现为风险溢出的净接收方。然而，至2022年末，碳市场转而成为净溢出方，这可能是由新冠疫情相关政策的放松所诱发。其次焦炭市场除在2024年巴以冲突期间一直为净溢出者，但在此期间曾短暂变为净接收者，这可能是巴以冲突引起的地缘政治紧张，影响金融市场的稳定性，进而影响焦炭价格的波动；之后原油在样本期内多为净接收者，但在2022年初和2023年末表现为净溢出，可能原因为俄乌冲突和巴以冲突导致的；最后焦炭和原油溢出与接收的身份可能短哲会发生改变，而天然气和碳市场则是时变效应显著。

由图3得，首先碳市场和能源市场溢出效应具有明显的时变性，且均呈现在2022年溢出效应变大，之后2024年之后风险溢出程度降低的特征，可见新冠疫情给碳市场以及能源市场带来较大的风险损失；其次，天然气的总溢出指数在2022年之前与碳市场、原油以及焦炭的总溢出指数差距巨大，因此，天然气可以被视为风险波动的传递媒介，对碳市场以及能源市场内部带来较大的净风险溢出效应。

三、结论与建议

（一）结论

首先，中国的碳交易市场和能源市场之间存在着相互且不对等的风险传递联系。具体来看，碳市场主要是风险的净接收者，焦炭主要是风险的净溢者，原油多数时间为净接收方，然而，面对新冠疫情和俄乌冲突等极端风险事件，其作用可能会经历某种变化。同时，在2022年之前，天然气的总溢出指数与碳市场、原



> 图表 3 总溢出指数

油及焦炭市场相比存在显著差异，反映出天然气市场在风险波动传递中扮演了一个相对独立的角色。天然气市场对其他市场产生了较强的净风险溢出影响，进一步证实了中国碳市场与能源市场之间存在着多维且复杂的风险传染机制。

（二）政策建议

首先，对于投资者来说，密切监测碳市场与能源市场的动态变化至关重要，尤其是发生重大经济事件，因跨市场风险的内部传染以及外部传染带来的价值损失，投资者应积极运用碳金融工具，如碳期货、碳期权等，以有效管理风险。

其次，对金融监管部门而言，由于碳市场与能源市场之间的风险溢出效应在极端市场条件下显著增强，监管部门应加强对金融市场监管和监管力度，建立并优化风险预警机制，以便及时监测并抵御可能的系统性风险。

最后，对于全国碳市场而言，应鼓励金融机构和市场参与者开发与碳市场相关的风险管理工具和金融产品。利用碳市场机制激励企业节能减排，同时为碳市场提供更多的交易需求和市场活力，提高市场流动性。

参考文献

[1] 陈亚琼. 基于溢出指数方法与 DCC-GARCH 模型的中国碳市场与能源市场间风险溢出效应研究 [J]. 电子商务评论, 2024, 13(4): 5562-5574.
[2] Tan, X., Sirichand, K., Vivian, A., & Wang, X. (2020). How connected is the carbon market to energy and financial markets? A systematic analysis of spillovers and dynamics. *Energy Economics*, 90, 104870.
[3] 赵领娣, 范超 & 王海霞. (2021). 中国碳市场与能源市场的时变溢出效应——基于溢出指数模型的实证研究. *北京理工大学学报 (社会科学版)* (01), 28-40
[4] 曾清. (2018). 我国碳排放权价格对两类能源公司股价的影响——基于 VECM 模型的分析. *金融发展研究* (10), 63-71.
[5] 刘建和, 梁佳丽 & 陈霞. (2020). 我国碳市场与国内焦煤市场、欧盟碳市场的溢出效应研究. *工业技术经济* (09), 88-95.
[6] Chang, K., & Zhang, C. (2018). Asymmetric dependence structure between emissions allowances and wholesale diesel/gasoline prices in emerging China's emissions trading scheme pilots. *Energy*, 164, 124-136.
[7] Chang, K., Ye, Z., & Wang, W. (2019). Volatility spillover effect and dynamic correlation between regional emissions allowances and fossil energy markets: New evidence from China's emissions trading scheme pilots. *Energy*, 185, 1314-1324.