

数字经济与能源消费结构转型的耦合协调及影响因素

赖德力格尔胡, 杨蕴丽*

内蒙古师范大学经济管理学院, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2026年7月29日; 录用日期: 2026年8月31日; 发布日期: 2026年9月24日

摘要

文章基于2012~2022年中国30个省级行政区的面板数据, 采用熵权TOPSIS法、耦合协调度模型及障碍度模型分析发现: 数字经济与能源消费结构转型指数呈现上升趋势并区域差异显著, 整体耦合协调度进入中度协调阶段; 但协同效应提升幅度滞后于单一系统发展速度, 呈现“协同滞后”特征; 主要障碍因素为数字创新能力、数字产业化、产业数字化及非化石能源低碳水平。究其原因, 数字经济因缺乏能源场景的有效需求拉动而陷入技术空转, 能源转型因总量约束失位及数字赋能缺位导致“协同滞后”。据此, 提出强化总量约束刚性, 提升能源侧承接能力等对策, 促进二者协调发展。

关键词

数字经济, 能源消费结构转型, 耦合协调, 障碍因素

The Coupling Coordination and Influencing Factors of the Digital Economy and Energy Consumption Structure Transformation

Deligeerhu Lai, Yunli Yang*

School of Economics and Management, Inner Mongolia Normal University, Hohhot Inner Mongolia

Received: July 29, 2026; accepted: August 31, 2026; published: September 24, 2026

Abstract

Based on the panel data of 30 provincial-level administrative regions in China from 2012 to 2022,

*通讯作者。

文章引用: 赖德力格尔胡, 杨蕴丽. 数字经济与能源消费结构转型的耦合协调及影响因素[J]. 可持续发展, 2026, 16(9): 208-220. DOI: 10.12677/sd.2026.169329

this paper uses the entropy weight TOPSIS method, coupling coordination degree model and obstacle degree model to analyze and find that the transformation index of the digital economy and energy consumption structure shows an upward trend and significant regional differences, and the overall coupling coordination degree enters a moderate coordination stage. However, the increase of synergistic effect lags behind the development speed of a single system, showing the characteristics of “synergistic lag”; the main obstacle factors are digital innovation ability, digital industrialization, industrial digitization and low carbon level of non-fossil energy. The reason is that the digital economy has fallen into technological idleness due to the lack of effective demand for energy scenarios, and the energy transformation has led to “synergy lag” due to the loss of total amount constraints and the absence of digital empowerment. Based on this, it is proposed to strengthen the rigidity of the total amount constraint and improve the capacity of the energy side to promote the coordinated development of the two.

Keywords

Digital Economy, Energy Consumption Structure Transformation, Coupling Coordination, Obstacle Factors

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

随着能源消费结构转型政策力度的不断加强,我国已取得显著转型成效。同时,数字经济的蓬勃发展为能源消费结构转型提供了新契机。《国家能源局关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见》中指出,能源是经济社会发展的基础支撑,能源产业与数字技术融合发展是新时代推动我国能源产业基础高级化、产业链现代化的重要引擎;对提升能源产业核心竞争力、推动能源高质量发展具有重要意义¹。数字经济与能源消费结构转型的深度耦合,既能为数字经济提供发展空间,又能释放数字经济对能源消费结构转型的驱动效应,促进能源绿色低碳转型。然而,全国数字经济发展水平和能源消费结构转型指数均持续攀升,但两系统耦合协调度的提升幅度却显著滞后于子系统各自的发展速度,系统间协同效应与发展进程不同步,呈现“协同滞后”特征。因此,厘清“协同滞后”的深层成因与关键障碍,对于精准施策以推动二者协调发展具有重要价值。

对数字经济与能源消费结构转型的相关研究主要沿以下脉络展开:一是数字经济对能源消费结构转型的影响研究。部分学者通过实证研究发现数字经济提升能源消费强度和效率[1],优化能源消费结构[2],并且政府治理能力[3]、产业结构升级、绿色技术创新是主要传导机制。同时,亦有学者指出环境规制强度的差异以及政府对数字经济的扶持力度不足会使数字经济对能源消费结构转型的影响呈现非线性特征[4]。二是能源系统对数字经济的影响研究。一些学者指出能源产业能够带动产业数字化、对数字经济的发展提供稳定的能源保障[5][6]。三是数字经济与能源产业耦合协调研究。有些学者关注数字经济与能源发展或能源系统之间的互动关系,强调二者耦合协调的时空异质性与空间溢出效应[7]。

综上,探究数字经济与能源消费结构转型耦合协调研究仍有提升和拓展空间。现有研究多集中于数字经济对能源消费结构转型的单向影响机制,仅个别学者从能源高质量发展或能源产业发展视角,探讨能源系统对数字经济的反向效应及耦合协调的时空演化。然而,对于“协同滞后”现象的形成原因、核

¹国家能源局关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见[EB/OL]. (2023-03-28).

https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2023-04/02/content_5749758.htm

心障碍的识别逻辑及其破解策略, 现有研究仍有较大的补充空间。

鉴于此, 本文利用 2012~2022 年中国 30 个省级行政区(不含西藏和港澳台地区)的面板数据, 旨在探究数字经济与能源消费结构转型的耦合协调关系, 识别导致“协同滞后”的关键障碍因素及其深层成因。与其他同类文献相比, 本文提出并验证“协同滞后”特征, 突破单一测度耦合水平的静态分析, 揭示深层成因与关键障碍背后的失灵逻辑, 弥补现有机理解释的不足, 为加速实现碳排放达峰与碳中和目标提供新的理论视角与经验证据。

2. 数字经济与能源消费结构转型的耦合机理分析

数字经济与能源消费结构转型之间是相互影响, 相互作用的耦合协调关系。本文基于“技术 - 结构 - 制度”三维分析框架, 阐述数字经济与能源消费结构转型的互动机制。数字经济通过技术溢出效应、网络效应与绿色金融三条路径为能源消费结构转型提供动力; 能源消费结构转型则通过拓展应用场景、稳定能源保障与节约能耗三条路径为数字经济发展提供支持。其耦合协调机理如图 1 所示。

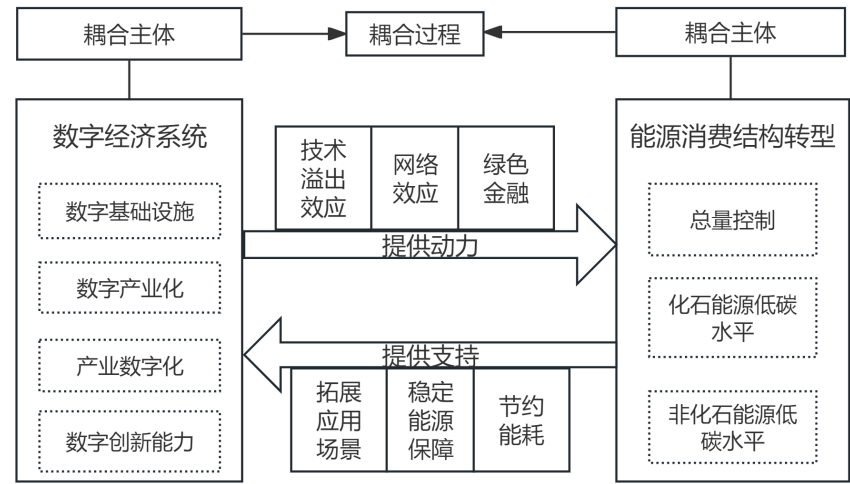


Figure 1. The coupling coordination mechanism diagram of digital economy and energy consumption structure transformation
图 1. 数字经济与能源消费结构转型的耦合协调机理图

2.1. 数字经济对能源消费结构转型的作用机理

数字经济通过技术溢出效应、网络效应、绿色金融机制, 从技术、结构、制度方面对能源消费结构转型提供动力, 推动其转型。第一, 技术创新驱动能源消费结构转型。数字经济通过技术溢出效应, 从供给、需求、协调方面推动能源消费结构转型。在供给端, 数字技术实现能源系统的实时监控与数据分析, 促进风能、太阳能等可再生能源有效并网, 提升其在终端能源消费中的比重; 在需求端, 以自动化与机器人技术替代传统高耗能设备, 推动工业用能从化石能源向清洁电力转型; 在协调端, 数字技术通过智能调度系统协调清洁能源供需, 提高可再生能源利用效率, 减少化石能源消耗[8]。第二, 数字经济依托网络效应变革能源消费方式。网络效应能够提升信息交互效率[9], 减少能源在传输和使用过程中的资源错配, 进而优化能源配置效率, 推动能源消费结构向低碳化转型。例如, 线上教育、远程办公等数字化新模式减少了实体出行需求, 有效降低了汽柴油等化石能源的消耗; 社交媒体等数字平台则使公众得以参与环境议题讨论, 通过对污染企业形成舆论压力, 倒逼其调整生产方式与用能结构。第三, 数字经济与绿色金融深度融合, 在制度层面构筑起驱动能源消费结构转型的长效机制。依托碳配额质押等工具及数字信用评估体系, 推动碳排放权交易透明化, 降低信息不对称, 为转型项目提供低成本融资渠道

[10]，并以市场化定价引导资本有序流动。

2.2. 能源消费结构转型对数字经济发展的作用机理

能源消费结构转型通过提供丰富的应用场景、稳定的能源保障与节约的能耗指标支持数字经济的发展。第一，在技术层面，能源消费结构转型所催生的新能源汽车、智能电网等新兴领域，为数字经济发展提供了丰富的应用场景。这些领域的发展高度依赖云计算、人工智能等数字技术，其技术需求反过来倒逼数字技术实现突破，进而推动数字技术创新与数字经济整体发展[11]。第二，在结构层面，能源消费结构转型通过增加风电、光伏等可再生能源在电力结构中的占比，扩大清洁电力的供给规模，为数字经济产业运行提供稳定的能源保障。稳定的清洁能源供应降低能够降低数字产业面临的供电中断等问题，为数字经济规模化扩张创造条件。第三，在制度层面，能耗指标的节约为数字产业释放发展空间。在“能耗双控”约束下，能源消费结构转型通过减少对煤炭、石油等高碳能源的依赖，降低传统高耗能产业的能耗强度，由此释放的稀缺能耗指标得以重新配置给数字产业，进而支撑数字经济的规模化扩张[12]。

3. 指标构建与研究设计

3.1. 评价指标体系构建

3.1.1. 数字经济

数字经济作为未来发展的主要经济形态，有助于推动生产、生活管理方式的深刻变革。文章借鉴已有研究成果[13][14]，从数字基础设施、数字产业化、产业数字化、数字创新能力 4 个维度出发，并结合数据可得性构建了如表 1 所示的数字经济综合评价指标体系。

Table 1. Comprehensive evaluation index system of digital economy
表 1. 数字经济综合评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标说明	单位	属性	权重
数字经济 发展指数	数字基础 设施	互联网宽带普及率	互联网宽带接入用户/年末常住人口数	%	+	0.0645
		互联网宽带接入率	互联网宽带接入端口数/年末常住人口数	%	+	0.0645
		长途光缆线长度	长途光缆线长度	公里	+	0.0647
		移动电话设施规模	移动电话交换机容量	万户	+	0.0651
	数字 产业化	电信业务总量	直接数据	亿元	+	0.0681
		平均每一营业网点服务人口	行政区域总人口数/营业网点总数	万人	+	0.0651
		有电子商务交易活动的企业数比重	直接数据	%	+	0.0643
		软件业务收入	主营业务收入 500 万元以上的软件和信息技术服务业等企业收入	万元	+	0.0707
	产业 数字化	数字普惠金融指数	直接数据	—	+	0.0640
		电子商务销售额	直接数据	亿元	+	0.0688
		信息传输、软件和信息 技术服务法人单位数	直接数据	个	+	0.0678
		信息软件业就业人员占比	信息传输等服务业城镇单位就业人员/ 城镇单位就业人员	%	+	0.0669
	数字创新 能力	科技创新投入	规模以上工业企业 R&D 经费	万元	+	0.0681
		专利申请授权量	直接数据	项	+	0.0690
		专利申请受理量	直接数据	项	+	0.0682

3.1.2. 能源消费结构

中国能源消费结构长期以煤炭为主，但化石能源在环保与能效方面存在劣势。国务院关于印发《2024—2025 年节能降碳行动方案》的通知明确提出，重点控制化石能源消费，强化碳排放强度管理；加大非化石能源开发力度²。意味着能源消费结构的绿色低碳转型已成必然。因此，本文依据国家战略部署，参考已有研究成果[15] [16]，并考虑数据的可获得性，构建了如表 2 所示的能源消费结构转型评价指标体系。

总量控制维度包含的能源消费总量为各类能源消费量折算为标准煤的总和；能源消费强度是选择能源消费总量与实际地区生产总值比值来衡量。碳排放总量为各省级行政区历年表观二氧化碳排放总量；碳排放强度是以碳排放总量与实际地区生产总值比值来衡量。其中实际地区生产总值采用固定基期法测算，具体方法为物量指数外推法[17]。以 2012 年为基期，利用地区生产总值指数(上年 = 100)逐年推算实际地区生产总值，而 2012 年的实际地区生产总值等于当年的名义地区生产总值。

计算公式为(式中 t 表示年份)：

$$\text{实际GDP}_t = \text{实际GDP}_{t-1} \times \frac{\text{GDP指数}_t}{100} \tag{1}$$

Table 2. Evaluation index system of energy consumption structure transformation
表 2. 能源消费结构转型评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	单位	属性	权重
能源消费结构转型指数	总量控制	能源消费总量	万吨	-	0.0236
		能源消费强度	吨/万元	-	0.0323
		碳排放强度	吨/万元	-	0.0115
		碳排放总量	百万吨	-	0.0192
	非化石能源低碳水平	水、核、太阳能发电量	亿千瓦小时	+	0.3691
		风力发电量	亿千瓦小时	+	0.3428
		天然气消费量	亿立方米	+	0.1641
		汽油消费量	万吨	-	0.0063
		煤炭消费量	万吨	-	0.0053
		燃料油消费量	万吨	-	0.0259

3.2. 研究方法

3.2.1. 熵权 TOPSIS 法

熵值法是一种客观赋权方法，它是根据每项指标的观测值所提供信息的大小来确定指标权重，能有效减少主观因素干扰[18]。本文运用熵值法测算 2012~2022 年中国 30 个省级行政区(不含西藏和港澳台地区)的数字经济与能源消费结构转型指数。

3.2.2. 耦合协调度模型

耦合协调模型是一种用于量化系统间相互作用强度及协同发展水平的分析工具，能够有效评估系统间的耦合程度和协调发展状态。因此，本文在测度数字经济与能源消费结构转型指数的基础上，借鉴已

²国务院关于印发《2024—2025 年节能降碳行动方案》的通知[EB/OL]. (2024-05-23).
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202405/content_6954323.htm

有研究成果[19], 为避免传统耦合协调模型在系统发展水平较低时高估耦合程度的缺陷, 采用修正的耦合协调模型测度二者的耦合度和耦合协调度, 具体计算公式为

$$C = \left\{ (U_1 \times U_2) / \left(\frac{U_1 + U_2}{2} \right)^2 \right\}^k \quad (2)$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 \quad (3)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (4)$$

式中: U_1 、 U_2 分别为数字经济与能源消费结构转型指数, k 为调节系数, 参考已有研究[20], 本文取 $k = 2$ 以增强区分度。 C 为耦合度, 用于衡量两系统间的耦合关联强度, 取值范围在 $[0, 1]$; 耦合协调指数 T 代表两系统协调发展程度, α 、 β 为待定系数, 表示数字经济与能源消费结构转型指数所占的权重, 分别取 0.5; D 为耦合协调度, 取值范围在 $[0, 1]$, D 值越大表明两系统耦合作用越趋于协调状态。参考已有研究成果[21], 本研究将耦合协调度划分为 5 个阶段, 如表 3 所示。

Table 3. Classification standard of coupling coordination degree

表 3. 耦合协调度等级划分标准

耦合协调程度	耦合协调度区间(D)
极度失调阶段	$0 < D \leq 0.2$
低度协调阶段	$0.2 < D \leq 0.4$
中度协调阶段	$0.4 < D \leq 0.6$
高度协调阶段	$0.6 < D \leq 0.8$
极度协调阶段	$0.8 < D \leq 1$

3.2.3. 显著性 t 检验

在耦合协调度测算基础上, 为进一步检验数字经济与能源消费结构转型耦合协调度的提升速度是否显著滞后于两子系统各自的发展速度, 本文构建协同滞后指数并采用配对样本 t 检验进行验证。协同滞后指数定义为两子系统指数年增长率的均值与耦合协调度年增长率之差, 公式如下:

$$SLI_t = \frac{U_{1t} + U_{2t}}{2} - D_t \quad (5)$$

U_1 和 U_2 分别为数字经济指数与能源消费结构转型指数在第 t 个时间区间的年增长率。 SLI 为耦合协调度的年增长率。原假设: $SLI > 0$, 表明协同效应的提升滞后于子系统各自发展; 反之快于子系统各自发展。

3.2.4. 障碍度模型

本文借鉴已有研究成果[22]引入障碍度模型, 计算数字经济与能源消费结构转型指数指标体系中各指标障碍度, 解构不同指标对耦合协调的影响, 障碍度模型如下:

$$I_{ij} = 1 - X'_{ij} \quad (6)$$

$$h_j = \left(\frac{F_j I_{ij}}{\sum_{j=1}^m F_j I_{ij}} \right) \times 100\% \quad (7)$$

$$H_j = \sum h_j \tag{8}$$

式中, X'_{ij} 为数字经济与能源消费结构转型指数两系统中各指标的标准值; i 表示省级行政区; j 表示两系统的各指标; 指标偏离度 I_{ij} 指单个因素指标与两系统耦合协调目标之间的差距; 因子贡献度 F_j 指单个因素对两系统耦合协调目标的权重; h_j 是单项指标的障碍度, H_j 是分类指标的障碍度; m 为评价指标的总个数。

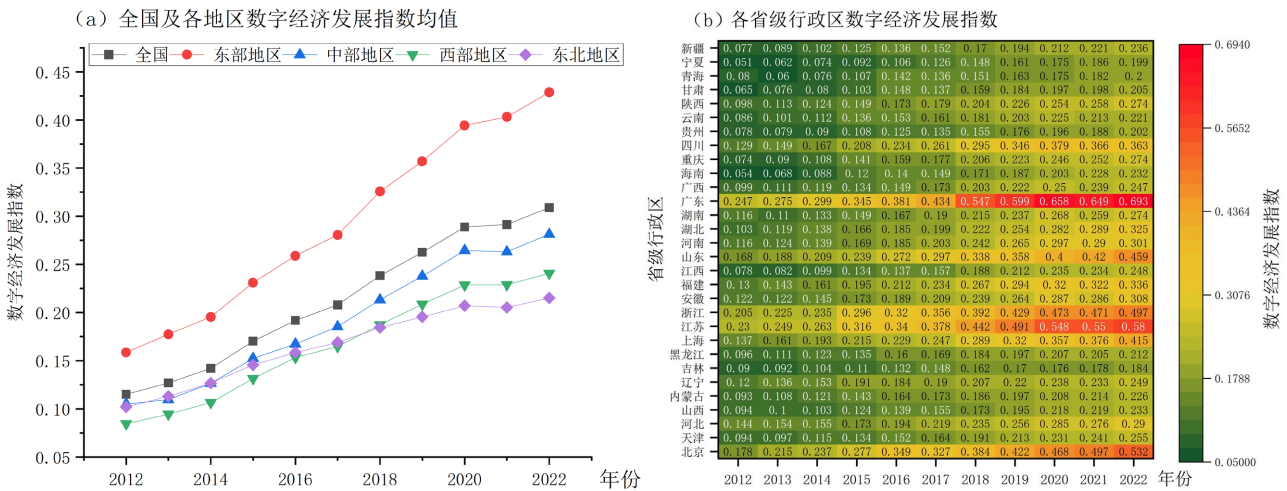
3.3. 数据说明

鉴于数据可得性, 本文选择 2012~2022 年中国 30 个省级行政区(不含西藏和港澳台地区)的面板数据作为研究样本。数据来源于《中国能源统计年鉴》《中国统计年鉴》国家统计局以及各省级行政区统计年鉴。其中碳排放数据来源于 CEADs 发布的中国省级行政区二氧化碳排放清单(表观排放核算法); 数字普惠金融指数数据来源于北京大学数字金融研究中心。对于缺失值, 运用线性插值法进行了填补。

4. 实证结果分析

4.1. 数字经济发展指数

从时序变化来看, 2012~2022 年全国及各地区数字经济发展指数呈持续上升趋势如图 2(a)所示。2012 年全国数字经济发展指数均值为 0.115, 2022 年上升至 0.309, 表明中国数字经济在国民经济中的地位不断提升。从地区差异来看, 东部地区整体平均水平显著高于全国整体平均水平。中部、西部、东北地区相较于东部地区数字经济发展较为缓慢, 区域发展不平衡问题明显。从图 2(b)看出, 数字经济发展呈现出“由东向西”递减的空间格局。东部地区数字经济发展指数显著高于其他省级行政区。东部地区凭借科技创新与应用能力优势, 数字经济发展指数领先; 欠发达地区则受制于人才短缺与转型困难, 发展滞后, 呈现显著的区域不均衡特征。



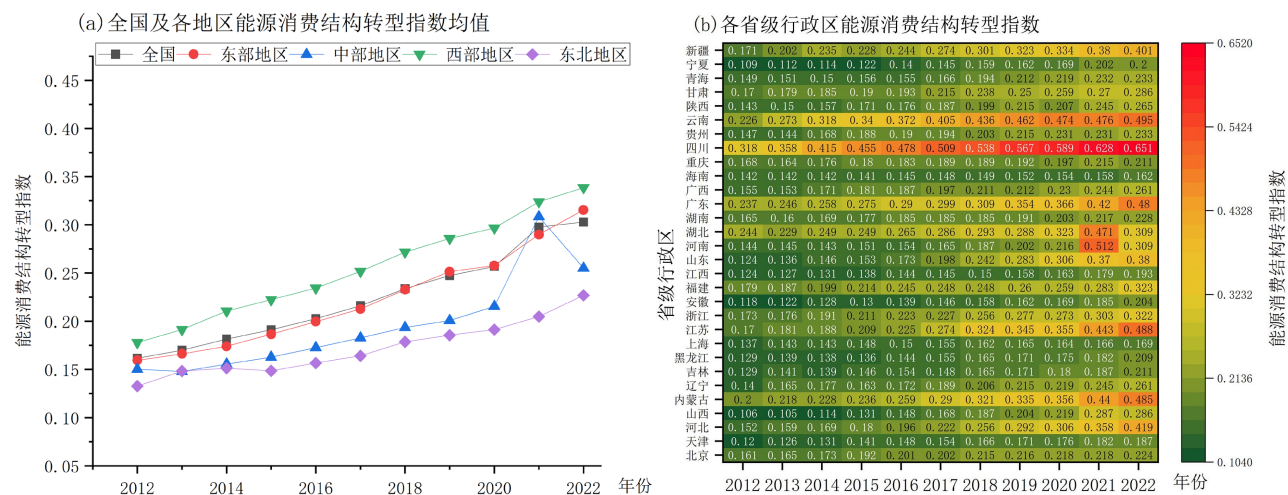
注: 图片由 Origin2024 软件绘制所得。

Figure 2. Digital economy development index from 2012 to 2022
图 2. 2012~2022 年数字经济发展指数

4.2. 能源消费结构转型指数

从时序变化来看, 2012~2022 年全国及各地区能源结构转型指数呈现出持续向好的态势, 如图 3(a)所示。全国指数从 2012 年的 0.155 上升至 2022 年的 0.289, 十年间增长了约 86.45%。其中, 全国指数 2020

年至 2021 年间出现一个跳跃式的增长, 增幅达约 17.5%, 远高于往年的平均增速。这可能与“双碳”目标的明确提出、政策引导力度的加大以及能源结构调整措施的加速落地密切相关。区域层面, 能源消费结构转型指数呈现显著差异。西部地区处于领先地位, 东部地区稳步提升, 中部地区与东北地区偏低。但观察图 3(b)数据可知, 东部沿海地区如山东、广东、浙江、福建的能源消费结构转型指数偏高于西部地区省级行政区。东部沿海地区经济发展水平普遍较高, 服务业和高新技术产业占比大, 能源强度相对较低, 对高碳能源的依赖程度相对较小, 更容易吸引绿色投资和技术创新, 从而加速能源消费结构转型[23]。西部地区依赖自身丰富的清洁能源资源禀赋推动结构优化。此外, 西部个别地区及中部地区能源结构以煤炭为主, 产业结构重, 清洁替代成本较高等原因导致转型难度较大。东北地区传统工业占比较高, 转型动力不足。



注：图片由 Origin2024 软件绘制所得。

Figure 3. Energy consumption structure transition index from 2012 to 2022

图 3. 2012~2022 年能源消费结构转型指数

4.3. 数字经济与能源消费结构转型耦合协调度

4.3.1. 耦合协调度的时序特征

2012~2022 年各省级行政区耦合协调度均值居于 0.344~0.525 之间, 时序上呈现出稳定增长态势, 如图 4(a)示。2012~2015 年全国耦合协调度均值居于 0.344~0.405 之间, 处于低度协调阶段。从 2015 年开始迈入中度协调阶段, 协同发展效应逐步增强。同时, 全国耦合协调度均值从 2012 年的 0.344 上升到 2022 年 0.525, 增幅约 52.62%。同期, 数字经济发展指数增幅约 168.53%, 能源消费结构转型指数增幅为 86.45%。耦合协调度增幅显著低于两系统增幅, 表明两系统各自快速发展而协同效应提升滞后, 存在“协同滞后”现象。

为进一步检验该滞后现象的显著性, 对两子系统增速均值与耦合协调度增速进行了配对样本 *t* 检验。结果显示(表 4), 两子系统增速均值 8.51%, 耦合协调度增速均值为 4.33%, 平均差值为 4.18 个百分点, 并通过 1%统计水平上的显著性检验, 拒绝原假设。这表明两项指标存在显著统计学差异, 数字经济与能源消费结构转型各自的发展速度显著快于二者协同效应的提升速度。

此外, 两系统耦合协调发展呈现出阶段性特征。2012~2020 年处于稳步上升期, 年均增长率约 4.71%, 增长稳定且波动小。2020~2022 年处于增速放缓期, 年均增长率约 2.78%。特别是 2021 年能源消费结构转型指数大幅度跃升时耦合协调度增长趋缓, 反映转型加速与协同效应提升之间的非同步性。此外, 区

域差异显著。东部地区显著高于其他地区,甚至高于全国平均水平。究其原因,我国大数据中心主要集中在东部地区,为两系统的耦合协调发展提供了有利条件。但东部地区各省级行政区之间仍然存在协同发展不平衡现象,部分省级行政区的数字经济优势未有效传导至能源系统。

Table 4. Paired sample *t*-test results
表 4. 配对样本 *t* 检验结果

变量	均值(%)	标准差	<i>t</i> 值	自由度	p 值(单侧)	95%置信区间
两系统增速均值	8.51	2.28	12.36	10	<0.001	[3.43, 4.93]
耦合协调度增速	4.33	1.39				
差值	4.18	1.12				

4.3.2. 耦合协调度的空间格局特征

从空间格局看,2012~2022 年耦合协调度呈现“东部高、西部低”特征,图 4(b)所示。2012 年多数省级行政区的耦合协调度在 0.2~0.4 之间,处于低度协调阶段;其中,广东、浙江、江苏、北京等 4 个省级行政区处于中度协调阶段。到 2022 年,全国各省级行政区均进入中度协调阶段,但已有江苏、浙江、山东、广东、四川 5 个省级行政区的耦合协调度突破 0.6,进入高度协调阶段。区域间差距扩大,反映出领先地位在数字经济与能源消费结构转型耦合进程中呈现出显著的“马太效应”,后发地区面临着更大的追赶压力。湖北、河南、安徽、新疆等 12 个省级行政区的耦合协调度在 11 年间持续提升。尤其是河南省耦合协调度在 2021 年出现跃升,这与河南省“青海-河南±800 千伏特高压直流工程”等重大工程的推进紧密相关[24]。宁夏、甘肃、吉林等 10 个省级行政区的耦合协调度长期低于全国平均水平,增长速度缓慢。这可能与能源消费结构以外调入为主,数字经济对能源消费结构转型的赋能尚未深度渗透有关。

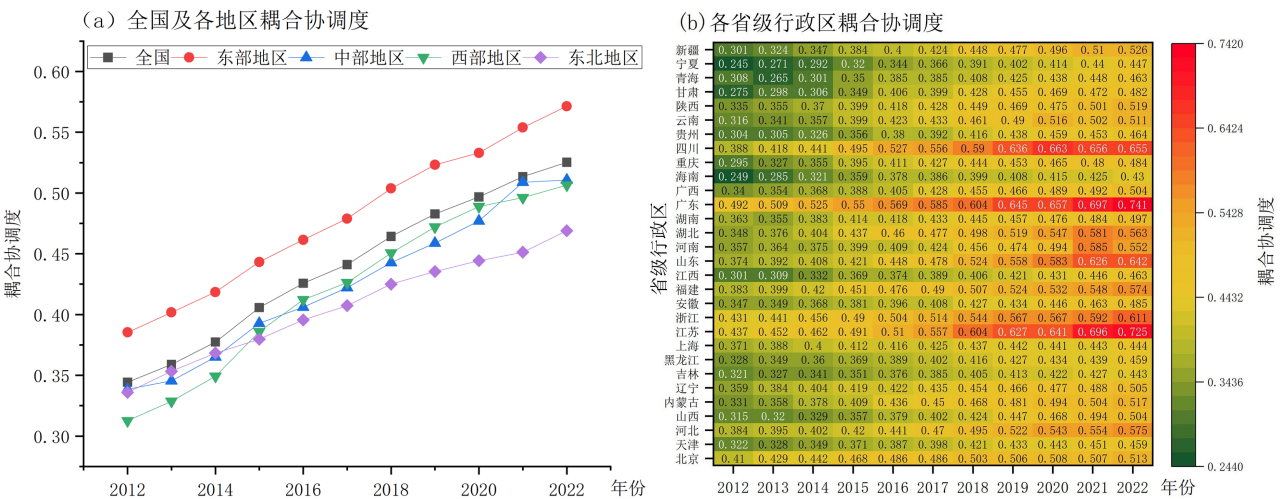


Figure 4. Coupling coordination degree between digital economy and energy consumption structure transformation from 2012 to 2022
图 4. 2012~2022 年数字经济与能源消费结构转型耦合协调度

4.4. 数字经济与能源消费结构转型耦合协调障碍因素

利用障碍度模型,测度 2012~2022 年数字经济与能源消费结构转型耦合协调发展的核心障碍因素,如表 5 所示。

Table 5. Obstacle degree of obstacle factors of digital economy and energy consumption structure transformation
表 5. 数字经济与能源消费结构转型障碍因子障碍度

地区	省级行政区	数字基础设施(%)	数字产业化(%)	产业数字化(%)	数字创新能力(%)	总量控制(%)	非化石能源低碳水平(%)	化石能源低碳水平(%)
东北地区	吉林	7.54	24.15	23.01	25.43	0.32	15.89	3.65
	辽宁	7.18	24.26	22.74	25.68	0.73	15.85	3.55
	黑龙江	6.77	24.51	23.11	25.48	0.48	16.06	3.60
	均值	7.16	24.31	22.96	25.53	0.51	15.93	3.60
东部地区	上海	7.85	24.41	19.38	25.48	0.23	19.18	3.48
	北京	8.51	21.85	16.54	28.68	0.12	21.71	2.60
	天津	7.97	24.15	22.53	24.75	0.30	17.27	3.03
	山东	7.36	24.71	22.63	23.01	1.03	18.22	3.03
	广东	7.14	27.43	21.90	15.78	0.91	23.55	3.29
	江苏	6.55	26.27	25.62	17.65	0.76	21.08	2.07
	河北	6.49	24.94	23.58	25.76	0.82	15.49	2.92
	浙江	6.25	26.10	23.32	21.28	0.51	18.95	3.59
	海南	7.90	23.76	22.73	25.63	0.17	16.49	3.32
	福建	6.79	24.99	23.23	25.15	0.29	15.70	3.86
	均值	7.28	24.86	22.15	23.32	0.51	18.76	3.12
中部地区	安徽	7.46	24.48	22.76	23.95	0.35	17.25	3.75
	山西	7.17	24.59	22.86	25.65	1.22	15.31	3.19
	江西	7.73	24.27	22.71	24.80	0.23	16.43	3.84
	河南	7.12	24.88	23.01	24.84	0.51	16.41	3.22
	湖北	7.72	25.47	22.92	25.39	0.37	14.19	3.94
	湖南	7.42	24.31	23.23	24.77	0.34	15.91	4.03
	均值	7.44	24.67	22.92	24.90	0.50	15.92	3.66
西部地区	云南	7.92	25.16	24.30	27.16	0.37	10.86	4.23
	内蒙古	6.84	25.54	23.84	26.65	1.10	12.50	3.53
	四川	5.66	26.37	25.65	28.18	0.49	11.88	1.76
	宁夏	7.90	23.97	23.10	25.28	1.01	15.16	3.58
	广西	7.04	24.13	23.39	25.93	0.34	15.26	3.91
	新疆	6.94	25.01	24.09	26.47	0.89	14.25	2.36
	甘肃	7.64	24.26	23.71	25.79	0.47	14.48	3.65
	贵州	7.95	23.91	23.33	25.58	0.51	14.93	3.79
	重庆	7.84	24.16	22.75	25.23	0.21	16.91	2.90
	陕西	7.55	23.90	23.07	25.45	0.46	16.68	2.89
	青海	7.74	24.08	23.31	25.70	0.72	15.13	3.33
	均值	7.37	24.59	23.69	26.13	0.60	14.37	3.27
	全国均值	7.33	24.67	22.95	24.89	0.54	16.30	3.33

从数字经济系统看, 数字基础设施、数字产业化、产业数字化、数字创新能力障碍度依次为 7.33%、24.08%、22.95%、24.89%, 其中数字创新能力障碍度最高, 其次是数字产业化, 产业数字化、数字基础设施次之。表明数字技术向产业场景的转化效率与应用成本仍是核心瓶颈, 未来应聚焦创新引领, 加大人才、资金和设备投入, 提升数字创新水平。地区差异上, 西部地区数字创新能力障碍度最高, 东北、中部地区的数字创新能力障碍度高于其他障碍因素。东部地区则呈现数字产业化障碍度高于其他障碍因素的特征。

从能源消费结构转型系统看, 总量控制、非化石能源低碳水平、化石能源低碳水平障碍度依次为 0.54%、16.30%、3.33%。各地区非化石能源低碳水平障碍度最高, 表明非化石能源占比低是制约协同发展的主要因素。非化石能源发电量虽持续增长, 但由于电网消纳能力不足、储能配套欠缺、市场机制不健全、终端应用场景有限等多重因素制约, 其低碳优势难以有效转化为实际的能源消费结构改善。未来应强化顶层设计, 提升消纳能力, 拓展终端应用场景, 优化区域布局, 推进能源消费结构转型。

从全国整体层次分析, 数字经济系统累计障碍度达 79.84%, 能源消费结构转型系统仅为 20.16%, 制约二者协调发展的主要矛盾集中于数字经济系统。数字经济系统障碍度高表明其处于快速发展过程, 而能源系统障碍度较低则揭示其演化进程缓慢、结构刚性显著。两系统发展节律的天然错位构成了协同滞后的深层原因, 即数字经济的快速发展无法有效牵引能源消费结构转型。从传导路径来看, 数字创新能力与非化石能源低碳水平障碍度高表明数字创新供给与能源消费场景需求传导机制之间出现断裂, 数字技术因缺乏有效的能源侧承接机制而无法转化为结构优化的实际成效。进一步地, 总量控制障碍度虽低, 但也表明总量约束阈值设定偏于宽松, 尚未对能源消费形成实质性倒逼。当前, 能源消费总量与化石能源消费量仍呈逐年递增态势, 非化石能源增量供给仅能部分满足新增能源需求, 远未形成对存量化石能源的有效替代。例如, “东数西算”工程启动初期, 西北、西南地区分别为 34%和 41%, 而华东、华北和华南地区数据中心上架率约在 65%~68%³, 大量算力资源无法得到充分利用。同时, 数字技术的调度能力因缺乏统一的跨系统协同平台而无法有效落地; 绿电消纳则面临认定机制不完善、供电稳定性难保障、交易市场不成熟等困境, 数据中心约 70%的电力供应仍依赖煤电⁴。技术供给与能源场景之间的传导通道在制度端与技术端受阻, 数字创新成果难以转化为能源结构优化的实际成效。由此, 数字经济的发展因缺乏能源场景的有效需求拉动而陷入技术空转, 能源消费结构转型因总量约束失位及数字赋能缺位而始终徘徊于结构优化的浅层区间, 最终呈现出持续的协同滞后态势。

5. 结论与建议

5.1. 结论

本文选择 2012~2022 年中国 30 个省级行政区(不含西藏和港澳台地区)面板数据为研究样本, 运用熵值 TOPSIS 法、耦合协调度模型、障碍度模型对中国 30 个省级行政区(不含西藏和港澳台地区)的数字经济与能源消费结构转型的耦合协调发展特征及影响因素进行分析。研究结论如下:

第一, 2012 年~2022 年数字经济发展水平与能源消费结构转型指数均呈现持续上升趋势, 但区域差异显著。

第二, 数字经济与能源消费结构转型的协同发展水平在 2012~2022 年间稳步提升, 全国整体水平已进入中度协调阶段, 其中沿海地区已进入高度协调阶段。但二者协调发展呈现出“协同滞后”特征。

³新浪财经. “东数西算”堵点透视[EB/OL]. (2024-01-15).

<https://finance.sina.com.cn/jjxw/2024-01-15/doc-inacrfmz5236510.shtml>

⁴北极星火力发电网. 7 成左右电力供应来自煤电 数据中心深陷“绿电”困局[EB/OL]. (2021-01-13).

<https://news.bjx.com.cn/html/20210113/1128980.shtml>

第三, 数字创新能力、数字产业化、产业数字化及非化石能源低碳水平是制约两系统协调发展的主要障碍因素。究其根源, 数字创新能力高壁垒、能源响应低弹性与总量稀释效应三重机制层层叠加, 导致数字经济与能源消费结构转型协调发展呈现“协同滞后”特征。

5.2. 建议

根据研究结论, 提出以下对策建议。

第一, 强化总量约束刚性, 遏制稀释效应。全面落实现行政策中可再生能源消费不纳入总量考核的规定, 统一全国核算标准, 激励地方政府以绿电替代而非总量压制推动转型。将数据中心等数字基础设施纳入绿电消费保障范围, 在能耗考核中对绿电部分予以豁免。建立能耗指标跨区域市场化流转机制, 允许东部通过购买西部清洁能源富集区的能耗指标支撑算力扩张, 同步促进西部绿电消纳。

第二, 疏通技术传导路径, 提升能源侧承接能力。组建数字能源技术创新中心, 聚焦新能源出力预测、数字孪生电网等专用技术, 实施政府出资金、企业出场景、机构出技术的联合攻关模式。依托“东数西算”工程搭建跨区域“算力-电力”协同调度平台, 打通电力调度、可再生能源发电与算力需求的数据壁垒, 实现绿电消纳的实时溯源与动态匹配。在高耗能行业推行数字能源管理系统能效准入, 将系统部署与节能审查、用能权交易挂钩, 以市场需求牵引数字技术向传统能源场景深度渗透。

第三, 分类施策, 破解区域差异化滞后。东部地区重点推动数字企业与可再生发电企业签订长期购电协议, 促进分布式清洁能源直供数字负荷; 中西部地区加大新型基础设施投入, 支持“东数西算”节点与清洁能源基地协同布局, 形成“绿电+算力”产业集群; 东北地区聚焦高耗能产业智能化改造, 将节约的能耗指标向数字产业流转配置, 依托风、光资源建设“工业余热+清洁能源+数据中心”综合能源系统, 实现存量优化与增量培育协同推进。

基金项目

内蒙古自治区哲学社会科学规划项目马克思主义理论研究和建设工程专项课题重点项目“数智时代马克思主义政治经济学理论创新发展研究”(2025ZZA103)。

参考文献

- [1] 刘建江, 李渊浩. 数字经济如何赋能全要素能源效率提升? [J]. 财经理论与实践, 2023, 44(2): 105-113.
- [2] 李晓敏, 刘世哲, 司小飞. 数字经济与能源消费结构: 内在机制与实证检验[J]. 南昌大学学报(人文社会科学版), 2024, 55(5): 55-70.
- [3] Shahbaz, M., Wang, J., Dong, K. and Zhao, J. (2022) The Impact of Digital Economy on Energy Transition across the Globe: The Mediating Role of Government Governance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **166**, Article 112620. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112620>
- [4] Song, W. and Han, X. (2024) Does the Digital Economy Contribute to China's Energy Transition? *Economic Change and Restructuring*, **57**, Article No. 165. <https://doi.org/10.1007/s10644-024-09750-6>
- [5] 陆杉, 罗水莉, 周坤. 数能耦合协调及其对工业减污降碳协同的影响研究[J]. 环境科学研究, 2025, 38(3): 524-538.
- [6] 王淑贺. 数字经济与能源高质量发展的动态耦合及碳减排效应[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2025, 27(1): 75-87.
- [7] Zhang, Y., Chai, J., Miao, S. and Chen, J. (2024) Research on the Mechanism of Two-Way Interaction between Digital Economy and Household Energy Transition in China. *International Journal of Global Economics and Management*, **3**, 51-71. <https://doi.org/10.62051/ijgem.v3n2.06>
- [8] 布和础鲁, 陈玲. 数字时代的产业政策: 以新型基础设施建设为例[J]. 中国科技论坛, 2021(9): 31-41.
- [9] 魏丽莉, 侯宇琦. 数字经济对中国城市绿色发展的影响作用研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(8): 60-79.
- [10] 毛丰付, 侯玉巧, 高雨晨. 数字经济对城市能源消费结构转型的影响——基于能源禀赋异质性与空间溢出效应

- 检验[J]. 浙江学刊, 2024(6): 125-136.
- [11] 史丹, 张瑾, 史可寒, 等. 新型工业化的典型特征及其对能源消费的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2025, 35(1): 1-16.
- [12] Wang, S., Wang, A., Liu, S., Zhang, C., Qiao, L. and Li, X. (2024) Research on the Coupling Coordination Relationship between the Digital Economy and High-Quality Energy Development: Evidence from China. *Heliyon*, **10**, e24637. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24637>
- [13] 吴剑辉, 郭永欣. 数字经济助推新型城镇化发展: 基于空间杜宾模型和门槛模型的分析[J]. 资源开发与市场, 2024, 40(9): 1350-1361.
- [14] 时丹丹, 陈庚哲. 中国数字经济与低碳发展的耦合协调水平研究[J]. 统计与决策, 2026, 42(2): 117-122.
- [15] 任志安, 章海霞. “双碳”目标下能源结构绿色低碳转型: 效果评估与空间溢出[J]. 生态经济, 2025, 41(12): 61-67+76.
- [16] 李晨潇, 刘凯莉, 马思睿. 绿色金融发展对省域能源消费结构转型影响的空间效应[J]. 经济地理, 2024, 44(8): 148-157.
- [17] 许宪春. 中国不变价国内生产总值使用核算方法的变迁[J]. 经济学(季刊), 2024, 24(5): 1373-1393.
- [18] 黄敦平, 朱小雨. 我国数字经济发展水平综合评价及时空演变[J]. 统计与决策, 2022, 38(16): 103-107.
- [19] 窦浩楠, 陈思, 刘海, 等. 长江经济带城市群电力消费碳排放强度与绿色转型发展的耦合关系[J]. 应用生态学报, 2026, 37(2): 358-370.
- [20] 范东军, 克彪, 曹润民. 耦合协调度模型的修正与改进[J]. 统计与决策, 2024, 40(22): 41-46.
- [21] 张佩, 王姣娥, 孙勇, 等. 中国省域创新基础设施与创新产出水平的耦合协调发展及其影响因素[J]. 经济地理, 2022, 42(9): 11-21.
- [22] 刘素春, 范泽然, 梁子敏. 农业新质生产力和农业保险高质量发展: 耦合协调与障碍识别[J]. 经济与管理评论, 2025, 41(5): 63-76.
- [23] Liu, Z., Lam, J.F.I., Chen, H., Lin, G. and Chen, H. (2023) Can Green Investment Improve China's Regional Energy Consumption Structure? Novel Findings and Implications from Sustainable Energy Systems Perspective. *Frontiers in Energy Research*, **11**, Article ID: 1273347. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1273347>
- [24] 张万里, 刘溪. 数字经济对河南碳排放的影响效应分析[J]. 河南广播电视大学学报, 2023, 36(3): 47-55.