

制造业投入数字化对绿色技术创新的影响 ——基于静态和动态的空间杜宾模型研究

孙国锋, 潘珊珊, 徐 瑾

(南京审计大学经济学院, 江苏 南京 211815)

摘 要:在数字经济和可持续发展战略背景下,基于 30 个省份 2004—2019 年面板数据,使用静态和动态空间杜宾模型在经济距离权重矩阵下实证研究制造业投入数字化水平对区域绿色技术创新的影响。结果发现:(1)基于静态面板,投入数字化水平对省域内绿色技术创新呈现负向的空间效应,对省域外绿色技术创新空间外溢性不显著。(2)基于动态面板,在短期内投入数字化水平对省域内绿色技术创新呈现正向的空间效应,对省域外绿色技术创新空间外溢性显著;在长期整体上投入数字化水平对省域内绿色技术创新呈现负向的空间效应,空间外溢性不显著。(3)进一步做地区异质性分析发现制造业数字化程度对绿色技术创新的影响对不同区域存在异质性,中西部地区存在空间溢出效应。

关键词:数字经济;投入数字化;制造业;绿色技术创新;空间杜宾模型

中图分类号:F426

文献标识码:A

文章编号:1005-0566(2022)10-0030-11

Impact of manufacturing input digitization on green technology innovation ——Research on spatial Dubin model based on static and dynamic

SUN Guofeng, PAN Shanshan, XU Jin

(School of Economics, Nanjing Audit University, Nanjing 211815, China)

Abstract: In the context of digital economy and sustainable development strategy, based on the panel data of 30 provinces from 2004 to 2019, this paper empirically studies the impact of digitalization level of manufacturing input on regional green technology innovation using static and dynamic spatial Durbin model under the weight matrix of economic distance. The results show that: (1) based on static panel, the input digitalization level has a negative spatial effect on green technology innovation within the province, but has no significant spatial spillover effect on green technology innovation outside the province; (2) Based on the dynamic panel, the input digitalization level has a positive spatial effect on green technology innovation within the province in the short term, and has a significant spillover effect on green technology innovation outside the province; In the long run, the overall input digitalization level has a negative spatial effect on green technology innovation within the province, and the spatial spillover is not significant. (3) Further regional heterogeneity analysis shows that there is heterogeneity in the impact of manufacturing digitization degree on green technology innovation in different regions, and there is spatial spillover effect in central and western China.

Key words: digital economy; input digitalization; manufacturing; green technology innovation; spatial dubin model

收稿日期:2022-05-11 修回日期:2022-10-03

基金项目:国家社科基金一般项目(20BJY062);江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX21_1833)。

作者简介:孙国锋(1969—),男,吉林榆树人,南京审计大学经济学院教授,硕士生导师,博士,研究方向为产业经济理论与政策。

改革开放以来,我国逐渐成为第一制造大国,但从“制造大国”到“制造强国”的差距很大,以传统产业为主的制造业会带来大量资源的消耗和环境的污染,能源环境问题突出,工业生产70%来源于煤和石油,经济发展呈现典型的高碳特征。制造业如何进一步实现绿色协调发展,数字经济时代的到来给我国可持续发展战略提供了契机。在《中国数字经济发展白皮书2020》中提出,2020年我国数字经济规模占GDP比重为38.6%,同比提升2.4%,可见数字经济的发展规模在不断扩大,数字经济改变了国民经济的生产、消费和分配方式,提供了更加高效的经济运行模式^[1]。数字经济是以数字化的知识和信息作为关键生产要素,以数字技术为核心驱动力量,以现代信息网络为载体,通过数字技术和实体经济深度融合,进一步增强经济社会的数字化、网络化、智能化。制造业可以通过网络化、智能化、大数据提升数字化水平,推进产业升级转型、技术创新和产品创新,拓展经济发展新空间,促进技术创新发展。在可持续发展下,制造业为了更好地适应当前的发展环境,可以通过获得数字技术的创新效应,促进绿色技术创新水平来改善环境。本文基于区域视角下,制造业投入数字化水平如何影响区域绿色技术创新是凸显数字中国建设成效的重要内容,也对尽快实现低碳经济与美丽中国建设具有重要借鉴意义。

一、文献综述

(一)绿色技术创新

环境保护问题主要是由于西方发达国家市场经济的发展而首先产生的,所以国外学术界对绿色技术创新的研究也开始得较早。Braun等^[2]首次提出在传统科学技术的基础中将污染物排放量等作为绿色技术范畴,受到了普遍重视。绿色技术创新是绿色发展的核心内容之一^[3]。技术创新在促进绿色可持续发展中有重要性^[4],企业可以通过提高自身创新能力来提高能源利用效率、环境友好型能源供应技术、材料效率和废物管理等减少环境污染。技术创新与可持续发展目标相关,王俊^[5]认为,中国当前依赖资本驱动的大规模速度

式发展已经难以为继,唯有通过技术创新驱动才能促进中国经济社会绿色可持续发展。目前多数相关研究聚焦于环境规制^[6-8]、绿色信贷政策^[9]、FDI^[10]等对绿色技术创新的影响。其中对环境规制的研究最多,主要是通过政府排污费政策^[11]、R&D投入^[12]等来促使企业加强自身绿色技术创新,从而减少环境污染。

(二)制造业投入数字化

由于数字经济所产生的人工智能、大数据分析、云计算等数字科技在制造业行业中的渗透,促进了工业企业生产和管理方面优化升级以及生产和企业效益的显著提升,同时个性化服务绿色消费趋势也倒逼工业企业实现数字化转变。数字化投入也是中国工业向数字化转型中关键的组成部分,数字部门对传统制造业行业的投资支持将会推动传统工业通过信息化、互联网技术等手段不断孕育新型产业,致使部分传统工业行业趋向衰落,实现数字化转型。一方面,数字经济发展所需的基础条件是其持续发展之基石,主要包括数字经济基础设施^[13]和信息化产业两方面;另一方面,数字经济的整体融合运用是数字经济蓬勃发展的一个落脚点,也是学者研究之重心,在此过程中可以有效释放数字化效能,将信息技术与制造业价值链各个环节融合,改变制造业发展方式,从而降低成本、提升效率和促进企业创新能力。对制造业投入数字化来说,目前研究较少,主要研究集中在全球价值链^[14]、企业价值链^[15]、产业升级^[16]等。

综上所述,目前学者对数字经济的研究多集中于数字经济的规模的测度及其对居民消费^[17]、就业率^[18]和经济高质量发展^[19-20]等方面的影响。少数研究探讨了制造业投入数字化对区域绿色技术创新的影响,然而目前研究大都是基于微观视角对企业进行分析,采用传统计量经济学方法进行考察。事实上,无论是制造业数字化,还是区域绿色技术创新都具有很强的空间相关性,不同地区间和不同企业间都存在模仿行为。因此,在研究制造业数字化对区域绿色技术创新影响时,需要考虑到这种空间上的相关性。为此,本文可能

的贡献在于:①大多数文献从数字化整体的角度对企业和省份绿色技术创新进行研究,本文主要是基于省份投入产出表,研究细分制造业行业投入数字化水平,对数字化水平的测算指标在既有文献的基础上进行了改进,利用空间计量分析数字化投入对区域绿色技术创新的影响和溢出作用,为中国数字经济建设和地方的创新提供建议;②采用 SDM 空间杜宾模型来测算地区制造业数字化对绿色技术创新产生的空间效应;③在静态模型的基础上,进一步采用动态空间杜宾模型解释制造业数字化水平对绿色技术创新存在的空间效应和溢出效应。

二、理论分析与研究假设

本文基于区域视角,从互联网发展、产业结构调整角度探讨制造业投入数字化对区域绿色技术创新的理论机制。

(一)制造业投入数字化对绿色技术创新发展的影响的内在机理

首先,互联网带动信息化发展。信息技术深入到各行各业,促进各行各业的数字化和大量数据资源的积累,并通过网络平台进行共享和收集。通过挖掘数据、提取知识、凝聚智慧使行业智能化水平提高,发挥互联网对海量工业数据等资源的聚合功能,以提升生产企业客户设备与生产过程的运作效率、智能决策能力与生产管理水平,从而推动创新。技术创新是将知识、技能与材料转化为消费者满意的产品的过程,绿色技术创新仍然是一种创新活动,并遵循着创新的一般规则。在信息化引领下,大数据通过对绿色技术创新各个环节进行渗透,进而影响绿色技术创新的发展趋势。

其次,数字化投入促进互联网发展水平,推动以互联网为基础的新兴基础设施建设的发展,打造数字化、智能化、高速智能的创新平台。基础设施是中国创新发展的重要基石,新兴产业基础设施与传统基础设施的融合发展适应了中国当前经济社会转型升级的需要,也符合信息化方向发展,给创新带来了相应支撑,能够促进布局合理、规模适度、安全意识强、绿色集约化的大数据

基础设施体系建设。绿色密集型系统的大数据基础设施会促进产品绿色创新,通过实现新产品的快速开发、制造效率和产品质量的提高,从而促进绿色技术创新水平的提升,减少资源消耗以改善生态环境,最后促进社会绿色可持续发展。

最后,传统产业可以通过产业结构调整进行新型产业体系的构建,促进制造业数字化转型升级。传统产业在过去积累生产技术的基础上,融合先进的信息技术,进行产业结构调整可以实现以节约资源、改善环境为代表的绿色技术创新。将提升资源使用水平,降低传统制造中的资源耗费,进而在产出持续增长的同时达到环境管理绩效的显著提升。在此背景下,实现现代工业的绿色创新发展,不但有助于资源节约、数字化转变和国际竞争力增强,而且还可以减轻对环保问题和能耗的压力。制造业投入数字化的程度会随时间变化,对绿色技术创新也会产生不同影响。本文基于动态研究视角提出以下假设:

H1:制造业投入数字化对本省域内绿色技术创新具有空间效应。

H1a:制造业投入数字化在短期内对本省域内绿色技术创新具有正向的空间效应。

H1b:制造业投入数字化在长期内对本省域内绿色技术创新具有负向的空间效应。

(二)制造业投入数字化对区域绿色技术创新影响的空间溢出效应

首先,随着现代互联网与通讯控制技术的应用,大大提高了地区之间的信息连通性。而数字经济社会也使区域科技、资金、人力资本等要素更加方便地流转,资源配备结构也更加科学合理,加强了科技主体间交流,形成知识溢出效应与信息资源共享,充分发挥了技术创新主体在区域辐射中的重要功能,促进了技术创新协调发展;另外,区域间的紧密联系还能够促进地区内部的良性竞争,调动技术创新主体的积极性、创新热情与活力,使企业管理水平有所提高,增强了地区创造力,体现了数字经济对地区技术创新的溢出效应。绿色技术创新也是创新的另一个体现,制造业数字化投入对地区绿色创新也会形成溢出效应。

子商务报告》，部分缺失数据通过插补法补齐。

2. 变量测度

(1) 被解释变量

绿色技术创新是指以生态经济为原则,实现降污减排,以降低企业在发展过程中对自然环境的负面外部特征影响的创新,对于技术创新多数视角以企业为主^[22],主要测度方式有以下几种:人均研发支出^[23]、研销比(研发支出与销售额的比值)度量^[24]、专利申请量^[25]。David^[26]曾以公司开发的新产品数量作为技术创新水平的度量指标,而多数文献以专利的授权数和专利的受理数为主进行研究。由于本文主要是研究省份绿色技术创新,反映当地的绿色技术创新产出水平,为此用当年获得的绿色发明数量作为研究数据,数据主要来源 CNRSD 数据网。

(2) 解释变量

借鉴许宪春等^[27]的做法,结合数字经济发展历程与中国数字经济发展特征,提炼数字经济基本要素,以联合国统计署的《国际标准产业分类》(ISICRev 4.0)为依据,并结合省份投入产出表尝试重新划分数字经济要素相关产业,具体见表 1。

表 1 行业划分

编号	制造业行业	编号	制造业行业	编号	数字行业
j1	食品制造及烟草加工业	j10	金属制品业	d1	通信设备、计算机及其他电子设备制造业
j2	纺织业	j11	通用、专用设备制造业	d2	仪器仪表及文化办公用机械制造业
j3	纺织服装鞋帽、皮革羽绒及其制品业	j12	交通运输设备制造业	d3	邮政业
j4	木材加工及家具制造业	j13	电气机械及器材制造业	d4	信息传输、计算机服务和软件业
j5	造纸印刷及文教体育用品制造业	j14	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	d5	批发和零售业(互联网络零售)
j6	石油加工、炼焦及核、燃料加工业	j15	仪器仪表及文化办公用机械制造业	d6	研究与试验发展业综合技术服务业
j7	化学工业	j16	工艺品及其他制造业	d7	文化、体育和娱乐业(电子出版物、非电子出版物、音像制品)
j8	非金属矿物制品业	j17	废品废料		
j9	金属冶炼及压延加工业				

在参考杨玲^[28]、许和连等^[29]、刘斌等^[30]研究基础上,本文运用投入产出方法,测度制造业的投入数字化水平,采用完全依赖度指标揭示制造部门对数字部门的直接、间接联系,更加精准反映数字要素在所有投入中的相对重要程度^[15]。在批发和零售业完全消耗系数的权重用主营业务收入份额和互联网零售收入占零售部门主营业务收入的份额计算,并假定该份额短期内不变,在文化、体育和娱乐业完全消耗系数权重按照“电子出版物”“非出版物商品”“音像制品”等销售金额占出版部门销售总金额的份额计算。在此基础上,为了区别各个省份的投入数字化水平,使用省份投入产出表中制造业明细行业的就业人数占整个制造业就业人数的加权来区分省份制造业数字化水平,计算公式如下:

$$D_c = \sum_j \frac{E_j}{\sum_j E_j} \times \frac{\sum_d r_{dj}}{\sum_k r_{kj}}$$

式中, j 为制造业部门($j=1-17$); k 为中间投入部门(42个部门); d 为数字经济依托部门(7个部门),使用数据是通过投入产出表中归纳整理得出; $\sum_d r_{dj}$ 为制造业任一部门 j 对所有数字经济依托部门 d (7个部门)的完全消耗系数; $\sum_k r_{kj}$ 为任一部门 j 对所有中间投入部门 k (42个部门)的完全消耗系数; $\frac{\sum_d r_{dj}}{\sum_k r_{kj}}$ 为制造业任一部门对所有数字经济依托部门的完全消耗占有所有完全消耗的比重。其中, E_j 为每个制造业部门的就业量; D_c 为每个省份制造业数字化水平。

(3) 控制变量

考虑经济发展水平、城镇化进程、对外开放程度、产业结构、政府政策等也会影响一个省份的绿色技术创新水平。因此,选择如下控制变量:排污费(PFR)、人均 GDP($PGDP$)、城镇化率(URB)、地方财政一般支出(EXP)。在实证分析中考虑数据的平稳性,避免异方差过大,分别对上述数据进行标准化处理。

四、实证结果分析

(一) 空间计量检验

参考 Vega 等^[31]的检验思路,分4个步骤对空间计量模型进行检验。首先,LM 检验结果表明 SEM 模型、SAR 模型均适用(LM-lag 检验、R-LM-lag 检验、LM-err 检验、R-LM-err 检验均通过1%的显著性水平检验);其次,LR 检验显著地拒绝了原假设,说明 SDM 模型不会简化为 SAR 模型或 SEM 模型;再次,Hausman 检验结果支持固定效应;最后,联合显著性检验拒绝了原假设,说明选用 SDM 模型。本文采用经济距离矩阵。

(二) 静态空间面板估计结果分析

为考察制造业投入数字化对绿色技术创新的空间效应和空间溢出性,表2列出了时间效应 SDM 模型的直接效应、间接效应和总效应的结果。

表2 静态面板下 SDM 模型空间效应分析

变量	直接效应	间接效应	总效应
<i>DIG</i>	-0.073 * (-1.792)	-0.081 (-1.271)	-0.154 *** (-3.269)
<i>URB</i>	-0.100 ** (-2.258)	-0.345 *** (-5.473)	-0.445 *** (-10.946)
<i>PFR</i>	-0.043 * (-1.871)	-0.023 (-0.532)	-0.065 * (-1.805)
<i>EXP</i>	0.623 *** (18.246)	-0.057 (-0.941)	0.566 *** (8.960)
<i>PGDP</i>	0.746 *** (6.092)	0.439 *** (3.011)	1.185 *** (25.358)

注:***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 有统计学意义,下同。

由表2可知:总体上看,在经济距离矩阵中,除了部分控制变量的总效应为正,其余变量的总效应均为负,且在1%和10%显著性水平下拒绝原假设,说明制造业数字化投入对省域绿色技术创新具有显著的空间效应。假设 H1 成立。从直接效应和间接效应来看,直接效应的显著性整体上大于间接效应的显著性,说明相比域外地区的外溢性,各变量整体上域内地区的空间效应较大。投入数字化水平对省内的绿色技术创新产出具有负向的空间效应,产生阴影效应。导致这种结果的原因可能是由于大数据、人工智能、新型基础设施等产生的数字化创新环境,已经逐渐融入生产、分配、交换和消费各个方面,而数字化创新环境所产生的新理念、技能和管理模式推动着中国传统

产业结构升级,如机械工业和电气机械及电子设备制造业等数字产业的产生会减少对环境的破坏,企业相应会减少对绿色技术创新的投入。溢出效应不显著可能是省域间经济能力不同,导致数字经济对创新要素技术的投入量并不相同,进而对绿色技术创新产生的空间影响也存在差异。地区优越的数字化创新环境,将形成优越的生产环境和便捷的商品数字化交易市场,吸引域内进行环境友好型产业的发展,也会抑制域内对绿色技术创新的投入。

(三) 进一步动态面板空间效应分析

采用软件 Stata 15.0 分析绿色技术创新一阶滞后的影响,建立动态空间面板模型。表3中,在考虑一阶滞后的动态面板分析中,被解释变量的空间相关性依然显著,但在短期效应中呈现为显著为正的空间相关性,这与静态模型中空间相关性的估计不一致,说明仅仅用经济距离矩阵来估计地区绿色技术创新的空间相关性是存在缺陷的。一个地区的绿色技术创新依赖于其他地区,并不仅仅因为经济上的联系,还有地理区位的邻接或邻近,当加入一阶滞后变量后空间相关性发生变化,说明绿色技术创新生产是动态、连续的经济系统,绿色技术创新一些潜在因素(如技术差异、企业管理、生产体系和外部影响等)对其影响是至关重要的。静态模型中可能没有完全反映实际情况,同样在经济距离矩阵下空间相关性符号发生变化,更反映出建立动态模型的必要性。

由表3估计结果可知,动态面板与静态面板长期效应回归估计结果相近,短期总效应的系数为0.046,说明制造业投入数字化在短期内具有正向效应,在1%的显著性下为正。长期效应的系数为-0.246,说明制造业投入数字化在短期内具有负向的空间效应,同样也在1%的显著性水平下显著。表明投入数字化水平在短期内会促进域内绿色技术创新,假设 H2a 成立。随着时间的增加会逐渐呈现负向效应,即会降低域内绿色技术创新, H2b 成立。可能的原因:一是在短期内,随着数字经济发展,地区为了抓住机会,对传统制造业进行

升级,促进数字发展与传统制造业结合,并充分发挥网络技术对海量产业数据等信息资源的整合功能,有效提升了生产企业用户端设备、生产的运作高效、智能决策能力和清洁生产管理水平,有效推动了绿色技术创新的蓬勃发展。同时在经济社会可持续发展背景下,企业为了适应当前发展形势,改变商业模式,进行产品创新,促进绿色产品生产。同时这种数字化投入也会产生技术资源和知识溢出,对域外地区绿色技术创新发展带来正向的外溢效应,另外假设 H2a 成立。二是在长期内,产业升级使制造行业生产模式发生改变,生产效率有所提高,域内生产环境变好,对绿色技术创新发展投入减少,对域外溢出效应不显著,假设 H2b 不成立。

表 3 动态面板下 SDM 模型空间效应分析

变量	短期			长期		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
DIG	0.046 *** (4.076)	0.181 *** (4.778)	0.227 *** (5.375)	-0.024 (-0.119)	-0.222 (-1.094)	-0.246 *** (-5.565)
URB	0.075 *** (5.722)	0.392 *** (7.908)	0.467 *** (8.333)	0.029 (0.074)	-0.535 (-1.389)	-0.507 *** (-8.531)
PFR	-0.001 (-0.199)	0.021 (0.866)	0.019 (0.705)	0.019 (0.620)	-0.040 (-0.906)	-0.021 (-0.699)
EXP	-0.045 *** (-2.840)	0.073 * (1.922)	0.027 (0.564)	0.189 (0.739)	-0.220 (-0.858)	-0.031 (-0.574)
PGDP	-0.345 *** (-9.575)	-0.745 *** (-6.538)	-1.091 *** (-8.716)	0.589 (1.560)	0.594 (1.526)	1.183 *** (9.704)

五、进一步分地区空间效应研究

上述考察了全国 30 个省份^①范围内制造业数字化投入对区域绿色技术创新的影响。受我国经济差异、资源禀赋差异,要素流动与资源配置等方面大相径庭,故地区间不能采用同一种分析方式,需要分地区研究回归结果见表 4 和表 5。

根据表 4、表 5 回归结果,可以看出东、中、西、地区制造业数字化投入对区域绿色技术创新的差异性:①东部地区数字化投入对绿色技术创新发展没有显著影响,在短期和长期下空间溢出效应都不显著。原因可能在于东部地区数字化投入的制造业多为高新技术产业,为环境友好型产业,地区环境较好,会减少对绿色技术的投入。②中部地区数字化投入对绿色技术创新在短期空间溢出效应显著,数字化投入促进了域外地区绿色技术创新发展,长期不显著。主要原因:一是由于中部

地区制造业多为食品制造及烟草加工业、纺织服装业、机械工业和交通运输设备制造业等,污染主要是由化学工业、非金属矿物制品业和金属冶炼及制品业带来,环境污染较严重。数字化投入可以优化工艺流程使生产过程绿色化、资源配置高效化,这种生产流程也会促进与中部地区经济和环境发展状况相同的区域同样使生产过程绿色化,促进绿色技术发展,减少环境污染。二是中部地区电子通信设备制造业较少,数字化投入少,经济发展和生态环境双双落后,在长期下对区域绿色技术创新产出也较少,溢出效应不明显。三是西部地区在数字化投入对区域绿色技术发展上长期和短期总效应都在 1% 的水平上显著,空间效应显著。主要原因可能在于:西部地区多为传统型制造业,产业结构单一,制造业行业少,第三产业也较少,互联网、大数据、新型基础设施等数字化投入会集中在传统制造业,投入创新要素,促进部分制造业进行产业升级和生产过程绿色化,进而推动域内绿色技术创新发展。

表 4 分地区 SDM 模型回归结果

效应	变量		
	东部地区	中部地区	西部地区
L. Ingrvg	1.212 *** (29.028)	0.642 *** (6.935)	1.208 *** (31.269)
DIG	-0.006 (-0.414)	-0.060 (-0.585)	0.288 *** (7.822)
URB	0.038 (1.595)	0.190 *** (2.861)	0.088 *** (3.229)
PFR	0.000 (0.016)	0.046 * (1.893)	-0.081 *** (-3.600)
EXP	0.042 * (1.960)	0.511 *** (3.944)	0.327 *** (7.309)
PGDP	-0.164 ** (-2.466)	0.372 *** (4.531)	-0.339 *** (-4.869)
W × DIG	-0.023 (-0.702)	1.267 *** (11.194)	-1.343 *** (-4.134)
W × URB	0.170 *** (3.871)	0.389 *** (6.873)	-0.469 * (-1.942)
W × PFR	0.052 * (1.835)	-0.090 * (-1.658)	-0.309 (-0.577)
W × EXP	0.022 (0.628)	0.849 *** (6.433)	-0.132 (-0.266)
W × PGDP	-0.147 * (-1.755)	0.227 (1.592)	0.458 (0.844)
R ²	0.971	0.728	0.654
N	150	90	165

① 由于东北地区样本量少,故只分析东、中、西三个地区。

表5 分地区 SDM 模型空间效应分解结果

地区		变量					
		直接效应		间接效应		总效应	
		短期效应	长期效应	短期效应	长期效应	短期效应	长期效应
东部地区	DIG	-0.005 (-0.329)	0.007 (0.019)	-0.024 (-0.700)	0.085 (0.222)	-0.029 (-0.724)	0.092 (0.681)
	URB	0.039* (1.686)	0.163 (0.068)	0.177*** (3.774)	-0.840 (-0.351)	0.215*** (3.761)	-0.677** (-2.550)
	PFR	0.001 (0.070)	0.103 (0.144)	0.055* (1.878)	-0.277 (-0.387)	0.055 (1.583)	-0.174 (-1.402)
	EXP	0.042** (1.964)	-0.177 (-0.205)	0.022 (0.609)	-0.029 (-0.033)	0.063 (1.472)	-0.205 (-1.287)
	PGDP	-0.168** (-2.480)	0.865 (0.312)	-0.155* (-1.707)	0.144 (0.052)	-0.323*** (-2.925)	1.010** (2.290)
中部地区	DIG	-0.254** (-2.156)	0.185* (1.829)	0.438** (2.430)	-0.051 (-1.265)	0.184 (1.126)	0.134 (1.130)
	URB	-0.163 (-1.368)	0.425*** (5.258)	0.765*** (5.147)	0.013 (0.529)	0.602*** (4.835)	0.438*** (5.038)
	PFR	0.121*** (2.979)	-0.058** (-2.427)	-0.161*** (-3.146)	0.013 (0.529)	-0.040 (-1.169)	-0.029 (-1.172)
	EXP	0.217 (1.475)	0.489*** (4.859)	0.644*** (3.367)	0.138** (2.160)	0.861*** (4.624)	0.626*** (4.821)
	PGDP	-1.217** (-2.140)	1.727*** (7.837)	3.439*** (5.503)	0.028** (2.105)	2.222*** (8.230)	1.619*** (8.572)
西部地区	DIG	0.207*** (5.278)	-1.458 (-0.490)	0.712*** (7.238)	0.063 (0.021)	0.919*** (7.483)	-1.395*** (-5.856)
	URB	0.068** (2.372)	-0.481 (-0.224)	0.179*** (4.072)	0.106 (0.050)	0.247*** (4.772)	-0.375*** (-4.333)
	PFR	-0.088*** (-4.145)	0.249 (0.053)	0.053 (1.306)	-0.194 (-0.041)	-0.035 (-0.749)	0.055 (0.751)
	EXP	0.284*** (6.192)	-1.440 (-0.158)	0.376*** (3.467)	0.438 (0.048)	0.660*** (5.220)	-1.002*** (-4.570)
	PGDP	-0.371*** (-4.669)	1.493 (0.064)	0.235* (1.830)	-1.290 (-0.055)	-0.136 (-1.388)	0.203 (1.380)

六、制造业投入数字化对绿色技术创新的传导渠道检验

由前述检验结果可知,制造业数字化投入对域内和域外绿色技术创新产生影响。在此基础上,为进一步验证前述提出制造业数字化投入对绿色技术创新的影响机制即传导渠道是否成立,本文在基准回归的基础上采用静态模型,使用中介效应模型进行实证检验。上述影响机制中主要有两条路径(互联网发展和产业结构升级),因而参考关于中介效应模型的设置,这里使用部分中介效应模型对制造业投入数字化对绿色技术创新的直接影响和间接影响进行验证,设置的模型(1)、模型(2)、模型(3)形式如下:

$$Ingrvg_{it} = \alpha_0 + \delta \sum_{i=1}^N W_{ij} Ingrvg_{it} + \alpha Dig_{it} + \pi_1 \sum_{i=1}^N W_{ij} Dig_{it} + \theta_1 \sum X_{it} + \theta_2 \sum_{i=1}^N W_{ij} X_{it} + \mu_i + \nu_i + \varepsilon_{it}$$

$$Net_{it}/Indu_{it} = \beta_0 + \delta_0 + \sum_{i=1}^n W_{ij} Net_{it}/Indu_{it} + \alpha_1 Dig_{it} + \sum_{i=1}^n W_{ij} Dig_{it} + \theta_1 \sum X_{it} + \theta_2 \sum_{i=1}^n W_{ij} X_{it} + \mu_i + \nu_i + \varepsilon_{it}$$

$Ingrvg_{it} = \alpha_0' + \delta' \sum_{i=1}^n W_{ij} Ingrvg_{it} + \alpha_1' Dig_{it} + \pi_1' \sum_{i=1}^n W_{ij} Dig_{it} + \sum_{i=1}^n W_{ij} Dig_{it} \delta_0' + \sum_{i=1}^n W_{ij} TS_{it} + \alpha_2 TS_{it} + \theta_1' \sum X_{it} + \theta_2' \sum_{i=1}^n W_{ij} X_{it} + \mu'i + \nu'i + \varepsilon'it$

式中, X_{it} 代表上面模型中控制变量。 Net 代表互联网发展水平。本文主要使用“互联网普及率”衡量互联网发展水平,主要基于以下考虑:目前在区域层面对于互联网发展水平测度一般采用网站数、互联网普及率、网民数等^[32-33]。本文主要研究互联网的空间效应,再次考虑到区域人口基数可能会影响区域的互联网发展,为了能够准确测度互联网发展水平,本文将选取互联网普及率来衡量互联网发展水平(各地区互联网与年末人口数的比例)。 $Indu$ 代表产业结构升级,产业优化的过程一方面表现为不同产业间发展更加协调、资源配置更加有效的演变过程,另一方面表现为产业结构由较低层次向较高层次逐步升级的过程,故本文选取产业结构高级化作为产业优化的二级指标。产业结构高级化本文采用第三产业产值与第二产业产值之比作为产业结构高级化的度量^[34]。

检验互联网发展水平和产业结构升级作为影响渠道的空间效应,首先检验制造业投入数字化对绿色技术创新的空间效应,倘若制造业投入数字化能够影响绿色技术创新,则进一步检验制造业投入数字化是否会影响中介变量。最后检验制造业投入数字化通过影响中介变量进而影响绿色技术创新的间接影响。基于以上步骤,在表 6、表 7 中报告了空间杜宾模型下制造业投入数字化对绿色技术创新的空间效应和在互联网发展水平和产业结构升级下对制造业投入数字化对绿色技术创新间接影响。在表中,第(2)、(3)、(4)列为公式(1)的估计结果,第(4)、(5)、(6)列为公式(2)的估计结果,第(7)、(8)、(9)列为公式(3)的估计结果。

检验互联网发展水平的影响效应。由表 6 回归结果表明,第(2)、(3)、(4)列表明制造业投入数字化对绿色技术创新具有空间效应,总效应在

1%的水平上显著,在第(4)、(5)、(6)列中总效应和间接效应都在 1%的水平下显著,说明制造业投入数字化促进了区域互联网发展水平,第(7)、(8)、(9)列在互联网发展水平下总效应也是在 1%的水平上显著,这一结果在一定程度表明互联网发展水平是制造业投入数字化影响绿色技术创新的一个中介变量。在中介变量下制造业投入数字化对本域的绿色技术创新水平产生阴影效应,相比域外地区的外溢性,整体上没有变化。

检验产业结构升级的影响效应。由表 7 回归结果表明,在第(4)、(5)、(6)列中总效应在 1%的水平上显著,直接效应和间接效应也在 10%的水平上显著,说明制造业投入数字化推动了产业结构升级,对本地区和域外地区产业结构升级产生了空间效应,第(7)、(8)、(9)列在中介变量下总效应也是在 1%的水平上显著,在这一结果在一定程度表明产业结构升级是制造业投入数字化影响

表 6 制造业投入数字化对绿色技术创新的影响机制回归结果

变量	Ingrvg			Net			Ingrvg		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
Net							-0.024 (-0.435)	-0.187 *** (-2.582)	-0.212 *** (-3.556)
DIG	-0.073 * (-1.792)	-0.081 (-1.271)	-0.154 *** (-3.269)	-0.012 (-0.441)	0.298 *** (5.815)	0.286 *** (5.560)	-0.070 (-1.615)	-0.049 (-0.716)	-0.120 *** (-2.776)
URB	-0.100 ** (-2.258)	-0.345 *** (-5.473)	-0.445 *** (-10.946)	0.227 *** (9.483)	0.495 *** (10.056)	0.721 *** (15.199)	-0.078 * (-1.716)	-0.236 *** (-4.070)	-0.313 *** (-6.382)
PFR	-0.043 * (-1.871)	-0.023 (-0.532)	-0.065 * (-1.805)	0.004 (0.230)	-0.157 *** (-4.291)	-0.153 *** (-3.667)	-0.047 * (-1.899)	-0.033 (-0.753)	-0.081 ** (-2.022)
EXP	0.623 *** (18.246)	-0.057 (-0.941)	0.566 *** (8.960)	0.122 *** (3.889)	0.538 *** (9.877)	0.659 *** (8.559)	0.642 *** (15.825)	-0.010 (-0.148)	0.632 *** (8.216)
PGDP	0.746 *** (6.092)	0.439 *** (3.011)	1.185 *** (25.358)	0.413 *** (4.619)	-1.016 *** (-8.658)	-0.602 *** (-10.890)	0.800 *** (6.112)	0.308 ** (1.992)	1.108 *** (20.170)
R ²	0.723	0.723	0.723	0.798	0.798	0.798	0.743	0.743	0.743
N	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000

表 7 制造业投入数字对绿色技术创新的影响机制回归结果

变量	Ingrvg			Indu			Ingrvg		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
Indu							0.317 *** (15.383)	-0.173 *** (-6.374)	0.145 *** (5.164)
DIG	-0.073 * (-1.792)	-0.081 (-1.271)	-0.154 *** (-3.269)	0.107 * (1.868)	0.178 * (1.663)	0.286 *** (2.829)	-0.095 *** (-2.912)	-0.123 ** (-2.108)	-0.218 *** (-4.974)
URB	-0.100 ** (-2.258)	-0.345 *** (-5.473)	-0.445 *** (-10.946)	-0.135 ** (-2.546)	-0.102 (-1.075)	-0.237 *** (-2.775)	-0.102 *** (-2.951)	-0.313 *** (-5.961)	-0.415 *** (-10.185)
PFR	-0.043 * (-1.871)	-0.023 (-0.532)	-0.065 * (-1.805)	-0.181 *** (-4.600)	-0.182 *** (-2.469)	-0.363 *** (-4.404)	0.002 (0.079)	-0.012 (-0.307)	-0.010 (-0.246)
EXP	0.623 *** (18.246)	-0.057 (-0.941)	0.566 *** (8.960)	-0.322 *** (-4.926)	-0.266 ** (-2.470)	-0.588 *** (-3.898)	0.695 *** (19.483)	0.018 (0.283)	0.712 *** (8.968)
PGDP	0.746 *** (6.092)	0.439 *** (3.011)	1.185 *** (25.358)	-0.476 ** (-2.273)	1.939 *** (7.407)	1.463 *** (13.617)	0.927 *** (9.707)	-0.002 (-0.017)	0.925 *** (13.893)
R ²	0.723	0.723	0.723	0.520	0.520	0.520	0.813	0.813	0.813
N	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000	480.000

绿色技术创新的一个中介变量。在中介变量下制造业投入数字化对产业结构升级的直接效应在1%水平下显著为正,其间接效应在5%水平下显著为正,总效应在1%水平下显著为正,说明在产业结构升级的推动下,制造业数字化会对域外绿色技术创新产生空间外溢性,同样也会对域内产生阴影效应。

七、结论与政策建议

(一) 研究结论

基于静态面板,制造业投入数字化对省域内绿色技术创新呈现负向的空间效应,对省域外绿色技术创新空间外溢性不显著;基于动态面板,在短期内投入数字化水平对省域内绿色技术创新呈现正向的空间效应,对省域外绿色技术创新空间外溢性显著,在长期整体上投入数字化水平对省域内绿色技术创新呈现负向的空间效应,空间外溢性不显著。进一步对地区异质性进行分析,发现制造业数字化程度对绿色技术创新影响对不同区域存在异质性,中西部地区存在显著的空间溢出性,东部地区空间溢出不明显。

(二) 政策建议

(1) 继续加大数字化投入,提高辐射带动作用。加强区域资源分享和技术协作,解决数字经济在区域制造业发展中的困难。应当加强省域间的交流合作,构建政府科研机构和企业协同创新攻关系统,强化制造业对新技术的获取与应用能力。优化资源在区域间的公平分配,加强数字资源分享,打破省域间信息技术壁垒,促进省域间数字要素的创新推动效应加大重点、示范项目的资金支持力度,激活企业创新活力,进一步推进绿色技术创新发展。

(2) 强化数字经济发展环境建设,释放数字经济效能。对于中西部数字经济环境水平较低的地区,加强政府互联网应用水平,增加创新方面研究投资,培育和引进相关数字型人才,拓展多层次人员培训方法,加大企业人才引进力度,提高企业数字化技能,拓展数字化思维。进一步提高和完善环境治理和构建科技创新的环境。

(3) 继续推进产业结构升级,提高绿色技术创

新水平。传统制造业企业可以利用先进行业所积累的先进制造信息技术基础上,融入新型信息技术,注重数字化建设的整体规划,推动数字化与创新的深度融合,推进产业向数字化、网络化与智能化方向发展,促进要素资源高效利用,降低能源消耗和环境污染水平,提高绿色技术创新水平。绿色发展水平较好的地区要进一步发挥示范作用和扩散作用,加大对落后地区自然资源保护与环境治理的保障与帮助,实现绿色发展水平的共同提升。

参考文献:

- [1] 中国信息通信研究院. 中国数字经济发展白皮书(2020年)[R]. 北京:中国信息通信研究院,2020:1-71.
- [2] BRAUN E, WIELD D. Regulation as a means for the social control of technology[J]. Technology analysis & strategic management, 1994, 6(3):259-272.
- [3] 谢雄标,吴越,严良. 数字化背景下企业绿色发展路径及政策建议[J]. 生态经济,2015,31(11):88-91.
- [4] WALZ R, PFAFF M, MARSCHEIDER-WEIDEMANN F, et al. Innovations for reaching the green sustainable development goals where will they come from? [J]. International economics and economic policy, 2017, 14(2):449-480.
- [5] 王俊. 创新驱动和绿色发展的体制机制改革研究[J]. 经济体制改革, 2016(6):8.
- [6] SCHUMPETER J A. Capitalism, socialism, and democracy [J]. American economic review, 1942, 3(4):594-602.
- [7] NORBERG-BOHM V. Stimulating "green" technological innovation: an analysis of alternative policy mechanisms[J]. Policy sciences, 1999, 32(1):13-38.
- [8] 陶锋,赵锦瑜,周浩. 环境规制实现了绿色技术创新的“增量提质”吗——来自环保目标责任制的证据[J]. 中国工业经济,2021(2):136-154.
- [9] 王馨,王营. 绿色信贷政策增进绿色创新研究[J]. 管理世界,2021,37(6):173-188.
- [10] 张伟,李虎林,安学兵. 利用 FDI 增强我国绿色创新能力的理论模型与思路探讨[J]. 管理世界,2011(12):170-171.
- [11] 齐绍洲,林岫,崔静波. 环境权益交易市场能否诱发绿色创新? ——基于我国上市公司绿色专利数据的证据[J]. 经济研究,2018,53(12):129-143.
- [12] 李广培,李艳歌,全佳敏. 环境规制、R&D 投入与企业绿色技术创新能力[J]. 科学学与科学技术管理,2018,39(11):61-73.

- [13]王开科,吴国兵,章贵军. 数字经济发展改善了生产效率吗[J]. 经济学家,2020(10):24-34.
- [14]张晴,于津平. 投入数字化与全球价值链高端攀升——来自中国制造业企业的微观证据[J]. 经济评论,2020(6):72-89.
- [15]张晴,于津平. 制造业投入数字化与全球价值链中高端跃升——基于投入来源差异的再检验[J]. 财经研究,2020(9):93-107.
- [16]李春发,李冬冬,周驰. 数字经济驱动制造业转型升级的作用机理——基于产业链视角的分析[J]. 商业研究,2020(2):73-82.
- [17]马香品. 数字经济时代的居民消费变革:趋势、特征、机理与模式[J]. 财经科学,2020(1):120-132.
- [18]王文. 数字经济时代下工业智能化促进了高质量就业吗[J]. 经济学家,2020(4):89-98.
- [19]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.
- [20]李宗显,杨千帆. 数字经济如何影响中国经济高质量发展? [J]. 现代经济探讨,2021(7):10-19.
- [21]于斌斌. 产业结构调整与生产率提升的经济增长效应——基于中国城市动态空间面板模型的分析[J]. 中国工业经济,2015(12):83-98.
- [22]冯根福,温军. 中国上市公司治理与企业技术创新关系的实证分析[J]. 中国工业经济,2008(7):91-101.
- [23]WUJ, TU R. CEO stock option pay and R&D spending: a behavioral agency explanation [J]. Journal of business research, 2007, 60(5):482-492.
- [24]HILL C, HANSEN G S. A longitudinal study of the cause and consequences of changes in diversification in the U. S. pharmaceutical industry 1977 - 1986 [J]. Strategic management journal, 1991, 12(3):187-199.
- [25]侯润秀,官建成. 外商直接投资对我国区域创新能力的影响[J]. 中国软科学, 2006(5):104-111.
- [26]DAVID K P. Institutional investors and firm innovation: a test of competing hypotheses [J]. Strategic management journal, 1996, 17(1):73-84.
- [27]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.
- [28]杨玲. 生产性服务进口贸易促进制造业服务化效应研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2015(5):37-53.
- [29]许和连,成丽红,孙天阳. 制造业投入服务化对企业出口国内增加值的提升效应——基于中国制造业微观企业的经验研究[J]. 中国工业经济, 2017(10):62-80.
- [30]刘斌,魏倩,吕越,等. 制造业服务化与价值链升级[J]. 经济研究, 2016, 51(3):151-162.
- [31]VEGA S H, ELHORST J P. The slx model[J]. Journal of regional science, 2015, 55(3):339-363.
- [32]郭家堂,骆品亮. 互联网对中国全要素生产率有促进作用吗? [J]. 管理世界, 2016(10):34-49.
- [33]张波,曲小刚,舒小林. 移动互联技术对文化创意产业的影响[J]. 当代经济管理, 2016, 38(2):56-62.
- [34]干春晖,郑若,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, 46(5):4-16, 31.

(本文责编:王延芳)