

数字技术发展、绿色创新及工业绿色转型

——基于安徽省的实证研究

赵春艳^{1,2}

(1. 铜陵学院 会计学院, 安徽 铜陵 244000; 2. 韩国又松大学 国际经营管理学院, 大田 广域 34515)

摘要:数字技术快速发展与双碳目标战略交汇背景下,如何发挥数字技术红利赋能工业绿色转型具有重要意义。基于 2012—2021 年安徽省 16 个地级市面板数据,构建工业绿色转型水平评价指标体系,检验数字技术发展对工业绿色转型影响机制与作用效果。研究表明:数字技术发展可以显著促进安徽省工业绿色转型,绿色创新在数字技术与安徽省工业绿色转型中发挥中介作用,数字技术发展可以促进企业绿色创新,而绿色创新可以使企业清洁化、智能化生产,获取绿色核心竞争力,最终促进工业绿色转型。进一步研究发现,数字技术发展对工业绿色转型影响具有双重门槛特征,当数字技术发展指数介于第一门槛和第二门槛之间时,其对工业绿色转型的促进作用最弱。

关键词:数字技术发展;工业绿色转型;绿色创新;安徽省

中图分类号:F427;F273.1

文献标识码:A

文章编号:2097-0625(2023)03-0014-08

一、引言

近年来,我国数字经济发展势头如火如荼,《中国互联网发展报告》显示 2021 年中国数字经济规模达 45.5 万亿元,占 GDP 比重高达 39.8%。数字经济在国民经济发展中的支撑作用更加明显,地位更加巩固。数字技术创新作为数字经济发展的核心驱动力备受关注。数字技术创新是以大数据、人工智能、区块链为代表的新兴信息技术为载体,以创新战略为指导,以技术体系变革及技术融合为原动力,以去中心化和网络化为发展趋势,最终促进产业数字化和智能化的过程。习近平总书记在二十大报告上也明确指出“必须牢固树立和践行绿水青山就是金山银山的理念,站在人与自然和谐共生的高度谋划发展,推进美丽中国建设”,进一步强调了推动绿色发展,转变经济发展方式,大力推进绿色低碳产业,倡导形成绿色低碳的生产方式和生活方式。工业绿色转型是我国现阶段的重要发展使命和伟大战略部署。在数字经济时代,如何利用数字技术发展红利赋能绿色创新,助

推安徽省工业绿色转型具有重要意义。

二、文献综述

现有文献对于工业绿色转型的研究主要集中在以下几个方面:工业绿色转型的概念、效率测度及评价。工业绿色转型不仅仅是产业结构高端化、资源集约化、环境友好型的可持续发展,也是推进经济高质量发展的重要推手,工业绿色转型的概念目前研究比较成熟,绝大多数学者采用李平教授首次提出的工业绿色转型概念^[1]。在效率测度上,主要采用参数法和非参数法对工业绿色转型效率进行测度,如 DEA-DFE 模型和 Malmquist-Luenberger 生产率指数 Luenberger 生产率以及超效率-SBM 模型等^[2-3]。对于工业绿色转型水平评价,田泽、王欣等诸多学者提出构建质量增长、技术创新、资源消耗、环境污染、环境治理等维度设计包含工业废水排放量、工业废气排放量、工业固体废物利用率等具体指标评价系统并采用熵权法对工业绿色转型水平进行评价^[4-5]。在工业绿色转型的影响因素及优化路径研究方面,大量学者

收稿日期:2023-04-11

基金项目:安徽省哲学社会科学规划青年项目“长三角更高质量一体化视阈下安徽省工业绿色转型效率测度及路径优化研究”(项目编号:AHSKQ2020D78)

作者简介:赵春艳(1987—),女,安徽宣城人,副教授。研究方向:区域经济。

研究了技术创新、环境规制、绿色金融、数字金融及人力资本与工业绿色转型的关系,并指出清洁技术创新对工业绿色转型具有显著的促进作用,环境规制对工业绿色转型呈现非线性的特征,数字金融与绿色金融可以显著促进工业绿色转型等有益结论,并据此提出了相关对策建议。

近年来数字技术非常受学者青睐,研究成果丰富,包括但不限于探讨了数字技术的定义、特征、本质及类型。程聪从数字技术的逆向塑造视角,论述了数字技术的张力,分析了数字技术逆向塑造的实现路径^[6]。也有学者研究了数字技术赋能农业高质量发展、对产业结构升级的影响、对生产率提升的识别及特征以及数字技术对农户共同富裕的影响等^[7-9],这为数字技术服务实体经济高质量发展奠定了一定基础。但数字技术发展目前学术界缺乏统一的分类标准,可能对数字技术发展识别不足或者过量,各测量方法的有效性和科学性仍需进一步验证。

从现有的文献可以看出,工业绿色转型及数字技术创新的研究成果非常丰富,但目前鲜有文献直接关注数字技术与工业绿色转型的关系,故此主题有进一步探讨的价值。鉴于此,本文尝试从以下方面进行拓展:(1)构建安徽省数字技术发展水平及工业绿色转型水平评价体系,并对二者的关系做出深入系统的探讨;(2)探讨绿色创新在数字技术和工业绿色转型之间的中介效应;(3)探讨安徽省数字技术发展对工业绿色转型影响的非线性效应,进一步明确二者的关系。

三、理论分析与研究假设

(一)数字技术与工业绿色转型

2022年习近平总书记在《不断做强做优做大我国数字经济》中指出“数字经济具有强渗透性、强创新性和广覆盖性,是新的经济增长点也是改造升级传统产业的支点,是现代经济发展的重要引擎。”数字技术作为数字经济发展的核心要素,一方面与传统实体经济加速交融,催生了一批新业态、新商业和新商业模式。新经济模式的产生减少了交易成本,降低了信息不对称,有效缓解了工业绿色转型中的融资、信贷、人力资本不足等问题,进而促进工业绿色转型。同时,数字经济的发展使得数据要素的发展有效替代了其他要素。而数据的创新性、可复制性和高速性有助于产业升级、技术改造。另一方面数字技术的网络

效应既能抑制技术冲击的负面效应,又能对传统产业技术产生外溢效应,进一步加速推进传统产业数字化,助推传统产业高端化升级,数字技术助推传统产业绿色技术、清洁技术发展,有效降低环境污染、资源消耗和生产效率低下等问题,推动工业绿色转型。第三,数字技术的发展可以加强价值链、产业链之间的共享和合作,数字技术应用于大数据、人工智能等领域加强了生产端数字化创新,打破了要素壁垒和传统市场束缚,有助于建立工业绿色产业链。基于此,提出如下假说:

H1:数字技术促进了地区工业绿色转型。

(二)数字技术、绿色创新与工业绿色转型

绿色创新强调与绿色产品或工艺相关的技术创新,比如:替代能源生产、节能环保、废弃物的处理等硬件软件创新,目的在于通过改进的环境友好型技术能够实现环境保护、资源节约^[10]。刘洋等认为数字技术创新从宽泛角度来说信息的采用、计算、沟通及链接的数字技术创新组合,可以围绕产品开发、组织变革及生产过程等进行技术创新^[11],毕克新指出技术资源是企业改进原有技术、提升研发能力和创新的原动力^[12]。数字技术是数字经济时代核心技术资源,通过充分吸收、利用大数据、人工智能、算法、区块链、物联网等技术,有助于提升企业绿色创新,增加企业核心竞争力,从而带动工业绿色转型。另一方面,绿色创新涉及防治污染、节约能源、生产清洁化及废物的循环再利用等高度综合信息,数字技术创新可以实现绿色、环保、低碳信息的整合、共享,为信息的高效传递和共享提供技术支撑。最后,绿色创新的重要内容包绿色技术创新,而绿色技术创新具有明显的信息溢出效应和知识溢出效应,绿色技术创新是工业绿色转型的动力引擎,可以全面推动制造业高端化、智能化和绿色化发展^[13]。基于此,提出如下假说:

H2:数字技术能够有效提升企业绿色创新,进而促进工业绿色转型。

(三)数字技术对工业绿色转型影响的非线性效应

一方面,数字经济时代,互联网、大数据、区块链和算法等技术和平台的叠加综合运用,使得各组织的经济活动边界在逐步弱化,经济主体参与各项发展活动门槛降低,交易成本下降,数据的大量性、高速性、多样性具有明显的网络效应,多元主体参与经济活动

的收益呈非线性增长,企业技术创新能力不断增强,促进工业绿色转型,“梅特卡夫”法则和网络效应在数字技术促进工业绿色转型中显现^[14]。另一方面,尽管数字技术具有高效、成本低廉及使用范围广泛等优势,可以运用去媒介特征催化发展速度,与传统产业结合,优化产业结构,促进工业绿色转型。然而,数字技术的发展是循序渐进并具有“牵一发动全身”的发展特征,其对工业绿色转型的影响可能存在阶段性特征,尽管虚拟化、仿真技术等使得数字技术的高速发展成为可能,但数字技术在发展初期,其运用仍存在较大不确定性。随着数字技术的逐步成熟和完善,其

对工业绿色转型的促进作用将日益显现和增强,基于此,提出如下假说:

H3:数字技术促进了工业绿色转型发展,但关系是非线性的。

四、研究设计

(一)指标选取

借鉴孙海波等研究结果^[15],依据《工业绿色转型发展规划(2016—2020年)》与安徽省情况,选取质量增长、技术创新、资源消耗、污染排放和环境治理5个维度,构建工业绿色转型评价体系,具体包含15个二级指标。

表 1 工业绿色转型水平评价体系

| 一级指标 | 二级指标 | 指标方向 | 权重 |
|------|-----------------------------------|------|---------|
| 质量增长 | 工业企业主营业务收入利润率(%) | 正 | 0.018 1 |
| | 工业企业资产/平均就业人数(万/人) | 正 | 0.060 6 |
| | 工业企业工业增加值增长率(%) | 正 | 0.054 7 |
| 技术创新 | 工业企业有效发明专利数/主营业务收入(件/亿元) | 正 | 0.058 6 |
| | 工业企业 R&D 内部经费占比(%) | 正 | 0.089 2 |
| | 工业企业创新人数占比(%) | 正 | 0.106 6 |
| 资源消耗 | 单位工业能源消费量(m ³ /万元) | 负 | 0.090 6 |
| | 单位城市工业建设用地面积(km ² /亿元) | 负 | 0.028 0 |
| | 单位工业用水量(m ³ /万元) | 负 | 0.045 8 |
| 环境污染 | 单位工业二氧化硫排放(t/亿元) | 负 | 0.081 2 |
| | 单位工业废气排放量 | 负 | 0.085 3 |
| | 单位工业固体废物生产量 | 负 | 0.110 9 |
| 环境治理 | 工业固体废物利用率(%) | 正 | 0.001 8 |
| | 工业废气治理设施处理能力(套) | 正 | 0.046 2 |
| | 工业废水治理(万吨/日) | 正 | 0.122 4 |

采用客观赋权法中的熵值法来确定指标权重,考虑到时间面板数据,采用改进的熵值法来确定权重,具体步骤如下:

1. 指标标准化:设有 r 年份, m 个区域, n 个指标, x_{ijk} 表示第 i 年 j 地区第 k 个指标。使各指标之间具有可比性,需对各指标进行标准化处理,具体公式为:正向指标标准化 $x'_{ijk} = x_{ijk} / x_{\max}$; 负向指标标准化 $x'_{ijk} = x_{\min} / x_{ijk}$ 。其中 x_{\max} , x_{\min} 分别表示该项指标样本值的最大值和最小值。

2. 对指标做比重变换: $y_{ijk} = x'_{ijk} / \sum_i \sum_j x'_{ijk}$ 。

3. 计算第 k 项指标的熵值: $e_k = -p \cdot \sum_i \sum_j y_{ijk} \ln(y_{ijk})$, 其中 $p = 1 / \ln(rm)$ 中。

4. 计算第 k 个指标的差异系数 g_k , 第 k 项指标值差异越大,对评价方案作用越大,熵值也就越小,公式为: $g_k = 1 - e_k$ 。

5. 计算第 k 项指标的权重: $\omega_k = g_k / \sum_{i=1}^n g_k$ 。

(二)回归模型设定

为考察数字技术创新对安徽省工业绿色转型的

促进作用,设定如下基准回归模型:

$$GT_{i,t} = \alpha + \beta_1 dtd_{i,t} + \beta_2 fin_{i,t} + \beta_3 env_{i,t} + \beta_4 trade_{i,t} + \beta_5 pgdp_{i,t} + \beta_6 stru_{i,t} + \beta_7 urban_{i,t} + \epsilon_{i,t} \quad (1)$$

式中, $GT_{i,t}$ 表示第*i*个城市在第*t*年工业绿色转型水平指数, β 表示估计系数, dtd 、 fin 、 env 、 $trade$ 、 $pgdp$ 、 $stru$ 、 $urban$ 分别表示数字技术发展水平、金融发展水平、节能环保支出、对外开放程度、经济发展水平、产业结构、城镇化水平, $\epsilon_{i,t}$ 表示随机扰动项。

(三) 变量选择

1. 被解释变量

工业绿色转型指数(GT):如前所述,参考孙海波等^[15]做法,选取质量增长、技术创新、资源消耗、污染排放和环境治理5个维度,构建工业绿色转型评价体系,具体包含15个二级指标(表1),基于熵权法进行综合评价,获得工业绿色转型指数。

2. 核心解释变量

数字技术发展(dtd):目前对数字技术发展水平的衡量尚未形成统一标准,本文借鉴黄群慧等^[16]做法,采用互联网宽带接入用户数、电信业务收入、移动电话年末用户数以及计算机服务和软件业从业人员数占城镇单位从业人员数比重4个指标衡量,结合熵值赋权法将上述4个指标合成一个综合指数衡量地区数字技术发展水平。

3. 中介变量

绿色创新(GRE):专利经常被用来衡量地区创新能力和创新水平,并且专利一般与技术发展方向吻合,选取该指标作为绿色创新具有一定的客观性和合理性。通过专利分类可以对特定领域的技术创新进行分析与技术预见。参考邓玉萍^[17]等做法,将企业*t*+1年获得授权的绿色专利数加一取自然对数衡量,绿色专利涵盖绿色发明专利及绿色实用新型专利。稳健性检验中取创新度较高的绿色发明专利进行检验。数据来源于大为专利数据库及CNRDS数据库。

4. 控制变量

参照相关文献,本文选取如下指标作为控制变量:(1)金融发展水平(fin),以机构存贷款余额占地区生产总值比重表示;(2)节能环保(env),用地区

环保支出占财政总支出表示;(3)经济发展水平($pgdp$),用地区人均GDP表示;(4)对外开放程度($trade$),用地区进出口贸易总额占GDP比重表示;(5)产业结构($stru$),用第三产业占比表示;(6)城镇化水平($urban$),用城镇人口占总人口比重表示。

(四) 样本与数据来源

本文选取安徽省2012—2021年16个地级市面板数据进行分析。工业绿色转型、数字技术发展及控制变量数据主要来源于历年《安徽省统计年鉴》,绿色创新数据来源于大为专利数据库和CNRDS数据库。

五、实证分析

(一) 工业绿色转型水平时序及空间分布特征分析

表2表明了安徽省16个地级市2012—2021年工业绿色转型水平。总体来看,安徽省工业绿色转型水平逐年提高,从2012年的0.1341提升到2021年的0.3240,说明近年来安徽省工业绿色转型取得了一定的成效,具体来看,16个地级市工业绿色转型水平虽然极个别年份出现细微回落,但总体方向持续增长,特别最近几年增长速度较快,从年均增长率来看,芜湖、合肥、黄山和马鞍山4市增长较快,淮北、宿州、淮南等城市增长速度较慢,从各城市的均值来看,合肥市稳居安徽省工业绿色转型水平首位,均值高达0.4391,芜湖市紧随其后,均值为0.3240,黄山市及马鞍山市稳居第三和第四。考察期内,工业绿色转型水平最低的为淮南市,均值为0.1213。可以看出安徽省工业绿色转型水平差异较大,这与各地区的产业结构、经济发展基础、资源禀赋等息息相关,工业绿色转型水平城市空间分布特征呈现出“皖南最高,皖中其次,皖北最低”的特征。

(二) 基准回归分析

前文测算的工业绿色转型水平区间为0到1,具有截断特性,采用随机效应面板Tobit模型对(1)式进行回归(表3第5列)。同时为验证回归结果的稳健性,本文同时用混合回归模型、随机效应模型(RE)、固定效应模型(FE)进行回归,回归结果见表3。

表 2 2012—2021 年安徽省工业绿色转型水平

| 城市 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 均值 |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 合肥市 | 0.294 7 | 0.349 1 | 0.294 9 | 0.376 5 | 0.416 2 | 0.511 0 | 0.487 8 | 0.488 5 | 0.546 0 | 0.626 1 | 0.439 1 |
| 淮北市 | 0.119 9 | 0.122 0 | 0.126 7 | 0.147 1 | 0.122 5 | 0.161 1 | 0.151 4 | 0.149 5 | 0.190 2 | 0.201 6 | 0.149 2 |
| 亳州市 | 0.128 4 | 0.143 2 | 0.129 9 | 0.169 7 | 0.141 4 | 0.134 1 | 0.138 3 | 0.155 4 | 0.225 2 | 0.325 6 | 0.169 1 |
| 宿州市 | 0.066 1 | 0.071 3 | 0.072 8 | 0.091 9 | 0.097 7 | 0.119 8 | 0.128 7 | 0.138 7 | 0.193 6 | 0.253 2 | 0.123 4 |
| 蚌埠市 | 0.118 3 | 0.127 5 | 0.139 4 | 0.174 0 | 0.204 2 | 0.240 5 | 0.236 7 | 0.259 0 | 0.257 6 | 0.278 9 | 0.203 6 |
| 阜阳市 | 0.086 4 | 0.089 6 | 0.095 2 | 0.134 8 | 0.119 4 | 0.146 3 | 0.144 3 | 0.171 4 | 0.209 0 | 0.284 0 | 0.148 0 |
| 淮南市 | 0.098 0 | 0.102 4 | 0.101 0 | 0.130 6 | 0.115 8 | 0.118 4 | 0.115 6 | 0.109 3 | 0.146 2 | 0.175 3 | 0.121 3 |
| 滁州市 | 0.117 2 | 0.128 4 | 0.131 8 | 0.186 9 | 0.184 5 | 0.229 7 | 0.228 9 | 0.281 6 | 0.297 7 | 0.335 4 | 0.212 2 |
| 六安市 | 0.110 6 | 0.120 9 | 0.127 1 | 0.135 8 | 0.159 0 | 0.206 9 | 0.196 4 | 0.202 5 | 0.203 2 | 0.265 2 | 0.172 8 |
| 马鞍山市 | 0.166 6 | 0.178 3 | 0.174 9 | 0.169 7 | 0.219 3 | 0.203 8 | 0.309 2 | 0.268 8 | 0.301 8 | 0.412 2 | 0.240 5 |
| 芜湖市 | 0.209 2 | 0.232 5 | 0.239 2 | 0.299 9 | 0.280 2 | 0.333 0 | 0.350 3 | 0.354 6 | 0.414 4 | 0.526 4 | 0.324 0 |
| 宣城市 | 0.087 9 | 0.096 1 | 0.102 6 | 0.155 0 | 0.145 5 | 0.206 1 | 0.194 6 | 0.201 6 | 0.219 5 | 0.243 2 | 0.165 2 |
| 铜陵市 | 0.139 5 | 0.140 6 | 0.140 5 | 0.128 2 | 0.140 9 | 0.168 1 | 0.146 3 | 0.119 3 | 0.179 4 | 0.265 4 | 0.156 8 |
| 池州市 | 0.072 2 | 0.076 3 | 0.074 2 | 0.115 6 | 0.107 6 | 0.128 7 | 0.138 4 | 0.152 0 | 0.155 3 | 0.193 6 | 0.121 4 |
| 安庆市 | 0.123 6 | 0.115 2 | 0.128 0 | 0.147 8 | 0.143 7 | 0.174 2 | 0.176 6 | 0.183 4 | 0.245 0 | 0.287 0 | 0.172 5 |
| 黄山市 | 0.207 1 | 0.244 3 | 0.245 3 | 0.258 0 | 0.277 3 | 0.278 8 | 0.255 6 | 0.312 8 | 0.429 5 | 0.510 9 | 0.302 0 |
| 整体水平 | 0.134 1 | 0.146 1 | 0.145 2 | 0.176 3 | 0.179 7 | 0.210 0 | 0.212 4 | 0.221 8 | 0.263 4 | 0.324 0 | |

表 3 基准回归结果

| 变量 | OLS | RE | FE | TOBIT |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <i>dtd</i> | 0.012 0(1.28) | 0.003 6*** (2.57) | 0.006 8*** (2.23) | 0.008 9*** (2.57) |
| <i>fin</i> | 0.000 7(0.67) | 0.005 7*** (4.45) | 0.007 4*** (7.36) | 0.003 4*** (5.68) |
| <i>envir</i> | 0.003 2*** (5.03) | 0.004 3*** (7.88) | 0.004 0*** (7.39) | 0.004 0*** (7.88) |
| <i>pgdp</i> | 0.005 3*** (7.98) | 0.003 9*** (8.25) | 0.003 2*** (7.19) | 0.004 2*** (8.05) |
| <i>trade</i> | 0.008 7*** (7.83) | 0.009 7*** (8.02) | 0.006 5*** (7.15) | 0.003 9*** (5.49) |
| <i>stru</i> | 0.002 4(0.126) | 0.000 7(0.555) | 0.000 6(0.606) | 0.000 7(0.551) |
| <i>urban</i> | -0.013 0*** (-0.000) | -0.005 1*** (-0.002) | -0.004 0*** (-0.019) | -0.004 9*** (-0.002) |
| <i>cons</i> | 0.063 8(1.29) | 0.059 1(1.41) | 0.112 1*** (3.08) | 0.095 1** (2.00) |
| R^2 | 0.753 2 | 0.592 0 | 0.654 8 | |
| σ_u | | | | 0.154 6*** (6.21) |
| σ_e | | | | 0.034 1*** (23.15) |
| 样本量 | 160 | 160 | 160 | 160 |

注:括号内为 t 值,***、**、* 分别表示在显著水平 1%、5%、10% 下显著。

根据表 3 可知,数字技术发展(*dtd*)系数至少在 1%水平下显著为正,说明数字技术创新水平显著推动了工业绿色转型,H1 得到验证,金融发展水平(*fin*)、节能环保支出(*envir*)、经济发展水平(*pgdp*)

及对外开放程度(*trade*)系数均至少在1%水平下显著为正,说明各地区的金融发展基础、节能环保支出、经济发展水平和对外开放程度都直接促进了安徽省工业绿色转型,金融发展水平和经济发展水平为安徽省的工业绿色转型提供了较好的财力和物力基础,节能环保的投入更是工业减少环境污染、降低能源消耗的直观体现,而对外开放程度有利于吸引外资、人才、科技等要素的自由流动,打破要素壁垒,实现资源的优化配置。但产业结构(*stru*)没有通过统计学上的显著性检验,说明产业结构与工业绿色转型关系不大,城镇化水平(*urban*)与工业绿色转型存在显著的负相关关系,说明安徽省目前的城镇化水平还处于比较低端的土地城镇化阶段,不能促进安徽省工业绿色转型发展。

(三) 中介效应检验

采用三步回归法对中介效应进行检验,第一步检验自变量对因变量的影响,前文已验证了数字技术发展对工业绿色转型具有明显促进作用,第二步检验自变量对中介变量的影响,第三步检验自变量与中介变量对因变量的共同影响,故这里从第二步开始检验。

表4中由列(1)可知,数字技术发展的估计系数为0.2347,通过了1%的显著性水平检验,表明数字技术发展有助于绿色创新,验证了第二步检验;列(2)中数字技术与绿色创新的估计系数分别为0.0494

和0.0558,且通过了1%的显著性水平检验,表明绿色创新在数字技术推动工业绿色转型发展过程中起到了部分中介作用,H2得到了验证。

表4 绿色创新水平的中介效应检验

| 变量 | GRE | GT |
|----------------|------------------|------------------|
| | (1) | (2) |
| <i>dtd</i> | 0.2347*** (6.28) | 0.0494*** (3.97) |
| GRE | | 0.0558*** (3.15) |
| <i>control</i> | 控制 | 控制 |
| 省份/年度 | 控制 | 控制 |
| R ² | 0.8263 | 0.8790 |
| Sobel | | 4.863*** |

为保证回归结果的准确性和稳健性,进一步采用Sobel检验方法对中介效应进行检验。表4中的Sobel检验结果来看,Sobel Z值均在1%水平上显著,表明绿色创新在数字技术和工业绿色转型的中介效应显著。进一步验证了H2。

(四) 门槛效应检验

为验证数字技术与工业绿色转型之间的非线性关系,本文构建了以数字技术发展指数为门槛变量的动态面板模型。采取自抽样法,结果如表5所示。

表5 门槛效应检验结果

| 变量 | 门槛个数 | F值 | P值 | 10%临界值水平 | 5%临界值水平 | 1%临界值水平 |
|------------|------|-------|--------|----------|---------|---------|
| <i>dtd</i> | 单一门槛 | 40.87 | 0.0000 | 20.4859 | 26.0779 | 31.2712 |
| | 双重门槛 | 21.82 | 0.0234 | 17.3567 | 18.7867 | 23.5674 |
| | 三重门槛 | 11.98 | 0.5400 | 26.3203 | 29.4765 | 37.8764 |

注:P值为运用Bootstrap方法反复抽样1000次得出的概率值,进一步用该值判断F统计量在何种显著性水平通过了门槛效应检验。

由面板门槛模型的回归结果(表6)可以看出,数字技术发展指数在双重门槛模型下的估计系数均显著为正,但不同区间的*dtd*取值对工业绿色转型的作用表现出非线性影响。具体来看,当数字技术发展指数低于第一门槛值时,其系数估计值为0.0432;当数字技术发展指数介于第一门槛值和第二门槛值之间时,其系数估计值由0.0432下降至0.0342;而当数字技术发展指数高于第二门槛值时,其系数估计值则由0.0342上升到0.0457。综上可知,数字技术发展对安徽省工业绿色转型具有显著的正向作用,两者

间存在非线性关系,且当数字技术发展指数低于第一门槛值或高于第二门槛值时,其对工业绿色转型的正向作用更加明显。可能原因在于:数字技术的发展,有效处理了要素壁垒,提高了要素配置效率,有助于绿色技术创新、促进经济增长,进而对工业绿色转型产生积极作用。然而,数字技术的应用风险和技术监管等漏洞在一定程度上削弱了这种作用,随着技术的发展成熟和监管机制的完善能够有效缓解其风险所带来的抑制作用,使其估计系数更是高于第一门槛值之前的回归系数。以上结果支持了H3。

表 6 面板门槛模型估计结果

| 变量 | 系数估计值 | 标准误差 | t 值 |
|---------------------------|-----------|--------|------|
| dtd, I(Dtd<0.2283) | 0.0432*** | 0.0065 | 6.86 |
| dtd, I(0.2283<Dtd<0.3758) | 0.0342*** | 0.0053 | 7.56 |
| dtd, I(Dtd>0.3758) | 0.0457*** | 0.0048 | 8.75 |
| control | | 控制 | |
| 观测值 | | 160 | |
| R ² | | 0.9567 | |

(五) 稳健性检验

采用替换变量,以创新性较强的绿色发明专利数量加一取自然对数表示绿色创新水平并进行稳健性检验以确保结果稳定。结果显示,数字技术应用对安徽省工业绿色转型有显著正向影响作用($\beta=0.055$, $P<0.05$),绿色创新在数字技术发展及安徽省工业绿色转型之间发挥部分中介作用,这与表 3、表 4 结果基本保持一致,表明本研究结果稳健可信。此外,分别采用扩大样本时间区间和加入安徽省工业绿色转型时间的滞后项进一步验证稳健性,结果均无显著变化,证明本研究结论稳健。

六、结论与建议

基于 2012—2021 年安徽省 16 个地级市面板数据,构建工业绿色转型水平评价指标体系,检验了数字技术发展对工业绿色转型的影响。主要结论如下:一是安徽省各市工业绿色转型水平稳步提升,空间上呈现皖南最高、皖中其次、皖北最低的特征;安徽省各城市之间的工业绿色转型水平有较大差异。二是数字技术发展可以显著促进安徽省工业绿色转型,且经过扩大样本时间区间和加入安徽省工业绿色转型时间的滞后项进行稳健性检验,仍支持这一结论。三是绿色创新在数字技术发展及安徽省工业绿色转型过程中发挥中介作用,企业通过数字技术创新及发展应用可以破除要素壁垒,加强绿色信息、技术及知识的整合与归集,促进企业绿色创新,而绿色创新可以进一步降低企业能耗,使其节能减排,进行清洁化、智能

化生产,获取绿色核心竞争力,最终促进工业绿色转型。四是数字技术发展对工业绿色转型的正向作用具有双重门槛特征,当数字技术发展指数介于第一门槛和第二门槛之间时,其对工业绿色转型的促进作用最弱。随着数字技术的成熟,风险识别与监管机制的完善,其对工业绿色转型的“促进效应”更加突出。

基于上述结论,得到以下实践启示:

第一,地方政府加强顶层设计,发挥政府对地方企业、产业的引导作用。一方面要加大绿色创新的政策激励措施,比如发放与绿色创新相关的税收、财政补贴,拓宽绿色创新融资渠道,鼓励扶持企业运用数字技术资源进行绿色创新;另一方面,政府可以完善相关法律法规,通过环境规制等手段倒逼企业运用数字技术提升绿色创新能力,最终促进工业绿色转型。另外也需要行业协会等组织机构引导企业树立绿色创新标杆作用,激发同群效应,构建行业绿色创新生态,引导行业、企业和市场形成绿色环保氛围,助推工业绿色转型。

第二,对于工业绿色转型水平较差的地区,需要引导企业,尤其是高污染、高消耗、高排放的传统产业企业需要不断加强数字技术创新,抓住一切机遇,学习运用数字技术发展红利,皖中和皖北地区企业需要加大数字技术研发力度,提高企业数字技术应用水平,助力企业获取绿色创新竞争力。对于已经应用数字技术的企业,需要夯实数字技术基础建设,将数字技术与企业生产、流程、战略及产品销售全面结合,拓宽数字技术在企业运用的深度和广度,助力企业绿色创新,进一步促进工业绿色转型。

第三,加强国家对数字技术发展的投入与监管,数字技术的发展具有牵一发而动全身的特征,数字技术的发展仍存在技术不稳定、漏洞等风险,国家和各级主体部门需要加强数字技术发展与应用基础设施建设,并制定系列配套监管措施,减少数字技术应用风险,保护数字技术使用者利益,为数字技术的发展和应用提供强有力的全方位保障。

参考文献:

- [1] 中国社会科学院工业经济研究所课题组,李平.中国工业绿色转型研究[J].中国工业经济,2011(4):5-14.
[2] 孙丽文,曹璐,吕静韦.基于 DPSIR 模型的工业绿色转型评价研究:以河北省为例[J].经济与管理评论,2017(4):120-127.

- [3] 陈文君,梅凤乔. 资源型城市工业绿色转型效率的时空演变及驱动因素研究[J]. 生态经济,2022(11):78-88.
- [4] 田泽,肖玲颖. 黄河流域工业绿色低碳转型与经济高质量发展耦合协调研究[J]. 资源与产业,2023(1):14-26.
- [5] 王欣,杨丽. 环境规制对全要素能源效率的影响:基于超效率 SBM 模型的再检验[J]. 科技与经济,2019(6):101-105.
- [6] 程聪,陈锋. 数字技术的逆向塑造:论数字技术的张力[J]. 科学学研究,2023(2):202-211.
- [7] 李健. 数字技术赋能乡村振兴的内在机理与政策创新[J]. 经济社会体制比较,2022(3):77-83.
- [8] 唐文浩. 数字技术驱动农业农村高质量发展:理论阐释与实践路径[J]. 南京农业大学学报(社会科学版),2022(3):1-9.
- [9] 王姣,王文荣,马国温,等. 应用数字技术推动城乡普惠金融发展研究[J]. 农业经济,2019(11):126-127.
- [10] 解学梅,霍佳阁,王宏伟. 绿色工艺创新与制造业行业财务绩效关系研究[J]. 科研管理,2019,40(3):63-73.
- [11] 刘洋,董久钰,魏江. 数字创新管理:理论框架与未来研究[J]. 管理世界,2020(7):198-217.
- [12] 毕克新,王禹涵,杨朝均. 创新资源投入对绿色创新系统绿色创新能力的影响:基于制造业 FDI 流入视角的实证研究[J]. 中国软科学,2014,29(3):153-166.
- [13] 王正,郭珩. “双碳”目标下创新要素配置优化与制造业高质量发展[J]. 技术经济与管理研究,2023(1):103-107.
- [14] 陶锋,朱盼,邱楚芝,等. 数字技术创新对企业市场价值的影响研究[J]. 数量经济技术经济研究,2023(3):1-25.
- [15] 孙海波,刘忠璐. 环境规制、清洁技术创新与中国工业绿色转型[J]. 科研管理,2021,42(11):54-61.
- [16] 黄群慧,霍景东. 《中国制造 2025》战略下制造业服务化的发展思路[J]. 中国工业评论,2015(11):46-55.
- [17] 邓玉萍,王伦,周文杰. 环境规制促进了绿色创新能力吗:来自中国的经验证据[J]. 统计研究,2021(7):76-86.

Digital Technology Development, Green Innovation and Industrial Green Transformation:

An Empirical Study Based on Anhui Province

ZHAO Chunyan^{1,2}

(1. School of Accounting, Tongling University, Tongling Anhui 244000, China;

2. School of International Business Management, Woosong University of Korea, Daejeon Gwangyeoksi 34515, Korea)

Abstract: Under the background of the rapid development of digital technology and the strategic convergence of dual-carbon targets, it is of great significance to play the digital technology dividend to empower industrial green transformation. Based on the panel data of 16 prefecture-level cities in Anhui province from 2012 to 2021, the evaluation index system of industrial green transformation level is constructed, and the development of digital technology has a significant role in promoting industrial green transformation. The results show that: The development of digital technology can significantly promote the industrial green transformation of Anhui province. Green innovation plays an intermediary role in the development of digital technology and the industrial green transformation of Anhui province. Digital technology innovation and development and application can promote the green innovation of enterprises, which can make clean enterprises and intelligent production, obtain green core competitiveness, and ultimately promote the green transformation of industry. Further study shows that the positive effect of digital technology development on industrial green transformation has double threshold characteristics. When the digital technology development index is between the first threshold and the second threshold, its promoting effect on industrial green transformation is the weakest.

Keywords: digital technology development; industrial green transformation; green innovation; Anhui province

[责任编辑 王七萍]