

# 数字经济对中国城市绿色发展的空间影响

## ——从空间溢出与虹吸视角

肖耀龙, 左秀霞

江苏大学财经学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2024年11月24日; 录用日期: 2024年12月20日; 发布日期: 2025年1月28日

### 摘要

如何借助数字经济赋能手段实现多方共赢, 是新发展阶段推进我国城市绿色发展的关键。本文基于复合生态系统理论构建了城市绿色发展评价指标体系, 运用纵横向拉差与效用函数相结合的方法测度了2010~2022年中国266个城市绿色发展水平, 分析了数字经济对城市绿色发展的空间影响。研究发现: 首先, 数字经济对城市绿色发展的空间影响中虹吸与溢出并存, 不同竞争优势城市表现出明显的异质性特征。其次, 当前城市绿色发展差距保持缩小的趋势, 城市在绿色发展方面的空间互动会通过溢出效应提高双方绿色发展增速, 同时产生虹吸效应减缓绿色发展差距的缩小速度。进一步地, 利用宽带中国政策构造准自然实验, 剥离出数字经济的净空间影响。基于空间PSM双重差分模型发现邻近城市在数字经济方面的政策学习行为, 会造成虹吸削弱了数字经济的直接效应, 但产生的溢出提高了间接效应, 最终加强了数字经济对城市绿色发展的总效能, 达成了双赢局面。这些结论为进一步优化城市发展政策和缩小城市之间的差距具有重要意义。

### 关键词

数字经济, 绿色发展, 空间杜宾模型,  $\beta$ 收敛, 准自然实验

# The Spatial Impact of Digital Economy on Urban Green Development in China

## —From the Perspectives of Spatial Spillover and Siphon

Yaolong Xiao, Xiuxia Zuo

School of Finance and Economics, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Nov. 24<sup>th</sup>, 2024; accepted: Dec. 20<sup>th</sup>, 2024; published: Jan. 28<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

How to leverage digital economy empowerment tools to achieve a win-win situation for all parties is key to promoting green urban development in China in the new development stage. This paper constructs an urban green development evaluation index system based on the composite ecosystem theory, and measures the green development level of 266 cities in China from 2010 to 2022 using a combination of vertical and horizontal gap pulling and utility functions, and analyzes the spatial impact of the digital economy on urban green development. The study finds that: firstly, both siphoning and spillover effects coexist in the spatial impact of the digital economy on urban green development, with cities of different competitive advantages showing distinct heterogeneity. Secondly, the gap in urban green development is narrowing, and spatial interactions in urban green development can increase the green development speed of both parties through spillover effects, while siphoning effects slow down the narrowing of the green development gap. Furthermore, using the Broadband China policy to construct a quasi-natural experiment, the net spatial impact of the digital economy is isolated. Based on the spatial PSM difference-in-differences model, it is found that policy learning behavior in neighboring cities in terms of the digital economy weakens the direct effect of the digital economy due to siphoning, but the spillover effect enhances the indirect effect, ultimately strengthening the overall efficiency of the digital economy on urban green development, achieving a win-win situation. These conclusions are of great significance for further optimizing urban development policies and narrowing the gap between cities.

## Keywords

Digital Economy, Green Development, Spatial Dubin Model,  $\beta$  Convergence, Quasi-Natural Experiment

Copyright © 2025 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

习近平总书记在全国生态环境保护大会上强调要全面推进美丽中国建设，加快推进人与自然和谐共生的现代化。“十四五”规划也明确指出了“完善生态文明领域统筹协调机制”的核心发展目标。然而，当前中国城市建设中出现了各类资源过度集聚、大城市“吃不下”与中小城市“吃不着”并存的现象，一些城市群产业定位相近，导致核心联动不够、区域发展相对分化割裂并呈现明显落差。环境污染、交通拥堵、生态空间缺乏、政策执行力度不足等挑战使得城市在发展与环境保护之间难以找到平衡，亟需政府、企业和公众共同努力，以推动城市向更绿色、可持续的方向发展，促成城市均衡发展新格局。

数字经济作为中国经济当前最活跃的领域之一，有望成为促进城市群绿色发展的新引擎。通过数字化技术的应用，可以实现资源的智能管理，促成城市之间跨时空互联互通，有效减少能源消耗和环境污染。因此需要明确数字经济是否会影响城市绿色发展？数字经济在城市互动中发挥了何种作用？如何达成城市群共同发展目标？厘清这些问题，能够帮助中国城市抓住数字经济发展新机遇，实现绿色转型。

## 2. 文献综述

关于城市绿色发展的研究由来已久。Pearce 于 1989 年首次提出“绿色经济”一词。彼时强调经济增长速度与质量的平衡[1]。2012 年联合国可持续发展大会提出了基于经济高效、生态规模和社会包容的绿

色发展理念。中国则经历了“经济发展－可持续发展－绿色发展”的发展变迁，形成了以系统性、协调性为核心的绿色发展理念[2]。城市绿色发展的影响因素众多，产业结构升级有助于经济绿色发展[3][4]，并且绿色发展的效果和速度依赖于绿色创新的活跃度和质量[5]，“波特假说”指出适当的环境规制能够激励企业进行技术迭代而减少污染排放[6]。

数字经济对城市经济社会发展的影响，特别是对城市绿色发展的影响，越来越受学术界关注。Tapscoff首先提出“数字经济”并将其定义为基于数字技术的创新和商业模式[7]，强调数字技术在经济方面的影响。随着数字技术的发展，数字经济被认为是一种生产生活的信息化过程[8]，通过优化资源配置[9]、提升创新效率、提升全要素生产率[10]、降低成本[11]等途径促进经济发展，强调数字技术对经济社会的全面影响[12]。现有研究肯定了数字经济对城市绿色发展的正向影响，学者们指出数字经济具有环境友好的属性[13]，能够提升政府环境治理水平[14]和绿色全要素生产率[15][16]，在直接提高经济收益的同时，增强了减排效果[17]。

数字经济对城市绿色发展的空间影响存在正向溢出效应和负向虹吸效应两种观点。大多数学者持“溢出”观点，认为数字经济明显增加城市间经济联系的广度和深度，为城市经济包容性增长[18]、均衡发展[19]带来了新的机遇。一些学者注意到数字经济带来了新的“运用鸿沟”，引致的“虹吸效应”抑制了外围城市绿色全要素生产率的提高[20]，郭辰等[21]指出邻近地区的竞争会吸收了本地的发展资源。少数学者在实证中发现了非常规的结果，并尝试结合“溢出”和“虹吸”来解释该现象。张东玲等发现数字技术溢出对城市绿色发展的影响呈现阶段性特征，认为是数字垄断带来的竞争优势引致的“虹吸”与数字技术的“溢出”共同作用的结果[22]。

在数字政策是否会影响城市绿色发展的问题上，一些学者通过构造准自然实验分析政策效应影响机制，辛大楞和彭志远发现“宽带中国”政策能够对区域绿色创新“提质增效”[23]。张东玲等考虑了政策强度，发现政策效能的发挥随着政策强度的提升具有阶段性特征[22]。郭秋秋和马晓钰发现政策协同达到了“ $1+1>2$ ”的效果[24]。范巧和吴丽娜利用空间双重差分法发现中国国家级新区的建设，会使得周边地区的资源转移至新区从而产生资源挤占[25]。

与现有研究相比，本文的边际贡献包括：第一，以往研究都是基于单一视角分析数字经济对城市绿色发展的空间影响。本文通过实证分析证实了溢出和虹吸并存的现象，并对二者如何同步影响城市绿色发展的影响机制进行了实证检验，丰富了相关的研究。第二，以往研究往往从城市自身特质来探讨异质性，并没有关注城市间的互动模式差异。本文基于城市间不同的竞争优势比较了同水平竞争和不同水平竞争的差异，讨论了城市独自发展和合作发展两种方式的收敛性变化，为制定针对性的城市发展政策提供了实证依据。第三，以往研究的准自然实验只回答了政策是否有效的问题，本文通过设置不同地理阈值明晰了政策效能的空间扩散机制，为城市间通过学习模仿达成多方共赢提供了实证基础。基于此，本研究为推动城市数字建设、动态政策效果监控、跨域城市合作提供了新的启示，为推动中国城市发展进程并实现共赢提供对策建议。

### 3. 研究假设

#### 3.1. 数字经济对城市绿色发展的空间影响

数字经济会加强城市空间联动性，通过涓滴效应、示范效应和竞争效应等正向溢出效果促进本地和邻近城市的绿色发展，为缩小城市绿色发展差距提供了有效路径。涓滴效应指的是数字经济为资源的跨区域流动提供了良好外部条件，推进了环境数据的共享和绿色数字技术的落地，经济较弱的城市也能够通过参与先进城市的管理流程并分享部分发展成果，实现绿色管理能力的提升，从而缩小与发达城市在绿色发展的差距。示范效应指的是在数字经济的知识溢出背景下，率先进行绿色转型的成功城市案例会

激励其他城市相互学习和模仿。通过跨时空的产业集聚和广泛合作, 各城市可以通过共享经验和技术, 实现共同进步, 为环境保护和可持续发展贡献力量。竞争效应指的是部分城市可能会通过引进数字人才、绿色技术、发展绿色产业等方式来提升自身的发展优势, 迫使其他城市为维持相对竞争优势而作出绿色转型决策, 有助于实现区域内的均衡发展, 最终缩小城市之间的绿色发展差距。

但同时也应正视, 在资源有限的背景下, 部分城市为获取相对竞争优势的资源引进行为以及绝对竞争优势导致的经济掠夺, 客观上会对周边城市的发展资源产生了虹吸效应, 可能会加剧资源的不均衡分配。一些城市为了避免潜在的环境污染问题, 可能将高污染产业转移到周边城市, 从而将环境风险转嫁, 导致周边城市的绿色发展增速减缓。在城市群依赖溢出效应实现绿色发展水平普遍提升的趋势下, 虹吸效应的存在使得一些城市的绿色发展增速高于其他城市, 弱势城市追赶上优势城市的周期变长。因此, 在虹吸与溢出效应的共同作用下, 城市绿色发展水平整体上实现了共同增长, 差距逐步缩小并努力达到共赢, 但这个过程中形成了城市间相对绿色发展差距缩小速度减缓的现象。因此, 提出如下假设:

H1: 数字经济能够促进本地城市绿色发展, 同时对邻地产生正向溢出效应和负向的虹吸效应。

H2: 溢出效应使得城市绿色发展水平共同提高且差距减小, 达成共赢, 但虹吸效应的存在使得城市发展相对差距的缩小速度降低。

### 3.2. 数字政策效能的空间作用机制

城市数字政策的模仿能够使得各城市绿色发展水平在虹吸和溢出的动态竞争中, 达成多方共赢。首先, 学习模仿数字政策并有效发挥数字赋能的城市会虹吸周边城市大量发展资源, 尽管会削弱其他城市发展由资源驱动的部分支持, 但客观上也缓解其他城市人员密集、资源冗余和就业问题。这种吸引力的传导和模仿可以让资源朝着效率最大化的方向流动, 形成资源互补格局, 带动其他城市的发展, 形成城市间的双赢局面。其次, 相似的数字政策为城市间的空间互动提供了政府背书, 加强了绿色技术的溢出, 解决了跨城市生态治理中的统筹难题, 推动城市群绿色发展水平的共同提高。因此, 城市数字政策的模仿能够实现多方共赢。领头城市通过示范效应和引领作用, 推动其他城市更快地实现绿色转型; 其他城市通过模仿和学习, 提高自身的环保水平。通过这种动态竞争, 各城市可以共同实现绿色发展目标, 实现绿色发展的良性循环。因此, 提出如下假设:

H3: 数字政策学习和模仿能够提高城市群整体的绿色发展水平, 达成共赢。

## 4. 研究设计

### 4.1. 模型设定

构建空间杜宾模型(SDM)来验证数字经济对城市绿色发展水平的空间影响。

$$\text{Green}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{Digital}_{it} + \beta_2 X_{it} + \rho W \text{Green}_{it} + \beta_3 W \text{Digital}_{it} + \beta_4 W X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,  $\text{Green}_{it}$  和  $\text{Digital}_{it}$  分别为城市绿色发展和数字经济发展水平,  $X_{it}$  为控制变量,  $W$  为空间权重矩阵,  $\rho$  为空间滞后项系数,  $\mu_i$  控制个体固定效应,  $\lambda_t$  控制时间固定效应,  $\varepsilon_{it}$  为随机误差项。

引入多尺度地理加权模型, 剥离出其他类型城市对指定类别城市的空间影响。

$$\text{Green}_{it} = \beta_0(u_i, v_i) + \beta_1(u_i, v_i) \text{Digital}_{it} + \beta_2(u_i, v_i) X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中,  $(u_i, v_i)$  为  $i$  城市的经纬度坐标,  $\beta_1(u_i, v_i)$  和  $\beta_2(u_i, v_i)$  为考虑邻域城市空间影响后的局部回归系数。

构造空间绝对  $\beta$  收敛模型探究收敛性特征:

$$\ln \frac{\text{Green}_{i,t+1}}{\text{Green}_{i,t}} = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{Green}_{it} + \beta_2 W \ln \text{Green}_{it} + \rho W \ln \frac{\text{Green}_{i,t+1}}{\text{Green}_{i,t}} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中, 若  $\beta_1 < 0$  且通过显著性检验则说明存在收敛特征。收敛速度为  $v = -\ln(1 + \beta_1)/T$ 。控制一系列控制变量  $X_{it}$  后即为空间条件  $\beta$  收敛模型。

考察数字政策效能发挥的空间扩散机制, 根据是否进入“宽带中国”试点名单生成 Treat 项, 根据进入试点名单的年份生成 Post 项, 二者的交乘项为  $did_{it}$  项, 构建空间渐进 PSM-DID 模型。

$$Green_{it} = \beta_0 + \beta_1 did_{it} + \beta_2 X_{it} + \rho W Green_{it} + \beta_3 W did_{it} + \beta_4 W X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

## 4.2. 测度方法的优化

传统的主客观赋权法, 都是将动态数据简化成静态截面数据来处理, 往往会造成评价结果失真。对测度方法的改进主要考虑两个方面: 其一, 需要兼顾平衡面板数据中的个体和时间维度差异。其二, 绿色发展理念坚持多系统协调发展, 需要突出木桶效应的制约作用。因此, 本文利用纵横向拉差法[26], 兼顾时间和个体的差异得出各个维度的测度值; 同时利用效用函数法, 对各维度进行汇总计算综合指数, 突出了表现较弱指标的“短板效应”, 契合绿色发展理念中的均衡特征。

## 4.3. 指标选取、测度及数据来源

### 4.3.1. 被解释变量

被解释变量为城市绿色发展水平(Green)。基于马世俊和王如松[27]的复合生态系统理论, 选取经济、资源、环境、社会四个一级维度指标; 结合我国发展目标和已有文献中关于绿色发展的研究, 遴选合适的二、三级指标。为突出城市绿色发展的质量而非数量, 三级指标全部转化成强度指标形式, 如表 1 所示。

**Table 1.** Urban green development level evaluation index system

**表 1. 城市绿色发展水平指标体系**

一级指标	二级指标	三级指标	属性
经济	经济增长	GDP 增长率	+
		财政压力	-
	增长动力	固定资产投资占 GDP 比重	+
		使用外资占 GDP 比重	+
		货物进出口总额占 GDP 比重	+
	产业结构	第三产业占比	+
		科教支出占 GDP 比重	+
	创新动力	区域创新创业指数	+
		人均水资源量	+
资源	自然资源	建成区绿化覆盖率	+
		单位能源消耗量	-
	环境压力	PM <sub>2.5</sub> 年均浓度	-
		单位面积二氧化硫排放量	-
		单位面积工业废水排放量	-
环境	污染排放	单位面积工业废气排放量	-
		每万人绿色专利授权数	+

续表

公共服务	每万人公共图书馆图书总藏数	+
	每万人拥有医生数	+
政府治理	政府环境治理	+
	城镇生活污水处理率	+
社会	生活垃圾无害化处理率	+
	工业固体废弃物综合利用率	+
生活水平	人口密度	-
	人均 GDP	+
	人均收入	+
节能意识	人均年末储蓄余额	+
	人均二氧化碳排放量	-

#### 4.3.2. 核心解释变量

数字经济发展水平(Digital)。结合中国信通院提出的数字经济“四化”框架，并考虑到城市层面数据可获得性，本文借鉴赵涛等[28]的数字经济指标体系。最终指标体系如表2所示。

Table 2. Digital economy development level indicator system

表2. 数字经济发展水平指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	属性
价值重塑	产业数字化	数字普惠金融指数	+
	数字化治理	百人互联网宽带接入用户数 百人中移动电话用户数	+
价值创造	数字产业化	信息传输、计算机服务和软件业就业人数占比	+
	数据价值化	人均电信业务总量	+

#### 4.3.3. 控制变量

金融发展水平[29] (Fd)和市场活跃度[30] (Ma)。其中，金融发展水平采用年末金融机构人民币各项贷款余额占地区生产总值的比值表征；市场活跃度则采用城镇私营和个体从业人数总数除以总就业人数刻画。

### 4.4. 数据来源

本文以 2010~2022 年全国城市的面板数据为研究样本，所有原始数据来自于《中国城市统计年鉴》、国家知识产权局、地方政府年度工作报告、中国碳核算数据库等年鉴和权威机构，缺失值通过各城市统计公报和多重插补法进行补充。对缺失较多的城市进行了剔除，最终保留了 266 个地级市的平衡面板数据。

## 5. 实证结果与分析

### 5.1. 空间影响结果分析

本文使用经济距离来构造空间权重矩阵，表3中 LM、LR 以及 Wald 检验都在 1% 的显著性水平拒绝

原假设, 因此选择空间杜宾模型(SDM)。Hausman 检验结果在 1% 的显著性水平上拒绝原假设, 且时间固定效应模型优于双固定模型和个体固定效应模型。

**Table 3.** Spatial model specification and related diagnostic tests  
**表 3.** 空间模型设定的相关检验

检验类型	Test	Statistic	df	p
LM 检验	Moran's I	111.672	1	0.0000
	LM-error	12,400	1	0.0000
	RLM-error	4179.467	1	0.0000
	LM-lag	7807.323	1	0.0000
Hausman 检验	RLM-lag	2.521	1	0.1120
	FE/RE	15.31	1	0.0016
	Both/Ind	144.94	1	0.0000
	Time/Both	207.14	1	0.0000
LR 检验	Time/Ind	204.86	1	0.0000
	LR-SDM/SEM	34.12	1	0.0000
	LR-SDM/SAR	30.35	1	0.0000
	Wald 检验	Wald-SDM/SEM	8.97	1
Wald 检验	WAld-SDM/SAR	11.94	1	0.0006

表 4 列(1)未加入控制变量, 数字经济和城市绿色发展的空间滞后项系数都在 1% 的统计水平上显著为正, 整体表现为显著的正向空间溢出效应。列(2)为加入控制变量后结论依旧稳健。列(3)用主成分分析法测度的城市数字经济发展水平替代核心解释变量, 结论依旧稳健。列(4)替换成地理邻接矩阵, 正向空间溢出效果依旧显著。验证了假设 H1。本文采用偏微分方法进行效应分解, 表 4 显示所有模型数字经济的直接效应和间接效应都显著为正, 且以间接效应为主。该结论与朱洁西和李俊江[30]的空间实证结果一致。

**Table 4.** Spatial Durbin model regression results and robustness analysis  
**表 4.** 空间杜宾模型回归结果及其稳健性分析

变量	(1) 基准 Green	(2) 控制变量 Green	(3) 替换变量 Green	(4) 邻接 Green
Digital	0.0067*** (3.150)	0.0046** (2.163)	0.0065*** (2.776)	0.0003 (0.232)
W*Digital	0.0490*** (3.437)	0.0438*** (2.996)	0.0434*** (2.758)	0.0217*** (12.173)
$\rho$	0.8200*** (18.557)	0.8195*** (18.469)	0.8167*** (18.171)	0.4641*** (26.064)
Direct	0.0082*** (3.976)	0.0060*** (2.815)	0.0078*** (3.404)	0.0032** (2.192)

续表

Indirect	0.3266*** (2.588)	0.2816** (2.084)	0.2829** (2.065)	0.0367*** (18.753)
Total	0.3348*** (2.656)	0.2875** (2.127)	0.2907** (2.122)	0.0398*** (25.435)
Control	NO	YES	YES	YES
固定	YES	YES	YES	YES
N	3458	3458	3458	3458
R <sup>2</sup>	0.6116	0.6490	0.5680	0.6146

注: \*、\*\*、\*\*\*分别表示在 10%、5% 及 1% 的统计水平上显著; 括号内为 t 统计量, 下同。

## 5.2. 异质性分析

城市之间的竞争模式包括同质性和差异性竞争。同时, 本文主要考虑城市行政级别和资源禀赋两种竞争优势。借鉴赵涛[28]的研究, 将直辖市、副省级城市和其他省会城市划分为中心城市, 其他城市划为外围城市。根据国务院发布的《全国资源型城市可持续发展规划(2013~2020)》将样本城市划分为资源型城市和非资源型城市。

### 5.2.1. 横向同质性竞争

表 5 列(1)显示中心城市的数字经济空间滞后项系数显著为正, 存在正向的空间溢出。列(2)外围城市与中心城市的表现正好互补, 依赖于“虹吸”获取其他外围城市的发展成果, 同时直面污染问题, 绿色发展水平的提高显著改善了环境绩效并产生了正向技术“溢出”, 与张东玲等[22]关于绿色技术溢出的分位数回归结果一致。列(3)显示资源型城市数字经济的空间滞后项为负但不显著, 资源型城市往往存在普遍的数字转型困难, 无法形成有效的对外影响。列(4)显示非资源型城市数字经济和绿色发展都表现为正向的空间溢出。

**Table 5.** Relative competitive advantage: Horizontal homogeneity competition

**表 5.** 相对竞争优势: 横向同质性竞争

变量	(1) 中心 Green	(2) 外围 Green	(3) 资源型 Green	(4) 非资源型 Green
Digital	-0.0045 (-1.447)	0.0227*** (8.358)	0.0104*** (3.520)	0.0019 (0.726)
W*Digital	0.1463*** (7.653)	-0.0338* (-1.948)	-0.0148 (-0.689)	0.0734 *** (3.499)
$\rho$	-1.3137*** (-6.081)	0.8203*** (18.547)	0.5252*** (5.415)	0.4791 *** (5.503)
控制变量	YES	YES	YES	YES
固定效应	YES	YES	YES	YES
N	455	3003	1378	2080
R <sup>2</sup>	0.157	0.090	0.105	0.181

### 5.2.2. 纵向差异性竞争

表 6 为普通面板回归结果, 表 7 为考虑了邻近若干个其他类别城市空间影响的 MGWR 模型结果。通过对比发现, 在考虑邻近地区的影响后, 中心和非资源型城市的数字经济系数显著提高, 外围和资源型城市的数字经济系数明显下降, 表明中心和非资源型城市确实存在对外围城市的虹吸。

**Table 6.** Heterogeneity analysis: Vertical differentiation competition (Without considering spatial influence)  
**表 6.** 异质性分析: 纵向差异性竞争(不考虑空间影响)

变量	(1) 中心 Green	(2) 外围 Green	(3) 资源型 Green	(4) 非资源型 Green
Digital	0.0081*** (3.138)	0.0464*** (52.759)	0.0424*** (32.005)	0.0363*** (31.058)
Control	YES	YES	YES	YES
固定	YES	YES	YES	YES
N	455	3003	1378	2080
R <sup>2</sup>	0.155	0.628	0.600	0.498

**Table 7.** Heterogeneity analysis: Vertical differentiation competition (Considering spatial influence)  
**表 7.** 相对竞争优势: 纵向差异性竞争(考虑空间影响)

变量	(1) 中心	(2) 外围	(3) 资源型	(4) 非资源型
Mean_Digital	0.0290	0.0393	0.0374	0.0384
Mean_p	0.0069	0.0029	0.0048	0.0025
Mean_w	24.3362	22.1582	21.8059	22.8396
Control	YES	YES	YES	YES
固定	YES	YES	YES	YES
N	390	2679	1184	1885
Mean_R <sup>2</sup>	0.7275	0.7453	0.7238	0.7551

### 5.3. 收敛性分析

利用面板  $\beta$  收敛模型和空间面板  $\beta$  收敛模型, 探究城市间绿色合作是否会缩小城市之间的绿色发展差距。LR 检验和 Wald 检验结果显示 SDM 模型优于 SAR 模型和 SEM 模型。表 8 列(1)系数显著为 -0.6052, 收敛速度为 0.0715, 表明伴随着城市绿色发展水平的提升, 城市间的绿色发展差距呈现收敛特征。列(2)为加入控制变量后系数依旧显著为负。列(3)考虑了其他城市的空间影响, 收敛系数显著为 -0.3787, 但收敛速度降低至 0.0366, 同时空间滞后项系数显著为 0.5170, 说明当一个城市与其他城市进行跨空间合作产生的溢出效应会提升双方城市绿色发展增速, 且城市之间的绿色发展差距缩小, 达成双赢的结果, 产生的虹吸效应会使得差距缩小的速度减缓。列(4)为加入控制变量后的空间条件  $\beta$  收敛结果, 增速下降的现象依旧显著。验证了假设 H2。

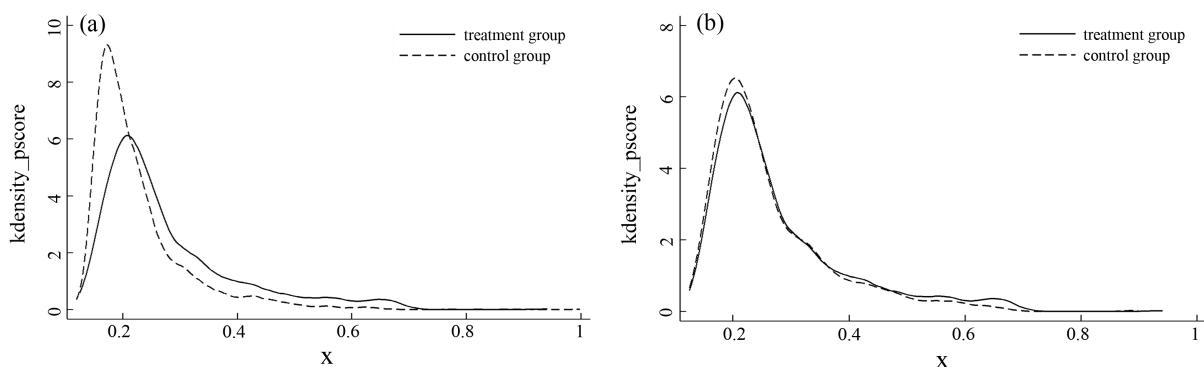
**Table 8.** Convergence analysis of urban green development levels  
**表 8. 城市绿色发展水平的收敛性分析**

变量	(1) 绝对 $\beta$ 收敛 $d_{\ln\text{Green}}$	(2) 条件 $\beta$ 收敛 $d_{\ln\text{Green}}$	(3) 空间绝对 $\beta$ 收敛 $d_{\ln\text{Green}}$	(4) 空间条件 $\beta$ 收敛 $d_{\ln\text{Green}}$
lnGreen	-0.6052*** (-36.773)	-0.6433*** (-37.908)	-0.3787*** (-27.002)	-0.3794*** (-26.909)
$W^*\ln\text{Green}$			0.5170*** (4.170)	0.5062*** (3.997)
$\rho$	— —	— —	-0.0773 (-0.566)	-0.0829 (-0.605)
Rate	0.0715	0.0793	0.0366	0.0367
LR SDM/SEM	—	—	20.80***	22.88***
LR SDM/SAR	—	—	17.35***	19.41***
Wald SDM/SEM	—	—	20.81***	19.41***
Wald SDM/SAR	—	—	17.39***	15.97***
Control	NO	YES	NO	YES
固定	YES	YES	YES	YES
N	3192	3192	3192	3192
R <sup>2</sup>	0.316	0.331	0.176	0.167

## 6. 基于宽带中国政策的准自然实验

### 6.1. 倾向得分匹配处理

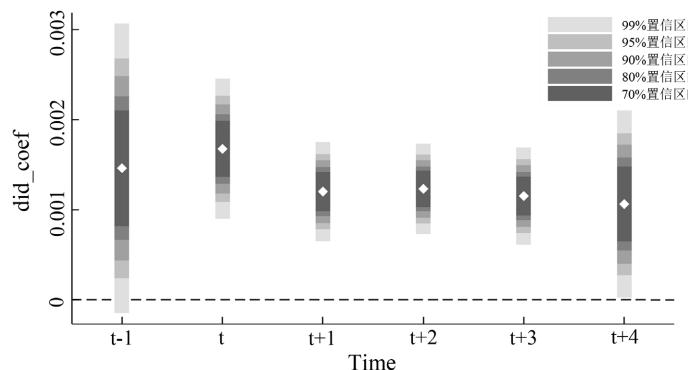
为保证处理组和对照组除核心解释变量外的其他各因素都相似, 利用倾向得分匹配(PSM)最大程度缓解选择偏差问题。基于 logit 模型 1:1 匹配进行 PSM 处理, 分别绘制了匹配前和匹配后处理组和对照组的核密度图(图 1), 实线为处理组, 虚线为对照组, 匹配后两组对照样本的差异更小。



**Figure 1.** Kernel density plots of treatment and control groups before and after PSM  
**图 1. PSM 处理前后处理组和对照组核密度图**

## 6.2. 平行趋势检验

以政策实施当年为分界点, 政策实施当年为  $t$  年, 政策实施前一年为  $t-1$  年, 政策实施后一年为  $t+1$  年, 以此类推。如图 2 所示, 政策实施前, 年份虚拟变量的系数 90% 置信区间内包含 0, 政策实施后, 年份虚拟变量的系数显著不为 0, 因此实验组和对照组城市之间满足平行趋势假设。

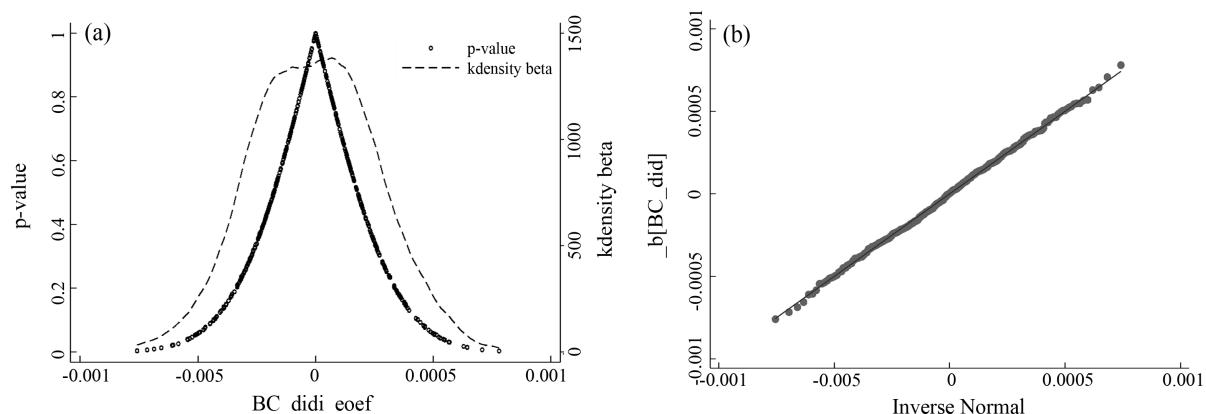


**Figure 2.** Change in impact coefficients before and after policy implementation

图 2. 政策实施前后影响系数变化

## 6.3. 安慰剂检验

通过随机选取“宽带中国”试点城市和试点年份的方式, 用 Bootstrap 方法进行 500 次抽样模拟, 图 3(a) 中虚线为 500 次抽样回归系数的概率密度, 空心圆圈为回归系数的 p 值, 图 3(b) 为回归系数的 Q-Q (Quantile-Quantile) 图, 近似服从均值为 0 的正态分布, 因此结论受不可观测因素影响的可能性较小。



**Figure 3.** Placebo test results

图 3. 安慰剂检验结果

## 6.4. 基于空间 PSM-DID 的政策溢出分析

表 9 列(1) DID 空间滞后项和绿色发展空间滞后项系数都显著为正, 表明邻近城市的政策学习行为存在。基于地理距离权重矩阵, 城市之间相对距离大于阈值则权重赋值为 0, 小于等于阈值则保留原有权重, 列(2)至列(6)分别是阈值为 30 km、50 km、70 km、100 km 和 200 km 的回归结果。随着地理距离的增加, 直接效应不断减少, 间接效应不断增加, 且最终总效应在不断增加。表明尽管周边城市的政策“学习模仿”会“虹吸”部分本城市的资源, 降低本城市政策对本城市的直接边际效果, 但是会通过形成产

业集群、跨域合作等方式间接“溢出”惠及本城市, 提高整体绿色发展水平, 达成双赢的结果。验证了假设 H3。

**Table 9.** Policy spillover effects and diffusion mechanisms  
**表 9.** 政策效果的溢出效应及其扩散机制

变量	(1) 邻接 Green	(2) 30 km Green	(3) 50 km Green	(4) 70 km Green	(5) 100 km Green	(6) 200 km Green
BC_did	0.0010*** (3.645)	0.0067*** (19.546)	0.0062*** (18.148)	0.0058*** (16.958)	0.0039*** (12.405)	0.0006** (2.031)
W*BC_did	0.0039*** (8.168)	0.0049*** (4.697)	0.0049*** (7.024)	0.0042*** (7.274)	0.0052*** (11.569)	0.0068*** (13.521)
$\rho$	0.5903*** (39.423)	0.2803*** (10.354)	0.1993*** (9.737)	0.2224*** (11.961)	0.3240*** (20.876)	0.5289*** (31.882)
Direct	0.0018*** (6.407)	0.0070*** (19.698)	0.0066*** (18.647)	0.0063*** (17.735)	0.0049*** (14.929)	0.0016*** (5.539)
Indirect	0.0099*** (11.271)	0.0012*** (7.016)	0.0021*** (9.303)	0.0026*** (10.148)	0.0058*** (16.326)	0.0135*** (17.093)
Total	0.0117*** (11.981)	0.0082*** (19.725)	0.0087*** (20.062)	0.0089*** (19.576)	0.0106*** (20.758)	0.0152*** (17.120)
Control	YES	YES	YES	YES	YES	YES
固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES
N	3458	3458	3458	3458	3458	3458
R <sup>2</sup>	0.173	0.149	0.127	0.107	0.151	0.159

## 7. 结论与政策建议

本文基于 2010~2022 年中国 266 个地级市的平衡面板数据, 利用空间杜宾模型和 MGWR 模型检验了数字经济对城市绿色发展的空间影响, 并进一步利用空间渐进 PSM-DID 模型剥离出来自数字经济的净空间影响。主要结论如下: 第一, 数字经济对中国城市绿色发展的影响“虹吸”与“溢出”并存, 间接效应占主导地位。处于不同竞争优势地位的城市在同质性和差异性竞争中的表现不同。第二, 城市绿色发展水平差异呈现收敛特征, 互动合作会通过溢出提高双方的绿色发展增速实现双赢, 产生的虹吸效应减缓了绿色发展差距的缩小速度。第三, 城市间数字政策的学习和借鉴产生的虹吸虽然削弱了本地直接效应, 但通过提高间接溢出有效提高了政策的总效用, 最终达成了城市之间的双赢。

根据上述结论, 提出以下建议:

首先, 基于数字经济对城市绿色发展的正向空间影响, 应当继续坚持以数字经济为主导的发展战略。城市管理者应根据自身的资源禀赋和竞争优势, 制定因地制宜的数字经济发展规划, 明确数字技术在城市发展中的应用重点和路径, 通过加强数字基础设施的建设和提供税收优惠或补贴, 鼓励企业投资

于数字经济相关领域，推动数字技术的创新和应用。其次，基于城市合作能够达成双赢的互惠机制，建议建立跨区域合作平台，促进城市合作意向达成并激励城市之间形成良性竞争，使得落后城市充分享受发展红利并有效发挥后发优势，减少因为过强虹吸造成的发展差距缩小速度减缓问题。最终消除城市间的数字鸿沟，促成区域均衡发展和多方共赢。最后，基于城市间政策学习和借鉴的双赢机制，建议推出先进示范区，鼓励城市相互学习。建立发展成果共享平台并开展跨城市绿色发展项目合作，实现城市间的信息共享和交流，促进成功经验的扩散和传播。鼓励城市间建立绿色发展联盟，共同研究解决绿色发展难题，发挥明星城市的带动作用，推动政策效果的溢出和提升，达成多方共赢局面。

## 参考文献

- [1] Long, R., Chen, H., Li, H. and Wang, F. (2013) Selecting Alternative Industries for Chinese Resource Cities Based on Intra- and Inter-Regional Comparative Advantages. *Energy Policy*, **57**, 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.047>
- [2] 胡鞍钢, 周绍杰. 绿色发展: 功能界定、机制分析与发展战略[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(1): 14-20.
- [3] Jung, T.Y., La Rovere, E.L., Gaj, H., Shukla, P.R. and Zhou, D. (2000) Structural Changes in Developing Countries and Their Implication for Energy-Related CO<sub>2</sub> Emissions. *Technological Forecasting and Social Change*, **63**, 111-136. [https://doi.org/10.1016/s0040-1625\(99\)00052-9](https://doi.org/10.1016/s0040-1625(99)00052-9)
- [4] Honma, S. and Hu, J. (2014) A Panel Data Parametric Frontier Technique for Measuring Total-Factor Energy Efficiency: An Application to Japanese Regions. *Energy*, **78**, 732-739. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.10.066>
- [5] 王晓岭, 武春友. “绿色化”视角下能源生态效率的国际比较——基于“二十国集团”面板数据的实证检验[J]. 技术经济, 2015, 34(7): 70-77.
- [6] Porter, M.E. and van der Linde, C. (1995) Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *Journal of Economic Perspectives*, **9**, 97-118. <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>
- [7] Tapscott, D. (1999) The Digital Economy Anniversary Edition: Rethinking Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence. *Innovation Journal*, **19**, 156-168.
- [8] Audretsch, D.B. (2001) What's New about the New Economy? Sources of Growth in the Managed and Entrepreneurial Economies. *Industrial and Corporate Change*, **10**, 267-315. <https://doi.org/10.1093/icc/10.1.267>
- [9] 韩先锋, 宋文飞, 李勃昕. 互联网能成为中国区域创新效率提升的新动能吗[J]. 中国工业经济, 2019, 37(7): 119-136.
- [10] 郑小碧, 庞春, 刘俊哲. 数字经济时代的外包转型与经济高质量发展——分工演进的超边际分析[J]. 中国工业经济, 2020, 38(7): 117-135.
- [11] Goldfarb, A. and Tucker, C. (2019) Digital Economics. *Journal of Economic Literature*, **57**, 3-43. <https://doi.org/10.1257/jel.20171452>
- [12] Li, C. (2017) A Preliminary Discussion on the Meaning of the Digital Economy. *E-Government*, **14**, 84-92.
- [13] 黄茂兴, 林寿富. 污染损害、环境管理与经济可持续增长——基于五部门内生经济增长模型的分析[J]. 经济研究, 2013, 59(12): 30-41.
- [14] 茶洪旺, 左鹏飞. 信息化对中国产业结构升级影响分析——基于省级面板数据的空间计量研究[J]. 经济评论, 2017, 38(1): 80-89.
- [15] 解春艳, 丰景春, 张可. 互联网技术进步对区域环境质量的影响及空间效应[J]. 科技进步与对策, 2017, 34(12): 35-42.
- [16] 程文先, 钱学锋. 数字经济与中国工业绿色全要素生产率增长[J]. 经济问题探索, 2021, 42(8): 124-140.
- [17] 刘强, 马彦瑞, 徐生霞. 数字经济发展是否提高了中国绿色经济效率? [J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(3): 72-85.
- [18] 郭峰, 陈凯. 空间视域下互联网发展对城市环境质量的影响——基于空间杜宾模型和中介效应模型[J]. 经济问题探索, 2021, 42(1): 104-112.
- [19] 李林汉, 田卫民. 数字金融发展、产业结构转型与地区经济增长——基于空间杜宾模型的实证分析[J]. 金融理论与实践, 2021, 43(2): 8-16.
- [20] 周晓辉, 刘莹莹, 彭留英. 数字经济发展与绿色全要素生产率提高[J]. 上海经济研究, 2021(12): 51-63.
- [21] 郭辰, 李佳馨, 周婷婷. 数字经济对绿色发展的空间溢出效应研究——基于技术创新与产业优化视角[J]. 技术

- 经济与管理研究, 2023(6): 25-30.
- [22] 张东玲, 焦宇新, 刘敏. 数字经济推动了城市绿色全要素生产率提升吗?——基于“宽带中国”试点的证据[J]. 现代财经: 天津财经大学学报, 2023(7): 38-56.
  - [23] 辛大楞, 彭志远. “宽带中国”战略试点政策对城市绿色创新的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(9): 159-170.
  - [24] 郭秋秋, 马晓钰. “宽带中国”战略和低碳城市双试点的减污效应研究[J]. 产业经济研究, 2023, 22(5): 129-142.
  - [25] 范巧, 吴丽娜. 国家级新区对属地省份经济增长影响效应评估[J]. 城市问题, 2018(4): 48-58.
  - [26] 郭亚军. 一种新的动态综合评价方法[J]. 管理科学学报, 2002, 5(2): 49-54.
  - [27] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统[J]. 生态学报, 1984, 4(1): 3-11.
  - [28] 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.
  - [29] 庞瑞芝, 王宏鸣. 数字经济与城市绿色发展: 赋能还是负能? [J]. 科学学研究, 2023: 1-17.
  - [30] 朱洁西, 李俊江. 数字经济, 技术创新与城市绿色经济效率——基于空间计量模型和中介效应的实证分析[J]. 经济问题探索, 2023(2): 65-80.