

城市数字经济对绿色全要素生产率 的空间效应研究 ——理论机理与实证检验

张圆¹

【摘要】 将数据作为新型生产要素纳入空间全要素生产率理论分析框架，基于 2011~2020 年我国 254 个地级及以上城市的面板数据，采用熵值法与 SBM 方向性距离函数的 Malmquist-Luenberger 指数法，分别考察城市数字经济与绿色全要素生产率发展情况，并构建空间计量模型实证分析数字经济对绿色全要素生产率的空间效应。研究发现：城市数字经济发展与绿色全要素生产率存在显著的空间相关性，数字经济的蓬勃发展不仅可对本地区绿色全要素生产率产生积极影响，同时其空间溢出效应也有助于其他地区绿色全要素生产率的提升；相较于经济相对发达的沿海城市群，数字经济发展对中原、长江中游等内陆城市群绿色全要素生产率的推动作用更为明显。鉴于此，应深入贯彻新发展理念，营造绿色发展环境，充分发挥数字经济的跨区溢出效应，进一步促进城市绿色全要素生产率的提升。

【关键词】 数字经济 绿色全要素生产率 新动能 绿色发展

【中图分类号】 F49 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1006-012X(2022)-04-0043(08)

一、引言

随着新一轮科技与产业革命浪潮的到来，以大数据、云计算、人工智能、物联网、区块链等信息技术应用为核心的数字经济逐渐兴起，在带动投资、刺激消费、促进就业等方面日益发挥着举足轻重的作用。经济新常态下，面对我国过去粗放式发展模式所造成的环境污染、资源匮乏、生态破坏等问题，以新型数字经济技术生产要素为主体发掘新动能，促进经济社会生态效益相统一是实现绿色发展的必由之路。当前，我国数字经济发展仍处于起步阶段，虽然其在促进区域经济创新协调发展方面卓有成效，但在解决绿色发展过程中“去能耗化”与“去污染化”等核心问题上依旧任重道远。深化数字经济与绿色发展合作，推动数字经济与绿色发展深度融合，是“十四五”规划纲要的重要内容，在此背景下，培育数字经济绿色新引擎，探究数字经济赋能绿色发展新路径，已成为未来我国经济社会高质量发展的重点方向。

互联网大数据普及之下，数字经济对我国全要素生产率的影响愈发深刻，在促进企业数字化转型与新型基础设施建设、打造平台经济与新业态经济等方面逐步起到引领作用。^[1]以创新驱动的数字经济与实体经济深度融合，形成了数字信息与生产要素耦合驱动新模式，在宏观层面均可对全要素生产率产生一定影响。微观层面，数字经济降低了企业搜集整合技术资源的相关成本，业务流程优化、信息系统性能的改善带来了信息技术质的飞跃，可显著改善企业信息分析能力与管理决策水平；^[2,3]而在宏观层面，数字经济自身具备的规模经济、范围经济与长尾效应使得新投入要素应运而生，信息共享加强了知识扩散与技术溢出，带动了各地区产业的协调创新，资源配置效率与全要素生产率也随之提升。^[4,5]实体经济通过数字化转型，在“创造性破坏”中

作者简介：张圆，讲师，博士，天津商业大学经济学院，天津 300134

基金项目：国家社会科学基金重点项目“大数据与制造业融合机制创新下我国制造业绿色转型的路径与对策研究”（20AJY007）

重构整合原有生产模式进而衍生新的价值，新旧动能在业务流程数字化变革中实现过渡转换，技术进步与研发创新带来经济产出效率的提高，为全要素生产率的提升带来崭新的发展路径。^[6]

虽然多数研究肯定了数字经济对全要素生产率的积极影响，但未能充分反映改善生态环境与资源节约方面的效率优势，在其与全要素生产率的绿色发展关系问题上被普遍忽略。在资源约束与环境压力日益趋紧的多重困境下，提升绿色全要素生产率 (Green Total Factor Productivity, GTFP), 是驱动我国绿色经济、实现未来可持续发展的关键所在。^[7]然而，由于经济增长过程中对物质资本、劳动及非可再生资源的长期依赖，伴随而来的环境污染问题使得近年来我国绿色全要素生产率增长不尽人意，部分地区不增反降，未能达到绿色发展的理想预期。^[8,9]在确保生态环境的前提下，将生产要素驱动转向技术创新驱动以期达到最大化产出，是绿色全要素生产率增长需解决的根本问题。^[10]在此情况下，现有要素结构与生产模式亟需调整，迫切寻求新动能来提升绿色全要素生产率提供有力支持。

作为以使用数字化的知识与信息为主的关键生产要素，数字经济打破了传统生产要素有限供给对经济增长的限制，全方位赋能于创新研发与资源配置过程中，其带来的低碳化绿色技术与生产模式不仅为经济发展中生态环境改善做出了一定贡献，同时也为进一步释放绿色全要素生产率活力提供了潜在可能。此外，数字经济高效的传输效率使得区域间信息共享更为便捷，其技术溢出带来的空间外部效应让不同区域间经济活动空间关联更为紧密，^[11,12]从而可能对其他地区的绿色全要素生产率产生直接或间接作用。已有文献对数字经济赋能绿色发展的模式、路径更新升级等方面已表现出高度重视，^[13,14]关于数字经济对全要素生产率的影响也逐渐受到关注，^[15,16]但有关其与绿色全要素生产率的关系及空间效应问题等尚未进行充分讨论，城市层级的相关研究更是凤毛麟角，探究二者之间的经济联系，有助于进一步认识数字经济外部性对我国区域内与区际间绿色发展的空间影响，并将有利于推动新旧动能转换，为促进城市绿色高质量发展提供有益思路。

与已有研究相比，本文拓展了已有全要素生产率理论，以全新数字经济背景下的数据资本视角诠释了生产要素的空间经济效应；从城市层面探讨了数字经济对绿色全要素生产率的作用，相较于省域层面更能体现数字经济的空间职能。

二、理论模型与研究假说

作为推动生产力发展的新兴经济形态，数字经济以数据为核心生产要素，^[17]通过互联网传播媒介，直接或间接引导资源发挥作用，无形渗透于经济环境与经济活动之中，进而促进数据资本积累，不仅能影响本地区经济发展，同时对其他地区也可产生空间效应。为解释数字经济对绿色全要素生产率的经济作用机制，本文在 Fischer et al. (2009) 研究的基础上，^[18]将数字经济要素纳入理论研究框架，结合现有相关研究提出本文的研究假说。

大数据时代背景下，地区全要素生产率水平不仅受物质资本、劳动力等传统生产投入要素影响，同时还依赖于数据资本存量大小，假定地区 i ($i=1, \dots, N$) 在 t ($t=1, \dots, T$) 时期的生产函数形式为：

$$Y_{it} = A_{it} g(K_{it}, L_{it}) \quad (1)$$

其中， Y_{it} 为经济产出， $g(\cdot)$ 为一阶齐次函数，且满足每一生产要素边际收益递减特征规律， K_{it} 为物质资本存量， L_{it} 为劳动力投入， A_{it} 技术进步，其由数据资本 (Data Capital) 存量及其它经济因素决定：

$$A_{it} = A(D_{it}, D_{it}^*, \dots) \quad (2)$$

$A(\cdot)$ 为生产技术效率函数， D_{it} 与 D_{it}^* 分别为数字经济在本地区内部与其他外部地区累积的数据资本存量，在地区内外均可

对技术进步产生影响：在本地区内，数据资本通过研发投入、科研创新、公共教育等途径直接促进资本累积；对其他地区，则以信息共享、文化传播多种渠道方式间接影响资本形成。鉴于不同地区数据资本存量对地区 i 的外部影响程度各有不同，进一步将 D_{it}^* 设定为：

$$D_{it}^* = \sum_{j \neq i}^N w_{ij} D_{jt} \quad (3)$$

式(3)中， w_{ij} 为外部知识资本转化系数，表示 i 地区将 j ($j \neq i$) 地区的知识资本存量内化为本地区资本的能力。换言之，即 j 地区对 i 地区数据资本的外部影响，主要取决于两地区之间的地理距离，其随着两地距离的扩大而衰减， w_{ij} 与地理距离 d_{ij} 存在如下关系：

$$w_{ij} = \exp(-\delta d_{ij}) \quad (4)$$

δ 为距离敏感度参数，反映了地理距离对溢出变量的空间影响，当 $\delta=0$ 时，意味着数据资本不存在空间效应。式(4)表明，在 $\delta>0$ 的条件下，本地区外数据资本存量的收益随着地理距离 d_{ij} 的增加呈现指数级下降，较好地契合了地理学第一定律特征， δ 越大，数据资本受地理空间距离的影响愈为敏感。进一步地，不考虑影响技术进步的其他因素，设 $g(\cdot)$ 为 Cobb-Douglas 生产函数，将式(2)代入式(1)，整理可得：

$$Y_{it} = g(D_{it}, D_{it}^*, K_{it}, L_{it}) = D_{it}^{\beta_1} D_{it}^{*\beta_2} K_{it}^\alpha L_{it}^\gamma \exp(\varepsilon_{it}) \quad (5)$$

生产函数中， β_1 、 β_2 、 α 、 γ 分别对应内外部数据资本、物质资本与劳动力产出弹性， ε_{it} 为随机扰动项，反映未测量的产出与干扰因素。由索洛余值可知，全要素生产率剔除各生产要素投入贡献后所得的残差，即技术进步率，根据式(1)可得物质

资本、劳动力双要素情形下全要素生产率为 $TFP_{it} = Y_{it} / (K_{it}^\alpha L_{it}^\gamma)$ ，将其与式(3)式(4)代入式(5)，对等式两侧进行对数化处理可得：

$$\ln TFP_{it} = \beta_1 \ln D_{it} + \beta_2 \ln \left[\sum_{j \neq i}^N \exp(-\delta d_{ij}) D_{jt} \right] + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

式(6)综合衡量了地区内数据资本及其他地区数据资本空间效应对全要素生产率的作用。外地区对全要素生产率的数据资本溢出效应随地理距离 d_{ij} 大小影响变化， i 与 j 两地距离越近，其对应的数据资本外部效应越强，其总效应为除本地区外的所有地区数据资本效应之和，参数 β_1 与 β_2 分别对应内外两部分数据资本对全要素生产率的边际影响，该式不仅从空间上有效揭示了数字经济对绿色全要素生产率的经济作用机制，同时也确定了空间计量模型的基本形式。此外，由于不同地区城市所处地理位置、资源禀赋迥异，生态环境污染和治理及数字经济的发展情况也存在较大差异，据此笔者提出如下研究假说：

H₁: 数字经济不仅对地区内部绿色全要素生产率产生作用，且受地理空间因素影响对其他地区也产生空间效应。

H₂: 数字经济对绿色全要素生产率的经济效果存在地区异质性，不同城市群之间的影响程度有所不同。

三、研究设计

1. 计量模型构建

鉴于城市数字经济与绿色全要素生产率之间可能存在的空间效应，在构建计量模型时，传统的非空间面板数据估计可能会有偏差，有必要将空间效应纳入其中。因此，考虑建立数字经济与绿色全要素生产率的空间面板模型，包括非空间固定效应模型 (FE) 和空间计量模型 (SAR、SEM、SDM)，具体形式如下：

(1) 固定效应模型

$$GTFP_{it} = \beta_0 + \beta_1 DEI_{it} + \sum_{m=2}^8 \beta_m control_{it} + \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

(2) 空间滞后模型

$$GTFP_{it} = \rho W GTFP_{it} + \beta_0 + \beta_1 DEI_{it} + \sum_{m=2}^8 \beta_m control_{it} + \delta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad \varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma_{\varepsilon}^2 I_n) \quad (8)$$

(3) 空间误差模型

$$GTFP_{it} = \beta_0 + \beta_1 DEI_{it} + \sum_{m=2}^8 \beta_m control_{it} + \delta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad \varepsilon_{it} = \lambda W \varepsilon_{it} + \varphi_{it} \quad \varphi_{it} \sim N(0, \sigma_{\varepsilon}^2 I_n) \quad (9)$$

(4) 空间杜宾模型

$$GTFP_{it} = \beta_0 + \beta_1 DEI_{it} + \sum_{m=2}^8 \beta_m control_{it} + \alpha_1 W DEI_{it} + \sum_{m=2}^8 \alpha_m W control_{it} + \delta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad \varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma_{\varepsilon}^2 I_n) \quad (10)$$

其中， δ_i 为地区效应， μ_t 为时间效应， ε_{it} 为残差项， I_n 为单位矩阵，被解释变量 $GTFP_{it}$ 为绿色全要素生产率，核心解释变量为数字经济指数 DEI_{it} ， $control_{it}$ 表示各个控制变量， ρ 为空间自回归系数， W 为空间权重矩阵。

2. 变量说明

(1) 城市绿色全要素生产率测度

本文构造了包含期望产出与非期望产出的生产可能性集合，利用非径向 SBM 方向性距离的 Malmquist-Luenberger (ML) 指数考察绿色全要素生产率的动态变化。假设存在 K 个 DMU，每个 DMU 对应 N 个投入 x_n ， I 个期望产出 y_i 和 J 个非期望产出 b_j 。 s^- 表示过度投入， s^b 表示过度非期望产出， s^+ 表示期望产出不足，构建如下超效率 SBM 模型：

$$\begin{aligned} \theta = \min_{\lambda, s^-, s^+, s^b} & \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{x_n}{x_{n0}}}{\frac{1}{I+J} \left(\sum_{i=1}^I \frac{y_i}{y_{i0}} + \sum_{j=1}^J \frac{y_j}{y_{j0}} \right)} \\ \text{s.t.} & \sum_{k=1}^K \lambda_k x_{nk} \leq x_{n0} \quad \sum_{k=1}^K \lambda_k y_{ik} \geq y_{i0} \quad \sum_{k=1}^K \lambda_k b_{jk} = b_{j0} \quad \sum_{k=1}^K \lambda_k = 1 \end{aligned} \quad (11)$$

式 (11) 中, $x_n = x_{n0} + s^-$ ($n=1, 2, \dots, N$), $y_i = y_{i0} - s^+$ ($i=1, 2, \dots, I$), $b_j = b_{j0} + s^b$ ($j=1, 2, \dots, J$), $x \geq x_0$, $y \leq$

y_0 , $b \geq b_0$, $\lambda_k \geq 0$, $\sum_{k=1}^K \lambda_k = 1$ 表示可变规模报酬 (VRS), 在超效率 SBM 效率测度模型的基础上, 构建 Malmquist-Luenberger 指数:

$$ML_0^{T,T+1} = \left[\frac{\theta_0^T(x_0^{T+1}, y_0^{T+1}, b_0^{T+1})}{\theta_0^T(x_0^T, y_0^T, b_0^T)} \times \frac{\theta_0^{T+1}(x_0^{T+1}, y_0^{T+1}, b_0^{T+1})}{\theta_0^{T+1}(x_0^T, y_0^T, b_0^T)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

参考王兵和刘光天(2015)的研究,在城市绿色全要素生产率的投入指标选择上,既考虑人力和资本等生产性要素投入,也将能源消耗作为投入变量纳入其中;在产出指标选择上,既考虑了经济发展等期望产出的最大化,也考虑到环境污染等非期望产出对经济发展的约束,^[19]具体指标如下:

投入指标:①资本投入。以固定资产投资额(亿元)表示。②劳动力投入。以全社会从业人员数(万人)表示;③能源消耗。以全社会全年用电总量(万千瓦时)表示。

产出指标:①期望产出。经济发展是地区重要的产出成果,因此以城市地区生产总值(亿元)来表示期望产出,并以城市所在省份的 GDP 平减指数按基期不变价进行平减处理。②非期望产出。“三废”通常是衡量环境污染较为全面的变量,因此选用工业废水排放量(万吨)、SO₂排放量(吨)、烟(粉)尘排放量(吨)表示环境污染等非期望产出。

(2) 数字经济指数测算

本文选用城市互联网宽带接入率(%)、计算机服务和软件从业人员占比(%)、人均电信业务总量(元)、每百人移动电话用户数以及中国数字普惠金融指数,分别反映城市互联网普及率、互联网相关从业人员数、互联网相关产出、移动互联网用户数与数字金融普惠发展情况,利用熵值法对已有数据进行标准化和赋权处理,最终合成获得城市数字经济指数。

(3) 控制变量选取

设定对绿色全要素生产率可能产生影响的控制变量,具体指标选取如下:①人力资本储备(hc)。选取全市每万人在校普通本专科学生人数作为人力资本储备的代理变量。②经济发展水平(gdp)。采用人均 GDP 来控制经济发展水平可能对绿色全要素生产率的影响;③市场自由度(market)。选取全市 GDP 与公共预算支出差额占 GDP 之比反映地区市场自由度。④产业结构水平(structure)。选取第三产业增加值与第二产业增加值百分比衡量城市产业结构水平。⑤外资依赖度(fdi)。采用全市实际利用外商投资额(按当年人民币的平均汇率折算)占全市 GDP 百分比衡量外资依赖度。⑥金融支持度(fin)。用全市金融机构人民币各项存贷款余额占全市 GDP 比重衡量。⑦财政分权度(gov)。选用公共预算收入与公共预算支出之比表示财政分权度。

3. 数据来源

自 2010 年起,数字经济发展日趋成熟,由于城市的行政区域调整(巢湖、毕节等)和数据严重缺失城市(拉萨等),本文选取 2011~2020 年中国 254 个地级及以上城市的面板数据。数据主要来源于《中国城市统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》及部分地级市统计年鉴,中国数字普惠金融指数出自北京大学数字金融研究中心和蚂蚁金服集团共同编制的《北京大学数字普惠金融指数》报告,对于个别年度城市的缺失数据,利用线性插补法及缺失指标的几何平均增长率外推予以补充。

四、实证分析

1. 空间相关性检验

城市数字经济指数与绿色全要素生产率具有空间自相关或空间依赖特征，是应用空间计量模型的必要前提。本文选择基于地理距离的空间权重矩阵(W)，为使空间滞后项具有加权平均的含义，对该矩阵进行了行标准化处理，并且设定对角线元素为 0。采用全局 Moran’ I 指数研究整体空间相关性，计算公式如下：

$$\text{Moran' I} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}}$$

(13)

式(13)中， $\bar{Y}$ 为样本均值， S^2 为样本方差， Y_i 、 Y_j 分别表示城市 i 和城市 j 的样本观测值， W_{ij} 为基于地理距离的空间权重矩阵W中第 i 行第 j 列的元素。表 1 报告了 2011~2020 年基于地理距离矩阵的中国绿色全要素生产率与数字经济指数的 Moran’ I 指数及检验结果。可以看出，2011~2020 年的绿色全要素生产率及数字经济指数的 Moran’ I 值均大于 0，表明变量间存在空间正相关性。

表 1 Moran’ I 指数检验结果

年份	绿色全要素生产率			数字经济指数		
	Moran’ I 值	Z 值	P 值	Moran’ I 值	Z 值	P 值
2011	0.001	0.172	0.832	0.091	13.181	0.000
2012	0.002	0.260	0.795	0.088	13.030	0.000
2013	0.001	0.393	0.695	0.092	13.039	0.000
2014	0.012	2.101	0.036	0.104	14.693	0.000
2015	0.021	3.264	0.001	0.095	13.229	0.000
2016	0.016	2.550	0.011	0.083	11.544	0.000
2017	0.033	4.752	0.000	0.093	12.709	0.000
2018	0.037	4.926	0.000	0.116	14.992	0.000
2019	0.042	5.327	0.000	0.124	15.521	0.000
2020	0.048	5.631	0.000	0.128	15.882	0.000

2. 基准回归结果

表 2 显示了式(7)-式(10)的估计结果，SAR、SEM 和 SDM 三类空间计量模型的空间项系数均在 1%的显著性水平上为正，表明本市绿色全要素生产率和邻近城市的绿色全要素生产率之间存在着优势互补效应，表现为相互促进。此外，上述四类计量模型的数字经济估计系数均显著为正，表明数字经济的发展变动与城市的绿色全要素生产率变动方向一致，数字经济发展进步的同时，

会带动绿色全要素生产率水平的提高。并且对于 SDM 模型来说，加入空间滞后项之后，数字经济的回归系数依然显著为正，表明其对绿色全要素的影响存在正向空间效应。

表 2 基准回归结果

变量	(1)FE 模型	(2)SAR 模型	(3)SEM 模型	(4)SDM 模型
DEI	0.3727*** (0.0576)	0.0911*** (0.0324)	0.0736*** (0.0212)	0.0740*** (0.0265)
hc	0.0178 (0.0218)	0.0009 (0.0123)	0.0013 (0.0122)	0.0016 (0.0123)
gdp	0.5042*** (0.0401)	0.0241 (0.0234)	0.0133 (0.0374)	0.0442 (0.0407)
market	0.3757* (0.2241)	0.0866 (0.1251)	0.2937** (0.1383)	0.2982** (0.1385)
structure	0.4002*** (0.0436)	0.0569*** (0.0248)	0.0279 (0.0397)	0.0114 (0.0400)
fdi	-0.0156 (0.0095)	-0.0071 (0.0054)	-0.0056 (0.0056)	-0.0043 (0.0056)
fin	-0.0137** (0.0054)	-0.0091*** (0.0025)	-0.0130*** (0.0031)	-0.0132*** (0.0031)
gov	0.0908 (0.0618)	-0.0295 (0.0345)	-0.0350 (0.0353)	-0.0349 (0.0332)
constant	-7.1635*** (0.5211)			
W*DEI				0.1212** (0.0615)
ρ		0.9701*** (0.0142)		0.9628*** (0.0167)
λ			0.9915*** (0.0104)	
Sigma2-e		0.0224*** (0.0008)	0.0220*** (0.0006)	0.0219*** (0.0007)
N	2540	2540	2540	2540
within-R2	0.2854	0.2478	0.0037	0.3376

注：括号内为稳健标准误，***、**、*分别代表回归结果在 1%、5%、10%的置信水平下通过显著性检验。下表同。

控制变量方面，市场自由度 (market) 和金融支持度 (fin) 的系数分别通过 5% 和 1% 的显著性检验。市场自由度的系数为 0.2982，表明市场自由度的提升在一定程度上降低了交易和沟通成本，以开放促进知识、技术和资金的流动，对于城市的绿色全要素生产率具有空间上的正向促进作用。金融支持度的系数为 -0.0132，说明金融资本作为一种竞争性资源，当地的金融支持度高，则邻近地区金融支持将面临较大的竞争压力，对绿色全要素生产率的提升具有抑制效应。

3. 空间效应分解

基于表 2 基准回归结果中的 SDM 模型，利用偏微分方法对其进行空间效应分解，进而通过间接效应考察数字经济对城市绿色全要素生产率的空间溢出，结果见表 3。

由表 3 可知，数字经济指数的直接效应、间接效应和总效应的回归系数均在 1% 的显著性水平下为正，表明数字经济的发展不仅存在明显的直接效应，其引致的空间溢出效应对绿色全要素生产率的提升亦具有显著促进作用。SDM 模型的估计系数为 0.074，并在 1% 的水平上显著为正，直接效应的系数为 0.0912，与 FE 模型相比，SDM 模型数字经济的直接效应更小。

表 3 空间效应分解

变量	直接效应	溢出效应	总效应
DEI	0.0912*** (0.0386)	3.7676*** (0.9110)	3.8588*** (0.9299)
hc	0.0068 (0.0272)	1.3355 (6.1147)	1.3423 (6.1391)
gdp	0.0330 (0.0462)	-3.6709 (7.3830)	-3.6380 (7.4086)
market	0.3731** (0.1656)	17.9222 (25.6978)	18.2953 (25.7939)
structure	0.0251 (0.0458)	2.7824 (6.8137)	2.8076 (6.8376)
fdi	-0.0054 (0.0063)	-0.3021 (0.7886)	-0.3075 (0.7916)
fin	-0.0111*** (0.0042)	0.4997 (0.6508)	0.4885 (0.6536)
gov	-0.0023 (0.0582)	8.0489 (12.0565)	8.0467 (12.1035)

此外，直接效应与估计系数的差值表示地区间的空间反馈效应，其刻画了地区数字经济的发展对其邻近区域的反应，进而又反馈回该地区的作用大小。当地数字经济的发展会显著提升当地绿色全要素生产率，该作用系数为 0.0912，其与 SDM 模型系数的差值 0.0172 意味着地方数字经济的不断发展，引致邻近城市绿色全要素生产率的提升，该反馈效应占直接效应的 18.86%。观察数字经济的空间溢出效应及总效应可以发现，数字经济溢出效应为 3.7676，占总效应的 90% 以上。由此可知，数字经济不仅推动了本地区的绿色全要素生产率，而且对其他区域绿色全要素生产率的提升也具有重大贡献，从而验证了研究假说 H₁。

4. 城市群异质性分析

为进一步研究数字经济对绿色全要素生产率影响的空间差异，本文对长三角、珠三角等六大城市群的样本观测值分别进行面板数据回归，得到的城市群异质性回归结果见表 4。六大城市群的核心解释变量数字经济指数的系数均表现为正，说明在不同空间分布中数字经济的发展对于城市绿色全要素生产率的提升具有正向推动作用。其中，长三角、中原及长江中游城市群较为显著。相比沿海城市群，中原和长江中游城市群的数字经济发展水平较低，正处于快速上升期，数字经济对城市生产效率提升、生产方式转型以及生态环境治理具有较高的边际作用。因此，数字经济的变动对于绿色全要素生产率的影响作用较大，从而验证了研究假说 H₂。

表 4 六大城市群异质性检验结果

变量	长三角	珠三角	京津冀	中原	长江中游	成渝
DEI	0.3256*	0.2804	0.1675	0.7712***	1.0185***	0.3619
	(0.1676)	(0.1783)	(0.2002)	(0.2493)	(0.3531)	(0.2278)

控制变量	√	√	√	√	√	√
constant	-8.2676***	-6.5267***	-7.5113***	-5.8643***	-6.6826***	-7.5072***
	(2.4591)	(2.2433)	(2.4263)	(1.9503)	(2.5214)	(2.1884)
N	260	80	140	280	270	150
R ²	0.3554	0.3100	0.2771	0.4151	0.3348	0.4439

五、结论与启示

本文将数字经济纳入已有空间全要素生产率模型，分别对 2011~2020 年中国 254 个城市及六大城市群的数字经济发展与绿色全要素生产率进行测度，利用空间计量模型揭示数字经济驱动绿色全要素生产率的空间效应，主要结论如下：

(1)数字经济时代，数据作为新型生产要素可促进绿色全要素生产率的提升，且存在空间效应。整体来看，近年来我国城市数字经济发展与绿色全要素生产率呈现稳步上升，两者间存在一定的空间相关性。

(2)城市数字经济发展对绿色全要素生产率具有显著的提升作用，除改善本地区绿色全要素生产率之外，城市数字经济还存在显著的空间溢出效应，对其他地区绿色全要素生产率产生积极影响，其空间溢出效应占总效应 90%以上，表明城市数字经济发展对推动其他城市绿色全要素生产率的提升具有重要贡献。

(3)不同空间分布中的数字经济发展对于城市绿色全要素生产率提升具有正向推动作用，但在影响程度上存在异质性，对内陆城市群绿色全要素生产率的促进作用高于沿海城市群，其中对长三角、中原和长江中游城市群的推动作用更为显著。

基于上述研究结论，得出如下启示：

其一，当前，我国经济正逐步由高速增长向高质量发展阶段转变，中国城市的数字经济发展水平和绿色全要素生产率同步提升，但区域差距依然显著存在。为此，借助大数据、人工智能等数字经济业态，着力发展新兴数字产业，不断优化各城市经济结构，促进城市间人力、资本、技术和数据等要素的流动，是加快数字经济发展和提升绿色全要素生产率的关键。

其二，不同城市群的数字经济发展均对绿色全要素生产率的提升起到促进作用。各城市应推进数字经济相关基础设施建设，加快数字经济与各产业的深度融合，以数字技术和数字理念驱动产业绿色转型，转变经济增长方式。

其三，应进一步统筹推进西部开发、东北振兴、中部崛起和东部率先等区域发展战略，欠发达地区应学习和借鉴先进地区的经验，充分发挥后发优势，创新探索经济增长新方式，以缩小数字经济和绿色全要素生产率的地区差异。

参考文献：

- [1]任保平. 数字经济引领高质量发展的逻辑、机制与路径[J]. 西安财经学院学报, 2020, (02):5-9.
- [2]Dedrick J, Kraemer K, Shih E. Information Technology and Productivity in Developed and Developing Countries [J]. Journal of Management Information Systems, 2013, 30(01):97-122.

-
- [3]张辽, 吴耸杰. 信息技术能力对企业全要素生产率的影响——基于“增长效应”与“平滑效应”的比较视角[J]. 中南财经政法大学学报, 2020, (02):57-67.
- [4]荆文君, 孙宝文. 数字经济促进经济高质量发展: 一个理论分析框架[J]. 经济学家, 2019, (02):66-73.
- [5]温珺, 阎志军, 程愚. 数字经济驱动创新效应研究——基于省际面板数据的回归[J]. 经济体制改革, 2020, (03):31-38.
- [6]张勋, 万广华, 张佳佳, 等. 数字经济、普惠金融与包容性增长[J]. 经济研究, 2019, (08):71-86.
- [7]陈诗一. 中国的绿色工业革命: 基于环境全要素生产率视角的解释(1980—2008)[J]. 经济研究, 2010, (11):21-34, 58.
- [8]李斌, 彭星, 欧阳铭珂. 环境规制、绿色全要素生产率与中国工业发展方式转变——基于 36 个工业行业数据的实证研究[J]. 中国工业经济, 2013, (04):56-68.
- [9]孙亚男, 杨名彦. 中国绿色全要素生产率的俱乐部收敛及地区差距来源研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, (06):47-69.
- [10]陈浩, 刘培, 许佩. 城市绿色全要素生产率演变机制研究——基于城市能源与土地要素约束的视角[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, (09):93-105.
- [11]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, (10):65-76.
- [12]许恒, 张一林, 曹雨佳. 数字经济、技术溢出与动态竞合政策[J]. 管理世界, 2020, (11):63-84.
- [13]陈昌盛, 许伟, 兰宗敏, 等. “十四五”时期我国发展内外部环境研究[J]. 管理世界, 2020, (10):1-14, 40, 15.
- [14]韩晶, 孙雅雯, 陈曦. 后疫情时代中国数字经济发展的路径解析[J]. 经济社会体制比较, 2020, (05):16-24.
- [15]杨慧梅, 江璐. 数字经济、空间效应与全要素生产率[J]. 统计研究, 2021, (04):3-15.
- [16]张焱. 数字经济、溢出效应与全要素生产率提升[J]. 贵州社会科学, 2021, (03):139-145.
- [17]徐翔, 厉克奥博, 田晓轩. 数据生产要素研究进展[J]. 经济学动态, 2021, (04):142-158.
- [18]Fischer M M, Scherngell T, Reismann M. Knowledge Spillovers and Total Factor Productivity:Evidence Using a Spatial Panel Data Model [J]. Geographical Analysis, 2009, 41 (02):204-220.
- [19]王兵, 刘光天. 节能减排与中国绿色经济增长——基于全要素生产率的视角[J]. 中国工业经济, 2015, (05):57-69.