

# 数实融合与城市绿色发展：影响与机制

崔琳昊<sup>1</sup>, 冯 烽<sup>2,3</sup>

(1. 中国社会科学院大学 经济学院, 北京 102488; 2. 中国社会科学院 数量经济与技术经济研究所, 北京 100732; 3. 中国社会科学院大学 应用经济学院, 北京 102488)

**摘要:**在资源环境和经济发展矛盾日益凸显的背景下,粗放型的增长模式已难以为继,如何实现发展方式的绿色转型是当前经济高质量发展亟待解决的问题。文章基于2011—2019年全国270个城市的面板数据,在使用耦合协调度模型测度数实融合程度和构建城市绿色发展水平指标体系的基础上实证检验了二者之间的关系并探讨了其中的作用机制。研究发现:数实融合通过促进产业结构升级和技术进步推动了城市产出扩张、投入优化和治理提升,进而促进了城市绿色发展;进一步分析发现,产业集聚程度和区域一体化在数实融合推动城市绿色发展的过程中发挥着正向的调节作用,在集聚程度更高的地区和区域一体化程度更高的城市,数实融合对城市绿色发展的促进作用更为显著;异质性分析结果表明,数实融合在城市化水平更高的东部地区和东北地区对绿色发展的作用更加显著。研究不仅为理解数字经济对城市绿色发展的作用机制提供了新的视角,还为城市绿色发展政策的制定提供了科学依据。

**关键词:**数字经济;实体经济;城市绿色发展;结构效应;技术效应

**中图分类号:**F290 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-0150(2024)04-0049-15

## 一、引言

改革开放以来,中国经济取得了举世瞩目的成就,实现了连续多年的高速发展,至2023年末,中国工业增加值达39.91万亿元,占全球制造业规模的30%以上,连续14年居于世界首位,人民生活水平也得以显著提升。然而,必须承认的是,这些辉煌成就的背后是资源和环境的代价,资源环境和经济发展的冲突日益显现,粗放型发展模式下的高投入、高消耗和高排放问题日益严峻,如何避免走西方国家“先污染,后治理”的老路成为当前中国经济实现高质量发展亟待解决的问题。而作为区域发展的中心和引擎,城市经济发展模式的转型更是其中的焦点。2020年9月,中国在第七十五届联合国大会上作出了“二氧化碳力争2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和”的庄严宣告,向世界人民展示了中国的大国担当和责任。为了达成这一目标,习近平总书记2024年1月在二十届中央政治局第十一次集体学习时强调:“绿色发展是

收稿日期:2024-03-30

基金项目:国家社会科学基金重大项目“数字经济高质量发展的创新与治理协同互促机制研究”(22&ZD071);中国社会科学院经济大数据与政策评估实验室(2024SYZH004);中国社会科学院大学研创项目“中国城市绿色发展时空特征及其影响因素分析”(2024-KY-082)。

作者简介:崔琳昊(1997—),男,河南郑州人,中国社会科学院大学经济学院博士研究生;

冯 烽(1980—),男,广西梧州人,中国社会科学院数量经济与技术经济研究所研究员、中国社会科学院大学应用经济学院教授。

高质量发展的底色,新质生产力本身就是绿色生产力,必须加快发展方式绿色转型,助力碳达峰碳中和。”

绿色发展是一种兼顾经济发展、环境保护和生态治理的发展模式,强调经济循环、自然循环和社会循环的良性互动(胡鞍钢和周绍杰,2014),其本质是在使用更少资源和控制污染的条件下达达到最优的经济和社会产出,即发展模式的“集约化和高效化”。既有研究表明(魏丽莉和侯宇琦,2022;王晓红等,2022),城市绿色发展的实现离不开三方面的因素(Zhou,2022):一是产出的多元化和优质化,包括经济产出和社会产出两方面。在绿色发展理念下,经济增长和物质财富的增加不再是唯一的目标,而是更多地要求经济增长质量的提升和居民生活方式的优化,包括增长的可持续性、创新性和公平性以及绿色生活理念的形成等。二是资源和环境投入的高效化,主要是指城市资源利用效率的提高和环境污染的减少。传统粗放的经济增长模式往往伴随着高污染和高排放,经济发展以资源的低效率使用和环境的污染为代价,绿色发展理念则要求资源利用效率的提高和环境污染的有效控制(史丹和李少林,2020)。三是城市生态环境治理的加强。环境治理既关系着生产,是经济和社会产出的保障;又影响着投入,是资源有效利用和环境质量提升的路径。绿色发展理念对生态环境治理的手段、方式和强度都提出了更高的要求,力图实现生态环境和人类社会的和谐共生。

数字技术是第四次工业革命背景下的革命性力量,这种力量既是一种绿色生产力,更是新质生产力的代表,城市绿色发展实现所需要的产出、投入和治理优化都与数字技术应用息息相关,而发挥数字技术作用的主要途径就是数字经济和实体经济的深度融合(史丹和孙光林,2023),由此带来城市发展模式的转变。数实融合发端于数字技术,落脚于实体经济,其本质在于有效促进产业和生活模式的转变,对城市创新、人力资本、公共服务以及生活理念均具有显著的优化和提升作用。既有研究也已经关注到数字经济和实体经济融合可能产生的环境影响。一方面,数字经济带来的实体产业数字化转型将极大地提升实体经济发展速度和资源利用效率(曹裕等,2023;陈俊华等,2023),这将极大地降低经济发展带来的资源和环境消耗速度。另一方面,数字化产业的规模发展将带来区域经济的转型升级,由此将降低地区污染排放和环境治理成本(王军和王杰,2024)。数字化产业一般具有排放低、附加值高、创新性强的特点,其经济产出往往不以资源和环境的消耗为代价,也不产生多余的废弃物排放,如大数据、云计算、动漫等产业都是投入产出效率较高的产业,由此将改变地区产业格局,降低区域环境污染。此外,数字经济与城市治理、实体公益、公共服务业等的融合也将带来城市环境治理能力的极大增强(王磊等,2023),比如各种数字化监控平台能够随时掌握区域环境和企业排放信息,便于进行更加有效的监管等。

本文基于2011—2019年全国270个城市的样本,在测度城市数实融合程度和绿色发展水平的基础上研究了数字经济与实体经济融合发展对城市绿色发展的作用及其机制,力图搭建起数实融合影响城市绿色发展的理论框架,并为城市更好地实现绿色高质量发展提供政策抓手。本文的边际贡献如下:第一,测算方法上,将数实融合的测度推进到城市层面,并从经济和社会产出、资源和环境投入、环境和生态治理三方面构建了包含增长质量和绿色生活水平、资源利用与环境质量水平、生态保护和环境治理水平六个维度,33个指标的城市绿色发展指标体系,考虑的因素更加全面和完整。第二,理论框架上,将城市绿色发展的概念梳理为投入、产出和治理三方面,并将数实融合对其产生影响的作用机制归结为结构和技术效应,基于这两条渠道通过分析数实融合对城市产出、投入和治理的影响构建了分析的理论框架。第三,研究结论

上,不同于既往研究大多关注数实融合经济效应的视角,本文从资源环境的视角进一步考察数实融合对社会发展的深刻影响,指出其能够通过产业结构变迁和技术进步产生环境效应,从而推动中国发展方式的绿色转型。

## 二、理论分析与研究假设

绿色发展的概念内涵一直是众多研究集中探讨的问题(Han和Lee, 2023; 向书坚和郑瑞坤, 2013)。有研究认为,绿色发展的最终目标是实现社会进步,所以绿色发展更应该关注自然系统、经济系统和人类社会的系统性和协调性(李正图, 2013)。因此,本文对绿色发展的定义是在使用更少的资源和控制污染的条件下达达到最优的经济和社会产出,即资源和环境的产出效率(李晓西等, 2014)。从定义上来看,达成绿色发展的目标至少需要三方面的要素:一是产出的扩张,包括经济和社会产出;二是投入的优化,包括资源和环境的投入;三是治理的强化,即生态保护和环境治理的加强。因此,绿色发展这一概念可用资源环境生产率来表示,即(经济和社会产出/资源和环境投入) $\times$ 城市治理。数实融合是数字经济与实体经济之间的良性互动。一方面,传统产业通过应用数字化技术得以实现转型升级,能够提升生产效率、促进技术进步,从而带来产出的扩张;另一方面,数字经济深度融合城市各产业能够带来管理效率的提升,有助于实现资源的精细化管理,从而提升城市内各产业的投入效率。同时,数字化技术的应用也能够为城市环境治理提供更加精准和高效的手段,促进城市治理水平的提升,为城市绿色发展提供坚实的基础。综合来看,数实融合对城市绿色发展的产出、投入和治理方面的作用可以归结为产业结构升级和技术进步两条渠道。基于此,本文提出假设H1,并将数实融合提升城市绿色发展水平的机制总结为产业结构效应和技术效应。

H1: 数字经济与实体经济深度融合能够提升城市绿色发展水平。

### (一) 结构效应

结构效应是指数字经济与实体经济深度融合带来的城市产业结构转型升级对城市绿色发展的影响,这包括一批新兴产业的诞生和传统产业的数字化改造,从而促进城市产出的扩张、投入的优化和治理水平的提升。

首先,从产出来看,一方面,数实融合推动城市经济的转型升级和创新发展,提升城市经济产出的规模和质量。数实融合程度的加深可以带动新兴产业的发展,如云计算、互联网、人工智能等,这些新兴产业的发展为城市经济注入了新的活力。同时,数字技术的广泛应用与产业的融合发展能够提高生产效率和产品质量,推动传统产业向智能化、绿色化转型升级,进而提升城市经济总量和竞争力。另一方面,就社会产出而言,数实融合带来的产业结构转型升级深刻地影响居民的生活方式和价值观念,推动绿色低碳生活方式的普及和推广。随着数实融合带来的城市产业变迁,居民从事的生产活动形式也大不相同,越来越多的人会从事绿色低碳的行业,比如文化创意、虚拟数据等,这些生产组织方式的变革将促使人们的生活方式越来越健康和低碳。

其次,从投入来看,一方面,数实融合带来的结构效应促进资源投入的优化、实现资源利用效率的提高和资源消耗的减少。随着数字技术的广泛应用和产业结构的升级,城市经济生产模式逐渐向资源节约型和循环利用型转变;同时,数字化生产管理系统在传统实体产业上的建设和应用也使得生产过程更加智能化和精细化,减少了资源浪费和能源消耗。另一方面,数实融合带来的产业结构效应也对环境投入产生积极影响,减少了环境消耗和污染排放。在数实融合的背景下,一批智能化环保产业的发展使得城市能够更有效地监测和控制环境污染,提高了环

境治理的精准度和效率;同时,数实融合带来的产业结构升级也促进传统产业的数字化转型,企业效率大大提升,减少了碳排放和能源消耗,推动城市环境质量的提高和生态环境的保护。

最后,从治理来看,一方面,数实融合带来的产业结构升级和数字化技术的应用促进城市环境治理的加强。数实融合加速了对传统产业的改造,促使其生产方式和生产工艺革新和优化,大大降低了对环境资源的消耗和对生态环境的污染,有利于降低生产活动对环境的负面影响,促进生态环境的改善和治理。另一方面,数实融合带来的产业结构优化升级促进生态产业的发展 and 壮大,为城市生态保护的加强提供条件。数实融合推动了绿色、低碳、环保等新兴产业的兴起和发展,形成了一批环保技术、清洁能源、生态农业等生态产业集群,为生态环境治理提供新的技术支撑和发展动力。例如,新能源产业和环保产业的蓬勃发展,促进了清洁高效能源的广泛运用和普及,减少了对传统能源的过度依赖,从而有助于减少温室气体排放和空气污染。同时,生态农业产业的兴起也推动了农业生产方式的转型升级,减少了对农药化肥的过度使用,有利于土壤和水资源的保护(Huang和Xiong, 2022)。基于此,本文提出假设H2。

H2:数字经济和实体经济深度融合能够产生结构效应,通过推动城市产业结构转型升级促进城市绿色发展。

## (二)技术效应

技术效应是指数字经济和实体经济深度融合带来新技术的应用和技术升级,进而从产出、投入和治理三方面对城市绿色发展产生影响。数实融合对城市绿色发展的影响机理如图1所示。

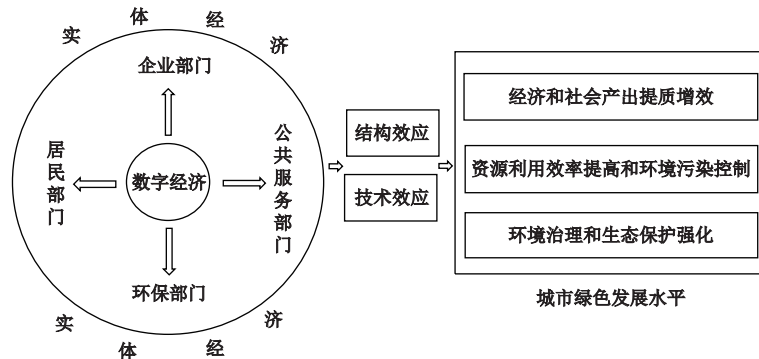


图1 数实融合对城市绿色发展的影响机理

首先,从产出来看,一方面,技术效应通过推动技术进步和应用,促进了经济产出的扩张和提质增效。数字技术的广泛应用催生新的产业形态和商业模式,促进传统产业朝着数字化方向转型,同时也助推新兴产业的兴起。技术创新在推动生产效率和产品质量提高的同时,也降低了生产成本,促进产业升级和结构优化,又进一步提升经济产出的水平和质量。另一方面,技术效应也深刻影响社会产出,推动居民生活方式的转变和社会价值观念的更新。数字技术的广泛应用改变了人们的生产生活方式,推动绿色低碳生活理念的普及和社会责任意识的提升,引导社会产出朝着更加环保、可持续的方向发展。例如,数字技术的应用使得绿色出行、共享经济等新兴模式得以快速发展,推动了低碳生活方式的普及和社会生态文明建设的深入开展。同时,技术创新也为社会公共服务提供更加高效、便捷的方式,提升社会治理与公共服务水平和便捷程度,促进社会产出的全面提升。

其次,从投入来看,一方面,技术效应推动资源投入的优化,实现资源利用效率的提升和循环利用。数字技术的创新和应用促使生产过程更加智能化和精细化,提高资源利用的效率和精

度。同时,数字化技术还推动资源的循环利用和再生利用,如通过物联网技术实现的智能回收和再生利用系统可以实现废弃物的精准分类和再利用,降低资源的浪费和损耗。另一方面,技术效应促进环境投入的优化,实现环境消耗的减少和环境污染的降低。数字技术的广泛应用为环境保护提供新的技术手段和路径,推动绿色创新研发和环保技术应用。同时,数字技术的应用还可以通过提升环境监测和治理的能力及时发现和应对环境问题,减少对环境污染和生态破坏的风险。

最后,从治理来看,一方面,数实融合带来的技术效应推动城市环境治理体系升级和智能化建设。数字化技术为城市环境监测、预警、管控等提供技术支撑,实现对环境污染源头的精准监测和快速响应,提高城市环境治理的精准度和效率。同时,数字化技术的应用也促进城市环境治理信息化和智能化建设,提升城市环境治理的智能化水平和管理效能。另一方面,数实融合产生的技术效应推动生态环境治理的创新和强化。数字技术的应用为生态环境保护和修复提供新的路径和手段。例如,利用区块链技术实现对生态环境资源的全程追溯和监管,提高生态资源的可追溯性和可控性,有利于打击非法采矿、乱占耕地等行为,保护生态环境的合理利用。同时,数字技术的应用也促进生态环境数据的共享和开放,为生态环境治理提供更加全面、精准的数据信息,有助于实现生态环境治理的全面化和精细化。基于此,本文提出假设H3。

H3:数字经济和实体经济深度融合能够产生技术效应,通过新兴技术应用和技术升级促进城市绿色发展。

### 三、研究设计

#### (一)研究样本与数据来源

本文基于2011—2019年全国270个城市的面板数据,在样本筛选过程中排除了数据缺失较为严重的城市,如将西藏、青海、新疆等省份的部分城市,个别设立时间较晚的城市(如儋州市)以及撤市立县的城市(如巢湖市)也予以剔除,剔除后得到270个城市的样本。相应地,用于测算城市数实融合程度、绿色发展水平和回归分析的数据主要来自《中国城市统计年鉴》《城市建设统计年鉴》《中国工业统计年鉴》、中国科学院资源环境科学与数据中心等,部分缺失数据使用对应省份和城市统计局官方网站的数据补齐,个别缺失使用插值法填补,其余部分数据随文详细说明。

#### (二)主要变量定义

1.数实融合程度。本文将数实融合定义为数字经济与实体经济相互促进、协调发展,并形成良性循环的状态。这一概念的关键点在于“良性循环”,也就是说,数实融合是一个动态循环的过程而非线性概念,这一过程既包括数字经济对实体产业的赋能,即数字经济对传统产业生产效率、市场布局、供应链优化、营销分析以及品牌建设等方面的提升作用,也包括实体产业通过创造新的数字化应用场景推动数字经济发展和创新的过程,以及随之而来的下一轮循环。为此,参考既有研究(史丹和孙光林,2023),本文使用耦合协调度模型对城市数字经济与实体经济的融合发展程度进行测度,其中城市数字经济水平参考既有研究(赵涛等,2020),从城市互联网发展程度和数字金融水平两个维度的城市互联网普及率、数字经济相关从业人员人数占比、数字经济相关产业产出、移动电话普及率和数字普惠金融五方面切入,采用熵权法对城市数字经济发展水平进行测度。城市实体经济测度方法参考黄群慧(2017)的研究,以城市农业、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。本文所使用的耦合度模型如下:

$$C_{dp}^t = \frac{2\sqrt{u_d^t \times u_p^t}}{u_d^t + u_p^t} \quad (1)$$

其中,  $C_{dp}^t$  代表第  $t$  期城市数字经济和实体经济的融合程度,  $u_d^t$  代表第  $t$  期城市数字经济发展水平,  $u_p^t$  代表第  $t$  期城市实体经济发展水平。采取这一公式测算可能会出现个别城市数字经济和实体经济水平都较低但数实融合程度较高的情况, 为此, 参考既有研究的做法 (王淑佳等, 2021), 在式 (1) 的基础上将耦合评价模型修正为:

$$D_{dp} = \sqrt{C_{dp} \times T_{dp}}, \quad T_{dp} = \alpha u_d + \beta u_p \quad (2)$$

其中,  $D_{dp}$  代表修正后的城市数实融合水平,  $T_{dp}$  代表数字经济和实体经济的整体发展水平,  $\alpha$ 、 $\beta$  分别为数字经济和实体经济的权重,  $\alpha + \beta = 1$ , 此处将两者的权重都设为 0.5。

2. 城市绿色发展。本文将绿色发展定义为在使用更少资源和控制污染的条件下达达到最优的经济和社会产出, 其构成主要包含以下三个要素: 一是经济和社会产出的扩张, 二是资源和环境投入的优化, 三是生态和环境治理水平的提升。为此, 本文构建的用于评价城市层面绿色发展指数的指标体系如表 1 所示。其中, 具体指标选取的基本依据为国家发改委制定的《绿色发展指标体系》。此外, 本文在概念梳理的基础上将国家发改委提供的《绿色发展指标体系》的资源利用、环境治理、环境质量、生态保护、增长质量、绿色生活六个维度梳理为投入、产出和治理三方面。其中, 投入是指城市实现自身发展过程中付出的代价, 这些代价包括资源消耗和环境污染, 它们共同构成城市绿色发展的投入部分, 即资源和环境投入; 产出是指城市绿色发展最终要达成的居民触手可及的目标和切实的变化, 在绿色发展目标下, 为了更好地帮助人民实现美好生活的需要, 城市增长质量和绿色生活水平的提高是其题中之义; 治理是指城市绿色发展过程中各类主体如何发挥主观能动性, 对环境和生态进行保护和治理修复的行为。该指标体系共计 6 个维度, 涉及 33 个指标, 充分考虑了城市自身的发展特点和数据可得性。

3. 控制变量。参考既有研究 (魏丽莉和侯宇琦, 2022), 本文选取的控制变量为: 经济基础, 使用城市国民生产总值水平衡量, 用于控制城市经济发展水平的差异; 金融发展, 使用城市银行年末存贷款余额占地区生产总值的比重表示, 用于控制城市信贷条件的固有差异; 经济结构, 参考既有研究 (汪伟等, 2015), 使用产业结构综合指数衡量, 即第一产业+第二产业 $\times$ 2+第三产业 $\times$ 3, 用于控制城市固有产业结构的差异; 对外开放水平, 使用实际利用外资金额表示, 用于控制不同城市外资环境的差异; 人口密度, 使用城市每平方公里人口数表示, 用以控制城市人口规模的差异。人口密度较大的城市往往拥有更多的数字经济与实体经济融合的应用场景, 其融合程度相对较高; 教育水平, 使用城市每万人大学生数表示。以上变量均取对数参与回归<sup>①</sup>。

### (三) 模型构建

为了研究数字经济与实体经济融合对城市绿色发展的影响, 对假设 H1 进行检验。本文构建了如下双向固定效应模型:

$$GG_{it} = \alpha + \beta DS_{it} + X'_{it}\gamma + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中, 下标  $i, t$  分别代表个体和时间, 被解释变量  $GG$  为城市绿色发展水平, 核心解释变量  $DS$  为城市数字经济与实体经济的融合程度。  $X'$  为控制变量矩阵, 代表一系列可能影响回归结果的变量;  $\mu$  代表城市固定效应, 用于控制仅随个体变化而不随时间变化的因素, 比如区位条件、经济文化传统、乡土风俗等;  $\lambda$  为时间固定效应, 用于合成所有随时间变化但是不与个体变化同步的因素, 比如某些年份发生的席卷全球的经济或者社会事件;  $\varepsilon$  为随机误差项, 用于吸收各

<sup>①</sup>因篇幅限制, 变量的描述性统计结果未予列示, 留存备索。

种随机性因素的影响。此外,为了减轻可能的自相关和截面异方差问题,本文将标准误聚类到城市层面。

表1 中国城市绿色发展指数指标体系

|                | 维度(总权重)     | 指标                  | 指标属性 |             |    |
|----------------|-------------|---------------------|------|-------------|----|
| 投入角度           | 资源利用        | 人均日用水量(升)           | 负向   |             |    |
|                |             | 能源消费量(万吨标准煤)        | 负向   |             |    |
|                |             | 一般工业固体废物综合利用率(%)    | 正向   |             |    |
|                |             | 年末保有耕地(公顷)          | 正向   |             |    |
|                |             | 单位用地面积GDP(万元/平方公里)  | 正向   |             |    |
|                |             | 单位GDP二氧化碳排放量(万吨/亿元) | 负向   |             |    |
|                |             | 单位GDP能耗(吨/万元)       | 负向   |             |    |
|                |             | 非化石能源比重             | 正向   |             |    |
|                | 环境质量        | 空气质量指数              | 负向   |             |    |
|                |             | 空气质量达到及好于二级的天数占比(%) | 正向   |             |    |
| 产出角度           | 增长质量        | 人均地区生产总值增长率(%)      | 正向   |             |    |
|                |             | 居民人均可支配收入(元)        | 正向   |             |    |
|                |             | 在岗职工平均工资(元)         | 正向   |             |    |
|                |             | 专利授权数(件)            | 正向   |             |    |
|                |             | 每万人在校大学生数(人/万人)     | 正向   |             |    |
|                |             | 第三产业增加值占GDP的比重(%)   | 正向   |             |    |
|                | 绿色生活        | 每万人拥有公共汽车(辆/万人)     | 正向   |             |    |
|                |             | 人均公园绿地面积(平方公里)      | 正向   |             |    |
|                |             | 体育场馆数(个)            | 正向   |             |    |
|                |             | 公共图书馆(个)            | 正向   |             |    |
|                |             | 博物馆数(个)             | 正向   |             |    |
|                |             | 公众环境关注度             | 正向   |             |    |
|                |             | 治理角度                | 环境治理 | 工业二氧化硫排放(吨) | 负向 |
|                |             |                     |      | 工业废水排放量(万吨) | 负向 |
| 污水处理厂集中处理率(%)  | 正向          |                     |      |             |    |
| 工业烟粉尘排放量(吨)    | 负向          |                     |      |             |    |
| 生活垃圾无害化处理率(%)  | 正向          |                     |      |             |    |
| 生活污水处理率(%)     | 正向          |                     |      |             |    |
| 环境污染治理投资占GDP比重 | 正向          |                     |      |             |    |
| 生态保护           | 森林覆盖率(%)    |                     | 正向   |             |    |
|                | 森林蓄积量(亩)    |                     | 正向   |             |    |
|                | 水域湿地面积占比(%) |                     | 正向   |             |    |
|                |             | 建成区绿化覆盖率(百分比)       | 正向   |             |    |

#### 四、实证结果与分析

##### (一) 基准回归

数实融合对城市绿色发展水平的基准模型回归结果如表2第(1)–(4)列所示。回归结果显示,不管是否加入控制变量,数实融合对城市绿色发展的系数均在1%的水平上显著为正,且数值变化不大,表明这一回归结果较为稳健。本文以表2第(4)列加入全部固定效应和控制变量的

结果为准。回归结果表明,数实融合能够显著提升城市绿色发展水平,在1%的水平上,城市数字经济与实体经济融合程度每提高1个单位,城市绿色发展水平提升约0.245个单位,这一数值约占城市绿色发展平均值的47.39%,是一个相当大幅度的提升。此外,部分控制变量的结果也值得关注,其中包括经济发展水平、产业结构和金融发展,这些变量的系数在任何情况下都显著为正,这一结果和理论预期相符,表明这些因素也能够为城市的绿色发展提供支持。城市外资水平则在任何情况下都在1%的水平上显著为负值,这一结果一定程度上支持了“污染天堂”假说,即发达国家通过对外投资将重污染和高消耗产业进行转移。

表 2 基准回归结果

| 变量                    | (1)             | (2)             | (3)              | (4)              | (5)              |
|-----------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
|                       | 全部城市            |                 |                  |                  | 普通地级市            |
| <i>DS</i>             | 0.213***(0.018) | 0.233***(0.018) | 0.252***(0.018)  | 0.245***(0.056)  | 0.242***(0.057)  |
| <i>Gdp</i>            |                 | 0.003**(0.001)  | 0.006***(0.002)  | 0.027***(0.007)  | 0.024***(0.007)  |
| <i>Fin</i>            |                 | 0.030***(0.002) | 0.016***(0.003)  | 0.027***(0.006)  | 0.025***(0.006)  |
| <i>Stru</i>           |                 |                 | 0.181***(0.022)  | 0.190***(0.047)  | 0.192***(0.047)  |
| <i>Fdi</i>            |                 |                 | -0.006***(0.001) | -0.002***(0.001) | -0.003***(0.001) |
| <i>Coll</i>           |                 |                 |                  | 0.001**(0.001)   | 0.001(0.001)     |
| <i>Pop</i>            |                 |                 |                  | 0.000(0.003)     | 0.001(0.003)     |
| <i>City</i>           | 不控制             | 不控制             | 不控制              | 控制               | 控制               |
| <i>Year</i>           | 不控制             | 不控制             | 不控制              | 控制               | 控制               |
| <i>Obs.</i>           | 2170            | 2170            | 2170             | 2170             | 1922             |
| <i>R</i> <sup>2</sup> | 0.059           | 0.130           | 0.188            | 0.478            | 0.491            |

注: \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$ , 括号内为聚类稳健标准误,下同。

考虑到中国部分城市具有较高的行政级别,如四个直辖市、省会城市和计划单列市具有较高的行政级别,由此可能会使得这些城市在教育水平、政策条件、人才吸引力等方面具有一定的优势,从而可能对回归结果产生一定程度的干扰。为此,本文在剔除这些行政级别较高的城市后仅使用普通地级市进行回归,相应的回归结果如表2第(5)列所示。结果仍然与基准回归的结果相比变化不大,且仍然在1%的水平上显著为正,表明数实融合能够提升城市绿色发展水平这一结果较为稳健,假设H1进一步得到支持。

## (二) 内生性问题讨论

本文参考既有研究(黄群慧等, 2019),使用城市1984年城市邮电业务总量作为城市数字经济与实体经济融合程度的工具变量。相关性方面,城市1984年邮局邮电业务总量的大小反映了地区电信业发展基础,基础好的城市在数字经济与实体经济融合方面也具有一贯的优势,其理论基础主要有两点:一是邮电业务总量与信息基础设施的关系。1984年邮电业务总量反映了当时地区信息通信基础设施的建设水平。邮电业务作为通信网络的重要组成部分,其发展水平与当地的基础设施投资和布局密切相关。二是历史路径依赖。通信基础设施具有较强的路径依赖性。早期邮电业务发展较好的地区,往往在后续的通信技术升级和数字基础设施建设中保持领先地位。1984年城市邮电数据与当下城市数字经济发展水平数据对比显示,1984年历史邮电业务发达的地区也基本上是当下数字经济发展的热点地区。因此,从数据表现和直观感受上,1984年历史邮电数据与城市数实融合程度具有较强的相关性,满足工具变量的相关性条件。外生性方面,城市1984年的邮电业务总量不太可能直接影响样本期内城市绿色发展水平,即与被



解释变量无直接相关,满足外生要求。使用工具变量进行两阶段最小二乘回归的估计结果显示,第一阶段中的F值为114.77,大于临界点10(Staiger和Stock, 1997),不可识别检验的LM统计量为31.313,且在1%的水平上拒绝了原假设,表明工具变量有效;过度识别检验的Sargan统计量为88.437,且仍然在1%的水平上拒绝了原假设。第二阶段工具变量的回归结果仍然在5%的水平上显著为正,表明本文基本回归的系数内生性问题较弱,数实融合对城市绿色发展存在正向影响这一结论较为稳健,假设H1进一步得到支持。

### (三) 稳健性检验

1. 改变测度方法。本文基准回归部分使用包含投入、产出和治理三个维度的城市绿色发展指标体系对城市绿色发展水平进行了测度。为了避免测度方法的敏感性,本文还使用考虑非期望产出的SBM-DEA方法对城市绿色发展水平重新进行测度。参考既有研究(殷宝庆, 2012),使用城市物质资本、劳动力和资源消耗作为投入,其中,城市物质资本由永续盘存法计算得出(张军等, 2004),使用城市经济发展和生态建设作为期望产出,使用污染物排放和空气污染程度作为非期望产出。使用SBM-DEA方法重新测度城市绿色发展水平的回归结果仍然在1%的水平上显著为正,表明数实融合能够显著提升城市绿色发展水平这一结论相对稳健。

2. 缩尾检验。中国国土辽阔,城市数量众多,各城市在地理位置、资源分配和经济基础等方面都存在较为明显的不同,由此可能会使得一些城市出现极端的高值或者低值,因此,本文进行两侧5%缩尾后重新回归。缩尾后的回归结果显示,实体经济与数字经济融合发展的系数仍然在1%的水平上显著,且与基准回归结果相比差异不大,表明数字经济与实体经济深度融合能够提升城市绿色发展水平这一结论比较稳健。

3. 加入高维固定效应。考虑到中国的许多政策,特别是环境类政策大多是以省份和时间为单位发布的(刘瑞明等, 2020)。本文控制了省域和年份联合固定效应后重新进行回归,相应的回归结果仍然在1%的水平上显著为正,并且与基准模型的回归结果相比数值上差异不大,再次表明本文基准回归结论的稳健性,即数实融合能够显著提升城市绿色发展水平,假设H1得到较为充分的支持<sup>①</sup>。

### (四) 机制分析

1. 数实融合对城市绿色发展的产业结构效应。参考既有研究(干春晖等, 2011),本文使用城市产业结构高级化和合理化指数衡量城市产业结构的转型升级,构建的高级化公式为:

$$H_{it} = \sum_{j=1}^3 \frac{Y_{ijt}}{Y_{it}} LP_{ijt}^N \quad (4)$$

其中,下标*i*、*j*、*t*分别表示城市、产业( $j = 1, 2, 3$ )和年份。*Y*表示增加值,*LP*为劳动生产率,计算方法为行业增加值与行业从业人数之比。该公式实际是按照劳动生产率对不同产业的增加值占比进行加权求和,生产率更高的产业将被赋予更大的权重,如果一个社会的产业结构由劳动和资源密集型产业向技术和知识密集型产业转变,即产业结构趋于高级化,则使用式(4)测度的产业结构高级化指数的值*H*就会增大。

进一步地,借鉴既有研究(盛斌和赵文涛, 2020),本文基于结构偏离度和产业增加值的占比情况利用泰尔指数构建城市产业结构合理化指数:

$$SR_{it} = \sum_{j=1}^3 \left( \frac{Y_{ijt}}{Y_{it}} \right) \left| \frac{Y_{ijt}}{L_{ijt}} / \frac{Y_{it}}{L_{it}} - 1 \right| \quad (5)$$

<sup>①</sup>因篇幅限制,工具变量和稳健性检验结果未予列示,留存备索。

其中,下标 $i$ 、 $j$ 、 $t$ 分别表示城市、产业( $j=1, 2, 3$ )和年份, $SR$ 表示城市的产业结构合理化指数, $L$ 表示就业人数, $Y$ 表示经济总产出。该指数构建的基本思路是:如果一个地区的产业结构处于合理状态,则经济各部门的劳动生产率应该相同且等于地区平均劳动生产率,即 $Y_{ijt}/L_{ijt} = Y_{it}/L_{it}$ ,此时 $SR_{it} = 0$ ;反之,若 $SR_{it}$ 与0偏离越远,则表明地区经济越偏离均衡状态,地区生产要素在产业之间的配置未达到最优。

本文使用产业结构高级化和合理化指数衡量数实融合的结构效应,机制检验的回归结果如表3第(1)列和第(2)列所示。结果显示,数字经济和实体经济的融合发展能够显著促进城市的产业结构高级化和合理化进程,表明数实融合能够在城市产生产业结构效应,进而对城市绿色发展产生正向影响,假设H2得到支持。

表3 机制检验结果

| 变量                     | (1)              | (2)             | (3)             | (4)             |
|------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                        | 结构效应             |                 | 技术效应            |                 |
|                        | 高级化              | 合理化             | 专利授权量           | 创新指数            |
| $DS$                   | 1.539*** (0.011) | 0.343** (0.135) | 1.297** (0.660) | 3.855** (1.587) |
| Controls & City & Year | 控制               | 控制              | 控制              | 控制              |
| Obs.                   | 2146             | 2146            | 2162            | 1629            |
| $R^2$                  | 0.971            | 0.090           | 0.708           | 0.688           |

2.数实融合对城市绿色发展的技术效应。本文使用城市获取专利数量和综合创新指数作为城市技术效应的衡量。其中,专利获取数量包括城市发明专利、外观专利和实用新型专利,其数据来自中国研究数据服务平台(CNRDS);城市综合创新指数来自《中国城市和产业创新力报告》,是由城市专利数据和企业注册数据加权得到的综合指数,均取对数,相应的数据分别来自国家知识产权局和国家工商局。使用这两者对城市数实融合水平进行回归的结果如表3第(3)列和第(4)列所示。结果显示,数实融合能够在5%的水平上分别提升城市专利授权数量和综合创新指数,表明数实融合能够在城市推动产业技术进步,通过技术效应推动城市绿色发展,假设H3得到支持。

## 五、进一步讨论

### (一)产业集聚程度的调节作用

数字经济与实体经济深度融合对城市绿色发展的影响是由产业结构转型升级和推动技术进步带来的,这两个效应的发挥都离不开良好的城市产业基础和较高的产业集聚程度。为此,本文使用城市产业密度衡量产业集聚程度(邵帅等,2019),产业密度以城市建成区单位面积的工业产出表示,将产业密度高于平均值的城市视为产业集聚程度较高的城市,反之则视为产业集聚程度较低的城市进行分组回归,分组回归的结果如表4第(1)列和第(2)列所示。结果显示,在产业集聚程度更高的地区,数实融合对城市绿色发展的系数更大,并且费舍尔组合的组间差异检验对应的P值在1%的水平上显著,表明数实融合对绿色发展的提升作用在产业集聚程度更高的城市更加显著,说明产业基础在数实融合推动城市绿色发展的过程中发挥着正向的调节作用。究其原因,一是产业集聚程度高的城市拥有更丰富的数字化场景和更广泛的应用需求,数字技术更容易在这样的环境中发挥作用,对实体经济产生更直接、更深入的影响。二是产业集聚程度高的城市中,企业和机构更加聚集,合作与交流更加频繁,数字化技术的应用

更容易形成良性循环和集群效应,从而加速了数字化与绿色发展的融合进程。三是产业集聚程度高的城市往往拥有更为完善的产业生态系统和政策环境,为数字经济与实体经济的融合提供了更加有利的条件和支撑,进而推动了城市绿色发展。

表4 产业集聚和区域一体化的调节作用

| 变量                                    | (1)              | (2)            | (3)             | (4)              |
|---------------------------------------|------------------|----------------|-----------------|------------------|
|                                       | 产业集聚             |                | 区域一体化           |                  |
|                                       | 较高               | 较低             | 较高              | 较低               |
| <i>DS</i>                             | 0.256*** (0.073) | 0.156* (0.088) | 0.281** (0.129) | 0.231*** (0.064) |
| <i>Controls &amp; City &amp; Year</i> | 控制               | 控制             | 控制              | 控制               |
| <i>Obs.</i>                           | 1181             | 989            | 408             | 1754             |
| <i>R</i> <sup>2</sup>                 | 0.496            | 0.489          | 0.409           | 0.500            |
| 费舍尔组间P值                               | 0.000            |                | 0.015           |                  |

### (二) 区域一体化水平的调节作用

区域一体化程度更高的地区往往拥有较高的数字经济与实体经济融合程度,因为区域一体化程度的提高促使城市之间的经济联系和资源互动日益加强,城市之间更容易实现资源的共享与优化配置,数字技术的传播和应用也更加便捷,从而推动了数实融合进程,因此更有可能通过数实融合实现更快的城市绿色发展。为此,本文使用城市是否处于我国三大城市群,即长三角、珠三角和环渤海城市群作为区域一体化程度的标志,将处于这三大城市群的城市视为区域一体化程度较高的城市,否则视为一体化程度相对较低的城市。按照区域一体化程度的分组回归结果如表4第(3)列和第(4)列所示。结果显示,在区域一体化程度更高的城市,数实融合对城市绿色发展的系数更大,并且费舍尔组合组间差异检验对应的P值在5%的水平上显著,表明数实融合的作用在区域一体化更强的地区更加显著,区域一体化程度在数实融合提升城市绿色发展水平这一过程中发挥着正向的调节作用。究其原因,一是区域一体化程度更高的城市往往具有更加发达的数字经济和产业集聚效应,数字技术在这些城市中的普及和应用程度更高,因此数实融合的效果也更为明显。二是高度一体化的区域内城市之间的经济联系更为紧密,资源共享和协同发展的机制更加完善,这为数实融合带来了更为广阔的合作空间和发展机遇,从而进一步推动了城市绿色发展的进程。

### (三) 不同经济区域的异质性

中国幅员辽阔,不同经济区域之间经济发展水平、产业基础等都具有较大的差异,由此可能使得数实融合对城市绿色发展的作用并不相同。本文按照“十四五”规划的划分方式,将样本城市划定在四大经济区域后进行分组回归,相应的回归结果如表5第(1)–(4)列所示。回归结果显示,不同经济区域内数实融合对城市绿色发展的作用呈现出明显的差异,并且经过组间差异的统计检验,交互项模型对应的检验统计量对应的P值分别为0.000、0.007和0.018,分别在1%和5%的水平上显著,表明地区差异在统计上显著。具体而言,东北地区数实融合对城市绿色发展的作用效果最为显著,其次是东部地区,而西部和中部地区的效果则不太显著。这一结论的出现可能与各地区的经济发展水平、产业结构、政策支持等因素密切相关。东北地区作为传统重工业基地,近年来积极推动产业升级和数字化转型,数字经济与实体经济的融合效果较为显著,从而推动了城市绿色发展的进程。而东部地区作为我国经济发展的主要引擎,数字技术的普及和应用程度相对较高,因此数实融合对城市绿色发展的促进作用也较为明显。相比之下,西部和中部地区的产业结构相对单一,如西部地区大多以资源开发产业为主,中部地区则

由于人口比较密集而大多发展劳动力密集型产业,数字技术应用水平较低,可能限制了数实融合的发展和城市绿色发展的作用效果。

表 5 不同经济区域的异质性

| 变量                                    | (1)              | (2)              | (3)           | (4)            |
|---------------------------------------|------------------|------------------|---------------|----------------|
|                                       | 东北               | 东部               | 中部            | 西部             |
| <i>DS</i>                             | 0.482*** (0.148) | 0.323*** (0.112) | 0.148 (0.112) | 0.189* (0.099) |
| <i>Controls &amp; City &amp; Year</i> | 控制               | 控制               | 控制            | 控制             |
| <i>Obs.</i>                           | 272              | 664              | 640           | 594            |
| <i>R</i> <sup>2</sup>                 | 0.601            | 0.454            | 0.428         | 0.580          |

#### (四) 比较分析: 数实融合发展何以优于数字经济?

正如前文所述,数实融合是指数字经济与实体经济相互促进、协调发展,并形成良性循环的状态。其关键点在于“良性循环”,即数实融合是一种不断自我循环的过程。根据《国务院关于印发“十四五”数字经济发展规划的通知》,数字经济的定义是以数字技术为核心,以数据为关键要素,以网络化、智能化、个性化为主要特征的经济形态。由此可以看出,两者的差别主要有两点:一是模式不同。数实融合是一种自我循环的过程,而数字经济则是一种经济形态,在数实融合的良性循环过程中,数字经济这种新经济形态的作用将被进一步放大。二是实现路径。数字经济的发展路径可分为产业数字化和数字产业化两种,两者任选其一的发展都能促进数字经济的进步,而数实融合则强调两者的统筹,其实现路径在于如何协调发展,以促进两者齐头并进。因此,在城市绿色发展的过程中,相对于单一强调数字经济发展而言,数实融合的进程实际上能够更大程度上发挥数字经济在城市投入、产出和治理方面的作用,其不断地自我循环,帮助数字经济实现城市的产业结构升级迭代和技术进步,进而产生一加一大于二的效果。为了验证数实融合这种实际上的加强作用,本文将数字经济和数实融合分别作为自变量对城市绿色发展水平进行回归,相应的回归结果如表6第(1)列和第(2)列所示。从绝对值看,数实融合系数约为数字经济系数的5倍,即数实融合比单一强调数字经济更能发挥对城市的环境效应和社会效应,更能够促进城市绿色发展。

表 6 数字经济和数实融合的对比及核心指标分析

| 变量                                    | (1)             | (2)              | (3)                    | (4)                  | (5)                   |
|---------------------------------------|-----------------|------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
|                                       | 数字经济            | 数实融合             | 人均可支配收入                | 单位GDP碳排放             | 二氧化硫去除量               |
| <i>DS</i>                             |                 | 0.245*** (0.056) | 5786.757*** (1721.811) | -121.573*** (15.077) | 1228.264*** (394.800) |
| 数字经济                                  | 0.049** (0.019) |                  |                        |                      |                       |
| <i>Controls &amp; City &amp; Year</i> | 控制              | 控制               | 控制                     | 控制                   | 控制                    |
| <i>Obs.</i>                           | 2112            | 2170             | 2170                   | 2170                 | 2170                  |
| <i>R</i> <sup>2</sup>                 | 0.468           | 0.478            | 0.905                  | 0.707                | 0.516                 |

#### (五) 核心指标分析

本文的基准回归部分使用包含资源利用、环境治理、环境质量、生态保护、增长质量、绿色生活六个维度的绿色发展综合指数衡量城市绿色发展水平,虽然这一做法由于具有反映综合信息的性质和良好的可操作性而被大多数研究机构和政府部门采纳,但是这一测度方式也存在一定的不足,即可能模糊其中具体和核心指标的信息,从而使得使用者难以探寻其深层次的促进和制约因素,导致机制展示不够直观和具体。为了更加清晰地展示数实融合发展对城市绿

色发展的多维度微观影响,本文分别在投入、产出和治理三个角度中选取最大(近似)权重指标作为各自的核心指标进行单独的回归分析,即单位GDP二氧化碳排放量、居民人均可支配收入以及工业二氧化硫排放量去除量。相应的回归结果在表6第(3)–(5)列展示,结果显示,数实融合发展能够显著提高城市居民人均可支配收入、降低单位GDP二氧化碳排放以及增加工业二氧化硫去除量。这一结果表明,数字经济与实体经济融合发展过程中,城市产业结构得以优化升级,居民将从事附加值更高的行业,产业发展也更加集约高效。同时,数实融合带来的技术进步进一步提高了能源利用效率,有效助力当地产业的绿色低碳发展和污染物治理。

## 六、研究结论及政策启示

本文使用2011—2019年全国270个地级及以上城市的面板数据,在测度城市绿色发展水平和数实融合程度的基础上实证研究了数实融合对城市绿色发展的作用,并分析了其中的作用机制。研究发现:数字经济与实体经济融合程度的提高能够对城市绿色发展产生显著的正向影响,其作用机制在于,数字经济与实体经济的融合发展能够通过推动产业结构升级和技术进步促进城市经济和社会产出的扩张、资源和环境的投入优化以及生态环境治理的提升。进一步研究发现,产业集聚程度和区域一体化在数实融合推动城市绿色发展的过程中发挥着正向的调节作用。在产业集聚程度和区域一体化程度较高的城市,数实融合对城市绿色发展的促进作用更为明显,其原因在于数实融合对城市绿色发展作用的发挥需要良好的产业基础以及充分的数字技术应用场景支撑,揭示了数实融合与城市产业发展以及区域一体化建设之间的协同互动规律。不同经济区域的异质性分析发现,数实融合对城市绿色发展的作用在东北地区和东部地区更为显著,而西部和中部地区的作用则相对较弱,其原因在于产业结构和人口结构的固有差异,表明不同区域城市绿色发展实现路径的差异化规律,需要因地制宜,精准施策。

根据本文的研究结论,为了推动城市绿色发展,实现经济发展与环境保护的双赢目标,本文提出以下政策建议:(1)在基础设施建设上,应加大对城市特别是在中小城市和偏远地区的数字基础设施投入,进一步推动全国范围内数字经济和实体经济的深度融合。通过建设高速互联网和5G网络、推广智能电网和智慧城市技术,确保所有地区都能享受高速、稳定的互联网连接,提升城市能源利用效率和管理与服务水平,提高市民生活质量。(2)在产业结构优化上,应着力推动城市产业结构向高附加值、低碳环保转型升级,促进经济增长和环境保护的协调发展。一方面,要淘汰落后产能,加大对高污染、高能耗企业的淘汰力度,推动传统产业绿色化改造,提高资源利用效率和环保水平;另一方面,要加大对绿色新兴产业、高技术产业和现代服务业的扶持力度,鼓励和支持绿色科技、清洁能源、节能环保等领域的发展,形成城市绿色产业集群和生态产业链,实现产业与绿色发展的良性循环。(3)在技术创新与研发上,要加大对绿色科技创新的支持,加强对绿色科技创新的资金支持和政策扶持,鼓励企业加大对绿色技术研发和应用的投入。同时,要在城市建立健全绿色技术创新的产学研合作机制,加强技术成果的转化和推广应用,提高城市绿色发展的科技含量和创新能力。(4)在区域发展上,应深化区域一体化合作,促进资源共享,同时基于比较优势制定差异化绿色产业发展政策。一方面,要加强区域间的数字经济政策协调,制定统一的政策标准和规范,降低跨地区数字经济发展的壁垒。同时,要根据区域的比较优势,制定差异化的绿色产业发展政策,推动区域间的产业合理分工和协调发展。比如,东部地区应侧重发展高科技和绿色服务业,而西部地区则应加强绿色资源开发和环保产业。(5)在监管和执法方法上,应加强环境监管和执法力度,确保各项环境

政策和措施落到实处。要健全环境保护法律法规体系,明确各级政府和企业的环境保护责任,提高违法成本;同时,要加强环境监测和评估,建立健全环境监测和评估体系,实时监测环境质量,及时发现和处理环境问题;此外,还要加大环境执法力度,对违反环境法律法规的行为进行严肃查处,追究相关责任人的责任。

#### 主要参考文献:

- [1] 曹裕,李想,胡韩莉,等. 数字化如何推动制造企业绿色转型?——资源编排理论视角下的探索性案例研究[J]. 管理世界,2023,(3).
- [2] 陈俊华,郝书雅,易成. 数字化转型、破产风险与企业韧性[J]. 经济管理,2023,(8).
- [3] 干春晖,郑若谷,余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究,2011,(5).
- [4] 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,(1).
- [5] 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).
- [6] 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).
- [7] 李晓西,刘一萌,宋涛. 人类绿色发展指数的测算[J]. 中国社会科学,2014,(6).
- [8] 李正图. 中国发展绿色经济新探索的总体思路[J]. 中国人口·资源与环境,2013,(4).
- [9] 刘瑞明,毛宇,亢延锟. 制度松绑、市场活力激发与旅游经济发展——来自中国文化体制改革的证据[J]. 经济研究,2020,(1).
- [10] 邵帅,张可,豆建民. 经济集聚的节能减排效应:理论与中国经验[J]. 管理世界,2019,(1).
- [11] 盛斌,赵文涛. 地区全球价值链、市场分割与产业升级——基于空间溢出视角的分析[J]. 财贸经济,2020,(9).
- [12] 史丹,李少林. 排污权交易制度与能源利用效率——对地级及以上城市的测度与实证[J]. 中国工业经济,2020,(9).
- [13] 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).
- [14] 王军,王杰. 城市数字化转型与“减污降碳”协同增效[J]. 城市问题,2024,(2).
- [15] 王磊,李吉,王兴启. 数字经济对城市经济绿色转型的影响研究——基于集聚经济的实证分析[J]. 城市问题,2023,(4).
- [16] 王淑佳,孔伟,任亮,等. 国内耦合协调度模型的误区及修正[J]. 自然资源学报,2021,(3).
- [17] 汪伟,刘玉飞,彭冬冬. 人口老龄化的产业结构升级效应研究[J]. 中国工业经济,2015,(11).
- [18] 王晓红,张少鹏,李宣廷. 创新型城市建设对城市绿色发展的影响研究[J]. 科研管理,2022,(8).
- [19] 魏丽莉,侯宇琦. 数字经济对中国城市绿色发展的影响作用研究[J]. 数量经济技术经济研究,2022,(8).
- [20] 向书坚,郑瑞坤. 中国绿色经济发展指数研究[J]. 统计研究,2013,(3).
- [21] 殷宝庆. 环境规制与我国制造业绿色全要素生产率——基于国际垂直专业化视角的实证[J]. 中国人口·资源与环境,2012,(12).
- [22] 张军,吴桂英,张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算:1952—2000[J]. 经济研究,2004,(10).
- [23] 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).
- [24] Han H, Lee T. Varieties of green stimulus policies: Comparative analysis of the green growth and green new deal policies in South Korea [J]. The Journal of Environment & Development, 2023, 32(1): 61–82.
- [25] Huang T T, Xiong B. Space comparison of agricultural green growth in agricultural modernization: Scale and quality [J]. Agriculture, 2022, 12(7): 1067.
- [26] Staiger D, Stock J H. Instrumental variables regression with weak instruments [J]. Econometrica, 1997, 65(3): 557–586.
- [27] Zhou R. Measurement and spatial-temporal characteristics of inclusive green growth in China [J]. Land, 2022, 11(8): 1131.

## Digital-Real Economy Integration and Urban Green Development: Impact and Mechanism

Cui Linhao<sup>1</sup>, Feng Feng<sup>2,3</sup>

(1. School of Economics, University of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 102488, China; 2. Institute of Quantitative and Technological Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China; 3. Faculty of Applied Economics, University of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 102488, China)

**Summary:** Against the backdrop of increasingly prominent contradictions between resources, environment, and economic development, the extensive growth mode is difficult to sustain. How to achieve green transformation of the development mode is an urgent problem to be solved in the current high-quality economic development. The deep integration of the digital economy and the real economy provides new ways and means for achieving green development. Adopting the panel data from 270 cities in China from 2011 to 2019, on the basis of measuring the degree of integration of the digital economy and the real economy and constructing an index system for urban green development level, this paper empirically tests the relationship between the two and deeply explores the mechanism. The results show that the integration promotes the expansion of urban economic and social output, the optimization of resource and environment input, and the improvement of ecological environment governance by promoting industrial structure upgrading and technological progress, thereby promoting urban green development. Further analysis reveals that industrial agglomeration and regional integration play a positive moderating role in promoting urban green development through the integration. In cities with a higher level of industrial agglomeration and regional integration, the promotion effect of the integration on urban green development is more significant. Heterogeneity analysis indicates that the integration has a more significant impact on green development in the eastern and northeastern regions with a higher level of urbanization. In view of the above, it is proposed to strengthen the construction of urban digital infrastructure, promote the transformation and upgrading of urban industrial structure towards high-value-added and low-carbon environmental protection, increase support for green technology innovation, deepen regional integration cooperation, promote resource sharing, and formulate differentiated green industry development policies based on comparative advantages.

**Key words:** the digital economy; the real economy; urban green development; structural effect; technological effect

(责任编辑: 王西民)