

# 中国城市数字经济与绿色技术创新 耦合协调测度与评价

赵卉心, 孟煜杰

(西安交通大学马克思主义学院, 陕西 西安 710049)

**摘要:** 选取中国 271 个地级及以上城市为样本, 构建了数字经济与绿色技术创新评价体系, 基于耦合协调度模型测度了数字经济与绿色技术创新的耦合协调度并分析其地区差异和空间效应。研究发现: 2013—2018 年中国城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度呈上升趋势, 但耦合协调度绝对值仅处于中度耦合类型, 耦合协调度显现出显著的区域与城市差异性; Dagum 基尼系数显示数字经济与绿色技术创新耦合协调度的地区差异在观察期内呈下降趋势, 七大区域耦合协调度的地区差异主要来源于超变密度, 不同类型城市耦合协调度的地区差异主要来源于组间差异; Moran 指数显示数字经济与绿色技术创新耦合协调度存在显著的空间效应, 且此种空间效应存在显著的区域差异。最后, 基于研究结论提出相应的政策建议。

**关键词:** 数字经济; 绿色技术创新; 耦合协调

中图分类号: F061.5

文献标识码: A

文章编号: 1005 - 0566(2022)09 - 0097 - 11

## Coupling coordination measurement and evaluation of urban digital economy and green technology innovation in China

ZHAO Huixin, MENG Yujie

(School of Marxism, Xi'an JiaoTong University, Shaanxi 710049, China)

**Abstract:** An evaluation system of digital economy and green technology innovation was constructed based on 271 cities at prefecture-level and above in China. The coupling coordination degree model was used to measure the coupling coordination degree of digital economy and green technology innovation, and the regional differences and spatial effects were analyzed. The results show that the coupling coordination degree of urban digital economy and green technology innovation in China shows an upward trend from 2013 to 2018, but the absolute value of coupling coordination degree is only in the moderate coupling type, and the coupling coordination degree shows significant regional and urban differences. The Dagum Gini coefficient shows that the regional differences of coupling coordination degree between digital economy and green technology innovation show a downward trend during the observation period. The regional differences of coupling coordination degree of seven regions mainly come from the super-variable density, and the regional differences of coupling coordination degree of different types of cities mainly come from the inter-group differences. Moran index shows that the coupling coordination degree of digital economy and green technology innovation has significant spatial effect, and this spatial effect has significant regional differences. Finally, corresponding policy suggestions are put forward based on the research conclusions of this paper.

**Key words:** digital economy; green technology innovation; the coupling coordination

收稿日期: 2022-04-07 修回日期: 2022-09-13

基金项目: 教育部重大课题攻关项目“社会主要矛盾变化下人民对美好生活需要的内涵研究”(181ZD010)。

作者简介: 赵卉心(1991—), 女, 陕西西安人, 西安交通大学马克思主义学院博士研究生, 研究方向为数字经济与政治经济学。

改革开放以来,中国经济凭借后发优势及人口红利获得了跨越式发展,创造了人类发展历史上举世瞩目的伟大奇迹。然而,进入新时代后,经济发展进入新常态,中国经济发展面临了产业结构不合理、创新动力不足、区域发展不平衡等问题。对此,以习近平同志为核心的党中央提出了高质量发展的重大论断,新发展理念明确提出要坚持绿色发展、创新发展,党的十九届五中全会建议指出的“以推动高质量发展为主题,深化创新驱动战略,推动传统产业高端化、智能化、绿色化”,为我国经济发展指明路径与方式。传统发展方式同样面临着发展动力不足的问题,为了驱动绿色发展和创新发展,必须转变发展方式,探寻新发展动能。以数字经济为代表的新一轮技术革命引领人类社会进入了数字经济时代,数字技术与经济社会各领域融合的广度和深度不断深化,在激发消费、拉动投资、创造就业、绿色发展等方面发挥了重要作用<sup>[1]</sup>。根据《中国数字经济发展白皮书》,2020 年中国数字经济规模已经突破 39.2 万亿元,占 GDP 比重达到 38.6%,对经济增长贡献率为 67.7%。数字经济深刻改变了创新要素的组合方式,降低了创新交易与契约成本和认知差异等,从而提高企业创新能力<sup>[2]</sup>。以大数据、人工智能、互联网等为代表的数字技术正深刻改变传统生产方式和创新方式,成为驱动我国经济绿色创新发展的全新动力。数字技术所具有的高度智能等优点,能为绿色技术创新提供有利环境支撑和要素供给<sup>[3]</sup>。数字经济与绿色创新发展将成为中国经济发展的主流。因此,深入探讨二者间的相互作用关系对经济发展政策制定具有重要意义。

数字经济具有多种不同表现形式,比如数字金融、人工智能、大数据、互联网等,学者分别从不同角度分析了数字经济与绿色技术创新的关系。钟廷勇等<sup>[4]</sup>利用中国 A 股上市公司的数据,证明了数字金融能显著促进企业绿色技术创新,缓解融资约束和提升城市财富是数字金融助力企业绿色技术创新发展的主要机制,而且数字经济与绿色技术创新的关系具有一定的地区差异。成琼文等<sup>[5]</sup>以中国上市制造业企业数据为样本,研究发

现数字技术应用对绿色技术创新有显著的倒“U”型影响,而且还证实了经济不确定在二者关系中具有显著的调节作用,并分析了不同性质政策对数字经济与绿色技术创新关系调节作用的差异性。郭丰等<sup>[6]</sup>以中国 223 个城市数据为研究样本,认为数字经济发展能显著促进了城市绿色技术创新水平的提升,且数字经济对城市绿色技术创新的正向促进作用具有异质性,在东部地区、高人力资本地区和高科技研发投入地区数字经济对城市绿色技术创新的作用更显著。陈芳等<sup>[7]</sup>基于长三角城市群的面板数据研究发现,人工智能技术显著提高了城市绿色发展效率且是通过结构效应、创新效应和人力资本效应 3 种途径对城市的绿色发展产生影响,其中人力资本效应起主导作用。宋德勇等<sup>[8]</sup>的研究结果表明企业的数字化能够显著促进企业绿色技术创新,企业数字化主要通过提升企业的信息共享水平和知识整合能力从而促进企业绿色技术创新,数字经济对企业绿色技术创新影响的大小与地区环保投资和环境规制水平有关。伦晓波等<sup>[9]</sup>指出数字政府有利于市场更好地发挥其在经济发展中的作用,激发数字经济的发展潜力,进而赋能绿色技术创新。郭炳南等<sup>[10]</sup>基于中国 282 个城市的面板数据研究表明,数字经济能显著促进城市绿色技术创新,而且能进一步带来城市产业结构合理化和产业结构高级化发展。

现有文献已经证实数字经济发展能显著提升地区绿色技术创新水平,那么绿色技术创新是否也能促进数字经济水平的提升呢?刘仁厚等<sup>[11]</sup>基于创新驱动发展是新时代经济高质量发展的客观要求,是未来经济社会发展的主要趋势,且在碳达峰、碳中和战略背景下,绿色技术创新将在社会生产生活中扮演重要角色。丁仲礼<sup>[12]</sup>认为绿色技术创新驱动发展将会带来经济社会的大转型,需要以“技术为王”在广泛领域带来大变革。王志刚<sup>[13]</sup>提出传统路径依赖的技术进步难以在广大社会层面带来全面改革,需要一场由科技革命引起的经济、社会、环境的重大变化,其意义不亚于三次工业革命。韩兆安等<sup>[14]</sup>强调绿色技术创新发展

是对社会全面转型的需求,是对新一轮科技革命的需求,数字经济作为新一轮科技革命的主要形式,将会通过与农业、工业、制造业和服务业的深度融合带来经济社会的全面改革,绿色技术创新对数字经济技术的强大需求将为数字经济提供广阔的应用场景和市场需求,助力数字经济快速发展。此外,在创新发展理念驱动下,教育和科研获得更大的重视,有利于人力资本的提升和积累,从而为数字经济发展提供充足的人力资源和技

术支撑<sup>[15-16]</sup>。综上所述,数字经济与绿色技术创新之间存在相关促进的协同关系,那么数字经济与绿色技术创新的协同程度如何?二者的协同关系是否存在地区差异和空间效应?这些问题在已有文献中尚不能找到答案。因此,本文选取中国城市数据为研究样本,探究数字经济发展与绿色技术创新耦合协调发展的程度并分析地区差异和空间效应。相对于已有文献,本文的边际贡献可能有:第一,采用中国地级及以上城市数据,从系统论视角全面测度中国数字经济与绿色技术创新的耦合协调度,有利于对数字经济与绿色技术创新的协同发展关系进行全面的认识和评价,提供了不同城市数字经济与绿色技术创新耦合协调发展水平,为城市制定行之有效的发展政策,更好地利用数字经济和绿色技术创新实现高质量发展提供决策依据;第二,将城市样本按所属区域、城市类型等不同进行划分,分析数字经济与绿色创新发展协同关系的地区差异和差异来源,有利于国家从整体战略层面了解中国数字经济与绿色技术创新的发展水平,为实施差异化发展战略,缩小地区间差距以实现均衡发展提供依据;第三,利用莫兰指数测度数字经济与绿色创新发展耦合协调的空间效应,着重讨论不同区域的空间关联效应,为城市间如何在数字经济和绿色技术创新展开合作提供支持,有利于城市间进行“强强合作”和“互补发展”。

## 一、研究设计

### (一) 研究方法

1. 耦合协调度测度。耦合协调度描述了两个或两个以上系统相互作用影响的程度,包括耦合

度和协调度两方面的内容,耦合度反映了系统间的相互关联程度,耦合度越高,系统间相关性越强;协调性则表示子系统间相互促进的作用程度,协调度越高,系统间正向促进作用强。耦合协调度则融合了耦合度和协调度,能同时刻画系统间的发展与协调水平<sup>[17-18]</sup>。本文采用耦合协调模型来测度中国 271 个地级及以上城市数字经济与绿色技术创新的协同关系。耦合协调度的计算步骤如下。

(1) 指标数据标准化。 $k_{xi}$  和  $k_{yi}$  分别为数字经济系统和绿色技术创新系统第  $i$  个指标的原始数值, $i$  的取值为  $1, 2, \dots, n$ 。由于指标数据具有不同的单位量纲,为增强指标数据的可比性,应进行标准化处理,处理方式如下, $k'_{xi}$  为标准化后的指标数据。

当  $k_{xi}$  为正向指标时

$$k'_{xi} = \frac{k_{xi} - \min(k_{xi})}{\max(k_{xi}) - \min(k_{xi})},$$

当  $k_{xi}$  为负向指标时

$$k'_{xi} = \frac{\max(k_{xi}) - k_{xi}}{\max(k_{xi}) - \min(k_{xi})}, \quad (1)$$

(2) 计算子系统综合发展水平。设  $w_{xi}$  和  $w_{yi}$  分别为数字经济系统和绿色技术创新系统第  $i$  个指标的权重,参考 Zhao 等<sup>[19]</sup>的研究方法,采用信息熵进行权重的确定。进而得到数字经济系统和绿色技术创新系统的综合发展水平:

$$M_x = \sum_{i=1}^n k'_{xi} \times w_{xi}$$

$$M_y = \sum_{i=1}^n k'_{yi} \times w_{yi} \quad (2)$$

(3) 计算耦合度和耦合协调度。多个系统间的耦合度模型如式(3)所示:

$$C = n [M_1 M_2 \cdots M_L / (M_1 + M_2 + \cdots + M_L)^L]^{1/L} \quad (3)$$

式中,  $C$  表示子系统间的耦合度,其取值范围为  $[0, 1]$ ,  $L$  表示子系统个数,当  $L=2$  时,有:

$$C_{xy} = 2 [M_x M_y / (M_x + M_y)^2]^{1/2} \quad (4)$$

式中,  $C_{xy}$  表示数字经济系统和绿色技术创新系统

间的耦合值。耦合度只能反映数字经济与绿色技术创新间相互作用的大小,但不能表征二者在高水平上相互促进还是低水平上相互制约。因此,引入耦合协调度模型,以准确评价数字经济系统与绿色技术创新系统的互动协调关系。耦合协调度模型如下:

$$D_{xy} = (C_{xy} \times T_{xy})^{1/2}$$

$$T_{xy} = \alpha M_x + \beta M_y \quad (5)$$

式中,  $D_{xy}$  表示数字经济和绿色技术创新的耦合协调度值,取值范围为  $[0, 1]$ ,  $M_x$  和  $M_y$  分别为数字经济和绿色技术创新的综合得分,  $\alpha$  和  $\beta$  分别为待定系数,本文认为数字经济与绿色技术创新同样重要,所以  $\alpha$  和  $\beta$  均设定为 0.5。

2. 地区差异测度。本文采用 Dagum 基尼系数分析数字经济与绿色技术创新耦合协调度的地区差异并进行差异分解分析。根据 Dagum<sup>[20]</sup> 对基尼系数的定义,将研究对象划分为  $k$  组,共包含  $n$  个研究对象,  $a, b, \dots$  代表不同的分组,  $n_a, n_b, \dots$  表示各小组内研究对象的个数,  $y_{ai}, y_{bj}, \dots$  表示组内任一研究对象的变量数据,本文中指各城市的数字经济与绿色技术创新耦合协调度。基尼系数可分解为 3 个部分:地区内(组内)差异贡献 ( $G_w$ )、地区间(组间)差异的贡献 ( $G_{nb}$ ) 和超变密度的贡献 ( $G_t$ ), 3 个部分的关系满足:  $G = G_w + G_{nb} + G_t$ 。一般来说,基尼系数越小表明城市间耦合协调水平越接近,协同性越强,具体计算过程为:

$$G = \frac{1}{2n^2y} \sum_{a=1}^k \sum_{b=1}^k \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_b} |y_{ai} - y_{bj}| \quad (6)$$

$$G_{aa} = \frac{1}{2n^2y} \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_b} |y_{ai} - y_{aj}| \quad (7)$$

$$G_{ab} = \frac{1}{n_a n_b (y_a + y_b)} \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_b} |y_{ai} - y_{bj}| \quad (8)$$

$$G_w = \sum_{a=1}^k G_{aa} p_a s_a \quad (9)$$

$$G_{nb} = \sum_{a=2}^k \sum_{b=1}^{a-1} G_{ab} (p_b s_a + p_a s_b) D_{ab} \quad (10)$$

$$G_t = \sum_{a=2}^k \sum_{b=1}^{a-1} G_{ab} (p_b s_a + p_a s_b) (1 - D_{ab}) \quad (11)$$

$$h_{ab} = \int_0^{\infty} dF_a(y) \int_0^y (y-x) dF_b(x) \quad (12)$$

$$q_{ab} = \int_0^{\infty} dF_b(y) \int_0^y (y-x) dF_a(x) \quad (13)$$

式中,  $p_a = n_a/n, s_a = n_a \bar{y}_a / (n \bar{y})$ ,  $a = 1, 2, \dots, k$ ,  $D_{ab}$  表示组间耦合协调度的相对影响,  $D_{ab} = (h_{ab} - q_{ab}) / (h_{ab} + q_{ab})$ 。  $h_{ab}$  表示区域间耦合协调度的差值,可理解为区域  $a$  和区域  $b$  中所有  $y_{ai} - y_{aj} > 0$  样本值加总的数学期望;  $q_{ab}$  表示超变一阶矩,可理解为区域  $a$  和区域  $b$  中  $y_{ai} - y_{aj} < 0$  样本值加总的数学期望,其计算方式如式(12)和式(13)。

3. 空间相关性测度。数字经济具有高度的开源性和共享性,能有效降低区域间合作成本,为区域间协同发展提供更多机会。数字经济与绿色技术创新的耦合协调度可能存在空间上的依赖性 or 自相关性。为此,采用 Moran's I 测度耦合协调度的空间自相关性。计算公式如下:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{s^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (14)$$

式中,  $s^2$  为样本方差,  $w_{ij}$  为空间权重矩阵的  $(i, j)$  元素,参考葛鹏飞等<sup>[21]</sup>的研究方法,用地理距离的倒数表示。莫兰指数的取值范围为  $[-1, 1]$ , 大于 0 表示正自相关,即耦合协调度的高值与高值相邻、低值与低值相邻; 小于 0 表示负相关,即耦合协调度高值与低值相邻。等于 0 时,表示不相关,耦合协调度的大小在空间上随机分布,不存在空间相关性。

### (二) 指标选取说明

1. 数字经济。数字经济是近年来的研究热点,学者们就数字经济本质、测度、对经济高质量发展的作用等展开了广泛研究。许宪春等<sup>[22]</sup> 基于国际比较视角测算了中国数字经济增加值; 刘军等<sup>[23]</sup> 基于信息化发展、互联网发展和数字交易 3 个维度构造了中国省际数字经济发展指数。赵涛等<sup>[1]</sup> 构建了包含互联网普及率、相关从业人员情况、相关产出情况和移动电话普及率和数字金融普惠发展的数字经济评价体系,测度了中国 222 个

地级及以上城市的数字经济发展水平。本文借鉴该方法,采用百人中互联网宽带接入用户数表征互联网普及率,采用计算机服务和软件业从业人员占城镇单位从业人员比重表征互联网相关从业人员人数,采用人均电信业务总量表征互联网相关产出,采用百人中移动电话用户数表征移动互联网用户数,前4个指标的原始数据均来自《中国城市统计年鉴》,数字普惠金融发展数据由北京大学数字金融研究中心和蚂蚁金服集团共同编制<sup>[24]</sup>。构建城市数字经济发展指标体系后,对指标数据进行标准化处理,然后采用信息熵进行权重的确定并计算出2013—2018年271个城市的数字经济发展指数<sup>①</sup>。

2. 绿色技术创新发展。关于绿色技术创新,原毅军等<sup>[25-26]</sup>也根据不同的研究需求构建了不同的测度方式,主流的测度方式包含两种:一是选取与绿色相关的企业的专利申请受理量进行衡量;二是王旭等<sup>[27]</sup>在考虑创新效率的基础上,从成本角度兼顾企业工艺导向和产品导向的双重目标,采用包含非期望产出的Super-SBMc模型进行衡量。此外,李婉红等<sup>[28]</sup>采用研发投入与三废排放量比值来衡量企业绿色技术创新水平。本文采用第一种测度绿色技术创新的方式,选择绿色专利申请数来衡量城市的绿色技术创新水平。根据世界知识产权局(WIPO)发布的绿色专利国际专利分类(IPC)编码,对本文所选样本城市的专利申请情况进行匹配,从而获得城市的绿色专利申请量,由于城市间绿色技术创新专利差距较大,部分城市数据为0,所以对所有数据进行加1处理,并对所有数据进行对数化和标准化处理。数字经济与绿色技术创新的指标构建及描述性统计见表1和表2。

**(三) 耦合协调类型划分**

参考张旭等<sup>[29]</sup>的研究思路将子系统间耦合协调关系根据耦合协调度的大小进行类型划分,具体分为低度耦合协调、中度耦合协调、高度耦合协调和

极度耦合协调几种类型,具体划分标准如表3所示。

**表1 数字经济与绿色技术创新指标体系**

	子系统	准则层	指标层	指标属性
	数字经济与绿色技术创新耦合协调系统	数字经济系统	互联网普及率	每百人互联网用户数
互联网相关从业人员数			计算机服务和软件从业人员占比	+
互联网相关产出			人均电信业务总量	+
移动互联网用户数			每百人移动电话用户数	+
数字金融普惠发展			中国数字普惠金融指数	+
绿色技术创新系统	绿色技术创新	绿色专利申请量	+	

**表2 数字经济与绿色技术创新综合得分的描述性统计**

数字经济				绿色技术创新			
地区	平均值	最大值	最小值	地区	平均值	最大值	最小值
华中	0.063	0.208	0.018	华中	0.122	0.327	0.063
西南	0.066	0.229	0.013	西南	0.138	0.301	0.078
东北	0.076	0.195	0.021	华东	0.144	0.541	0.07
西北	0.087	0.280	0.025	华南	0.151	0.647	0.068
华北	0.089	0.333	0.034	东北	0.155	0.253	0.092
华东	0.099	0.496	0.017	西北	0.159	0.294	0.089
华南	0.129	0.719	0.021	华北	0.16	0.598	0.067

**表3 数字经济与绿色技术创新耦合协调类型划分**

协调度值	0 ≤ D ≤ 0.3	0.3 < D ≤ 0.5	0.5 < D ≤ 0.8	0.8 < D ≤ 1.0
基本类型	低度耦合协调	中度耦合协调	高度耦合协调	极度耦合协调

**二、数字经济与绿色技术创新耦合协调测度**

**(一) 整体特征**

基于本文构建的耦合协调模型,采用2013—2018年中国271个地级及以上城市数据为样本,测算了数字经济与绿色技术创新的耦合协调度,结果如表4所示。其中,  $M_x$  表示城市数字经济系统的综合得分,  $M_y$  表示城市绿色技术创新的综合得分。  $M_x / M_y$  表示数字经济系统与绿色技术创新系统得分的比值,用来度量数字经济相对于绿色技术创新的领先或滞后程度。  $C_{xy}$  表示数字经济系统和绿色技术创新系统的耦合度,  $D_{xy}$  表示数字经济系统和绿色技术创新间的耦合协调度,其值越大表示二者的耦合协调水平越高。

由表4可知,中国城市绿色技术创新系统综合得分一直高于数字经济系统综合得分,说明城市

<sup>①</sup> 因为数字普惠金融指数只更新到2018年,基于指标构建的数据可获得性原则,为了保证城市数字经济发展指数的准确性,本文将样本时间的取值区间定为2013—2018年。

绿色技术创新系统一直领先于数字经济系统,但是,二者的比值在观察期内一直呈上升趋势,可以看出数字经济与绿色技术创新系统的发展差距正不断缩小。数字经济与绿色技术创新的耦合度处于较高水平,观察期内的平均值为 0.9548,说明数字经济与绿色技术创新具有高度的相关性,且相关性逐年增强。数字经济与绿色技术创新耦合协调度在观察期内呈稳步上升态势,说明数字经济与绿色技术创新呈现出相互促进、相互支撑效应,且二者的相互促进作用逐渐增大。

表 4 数字经济与绿色技术创新耦合协调关系

年份	$M_x$	$M_y$	$M_x/M_y$	$C_{xy}$	$D_{xy}$	耦合协调类型
2013	0.0701	0.1441	0.4865	0.9384	0.317	中度耦合协调
2014	0.0769	0.1509	0.5096	0.9458	0.3282	中度耦合协调
2015	0.0826	0.1618	0.5105	0.946	0.34	中度耦合协调
2016	0.0913	0.1716	0.5321	0.9522	0.3538	中度耦合协调
2017	0.102	0.1696	0.6014	0.9685	0.3627	中度耦合协调
2018	0.1157	0.1768	0.6544	0.9779	0.3782	中度耦合协调
平均值	0.0898	0.1625	0.5491	0.9548	0.3467	中度耦合协调

### (二) 数字经济与绿色技术创新耦合协调的区域差异

表 5 汇报了我国七大区域的数字经济与绿色技术创新的耦合协调度情况,可知区域间具有显著的差异。具体来看,华南地区数字经济与绿色技术创新耦合协调度平均值最高,耦合协调度值由 2013 年的 0.3285 上升到 2018 年的 0.3889,华南地区耦合协调度平均值是七大区域中唯一超过 0.35 的地区;华北地区和华东地区数字经济与绿色技术创新耦合协调度值仅次于华南地区,华北地区由 2013 年的 0.316 上升到 2018 年的 0.3764,耦合协调度平均值在七大区域中第二;华东地区耦合协调度平均值为 0.345,位列七大区域第三;西北地区数字经济与绿色技术创新耦合协调度上升速度最快,由 2013 年的 0.3082 上升到 2018 年的 0.3844,上升幅度为 24.7%,耦合协调度平均值为 0.3421,在七大区域中排名第四;东北和西南地区数字经济与绿色技术创新耦合协调度平均值分列第五和第六位,平均值分别为 0.3352 和 0.309;华

中地区数字经济与绿色技术创新耦合协调度最低,平均值为 0.297。从耦合协调度变化趋势来看,七大区域的数字经济与绿色技术创新耦合协调度均呈现出不同程度的上升,说明数字经济与绿色技术创新协同作用逐渐增强;从绝对值来看,除华中地区外,区域耦合协调度值均处于中度耦合协调类型,说明数字经济与绿色技术创新的耦合协调水平总体处于较低水平。

表 5 中国七大区域数字经济与绿色技术创新耦合协调度

年份	东北地区	华东地区	华北地区	华中地区	华南地区	西南地区	西北地区
2013	0.312	0.3148	0.316	0.2635	0.3285	0.2666	0.3082
2014	0.3159	0.3237	0.3268	0.2768	0.3416	0.2822	0.3211
2015	0.3236	0.3363	0.3397	0.2905	0.3523	0.3032	0.3349
2016	0.3423	0.3534	0.3557	0.3097	0.3606	0.3181	0.3439
2017	0.3525	0.3642	0.3641	0.3113	0.3707	0.3328	0.3603
2018	0.365	0.3774	0.3764	0.3304	0.3889	0.3511	0.3844
平均值	0.3352	0.345	0.3465	0.297	0.3571	0.309	0.3421
样本量	204	468	198	252	222	180	102

### (三) 数字经济与绿色技术创新耦合协调的城市差异

参考葛鹏飞等<sup>[21]</sup>的研究方法,将 271 个样本城市分为不同等级城市,不同等级城市对应的耦合协调度不同<sup>②</sup>,结果见表 6,由测算结果可知,数字经济与绿色技术创新耦合协调度的城市间差异比区域间差异更为显著。其中,一线城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度平均值为 0.6396,达到高度耦合协调水平,观察期内耦合协调度由 2013 年的 0.6145 上升到 2018 年的 0.6702,上升幅度为 9.1%,是观察期内上升幅度最小的城市;新一线城市的数字经济与绿色技术创新耦合协调度平均值为 0.4685,属于中度耦合协调水平的中上游,观察期内耦合协调度由 2013 年的 0.4279 上升到 2018 年的 0.4977,上升幅度为 16.3%;二线城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度的平均值为 0.408,同样属于中度耦合协调水平,耦合协调度由 2013 年的 0.377 上升到 0.445,上升幅度为 18.1%;三线城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度的平均值为 0.3172,属于中度耦合协调

② 依据《2020 城市商业魅力排行榜》的结果。第一财经新一线城市研究所通过收集 170 个主流消费品牌的商业门店数据和 18 家各领域头部互联网公司的用户行为数据和数据机构的城市大数据,按照商业资源集聚度、城市枢纽性、城市人活跃度、生活方式多样性和未来可塑性五大维度指数来评估 337 个中国地级及以上城市,算法综合新一线城市研究所专家委员会打分的方式及主成分分析法综合得出最终结果,评选出一线城市、新一线城市、二线城市、三线城市、四线城市、五线城市。按此标准,本文对 271 个样本城市进行等级划分,结果为:一线城市 4 个,新一线城市 15 个,二线城市 30 个,三线城市 69 个,四线城市 80 个,五线城市 73 个。

水平,耦合协调度由 2013 年的 0.286 1 上升到 0.351 1,上升幅度为 22.7%;四线城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度的平均值为 0.305 9,是 6 个中等级城市中耦合协调度最低的城市,属于中度耦合协调水平,耦合协调度由 2013 年的 0.275 5 上升到 0.336,上升幅度为 22.0%;五线城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度的平均值为 0.3065,同样属于中度耦合协调水平,耦合协调度由 2013 年的 0.276 上升到 0.343,上升幅度为 24.3%,是上升幅度最高的城市。

表 6 中国不同等级城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度

年份	一线城市	新一线城市	二线城市	三线城市	四线城市	五线城市
2013	0.614 5	0.427 9	0.377	0.286 1	0.275 5	0.276
2014	0.624 1	0.448 8	0.385 1	0.297 3	0.287 5	0.283 7
2015	0.629 9	0.473 6	0.396 6	0.309 8	0.298 9	0.297 4
2016	0.652 1	0.476 9	0.414 9	0.324 8	0.314 5	0.314 2
2017	0.646 6	0.486	0.429 1	0.333 9	0.322 8	0.324 9
2018	0.670 2	0.497 7	0.445	0.351 1	0.336	0.343
平均值	0.639 6	0.468 5	0.408	0.317 2	0.305 9	0.306 5
样本量	24	90	180	414	480	438

### 三、数字经济与绿色技术创新耦合协调度的地区差异

通过对中国不同区域和不同类型城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度的分析可知,数字经济与绿色技术创新耦合协调度存在显著的地区差异,因此,为了对地区差异进行准确度量并分析其差异来源,采用 Dagum 基尼系数方法分析数字经济与绿色技术创新耦合协调度的地区差异进行度量并进行分解。

#### (一) 数字经济与绿色技术创新耦合协调度区域差异

采用 Matlab 2017 软件测算出中国七大区域数字经济与绿色技术创新耦合协调度的基尼系数,结果如表 7 所示。由测算结果所知,中国七大区域数字经济与绿色技术创新耦合协调度的总体基尼系数由 2013 年的 0.156 5 下降到 0.137,下降幅度为 12.5%。说明数字经济与绿色技术创新耦合协调度的地区差异逐渐缩小,区域间数字经济与绿色技术创新耦合协调度在观察期内变得更加均衡。

1. 组内差异。从组内差异来看,观察期内七大区域数字经济与绿色技术创新耦合协调度的组

内基尼系数均呈现为不同程度的下降,说明组内差异呈缩小态势。分地区来看,东北地区组内差异基尼系数由 2013 年的 0.083 3 下降到 2018 年的 0.065 9,下降幅度为 20.89%,是七大区域中组内基尼系数下降幅度最大的区域;其次是西南地区,组内差异基尼系数由 2013 年的 0.139 2 下降到 2018 年的 0.116 8,下降幅度为 16.09%;华中地区组内差异基尼系数由 2013 年的 0.122 8 下降到 2018 年的 0.108 5,下降幅度为 11.65%;华南地区组内差异基尼系数由 2013 年的 0.229 1 下降到 2018 年的 0.203 7,下降幅度为 11.08%;西北地区组内差异基尼系数由 2013 年的 0.137 6 下降到 2018 年的 0.127 2,下降幅度为 7.56%;华东地区组内差异基尼系数由 2013 年的 0.145 6 下降到 2018 年的 0.135 3,下降幅度为 7.07%。从组内差异基尼系数的绝对值的平均值来看,华南地区组内差异基尼系数最大,平均值为 0.228 4,组内差异最显著,其次是华东地区的 0.148 7,组内差异基尼系数最小的地区是东北地区,平均值为 0.075。

2. 组间差异。观察期内,中国七大区域数字经济与绿色技术创新耦合协调度的区域间基尼系数均呈缩小趋势,说明区域间差异逐渐缩小。具体来看,西南与东北地区的组间基尼系数下降幅度最大,由 0.148 6 下降到 0.101 2,下降幅度为 31.90%;其次是华中与东北地区的组间基尼系数,由 0.143 1 下降到 0.109 8,下降幅度为 23.27%;区域间基尼系数下降幅度最小的为华东与华北,组间基尼系数由 0.138 1 下降到 0.132 6,下降幅度仅为 3.98%;其次是华北和华南地区组间基尼系数,由 0.189 5 下降到 0.181 6,下降幅度为 4.17%。从组间基尼系数绝对值的平均值来看,组间差异最大的地区是华东和华南地区,组间基尼系数平均值为 0.196 4,其次是西南与华南地区,组间基尼系数平均值为 0.196 0;组间差异最小的地区是华北与东北地区,组间基尼系数平均值为 0.106 4,其次是西北与东北地区,组间基尼系数平均值为 0.114 1。

3. 差异来源。表 7 最后 3 行汇报了数字经济与绿色技术创新耦合协调度地区差异的分解情况,分别为组内差异贡献率、组间差异贡献率和超

变密度。由分解结果来看,观察期内数字经济与绿色技术创新耦合协调度地区差异主要来源于超变密度,超变密度对地区差异的贡献为 56.34%,组间差异对地区差异贡献率的平均值为 26.13%,组内差异对地区差异的平均贡献率为 17.54%。

表 7 七大区域数字经济与绿色技术创新耦合协调关系差异分析

年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
区域内差距	总体	0.156 5	0.165 4	0.156 8	0.157	0.143 5	0.137
	华东	0.145 6	0.165	0.153 7	0.151 3	0.141 2	0.135 3
	华北	0.127 2	0.143 3	0.138 8	0.135 1	0.113 3	0.123 4
	华中	0.122 8	0.125 1	0.128 2	0.130 5	0.112 3	0.108 5
	华南	0.229 1	0.246 2	0.228 9	0.246 8	0.215 8	0.203 7
	西南	0.139 2	0.138 5	0.141 4	0.125 7	0.117 1	0.116 8
	西北	0.137 6	0.136	0.130 7	0.133 4	0.131 8	0.127 2
	东北	0.083 3	0.078 8	0.072 7	0.079	0.072 4	0.065 9
区域间差距	华东与华北	0.138 1	0.156 6	0.149 4	0.144 5	0.129 6	0.130 5
	华东与华中	0.162 4	0.167 9	0.161 4	0.160 2	0.153 2	0.140 7
	华东与华南	0.195 8	0.212 4	0.197 3	0.209 5	0.187 4	0.175 9
	华东与西南	0.167 2	0.169 9	0.159 9	0.152 1	0.138	0.131 3
	华东与西北	0.144 1	0.152 6	0.144 5	0.144 2	0.137 8	0.133
	华东与东北	0.12	0.131 6	0.123 6	0.121 3	0.113 3	0.106 9
	华北与华中	0.155 8	0.160 6	0.157 1	0.154 7	0.143 7	0.135 7
	华北与华南	0.189 5	0.206 5	0.194 1	0.206 3	0.181 8	0.173 5
	华北与西南	0.160 9	0.163 1	0.156 8	0.146	0.127	0.126 4
	华北与西北	0.136 3	0.143 7	0.139 5	0.137 3	0.127 2	0.128 3
	华北与东北	0.108 6	0.115 5	0.110 5	0.110 3	0.095	0.098 3
	华中与华南	0.202 4	0.215 3	0.202 9	0.207 9	0.187 8	0.176 5
	华中与西南	0.132 1	0.133 1	0.136 9	0.129 8	0.120 8	0.117 8
	华中与西北	0.151 1	0.152 9	0.150 7	0.146 6	0.147	0.144 8
	华中与东北	0.143 1	0.135 3	0.126 9	0.127 9	0.123 9	0.109 8
	华南与西南	0.206 9	0.215 9	0.200 3	0.202 7	0.179 6	0.170 7
华南与西北	0.191 6	0.202 3	0.189 6	0.202 4	0.183 2	0.174 7	
华南与东北	0.178 9	0.19	0.175 6	0.190 8	0.170 7	0.157 2	
西南与西北	0.157 3	0.155 9	0.148 9	0.138 1	0.132 5	0.132 1	
西南与东北	0.148 6	0.137 8	0.129 1	0.12	0.108	0.101 2	
西北与东北	0.120 9	0.119	0.113 7	0.113 4	0.111 7	0.105 9	
贡献率	组内	17.65	17.97	17.82	17.23	17.33	17.21
	组间	26.34	27.83	27.55	23.23	25.97	25.84
	超变密度	56.01	54.2	54.63	59.54	56.7	56.95

(二) 数字经济与绿色技术创新耦合协调度城市差异

继续采用 Matlab 2017 软件软件测算中国不同等级城市的数字经济与绿色技术创新耦合协调度的地区差异,结果如表 8 所示。可知,数字经济与绿色技术创新耦合协调度总体基尼系数在观察期内同样呈下降趋势,说明数字经济与绿色技术创新耦合协调度的地区差异逐渐缩小,与按区域划分时的测算结果相同。下面将具体分析不同等级城市的组内差异、组间差异和差异分解。

1. 组内差异。与七大区域数字经济与绿色技术创新耦合协调度组内基尼系数的变化趋势不同,不同等级城市的组内基尼系数的变化趋势呈

现出较大的差异。一线城市组内基尼系数在观察期内呈上升趋势,由 2013 年的 0.065 1 上升到 2018 年的 0.069 7,上升了 7.07%,说明一线城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度的组内差异呈上升趋势。新一线、二线、三线、四线和五线城市组内基尼系数呈下降趋势,数字经济与绿色技术创新耦合协调度的组内差异降低。其中,新一线城市组内基尼系数下降幅度最大,由 2013 年的 0.115 3 下降到 2018 年的 0.083 4,下降幅度为 27.67%。二线、三线、四线和五线城市的组内基尼系数下降幅度分别为 13.2%、4.51%、7.06% 和 6.62%。从组间基尼系数的绝对值来看,三线城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度的组内差异最大,组内基尼系数平均值为 0.130 9,一线城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度的组内差异最小,组内基尼系数平均值为 0.078 3。

2. 组间差异。观察期内,所有城市的数字经济与绿色技术创新耦合协调度的组间差异均呈下降趋势,说明城市间数字经济与绿色技术创新耦合协调度差异正逐步减小。从变化率来看,三线和四线城市间组间基尼系数下降幅度最大,由 2013 年的 0.119 9 下降到 2018 年的 0.097 9,下降幅度为 18.35%,其次为三线与五线城市的组间基尼系数下降幅度最大,由 2013 年的 0.121 7 下降到 2018 年的 0.100 5,下降幅度为 17.42%。下降幅度最小的城市为新一线与四线城市,组间基尼系数由 2013 年的 0.262 5 下降到 2018 年的 0.253 6,下降幅度为 3.39%,其次为二线与四线城市,组间基尼系数由 2013 年的 0.195 6 下降到 2018 年的 0.186 3,下降幅度为 4.75%。从组间基尼系数的绝对值来看,一线与五线城市的组间基尼系数最大,观察期内平均值为 0.463,四线与五线城市的组间基尼系数最小,观察期内平均值为 0.091 4。

3. 差异分解。从城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度差异的分解结果来看,组间差异是其主要差异来源,观察期内组间差异对总体差异贡献率的平均值为 56.39%,组间差异贡献率上升了 0.70%,组内差异对总体差异的贡献率下降了 2.90%,平均贡献率为 15.91%。超变密度对总体差异的平均贡献率为 27.70%。



表 8 不同城市间数字经济与绿色技术创新耦合协调度差异分析

年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
区域内差距	总体	0.156 5	0.165 4	0.156 8	0.157 2	0.143 7	0.137 2
	一线城市	0.065 1	0.079 5	0.090 4	0.100 2	0.065 4	0.069 7
	新一线城市	0.115 3	0.125 7	0.103 9	0.104 5	0.094 5	0.083 4
	二线城市	0.106	0.116 7	0.109 8	0.109 4	0.100 8	0.104 6
	三线城市	0.137 1	0.151 8	0.137 7	0.128 1	0.117 6	0.113 2
	四线城市	0.095 6	0.096 7	0.087 3	0.092 5	0.084 8	0.076 2
	五线城市	0.099 7	0.096 9	0.092 1	0.096 2	0.088 5	0.085 2
区域间差距	一线与新一线	0.227 7	0.224 5	0.197 9	0.225 3	0.189 8	0.194 7
	一线与二线	0.288 7	0.309 1	0.296 6	0.312 6	0.264 1	0.264 5
	一线与三线	0.437 1	0.460 5	0.442 3	0.468 3	0.413 9	0.405 7
	一线与四线	0.458 6	0.481 8	0.464 9	0.490 8	0.435 9	0.433 5
	一线与五线	0.457 8	0.489 1	0.467 8	0.491 5	0.437 4	0.434 5
	新一线 with 二线	0.127 4	0.148 4	0.145 9	0.136 4	0.120 4	0.114 5
	新一线 with 三线	0.245 4	0.274 1	0.277 2	0.269 3	0.244 9	0.231 3
	新一线 with 四线	0.262 5	0.287 4	0.295 3	0.288 8	0.263 7	0.253 6
	新一线 with 五线	0.261 7	0.295 1	0.298 5	0.289 8	0.260 1	0.240 6
	二线与三线	0.186 8	0.198 5	0.188 8	0.190 7	0.179 4	0.175 3
	二线与四线	0.195 6	0.199 1	0.191 5	0.198 5	0.188 7	0.186 3
	二线与五线	0.195 1	0.205 7	0.195	0.200 6	0.186 5	0.175 7
	三线与四线	0.119 9	0.128 3	0.115 9	0.112 9	0.103 6	0.097 9
	三线与五线	0.121 7	0.129 4	0.118 5	0.114 5	0.105 1	0.100 5
	四线与五线	0.098	0.097 2	0.090 1	0.094 7	0.086 9	0.081 7
贡献	组内	15.34	15.97	15.86	16.48	16.03	15.78
	组间	55.34	57.31	54.68	58.32	57.76	54.95
	超变密度	29.32	26.72	29.46	25.2	26.21	29.27

#### 四、数字经济与绿色技术创新耦合协调度的空间效应分析

为了验证数字经济与绿色技术创新耦合协调关系是否存在空间效应,采用莫兰指数测算数字经济与绿色技术创新耦合协调度的空间相关性。数字经济与绿色技术创新耦合协调空间效应的整体结果如表 9 所示,七大区域的空间效应结果如表 10 所示。

##### (一) 整体空间效应

由表 9 的测算结果可知,观察期内,数字经济与绿色技术创新耦合协调的莫兰指数均通过了 1% 的显著性水平检验,说明数字经济与绿色技术创新耦合协调关系存在显著的空间效应,即数字经济与绿色技术创新耦合协调关系具有显著的空间溢出性,相邻区域间的数字经济与绿色技术创新耦合协调能够相互影响。观察期内莫兰指数呈上升趋势,说明数字经济与绿色技术创新耦合协调关系的空间溢出效应逐步增强。

表 9 数字经济与绿色技术创新耦合协调关系的空间效应

年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Moran's I	0.043 *** (4.394)	0.049 *** (4.211)	0.048 *** (5.038)	0.051 *** (5.432)	0.053 *** (5.871)	0.057 *** (5.351)

注: \*\*\* 表示 1% 有统计学意义;括号内为对应的 z 值。

##### (二) 分区域的空间效应

由表 10 可知,不同区域间数字经济与绿色技术创新耦合协调关系的空间效应具有显著的地区差异。华东和华南地区数字经济与绿色技术创新耦合协调关系的莫兰指数为正且均通过了 1% 显著性水平检验,说明数字经济与绿色技术创新耦合协调关系在两个区域内存在显著的空间溢出效应,莫兰指数值在整个观察期内变化较小,空间效应强度基本稳定。东北地区和华北地区的莫兰指数为正,但没有通过相应的显著性检验,说明该区域内数字经济与绿色技术创新耦合协调度高的城市相距较近,表现出一定的集聚现象;华北、西南和西北地区莫兰指数为负,也没有通过相应的显著性检验,说明该区域内耦合协调度较高的城市呈点状分布,相距较远。

表 10 分区域数字经济与绿色技术创新耦合协调关系的空间效应

年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018
东北	0.032 (0.244)	0.023 (1.345)	0.012 (0.873)	0.065 (0.455)	0.029 (0.384)	0.033 (0.25)
华北	-0.034 (-0.342)	-0.047 (-0.672)	-0.028 (-0.331)	0.034 (0.761)	-0.044 (-0.783)	-0.051 (-0.832)
华东	0.073 *** (5.232)	0.049 ** (3.421)	0.076 *** (3.192)	0.066 *** (4.554)	0.056 *** (6.432)	0.078 *** (4.232)
华中	0.045 (0.873)	0.098 (0.345)	0.033 (0.349)	0.032 (0.532)	0.076 (0.652)	0.032 (0.901)
西南	-0.073 (-0.123)	-0.072 (-0.492)	-0.088 (-0.349)	-0.095 (-0.672)	-0.076 (-0.773)	-0.056 (-0.873)
华南	0.032 *** (4.732)	0.034 *** (4.323)	0.036 *** (3.445)	0.049 *** (4.232)	0.029 *** (4.582)	0.035 *** (5.932)
西北	-0.762 (-0.384)	-0.793 (-0.873)	-0.596 (-0.623)	-0.673 (-0.983)	-0.883 (-0.321)	-0.783 (-0.619)

注:同表 9。

#### 五、结论与政策启示

数字经济与绿色技术创新是中国实现经济高质量发展的重要举措,本文基于 271 个地级及以上城市数据测度并分析了中国城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度,在此基础上分析了数字经济与绿色技术创新耦合协调的地区差异并分析了其差异来源,最后利用莫兰指数分析了数字经济与绿色技术创新耦合关系的空间溢出效应。

##### (一) 结论

第一,中国城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度在观察期内呈上升趋势,但耦合协调度的绝对值一直处于中度耦合协调类型,中国城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度处于较低水平。中国城市数字经济与绿色技术创新耦合协调

度存在显著的地区差异,华南、华北和华东的耦合协调度较高,华中、西南地区的耦合协调水平较低;一线城市耦合协调度已经达到高度耦合协调类型,四线城市的耦合协调度最低。相较于数字经济与绿色技术创新耦合协调度的区域间差异,不同等级城市间的差异更为显著。

第二,数字经济与绿色技术创新耦合协调度的 Dagum 基尼系数在观察期内下降,数字经济与绿色技术创新耦合协调度差异逐渐减小,区域数字经济与绿色技术创新耦合协调度的地区差异主要来源于超变密度,城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度的地区差异主要来源于区域间差异。

第三,中国城市数字经济与绿色技术创新耦合协调度存在显著的空间溢出效应,而且这种空间溢出效应表现出显著的区域差异。

## (二) 政策启示

(1) 加快城市数字经济发展和传统产业数字化转型。数字经济是新一轮科技革命的主要技术形式,在优化资源配置、推动产业升级、提升经济效率等方面具有重要作用。要加强数字经济基础设施建设,为数字经济发展和数字化转型提供基础条件;要鼓励生产资料向数字经济领域投入,比如建立绿色融资渠道、优惠财税政策、建立数字经济人才培养基地等。要明确数字经济发展主要方式,一方面要建立发展强大的数字经济产业,另一方面要注重数字技术与传统产业融合发展,推重农业、制造业等智能化、数字化发展,引导传统产业数字化转型。

(2) 促进绿色技术创新水平提升。绿色可持续发展不仅关乎某个企业、国家的前景,更是全部人类所要面临的问题,坚持绿色技术创新,走可持续发展道路是人类社会的必然要求。对于绿色技术创新,要保证其基本生产资料的供应充足,增强政策支持,夯实绿色发展制度保障。优化市场环境,为企业绿色技术创新提供公平竞争环境。

(3) 努力实现数字经济与绿色技术创新协同发展。数字经济与绿色技术创新具有协同促进效应已经获得证实,关键是如何进一步提升二

者间的协同效应,要创新数字经济与绿色技术创新融合体制机制,凝聚优势塑造产业优化的新动能。积极利用数字技术提升绿色技术创新效率,通过创新和创造新生产要素等方式提升绿色技术创新的资源配置效率,使得数字经济与绿色技术创新形成更好的合力。

(4) 正确认识数字经济与绿色技术创新存在的地区差异。数字经济与绿色技术创新发展过程中必然会经历由非均衡到均衡的过程,科学认识数字经济和绿色技术创新在不同阶段的发展特征,产业政策的制定和实施要因地制宜,根据城市发展的自身条件从而有针对性地制定推动数字经济和绿色技术创新协同发展的政策规划。

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 王金杰,郭树龙,张龙鹏. 互联网对企业创新绩效的影响及其机制研究——基于开放式创新的解释 [J]. 南开经济研究, 2018(6): 170-190.
- [3] 王锋正,刘向龙,张蕾,等. 数字化促进了资源型企业绿色技术创新吗? [J]. 科学学研究, 2022, 40(2): 332-344.
- [4] 钟廷勇,黄亦博,孙芳城. 数字普惠金融与绿色技术创新: 红利还是鸿沟 [J]. 金融经济研究, 2022, 37(3): 131-145.
- [5] 成琼文,陆思宇. 数字技术应用、经济不确定性与绿色创新 [J/OL]. 软科学, 2022(8): 1-16 [2022-08-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1268.G3.20220716.1448.002.html>.
- [6] 郭丰,杨上广,任毅. 数字经济、绿色技术创新与碳排放——来自中国城市层面的经验证据 [J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版), 2022, 51(3): 45-60.
- [7] 陈芳,刘松涛. 人工智能技术能否成为引领城市绿色发展的新引擎 [J]. 南京财经大学学报, 2022(3): 78-86.
- [8] 宋德勇,朱文博,丁海. 企业数字化能否促进绿色技术创新? ——基于重污染行业上市公司的考察 [J]. 财经研究, 2022, 48(4): 34-48.
- [9] 伦晓波,刘颜. 数字政府、数字经济与绿色技术创新 [J]. 山西财经大学学报, 2022, 44(4): 1-13.
- [10] 郭炳南,王宇,张浩. 数字经济、绿色技术创新与产业结构升级——来自中国 282 个城市的经验证据 [J]. 兰州学刊, 2022(2): 58-73.

- [11]刘仁厚,杨洋,丁明磊,等. “双碳”目标下我国绿色低碳技术体系构建及创新路径研究[J]. 广西社会科学, 2022(4): 8-15.
- [12]丁仲礼. 中国碳中和框架路线图研究[J]. 中国工业和信息化, 2021(8): 54-61.
- [13]刘垠. 碳达峰碳中和科技创新部际协调机制第一次会议召开[N]. 科技日报, 2022-08-19(1).
- [14]韩兆安,赵景峰,吴海珍. 中国省际数字经济规模测算、非均衡性与地区差异研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(8): 164-181.
- [15]CLAUDE D, RALPH H. The long-run impact of human capital on innovation and economic development in the regions of Europe[J]. Applied economics, 2019, 51(5): 542-563.
- [16]UNGER M, POLT W. The knowledge triangle between research, education and innovation: a conceptual discussion[J]. Foresight and STI governance, 2017, 11(2): 10-26.
- [17]韩兆安,吴海珍,赵景峰. 数字经济与高质量发展的耦合协调测度与评价研究[J]. 统计与信息论坛, 2022, 37(6): 22-34.
- [18]胡绪华,吕程扬,丁绪辉. 基础研究与应用研究对地区经济高质量发展的异质性作用——基于“中等收入陷阱风险”视角[J]. 科技进步与对策, 2022, 39(1): 60-68.
- [19]ZHAO J F, HAN Z A. Research on coupling relationship between environmental quality and regional economic growth based on VAR model[J]. Cluster computing, 2019, 22(3): 5881-5891.
- [20]DAGUM C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio[J]. Empirical economics, 1997, 22(4): 515-531.
- [21]葛鹏飞,韩永楠,武宵旭. 中国创新与经济高质量发展的耦合协调性测度与评价[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(10): 101-117.
- [22]许宪春,张美慧. 中国数字经济规模测算研究——基于国际比较的视角[J]. 中国工业经济, 2020(5): 23-41.
- [23]刘军,杨渊望,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.
- [24]郭峰,王靖一,王芳,等. 测度中国数字普惠金融发展: 指数编制与空间特征[J]. 经济学, 2020, 19(4): 1401-1418.
- [25]原毅军,谢荣辉. 环境规制与工业绿色生产率增长——对“强波特假说”的再检验[J]. 中国软科学, 2016(7): 144-154.
- [26]郭进. 环境规制对绿色技术创新的影响——“波特效应”的中国证据[J]. 财贸经济, 2019, 40(3): 147-160.
- [27]王旭,褚旭. 中国制造业绿色技术创新与融资契约选择[J]. 科学学研究, 2019, 37(2): 351-361.
- [28]李婉红,毕克新,曹霞. 环境规制工具对制造企业绿色技术创新的影响——以造纸及纸制品企业为例[J]. 系统工程, 2013, 31(10): 112-122.
- [29]张旭,袁旭梅,魏福丽. 县域经济高质量发展内部耦合协调水平评价与障碍因子诊断——以国家级创新型县(市)为例[J]. 统计与信息论坛, 2020, 35(2): 59-67.

(本文责编:王延芳)