

【生态文明与区域发展】

# 数字经济发展与环境绩效提升：理论机制与实证检验\*

杨志才 谢妞

**摘要:**数字经济具有绿色化、多元化、共享化的特征,对于助力经济发展模式的绿色化转型和环境绩效的提升具有重要意义。在分析数字经济提升环境绩效的理论基础上,采用2011—2021年中国省际面板数据,实证分析数字经济对环境绩效的影响效应,研究发现:数字经济对环境绩效有显著的提升作用。数字经济通过加强企业科技创新、促进产业结构升级、优化政府监管治理三个作用机制显著提升环境绩效。从时间上看,2015年之后,数字经济对环境绩效的影响更加显著;从空间上看,西部、中部及东北部地区的环境绩效更受益于数字经济的发展。在新时期,政府应以绿色发展为目标导向,加快数字经济发展,实现中国经济增长与生态环保的双赢。

**关键词:**数字经济;环境绩效;高质量发展

中图分类号:F207 文献标识码:A 文章编号:2095-5766(2025)02-0152-09 收稿日期:2023-10-17

\*基金项目:国家社会科学基金项目“数字经济驱动收入分配格局转变的机制、效应与协同路径研究”(22CJL018)。

作者简介:杨志才,男,郑州大学商学院副教授(郑州 450001)。

谢妞,女,商丘师范学院经济管理学院助教(商丘 476000)。

## 一、引言

在当下以信息化、网络化、数字化、智能化为主导的时代变革背景下,数字经济正与工业生产、居民生活、生态环境深度融合发展,为新一轮中国经济社会的高质量发展提供重要的驱动力。党的十八大以来,中国先后提出并深入贯彻“网络强国战略、国家大数据战略、数字经济发展战略、‘十四五’数字经济发展规划”等一系列加强数字经济建设的战略规划,党的二十大报告也对加快建设数字中国作出重要部署,强调大力推进数字经济基础设施建设,从深度和广度层面注重数字产业化和产业数字化的推进,全面驱动数字经济的蓬勃发展。《数字中国发展报告(2022年)》指出“2022年中国数字经济

规模为50.2万亿元,位居全球第二”,数字经济成为推动中国经济发展提挡换速的核心力量。

新阶段下,为实现高质量发展的目标,中国仍需牢牢坚持“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念。在全球气候变化对人类社会造成重大威胁的国际背景及人民对绿色美好生活需要的国内背景下,为实现构建人类命运共同体与绿色可持续发展的目标,中国于2020年9月宣布“双碳”(碳达峰和碳中和)的目标愿景。2021年10月,中共中央、国务院出台《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》,表明当下实现绿色转型的紧迫性和必要性。在数字经济与传统经济深度渗透融合下,探讨数字经济能否对环境绩效的提升产生赋能作用,对中国经济增长与生态环保双赢的绿色高质量发展具有重要的现实意义。

现有文献的研究多认为数字经济对环境绩效具有积极的促进作用。在理论层面的探讨中,许宪春等(2019)基于绿色发展的本质,从经济、社会、环境三个角度出发,认为数字经济能够在促进社会资源的整合、助力科学决策及优化政府监管方面发挥关键作用,为中国绿色发展提供重要的可行路径。钱立华(2020)基于对绿色经济与数字经济的异同点分析,发现数字技术能够在直接和间接层面上发挥对绿色低碳可持续发展作用的促进,而绿色经济也能助推数字经济的绿色化转型发展,论述了两者的协同性。在实证研究层面,程文先等(2021)研究发现企业在数字经济的辅助下,实现了向数字化、绿色化方向的转型升级,实现了绿色全要素生产率的提升。庞瑞芝等(2021)从多元协作的环境治理角度,考察了数字经济对环境治理绩效的改善作用及影响机制。乌静等(2022)研究发现数字经济能够通过促进技术创新、优化产业结构及完善数字政府建设实现经济效益和环保效益的共赢,并结合面板模型进行实证分析。

从研究视角上看,现有研究多聚焦在数字经济的经济效应,有关数字经济发展对区域环境绩效影响的研究比较匮乏。虽然有些文献从多个方面阐述了数字经济赋能环境绩效的可行性,但是缺乏数字经济对环境绩效发挥提升作用的影响机制的系统梳理及实证检验。基于此,本文对数字经济发展与环境绩效提升之间的影响机制作出分析,然后对其影响效应和影响机制进行实证考察。本文的边际贡献在于:第一,在研究内容上,较为系统地分析了数字经济发展与环境绩效的关系,并从微观上的企业科技创新、中观上的产业结构升级和宏观上的政府监管治理这三个维度详细论述了数字经济对环境绩效的影响机制。第二,结合内生性、稳健性、异质性等实证检验,深入验证了数字经济影响环境绩效的机制及效应。第三,政府应以绿色发展为目标导向,加快数字经济发展,实现中国经济增长与生态环保的双赢。本文的研究为政府充分发挥数字经济的红利、有效提升环境绩效、推动企业发展的数字化绿色化转型提供了一定的参考。

## 二、理论机制分析

从影响因素上看,环境绩效的提升离不开经济

发展模式革新以及技术进步等因素,所以在实现经济增长的同时要保证具有美好的生态环境。作为新一轮科技革命核心推动力的数字经济,以其数据共享、技术创新、要素突破时空上的束缚、规模经济及催生新业态等特点,为提升环境绩效提供可行路径。

### (一)数字经济通过加强企业科技创新提升环境绩效

数字经济催生的新型经济形态,逐渐融合渗透到社会生产生活的各个领域,并促进绿色技术创新水平的提高(庞瑞芝等,2021)。这是因为,首先,数字经济通过大数据、人工智能、区块链、云计算等新型数字化技术促进了经济社会生产资料的升级。当数字技术应用到传统企业生产,便催生出数字化劳动资料,可以促进生产要素的优化配置,降低生产成本,提升企业的绿色生产能力,进一步推动企业开展科技创新活动。其次,数字经济能够促进人力资本的积累和高级化,提升劳动者的技能,从而加速绿色技术创新。具体表现为基于数字技术的信息整合功能,企业能够更加及时、便捷地获取节能减排和环境治理方面的信息,进而有利于更好地发挥知识溢出和交互效应。在此基础上,结合数字化对企业与企业、企业与政府部门、企业与高校等研发机构之间科技合作的推动作用,更好地促进“产学研”的融合发展,加速以绿色可持续发展为导向的创新驱动和成果转化效率,减少无用创新,为绿色技术的创新提供良好的外部发展环境。最后,基于数字经济虚拟化和信息化的属性,有助于实现企业内部研发、生产、销售、管理等环节动态监管和关联性的强化,降低企业绿色科技研发的试错成本,促进研发部门资源的优化配置,进而加快科技成果转化进程。企业经济活动关联性的加强,既能够降低信息的搜寻成本,也能够实现生产各环节的协同性,从而为企业内部提供良性循环的发展环境,助力企业绿色化科技的创新。因此,数字化能够在微观层面上促进企业绿色科技创新水平的提高,优化要素投入产出效率,改善粗放式经济发展模式,减少污染排放,为实现经济、社会、生态的协调发展提供动力源泉。

### (二)数字经济通过促进产业结构升级提升环境绩效

数字经济是以信息通信技术的革新为核心驱动力的新型经济形态,它的快速发展不仅促进了数

据信息在产业生产中的融合应用,引导产业向以知识密集型和技术密集型为发展方向的第三产业转型和聚集,而且不断催生以信息化的第三产业为核心的新产业和新模式以丰富产业结构,而第三产业是实现绿色化可持续发展的重要基础,因此数字经济的发展能够从横向和纵向两方面促进产业结构的转型升级,实现产业经济效益和环保效益的最大化,从而助力环境绩效的提升。数字经济通过产业结构升级赋能环境绩效提升的具体表现包括以下三点。首先,数字经济借助数字要素在各行各业中与传统要素的结合,能够打破资源要素在时间、空间上的限制,促进生产要素的自由流动,提高资源配置效率和产业生产率,进一步加快产业向数字化、网络化、智能化方向的转型升级,加强产品生产供应链的关联效应,降低产品生产所需的能源消耗强度。其次,数字经济赋能企业生产效率的提高,将带来竞争效应,加剧行业内的竞争,促进其余企业的科技创新,并在行业内的知识和技术溢出效应的作用下,加剧产业结构向技术密集方向的升级,助力绿色经济发展。最后,依托数字技术的信息整合、分析、预测功能,企业的生产将更加注重用户的需求,催生出一系列新产业、新业态和新模式,淘汰落后产品,进一步促进产业结构的优化重组,提高供需匹配度,在生产、交换、分配、消费等经济活动环节减少不必要的产出浪费,实现成本的降低和经济的集约环保式增长。因此,数字经济在中观层面上通过对产业结构的优化升级,提高了资源配置效率,为经济社会的绿色高质量发展提供了广阔空间(许宪春等,2020)。

### (三)数字经济通过优化政府监管治理提升环境绩效

数字经济能够通过推动政府形成数字化的治理监管模式,为绿色经济发展提供重要支撑。其具体作用途径包括以下三点:一是依托大数据、物联网等数字化技术,相关环保部门能够实现智能化和高效化对生态环境的监管。借助卫星遥感、红外传感器等新型信息处理技术,政府环保部门能够把握生态环境的实时变动情况,从而在降低环境监管成本的同时,为生态环境提供高效防护和科学治理。二是数字经济能够通过打造政府各部门、企业及公众等多主体参与的生态环境数字化平台,促进信息整合,完善生态治理机制,提高资源配置效率。一

方面,生态环保需要全社会的共同参与和各单位协同治理,大数据技术能够促进政府不同部门之间、政府与企业之间、政府与个体之间、企业与个体之间信息的顺利交流和有效利用,从而建立更加全面完善的生态环境数据信息系统,打破信息壁垒,为数据的分析、预测及应用提供基础支撑,助力生态服务的便捷性、生态监管的准确性和生态治理决策的科学性;另一方面,基于多主体参与的生态环境数字信息平台,政府能够更全面地了解企业和公众在环境方面的需求,从而在绿色可持续发展原则下,从根本上协调并满足各主体的发展需要,减少因信息不对称带来的资源损耗,提高资源配置效率,提高环保政策的科学有效性,为绿色发展的行稳致远提供制度支撑。三是多主体参与、跨层次的数字化平台能够提高地方政府环境治理的透明度,弱化腐败带来的政策扭曲。数字技术的应用有助于消除信息不对称,增强对地方政府在环境规制执行上的监管,更好地促进地方政府落实环境治理职责,确保环境规制的有效执行(韩晶等,2022)。因此,数字经济在宏观层面上能够通过优化政府对生态环境的治理和监管能力,提高环境规制的科学性和有效性,为环境绩效的提升提供制度保障。

## 三、研究设计

在分析数字经济提升环境绩效的理论基础上,本部分通过设定计量和检验模型充分讨论数字经济发展水平对环境绩效产生的影响效应。

### (一)模型设定

为考察数字经济发展水平对环境绩效的影响效应,构建如下基准计量模型:

$$GTFP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \times DIG_{it} + \alpha_c \times X_{it} + u_i + r_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$i$ 和 $t$ 代表省份和年份, $GTFP_{it}$ 为环境绩效, $DIG_{it}$ 为数字经济发展水平, $X_{it}$ 表示可能影响环境绩效的一系列控制变量,包括该省份的经济发展水平、外商投资水平、政府职能、城市化水平和人力资本水平, $u_i$ 表示省份层面个体固定效应, $r_t$ 表示时间固定效应, $\varepsilon_{it}$ 表示随机扰动项。

进一步,为检验数字经济是否通过驱动产业结构升级、激发企业科技创新和优化政府监管治理提升环境绩效,借鉴温忠麟等(2004)的研究,构建如下检验模型:

$$M_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \times DIG_{it} + \gamma_2 \times X_{it} + u_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$GTFP_{it} = \beta_0 + \beta_1 \times DIG_{it} + \beta_2 \times M_{it} + \beta_3 \times X_{it} + r_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$M_{it}$ 表示中介机制变量,即企业科技创新水平、产业结构和政府监管治理能力。依据温忠麟等(2004)的研究,验证中介效应是否存在的具体步骤如下:对于式(1),如果 $\alpha_1$ 显著,则对式(2)和式(3)进行实证检验,观察 $\gamma_1$ 和 $\beta_2$ 是否都显著。如果 $\gamma_1$ 和 $\beta_2$ 都显著,则说明存在理论分析部分提出的作用机制;但如果 $\gamma_1$ 和 $\beta_2$ 有一个不显著,则需要根据Bootstrap检验结果再进行判断。

## (二)变量说明

为揭示数字经济发展水平对环境绩效的影响效应与作用机制,本文选取以下变量进行说明。

### 1.被解释变量

采用Tone(2001)改进后的超效率SBM-DEA模型对环境绩效进行测度。该模型的主要原理是结合全要素生产理论,在一定投入水平下,期望产出水平越高,非期望产出水平越低,代表该区域环境绩效越高。模型中的投入指标包括资本、劳动力和能源。其中,资本投入指标选用固定资本存量 $K$ 来表示,并用基于永续盘存法的公式 $K_{it} = (1-\delta)K_{i,t-1} + I_{it}$ 来计算,基期固定资本存量 $K_0$ 参照Young(2000)的做法,计算公式为 $K_0 = I_0/10\%$ , $i$ 和 $t$ 表示省份和年份。其中 $I$ 表示新增社会固定资产投资,以2000年为基期,并基于省份的固定资产折算价格指数对固定资产投资总额进行平减。 $\delta$ 为固定资产折旧率,参照张军等(2004)的处理方法取值为9.6%。选取年末社会从业人员总数来表示劳动力投入指标。选用各省能源消费总量表示能源投入指标。产出指标中的期望产出为历年的地区生产总值,并使用GDP折算指数平减至2000年。对于非期望产出指标,本文考虑到污染物的复杂多样性,选取各省 $SO_2$ 、 $CO_2$ 、COD、烟尘、粉尘和固体废弃物等六类主要污染物,采用主成分分析法将其合并成污染综合排放指数进行表征。其中,由于 $CO_2$ 排放量无法直接从统计年鉴中获取,本文借鉴汪克亮等(2013)的研究,利用化石能源消耗量与碳排放系数的乘积计算出各省份的 $CO_2$ 排放量。

### 2.核心解释变量

在借鉴关于数字经济发展评价指标体系的现有文献研究的基础上(赵涛等,2020;焦帅涛等,2021;杨志才等,2024),本文从数字基础设施、数字

产业、数字融合和数字创新四个维度出发,构建出中国省际层面的数字经济发展水平测度指标体系。数字基础设施是数字经济发展的前提,具体选用互联网宽带接入端口、移动互联网人均接入流量、移动电话普及和每百家企业拥有网站数量进行衡量。对于数字产业层面的衡量,主要从数字核心产业和数字经济相关产业两方面进行考察,具体选用信息技术服务业的增加值、电子制造业增加值占GDP的比重、数字经济相关企业数量和ICT投资占区域社会总投资的比重等指标。对于数字融合部分,结合数字经济在经济社会中与政府治理、企业生产和居民生活等方面的融合应用,选用区域电子商务采销额与区域GDP的占比、两化融合发展指数、在线政府指数和数字生活指数进行表征。对数字创新部分发展水平的衡量主要从创新型人力资本水平和用于创新方面的投资水平两个方面考察,具体选用的指标包括区域本科以上学历人数、软件研发人员的就业数、规模以上工业企业的研发经费和政府科技投入占区域GDP的比重。另外,本部分的数据除全国两化融合指数(工业化和信息化的融合)、在线政府指数和数字生活指数为结构化的二手数据外,其余数据均来自国家及各省的统计年鉴。

### 3.机制变量

影响机制检验部分涉及企业科技创新水平、产业结构、政府对环境的治理监管能力三个机制变量,在借鉴既有文献研究的基础上,本文选取能够反映创新产出质量的发明专利授权量代表企业技术创新水平(胡艳等,2022);产业结构升级使用第三产业增加值与第二产业增加值的比值进行衡量(焦帅涛等,2021);政府对环境的治理监管水平采用治理污染的总投资额与工业总产值的比值来衡量(庞瑞芝等,2021)。

### 4.控制变量

经济发展水平以2005年为基期平减后的实际人均GDP衡量,政府职能以财政预算支出占地区生产总值的比重表示,外商直接投资以地区实际使用外资水平表示,城镇化水平选用城镇人口占总人口的比重衡量,人力资本水平使用平均受教育年限指数衡量。

## (三)数据来源及说明

本文选取2011—2021年全国30个省份的面板数据作为研究样本,取自于《中国统计年鉴(2012—

2022)》及各省的统计年鉴。其中,采用插值法补齐个别缺失数据。主要变量的描述性统计结果见表1。

表1 主要变量的描述性统计

变量名称	样本量	平均值	方差	最小值	最大值
环境绩效	330	1.657	0.902	0.444	4.773
数字经济水平	330	4.216	1.015	1.742	6.817
人力资本水平	330	7.823	0.288	6.987	8.713
经济发展水平	330	10.801	0.419	9.682	11.970
政府职能	330	0.277	0.118	0.121	0.769
外商直接投资	330	1.930	2.737	0.002	14.851
城镇化水平	330	0.590	0.114	0.350	0.902
产业结构	330	1.287	0.699	0.527	5.067
科技创新水平	330	9.086	1.438	5.124	12.411
政府治理水平	330	41.147	18.906	3.827	102.553

资料来源:作者整理。

#### 四、实证结果及分析

本部分通过基准回归、稳健性检验和机制检验得到实证结果并进行分析。

##### (一)基准回归

基准回归结果如表2所示。(1)一(4)列是逐步加入控制变量、时间和个体固定效应后的回归估计结果。可以发现,数字经济发展水平与环境绩效显著为正相关,表明数字经济能够对区域环境绩效产生提升作用。数字经济作为新型的经济形态,能够通过数据要素和数字技术对传统经济的发展模式产生优化改进作用,从而实现资源配置效率的提升,加速产业结构的升级,并且强化政府在生态环境上的监督治理,通过加强社会各主体的协同环境治理,为中国的绿色可持续发展带来新动力。

另外,数字经济发展的4个分指数,即数字基础设施水平、数字产业水平、数字融合水平和数字创新水平对环境绩效的回归结果影响系数分别为0.183、0.164、0.243、0.190,通过1%置信水平的检验<sup>①</sup>。由估计系数可以计算出影响弹性,其弹性计算结果由大到小依次为数字融合水平、数字创新水平、数字基础设施水平和数字产业水平。一方面,中国数字经济发展日趋成熟,产业形态也更加丰富;另一方面,结合各分指数的影响系数,可以看出,目前中国数字经济中的数字融合效应对环境绩效的提升具有更大的作用。数字经济在大数据、物联网、人工

表2 数字经济对环境绩效影响的基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
数字经济水平	0.237*** (0.028)	0.146*** (0.033)	0.271*** (0.061)	0.198*** (0.045)
人力资本水平		0.023 (0.400)	-0.652* (0.377)	0.058 (0.403)
经济发展水平		1.165*** (0.446)	0.855** (0.371)	0.997** (0.444)
政府职能		-0.179 (0.999)	-0.965 (0.868)	0.116 (1.015)
外商直接投资		-0.119*** (0.035)	-0.157*** (0.032)	-0.109*** (0.036)
城镇化水平		-9.516*** (2.424)	-3.533* (1.794)	-7.797*** (2.244)
常数项	-2.998*** (0.369)	-5.965 (4.592)	-0.419 (3.685)	-5.510 (4.592)
个体固定效应	NO	NO	YES	YES
时间固定效应	NO	NO	NO	YES
样本量	330	330	330	330
R <sup>2</sup>	0.560	0.612	0.663	0.670

数据来源:作者研究整理。

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的置信水平上显著,括号内为稳健标准误。

智能等前沿高科技信息技术发展变革的助力下,与生产生活的多个方面不断融合渗透,发挥绿色环保的作用。因此,现阶段仍需大力推进数字基础设施建设、积极引导企业进行数字化转型以及加强数字创新方面的人才培养和技术研发,为数字经济的发展、普及和深入应用提供良好的发展环境。

##### (二)稳健性检验

通过稳健性检验,与上述回归对比判定稳健性。

###### 1.替换核心解释变量

借鉴许宪春等(2020)的研究方法,采用增加值法计算各省的数字经济增加值,以此作为数字经济发展水平的代理变量。首先,将数字经济界定为数字化赋权基础设施、数字化媒体和数字化交易三部分,其中,数字化赋权基础设施包括电信设备与服务、计算机软件、计算机硬件三部分;数字化媒体包括互联网广播、互联网发行与出版及相关支持服务三部分;数字化交易包括企业对企业和企业对个人两部分。其次,根据《国民经济行业分类(2017)》确定数字经济行业。最后,查阅统计年鉴中投入产出表的增加值数据,并借助行业增加值结构系数、数字经济调整系数和行业增加值率等工具系数完成

2011—2020年中国省际层面数字经济发展水平的测算。表3的第(1)列采用增加值法核算数字经济发展规模被解释变量,结果显示,数字经济发展水平的回归系数显著为正,说明数字经济的发展显著促进了环境绩效的提升,研究结论通过该稳健性检验。

#### 2.剔除极端值

鉴于数据中可能存在极端值,对实证结果产生干扰,对核心解释变量DIG进行双侧1%的缩尾处理。回归结果见表3第(2)列,可以发现数字经济对环境绩效的影响依然显著为正,研究结论不变。

#### 3.动态GMM模型检验

进一步检验实证结果的稳健性,表3第(3)列构建动态系统GMM模型,除了少部分变量显著性水平发生微小变化外,数字经济估计结果未发生变化。

#### 4.工具变量回归

进一步采用工具变量法识别数字经济发展对环境绩效的影响效应。借鉴黄群慧等(2019)的研究,选择各地区1984年每百人固定电话数量作为数字经济发展水平的工具变量。工具变量的两阶段回归结果见表3的第(3)、(4)列。首先,根据Kleibergen-Paaprk LM统计量的p值,可知在1%的置信水平上拒绝“工具变量识别不足”的原假设;其次,Kleibergen-Paaprk Wald F统计量同样显著拒绝“弱工具变量”的原假设;最后采用Sargan检验通过了“过度识别检验”,验证了工具变量的有效性。采用工具变量法的回归结果,表明在考虑内生性问题之后,数字经济发展水平对环境绩效的影响依然显著为正,与上述回归结果保持一致,研究结论具有稳健性。

表3 内生性检验结果

变量	(1)增加值法	(2)剔除极端值	(3)动态系统GMM	(4)工具变量第一阶段	(5)工具变量第二阶段
环境绩效的滞后项			1.214*** (0.109)		
数字经济	0.175*** (0.043)	0.218*** (0.061)	0.256*** (0.015)		1.019*** (0.291)
工具变量				0.039*** (0.014)	
个体固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
时间固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
Kleibergen-Paaprk LM 统计量					208.26[0.000]
Kleibergen-Paaprk Wald F统计量					24841.11[0.000]
样本量	330	330	330	330	330
R <sup>2</sup>	0.983	0.703	0.807	0.651	0.680

数据来源:作者研究整理。

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的置信水平上显著,括号内为稳健标准误;各列已加入控制变量,下同。

#### (三)机制检验

结合理论机制分析,数字经济可能会通过驱动企业科技创新、促进产业结构升级和优化政府监管治理来影响环境绩效。本部分采用中介效用模型对机制进行检验,其中(1)(2)(3)列为对企业科技创新机制的检验结果,回归结果显示,数字经济能够通过新型数字化技术激发企业科技创新,促进资源的优化配置,为环境绩效的提升提供动力源泉。(4)(5)(6)列为对企业科技创新机制的检验结果,回归结果显示,数字经济借助其要素的自由流动及规模经济等效应,能够通过促进产业结构升级,实

现经济发展的绿色化转型。(7)(8)(9)列为对产业结构升级的机制检验结果,结果显示,数字经济能够通过推动政府形成数字化的治理监管模式,为绿色经济发展提供重要支撑(见表4)。由此可知,数字经济发展水平对环境绩效提升的三种作用机制均通过了检验。

## 五、异质性分析

结合数字经济的发展历程,考察不同时期的数字经济发展水平对环境绩效的影响,具体以2015年

表4 机制检验估计结果

变量	M=企业技术创新			M=产业结构			M=政府监管治理		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
数字经济	0.198*** (0.047)	0.023*** (0.006)	0.143*** (0.036)	0.198*** (0.047)	0.066*** (0.015)	0.135*** (0.037)	0.198*** (0.047)	0.464*** (0.056)	0.146*** (0.0361)
中介变量			0.060*** (0.018)			0.144*** (0.034)			0.021*** (0.006)
个体-时间固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
样本量	330	330	330	330	330	330	330	330	330
R <sup>2</sup>	0.670	0.550	0.996	0.670	0.550	0.996	0.670	0.477	0.894

数据来源:作者研究整理。

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的置信水平上显著,括号内为稳健标准误。

为时间节点,将样本划分为2011—2015年和2016—2021年两个阶段进行分组回归,回归结果见表5。数字经济发展始终对环境绩效有提升作用,与基准回归保持一致,但具有时间异质性,在2015年之后数字经济水平对环境绩效的提升作用更加显著。2015年之后,国家高度重视数字经济的发展,加强数字经济发展统筹布局与制度完善,并为数字经济与实体经济的深度融合提供有力的政策支持,加快数字经济核心产业的深化与产业数字化的转型,从而积极发挥数字经济对高质量发展的提升作用。在“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念的指导下,数字经济能够通过促进企业科技创新、促进产业结构升级及提高政府环境监管治理能力这三种机制,发挥出提高资源配置效率、减少污染排放的绿色发展属性。

表5 时间异质性

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	2011—2015年	2011—2015年	2016—2021年	2016—2021年
数字经济	0.117*** (0.028)	0.086*** (0.009)	0.302*** (0.018)	0.208*** (0.023)
控制变量	NO	YES	NO	YES
个体-时间固定效应	YES	YES	YES	YES
样本量	150	150	180	180
R <sup>2</sup>	0.671	0.689	0.715	0.733

数据来源:作者研究整理。

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的置信水平上显著,括号内为稳健标准误。

为分析数字经济发展水平对环境绩效的影响是否存在区位上的异质性,笔者参照尚娟等(2023)的做法,将样本划分为四个地区,并采用分组回归

法予以考察,回归结果见表6。基于弹性系数,数字经济在中西部地区对中国绿色经济增长的促进作用更加显著。其原因可能在于东部地区经济发展水平较高,产业发展多以第三产业和高新技术产业为主,形成了较为合理的产业结构,较为注重绿色化环保发展。因此,东部地区数字经济发展对环境绩效的影响可能处在边际效益递减阶段,而中部、西部地区经济发展较为滞后,工业化与城镇化仍在推进,能源消耗较多,可能带来环境污染问题。因此,在中部、西部和东北部地区,环境绩效具有更大的提升空间,数字经济发展水平可以更好地助力生态环境改善及绿色经济增长。

表6 区位异质性

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	东部地区	中部地区	西部地区	东北部地区
数字经济	0.146*** (0.093)	0.218** (0.124)	0.287** (0.117)	0.244*** (0.058)
个体-时间固定效应	YES	YES	YES	YES
样本量	110	66	121	33
R <sup>2</sup>	0.646	0.550	0.680	0.996

数据来源:作者研究整理。

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的置信水平上显著,括号内为稳健标准误。

## 六、结论与启示

本文采用2011—2021年中国省际面板数据,在理论分析的基础上,运用多种计量方法实证考察了数字化对环境治理绩效的影响效应及影响机制。结果表明,数字经济发展能够显著驱动环境绩效的提升,通过一系列稳健性检验,发现数字经济分项

指标中的数字融合对环境绩效的影响较大。机制分析表明,数字化可以通过驱动企业科技创新、促进产业结构升级及优化政府监管治理赋能环境绩效提升。数字经济对环境绩效的影响存在时空异质性,从时间上看,2015年之后,数字经济对环境绩效的影响更加显著;从空间上看,西部、中部及东北部地区的环境绩效更受益于数字经济的发展。

### (一)提高数字经济对环境绩效提升的驱动能力

新阶段下,为实现高质量发展及“双碳”目标,中国应主动顺应时代发展的潮流,抓住科技革命和产业形态变革的大趋势,从而在借助数字经济激发经济增长内动力的同时,实现经济发展方式的绿色化转型。具体地,应从推进数字基础设施建设、加快产业数字化转型、优化数字化平台建设等多方面积极深化数字经济的发展。首先,政府应进一步强化对数字经济新基建资金和制度上的支撑,除了继续优化人工智能、5G等较成熟技术的建设,更应重视量子计算、6G、虚拟现实等前沿技术的研发,从而为数字经济发展奠定良好的基础。其次,在产业数字化方面,应强化数字经济与传统生产要素的融合发展,促进产业数字化、智能化转型,以践行提高资源配置和利用效率、节能减排的绿色低碳发展目标。最后,应积极探索大数据、云计算、人工智能等数字技术在完善经济社会发展各领域、各环节的数据一体化平台建设上的应用和创新,加强跨部门、跨行业、跨地区的积极联动,促进信息的充分流通与共享,实现社会多主体对生态环境协同监督和高效率治理赋能。

### (二)优化数字经济建设整体布局,培育生态文明新引擎

当前中国数字经济发展水平具有显著的区域差异性,对环境绩效提升作用也具有空间异质性。鉴于此,政府应依托不同地区资源、地理位置等比较优势,根据因地制宜的政策,统筹数字经济全局发展规划。针对数字经济发展水平较高的地区,应牢牢把握前沿技术的主动权,强化对核心技术的研发,推动产业价值链的深化升级,助力其带动周边欠发达地区数字经济的发展。对于数字经济发展水平较低的地区,政府应积极引导数字化发展专项资金的投资和技术支撑,加强数字基础设施建设,推进区域特色产业与数字经济的融合,发挥其示范

引领作用,牢牢把握数字经济优化产业结构,促进绿色经济发展的重要机遇。各地区应加强区域内及周围地区关于数字经济发展的知识、技术等方面的信息交流,打破数据要素流动壁垒,充分发挥知识溢出效应及数据要素潜能,缓解区域间“数字鸿沟”问题,形成整体上优势互补的区域协调发展格局。

### (三)助力低碳环保的绿色化转型

在微观层面,企业技术创新是提升环境绩效、实现可持续发展的重要机制和“第一生产力”,政府应注重数字经济在节能减排等环保创新方面的技术研发,加强顶层设计,积极推进数据信息素质教育,激发企业科技创新因子,为培养高素质数字化人才队伍提供良好的学习环境。在中观层面,政府应加强对传统产业数字化转型的政策支持、资金支撑和技术上的专业指导,有序推进数字产业化和产业数字化转型,通过节约成本、提升资源配置效率、降低能源消耗强度促进绿色经济发展。在宏观层面,政府部门应提高数字治理能力,增强政务工作数字化管理的意识,主动进行信息化改革,积极应用数字技术完善跨地区、跨行业、跨部门的大数据共享服务管理平台,打破“数据孤岛”问题,以实现通过促进信息整合、拓展社会各主体的跨界协同治理及加强对生态环境监督和治理力度,推动经济社会的绿色可持续发展。

### 注释

①受限于篇幅,未列出处理过程,读者有需要可以跟作者联系获取。

### 参考文献

- [1] TAPSCOTT D. The Digital Economy: Promise and peril in the age of networked intelligence [M]. New York: McGraw-Hill, 1996.
- [2] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. European journal of operational research, 2001, 130(3): 498—509.
- [3] YOUNG A. The razor's edge: Distortions and incremental reform in the People's Republic of China [J]. Quarterly journal of economics, 2000, 115(4): 1091—1135.
- [4] NUNN N, QIAN N. US food aid and civil conflict [J]. American economic review, 2014; 104(6): 1630—1666.
- [5] 许宪春,任雪,常子豪.大数据与绿色发展[J].中国工业经济, 2019(4).



- [6]钱立华,方琦,鲁政委.刺激政策中的绿色经济与数字经济协同性研究[J].西南金融,2020(12).
- [7]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(8).
- [8]韩晶,陈曦,冯晓虎.数字经济赋能绿色发展的现实挑战与路径选择[J].改革,2022(9).
- [9]庞瑞芝,张帅,王群勇.数字化能提升环境治理绩效吗?——来自省际面板数据的经验证据[J].西安交通大学学报(社会科学版),2021(5).
- [10]乌静,肖鸿波,陈兵.数字经济对绿色全要素生产率的影响研究[J].金融与经济,2022(1).
- [11]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).
- [12]蒋金荷.可持续数字时代:数字经济与绿色经济高质量发展融合[J].企业经济,2021(7).
- [13]贺灿飞,毛熙彦,彭建.环境经济地理研究的理论演进与展望[J].经济地理,2021(10).
- [14]温忠麟,张雷,侯杰泰,等.中介效应检验程序及其应用[J].心理学报,2004(5).
- [15]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).
- [16]汪克亮,杨力,杨宝臣,等.能源经济效率、能源环境绩效与区域经济增长[J].管理科学,2013(3).
- [17]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).
- [18]焦帅涛,孙秋碧.我国数字经济发展对产业结构升级的影响研究[J].工业技术经济,2021(5).
- [19]杨志才,侯庆庆,宗雨濛.数字经济与共同富裕的耦和协调机制与效应研究[J].创新科技,2024(6).
- [20]胡艳,代晶晶,张安伟.数字经济、空间关联与区域创新产出:兼论区域吸收能力的门槛效应[J].科技管理研究,2022(15).
- [21]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).
- [22]尚娟,王珍梦.数字经济赋能绿色经济发展的效应研究[J].生态经济,2023(3).

## The Development of Digital Economy and the Improvement of Environmental Performance: Theoretical Mechanism and Empirical Testing

Yang Zhicai Xie Niu

**Abstract:** Digital economy is green, diverse and shared, which is of great significance to help the green transformation of economic development model and improve environmental performance. On the basis of analyzing the theory of digital economy improving environmental performance, this paper empirically analyzes the impact of digital economy on environmental performance by using the provincial panel data of China from 2011 to 2021. The results show that digital economy can significantly improve environmental performance. Digital economy promotes environmental performance by strengthening scientific and technological innovation of enterprises, promoting industrial structure upgrading and optimizing government supervision and governance. The impact of digital economy on environmental performance is more significant after 2015, and the environmental performance of the western, central and northeastern regions benefits more from the development of digital economy. In the new era, the government should take green development as the goal and accelerate the development of digital economy to achieve a win-win situation for China's economic growth and ecological protection.

**Key Words:** Digital Economy; Environmental Performance; High Quality Development

(责任编辑:彦 伦)