

运用分位数模型探究 气候政策与能源市场间的系统性风险： 来自中国碳约束政策市场的启示

刘玉荣¹

1 澳门科技大学, liu.yurong@nidec.com

摘要：气候变化带来显著系统性风险，碳约束政策正在重塑能源市场结构与稳定性。本文考察中国气候风险指数（CPU）、碳政策市场（CEA）与传统及清洁能源市场之间的关联，采用分位数时频溢出模型进行分析。主要结果表明：首先，在极端市场波动下，系统性风险溢出增强，且在上行市场条件下更为显著；其次，高波动上行情景中短期溢出占主导，而在正常或下行市场情景下长期溢出更为突出；最后，在极端上行波动下，原油市场是主要风险传导者，而在正常市场条件下清洁能源市场表现出更高稳定性。上述发现可为政策制定者与投资者在风险缓释、组合优化与能源转型推进方面提供参考。

关键词：碳约束政策，气候风险，能源市场

1 引言

气候变化是全球性重要议题，各国通过碳定价、碳交易等碳约束制度加以应对^[1]。此类政策直接影响能源市场结构与行为机制，并对传统化石能源与新能源产业产生影响。理解相关制度下的系统性风险，有助于把握气候政策对市场的系统性冲击，并为国家层面的气候行动提供参考^[2]。气候政策不确定性是影响能源市场的重要因素，选取气候不确定性指数与碳市场价格等关键变量，考察其对中国能源市场的影响，有助于评估政策稳定性、降低市场风险并促进政策实施。

现有研究表明，随着气候变化加速，极端天气事件与自然灾害不断扰动能源市场价格，在传统能源领域，原油价格波动显著受到此类事件与人类活动影响^[3]。同时，能源市场与碳交易市场之间的联系日益紧密，极端事件会强化两者之间的溢出效应^[4]。为实现碳中和，传统能源向可再生能源转型加速，关于碳价驱动因素以及碳市场与新能源市场关系的研究亦迅速增加。然而，既有文献主要集中在发达国家的气候风险与碳市场研究，对中国情境关注不足，形成明显知识缺口；在实证层面，既有研究多依赖传统风险评估模型，往往难以刻画风险传导与溢出效应的复杂性^[5]，同时大量研究聚焦发达能源市场，导致针对中国能源市场独特动态的证据不足^[6]。在气候不确定性上升、市场稳定性承压的背景下，中国在实现“双碳”目标与能源市场转型过程中，需要厘清气候政策不确定性、碳市场与能源市场之间的风险传导机制^[7]；作为主要能源消费国，中国碳市场与传统及新能源市场之间的动态关系仍存在研究不足。为此，本文引入气候不确定性指数、碳市场价格以及能源市场指标（包括原油与焦煤期货等），并采用条件分位数溢出指数模型，分析上述指标间的相互作用关系。

本文的边际贡献主要包括：通过整合气候风险、碳约束政策市场以及传统与新能源市场指标，构建系统性风险溢出分析框架；引入气候政策不确定性（CPU）指数以量化气候变化对能源与碳

作者简介：刘玉荣，澳门科技大学商学院博士生。

市场的影响,并利用分位数频域溢出模型刻画不同市场状态下的跨市场风险传导机制,识别不同波动条件下风险溢出的时变与非线性特征,并通过识别关键风险来源与传导路径,为政策制定与市场参与者提供可操作启示。

2 理论框架

2.1 方法选取

溢出指数方法最初源自广义 VAR 框架,并采用滚动窗口动态来分析市场之间随时间变化的溢出指数^{[8][9]}。随后,该方法通过引入更丰富的技术得到扩展,例如纳入时频维度的 BK 溢出模^[10],可将时域溢出指数进一步划分为高、中、低等多个频域。

另一方面,分位数溢出指数方法能够同时考虑不同冲击规模与方向下市场间风险溢出的强度,用以度量极端冲击情形下变量之间的溢出关系。基于时变参数向量自回归(TVP-VAR)的溢出指数方法可避免样本损失并改善滚动窗口方法的局限,但现有基于 TVP-VAR 的分位数溢出模型容易在各分位水平出现不合理的完全收敛结果^[11]。因此,本文采用分位数时频溢出指数方法。

2.2 数据选择、预处理与描述性统计

本文考察气候变化风险、中国碳约束政策、两类传统能源商品以及四类清洁能源的风险联结关系。首先,以气候政策不确定性指数(CPU)作为气候变化风险的代理变量,该指数由 Gavriilidis 构建^[12],基于“climate change、uncertainty、greenhouse gases”等关键词衡量政府气候政策不确定性,数据来自 policyuncertainty.com。其次,以中国全国碳市场交易价格(CEA)作为中国碳约束政策的代理变量;中国碳交易体系自 2013 年建立区域试点碳市场以来取得显著成效^[13]。在传统能源方面,选取中国原油期货(SC)与中国焦煤期货(JM)代表传统能源;在清洁能源方面,选取风电(WIND)与光伏(PV)行业,同时纳入新能源汽车(NV)与储能(ES)等清洁能源衍生产业。各商品价格与市场指数数据来自 CSMAR 数据库。在对样本序列时间进行对齐后,本文使用的样本区间为 2021 年 7 月 16 日至 2023 年 12 月 28 日。本文对八个变量序列进行对数变换,并在 CPU 之外的七个市场变量上计算收益率,采用 GARCH(1,1)计算波动率后进一步构建时间序列模型。

3 实证分析

3.1 动态溢出效应分析

本文首先采用基于滚动窗口的分位数频域溢出方法,滚动窗口设为 150 日,并使用 1 阶(AIC)广义误差方差分解及 21 期预测步长。在此基础上,本文将样本市场在 0.1 至 0.9 不同分位条件下的时域风险溢出结果进行扩展,以获得不同分位下市场联结关系的整体图景。

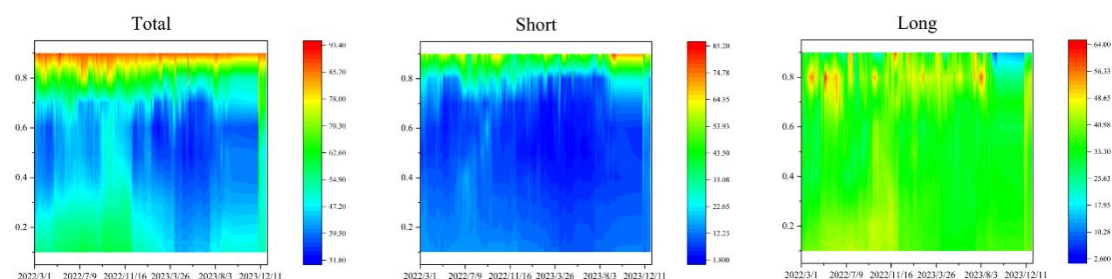


图1 分位样本市场中的总风险溢出效应

(注: Short: 短期内各分位的总溢出效应; Long: 长期内各分位的总溢出效应)

图 1 的热力图从时域、短期与长期三个维度展示了不同分位的时间变化总溢出效应;结果表明,各频域下市场风险溢出强度在右尾显著更强,说明在气候风险上升或市场剧烈冲击时期,更

易发生风险共振并形成系统性风险；同时，长期风险溢出强度整体高于短期，表明长期波动可能随时间累积并带来更持久的风险影响。为进一步刻画不同市场状态下的动态溢出效应，本文选取代表性分位：正常状态（0.5 分位）以及极端状态（0.95 分位与 0.05 分位）进行比较分析。

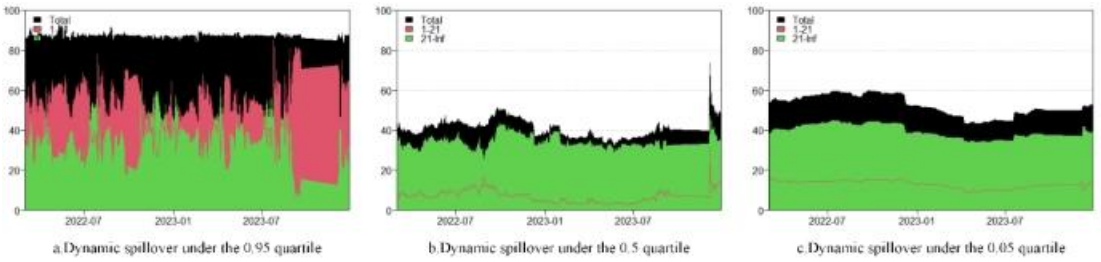


图2 频域中的总溢出效应

基于图 2 可见，极端分位下的总溢出效应均高于正常状态，表明波动的极端变化会导致风险溢出增强；不同分位下总溢出效应存在显著不对称性，0.95 分位下总溢出效应强度持续高于 80%，显著高于 0.5 与 0.05 分位。值得注意的是，在极端上行波动（0.95 分位）下，短期溢出显著强于长期溢出，表明风险在短期内更快反应并传导，而长期效应占比下降。此外，样本在正常与下行情景下的溢出更具时变性；总溢出效应在 2022 年末及 2023 年末呈更明显上升趋势，这些时段对应重要气候事件以及俄乌冲突等重大国际事件。总体而言，频域与分位结果共同表明溢出效应具有时变与非线性特征；从分位角度看，右尾风险溢出强于左尾；本文样本在极端上行波动条件下呈现短期溢出占主导的特征。

3.2 风险溢出网络分析

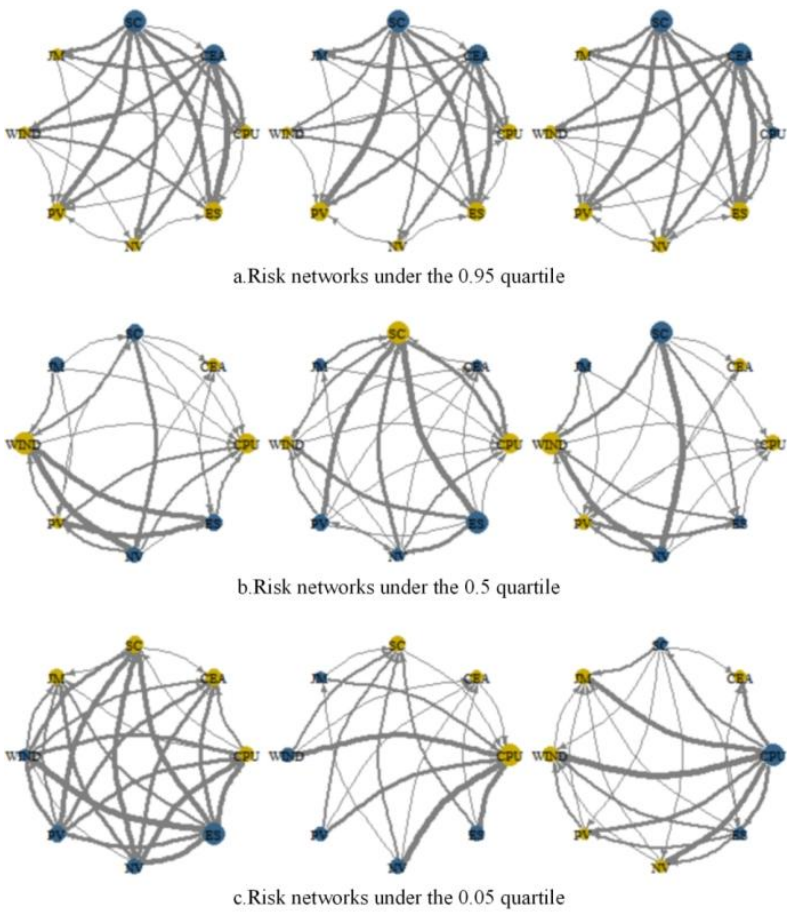


图3 不同分位数条件下的风险溢出网络

为更具体刻画样本内部的风险传导规律,本文结合复杂网络思想构建气候风险、中国碳约束政策与能源市场之间的复杂溢出网络(图3)。为突出主要溢出路径,本文设定 0.1%的阈值并省略低于 0.1%的净风险溢出路径;网络从时域、短期与长期频域展示联结结构,节点颜色区分角色:蓝色为“风险输出者”,黄色为“风险接受者”,连线方向表示净溢出方向,线宽表示净溢出强度。不同分位下网络结构反映了高、中、低波动条件下风险传导特征的变化。以节点颜色区分,SC(原油期货)在各分位下均为蓝色节点并表现为主要风险输出者,而 CPU(气候政策不确定性指数)在所有网络中均为黄色节点并表现为主要风险接受者。

在 0.95 分位下,网络更为集中,原油与碳市场是主要风险输出者,其溢出效应显著影响焦煤期货以及清洁能源中的 PV 与储能;储能行业作为主要风险接受者,受到原油与碳市场的显著风险传导,表明在高波动条件下储能等新兴市场更易受传统能源与碳市场剧烈波动影响;同时,气候风险指数仅在长期网络中表现为净风险溢出,其主要溢出对象为 PV 与储能,反映清洁能源行业对气候风险波动的韧性弱于传统能源行业。在中等波动(0.5 分位)下,网络联结度较低;传统能源(SC、JM)以及新能源汽车(NV)与储能(ES)表现为较强的净风险输出者,而风电与 PV 以及中国碳交易市场主要为风险接受者;从频域划分看, PV 与中国碳交易市场在短期具有更强的风险溢出能力,而原油期货市场的风险溢出影响主要体现在长期;气候风险因素在整体分位水平下并未成为净风险溢出的主导因素。在 0.05 分位(极端下行波动)下,风险溢出效应较 0.5 分位显著增强,网络节点作用趋于均衡;传统与清洁能源角色发生转换,整体上清洁能源部门占主导,传统能源与碳交易市场转为风险接受者,尤其是原油市场;短期内焦煤市场具有一定净风险输出能力,但在长期中气候风险成为最主要风险输出者,其波动风险对碳市场、传统能源(焦煤)以及清洁能源(风电、光伏、新能源汽车)产生更全面影响。

综上,不同分位下风险网络揭示:传统能源原油市场在多数情形下具有系统性主导地位,并在极端上行波动条件下对其他市场产生显著影响;气候风险因素主要体现在极端波动变化的长期影响;以碳交易市场为代表的碳约束政策仅在极端高波动情形下呈现显著风险主导;清洁能源部门在上行波动条件下更多表现为主要风险接受者,而在正常与低波动条件下表现出更高的独立性与稳定性。

4 结论与政策启示

本文使用分位数时频溢出模型考察中国气候风险(CPU)、碳约束政策市场(CEA)与能源市场之间的系统性风险溢出特征。主要结论如下:第一,气候风险、碳约束政策与能源市场之间的溢出效应呈现时变性与非线性特征;从分位角度看,在市场剧烈波动时期系统性风险溢出加剧,且右尾溢出显著强于左尾;从频域角度看,在高波动上行阶段短期溢出占主导,而在正常市场与极端下行波动阶段长期溢出更为突出。

第二,在风险溢出网络中,传统能源市场(尤其原油)在极端上行波动时期对其他市场产生显著溢出冲击;相较之下,清洁能源部门在正常或下行波动时期表现出更强的市场独立性与稳定性。气候风险因素主要在高波动时期体现出长期影响,而碳约束政策市场仅在高波动情景下表现出更强的主导作用。

上述发现对政策制定者与投资者具有启示意义。针对高波动条件下碳市场与传统能源市场之间显著的风险联结,建议基于实时数据引入多层级风险预警系统,并通过设置波动阈值、在波动超过预警值时自动触发风险限制措施(如交易限额、价格熔断、动态保证金机制等),以降低系统性风险。在碳市场与清洁能源市场协同发展方面,需要提升清洁能源行业的风险规避能力。建议开发更多金融衍生品,帮助风电与光伏行业对冲因碳市场波动带来的政策或价格风险;同时,通过政策激励支持企业引入长期碳对冲策略(如购买长期碳配额合约)以锁定成本、降低短期波动影响。

参考文献:

- [1] Wu R,Li M,Liu F,et al.Adjustment strategies and chaos in duopoly supply chains:The impacts of carbon trading markets and emission reduction policies[J].International Review of Economics and Finance,2024,95103482-103482.
- [2] Guangcheng M,Jiahong Q,Yumeng Z.Does the carbon emissions trading system reduce carbon emissions by promoting two-way FDI in developing countries? Evidence from Chinese listed companies and cities[J].Energy Economics,2023,120.
- [3] Jun W,Xin-Xin Z,Chun-Ping C.The impact of extreme events on energy price risk[J].Energy Economics,2021,99.
- [4] Jianhui L,Xuehong Z,Jinyu C.Dynamic spillovers across oil,gold and stock markets in the presence of major public health emergencies[J].International Review of Financial Analysis,2021,77.
- [5] Huwei W,Chien-Chiang L,Fengxiu Z.How does fiscal policy uncertainty affect corporate innovation investment? Evidence from China's new energy industry[J].Energy Economics,2022,105.
- [6] Nicholas S.Towards a carbon neutral economy:How government should respond to market failures and market absence[J].Journal of Government and Economics,2022,6.
- [7] Dong,H.,Liu,Y.,Zhao,Z.,Tan,X.,& Managi,S.Carbon neutrality commitment for China:from vision to action[J].Sustainability Science,2022,17(5),1741-1755.
- [8] Diebold X F,Yilmaz K.Better to give than to receive:Predictive directional measurement of volatility spillovers[J].International Journal of Forecasting,2012,28(1):57-66.
- [9] Diebold X F,Yilmaz K.On the network topology of variance decompositions:Measuring the connectedness of financial firms[J].Journal of Econometrics,2014,182(1):119-134.
- [10] Jozef B,Tomáš K.Measuring the Frequency Dynamics of Financial Connectedness and Systemic Risk*[J].Journal of Financial Econometrics,2018,16(2):271-296.
- [11] Bonaccolto G,Caporin M,Iacopini M.Extreme time-varying spillovers between high carbon emission stocks,green bond and crude oil:Comment[J].Energy Economics,2024,132107469.
- [12] Gavriilidis,K.Measuring Climate Policy Uncertainty.SSRN Scholarly Paper,2024.
- [13] A.J B,E.G M,R.M Y.Does weather,or energy prices,affect carbon prices?[J].Energy Economics,2020,(prepublish):105016.

Exploring Systemic Risk Between Climate Policy and Energy Markets Using a Quantile-Based Model: Evidence from China's Carbon- Constrained Policy Market

Liu Yurong¹

¹ Macau University of Science and Technology, liu.yurong@nidec.com

Abstract: Climate change poses significant systemic risks, and carbon constraint policies are reshaping the energy market structure and stability. This thesis researches the linkages among China's Climate Policy Uncertainty (CPU) index, the Carbon Emission Allowance (CEA) market, traditional energy markets and clean energy markets, based on a quantile time-frequency spillover model. The main findings are as follows: First, under extreme market fluctuations, systemic risk spillovers intensify, and are more pronounced during bullish market conditions. Second, in high-volatility bullish scenarios, short-term spillovers dominate, whereas in normal or bearish market scenarios, long-term spillovers become more prominent. Finally, under extreme bullish volatility, the crude oil market acts as the primary risk transmitter, while under normal market conditions, clean energy markets demonstrate greater stability. These findings can provide insights for policymakers and investors in risk mitigation, portfolio optimization, and advancing the energy transition.

Keywords: Carbon Constraint Policy, Climate Risk, Energy Markets