

# 数实融合驱动资源型城市绿色低碳转型效应分析

陈阳, 刘文革\*

(辽宁大学国际经济政治学院, 沈阳 110031)

**摘要:** 中国资源型城市作为国家能源安全战略的核心支撑, 可依托数实融合的数据共享性、实时传输特性与低边际成本优势, 为突破“资源诅咒”与“转型迟滞”困境开辟新路径。基于 2011~2022 年中国资源型城市面板数据, 构建包含双向固定效应模型、中介效应模型、调节效应模型及门槛回归模型的多维计量体系, 系统解构数实融合驱动资源型城市绿色低碳转型的作用效果和内在机制。结果表明: ①数实融合对资源型城市绿色低碳转型具有显著正向驱动效应, 这一结论在经过多重稳健性检验后仍然有效; ②机制检验揭示, 数实融合通过创新驱动效应与环境规制效应, 显著促进了资源型城市绿色低碳转型进程, 而产业优化效应尚未表现出显著驱动作用。同时, 政府干预在数实融合驱动资源型城市绿色低碳转型过程中呈现出负向调节效应; ③异质性检验揭示, 研究结果在资源城市类型、经济发展水平和数字技术创新水平这 3 个维度下存在异质性; ④门槛效应检验表明, 数字经济政策供给水平越高, 数实融合的绿色低碳转型效应越强。

**关键词:** 数字经济; 实体经济; 数实融合; 资源型城市; 绿色低碳转型

中图分类号: X24 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2026)03-1576-10 DOI: 10.13227/j.hjlx.202502011

## Analysis of Digital-real Economy Integration Driving Green and Low-carbon Transition in Resource-Based Cities

CHEN Yang, LIU Wen-ge\*

(School of International Economics and International Relations, Liaoning University, Shenyang 110031, China)

**Abstract:** As pivotal pillars of China's national energy security strategy, resource-based cities can leverage the data-sharing capabilities, real-time transmission features, and low marginal cost advantages inherent in digital-real integration to forge new pathways for overcoming the “resource curse” and “transition inertia” dilemmas. Based on panel data of China's resource-based cities from 2011 to 2022, this study constructs a multidimensional econometric framework incorporating two-way fixed effects models, mediation and moderation effect models, and threshold regression analysis to systematically deconstruct the operational impacts and mechanistic drivers of digital-real integration in propelling green and low-carbon urban transitions. The results showed that: ① Digital-real integration demonstrated statistically significant positive effects on green low-carbon transition in resource-based cities, with robustness confirmed through multiple empirical tests. ② Mechanism tests revealed that digital-real integration significantly facilitated green and low-carbon transition in resource-based cities through innovation-driven effects and environmental regulation effects, whereas industrial optimization effects demonstrated no significant driving force. Concurrently, government intervention exhibited a negative moderating effect on this transition process driven by digital-real integration. ③ Heterogeneity tests revealed significant differential effects across three dimensions: typology of resource-based cities, economic development levels, and digital technology innovation capacities. ④ Threshold effect tests confirmed that higher digital economy policy supply levels intensified the green and low-carbon transition effects of digital-real integration.

**Key words:** digital economy; real economy; digital and real economy integration; resource-based cities; green low-carbon transformation

党的二十大报告指出“坚持把发展经济的着力点放在实体经济上”, 并要求“加快发展数字经济, 促进数字经济和实体经济深度融合”, 该举措既为数实融合提供战略指引, 又为探讨数实融合在绿色低碳转型中的作用奠定了基础。气候变化加剧背景下, 城市绿色低碳转型既是推动高质量发展的战略支点, 更是实现人与自然和谐共生的必由之路<sup>[1]</sup>。2013 年国务院首次系统构建资源型城市分类转型框架, 资源型城市作为国家能源安全的核心载体, 其绿色低碳转型系实现“双碳”目标的关键支撑。为此, 引发学界广泛关注。现有研究主要沿着 3 个维度展开, 理论建构层面, 学者通过解构绿色转型内涵<sup>[2,3]</sup>, 确立了资源型城市转型的理论基础; 指标测度层面, 研究聚焦资源型城市绿色转型绩效、生态效率、绿色效率和碳排放效率等指标, 运用超效率-SBM 模型与熵权-TOPSIS 法构建评估体系<sup>[4-7]</sup>; 机制探索层面, 聚焦数字经济、

低碳试点政策与环境规制的传导机制效应, 解析其对资源型城市绿色低碳转型的驱动路径<sup>[8-11]</sup>。因此, 探究数实融合对资源型城市绿色低碳转型的影响效应, 不仅有助于丰富绿色低碳转型的相关理论, 还为科学制定低碳政策与动态优化绿色发展提供决策依据。

党的二十届三中全会提出“健全促进实体经济和数字经济深度融合制度”, 标志着我国数实融合进入制度创新驱动的战略深化期。学界对此展开多维探索, 理论构建维度, 形成“技术-经济-生态-政策-创新”五位一体的理论分析框架, 通过多角度交叉验证

收稿日期: 2025-02-05; 修订日期: 2025-05-16

基金项目: 国家社会科学基金重大专项(18VJ024); 辽宁省兴辽英才计划项目(XLYC2002042); 辽宁省经济社会发展研究课题项目(2026lslqnwzzkt-062)

作者简介: 陈阳(1994~), 女, 博士(后), 讲师, 主要研究方向为数字经济与低碳转型, E-mail: lnuchenyang@163.com

\* 通信作者, E-mail: liuwenge1966@126.com

揭示数实融合的理论基础<sup>[12,13]</sup>;测度方法维度,运用 Logistic 协同演化和耦合协调度模型测度“省域-市域-企业”不同层面的数实融合水平<sup>[14-18]</sup>;效应分析维度,实证分析数实融合对实体经济发展、经济高质量发展、城市韧性以及企业全要素生产率、创新效率和数字化转型等方面的影响效应<sup>[19-25]</sup>,主要聚焦其经济效应。值得关注的是,环境效应研究仍处于探索阶段,现有研究虽初步验证数实融合通过要素配置、技术创新与产业结构优化赋能绿色低碳发展<sup>[26,27]</sup>,但对城市绿色低碳转型驱动机制和区域差异化传导路径等深层机制缺乏系统性阐释,这为后续研究提供了重要突破口。

既有研究虽为解析数实融合驱动绿色低碳转型提供了理论基础,但仍存不足:一是现有研究多集中于数字经济单维环境效应分析,缺乏对数实融合环境效应的传导机制探讨,尤其未能揭示资源型城市在要素禀赋约束与路径依赖双重作用下数实融合驱动其绿色低碳转型的内在机制。二是现有研究虽验证了数实融合与碳减排和绿色发展的关联性,但缺乏对区域经济梯度差异、资源禀赋条件差异和数字创新能力差异等多维异质性的系统解构。三是,数实融合的绿色低碳转型效应可能存在门槛性特征,但现有研究尚未揭示其关键阈值条件及作用规律。鉴于此,论文可能的边际贡献为:第一,首次将数实融合与资源型城市绿色低碳转型纳入同一分析框架内,揭示其之间的具体影响及内在机制,延伸环境治理理论维度;第二,创新耦合城市资源禀赋差异与内生特征双重属性,系统解析数实融合驱动资源型城市绿色低碳转型的多维异质效应;第三,系统揭示了数字经济政策供给水平在数实融合对资源型城市绿色低碳转型影响过程中的门槛效应。本文通过揭示数实融合与资源型城市绿色低碳转型的内在联系,旨在为推动经济社会全面绿色转型提供理论与实践支撑。

## 1 理论分析与研究假设

### 1.1 数实融合对资源型城市绿色低碳转型的直接影响

数字要素作为新兴生产要素,正引领实体经济在生产主体、对象、工具及方法等方面发生系统性重构。数实融合不仅能够通过数据要素嵌入与数字技术赋能双轮驱动,直接降低传统产业能耗排放,还能智能优化工艺流程与供应链决策,实现资源效率提升与环境成本削减双效协同,加速实现低碳化管理<sup>[11,28]</sup>。据此,提出假设1:数实融合能够驱动资源型城市绿色低碳转型。

### 1.2 数实融合对资源型城市绿色低碳转型的间接影响

绿色低碳转型发展作为中国经济高质量发展的核心战略支点,通过系统性破解高碳路径依赖,推动城市从“高碳锁定”向“低碳韧性”跃迁。数实融合凭借技术创新扩散、产业结构优化、治理模式重构和环境意识传播等特征,通过创新驱动效应提升技术创新水平,依托产业升级效应优化经济结构,结合政府环境规制效应完善治理体系,借助环境关注效应培育低碳理念,形成基于可持续发展理论的“技术-产业-制度-社会”四位一体逻辑分析框架。

从创新驱动效应来看,数字技术通过集成化技术创新为传统实体经济产业注入智能化工具和数字化平台,驱动绿色低碳转型<sup>[29]</sup>。具体而言,数字技术通过精准分析环境数据优化政策制定,数智化改造提升能效生产,智能平台整合污染排放数据促进跨区域协作,以上过程均会促进绿色技术创新水平的提升,进而降低二氧化碳排放<sup>[30]</sup>,成为绿色低碳转型的核心驱动。因此,数实融合驱动绿色技术创新,加速城市绿色低碳转型。据此,提出假设2:数实融合通过提高绿色技术创新水平驱动资源型城市绿色低碳转型。

从产业优化效应来看,数实融合以数据、算法和算力为核心要素,推动产业结构从传统要素规模依赖型向数字智能与技术知识密集型跃迁,通过技术增效和资源优化实现产业结构升级与碳减排<sup>[31]</sup>。同时,数实融合赋能传统产业增效,培育人工智能和工业互联网等新兴产业集群,促进产业结构升级。其“结构红利”通过产能优化与能效提升驱动城市绿色低碳转型<sup>[32]</sup>。据此,提出假设3:数实融合通过促进产业结构升级驱动资源型城市绿色低碳转型。

从环境规制效应来看,环境规制通过“规制压力-技术响应-结构跃迁”链式传导驱动绿色低碳转型,而数实融合以物联感知、数据解析与智能决策等技术重构监管架构<sup>[33]</sup>,实现全周期精准治理。进一步将其分为政府管理型环境规制和公众参与型环境规制二元框架。数实融合在政府管理型环境规制框架下,依托物联感知与边缘计算技术体系构建空地一体化监测网络,实现污染物动态追踪与监管效能提升,通过强化企业环保合规性驱动城市绿色低碳转型。数实融合在公众参与型环境规制框架下,依托数字平台构建环境信息传播网络,激发公众环境意识觉醒与参与动力,形成需求侧牵引效应,驱动企业绿色战略调整与政府低碳政策优化,加速城市绿色低碳转型进程。据此,提出假设4:数实融合通过提高环境规制强度(政府管理型环境规制和公众参与型环境规

制)驱动资源型城市绿色低碳转型。

### 1.3 政府干预的调节效应

在制度环境与政策供给框架下,政府干预对“数实融合-绿色低碳转型”传导影响呈现双重调节效应。正向调节效应表现为,政府构建跨域数字基建协同、绿色标准体系与激励约束政策<sup>[34]</sup>,破解高碳路径依赖,加速数字化转型与低碳范式跃迁,促进绿色低碳转型;若政策缺位则导致产能锁定与绿色创新挤出,诱发环境成本外部化。负向调节效应表现为,政

策租诱发数字产业非理性集聚,导致要素错配与结构性产能过剩<sup>[35]</sup>;GDP竞赛驱动下的规制竞次引发生态阈值突破与资源诅咒陷阱,阻碍城市绿色低碳转型;数字产业政策倾斜引致要素禀赋失衡,抑制产业协同韧性<sup>[36]</sup>,弱化城市绿色低碳转型动能。据此,提出假设5:数实融合对资源型城市绿色低碳转型的影响效应受到地方政府干预的调节影响。

基于以上假设,构建数实融合驱动资源型城市绿色低碳转型的理论框架,如图1所示。

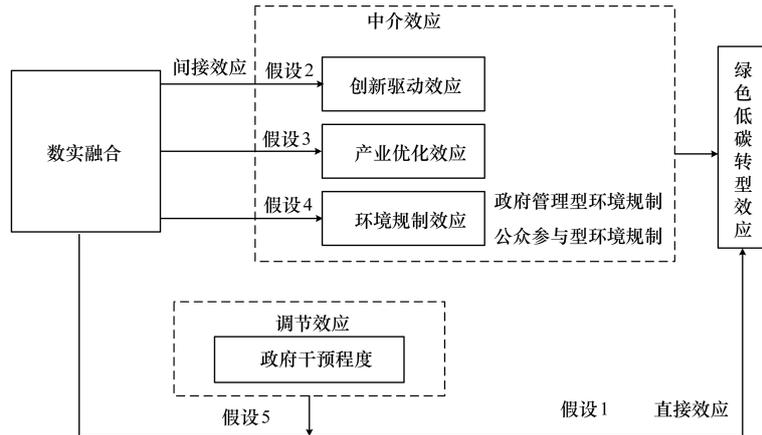


图1 理论框架

Fig. 1 Theoretical framework

## 2 材料与方法

### 2.1 模型构建

#### 2.1.1 基准回归

为检验数实融合对资源型城市绿色低碳转型的直接影响,构建考虑个体和时间双重固定效应模型,具体模型设定为:

$$Glet_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Drl_{it} + \alpha_2 Control_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中, $i$ 为城市, $t$ 为年份; $Glet_{it}$ 为被解释变量绿色低碳转型水平; $Drl_{it}$ 为解释变量数实融合水平; $Control_{it}$ 为一系列控制变量; $\alpha_0$ 为常数项, $\alpha_1$ 和 $\alpha_2$ 为待估计系数; $\mu_i$ 和 $\gamma_t$ 分别为个体和时间固定效应; $\varepsilon_{it}$ 为随机扰动项。

#### 2.1.2 机制检验

借鉴江艇<sup>[37]</sup>和段治等<sup>[38]</sup>的相关做法,验证数实融合对机制变量的影响,具体模型设定为:

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 Drl_{it} + \beta_2 Control_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中, $M_{it}$ 为机制变量,包括绿色技术创新水平(Tech)、产业结构高级化(Ris)、产业结构整体升级(Is1)、第三产业增加值(Is3)、第二产业增加值(Is2)、政府管理型环境规制(Ger)和公众参与型环境规制(Ceg), $\beta_1$ 和 $\beta_2$ 为待估计系数,其他变量同式(1)。

#### 2.1.3 调节效应检验

为探究政府干预程度(Gov)在数实融合驱动资源型城市绿色低碳转型过程中的影响,在式(1)的基

础上加入调节变量和调节变量与解释变量的交互项。具体模型设定为:

$$Glet_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Drl_{it} + \alpha_2 Gov_{it} + \alpha_3 Drl_{it} \times Gov_{it} + \alpha_4 Control_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中, $Gov_{it}$ 为政府干预程度,其他变量同式(1),重点关注交互项待估计系数 $\alpha_3$ 。

#### 2.1.4 门槛效应检验

若为单一门槛:

$$Glet_{it} = \chi_0 + \chi_1 Drl_{it} \cdot I(\text{Threshold}_{it} \leq \theta_1) + \chi_2 Drl_{it} \cdot I(\text{Threshold}_{it} > \theta_1) + \chi_3 Control_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

若为双重门槛:

$$Glet_{it} = \chi_0 + \chi_1 Drl_{it} \cdot I(\text{Threshold}_{it} \geq \theta_1) + \chi_2 Drl_{it} \cdot I(\theta_1 < \text{Threshold}_{it} < \theta_2) + \chi_3 Drl_{it} \cdot I(\text{Threshold}_{it} \geq \theta_2) + \chi_4 Control_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

式中, $I()$ 为示性函数; $\text{Threshold}_{it}$ 为门槛变量数字经济政策供给水平(Deps $_{it}$ ); $\theta_1$ 和 $\theta_2$ 为具体的门槛值; $\chi_1 \sim \chi_4$ 均为待估参数,其他变量与同式(1)。

## 2.2 变量选择与数据说明

### 2.2.1 被解释变量

绿色低碳转型水平(Glet)测度。依据党的二十大报告提出的“减污降碳扩绿增长,实现绿色低碳发展”战略部署,结合中共十四届三中全会确立的“协同推进降碳减污扩绿增长,加快经济社会发展全面

绿色转型”政策导向. 基于“减污、降碳、扩绿、增长”四维协同框架, 构建绿色低碳转型评价指标体系(表1), 采用熵值法测度各资源型城市绿色低碳转型水平.

表1 绿色低碳转型评价指标体系  
Table 1 Evaluation indicator system for green and low-carbon transition

一级指标	二级指标	变量选取	指标属性
绿色低碳转型水平	减污	工业二氧化硫排放量/万 t	负
		工业烟粉尘排放量/万 t	负
		工业废水排放量/万 t	负
	降碳	二氧化碳排放量/万 t	负
		公园绿地面积/hm <sup>2</sup>	正
	扩绿	建成区绿化覆盖率/%	正
		增长	人均地区生产总值/万元

### 2.2.2 解释变量

数实融合水平(Drl)测度. 借鉴史丹等<sup>[39]</sup>的相关研究, 使用修正后的耦合协调度模型系统测度数实融合水平. 首先分别对数字经济和实体经济水平进行测度. 数字经济水平的测度, 综合互联网发展与数字金融普惠两个维度构建指标体系<sup>[40]</sup>. 其中, 互联网发展水平借鉴黄群慧等<sup>[41]</sup>的方法, 采用互联网普及率(百户中互联网宽带接入用户数)、相关从业人员情况(计算机服务和软件业从业人员占城镇单位从业人员比例)、相关产出情况(人均电信业务总量)和移动电话普及率(百人中移动电话用户数)这4个方面的指标. 数字金融普惠水平采用由北京大学数字普惠金融研究中心与蚂蚁金服联合编制的中国数字普惠金融指数. 在此基础上, 采用熵值法得到数字经济水平. 实体经济水平的测度, 根据黄群慧<sup>[42]</sup>对实体经济内涵的界定, 以农业、建筑业、制造业和除制造业以外的其他工业增加值之和衡量. 其次使用修正后的耦合协调度模型测度数实融合水平. 耦合度模型为:

$$C_{it} = \frac{2 \times \sqrt{\text{Dig}_{it} \times \text{Real}_{it}}}{(\text{Dig}_{it} + \text{Real}_{it})} \quad (6)$$

式中,  $C_{it}$  为城市  $i$  第  $t$  年的数实融合水平,  $\text{Dig}_{it}$  和  $\text{Real}_{it}$  分别为城市  $i$  第  $t$  年数字经济和实体经济水平. 为避免出现数字经济和实体经济水平较低, 但数实融合水平较高的情况, 将式(6)修正为:

$$\begin{aligned} \text{Drl}_{it} &= \sqrt{C_{it} \times T_{it}} \\ T_{it} &= \alpha \text{Dig}_{it} + \beta \text{Real}_{it} \end{aligned} \quad (7)$$

式中,  $\text{Drl}_{it}$  为修正后的城市数实融合水平,  $\alpha$  和  $\beta$  为数字经济和实体经济的权重, 分别设为 0.5.

### 2.2.3 机制变量与调节变量

基于前述理论分析, 选取绿色技术创新水平

(Tech)、产业结构高级化(Ris)、产业结构整体升级(Is1)、第三产业增加值(Is<sub>3</sub>)、第二产业增加值(Is<sub>2</sub>)、政府管理型环境规制(Ger)和公众参与型环境规制(Ceg)作为机制变量. 其中, 绿色技术创新水平采用当年绿色专利授权数的对数值衡量; 产业结构高级化采用三产与二产增加值之比衡量; 产业结构整体升级采用层次系数法(产业结构整体升级=第一产值占比×1+第二产值占比×2+第三产值占比×3); 政府管理型环境规制借鉴张建鹏等<sup>[43]</sup>的做法, 采用地级市政府工作报告中与环境规制相关的环境保护、环保、污染等 15 个关键词词频数与第二产值比例交乘的对数值衡量; 公众参与型环境规制参考吴力波等<sup>[44]</sup>的做法, 采用百度环境污染搜索指数的对数值衡量. 调节变量政府干预程度采用政府财政支出占地区生产总值的比例衡量.

### 2.2.4 控制变量

考察数实融合驱动资源型城市绿色低碳转型的关系需进一步纳入相关控制变量, 包括人口密度(Pop)采用地区年末人口总数与地区面积的比值衡量; 金融发展水平(Fin)采用各城市贷款余额与存款余额比值衡量; 人力资本水平(Hum)采用每万人普通高等在校大学生人数的对数衡量; 对外开放水平(Open)以城市进出口总额占地区生产总值的比例衡量; 科学技术支出水平(Ster)以政府科学技术支出占财政一般预算支出的比例衡量; 城镇化率(Ur)以城镇常住人口占常住总人口的比例衡量.

### 2.3 数据来源

根据《全国资源型城市可持续发展规划》中指定的 126 个地级行政单位, 基于数据可得性原则确定有效研究样本为 109 个资源型城市(排除 17 个数据不全样本). 本研究数据主要来源于 2012~2023 年《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国环境统计年鉴》以及 109 个资源型城市相应年份的统计年鉴与公报. 个别缺失数据采用插值法进行补充. 各变量的描述性统计见表 2.

## 3 结果与讨论

### 3.1 数实融合对资源型城市绿色低碳转型的影响分析

#### 3.1.1 基准回归

表 3 为数实融合对资源型城市绿色低碳转型影响的基准回归结果, 列(1)和列(2)分别为仅控制城市和年份固定效应以及在此基础上纳入控制变量后的结果. 结果表明, 无论是否纳入控制变量, 数实融合系数均在 1% 水平上显著为正, 说明数实融合有效驱动资源型城市绿色低碳转型. 假设 1 得到验证.

表2 描述性统计

Table2 Descriptive statistics

变量类别	变量符号	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	Glet	1 308	0.086	0.056	0.008	0.495
解释变量	Drl	1 308	0.261	0.071	0.099	0.478
机制变量	Tech	1 308	3.990	1.320	0.000	7.659
	Ris	1 308	0.981	0.490	0.175	3.758
	Isl	1 308	2.271	0.119	1.831	2.711
	Is <sub>3</sub>	1 308	6.147	0.790	4.109	9.134
	Is <sub>2</sub>	1 308	6.275	0.870	3.902	9.327
	Ceg	1 308	2.332	0.748	0.000	4.196
调节变量	Ger	1 308	7.531	0.588	0.000	8.916
	Gov	1 308	0.075	0.024	0.026	0.188
	Open	1 308	0.076	0.096	0.000	0.815
控制变量	Hum	1 308	4.432	0.830	0.526	6.660
	Ster	1 308	0.012	0.012	0.001	0.207
	Ur	1 308	0.545	0.139	0.182	1.077
	Pop	1 308	0.322	0.254	0.009	1.039
	Fin	1 308	0.666	0.258	0.204	5.613
门槛变量	Dige	1 308	2.364	0.872	0.000	4.394

表3 基准回归结果<sup>1)</sup>

Table3 Benchmark regression results

变量	Glet	
	(1)	(2)
Drl	0.237***(0.055)	0.231***(0.055)
Open		-0.007(0.021)
Hum		0.003(0.003)
Ster		0.046(0.053)
Ur		0.015(0.020)
Pop		-0.000(0.000)
Fin		-0.001(0.005)
_cons	0.024*(0.014)	0.025(0.033)
N	1 308	1 308
R <sup>2</sup>	0.878	0.879
City_FE	YES	YES
Year_FE	YES	YES

1)\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%水平上显著,括号内为聚类到城市-年份层面的稳健标准误,YES表示模型控制了城市和时间固定效应,下同

### 3.1.2 内生性处理

表4为内生性检验结果。一是,借鉴黄先海等<sup>[21]</sup>和赵涛等<sup>[45]</sup>的思路,采用1984年每万人固定电话数量与同年同省其它城市数实融合均值构建交互项作为工具变量(IV<sub>1</sub>)。一方面,早期互联网发展依托固定电话基础设施,通过数字经济载体效应显著正向关联数字经济发展水平,而与绿色低碳转型无直接因果链。采用同年同省其他城市数实融合均值构建省级层面工具变量,既缓解省份固定效应干扰,又保留城市异质性特征。因此,该工具变量能够满足相关性和排他性要求。二是,基于Lewbel<sup>[46]</sup>提出的内部工具变量构建方法,采用地级市数实融合水平与省级

层面数实融合水平均值差额的三次方作为工具变量(IV<sub>2</sub>)。根据表4中结果,列(1)和列(3)汇报了工具变量法(2SLS)的第一阶段估计结果,可以发现IV<sub>1</sub>和IV<sub>2</sub>的系数均显著为正,说明工具变量选取满足相关性假设。列(2)和列(4)汇报了第二阶段估计结果,能够发现数实融合系数均显著为正。说明在采用2SLS控制潜在内生性偏误后,基准回归结果仍成立。此外,工具变量有效性检验结果显示Kleibergen-Paap rk LM统计量均在1%显著性水平上拒绝不可识别原假设,Kleibergen-Paap rk Wald F统计量也均大于10%水平上的偏误临界值,说明工具变量的选择通过相关性与弱工具变量检验。

### 3.1.3 稳健性检验

表5为稳健性检验结果。采用以下4种方式进行稳健性检验:第一,缩尾处理。对核心变量进行1%缩尾处理,以控制异常值对回归结果的潜在干扰,结果见表5中列(1);第二,替换被解释变量。将被解释变量替换为碳排放强度,重新回归,结果见表5中列(2);第三,进一步控制省份-年份交互项固定效应,结果见表5中列(3);第四,调整样本期。数字技术在我国普及是在2015年之后,将研究样本期调整为2015~2022年并重新回归,结果见表5中列(4)。结果表明,无论采用何种方式进行稳健性检验,数实融合系数均在1%水平上显著为正,验证基准回归结果的稳健性。

### 3.2 影响机制检验

表6为影响机制检验结果。其中,列(1)为创新驱动效应结果。结果显示,数实融合系数在1%水平上显著为正,即数实融合显著提升资源型城市绿色技术创新水平。表明数实融合通过数字技术与传统技术体系协同创新催生集成化技术集群,典型表现为CCUS碳捕集与智能生产设备构成的绿色技术集群。此类技术革新提升生产能效与能源利用率,同时为精准环境治理提供技术支撑,驱动资源型城市绿色低碳转型。因此,假设2得到验证。列(2)~(5)为产业优化效应结果。结果显示,数实融合显著促进第三和第二产业增加值,且对第二产业增加值的促进作用大于第三产业。但数实融合显著抑制资源型城市产业结构高级化,对产业结构整体升级的影响并不显著。其可能的原因是,资源型城市长期依赖自然资源开发形成“资源诅咒”,产业结构固化于初级加工环节。一是,数字技术渗透可能引发“低端数字化锁定”,传统产业过度依赖数字技术改造低端生产环节,虽获短期效率提升,却因路径依赖抑制向技术密集型产业跃迁的根本性创新动力;二是,数实融合催生要素配置的“虚拟化极化”导致金融资本过度配置于高周转数字平台,挤压实体产业投入并阻滞重资

表 4 内生性检验<sup>1)</sup>  
Table 4 Endogenous test

变量	Drl(1) (1)	Glet(2) (2)	Drl(1) (3)	Glet(2) (4)
Drl		0.289*(0.162)		0.327**(0.079)
IV_1	0.222*** (0.048)			
IV_2			0.005*** (0.000)	
Control	YES	YES	YES	YES
Kleibergen-Paap rk LM 统计量		15.511[0.000]		55.630[0.000]
Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量		22.360[16.38]		147.834[16.38]
N	924	924	1308	1308
City_FE	YES	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES	YES

1) Kleibergen-Paap rk LM 统计量用以检验工具变量是否为识别不足, [ ] 内为该统计量的 P 值; Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量用以检验工具变量是否为弱识别, | | 内为 Stock-Yogo 检验在 10% 水平上的临界值

表 5 稳健性检验  
Table 5 Robustness test

变量	缩尾处理 (1)	替换被解释变量 (2)	控制省份-年份交互项固定效应 (3)	调整样本期 (4)
Drl	0.231*** (0.054)	-13.035*** (1.719)	0.176*** (0.039)	0.124*** (0.033)
_cons	0.025 (0.032)	4.395*** (1.105)	-0.017 (0.020)	0.024 (0.029)
Control	YES	YES	YES	YES
N	1 308	1 308	1 308	872
R <sup>2</sup>	0.878	0.943	0.904	0.951
City_FE	YES	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES	YES

产制造业智能化升级;三是,区域数字鸿沟与制度代际适配滞后形成系统性约束,资源型城市数字基建薄弱未能构建适应数字技术迭代的创新生态,致使数字化转型停留工具化应用层面.为此,数实融合非但未能驱动产业结构高级化,反而通过强化传统产业路径依赖、扭曲要素配置结构和放大区域制度落差,异化为阻滞资源型城市产业优化的结构性矛盾.因此,假设 3 未得到有效验证.列(6)和列(7)为环境

规制效应结果.结果显示,数实融合均显著促进政府管理型环境规制和公众参与型环境规制.表明数实融合通过促进政府管理型环境规制,形成“智能监管-减排自律-生态优化”的良性循环,为资源型城市绿色低碳转型提供有力支撑.同时,数实融合通过促进公众参与型环境规制,形成“认知提升-需求升级-行为响应”的传导链条系统性加速资源型城市低碳转型进程.因此,假设 4 得到验证.

表 6 机制检验  
Table 6 Mechanism test

变量	创新驱动效应		产业优化效应			环境规制效应	
	Tech(1)	Ris(2)	Isl(3)	Is <sub>3</sub> (4)	Is <sub>2</sub> (5)	Ger(6)	Ceg(7)
Drl	3.949*** (0.936)	-3.329*** (0.887)	-0.166 (0.124)	4.912*** (0.575)	8.004*** (0.770)	1.702* (0.917)	2.471*** (0.882)
_cons	2.043*** (0.450)	1.672*** (0.253)	2.255*** (0.060)	4.679*** (0.271)	4.077*** (0.265)	6.978*** (0.388)	0.580 (0.357)
Control	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
N	1 308	1 308	1 308	1 308	1 308	1 308	1 308
R <sup>2</sup>	0.930	0.815	0.878	0.955	0.948	0.463	0.861
city_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
year_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES

### 3.3 政府干预的调节效应检验

表 7 为政府干预调节效应的检验结果.结果显示,数实融合与政府干预程度的交互项均显著为负,表明地方政府干预在数实融合驱动资源型城市绿色低碳转型过程中呈现显著负向调节效应,随着政府

干预强度提升,数实融合的绿色低碳转型效能将会衰减.可能的原因是,尽管数字产业规模扩张与创新要素加速集聚,但受制于制度性后发劣势与创新生态位锁定,叠加 GDP 锦标赛压力下地方政府的非对称干预行为,一方面形成“逐底竞争”,另一方面因数

字产业政策要素错配引致结构性失衡,对传统产业形成挤出效应.这印证了周兵等<sup>[47]</sup>指出的单一政策难以破解“经济-环境”悖论的理论困境,亟需构建适配区域发展阶段的多维政策协同体系,以最优政策组合激活资源型城市绿色低碳转型的系统动能.因此,假设5得到验证.

表7 调节效应检验  
Table7 Moderating effect test

变量	Glet	
	(1)	(2)
Drl	0.268*** (0.069)	0.263*** (0.067)
Gov	0.083* (0.046)	0.077* (0.046)
Drl×Gov	-0.531*** (0.181)	-0.504*** (0.176)
_cons	0.026(0.020)	0.037(0.032)
Control	NO	YES
N	1 308	1 308
R <sup>2</sup>	0.879	0.880
city_FE	YES	YES
year_FE	YES	YES

## 4 拓展性分析

### 4.1 异质性分析

表8为异质性检验结果.其中,列(1)~(4)为不同类型资源城市下数实融合驱动资源型城市绿色低碳转型的回归结果.能够发现,再生型资源城市数实融合系数最高,表明此类城市能够有效改善传统资源依赖和落后产能问题,绿色低碳转型显著;成长型和成熟型资源城市数实融合系数虽显著为正,但低于再生型资源城市,表明此类城市反映其虽具备数字化基础,仍受制于资源依赖陷阱和高碳锁定效应,削弱甚至抵消了转型成效<sup>[48,49]</sup>;值得注意的是,衰退型资源城市的数实融合系数方向为正,但并不显著,反映了此类城市凸显资源枯竭与要素投入不足的双重约束,亟需突破传统路径依赖以激活数实融合的转型动能.

列(5)和列(6)为不同经济发展水平下数实融合驱动资源型城市绿色低碳转型的回归结果.研究发现,低经济发展水平地区数实融合的绿色转型效应

更为显著,可能的原因是,高耗能产业基数效应带来的边际减排红利.同时,环境承载力阈值倒逼形成的数字化监管全覆盖机制.从而数实融合在欠发达地区展现出更突出的绿色低碳转型效应.

列(7)和列(8)为不同数字技术创新水平下数实融合驱动资源型城市绿色低碳转型的回归结果.研究发现,高数字技术创新水平地区数实融合的绿色转型效应更为显著.说明数实融合的实质在于数字技术对实体经济的要素投入和生产经济模式进行重组更新,数字技术创新水平越高,数实融合的绿色低碳转型效应越强.

### 4.2 门槛效应检验

表9和表10为门槛效应检验结果.结果验证了数字经济政策供给水平的双门槛特征,当数字经济政策供给水平(Deps1)跨越第一门槛(Deps1>1.609)后,数实融合的边际效应提升63%;超过第二门槛(Deps1>2.197)后,累计增幅达117%,呈“阶梯式倍增”规律.揭示了政策供给通过制度创新打通数字技术扩散通道,在低阶区(Deps1<1.609)主要破除传统产业数字化转型的体制障碍,高阶区(Deps1>2.197)则驱动数字孪生等技术与实体经济生产系统深度耦合,实现资源型城市绿色低碳跃迁.

## 5 建议

(1)为数实融合创造有利条件,推动数实融合在绿色低碳转型中的驱动效应.政策层面完善产业引导与数据共享机制,破除行业壁垒;市场层面推进“5G+工业互联网”协同布局,打造全链条数字化管理平台;技术层面重点突破人工智能能效优化、区块链追溯及物联网智慧调度等关键技术,形成标准化解决方案,系统释放数实融合的绿色转型动能.

(2)依托数实融合推动创新驱动效应、产业优化效应和环境规制效应,促进资源型城市绿色转型.技术层面集中突破“卡脖子”难题,强化基础研发与人才引进,夯实低碳技术支撑;产业层面以智能装备规模化应用破解“路径锁定”,优化金融配置机制构建

表8 异质性分析

Table8 Heterogeneity analysis

变量	资源禀赋				经济发展水平		数字技术创新水平	
	成长型(1)	成熟型(2)	衰退型(3)	再生型(4)	高水平(5)	低水平(6)	高水平(7)	低水平(8)
Drl	0.268** (0.095)	0.203*** (0.075)	0.043(0.080)	0.461** (0.168)	0.127* (0.072)	0.296*** (0.091)	0.242** (0.092)	0.142** (0.066)
_cons	0.026(0.087)	-0.011(0.043)	0.079(0.049)	-0.141(0.112)	0.084(0.051)	-0.012(0.040)	0.018(0.042)	-0.000(0.052)
Control	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
N	168	696	276	168	657	651	655	653
R <sup>2</sup>	0.962	0.741	0.900	0.960	0.955	0.797	0.951	0.797
City_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year_FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES

表9 门槛效应检验  
Table9 Threshold effect test

阈值变量	阈值	F值	P值	10% 临界值	5% 临界值	1% 临界值
Deps1	单重门槛	135.02***	0.000	43.051	49.094	62.056
	双重门槛	18.57*	0.064	17.040	19.161	26.486
	三重门槛	11.79	0.876	35.432	40.369	52.262

表10 门槛估计和置信区间  
Table10 Threshold estimates and confidence intervals

阈值变量	阈值
Deps1<1.609	0.062*** (0.017)
1.609<Deps1<2.197	0.101*** (0.018)
Deps1>2.197	0.135*** (0.018)
_cons	0.100*** (0.018)
N	1 308
Control	YES
City_FE	YES
Year_FE	YES

创新生态,形成数字赋能产业低碳化与实体反哺数字创新的双向驱动;制度层面创新环境规制,建立数字化的环境资产交易体系,推动政府向“规则设计者”转型,构建“标准引领-市场配置-技术攻坚”的协同治理模式,实现有效市场与有为政府的动态平衡。

(3)依据城市资源禀赋、经济水平及技术层级的梯度特征制定差异化策略。成熟型资源城市重点构建数字创新生态以推动高端制造与低碳产业协同;成长型和成熟型资源城市强化数字基建深化数实融合;衰退型资源城市通过政策支持完善数实融合体系;低经济水平城市需防范“低碳数字化锁定”并推进全产业绿色智能化;低技术水平城市则应加速数字要素集聚,构建数字化驱动的低碳发展新范式。

(4)提升数字经济政策供给水平,着力推动资源型城市绿色低碳转型。提升数字经济政策供给水平是数实融合驱动绿色低碳转型的关键制度保障。通过设立数字化转型专项基金和实施绿色技术税收抵免等政策工具组合,精准激励资源型城市数字化改造,以制度创新放大数实融合的绿色低碳协同效应。

## 6 结论

(1)整体来看,数实融合显著驱动了资源型城市绿色低碳转型。从具体机制路径来看,数实融合有助于提升绿色技术创新水平、政府管理型和公众参与型环境规制,从而产生资源型城市绿色低碳转型驱动效应。但未能通过产业优化来驱动资源型城市绿色低碳转型。

(2)数实融合在再生型、成长型和成熟型资源城市层面显著驱动绿色低碳转型,但在衰退型资源城

市层面并未表现出显著影响;在低经济发展水平和高数字技术创新水平层面,数实融合所产生的绿色低碳转型效应更为显著。

(3)地方政府干预显著削弱数实融合对资源型城市绿色低碳转型的驱动效应。政府干预强度越大,数实融合的绿色低碳转型效能越弱。

(4)数实融合的绿色低碳转型效应大小会受到数字经济政策供给水平的影响。数字经济政策供给水平越高,数实融合的绿色低碳转型效应越强。

## 参考文献:

- [1] 李康,苏乃芳,李宏瑾.绿色低碳转型:政策路径、影响机制和趋势分析[J].金融评论,2024,16(5):13-34.  
Li K, Su N F, Li H J. Green low-carbon transition: policy pathways, impact mechanisms, and trend analysis[J]. Chinese Review of Financial Studies, 2024, 16(5): 13-34.
- [2] 刘纯彬,张晨.资源型城市绿色转型内涵的理论探讨[J].中国人口·资源与环境,2009,19(5):6-10.  
Liu C B, Zhang C. Theoretical discussion on the connotation of green transformation of resource-based cities[J]. China Population, Resources and Environment, 2009, 19(5): 6-10.
- [3] 熊志建,赵红,刘秀丽.我国资源型城市转型研究与思考——以山西省大同市为例[J].中国科学院院刊,2024,39(12):2120-2130.  
Xiong Z J, Zhao H, Liu X L. Research and reflection on transformation of resource-based cities in China—a case study of Datong City, Shanxi Province[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(12): 2120-2130.
- [4] 任嘉敏,郭付友,赵宏波,等.黄河流域资源型城市工业绿色转型绩效评价及时空异质性特征[J].中国人口·资源与环境,2023,33(6):151-160.  
Ren J M, Guo F Y, Zhao H B, et al. Performance evaluation and spatio-temporal heterogeneity characteristics of industrial green transformation of resource-based cities in the Yellow River Basin[J]. China Population, Resources and Environment, 2023, 33(6): 151-160.
- [5] 阎晓,涂建军.黄河流域资源型城市生态效率时空演变及驱动因素[J].自然资源学报,2021,36(1):223-239.  
Yan X, Tu J J. The spatio-temporal evolution and driving factors of eco-efficiency of resource-based cities in the Yellow River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(1): 223-239.
- [6] 张泽楚,李巍.数字经济对黄河流域资源型城市绿色效率的驱动作用[J].资源科学,2024,46(3):475-487.  
Zhang Z C, Li W. Driving effects of digital economy on green efficiency of resource-based cities in the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2024, 46(3): 475-487.
- [7] 张丽峰.煤炭资源型城市碳排放效率测度、时空特征与区域异质性研究[J].干旱区资源与环境,2025,39(4):33-44.  
Zhang L F. Measurement, spatiotemporal characteristics, and regional heterogeneity of carbon emission efficiency in China's coal resource-based cities[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2025, 39(4): 33-44.
- [8] 邓世成,吴玉鸣.低碳城市试点政策对中国资源型城市绿色转型发展的影响[J].中国人口·资源与环境,2024,34(6):65-79.  
Deng S C, Wu Y M. Impact of low-carbon city pilot policy on the green transformation and development of China's resource-based cities[J]. China Population, Resources and Environment, 2024, 34(6): 65-79.
- [9] 骆行,刘子俊,田云.数字经济对资源型城市低碳转型的影响及作用路径[J].中国人口·资源与环境,2024,34(6):56-64.  
Luo H, Liu Z J, Tian Y. Digital economy and low-carbon transformation of resource-based cities: mechanisms and empirical evidence[J]. China Population, Resources and Environment, 2024, 34(6): 56-64.
- [10] 叶阿忠,朱灵群,李田田,等.环境规制对资源型城市转型非线性影响[J].技术经济,2024,43(5):70-81.  
Ye A Z, Zhu L Q, Li T T, et al. Nonlinear effects of environmental regulation on the transformation of resource-based cities[J]. Journal of Technology Economics, 2024, 43(5): 70-81.
- [11] 丁述磊,刘翠花,李建奇.数实融合的理论机制、模式选择与推进方略[J].改革,2024,(1):51-68.  
Ding S L, Liu C H, Li J Q. Theoretical mechanism, mode selection and

- promotion strategies of digital-real integration[J]. *Reform*, 2024, (1): 51-68.
- [12] 朱峻质. 数实深度融合逻辑与路径研究述评[J]. *现代经济探讨*, 2025, (3): 102-110.
- Zhu J Z. A review of the research on the logic and path of deep fusion of data and reality[J]. *Modern Economic Research*, 2025, (3): 102-110.
- [13] 朱瑞博. 数字经济和实体经济深度融合的核心要义、制度障碍与体制机制创新[J]. *上海经济研究*, 2025, (1): 5-18.
- Zhu R B. The essence, institutional barriers, and institutional and mechanism innovations of deep integration between digital economy and real economy[J]. *Shanghai Journal of Economics*, 2025, (1): 5-18.
- [14] 胡日东, 张涛. 中国省域数字经济与实体经济深度融合——动态演进趋势与障碍因子识别[J]. *吉林大学社会科学学报*, 2024, 64(4): 172-188.
- Hu R D, Zhang T. Deep integration of digital economy and real economy in China's provinces: dynamic evolution trend and obstacle factor identification [J]. *Jilin University Journal Social Sciences Edition*, 2024, 64(4): 172-188.
- [15] 曹增栋, 岳中刚. 数字经济与实体经济融合对碳排放强度的影响: 理论模型与经验证据[J]. *经济问题探索*, 2024, (12): 1-16.
- Cao Z D, Yue Z G. The impact of the integration of the digital economy and real economy on carbon emission intensity: theoretical models and empirical evidence[J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2024, (12): 1-16.
- [16] 徐亚平, 史依铭. 数字经济与实体经济融合赋能“专精特新”企业高质量发展[J]. *经济体制改革*, 2024, (4): 14-22.
- Xu Y P, Shi Y M. The integration of the digital economy and the real economy empowers the high-quality development of the specialized, refined, differential and innovative enterprises [J]. *Reform of Economic System*, 2024, (4): 14-22.
- [17] Xu G T, Lu T J, Liu Y M. Symmetric reciprocal symbiosis mode of China's digital economy and real economy based on the logistic model[J]. *Symmetry*, 2021, 13(7), doi: 10.3390/sym13071136.
- [18] 张虎, 韩爱华. 制造业与生产性服务业耦合能否促进空间协调——基于285个城市数据的检验[J]. *统计研究*, 2019, 36(1): 39-50.
- Zhang H, Han A H. Can the coupling between manufacturing and productive services enhance spatial coordination——a test based on data from 285 cities in China[J]. *Statistical Research*, 2019, 36(1): 39-50.
- [19] 刘慧, 王日影. “数实融合”驱动实体经济创新发展: 分析框架与推进策略[J]. *经济纵横*, 2023, (5): 59-67.
- Liu H, Wang Y Y. “Integration of data and real” drives innovation and development of real economy: analysis framework and promotion strategy [J]. *Economic Review Journal*, 2023, (5): 59-67.
- [20] 刘阳, 修长百. 数实融合对产业结构转型升级的研究[J]. *科学管理研究*, 2022, 40(3): 123-129.
- Liu Y, Xiu C B. The research on digital-real integration of digital technology and real economy to industrial structure transformation and upgrading [J]. *Scientific Management Research*, 2022, 40(3): 123-129.
- [21] 黄先海, 高亚兴. 数实产业技术融合与企业全要素生产率——基于中国企业专利信息的研究[J]. *中国工业经济*, 2023, (11): 118-136.
- Huang X H, Gao Y X. Technology convergence of digital and real economy industries and enterprise total factor productivity: research based on Chinese enterprise patent information [J]. *China Industrial Economics*, 2023, (11): 118-136.
- [22] 夏杰长, 李鑫淇. 数实融合驱动经济高质量发展: 驱动机制与优化路径[J]. *探索与争鸣*, 2024, (9): 102-114.
- Xia J C, Li L H. Integration of digital and real economies driving high-quality economic development: driving mechanisms and optimization paths [J]. *Exploration and Free Views*, 2024, (9): 102-114.
- [23] 徐妍, 毕梦潇, 柴映. 数实融合提升关键技术领域企业创新效率的研究——基于中国A股上市公司的数据检验[J/OL]. *科研管理*, 1-18. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1567.G3.20241226.1147.002.html>, 2025-03-16.
- Xu Y, Bi M X, Chai Y. Research on enhancing innovation efficiency in key technology sectors through digital-physical integration: an examination based on data from Chinese A-share listed companies [J/OL]. *Science Research Management*, 1-18. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1567.G3.20241226.1147.002.html>, 2025-03-16.
- [24] 赵佳丽, 张晓雅, 常非凡. 数实融合驱动城市韧性提升的机制与效应研究[J]. *宏观经济研究*, 2024, (11): 18-37, 79.
- Zhao J L, Zhang X Y, Chang F F. A study on the mechanism and effect of urban resilience enhancement driven by digital-real integration [J]. *Macroeconomics*, 2024, (11): 18-37, 79.
- [25] 曹增栋, 岳中刚. 数实融合与企业绿色化转型[J]. *商业研究*, 2024, (6): 20-29.
- Cao Z D, Yue Z G. The integration of digital and real economy and enterprise green transformation[J]. *Commercial Research*, 2024, (6): 20-29.
- [26] 崔琳昊, 冯烽. 数实融合与城市绿色发展: 影响与机制[J]. *上海财经大学学报*, 2024, 26(4): 49-63.
- Cui L H, Feng F. Digital-real economy integration and urban green development: impact and mechanism [J]. *Journal of Shanghai University of Finance and Economics*, 2024, 26(4): 49-63.
- [27] 张平淡, 郝时雨, 林琳. 数实融合对碳排放的影响及作用机制研究[J]. *求是学刊*, 2025, 52(1): 88-99.
- Zhang P D, Hao S Y, Lin L. Carbon emission effect of integration of the digital and real economies[J]. *Seeking Truth*, 2025, 52(1): 88-99.
- [28] 沈洁, 杨飞洋, 张可云. 数实融合对中国企业碳排放的影响及其机制——基于网络协同效应视角[J]. *资源科学*, 2025, 47(9): 2047-2061.
- Shen J, Yang F Y, Zhang K Y. Impact of integration of digital economy and real economy on corporate carbon emissions in China and mechanisms: A perspective of network synergy effect [J]. *Resources Science*, 2025, 47(9): 2047-2061.
- [29] 吕康银, 梁孝成, 唐志东. 数字技术创新赋能中国式现代化[J]. *上海经济研究*, 2025, (2): 5-16.
- Lv K Y, Liang X C, Tang Z D. Digital technology innovation enables Chinese modernization[J]. *Shanghai Journal of Economics*, 2025, (2): 5-16.
- [30] Huang J B, Liu Q, Cai X C, et al. The effect of technological factors on China's carbon intensity: new evidence from a panel threshold model [J]. *Energy Policy*, 2018, 115: 32-42.
- [31] 余群芝, 吴柳. 数字经济发展的碳减排效应[J]. *经济经纬*, 2022, 39(5): 14-24.
- She Q Z, Wu L. The carbon emission reduction effect of digital economy development[J]. *Economic Survey*, 2022, 39(5): 14-24.
- [32] Chang H, Ding Q Y, Zhao W Z, et al. The digital economy, industrial structure upgrading, and carbon emission intensity——empirical evidence from China's provinces[J]. *Energy Strategy Reviews*, 2023, 50, doi: 10.1016/j.esr.2023.101218.
- [33] 王岭. 数字经济时代中国政府监管转型研究[J]. *管理世界*, 2024, 40(3): 110-126, 204.
- Wang L. Research on the transformation of Chinese government regulation in the era of the digital economy [J]. *Journal of Management World*, 2024, 40(3): 110-126, 204.
- [34] 王星月, 汪涛, 冯巧根. 企业绿色转型的非正式制度动因研究——来自高管地缘关系视角的证据[J]. *经济经纬*, 2025, 42(1): 80-92.
- Wang X Y, Wang T, Feng Q G. Study on the informal institutional drivers of corporate green transformation: evidence from the perspective of executives' geographic ties[J]. *Economic Survey*, 2025, 42(1): 80-92.
- [35] 王海, 郭冠宇, 尹俊雅. 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*, 2025, 42(1): 93-115.
- Wang H, Guo G Y, Yin J Y. Moving toward green in transformation: industrial structure adjustment and green innovation [J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2025, 42(1): 93-115.
- [36] 王瑶, 张生玲. 环境分权视角下“环保垂改”政策对城市经济绿色转型的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2024, 34(8): 47-58.
- Wang Y, Zhang S L. Impact of the ‘environmental protection vertical reform’ policy on urban economic green transition from the perspective of environmental decentralization [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2024, 34(8): 47-58.
- [37] 江艇. 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*, 2022, (5): 100-120.
- Jiang T. Mediating effects and moderating effects in causal inference [J]. *China Industrial Economics*, 2022, (5): 100-120.
- [38] 段冶, 钟娟娟, 孙才志. 数字经济对沿海地区能源碳排放影响与作用机制[J]. *环境科学*, 2025, 47(9): 5454-5464.
- Duan Y, Zhong J J, Sun C Z. Impact and mechanism of the digital economy on energy carbon emission in coastal areas[J]. *Environmental Science*, 2025, 47(9): 5454-5464.
- [39] 史丹, 孙光林. 数字经济和实体经济融合对绿色创新的影响[J]. *改革*, 2023, (2): 1-13.
- Shi D, Sun G L. The influence of the integration of digital economy and real economy on green innovation [J]. *Reform*, 2023, (2): 1-13.
- [40] 刘军, 杨渊懿, 张三峰. 中国数字经济测度与驱动因素研究[J]. *上海经济研究*, 2020, (6): 81-96.
- Liu J, Yang Y J, Zhang S F. Research on the measurement and driving factors of China's digital economy [J]. *Shanghai Journal of Economics*, 2020, (6): 81-96.

- [41] 黄群慧, 余泳泽, 张松林. 互联网发展与制造业生产率提升: 内在机制与中国经验[J]. 中国工业经济, 2019, (8): 5-23.  
Huang Q H, Yu Y Z, Zhang S L. Internet development and productivity growth in manufacturing industry: internal mechanism and China experiences [J]. *China Industrial Economics*, 2019, (8): 5-23.
- [42] 黄群慧. 论新时期中国实体经济的发展[J]. 中国工业经济, 2017, (9): 5-24.  
Huang Q H. On the development of China's real economy at the new stage [J]. *China Industrial Economics*, 2017, (9): 5-24.
- [43] 张建鹏, 陈诗一. 金融发展、环境规制与经济绿色转型[J]. 财经研究, 2021, 47(11): 78-93.  
Zhang J P, Chen S Y. Financial development, environmental regulations and green economic transition [J]. *Journal of Finance and Economics*, 2021, 47 (11): 78-93.
- [44] 吴力波, 杨眉敏, 孙可智. 公众环境关注度对企业和政府环境治理的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(2): 1-14.  
Wu L B, Yang M M, Sun K G. Impact of public environmental attention on environmental governance of enterprises and local governments [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(2): 1-14.
- [45] 赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10): 65-75.  
Zhao T, Zhang Z, Liang S K. Digital economy, entrepreneurship, and high-quality economic development: empirical evidence from urban China [J]. *Journal of Management World*, 2020, 36(10): 65-75.
- [46] Lewbel A. Constructing instruments for regressions with measurement error when no additional data are available, with an application to patents and R&D [J]. *Econometrica*, 1997, 65(5): 1201-1213.
- [47] 周兵, 刘婷婷. 区域环境治理压力、经济发展水平与碳中和绩效[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(8): 100-118.  
Zhou B, Liu T T. Regional environmental governance pressure, economic development level and carbon neutral performance [J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2022, 39(8): 100-118.
- [48] 张思思, 崔琪, 马晓钰. 数字要素赋能下有偏技术进步的节能减排效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(7): 22-36.  
Zhang S S, Cui Q, Ma X Y. Energy saving and emission reduction effect of biased technological progress under digital factor empowerment [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(7): 22-36.
- [49] 王维国, 王永玲, 范丹. 数字经济促进碳减排的效应及机制[J]. 中国环境科学, 2023, 43(8): 4437-4448.  
Wang W G, Wang Y L, Fan D. Effects and mechanisms of the digital economy for carbon emission reduction [J]. *China Environmental Science*, 2023, 43 (8): 4437-4448.