

吴玉彬,李月,陈家创,等.数字经济对黄河流域城市绿色创新的赋能效应[J].中国沙漠,2026,46(3):131-142.

## 数字经济对黄河流域城市绿色创新的赋能效应

吴玉彬<sup>a</sup>,李月<sup>a</sup>,陈家创<sup>a</sup>,张洪瑞<sup>b</sup>

(兰州财经大学 a.会计学院, b.马克思主义学院,甘肃 兰州 730020)

**摘要:**提升黄河流域城市绿色创新水平是贯彻落实高质量发展战略的重要举措。为探究提高黄河流域城市绿色发展能力的新动能,以2000—2023年黄河流域61个地级市面板数据为样本,系统探讨了数字经济对黄河流域城市绿色创新的赋能效应。结果表明:数字经济对黄河流域城市绿色创新产生显著正向影响,该结论在经过系列内生性和稳健性检验后依旧成立。数字经济分别通过提高地区金融发展水平和人力资本水平进而促进城市绿色创新。数字经济对黄河流域城市绿色创新存在非线性影响,具体地,当产业结构升级由低到高超过门槛值时,数字经济对黄河流域城市绿色创新的作用由负转正。此外,数字经济对黄河流域城市绿色创新的促进作用在黄河中下游地区、非资源型城市和省会(首府)城市更加显著。研究结论揭示了数字经济对黄河流域城市绿色创新的赋能效应,为推动黄河流域绿色化转型与高质量发展提供有益参考。

**关键词:**数字经济;城市绿色创新;黄河流域;门槛效应

文章编号:1000-694X(2026)03-131-12

DOI:10.7522/j.issn.1000-694X.2026.00008

中图分类号:F205

文献标志码:A

### 0 引言

黄河流域长期存在的经济增长与生态保护失衡问题既是制约流域高质量发展的根源,也是阻碍其绿色转型的现实逻辑所在<sup>[1]</sup>。虽然针对黄河流域发展实施了一系列措施,但早期政策主要强调流域生态修复,对流域经济增长的关注不足,使得流域生态保护与经济发展矛盾日益凸显<sup>[2]</sup>。基于此,党中央将黄河流域生态保护和高质量发展上升为重大国家战略,2024年习近平总书记在全面推动黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上强调“要推动发展方式全面绿色转型”“着力提高产业科技创新能力,推动重点行业节能降碳改造和设备更新”。党的二十届四中全会提出“十五五”时期经济社会发展的主要目标为“高质量发展取得显著成效”“科技自立自强水平大幅提高”,并强调“加快经济社会发展全面绿色转型”“增强绿色发展动能”。作为创新驱动与绿色发展战略的核心概念,绿色创新水平提升有助于实现经济与环境协同共进<sup>[3]</sup>,既是推动传统产业智能化、绿色化转型的客观需要,也是筑

牢流域生态安全屏障的主动选择,更是实现黄河流域高质量发展的必然要求<sup>[4]</sup>。然而,现阶段黄河流域绿色创新仍面临经济增长缓慢、技术创新能力不足等问题,严重制约城市绿色创新整体效能的提升,阻碍流域生态保护与经济良性循环,逐步演变为新发展阶段推动黄河流域生态保护和高质量发展亟待解决的痛点。

在此背景下,如何有效激发黄河流域城市绿色创新逐渐成为业界和学界关注的重要话题。已有研究基于宏微观层面对城市绿色创新的影响因素展开了较为丰富的探讨。就宏观层面而言,已有文献验证了高铁开通<sup>[5]</sup>、国家级城市群建设<sup>[6]</sup>、创新型城市试点<sup>[7]</sup>、绿色财政政策<sup>[8]</sup>、碳排放权交易试点<sup>[9]</sup>和“一带一路”倡议<sup>[10]</sup>等外部环境对城市绿色创新的影响效应。就微观层面而言,已有文献验证了贸易摩擦<sup>[11]</sup>、知识产权保护<sup>[12]</sup>、金融集聚<sup>[13]</sup>、制造业集聚<sup>[14]</sup>以及土地资源错配<sup>[15]</sup>等对城市绿色创新的影响效应。值得注意的是,随着传统驱动因素被逐步挖掘,亟须新动能推动城市绿色创新。在这一探索中,数据作为关键生产要素的价值日益凸显,已有

收稿日期:2025-12-11; 改回日期:2026-01-12

资助项目:甘肃省基础研究计划-软科学专项(26JRZA100);甘肃省高校教师创新基金项目(2026B-109);兰州财经大学校级一般科研项目(Lzufe2024C-002)

作者简介:吴玉彬(1982—),男,河南周口人,经济学博士,副教授,研究方向为财务理论、资本市场与公司治理。E-mail:wuyb@lzufe.edu.cn

通信作者:陈家创(E-mail:3011258277@qq.com)

研究关注到数据要素对于城市绿色创新的影响作用<sup>[16]</sup>。数字经济作为一种以数据要素为基础、信息网络为载体、数字技术为支撑的新经济形态,有利于推动创新资源配置、加速创新成果产出与转化,对城市绿色创新具有重要的驱动作用。

尤为重要的是,党的二十大报告明确指出“加快发展数字经济,促进数字经济和实体经济深度融合”和“加快建设数字中国”,作为新发展阶段下经济增长新动能,已有研究初步探索了数字经济能够通过提升创业活跃度<sup>[17]</sup>、缓解创新资源错配<sup>[18]</sup>促进城市绿色创新,但鲜有文献深入探究黄河流域数字经济与城市绿色创新的关系。因此,本文试图回答:数字经济对黄河流域城市绿色创新是否具有赋能效应?其内在机制为何?具体到黄河流域的不同区域、不同类型城市,其赋能效应是否存在异质性?厘清以上问题,有利于进一步深化对数字经济赋能黄河流域城市绿色创新的理解,对探索城市绿色创新的有效机制和推动黄河流域高质量发展具有重要的理论与现实价值。

基于此,本文以2000—2023年黄河流域61个地级市的面板数据为研究对象,系统探讨了数字经济对黄河流域城市绿色创新的赋能效应及其作用机制。相较于以往研究,本文可能的边际贡献在于:①在研究视角上,有别于现有关于数字经济与城市绿色创新的相关研究,本文将研究视角从全国范围聚焦到黄河流域,为破解黄河流域绿色创新瓶颈,因地制宜地促进黄河流域绿色转型与高质量发展提供了新视角。②在理论机制上,进一步深化研究数字经济赋能黄河流域城市绿色创新的内在机理,揭示金融发展水平和人力资本水平在数字经济赋能黄河流域城市绿色创新中发挥的中介作用。③在研究内容上,使用门槛效应模型考察数字经济对黄河流域城市绿色创新的非线性影响,并根据黄河流域不同区域、不同类型城市划分,探讨数字经济赋能效应的异质性,刻画数字经济在不同情境下的赋能机制与效果,为黄河流域制定因地制宜的绿色创新转型措施提供一定的借鉴。

## 1 理论分析与研究假设

### 1.1 数字经济促进黄河流域城市绿色创新

绿色创新本身具有高投入、高风险和长周期等特点<sup>[19]</sup>,地方政府在推动绿色创新时,常面临资金

支持匮乏、要素配置效率低下及成果转化困难等问题,导致政府绿色创新意愿不强。作为以数据要素为基础、信息网络为载体、数字技术为支撑的新经济形态,数字经济能够有效赋能绿色创新全过程,为黄河流域城市绿色创新提供新动能。首先,数据要素能够驱动创新模式变革。作为新型生产要素,数据具有可复制性、高流动性和低成本性等特征<sup>[20]</sup>,其与资本、土地等传统生产要素深度结合,能够提升要素配置的效率,进而大幅缩短绿色技术的研发周期并降低试错成本。其次,信息网络的完善能够优化创新生态环境。5G、物联网等信息网络设施有助于对生态环境、企业排放等数据实时感知与采集,能够为绿色创新提供丰富的数据支撑和应用场景<sup>[21]</sup>。最后,数字技术的发展能够促进创新知识溢出。数字技术进步催生数字平台的打造,创新知识通过数字平台传播能够打破传统创新活动的地理边界,加速黄河流域的企业、高校和科研院所绿色技术、专利等信息的流动与共享。基于上述分析,本文提出假设1:数字经济能够促进黄河流域城市绿色创新。

### 1.2 数字经济通过提高金融发展水平促进黄河流域城市绿色创新

资源配置理论认为,金融发展水平的提高有利于绿色创新<sup>[22]</sup>。数字经济通过大数据、区块链等技术赋能金融变革,重塑金融体系的业态模式和服务质效,进而缓解绿色创新活动中的信息不对称和资源错配,提升资源配置与风险管理效率,从而更精准地引导资本投向绿色科技研发和成果转化,有效驱动黄河流域城市绿色创新。一方面,数字经济凭借数字技术打破传统金融服务的空间壁垒,拓展金融服务范围,并且通过大数据和智能化手段精准决策,缓解信息不对称、降低金融服务成本<sup>[23]</sup>,进而提高黄河流域的金融发展水平。另一方面,金融发展水平的提高有利于促进黄河流域城市绿色创新。首先,地方金融发展能够降低绿色信贷、绿色债券的发行和交易成本,提升银行信贷配置效率<sup>[24]</sup>,使资本能够更高效地流入绿色创新领域,保障城市绿色创新活动的可持续性。其次,金融发展水平的提高意味着金融机构对于绿色投资的风险评估与风险承担能力增强,从而降低绿色创新活动的不确定性与投资主体的试错成本,激励更多社会资本参与绿色创新活动。最后,金融发展水平提高意味着价格发现功能

增强<sup>[25]</sup>,因而金融市场上对“绿色资产”的定价会向市场传递出积极信号,引导人力、技术、资本等要素流向绿色创新活动,这种由市场进行资源配置的方式,有利于激励黄河流域城市开展绿色创新活动。基于上述分析,本文提出假设2:数字经济通过提高金融发展水平促进黄河流域城市绿色创新。

### 1.3 数字经济通过提高人力资本水平促进黄河流域城市绿色创新

内生增长理论认为,作为技术创新的关键,人力资本积累与升级有利于绿色创新<sup>[26]</sup>。数字经济的发展通过重塑知识获取能力和人才培养模式,为黄河流域人力资本提升发挥重要的积极作用,进而为黄河流域城市绿色创新活动的开展奠定良好的人才基础。一方面,数字经济能够通过在线教育平台和知识共享论坛等新途径打破教育资源和技术传播的空间壁垒,拓展知识传播范围,依托数字经济平台提升智能化学习普及率与知识获取效率,从而有利于黄河流域人才培养的量质齐升。另一方面,人力资本水平提高有利于黄河流域城市绿色创新。首先,作为开展绿色创新活动的智力支撑,人力资本水平提高意味着区域开展绿色创新研发的能力增强,能够精准聚焦绿色技术创新痛点,是绿色创新成果持续涌现的根本保障。其次,绿色创新水平提高最终落脚于地区发展<sup>[27]</sup>,而人力资本水平提升有助于推动具备绿色技能、再学习能力的技术人员更有效地将绿色技术应用于生产实践,带动产业绿色转型,是驱动城市绿色创新发展的关键因素。最后,人力资本水平提高有助于人才集聚,产生知识溢出效应<sup>[28]</sup>,进而形成浓厚的创新氛围,能够激发更多的绿色创意产生,为黄河流域城市绿色创新注入持久活力。基于上述分析,本文提出假设3:数字经济通过提高人力资本水平促进黄河流域城市绿色创新。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

本文根据《黄河年鉴》《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》《黄河水资源公报》对于黄河流域的划分,兼顾样本数据可得性,将研究范围确定为黄河流域61个地级市:西宁市、酒泉市、张掖市、武威市、定西市、白银市、兰州市、天水市、平凉市、

庆阳市、吴忠市、固原市、银川市、石嘴山市、乌海市、鄂尔多斯市、巴彦淖尔市、包头市、乌兰察布市、呼和浩特市、榆林市、延安市、铜川市、宝鸡市、咸阳市、西安市、渭南市、商洛市、朔州市、大同市、忻州市、阳泉市、太原市、晋中市、吕梁市、长治市、晋城市、临汾市、运城市、三门峡市、洛阳市、焦作市、郑州市、新乡市、安阳市、鹤壁市、开封市、濮阳市、许昌市、平顶山市、周口市、商丘市、聊城市、德州市、泰安市、济宁市、菏泽市、济南市、淄博市、滨州市、东营市(图1)。

选取2000—2023年面板数据为研究样本。研究所需数据来源于国家知识产权数据库、中国研究数据服务平台(CNRDS)和《中国城市统计年鉴》等,部分数据存在年份缺失值,采用线性差值或均值差值法补齐,以确保数据的完整性。

### 2.2 模型构建

#### 2.2.1 基准回归模型

为识别数字经济对黄河流域城市绿色创新的直接影响,本文构建如下计量模型:

$$Ugic_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 Dige_{i,t} + \alpha_2 Controls_{i,t} + \varphi_i + \tau_t + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

式中: $i$ 表示城市; $t$ 表示年份;被解释变量 $Ugic_{i,t}$ 代表 $t$ 年份 $i$ 城市的绿色创新水平;解释变量 $Dige_{i,t}$ 代表 $t$ 年份 $i$ 城市的数字经济发展水平; $Controls$ 表示所有控制变量集合; $\varphi_i$ 和 $\tau_t$ 分别代表城市固定效应和年份固定效应; $\varepsilon_{i,t}$ 为随机扰动项; $\alpha_0 \sim \alpha_2$ 为回归系数,本文主要关注系数 $\alpha_1$ 。如果 $\alpha_1$ 显著且为正,则表示数字经济发展能够促进城市绿色创新,进而支持本文研究假说。

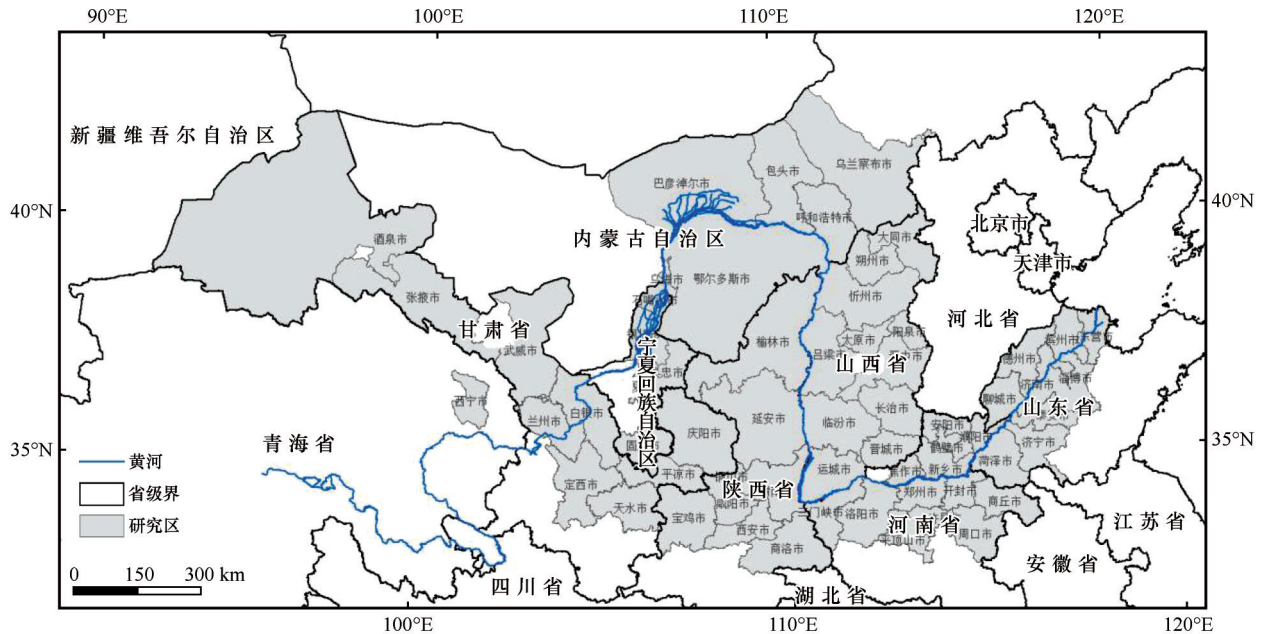
#### 2.2.2 中介效应模型

为探究数字经济对城市绿色创新可能存在的作用机制,本文借鉴江艇<sup>[29]</sup>的研究,在基准回归模型的基础上构建中介两步法模型,进行作用机制检验:

$$Median_{i,t} = \theta_0 + \theta_1 Dige_{i,t} + \theta_2 Controls_{i,t} + \varphi_i + \tau_t + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

$$Ugic_{i,t} = \gamma_0 + \gamma_1 Median_{i,t} + \gamma_2 Controls_{i,t} + \varphi_i + \tau_t + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

式中: $Median_{i,t}$ 表示中介变量,即金融发展水平( $Fin$ )和人力资本水平( $Hum$ );其余变量定义与式(1)一致。



注:基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1822号的标准地图制作,底图边界无修改

图1 黄河流域研究范围

Fig.1 Location of the Yellow River Basin

2.2.3 门槛效应模型

为进一步检验数字经济对城市绿色创新的影响是否存在非线性关系,本文借鉴 Hansen<sup>[30]</sup> 的研究,在基准回归模型的基础上引入示性函数,并以产业结构升级(Adv)为门槛变量,建立门槛模型:

$$Ugic_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 Dige_{i,t} \cdot I(D_{i,t} \leq \gamma_1) + \beta_2 Dige_{i,t} \cdot I(\gamma_1 < D_{i,t} \leq \gamma_2) + \dots + \beta_n Dige_{i,t} \cdot I(\gamma_{n-1} < D_{i,t} \leq \gamma_n) + \beta_{n+1} Dige_{i,t} \cdot I(D_{i,t} > \gamma_n) + \beta_b Controls_{i,t} + \varphi_i + \tau_t + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

式中: $I(\cdot)$ 是取值为1或0的示性函数; $D_{i,t}$ 表示门槛变量,即产业结构升级(Adv); $\gamma$ 为待估计的门槛值; $n$ 为门槛值个数; $\beta_1 \sim \beta_{n+1}$ 为不同门槛值下的回归系数;其余变量定义与式(1)一致。

2.3 变量选取与说明

2.3.1 被解释变量

被解释变量为城市绿色创新(Ugic)。一般来说,绿色创新的衡量采用绿色研发投入和绿色专利申请两种方式,但由于城市层面绿色研发投入的数据难以获取,本文基于城市绿色发明专利申请数量衡量绿色创新。由于绿色发明专利对于创新性和技术性的要求高于绿色实用新型专利和绿色外观设计专利<sup>[31]</sup>,且相较于专利授权可能存在的时滞性,专利申请往往可以更及时地反映出地区绿色创新水平,因此本文借鉴李政等<sup>[7]</sup>的做法,选择地区当

年绿色发明专利申请数量加一取自然对数衡量城市绿色创新,其中城市绿色发明专利申请量数据来源于国家知识产权网站,并依据绿色专利国际专利分类(IPC)编码筛选得到。

2.3.2 解释变量

解释变量为数字经济发展水平(Dige)。当前城市层面的数字经济发展水平测度尚未形成统一结论,考虑到数据的可得性,本文借鉴赵涛等<sup>[32]</sup>、苏孜等<sup>[33]</sup>和韦施威等<sup>[34]</sup>的方法,从互联网发展方面对数字经济发展水平进行测度。具体地,选取互联网普及率(人均互联网宽带接入用户数)、互联网相关从业人员(计算机服务和软件业从业人员数占城镇单位从业人员比重)、互联网相关产出(人均电信业务总量)和移动电话普及率(人均移动电话用户数)4个指标,将指标体系数据进行标准化处理后,使用熵值法计算得到数字经济发展水平(Dige)。

2.3.3 控制变量

本文借鉴已有文献加入以下控制变量:人口规模(地区户籍人口取对数)、经济密度(地区生产总值/行政区域土地面积取对数)、经济发展水平(人均地区生产总值取对数)、城镇化率(非农业人口/户籍人口)、政府干预程度(地方财政一般预算内支出/地区生产总值)、财政投资力度(固定资产投资/政府财政一般支出)和产业结构(第三产业增加值/地区生产总值)。变量具体定义如表1所列。

表1 变量定义  
Table 1 Variable definitions

变量类型	变量名	变量含义	变量衡量
被解释变量	<i>Ugic</i>	城市绿色创新	地区当年绿色发明专利申请数量加一取自然对数
解释变量	<i>Dige</i>	数字经济发展水平	熵值法综合测算
控制变量	<i>Pop</i>	人口规模	地区户籍人口取对数
	<i>Edy</i>	经济密度	地区生产总值/行政区域土地面积取对数
	<i>Eco</i>	经济发展水平	人均地区生产总值取对数
	<i>Urb</i>	城镇化率	非农业人口/户籍人口
	<i>Gov</i>	政府干预程度	地方财政一般预算内支出/地区生产总值
	<i>Inv</i>	财政投资力度	固定资产投资/政府财政一般支出
	<i>Ind</i>	产业结构	第三产业增加值/地区生产总值

### 3 结果与分析

#### 3.1 描述性统计

黄河流域城市绿色创新(*Ugic*)均值为3.047,中位数为2.996,标准差为1.642,最小值为0,最大值为7.460(表2),说明黄河流域城市绿色创新水平在观

测区间内存在显著变化。数字经济发展水平(*Dige*)均值为0.042,最小值为0.002,最大值为0.206,说明数字经济发展水平也发生了较大的变化。其余控制变量的描述性统计特征分布区间基本符合预期。此外,方差膨胀因子检验结果显示,本文各变量*VIF*的均值为2.21,最大值为3.14,表明各变量之间不存在多重共线性问题。

表2 描述性统计  
Table 2 Baseline regression results

变量名	样本量	均值	中位数	标准差	最小值	最大值
<i>Ugic</i>	1 187	3.047	2.996	1.642	0.000	7.460
<i>Dige</i>	1 187	0.042	0.034	0.038	0.002	0.206
<i>Pop</i>	1 187	5.792	5.880	0.675	3.784	7.110
<i>Edy</i>	1 187	6.701	6.810	1.278	3.357	9.203
<i>Eco</i>	1 187	10.290	10.340	0.883	8.231	12.260
<i>Urb</i>	1 187	0.340	0.287	0.159	0.108	0.796
<i>Gov</i>	1 187	0.174	0.143	0.108	0.052	0.666
<i>Inv</i>	1 187	5.878	5.089	3.494	1.424	21.050
<i>Ind</i>	1 187	0.386	0.374	0.103	0.188	0.639

#### 3.2 基准回归

表3汇报了数字经济发展水平对城市绿色创新影响的基准回归结果。其中,列(1)未加入城市固定效应、年份固定效应及其他影响城市绿色创新的控制变量。结果显示,数字经济发展水平(*Dige*)对黄河流域城市绿色创新(*Ugic*)的估计系数为14.771且在1%水平上显著为正。列(2)在列(1)的基础上加入了城市固定效应与年份固定效应。结果显示,

数字经济发展水平(*Dige*)对黄河流域城市绿色创新(*Ugic*)的估计系数为1.763且在5%水平上显著为正。列(3)在列(2)的基础上添加影响城市绿色创新的其他控制变量。结果显示,数字经济发展水平(*Dige*)对黄河流域城市绿色创新(*Ugic*)的估计系数为2.220且仍在5%水平上显著为正。以上回归结果表明,数字经济对黄河流域城市绿色创新存在显著促进作用,假设1得到验证。

表3 基准回归

Table 3 Baseline regression results

变量及其他 指标	<i>Ugic</i>		
	(1)	(2)	(3)
<i>Dige</i>	14.771*** (12.612)	1.763** (1.998)	2.220** (2.443)
<i>Pop</i>			1.336*** (3.625)
<i>Edy</i>			-0.330** (-2.290)
<i>Eco</i>			0.152 (0.822)
<i>Urb</i>			0.666** (2.180)
<i>Gov</i>			-2.442*** (-3.747)
<i>Inv</i>			-0.011 (-1.335)
<i>Ind</i>			-0.554 (-1.304)
常数项	2.422*** (36.246)	2.973*** (73.060)	-3.662 (-1.231)
年份固定效应	未控制	控制	控制
城市固定效应	未控制	控制	控制
样本量	1 187	1 187	1 187
调整后的 $R^2$	0.118	0.886	0.889

注: \*、\*\*、\*\*\*分别代表10%、5%、1%显著性水平, 括号内为  $t$  值。

### 3.3 内生性分析

由基准回归结果可知, 数字经济能够显著促进黄河流域城市绿色创新, 但数字经济与黄河流域城市绿色创新之间可能存在反向因果关系, 即城市绿色创新水平的提高反过来也会促进数字经济发展。因此, 为缓解可能存在的内生性问题, 本文采用1984年末各城市邮电业务总量作为工具变量, 但由于1984年末各城市邮电业务总量作为截面数据无法直接参与估计, 本文进一步加入时间趋势项与1984年末各城市邮电业务总量相乘, 构造的交互项作为工具变量, 并采用两阶段最小二乘法进行工具变量估计, 估计结果如表4列(1)所列, 数字经济发展水平(*Dige*)对城市绿色创新(*Ugic*)的促进作用在

表4 内生性分析与稳健性检验

Table 4 Endogeneity analysis and robustness checks

变量及 其他 指标	<i>Ugic</i>				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	工具 变量	增加控 制变量	替换被解 释变量	滞后 效应	缩尾
<i>Dige</i>	21.791*** (3.180)	1.879** (2.058)	1.943** (2.050)	3.501*** (3.560)	2.220** (2.443)
常数项	—	-4.513 (-1.476)	-10.516*** (-3.389)	-5.138 (-1.429)	-3.662 (-1.231)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
不可识别检验	26.212 [0.0000]	—	—	—	—
弱工具变量 检验	24.832 {16.38}	—	—	—	—
样本量	934	1 187	1 187	1 036	1 187
调整后的 $R^2$	—	0.891	0.864	0.886	0.889

注: \*、\*\*、\*\*\*分别代表10%、5%、1%显著性水平, 括号内为  $t$  值, [ ]内数值为  $P$  值, { }内数值为 Stock-Yogo 弱识别检验在10%水平上的临界值。

加入工具变量后依然显著, 且工具变量通过了不可识别检验和弱工具变量检验, 表明本研究工具变量选择合理。

### 3.4 稳健性检验

为进一步加强基准回归结论的可靠性, 本文采用以下做法进行稳健性检验: 一是为避免遗漏变量对回归结果产生影响, 本文在基准回归的基础上添加地方财政压力、对外开放水平和教育支出水平3个控制变量进行重新回归; 二是替换被解释变量, 本文以地区当年获得绿色发明专利总数加一取自然对数作为衡量城市绿色创新水平的替代指标进行回归; 三是考虑滞后效应, 考虑到数字经济对黄河流域城市绿色创新的促进作用可能存在相应的时滞性, 即当年的数字经济促进下一年的城市绿色创新, 本文选择将核心解释变量数字经济发展水平(*Dige*)进行滞后一期处理并进行回归检验; 四是缩尾处理, 为剔除极端值可能带来的有偏影响, 对所有连续变量进行上下1%的缩尾处理。在经过一系列稳健性检验后, 数字经济发展水平(*Dige*)对城市

绿色创新(*Ugic*)的估计系数仍显著为正(表4)。回归结果进一步验证了数字经济对黄河流域城市绿色创新存在显著的促进作用。

### 3.5 作用机制检验

前文通过实证设计验证了数字经济对黄河流域城市绿色创新具有明显的促进作用,本节进一步探究数字经济影响黄河流域城市绿色创新的作用机制。研究假说部分提出数字经济分别通过提高地区金融发展水平和人力资本水平进而促进黄河流域城市绿色创新。对此,本文基于式(2)和式(3)设定的中介效应模型对数字经济促进黄河流域城市绿色创新的传导机制展开实证检验。

#### 3.5.1 金融发展水平

本文借鉴鹿洪源等<sup>[35]</sup>的研究,采用地级市年末金融机构存贷款余额与地区生产总值来衡量金融发展水平(*Fin*)进行机制检验。第一步利用式(2)探讨数字经济发展水平与金融发展水平之间的关系,结果如表5列(1)所列,数字经济发展水平(*Dige*)对金融发展水平(*Fin*)的估计系数为2.276且在1%的水平上显著为正,表明数字经济能够提高城市金融发展水平;第二步利用式(3)探讨金融发展水平与

城市绿色创新的关系,回归结果如表5列(2)所列,金融发展水平(*Fin*)对城市绿色创新(*Ugic*)的估计系数为0.145且在1%的水平上显著为正,表明黄河流域城市金融发展水平的提升有利于促进城市绿色创新。以上回归结果验证了数字经济通过提高地区金融发展水平进而促进黄河流域城市绿色创新的理论假设。

#### 3.5.2 人力资本水平

为验证人力资本水平在数字经济影响黄河流域城市绿色创新中的作用,本文借鉴龚梦琪等<sup>[36]</sup>的研究,采用地级市普通高等学校在校学生数与当地年末总人口的比值来衡量人力资本水平(*Hum*)进行机制检验。第一步利用式(2)探讨数字经济发展水平与人力资本水平之间的关系,结果如表5列(3)所列,数字经济发展水平(*Dige*)对人力资本水平(*Hum*)的估计系数为0.075且在1%的水平上显著为正,表明黄河流域数字经济发展能够提高城市人力资本水平;第二步利用式(3)探讨人力资本水平与城市绿色创新的关系,回归结果如表5列(4)所列,人力资本水平(*Hum*)对城市绿色创新(*Ugic*)的估计系数为8.685且在1%的水平上显著为正,表明黄河流域城市人力资本水平的提升有利于促进城市绿色创新。以上回归结果验证了数字经济通过提高地区人力资本水平进而促进黄河流域城市绿色创新的理论假设。

表5 作用机制检验  
Table 5 Mechanism tests

变量及 其他 指标	金融发展水平		人力资本水平	
	(1) <i>Fin</i>	(2) <i>Ugic</i>	(3) <i>Hum</i>	(4) <i>Ugic</i>
<i>Dige</i>	2.276*** (2.683)		0.075*** (4.989)	
<i>Fin</i>		0.145*** (4.531)		
<i>Hum</i>				8.685*** (4.850)
常数项	-3.950 (-1.423)	-3.315 (-1.121)	-0.341*** (-6.922)	-0.891 (-0.295)
控制变量	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制
样本量	1 187	1 187	1 187	1 187
调整后的 $R^2$	0.855	0.890	0.892	0.891

注: \*、\*\*、\*\*\*分别代表10%、5%、1%显著性水平,括号内为*t*值。

## 4 进一步分析

### 4.1 门槛效应

为进一步探究数字经济对城市绿色创新是否存在非线性影响,本文基于式(4)门槛效应模型,选取产业结构升级作为门槛变量,并参考戴翔等<sup>[37]</sup>的做法,以第三产业增加值/第二产业增加值作为产业结构升级(*Adv*)的代理变量对数字经济对城市绿色创新的非线性影响进行检验,以拓宽对两者之间关系的认识。

在模型估计前对门槛的存在性进行估计,由表6可知,产业结构升级(*Adv*)的单一门槛效应*F*值为26.20,*P*值为0.035,双重门槛效应的*F*值为19.22,*P*值为0.075,三重门槛效应的*F*值为8.02,*P*值为0.617,即在10%显著性水平下存在双重门槛。因此,本文后续采用双重门槛模型进行估计。如图2

表6 门槛效应检验  
Table 6 Threshold effect test

门槛变量	门槛模型	F值	P值	BS次数	临界值		
					10%	5%	1%
Adv	单一门槛	26.20	0.035	1 000	19.418	23.440	32.877
	双重门槛	19.22	0.075	1 000	17.936	21.394	30.147
	三重门槛	8.02	0.617	1 000	20.491	24.028	35.532

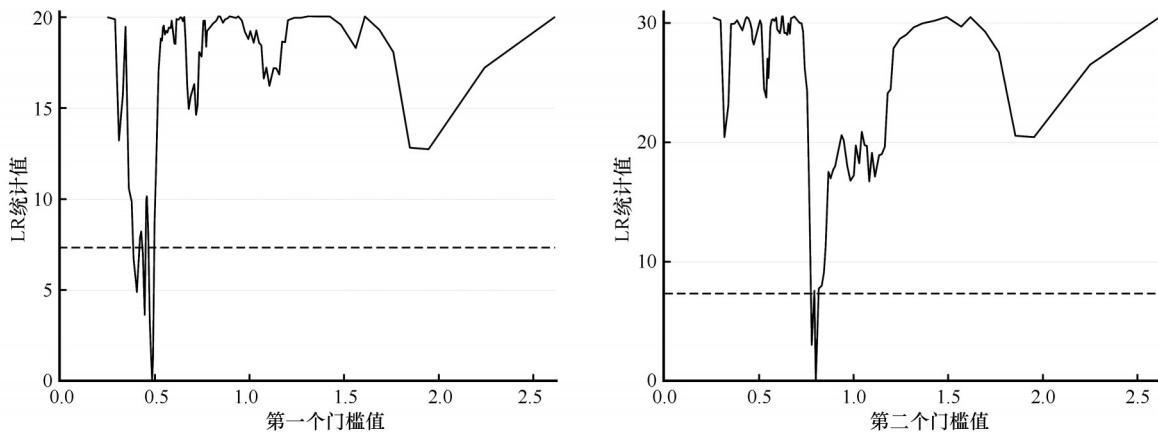


图2 Adv门槛估计值及似然比检验

Fig.2 The threshold effect of Adv: estimate and likelihood ratio test

所示,产业结构升级(Adv)的两个门槛值分别为0.4934和0.8004。以上结果验证了数字经济对城市绿色创新存在非线性影响。

由表7门槛效应回归结果可知,当产业结构升级(Adv)低于第一个门槛值0.4934时,数字经济发展水平(Dige)对城市绿色创新(Ugic)的估计系数显著为负;且当产业结构升级(Adv)处于两个门槛值之间时,估计系数仍显著为负,但系数值变大;但当产业结构升级(Adv)高于第二个门槛值0.8004时,数字经济发展水平(Dige)对城市绿色创新(Ugic)的估计系数显著为正。这表明随着产业结构升级的推进,数字经济对黄河流域城市绿色创新的影响存在由负转正的非线性作用。可能的原因在于,绿色创新通常需要大量的资金投入,在产业结构升级未达到较高水平时,当地传统产业仍占主导,其发展模式往往伴随路径依赖,数字技术可能被优先应用于提高传统产业的效率,而未向绿色创新领域倾斜。此外,数字经济发展本身需要资金支持,因而对绿色创新产生了资金挤占,抑制了城市绿色创新。当产业结构升级超过第二个门槛值达到较高水平时,知识密集型服务业和高技术制造业成为主导,此时,先进的产业基础为数字技术的深度应用

表7 门槛效应回归估计结果

Table 7 Regression results of the threshold effect

门槛变量:产业结构升级	
(1)	(2)
变量	系数
$Dige \cdot I(Adv \leq 0.4934)$	-9.365*** (-6.043)
$Dige \cdot I(0.4934 < Adv \leq 0.8004)$	-3.114*** (-3.391)
$Dige \cdot I(Adv > 0.8004)$	1.219* (1.756)
常数项	-25.593*** (-10.608)
控制变量	控制
年份固定效应	控制
城市固定效应	控制
样本量	1 187
调整后的R <sup>2</sup>	0.793

注:\*,\*\*,\*\*\*分别代表10%、5%、1%显著性水平,括号内为t值。

提供了成熟的市场、配套技术和高素质人才。数字经济得以充分赋能绿色技术研发,其强大的“创新

赋能效应”显著促进了城市绿色创新。

## 4.2 异质性

### 4.2.1 上中下游

黄河流域上中下游地区在经济发展与资源禀赋等方面存在显著差异。具体地,黄河上游地区的青海、甘肃、宁夏和内蒙古等西部省区是中国重要的生态屏障和生态功能区,经济发展相对滞后、生态环境薄弱<sup>[38]</sup>,导致数字基础设施、人力资本与研发资金等关键要素供给不足,加之产业结构相对单一,企业绿色创新内生动力薄弱,绿色创新水平不高。相较于上游地区,一方面,中下游地区产业基础雄厚,西安、济南、郑州等城市数字经济繁荣,能通过工业互联网赋能工艺优化,直接激发绿色工艺创新;另一方面,黄河中下游人口、高校科研院所集聚,为数字经济促进城市绿色创新发展提供了支撑;此外,中下游地区的中大型城市较多,更有利于发挥对周边城市的引领辐射作用。基于此,本文认为数字经济对黄河流域城市绿色创新的影响存在区域异质性,且对中下游地区的影响作用应当强于上游地区。

为验证上述分析,本文将黄河流域城市按照上游和中下游划分进行分组回归。分析结果如表8列(1)至列(2)所列,数字经济发展水平(*Dige*)对城市绿色创新(*Ugic*)的估计系数在中下游地区显著为

正,但在上游地区不显著,表明黄河流域中下游地区数字经济对城市绿色创新的影响强于上游地区。

### 4.2.2 城市资源禀赋

资源型城市与非资源型城市在产业结构、发展路径与创新基础方面存在较大差异<sup>[39]</sup>。具体而言,资源型城市长期依赖矿产资源开发、加工及相关配套产业,产业结构相对单一,创新要素配置向资源型产业倾斜,导致绿色研发投入不足、高技术人才集聚程度较低,数字基础设施与产业融合进程相对滞后,数字技术对绿色创新的赋能作用尚未充分释放。相比之下,非资源型城市通常具备更为多元化的产业结构,制造业、服务业与高新技术产业布局相对均衡,这类城市在数字基础设施、科技人才储备、研发资金支持等方面往往更具优势,能够更有效地推动数字经济与实体经济的深度融合。基于此,本文认为数字经济对城市绿色创新的影响在资源型与非资源型城市之间具有明显异质性,且对非资源型城市的影响作用应当强于资源型城市。

为验证上述分析,本文将黄河流域城市按照资源型城市和非资源型城市划分进行分组回归。分析结果如表8列(3)至列(4)所列,数字经济发展水平(*Dige*)对城市绿色创新(*Ugic*)的估计系数在非资源型城市显著为正,但在资源型城市不显著,表明非资源型城市数字经济对城市绿色创新的影响强于资源型城市。

表8 异质性分析

Table 8 Heterogeneity analysis

变量及其他 指标	<i>Ugic</i>					
	(1) 上游地区	(2) 中下游地区	(3) 资源型城市	(4) 非资源型城市	(5) 省会(首府)城市	(6) 非省会(首府)城市
<i>Dige</i>	2.042 (1.222)	3.184*** (2.943)	-2.002 (-1.074)	2.788*** (2.951)	5.238*** (4.253)	-1.541 (-0.955)
常数项	3.238 (0.684)	-14.888*** (-3.481)	7.399 (1.079)	-1.290 (-0.364)	12.683*** (3.081)	-4.208 (-1.046)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	340	847	677	510	170	1 017
调整后的 $R^2$	0.800	0.833	0.770	0.880	0.953	0.791

注: \*、\*\*、\*\*\*分别代表10%、5%、1%显著性水平,括号内为*t*值。

### 4.2.3 城市行政等级

省会(首府)城市与非省会(首府)城市在功能定

位、资源集聚能力与治理基础等方面存在差异<sup>[40]</sup>。具体地,非省会(首府)城市在获取省级政策试点、

重大科研平台布局和国家级资金支持上机会较少,导致数字基础设施建设、高端人才与研发机构的密集度往往不及省会(首府)城市。其产业结构多围绕本地资源或传统制造业展开,企业规模与创新能力参差不齐,利用数字经济进行绿色转型的内生动力与外部支撑均显不足,数字技术赋能绿色创新的基础较为薄弱。相比之下,作为一省(自治区)的政治、经济、文化与创新中心,省会(首府)城市具有多方面的显著优势。省会(首府)集聚了全省(自治区)最主要的高校、科研院所、高新技术企业与金融机构,有利于知识与资本的结合,为数字经济与绿色技术的研发、转化与融资提供了深厚的人才储备与创新生态。基于此,本文认为数字经济对城市绿色创新的影响在省会(首府)与非省会(首府)城市之间具有异质性,且对省会(首府)城市的影响作用强于非省会(首府)城市。

为验证上述分析,本文将黄河流域城市按照省会(首府)城市和非省会(首府)城市划分进行分组回归。分析结果如表8列(5)至列(6)所列,数字经济发展水平(*Dige*)对城市绿色创新(*Ugic*)的估计系数在省会(首府)城市显著为正,在非省会(首府)城市不显著,表明省会(首府)城市数字经济对城市绿色创新的影响强于非省会(首府)城市。

## 5 结论与启示

数字经济能够促进黄河流域城市绿色创新,该结论在经过一系列内生性和稳健性检验后依旧成立。数字经济分别通过提高地区金融发展水平和人力资本水平进而推动黄河流域城市绿色创新。产业结构升级在数字经济促进黄河流域城市绿色创新中起到非线性作用,具体地,当产业结构升级由低到高超过阈值时,数字经济对黄河流域城市绿色创新的作用由负转正。此外,数字经济对黄河流域城市绿色创新的促进作用在黄河中下游地区、非资源型城市与省会(首府)城市更加显著。

本文的研究结论对于黄河流域加强数字经济发展与提高城市绿色创新水平具有重要的启示:

首先,数字经济有助于黄河流域城市绿色创新,因此地方政府应积极推动数字技术与绿色创新相结合,构建以数字技术和数据要素为支撑的绿色创新发展机制。一方面,要完善黄河流域城市数字化治理体系,强化对能源消耗、污染排放以及生态保护的监测。依托数字技术和数据要素,实时追踪

重点企业的污染排放和绿色创新投入,对高能耗和高排放行为实现预警和调控。另一方面,需健全绿色创新激励机制。将数字绿色转型成效纳入沿黄各城市政绩考核体系,对于应用数字技术实现节能减排、开展绿色创新的企业给予相应的优惠和补贴。同时建立黄河流域绿色技术交易数字平台,促进绿色专利的认证与流转,激发企业绿色研发动力。

其次,数字经济通过提升金融发展水平与人力资本水平两条路径促进黄河流域城市绿色创新。因此,一方面,应着力推动黄河流域金融发展,支持沿黄城市构建基于大数据和人工智能的绿色项目识别与动态评估平台,重点面向节能环保、水资源集约利用、生态修复等领域,提高绿色信贷投放精准度,降低绿色技术研发的融资约束。另一方面,要加大黄河流域创新人才的培养和引进力度,推动沿黄地区高校、职校和科研院所增设数字经济与绿色技术融合课程,联合重点企业共建实训基地,提升区域内人才在能源管理、碳核算、环境大数据等领域的应用能力,打造支撑绿色创新研发与转化的高水平团队。

最后,数字经济对黄河流域城市绿色创新的促进作用存在异质性,在黄河中下游地区、非资源型城市与省会(首府)城市更显著。因此,相关政策需精准识别不同区域、不同城市类型的特点与需求,实施分类引导的差异化策略。一方面,对于资源型城市及多数非省会(首府)城市,政策重点应在于夯实基础、破解瓶颈。需着力支持其突破传统路径依赖,加大数字基础设施与绿色技术研发的专项投入,推动数字技术应用于传统产业的节能降耗改造。另一方面,对于黄河中下游城市、非资源型城市与省会(首府)城市,应充分发挥其优势,强化引领与融合。推动人工智能、大数据等数字技术与绿色技术深度融合,在绿色产品研发、循环经济模式等领域形成创新策源。特别是郑州、济南、西安等核心城市,需强化其区域辐射功能,通过共建研发平台、共享数据资源、共构绿色产业链等方式,带动周边资源型城市及中小城市协同发展,从而提升整个黄河流域绿色创新的系统效能。

### 参考文献:

- [1] 李达,林龙圳,林震,等.黄河流域生态保护和高质量发展的EKC检验[J].生态学报,2021,41(10):3965-3974.

- [2] 孙继琼. 黄河流域生态保护与高质量发展的耦合协调: 评价与趋势[J]. 财经科学, 2021(3): 106-118.
- [3] 张云飞, 李娜. 习近平生态文明思想的系统方法论要求: 坚持全方位全地域全过程开展生态文明建设[J]. 中国人民大学学报, 2022, 36(1): 1-10.
- [4] 张明, 赵蓉. 黄河流域高质量发展目标下价值链融合对区域协调发展的影响研究[J]. 人民黄河, 2023, 45(5): 24-29.
- [5] Huang Y, Wang Y. How does high-speed railway affect green innovation efficiency?: a perspective of innovation factor mobility[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 265: 121623.
- [6] 裴梦迪, 刘乃全. 国家级城市群规划能否促进城市绿色创新?[J]. 现代经济探讨, 2024(6): 16-26.
- [7] 李政, 刘丰硕. 创新型城市试点能否提升城市绿色创新水平[J]. 社会科学研究, 2021(4): 91-99.
- [8] 郑威, 张义治. 绿色财政政策能否提升城市绿色创新效率: 新技术集聚与创新人才集聚双重视角[J/OL]. 科技进步与对策, 1-13[2025-12-03].
- [9] 马军杰, 杨晨, 王晔. 碳排放权交易政策对中国城市绿色创新的影响及其异质性分析[J]. 经济问题, 2025(1): 27-36.
- [10] Xin P, Zhao M, Bai Y. Does the belt and road initiative promote green innovation quality?: evidence from Chinese cities[J]. *Sustainability*, 2022, 14(10): 6060.
- [11] 丁佐琴, 千东必, 汪小龙. 贸易摩擦对城市绿色创新效率的影响研究: 基于盈利质量分析的视角[J]. 科研管理, 2025, 46(3): 160-169.
- [12] 陆菊春, 肖晓寒, 卞文婕. 知识产权保护与城市绿色创新: 赋能还是挤出: 以长三角与珠三角城市群为例[J]. 科技进步与对策, 2025, 42(6): 34-45.
- [13] Yuan H, Zhang T, Feng Y, et al. Does financial agglomeration promote the green development in China?: a spatial spillover perspective [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 237: 117808.
- [14] 纪玉俊, 张子琪. 制造业集聚如何影响城市绿色创新效率?[J]. 南京财经大学学报, 2024(4): 12-22.
- [15] 马宇佳. 土地资源错配与城市绿色技术创新[J]. 税务与经济, 2023(5): 82-90.
- [16] 杨春林, 郭爱君, 张永年. 数据要素市场化能否提升城市绿色创新效率: 基于数据交易平台建设的准自然实验[J]. 科技进步与对策, 2025, 42(19): 10-22.
- [17] 鲍鹏程. 数字经济、创新活跃度与城市绿色创新[J]. 统计与决策, 2023, 39(13): 16-21.
- [18] 李婧, 苏美雅. 数字经济、创新资源空间错配与城市绿色创新效率[J]. 研究与发展管理, 2025, 37(5): 79-91.
- [19] 毛其淋, 谢汇丰. 服务业开放与制造业企业绿色创新[J]. 数量经济技术经济研究, 2025, 42(10): 176-195.
- [20] 刘晶, 杨怡帆. 数据要素流动对区域协调发展的影响机理研究[J]. 管理学报, 2025, 38(3): 133-148.
- [21] 刘志彪, 严文沁. 从“世界工厂”到“智造强国”: 中国制造业转型的逻辑与策略[J]. 财经问题研究, 2025(11): 3-15.
- [22] 吕岩威, 张帅. 数字金融对绿色创新效率的影响及传导机制研究[J]. 金融论坛, 2022, 27(8): 52-62.
- [23] Nguyen D K, Sermpinis G, Stasinakis C. Big data, artificial intelligence and machine learning: a transformative symbiosis in favour of financial technology [J]. *European Financial Management*, 2023, 29(2): 517-548.
- [24] 顾海峰, 童晓力. 银行数字化转型、银企协同与企业期限错配风险[J]. 经济理论与经济管理, 2025, 45(8): 72-91.
- [25] 刘心怡, 吴非, 叶显. 金融科技对企业融资约束的影响: 结构优化、机制检验与金融监管效应差异[J]. 金融论坛, 2022, 27(7): 22-31.
- [26] 刁海璨, 张延群. 碳排放交易、基础研究与实质性绿色创新[J]. 经济管理, 2025, 47(7): 107-124.
- [27] Tang K, Wang Y, Wang H. The impact of innovation capability on green development in China's urban agglomerations [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2024, 200: 123128.
- [28] 孙伟增, 毛宁, 兰峰, 等. 政策赋能、数字生态与企业数字化转型: 基于国家大数据综合试验区的准自然实验[J]. 中国工业经济, 2023(9): 117-135.
- [29] 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.
- [30] Hansen B E. Sample splitting and threshold estimation [J]. *Econometrica*, 2000, 68(3): 575-603.
- [31] 王珍愚, 曹瑜, 林善浪. 环境规制对企业绿色技术创新的影响特征与异质性: 基于中国上市公司绿色专利数据[J]. 科学学研究, 2021, 39(5): 909-919.
- [32] 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): 65-76.
- [33] 苏孜, 周德良, 李浩. 数字经济对黄河流域产业结构转型升级的影响[J]. 中国沙漠, 2025, 45(5): 161-171.
- [34] 韦施威, 杜金岷, 潘爽. 数字经济如何促进绿色创新: 来自中国城市的经验证据[J]. 财经论丛, 2022(11): 10-20.
- [35] 鹿洪源, 马婕, 陈旭东. 多主体共治视角下财政生态转移支付的民生与环境协同激励效应: 以跨省流域横向生态补偿机制为例[J]. 经济经纬, 2025, 42(4): 16-31.
- [36] 龚梦琪, 刘海云, 姜旭. 中国低碳试点政策对外商直接投资的影响研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(6): 50-57.
- [37] 戴翔, 华笑焯, 林金官. 环境规制、绿色全要素生产率与经济增长: 人与自然和谐共生的经济学逻辑[J]. 经济纵横, 2025(3): 66-86.
- [38] 吴玉彬, 何非洋, 王永瑜, 等. 基于冰冻圈背景的中国西部五省(区)旅游生态效率测度及其影响因素分析[J]. 冰川冻土, 2024, 46(1): 325-334.
- [39] 许英达, 胡彦迪. 能源转型政策与城市经济韧性: 基于示范城市的经验证据[J]. 统计与决策, 2025, 41(17): 58-63.
- [40] 王欣亮, 杜壮壮, 刘飞. 大数据发展、营商环境与区域创新绩效[J]. 科研管理, 2022, 43(4): 46-55.

## Digital economy empowering urban green innovation in the Yellow River Basin

Wu Yubin<sup>a</sup>, Li Yue<sup>a</sup>, Chen Jiachuang<sup>a</sup>, Zhang Hongrui<sup>b</sup>

(*a.School of Accounting / b.School of Marxism, Lanzhou University of Finance and Economics, Lanzhou 730020, China*)

**Abstract:** Improving the green innovation level of cities in the Yellow River Basin is an important measure to implement the high-quality development strategy. In order to explore the new kinetic energy to improve the green development ability of cities in the Yellow River Basin, this paper takes the panel data of 61 prefecture-level cities in the Yellow River Basin from 2000 to 2023 as a sample, and systematically discusses the enabling effect of the digital economy on the green innovation of cities in the Yellow River Basin. The study found that the digital economy has a significant positive impact on urban green innovation in the Yellow River Basin. This conclusion is still valid after a series of endogenous analysis and robustness tests. Mechanism analysis shows that digital economy promotes urban green innovation by improving regional financial development level and human capital level respectively. Further analysis shows that digital economy has a non-linear impact on urban green innovation in the Yellow River Basin. Specifically, when the upgrading of industrial structure exceeds the threshold value from low to high, the effect of digital economy on urban green innovation in the Yellow River Basin changes from negative to positive. In addition, the promotion effect of digital economy on urban green innovation in the Yellow River Basin is more significant in non-resource-based cities and provincial capital cities in the middle and lower reaches of the Yellow River. The research conclusions not only reveal the enabling effect of digital economy on urban green innovation in the Yellow River Basin, but also provide a useful reference for promoting green transformation and high-quality development in the Yellow River Basin.

**Key words:** digital economy; urban green innovation; Yellow River Basin; threshold effect