

中国碳市场、能源市场和高排放行业间的溢出效应研究——基于 TVP-VAR-DY 模型

任峥宇¹, 陈省宏^{2,*}, 唐健^{1,3,*}, 章天晏³, 郁洋³

(1. 澳门科技大学 可持续发展研究所, 澳门 999078; 2. 澳门科技大学 商学院, 澳门 999078;
3. 白马湖实验室, 浙江 杭州 310052)

摘要: 在以低碳发展应对全国气候变化的共识下, 继电力市场后, 将其他高排放行业纳入全国碳市场势在必行。探究 2021 年至 2023 年期间全国碳市场、能源市场和高排放行业市场间的风险溢出效应。通过采用 TVP-VAR-DY 模型, 使动态溢出效应的测度更加平滑。研究发现, 全国碳市场、能源市场与高排放行业市场存在时变的双向不对称溢出效应, 特别是在极端风险事件下, 市场之间的波动溢出效应显著增强。电力等高排放行业市场主要受碳市场波动的影响, 而新能源行业风险主要影响原油期货市场。重大社会经济事件可导致能源市场在短期内成为风险传递的主导因素, 但随着时间推移, 高排放行业会转为风险输出者。最后, 提出了关于中国碳市场建设、能源市场风险防范和高排放行业能源结构优化等方面的建议。

关键词: 碳市场; 高排放行业; 能源市场; TVP-VAR-DY 模型; 风险溢出效应

中图分类号: X32 文献标识码: A

Risk effects among China's carbon market, energy market, and high emission industries: Based on TVP-VAR-DY model

REN Zhengyu¹, Hsing Hung Chen^{2,*}, TANG Jian^{1,3,*}, ZHANG Tianyan³, YU Yang³

(1. *The Institute for Sustainable Development, Macau University of Science and Technology, Macau 999078, China;*
2. *School of Business, Macau University of Science and Technology, Macau 999078, China;*
3. *Baima Lake Laboratory, Hangzhou 310052, China*)

Abstract: Under the consensus to address national climate change with low-carbon development, it is imperative to include other high-emission sectors in the national carbon market after the electricity market. This study investigates the risk spillover effects among the national carbon market, the power market, and the markets of high-emitting sectors from 2021 to 2023. The study optimizes the measurement of the dynamic spillover effect through the TVP-VAR-DY model. It is found that there are time-varying bidirectional asymmetric spillovers among the national carbon market, the energy market, and the markets of high-emission industries. The volatility spillovers between the markets are significantly enhanced, especially in the case of extreme risk events. Markets in high-emission sectors such as electricity are mainly affected by fluctuations in the carbon market, while risks in the new energy sector mainly affect the crude oil futures market. Major socio-economic events can make energy markets dominant in risk transmission in the short run, but over time, high-emission industries become risk exporters. Finally, we make recommendations for the construction of China's carbon market, risk prevention in the energy market, and optimization of the energy structure of high-emission industries.

Keywords: Carbon market; High-emission sector; Energy market; TVP-VAR-DY model; Risk spillover effect

收稿日期: 2024-01-16

修回日期: 2024-04-06

DOI: 10.20078/j.eep.20240404

基金项目: 国社科一般项目《全球大宗商品价格波动的风险传导机制、路径与网络结构研究》(23BJY063)

作者简介: 任峥宇 (1998—), 男, 河南平顶山人, 博士研究生, 主要研究方向为能源经济。E-mail: zhengyu_r@163.com

通讯作者: 唐健 (1990—), 男, 浙江金华人, 博士研究生, 主要研究方向为能源技术经济、能源市场。E-mail: anthony0822@163.com

陈省宏 (1960—), 男, 中国澳门人, 教授, 主要研究方向为管理经济学。E-mail: hhchen2910@yahoo.com

近年来,碳排放导致的全球变暖以及其引发的一系列生态环境问题日益凸显,成为事关人类命运发展的全球性问题^[1]。从环境领域、道德领域到金融领域、投资交易,世界各国对于环境问题与治理措施的关注不断增强。中国作为世界上碳排放最多的国家并未瞠乎其^[2]。2020年,国家主席习近平在七十五届联合国大会一般性辩论上提出,“人类不能再忽视大自然一次次的警告,人类需要一场自我革命”,也正是在这次会议上,中国向世界交出了“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”的中国方案^[3]。2021年全国碳市场正式上线,电力行业成为主要交易行业,在政府相关部门的引导下,国内碳排放权交易市场的建立健全有序推进,同以欧盟碳交易市场为代表的国际碳交易市场共同发挥着调和经济增长与生态环境压力的作用,为实现可持续发展和保护全球环境贡献力量。

在全国碳排放交易市场从试点到全国市场过渡、有效履约“双碳”目标的同时,一些现实存在的问题也不容忽视。从碳排放权交易机制来说,碳排放权供需关系的变化是引发碳排放权交易价格波动的直接原因,而广泛应用于现代工业行业的石油、煤炭、天然气等不可再生资源的价格波动也可能会延伸到碳市场,通过影响碳排放供需进而影响碳排放权价格。正是能源价格出现了跨市场波动的溢出效应,化石能源市场与碳市场的信息联动和风险效应日益增强^[4]。根据美国能源信息署的数据,自2008年金融危机以来,原油市场一直处于脆弱状态^[5]。尤其受2019年新冠疫情和俄乌冲突等重大突发事件的影响,使得全球石油需求疲软,导致原油市场价格更加不确定^[6]。其次,石油等化石能源的金融化程度进一步提高,还造成了不可再生能源市场价格的剧烈波动,进而引发碳排放权价格的波动,能源市场与碳市场之间的风险溢出效应更加显著^[7]。面对以上问题,中国主动采取稳妥措施建立新型电力体系,2022年,中国可再生能源装机容量占47.3%,可再生能源发电量占比达到31.6%,可再生能源发电比例正呈现快速增长的趋势^[8]。在新型电力体系及电力市场化进程的共同作用下,可以预见的是,可再生能源将逐步取代不可再生能源,成为电力供应的主力军,并与电力市场相互影响和制约^[9]。

在风险溢出效应的研究领域中,基于刻画相关性、系统性风险和风险溢出效应的考虑,多采用格兰杰因果检验、VAR (Vector Autoregressive) 模型、GARCH (Generalized Auto Regressive Conditional Heteroskedasticity) 族模型、Copula 函数、DIEBOLD 和 YILMAZ 提出的 DY 溢出指数模型^[10-15]。协整检验和格兰杰因果关系检验仅能对低维结构进行描述,难以解释风险溢出网络结构的复杂性^[16]。多元 GARCH 模型也各有不足之处:常见的多元 GARCH 族模型中,GARCH-BEKK 模型只可以识别风险溢出的方向,DCC-GARCH 模型虽可以描述时变特征,但不能表述风险溢出的方向。目前应用最为广泛的 DY 溢出指数由于基于滚动窗口方法,设置滚动窗口势必导致研究样本损失,而且对数量较少的样本拟合效果不够平稳细致。TVP - VAR - DY (Time Varying Parameter Vector Auto Regression-DY) 溢出指数模型可以克服传统 DY 溢出指数的局限性,在计算动态溢出指数时,由于不涉及滚动窗口分析,无需任意设置滚动窗口大小,有效避免了样本的损失,从而进行更加平滑的风险溢出指数测度。此外,其时变方差-协方差结构有利于产生更符合经济学实际的回归结果^[17]。

综上所述,本文基于碳排放权交易对实现“双碳”目标促进作用明确的背景下,采用 TVP-VAR-DY 溢出指数方法,研究中国碳市场、能源市场和高排放行业间的风险效应,对于能源市场与电力行业等高排放行业的低碳转型具有重要意义。

1 文献综述

当前,国内外学者对碳市场与其他相关市场间的溢出效应研究主要集中在3个不同的方面,分别是不同碳市场之间,碳市场与能源市场以及碳市场与股票市场。欧盟碳市场自3个阶段的逐步发展后,已步入成熟期。ZENG 等研究发现欧盟碳配额 (EUA) 与认证减排量 (CER) 之间存在双向不对称溢出效应,且 EUA 在风险溢出中占据主导地位^[18]。相应地,中国的碳排放权交易也从2011年的区域性试点过渡至全国性的统一市场。在中国碳市场发展过程中,也有文献关注了中国碳市场与欧盟碳市场 (EUA) 之间的溢出效应,并发现两者间的双向风险溢出效应中,欧盟碳市场对中国碳市场的溢出效应强度更高^[19]。目前中国碳市场实行全国碳市场与区域碳市场并行的方式,

在这样的运行体系下,不同的试点碳市场在整个市场风险传导体系中扮演的角色也各不相同,其中北京、天津、湖北试点碳市场是风险的“输出者”,其余碳市场是风险的“接收者”^[20-21]。

碳市场虽然是政策性市场,但是由于其具有一定的金融特征,有学者将碳市场与相关金融市场进行结合研究。此外,自概念提出以来,碳市场对能源产业结构的优化升级以及能源市场资源配置效率的提升便是学术圈的研究热点。目前已经有大量文献研究了碳市场与能源期货市场之间的风险溢出关系。LI 等运用协同运动矩阵传输网络的方法发现碳排放权价格与能源市场中的煤炭期货市场之间存在内部共同运动的模式,即碳市场影响了能源市场的交易价格^[22]。曾清则从广东碳排放交易市场价格分析出碳市场与传统能源市场价格的依存关系短期内呈现正相关,长期来看则是负相关^[23]。李强林等研究验证了碳市场与能源市场间长期的协整关系,并表明短期内煤炭市场明显受到碳市场价格波动的影响^[24]。刘建和等通过分析认为焦煤市场与碳市场之间存在持久的相关性,且溢出效应的强度会根据溢出方向的不同而有所变化^[25]。此外,陈向阳等的实证研究也证明了碳市场对能源市场的风险存在溢出效应^[26]。

对于股票市场,传统上将其作为一个整体进行研究,但仍有学者更加具体地研究了碳市场与行业股票市场之间的风险溢出联系。具体来说,与传统能源和碳市场之间的关系相比,新能源行业市场资产价格与碳市场的相关性正逐步增强且趋于稳定^[27]。电力行业作为最大的碳排放来源之一,已成为碳市场研究关注的主要对象。对碳价格影响电力价格的研究可追溯到 COTTON 和 TRUCK 发现碳许可价格和电价之间存在长期的互动关系^[28]。TIAN 等认为,是碳排放交易市场的价格波动带动了电力行业在金融市场的波动表现,并提出极端风险事件将会对碳排放交易市场和电力市场之间的关系和风险溢出有巨大影响^[29]。赵长红等着眼于碳市场与电力能源的结合,认为电力市场与碳市场展现出的相互制约关系,能够强化外部成本内部化,为清洁能源发电技术提供正向激励^[30]。未来,随着中国碳排放交易机制的逐步完善、交易市场的不断发展,碳排放也将成为燃煤电厂的支出,间接影响着电价^[31]。除了电力行业市场,也有学者对其他碳市场相关行

业进行研究,FAN 和 TODOROVA 研究了碳排放试点时期试点碳市场与相关行业之间的关系,发现广东和河北的行业、能源、材料和公用事业行业的股票价格对碳价格有重大影响^[32]。此外还有学者探索了中国试点碳市场与高耗能行业市场之间的非线性相关关系和动态相关关系^[33-34]。

通过分析国内外文献对碳市场和相关金融市场风险溢出效应的研究发现,近年来,国内外学者已经从不同角度对碳排放权交易价格、能源指数与电力行业间指数相关内容展开了大量研究,形成了较为完善的理论和方法体系,但是现有研究仍存在以下几个问题。第一,已有文献中对碳市场与除电力市场以外的高排放行业间溢出效应的研究较少。第二,由于中国碳市场成立相对较晚,目前对碳市场的研究大多选用规模较大的试点碳市场或者将试点碳市场和全国碳市场同时纳入研究框架中,较少关注全国碳市场与能源市场和高排放市场之间的关系。尽管目前全国碳市场仅将电力行业市场纳入交易范围,但是未来钢铁、化工等能源密集型行业将梯次纳入全国碳市场的覆盖范围。因此研究金融市场中更加具体微观的高排放行业市场与全国碳市场之间的风险溢出关系,能够为日后相应行业纳入全国碳市场交易体系丰富理论基础。因此,本文的贡献主要在 3 个方面。第一,本文不仅研究已经纳入全国碳市场交易的电力市场,还将钢铁、化工等高排放行业市场纳入研究框架,为扩大全国碳市场行业覆盖范围提供一定的理论依据。第二,不同于以往文献关注早已成立的试点碳市场的研究,本文将关注点全部聚焦于全国碳市场与相关市场之间的风险溢出,将中国碳市场、原油市场、新能源市场以及电力、钢铁和化工等高排放行业结合在一起,该类跨市场和行业的综合研究可能提供更全面的视角,从而更加完整地评估全国碳市场成立以后在我国能源体系中的运行情况。第三,本文使用了改进后的 TVP-VAR-DY 模型,相较传统 DY 溢出指数,能够有效避免样本的损失,从而对样本量较少的数据进行更加平滑的风险溢出指数测度。

2 理论框架

在测度时间序列时变特征的模型方法中,滚动窗口的溢出指数模型是目前运用最广泛的模型之一。然而这种模型存在一定的局限性,由于需要设置滚动窗口,一方面会导致在不同滚动窗口

长度下,一定数量的样本损失和结果不稳定性;另一方面,由于样本损失,模型对数量较少的样本的衡量效果并不友好。TVP-VAR-DY 模型通过引入时变参数方法(TVP-VAR),避免了样本的损失,同时,模型计算动态的 VAR 系数和方差-协方差矩阵,使波动溢出效应的估计结果更加平稳。

首先,构建 1 阶的 TVP-VAR 模型:

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

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

其中, $\Delta x_t, \Delta x_{t-1}$ 和 ε_t 均为 $N \times 1$ 维向量, β_t 和 Σ_t 是 $N \times N$ 维矩阵,参数 $vec(\beta_t)$ 和 v_t 是 $N^2 \times 1$ 维向量, R_t 是 $N^2 \times N^2$ 维矩阵。

基于上述模型框架,可以将 TVP-VAR 模型转化为其向量的移动平均形式,并对方差份额进行归一化处理,得到归一化预测误差方差份额:

$$\theta_{i,j}^g(H) = \frac{\sigma_{ij}^{-1} \sum_{h=0}^H ((\psi_h \sum_{i,j})_{i,j})^2}{\sum_{h=0}^H (\psi_h \sum_{i,j} \psi'_h)_{i,i}} \quad (3)$$

其中, σ_{ij}^{-1} 表示第 j 个变量预测误差的标准差, ψ_h 和 ψ'_h 表示滞后 h 阶的 $N * N$ 移动平均叙述矩阵, $\theta_{i,j}^g$ 表示变量 i 对 j 的预测误差方差贡献份额。

NPDC 可以表示市场 i 和市场 j 之间成对的风险溢出:

$$NPDC_{ij}(H) = (\theta_{ji}^g(H) - \theta_{ij}^g(H)) \times 100 \quad (4)$$

为进一步测度样本中某个市场与其他市场之间的溢出关系,可以得到溢出指数($To_{i \rightarrow j}^g(H)$)、溢入指数($From_{i \leftarrow j}^g(H)$)、净溢出指数($Net_{i,j}^g(H)$):

表 1 静态波动溢出指数 ($H=10$)

Table 1 Static volatility spillover index ($H=10$)

%

	全国碳排放权交易市场	电力	钢铁	化工	原油	新能源	受风险溢出
全国碳排放权交易市场	87.7	2.2	0.6	3.7	1.3	4.4	12.3
电力	2.9	60.9	15.9	10.7	2.5	7.2	39.1
钢铁	2.9	15.0	57.1	15.9	2.1	7.1	42.9
化工	4.9	9.9	15.3	54.8	1.7	13.4	45.2
原油	2.3	3.5	3.5	2.2	86.5	2.0	13.5
新能源	7.2	7.2	6.3	14.9	0.8	63.5	36.5
对其他市场风险溢出	20.1	37.9	41.6	47.4	8.4	34.1	—
净风险溢出指数	7.8	-1.3	-1.2	2.2	-5.1	-2.4	—

静态风险溢出表可以反映两个市场之间风险溢出效应的方向性溢出,对角线的数值代表市场的滞后效应对该市场的影响程度。不难发现,所

3 实证结果分析

3.1 数据选取与预处理

对中国碳市场、能源市场和高碳排放行业之间的关系进行研究,选取了具有代表性的市场指数和价格指数。首先,选取全国碳排放权交易市场(CEA)代表中国碳市场,其次,使用中国原油期货价格(SCO),新能源行业指数(399808)分别代表能源市场中的传统能源原油市场和新能源市场。最后,选取电力行业指数(H30199),钢铁行业指数(930606)和化工行业指数(H30187)代表高碳排放行业中的电力、钢铁和化工行业,数据来源于CSMAR和WIND数据库。由于各市场指数的价格日期不完全一致,对各样本数据进行了筛选,确保各序列的连续一致性。为保证样本数据的平稳性,对各时间序列进行一阶差分,使用对数收益率序列进行研究。

3.2 基于风险溢出指数模型全样本静态溢出效应结果

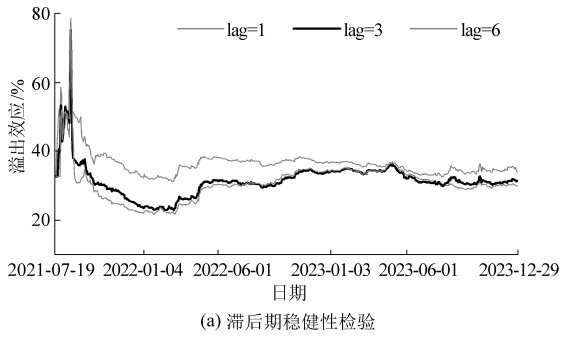
TVP-VAR-DY 溢出指数可以估算出研究样本中静态的风险溢出情况。全样本静态风险溢出效应见表 1。

有变量的内部效应均大于 54%。其中,中国碳市场的内部影响为 87.7%,说明中国碳市场具有较强的自相关性。对角线外的数值代表行变量对列

变量溢出效应的大小。中国碳市场对电力市场的溢出效应值为 2.9%，而电力市场对中国碳市场的溢出效应值为 2.2%。可见，溢出效应在市场间传递。此外，化工行业对其他市场的溢出效应值高达 47.4%，且净溢出效应为正，说明化工市场处于样本市场风险溢出的中心，一旦产生局部区域性风险，很容易通过互联互通影响其他市场，从而引发风险传染甚至系统性风险。最后，整个样本中，只有中国碳市场和化工行业市场的净风险溢出指数为正，说明他们可能是波动影响的输出者，对其他市场的影响较大。

3.3 动态总溢出效应分析

由于静态的波动溢出效应估算不能反映随时



间变化而变动的溢出效应，需进一步分析动态溢出效应。在对时变溢出指数进行拟合时，首先根据赤池信息量 (AIC) 准则，选取模型拟合滞后阶数为 3，并设定预测步数 $H=10$ 。为了验证时变溢出效应结果的稳健性，分别将模型滞后阶数调整为 1 和 6，将预测步数调整为 5 和 15，再对模型结果进行拟合。最后将得到的溢出指数结果与选择的参数结果进行对比，结果如图 1 所示。根据稳健性检验的结果，调整滞后期后动态溢出指数绝对值有少许差异但是总体趋势一致。调整预测期后动态溢出指数结果基本没有差异，说明增加变化预测期 H 对估计结果无显著影响。因此，稳健性检验通过，可以进行下一步的动态溢出效应分析。



图 1 稳健性检验

Fig. 1 Robustness test

溢出效应指数反映了市场间波动的整体相关性。指数越高，市场间的溢出效应越强，说明一个市场的波动变化越容易传导到其他市场。中国碳市场、能源市场和高排放行业市场之间的总风险溢出指数结果如图 2 所示。

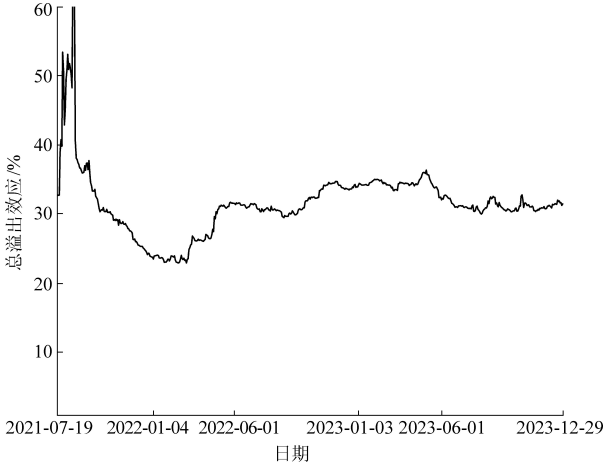


图 2 总风险溢出指数

Fig. 2 Total risk spillover index

图 2 反映了样本市场 2021 年 7 月 19 日到 2023 年底期间的总风险溢出指数的变化趋势。总

体来看，样本市场之间的总风险溢出指数的波动范围一般在 20%~40%。在少数情况下峰值可以达到 60%左右。由此可知，碳市场、能源市场和高排放行业市场之间的总溢出效应存在时变特征。

具体来看，自 2021 年全国碳市场启动以后，总风险溢出指数在短期内迅速达到峰值。一方面，这可能是由于全国碳市场的接入，对纳入交易范围的电力行业产生了冲击；另一方面，2021 年由于疫情导致能源价格居高不下。中国电力市场目前仍然依靠传统能源发电，因此多地发生“拉闸限电”的现象，这种情况可能会导致工厂停工，波及钢铁、化工等高耗能行业，因此，导致了该段时期样本总风险溢出指数骤升。

2022 年初，总风险溢出指数又开始呈现上升趋势，究其原因，应该有两方面。一方面，疫情期间电力行业受到能源价格持续上涨的影响，导致发电成本上升，随着社会恢复生产，电力需求也随之增加，电力行业面临供需两方面的压力。同时，中国电力行业的改革和电价市场化的深化发展，也意味着未来电力市场与其他能源市场的关联度继续提高。另一方面，作为世界主要能源出口国，

2022年初俄罗斯与乌克兰爆发冲突,导致国际能源市场总风险溢出效应增加。随着中国政府一系列恢复经济、改善民生措施的实施,如针对俄乌冲突爆发暂定煤炭进口零税率、小规模纳税人免征增值税等,以及新型冠状病毒疫情的常态化,风险正在逐步下降,此时,总风险溢出指数开始逐渐稳定,但是相对2022年初,总风险溢出指数仍保持在较高水平波动。综上所述可以发现,在发生重大社会经济事件和极端风险事件时,碳市场、能源

市场和高排放行业市场之间的风险溢出效应会显著增加。

3.4 动态方向溢出效应分析

总波动率溢出指数只能总体捕捉多个市场的时变溢出效应,样本中每个市场之间的时变溢出效应需进一步分析。溢出指数表示市场对其他市场波动的溢出程度,溢入指数表示市场受其他市场溢出效应影响的程度。图3显示了样本中每个市场的风险溢出效应和溢入效应。

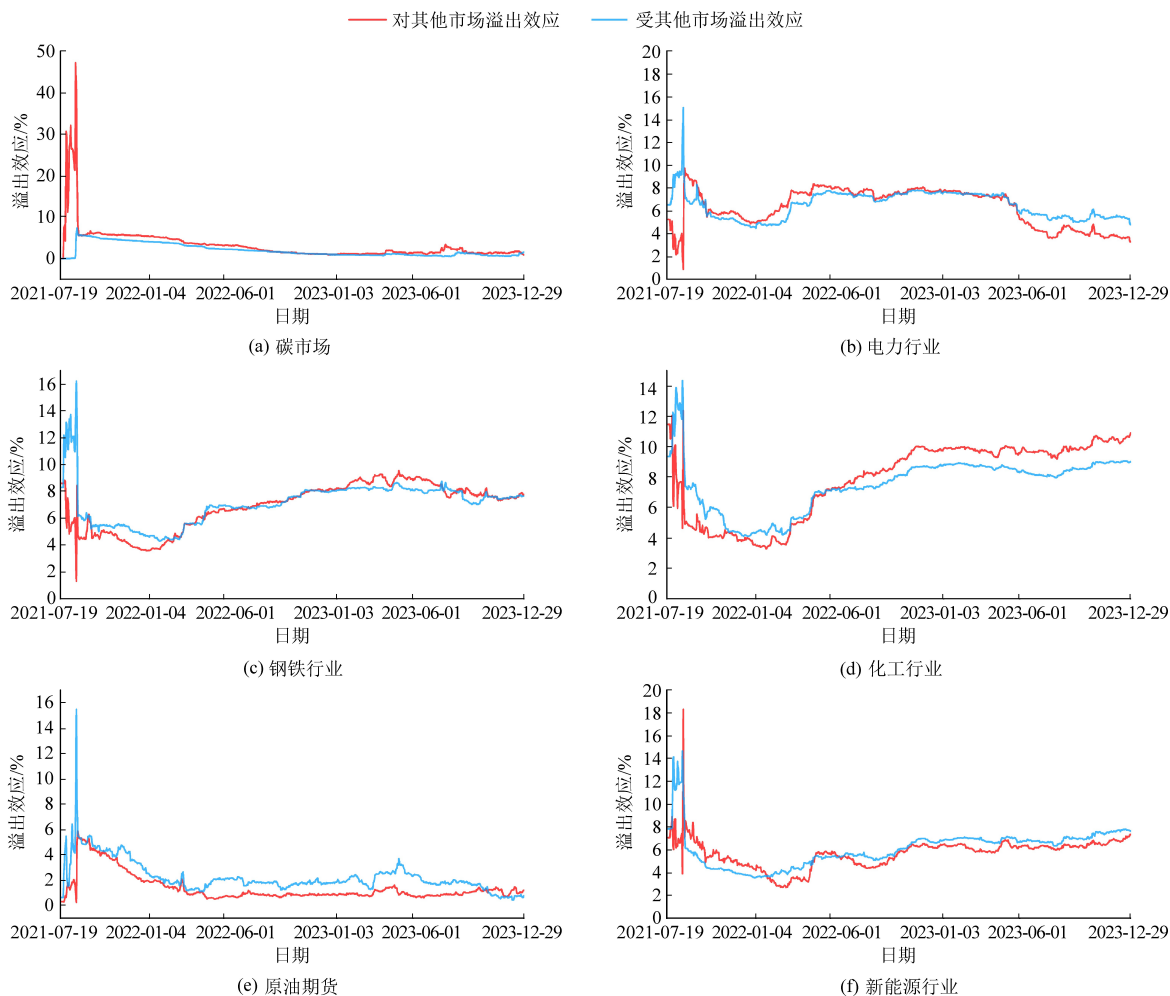


图3 方向溢出指数

Fig. 3 Directional spillover index

总体来看,首先,定向溢出指数可以反映碳市场、能源市场和高排放行业市场之间溢出效应的时变性。其次,从方向性溢出指数的结果来看,各市场的溢出指数和溢入指数的总体趋势大致相同,变化幅度通常在1%~20%之间。

具体来说,对于全国碳市场,在2021年刚启动时,短时间内风险溢出指数可以达到50%,与同时期的风险溢入指数差值巨大。可以看出,此时全国碳市场是风险波动的传递者,对样本中其他

市场有较强的净风险溢出影响。这可能是由于全国碳市场刚启动时,对电力市场乃至能源和其他高排放行业的短期冲击巨大,经过快速调整后正在逐步平息,全国碳市场的溢出和溢入效应呈现下降趋势且没有明显差异。对于高排放行业中的电力市场,它的双向溢出效应呈下降趋势。在样本初期,电力市场有短暂的风险溢入效应骤增,这可能是由于受到全国碳市场成立的冲击,但是此后,双向溢出效应逐渐下降。这可能是由于在此

期间重大社会事件不断发生,一方面,中国处于疫情正常化状态;另一方面,俄罗斯作为世界主要能源出口国,对国际能源价格的影响较大。电力行业关系到国计民生,在这种情况下,中国政府为了确保电力行业不出现大的波动,采取了包括限制煤炭价格在内的一系列措施,从而保证电力行业的正常运行。钢铁和化工行业双向溢出指数稳步上升,可能是由于随着疫情常态化,社会生产恢复,电力行业供能的持续稳定,钢铁和化工等重点工业产能逐渐恢复,与其他市场之间的联动性增加。最后,就中国能源市场而言,无论是原油期货市场还是新能源市场都呈现出风险溢入效应大于风险溢出效应的现象。这反映了能源市场在样本市场中处于“风险接收者”的角色。不同的是,原油市场的双向溢出效应有逐渐下降的趋势,而可再生能源行业的双向溢出指数有逐渐上升的趋势,这可能反映了新能源行业正在加大与其他行业市场的联动,在

中国能源结构中扮演更加重要的角色。

由于溢出效应具有双向性,较高的溢出指数仅表明市场之间的关联性更强,并不意味着市场相对于其他市场具有净风险溢出。因此,仍需通过净溢出指数进行深入分析,以确定极端情况下碳市场、能源市场和高排放行业市场风险溢出的确切方向。

3.5 动态净溢出效应分析

图4中的净溢出指数是溢出指数减去同一时间点的溢入指数。随着时间的推移,净溢出指数可能在正负之间不断变化。当净溢出指数为正时,表示该市场对其他市场的溢出效应大于溢入效应;当净溢出指数为负时,表示该市场对其他市场的溢出效应小于溢入效应。从图4中正负数比例的变化可以看出,并非所有市场都有净风险溢出效应。从时变的角度来看,样本中所有市场的角色并非一直是风险输出者或风险接收者。

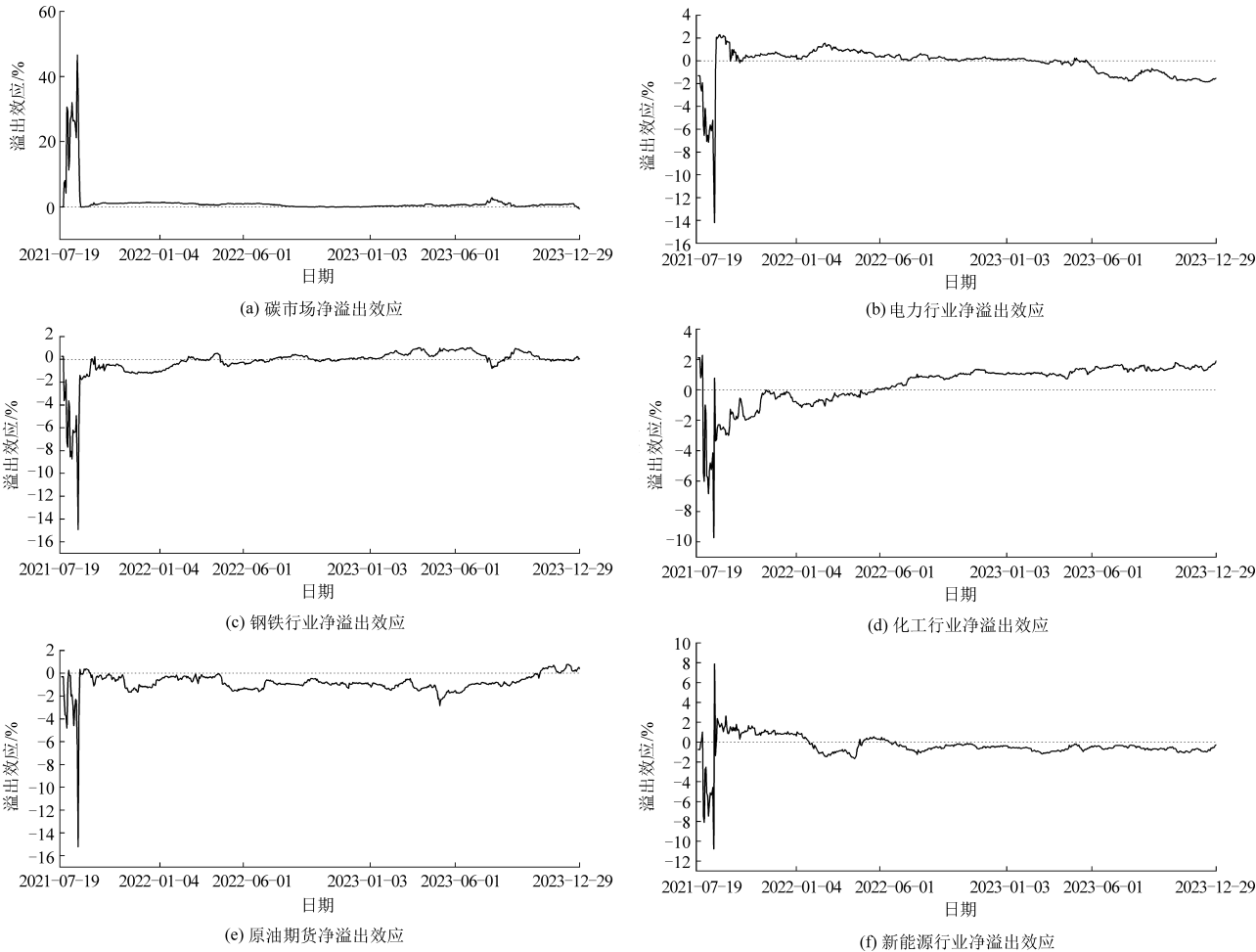


图4 净风险溢出指数

Fig. 4 Net risk spillover index

图5中的配对净溢出指数可以具体反映样本中两个市场之间随时间变化的净溢出效应。如图

5所示,各市场的净配对溢出指数在正负之间的变化,表明市场之间可能存在长期的双向时变非

对称溢出效应。净溢出指数的大小甚至方向在某些时间点会发生剧烈变化,这些变化可能受多种

因素的驱动。

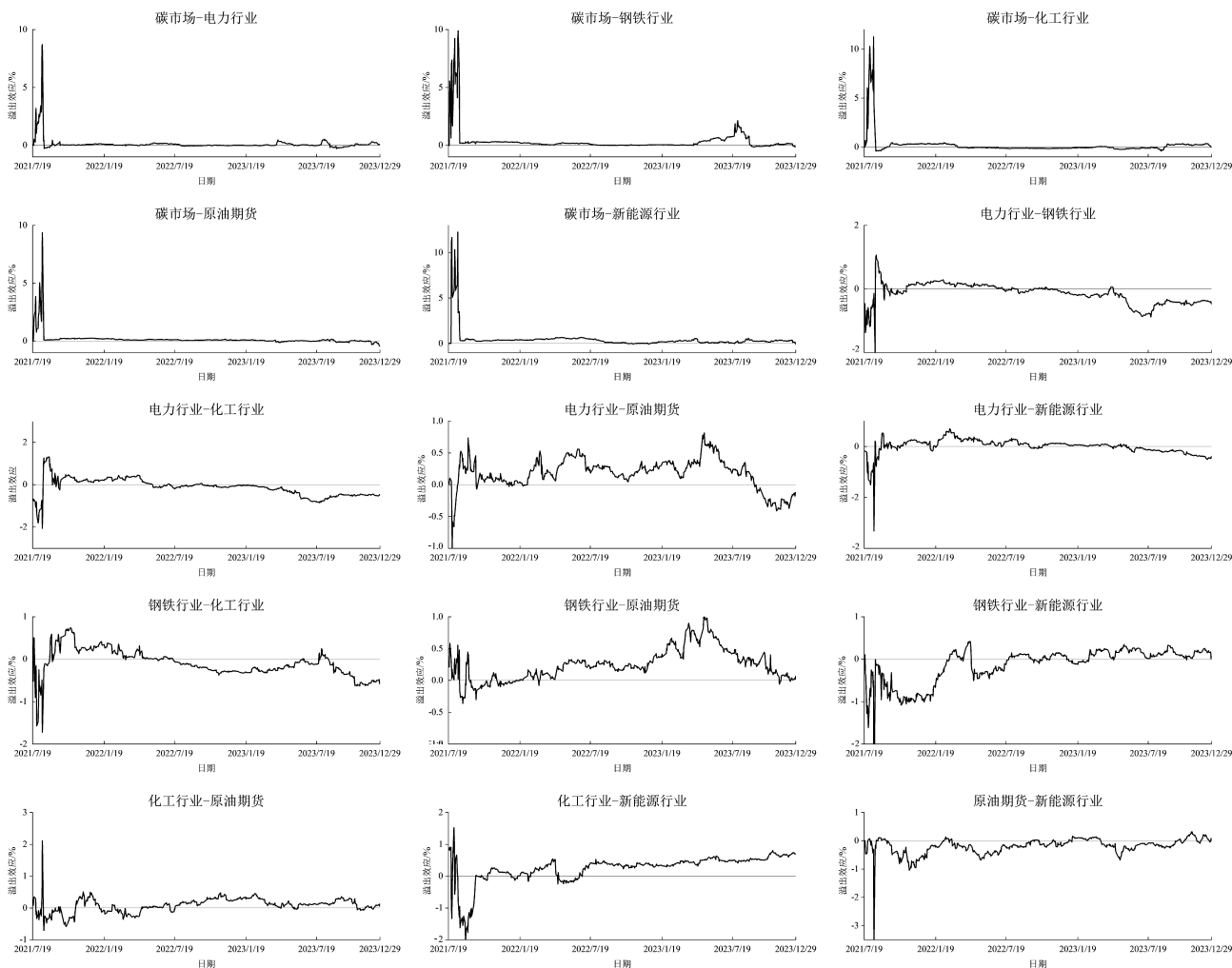


图 5 配对净溢出效应指数

Fig. 5 Pairwise net spillover effect index

具体来说,全国碳市场净风险溢出指数在碳市场启动初期突显正值,反映出碳市场对其他市场的即时影响。这可能是市场参与者对新政策的反应,他们预期碳定价将改变能源使用和高排放行业的成本结构。启动初期,碳市场的不确定性和新规则对能源市场和高排放行业产生了显著的冲击,导致风险溢出效应增强。

在高排放行业市场,风险溢出效应的正负波动反映了市场对碳定价和环境政策变化的敏感性。电力市场的净溢出指数在 2023 年 6 月前后的变化,可能与能源价格波动、疫情和国际政治事件(如俄乌冲突)有关。这些因素都可能导致能源供应和成本的不确定性,进而影响下游行业。特别是,电力市场作为高排放且提供能源的行业,在受到外部冲击(如疫情和冲突)期间,对下游行业的风险溢出效应增强。然而随着市场恢复稳定,

电力行业从风险的输出者转变为接收者,这可能与重大社会事件的影响减弱和能源市场稳定化有关。

最后,原油期货市场和新能源行业市场的净风险溢出指数大多为负,表明它们在样本期内通常接收其他市场的风险。新能源市场对原油市场的风险输出可能与新能源技术的发展和市场占有率的提高有关。随着新能源技术的进步和成本下降,新能源市场对传统能源市场的影响日益增加。

总体来说,碳市场的建立和运行对高排放行业市场的影响显著,尤其是在市场初期和遭遇外部冲击时。市场参与者对政策变化的预期、新技术的发展,以及全球事件的不确定性,都是驱动市场间风险溢出效应变化的关键因素。

综上所述,首先,中国碳市场、能源市场和高排放行业市场之间存在一定程度的联动性,而且

市场之间的溢出效应具有异质性和非对称性,例如,全国碳市场是样本中的风险输出者,而原油期货市场则是风险接收者。其次,极端风险事件会导致市场间波动溢出强度显著增加。最后,重大社会经济事件和极端风险事件通常直接影响能源市场波动,进而导致能源市场短暂地处于样本市场体系风险传递的主导地位,但是随着极端事件影响逐渐平息,样本市场体系中耗能行业逐渐转变为对能源市场的风险输出者。

4 结论与政策建议

4.1 结论

首先,中国碳市场、能源市场和高排放行业市场间存在动态的、双向的、不对称的风险溢出效应。具体来看,碳市场和化工行业通常作为风险的输出者,特别是在面对疫情和俄乌战争等极端风险事件时,这些溢出效应显著加强。其次,电力市场作为一个高碳排放行业,受到碳市场波动的显著影响,而原油期货市场则受新能源行业风险的长期影响。最后,在遭遇重大社会经济事件时,能源市场会短期成为风险传递的中心,但随着时间的推移,高耗能行业逐渐变为风险的输出者,这也说明中国碳市场、能源市场和高排放行业市场之间存在多维度的风险传染效应。

4.2 政策建议

目前中国的能源结构中,传统能源仍占据主要地位,因此以电力行业为代表的高排放行业是实现“双碳”目标的重要组成部分。高排放行业通过生产和消费电力产生碳排放,而碳价格影响发电企业的成本。因此,能源市场和高排放行业市场和碳市场之间存在很强的相关性。本文的研究成果可以为政策制定者、监管者和企业提供以下启示和建议。

中国碳市场、能源市场和高排放行业市场之间的溢出效应具有时变性和不对称性。因此,政策制定者应加强对中国碳市场、能源市场和高排放行业市场的事前风险预警和监测。具体来说,可以利用大数据等技术构建包括风险识别、测算、排查在内的预警机制,政府通过该机制对风险进行实时监测和评估,并根据风险等级制定相应的风险防范方案,从而构筑能源与电力市场之间风险传导的第一道防线。同时,政府部门还应关注经济环境和政策冲击,防止市场出现暴涨暴跌的情况。此外,政策制定者应继续深化电力市场改

革,加快电力现货和辅助服务市场的建设,这将有助于建立市场化的价格形成机制,进一步扩大电力系统的灵活性,以抵御能源的冲击。相应地,政府应完善可再生能源补贴机制和税收政策,大力扶持可再生能源发电和储能技术,平抑不可再生能源。

随着重大社会经济事件和极端风险事件的发生和平息,中国碳市场、能源市场和高排放行业市场之间的风险联动也在变化。因此,政策制定者应根据三者的关系,制定有效的碳市场政策,完善碳市场机制,充分发挥碳价格对碳资源配置的引导作用,进而约束高排放部门的生产行为,促进能源消费结构的优化和调整。此外,政府部门应关注碳市场的动态溢出,大力发展清洁技术和可再生能源。同时,由于碳和可再生能源在短期内对电力市场价值仍有一定负面影响,政府部门也应鼓励电力行业继续低碳化改造,给予补贴或实施税收优惠等扶持政策,以促进其清洁发展,加快实现低碳发展目标和环境、经济效益双赢的目标。对于能源工业企业,尤其是电力企业等高耗能高排放的能源企业,碳价以及能源消费价格构成了企业的主要成本。过去,企业主要注重于通过传统能源的价格来预测碳价,从而选取最佳的能源消费结构。然而随着中国全国碳市场的建立和进一步发展,碳市场与可再生能源市场的时变溢出效应更为显著,故企业应该更加关注可再生能源价格,一方面它也会对碳价产生一定影响,另一方面,可再生能源还会影响边际燃料转换成本。更重要的是低碳经济是未来经济的发展方向,清洁能源的开发以及相关的技术创新更是大势所趋。故企业自身应该进行自主创新,优化能源消费结构,向低碳经济转型。

本文仍然存在一定的局限性。首先,本研究只考虑全国碳市场对能源市场和高排放市场的风险溢出,没有将目前正在运行的区域碳市场纳入研究。未来可以将主要的区域碳市场纳入考量范畴,更加全面地分析中国碳市场与能源市场间动态溢出特征。其次,本文使用的 TVP-VAR-DY 溢出指数可以测度市场间时变溢出指数。未来研究可以在时变溢出效应的基础上探究不同频域下的溢出效应,进行多层次,多维度的溢出效应分析。

参考文献 (References):

- [1] ZHAO L L, WEN F H, WANG X. Interaction among China carbon emission trading markets: Nonlinear granger causality

- and time-varying effect [J]. *Energy Economics*, 2020, 91: 104901-104911.
- [2] LIU Y, YANG X Q, WANG M. Global transmission of returns among financial, traditional energy, renewable energy and carbon markets: New evidence[J]. *Energies*, 2021, 14(21): 7286-7317.
- [3] 国家统计局. 中华人民共和国 2022 年国民经济和社会发展统计公报([1])[N]. 人民日报, 2023-03-01(009).
- [4] DING Q, HUANG J B, ZHANG H W. Time-frequency spillovers among carbon, fossil energy and clean energy markets: The effects of attention to climate change[J]. *International Review of Financial Analysis*, 2022, 83: 102222-102241.
- [5] NASIR M A, NAIDOO L, SHAHBAZ M, et al. Implications of oil prices shocks for the major emerging economies: A comparative analysis of BRICS[J]. *Energy Economics*, 2018, 76: 76-88.
- [6] ABUZAYED B, AL FAYOUMI N. Risk spillover from crude oil prices to GCC stock market returns: New evidence during the COVID-19 outbreak[J]. *North American Journal of Economics and Finance*, 2021, 58: 101476-101493.
- [7] DAI X Y, XIAO L, WANG Q W, et al. Multiscale interplay of higher-order moments between the carbon and energy markets during Phase III of the EU ETS[J]. *Energy Policy*, 2021, 156: 112428-112441.
- [8] FANG Y J, WEI W, MEI S W. How dynamic renewable portfolio standards impact the diffusion of renewable energy in China? A networked evolutionary game analysis [J]. *Renewable Energy*, 2022, 193: 778-788.
- [9] DU Y M, TAKEUCHI K. Does a small difference make a difference? Impact of feed-in tariff on renewable power generation in China[J]. *Energy Economics*, 2020, 87: 104710-104727.
- [10] KEPPLER J H, MANSANET BATALLER M. Causalities between CO₂, electricity, and other energy variables during phase I and phase II of the EU ETS[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(7): 3329-3341.
- [11] KUMAR S, MANAGI S, MATSUDA A. Stock prices of clean energy firms, oil and carbon markets: A vector autoregressive analysis[J]. *Energy Economics*, 2012, 34(1): 215-226.
- [12] ZHOU W, GU Q N, CHEN J. From volatility spillover to risk spread: An empirical study focuses on renewable energy markets[J]. *Renewable Energy*, 2021, 180: 329-342.
- [13] DURANTE F, GIANFREDA A, RAVAZZOLO F, et al. A multivariate dependence analysis for electricity prices, demand and renewable energy sources [J]. *Information Sciences*, 2022, 590: 74-89.
- [14] DIEBOLD F X, YILMAZ K. Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers[J]. *International Journal of Forecasting*, 2012, 28(1): 57-66.
- [15] DIEBOLD F X, YILMAZ K. On the network topology of variance decompositions: Measuring the connectedness of financial firms[J]. *Journal of Econometrics*, 2014, 182(1): 119-134.
- [16] BONDIA R, GHOSH S, KANJILAL K. International crude oil prices and the stock prices of clean energy and technology companies: Evidence from non-linear cointegration tests with unknown structural breaks[J]. *Energy*, 2016, 101: 558-565.
- [17] KOROBILIS D M, YILMAZ K M. Measuring dynamic connectedness with large bayesian VAR models[C/OL]. Istanbul: Social Science Electronic Publishing, 2018[2024-01-14]. https://eaf.ku.edu.tr/sites/eaf.ku.edu.tr/files/erf_wp_1802.pdf.
- [18] ZENG S H, JIA J M, SU B, et al. The volatility spillover effect of the european union (EU) carbon financial market [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 282: 124394-124408.
- [19] 孙春. 中国碳市场与 EU 碳市场价格波动溢出效应研究 [J]. *工业技术经济*, 2018, 37(3): 97-105.
SUN Chun. Spillover effects of price fluctuation on China's carbon market and EU carbon market [J]. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2018, 37(3): 97-105.
- [20] XIAO Z M, MA S Q, SUN H W, et al. Time-varying spillovers among pilot carbon emission trading markets in China[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(38): 57421-57436.
- [21] 张嘉望, 李博阳, 杜强. 中国区域碳市场价格联动与风险溢出效应研究——基于信息溢出视角[J]. *中南财经政法大学学报*, 2022(2): 148-160.
ZHANG Jiawang, LI Boyang, DU Qiang. Research on price linkage and risk spillover effect of China's carbon market: Based on information spillover perspective [J]. *Journal of Zhongnan University of Economics and Law*, 2022(2): 148-160.
- [22] LI T Y, GAO C W, CHEN T, et al. Medium and long-term electricity market trading strategy considering renewable portfolio standard in the transitional period of electricity market reform in Jiangsu, China[J]. *Energy Economics*, 2022, 107: 105860-105870.
- [23] 曾清. 我国碳排放权价格对两类能源公司股价的影响——基于 VECM 模型的比较分析[J]. *金融发展研究*, 2018(10): 63-71.
ZENG Qing. The influence of China's carbon emission price on the stock price of two kinds of energy companies: Based on the analysis of VECM model[J]. *Journal of Financial Development Research*, 2018(10): 63-71.
- [24] 李强林, 张甜, 邹绍辉. 煤炭股指数与碳市场价格动态关系研究[J]. *价格理论与实践*, 2019(4): 79-82.
LI Qianglin, ZHANG Tian, ZOU Shaohui. Research on the dynamic relationship between coal industry index and carbon market price [J]. *Price: Theory & Practice*, 2019(4): 79-82.
- [25] 刘建和, 梁佳丽, 陈霞. 我国碳市场与国内焦煤市场、欧盟碳市场的溢出效应研究[J]. *工业技术经济*, 2020, 39(9): 88-95.
LIU Jianhe, LIANG Jiali, CHEN Xia. Research on spillover effect of China's carbon market, domestic coke market and EU ETS [J]. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2020, 39(9): 88-95.

- [26] 陈向阳, 何海靖. 我国碳排放权交易市场与股票市场的关联——基于非线性 Granger 因果检验与非平衡面板模型的实证分析[J]. 技术经济, 2021, 40(3): 36-46.
CHEN Xiangyang, HE Haijing. Relationship between carbon emissions trading and stock market of China: A study based on nonlinear granger causality test and unbalanced panel model [J]. Journal of Technology Economics, 2021, 40(3): 36-46.
- [27] QIAO S, GUO Z X, TAO Z, et al. Analyzing the network structure of risk transmission among renewable, non-renewable energy and carbon markets [J]. Renewable Energy, 2023, 209: 206-217.
- [28] COTTON D, TRUCK S. Interaction between Australian carbon prices and energy prices[J]. Australasian Journal of Environmental Management, 2011, 18(4): 208-222.
- [29] TIAN Y, AKIMOV A, ROCA E, et al. Does the carbon market help or hurt the stock price of electricity companies? Further evidence from the European context [J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 112: 1619-1626.
- [30] 赵长红, 张明明, 吴建军, 等. 碳市场和电力市场耦合研究[J]. 中国环境管理, 2019, 11(4): 105-112.
ZHAO Changhong, ZHANG Mingming, WU Jianjun, et al. The coupling study on carbon market and power market [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2019, 11(4): 105-112.
- [31] TANG J, REN Z Y, CHEN H H, et al. Multidimensional risk spillover among power, coal, and carbon markets: Empirical evidence from China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2024, 31(1): 1288-1303.
- [32] FAN J H, TODOROVA N. Dynamics of China's carbon prices in the pilot trading phase[J]. Applied Energy, 2017, 208: 1452-1467.
- [33] SUN X T, FANG W, GAO X Y, et al. Complex causalities between the carbon market and the stock markets for energy intensive industries in China [J]. International Review of Economics & Finance, 2022, 78: 404-417.
- [34] 尹成远, 李雨豪. 中国碳市场与高耗能行业间的风险溢出效应研究[J]. 河北金融, 2023(7): 26-30.