

经济复杂性、全球不确定性、能源安全风险和可再生能源转型的关系

刘甜 赫赫

上海大学 经济学院, 中国·上海 200444

摘要: 论文通过面板向量自回归模型分析了经济复杂性、全球不确定性、能源安全风险与可再生能源转型之间的动态关系。基于 1985—2022 年 65 个国家的面板数据, 研究发现, 全球不确定性、经济复杂性和能源安全风险对可再生能源转型的影响具有显著的短期和长期效应。全球不确定性对转型的影响呈现波动性, 经济复杂性和能源安全风险则通过复杂的产业结构和市场不确定性抑制转型进程。论文为政策制定者提供了稳定国际环境、优化产业结构和提高能源供应安全性的政策建议, 以促进可再生能源转型并应对气候变化。

关键词: 经济复杂性; 不确定性; 能源安全; 可再生能源

The Relationship between Economic Complexity, Global Uncertainty, Energy Security Risks and the Transition to Renewable Energy

Tian Liu He He

School of Economics, Shanghai University, Shanghai, 200444, China

Abstract: This paper analyzes the dynamic relationship between economic complexity, global uncertainty, energy security risks, and the transition to renewable energy using a panel vector autoregression model. Based on panel data from 65 countries between 1985 and 2022, the study finds that global uncertainty, economic complexity, and energy security risks have significant short-term and long-term effects on the transition to renewable energy. The impact of global uncertainty on the transition is volatile, while economic complexity and energy security risks inhibit the transition process through complex industrial structures and market uncertainties. This paper provides policy recommendations for policymakers to stabilize the international environment, optimize industrial structures, and enhance energy supply security, thereby promoting the transition to renewable energy and addressing climate change.

Keywords: economic complexity; uncertainty; energy security; renewable energy

0 前言

全球气候变化加剧, 带来极端天气、自然灾害和生态退化, 威胁人类生存并挑战能源体系稳定。俄乌冲突加剧了能源供应链的不稳定, 暴露出全球对化石能源依赖的脆弱性。各国面临双重挑战: 应对能源安全问题, 减少对外部能源依赖, 同时推动能源结构优化以减少碳排放, 实现可持续发展目标。联合国可持续发展目标 (SDGs) 中, SDG7 关注能源的可及性和可持续性, SDG13 聚焦气候变化应对。可再生能源成为解决能源安全与气候变化问题的关键, 推动其转型有助于减少温室气体排放、降低气候风险, 增强能源供应的稳定性。在此背景下, 经济复杂性、不确定性与能源安全在可再生能源转型中的作用备受关注。经济复杂性促进产业多样化和技术创新, 支持可再生能源技术研发和推广; 市场和政策不确定性增加能源投资的决策成本; 能源安全推动各国优化能源结构, 减少对外部能源依赖, 增强供应自主性和韧性。厘清这些因素的相互作用有助于深化对可再生能源发展的理解, 并为政策制定提供科学依据, 促进环境保护

与能源安全的双赢。

本研究的主要贡献体现在以下三个方面。首先, 论文采用面板向量自回归 (PVAR) 模型, 系统性地分析经济复杂性、全球不确定性、能源安全风险与可再生能源转型之间的四向因果关系。相较于单一方程模型, PVAR 方法能够有效缓解潜在的内生性问题^[1], 并通过构建内生方程组, 更全面地刻画变量间的动态交互作用, 从而提高估计结果的稳健性^[2,3]。其次, 论文基于 1985—2022 年全球 65 个国家的面板数据进行实证研究, 在增强数据代表性的同时, 充分考虑了国家层面的动态异质性, 提高了研究结论的稳健性。最后, 论文在现有文献的基础上, 首次系统性整合了经济复杂性、不确定性、能源安全与可再生能源转型四个关键变量, 拓展了相关领域的研究框架, 并为全球能源转型政策的制定提供了更为系统和科学的实证依据。

1 变量、数据和模型

1.1 面板 VAR 模型

本研究采用面板向量自回归模型 (PVAR) 来实证分析

经济复杂性、全球不确定性、能源安全风险和可再生能源转型之间的动态关系。PVAR 模型由 Holtz-Eakin 等人^[4]提出，在保留传统 VAR 模型优点的同时，通过引入面板数据特征降低了对时间序列长度的要求，并能够有效控制个体异质性影响。该模型具有以下优势：

首先，PVAR 模型能够在一个多元系统框架内捕捉内生变量之间的动态交互关系，从而更全面地反映变量间的复杂影响机制。其次，PVAR 模型结合了时间序列分析和面板数据分析的特点，能够同时从时间和截面两个维度估计参数，提高了模型的解释力和适用性。最后，通过脉冲响应函数，PVAR 模型可以直观地展示变量之间的相互作用及其动态时滞效应^[5]，为理解变量间的短期和长期关系提供了有力工具。综上，论文中的 PVAR 模型定义为：

$$Y_{i,t} = \alpha_0 + \sum_{p=1}^p \alpha_p Y_{i,t-p} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{i,t}$$

其中， i 表示地区， t 表示年份， p 表示滞后阶数， $Y_{i,t} = (L.RETC_{i,t}, L.ECI_{i,t}, L.WUI_{i,t}, L.ESR_{i,t})^T$ 是 4 维列向量， α_p 是 4*4 维的系数矩阵， $\varepsilon_{i,t}$ 是服从正态分布的随机扰动项， μ_i 、 γ_t 分别是个体异质性与时间效应。

1.2 数据来源

论文构建了 1985—2022 年间 65 个国家的跨国面板数据集。表 1 列出了变量的定义和数据来源，表 2 给出了简要统计数据。

表 3 最优滞后阶数选取

变量	RETC			RETG		
	AIC 准则	BIC 准则	HQIC 准则	AIC 准则	BIC 准则	HQIC 准则
Lag						
1	-12.083	-407.841*	-162.212*	-35.519	-431.277*	-185.648*
2	-32.763*	-349.369	-152.866	-50.927*	-367.534	-171.030
3	-15.415	-252.870	-105.492	-27.599	-265.054	-117.677
4	-29.547	-187.850	-89.598	-30.337	-188.640	-90.388
5	-13.437	-92.588	-43.463	-13.461	-92.613	-43.487

注：* 表示对应准则列统计量的最小值。

2.1 面板 VAR 回归结果

基于 PVAR 模型，论文检验了变量间的动态效应与因果关系，采用滞后一阶模型进行分析。表 4 的估计结果显示，当可再生能源转型为被解释变量时，经济复杂性和全球不确定性的滞后项分别在 10% 和 1% 的显著性水平上呈现负向和正向影响，而能源安全风险的滞后项虽为负向但不显著；当经济复杂性为被解释变量时，仅其自身滞后项在 1% 的显著性水平上表现为正向影响，其余变量均不显著；当全球不确定性为被解释变量时，仅其自身滞后项在 1% 的显著性水平上呈现负向影响，其余变量均不显著；当能源安全风险为被解释变量时，可再生能源转型的滞后项在 5% 的水平上表现为正向影响，经济复杂性的滞后项在 10% 的水平上表现为负向影响，能源安全风险的滞后项在 1% 的水平上表现为

表 1 数据描述和来源

变量	计算方法	来源
RETC	可再生能源消费占总能源消费的比重（%）	EI、EIA
RETG	可再生电力生产占总电力生产的比重（%）	EI、EIA
ECI	贸易复杂性指数、技术复杂性指数和研究复杂性指数的算数平均值	OEC
WUI	世界不确定指数	Ahir et al.
ESR	能源安全风险指数	GEI

注：EI 是能源研究所的《世界能源统计年鉴》^[6]，EIA 是美国能源信息署^[7]，OEC 是经济复杂性观察网站^[8]，Ahir et al. 是由 Ahir 等人创建的世界不确定性指数^[9]；GEI 是全球能源研究所。

表 2 变量统计描述

变量	样本数	平均值	标准差	最小值	最大值
RETC	2470	8.985	9.316	1.45e-19	42.011
RETG	2470	24.712	25.809	4.89e-21	99.598
ECI	1560	0.480	0.772	-2.018	1.914
WUI	2470	0.159	0.145	0.000	1.343
ESR	2470	1108.248	443.034	1.000	5033.127
ESRs	2470	1.108	0.443	0.001	5.033

2 实证结果

根据 Akaike 信息准则（AIC）、贝叶斯信息准则（BIC）和 Hannan-Quinn 信息准则（HQIC）模型的结果，我们最终选择了滞后一阶模型进行研究（见表 3）。

正向影响，而全球不确定性的滞后项虽为负向但不显著。上述结果表明，变量间的动态关系具有异质性，且部分变量存在显著的自我强化效应。

表 4 PVAR 模型的 GMM 估计结果

变量	dRETC	dECI	dWUI	dESRs
L.dRETC	-0.183*** (0.051)	0.001 (0.003)	-0.001 (0.004)	0.003** (0.001)
L.dECI	-0.485* (0.268)	0.271*** (0.036)	0.001 (0.042)	-0.033* (0.020)
L.dWUI	0.652*** (0.220)	0.027 (0.016)	-0.218*** (0.039)	-0.006 (0.009)
L.dESRs	-0.275 (0.299)	-0.082 (0.055)	0.027 (0.052)	0.420*** (0.067)

2.2 面板格兰杰因果检验

为了阐明变量之间的动态效应和因果关系，本研究基于一期滞后 PVAR 模型进行了格兰杰因果检验，结果如表 5 所示。检验表明，当以可再生能源转型为解释变量时，经济复杂性和全球不确定性均表现出显著的格兰杰因果关系，说明二者是可再生能源转型的单向格兰杰原因；当以能源安全风险为解释变量时，可再生能源转型和经济复杂性同样表现出显著的格兰杰因果关系，表明二者是能源安全风险的单向格兰杰原因。其他变量之间的格兰杰因果关系则未达到显著性水平。

表 5 格兰杰因果检验结果

Equation	Excluded	chi2	Prob > chi2
dRETC	dECI	3.279	0.070
	dWUI	8.830	0.003
	dESRs	0.849	0.357
	ALL	13.152	0.004
dECI	dRETC	0.242	0.623
	dWUI	2.696	0.101
	dESRs	2.189	0.139
	ALL	5.582	0.134
dWUI	dRETC	0.129	0.719
	dECI	0.001	0.980
	dESRs	0.277	0.599
	ALL	0.417	0.937
dESRs	dRETC	4.149	0.042
	dECI	2.802	0.094
	dWUI	0.481	0.488
	ALL	7.779	0.051

2.3 脉冲响应分析

论文采用系统 GMM 估计，并通过脉冲响应函数分析变量间的动态关系。通过 300 次蒙特卡罗模拟，对可再生能

源转型、经济复杂性、全球不确定性与能源安全风险进行脉冲响应分析，设定滞后期数为 10 期，图 1 展示了 95% 置信水平下的结果。从图 1 (a、f、k、p) 可以看出，可再生能源转型和全球不确定性对自身的影响短期为负，第二期后为正，但迅速收敛；经济复杂性和能源安全风险对自身表现出较强的自我惯性效应。从图 1 (e、i、m) 可以看出，经济复杂性和能源安全风险对可再生能源转型的冲击表现为短期负向影响，逐渐减弱；全球不确定性则呈现波动性的影响。从图 1 (b、j、n) 可见，可再生能源转型和全球不确定性对经济复杂性在短期有正向影响，随后衰减；能源安全风险持续抑制经济复杂性。从图 1 (c、g、o) 可见，可再生能源转型对全球不确定性影响波动，经济复杂性影响微弱；能源安全风险初期负向，随后转为正向并逐渐稳定。从图 1 (d、h、l) 可见，可再生能源转型对能源安全风险有正向影响，经济复杂性和全球不确定性则为负向影响，并在滞后期逐渐收敛。

3 结论与政策启示

论文通过 PVAR 模型分析了可再生能源转型、经济复杂性、全球不确定性和能源安全风险之间的动态关系。研究表明，可再生能源转型和全球不确定性对自身的影响主要呈现短期依赖性，且随着时间推移逐渐减弱。经济复杂性和能源安全风险对自身的影响较为持久，表现出较强的自我惯性效应，并对可再生能源转型产生负向影响，前者通过复杂的产业结构抑制转型，后者则通过增加市场不确定性影响转型进程。全球不确定性对可再生能源转型的影响呈现波动性，先促进后抑制，再次促进的动态变化。总体而言，各变量之间的相互作用表现出明显的路径依赖特征和滞后效应，全球不确定性、经济复杂性和能源安全风险的波动对能源转型进程具有重要影响。

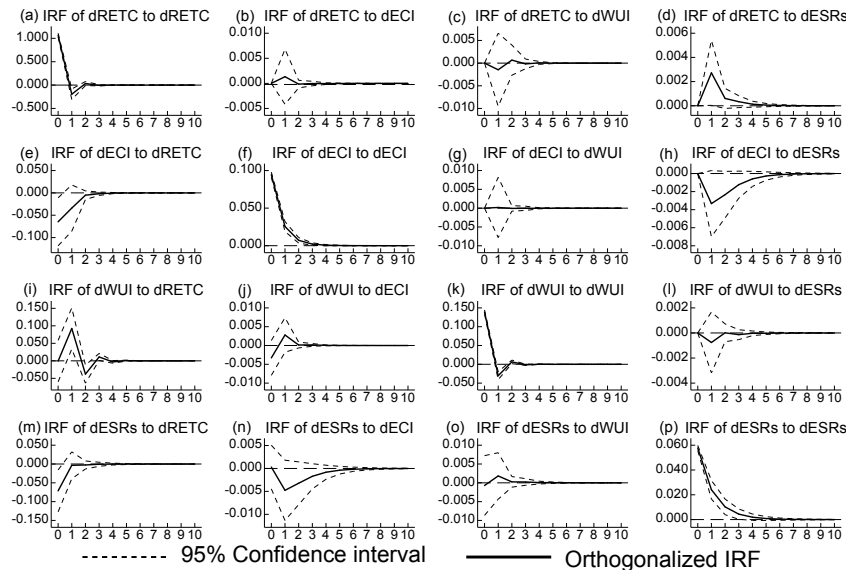


图 1 脉冲响应函数模型

基于研究结果，论文为政策制定者提供以下启示：首先，全球不确定性、经济复杂性和能源安全风险对可再生能源转型的影响较为显著，因此，政策制定者应注重稳定国际政治经济环境，降低全球不确定性对能源转型的不利影响。其次，经济复杂性对可再生能源转型有一定的抑制作用，尤其是产业结构复杂的国家可能面临转型困难。因此，政策应促进产业结构的优化与升级，特别是推动高技术、高附加值产业的发展，提升资源配置效率，降低产业结构的复杂性。此外，能源安全风险对能源转型的负面效应亦不容忽视。为了降低能源安全风险，政策应侧重于提高能源供应的多元化和安全性，加强能源基础设施建设，提高能源系统的韧性。最后，政策在应对全球不确定性和能源安全风险时应保持灵活性，及时调整应对策略。政府可以通过制定长期稳定的政策框架，为可再生能源投资提供清晰的预期，减轻市场的恐慌情绪，同时鼓励私人部门和国际社会的参与，为能源转型提供更加坚实的支持。

参考文献：

[1] ACHEAMPONG A O. Economic growth, CO₂ emissions and energy consumption: What causes what and where?[J]. Energy Economics,2018(74):677-692.

[2] BLUNDELL R, BOND S. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models[J]. Journal of Econometrics, 1998,87(1):115-143.

[3] ABRIGO M R M, LOVE I. Estimation of Panel Vector Autoregression in Stata[J]. The Stata Journal,2016,16(3):778-804.

[4] HOLTZ-EAKIN D, NEWEY W, ROSEN H S. Estimating Vector Autoregressions with Panel Data[J]. Econometrica,1988, 56(6):1371-1395.

[5] PAN X, WANG Y, TIAN M, et al. Spatio-temporal impulse effect of foreign direct investment on intra- and inter-regional carbon emissions[J]. Energy,2023(262):125438.

[6] EI. Energy Institute (EI) Statistical Review of World Energy 2023[EB/OL].[2024-03-10].Statistical review of world energy.

[7] EIA. Renewable and Alternative Fuels[EB/OL].[2024-01-04].

[8] OEC. Economic Complexity Rankings[EB/OL].[2024-01-04].The Observatory of Economic Complexity.

[9] AHIR H, BLOOM N, FURCERI D. The world uncertainty index (No. w29763)[J]. National bureau of economic research,2022.