

数字经济、绿色创新与“双碳”目标

——“减排”和“增效”视角

胡汉辉¹, 申杰²

(1. 东南大学 经济管理学院, 江苏 南京 211189; 2. 山东交通学院 科研处, 山东 济南 250357)

摘要:实现碳达峰碳中和是构建人类命运共同体和实现人类文明永续发展的重要一环,而数字经济以数字和信息手段对经济发展和环境保护起着全面的促进作用。基于“减排”和“增效”视角,使用量化的城市层面2011—2018年数字经济指数,实证分析了数字经济如何助力“双碳”目标实现,有如下发现:数字经济可通过助力碳排放量降低和碳生产率提升推进“双碳”目标的实现,且这种影响存在地区差异,在东部地区更为显著,在中西部地区相对较弱。数字经济可以通过促进绿色创新推动碳排放量降低和碳生产率提升。据此,从数字基础设施建设、差异化的数字经济模式和释放数字经济的绿色创新力等方面提出政策启示。

关键词:数字经济;“双碳”目标;绿色创新

中图分类号:F124.1

文献标志码:A

文章编号:1672-6049(2023)04-0079-10

一、问题的提出

大量消费化石能源释放的二氧化碳以及人类生产生活排放的温室气体正在导致大气污染、海洋生态环境恶化和极端气象事件频发,严重威胁着地球生物多样性安全和自然生态平衡。2020年,习近平总书记在联合国大会上提出2030年前我国实现“碳达峰”和2060年前实现“碳中和”的目标,彰显了中国作为世界上最大的发展中国家构建人类命运共同体的责任和担当。党的二十大提出:“协同推进降碳、减污、扩绿、增长,推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展”,为实现碳达峰碳中和目标进行了系统谋划和总体部署。党的十九届五中全会研究制定,并经全国人大表决通过的《“十四五”规划和2035年远景目标纲要》设定了碳排放量自我约束和经济社会高质量发展目标,为协同推动经济发展和环境保护提供了具体遵循。新发展阶段党中央“双碳”相关精神及思路决定了我国今后将继续坚定不移走生态优先、绿色低碳高质量发展道路。在当前和未来相当长的一段时间内,深入探索“双碳”目标的实现路径,全面推进经济绿色转型低碳发展成为理论和实际工作部门面临的重要课题。

党的十八大以来,中国数字经济发展取得了前所未有的成就。根据中央网信办数据,中国数字经济规模占GDP的比重由2012年的21.6%提升到2021年的39.8%,电商交易额和移动支付规模均居全球第一。一方面,借助现代信息技术,数字经济正打破传统市场边界和组织成长规律,突破时空和产业界限,已逐渐深入到经济社会发展的各行业、各领域。数字经济通过数字和信息赋能实体经济,从多个维度对社会生产方式和消费方式进行升级和重塑,颠覆传统商业模式和资源利用方式,实现了

收稿日期:2022-09-27;修回日期:2023-04-22

基金项目:国家社会科学基金一般项目“我国智慧城市同质化建设问题的成因、识别及对策研究”(20BGL219)

作者简介:胡汉辉(1956—),男,江苏南通人,东南大学经济管理学院教授,博士生导师,研究方向为数字经济与知识管理;申杰(1991—),男,山东临沂人,经济学硕士,就职于山东交通学院科研处,研究方向为数字经济与绿色发展。

效率、动力、质量变革,极大地减小了经济现代化对资源的过度依赖和对生态环境的负面影响,推动了经济绿色转型和后疫情时代的“绿色复苏”,对未来几十年的碳排放产生深刻影响。另一方面,数字经济兼具数字化、网络化、智能化三条主线,具有覆盖范围、使用深度和数字支持服务等方面的优势,能够以数字产业化和产业数字化双向路径压缩“高污染、高耗能、高排放”型低端产业规模,推动经济发展方式由粗放型向内涵型和数字型转变,为传统产业转型升级插上“智慧”翅膀。此外,数字经济与企业、高校和科研院所的绿色技术创新不断融合发展,不仅可以催生新兴产业吸引大量创新型人才涌入,打牢绿色创新的人力资本基础,而且产生共享平台效应,减少了银企间的信息不对称,缓解了绿色创新面临的融资约束^[1]。而绿色技术广泛运用于企业生产和居民生活,既可以减少生产过程中的污染排放,又能够提升绿色生产效率^[2],是实现绿色低碳发展的重要力量。自然而然的问题是,数字经济能否有效推动“双碳”目标的实现?这种影响是否存在地区层面的差异?其内在机理和影响机制是什么?

本文可能的边际贡献有:(1)与现有直接聚焦“双碳”目标实现的研究^[3-6]不同,本文首先依据新发展阶段党中央“双碳”相关精神及思路和中国作为世界上最大的发展中国家的现实考量,找出实现“双碳”目标的可行路径,即碳“减排”和碳“增效”。随后,将碳“减排”和碳“增效”共同纳入数字经济推动“双碳”目标实现的分析框架,并排除两条路径之间可能的交互影响,进一步分离出真正的“减排”和真正的“增效”。(2)相较于已有关于“数字经济与碳生产率”主题的研究,本文进一步考察了数字经济对碳生产率各维度的影响,明晰了碳生产率各维度在数字经济助力“双碳”目标实现过程中的边际贡献。(3)现阶段有关数字经济通过绿色创新影响碳“减排”和碳“增效”的研究,并未细致考察绿色创新的种类。本文细分了绿色创新的种类,实证检验了数字经济通过不同类型的绿色创新对“双碳”目标实现的影响。

二、理论机理与研究假说

2021年10月24日,中共中央、国务院印发的《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》(以下简称《意见》)是新时代指引我国做好“双碳”工作的纲领性文件。《意见》在总体要求中强调“立足新发展阶段,贯彻新发展理念”“处理好发展和减排的关系”“把碳达峰、碳中和纳入经济社会发展全局,以经济社会发展全面绿色转型为引领,走生态优先、绿色低碳的高质量发展道路,确保如期实现碳达峰、碳中和”。推进“双碳”目标实现需要以新发展阶段党中央“双碳”相关精神及思路为依据,既要“减排”又要“增效”^[7-8]。从中国经济社会发展现实来看,中国是世界上最大的发展中国家,集中力量发展自己是中国面临的首要任务,在实现“碳达峰、碳中和”目标的过程中需要跨越环境库兹涅兹曲线拐点,协同推进经济发展与环境保护。实施“碳达峰、碳中和”战略不是为经济发展设置“天花板”,而是从转型和升级的角度,将碳达峰碳中和纳入经济社会发展总体战略,促使“减碳”任务的完成和经济高质量发展目标的实现^[9-10],故“双碳”目标的实现路径内在地包含了碳排放量降低和碳生产率提升两个方面^[11]。碳排放量降低和碳生产率提升牵涉到了包括技术、产业、能源、环境等领域在内的国民经济的方方面面,是一场广泛而深刻的社会变革,面临许多基础性挑战。而数字经济以数字技术作为核心驱动力,以现代信息网络为重要载体,可以重塑经济发展格局和政府治理模式,实现经济结构优化和效率提升,不可避免地对“双碳”目标的实现机制产生有机融合和协同作用。

(一) 数字经济对碳排放量的影响

需求端的影响。首先,数字产品是信息内容基于数字格式的交换物或通过因特网以比特流方式运送的产品,本身具有虚拟特性,对生态环境不具有直接破坏性,可归入绿色产品的范畴。其次,数字产业通过打造绿色消费平台、引领大众的绿色消费需求^[12],继而从需求侧释放生态红利,促进碳排放量降低。借助数字媒介传播绿色生活理念,培养大众绿色生活习惯,还可以减少生活中的碳排放。最后,新一代数字信息技术的推广和应用,进一步拓展数字经济外延,网上办公、智能家居、虚拟现实、智能物流等新科技融入生活^[13-14],一个智能化的社会已悄然而至,而绿色低碳成为智能化时代的靓丽名片。

供给端的影响。首先,数字经济具有共享性和分享性特征^[15],其可借助互联网技术整合线下闲置物品和闲散服务者,平台化、协同化社会过剩资源,降低经济运行成本,实现资源节约和循环利用,开

启“环境和谐”的循环经济模式,进而减少碳排放量。其次,依托数字技术可以构建碳排放数字平台,共享碳排放信息^[16],并基于节能减排数据的收集,建立全面科学的资源环境监测体系和高效的生态保护反馈机制,实现实时精准监督,从而提高了政府碳排放管理工作的效率和质量^[17],有效降低了碳排放量。最后,借助数字经济领域成熟的数字和信息处理技术,可以降低碳信息的搜寻、分类和计算成本,推进碳排放标准化体系的建设,推动实现数字化碳定价机制,提高碳排放市场交易效率和规模,实现更多碳排放的负外部性内部化,从而促进碳减排,助力“双碳”目标实现。基于此,提出假说1。

假说1:数字经济发展可通过降低碳排放量助力“双碳”目标实现。

(二) 数字经济对碳生产率的影响

首先,数字经济以数字和信息为主要生产要素,以数字技术为核心动力,“数据”通过现代信息网络载体,与实体经济深度融合,加速传统产业向技术和数字密集型产业方向转变^[18]。技术和数字密集型产业不仅属于环境友好型产业,而且具有更高的投入产出效率,对碳生产率提升有较强的正向影响。其次,数据集成效用的发挥,可以推动数字化与低碳化融合发展,数据以主要生产要素的身份参与到生产过程中,数据对劳动力、资本、土地等传统生产要素产生了不同程度的替代作用,既减少了传统要素资源投入,也驱动了数字产品的开发,以更低的碳排放代价实现供给创造^[19]。再次,数字经济背景下大数据上云则为生产环节提供了算力、算法和数据支持,提升生产部门间的协作能力,减少非必要的资源消耗,提高生产效率。而数字化技术的应用还可以推动工业、建筑、交通等领域的数字化节能^[20],促进能效提升,这对于提高碳生产率具有重要意义。最后,数字信息技术的普及还可以将能源供给和需求的市場变化和动向更好地呈现出来,协调各地区各单位的能源调度和利用,引导能源要素配置到最需要的地方,产生最大的市场价值,进而提升碳生产率,推进“双碳”目标的实现。基于此,提出假说2。

假说2:数字经济发展可通过提升碳生产率助力“双碳”目标实现。

(三) 绿色创新的传导效应

之前讨论了数字经济对碳减排和碳生产率提升的影响,实际上,在这个过程中,数字经济也可以推动绿色创新。首先,从研发资源的匹配和优化来看,互联网、云计算、大数据等数字经济形态为经济市场中的匹配问题提供了优化路径^[21],从而降低了研发资源的搜寻和匹配成本,高效调动了分散的研发资源,并集中整合,提高研发效率,可以促进更多新技术的产生和发展。其次,从数字经济的自身特性来看,数字经济的共享性、分享性特征,可以更好地搭建起多元化的思想交流平台,有利于信息互通、技术交流与知识扩散^[22],为绿色创新营造了良好的氛围和条件,实现了各方之间更好的协同创新,对绿色创新产出的增加具有重要的促进作用。最后,从知识传输渠道来看,相比于传统知识传播方式,以信息通讯技术为支撑的数字经济,具有更高效的知识传输渠道,这会提升整个经济体的知识存量^[23],进而驱动绿色创新。此外,基于对消费群体大数据分析,可以帮助创新主体更好地把握创新的市场机遇,有针对性地选择创新领域,提高创新活动的时效性,以较低的创新成本带来更高的创新成功率。

绿色创新对碳减排和碳生产率提升的促进作用也是显而易见的。一方面,绿色创新应用于生产过程中,可以促进绿色生产、清洁生产^[24],提高清洁能源使用比例,减少生产中的碳排放,还可以生产更多符合环保要求的低碳产品,促进低碳消费,减少生活中的碳排放。另一方面,绿色创新能够提高生产要素的使用效率和产品的有效供给^[25-26],以更少的资源投入产生更大的经济价值,并驱动产业升级和能效增强共同促进碳生产率提升^[27]。基于此,提出假说3。

假说3:数字经济可以通过促进绿色创新推动碳排放量降低和碳生产率提升。

三、研究设计

(一) 计量模型

以2011—2018年中国城市面板数据为实证分析对象,构建如下基准回归模型:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 X_{it} + \alpha_2 C_{it} + City_i + year_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, Y_{it} 是被解释变量, X_{it} 是核心解释变量, C_{it} 为控制变量向量, 包括本文的五个控制变量; $City_i$ 和 $year_t$ 分别是城市和年份固定效应, ε_{it} 表示随机扰动项。

(二) 指标体系构建

1. 被解释变量: 碳排放量 (LnCE) 和碳生产率 (Lnctfp)

本文从“减排”和“增效”两个视角分析“双碳”目标的实现路径, 减排视角下主要考虑碳排放量的降低, 增效视角则考虑的是以更低的“碳排放”代价实现经济增长, 即碳生产率提升。

碳排放量的表征。参照张华和冯烽^[28]的研究, 将碳排放的来源分为直接和间接两类, 直接碳排放源自天然气和液化石油气消耗, 以 IPCC2006 年提供的相关转化因子计算。间接碳排放来源包括电能和热能等消耗产生的碳排放。其中, 电能产生的碳排放量等于各区域电网基准线排放因子和城市电能消耗量的乘积, 热能产生的碳排放量等于供热量、热效率、原煤发热量系数、原煤折算标准煤系数和 IPCC2006 年提供的转化因子五类变量的乘积。将以上各部分碳排放量加总, 即可得到各个城市总的碳排放量。数据来自国家发展改革委相关政策文件、《中国城市统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》。

碳生产率的测算。碳生产率是在考虑“碳排放”代价的条件下, 评价一个地区经济绩效的指标^[29]。提高碳生产率意味着“好”产出增加且“碳排放”代价降低。选用 Global Malmquist-Luenberger 指数测算碳生产率, 以工业用电和工业用水量作为能源投入指标, 以年末全市从业人员作为劳动力投入指标, 以永续盘存法估算的固定资产资本存量衡量资本投入, 并设定 10.96% 的折旧率^[30]。产出指标体系中, 期望产出以 GDP 表征, 非期望产出以碳排放量表征。相关数据均来源于历年《中国城市统计年鉴》。

2. 核心解释变量: 数字经济 (Lndige)

数字经济的测度指标尚无定论, 本文借鉴赵涛等^[31]的研究, 选取北京大学数字普惠金融指数、每百人互联网接入用户数、每百人移动电话用户数、计算机和软件行业从业人员占从业总人数比和人均电信业务量五个方面的指标, 以熵值法处理后得到数字经济指数。数据来源于北京大学数字金融研究中心、历年《中国城市统计年鉴》、Wind 数据库。

3. 中介变量: 绿色创新 (Lninn 和 Lnum)

专利授权量是创新成果的集中体现^[32]。据此, 本文采用绿色发明专利授权量加 1 后的对数 (Lninn) 和绿色实用新型专利授权量加 1 后的对数 (Lnum) 分别作为绿色创新的代理变量进行实证分析, 绿色专利授权量越大, 则绿色创新水平越高。数据来源于 CNRDS 数据库。

4. 控制变量

控制变量选择如下: 采用城市总人口的对数控制城市规模 (Lnsize), 以城市 GDP 的对数控制城市经济体量 (Lngdp), 以在校大学生人数加 1 后的对数控制人力资本 (Lnhc), 采用当年实际使用外资金额加 1 后的对数控制对外开放水平 (Lnfdi), 以污水集中处理率 (Ers) 控制政府的环境规制力度。控制变量对应的数据来源于历年《中国城市统计年鉴》和各省市区统计年鉴。变量无特别说明外, 均为城市全域层面的数据。

变量的描述性统计如表 1 所示。

四、实证分析

(一) 基准回归分析

依据 Hausman 检验结果, 选择固定效应模型进行实证分析。如表 2 第 (1) 列和第 (2) 列所示, 控制变量增加前后, 数字经济对碳排放量的估计系数均在 1% 检验水平下显著为负, 表明数字经济促进

表 1 变量描述性统计

变量	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
LnCE	2 200	3.114 1	0.716 8	0.993 3	4.864 5
Lnctfp	2 200	0.098 0	0.395 8	-2.562 5	1.970 9
Lndige	2 200	-2.540 9	0.462 1	-4.581 9	-0.198 6
Lninn	2 200	2.562 9	1.618 3	0	7.398 2
Lnum	2 200	4.069 1	1.538 3	0	8.484 3
Lnsize	2 200	5.863 1	0.677 2	2.970 4	7.297 1
Lngdp	2 200	16.314 0	1.003 5	12.645 4	18.854 1
Lnhc	2 200	10.259 0	1.624 4	0	13.898 4
Lnfdi	2 200	9.331 6	2.776 5	0	14.122 3
Ers	2 200	0.858 9	0.133 8	0.183 0	1

了碳排放量降低。表2第(3)列和第(4)列显示,控制变量增加前后,数字经济对碳生产率的估计系数分别在1%和5%检验水平下显著为正,表明数字经济推动了碳生产率提升。假说1和假说2得证。从控制变量来看,城市规模对碳生产率具有正向作用,环境规制对碳排放量具有负向影响。

(二) 内生性检验

为解决潜在的内生性问题,以1992年城市每百万人邮局数量与滞后一期全国互联网普及率的交乘项($IV \times dige$)^①为数字经济的工具变量。首先,历史上的电信基础设施建设情况能够影响后续互联网普及和数字经济发展。其次,伴随信息通信技术的飞速发展,传统通信方式的使用频率日益减小,历史上邮局数量受当前碳排放量、碳生产率的影响相对较小。最后,全国互联网普及率取决于所有城市,较少受单一城市碳排放量和碳生产率的显著影响。从上述意义来讲,本文所选工具变量满足相关性和外生性要求。表3报告了两阶段最小二乘法的回归结果,在第一阶段回归中F值大于10,不存在弱工具变量问题,第二阶段回归结果显示数字经济指数对碳排放量的估计系数在1%水平下显著为负,对碳生产率的估计系数在10%水平下显著为正,再次验证了数字经济对碳排放的抑制作用和对碳生产率的促进作用。

(三) 稳健性检验

1. 替换被解释变量

一方面,由于城市碳排放数据只能通过“转化因子”间接得到,这会扩大碳排放量数据的统计误差,而城市PM2.5浓度是利用NASA卫星数据和地面监测站数据综合测算的,更为成熟准确,另一方面,PM2.5浓度与碳排放量同根同源,二者的直接原因都是燃烧化石能源,世界上许多雾霾污染较严重的地区往往也是碳排放量较高的地区。故以PM2.5浓度替换被解释变量或能进一步检验数字经济对“双碳”机制的影响。PM2.5浓度的原始数据来源于达尔豪斯大学大气成分分析组。替换被解释变量后的回归结果如表4第(1)列所示。数字经济的估计系数显著为负,表明数字经济发展抑制了PM2.5浓度的增加,从侧面支持了数字经济对碳排放量的负向作用。

碳生产率是由技术效率、技术进步、纯技术效率和规模效率四部分构成。为了进一步探究数字经济对碳生产率哪方面的变化产生影响,分别以技术效率(tec)、技术进步(tpc)、纯技术效率($ptec$)和规模效率

表2 基准回归结果

被解释变量	LnCE (1)	LnCE (2)	Lnctfp (3)	Lnctfp (4)
Lndige	-0.0596*** (-2.84)	-0.0614*** (-2.85)	0.1863*** (2.96)	0.1587** (2.46)
Lnsiz		-0.1052 (-1.52)		0.4746** (2.30)
Lngdp		0.0296 (1.19)		0.0959 (1.29)
Lnhc		0.0010 (0.22)		0.0216 (1.54)
Lnfdi		0.0004 (0.19)		0.0083 (1.26)
Ers		-0.0740** (-2.22)		0.0118 (0.12)
城市/年份固定	YES	YES	YES	YES
R ²	0.1390	0.2865	0.0968	0.1042
N	2200	2200	2200	2200

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为t值。

表3 两阶段最小二乘法回归结果

被解释变量	Lndige	LnCE	Lnctfp
	第一阶段 (1)	第二阶段 (2)	第二阶段 (3)
$IV \times dige$	0.1516*** (6.38)		
Lndige		-0.1391*** (-2.86)	0.7622* (1.79)
控制变量	YES	YES	YES
城市/年份固定	YES	YES	YES
第一阶段F值	90.04		
R ²		0.5998	0.2027
N	2200	2200	2200

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为t值。

①数字来源于《中国城市统计年鉴》和国家统计局数据库。

(*sec*) 作为被解释变量,实证分析数字经济对这四类变量的影响。四类变量的测算依旧采用 Global Malmquist-Luenberger 指数,测算过程中涉及的投入产出要素与测算碳生产率时的投入产出要素保持一致。回归结果如表 4 第(2)列至第(5)列所示。数字经济对技术效率、技术进步、纯技术效率和规模效

率变动均具有显著的正向影响,再次支持了数字经济对碳生产率增加的促进作用。

2. 替换核心解释变量

随着智能手机等设备的普及,数字经济活动越发聚焦于互联网数据量积累的运算衍生出的新业务,并已深度嵌入到国民经济各个产业之中。基于此,借鉴俞伯阳和丛屹^[33]的研究,以人均电信业务量表征的数据要素和以人均 GDP 表征的经济发展水平的交互项(*redige*)^①再来表征数字经济发展水平。替换核心解释变量后的回归结果如表 5 所示,数字经济指标的系数在符号和是否显著方面,与基准回归结果基本一致。

3. 删除特殊样本

考虑到副省级城市、省会城市具有更高的行政权限和发展潜力,会对周边地级市产生“虹吸”效应,进而对数字经济与碳排放量和碳生产率之间的关系产生异质性影响,因此,剔除副省级城市、省会城市后重新进行回归分析或能进一步排除异质性样本造成的干扰。回归结果如表 6 所示,控制变量增加前后,数字经济对碳排放量和碳生产率的影响并未改变。

4. 排除其他干扰因素

数字经济提升碳生产率(增效作用),可能是因为数字经济降低了碳排放量这一非期望产出(减排作用),而非真正的“增效”。同样地,数字经济降低碳排放量(减排作用),也可能是因为数字经济提升了碳生产率(增效作用),而非真正的“减排”。故为了进一步分离出真正的“减排”和真正的“增效”,在分析数字经济的减排效应中控制碳生产率的影响,在检验数字经济的增效效应中也控制碳排放量的影响。回归结果如表 7 所示。第(1)列和第(2)列,解释变量碳生产率的方差膨胀因子(VIF)分别为 1.16 和 1.40,介于 0 到 10 之间,即碳生产率与其他解释变量之间不存在共线性问题,在此前

表 4 稳健性检验结果:替换被解释变量

被解释变量	Ln pm (1)	Ln tec (2)	Ln tpc (3)	Ln $ptec$ (4)	Ln sec (5)
Ln $dige$	-0.042 4 ** (-2.37)	0.172 7 *** (2.74)	0.144 9 *** (4.16)	0.230 9 *** (3.81)	0.130 9 *** (2.83)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES
城市/年份固定	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.198 4	0.115 4	0.321 1	0.090 6	0.042 1
N	2 200	2 200	2 200	2 200	2 200

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为*t*值。

表 5 稳健性检验结果:替换核心解释变量

被解释变量	Ln CE (1)	Ln CE (2)	Ln $ctfp$ (3)	Ln $ctfp$ (4)
Ln $redige$	-0.048 1 *** (-6.23)	-0.056 6 *** (-6.81)	0.124 7 *** (5.37)	0.126 2 *** (5.05)
控制变量	NO	YES	NO	YES
城市/年份固定	YES	YES	YES	YES
R ²	0.203 9	0.433 4	0.106 1	0.113 2
N	2 200	2 200	2 200	2 200

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为*t*值。

表 6 稳健性检验结果:删除特殊样本

被解释变量	Ln CE (1)	Ln CE (2)	Ln $ctfp$ (3)	Ln $ctfp$ (4)
Ln $dige$	-0.051 9 ** (-2.19)	-0.052 3 ** (-2.15)	0.222 6 *** (3.12)	0.191 6 *** (2.62)
控制变量	NO	YES	NO	YES
城市/年份固定	YES	YES	YES	YES
R ²	0.042 8	0.247 3	0.107 9	0.114 3
N	1 952	1 952	1 952	1 952

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为*t*值。

①数据来源于历年《中国城市统计年鉴》。

提下,数字经济对碳排放量的估计系数在1%的检验水平下显著为负,即控制碳生产率后,数字经济的碳“减排”效应仍然显著存在;第(3)列和第(4)列,解释变量碳排放量的方差膨胀因子(VIF)分别为1.11和1.12,同样介于0到10之间,即碳排放量与其他解释变量之间也不存在共线性问题,在此前提下,数字经济对碳生产率的估计系数在5%的检验水平下显著为正,即控制碳排放量后,数字经济的碳“增效”作用仍然有效。并且,以上回归结果中,碳排放量与碳生产率之间仅存在负向关系,在统计意义上并不显著,也可以部分排除碳“减排”和碳“增效”之间的相互干扰。

(四) 区域异质性分析

中国东部地区和中西部地区在自然环境和社会发展等方面存在显著的地域差异,相应地,数字经济对碳达峰碳中和的影响也可能因地制宜,故本文依据国家统计局划分标准将275个城市划分为东部和中西部地区,利用固定效应模型实证分析数字经济对碳排放量和碳生产率的影响存在的地区差异。回归结果见表8。对比表8第(1)列和第(3)列的回

归结果发现,东部地区和中西部地区数字经济对碳排放量的估计系数均显著为负,但是中西部地区数字经济的估计系数小于东部地区,即数字经济的碳减排效应存在显著的地区差异,呈现东部地区高、中西部地区低的特征。对比表8第(2)列和第(4)列发现,东部地区数字经济对碳生产率的估计系数显著为正,但中西部地区数字经济对碳生产率的估计系数未通过显著性检验,故数字经济对碳生产率的促进作用同样存在东部地区高、中西部地区低的特征。

一方面,数字经济具有高固定成本、低边际成本以及典型的网络外部性特征,人口和经济密度高的东部地区更有利于形成数实、数碳融合互促的规模效应和集聚优势。东部地区发达的数字技术和网络基础设施也为数实、数碳融合发展提供了基础保障。反观中西部地区,不仅数字基础设施落后,而且人口密度低,经济结构相对单一,产业间互联度弱,数字经济助力“双碳”目标实现的作用力度相对有限。另一方面,在样本期内,东部地区处于产业转型升级的关键时期,相对而言,中西部地区依然处在传统产业上升期,面临外向型发展不足和产业部门同构等现实矛盾,难以实现与碳“脱钩”。因此,数字经济的碳“减排”和碳“增效”效应呈现东部高、中西部低的特征。

五、中介效应检验

上文分析表明,数字经济对碳减排和碳生产率提升具有显著的促进作用。根据之前的理论分析,数字经济推动碳排放量降低和碳生产率提升可以通过促进绿色创新来实现。为了检验上述机制的存在,构建如下可能的中介效应模型:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 X_{it} + \alpha_2 C_{it} + City_i + year_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

表7 稳健性检验结果:排除其他干扰因素

被解释变量	LnCE (1)	LnCE (2)	Lnctfp (3)	Lnctfp (4)
Ln $dige$	-0.057 7 *** (-2.75)	-0.059 8 *** (-2.77)	0.180 8 *** (2.87)	0.153 1 ** (2.37)
LnCE			-0.092 9 (-1.36)	-0.091 6 (-1.34)
Lnctfp	-0.010 3 (-1.36)	-0.010 2 (-1.34)		
控制变量	NO	YES	NO	YES
城市/年份固定	YES	YES	YES	YES
R ²	0.129 0	0.265 9	0.097 7	0.105 1
N	2 200	2 200	2 200	2 200

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为t值。

表8 区域异质性检验结果

被解释变量	东部城市		中西部城市	
	LnCE (1)	Lnctfp (2)	LnCE (3)	Lnctfp (4)
Ln $dige$	-0.069 0 ** (-2.40)	0.106 9 * (1.75)	-0.056 7 * (-1.87)	0.052 3 (0.62)
控制变量	YES	YES	YES	YES
城市/年份固定	YES	YES	YES	YES
R ²	0.236 8	0.085 7	0.107 2	0.098 5
N	888	888	1 312	1 312

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为t值。

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{it} + \beta_2 C_{it} + City_i + year_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$Y_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 X_{it} + \gamma_2 M_{it} + \gamma_3 C_{it} + City_i + year_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中, M_{it} 是中介变量。其他变量的定义见式(1)。

表9汇报了以绿色发明专利授权量作为绿色创新衡量指标的机制检验结果。其中,第(1)列和第(2)列的估计结果表明,数字经济可以助力碳减排和碳生产率提升。第(3)列的回归结果显示数字经济的系数在1%检验水平下显著为正,表明数字经济发展增加了绿色发明专利授权量,对绿色创新具有正面影响。第(4)列和第(5)列

表9 中介效应检验结果(一)

被解释变量	LnCE (1)	Lnctfp (2)	Lninn (3)	LnCE (4)	Lnctfp (5)
Lndige	-0.0614*** (-2.85)	0.1587** (2.46)	0.1607* (1.72)	-0.0599*** (-2.78)	0.1522*** (2.36)
Lninn				-0.0095* (-1.80)	0.0401** (2.55)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES
城市/年份固定	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.2865	0.1042	0.1275	0.3652	0.1072
N	2200	2200	2200	2200	2200

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为t值。

的回归结果表明,数字经济和绿色创新对碳排放量的估计系数均显著为负,对碳生产率的估计系数均显著为正,且数字经济的系数绝对值分别小于第(1)列和第(2)列未添加中介变量的估计结果。部分中介效应检验条件成立。上述结果表明,数字经济促进了绿色创新,这一效果进一步助力碳排放量降低和碳生产率提升。假说3得证。

就专利的性能和保护对象而言,绿色实用新型专利和绿色发明专利之间存在一定的差异,并且两者的创新内容和技术特征也不完全相同。绿色发明专利具有新颖性、创造性和实用性,而绿色实用新型专利的创造性和技术水平较绿色发明专利低,但实用价值大,对碳排放量和碳生产率的影响更为直接。为了从更丰富的角度验证绿色创新的

表10 中介效应检验结果(二)

被解释变量	LnCE (1)	Lnctfp (2)	Lnum (3)	LnCE (4)	Lnctfp (5)
Lndige	-0.0614*** (-2.85)	0.1587** (2.46)	0.1422** (2.16)	-0.0575*** (-2.68)	0.1438** (2.24)
Lnum				-0.0273*** (-3.66)	0.1044*** (4.69)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES
城市/年份固定	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.2865	0.1042	0.3246	0.3864	0.2463
N	2200	2200	2200	2200	2200

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为t值。

中介效应,我们进一步选择各城市的绿色实用新型专利授权量为中介变量,再次进行中介效应检验,回归结果如表10所示。替换绿色创新指标后,数字经济对绿色创新的正面影响和绿色创新对碳排放量降低和碳生产率提升的促进作用均未发生实质变化,绿色创新在数字经济影响碳排放量和碳生产率过程中的中介效应依旧显著,本文的这一发现是比较稳健的。

六、结论和启示

推进“碳达峰、碳中和”目标的实现,是中国作为世界上最大的发展中国家,基于全球温控需要作出的自主贡献承诺,彰显了负责任大国的使命与担当,而蓬勃发展的数字经济以数字和信息为手段,以数字产业化和产业数字化为路径,推动形成数实、数碳融合互促的新局面,对中国经济绿色低碳发展产生了深刻影响。本文选择2011—2018年中国城市面板数据,基于“减排”和“增效”双重视角,采用多种计量技术实证分析数字经济如何推进“双碳”目标实现,得出如下结论:(1)数字经济可以通过降低碳排放量并提升碳生产率,推进“双碳”目标的实现,且该结论通过了多方面的稳健性检验。(2)数字经济对碳达峰、碳中和的影响存在地区分异性特征,相较于中西部地区,数字经济对碳达峰、碳中

和的促进作用在东部地区更加显著。(3)数字经济可以通过促进绿色创新推动碳排放量降低和碳生产率提升,且在这个过程中绿色创新产生了部分中介效应。

据此,提出如下政策启示:(1)强化数字化设施建设,打造一批数字化典型示范区。数字化典型示范区是数字化创新、转型、发展的典范。打造一批数字化典型示范区,通过产业数字化、治理数字化以及服务数字化等举措,带动经济发展和生态保护的数字化转型,全面发挥数字经济在碳减排和碳生产率提升方面的优势。(2)因地制宜分类施策推进碳达峰碳中和。各地政府需要聚焦实现“双碳”目标,统筹考虑本地区数字产业化水平、绿色低碳经济发展程度等因素,探索出适合新兴市场发展环境、具有地区特色的数字经济发展模式,实现经济-环境的最优态,充分激发数字经济的绿色低碳发展韧性和潜力。(3)释放数字经济的绿色创新力。制定前瞻性数字产业政策,打造特色数字产业,发挥数字经济在资源整合、知识共享方面的优势,加快推进本地区的绿色创新,同时积极推动绿色创新成果快速转化为绿色产业和低碳产品,带动碳排放量降低和碳生产率的提升,助推“双碳”目标的实现。

参考文献:

- [1] 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(3):45-60.
- [2] 龚星宇,姜凌,余进韬.不止于减碳:低碳城市建设与绿色经济增长[J].财经科学,2022(5):90-104.
- [3] 邵帅,徐东,章绍一.碳排放权交易能否助力实现“双碳”目标?——来自能源供给侧与消费侧的异质性证据[J].兰州大学学报(社会科学版),2022(4):27-40.
- [4] 蓝海涛.聚焦农业绿色发展,助力“双碳”目标实现——评《中国农业碳减排路径研究》[J].农业经济问题,2022(9):144.
- [5] 中金公司课题组,王汉锋.证券业如何服务“双碳”目标?[J].证券市场导报,2022(4):2-14.
- [6] 郭施宏,王雪纯.中国迈向“双碳”目标的政策执行保障机制研究——来自低碳试点城市的实证经验[J].北京工业大学学报(社会科学版),2021(6):57-68.
- [7] 胡剑波,王楷文.碳达峰目标下中国绿色低碳循环发展的协同效应研究[J].河海大学学报(哲学社会科学版),2022(5):62-73+129.
- [8] 陈诗一,郑义.新发展阶段实现“双碳”目标的形势与对策[J].国家治理,2022(18):14-21.
- [9] 张晓娣.正确认识把握我国碳达峰碳中和的系统谋划和总体部署——新发展阶段党中央双碳相关精神及思路的阐释[J].上海经济研究,2022(2):14-33.
- [10] 朱晓明.抓住碳中和发展机遇 推动经济高质量发展[N].南京日报,2021-04-07(A09).
- [11] 向宇,代沁雯.“双碳”目标下双向 FDI 协调发展的碳减排效应及其空间溢出[J].金融经济研究,2022(2):105-121.
- [12] 梁琦,肖素萍,李梦欣.数字经济发展提升了城市生态效率吗?——基于产业结构升级视角[J].经济问题探索,2021(6):82-92.
- [13] 王俊豪,周晟佳.中国数字产业发展的现状、特征及其溢出效应[J].数量经济技术经济研究,2021(3):103-119.
- [14] 邢小强,周平录,张竹,等.数字技术、BOP 商业模式创新与包容性市场构建[J].管理世界,2019(12):116-136.
- [15] 裴长洪,倪江飞,李越.数字经济的政治经济学分析[J].财贸经济,2018(9):5-22.
- [16] YANG J, LI X M, HUANG S J. Impacts on environmental quality and required environmental regulation adjustments: a perspective of directed technical change driven by big data[J]. Journal of cleaner production, 2020, 275(1):124126.
- [17] 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):60-79.
- [18] YILMAZ S, HAYNES K E, DINC M. Geographic and network neighbors: spillover effects of telecommunications Infrastructure[J]. Journal of regional science, 2002, 42(2):339-360.
- [19] 中国社会科学院工业经济研究所课题组,史丹.“十四五”时期中国工业发展战略研究[J].中国工业经济,2020(2):5-27.

- [20] 郭彩霞,高媛. 数字经济驱动低碳产业发展的机制与效应研究[J]. 贵州社会科学,2020(11):155-161.
- [21] 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(2):66-73.
- [22] KELLER W. Trade and the transmission of technology[J]. Journal of economic growth, 2002,7(1):5-24.
- [23] 陈昌兵. 新时代我国经济高质量发展动力转换研究[J]. 上海经济研究,2018(5):16-24+41.
- [24] 曾刚,陆琳忆,何金廖. 生态创新对资源型城市产业结构与工业绿色效率的影响[J]. 资源科学,2021(1):94-103.
- [25] HAGEDOORN J. Understanding the cross-level embeddedness of interfirm partnership formation[J]. The academy of management review,2006,31(3):670-680.
- [26] GALINDO M, MENDEZ M T. Entrepreneurship, economic growth, and innovation: are feedback effects at work? [J]. Journal of business research,2014,67(5):825-829.
- [27] 刘海英,杨明,王殿武. 绿色技术创新促进碳生产率提高的作用机制——基于工业结构升级、循环农业发展和交通运输替代的中介效应分析[J]. 科技管理研究,2022(10):194-201.
- [28] 张华,冯烽. 非正式环境规制能否降低碳排放?——来自环境信息公开的准自然实验[J]. 经济与管理研究,2020(8):62-80.
- [29] 张杰,付奎,刘炳荣. 数字经济如何赋能城市低碳转型——基于双重目标约束视角[J]. 现代财经(天津财经大学学报),2022(8):3-23.
- [30] 秦炳涛,葛力铭. 中国高污染产业转移与整体环境污染——基于区域间相对环境规制门槛模型的实证[J]. 中国环境科学,2019(8):3572-3584.
- [31] 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.
- [32] 申杰,胡汉辉. 中国城市房价与工业绿色转型[J]. 阅江学刊,2022(4):142-153+174-175.
- [33] 俞伯阳,丛屹. 数字经济、人力资本红利与产业结构高级化[J]. 财经理论与实践,2021(3):124-131.

(责任编辑:陈 春;英文校对:谈书墨)

Digital Economy, Green Innovation and the “Double Carbon” Goal from the Perspectives of “Emission Reduction” and “Efficiency Enhancement”

HU Hanhui¹, SHEN Jie²

(1. School of Economics and Management, Southeast University, Nanjing 211189, China;

2. School of Economics and Management, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China)

Abstract: Achieving carbon peaks and carbon neutrality is an important part of building a community with a shared future and realizing the sustainable development of human civilization. The digital economy plays a comprehensive role in promoting economic development and environmental protection through digital and information means, but can it effectively promote the realization of the “double carbon” goal? This study quantifies the digital economy index at the city level from 2011 to 2018 from the perspectives of “emission reduction” and “efficiency improvement”. It comprehensively characterizes the mechanism of the “double carbon” target as it affects greenhouse gas emissions and green economic efficiency, and conducts empirical analysis with a fixed effect. It finds that the digital economy can promote the realization of the “double carbon” goal by helping to reduce carbon emissions and improve carbon productivity. This influence has regional heterogeneity, which is more pronounced in the eastern regions and relatively weak in the central and western regions. The digital economy can promote the reduction of carbon emissions and the improvement of carbon productivity by promoting green technology innovation. Based on this, possible policy directions are provided by digital infrastructure construction, differentiated digital economy models, and the release of the innovative power of the digital economy.

Key words: digital economy; “double carbon” target; green innovation