http://www.resourcesindustries.net.cn zycy@cugb.edu.cn

# 数字经济对农村能源贫困的影响研究

卞雪珂[1,2]，蔡林美[1,2]

（1. 延安大学 经济与管理学院，陕西 延安 716000；
2. 陕西省能源产业绿色低碳发展软科学研究基地，陕西 延安 716000）

**摘 要：**破解农村能源贫困是推进乡村全面振兴、落实“双碳”发展战略、实现人与自然和谐共生的关键任务。当前我国农村仍面临能源可及性不足、用能成本偏高、基础设施滞后等结构性难题，而数字经济作为驱动要素配置重构、赋能传统产业升级的关键力量，为破解农村能源贫困提供了新路径。基于 2014—2023 年我国 30 个省（市、区）面板数据，采用熵值法分别构建数字经济发展综合指数与农村能源贫困多维指数，运用双向固定效应模型，实证检验数字经济对农村能源贫困的影响效应，并通过多重稳健性检验验证结论可靠性。进一步构建中介效应模型，识别数字经济缓解农村能源贫困的传导路径。最后采用 Hansen 面板门槛回归模型，结合 Bootstrap 自抽样法，检验数字经济影响农村能源贫困的非线性门槛特征，并开展区域异质性分析，探究不同发展条件下数字经济能源减贫效应的差异化规律。研究结果表明，数字经济对农村能源贫困具有显著的缓解作用，且该结论经过多重稳健性检验后依然成立。机制检验表明，数字经济主要通过 2 条路径发挥减贫效能：1）推动产业结构升级，创造更多就业岗位与增收机会，增强农村居民能源消费支付能力；2）赋能农村能源基础设施水平提升，优化能源供给结构与配置效率，改善农村用能条件。异质性分析结果表明，数字经济的减贫效应具有显著的区域差异，整体呈现“西部最强、中部次之、东部不显著”的特征，且在经济欠发达地区的作用更为突出。门槛效应检验表明，数字经济对农村能源贫困的缓解作用存在单一门槛特征，当数字经济发展水平跨越门槛临界值后，其缓解效应显著增强。基于上述研究结论，提出以下政策建议：加快农村数字基础设施建设，补齐中西部地区数字短板，夯实能源数字化转型基础；推动数字经济与农村产业深度融合，以产业升级带动居民增收，从根源上缓解能源贫困；实施差异化数字赋能策略，重点支持欠发达地区数字经济发展，充分释放数字减贫红利；健全农村能源数字化服务体系，推动能源基础设施智能化升级，实现能源减贫与“双碳”目标协同推进。

**关键词：**数字经济；农村能源贫困；产业结构升级；农村能源基础设施；门槛效应

**中图分类号：**F205 **文献标识码：**A **文章编号：**1673－2464（2026）05－0084－13

## The Impacts of Digital Economy on Rural Energy Poverty

BIAN Xueke[1,2], CAI Linmei[1,2]

(1. *School of Economics and Management, Yan'an University, Yan'an* 716000, *China*;

**收稿日期：**2026－01－04；**修订日期：**2026－05－01；**责任编辑：**胡媛。

**网络出版地址：**https://link.cnki.net/urlid/11.5426.TD.20260727.1630.002 **DOI：**10.13776/j.cnki.resourcesindustries.20260727.001

**基金项目：**陕西省哲学社会科学重大理论与现实问题重点智库研究项目（2021ZD0998）；碳达峰、碳中和政策体系研究（2021D1001）；陕西省人大财经委高质量发展专题调研课题研究项目（2022HZ1541）；延安大学 2025 年研究生科研创新计划项目（YKY2025058）。

**第一作者简介：**卞雪珂，硕士生，主要从事能源经济与管理研究。E-mail：18837611839@163.com

**通信作者简介：**蔡林美，博士、讲师，主要从事能源经济与管理研究。E-mail：cailinmei0510@yau.edu.cn

*引用格式*：卞雪珂，蔡林美，2026. 数字经济对农村能源贫困的影响研究[J]. 资源与产业，28(5)：84－96.
*BIAN Xueke, CAI Linmei*, 2026. *The impacts of digital economy on rural energy poverty*[J]. *Resources & Industries*, 28(5): 84－96.

2. *Shaanxi Provincial Soft Science Research Base for Green and Low-Carbon Development of the Energy Industry*, *Yan'an* 716000, *China*)

**Abstract**: Alleviating rural energy poverty is critical to rural revitalization, the "dual carbon" strategy, and human-nature harmony. Rural China still faces insufficient energy access, high energy costs, and lagging infrastructure. As a key force reshaping factor allocation and upgrading traditional industries, the digital economy offers a new path. Using panel data from 30 provincial-level regions in China from 2014 to 2023, this study constructs a digital economy development index and a multidimensional rural energy poverty index via the entropy weight method. It uses a two-way fixed effects model to test the impact, a mediation model to identify transmission paths, and a Hansen panel threshold model with Bootstrap to examine nonlinear threshold effects and regional heterogeneity. Results show that digital economy significantly alleviates rural energy poverty, and this conclusion remains robust after multiple checks. Mechanistically, it reduces energy poverty by promoting industrial upgrading, creating jobs and income, and by improving rural energy infrastructure and supply efficiency. The effect is strongest in the west, weaker in the center, and insignificant in the east, and is more pronounced in less developed areas. It also has a single-threshold feature. Once digital economy development crosses the threshold, its alleviating effect strengthens markedly. Policy recommendations include accelerating rural digital infrastructure, closing digital gaps in central and western regions, deepening integration between the digital economy and rural industries to raise incomes, adopting differentiated digital empowerment strategies for underdeveloped areas, and improving digital energy services and intelligent infrastructure to coordinate energy poverty reduction with the "dual carbon" goals.

**Key words**: digital economy; rural energy poverty; industrial structure upgrading; rural energy infrastructure; threshold effect

## 0　引言

党的二十大报告强调"加强能源产供储销体系建设，确保能源安全"，为农村能源高质量发展筑牢战略根基。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》将推进农村能源转型纳入城乡融合发展与乡村振兴的重点任务，提出以加快建设新型能源体系为统领，通过持续提高新能源供给比重、完善农村能源基础设施网络、提升能源普遍服务水平等具体举措，破解农村能源贫困问题，形成战略引领与阶段落实紧密衔接的政策导向。在国家战略引导下，农村能源发展已成为巩固脱贫攻坚成果、推进乡村振兴的关键领域。当前，我国虽已消除绝对能源贫困，但农村地区仍面临清洁能源可获得性不足、能源消费结构单一、能源利用效率偏低等多种挑战（唐松林等，2025）。部分农村家庭仍高度依赖薪柴、秸秆等传统生物质能源，面临环境污染与健康风险（刘南等，2025）；同时，农村能源基础设施较差、供需匹配失衡等问题，进一步制约了能源服务质量的提升（何可等，2023）。农村能源贫困已从传统的"缺能少电"转向"可获得性不足、可负担性较弱、结构性失衡"的复合型困境（何可等，2023），其缓解亟需新要素赋能与路径创新。

数字经济作为重构生产要素配置的新型经济形态，为缓解农村能源贫困提供了新方向。随着数字技术在农业生产、基础设施建设、公共服务供给等领域深度渗透，数据要素的高渗透性、非竞争性与可无限复制性，使其能够打破传统能源发展的时空限制：既可通过数字平台整合分布式光伏、风电等分散能源资源，优化供需匹配效率；又能赋能能源基础设施智能化升级，提升供应稳定性与清洁性；还可通过农村电商拓宽节能产品与清洁能源技术的推广渠道，从供需两端系统性改善农村能源服务质量（赵子微等，2025；玛依努尔等，2025）。在此背景下，数字经济能否成为农村能源贫困缓解的新引擎？其作用机制与实践路径如何？解答这一问题既契合政策导向，又关乎农村能源转型与乡村振兴的深度融合。

农村能源贫困本质上是能源供需失衡与效率失衡的综合体现，其核心维度涵盖能源可获得性、消费结构、负担能力与利用效率（何可等，2023；刘自敏等，2022）。近年来，国内外学者围绕能源贫困影响因素开展了丰富研究。国外研究起步较早，Bhutto et al.（2007）指出可再生能源开发是破解发

展中国家农村能源贫困的有效途径，为能源转型提供了重要思路。Banerjee et al.（2021）基于跨国数据实证证实，电气化水平提升能显著改善农村能源可获得性，缓解能源贫困。Carfora et al.（2024）则发现，能源价格波动直接影响家庭能源可负担性，是加剧能源贫困的关键因素。同时，部分国外研究开始关注数字技术与能源贫困的关联：Dino et al.（2023）指出数字技术能够推动农村家庭实现能源角色转型——从仅购买使用能源的被动消费者转变为可自主生产清洁能源（如光伏发电）、满足自身消费并对外售卖多余能源的主动参与者，这一转型有助于提升能源利用效率与收入水平。Luan et al.（2023）发现，数字鸿沟会通过加剧收入贫困、限制就业机会等渠道间接恶化家庭能源贫困状况，凸显了数字赋能的重要性。国内研究聚焦中国农村能源贫困的独特性，也形成了丰富成果。在测度维度上，学者普遍采用多维指标体系，刘自敏等（2022）从能源服务可得性、消费清洁度、管理完备性等维度构建评价体系，何可等（2023）进一步纳入能源负担能力与利用效率指标，全面刻画农村能源贫困的复合型特征。在影响因素方面，唐松林等（2025）基于2015—2022 年省级面板数据，证实分布式光伏通过提升居民收入与完善能源基础设施，显著缓解农村能源贫困；刘南等（2025）研究发现，能源市场一体化通过削弱所有制分割与地理分割、增强能源服务稳定性，降低农村能源贫困水平；赵子微等（2025）利用多期双重差分法揭示，新型城镇化通过增加居民收入、提高能源效率与积累社会资本3 条路径抑制家庭能源贫困；张锦等（2022）研究表明，城镇化对农村能源贫困的影响存在空间异质性，且对消费结构维度的贫困缓解效应更为显著。在数字经济与农村发展的关联研究中，国内学者证实数字技术能够打破城乡要素流动壁垒，推动智慧农业、农村电商等新业态发展（赵子微等，2025），同时赋能能源基础设施智能化升级，为农村能源转型提供技术支撑（唐松林等，2025）。

尽管现有研究为理解农村能源贫困与数字经济的作用关系提供了重要基础，但仍存在 3 方面可扩展的空间：1）现有文献多聚焦于分布式光伏、城镇化、碳交易等单一政策或因素对缓解农村能源贫困的作用（何可等，2023；唐松林等，2025），缺乏数字经济影响农村能源贫困的研究；2）现有研究尚未构建“数字经济—中介变量—农村能源贫困”的完整分析框架；3）现有成果未充分结合数字经济的技术特性与农村能源贫困的多维特征，对数字技术如何适配农村能源消费场景、破解供需失衡的分析不够深入。

鉴于此，本文基于 2014—2023 年我国 30 个省（市、区）的面板数据，运用双向固定效应模型，实证检验了数字经济对农村家庭能源贫困的影响效应和作用机制，并进行异质性分析。相较于已有研究，本文的边际贡献主要体现在以下 3 个方面：1）将数字经济纳入农村能源贫困研究框架，系统分析其直接影响与间接传导机制，弥补了单一因素研究的局限，丰富了农村能源贫困影响因素的相关理论；2）构建“数字经济—产业结构升级/农村能源基础设施水平—农村能源贫困”的链式机制，明确双重中介路径的作用逻辑，揭示数字经济从供需两端缓解农村能源贫困的内在机理，为理解数字技术赋能农村能源转型提供新的理论解释；3）结合政策导向与农村实际，基于数字经济缓解农村能源贫困的具体路径，为政策制定者设计靶向性措施提供参考，助力数字乡村建设与农村能源革命协同推进，为乡村振兴与共同富裕提供实践支撑。

## 1 理论分析与研究假设

### 1.1 数字经济对农村能源贫困的直接影响

农村能源贫困主要表现为农村居民难以获得可靠、清洁、可负担的能源服务，限制了其生活质量改善和经济发展。数字经济以数字化知识和信息为关键生产要素，以数字技术（大数据、物联网、人工智能等）为核心驱动力，通过全方位渗透农村能源生产、流通、消费全链条，直接作用于农村能源贫困的核心维度，实现有效缓解。从能源服务可得性来看，数字技术打破城乡信息壁垒与地理限制：一方面，通过能源服务 APP、电商平台等载体，让农村家庭便捷获取清洁能源购买渠道、能源补贴申请、设备维修预约等服务信息，减少信息不对称导致的能源获取障碍；另一方面，数字平台能够聚合资金、技术资源，推动分布式光伏、小型风电、智能微电网等分散式能源项目在农村偏远地区落地，填补传统能源供应的覆盖空白，解决农村能源“最后一公里”难题。从能源消费结构来看，数字经济契合能源阶梯理论的核心逻辑，即收入提升与技术

普及将驱动家庭能源消费从低效率、高污染的传统生物质燃料，向清洁高效的电力、天然气等现代能源转型。数字技术推广催生的智能家电、节能设备在农村的普及，以及线上能源知识宣传教育，进一步强化农村家庭的清洁用能意识，加速能源消费结构升级，降低对传统固体能源的依赖。从能源负担能力来看，数字普惠金融（如农村数字信贷、众筹平台）拓宽农村家庭融资渠道，降低清洁能源设备购置、能源基础设施接入的初始成本。同时，数字经济赋能农村特色产业发展（如农产品电商、乡村直播）、远程就业渠道拓展（如线上代工、数字服务），直接提升农村家庭收入水平，增强其对清洁能源的支付能力，缓解因经济约束导致的能源贫困。基于以上分析，本文提出假设 1。

假设 1：数字经济能够显著降低农村能源贫困水平。

### 1.2　数字经济对农村能源贫困的间接影响

数字经济对农村能源贫困的间接影响，是指数字经济通过特定中间过程（中介变量）对缓解农村能源贫困产生影响。一般而言，数字经济能够推动产业结构升级、提升农村能源基础设施水平，而产业结构升级与农村能源基础设施改善均有助于缓解农村能源贫困。

#### 1.2.1　产业结构升级的中介效应

产业结构升级是数字经济影响农村能源贫困的重要传导路径，构建起“数字经济→产业结构升级→农村能源贫困缓解”的链式传导机制。数字经济凭借数据要素的高渗透性、非竞争性与可无限复制性，打破传统产业边界，推动农村产业向多元化、高附加值、低耗能方向转型。一方面，数字技术赋能农业现代化，催生智慧农业、农产品精深加工、农业废弃物资源化利用等新业态，降低农业生产对传统高耗能模式的依赖；另一方面，数字经济带动农村电商、乡村旅游、数字服务（如线上培训、远程办公配套服务）等服务业兴起，优化农村产业布局，推动产业结构从传统农业主导向“农业 + 服务业”融合发展转型，降低单一产业对能源资源的过度消耗。

产业结构升级通过双重路径缓解农村能源贫困。1）产业多元化发展带动农村就业结构转型，创造大量非农就业机会，直接提升农村家庭收入水平，增强其对清洁能源的支付能力，契合能源需求理论中“收入是影响能源消费选择的核心因素”的观点；2）产业升级过程中，新兴产业对清洁、稳定能源的需求增加，会倒逼区域能源基础设施向清洁化、规模化升级，同时减少传统高耗能产业对农村能源资源的挤占，改善农村能源供给结构，从供需两端协同降低能源贫困程度。基于以上分析，提出假设 2。

假设 2：数字经济通过推动产业结构升级间接缓解农村能源贫困。

#### 1.2.2　农村能源基础设施水平的中介效应

农村能源基础设施是连接能源供给与消费的关键载体，也是缓解农村能源贫困的核心硬件支撑，数字经济为其提质升级提供技术与资源保障，形成“数字经济→农村能源基础设施水平→农村能源贫困缓解”的传导路径。数字技术贯穿能源基础设施“规划—建设—运维—优化”全流程：在规划层面，大数据技术能够精准匹配农村能源供需分布，优化智能电网、燃气管道、储能系统等设施的布局；在建设层面，数字平台聚合社会资本、技术团队等资源，加快清洁基础设施在农村的落地速度；在运维层面，物联网、人工智能技术实现对农村电网、分布式光伏电站等设施的实时监测、故障预警与智能运维，解决传统基础设施“覆盖不足、运维困难、稳定性差”的痛点，显著提升能源供应可靠性；在优化层面，依托能源运行数据开展动态智能调度，根据农村用能峰谷特征调节负荷、优化储能与新能源协同运行，减少能源浪费，并反馈修正规划建设方案，推动能源基础设施持续迭代升级。

能源基础设施不完善是农村能源贫困的重要诱因，主要表现为可获得性不足、稳定性差、清洁性低。而数字经济驱动的能源基础设施升级，恰好从供给端破解这些困境：扩大清洁能源设施覆盖范围提升能源可及性，智能运维增强能源供应稳定性，适配分布式光伏、风电等项目提高能源清洁性，进而为农村家庭提供可靠、高效的现代能源服务，最终缓解能源贫困。基于以上分析，提出假设 3。

假设 3：数字经济通过提升农村能源基础设施水平间接缓解农村能源贫困状况。

## 2　研究设计

### 2.1　模型构建

#### 2.1.1　基准回归模型

为检验数字经济对农村能源贫困的影响，构建

公式（1）所示的模型。

$$Poverty_{it} = \alpha + \beta De_{it} + \delta X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中：$Poverty_{it}$为农村能源贫困水平；$De_{it}$为数字经济发展水平；$X_{it}$为控制变量；$\alpha$ 为常数项；$\beta$ 为核心系数，表示数字经济对农村家庭能源贫困的净效应；$\delta$ 为控制变量系数；$\mu_i$ 为地区固定效应；$\lambda_t$ 为时间固定效应；$\varepsilon_{it}$为随机扰动项。

2.1.2 影响机制模型

由于传统中介效应三步法回归模型存在内生性偏差、遗漏变量等问题，无法有效严谨检验变量间的传导机制。参考江艇（2022）优化中介效应检验的研究范式，构建公式（2）所示的影响机制模型。

$$Med_{it} = \alpha + \beta De_{it} + \delta X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中 $Med_{it}$为产业结构升级和农村能源基础设施水平。

2.1.3 门槛效应模型

为考察数字经济对农村能源贫困的分段效应影响，使用 Hansen 的门槛效应模型进行检验，设定公式（3）所示的模型。

$$Poverty_{it} = \beta_0 + \beta_1 De_{it} + \beta_2 X_{it} + \gamma_1 De_{it} \times \Phi(g_{it} \leqslant \eta) + \gamma_2 De_{it} \times \Phi(g_{it} > \eta) + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中：$\Phi$（ ）为示性变量，自变量属于括号内值域时，取值 1，否则，取值 0；$\eta$ 为门槛值。

## 2.2 变量选取

1）被解释变量。

本文被解释变量为农村能源贫困。参考何可等（2023）、唐松林等（2025）的研究，从能源可获得性、能源负担能力、能源设备完备性以及能源效率 4 个维度构建农村能源贫困综合评价指标体系（表 1），并采用熵值法测算各指标权重，进而得到各省（市、区）农村家庭能源贫困水平。本文选取的指标均为负向指标，与农村能源贫困程度呈负相关关系，即熵值法测算得出的指标数值越大，表示农村能源贫困程度越轻。

2）解释变量。

本文的解释变量为数字经济发展水平。参考王军等（2021）、潘为华等（2021）的研究，从数字经济基础设施、数字产业化和产业数字化 3 个维度构建数字经济综合评价指标体系（表 2）。

**表 1 农村能源贫困综合评价指标体系**

Table 1 Comprehensive evaluation index system for rural energy poverty

| 一级指标 | 二级指标 | 三级指标 | 指标测算 |
|---|---|---|---|
| 能源可获得性 | 能源消费情况 | 农村家庭人均生活用电量 | 农村生活用电量/农村人口数/（kW·h/人） |
| | 能源供应情况 | 农村燃气普及率 | 农村燃气普及率/% |
| | | 农村人均集中供热面积 | 农村集中供热面积/农村人口数/（$m^2$/人） |
| 能源负担能力 | 能源负担能力 | 农村家庭可支配收入 | 农村居民人均可支配收入/元 |
| 能源设备完备性 | 能源投资能力 | 农村家庭人均生活能源经费投入 | 农村家庭能源经费投入/ 农村人口数/（元/人） |
| 能源效率 | 能源效率 | 空调拥有量 | 农村居民家庭平均每百户空调拥有量/台 |
| | | 冰箱拥有量 | 农村居民家庭平均每百户冰箱拥有量/台 |
| | | 抽油烟机拥有量 | 农村居民家庭平均每百户抽油烟机拥有量/台 |

**表 2 数字经济综合评价指标体系**

Table 2 Comprehensive evaluation index system for digital economy

| 一级指标 | 二级指标 | 指标说明 |
|---|---|---|
| 数字化基础设施 | 互联网宽带接入率 | 互联网宽带接入端口数/地区常住人口数 |
| | 互联网宽带普及率 | 互联网宽带接入用户数 /地区常住人口数 |
| | 移动电话设施规模 | 移动电话交换机容量 |
| | 长途光缆线路长度 | 长途光缆线路长度 |
| | 域名数 | 直接数据 |
| | 网页数 | 直接数据 |

续表 2

| 一级指标 | 二级指标 | 指标说明 |
|---|---|---|
| 数字产业化 | 人均电信业务总量 | 电信业务总量/地区常住人口数 |
| | 移动电话普及率 | 直接数据 |
| | 信息传输、软件和信息技术服务法人单位数 | 直接数据 |
| | 信息软件就业人员占比 | 信息传输、软件和信息技术服务业城镇单位就业人员/城镇单位就业人员 |
| | 国内专利申请授权量 | 直接数据 |
| | 国内专利申请受理量 | 直接数据 |
| 产业数字化 | 北京大学数字普惠金融指数 | 直接数据 |
| | 有电子商务交易活动的企业数比重 | 直接数据 |
| | 电子商务销售额 | 直接数据 |
| | 每百家企业拥有网站数 | 直接数据 |
| | 二三产业增加值 | 第二产业增加值 + 第三产业增加值 |
| | 科技创新投入 | 规模以上工业企业 R&D 经费 |
| | 快递量 | 直接数据 |

3）中介变量。

a. 产业结构升级。参考徐敏等（2015）的做法，将三次产业占比分别赋值 1、2、3，通过加权求和的方式测算产业结构升级指数。

b. 农村能源基础设施水平。参考何可等（2023）的做法，采用农村地区人均电力、供水、燃气基础设施投入衡量农村能源基础设施水平。

4）门槛变量。

选取数字经济发展水平作为门槛变量，指标测算方式与前文解释变量一致。

5）控制变量。

a. 经济发展水平。采用人均地区生产总值来衡量，以各省份年度地区生产总值与年末总人口数的比值计算得到。

b. 城镇化率。采用常住人口城镇化率来衡量。

c. 农村教育水平。参考 Ma et al.（2022）的研究，采用农村居民人均教育、文化、娱乐支出来衡量。

d. 交通基础设施。借鉴何可等（2023）的测算方法，采用三、四级公路密度表征交通基建水平，具体以各省份三、四级公路总里程数与区域国土面积的比值计算。

e. 能源投资水平。借鉴刘南等（2025）的研究，用能源工业固定资产投资来衡量。

### 2.3　数据来源

本文选取 2014—2023 年中国 30 个省（市、区）面板数据作为研究样本，考虑到西藏及港澳台地区数据存在大量缺失、统计口径不统一等问题，故将其剔除。数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国城乡建设统计年鉴》《中国电力统计年鉴》、国家能源局公开数据库以及各省份官方统计年鉴。针对样本区间内存在的少量缺失数据，采用线性差值法进行补齐。各变量的描述性统计如表 3 所示。

表 3　变量的描述性统计

Table 3　Descriptive statistics of variables

| 变量类型 | 变量名称 | 变量说明 | 平均值 | 标准差 |
|---|---|---|---|---|
| 被解释变量 | 农村能源贫困 | 包括能源可获得性、能源负担能力、能源设备完备性与能源效率，利用熵值法计算得出 | 0.641 5 | 0.176 6 |
| 解释变量 | 数字经济 | 包括数字化基础设施、数字产业化和产业数字化，利用熵值法计算得出 | 0.159 8 | 0.121 2 |

续表 3

| 变量类型 | 变量名称 | 变量说明 | 平均值 | 标准差 |
|---|---|---|---|---|
| 控制变量 | 城镇化率 | 常住人口城镇化率 | 0.645 2 | 0.109 4 |
| | 经济发展水平 | 人均国内生产总值 | 11.016 1 | 0.429 5 |
| | 农村教育程度 | 农村居民人均教育、文化、娱乐支出 | 7.146 0 | 0.288 2 |
| | 交通基础设施 | 各省（区、市）三四级公路里程/区域国土面积 | 1.001 0 | 0.523 1 |
| | 能源投资水平 | 能源工业固定资产投资 | 5.676 6 | 0.658 4 |
| 中介变量 | 产业结构升级 | 第一产业占比 ×1 + 第二产业占比 ×2 + 第三产业占比 ×3 | 2.423 2 | 0.116 5 |
| | 农村能源基础设施水平 | 农村地区人均电力、供水与燃气的投入 | 0.423 4 | 0.293 6 |
| 门槛变量 | 数字经济 | 包括数字化基础设施、数字产业化和产业数字化，利用熵值法计算得出 | 0.159 8 | 0.121 2 |

## 3 实证分析

### 3.1 基准回归结果

本文的基准回归结果如表 4 所示，其中列（1）未加入控制变量，列（2）、（3）分别加入控制变量和固定效应。通过回归结果可知，数字经济的系数均显著为负，这表明数字经济发展对于缓解农村家庭能源贫困具有积极作用。根据列（3）的结果可知，数字经济的系数为 -0.296，即数字经济综合指数每增加 1 个单位，农村能源贫困综合指数下降 0.296，说明数字经济发展能显著缓解农村家庭的能源贫困水平。

表 4 基准回归结果

Table 4 Baseline regression results

| 变量 | 农村能源贫困 | | |
|---|---|---|---|
| | （1） | （2） | （3） |
| 数字经济 | -0.319*** | -0.354*** | -0.296*** |
| | （0.047） | （0.043） | （0.050） |
| 城镇化率 | | 0.055 | 0.273* |
| | | （0.153） | （0.163） |
| 经济发展水平 | | -0.277*** | -0.069* |
| | | （0.023） | （0.041） |
| 农村教育水平 | | -0.048*** | -0.044** |
| | | （0.015） | （0.017） |
| 交通基础设施 | | -0.045 | -0.066** |
| | | （0.029） | （0.028） |
| 能源投资水平 | | -0.006 | -0.002 |
| | | （0.006） | （0.006） |
| 常数项 | 0.802*** | 4.137*** | 1.759*** |
| | （0.006） | （0.191） | （0.443） |
| 地区固定效应 | 是 | 否 | 是 |
| 时间固定效应 | 是 | 否 | 是 |
| 观测值 | 300 | 300 | 300 |
| $R^2$ | 0.922 | 0.916 | 0.930 |

注：*、** 和 *** 分别表示在 10%、5% 和 1% 的显著性水平下显著；括号内为稳健标准误；下同

### 3.2 稳健性检验

1）更换能源贫困的测算方法。为规避单一测算方法带来的结果偏差，更换被解释变量的测算方法，采用主成分分析法对农村能源贫困相关指标进行降维处理，重新合成农村能源贫困综合变量，并再次实证检验数字经济对农村能源贫困的影响效应，回归结果如表 5 列（1）所示。结果表明，数字经济的回归系数在 1% 的显著性水平上显著为负，表明数字经济发展能有效缓解农村能源贫困，进一步验证了基准回归结论的稳健性。

2）剔除直辖市样本。直辖市在经济发展、数字基建等方面与普通省份、自治区存在显著异质性，其农村经济占比相对较低，纳入整体样本回归易干扰核心实证结果。为此，本文剔除直辖市样本后重新进行回归，结果如表 5 列（2）所示。结果显示，数字经济的系数在 1% 的显著性水平上显著为负，表明在排除直辖市样本干扰后，数字经济发展能够有效缓解农村能源贫困，验证了基准回归结论的稳健性。

3）1% 缩尾处理。考虑到样本中极端值的存在会影响数据集的均值和标准差，可能导致回归偏误

的出现。因此，在进行 1% 缩尾处理后，对样本再次进行回归检验，回归结果如列（3）所示。可以看出，数字经济的回归系数在 1% 的显著性水平上显著为负，与基准回归结果一致，再次证实了数字经济缓解农村能源贫困这一结论的稳健性。

4）排除其他政策干扰。前文构建的农村能源贫困评价指标体系中，冰箱、空调、抽油烟机等家用设备保有量指标归属于“能源设备完备性”维度，而家电下乡等政策属于外生政策冲击，能够推动农村家电设备普及。该部分设备普及源于宏观政策扶持，并非数字经济发展驱动的改善，若予以保留，会影响能源设备完备性指标的精准度，进而影响数字经济对农村能源贫困的真实作用效果。因此，剔除家电类相关指标，重新进行回归，结果如表 5 列（4）所示。结果显示，数字经济的系数在 5% 的显著性水平上为负，表明在排除家电下乡等政策的干扰后，数字经济缓解农村能源贫困的核心效应依然成立，进一步验证了基准回归结论的稳健性。

5）增加控制变量。地区产业结构升级能够改变农村能源需求结构与农户就业收入水平，间接影响家庭能源获取能力。农村家庭平均户规模会直接作用于能源消费总量与人均用能负担，是影响农村能源贫困的重要潜在因素。若不纳入上述变量，可能会将其对能源贫困的影响误归因于数字经济。基于此，本文在控制变量中加入产业结构升级和农村家庭平均户规模，并重新进行回归。结果如表 5 列（5）所示，控制相关因素后，数字经济对农村能源贫困的影响系数仍显著为负，证明了前文基准回归结果的可靠性。

**表 5　稳健性检验结果**

Table 5　Robustness test results

| 变量 | （1）<br>主成分分析法 | （2）<br>剔除直辖市 | （3）<br>1% 缩尾 | （4）<br>排除其他政策 | （5）<br>增加控制变量 |
|---|---|---|---|---|---|
| 数字经济 | −1.371*** | −0.421*** | −0.323*** | −0.178** | −0.303*** |
| | （0.372） | （0.044） | （0.053） | （0.076） | （0.051） |
| 控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 常数项 | 12.985*** | 1.999*** | 1.759*** | 0.051 | 1.880*** |
| | （3.280） | （0.386） | （0.435） | （0.668） | （0.472） |
| 地区固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 时间固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 观测值 | 300 | 260 | 300 | 300 | 300 |
| $R^2$ | 0.934 | 0.953 | 0.932 | 0.762 | 0.930 |

### 3.3　内生性检验

为规避基准回归中可能存在的内生性问题，缓解由遗漏变量、互为因果、测量误差引发的估计偏误，本文分别采用广义矩估计（generalized method of moments，GMM）与工具变量法（2SLS）进行回归，结果如表 6 所示。

#### 3.3.1　广义矩估计

广义矩估计可以通过引入滞后变量的方式处理时间序列数据的动态特性。考虑到上一期农村能源贫困状况可能对当期农村能源贫困产生影响，忽略这一滞后效应可能使估计出现偏误，因此将被解释变量“农村能源贫困”的滞后项进行 GMM 估计，结果如表 6 列（1）所示。可以看出，AR（1）的 $P$ 值小于 0.1，AR（2）的 $P$ 值大于 0.1，满足使用系统 GMM 法的假设条件。Hansen 检验 $P$ 值大于 0.1，说明工具变量是合理有效的。同时，核心解释变量系数在 5% 的水平下显著，说明数字经济对农村家庭能源贫困有显著影响，与基准回归结果一致。

#### 3.3.2　工具变量法

考虑到基准回归模型中可能存在互为因果内生性问题，采用工具变量法进行稳健性矫正。选择滞后一期的数字经济发展水平作为工具变量，主要依据在于滞后一期的数字经济与当期数字经济直接相关，同时滞后一期的变量不受当期被解释变量（农村家庭能源贫困）的反向影响，具备外生性，从而减少内生性偏差。采用 2SLS 方法重新进行回归。

**表 6 内生性检验结果**

Table 6 Endogeneity test results

| 变量 | 广义矩估计 | 工具变量法 | |
|---|---|---|---|
| | (1) | (2) | (3) |
| 数字经济 | -1.832** | | -0.306 0*** |
| | (0.801) | | (-0.057 2) |
| IV(滞后一期数字经济) | | 0.954 9*** | |
| | | (0.018 7) | |
| Kleibergen-Paap rk LM(不可识别检验) | | | 220.8*** |
| Cragg-Donald Wald F | | | 2 599.020 |
| (弱工具变量检验) | | | (16.38) |
| AR(1) $P$ 值 | 0.071 1 | | |
| AR(2) $P$ 值 | 0.493 | | |
| Hansen $P$ 值 | 0.953 | | |
| 地区固定效应 | 是 | 是 | 是 |
| 时间固定效应 | 是 | 是 | 是 |
| 观测值 | 270 | 270 | 270 |
| $R^2$ | | 0.920 | 0.905 |

第一阶段回归结果如表 6 列(2)所示,工具变量和核心解释变量存在较强的相关性,工具变量选取具备有效性;第二阶段回归结果如表 6 列(3)所示,在考虑潜在的内生性问题后,数字经济的回归系数依然显著为负,表明数字经济对农村家庭能源贫困的缓解效应依旧成立。此外,不可识别检验和弱工具变量检验均通过显著性验证,进一步证实工具变量选取合理、有效。对比基准回归结果可知,工具变量法下数字经济的估计系数绝对值存在小幅变动,说明本模型确实存在内生性问题且工具变量缓解了内生性对回归结果的影响,进一步验证了"数字经济发展有助于缓解农村家庭能源贫困"这一结论的稳健性。

## 3.4 中介效应分析

### 3.4.1 产业结构升级的中介效应分析

由表 7 列(1)可知,数字经济对产业结构升级的回归系数显著为正,表明数字经济能有效推动农村产业结构向高端化、服务化演进。结合唐子微(2024)的研究,产业结构升级是缓解农村能源贫困的重要路径,其通过带动农村就业结构优化与居民收入提升,增强农村家庭对清洁能源的支付能力,同时产业升级过程中会推动"光伏+农业""农光互补"等绿色产业模式普及,加速风能、太阳能等可再生能源在农村的开发利用,减少对传统高污染、低效率生物质能源的依赖,从收入支撑与能源结构优化双维度降低农村家庭能源贫困程度。综上,数字经济可以通过推动产业结构升级,从需求端提升家庭能源消费能力与供给端优化能源消费结构,最终有效缓解农村能源贫困。

### 3.4.2 农村能源基础设施水平的中介效应分析

由表 7 列(2)可知,数字经济对农村能源基础设施水平的影响系数显著为正,说明数字经济有助于农村能源基础设施完善升级。根据何可等(2023)的研究,农村能源基础设施是缓解能源贫困的核心载体,其完善能直接破解能源供给短板,不仅可通过拓展电网覆盖范围、优化供电稳定性,提升农村家庭能源可获得性,减少因供电不足导致的能源贫困,还能推动风能、太阳能等清洁能源设施在农村的普及,替代传统高污染、低效率的生物质能源,从可获得性、稳定性、清洁性、多维度降低农村能源贫困程度。综上,数字经济可以通过提高农村能源基础设施水平,从供给端优化能源服务质量,进而有效缓解农村能源贫困。

**表 7 中介效应检验结果**

Table 7 Mediation effect test results

| 变量 | (1) 产业结构升级 | (2) 农村能源基础设施水平 |
|---|---|---|
| 数字经济 | 0.074** | 0.607*** |
| | (0.030) | (0.215) |
| 常数项 | 3.743*** | -2.790 |
| | (0.268) | (1.896) |
| 控制变量 | 是 | 是 |
| 地区固定效应 | 是 | 是 |
| 时间固定效应 | 是 | 是 |
| 观测值 | 300 | 300 |
| $R^2$ | 0.790 | 0.325 |

## 3.5 异质性分析

### 3.5.1 区域异质性分析

我国各地区数字经济发展水平、农村能源结构等存在显著差异,为进一步细化数字经济与农村能源贫困的关联机制,识别数字经济减贫效应的区域差异化特征,本文开展区域异质性检验。依据传统

地理区域划分标准，将全国 30 个省（区、市）划分为东部、中部和西部三大区域，通过分组实证回归对比分析数字经济对农村能源贫困的治理效应，具体回归结果如表 8 所示。

**表 8　异质性检验结果**

Table 8　Heterogeneity test results

| 变量 | 区域异质性 | | | 经济发展水平异质性 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | （1） | （2） | （3） | （4） | （5） |
| | 东部地区 | 中部地区 | 西部地区 | 发达地区 | 欠发达地区 |
| 数字经济 | -0.003 | -0.538*** | -0.931*** | -0.339*** | -0.832*** |
| | （0.067） | （0.184） | （0.134） | （0.059） | （0.193） |
| 控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 常数项 | 4.657*** | 3.097*** | 2.125*** | 4.043*** | 3.137*** |
| | （0.326） | （0.235） | （0.303） | （0.309） | （0.410） |
| 地区固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 时间固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 观测值 | 120 | 90 | 90 | 150 | 150 |
| $R^2$ | 0.823 | 0.884 | 0.858 | 0.849 | 0.659 |

从回归结果可以看出，数字经济发展对农村能源贫困的缓解效应存在显著的区域分化特征，缓解效果西部地区最优，中部地区次之，东部地区不显著。这是多种因素共同作用的结果，有以下原因。1）西部地区数字经济发展潜力大，农村地区对数字技术驱动的能源服务（如智能能源管理、电商带动能源设备普及）需求尤为迫切，数字经济作为一种创新发展动能，能够精准适配西部农村能源发展需求，是缓解农村能源贫困、提升能源可及性的关键途径。2）西部地区在数字基础设施完善过程中，数字经济的发展不仅推动了农村能源市场的数字化转型，还降低了农村家庭对传统能源的依赖，如通过数字平台采购清洁能源设备、参与能源共享等，从而增强了能源供应的稳定性和经济性。3）随着国家对数字经济政策支持力度的加大和数字普惠金融的推广，西部农村居民逐渐认识到数字技术在能源生产、节能降耗等领域的应用价值。居民数字参与意愿与应用能力提升，进一步推动了数字经济在西部地区农村能源领域的应用，从而取得了更为显著的减贫成效。相比之下，中部和东部地区凭借先发优势，数字经济产业基础更为成熟，区域减贫成效相对薄弱。东部地区农村能源配套体系完善，能源供应充足，能源贫困程度较低，数字经济减贫的边际效应有限；中部地区数字经济虽能有效缓解农村能源贫困，但受限于数字技术与能源产业融合深度不足、应用覆盖广度有限等问题，减贫成效显著弱于西部地区。因此，数字经济对农村能源贫困的缓解作用存在明显的区域异质性。

3.5.2　经济发展水平异质性分析

不同经济发展水平的地区在能源获取能力、数字经济应用场景、能源贫困表现等方面存在明显差异，这会导致数字经济对农村能源贫困的治理效果存在差异。为验证这一假设，参考刘勇政等（2025）的研究，计算了 2014—2023 年全国 30 个省份（不含西藏和港澳台地区）人均 GDP 的 10 年平均值，并以此为依据对样本进行排序分组，将前 15 名划定为经济发达地区，后 15 名划定为经济欠发达地区，展开分组回归检验，回归结果如表 8 所示。

表 8 列（4）—（5）中数字经济回归系数均显著为负，表明无论经济发展水平高低，数字经济发展均能有效抑制农村能源贫困。从系数绝对值来看，经济欠发达地区系数为 -0.832，经济发达地区系数为 -0.339，可见数字经济对农村能源贫困的缓解效应在经济欠发达地区更为突出。究其原因，经济欠发达地区能源供给渠道单一，能源基础设施建设滞后，数字经济通过推动能源信息透明化、能源服务普惠化等方式，能高效弥补传统能源供应的不足，优化农村能源资源配置。同时，欠发达地区农村家庭对数字技术赋能的能源创新模式接受度提升后，能源利用效率和可及性的改善空间更大，因此数字经济缓解农村能源贫困的边际效益比发达地区更显著。

### 3.6 门槛效应检验

以数字经济为门槛变量，采用面板门槛阈值模型开展实证检验，依托 Bootstrap 自抽样方法反复抽样 300 次，判断是否存在门槛效应以及确定门槛数量。相关检验结果如表 9 所示。

由表 9 可知，数字经济对农村家庭能源贫困的影响存在单一门槛效应，单一门槛值为 0.120 8，且在 5% 的显著性水平下显著，而双重门槛未通过显著性检验。因此，选取单一面板门槛模型开展门槛效应研究。为验证门槛值的有效性和真实性，采用似然比统计量（LR）进行检验，检验结果如图 1 所示。

**表 9 门槛效应自抽样检验结果**

Table 9 Bootstrap test results for threshold effects

| 门槛变量 | 门槛类型 | F 值 | Bootstrap 次数 | 阈值 | 95% 置信区间 |
|---|---|---|---|---|---|
| 数字经济 | 单一门槛 | 31.69 ** | 300 | 0.120 8 | (0.111 6，0.122 7) |
| | 双重门槛 | 18.54 | 300 | 0.120 8 | (0.110 4，0.122 7) |
| | | | | 0.292 2 | (0.254 4，0.299 7) |

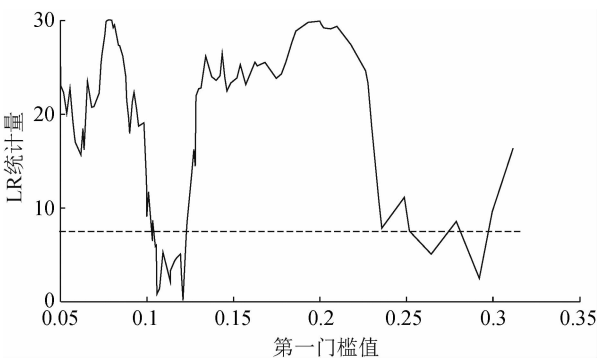



图 1 以数字经济水平为门槛变量的 LR 统计量分布图

Fig. 1 Distribution of LR statistics with digital economy level as the threshold variable

从图 1 可以看出，当门槛估计值处于 95% 置信区间内时，LR 统计量低于临界值（虚线），证明测算得到的单一门槛值真实有效，具备统计可靠性。

基于已验证的单一门槛阈值，进一步进行门槛回归分析，具体回归结果如表 10 所示。当数字经济水平小于等于 0.120 8 时，回归系数是 -0.282，且通过 1% 的显著性水平检验，表明此阶段数字经济能有效缓解农村能源贫困；当数字经济水平大于 0.120 8 时，回归系数为 -0.488，同样在 1% 水平下显著，且系数绝对值明显增大。这一结果说明，数字经济对农村能源贫困的缓解效应存在显著的门槛特征，并非恒定不变的线性关系，随着数字经济发展水平不断提升并突破临界阈值后，其作用强度显著增强。

**表 10 门槛效应回归结果**

Table 10 Threshold effect regression results

| 变量 | 农村能源贫困 |
|---|---|
| 门槛值 | 0.120 8 |
| 回归系数（$De \leqslant 0.120\ 8$） | -0.282 *** |
| | (0.097) |
| 回归系数（$De > 0.120\ 8$） | -0.488 *** |
| | (0.075) |
| 常数项 | 1.484 *** |
| | (0.416) |
| 观测值 | 300 |
| $R^2$ | 0.940 |

## 4 结论及政策建议

本文基于 2014—2023 年我国 30 个省（区、市）面板数据，系统考察数字经济对农村能源贫困的影响效应及作用机制，得出以下研究结论。

1）数字经济能显著缓解农村能源贫困，数字经济综合指数每增加 1 个单位，农村能源贫困综合指数下降 0.296 个单位，在经过一系列稳健性检验之后，结论仍然成立。

2）机制分析表明，数字经济主要通过产业结构升级和农村能源基础设施优化间接缓解农村能源贫困。

3）异质性分析表明，数字经济对西部、中部以及经济欠发达地区农村能源贫困的抑制效应更为显著。

4）门槛效应检验表明，数字经济对农村能源贫困的影响呈显著的非线性门槛特征，在区域数字经济发展水平突破门槛临界值之后，缓解效应显著增强。

基于上述研究结论，提出以下政策建议。

1）以数字基础设施为支撑，构建农村能源数

字化服务体系。一方面，强化数字基础设施建设，筑牢能源数字化基础，加大农村 5G、物联网等数字基础设施的投入力度，实现智慧能源平台、智能能源管理系统在农村的广泛覆盖；另一方面，鼓励能源企业与互联网企业合作，开发适配农村场景的能源数字化服务平台，整合分布式光伏、风电等分散能源资源，实时匹配农村能源供需，降低因信息不对称导致的能源获取成本。

2）推动数字经济与产业、能源设施双向融合。产业结构升级方面，借助数字经济赋能农村产业多元化转型，重点发展农村电商、乡村旅游、智慧农业等新业态，创造非农就业机会，提升农村家庭收入与清洁能源支付能力。同时引导农产品精深加工、农业废弃物资源化利用等产业向清洁用能方向发展，倒逼区域能源供给结构优化。能源基础设施方面，运用数字技术推动农村能源基础设施智能化升级，加快智能电网、储能系统、分布式能源监控平台在农村的布局与运维。通过大数据精准规划设施布局，物联网技术实现设施实时监测与故障预警，提升农村能源供应的稳定性与清洁性。

3）实施差异化数字经济发展策略。各地可依托国家数字经济发展总体部署，基于地域产业特性、资源禀赋等因素制定差异化的数字经济发展战略，强化政策精准对接与区域协同发力。对于西部地区，加大数字经济政策倾斜与资源投入，支持其发挥数字经济对能源贫困的强缓解效应，同时引入东部数字技术与能源融合的经验，提升产业数字化与能源清洁化水平；对于东中部地区，聚焦数字经济与能源基础设施的深度融合，探索能源服务数字化、精细化管理模式，如推广基于人工智能的农村能源需求预测系统，优化能源消费结构。另外，针对经济欠发达地区，重点通过数字经济补齐能源获取渠道与基础设施短板，如推广简易能源管理 APP、线上能源补贴申请平台；针对经济发达地区，侧重数字经济在能源消费智能化、能源服务品质化方面的赋能，如布局智能微电网、高端能源管理系统。

4）分阶段推进农村能源数字化转型。对于尚未突破数字经济门槛的地区，推广简易能源管理工具、线上清洁能源选购平台等基础应用，保障数字经济基础性能源减贫效能落地见效；对于已跨越门槛值的地区，加大高端数字能源技术的应用力度，布局人工智能能源调度系统、智能储能设备等高端设施，充分释放数字经济对能源贫困的缓解效应。

## 参考文献


何可，朱信凯，李凡略，2023. 聚“碳”成“能”：碳交易政策如何缓解农村能源贫困？[J]. 管理世界，39(12)：122-144.〔He Ke，Zhu Xinkai，Li Fanlüe，2023. Accumulating carbon to form “energy”：How can carbon trading policy alleviate rural energy poverty？[J]. Journal of Management World，39(12)：122-144.〕

江艇，2022. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济(5)：100-120.〔Jiang Ting，2022. Mediating effects and moderating effects in causal inference[J]. China Industrial Economics(5)：100-120.〕

刘南，孔军，师婉睿，2025. 中国农村能源市场一体化与能源贫困研究[J]. 干旱区资源与环境，39(9)：13-26.〔Liu Nan，Kong Jun，Shi Wanrui，2025. Energy market integration and energy poverty in rural China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment，39(9)：13-26.〕

刘勇政，徐贻帆，邓怀聪，2025. 减税政策的区域异质性投资效应[J]. 经济研究，60(5)：107-123.〔Liu Yongzheng，Xu Yifan，Deng Huaicong，2025. Regional heterogeneity in investment effect of tax cut policy[J]. Economic Research Journal，60(5)：107-123.〕

刘自敏，邓明艳，朱朋虎，等，2022. 个人碳交易机制可以改善家庭能源贫困吗?：兼论我国个人碳交易市场的核心参数设计[J]. 统计研究，39(3)：117-131.〔Liu Zimin，Deng Mingyan，Zhu Penghu，et al.，2022. Can PCT scheme reduce household energy poverty?：The core parameter design of China’s PCT[J]. Statistical Research，39(3)：117-131.〕

玛依努尔，马继越，2025. 数字经济与产业结构升级：理论逻辑与实证检验[J]. 资源与产业，27(1)：22-34.〔Maynur，Ma Jiyue，2025. Digital economy and industrial structural upgrading：Theoretical logic and empirical test[J]. Resources & Industries，27(1)：22-34.〕

潘为华，贺正楚，潘红玉，2021. 中国数字经济发展的时空演化和分布动态[J]. 中国软科学(10)：137-147.〔Pan Weihua，He Zhengchu，Pan Hongyu，2021. Research on spatiotemporal evolution and distribution dynamics of digital economy development in China[J]. China Soft Science(10)：137-147.〕

唐松林，段亚琪，周文兵，2025. 发展分布式光伏有助于缓解农村家庭能源贫困吗？[J]. 数量经济研究，16(2)：47-66.〔Tang Songlin，Duan Yaqi，Zhou Wenbing，2025. Will the distributed photovoltaics help alleviate rural household energy poverty？[J]. The Journal of Quantitative Economics，16(2)：47-66.〕

唐子微，2024. 数字经济对中国能源贫困的影响研究[D]. 南宁：广西大学.〔Tang Ziwei，2024. The impact of digital economy on energy poverty in China[D]. Nanning：Guangxi University.〕

王军，朱杰，罗茜，2021. 中国数字经济发展水平及演变测度[J]. 数量经济技术经济研究，38(7)：26-42.〔Wang Jun，Zhu Jie，Luo Qian，2021. Research on the measurement of China’s digital economy development and the characteristics[J]. Journal of

Quantitative & Technological Economics, 38(7): 26-42.〕

徐敏, 姜勇, 2015. 中国产业结构升级能缩小城乡消费差距吗?[J]. 数量经济技术经济研究, 32(3): 3-21.〔Xu Min, Jiang Yong, 2015. Can the China's industrial structure upgrading narrow the gap between urban and rural consumption? [J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 32(3): 3-21.〕

张锦, 王政, 2022. 城镇化对农村能源贫困影响的实证研究: 基于城乡相对贫困视角[J]. 生态经济, 38(11): 108-114.〔Zhang Jin, Wang Zheng, 2022. Empirical study of effects of urbanization on rural energy poverty: From the perspective of urban-rural relative poverty[J]. Ecological Economy, 38(11): 108-114.〕

赵子微, 胡蕴赟, 2025. 实施以人为本的新型城镇化战略能否缓解家庭能源贫困[J]. 广东财经大学学报, 40(1): 93-111.〔Zhao Ziwei, Hu Yunyun, 2025. Can a people-centered new urbanization strategy alleviate household energy poverty[J]. Journal of Guangdong University of Finance & Economics, 40(1): 93-111.〕

Banerjee R, Mishra V, Maruta A A, 2021. Energy poverty, health and education outcomes: Evidence from the developing world[J]. Energy Economics, 101: 105447.

Bhutto A W, Karim S, 2007. Energy-poverty alleviation in Pakistan through use of indigenous energy resources [J]. Energy for Sustainable Development, 11(1): 58-67.

Carfora A, Scandurra G, 2024. Forecasting energy poverty in European countries: The effect of increasing energy commodities prices[J]. Energies, 17(5): 1224.

Dino G E, Catrini P, Buscemi A, et al., 2023. Modeling of a bidirectional substation in a district heating network: Validation, dynamic analysis, and application to a solar prosumer[J]. Energy, 284: 128621.

Luan Bingjiang, Zou Hong, Huang Junbing, 2023. Digital divide and household energy poverty in China [J]. Energy Economics, 119: 106543.

Ma Wanglin, Zheng Hongyun, Gong Binlei, 2022. Rural income growth, ethnic differences, and household cooking fuel choice: Evidence from China[J]. Energy Economics, 107: 105851.