

气候政策不确定性下清洁能源和金属市场的溢出效应研究

周玉琴 刘欣

(重庆师范大学 经济与管理学院, 重庆 401331)

摘要:在应对气候变化过程中,气候政策不确定性已成为金融市场间风险传染的重要诱因。本文运用MODWT和基于TVP-VAR的联合溢出指数模型研究清洁能源市场和金属市场之间的关联性,并进一步借助前沿的分位数对分位数回归方法,以探讨气候政策不确定性的不同分位点对市场总溢出和静态溢出不同分布的影响。研究表明,清洁能源与金属市场之间存在显著的动态溢出效应,且主要表现为长期溢出,其中清洁能源和有色金属市场主要为溢出输出者,战略性金属市场是主要的溢出接受者。气候政策不确定性对清洁能源和金属市场的溢出效应的影响存在时变性和非对称性,在市场状态下行时期影响程度更高。研究结论可为投资者构建多元化投资组合和监管机构制定气候政策提供经验依据。

关键词:气候政策不确定性;清洁能源;溢出指数;分位数对分位数回归

中图分类号:F274

文献标识码:A

文章编号:1673-0429(2025)02-0087-17

DOI:10.19742/j.cnki.50-1164/C.250209

一、引言

近年来,全球变暖引发极端气候事件频繁发生,对自然生态、人类健康以及经济发展造成广泛影响,能源和金属市场也面临着严峻挑战^[1-2]。为应对全球变暖,195个国家在2015年第21届缔约方会议签订了《巴黎协定》,旨在确立全球气候变化目标,提高各国适应能力。我国生态环境等部门也联合印发了《国家适应气候变化战略2035》《关于深化气候适应性城市建设试点的通知》等文件,明确了在新形势、新阶段下我国适应气候变化工作的重点部署。在坚持可持续发展的道路上,我们面临国际上气候政策不确定性持续增加的影响^[3]。如美国在《巴黎协定》上的反复退出与重新加入。为度量气候政策不确定性,Gavrilidis^[4]通过使用美国主要报纸的数据,搜集与气候相关的政策新闻,提出了气候政策不确定性指数(CPU),开启了气候政策不确定性对能源和金属市场影响的研究^[5]。

在应对气候变化和推进能源转型的进程中,气候政策不确定性对能源、金属市场之间的关联性不断增强。气候政策不确定性研究能够提高清洁能源和金属市场收益率和波动率的预测精度^[6-7]。与此同时,在向清洁能源转型的过程中,电动汽车市场等相关领域的蓬勃发展,使得清洁能源以及锂、钴等金属

收稿日期:2025-01-16

作者简介:周玉琴,女,经济学博士,重庆师范大学经济与管理学院副教授,主要研究方向:气候金融。

基金项目:重庆市教委人文社科项目“‘一带一路’沿线国家主权债务风险传染研究”(23SKGH097)。

的市场需求显著增加^[8]。这种需求变化带来了多方面的影响,一方面,它减少了对不可再生资源的依赖,有助于推动能源结构的优化和可持续发展^[6];另一方面,也给大宗商品市场带来了通胀压力,对市场的价格稳定和宏观经济运行产生了一定的冲击^[9-10]。然而,现有文献在研究中忽视了气候政策不确定性对不同市场构成的整个系统的影响。本文运用分位数对分位数方法,深入探究气候政策不确定性对清洁能源和金属市场关联性的影响,以为相关市场稳定发展与政策制定提供参考。

与此同时,鉴于能源和金属市场在应对气候变化中扮演的关键角色,诸多学者聚焦于二者的特征及相互关系展开研究,其成果表明,能源与金属市场间存在显著溢出效应^[11]。从研究市场侧重点来看,部分文献着重关注化石能源、贵金属与有色金属市场的关联。例如,Chen 等^[12]深入探究了分部门新能源股票与有色金属市场的时频溢出效应;Jiang 和 Chen^[13]将目光投向新能源、材料与碳市场的关联性研究;朱学红等^[14]则专注于清洁能源子行业市场与金属市场间的时变溢出效应。与上述研究有所不同,本文将重点关注对能源转型起着重要支撑作用的战略金属,这有助于精准剖析金属价格冲击给清洁能源带来的影响。当前,现有文献针对清洁能源、有色金属以及战略金属市场三者间溢出效应的探究相对匮乏。实际上,应用清洁能源是迈向碳中和、实现气候目标的核心要素,而金属又是保障低碳转型与清洁能源生产不可或缺的关键原材料^[12]。因此,本研究重点关注清洁能源、有色金属和战略金属市场之间的联系,这对低碳转型和气候变化至关重要。

在市场关联性研究方法上,学者们主要采用 CoVaR 模型^[18]、多元 GARCH 族模型^[19]、Diebold 和 Yilmaz^[20]开发的溢出指数模型(DY 模型)及其相关扩展模型,即 Antonakakis 等^[21]提出的 TVP-VAR 方法,Barunik 和 Krehlik^[22]提出的频率连通性方法(BK 模型),以及 Ando 等^[23]为更好地探索尾部风险溢出效应而构建的分位数 VAR 模型。如 Umar 等^[24]应用 DY 模型探索石油和金属市场之间的动态联系,Ghosh 等^[25]利用分位数 VAR 模型研究了金属和能源市场之间的非对称连通性,Mandaci 等^[26]采用 TVP-VAR 方法研究能源、金属、股票和债券市场之间的波动溢出效应,Alomari 等^[27]运用分位数 VAR 模型分析了石油和贵金属市场之间的极端收益溢出,高祥晓和卢秀茹^[28]运用 TVP-VAR 和 TVP-VAR-DY 等方法,从方向和水平两个维度分析了经济政策不确定性对大豆期货市场质量的影响。然而,基于 DY 的溢出指数模型在总体溢出方面可能会提供误导性信息^[29]。因此,本文将使用与 DY 模型一致的替代方法(基于 TVP-VAR 的联合溢出指数模型)为能源和金属市场之间的溢出效应提供新的证据。

本文可能的创新点和边际贡献在于:其一,研究方法创新,创新性地运用 MODWT 模型与基于 TVP-VAR 的联合溢出指数模型,以此探究市场间的时频溢出效应。这一组合打破了传统单一模型研究的局限,不仅精准捕捉到市场动态变化在时间与频率维度的细微特征,还为跨市场连通性研究开辟了全新路径。其二,研究视野独特,聚焦清洁能源与金属市场,尤其是将有色金属市场和钨、镓、锗、硒、镉、钴等战略金属市场纳入研究,并结合关联网络分析。这一举措突破了以往研究对象相对局限的情况,全方位、多层次地剖析清洁能源、有色金属及战略金属市场连通性的传导路径。其三,研究视角新颖,引入分位数对分位数模型,深入探讨气候政策不确定性对市场间溢出效应的影响。这一探索为理解宏观政策与微观市场互动关系提供了全新视角。综上所述,本研究聚焦清洁能源市场与有色金属、战略金属市场间的时频溢出效应以及气候政策不确定性的影响,将为市场监管机构的政策制定与投资者的决策布局提供有价值的参考,并推动相关领域的实践发展与理论深化。

二、理论分析

清洁能源市场与金属市场紧密相连,供需、价格、技术创新多元联系。然而,气候政策不确定性带来

诸多变数,从投资决策、价格波动和资产组合各环节,既冲击能源投资、供应,又引发金属市场供需不稳,威胁双方稳定发展(见图1)。

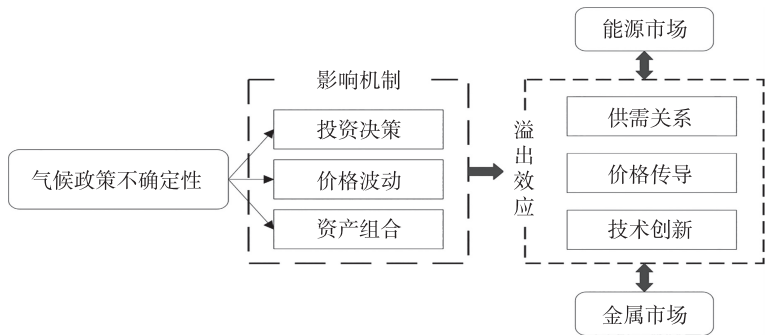


图1 气候政策不确定性下能源市场和金属市场间风险溢出效应的理论机制框架

能源市场与金属市场之间存在千丝万缕的密切联系,其影响路径呈现多维度特征。首先,从供需关系层面来看,一方面,能源市场对金属市场有着强劲的需求拉动作用^[16]。随着能源行业尤其是清洁能源技术蓬勃兴起,对各类金属的需求呈现爆发式增长。以太阳能产业为例,其大规模发展离不开大量的硅、锂以及稀土金属等关键原材料的支撑^[30],清洁能源转型从需求侧驱动关键金属的需求上扬,同时,助力降低碳排放强度,供需协同影响其产业链的碳排放^[31]。另一方面,金属市场为能源市场提供了坚实的供给支撑^[15],金属作为能源生产与传输环节不可或缺的关键材料,其供应的稳定性与否直接关乎能源市场的平稳运行。例如,铜对电力传输十分重要,一旦供应出现波动,能源市场的电力传输环节必将受到冲击。其次,从聚焦价格传导维度分析。能源价格的波动通过成本传导机制波及金属市场。当石油价格攀升时,金属开采与加工成本上涨,与此同时,还可能刺激市场对替代能源相关金属如锂的需求激增^[32],进而引发金属价格震荡。反之,金属价格的起伏同样会对能源市场产生反馈效应。例如,锂等金属价格走高,会促使电动汽车等新能源产业加速发展,影响传统能源需求与价格^[32]。此外,着眼于技术创新领域。能源技术创新催生金属市场需求,太阳能、风能技术发展带动对特定金属需求,推动硅市场繁荣^[30];金属技术创新助力能源市场,新型超导材料研发可降低电力传输损耗、提高能源利用效率。总之,在商品金融化趋势下,清洁能源与金属市场复杂的组合模式进一步强化了彼此连通性,二者通过供需、价格、技术等多元路径相互交织、相互影响,共同塑造着彼此的发展格局^[17]。

气候政策的不确定性会影响能源与金属的市场表现,进而影响能源市场与金属市场间的溢出关系。投资决策方面,因气候政策不确定,能源市场参与者在做决策时顾虑重重,投资行为变得格外谨慎^[33]。例如,对清洁能源技术的投资常常会被延迟,这直接导致清洁能源产业发展放缓,进而使得金属市场中依赖于清洁能源产业发展的金属需求下降,由于清洁能源产业发展受阻后,对相关金属的采购量必然减少。在价格波动层面,气候政策的不确定性是引发一系列连锁反应的关键因素。它极易造成能源价格不稳定,以石油价格为例,其频繁波动会直接影响金属行业的原材料成本,金属价格也随之上下波动^[34]。资产组合方面,在气候政策不确定性较高的情况下,市场参与者对政策变化的预期和反应更加敏感,导致市场之间的互动更加频繁,增强能源与金属市场间的连通性。例如,投资者可能会同时调整对于能源市场和金属市场的投资组合,以应对政策变化带来的风险,这会增加两个市场之间的资金流动和价格联动^[35]。

三、模型构建

(一)MODWT 模型

极大重叠离散小波变换(MODWT)是一种改进的离散小波变换方法,放弃了普通离散小波变换的

正交特性,能够处理任意抽样尺寸的能力,提高了分辨率,产生更加渐近有效的方差估计量,保证时间序列的循环平移而不改变小波系数的大小^[36],得到了广泛应用。因此,本文使用 MODWT 方法对原始时间序列进行变换分解。一个包含 N 个观测值的时间序列 X 基于 MODWT 的信号重构公式为:

$$X = \tilde{w}'\tilde{W} = \sum_{j=1}^J \tilde{w}_j'\tilde{W}_j + \tilde{v}_J'\tilde{V}_J = \sum_{j=1}^J \tilde{d}_j + \tilde{s}_J \quad (1)$$

其中, X 表示清洁能源和金属市场收益率的时间序列, $\tilde{d}_j = \tilde{w}_j'\tilde{W}_j$ ($j=1,2,\dots,J$) 为第 j 层细节系数, $\tilde{s}_J = \tilde{v}_J'\tilde{V}_J$ 为第 J 层近似系数, $\tilde{W}$ 为 MODWT 系数矩阵, $\tilde{w}_j$ ($j=1,2,\dots,J$) 和 $\tilde{v}_J$ 均为一个 $N \times N$ 维的矩阵。根据 Silvo^[37]的做法,本文选择滤波器宽度为 8 的 LA 小波函数。

(二) 溢出指数模型

为量化清洁能源和金属市场的动态溢出效应,本文运用 Balciilar 等^[38]提出的基于 TVP-VAR 的联合溢出指数模型(TVP-VAR extended joint spillover index)进行相关研究,该模型不仅避免了设置滚动窗口带来的观测值损失,使得溢出效应估计结果更加平稳,也能够更加准确地计算广义预测误差方差分解^[39]。在 TVP-VAR 模型中:

$$y_t = A_t y_{t-1} + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t \sim N(0, \Sigma_t) \quad (2)$$

$$vec(A_t) = vec(A_{t-1}) + v_t \quad v_t \sim N(0, R_t) \quad (3)$$

其中, $E(\varepsilon_t \varepsilon_t') = \Sigma_t$, $y_t, y_{t-1}, \varepsilon_t$ 为 $Z \times 1$ 维的向量, A_t 是 $Z \times Z$ 维的矩阵, Σ_t 和 R_t 分别为 $Z \times Z$ 和 $Z^2 \times Z^2$ 维的时变方差-协方差矩阵。同时, $vec(A_t)$ 代表 A_t 的矢量化, v_t 是一个 $Z^2 \times 1$ 维向量。

把 TVP-VAR 转为 TVP-VMA 可以写为: $y_t = \sum_{h=0}^{\infty} N_{h,t} \varepsilon_{t-h}$, 其中 $N_{h,t}$ 是一个 $Z \times Z$ 维矩阵, 是计算广义预测误差方差分解的关键。广义的预测误差方差分解 $\varphi_{ij,t}^{gen}(L)$ 可以解释为变量 y_i 受到外部因素冲击时, y_i 的 L 步预测误差方差中由 y_j 所解释的比例部分, 可以表示为:

$$\varphi_{ij,t}^{gen}(L) = \left(\sum_{l=0}^{L-1} (e'_i N_{lt} \sum_l e_j)^2 \right) / \left((e'_j \sum_l e_j) \sum_{l=0}^{L-1} (e'_i N_{lt} \sum_l N'_{lt} e_i) \right) \quad (4)$$

$$gSOT_{ij,t} = (\varphi_{ij,t}^{gen}(L)) / \left(\sum_{j=1}^L \varphi_{ij,t}^{gen}(L) \right) \quad (5)$$

由于 $\sum_{j=1}^L \varphi_{ij,t}^{gen}(L) \neq 1$, Diebold 和 Yilmaz^[20]提出通过行和将其归一化, 得到 $gSOT_{ij,t}$, 代表了变量 i 对 j 的预测误差方差贡献份额。为进一步测度清洁能源市场与金属市场的溢出关系, 可以得到 DY 模型的溢入指数 ($S_{i \leftarrow \cdot, t}^{gen, from}$)、溢出指数 ($S_{i \rightarrow \cdot, t}^{gen, to}$) 和总溢出指数 ($gSOI_t$)。

$$S_{i \leftarrow \cdot, t}^{gen, from} = \sum_{j=1, j \neq i}^Z gSOT_{ij,t} \quad (6)$$

$$S_{i \rightarrow \cdot, t}^{gen, to} = \sum_{j=1, i \neq j}^Z gSOT_{ji,t} \quad (7)$$

$$gSOI_t = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^Z S_{i \leftarrow \cdot, t}^{gen, from} = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^Z S_{i \rightarrow \cdot, t}^{gen, to} \quad (8)$$

与以上模型不同的是, Lastrapes 和 Wiesen^[29]提出的联合溢出指数模型是基于拟合优度统计量进行归一化处理, 能够反映系统中所有其他市场对其中一个特定市场的溢出效应。溢入指数 $S_{i \leftarrow \cdot, t}^{int, from}$ 被重新定义为:

$$S_{i \leftarrow \cdot, t}^{int, from} = \left(\sum_{l=0}^{L-1} e'_i N_{lt} \sum_l M_i (M'_i \sum_l M'_i)^{-1} M'_i \sum_l N'_{lt} e_i \right) / \left(\sum_{l=0}^{L-1} e'_i N_{lt} \sum_l A'_{lt} e_i \right) \quad (9)$$

其中, M_i 是 $Z \times Z-1$ 维矩阵, 即将 $Z \times Z$ 维的单位矩阵去掉第 i 列构造而成。则联合溢出总指数 $gSOI$ 被定义为:

$$jSOT_t = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^Z S_{i \leftarrow \cdot, t}^{jnt, from} \quad (10)$$

根据 Lastrapes 和 Wiesen^[29]的研究, $jSOT$ 和 $gSOT$ 具有以下比例关系:

$$\lambda_i = S_{i \leftarrow \cdot, t}^{jnt, from} / S_{i \leftarrow \cdot, t}^{gen, from} \quad (11)$$

$$jSOT_{ij, t} = \lambda_i gSOT_{ij, t} \quad (12)$$

这个等式使得我们能够计算联合溢出指数模型中的溢入指数($S_{i \leftarrow \cdot, t}^{jnt, from}$)、溢出指数($S_{i \rightarrow \cdot, t}^{jnt, to}$)、净溢出指数($S_{i, t}^{jnt, net}$)和成对净溢出指数($S_{ij, t}^{jnt, net}$)。

$$S_{i \leftarrow \cdot, t}^{jnt, from} = \sum_{j=1, j \neq i}^Z jSOT_{ij, t} \quad (13)$$

$$S_{i \rightarrow \cdot, t}^{jnt, to} = \sum_{j=1, i \neq j}^Z jSOT_{ji, t} \quad (14)$$

$$S_{i, t}^{jnt, net} = S_{i \rightarrow \cdot, t}^{jnt, to} - S_{i \leftarrow \cdot, t}^{jnt, from} \quad (15)$$

$$S_{ij, t}^{jnt, net} = jSOT_{ji, t} - jSOT_{ij, t} \quad (16)$$

(三) 分位数对分位数回归模型

由于分位数回归模型忽略了解释变量不同状态的可能性,无法揭示自变量对因变量影响的复杂性。Sim 和 Zhou^[40]提出分位数对分位数回归模型(Quantile on Quantile Regreesion)对标准分位数回归模型进行广义化,将分位数回归和非参技术结合起来,可探讨自变量分位数如何影响因变量条件分位数。具体推导过程如下:

$$jSOI_t = \beta^\theta(CPU_t) + \alpha^\theta jSOI_{t-1} + v_t^\theta \quad (17)$$

其中, CPU_t 为时刻 t 的气候政策不确定性, θ 为溢出指数条件分布的 θ 分位数, v_t^θ 为误差项, β^θ 和 α^θ 是未知参数, β^θ 揭示了 CPU 对溢出指数不同分位数的溢出效应。但以上标准分位数回归模型仍无法解释气候政策不确定性不同状态对清洁能源和金属市场溢出指数的差异化影响。气候政策不确定性的高低对市场系统关联性可能存在不同影响,市场之间的关联性也可能对气候政策不确定性存在不同反应。因此,有必要考察 CPU 的 τ 分位数与溢出效应的 θ 分位数之间的关系。由于 $\beta^\theta(\cdot)$ 是未知的, $\beta^\theta(CPU_t)$ 可以用一阶泰勒展开式近似表示为:

$$\beta^\theta(CPU_t) \approx \beta^\theta(CPU^\tau) + CPU\beta^{\theta'}(CPU^\tau)(CPU_t - CPU^\tau) \quad (18)$$

将 $\beta^\theta(CPU^\tau)$ 和 $\beta^{\theta'}(CPU^\tau)$ 重写为 $\beta_0(\theta, \tau)$ 和 $\beta_1(\theta, \tau)$, 则上式变换为:

$$\beta^\theta(CPU_t) \approx \beta_0(\theta, \tau) + \beta_1(\theta, \tau)(CPU_t - CPU^\tau) \quad (19)$$

将式(19)带入式(17)中,可得:

$$jSOI_t = \beta_0(\theta, \tau) + \beta_1(\theta, \tau)(CPU_t - CPU^\tau) + \alpha(\theta)jSOI_{t-1} + v_t^\theta \quad (20)$$

其中, $\beta_0(\theta, \tau)$ 和 $\beta_1(\theta, \tau)$ 为待估系数,与 θ 和 τ 相关,可以捕捉 CPU 的 τ 分位数对溢出效应 θ 分位数的影响。本文沿用 Sim 和 Zhou^[40]方法对模型中的参数进行估计。

四、样本选择与描述性统计

为了确定清洁能源与金属市场之间的联系,本文使用标准普尔全球清洁能源指数(CEI)反映全球清洁能源市场的发展^[41]。标准普尔全球清洁能源指数考虑了 30 家清洁能源相关大型公司的市值变化。考虑到太阳能和风能在清洁能源市场中的作用越来越大,本文选取 MAC 全球太阳能股票指数(SEI)和 ISE 全球风能指数(WEI)^[42]分别代表太阳能和风能市场。其中,MAC 全球太阳能股票指数是

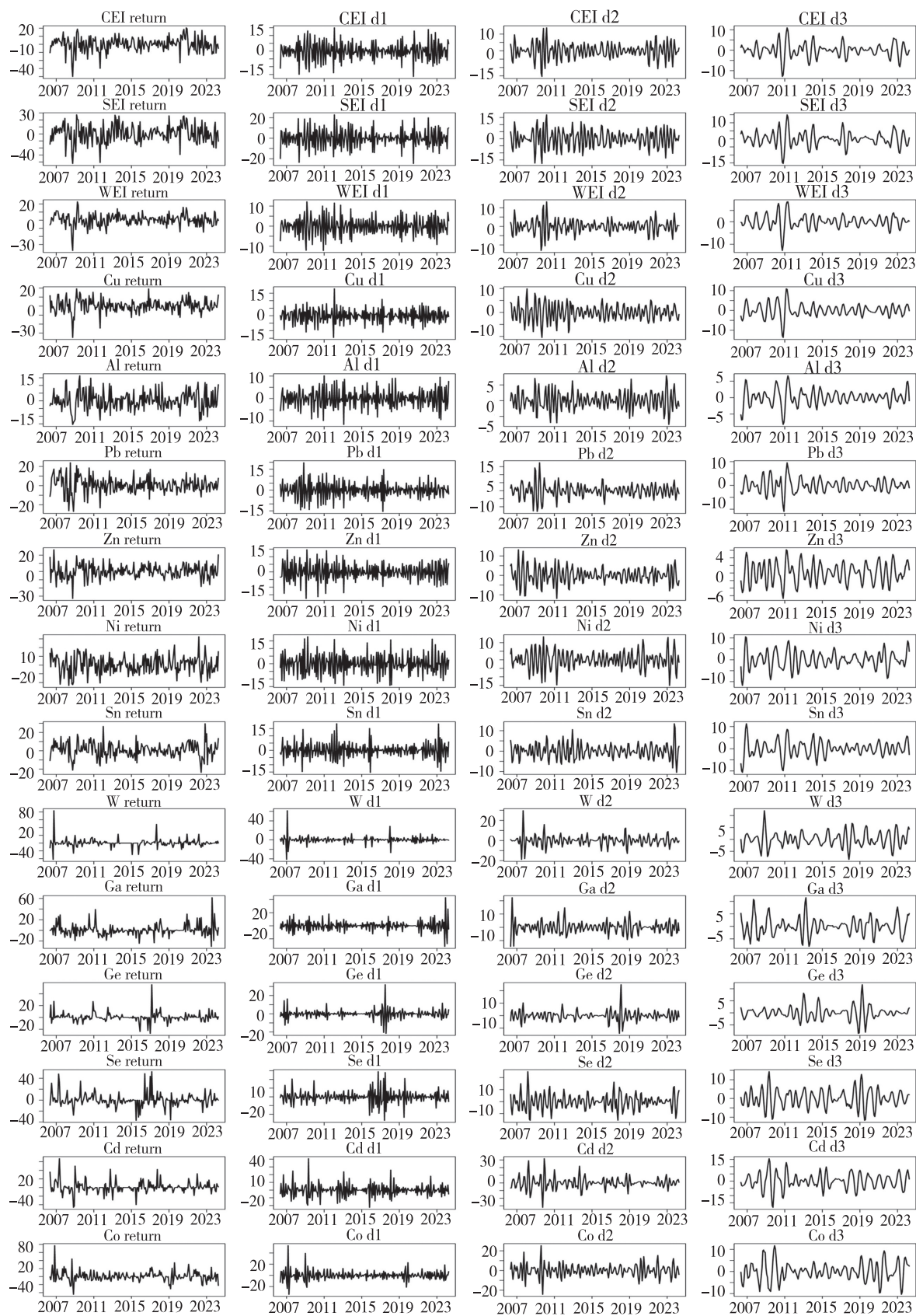
一个多元化的太阳能指数,本研究选取该指数来反映太阳能市场,涵盖整个太阳能相关价值链,并且其是一个基于规则的股票指数,旨在追踪全球太阳能企业的表现。ISE 全球风能指数是用于表征风能市场的指数,其重点在于监测风能领域中涉及上市服务和产品的活跃企业,反映了全球风能行业的整体发展趋势和市场表现。鉴于战略金属对全球实施清洁能源转型的重要性^[43],金属市场不仅包括在伦敦金属交易所交易的主要金属[铜(Cu)、铝(Al)、铅(Pb)、锌(Zn)、镍(Ni)和锡(Sn)]^[44],还包括从伦敦战略金属市场获得的六种关键金属[钨(W)、镓(Ga)、锗(Ge)、硒(Se)、镉(Cd)、钴(Co)]^[45],战略性关键金属矿产资源,在新材料、新能源和信息技术等新兴产业具有不可替代的重大用途^[45],且清洁能源市场对主要金属和关键金属具有显著的溢出效应^[42]。其广泛应用于信息产业、清洁能源等高科技领域。为研究气候政策不确定性(CPU)的影响,本文使用了 Gavrilidis^[4]根据美国主要报纸的新闻开发的 CPU 指数。能源和金属市场数据来源于 Bloomberg 和 Wind 数据库,样本区间为 2006 年 4 月—2024 年 4 月。本文选择所有数据都有记录的时间段。此外,能源和金属市场收益率的计算方法为 $100 \times (P_t - P_{t-1}) / P_{t-1}$,其中 P_t 是指某一指数在 t 日的价格。

表 1 为清洁能源和金属市场中 15 个市场收益率的描述性统计,包括最小值、中位数、均值、最大值、偏度、峰度、标准差、J-B 正态性检验和 ADF 平稳性检验。从标准差指标可知,镉市场收益率序列比其他市场收益率序列的波动更加剧烈。ADF 单位根检验结果表明,清洁能源和金属市场收益率序列均为平稳序列。为更好地研究不同频率下的溢出效应,本文运用 MODWT 方法对清洁能源和金属市场收益率进行分解。考虑到虽然尺度分解越多,信号降噪性越好,但对应的低频成分中信息流失也就越多。本文参考 Zheng 等^[46]做法,对小波做 3 层分解,分别为 d1、d2、d3,代表了投资期限在 2~4 个月、4~8 个月、8~16 个月的细节成分。图 2 展示了清洁能源和金属市场收益率序列和小波多尺度分解结果,可以清楚地看到,各收益序列信号在小尺度下 d1 波动最为强烈,而随着尺度增加,尺度信号逐渐趋于平滑。

表 1 变量描述性统计

统计量 市场	最小值	中位数	均值	最大值	偏度	峰度	标准差	J-B 值	ADF 值
CEI	-39.94	0.46	-0.04	20.55	-0.73	2.21	8.74	65.33***	-5.73***
SEI	-42.23	0.03	0.21	27.33	-0.24	0.29	12.63	2.97	-5.19***
WEI	-37.33	0.92	0.34	22.69	-0.78	3.90	7.12	163.57***	-5.85***
Cu	-34.87	0.17	0.42	19.31	-0.49	2.77	7.07	80.19***	-6.31***
Al	-15.41	-0.25	0.15	16.33	0.17	-0.03	5.97	1.06	-6.02***
Pb	-26.93	0.90	0.62	23.93	-0.15	0.85	8.24	7.86**	-5.30***
Zn	-32.74	0.39	0.28	26.60	-0.11	1.13	8.03	12.71***	-5.84***
Ni	-23.34	0.15	0.48	32.51	0.01	-0.08	9.78	0.03	-5.77***
Sn	-23.63	0.46	0.87	29.52	0.13	0.89	7.88	8.32**	-5.77***
W	-41.94	0.00	0.53	83.33	2.73	26.53	9.82	6 739.67***	-6.43***
Ga	-30.11	0.00	0.82	61.47	1.46	6.30	10.44	444.85***	-5.25***
Ge	-27.03	0.00	0.63	55.56	2.09	17.36	7.23	2 932.04***	-5.43***
Se	-36.96	0.00	0.44	52.17	1.05	5.47	11.62	317.54***	-5.34***
Cd	-46.15	0.00	1.01	67.21	0.90	6.14	12.70	378.62***	-5.88***
Co	-44.26	0.00	0.63	77.14	1.25	7.92	12.13	636.31***	-5.33***

注:***、**、*分别表示在 1%、5%、10%的置信水平上显著。表中展示了清洁能源和金属市场中 15 个市场收益率的描述性统计,包括最小值、中位数、均值、最大值、偏度、峰度、标准差、J-B 正态性检验和 ADF 平稳性检验



注:图中展示了清洁能源和金属市场收益率序列和小波多尺度分解结果,各收益序列信号在小尺度下d1波动最为强烈,且尺度信号随着尺度增加逐渐平滑

图2 清洁能源与金属市场收益率和多尺度分解结果

五、实证结果及分析

首先,本文研究了清洁能源和金属市场的溢出效应及其时变特征。其次,本文通过构建溢出网络,揭示了清洁能源和金属市场间的风险传染路径。最后,运用分位数对分位数回归模型探讨了气候政策不确定性对溢出指数的影响。

(一) 溢出效应

为更好地探讨清洁能源市场与金属市场之间的溢出效应,本文运用基于 TVP-VAR 的联合溢出指数模型对三个频率下的市场溢出效应进行量化。表 2 显示了在不同小波细节下,清洁能源和金属市场在全样本期内的平均溢出效应。结果表明,清洁能源和金属市场之间的总溢出效应平均值在 64.05%~84.4%之间,这意味着系统中包含的 15 个市场之间 60% 以上的变化是由于市场之间的溢出效应引起的。d1 频率下对应于 2~4 个月清洁能源和金属市场的溢出情况,整体来看最主要的风险溢出接收者是清洁能源市场。同时,清洁能源市场和有色金属市场(铜、锌和镍)在向系统内的其他市场传递溢出效应方面也发挥重要作用,有色金属市场中最重要冲击发射器是锌市场,这一结果与 Zhou 等^[44]相似,其他战略金属主要是相应冲击的净接受者。d2 频率下对应于 4~8 个月时期的清洁能源和金属市场的溢出效应,相似的是清洁能源市场仍然是关键的风险溢出接收者,溢出指数均大于 80%。而系统中的溢出效应输出者主要为清洁能源市场和有色金属市场,其中铜市场是有色金属市场中最重要冲击发射器。d3(8~16 个月)频率下结果表明系统中各市场的溢出接受程度明显增加,其中清洁能源市场、铜、铝和锌市场为最主要的风险溢出冲击接收者,其溢出指数均大于 90%。同时,各个市场对外溢出效应更为显著,溢出输出能力更强,特别是清洁能源市场和有色金属市场。相较于 d1 和 d2 频率下的市场溢出效应,铜、锌市场在长期的溢出效应更为显著,其溢出指数分别超过 120% 和 110%。

表 2 平均溢出效应

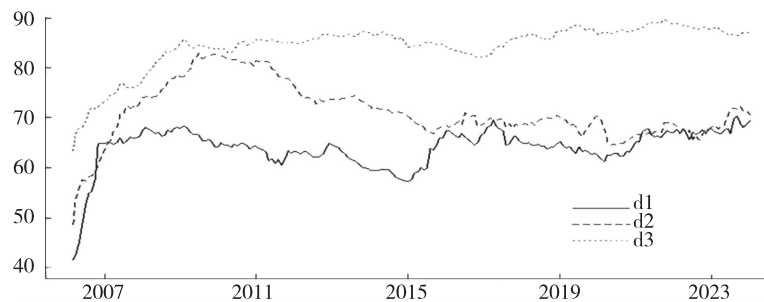
面板	市场 市场	CEI	SEI	WEI	Cu	Al	Pb	Zn	Ni	Sn	W	Ga	Ge	Se	Cd	Co	FROM
		CEI	SEI	WEI	Cu	Al	Pb	Zn	Ni	Sn	W	Ga	Ge	Se	Cd	Co	FROM
面板 A: d1	CEI	5.21	32.99	27.18	4.65	4.74	3.63	2.79	4.83	4.27	2.11	1.64	1.31	1.34	2.35	0.96	94.79
	SEI	33.89	11.79	20.91	5.18	4.42	3.08	2.96	4.52	3.95	1.44	1.8	1.27	1.6	2.41	0.78	88.21
	WEI	25.9	19.11	16.07	5.34	5	3.39	4.14	4.4	5.12	2.37	2.2	1.82	1.21	2.5	1.43	83.93
	Cu	4.12	4.03	4.11	25.67	7.47	6.45	16.57	10.29	6.47	3.55	2.71	2.69	0.98	3.61	1.27	74.33
	Al	4.92	4.49	5.7	7.6	31.35	8.16	11.92	9.45	8.73	1.26	1.74	1.83	0.49	1.38	0.96	68.65
	Pb	4.18	2.78	4.53	7.75	9.45	33.93	13.44	7.09	5.28	2.14	1.7	3.59	1.4	1.51	1.24	66.07
	Zn	3.24	3.27	4.21	12.46	8.59	10.71	27.72	10.21	6.17	1.25	2.81	1.55	1.24	4.14	2.44	72.28
	Ni	3.64	3.8	3.78	10.07	6.27	4.7	10.79	30.26	7.53	3.39	1.6	6.48	1.83	3.94	1.94	69.74
	Sn	4.66	4.35	5.08	5.52	5.69	4.86	8.16	6.89	44.94	1.43	1.05	1.64	1.51	2.53	1.69	55.06
	W	4.08	3.11	3.19	6.08	3.15	3.09	3.43	3.86	2.68	48.02	3.66	5.1	4.12	4.42	2.03	51.98
	Ga	3.01	3.18	3.54	1.8	2.98	2.71	2.17	3.52	1.76	3.78	55.45	5.25	2.07	4.66	4.12	44.55
	Ge	2.42	2.37	2.4	3.18	2.4	3.61	2.06	2.59	3.26	7.96	6.51	50.16	6.66	2.2	2.24	49.84
	Se	2.1	2.6	2.93	1.38	1.25	1.91	2.01	2.27	1.87	6.08	2.59	2.31	60	7.6	3.09	40
	Cd	2.94	2.25	4.25	2.32	2.66	1.37	3.92	3.59	3.11	5.95	3.85	1.89	5.9	53.48	2.54	46.52
	Co	3.45	3.51	3.75	2.58	2.28	1.96	4.98	8.26	3.81	7	2.5	3.89	3.94	2.84	45.26	54.74
	TO	102.53	91.84	95.55	75.9	66.35	59.62	89.33	81.74	64.01	49.71	36.36	40.62	34.3	46.09	26.73	jSOI=64.05

续表2

面板	市场 市场	CEI	SEI	WEI	Cu	Al	Pb	Zn	Ni	Sn	W	Ga	Ge	Se	Cd	Co	FROM
面板 B: $d2$	CEI	5.09	26.32	23.99	5.02	2.97	4.72	4.07	5.44	7.75	4.02	1.71	1.68	2.11	2.98	2.16	94.91
	SEI	30.22	9.56	18.91	3.94	2.72	5.18	3.3	4.92	6.47	4.54	2.63	2.05	1.05	2.44	2.06	90.44
	WEI	26.5	18.57	12.65	4.77	3.99	4.09	3.27	4.53	9.07	1.82	1.43	1.36	1.83	3.85	2.26	87.35
	Cu	4.5	3.89	3.94	24.5	10.49	10.78	15.8	6.42	5.7	2.09	1.92	2.3	1.37	2.06	4.23	75.5
	Al	3.4	3	3.8	11.25	33.7	10.48	12.81	4.76	4.91	2.75	1.19	1	1.83	2.76	2.37	66.3
	Pb	5.91	5.61	4.32	11.23	10.07	21.6	10.87	9.33	6.89	2.97	2.67	2.24	3.53	1.37	1.39	78.4
	Zn	4.02	3.47	3.25	19.54	12.86	11.68	18.24	6.64	6.18	2.86	1.24	2.58	1.5	2.4	3.54	81.76
	Ni	5.81	5.17	4.56	6.17	4.61	8.96	6.65	34.05	6.45	2.49	2.46	2.99	3.09	4.38	2.17	65.95
	Sn	7.37	5.66	8.68	6.23	5	7.27	6.51	6.55	31.18	1.36	1.28	4.13	1.65	4.51	2.63	68.82
	W	8.2	7.61	3.95	2.79	5.33	2.48	3.21	3.13	2.65	33.29	3.34	3.9	13.98	3.08	3.07	66.71
	Ga	5.93	6.01	5.28	4.59	2.41	3.87	3.5	5.38	4.59	3.62	39.23	5	2.56	4.32	3.7	60.77
	Ge	3.94	4.03	2.57	4.36	1.71	2.59	3.71	4.91	6.07	3.98	5.57	46.06	4.08	1.68	4.75	53.94
	Se	6.02	4.29	4.7	2.45	3.48	3.56	2.22	2.87	3.12	10.03	2.94	3.44	36.51	6.17	8.21	63.49
	Cd	4.43	3.8	5.21	2.85	5.27	2.24	4.28	2.32	6.5	4.81	4.02	1.56	9.37	39.76	3.58	60.24
	Co	4.3	3.69	3.58	3.93	3.31	2.9	4.63	3.1	4.66	3.49	2.18	4	6.35	3.4	46.47	53.53
	TO	120.54	101.11	96.74	89.11	74.22	80.8	84.82	70.29	81.02	50.83	34.58	38.23	54.31	45.38	46.12	jSOI= 71.21
面板 C: $d3$	CEI	2.38	24.45	24.58	7.11	7.08	4.89	5.48	3.06	8.27	1.91	1.63	1.94	2.6	1.92	2.71	97.62
	SEI	27.54	2.57	22.54	7.04	6.95	5.1	5.01	2.72	7.67	2.95	1.33	1.44	1.78	2.64	2.72	97.43
	WEI	19.67	16.81	8.74	7.34	8.04	5.22	4.95	6.58	8.59	2.3	1.42	3.08	2.77	1.6	2.91	91.26
	Cu	5.36	4.92	5.52	7.21	11.43	12.36	15.6	8.05	8.79	1.68	2.04	6.48	3.61	3.52	3.45	92.79
	Al	6.96	6.73	6.42	15.34	6.48	13.74	12.94	9.07	8.57	1.87	1.85	2.1	2	3.03	2.91	93.52
	Pb	5.7	5.13	4.59	13.7	9.54	14.56	12.63	6.67	6.76	2.8	1.87	2.65	5.8	4.23	3.38	85.44
	Zn	4.72	4.29	3.38	18.2	11.44	14.69	9.96	6.03	8.35	2.16	2.37	3.8	3.27	3.84	3.49	90.04
	Ni	4.19	4.53	4.57	9.06	10.42	9.28	6.97	15.48	12.99	1.57	5.8	3.36	4.14	3.11	4.54	84.52
	Sn	6.36	5.73	6.62	11.87	9.34	10.6	11.29	6.56	13.42	2.23	3.08	2.42	2.63	2.09	5.76	86.58
	W	6.07	5.22	4.3	3.94	5.14	8.44	7.03	2.6	6	27.09	4.54	3.6	4.57	3.28	8.17	72.91
	Ga	4.81	4.23	3.81	4	5.81	3.01	5.95	8.25	7.1	6.87	26.18	6.53	3.38	3.94	6.15	73.82
	Ge	3.25	2.82	5.72	4.96	3	4.82	5.08	4.41	3.68	8.34	6.18	25.72	8.88	4.26	8.89	74.28
	Se	3.83	3.07	4.3	7.13	5.14	5.42	5.34	9.35	6.12	3.17	3.8	7.07	22.93	5.89	7.45	77.07
	Cd	3.8	3.89	2.86	11.41	7.39	3.95	11.81	3.62	3.75	3.1	3.22	5.43	5.34	26.8	3.63	73.2
	Co	6.56	6.24	4.4	4.34	3.59	5.27	3.84	5.86	2.97	3.34	5	6.97	8.65	8.46	24.53	75.47
	TO	108.81	98.04	103.6	125.43	104.3	106.79	113.92	82.8	99.6	44.27	44.14	56.88	59.4	51.79	66.17	jSOI= 84.4

注: d_j ($j=1,2,3$)表示第 j 层的小波细节,“FROM”表示某一特定市场从所有其他市场获得的总溢出效应,而“TO”表示某一特定市场对所有其他市场的溢出效应,“jSOI”表示总溢出效应。表中展示了在不同小波细节下,清洁能源和金属市场在全样本期内的平均溢出效应,结果表明,清洁能源和金属市场系统中 60% 以上的变化是由于市场之间的溢出效应引起的

然而,溢出效应的平均结果可能会忽略价格和波动性的变动。样本期间发生的一些重大事件,如国际金融危机,会影响清洁能源和金属市场之间的连通性,因此,本文进一步对溢出效应的动态性进行分析。图 3 展示了频域下的动态溢出效应结果。



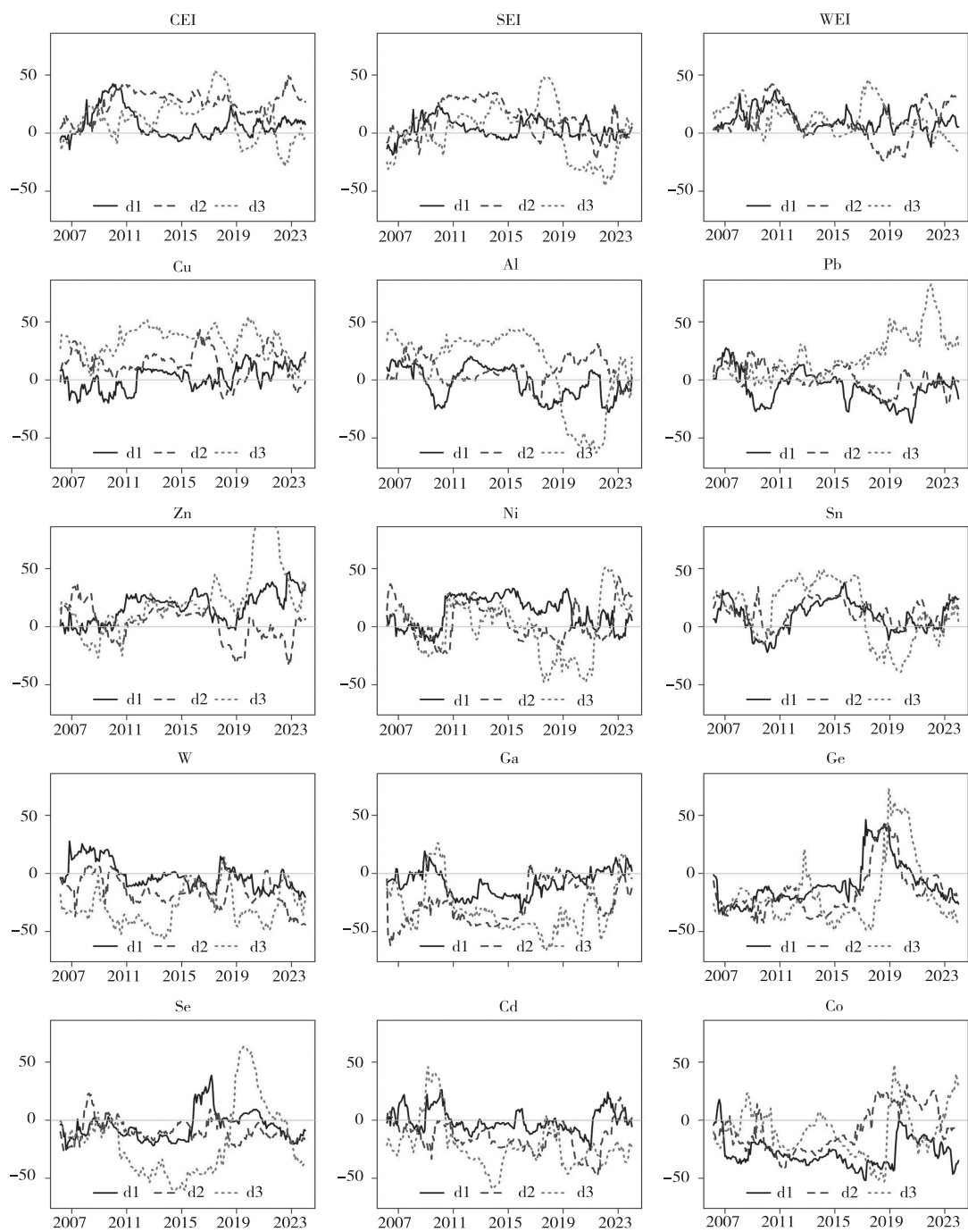
注:参照 AIC 准则,选取的 TVP-VAR 模型最优滞后阶数为 1 阶,预测误差方差分解的期数为 20。图中展示了清洁能源和金属市场之间的动态溢出效应,总溢出指数在 2008—2009 年国际金融危机期间迅速上升

图 3 动态总溢出指数

由图 3 可知,清洁能源和金属市场之间的总溢出效应具有明显的时变特征,并在特定时期具有较高的溢出效应水平,值得注意的是,高的溢出效应通常意味着清洁能源和金属市场之间具有的强烈联动性。总溢出指数在 2008—2009 年全球金融危机期间迅速上升,并在非常高的水平上震荡,长期频率下的溢出效应峰值达到 80% 以上。2009 年年中之后,在短期和中期频率下,总溢出效应趋于下降,并在 2015 年年初前后达到波谷。在那之后,受英国脱欧和中美贸易摩擦等事件影响,清洁能源和金属市场之间的溢出效应开始了新的上升趋势。2020 年新冠疫情的暴发也显著增加了总溢出指数。极端事件冲击似乎加剧了清洁能源和金属市场之间的溢出效应,佐证了金融市场“风险传染”假说。这些结果与现有文献研究结论一致。此外,值得注意的是,在 d3 频率下的清洁能源和金属市场之间的总溢出效应比 d2 和 d1 频率下更加突出。

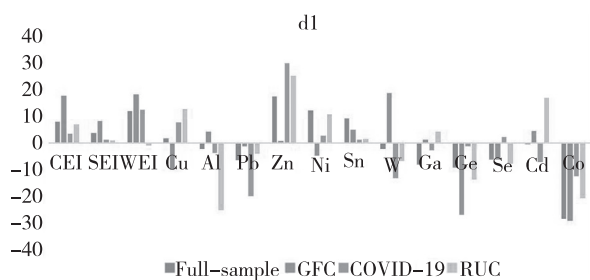
图 4 展示了单个市场净溢出指数的动态估计。首先,这些图显示了 t 时刻对应于净发射器(接收器)角色的正(负)值。清洁能源和有色金属市场在大部分样本期间是冲击的净贡献者。相较而言,样本中关键金属市场是其他市场冲击的净接受者。其次,净方向溢出性在各时间范围内也表现出显著的时间变化。值得注意的是,净溢出效应长期的波动明显比在短期与中期内的波动更剧烈。市场有时在不同的范围内表现为相反的方向。例如,铝市场从 2017 年底开始在 d3 频率下表现为净接收器,这与 d1 和 d2 形成鲜明对比。

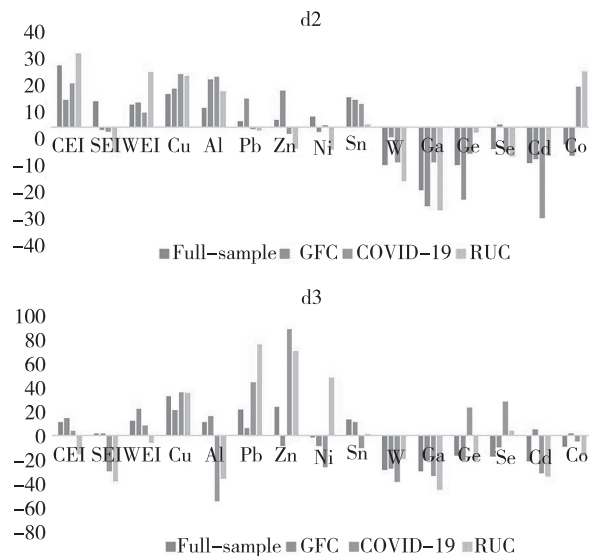
本文进一步对比了 2007 年 7 月—2009 年 12 月国际金融危机(GFC)期间、2020 年 1 月—2022 年 1 月新冠疫情(COVID-19)期间,以及 2022 年 2 月—2022 年 8 月的俄乌冲突(RUC)期间的净溢出效应。图 5 记录了全样本期间以及三个阶段期间的清洁能源和金属市场之间的平均净溢出效应。首先,在俄乌冲突期间,多数市场的净溢出效应比其他时期明显更强。这可能源于俄罗斯是全球重要的金属供应国,其铝、镍等金属出口受限导致全球供应紧张。这种供应中断通过全球贸易链传导,影响了制造业和新能源产业。并且冲突加剧了地缘政治风险,导致投资者对市场的信心下降,进一步放大了市场的波动性。此外,还可以观察到各个市场在不同时期的溢出角色和强度的变化。例如,在 2~4 个月频率中,锌市场是整个样本和新冠疫情期间最关键的贡献者。同时,在俄乌冲突期间,铜市场在短期是清洁能源和金属市场之间溢出的中心。而在国际金融危机期间,战略金属市场扮演最主要的溢出发送者和溢出接收者。其次,在中期频率中,清洁能源和有色金属市场整体上对于风险溢出贡献更为显著。关键金属市场在多数时期扮演溢出接收者,而钴市场在新冠疫情和俄乌冲突期间扮演重要的溢出发射者。最后,值得一提的是,清洁能源市场在长期频率中更多扮演接收者角色,这表明从长远来看,金属市场对清洁能源市场有巨大影响。其中俄乌冲突期间,镍市场在长期频率中净溢出达到 77.43%,这可能是因为俄乌冲突改变了镍市场的供应,导致镍价格大幅波动。



注:绿色水平线表示 $y=0$ 。图中展示了单个市场净溢出指数的动态估计。清洁能源和有色金属市场在大部分样本期间是冲击的净贡献者,而样本中关键金属市场是其他市场冲击的净接受者

图4 动态净溢出指数



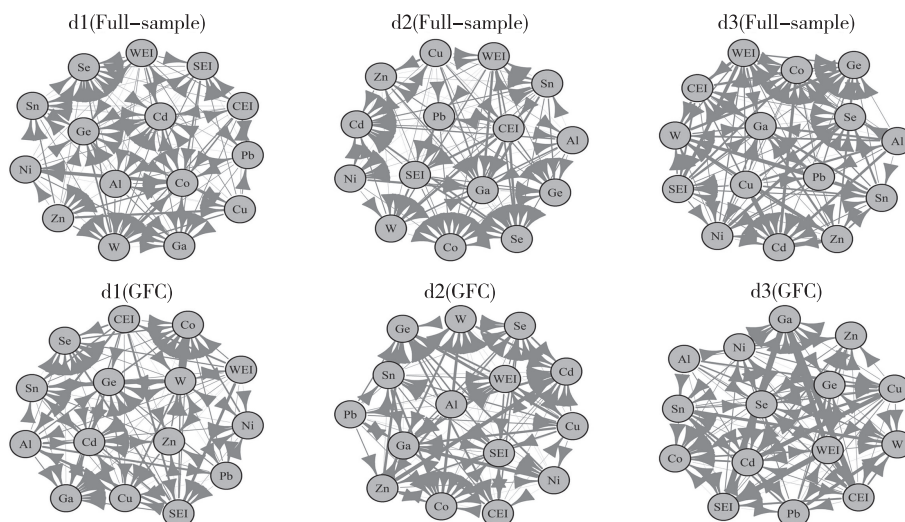


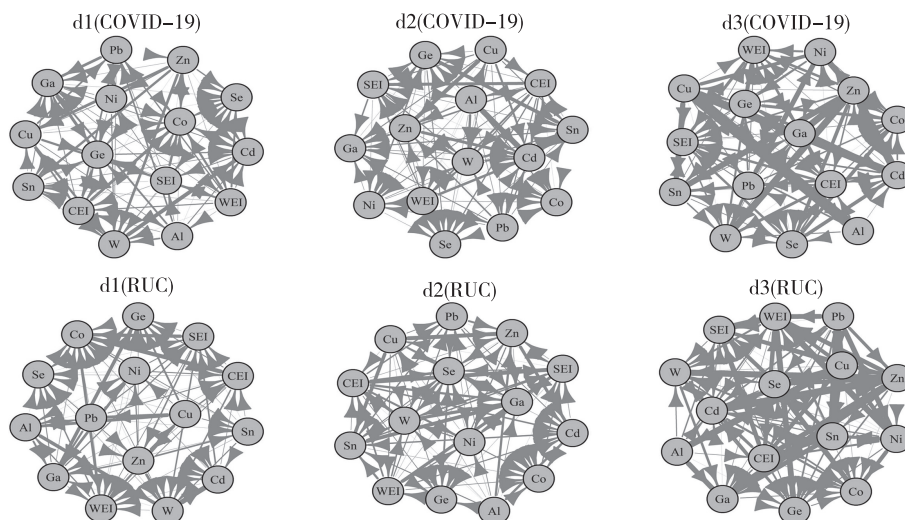
注:该图表示全样本期间以及三个阶段期间的清洁能源和金属市场之间的平均净溢出效应;俄乌冲突期间,多数市场的净溢出效应比其他时期明显更强;在中期频率中,清洁能源和有色金属市场整体上对于风险溢出贡献更为显著

图5 不同时期的净溢出指数

为进一步研究清洁能源与金属市场之间风险的传染路径,本文绘制了 GFC、COVID-19 和 RUC 期间的成对定向净溢出效应网络,如图 6 所示。结果表明,清洁能源和金属市场风险传染网络具有动态时变特征。在国际金融危机时期,金属市场主要位于网络的中心,而新冠疫情和俄乌冲突期间清洁能源市场转为中心位置。从连接线的粗细可以看出,清洁能源和金属市场之间在长期频率中存在更加显著的风险传染效应。

仔细研究图 6 可以发现,清洁能源和有色金属市场是主要的净发射器。相比之下,从整个样本期间的结果来看,有色金属市场是主要的净溢出接受者。俄乌冲突期间的结果表明,在 2~8 个月频率下,铜市场在风险传染中发挥着主导作用,成为其他 14 个市场风险的主要发射器,而太阳能市场在长期(8~16 个月)主要作为风险接受者。为更好地了解每个市场的相对重要性,本文进一步引入了中介中心性、特征向量中心性和 PageRank 中心性。表 3 显示了各中心性值指标最高的市场,结果表明,在不同维度下不同中心度的重要市场存在差异。中心性最高的市场同时包括清洁能源和金属市场。





注:该图显示了 GFC、COVID-19 和 RUC 期间 105 对清洁能源和金属市场之间的定向净溢出效应;节点代表各市场,连接线的粗细表示风险净溢出效应的强度;清洁能源和金属市场风险传染网络具有动态时变特征

图 6 成对定向净溢出效应网络

表 3 网络中心度特征

面板	时期	中介中心性	特征向量中心性	Pagerank 中心性
	中心性			
d1	Full-sample	SEI	CEI	Co
	GFC	Ge	Ni	Co
	COVID-19	SEI	SEI	Co
	RUC	Al	Cu	Co
d2	Full-sample	Ni	CEI	Co
	GFC	SEI	SEI	Co
	COVID-19	Co	CEI	Co
	RUC	SEI	CEI	SEI
d3	Full-sample	Pb	Cu	Co
	GFC	Co	Cu	Co
	COVID-19	CEI	WEI	SEI
	RUC	SEI	Cu	SEI

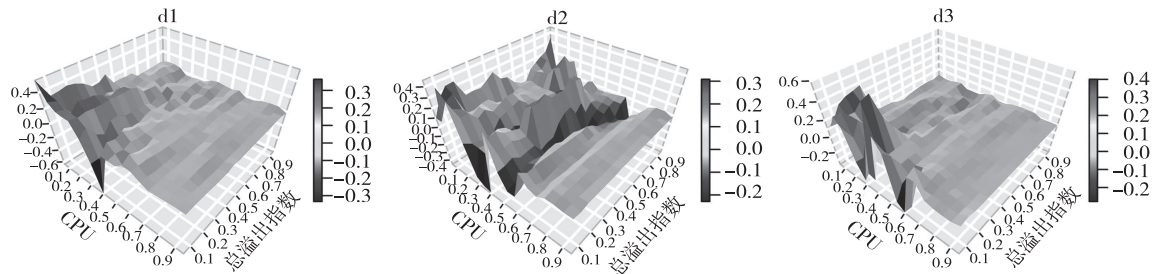
注:表中只显示了不同范围中心性最高的市场;在不同维度下不同中心度的重要市场存在差异;中心性最高的市场同时包括清洁能源和金属市场

(二) CPU 对溢出效应的非对称性影响

由于分位数回归模型忽略了解释变量处于不同状态的可能性,无法揭示自变量对因变量影响的复杂性。为了考察不同市场条件下气候政策不确定性与清洁能源和金属市场连通性之间的关系,本文运用分位数对分位数(QQ)方法,研究气候政策不确定性对清洁能源与金属市场总溢出和净溢出方向的影响。

图 7 展示了气候政策不确定性(CPU)与总溢出指数之间的 QQ 方法响应系数。结果表明,第一,不同分位数的估计系数存在差异,且气候政策不确定性对总溢出指数的影响存在非对称性,即尾部两侧对溢出效应的影响不同。尤其是在 d2 频率下,高分位数下的气候政策不确定性对总溢出指数的影响显著低于气候政策不确定性较低时。当气候政策不确定性程度较大时,其对总溢出的影响相对较小,而较低

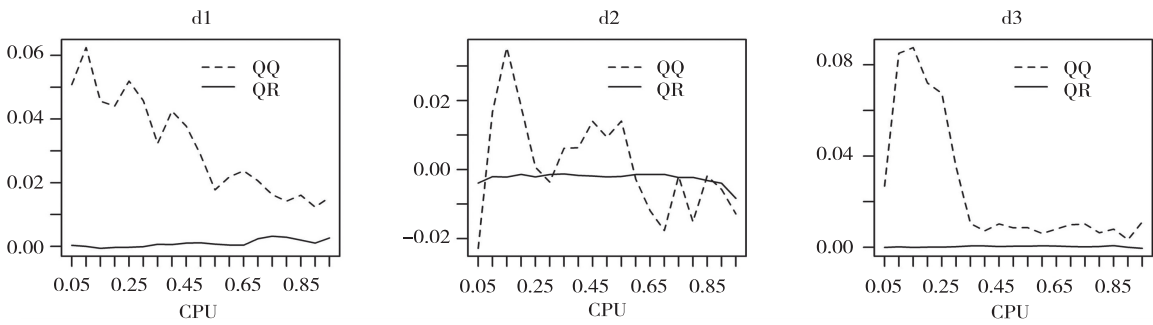
程度的气候经济政策不确定性对不同分位数下的总溢出影响存在显著变化。第二,总溢出指数在 1~4 个月和 8~16 个月期内主要受到 CPU 的正向影响,而在 2~8 个月期间 CPU 对总溢出指数波动十分明显,这可能是因为这是市场对前期预期进行调整的关键阶段,投资者在不确定性中寻找新的平衡点,导致总溢出指数的波动性增加。



注:该图展示了气候政策不确定性(CPU)与总溢出指数之间的 QQ 方法响应系数,Z 轴表示斜率估计值 $\beta_1(\theta, \tau)$ (见公式 20),它体现了气候风险的第 τ 分位数对总溢出效应的第 θ 分位数的影响

图 7 CPU 对总溢出指数的影响

本文通过对比 QR 的估计参数与 QQ 回归的平均参数,如图 8 所示,进一步检验了分位数对分位数方法结果的稳健性。结果表明,分位数回归系数变化相对较小,而分位数对分位数模型表明,在不同的气候政策不确定性状态下,对清洁能源与金属之间总溢出的影响具有差异性,证实了 QQ 模型的有效性。本文进一步研究了 CPU 对净溢出效应的影响,但由于篇幅限制,未展示 d1、d2 和 d3 频率下 CPU 对清洁能源与金属市场的净溢出方向的对冲效应图,若有需要可向作者索取。结果表明,首先,气候政策不确定性对不同市场的净溢出效应在不同分位数下并不一致。例如,气候政策不确定性在 0.3~0.4 分位数之间对清洁能源市场的净溢出产生了更正向的影响,但 2~8 个月的时间频率下在 0.4~0.5 分位数之间表现为更负向消极的影响。其次,CPU 对净溢出效应的影响在不同时期存在差异。如,与 4~16 个月期间的结果相反,CPU 在 d1 频率下对镍市场具有负向影响。最后,CPU 对清洁能源和金属市场的影响不同。如根据 d3 的结果,CPU 对清洁能源市场的影响主要是负向的,而对除 Zn 和 Ge 外的大部分金属市场的影响都是正向的。



注:该图对比了 QR 的估计参数与 QQ 回归的平均参数,检验了分位数对分位数方法结果的稳健性

图 8 QQ 和 QR 的系数比较

六、结 论

本文采用基于 TVP-VAR 的联合溢出方法,并结合 MODWT 模型,研究了清洁能源与金属市场的时频溢出效应,并借助网络分析揭示清洁能源与金属市场风险传染结构与路径,还利用分位数对分位数模型分析气候政策不确定性对清洁能源与金属市场总溢出效应和净溢出效应的影响。

本文的主要结论如下:第一,清洁能源与金属市场之间的溢出效应显著,具有时变和频率变化特征,8~16个月的时间范围主导了清洁能源和金属市场之间的溢出效应。第二,清洁能源市场在清洁能源-金属系统中发挥主导作用,特别是清洁能源和太阳能市场,其中清洁能源和有色金属市场为主要净发射者。第三,气候政策不确定性对总溢出指数的影响具有非对称特征,CPU在不同的时间范围和分位数上对各市场的净溢出效应影响程度不同,这与刘振华等^[47]的发现一致。相较于分位数回归模型,分位数对分位数方法更能反映不同情况下市场间影响的差异。

本文通过深入探究所得出的研究结论,无论是对投资者的决策,还是市场监管机构的政策施行,都有关键意义。第一,投资者衡量溢出效应时,要依据不同时期市场动态把握风险,助力构建投资组合。例如,在政策调整时期,关注政策导向变动引发的价格波动风险溢出,为构建合理投资组合提供精准依据。第二,对于各国政府所代表的市场监管机构,应建立实时的监测体系,通过加强信息披露等手段有效防范风险扩散。第三,考虑到气候政策不确定性对清洁能源、金属体系的冲击,宏观政策制定者需制定气候政策应急预案,模拟市场变化,以稳定市场预期。

综上所述,本研究为投资者构建多元化投资组合提供了实操性指南,为监管机构制定科学气候政策奠定了理论根基,开辟了清洁能源-金属系统研究新视野。未来,还将持续探寻气候政策不确定性对投资组合构建和对冲策略优化的具体影响路径,助力相关领域持续发展。

[参 考 文 献]

- [1] Ye L. The effect of climate news risk on uncertainties[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022;121586.
- [2] 丁时杰,梁治朋,谌金宇. 时频视角下气候政策不确定性与能源、金属市场的溢出效应研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2023(08):2222-2235.
- [3] Xu Y, Li M, Yan W, et al. Predictability of the renewable energy market returns: The informational gains from the climate policy uncertainty[J]. *Resources Policy*, 2022; 103141.
- [4] Gavrilidis K. Measuring climate policy uncertainty[J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2021;3847388.
- [5] Bouri E, Iqbal N, Klein T. Climate policy uncertainty and the price dynamics of green and brown energy stocks[J]. *Finance Research Letters*, 2022;102740.
- [6] Shang Y, Han D, Gozgor G, et al. The impact of climate policy uncertainty on renewable and non-renewable energy demand in the United States[J]. *Renewable Energy*, 2022(09):654-667.
- [7] Liang C, Umar M, Ma F, et al. Climate policy uncertainty and world renewable energy index volatility forecasting[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022; 121810.
- [8] Tang C, Sprecher B, Tukker A, et al. The impact of climate policy implementation on lithium, cobalt and nickel demand: The case of the Dutch automotive sector up to 2040[J]. *Resources Policy*, 2021;102351.
- [9] Nam K. Investigating the effect of climate uncertainty on global commodity markets[J]. *Energy Economics*, 2021; 105123.
- [10] Ding Q, Huang J, Zhang H. 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;102222.
- [11] Algieri B, Leccadito A. Assessing contagion risk from energy and non-energy commodity markets[J]. *Energy Economics*, 2017(02): 312-322.
- [12] Chen Y, Zhu X, Chen J. Spillovers and hedging effectiveness of non-ferrous metals and sub-sectoral clean energy stocks in time and frequency domain[J]. *Energy Economics*, 2022;106070.
- [13] Jiang W, Chen Y. The time-frequency connectedness among carbon, traditional/new energy and material markets of China in pre-and post-COVID-19 outbreak periods[J]. *Energy*, 2022;123320.

- [14] 朱学红,丁倩,谌金宇. 清洁能源与金属市场间时变溢出效应及投资组合策略研究[J]. 运筹与管理,2024(06):165–170.
- [15] Zhu X, Chen Y, Chen J. Effects of non-ferrous metal prices and uncertainty on industry stock market under different market conditions[J]. Resources Policy, 2021;102243.
- [16] Gustafsson R, Dutta A, Bouri E. Are energy metals hedges or safe havens for clean energy stock returns? [J]. Energy, 2021;122708.
- [17] Bianchi R J, Fan J H, Todorova N. Financialization and de-financialization of commodity futures: A quantile regression approach[J]. International Review of Financial Analysis, 2020;101451.
- [18] Uddin G S, Hernandez J A, Shahzad S J H, et al. Characteristics of spillovers between the US stock market and precious metals and oil[J]. Resources Policy, 2020; 101601.
- [19] Elgammal M M, Ahmed W M, Alshami A. Price and volatility spillovers between global equity, gold, and energy markets prior to and during the COVID-19 pandemic[J]. Resources Policy, 2021;102334.
- [20] Diebold F X, Yilmaz K. On the Network Topology of Variance Decompositions; Measuring the Connectedness of Financial Firms[J]. Journal of Econometrics, 2014 (01):119–134.
- [21] Antonakakis N, Chatziantoniou I, Gabauer D. Refined measures of dynamic connectedness based on Time-Varying Parameter Vector Autoregressions[J]. Journal of Risk and Financial Management, 2020(4):84.
- [22] Baruník J, Kehlík T. Measuring the frequency dynamics of financial connectedness and systemic risk[J]. Journal of Financial Econometrics, 2018 (02):271–296.
- [23] Ando T, Greenwood-Nimmo M, Shin Y. Quantile Connectedness; Modeling Tail Behavior in the Topology of Financial Networks[J]. Management Science, 2022(04):2401–2431.
- [24] Umar Z, Jareño F, Escribano A. Oil price shocks and the return and volatility spillover between industrial and precious metals[J]. Energy Economics, 2021;105291.
- [25] Ghosh B, Pham L, Teplova T, et al. COVID-19 and the quantile connectedness between energy and metal markets[J]. Energy Economics, 2022;106420.
- [26] Mandaci P E, Cagli E C, Taskin D. Dynamic connectedness and portfolio strategies: Energy and metal markets[J]. Resources Policy, 2020;101778.
- [27] Alomari M, Mensi W, Vo X V, et al. Extreme return spillovers and connectedness between crude oil and precious metals futures markets: Implications for portfolio management[J]. Resources Policy, 2022; 103113.
- [28] 高祥晓,卢秀茹. 经济政策不确定性对大豆期货市场高质量发展的影响研究:基于 TVP-VAR 和 TVP-VAR-DY 模型[J]. 金融监管研究,2024(04):94–114.
- [29] Lastrapes W D, Wiesen T F P. The joint spillover index[J]. Economic Modelling, 2021(04): 681–691.
- [30] Yahya F, Abbas G, Lee C C. Asymmetric effects and volatility transmission from metals markets to solar energy stocks: Evidence from DCC, ADCC, and quantile regression approach[J]. Resources Policy, 2023;103501.
- [31] 朱学红,李双美,曾安琪. 清洁能源转型下关键金属产业链碳排放研究综述与展望[J]. 资源科学,2023(01):1–17.
- [32] Berezkin M, Degtyarev K, Sinyugin O. Market dynamics of lithium as a key element for modern energy[J]. E3S Web of Conferences,2023;40703002.
- [33] Fuss S, Szolgayova J, Khabarov N, et al. Renewables and climate change mitigation: Irreversible energy investment under uncertainty and portfolio effects[J]. Energy Policy, 2012(07):59–68.
- [34] Kang S H, Yoon S M. Dynamic spillovers between Shanghai and London nonferrous metal futures markets[J]. Finance Research Letters,2016(19):181–188.
- [35] Xing X, Liu Y, Zhu Y, et al. The impact of climate policy uncertainty on China's green energy and non-ferrous metals market co-movement: Evidence from spillover perspectives[J]. Journal of Environmental Management, 2024;121845.
- [36] 隋新,何建敏,李亮. 时变视角下基于 MODWT 的沪深 300 指数现货与期货市场间波动溢出效应[J]. 系统工程, 2015(01):31–38.

- [37] Silvo, D. The Dynamics of Return Comovement and Spillovers Between the Czech and European Stock Markets in the Period 1997 – 2010[J]. Finance a Uver-Czech Journal of Economics and Finance, 2012(04):368–390.
- [38] Balcilar M, Demirer R, Hammoudeh S, et al. Risk spillovers across the energy and carbon markets and hedging strategies for carbon risk[J]. Energy Economics, 2016(54): 159–172.
- [39] Cui J, Maghyereh A. Higher-order moment risk spillovers across various financial and commodity markets: Insights from the Israeli–Palestinian conflict[J]. Finance Research Letters, 2024;104832.
- [40] Sim N, Zhou H. Oil prices, US stock return, and the dependence between their quantiles[J]. Journal of Bank & Finance, 2015 (06):1–8.
- [41] Liu N, Liu C, Da B, et al. Dependence and risk spillovers between green bonds and clean energy markets[J]. Journal of Cleaner Production, 2021: 123595.
- [42] Song H, Wang C, Lei X, et al. Dynamic dependence between main-byproduct metals and the role of clean energy market[J]. Energy Economics, 2022;105905.
- [43] Fu X, Polli A, Olivetti E. High-Resolution Insight into Materials Criticality: Quantifying Risk for By - Product Metals from Primary Production[J]. Journal of Industrial Ecology, 2019 (02):452–465.
- [44] Zhou Y, Wu S, Zhang Z. Multidimensional risk spillovers among carbon, energy and nonferrous metals markets: Evidence from the quantile VAR network[J]. Energy Economics, 2022;106319.
- [45] 翟明国, 吴福元, 胡瑞忠, 等. 战略性关键金属矿产资源: 现状与问题[J]. 中国科学基金, 2019(02):106.
- [46] Zheng B, Zhang Y W, Qu F, et al. Do rare earths drive volatility spillover in crude oil, renewable energy, and high-technology markets? —A wavelet-based BEKK-GARCH-X approach[J]. Energy, 2022;123951.
- [47] 刘振华, 丁志华, 段钊平. 气候政策不确定性会加剧能源市场间极端风险溢出吗? [J]. 系统工程理论与实践, 2023 (06):1651–1667.

Research on the Spillover Effect of Clean Energy and Metals Markets under Climate Policy Uncertainty

Zhou Yuqin Liu Xin

(School of Economics and Management, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: In the process of responding to climate change, climate policy uncertainty has become an important inducement of risk contagion among financial markets. In this paper, we use MODWT and TVP-VAR-based joint spillover index model to study the correlation between the clean energy market and the metal market, and further explore the impact of different quantiles of climate policy uncertainty on the different distributions of total and static spillovers by using the cutting-edge quantile to quantile regression method. The results show that there is a significant dynamic spillover effect between the clean energy and metal markets, and the main manifestations are long-term spillovers, in which the clean energy and non-ferrous metals markets are mainly the spillover exporters, and the strategic metals markets are the main spillover recipients. The impact of climate policy uncertainty on the spillover effects of clean energy and metals markets is time-varying and asymmetrical, and the impact is higher during the downturn of the market state. The findings of the study can provide an empirical basis for investors to build diversified portfolios and for regulators to formulate climate policies.

Keywords: climate policy uncertainty; clean energy; spillover index; quantile to quantile regression

[责任编辑:左福生]