

我国碳排放与期货市场间的风险溢出效应研究

张 彤^{1,2}, 汤晓杰¹, 吴 昱^{1,3*}

¹广州商学院经济学院, 广东 广州

²广州商学院区域经济发展研究中心, 广东 广州

³广州商学院数字经济研究中心, 广东 广州

收稿日期: 2025年4月1日; 录用日期: 2025年4月22日; 发布日期: 2025年4月30日

摘 要

本论文利用Diebold-Yilmaz指数溢出模型, 构建我国各区域碳市场与能源类期货、金融类期货的溢出效应模型, 由此探索其跨市场关联机制及其影响的风险传导路径。结果表明, 溢出效应在碳市场与能源市场之间具有时效性, 受到环境政策、经济形势和技术进步等因素的影响。不同地区的溢出效应体系具有异质性, 存在跨区域市场碳价风险对冲或套利可能。管理者和政策制定者应根据地区特点灵活调整管理政策, 保留地方市场并加强地区间合作与协调, 以实现全局碳减排目标, 促进碳市场的健康发展。

关键词

碳排放权价格, 能源期货市场, 电力市场, 金融市场, 风险溢出指数

Research on Risk Spillover Effect between Carbon Emission and Futures Markets in China

Tong Zhang^{1,2}, Xiaojie Tang¹, Yu Wu^{1,3*}

¹School of Economics, Guangzhou College of Commerce, Guangzhou Guangdong

²Regional Economic Development Research Center, Guangzhou College of Commerce, Guangzhou Guangdong

³Digital Economy Research Center, Guangzhou College of Commerce, Guangzhou Guangdong

Received: Apr. 1st, 2025; accepted: Apr. 22nd, 2025; published: Apr. 30th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 张彤, 汤晓杰, 吴昱. 我国碳排放与期货市场间的风险溢出效应研究[J]. 可持续发展, 2025, 15(5): 1-12.
DOI: 10.12677/sd.2025.155117

Abstract

This paper adopts the Diebold-Yilmaz spillover index model to construct a spillover effect model between China's regional carbon markets and energy-related futures, as well as financial futures, aiming to explore their cross-market linkage mechanisms and the risk transmission pathways. The results indicate that the spillover effects between carbon markets and energy markets are time-sensitive and influenced by factors such as environmental policies, economic conditions, and technological advancements. The spillover effect systems in different regions exhibit heterogeneity, presenting possibilities for cross-regional carbon price risk hedging or arbitrage. Managers and policymakers should flexibly adjust management policies based on regional characteristics, preserve local markets, and enhance inter-regional cooperation and coordination to achieve global carbon reduction goals and promote the healthy development of carbon markets.

Keywords

Carbon Emission Rights Price, Energy Futures Market, Electricity Market, Financial Markets, Risk Spillover Index

Copyright © 2025 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

为实现碳达峰和碳中和目标,推动经济发展低碳、绿色、可持续发展的方向,我国于2011年在上海、重庆、广东、北京、天津、湖北和深圳启动了地方碳排放权交易的试点工作,并逐步开展交易。2016年12月,福建省也加入碳交易市场的行列。2021年7月16日,全国碳排放权交易市场开市。

研究碳市场与金融市场、能源市场以及能源期货市场之间的关联性和风险溢出效应的背景是全球范围内对气候变化和环境问题的日益关注,以及各国政府和企业加大减排力度、推动低碳转型的趋势。随着碳市场的不断完善和推广,其在全球范围内的重要性日益凸显。然而,碳市场作为新兴市场与传统金融市场和能源市场之间的关系复杂多样,深入研究这些市场之间关联以及相互影响,使投资者能够有效规避碳排放权交易市场因能源价格波动产生的风险,使能源企业有效控制企业生产成本、优化能源消费结构、促进企业的绿色转型。此外,研究碳市场和能源、金融市场之间的关系使政府能够提高各个碳排放权市场定价效率,完善碳排放权市场体系。

2. 文献回顾

过往研究探讨了碳排放权现货与期货价格之间的关系,以及不同碳排放权市场之间的关联性[1]-[4]。如欧盟碳期货对现货具备价格发现的功能[5],国际欧盟碳排放配额期货产品(European Union Allowance, 简称EUA)与中国碳排放配额(China Emission Allowance, 简称CER)中期货产品与现货市场价格之间各自存在协整关系,EUA期货具有价格发现功能,且EUA价格引导CER价格变化,二者长期具有趋同趋势[6]。EUA市场中期货市场处于波动信息中心,而CER市场中现货市场处于波动信息中心;EUA的期货市场与CER的期货市场之间存在相互的价格溢出效应与波动溢出效应,但EUA市场的期货价格对CER市场具有更大的波动溢出效应[7]。其他研究也证实国际碳期货市场与国内碳市场之间存在长期的稳定关系,国内碳市场跟随国际碳期货市场的价格变化[8]。

另外,宏观经济和以能源市场为主的其他市场对碳排放权价格也具有影响。宏观上经济扩张或衰退过程中,工业生产促进或拉低了碳市场价格。能源期货市场、能源股票和碳市场之间存在结构变化和非线性特征,碳市场价格变化对自身的冲击显著强于对其他市场的冲击[9] [10],能源期货、能源股票与碳市场存在负相关关系[11] [12]。

能源市场为主的其他市场与碳排放权市场之间的溢出效应可展现碳市场与能源市场之间的风险传染路径[13] [14]。将碳配额作为新的金融工具进行研究,在“碳-能源-金融”系统中加入了股权债券和非能源商品资产,结果展现信息连通性动态的复杂反馈机制,信息溢出的性质随时间而变化,石油、碳市场都与股票及非能源商品市场紧密相连,金融风险型宏观经济因素对全系统连通性的贡献大于商品因素[15]。有学者利用2020年4月WTI负定价冲击事件,研究前后WTI原油期货市场价格震荡对碳排放配额期货的溢出效应,发现在WTI价格变负前WTI原油期货市场对碳排放配额期货的定向溢出效应增加了一倍,在WTI价格为负的特定时期WTI原油期货市场对碳排放配额的定向溢出效应急剧上升[16]。国内市场的相关文献也发现了类似结果,如天然气、煤炭、石油等化石能源市场都和碳排放权交易市场存在价格溢出效应[17],“碳-能源”系统中短期风险溢出大于长期风险溢出,电力市场与新能源市场处于溢出网络的信息和风险中心位置[18],全国碳市场与能源市场、电力市场和金融市场三个市场间收益率溢出指数具备双向溢出震荡效应,并且溢出震荡的时变效应显著[19]。

上述研究发现碳市场与能源市场之间存在错综复杂的相互影响。其中,虽然过往文献分析了碳市场与能源市场之间溢出效应,然而,苏蕾等选取全国碳排放权交易市场作为我国碳市场的代表[19],王喜平等选取广东碳排放交易所作为碳市场的代表[18],分析这两个碳排放权市场与能源市场之间溢出效应无法准确得出我国碳市场与能源市场之间的整体关系。因为全国碳排放权交易市场只覆盖了我国一定规模以上的发电企业,而广东碳排放权市场涉及了广东省境内的电力、水泥、钢铁等行业,这两者都无法真正代替我国碳排放权市场的整体。

因此,为了全面研究我国碳排放权市场与能源期货市场及金融市场之间的溢出效应,本论文将通过采用Diebold-Yilmaz指数溢出模型,分析全国碳市场以及各个地方碳市场之间的静态溢出效应以及动态溢出效应;分析国内全国碳市场以及各个碳市场与能源类期货以及金融类期货的溢出效应;并在此模型结果上分析全国碳市场,以及各个地方碳市场的跨市场关联机制分析碳市场的影响力和风险传导路径。为深入挖掘能源市场和碳市场之间的关系,应对气候变化、推动绿色发展提供数据理论支持和政策建议。

3. 模型与数据

Diebold-Yilmaz指数溢出模型(Spillover Index Model)是一种用于量化和分析不同市场或变量之间风险溢出效应的统计方法[20]。Diebold-Yilmaz指数溢出模型的核心是通过向量自回归模型(VAR)和方差分解量化不同市场或资产间的风险传导强度与方向,旨在捕捉和度量金融、经济或其他类型数据系列之间的动态相互作用。Diebold-Yilmaz指数溢出模型相比较传统格兰杰因果检验和Copula模型的一个主要优势是可双向量化溢出方向与强度、可进行动态滚动窗口时变分析、可进行多变量处理以及结果直观等优点。此外,其灵活性和适用性广泛,不仅限于金融市场,还可以扩展到宏观经济变量、能源市场、碳排放权交易等领域。然而,该模型也有其局限性,包括对模型设定的敏感性、对数据频率和样本大小的要求较高,以及在处理结构性变化时可能需要额外的方法来调整模型。

本文选取的数据以2021年1月4日为研究起点,至2023年12月29日。其中由于深圳SZA于2022年4月11日合并SZA 2013~2020碳排放权配额产品,而本文选取SZA进行研究故选取以2022年3月20日为研究起点,至2023年12月29日。2021年7月16日,全国碳排放权交易市场开市。具体碳排放权、能源及金融市场交易品种的说明如表1所示。

碳排放权交易价格数据下载自各个地方碳排放权交易中心。期货价格数据来自同花顺期货板块的每日交易数据下载。由于期货合约的周期性，本文采用各期货主连合约数据。

Table 1. Description of carbon emission permits and instruments traded in energy and financial markets
表 1. 碳排放权、能源及金融市场交易品种说明

品种	名称	数据来源	市场
CEA	全国碳排放权	上海能源交易所	碳现货市场
BEA	北京碳排放权	北京绿色交易所	碳现货市场
TJEA	天津碳排放权	天津碳排放权交易所	碳现货市场
SHEA	上海碳排放权	上海能源环境交易所	碳现货市场
CQEA	重庆碳排放权	重庆碳排放权交易中心	碳现货市场
GDEA	广东碳排放权	广州碳排放权交易所	碳现货市场
HBEA	湖北碳排放权	湖北碳排放权交易中心	碳现货市场
SZEA	深圳碳排放权	深圳碳排放权交易所	碳现货市场
COAL	煤炭	郑州商品期货交易所	能源期货市场
CSI300	沪深 300 指数	同花顺交易软件	金融期货市场
OIL	原油期货市场	上海商品期货交易所	能源期货市场
LPG	液化石油气	上海能源交易所	能源期货市场
FU	燃料油期货市场	上海商品期货交易所	能源期货市场
LU	低硫燃油	上海商品期货交易所	能源期货市场

4. 实证分析

4.1. 模型构建

本文采用 Diebold-Yilmaz 指数溢出模型分析全国碳市场以及各个地方碳市场之间的静态溢出效应以及动态溢出效应。首先搭建 p 为滞后阶数，变量数为 N 的 VAR 模型：

$$x_t = \sum_{i=1}^p \Phi_i x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

其中， Σ 是 x_t 滞后期的协方差矩阵。残差项是 ε ，系数矩阵是 Φ 。矩阵若平稳，则 VAR(p) 可以转换为：

$$x_t = \sum_{i=0}^p A_i \varepsilon_{t-i} \quad (2)$$

上述等式中，单位矩阵是系数矩阵 A_i ，当 $i < 0$ 时， $A_i = 0$ ， $i > 0$ 时， $A_i = \Phi_1 A_{i-1} + \dots + \Phi_p A_{i-p}$ 。方差分解矩阵进行，将变量的误差方差进行分解，做为自身或其他变量的冲击部分。定义 x_j 对 x_i 的 H 期的预测误差的方差贡献为变量 j 对 i 的定向溢出指数，表示为：

$$\theta_{ij}^s(H) = \sigma_{jj}^{-1} \sum_{h=0}^{H-1} (e_i A_h \Sigma e_j)^2 / \sum_{h=0}^{H-1} (e_i A_h \Sigma e_j)^2 \quad (3)$$

其中， σ_{jj} 代表第 j 个变量预测误差的标准差， e_i 代表选择向量， Σ 代表误差向量 ε 的协方差矩阵。为了将其用于溢出指数计算使得不同的 $\theta_{ij}^s(H)$ 具有可比性，对其进行标准化可以得到 $\tilde{\theta}_{ij}^s(H)$ ：

$$\tilde{\theta}_{ij}^s(H) = \theta_{ij}^s(H) / \sum_{j=1}^N \theta_{ij}^s(H) \quad (4)$$

其中, $\sum_{j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H) = 1$, $\sum_{i,j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H) = N$ 。由此得出三个溢出指数如下所示:

(1) 总溢出指数: 衡量 N 个市场间相互溢出对总体的贡献程度:

$$S^g(H) = \sum_{i,j=1,i \neq j}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H) / \sum_{i,j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H) \times 100 = \sum_{i,j=1,i \neq j}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H) / N \times 100 \quad (5)$$

(2) 方向性溢出指数: 衡量其他所有市场对某个市场的溢出和某个市场对其他所有市场的溢出, 分别记为 $S_{i \leftarrow j}^g(H)$ 和 $S_{i \rightarrow j}^g(H)$

$$S_{i \leftarrow j}^g(H) = \sum_{j=1,i \neq j}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H) / \sum_{j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H) \times 100 \quad (6)$$

$$S_{i \rightarrow j}^g(H) = \sum_{j=1,i \neq j}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H) / \sum_{j=1}^N \tilde{\theta}_{ij}^g(H) \times 100 \quad (7)$$

(3) 净溢出指数: 表示某个市场对其他所有市场的净溢出

$$S_i^g(H) = S_{i \rightarrow j}^g(H) - S_{i \leftarrow j}^g(H) \quad (8)$$

4.2. 不同地区碳排放市场的静态风险溢出指数分析

首先, 本文分析不同地区碳排放市场的静态风险溢出效应。设定预测周期为 10 天, 滞后期为 1 天, 搭建全国以及各地方碳交易市场的静态风险溢出指数矩阵, 如表 2 所示。横向的七个市场用 i 表示, 竖向的七个市场用 j 表示。“To Others”行数据代表 i 市场对其他市场的风险溢出效应, “From Others”列数据代表其他市场对 j 市场的风险溢出效应。NET 为 “To” 和 “From” 的差值。

Table 2. Static spillover index of carbon emission markets of different regions

表 2. 不同地区碳排放市场的静态溢出指数分析

	BEA	CQEA	GDEA	HBEA	SHEA	TJEA	SZEA	From others
BEA	95.4	0.2	3.1	0.8	0	0.4	0.2	4.6
CQEA	1.1	98.7	0	0	0	0	0.1	1.3
GDEA	0.7	0.3	97.6	0.2	0.2	0	1.1	2.4
HBEA	0.1	1.2	0.3	98.1	0.1	0.3	0	1.9
SHEA	1	1.1	0.3	0.1	96.3	0.3	0.9	3.7
TJEA	0.6	4.3	0.3	0.2	2.3	92.2	0.1	7.8
SZEA	0.1	0.1	11.2	0.1	0.6	1.2	86.6	13.4
To others	3.6	7.2	15	1.5	3.2	2.2	2.3	
NET	-1	5.9	12.6	-0.4	-0.5	-5.6	-11.1	5%

4.3. 不同地区碳排放市场的动态风险溢出指数分析

设定 200 个交易日为移动窗口, 算出不同地区动态收益率溢出指数的趋势。如图 1 所示。横坐标涵盖 2022 年 10 月到 2023 年 5 月, 纵坐标为变化的百分比。不同地区碳排放市场的收益率总溢出指数, 碳市场与能源期货市场、金融市场的收益溢出在 6%~23% 内震荡, 震荡较为剧烈。不同地区的碳市场会因为政策的出现而出现较大的动态溢出震荡, 2023 年 3 月, 十四届全国人大一次会议通过了关于政府工作报告的决议。决议的通过确定了政府的工作重点, 让动态溢出指数发生了较大的震荡。由此可以确定碳市场可能存在跨地区交易, 通过不同地方市场的碳排放配额价格不一进行跨市交易, 或对冲交易的状况, 这种行为会使碳排放价格失真, 并且会对地方的碳排放管理失效政策, 因此对这种情况应当制定相应的政策限制。

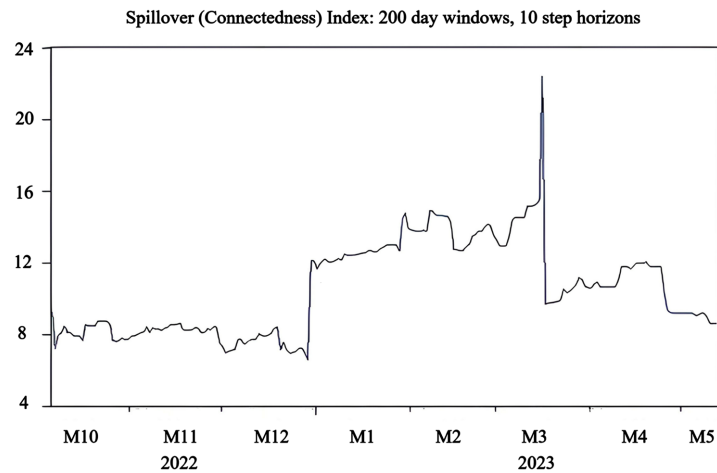


Figure 1. Dynamic total yield spillover index of different regions
图 1. 不同地区碳排放市场动态收益率总溢出指数

4.4. 全国及地方碳市场、能源、期货市场静态溢出分析

全国以及各地方碳交易市场的静态风险溢出指数矩阵如表 3~9 所示，其中横纵坐标说明如 4.2 小节所示，“Contribution to others”行数据表示各个资产对于其他资产的整体溢出效应的贡献，“From others”行数据表示其他资产的对各个资产的整体溢出效应的贡献。从结果可见，全国碳市场收益率对除了液化石油气以外的市场收益率的溢出指数大于零，而除了原油的其他市场对全国碳市场收益率溢出指数约为零，说明全国碳市场对沪深 300 指数、燃料油期货市场、低硫燃油、液化石油气的收益率溢出为单向溢出，而全国碳市场和煤、原油期货市场则为双向溢出。其中，原油期货价格对全国碳市场收益率的溢出指数最大，说明我国发电行业的碳排放受原油价格的影响较大。

北京碳市场对燃料油期货市场、液化石油气、原油期货市场的收益率溢出为单向溢出，而北京碳市场和煤、沪深 300 指数则为双向溢出。其中，煤炭期货价格对北京碳市场收益率的溢出指数最大，说明北京地区的碳排放受煤炭价格的影响较大。尽管北京地区逐渐使用清洁能源替代煤炭，但是煤炭仍然在郊区使用，另外发电企业的碳排放归属于全国碳市场，所以北京地区煤炭价格对其碳排放的影响依然较大。

Table 3. Static risk spillover index of national carbon market, energy and financial futures market
表 3. 全国碳市场、能源、金融期货市场静态风险溢出指数

	CEA	COAL	CSI300	FU	LPG	LU	OIL	From others
CEA	99.858	0.011	0.016	0.017	0.025	0.001	0.072	0.142
COAL	0.206	99.543	0.049	0.031	0.132	0.039	0.001	0.457
CSI300	0.137	1.599	94.973	2.176	1.025	0.031	0.059	5.027
FU	0.250	5.743	1.101	92.358	0.337	0.112	0.099	7.642
LPG	0.050	4.461	0.173	21.915	73.280	0.109	0.011	26.720
LU	0.243	3.834	1.711	55.942	0.669	37.600	0.001	62.400
OIL	0.109	3.973	0.767	62.085	1.696	9.313	22.057	77.943
To others	0.994	19.622	3.817	142.167	3.882	9.605	0.243	180.330
Contribution including own	100.852	119.164	98.790	234.525	77.163	47.206	22.300	25.800

Table 4. Static risk spillover index of Beijing carbon market, energy and financial futures market**表 4.** 北京碳市场、能源、金融期货市场静态风险溢出指数

	BEA	OIL	CSI300	COAL	LPG	LU9999	FU9999	From others
BEA	99.261	0.069	0.126	0.417	0.008	0.079	0.039	0.739
OIL	0.293	99.508	0.104	0.004	0.063	0.020	0.008	0.492
CSI300	0.113	2.294	96.681	0.066	0.258	0.062	0.525	3.319
COAL	0.237	3.722	1.009	94.906	0.086	0.002	0.038	5.094
LPG	0.597	21.946	0.118	1.166	76.136	0.000	0.037	23.864
LU	0.037	70.974	0.263	0.023	0.057	28.533	0.113	71.467
FU	0.428	66.861	0.193	0.417	0.791	2.540	28.769	71.231
To others	1.706	165.867	1.812	2.094	1.263	2.702	0.760	176.205
Contribution including own	100.967	265.376	98.493	97.000	77.399	31.236	29.529	25.172

Table 5. Static risk spillover index of Tianjin carbon market, energy and financial futures market**表 5.** 天津碳市场、能源、金融期货市场静态风险溢出指数

	TJEA	CSI300	FU9999	LPG	OIL	LU9999	COAL	From others
TJEA	99.357	0.421	0.062	0.048	0.070	0.025	0.017	0.643
CSI300	0.122	97.875	1.492	0.405	0.038	0.002	0.068	2.125
FU	0.120	1.172	98.321	0.039	0.313	0.004	0.031	1.679
LPG	0.060	0.305	21.923	77.680	0.001	0.008	0.023	22.320
OIL	0.054	1.353	65.607	0.988	31.981	0.017	0.001	68.019
LU	0.074	1.841	58.939	0.254	12.444	26.447	0.001	73.553
COAL	0.271	1.456	4.529	1.164	0.068	0.001	92.511	7.489
Contribution to others	0.701	6.548	152.552	2.897	12.935	0.056	0.140	175.829
Contribution including own	100.058	104.423	250.873	80.577	44.915	26.503	92.651	25.118

Table 6. Static risk spillover index of Shanghai carbon market, energy and financial futures market**表 6.** 上海碳市场、能源、金融期货市场静态风险溢出指数

	SHEA	OIL	CSI300	COAL	LPG	LU9999	FU9999	From others
SHEA	99.357	0.023	0.406	0.004	0.103	0.005	0.102	0.643
OIL	0.054	99.723	0.109	0.006	0.063	0.029	0.016	0.277
CSI300	0.122	2.258	96.682	0.064	0.259	0.069	0.546	3.318
COAL	0.271	3.745	1.005	94.848	0.090	0.002	0.039	5.152
LPG	0.060	22.235	0.126	1.251	76.313	0.003	0.012	23.687
LU	0.074	70.731	0.263	0.025	0.051	28.747	0.110	71.253
FU	0.120	66.799	0.192	0.474	0.775	2.656	28.985	71.015
Contribution to others	0.701	165.79	2.101	1.824	1.341	2.763	0.825	175.346
Contribution including own	100.05	265.51	98.783	96.672	77.653	31.510	29.810	25.049%

Table 7. Static risk spillover index of Chongqing carbon market, energy and financial futures market**表 7.** 重庆碳市场、能源、金融期货市场静态风险溢出指数

	CQEA	OIL	CSI300	COAL	LPG	LU9999	FU9999	From others
CQEA	97.779	0.062	0.177	0.241	1.202	0.015	0.524	2.221
OIL	0.039	99.733	0.109	0.004	0.065	0.031	0.018	0.267
CSI300	0.001	2.272	96.790	0.065	0.258	0.069	0.545	3.210
COAL	0.008	3.770	0.978	95.134	0.085	0.000	0.026	4.866
LPG	0.002	22.227	0.126	1.204	76.423	0.003	0.014	23.577
LU	0.035	70.764	0.264	0.023	0.052	28.747	0.114	71.253
FU	0.015	66.880	0.193	0.444	0.797	2.673	28.997	71.003
Contribution to others	0.100	165.976	1.846	1.982	2.459	2.792	1.242	176.397
Contribution including own	97.880	265.709	98.636	97.115	78.882	31.539	30.239	25.200%

Table 8. Static risk spillover index of Guangdong carbon market, energy and financial futures market**表 8.** 广东碳市场、能源、金融期货市场静态风险溢出指数

	GDEA	OIL	CSI300	COAL	LPG	LU9999	FU9999	From others
GDEA	99.220	0.032	0.036	0.532	0.060	0.047	0.074	0.780
OIL	0.032	99.744	0.107	0.005	0.065	0.030	0.018	0.256
CSI300	0.124	2.256	96.679	0.066	0.254	0.074	0.546	3.321
COAL	0.187	3.737	0.951	95.010	0.087	0.001	0.027	4.990
LPG	0.002	22.229	0.125	1.211	76.417	0.003	0.014	23.583
LU	0.104	70.907	0.277	0.029	0.053	28.514	0.116	71.486
FU	0.020	66.883	0.195	0.463	0.792	2.606	29.042	70.958
Contribution to others	0.469	166.044	1.692	2.305	1.311	2.760	0.795	175.375
Contribution including own	99.688	265.788	98.371	97.314	77.728	31.274	29.837	25.054

Table 9. Static risk spillover index of Hubei carbon market, energy and financial futures market**表 9.** 湖北碳市场、能源、金融期货市场静态风险溢出指数

	HBEA	OIL	CSI300	COAL	LPG	LU	FU	From others
HBEA	97.683	0.229	0.877	0.024	0.687	0.186	0.314	2.317
OIL	0.260	99.500	0.109	0.004	0.069	0.034	0.023	0.500
CSI300	0.189	2.185	96.707	0.064	0.260	0.068	0.527	3.293
COAL	0.001	3.778	0.989	95.121	0.085	0.000	0.027	4.879
LPG	0.025	22.369	0.123	1.191	76.274	0.003	0.016	23.726
LU	0.279	70.506	0.263	0.024	0.057	28.741	0.131	71.259
FU	0.503	66.381	0.195	0.456	0.822	2.654	28.988	71.012
Contribution to others	1.257	165.448	2.555	1.763	1.980	2.945	1.038	176.986
Contribution including own	98.940	264.948	99.262	96.884	78.254	31.686	30.026	25.284

天津碳市场收益率对煤、燃料油期货市场单向溢出，天津碳市场和金融市场为双向溢出。其中，沪深 300 指数期货价格对天津碳市场收益率的溢出指数最大，说明天津地区的碳排放受股市价格的影响较大。

上海碳市场对煤炭、低硫燃油、原油期货市场的收益率溢出为单向溢出，液化石油气对上海碳市场单向溢出，而上海碳市场和沪深 300、燃料油期货市场市场则为双向溢出。其中，沪深 300 指数期货价格对上海碳市场收益率的溢出指数最大，说明上海地区的碳排放受股市价格的影响较大，这可能与上海地区金融行业较发达有关。

LPG、FU、煤炭、沪深 300 对重庆碳市场单向溢出。其中，LPG 期货价格对重庆碳市场收益率的溢出指数最大，说明重庆地区的碳排放受液化石油气价格的影响较大，这可能与西南地区作为我国天然气的主产区，天然气作为主要能源被该地区使用，而天然气与液化石油气的价格具有高度相关性。

广东碳市场对沪深 300、低硫燃油市场单向溢出，广东碳市场与煤炭市场双向溢出。其中，煤炭期货价格对广东碳市场收益率的溢出指数最大，说明广东地区的碳排放受煤炭价格的影响较大，这可能与煤炭作为广东省能源的最主要来源有关。

液化石油气对湖北碳市场单向溢出，湖北碳市场与原油市场、沪深 300 市场低硫燃油、燃料油为双向溢出。其中，沪深 300 指数期货价格和液化石油气期货价格对湖北碳市场收益率的溢出指数最大，说明湖北地区的碳排放受沪深 300 指数期货价格的影响最大，其次受液化石油气价格影响最大。

4.5. 全国市场及各地碳排放市场的动态溢出指数分析

静态收益率溢出指数只能体现一段时间内对数收益率的溢出效应，而无法展示收益率溢出效应的变化趋势，因此通过动态收益率溢出指数来体现溢出指数的变化趋势。本文设定滚动窗口为 50 个交易日，进而绘制出全国碳市场与能源期货市场和金融期货市场的 Diebold-Yilmaz 动态收益率溢出指数，如图 2 所示。碳市场与其他市场的对数收益率溢出在 28%~48% 范围内震荡，且震荡趋势具有不确定性。该结果说明“随着清洁能源的发展与使用，化石能源市场对碳市场溢出效应开始减弱”的假设不成立。主要原因是，我国对清洁能源使用体系的搭建尚不完整，传统化石能源依旧占据了较大比重的能源消耗，这些都是可以从之前的静态溢出效应中发现。原油期货市场或者煤炭市场在体系中是主要的溢出市场，而碳市场的溢出效应在整个往往不明显，甚至在一些地方市场中为溢入市场。除此之外，全国市场的建立时间过短，缺乏相应的监管体系，而法律法规也不够完善。

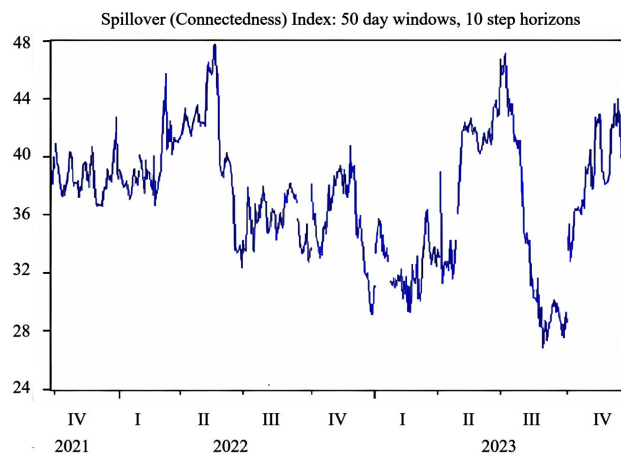


Figure 2. Dynamic spillover index of national carbon emission markets and futures market

图 2. 全国碳排放市场与相关期货市场的动态溢出指数

4.6. 全国市场的动态溢出分析

本文进一步设定滚动窗口为 200 个交易日，绘制出各个地方碳市场与能源期货市场和金融期货市场的动态收益率溢出指数，如图 3(a)~(f)所示。各地碳排放权交易市场的动态收益率总溢出指数呈现出相似的震荡特征，并受到清洁能源推广与使用程度的影响。其关联性的变化也表明了碳市场与其他市场之间的复杂关系，以及需要更加完善的清洁能源使用体系才能实现碳排放交易市场与其他市场之间的有效关联。

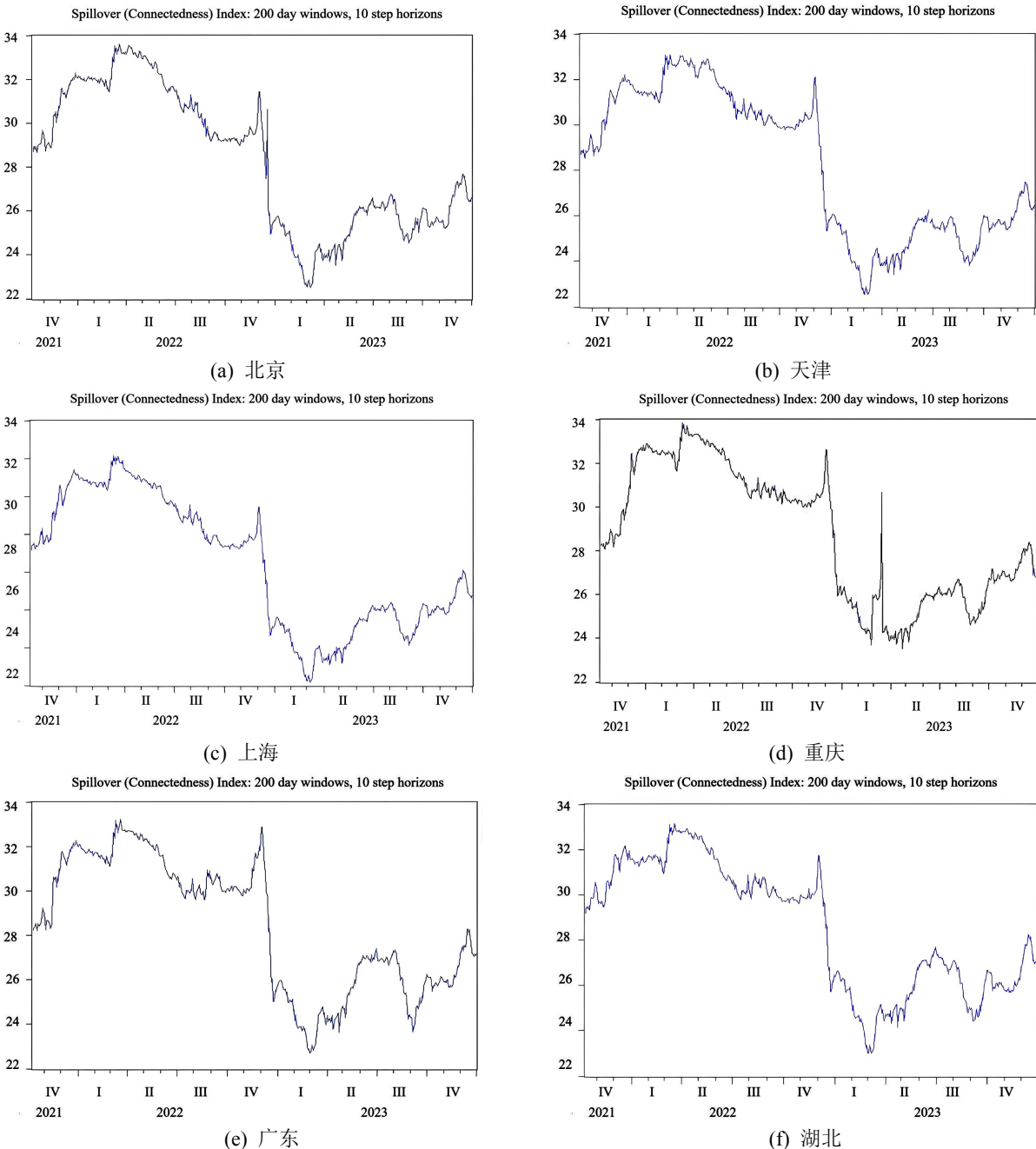


Figure 3. Dynamic spillover index of local carbon emission markets and futures markets
图 3. 各地碳排放市场与相关期货市场的动态溢出指数分析

5. 总结

本文从时域和频域视角研究了我国碳市场与能源市场之间的静态和时变溢出,通过搭建 Diebold-Yilmaz 溢出指数模型,研究了碳市场与外部市场的交互关联,发现不同地区的碳市场与能源市场之间的存在溢出效应,且溢出效应存在差异性。不同地区的碳排放交易市场受到地区主要能源来源、经济结构、产业布局、政策环境等因素的影响,其溢出效应体系也会有所差异。一些地区可能由于特定的经济结构或政策导向,其溢出效应可能更加显著;而在另一些地区,溢出效应可能相对较小。

这种差异性需要在管理碳排放交易市场时予以考虑。政策制定者应该根据当地的实际情况,量身定制管理政策,以充分发挥地方碳排放交易市场的作用,促进碳排放减少和经济可持续发展。同时,政府可以通过加强地方市场之间的合作与协调,共同应对跨地区碳排放溢出效应,实现全局的碳减排目标。

此外,各地区碳市场与主要期货市场的动态溢出指数,从 2022 年第四季度溢出都呈现下降趋势。但全国碳市场与主要期货市场的动态溢出指数始终处于高位震荡。本文将其归因为随着新能源汽车的普及导致的电力需求急剧增加。

基金项目

本课题由广州市哲学社科规划 2023 年度课题(2023GZYB75),广东省哲学社会科学规划基金(GD23XYJ56),广东省教育厅重点学科研究提升项目(2021ZDJS117,2022ZDJS134),广东省普通高校创新团队项目(2023WCXTD025),广东省普通高校服务“百千万工程”重点领域专项(2024ZDZX4034)及广东省普通高校特色创新类项目(2023WTSCX131)的资助。

参考文献

- [1] Batten, J.A., Maddox, G.E. and Young, M.R. (2021) Does Weather, or Energy Prices, Affect Carbon Prices? *Energy Economics*, **96**, Article ID: 105016. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.105016>
- [2] Cong, R. and Lo, A.Y. (2017) Emission Trading and Carbon Market Performance in Shenzhen, China. *Applied Energy*, **193**, 414-425. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.037>
- [3] Ji, Q., Zhang, D. and Geng, J. (2018) Information Linkage, Dynamic Spillovers in Prices and Volatility between the Carbon and Energy Markets. *Journal of Cleaner Production*, **198**, 972-978. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.126>
- [4] Hintermann, B. (2010) Allowance Price Drivers in the First Phase of the EU ETS. *Journal of Environmental Economics and Management*, **59**, 43-56. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2009.07.002>
- [5] 华欣, 安园园. 欧盟碳期货与现货价格引导关系及启示[J]. 生态经济, 2019, 35(7): 25-29, 109.
- [6] 洪涓, 陈静. 国际碳排放权交易价格关系实证研究[J]. 中国物价, 2010(1): 7-11.
- [7] 黄文彬, 高韵芳. 碳排放权交易市场的信息流动关系——基于 EUA 市场和 CER 市场的实证研究[J]. 技术经济, 2013, 32(11): 57-64, 111.
- [8] 邹绍辉, 张甜. 国际碳期货价格与国内碳价动态关系[J]. 山东大学学报(理学版), 2018, 53(5): 70-79.
- [9] Chevallier, J. (2011) A Model of Carbon Price Interactions with Macroeconomic and Energy Dynamics. *Energy Economics*, **33**, 1295-1312. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.07.012>
- [10] 邹绍辉, 张甜. 能源期货市场、能源股票市场与碳市场非线性关系动态分析[J]. 系统工程, 2020, 38(5): 1-13.
- [11] 王艺蓉. 碳交易背景下我国能源期货与能源股票市场的动态关系研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2023.
- [12] 车广君, 牟芸仪. 能源市场与广东碳排放市场的长短期动态关系研究——基于能源期货市场和现货市场[J]. 浙江金融, 2022(11): 58-67.
- [13] Keppler, J.H. and Mansanet-Bataller, M. (2010) Causalities between CO₂, Electricity, and Other Energy Variables during Phase I and Phase II of the EU ETS. *Energy Policy*, **38**, 3329-3341. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.02.004>
- [14] Wang, Y. and Guo, Z. (2018) The Dynamic Spillover between Carbon and Energy Markets: New Evidence. *Energy*, **149**, 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.145>

-
- [15] Tan, X., Sirichand, K., Vivian, A. and Wang, X. (2020) How Connected Is the Carbon Market to Energy and Financial Markets? A Systematic Analysis of Spillovers and Dynamics. *Energy Economics*, **90**, Article ID: 104870. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104870>
- [16] Ahonen, E., Corbet, S., Goodell, J.W., Günay, S. and Larkin, C. (2022) Are Carbon Futures Prices Stable? New Evidence during Negative Oil. *Finance Research Letters*, **47**, Article ID: 102723. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.102723>
- [17] 张欢. 碳市场与化石能源市场间的金融风险溢出——以欧洲市场为例[J]. 华北金融, 2018(9): 16-24.
- [18] 王喜平, 王恬恬, 王婉晨. 基于溢出指数方法的我国碳市场与能源市场间风险溢出效应研究[J]. 电力科学与工程, 2023, 39(3): 25-33.
- [19] 苏蕾, 井博飞, 鞠婷婷. 中国碳排放权交易市场溢出效应分析——基于能源市场、电力市场和金融市场视角分析[J]. 商业经济, 2023(6):167-172.
- [20] Diebold, F.X. and Yilmaz, K. (2008) Measuring Financial Asset Return and Volatility Spillovers, with Application to Global Equity Markets. *The Economic Journal*, **119**, 158-171. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2008.02208.x>