

国际油价对中国能源金属金融市场高阶尾部依赖影响

何 佳, 马昕乐*

同济大学经济与管理学院, 上海

收稿日期: 2025年12月10日; 录用日期: 2026年1月9日; 发布日期: 2026年1月19日

摘 要

随着全球能源市场波动加剧, 国际油价对中国能源金属金融市场的高阶矩尾部关联性及风险传导机制产生了显著影响。本研究基于2005~2024年每日数据, 采用高阶矩风险测度、分位数VAR网络和分位数对分位数回归等方法, 构建涵盖传统能源、新能源与金属市场的多维体系, 系统分析国际油价在不同分位数下对收益率、波动率、偏度和峰度尾部关联的动态效应。结果显示, 能源金属市场收益分布呈“尖峰厚尾”和显著偏态, 风险传导呈“U形”结构, 极端情况下总溢出指数高达80%~90%; 传统能源和有色金属是净溢出源, 而新能源和稀土是净接收者。国际油价的极端波动对尾部关联性具有明显非对称效应。研究结论可为可持续投资组合构建、绿色能源风险管理提供重要参考。

关键词

绿色金融, 国际油价, 高阶矩, 尾部关联性, 非对称影响

The Impact of International Oil Prices on the Higher-Order Tail Dependence of China's Energy-Metal Financial Markets

Jia He, Xinle Ma*

School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai

Received: December 10, 2025; accepted: January 9, 2026; published: January 19, 2026

Abstract

As global energy market volatility intensifies and China advances its sustainable energy transition,

*通讯作者。

文章引用: 何佳, 马昕乐. 国际油价对中国能源金属金融市场高阶尾部依赖影响[J]. 可持续发展, 2026, 16(1): 318-331.
DOI: 10.12677/sd.2026.161037

international oil prices exert significant influences on the higher-moment tail dependence and risk transmission of China's energy-metal financial markets. Using daily data from 2005~2024, this study employs higher-moment risk measures, quantile VAR networks, and quantile-on-quantile regression to construct a multi-dimensional framework covering traditional energy, new energy, and metal markets. We analyze the dynamic effects of oil prices on tail dependence in returns, volatility, skewness, and kurtosis across different quantiles and capture time-varying spillovers under major events through rolling-window estimation. The results reveal fat-tailed and skewed return distributions, a U-shaped spillover pattern, and extreme-state total spillovers reaching 80%~90%. Traditional energy and base metals act as net transmitters, while new energy and rare earths are net receivers. Extreme oil price shocks show clear asymmetry, with crashes weakening low-tail dependence and surges strengthening high-tail dependence. These findings provide important evidence for sustainable portfolio construction, green-energy risk management, and policymaking in support of China's energy transition.

Keywords

Green Finance, International Oil Prices, Higher-Order Moments, Tail Dependence, Asymmetric Effects

Copyright © 2026 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

近年来, 全球能源市场正经历前所未有的剧烈波动, 全球公共卫生危机、金融危机等重大突发事件频发, 深刻重塑能源市场格局[1]。如图 1 显示, 2008 年全球金融危机导致油价从高位迅速回落, WTI 原油期货价格从 147 美元/桶的高点跌至 2009 年初的 33 美元/桶; 2020 初期, 油价一度跌至负值[2]。这些不仅直接影响了能源行业的生产成本与收益, 还通过产业链传导和市场预期波及新能源和金属行业, 显著加剧了全球能源金融市场的系统性风险[3]。在全球能源转型和碳中和目标的推动下, 传统能源与新能源及相关金属的交互作用日益复杂, 国际油价的波动对全球及区域能源市场的尾部风险传导机制提出新挑战[4]。

中国作为全球最大的能源进口国和能源金属市场的重要参与者, 其能源金属行业在国际油价波动下呈现出显著的复杂性和非线性特征[5]。传统能源行业作为基础资源, 直接受油价波动的冲击, 其价格变化通过上下游产业链传导至新能源和金属行业[6]-[8]。同样结合图 1 可以看出, 2020 年疫情期间, 中国能源企业指数与国际油价的共同波动显著增强, 而 2022 年俄乌冲突进一步加剧了传统能源、新能源及金属行业间的尾部风险关联, 凸显了多行业、多维度风险传导的复杂性[9]。因此, 系统分析国际油价对中国能源金属行业高阶矩尾部关联性的影响, 有助于揭示风险传导的动态机制。

现有研究在能源金属市场风险传导方面虽有积累, 但仍存在明显局限。传统研究多基于均值-方差框架分析油价与能源金属市场的关系, 聚焦于收益率和波动率(二阶矩)的线性影响, 忽视了收益分布的偏度(三阶矩)和峰度(四阶矩)等高阶矩特征[10]-[12]。此外, 尽管分位数方法在捕捉尾部风险方面显示出优势, 但现有研究多集中于单一行业或市场, 缺乏多行业、多维度视角下油价非对称影响的综合分析, 难以全面揭示风险传导的非线性机制[13] [14]。这些不足限制了对能源金属市场复杂动态的理解, 亟需引入高阶矩风险测度和分位数方法进行更精细化的分析。

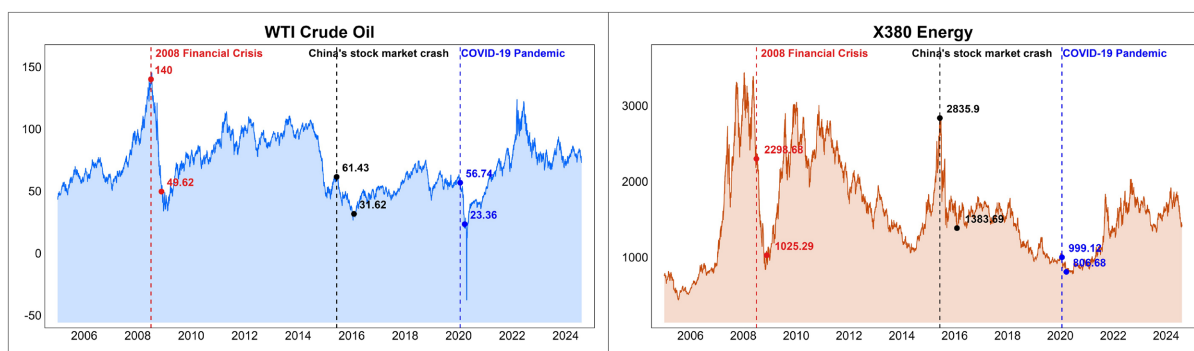


Figure 1. Volatility of international oil prices and China's energy sector index during major events

图 1. 重大事件下国际油价和中国能源行业指数的波动

2. 文献综述

能源行业与金属行业的联动关系及风险传导机制始终是能源经济学与金融研究的核心议题。随着全球能源价格波动加剧与金融市场国际化程度提升,国际油价作为关键变量,其对能源行业与金属行业的影响呈现出非线性、非对称特征,尤其在极端市场状态下的高阶矩风险传导愈发受到关注。

2.1. 研究方法

传统风险测度仅能捕捉资产收益的二阶矩信息,难以反映能源行业中常见的极端事件和尾部风险。Wang [15]指出,能源和金属行业资产收益分布呈现显著的尖峰厚尾和偏态特征,因此需要引入高阶矩进行分析[16]。Chu 等[17]提出的 GARCHSK 模型将条件偏度和峰度纳入动态框架,允许风险测度随时间变化。该模型已被应用于能源行业,以捕捉行业压力期间波动性、偏度和峰度的动态演化[18]。这些研究强调了高阶矩在理解能源金属行业尾部风险动态中的重要性,尤其是在油价冲击背景下。

尾部风险是指极端事件发生时资产收益出现大幅波动的可能性。Liu [19]强调,传统的风险度量方法难以充分反映极端市场条件下的尾部风险关联,因此需要引入新的方法来捕捉跨市场的风险传导机制[20] [21]。广义预测误差方差分解(GFEVD)方法被用于量化行业间的溢出强度,从而构建总溢出指数(TSI)、定向溢出指数(SI)和净溢出指数(NSI)等指标[22]。这些指标有助于识别系统性风险的主要来源和接收者,并揭示不同市场状态下风险传导路径的变化[23] [24]。

2.2. 研究视角和结论

早期关于国际油价对中国能源金属行业影响的研究主要集中在油价波动对传统能源行业(如石油、煤炭)的价格传导效应上[25]。Broadstock 等[26]指出,国际油价的上涨会显著提高中国能源类上市公司的生产成本,从而对股价产生负面影响。此外,一些学者通过构建多因子模型分析了油价波动与其他宏观经济变量之间的相互作用,并发现油价变化不仅直接影响能源行业的表现,还会通过产业链传导间接影响其他相关行业(如金属和化工行业)的表现[27]。然而,多数研究大多基于均值-方差框架,未能充分捕捉极端市场条件下的尾部风险关联。随着能源金属行业的复杂化,越来越多的研究开始关注油价波动对新能源行业的影响。研究表明,国际油价的上升通常会推动可再生能源的投资需求,因为高油价促使投资者寻求替代能源[28]。然而,这种关系并非线性且存在明显的时变特征。例如,在油价剧烈波动时期,新能源行业可能表现出更强的风险传染效应,这与其技术成熟度低、市场波动性高等特点密切相关[29]。

尽管已有大量研究探讨了国际油价与中国能源金属行业的关系,但仍存在一些空白。首先,大多数研究聚焦于均值和方差(二阶矩)框架,较少关注偏度(三阶矩)和峰度(四阶矩)等高阶矩指标在能源金属行

业中的动态演化。能源市场因其“尖峰厚尾”和非对称特征, 极端事件频发, 高阶矩的时变特性对捕捉尾部风险至关重要, 但现有研究较少将其系统整合入风险传导分析中。其次, 尽管分位数向量自回归(QVAR)模型和分位数对分位数(QoQ)回归方法在分析尾部风险溢出方面显示出优势, 但现有研究多集中于单一市场或行业的尾部风险, 缺乏对中国能源金属市场多行业和多维度尾部关联的综合分析, 尤其是在极端油价波动下的动态非对称影响。

3. 方法和数据

3.1. 高阶矩风险测度

能源和金属资产收益率的分布呈现显著的非正态特征, 表现为尖峰厚尾性与偏态性, 表明极端收益事件发生的概率显著高于正态分布的预期[30]。在能源和金属行业风险分析中, 一阶矩(均值)和二阶矩(方差)仅能描述收益的中心趋势和波动程度, 而高阶矩(三阶矩偏度、四阶矩峰度)可捕捉收益分布的非对称性和厚尾特征, 其对能源金属类高波动行业尤为关键[31]。

3.1.1. 一阶矩: 均值(Average)

$$\mu_m = E[r_m] = \frac{\sum_{t=1}^T r_{m,t}}{T} \quad (1)$$

其中, $r_{m,t}$ 为第 m 个行业在第 t 期的收益率, T 为样本期长度, $E[\cdot]$ 表示期望算子。

3.1.2. 二阶矩: 方差(Variance)

方差是衡量传统行业风险的核心指标, 反映行业的波动性风险, 但无法刻画波动的非对称性和极端尾部风险。计算公式为:

$$h_m = \sigma_m^2 = E[(r_m - \mu_m)^2] = \frac{\sum_{t=1}^T (r_{m,t} - \mu_m)^2}{T-1} \quad (2)$$

其中, σ_m^2 为方差, μ_m 为均值。若 σ_m^2 较大, 表明收益波动剧烈, 行业风险较高; 若 σ_m^2 较小, 反映收益稳定性较强, 风险较低。

3.1.3. 三阶矩: 偏度(Skewness)

偏度可衡量收益分布的不对称性。在能源行业中, 油价暴跌常导致左偏特征加剧, 因此偏度可作为极端风险方向的重要指示器。计算公式为:

$$s_m = \frac{E[(r_m - \mu_m)^3]}{\sigma_m^3} \quad (3)$$

其中, r_m 为第 m 个行业的收益率序列, μ_m 为均值, σ_m 为标准差, $E[\cdot]$ 表示期望算子。若 $s_m > 0$, 分布呈右偏(正收益尾部更厚), 表明极端上涨风险更高; 若 $s_m < 0$, 分布呈左偏(负收益尾部更厚), 反映极端下跌风险更显著。

3.1.4. 四阶矩: 峰度(Kurtosis)

峰度可用于刻画分布的厚尾程度, 计算公式为:

$$k_m = \frac{E[(r_m - \mu_m)^4]}{\sigma_m^4} \quad (4)$$

若 $k_m > 3$, 分布呈“尖峰厚尾”(leptokurtic), 意味着极端收益发生的概率高于正态分布, 与能源金属行业频繁出现的“黑天鹅”事件特征一致; 若 $k_m = 3$, 分布接近正态分布; 若 $k_m < 3$, 则为“平峰薄尾”(platykurtic)。

3.2. 分位溢出测度

为揭示国际油价与中国能源金属行业在不同市场状态下的风险传导机制, 本研究引入分位数视角下的溢出测度方法, 重点刻画极端分位数的跨市场溢出强度[38]。

3.2.1. 分位数向量自回归模型设定

构建包含国际油价与中国能源金属行业变量的 M 维分位数向量自回归(QVAR)模型, 以刻画不同分位数 $\tau (\tau \in (0,1))$ 下变量间的动态关联, 模型形式如下:

$$X_t = c(\tau) + \sum_{k=1}^p B_k(\tau) X_{t-k} + \varepsilon_t(\tau), t = 1, 2, \dots, T \quad (5)$$

其中, X_t 表示能源金属行业收益率、条件方差、偏度、峰度的向量; $c(\tau)$ 为分位数 τ 下的常数项向量; $B_k(\tau)$ 为滞后 k 期的系数矩阵, 反映不同分位数下第 k 期滞后变量的影响强度; $\varepsilon_t(\tau)$ 为残差项, 满足分位数约束条件 $Q_\tau(\varepsilon_t(\tau) | X_{t-1}, \dots, X_{t-p}) = 0$, 即残差在给定滞后信息集下的 τ 分位数为 0。滞后阶数 p 通过 AIC 准则确定, 以平衡模型拟合优度与简洁性。

3.2.2. 向量移动平均过程与冲击传导

为解析分位数冲击的动态传导路径, 将 QVAR 模型转化为无限阶向量移动平均(MA)过程:

$$X_t = \mu(\tau) + \sum_{s=0}^{\infty} \Psi_s(\tau) \xi_{t-s}(\tau) \quad (6)$$

其中, $\mu(\tau) = \left(I_N - \sum_{k=1}^p B_k(\tau) \right)^{-1} c(\tau)$ 为长期均值向量; $\Psi_s(\tau)$ 为冲击响应系数矩阵, 当 $s < 0$ 时, $\Psi_s(\tau) = 0$;

当 $s = 0$ 时, $\Psi_s(\tau) = I_N$; 当 $s > 0$ 时, $\Psi_s(\tau) = \sum_{k=1}^{\min(s,p)} B_k(\tau) \Psi_{s-k}(\tau)$ 。

3.2.3. 广义预测误差方差分解

为量化行业间的溢出强度, 采用广义预测误差方差分解(GFEVD)方法, 消除变量排序对结果的干扰。对于预测期 H , 第 n 个行业对第 m 个行业的溢出贡献度为:

$$\theta_{mn}(\tau, H) = \frac{\sigma_{nn}^{-1} \sum_{h=0}^{H-1} (e_m' \Psi_h(\tau) \sum e_n)^2}{\sum_{h=0}^{H-1} (e_m' \Psi_h(\tau) \sum \Psi_h(\tau)' e_m)} \quad (7)$$

其中, e_m 为第 m 个元素为 1、其余为 0 的选择向量; Σ 为残差项的方差矩阵; σ_{nn} 为 Σ 的第 n 个对角线元素。对上述贡献度进行归一化处理:

$$\tilde{\theta}_{mn}(\tau, H) = \frac{\theta_{mn}(\tau, H)}{\sum_{n=1}^M \theta_{mn}(\tau, H)} \quad (8)$$

3.2.4. 溢出指数构建

基于归一化的 GFEVD 结果, 计算总溢出指数(TSI)、定向溢出指数(SI)和净溢出指数(NSI)等三类溢出指数。

$$TSI(\tau) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1, n \neq m}^M \tilde{\theta}_{mn}(\tau, H)}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \tilde{\theta}_{mn}(\tau, H)} \times 100 \quad (9)$$

$$TO_{m \rightarrow n}(\tau) = \frac{\sum_{n=1, n \neq m}^M \tilde{\theta}_{nm}(\tau, H)}{\sum_{n=1}^M \tilde{\theta}_{nm}(\tau, H)} \times 100 \quad (10)$$

$$FROM_{m \leftarrow n}(\tau) = \frac{\sum_{n=1, n \neq m}^M \tilde{\theta}_{mn}(\tau, H)}{\sum_{n=1}^M \tilde{\theta}_{mn}(\tau, H)} \times 100 \quad (11)$$

$$NSI_i(\tau) = TO_{m \rightarrow n}(\tau) - FROM_{m \leftarrow n}(\tau) \quad (12)$$

其中, 总溢出指数(TSI)用于衡量系统整体的跨行业溢出强度, 其指数越高, 表明分位数 τ 下行业间整体关联越强。定向溢出指数(SI)包括传出溢出(TO)与传入溢出(FROM), 分别衡量某一行业对其他行业的溢出贡献与接收的溢出强度。净溢出指数(NSI)反映行业的净传导地位, 若 $NSI_i(\tau) > 0$, 表明该行业为净溢出源, 反之则为净溢出接收者。

3.3. 分位数对分位数回归

本研究采用 Sim 和 Zhou [32]提出的分位数对分位数回归方法, 将分位数回归与非参数技术相结合, 深入探究国际油价的分位数如何影响中国能源金属行业高阶矩尾部关联性的条件分位数, 以刻画两者在不同市场状态下的动态关联特征。

假设中国能源金属行业高阶矩尾部关联性的总溢出指数(TSI)的 τ 分位数(TSI_t^τ)是国际油价(Oil_t)的函数, 基础模型设定为:

$$TSI_t^\tau = \beta^\tau(Oil_t) + \alpha^\tau \cdot TSI_{t-1} + v_t^\tau \quad (13)$$

其中, v_t^τ 为误差项, 且其 τ 分位数为 0; α^τ 为滞后项系数, 控制尾部关联性的动态持续性; $\beta^\tau(\cdot)$ 为未知函数, 反映国际油价对 TSI^τ 分位数的影响, 其形式需进一步拓展以体现油价不同分位数的作用。

为捕捉国际油价不同分位数(θ)对 TSI 不同分位数(τ)的异质性影响, 对未知函数 $\beta^\tau(Oil_t)$ 在国际油价的 θ 分位数(Oil^θ)处进行一阶泰勒展开近似:

$$\beta^\tau(Oil_t) \approx \beta^\tau(Oil^\theta) + \frac{\partial \beta^\tau(Oil_t)}{\partial Oil_t} \Big|_{Oil_t = Oil^\theta} \cdot (Oil_t - Oil^\theta) \quad (14)$$

令 $\beta_0(\tau, \theta) = \beta^\tau(Oil^\theta)$, 即为截距项, 反映油价处于 θ 分位数时对 TSI^τ 分位数的基础影响;

$\beta_1(\tau, \theta) = \frac{\partial \beta^\tau(Oil_t)}{\partial Oil_t} \Big|_{Oil_t = Oil^\theta}$ 即为斜率项, 反映油价偏离 θ 分位数时对 TSI^τ 分位数的边际影响, 则模型可改写为:

$$TSI_t^r = \beta_0(\tau, \theta) + \beta_1(\tau, \theta) \cdot (Oil_t - Oil_t^\theta) + \alpha^\tau \cdot TSI_{t-1} + v_t^\tau \tag{15}$$

该模型通过 $\beta_0(\tau, \theta)$ 和 $\beta_1(\tau, \theta)$ 两个系数, 同时捕捉国际油价的 θ 分位数(如极端低位、正常波动、极端高位)与中国能源金属行业高阶矩尾部关联性的 τ 分位数(如弱关联、中等关联、强关联)之间的非线性关系。通过估计不同 θ 和 τ 组合下的系数, 可系统揭示国际油价在不同市场状态下对中国能源金属行业高阶矩尾部关联性的非对称影响, 为分析极端油价波动与极端市场关联之间的动态传导机制提供量化工具。

3.4. 据来源与描述性统计

本研究在变量选择上, 国际油价冲击以 WTI 原油期货价格为代表, 其作为全球原油行业定价的重要基准, 具有广泛的市场影响力和代表性[33]。对于中国能源金属行业, 选取传统能源(原油、煤炭、天然气、水力发电)、新能源(光伏、风能)[34]及与能源产业密切相关的金属品种(有色金属、贵金属、稀土)对应的申万行业指数作为代理变量[35]。申万行业指数因其覆盖范围广、行业划分细致, 能够有效反映特定行业的整体市场表现, 是衡量行业景气度和市场波动的重要指标[36]。为构建连续的时间序列, 对于能源及金属行业指数, 选取各指数的每日收盘价, 并通过滚动调整的方式处理指数成分股变动等问题, 确保数据的连续性和可比性。所有数据均来源于 Wind 数据库, 该数据库提供的金属数据具有较高的准确性和完整性, 被广泛应用于学术研究和市场分析中[37]。样本区间设定为 2005 年 1 月 4 日至 2024 年 8 月 6 日, 此区间涵盖了多个重大经济与地缘政治事件。根据收集的样本数据, 运用对数差分法计算行业收益率, 确保收益率的标准化, 便于不同行业之间的比较, 收益率描述性统计结果, 见表 1。

Table 1. Descriptive statistics
表 1. 描述性统计

变量	均值	最值	偏度	峰度	标准差	JB test	ADF
Oil	0.01	9.39	-0.42	3.94	1.78	3149.76***	-15.89***
Coal	0.02	13.54	-0.20	2.69	2.32	1438.27***	-15.63***
Gas	0.02	11.76	-0.45	3.88	2.31	3067.94***	-16.39***
Hydropower	0.04	7.96	-0.40	5.70	1.48	6410.11***	-15.35***
Photovoltaic	0.01	9.50	-0.58	3.02	2.41	2025.54***	-15.79***
Wind	0.02	11.74	-0.52	3.11	2.32	2090.18***	-15.26***
Nonferrous Metals	0.03	9.18	-0.41	2.39	2.29	1241.01***	-15.74***
Precious Metals	0.04	10.98	-0.17	2.07	3.28	848.49***	-16.57***
Rare Earths	0.08	18.95	0.18	2.02	3.29	817.99***	-16.11***
Oil	0.01	9.39	-0.42	3.94	1.78	3149.76***	-15.89***
Coal	0.02	13.54	-0.20	2.69	2.32	1438.27***	-15.63***

注: JB 表示 Jarque 和 Bera (1980)正态性检验。ADF 为 Dickey 和 Fuller (1979)单位根检验。LM (30)为 ARCH-LM 检验统计量, 用于检验高达 30 阶的 ARCH 效应。***, **和*分别表示在 1%、5%和 10%显著性水平下显著。

4. 实证结果与分析

为系统剖析中国能源与金属行业的风险传导特征, 本研究从静态与动态双维度展开实证分析。运用 GARCHSK 模型精准测度各行业的条件方差、偏度与峰度, 发现不同行业在波动、尾部非对称及厚尾特征上存在显著异质性, 映射出多元信息传递规律。

4.1. 静态溢出

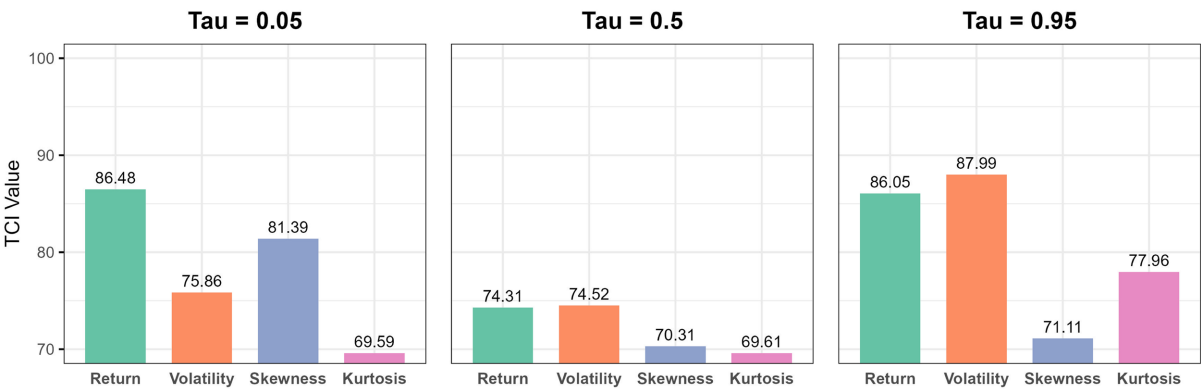
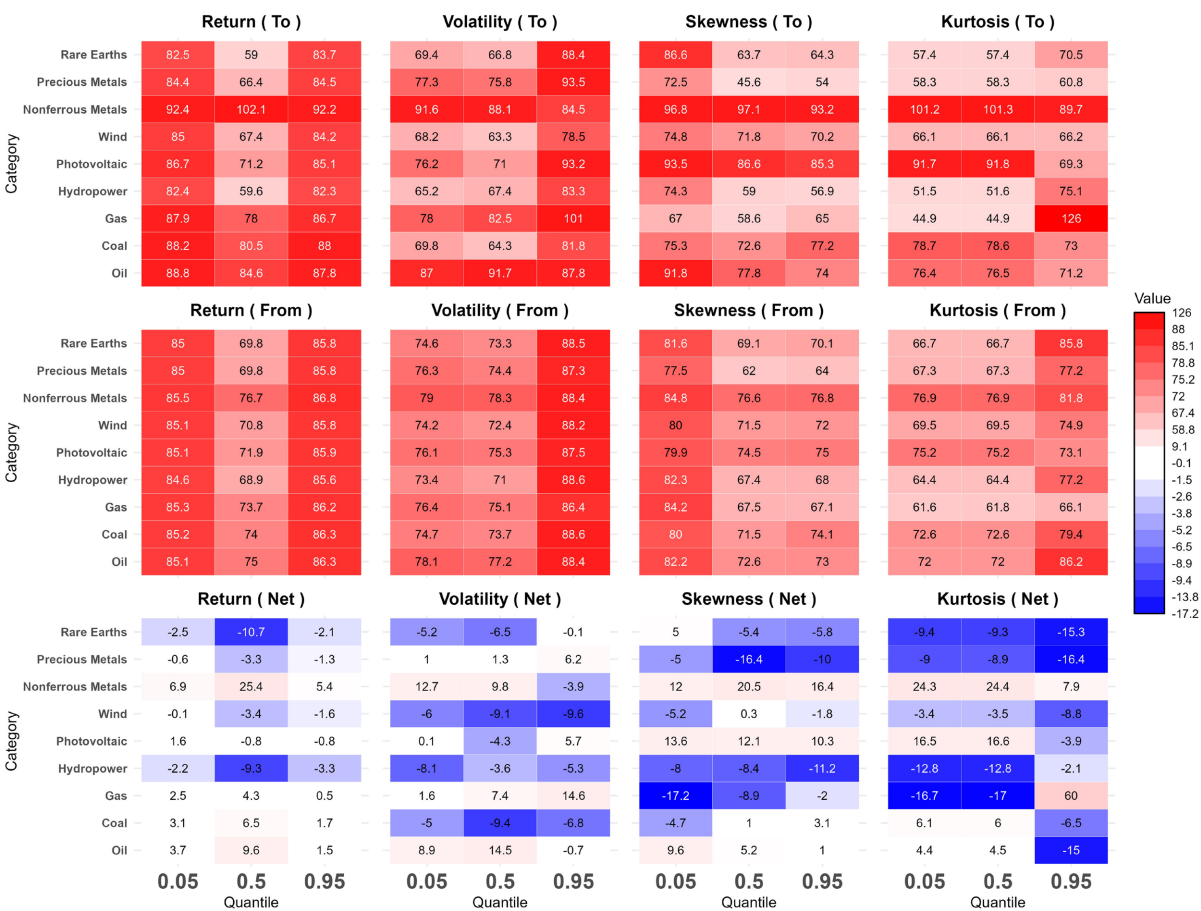


Figure 2. Total spillover index of returns, volatility, skewness, and kurtosis
图 2. 收益率、波动率、偏度和峰度的总溢出指数



注：对于每个分位数，提供总溢出指数(由术语“TSI”表示)，每个行业接收的定向溢出(由“FROM”表示)和传输的定向溢出(由“TO”表示)，净溢出指数(NSI)等于传出溢出(TO)减去传入溢出(FROM)，若 $NSI_i(\tau) > 0$ ，表明该行业为净溢出源；反之则为净溢出接收者。

Figure 3. Static return spillover connectivity
图 3. 静态收益率溢出连通性

图 2 呈现了收益率、波动率、偏度和峰度在不同分位数下的总溢出指数, 直观展示了各维度风险溢出的整体强度差异。结果显示, 总溢出指数呈现显著的“U 形”分布特征, 极端分位数($\tau = 0.05$ 和 0.95)的总溢出指数普遍高于中间分位数($\tau = 0.5$), 如收益维度在 $\tau = 0.05$ 和 0.95 时的总溢出指数分别为 86.48 和 86.05, 显著高于 $\tau = 0.5$ 时的 74.32; 波动维度在 $\tau = 0.95$ 时达 87.99, 远高于 $\tau = 0.5$ 时的 74.52, 表明行业间溢出关联程度在极端市场状态下显著增强, 体现出典型的尾部风险集聚现象。这一发现对中国能源金属行业的政策制定和风险管理具有深远影响, 表明常规市场条件下设计的风险模型严重低估极端情况下的系统性风险, 投资者需调整资产配置策略以应对行业尾部风险的非线性放大效应, 而监管机构则应关注跨行业风险传导渠道, 构建更具韧性的监管框架。

图 3 通过 QVAR 模型揭示了不同行业在极端和中性市场状态下的多维风险溢出结构。总体来看, 传统能源和有色金属行业在收益率、波动率、偏度及峰度风险溢出中均发挥着核心的传导作用, 是系统性风险的主要净溢出源。新能源和稀土行业主要作为风险的净接收者, 承受来自传统能源和金属行业的尾部风险传导。此外, 极端市场状态下的溢出强度明显高于中位数, 说明尾部风险传递具有显著的非对称性和加强效应。这些结果反映出中国能源金属行业多市场、多维度风险溢出的复杂动态特征, 为理解国际油价及传统能源价格波动对新能源和金属行业风险影响提供了详实的实证支撑。

4.2. 静态网络溢出分析

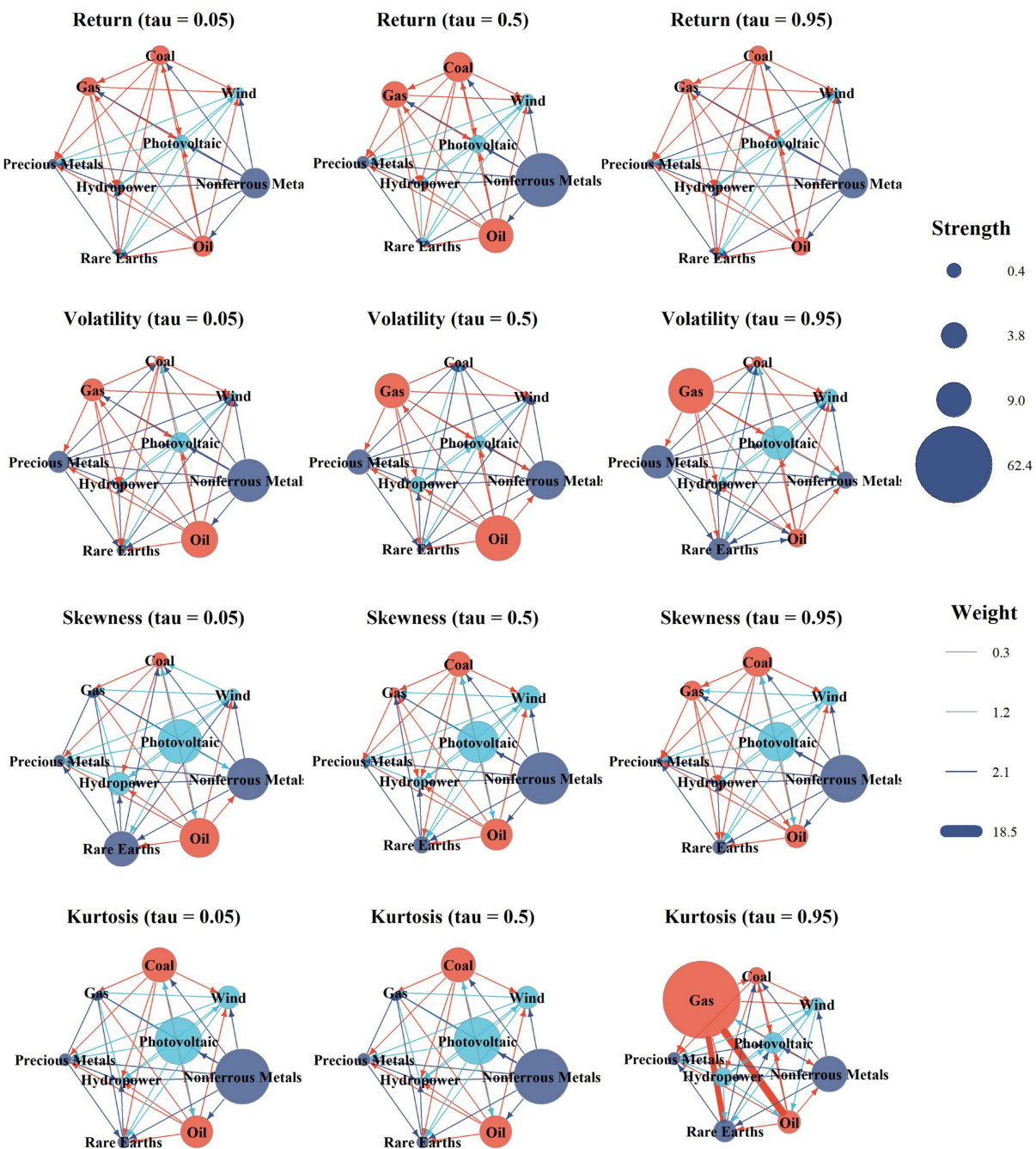
图 4 通过 QVAR 模型构建的静态溢出关联网络, 直观呈现了中国能源金属行业各子行业在不同高阶矩风险指标及不同市场状态下的风险溢出结构, 其节点大小反映行业净溢出累积量, 边的粗细体现行业间净对向连接强度, 箭头方向指示净溢出方向。中国能源金属行业在不同分位数下呈现出稳定且差异化的风险溢出特性, 形成了明确的层级化传导结构。从整体来看, 不同行业因产业属性、驱动因素及发展阶段的差异, 在风险传导中扮演着“主导溢出”“被动接收”等不同角色, 且此种角色在极端和中性市场状态下保持一致。该种结构化特征不仅为投资组合管理提供了风险对冲思路, 也为能源政策制定和金属监管提供实证依据。通过关注核心溢出源、推动多元化能源结构, 可提升系统抗风险能力。

从具体行业表现来看, 各细分行业在不同分位数下展现出稳定的固有特性。有色金属行业在各分位数下均保持最强的溢出传导作用, 对整体系统贡献最为显著。有趣的是, 其溢出效应在中间分位数时反而高于极端分位数, 不完全符合典型尾部风险特征。这种现象源于有色金属广泛应用于多元产业, 使其市场表现受全球经济形势、工业需求和地缘政治等多维因素综合调节, 在极端市场环境这些因素相互制衡, 使有色金属市场波动相对平稳。光伏行业在所有分位数下溢出贡献均处于较低水平, 反映了其作为新兴产业的特质。光伏行业规模相对有限、技术成熟度仍在发展阶段, 导致其对系统性风险的传导能力较弱。贵金属行业同样呈现较低的溢出贡献, 凸显其独特的金属避险属性。贵金属价格波动主要受全球金属市场稳定性、货币政策及投资者风险偏好主导, 这些驱动因素与能源市场的基本面存在显著差异, 使其在整体系统中保持相对独立性。此细分行业的差异化特征为构建韧性投资组合提供了理论基础, 投资者可利用贵金属和新能源行业的相对独立性平衡有色金属和传统能源行业的高溢出风险, 同时也为中国能源转型过程中的产业政策提供了重要参考, 表明推动新能源市场发展不仅有助于实现碳减排目标, 还可提升整体能源系统的抗风险能力。

5. 国际油价对溢出效应的非对称性影响

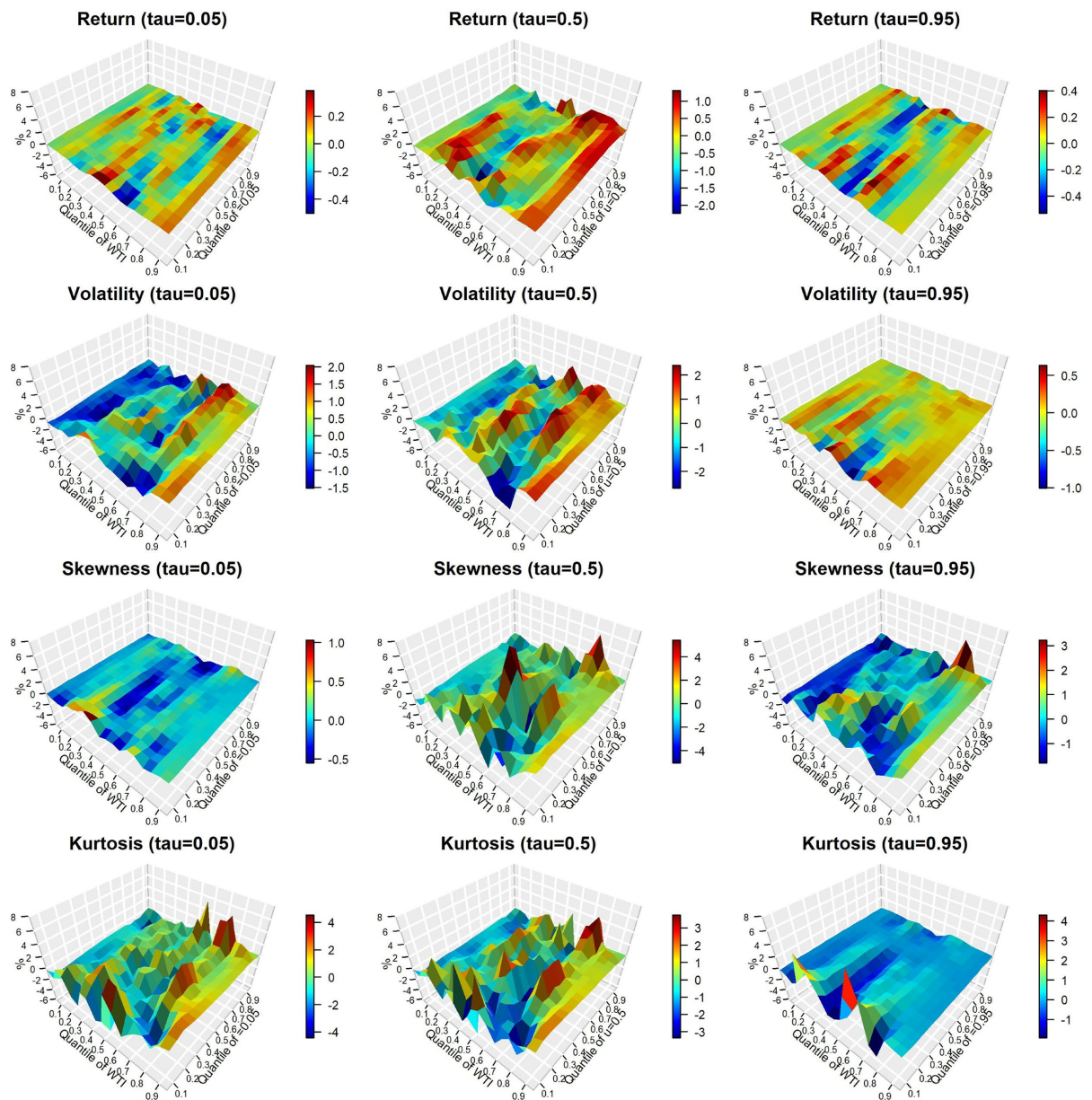
图 5 通过分位数对分位数回归模型, 直观揭示国际油价在不同市场状态下对中国能源金属行业高阶矩尾部关联性的非对称动态影响。从图中可以看出, 国际油价的极端波动状态(靠近 0.05 的暴跌和 0.95 的暴涨)对行业尾部关联性的影响尤为显著且具有明显非线性特征。在油价极端低位时, 行业高阶矩尾部关

联处于较弱到中等水平的分位数阶段, 受到显著的负向影响, 表明油价暴跌倾向于削弱行业中低强度的风险关联, 导致部分行业风险传导渠道暂时减弱或阻断。然而, 对于行业尾部关联处于高分位数区域, 油价极端低位会强化风险传导, 反映出在行业风险已经较强联动的情况下, 油价暴跌加剧系统性风险的扩散。



注: 节点代表每个行业, 节点越大, 净溢出的累积越多; 边表示行业与行业之间的连接, 边的粗细表示净对向连接度的程度。从行业 m 指向行业 n 的箭头表示净溢出效应, 即行业 m 对行业 n 的贡献大于行业 n 对行业 m 的贡献。

Figure 4. Net spillover connectivity network
图 4. 净溢出联通网络



注: x 轴为国际油价的分位数, 代表国际油价收益率所处的市场状态。 y 轴为中国能源金属行业高阶矩尾部关联总溢出指数(TSI)的分位数。 z 轴为分位数对分位数回归系数(单位: %), 代表国际油价分位数对中国能源金属行业高阶矩尾部关联分位数的边际影响强度。

Figure 5. Asymmetric effects of international oil prices on higher-moment tail dependence of China's energy-metal sector under different market conditions

图 5. 不同市场状态下国际油价对中国能源金属行业高阶矩尾部关联性的非对称影响

具体而言, 回报状态下, 当中国能源金属系统处于任意尾部关联分位数时, 油价正常波动区间对系统呈负向影响, 反映常规油价波动引发的损失, 会抑制系统投资收益连通性, 降低收益端风险传导效率; 而油价极端分位数则持续正向作用于系统, 说明极端油价冲击通过强化收益端风险联动, 提升投资收益比连通性, 凸显极端行情下收益风险传导的“反常规”特征。波动状态下, 系统处于强尾部关联时, 油价极端分位数持续正向驱动系统连通性, 使能源金属市场震荡加剧, 风险传导网络显著扩张; 当系统处于

弱关联或中等关联时, 油价极端分位数影响呈现非对称分化, 暴涨强化风险关联, 暴跌则削弱关联, 反映波动率传导对系统初始风险状态的高度依赖。

总体来看, 图 5 揭示国际油价通过复杂的非线性机制, 以不同强度和方向影响中国能源金属行业的高阶矩尾部风险关联, 尤其在极端市场环境下, 这种影响不仅增强了尾部风险的系统性传导, 也凸显了风险管理中需关注的非对称性特征。该分析为理解油价波动与能源金属市场风险传递的动态机制提供了重要的实证支撑, 具有较强的政策指导意义和风险预警价值。

6. 主要结论及政策启示

本研究以国际油价与中国能源金属市场的互动关系为核心, 通过整合高阶矩风险测度、分位数向量自回归(QVAR)网络及分位数对分位数回归等方法, 系统探究了国际油价对中国能源金属行业高阶矩尾部关联性的非对称影响, 揭示了能源金属市场风险传导的动态特征与内在机制, 并得出主要结论: 1) 中国能源金属市场的风险传导呈现显著的“U 形”分布特征与尾部集聚效应; 2) 市场体系中存在稳定且层级分明的风险传导结构; 3) 国际油价的极端波动对中国能源金属行业高阶矩尾部关联性的影响具有明显的非对称性和分位数依赖性。基于分析结果, 本文提出以下几点政策建议:

第一, 构建纳入高阶矩特征的动态风险监测与预警体系。针对能源金属行业收益率“尖峰厚尾”和偏态特征显著、极端事件频发的特点, 监管部门应突破传统均值-方差框架, 将条件偏度、峰度等高阶矩指标纳入常规风险监测体系。利用 GARCHSK 等动态高阶矩模型, 实时追踪各行业的风险演化趋势, 尤其是光伏、风能等负偏显著行业及水力发电等峰度较高行业, 捕捉极端风险的累积与爆发信号。

第二, 实施分层次、差异化的极端风险防控策略。鉴于风险传导的“U 形”分布特征, 需针对极端市场状态与常态市场设计差异化监管工具。在极端分位数对应的高风险关联期, 自动激活反周期监管措施, 如提高能源衍生品交易保证金比例、限制高频交易在传统能源与有色金属等高溢出行业的持仓规模, 以阻断风险的非线性放大。

第三, 建立国际油价极端波动的情境化应对机制。针对国际油价极端波动的非对称影响, 构建油价风险“分级响应”预案。如, 当油价处于极端低位时, 重点防范高关联行业的尾部风险扩散。

参考文献

- [1] Zhou, Y., Wu, S., Liu, Z. and Rognone, L. (2023) The Asymmetric Effects of Climate Risk on Higher-Moment Connectedness among Carbon, Energy and Metals Markets. *Nature Communications*, **14**, Article No. 7157. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42925-9>
- [2] Ji, Q. and Guo, J. (2015) Oil Price Volatility and Oil-Related Events: An Internet Concern Study Perspective. *Applied Energy*, **137**, 256-264. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.002>
- [3] Wu, F., Zhang, D. and Ji, Q. (2021) Systemic Risk and Financial Contagion across Top Global Energy Companies. *Energy Economics*, **97**, Article ID: 105221. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105221>
- [4] Ji, Q., Zhang, D. and Zhang, Z. (2023) Energy Market Financialization, Integration and Systemic Risks. *Energy Economics*, **117**, Article ID: 106448. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106448>
- [5] Perera, A.T.D., Nik, V.M., Chen, D., Scartezzini, J. and Hong, T. (2020) Quantifying the Impacts of Climate Change and Extreme Climate Events on Energy Systems. *Nature Energy*, **5**, 150-159. <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0558-0>
- [6] Shao, L. and Zhang, H. (2020) The Impact of Oil Price on the Clean Energy Metal Prices: A Multi-Scale Perspective. *Resources Policy*, **68**, Article ID: 101730. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101730>
- [7] Sun, X., Fang, W., Gao, X., An, H., Si, J. and Wei, H. (2024) Dynamic Interactions among New Energy Metals and Price Adjustment Strategies: A Cross-Industry Chain Perspective. *Energy*, **303**, Article ID: 131923. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131923>
- [8] Zhu, X., Liao, J. and Chen, Y. (2021) Time-Varying Effects of Oil Price Shocks and Economic Policy Uncertainty on the Nonferrous Metals Industry: From the Perspective of Industrial Security. *Energy Economics*, **97**, Article ID: 105192. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105192>

- [9] Hoffart, F.M., D’Orazio, P., Holz, F. and Kemfert, C. (2024) Exploring the Interdependence of Climate, Finance, Energy, and Geopolitics: A Conceptual Framework for Systemic Risks Amidst Multiple Crises. *Applied Energy*, **361**, Article ID: 122885. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122885>
- [10] Mahmoud, I. (2025) Time-varying Efficiency in Spot and Future Energy Markets and Precious Metals: An Econophysics Approach. *Risk and Decision Analysis*, **11**, 50-61. <https://doi.org/10.1177/15697371251321735>
- [11] Umar, M., Riaz, Y. and Yousaf, I. (2022) Impact of Russian-Ukraine War on Clean Energy, Conventional Energy, and Metal Markets: Evidence from Event Study Approach. *Resources Policy*, **79**, Article ID: 102966. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102966>
- [12] Li, H., Li, Y. and Zhang, H. (2023) The Spillover Effects among the Traditional Energy Markets, Metal Markets and Sub-Sector Clean Energy Markets. *Energy*, **275**, Article ID: 127384. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127384>
- [13] Zhang, C. and Tu, X. (2016) The Effect of Global Oil Price Shocks on China’s Metal Markets. *Energy Policy*, **90**, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.12.012>
- [14] Dutta, A. (2018) Impacts of Oil Volatility Shocks on Metal Markets: A Research Note. *Resources Policy*, **55**, 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.09.003>
- [15] Wang, X. (2022) Efficient Markets Are More Connected: An Entropy-Based Analysis of the Energy, Industrial Metal and Financial Markets. *Energy Economics*, **111**, Article ID: 106067. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106067>
- [16] Tiwari, A.K., Pathak, R., DasGupta, R. and Sadorsky, P. (2021) Modelling Dependence and Systemic Risk between Oil Prices and BSE Sectoral Indices Using Stochastic Copula and Covar, δ CoVar and MES Approaches. *Applied Economics*, **53**, 6770-6788. <https://doi.org/10.1080/00036846.2021.1949430>
- [17] Chu, W., Fan, L. and Zhou, P. (2024) Extreme Spillovers across Carbon and Energy Markets: A Multiscale Higher-Order Moment Analysis. *Energy Economics*, **138**, Article ID: 107833. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107833>
- [18] Liu, X., Wang, B., Luo, M., *et al.* (2025) The Dynamic Risk Spillover of Higher-Order Moments in the China’s Energy Market: A Time-Frequency Perspective. *International Journal of Green Energy*, **22**, 2010-2028.
- [19] Liu, J. (2021) A New Tail-Based Correlation Measure and Its Application in Global Equity Markets. *Journal of Financial Econometrics*, **21**, 959-987. <https://doi.org/10.1093/jfinec/nbab026>
- [20] Wu, R., Li, B. and Qin, Z. (2024) Spillovers and Dependency between Green Finance and Traditional Energy Markets under Different Market Conditions. *Energy Policy*, **192**, Article ID: 114263. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114263>
- [21] Lin, B. and Zhang, Z. (2025) Extreme Spillovers among Green Finance, Energy, and Energy Metals Markets in China: Evidence under the Dilemma of Energy Transition. *Renewable Energy*, **241**, Article ID: 122403. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122403>
- [22] Ke, R., Shen, A., Yin, M. and Tan, C. (2024) The Cross-Sector Risk Contagion among Chinese Financial Institutions: Evidence from the Extreme Volatility Spillover Perspective. *Finance Research Letters*, **63**, Article ID: 105303. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.105303>
- [23] Cai, Y., Zhang, Y. and Zhang, A. (2025) Oil Price Shocks and Airlines Stock Return and Volatility—A GFEVD Analysis. *Economics of Transportation*, **41**, Article ID: 100396. <https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2025.100396>
- [24] Ayoub, M. and Qadan, M. (2024) Financial Ambiguity and Oil Prices. *Financial Innovation*, **10**, Article Number 137. <https://doi.org/10.1186/s40854-024-00656-w>
- [25] Lahiani, A., Miloudi, A., Benkraiem, R. and Shahbaz, M. (2017) Another Look on the Relationships between Oil Prices and Energy Prices. *Energy Policy*, **102**, 318-331. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.031>
- [26] Broadstock, D.C., Wang, R. and Zhang, D. (2014) Direct and Indirect Oil Shocks and Their Impacts Upon Energy Related Stocks. *Economic Systems*, **38**, 451-467. <https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2014.02.002>
- [27] Zhou, E. and Wang, X. (2023) Dynamics of Systemic Risk in European Gas and Oil Markets under the Russia-Ukraine Conflict: A Quantile Regression Neural Network Approach. *Energy Reports*, **9**, 3956-3966.
- [28] Fu, Z., Chen, Z., Sharif, A. and Razi, U. (2022) The Role of Financial Stress, Oil, Gold and Natural Gas Prices on Clean Energy Stocks: Global Evidence from Extreme Quantile Approach. *Resources Policy*, **78**, Article ID: 102860. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102860>
- [29] Zaghdoudi, T., Tissaoui, K., Maaloul, M.H., Bahou, Y. and Kammoun, N. (2023) Asymmetric Connectedness between Oil Price, Coal and Renewable Energy Consumption in China: Evidence from Fourier NARDL Approach. *Energy*, **285**, Article ID: 129416. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129416>
- [30] Zhou, D., Siddik, A.B., Guo, L. and Li, H. (2023) Dynamic Relationship among Climate Policy Uncertainty, Oil Price and Renewable Energy Consumption—Findings from TVP-SV-VAR Approach. *Renewable Energy*, **204**, 722-732. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.018>
- [31] Chen, J., Liang, Z., Ding, Q. and Liu, Z. (2022) Extreme Spillovers among Fossil Energy, Clean Energy, and Metals Markets: Evidence from a Quantile-Based Analysis. *Energy Economics*, **107**, Article ID: 105880. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105880>

-
- [32] Li, Z., Li, Y., Huang, C. and Peculea, A.D. (2023) Volatility Spillover across Chinese Carbon Markets: Evidence from Quantile Connectedness Method. *Energy Economics*, **119**, Article ID: 106542. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106542>
- [33] Sim, N. and Zhou, H. (2015) Oil Prices, US Stock Return, and the Dependence between Their Quantiles. *Journal of Banking & Finance*, **55**, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2015.01.013>
- [34] Silvério, R. and Szklo, A. (2012) The Effect of the Financial Sector on the Evolution of Oil Prices: Analysis of the Contribution of the Futures Market to the Price Discovery Process in the WTI Spot Market. *Energy Economics*, **34**, 1799-1808. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.07.014>
- [35] Xing, X., Xu, Z., Chen, Y., Ouyang, W., Deng, J. and Pan, H. (2023) The Impact of the Russia-Ukraine Conflict on the Energy Subsector Stocks in China: A Network-Based Approach. *Finance Research Letters*, **53**, Article ID: 103645. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.103645>
- [36] Klotz, P., Lin, T.C. and Hsu, S.-H. (2014) Global Commodity Prices, Economic Activity and Monetary Policy: The Relevance of China. *Resources Policy*, **42**, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2014.08.001>
- [37] Li, Y., Niu, T. and Wang, X. (2023) Exploration of Industrial Risk Contagion Characteristics and Mechanism under Geopolitical Events: Evidence from China. *Applied Economics*, **56**, 3582-3599. <https://doi.org/10.1080/00036846.2023.2206635>
- [38] Jia, Z., Wen, S. and Lin, B. (2021) The Effects and Reacts of COVID-19 Pandemic and International Oil Price on Energy, Economy, and Environment in China. *Applied Energy*, **302**, Article ID: 117612. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117612>