可再生能源与产业结构优化的动态互动
——基于 VAR 模型的实证研究

陈奕舒，张心悦，潘玲颖

（上海理工大学 管理学院，上海 200093）

摘 要：基于2011—2024年相关数据，采用向量自回归（VAR）模型，系统考察可再生能源发展水平与产业结构优化之间的动态互动关系。研究目的在于揭示两者间是否存在长期均衡关系，识别其相互影响的传导路径与作用强度，为协调推进能源转型与产业升级提供实证依据。在研究方法上，构建多变量VAR模型，选取可再生能源消费占比、产业结构高度化指数等关键变量，利用单位根检验、协整分析等方法验证数据的平稳性与长期均衡关系，并通过脉冲响应函数与方差分解技术，深入刻画变量间的动态交互机制。研究结果显示，可再生能源发展水平的提升对产业结构优化具有持续且显著的正向促进作用，且该效应在长期呈现逐步增强趋势。脉冲响应分析进一步表明，可再生能源发展水平的提高在初期可能对现有产业结构带来一定程度的适应性冲击，但随着时间的推移，该冲击逐步转化为推动产业结构向高级化、绿色化方向调整的积极动力。与此同时，产业结构优化也为可再生能源技术的推广应用与产业规模的扩大创造了更为有利的市场环境和政策条件，二者形成良性的双向促进机制。方差分解分析从波动贡献角度佐证了上述互动关系：随着预测期的延长，可再生能源发展水平对产业结构优化波动的解释力度显著提升，说明其在推动产业结构持续调整中的作用日益凸显；产业结构优化对可再生能源发展的波动亦具有不可忽视的影响，进一步印证两系统间的内生互动特征。综上，本文的主要结论为：可再生能源发展与产业结构优化之间存在显著的动态关联与正向反馈机制，二者通过相互促进、协同演进的路径，共同推动经济体系向低碳、高效、可持续方向转型。这一结论对于制定兼顾能源安全与产业竞争力的综合政策具有参考价值。

关键词：可再生能源；产业结构优化；向量自回归模型

中图分类号：F206 **文献标识码**：A **文章编号**：1673－2464（2026）03－0077－12

A Dynamic Interaction between Renewable Energy and Industrial Structural Optimization Based on VAR Model

CHEN Yishu, ZHANG Xinyue, PAN Lingying

(*School of Management*, *University of Shanghai for Science and Technology*, *Shanghai* 200093, *China*)

Abstract: This paper, based on 2011 to 2024 data, uses vector auto-regression (VAR) model to study the dynamic interaction between renewable energy and industrial structural optimization aiming at revealing if there is a long-term balance, recognizing the conducting path and intensity of their mutual influence, which can provide references for advancing energy transformation and industrial upgrade. A VAR model with multiple variables is established to explore

收稿日期：2025－08－11；**修订日期**：2025－10－10；**责任编辑**：段丽萍。

网络出版地址：https://link.cnki.net/urlid/11.5426.TD.20260127.1631.002 **DOI**：10.13776/j.cnki.resourcesindustries.20260127.001

第一作者简介：陈奕舒，硕士生，主要从事产业经济研究。E-mail：232010956@st.usst.edu.cn

引用格式：陈奕舒，张心悦，潘玲颖，2026. 可再生能源与产业结构优化的动态互动：基于VAR模型的实证研究[J]. 资源与产业，28(3)：77－88.

CHEN Yishu, *ZHANG Xinyue*, *PAN Lingying*, 2026. *A dynamic interaction between renewable energy and industrial structural optimization based on VAR model*[J]. *Resources & Industries*, 28(3): 77－88.

their dynamic interaction among key variables like renewable energy consumption proportion, industrial structural advancing index via impulse response function and variance decomposition, with unit root test and co-integration methods are used to verify the data stability and long-term balance. Improvements of renewable energy development dramatically improve industrial structural optimization, continuously rising in the long term. Impulse response analysis indicates that it may strike the existing industrial structures at the beginning but will convert to a drive to advancing and greening industrial structures over time. Meanwhile, industrial structural optimization can return favorable marketing environment and supportive policies for spreading renewable energy technologies and expanding industrial scales. Both form a mutual improving mechanism, verified by variance decomposition from a perspective of fluctuation contribution. As forecasting period goes longer, development of renewable energy largely contributes to the fluctuation of industrial structural optimization, suggesting it is a rising driver for upgrading industrial structures, and industrial structural optimization also impacts the fluctuation of renewable energy development. In conclusion, renewable energy development has a dynamic connection and positive response with industrial structural optimization through mutual improvement and co-integrated evolution, advancing economy to a low carbon, effective and sustainable way, offering references for making comprehensive policies covering energy security and industrial competitiveness.

Key words: renewable energy; industrial structural optimization; vector auto-regression model

0 引言

目前，可持续发展的相关问题得到国际社会的广泛关注。能源问题是应对环境、气候、生态等问题的重点，全球各国及地区积极发展可再生能源，使其成为全球能源转型的重要驱动力。根据国际能源署 2024 年的报告，全球可再生能源装机容量在 2030 年将迎来大幅增长，这一增长主要得益于太阳能光伏发电的快速部署，预计其将占据全球可再生能源发电装机增长的 80%。此外，风电行业也在持续复苏，2024 年至 2030 年期间的扩张速度将比 2017 年至 2023 年期间翻一番。

既有研究表明，我国产业体系低碳化发展由能源结构主导（张伟等，2016），可再生能源发展能够推进产业结构调整（崔茗莉等，2024），可再生能源的发展能够通过降低能源成本、减少环境污染以及推动技术创新等为产业结构优化升级提供动力和方向。另一方面，产业结构调整与升级能够促进能源结构改变（王强等，2011），进而为可再生能源的发展创造更有利条件（沈小波等，2021）。同时，二者相互影响的时滞效应显著，可再生能源的发展（如技术溢出、能源替代）对产业结构的影响以及产业结构升级对能源投资的引导作用均存在明显滞后；此外，产业结构和能源体系均具有强烈的路径依赖，其当期值深受自身历史值影响（陈晓东等，2021）。

产业结构合理化和高级化发展能够刺激经济快速增长（王海等，2025），可再生能源可以通过改变能源供应结构推动产业结构合理化，同时也能通过催生新兴产业从而拉动产业结构高级化。具体来看，可再生能源的快速发展改变了传统能源供应结构，减少了对化石燃料的依赖，这种能源供应结构的优化使得能源供应更加多元化和可持续，促进了相关产业的协同发展，为产业结构合理化提供了基础保障。此外，可再生能源的发展促使传统产业进行升级转型，催生了一系列新兴产业，大量的研发投入推动了相关技术的快速发展，如储能技术、太阳能光伏技术等，这种技术创新通过提升可再生能源产业的竞争力以及促进关联产业的技术革新，推动了产业结构高级化。

产业结构优化升级是一国经济发展的主要体现，同时也是实现高质量发展和可持续发展的重要驱动力。随着全球对可持续发展的关注以及应对气候变化的需求日益迫切，可再生能源的发展水平与产业结构优化升级之间的关系成为学者研究和政策制定者关注的焦点，探讨可再生能源发展水平和产业结构优化升级的互动关系，具有重要的理论与政策意义。可再生能源已取得显著发展，为深入探讨可再生能源发展水平与产业结构调整之间的内在动态联系，本文选取 2011 年至 2024 年的相关数据，通过构建 VAR 模型系统性地分析二者之间的格兰杰因果关系、脉冲响应路径及方差贡献度，旨在揭示其相互影响的动态轨迹与相对重要性，以期为推动能源转型与产业升级的协同政策提供更精准的实证依据。

1　文献综述

在全球积极应对气候问题以及我国向“双碳”目标持续迈进的背景下，能源转型和产业结构调整成为关键议题。可再生能源以其清洁、可持续等特性，在能源体系中的地位愈发重要，其发展水平对产业结构调整产生了多方面的影响。深入研究两者关系，对于推动经济可持续发展以及实现能源与产业协同转型具有重要意义。

在理论研究方面，学者普遍认为可再生能源发展能为产业结构优化提供动力。任继球等（2025）重点分析了我国“十五五”时期产业新旧动能转换背景下能源结构和产业结构发展要求，提出以经济高质量发展为核心，通过产业结构优化和升级等举措推动转换的思路、路径与任务。从能源结构调整的角度来看，李晓敏等（2024）指出，可再生能源的大规模使用有助于减少对传统化石能源的依赖，通过改善能源消费结构进而带动产业结构升级。在技术创新层面，李博阳等（2024）研究表明，绿色信贷、绿色风投等金融手段可促进可再生能源技术创新，这种创新不仅推动可再生能源产业自身发展，还通过技术扩散效应，提升其他产业的生产效率和技术水平，促使产业结构向高端化演进。此外，於世为等（2022）梳理了中国可再生能源政策的演变及体系构架，分析其对“双碳”目标的影响机制和国际差异，进而提出完善政策体系的建议。

实证研究进一步证实了理论观点。马华等（2024）基于 2011—2020 年中国省级面板数据，构建 ESDA 模型和 GTWR 模型，研究证明我国可再生能源发展呈现出总体水平上升、区域水平差异下降的特点，其中电力消费量正向影响最大，R&D 经费负向影响最大，且各因素存在空间异质性。孙传旺等（2024）探讨了能源转轨发展与公园城市建设相互作用，分析转轨面临的挑战，提出优化能源供需、调整产业结构、鼓励技术创新和完善保障体系等实现公园城市向零碳可再生能源转轨的发展路径。李博阳等（2023）基于中国 23 个省份 2005—2020 年的面板数据，通过实证分析检验了绿色信贷和绿色风投对可再生能源发展的促进作用及其区域异质性，发现金融发展程度和市场化程度对地区的异质性影响更加显著，具体表现为，这些地区可再生能源发展和产业结构优化受其影响更明显。郭安宁等（2023）运用包含非期望产出的 SBM 模型等研究 2000—2021 年黄河流域 9 省份碳排放效率与产业结构优化耦合协调性，发现其变化规律存在区域差异，且能源消费结构为重要影响因素之一。孙浩等（2023）研究发现产业结构调整更有助于提升能源效率，二者融合发展效果更强且存在门限效应。袁培等（2023）发现经济发展水平等因素对可再生能源发展水平有正向影响，产业结构调整通过影响经济增长和能源强度拉动可再生能源消费。孟思琦等（2023）研究发现中国可再生能源电力消费对碳排放具有抑制作用。赵振宇等（2022）基于 2010—2019 年 30 个省份面板数据，运用中介效应模型分析发现，可再生能源消费比率对碳减排有显著影响，进而推动产业结构向低碳化方向调整。马丽梅等（2022）利用 1991—2019 年 162 个国家和地区的跨国面板数据，研究发现金融发展通过若干中介变量推动可再生能源产业发展，从而对产业结构优化实现间接促进作用。张翱祥等（2021）研究证明，能源结构对产业结构高级化有一定程度的抑制作用。仇焕广等（2015）分析发现我国农村地区传统可再生能源消费下降、新型能源增长快，家庭经济水平等因素影响显著。

现有研究也存在一定不足。在研究视角上，对二者双向动态互动机制的系统性分析有待加强。多数文献侧重于考察单向因果关系，或将二者置于更复杂模型中的某一环节，而将二者作为一个简单闭环系统，专门刻画其内在动态互动机制（如相互影响的时序规律、强度与持续性）的研究尚不充分。在研究方法上，向量自回归（VAR）模型在此议题中的应用潜力可进一步挖掘。VAR 模型能够有效捕捉变量间的动态反馈效应，但在此特定议题中，综合运用脉冲响应函数与方差分解来系统描绘二者互动路径的研究实践仍可丰富。此外，目前对可再生能源与产业结构优化之间非线性关系和动态演化过程的研究还不够深入，难以全面把握二者在不同发展阶段的相互作用规律。

2　指标体系构建与数据来源

为捕捉可再生能源发展与产业结构优化之间的动态关联，本文选取我国第三产业增加值占 GDP

比重（INS）作为产业结构优化水平的代理变量。该指标是衡量产业结构高级化的经典指标（配第－克拉克定理）（赵光南，2017），其比重的提升直接反映了经济结构向低能耗、高附加值的服务业转变的趋势，与产业结构优化升级的内在逻辑高度一致（陈晓东等，2021）。其次，以可再生能源装机增量（RIC）衡量可再生能源发展水平。装机容量能够直接反映可再生能源领域的基础设施投入和建设成果；政府部门和学术界在进行宏观能源规划时，装机量是最基础的输入数据；此外，考虑到数据可获得性与统一性，装机量数据最为常见和规范，保证了研究的可重复性和数据的可比性（Li et al.，2025）。选择装机增量而非总量，是因为本研究聚焦于可再生能源产业的动态发展过程（如年度投资与建设活动）对经济结构的冲击效应，该指标能更敏锐地捕捉其短期至中期的影响。

根据国家统计局的统计标准，本文选取我国2011—2024 年第三产业增加值与 GDP 的比值和可再生能源装机增量的时间序列数据作为研究对象，其中，INS 表示产业结构，即第三产业增加值与 GDP 的比值；RIC 表示可再生能源发展水平，即可再生能源装机增量。样本数据来源于国家统计局、中国气象局、国家能源局、国际能源署。为了减少实证研究的误差，本文对所有变量进行取对数处理（姚加权等，2024），用 LNINS 表示产业结构、LNRIC 表示可再生能源发展水平。

3 我国可再生能源和产业结构现状分析

3.1 我国可再生能源发展现状

3.1.1 装机规模与发电量

近年来，中国在可再生能源领域发展迅速。自2011 年起，我国可再生能源发电装机总量持续增长，尤其是在 2024 年，新增装机规模同比大幅上升 23%。截至 2024 年年底，可再生能源装机容量接近 19 亿 kW，占全国总装机量的比重超过 50%。其中，太阳能发电装机 8.87 亿 kW，水电装机与风电装机合计达可再生能源装机总量的 50%，生物质发电装机 0.46 亿 kW（图 1）（国家能源局，2025）。

从发电量来看，火力发电仍然是我国主要的电力来源，但随着可再生能源的兴起，其占比在逐渐下降，可再生能源的发电量稳步提高，2024 年全年发电量超 3 万亿 kW·h，同比增长 19%，其中，风电太阳能发电量合计近 2 万亿 kW·h。

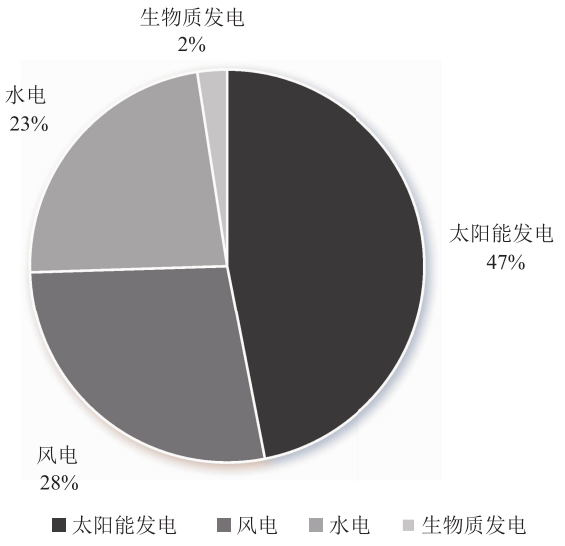


图 1 可再生能源装机量占比

Fig. 1 Share of installed renewable energy capacity

3.1.2 技术水平与产业竞争力

近年来，随着低碳经济的发展，我国可再生能源产业不断实现各类技术突破，大规模开发和利用各类可再生能源，行业整体技术水平显著提高。我国太阳能光伏技术不仅广泛用于交通、建筑等传统行业，在硅基、新能源电池产业也实现了诸多技术突破。在风电技术领域，我国陆上低风速风电技术已经达到国际一流，海上大容量风电机组技术保持国际同步（Dong et al.，2020）。在水电领域，我国已具备百万千瓦级水轮机组自主设计制造能力，且特高坝和大型地下洞室设计施工能力已达到世界领先水平。此外，我国生物质资源丰富，包括木质纤维素、农作物残渣、动物粪便、城市固体废物和污水污泥等（Cai et al.，2023；Kang et al.，2020），这些资源广泛用于发电、供热、能源供应等（Jiang et al.，2024）。因此，我国新能源产业凭借产业资源丰富、技术水平先进、产品种类多元化、产品成本低廉等优势，在国际竞争中处于领先地位。

3.2 我国产业结构发展现状

在实现经济高质量发展的进程中，我国始终将产业结构优化升级视为关键战略任务，目前已取得了较为显著的成果。国家统计局数据显示，自 2005 年至今，我国产业结构呈现出清晰的演进态势。

2005 年，第三产业增加值占 GDP 比重为 42.1%，此后，该比重逐年稳步提升，至 2024 年已攀升至 56.7%。这一显著变化，充分体现了我国经济结构正向高级化、活力化转型。

自 2010 年起，第三产业对 GDP 的贡献率虽受经济周期波动与政策调整影响短期内出现波动，但从长期来看，上升趋势明显。以 2010—2023 年为例，其贡献率从 39.5% 增长至 64.9%。新兴服务领域，如数字经济服务、现代金融服务等的快速发展，极大地提升了第三产业对 GDP 的贡献率。

2012 年以来，第三产业对国内生产总值的拉动作用也呈整体上升态势。传统生活性服务业与新兴生产性服务业规模不断扩张、质量持续提升，对国内生产总值的拉动作用愈发显著。这不仅反映了第三产业自身的繁荣，更是我国产业结构优化升级成果在经济增长层面的直观体现。

4　可再生能源与产业结构优化的动态互动机制

4.1　可再生能源发展对产业结构优化的促进机制

首先，可再生能源产业的兴起带动了相关高端制造业和现代服务业的协同发展。随着可再生能源在能源供应中的占比逐渐提高（Shi et al.，2024），这不仅推动了水电、风电、太阳能光伏产业等可再生能源产业的飞速发展，还带动了上下游产业的兴起，包括研发、设计、咨询、金融、运维服务等生产性服务业等（Chi et al.，2018）。这些生产性服务业本身就是第三产业的高附加值组成部分，其快速发展直接提升了第三产业在国民经济中的比重，为产业结构优化提供了新的动力，推动了产业结构向更高附加值的方向发展。

其次，可再生能源的应用促使传统产业的技术革新。目前，学界普遍认为产业结构优化包含产业结构的合理化和高级化两个维度。从产业结构合理化来看，可再生能源的使用在一定程度上降低了对传统化石能源的依赖（Liu et al.，2021），从而推动传统产业向绿色低碳方向转型，更衍生出对绿色技术研发、碳管理咨询、节能服务等生产性服务业的大量需求。这些新兴服务业态的增长，使产业间在产值、技术、资产等方面的协调能力增强（李海婷，2020），同时在资源利用、环境影响等层面实现了经济、社会、资源、环境、技术的相协调（刘淑茹，2011），推动产业结构的合理化发展。从产业结构高级化来看，传统产业技术革新提高了生产效率，解放了劳动力、资本等生产要素，促使其逐渐从第二产业向附加值更高的第三产业转移。这种要素的重新配置直接带动了第三产业比重的提高，最终实现了产业结构的整体优化。

4.2　产业结构优化对可再生能源发展的反馈机制

产业结构优化对可再生能源发展水平也存在一定的反馈作用。一方面，产业结构优化意味着经济资源向更高附加值的产业转移（周亚敏等，2014）。在短期内，这种资源重新配置可能会导致可再生能源产业面临一定的资金、技术和人才短缺问题，从而抑制其发展。但长期来看，一个以高附加值第三产业为主导的产业结构，为可再生能源的发展创造了根本性的有利条件。因为第三产业，特别是其核心部门（如数据中心、高端商务、科技研发等），对能源的清洁性和稳定性有着内在的高要求，这从需求侧为可再生能源提供了持续且广阔的市场。同时，产业结构优化也促进了技术创新和市场环境的改善，也从供给侧为可再生能源产业提供了更有力的支持。另一方面，产业结构优化过程中，第三产业比重的增加会进一步推动对可再生能源的需求（贾智杰等，2022）。第三产业多集中于人口密集的城市区域，对环境污染更为敏感，更倾向于使用清洁、高效的可再生能源（高雪莲等，2019）。因此，第三产业占比的提高会带动这种需求增加，进而推动可再生能源产业的发展，形成产业结构优化与可再生能源发展之间的良性互动。

4.3　研究假设

本文旨在探讨可再生能源发展与产业结构优化之间的互动关系。可再生能源发展与产业结构优化（具体表现为第三产业占比提升）构成一个动态循环系统。一方面，可再生能源发展通过培育生产性服务业和驱动传统产业绿色升级两条路径，直接推动产业结构向服务化、高端化演进；另一方面，以第三产业为主导的产业结构又因其对能源清洁性的内在需求和所创造的有利市场环境，为可再生能源提供长期、稳定的发展动力。二者形成“以能源转型促产业升级，以产业升级拉能源需求”

的良性互动格局。基于上述机制分析，提出以下研究假设。

H1：可再生能源发展与产业结构优化之间存在显著的双向正向影响关系，二者构成一个相互促进的协同系统。

H2：可再生能源发展水平的提升能显著促进产业结构向高级化和合理化方向演进。

H3：产业结构优化能显著反馈并加速可再生能源的发展规模和效率。

5 实证分析

5.1 模型选择与构建

本文采用向量自回归（vector auto-regression，VAR）模型来考察可再生能源发展水平（LNRIC）与产业结构优化升级（LNINS）之间的动态关系（Hau et al.，2025）。这一选择主要基于本研究问题的以下特点与 VAR 模型的方法论优势的高度适配性。首先，理论分析表明，可再生能源发展和升级后的产业结构（如第三产业占比提升）形成一种双向的、互为因果的反馈机制，与传统的单方程回归模型不同，VAR 模型作为一种系统估计方法，将所有变量均视为内生变量，能够更客观地揭示二者之间的真实互动关系，而非预先设定单一方向的因果关系。其次，VAR 模型通过引入变量自身及其他变量的滞后项，能够清晰地刻画一个变量的冲击如何随时间传递并影响整个系统，从而有效分析变量间的短期与长期动态影响。

VAR 模型假设每个变量不仅受到自身滞后值的影响，还受到其他变量滞后值的影响。其一般形式为

$$Y_t = \boldsymbol{A}_1 Y_{t-1} + \boldsymbol{A}_2 Y_{t-2} + \cdots + \boldsymbol{A}_p Y_{t-p} + C + \varepsilon_t , \quad (1)$$

式中：Y_t 为 k 个时间序列变量在时间 t 的值；$\boldsymbol{A}_1$，$\boldsymbol{A}_2$，…，$\boldsymbol{A}_p$ 为 $k \times k$ 的参数矩阵；p 为模型的滞后阶数，表示每个变量依赖于自身和其他变量的前 p 期值；C 为一个 $k \times 1$ 的常数向量；ε_t 为模型的截距项，是一个 $k \times 1$ 的误差向量。

初步 OLS 结果显示，LNINS 与 LNRIC 之间存在显著的同期正相关关系，模型拟合优度较高（R^2 = 0.718），F 值达 30.6，两者均在 1% 水平显著，表明 LNRIC 对 LNINS 具有较强的解释力。此结果为构建 VAR 模型提供了合理依据，提示两者可能存在动态联动关系，后续需进一步检验变量平稳性、确定最优滞后阶数，并进行格兰杰因果检验以验证其滞后影响方向。

5.2 VAR 模型分析

5.2.1 VAR 模型结果分析

为研究核心解释变量可再生能源发展水平和被解释变量产业结构优化 2 个时间序列之间的动态关系，本研究使用 2011—2024 年 LNINS 和 LNRIC 的数据构建了 VAR 模型（表 1），将系统中的每个内生变量表示为系统内所有内生变量的滞后值函数（Lai et al.，2025）。

表 1 VAR 模型结果

Table 1 VAR model results

项目	LNINS	LNRIC
LNINS（-1）	0.338 245	29.214 64
	(0.220 52)	(16.327 5)
	[1.533 88]	[1.789 29]
LNINS（-2）	0.053 763	-38.918 49
	(0.287 54)	(21.289 8)
	[0.186 98]	[-1.828 03]
LNINS（-3）	-0.050 921	19.782 79
	(0.189 44)	(14.026 2)
	[-0.268 8]	[1.410 41]
LNRIC（-1）	-0.008 227	0.627 292
	(0.004 86)	(0.360 04)
	[-1.691 81]	[1.742 27]
LNRIC（-2）	0.023 002 *	0.162 497
	(0.007 96)	(0.589 07)
	[2.891 21]	[0.275 85]
LNRIC（-3）	0.029 720 **	-0.617 435
	(0.007 30)	(0.540 75)
	[4.069 47]	[-1.141 82]
C	-0.380 679 ***	6.267 762
	(0.059 34)	(4.393 79)
	[-6.415 01]	[1.426 51]
拟合优度	0.992 483	0.844 017
调整后决定系数	0.981 206	0.610 043
残差平方和	0.000 126	0.688 439
方程标准误	0.005 603	0.414 861

续表 1

项目	LNINS	LNRIC
F 统计量	88.016 38	3.607 310
对数似然值	46.984 36	−0.366 589
因变量均值	−0.614 748	0.108 576
因变量标准差	0.040 872	0.664 346

注：括号中的数值是系数估计的标准误（standard error），用于衡量系数估计的精确度；中括号中的数值是 *t* 统计量（*t*-statistic），用于检验单个系数是否显著不为零；*、** 和 *** 分别表示系数在 10%、5% 和 1% 的水平上统计显著

从模型整体的拟合程度来看，LNINS 和 LNRIC 的 R^2 和调整后的 R^2 数值均处于较高水平，这表明模型拟合度较高，且在考虑模型中变量的数量，仍然显示出较好的拟合度。

通过 VAR 模型结果中 LNINS 的 *t* 统计量可以看出，其自身的滞后项对当前值的影响在统计上不显著；根据 LNRIC 的 *t* 统计量，其自身的滞后项对其当前值的影响在统计上显著。具体来看，一年前的可再生能源发展水平对当前水平有轻微的负向影响，2 年前和 3 年前的可再生能源发展水平对当前水平有正向影响。这可能是因为可再生能源发展在短期内的大量资源投入抑制了当下的发展，但在长期随着技术的进步和可再生能源系统的成熟，前期的投入将会逐渐产生效益，推动自身发展（卓振宇等，2021）。如 2009 年我国先后建成龙源如东海上（潮间带）试验风电场和总装机容量 102 MW 的上海东海大桥风电场，然而，“十二五”期间海上风电装机不足 100 万 kW，未达到规划目标（秦海岩，2022）。但“十三五”时期，得益于前期的技术储备，我国海上风电快速发展。2021 年上半年，全国海上风电新增并网容量 2.15 GW，同比增长 102.5%，呈现出强劲的发展态势。

5.2.2　滞后阶数选定

本研究采用多项准则综合评判滞后阶数的方法（Ochi et al.，2024）。表 2 列出了不同滞后阶数（从 0 到 3）下的多个信息准则。此外，还提供了 *LR*（序列修正的似然比检验）统计量。

表 2　VAR 模型滞后阶数综合评判表

Table 2　Comprehensive criteria for VAR model lag order

Lag	LogL	*LR*	FPE	AIC	*SC*	*HQ*
0	13.325 04	NA	0.000 438	−2.059 098	−1.986 754	−2.104 701
1	29.181 13	23.063 41	5.21×10^{-5}	−4.214 751	−3.997 718	−4.351 561
2	35.202 99	6.569 302	4.05×10^{-5}	−4.582 362	−4.220 639	−4.810 378
3	48.492 39	9.665 014*	1.03×10^{-5}*	−6.271 343*	−5.764 931*	−6.590 565*

注：*表示 VAR 模型滞后阶数选择参考标准

由表 2 可以看出，随着滞后阶数的增加，对数似然值增加，表明模型的拟合度提高。同时，滞后阶数为 3 时，FPE 值最小，且在 AIC 准则、SC 准则、HQ 准则下，滞后阶数为 3 是最优选择。LR 检验用于确定增加滞后阶数是否显著提高了模型的拟合度，滞后阶数为 3 时，LR 值为 9.665 014，并且带有一个星号（*），这表明在 5% 的显著性水平下，滞后阶数为 3 是显著的选择。

根据上述信息准则，特别是 AIC、*SC*、*HQ* 和 *LR* 检验结果，可以得出结论：滞后阶数为 3 是 VAR 模型的最佳选择，意味着在构建 VAR 模型时，应该考虑包括 LNINS 和 LNRIC 的 3 个滞后项，避免过度拟合，表明可再生能源发展和产业结构的变化具有一定的动态惯性，即他们的历史状态对当前状态有持续影响。因此，需要同时考虑短期（前一期）和长期（前两期和前三期）的影响，这有助于更全面地理解两者之间的动态互动关系。

5.2.3　模型稳定性检验

如表 3 所示，6 个特征值均小于 1，证明 LNINS 和 LNRIC 之间存在稳定的关系。进一步分析图 2 可知，所有特征值都分布在单位圆内，且在不同时间值上变量的波动幅度相对较小。综上所述，本研究所采用的 VAR 模型在产业结构优化调整与可再生能源发展水平关系的分析中是稳定的，具有较好的科学性和可靠性。

5.2.4　自相关检验

自相关系数衡量的是时间序列在不同滞后阶数下的相关性。系数的绝对值范围从 0 到 1，0 表示没有相关性，1 表示完全相关。如果自相关系数的值超出了置信区间（垂直线），表明在该滞后阶数下的自相关是显著的。图 3 为 2 个时间序列 LNINS 和 LNRIC 的自相关函数（ACF）图，用于检查残差

的自相关性。

表 3 VAR 模型稳定性

Table 3 VAR model stability

特征根		模
-0.247 083	-0.919 494i	0.952 113
-0.247 083	+0.919 494i	0.952 113
0.942 145		0.942 145
0.690 303	-0.527 707i	0.868 903
0.690 303	+0.527 707i	0.868 903
-0.863 049		0.863 049

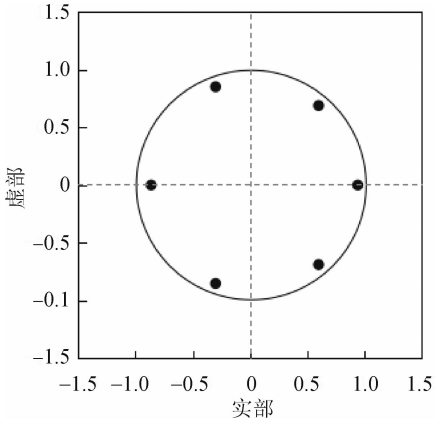


图 2 VAR 模型稳定性

Fig. 2 VAR model stability

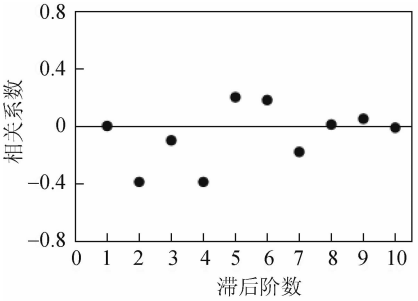
具体来看，在图 3（a）中，大多数自相关系数都在置信区间内，表明 LNINS 的残差在大多数滞后阶数下没有显著的自相关性。在图 3（b）和图 3（d）中，自相关系数也都大多在置信区间内，表明 LNINS 和 LNRIC 之间的残差在大多数滞后阶数下没有显著的交叉自相关性。在图 3（c）中，LNRIC 的自相关系数同样大多在置信区间内，表明 LNRIC 的残差在大多数滞后阶数下没有显著的自相关性。

总体来看，这些自相关图表明模型的残差在大多数滞后阶数下没有显著的自相关性，这是模型拟合良好的一个迹象。

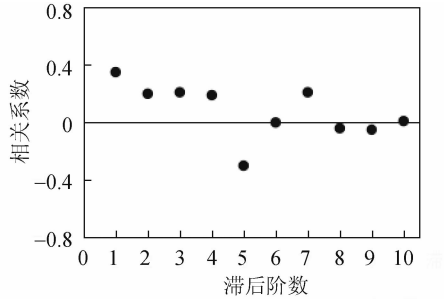
5.2.5 脉冲响应函数分析

通过脉冲响应分析，本研究探讨了 LNINS 和 LNRIC 两个变量对各自冲击的响应以及相互之间的影响。图 4 展示了 LNINS 和 LNRIC 对各自及对方冲击的响应。

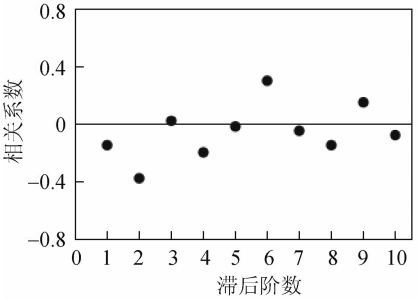
产业结构对自身正向冲击的响应在初期为正，表明产业结构的改善初期能够促进其自身的发展，但会逐渐减弱，至第 10 期时已接近于零，说明产业结构的自我强化效应具有时效性。例如，我国吉林省辽源市在“十一五”时期发展了“六大”接续替代产业，形成了“2115555”七大产业集群等，产业集群涉及多个领域，短期内推动了产业多元化发展以及协同发展，促进了产业升级。但从长期来



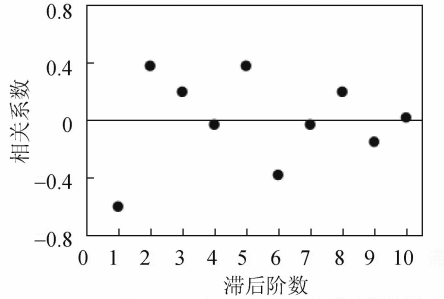
(a) LNINS与LNINS (-*i*)的相关系数图



(b) LNINS与LNRIC (-*i*)的相关系数图



(c) LNRIC与LNRIC (-*i*)的相关系数图



(d) LNRIC与LNINS (-*i*)的相关系数图

图 3 VAR 模型自相关检验

Fig. 3 VAR model autocorrelation test

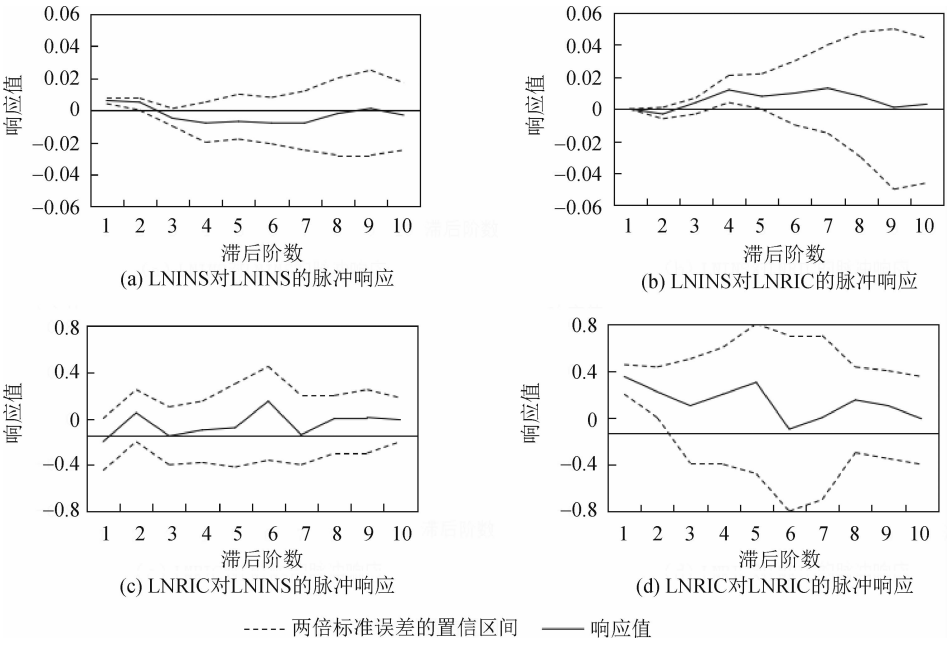


图 4　LNINS 和 LNRIC 脉冲函数

Fig. 4　Impulse response functions of LNINS and LNRIC

看，产业结构调整发展到一定阶段，基于自身结构调整所产生的内生动力会逐渐耗尽，辽源市统计局数据显示，2022 年末七大产业产值同比增长仅 1.4%，且产业结构不优、行业规模偏小。这些产业发展仍面临生产要素缺乏以及技术水平落后等诸多问题（辽源市人民政府，2023），需要依靠外界因素如技术进步、政策支持等刺激产业结构优化升级。

产业结构对可再生能源发展水平的冲击响应表现为先负后正，并在第 7 期达到峰值，表明可再生能源发展水平的提高在长期可作为产业结构优化的积极因素。例如，我国内蒙古自治区风能资源丰富，从 20 世纪 90 年代开始大规模发展风电产业，到 2022 年年底，风电累计装机容量达到 6 163 万千瓦，形成了集制造生产和研发生产等为一体的产业集群。同时，围绕风电产业的运维、检测、技术培训等服务业也蓬勃发展，推动产业结构向以清洁能源产业为核心的高端制造业和现代服务业协同发展的方向转变。

可再生能源发展水平对产业结构冲击的响应在初期为负，随后在第 3 期转为正向，并在第 5 期达到峰值。这表明产业结构优化在短期内可能会抑制可再生能源的发展，但会逐渐减弱，并转变为促进作用。例如在产业优化过程中，推动钢铁行业去产能，然而，部分可再生能源产业如风电设备制造企业需要大量的钢材作为原材料，钢铁产量的下降和钢材价格的波动，使得企业生产成本上升，抑制了可再生能源产业的短期发展。但在长期，随着产业结构逐渐优化，钢铁行业的产品质量上升、产品价格稳定，有利于可再生能源设备制造企业提高生产效率、稳定生产成本，促进可再生能源产业的长期发展。

可再生能源发展水平对自身正向冲击的响应在初期为正，随后迅速转为负向，并在第 5 期达到最低点。这一结果表明，可再生能源发展水平的提高在短期内能够促进其自身的发展，但长期来看，这种自我强化效应可能会受到一定的制约。如我国甘肃省拥有丰富的风能和太阳能资源，前期可再生能源产业发展迅速。然而，从长期来看，甘肃本地电力市场规模有限，难以完全消纳大规模的可再生能源电力，影响了可再生能源产业自我强化效应的持续提升。此外，甘肃省储能技术的成本较高以及性能较差，一定程度上制约了可再生能源产业的长期自我强化发展。

5.2.6　*方差分解*

为进一步量化评估每个变量对模型中其他变量预测误差方差的贡献度（De Paula Leite et al.，2024），本研究对 VAR 模型进行方差分解，结果如表 4、表 5 所示。

根据 LNINS 方差分解结果可得：在第 1 期，

表 4 LNINS 方差分解

Table 4 Variance decomposition of LNINS

期数	预测标准误	LNINS	LNRIC
1	0.005 603	100.000 0	0.000 000
2	0.007 320	84.541 00	15.459 00
3	0.009 772	62.259 05	37.740 95
4	0.019 932	25.155 79	74.844 21
5	0.024 530	19.457 39	80.542 61
6	0.027 570	21.702 50	78.297 50
7	0.031 144	21.639 65	78.360 35
8	0.032 382	20.237 01	79.762 99
9	0.032 392	20.240 54	79.759 46
10	0.032 514	20.435 87	79.564 13

表 5 LNRIC 方差分解

Table 5 Variance decomposition of LNRIC

期数	预测标准误	LNINS	LNRIC
1	0.414 861	28.882 66	71.117 34
2	0.469 938	22.766 49	77.233 51
3	0.500 038	26.907 55	73.092 45
4	0.530 236	26.467 08	73.532 92
5	0.565 837	24.171 91	75.828 09
6	0.574 247	25.649 23	74.350 77
7	0.578 551	26.750 94	73.249 06
8	0.589 089	25.809 94	74.190 06
9	0.592 585	25.551 01	74.448 99
10	0.592 720	25.571 60	74.428 40

LNINS 的方差完全由自身解释（100%），而 LNRIC 对其没有贡献；随着时间推移，LNINS 对自身方差解释的比重逐渐下降，从第 2 期的 84.54% 降至第 10 期的 20.44%；与此同时，LNRIC 对 LNINS 方差的贡献逐渐增加，从第 2 期的 15.46% 增至第 10 期的 79.56%，表明随着预测时限的延长，LNRIC 对 LNINS 的预测误差方差的贡献变得更加重要。

根据 LNRIC 方差分解结果分析可得：在第 1 期，LNRIC 的方差主要由自身解释（71.12%），LNINS 对其贡献为 28.88%；在随后各期，LNRIC 对自身方差解释的比重略有波动，但总体上保持在 70% 以上。LNINS 对 LNRIC 方差的贡献在 22.77% 至 26.75% 之间波动，表明 LNRIC 的方差主要由自身解释，但 LNINS 也有一定的贡献。

综上所述，随着预测时限的延长，LNRIC 对 LNINS 方差的贡献显著增加，表明可再生能源发展水平的波动在长期内对产业结构有较大影响。以我国光伏产业为例，2010—2013 年得益于一系列补贴政策，光伏产业发展规模迅速扩大，推动了如交通运输业、光伏产品安装维护行业的发展，并且光伏产品被作为生产要素投入到旅游、通信、医疗等行业中，促进了产业升级。但在 2018 年光伏补贴标准降低等一系列政策实施后，光伏产业发展受到限制，发展速度放缓，相关产业的业务量和资源供应受到影响，阻碍了产业结构合理化和高级化发展。

6 结论与建议

在能源转型和可持续发展背景下，本文采用多向量自回归（VAR）模型的方法，从系统动态性的视角出发，弥补了单一方向因果关系研究的不足，通过脉冲响应与方差分解完整呈现了二者相互影响的动态路径与强度，验证了我国可再生能源发展水平与产业结构优化之间的动态互动关系。

首先，本研究证实了 H1 成立，实证结果证实了二者之间存在显著的双向格兰杰因果关系，而非单向影响。这意味着可再生能源发展与产业结构优化构成一个相互驱动、互为因果的反馈系统。其次，通过脉冲响应分析和方差分解结果可以看出，在长期内，可再生能源发展水平对产业结构优化具有显著的正向影响，是促进产业结构优化的积极因素，且这种影响在长期内不断增强，可再生能源发展成为推动产业结构优化的核心外部动力，上述结论验证了 H2 成立。最后，根据方差分解结果可知，产业结构优化对可再生能源发展方差的贡献度稳定在 25% 左右，表明一个高级化的产业体系为可再生能源提供了持续的市场需求和发展环境，是其发展的稳定助推器。

基于上述结论，提出如下政策建议：政府应加大对可再生能源产业的扶持力度，通过政策引导和资金支持，促进可再生能源技术的研发和应用，提高可再生能源在能源供应中的占比，推动产业结构的优化升级；同时，注重产业结构合理调整，鼓励新兴产业发展，提高传统产业的技术水平和竞争力，为可再生能源产业的发展创造良好的市场环境和政策环境，实现可再生能源发展与产业结构优化之间的良性互动，以实现经济高质量发展。

参考文献

陈晓东，杨晓霞，2021. 数字经济发展对产业结构升级的影响：基于灰关联熵与耗散结构理论的研究[J]. 改革(3)：26-39.〔CHEN X D，YANG X X，2021. The impact of digital economic development on the upgrading of industrial structure：Based on the

research of grey relational entropy and dissipative structure theory [J]. Reform(3): 26-39.〕

崔茗莉, 冯天天, 刘利利, 2024. 双碳目标下区块链与可再生能源的融合发展研究[J]. 智慧电力, 52(2): 17-24.〔CUI M L, FENG T T, LIU L L, 2024. Integration and development of blockchain and renewable energy under double carbon target[J]. Smart Power, 52(2): 17-24.〕

高雪莲, 王佳琪, 张迁, 等, 2019. 环境管制是否促进了城市产业结构优化?: 基于"两控区"政策的准自然实验[J]. 经济地理, 39(9): 122-128, 137.〔GAO X L, WANG J Q, ZHANG Q, et al., 2019. Could environmental control optimize urban industrial structure?: Evidence from a quasi-natural experiment of "Two Control Zones" policy in China[J]. Economic Geography, 39(9): 122-128, 137.〕

郭安宁, 陈晓, 李觅, 2023. 黄河流域碳排放效率与产业结构优化耦合协调分析[J]. 地域研究与开发, 42(5): 134-139.〔GUO A N, CHEN X, LI M, 2023. Coupling coordination of carbon emission efficiency and industrialstructure optimization in the Yellow River Basin[J]. Areal Research and Development, 42(5): 134-139.〕

国家能源局, 2025. 2024 年可再生能源并网运行情况[EB/OL]. (2025-02-21)[2025-03-13]. https://www.nea.gov.cn/20250221/e10f363cabe3458aaf78ba4558970054/c.html

贾智杰, 林伯强, 2022. 国有企业、价格管制与经济稳定: 来自中国特色汽柴油市场的视角[J]. 中国人口·资源与环境, 32(7): 173-185.〔JIA Z J, LIN B Q, 2022. State-owned enterprises, price regulation, and economic stability: From the perspective of gasoline and diesel markets with Chinese characteristics [J]. China Population, Resources and Environment, 32(7): 173-185.〕

李博阳, 李廷瑞, 沈悦, 2024. 绿色金融能否促进可再生能源发展: 以绿色信贷和绿色风投为例[J]. 生态经济, 40(5): 63-70.〔LI B Y, LI T R, SHEN Y, 2024. Can green finance promote renewable energy development: Taking green credit and green venture capital as examples[J]. Ecological Economy, 40(5): 63-70.〕

李博阳, 罗光锐, 邢冰冰, 等, 2023. 绿色信贷对可再生能源发展的影响: 理论剖析与实证解读[J]. 资源科学, 45(4): 800-811.〔LI B Y, LUO G R, XING B B, et al., 2023. The impact of green credit on the development of renewable energy: Theoretical analysis and empirical interpretation [J]. Resources Science, 45 (4): 800-811.〕

李海婷, 2020. 环境规制对矿业产业结构优化的影响研究综述[J]. 中国矿业, 29(2): 21-25.〔LI H T, 2020. A survey on environmental regulation's influence on the optimization of industrial structure[J]. China Mining Magazine, 29(2): 21-25.〕

李晓敏, 刘世哲, 薛栋, 2024. 可再生能源发展对碳排放的影响效应研究[J]. 软科学, 38(12): 86-92, 100.〔LI X M, LIU S Z, XUE D, 2024. The impact of renewable energy development on carbon emissions[J]. Soft Science, 38 (12): 86-92, 100.〕

辽源市人民政府, 2023. 辽源: 打好"产业兴市、工业强市"攻坚战[EB/OL]. (2023-03-28)[2025-04-13]. http://sj.liaoyuan.gov.cn/xxgk/sjkf/tjsj/202303/t20230328_646570.html.

刘淑茹, 2011. 产业结构合理化评价指标体系构建研究[J]. 科技管理研究, 31(5): 66-69.〔LIU S R, 2011. Study of building a rational evaluating index system for the industrial structure[J]. Science and Technology Management Research, 31(5): 66-69.〕

马华, 方叶兵, 贝亦明, 等, 2024. 中国可再生能源发展水平时空分异特征及影响因素[J]. 北京大学学报(自然科学版), 60(6): 1131-1142.〔MA H, FANG Y B, BEI Y M, et al., 2024. Spatio-temporal differentiation characteristics and influencing factors of China's renewable energy development level[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 60(6): 1131-1142.〕

马丽梅, 黄棠乐, 2022. 金融驱动与可再生能源发展: 基于跨国数据的动态演化分析[J]. 中国工业经济(4): 118-136.〔MA L M, HUANG C L, 2022. Financial drivers and renewable energy development: A dynamic evolution analysis based on multinational data[J]. China Industrial Economics(4): 118-136.〕

孟思琦, 孙仁金, 邓钰瞳, 等, 2023. 中国省域可再生能源电力消费对碳排放量的时空影响[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 25(4): 83-93.〔MENG S Q, SUN R J, DENG Y X, et al., 2023. Research on temporal and spatial impact of China's provincial renewable energy consumption on carbon emissions[J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 25(4): 83-93.〕

秦海岩, 2022. 我国海上风电发展回顾与展望[J]. 海洋经济, 12(2): 50-58.〔QIN H Y, 2022. Review and prospect of offshore wind power development in China [J]. Marine Economy, 12 (2): 50-58.〕

仇焕广, 严健标, 江颖, 等, 2015. 中国农村可再生能源消费现状及影响因素分析[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 17(3): 10-15.〔QIU H G, YAN J B, JIANG Y, et al., 2015. Renewable energy consumption in rural China: Current situation and major driven factors[J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 17(3): 10-15.〕

任继球, 魏丽, 刘振中, 等, 2025. "十五五"时期推动产业新旧动能转换: 发展环境、问题瓶颈与路径任务[J]. 经济学家(2): 96-105.〔REN J Q, WEI L, LIU Z Z, et al., 2025. Promoting the transformation of old and new growth drivers in industries during the "15th Five-Year Plan" period: Development environment, problem bottlenecks and pathway tasks[J]. Economist(2): 96-105.〕

沈小波, 陈语, 林伯强, 2021. 技术进步和产业结构扭曲对中国能源强度的影响[J]. 经济研究, 56(2): 157-173.〔SHEN X B, CHEN Y, LIN B Q, 2021. The impacts of technological progress and industrial structure distortion on China's energy intensity [J]. Economic Research Journal, 56(2): 157-173.〕

孙传旺, 许帅, 2024. 向零碳可再生能源转轨发展: 公园城市建设的机理、挑战与路径[J]. 经济体制改革(5): 5-13.〔SUN C W, XU S, 2024. Transitioning to zero-carbon renewable energy: Mechanism, challenges, and paths of park city construction[J]. Reform of Economic System(5): 5-13.〕

孙浩, 兰甜甜, 2023. 环境规制、产业结构调整与能源效率[J]. 统计与决策, 39(8): 46-50.〔SUN H, LAN T T, 2023. Environmental regulation, industrial restructuring and energy efficiency [J]. Statistics & Decision, 39(8): 46-50.〕

王海, 郭冠宇, 尹俊雅, 2025. 在转型中向"绿"而行: 产业结构调整与企业绿色创新[J]. 数量经济技术经济研究, 42(1): 93-115.

〔WANG H, GUO G Y, YIN J Y, 2025. Moving toward green in transformation: Industrial structure adjustment and green innovation [J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 42(1): 93-115.〕

王强, 郑颖, 伍世代, 等, 2011. 能源效率对产业结构及能源消费结构演变的响应[J]. 地理学报, 66(6): 741-749.〔WANG Q, ZHENG Y, WU S D, et al., 2011. Mechanism of energy efficiency response to industrial restructuring and energy consumption structure change[J]. Acta Geographica Sinica, 66(6): 741-749.〕

姚加权, 张锟澎, 郭李鹏, 等, 2024. 人工智能如何提升企业生产效率?: 基于劳动力技能结构调整的视角[J]. 管理世界, 40(2): 101-116, 133, 117-122.〔YAO J Q, ZHANG K P, GUO L P, et al., 2024. How does artificial intelligence improve firm productivity?: Based on the perspective of labor skill structure adjustment [J]. Journal of Management World, 40(2): 101-116, 133, 117-122.〕

於世为, 孙亚方, 胡星, 2022. "双碳"目标下中国可再生能源政策体系完善研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 24(4): 93-102.〔YU S W, SUN Y F, HU X, 2022. Research on the improvements of China's renewable energy policy system under the dual carbon goals [J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 24(4): 93-102.〕

袁培, 董志炜, 赵娜, 2023. "双碳"目标、产业结构与可再生能源发展探析[J]. 上海节能(8): 1097-1105.〔YUAN P, DONG Z W, ZHAO N, 2023. Analysis of "double carbon" goal, industrial structure and renewable energy development[J]. Shanghai Energy Saving(8): 1097-1105.〕

张翱祥, 邓荣荣, 2021. 中部六省碳排放效率与产业结构优化的耦合协调度及影响因素分析[J]. 生态经济, 37 (3): 31-37.〔ZHANG A X, DENG R R, 2021. Coupling coordination degree of carbon emission efficiency and industrial structure optimization in six provinces of Central China and research on its influencing factors [J]. Ecological Economy, 37(3): 31-37.〕

张伟, 朱启贵, 高辉, 2016. 产业结构升级、能源结构优化与产业体系低碳化发展[J]. 经济研究, 51(12): 62-75.〔ZHANG W, ZHU Q G, GAO H, 2016. Upgrading of industrial structure, optimizing of energy structure, and low carbon development of industrial system [J]. Economic Research Journal, 51 (12): 62-75.〕

赵光南, 2017. 建国以来我国产业结构优化问题研究的进展: 基于马克思主义政治经济学的视角[J]. 经济问题探索(2): 47-52.

赵振宇, 马旭, 2022. 可再生能源电力对碳排放的作用路径及影响: 基于省际数据的中介效应检验[J]. 华东经济管理, 36(7): 65-72.〔ZHAO Z Y, MA X, 2022. The path and impact of renewable energy power on carbon emissions: Mediating effect test based on interprovincial data[J]. East China Economic Management, 36(7): 65-72.〕

周亚敏, 潘家华, 冯永晟, 2014. 绿色就业: 理论含义与政策效应[J]. 中国人口·资源与环境, 24(1): 21-27.〔ZHOU Y M, PAN J H, FENG Y S, 2014. The conceptual framework and policy implications of green job [J]. China Population, Resources and Environment, 24(1): 21-27.〕

卓振宇, 张宁, 谢小荣, 等, 2021. 高比例可再生能源电力系统关键技术及发展挑战[J]. 电力系统自动化, 45(9): 171-191.〔ZHUO Z Y, ZHANG N, XIE X R, et al., 2021. Key technologies and developing challenges of power system with high proportion of renewable energy [J]. Automation of Electric Power Systems, 45 (9): 171-191.〕

CAI W F, WANG X F, ZHU Z, et al., 2023. Synergetic effects in the co-pyrolysis of lignocellulosic biomass and plastic waste for renewable fuels and chemicals[J]. Fuel, 353(Suppl C): 129210.

CHI J, YU H M, 2018. Water electrolysis based on renewable energy for hydrogen production[J]. Chinese Journal of Catalysis, 39(3): 390-394.

DONG F, PAN Y L, 2020. Evolution of renewable energy in BRI countries A combined econometric and decomposition approach[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(22): E8668.

DE PAULA LEITE A C, PIMENTEL L M, DE ALMEIDA MONTEIRO L, 2024. Impact of agricultural and energy prices on the biofuels market through a VAR-VEC model [J]. Renewable Energy, 232: 121130.

HAU L Y, LIU X L, WU X Y, 2025. Multiscale cross-sector tail credit risk spillovers in China: Evidence from EEMD-based VAR quantile analysis[J]. Research in International Business and Finance, 73 (Part A): 102602.

JIANG P, ZHAO G H, ZHANG H, et al., 2024. Towards carbon neutrality of calcium carbide-based acetylene production with sustainable biomass resources[J]. Green Energy & Environment, 9 (6): 1068-1078.

KANG Y T, YANG Q, BARTOCCI P, et al., 2020. Bioenergy in China: Evaluation of domestic biomass resources and the associated greenhouse gas mitigation potentials[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 127: 109842.

LAI W T, CHEN R B, HUANG S F, 2025. A modified VAR-deGARCH model for asynchronous multivariate financial time series via variational Bayesian inference [J]. International Journal of Forecasting, 41(1): 345-360.

LI M D, HAN C F, MENG L P, et al., 2025. Spatiotemporal dynamics and driving factors of the coupling coordination between solar photovoltaic efficiency and installed capacity in China (2015-2023) [J]. Renewable Energy, 247: 122991.

LIU Y P, LIANG X, CHEN H, et al., 2021. Iridium-containing water-oxidation catalysts in acidic electrolyte [J]. Chinese Journal of Catalysis, 42(7): 1054-1077.

OCHI A , SAIDI A, 2024. Impact of governance quality, population and economic growth on greenhouse gas emissions: An analysis based on a panel VAR model [J]. Journal of Environmental Management, 370: 122613.

SHI Y H, WANG H L, LI C J, et al., 2024. Stochastic optimization of system configurations and operation of hybrid cascade hydro-wind-photovoltaic with battery for uncertain medium-and long-term load growth[J]. Applied Energy, 364: 123127.