

引用格式: 占华, 后梦婷, 檀菲菲. 智能化发展对中国企业绿色创新的影响: 基于新能源产业上市公司的证据[J]. 资源科学, 2022, 44(5): 984-993. [Zhan H, Hou M T, Tan F F. Influence of intelligentization on enterprise green innovation: Evidence from listed companies of new energy industry in China[J]. Resources Science, 2022, 44(5): 984-993.] DOI: 10.18402/resci.2022.05.09

智能化发展对中国企业绿色创新的影响 ——基于新能源产业上市公司的证据

占 华¹, 后梦婷², 檀菲菲¹

(1. 南京财经大学江苏产业发展研究院, 南京 210023;

2. 江苏省社会科学院社会学研究所, 南京 210004)

摘 要:绿色技术创新是实现创新驱动高质量发展的关键所在, 故如何提升企业绿色创新能力是值得关注的议题。本文基于智能化迅猛发展的背景, 系统探讨了智能化发展对企业绿色创新的影响。首先梳理得到智能化发展影响企业绿色创新的作用机理, 进而选取中国新能源上市企业为分析样本, 对智能化发展如何影响企业绿色创新进行了实证检验。结果表明: ①智能化发展对企业绿色创新存在正向影响, 但考虑到创新效益的实现需要较长的时间, 故这种影响存在一定的时间滞后; ②智能化发展对企业绿色创新的影响在企业与区域维度存在差异: 智能化发展对国有企业与创新能力强企业绿色创新的刺激作用相对较强, 东部地区与市场化程度较高地区企业绿色创新受到智能化发展的促进效应也强于其他地区; ③智能化发展对绿色创新的促进效应主要是通过缓解企业融资约束和增加人力资本积累这两个渠道实现。相关研究不仅为促进智能化发展与生态治理融合具有重要启示, 同时也为政府科学制定绿色创新相关政策提供经验证据。

关键词:智能化发展; 绿色创新; 新能源产业; 融资约束; 人力资本; 中介效应; 中国

DOI: 10.18402/resci.2022.05.09

1 引言

改革开放以来, 在主要依赖传统要素投入与资源消耗等传统模式驱动下, 中国经济增长取得了令世界瞩目的成就。随着中国经济从高增长阶段转为高质量发展阶段, 目前存在的产业结构不合理、技术附加值低以及环境约束等问题将成为经济高质量发展的“瓶颈”。对此, 学术界普遍认为创新是保持经济高质量发展的关键动力^[1]。党和政府也高度重视创新在推动经济发展中的重要作用, 党的十九大报告将创新定位为引领发展的第一动力与建设现代化经济体系的战略支撑, 并围绕创新驱动发展作出了重要部署。基于此, 在生态文明建设背景下, 如何实现企业绿色创新能力提升, 以绿色发展助推企业转型升级是亟需解决的现实问题。

与此同时, 随着以数字化、网络化和智能化为

特征的新一轮工业革命的兴起, 中国政府将发展人工智能上升为国家战略, 以无人驾驶汽车、语音和视觉识别等为代表的人工智能技术被广泛应用到生产与生活各领域, 对社会生产与居民消费方式产生了深远的影响。2019年底爆发的新冠肺炎疫情引发了全球范围内对运用人工智能应对突发卫生事件的广泛关注, 大力推进包括人工智能在内的新基建也是关系国民经济健康发展的重要议题。结合中国生态文明建设与创新驱动发展的现实需要, 准确揭示智能化发展对企业绿色创新的深刻影响, 对于中国经济高质量发展有着极为重要的意义。

现有文献主要聚焦智能化发展对经济增长、生产率、就业规模与结构、收入分配以及产业结构的影响。为分析智能化发展的绿色价值, 本文剖析了智能化发展影响绿色创新的作用机理, 进而利用中

收稿日期: 2021-10-13 修订日期: 2022-04-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(72074107)。

作者简介: 占华, 男, 安徽安庆人, 讲师, 博士, 主要从事经济绿色发展研究。E-mail: zhnju0516@hotmail.com

2022年5月

国2001—2016年区域与新能源产业上市企业相关数据,系统探究智能化发展对企业绿色创新的影响。之所以选取新能源产业为研究样本,因为新能源产业主要包括风能、核电、太阳能、新能源汽车与新能源材料等,是环保产业的重要组成部分,具有较强的绿色创新意愿和能力。不仅如此,作为中国战略性新兴产业之一,智能化发展是新能源产业未来发展趋势,故新能源产业可成为研究智能化发展影响企业绿色创新能力的典型性案例。与现有文献相比,本文的边际贡献主要有:①将智能化发展影响拓展至企业绿色创新领域,剖析了企业绿色创新提升理论机制与路径,对相应理论领域研究进行了有效补充。②构建多元指标体系对核心变量予以合理测度,尽可能规避数字测算误差对回归结论的干扰。③结合微观企业数据,分别从缓解企业融资约束与增加人力资本积累这两个渠道,评估了智能化发展影响绿色创新的作用机制。

2 文献综述与理论假设

2.1 智能化发展与绿色创新的相关文献综述

(1)关于绿色创新的相关研究。主要集中在3个方面:①绿色创新的界定与测度。相关文献主要从产品设计、生产工艺、加工过程、组织制度与管理等维度对其进行界定^[2,3]。在此基础上,国内外学者大多基于投入产出视角构建综合评价指标体系对绿色创新效率予以测度^[4-6]。②绿色创新的影响研究。大部分文献研究发现绿色创新能够对区域经济绿色发展产生积极影响^[7-9],但也有研究持有不同的观点^[10,11],认为绿色创新对绿色发展具有负面影响或不存在显著影响。③绿色创新的影响因素分析。研究认为企业绿色创新不仅受到利润水平、组织资源与能力等企业内部特征影响^[12,13],而且环保舆论、财政支持与环境管制等外部因素也能对企业绿色创新发挥作用^[14,15]。

(2)关于智能化发展的相关研究。现有研究主要关注智能化发展的经济效应,相关研究发现智能化发展通过生产率、对外开放等渠道对经济增长产生促进作用^[16-18]。聚焦智能化发展与就业关系的研究发现智能化将替代部分劳动^[19,20],但也有学者认为智能化发展带来的技术进步会通过资本深化等创造新的就业机会^[21]。上述发现引发了学者们对智能化发展与收入分配关系的关注,相关文献认为智

能化发展主要通过影响资本收入份额与就业结构等对收入差距发挥作用^[22,23]。除此之外,部分文献关注到智能化发展与创新的关系,研究得出智能化发展可通过刺激技术创新投资、增加高技能劳动力就业、加大员工培训力度以及产业融合发展等途径促进企业创新^[20]。

2.2 智能化发展影响企业绿色创新的理论假设

作为科学进步的重大革新,智能化发展将实现技术的空前进步,并引致经济高速增长^[24]。绿色创新作为区域创新的重要组成部分,势必受到智能化发展的正向影响。一方面,智能化发展会通过提供资金和技术支持等渠道促进包括新能源产业在内的环保产业技术提升,同时也将对相关企业的绿色创新行为产生显著的外溢辐射效应,这些都将助推绿色创新能力提升。另一方面,相关研究发现,高效的环境管制是企业绿色创新能力提升的重要途径^[25],人工智能技术运用不仅能提升企业污染治理效率^[26],而且在很大程度上能便利政府环保部门准确掌握企业的污染排放情况,籍此制定科学高效的管控措施,从而对企业绿色创新效率产生正向反馈。综上,提出假设:

H1:智能化发展可对企业绿色创新产生显著促进作用。

结合相关领域研究成果,本文主要从融资约束和人力资本视角梳理智能化发展促进企业绿色创新的传导渠道:

(1)融资约束缓解渠道。充足的资金是企业进行绿色技术创新的重要保障,而受到创新产出具有较强不确定性以及信息不对称等负面影响,企业从金融机构获取的资金相对有限^[27]。同时考虑到企业上市门槛高、手续繁琐,以及政府公共投资难以满足中国经济绿色转型资金需要等事实^[28],企业也难以通过上市融资和政府补贴等渠道获取绿色创新资金支持。智能化发展可从以下途径缓解企业绿色创新过程中的资金约束问题:①智能化可有效降低企业在融资过程中存在的信息不对称现象。企业可利用智能化发展带来的便利向外充分披露自身的财务信息与非财务信息,金融科技发展也有助于银行等金融机构在贷款审批过程中利用大数据、区块链等技术等充分掌握企业的全面信息^[29]。②智能化发展可降低企业的融资成本。具体地,金融机

构通过借助人工智能技术可加快其信贷审批速度,同时也可有效规避在审贷过程中的人为干预,减少贷款审批过程中的寻租空间,从而降低企业的融资成本^[30]。不仅如此,随着科技与金融的深度融合,在传统金融服务模式下难以从金融机构获取贷款的企业可通过金融科技影子银行等渠道获取所需资金。综上,提出假设:

H2:智能化发展可通过缓解企业融资约束来促进企业绿色创新活动。

(2)人力资本积累渠道。人力资本是企业进行绿色技术创新的重要资源,随着产业智能化发展,资本和技术相对劳动变得更为重要,相应投资回报率的上升将显著刺激企业增加包括人力资本在内的投资^[19]。同时,智能化实现了先进设备对较低教育程度劳动力的替代,增加了高教育程度劳动力的需求^[20],从而对企业人力资本积累产生正向刺激。此外,“互联网+”等技术的广泛应用不仅提升了前沿知识和技术的传播速度,而且增加了企业员工接受教育培训的渠道,进而有利于劳动者经验积累和竞争力提升。对于企业研发人员而言,产业智能化发展可便利其通过各种网络平台获知最新研究信息,并通过知识外溢和互享等渠道促进企业间创新合作,有助于绿色技术创新效率提升^[31]。综上,提出假设:

H3:智能化发展可促进企业人力资本积累,进而对企业绿色创新产生积极影响。

3 研究设计

3.1 变量选取与数据说明

3.1.1 被解释变量

根据经济合作与发展组织(OECD)的定义,绿色创新是指能有效降低环境风险以及资源使用负面影响的产品、工艺、组织结构与商业模式的创新。与传统创新相比,绿色创新主体更加关注环境问题,其出发点是实现经济价值、环境价值和社会价值的协调统一。既有研究主要采用研发支出、绿色生产率与专利数量等指标对企业绿色创新进行识别^[8,32]。本文使用专利数量对企业绿色创新予以衡量,进一步考虑到申请专利数受到专利机构等外部因素影响较小,且比专利授权数更能较好地体现企业当期创新能力的事实,使用绿色专利申请数作为企业绿色创新的测度指标。为更好地识别出绿色

创新,本文遵照世界知识产权组织(WIPO)推出的“国际专利分类绿色清单”提取出新能源企业的绿色专利数据,具体指标构建方法参考徐佳等^[25]的做法。进一步考虑到部分企业绿色专利申请量为0的事实,在具体的实证检验过程中对绿色专利数量进行了加1后再取对数处理。

3.1.2 核心解释变量

按照中国电子技术标准研究院的标准,智能化发展涉及智能化基础、智能技术和智能化结果三方面,其中,智能化基础是地区智能化发展的基本保证,智能技术涉及人工智能、大数据、云计算等,是地区智能化发展程度提升的重要动力,智能化结果则是智能化发展效率的体现。有鉴于此,本文借鉴刘亮等^[33]的做法,从智能化基础、智能技术和智能化结果三方面构建综合评价指标体系对智能化发展水平予以测度。其中,智能化基础分别用电信产业固定资产投资和从业人员来衡量,智能技术用地区软件企业数量和行业收入来衡量,智能化结果用电子及通信设备制造业利润和人均产值来衡量。在此基础上,采用主因素分析法对各省智能化发展水平予以测算。出于结论稳健性考虑,进一步构建衡量地区智能化发展水平的虚拟变量,具体地,智能化发展指标年度均值大于中位数的地区为智能化发展水平较高地区,并赋值为1,其他智能化发展水平较低地区赋值为0。

3.1.3 控制变量

本文在实证检验过程中还控制了其他影响企业绿色创新的变量,其中,企业层面的变量主要有:企业规模(*scale*),一般而言,企业规模越大,其通过创新获取持久发展的诉求也越强烈,用总资产对数来衡量;企业年龄(*age*),用截至2016年企业的成立时间表示;企业产权性质(*soe*),国有企业赋值为1,非国有企业赋值为0;盈利能力(*roa*),用净利润/平均资产总额测算的总资产净利润率表示;资产负债率(*lev*),反映企业举债经营能力,较低的财务杠杆能够保证较为充分的研发投入,用企业年末总负债与总资产的比重来衡量。区域层面的控制变量主要有经济发展水平(*gdp*),用区域人均GDP的对数来衡量;城镇化水平(*urb*),用各地城镇人口占总人口数比重来衡量;人力资本投资(*hi*),用各地财政性教育经费占地方财政一般预算支出比重来衡量;产

2022年5月

业结构(*str*),用地区第三产业增加值占GDP比重来衡量。

3.1.4 中介变量

为检验智能化发展通过影响企业融资约束与人力资本对企业绿色创新发挥作用的传导路径,分别采用SA指数与人力资本存量作为融资约束与人力资本的代理变量。其中,SA指数的计算公式为:

$$SA = -0.737scale + 0.043scale^2 - 0.04age \quad (1)$$

式中:*scale*是用总资产对数衡量的企业规模;*age*是企业年龄。*SA*越大说明企业面临的融资约束越小。鉴于研发投入是企业人力资本提升的重要来源,同时出于数据可获得性考虑,我们在实证过程中采用企业研发投入与员工数之比作为人力资本的替代变量。

3.2 样本选择与数据来源

本文选取中国新能源产业上市企业数据与省级面板数据进行实证检验。其中,新能源上市企业绿色专利申请数据通过国家知识产权局、佰腾网专利数据库以及上市公司招股说明书等权威渠道整理得到,其他数据分别来源于CSMAR数据库、Winds数据库与企业年报等。省级层面数据来源于《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》等。为使样本数据更具代表性,删除了数据缺失严重与财务状况异常等地区与企业样本,最终样本涉及2001—2016年共141个企业样本的观察值。实证分析的主要变量定义与描述性分析如表1所示。

3.3 模型设置

为实证检验智能化发展对企业绿色创新能力的影响,设置如下基准模型:

$$\ln pat_{ijt} = \alpha_0 + \alpha_1 ai_{jt} + \sum \alpha_2 cor_{ijt} + \sum \alpha_3 reg_{jt} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{ijt} \quad (2)$$

式中:*i*、*j*、*t*分别代表企业、地区与时间;因变量*pat*代表企业绿色创新能力;*ai*为地区智能化发展衡量指标;*cor*为企业层面的控制变量;*reg*为区域特征控制变量; α_0 为常数项; α_1 、 α_2 、 α_3 分别为*ai*、*cor*、*reg*的回归系数; μ_i 为企业个体固定效应,由于地区固定效应会将企业固定效应吸收,因此也控制了地区固定效应; v_t 为时间固定效应; ε_{ijt} 为随机干扰项。

在模型(1)的基础上,引入交叉项模型探讨智能化发展对企业绿色创新的影响在区域与企业维度上的差异特征。

$$\ln pat_{ijt} = \gamma_0 + \gamma_1 ai_{jt} + \gamma_2 ai_{jt} \times het + \sum \gamma_3 cor_{ijt} + \sum \gamma_4 reg_{jt} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{ijt} \quad (3)$$

式中:*het*为企业与区域层面调节变量; γ_0 为常数项; γ_1 、 γ_3 、 γ_4 分别为*ai*、*cor*、*reg*的回归系数; γ_2 是交叉项的回归系数。本部分主要考察产权性质、创新能力等企业特征与地理区位、市场化水平等区域因素对智能化发展作用效果的影响。上述调节变量均采用虚拟变量形式,除产权性质外,企业创新能力与地区市场化发展水平以样本平均值为标准,大于样本平均值水平的赋值为1,否则赋值为

表1 主要变量定义与描述性统计

Table 1 Variable definition and descriptive statistics

变量	含义	均值	标准差	最小值	最大值
<i>lnpat</i>	绿色创新($\ln(1+\text{绿色专利申请数量})$)	0.740	0.803	0.000	4.810
<i>ai</i>	智能化发展指标(智能化主成分值)	0.045	0.902	0.009	0.302
<i>lai</i>	智能化发展虚拟变量	0.451	0.730	0.000	1.000
<i>lnscale</i>	企业规模(企业总资产对数)	11.85	1.93	5.51	16.08
<i>age</i>	企业年龄(截至2016年企业成立时间,单位:年)	13.71	5.57	3.00	29.00
<i>soe</i>	产权性质(国有企业赋值为1,其他为0)	0.17	0.38	0.00	1.00
<i>roa</i>	盈利能力(企业净利润/平均资产总额)	0.062	13.110	-1.830	0.930
<i>lev</i>	资产负债率(企业总负债/总资产)	0.52	19.27	0.01	3.49
<i>lngdp</i>	人均收入(人均GDP的自然对数,单位:元)	10.33	0.812	8.01	11.68
<i>urb</i>	城镇化率(城镇人口占总人口数比重,单位:%)	47.24	0.286	20.35	89.58
<i>hi</i>	人力资本投资(教育经费占财政支出比重,单位:%)	19.07	2.74	11.96	28.15
<i>str</i>	产业结构(第三产业增加值占GDP比重,单位:%)	42.46	7.97	28.31	79.81

0。按照国家统计局的划分标准,将全国划分东部、中部和西部三大地区,其中东部地区赋值为1,中西部地区赋值为0。

4 结果与分析

4.1 智能化发展对企业绿色创新的影响

考虑到智能化发展对企业绿色创新可能具有滞后效应,分别对智能化发展指标及其滞后项进行检验。在回归模型的选择上,Hausman 检验结果显示固定效应模型回归结果优于随机效应模型,故采用固定效应模型进行检验。具体结果见表2所示。其中,列(1)当期智能化发展指标(*ai*)对企业绿色创新的影响不显著,而列(2)加入智能化发展滞后一期项(*L.ai*)后其估计系数显著为正,上述结果表明,智能化发展对企业绿色创新具有激励作用,且上述效应具有显著滞后性。出现上述滞后现象的主要

原因在于绿色技术创新效益的实现需要较长时间,且具有一定累积效应,故智能化发展对企业绿色创新的影响存在一定的时滞。列(3)回归结果显示,在加入智能化发展指标滞后二期项(*L2.ai*)后,其回归系数则不具有统计上的显著性,这说明智能化发展对企业绿色创新的影响滞后期较短,当期智能化发展的影响随时间的增加而递减。鉴于此,在后续回归将取智能化发展指标滞后一期值进行实证检验。表2列(4)–(6)回归结果显示,智能化虚拟指标的当期值大多不显著,其滞后一期值均在至少5%的统计水平下显著为正。上述结果表明,使用智能化发展虚拟变量为解释变量时的回归结果与上述结果保持了高度一致,说明智能化发展对企业绿色创新具有显著促进作用的结论具有较强的稳健性。

控制变量方面,企业规模(*lnscale*)的估计系数

表2 智能化发展对企业绿色创新的影响

Table 2 Effect of intelligentization on enterprise green innovation

	解释变量: <i>ai</i>			解释变量: <i>lai</i>		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>ai</i>	0.97 (1.01)	0.82* (1.73)	0.74 (0.82)	0.21 (0.67)	0.25* (1.81)	0.19 (1.15)
<i>L.ai</i>		1.012*** (3.04)	1.115*** (2.89)		0.35*** (2.84)	0.27** (2.17)
<i>L2.ai</i>			0.82 (1.08)			0.13* (1.77)
<i>lnscale</i>	0.165*** (3.41)	0.172*** (3.25)	0.144*** (2.71)	0.201*** (2.28)	0.145*** (2.64)	0.162*** (3.42)
<i>age</i>	0.124 (0.89)	0.117 (0.63)	0.072 (0.83)	0.088 (0.71)	0.104 (1.06)	0.091 (1.15)
<i>soe</i>	1.309** (2.17)	0.921*** (3.07)	1.016*** (2.78)	1.053** (1.89)	0.093** (2.07)	0.084** (1.92)
<i>roa</i>	0.014 (0.74)	0.007 (0.91)	0.004 (1.02)	0.013 (0.57)	0.011 (0.83)	0.008 (1.24)
<i>lev</i>	-0.065* (-1.72)	-0.074* (-1.66)	-0.047 (-1.25)	-0.038* (-1.76)	-0.033** (-2.14)	-0.028* (-1.87)
<i>lngdp</i>	0.167 (0.61)	0.144 (0.97)	0.129 (1.35)	0.137 (1.03)	0.146 (0.59)	0.172 (0.86)
<i>urb</i>	0.069* (1.07)	0.041 (0.93)	0.035 (0.71)	0.052* (1.16)	0.061 (1.23)	0.48* (1.74)
<i>hi</i>	0.065** (2.12)	0.073** (2.34)	0.048*** (2.74)	0.059*** (3.14)	0.047** (2.41)	0.033** (2.06)
<i>str</i>	0.065** (1.96)	0.024** (2.11)	0.033 (1.17)	0.041* (1.85)	0.029** (2.39)	0.026* (2.04)
调整 <i>R</i> ²	0.231	0.275	0.326	0.259	0.264	0.317

注: *、**、***分别代表10%、5%和1%的显著性水平,回归过程控制了企业效应与年份效应,且使用了地区层面聚类标准误,括号内为*t*值,下同。

2022年5月

在1%的统计性水平下显著为正,表明规模较大企业的绿色创新能力相对更强。产权性质(*soe*)的系数也显著为正,表明具有政府背景企业的绿色创新能力强于其他企业,这在一定程度上与国有企业能够较为便利地获取与绿色创新有关的资金和政策资源息息相关。资产负债率(*lev*)的回归系数大多显著为负,表明较高的负债率不利于企业进行绿色创新。人力资本投资(*hi*)的系数均在5%的水平下显著为正,表明区域人力资本投资增加在很大程度上有利于提升企业绿色创新能力。同时,由于能够为企业创新提供较好的辅助,地区第三产业占比增加能够有效刺激企业绿色创新,具体表现为产业结构(*str*)的回归系数大多显著为正。此外,人均收入和城镇化率的估计系数大多不显著,这说明现阶段经济增长与城镇化推进难以对企业绿色创新产生积极作用,在一定程度上也凸显了实现经济增长与城镇化高质量发展的现实紧迫性。

4.2 稳健性检验

根据上述基准回归结果,智能化发展对企业绿色创新具有显著促进作用,为了增强研究结果可信度,本文分别采用以下方法进行稳健性检验:

(1)对样本的重新筛选。首先,总样本中有部分新能源企业在分析期内从未申请过绿色专利。如若此类企业分布在智能化发展程度较高的地区,可能对回归结果产生影响。为了消除上述干扰,本文将样本分析期内从未申请过绿色专利的企业剔除,重新构建样本进行实证检验。其次,为规避极端项对检验结果有可能产生的负面影响,回归过程中对被解释变量采取了首尾两端缩尾5%处理。采用上述处理的回归结果见表3列(1)–(2)所示。观察可以发现,在剔除从未申请过专利的新能源企业以及对被解释变量进行缩尾处理后,智能化发展对企业绿色创新依旧存在显著促进作用。

(2)进行变量替换。主要采用以下方法对变量进行替换:一是对被解释变量进行替换,用绿色专利数占比作为被解释变量进行稳健性检验回归。二是对解释变量进行替换。为避免回归结果受共线性影响,对控制变量做滞后一期处理。表3列(3)–(4)相应回归结果显示,无论采用上述何种方式对实证所涉变量进行替换,智能化发展指标的估计系数始终显著为正,所得结论与前文结果完全一致。

(3)内生性问题。区域智能化发展水平是一个宏观变量,一般情况下受到企业绿色创新的微观行为影响较小。但不容忽视的是,实证检验中存在的遗漏变量或指标测度误差等情况也将产生内生性问题。鉴于此,采用工具变量回归来规避上述内生性问题。借鉴李春涛等^[32]的思路,采用相同年份该地区所有接壤省份智能化发展水平的平均值作为工具变量进行回归。采用上述处理主要是基于如下考虑:首先,相邻地区通常在经济发展方面具有较高的相似度,故智能化发展水平也较为相近。其次,由于存在一定程度的区域分割,邻近地区的智能化发展难以对本地企业绿色创新产生影响。表3列(5)的回归结果显示,在考虑模型可能存在的内生性问题后,智能化发展对企业绿色创新依然存在显著的促进作用。

(4)使用不同回归模型。考虑到新能源上市企业绿色专利数存在零值可能导致的回归偏误情况,继续采用Tobit模型对智能化发展与企业绿色创新的关系做进一步检验。具体回归结果见表3列(6)所示,可发现在使用不同回归模型后,智能化发展促进企业绿色创新的事实依旧成立,与基准检验结果高度一致。

4.3 区域与企业维度异质性分析

一般而言,企业创新能力与区域经济发展水平

表3 稳健性检验结果

Table 3 Results of robustness test

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>L.ai</i>	1.317*** (3.76)	1.105*** (3.21)	1.613** (2.24)	0.097*** (3.43)	1.023*** (3.87)	0.093*** (3.57)
<i>L.lai</i>	0.215*** (2.91)	0.304** (2.37)	0.291*** (2.94)	0.283*** (3.23)	0.311*** (3.03)	0.329** (2.15)

显著相关,不同所有制企业的创新能力与融资能力也不尽相同,智能化发展对企业绿色创新的影响在很大程度上受到地区制度环境的影响。基于此,进一步考虑产权性质、创新能力等企业特征与地理区位、市场化发展水平等区域特征对智能化发展影响效应发挥的调节作用。具体结果见表4所示。

表4列(1)回归结果表明,智能化发展与企业产权性质的交叉项估计系数显著为正,表明具有政府背景企业的创新能力受智能化发展的刺激作用更强。一方面,国有企业的规模较大,资金实力雄厚,能够投入较多的资源用于绿色创新;另一方面,在大力推进产业智能化发展的政策引导下,具有政府背景的企业较易得到政府财政与政策支持,从而有助于提高其绿色创新倾向。列(2)结果显示,智能化发展与企业创新能力的交叉项在1%的统计水平下显著为正,这就意味着企业创新能力的提升有利于发挥智能化发展的绿色创新效应。这主要是因为智能化发展对企业绿色创新的影响在很大程度上取决于企业的吸收能力。作为吸收能力的具体表现,企业的创新能力越强,其利用智能化发展进行绿色创新的意识和能力也越强。列(3)~(4)的回归结果显示,企业所在区域的地理区位和市场化发展程度与智能化发展的交叉项均显著为正,表明企业所在区域特征也将影响智能化发展对企业绿色创新的效应。一方面,东部地区经济发展水平较强,当地企业创新能力也相应较强,这些都有利于提升智能化发展对企业绿色创新的促进作用;另一方面,市场化发展程度较高地区的制度体系较为完善,市场在资源优化配置上发挥的作用也相应较强,这样不仅有利于为企业的创新活动提供良好的市场环境,而且使得智能化发展促进企业绿色创新的传导渠道更为顺畅,从而有利于企业的绿色专利

研发。

4.4 影响机制分析:中介效应检验

为进一步探讨智能化发展促进企业绿色创新的作用机制,使用Mplus7.0构建结构方程模型进行中介效应检验。其中智能化发展作为预测变量,企业绿色创新作为被预测变量,同时将融资约束、人力资本设为中介变量,相关的拟合指标均达到统计学标准,表明了所构建结构方程模型的合理性。进一步由图1可知,智能化发展对融资约束有显著负向预测效应,而对人力资本和企业绿色创新有着显著的正向预测效应。融资约束和人力资本对企业绿色创新分别有负向和正面的预测效应。

在相关分析基础上,运用bootstrap程序进行中介效应检验,重复取样5000次,计算95%的置信区间,具体见表5。智能化发展对企业绿色创新的直接效应为0.215($P<0.01$),占总效应的46.9%,说明智能化发展对企业绿色创新有直接作用。两条间接路径(间接路径1:智能化发展→缓解融资约束→企业绿色创新;间接路径2:智能化发展→人力资本增加→企业绿色创新)的置信区间也不包含0,说明间接效应同样显著。具体地,智能化发展通过缓解融资约束、增加人力资本影响企业绿色创新的间接效应大小分别为0.157与0.086,分别占总效应的34.3%和18.8%。

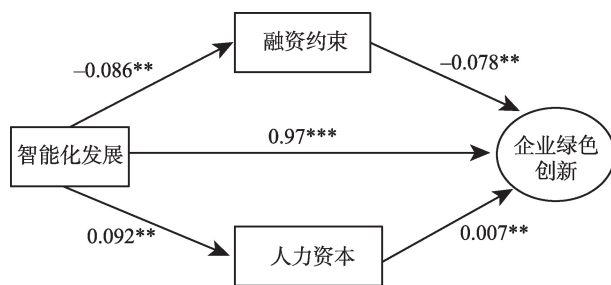


图1 智能化发展对企业绿色创新的影响机制

Figure 1 Influencing mechanism of intelligentization on enterprise green innovation

表4 异质性检验结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	产权性质	创新能力	地理区位	市场化水平
<i>L.ai</i>	0.084*** (2.65)	1.016*** (3.19)	0.095** (2.07)	0.077*** (3.52)
<i>L.ai×het</i>	0.004* (1.78)	0.007*** (3.44)	0.003** (1.97)	0.008** (2.15)
调整 R^2	0.253	0.247	0.241	0.282

表5 中介效应检验结果

路径	效应值	<i>P</i>	95%CI
直接路径	0.215	0.000	0.169~0.281
间接路径1	0.157	0.000	0.131~0.184
间接路径2	0.086	0.000	0.059~0.102

2022年5月

5 结论与政策建议

5.1 结论

本文利用中国新能源产业上市企业微观数据,并结合省级层面的智能化发展指标数据,综合考察了智能化发展对企业绿色创新的影响效应与传导路径。得到如下主要结论:

(1)智能化发展对企业绿色创新能力有着显著促进作用。但效应发挥需要一定时滞,人工智能对企业绿色创新的促进效应具有明显滞后性。在进行样本重新选择、替换变量、考虑内生性及使用不同回归模型等一系列稳健性检验后,上述结论未发生实质性改变。

(2)智能化发展对企业绿色创新的激励作用受到企业与区域层面异质性因素的影响。交叉项回归结果表明,产权性质、创新能力、地理区位以及市场化程度等企业与企业层面的异质性会对智能化发展的影响发挥调节作用。具体地,对于国有企业与创新能力较强企业而言,智能化发展对其绿色创新的刺激作用相对较强。同时,东部地区与市场化程度较高地区企业绿色创新受到智能化发展的促进效应也强于其他地区。

(3)智能化发展主要通过缓解企业融资约束与增加人力资本这两个有效渠道对企业绿色创新产生积极效应。一方面,智能化发展能够有效缓解企业融资约束问题,从而通过增加创新所需资金促进企业绿色创新能力提升;另一方面,智能化发展也促进了企业人力资本积累,从而为其绿色创新提供重要保证。

5.2 政策建议

根据上述研究发现,本文有针对性地提出以下对策建议:

(1)科学设计和规划智能产业发展政策,充分发挥智能化发展对企业绿色创新的促进作用。各地政府要积极顺应科技革命新趋势,高度重视人工智能产业对区域经济高质量发展的重要性,尽快出台相应的支撑政策,引导企业积极实现智能化转型。此外还需围绕提升企业绿色创新能力积极布局,通过环境规制、经济激励等多种手段进行合理调节,通过政策协同形成对企业绿色创新的多重激励。

(2)加强配套制度建设,提高智能化发展的积

极影响。政府部门应采取有效措施破除企业融资困境,扩大企业资金筹集来源,并借助利率市场化改革、绿色金融与金融科技化等手段降低环保产业相关企业的融资成本,为其绿色创新提供充足资金保障;同时,注重对智能化转型与绿色创新领域人才的培育,通过校企合作、职业教育与人才引进等多种方式向企业输送高质量研究人才,并强化对知识产权的保护,增加相关机构与个人进行绿色创新的市场化激励。

(3)各地应结合自身实际制定产业智能化发展规划,提升政策精准度。政府部门应围绕政策制定、执行实施、效应评估等为企业提供统一的政策口径;此外,各地区与企业要因地制宜解决自身在智能化转型发展中存在的突出问题。例如,政府要围绕资金融资和风险管控给予中小企业必要的支持,经济较为落后地区要大力深化经济体制改革,提升市场化水平,促进人工智能与实体企业的深度融合和良性互动。

参考文献(References):

- [1] 王永进,冯笑.行政审批制度改革与企业创新[J].中国工业经济,2018,35(2):24-42.[Wang Y J, Feng X. The reform of administration approval system and firm's innovation[J]. China Industrial Economics, 2018, 35(2): 24-42.]
- [2] Lin C P, Tseng J M. Green technology for improving process manufacturing design and storage management of organic peroxide[J]. Chemical Engineering Journal, 2012, 180: 284-292.
- [3] 马媛,侯贵生,尹华.企业绿色创新驱动因素研究:基于资源型企业的实证[J].科学学与科学技术管理,2016,37(4):98-105.[Ma Y, Hou G S, Yin H. Study on the green innovation drivers: Empirical test based on the resource-oriented enterprises[J]. Science of Science and Management of S.&T., 2016, 37(4): 98-105.]
- [4] 吕岩威,谢雁翔,楼贤骏.中国区域绿色创新效率时空跃迁及收敛趋势研究[J].数量经济技术经济研究,2020,37(5):78-97.[Lv Y W, Xie Y X, Lou X J. Study on the space-time transition and convergence trend of China's regional green innovation efficiency[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2020, 37(5): 78-97.]
- [5] 王彩明,李健.中国区域绿色创新绩效评价及其时空差异分析:基于2005-2015年的省际工业企业面板数据[J].科研管理,2019,40(6):29-42.[Wang C M, Li J. An evaluation of regional green innovation performance in China and its spatial-temporal differences based on the panel data of inter-provincial industrial enterprises from 2005 to 2015[J]. Science Research Management, 2019, 40(6): 29-42.]

- [6] 王旭, 王兰. 绩效差距与企业绿色创新: 基于“穷则思变”决策惯例的权变思考[J]. 上海财经大学学报, 2020, 22(1): 18–33. [Wang X, Wang L. Enterprise performance gap and green innovation: A contingency thought on decision convention of “poor performance leads to change”[J]. Journal of Shanghai University of Finance and Economics, 2020, 22(1): 18–33.]
- [7] Du K R, Li P Z, Yan Z M. Do green technology innovations contribute to carbon dioxide emission reduction? Empirical evidence from patent data[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2019, 146: 297–303.
- [8] 杜立民, 王如琦, 肖赵华. 生态创新对长三角地区生态经济的影响[J]. 资源科学, 2021, 43(10): 1961–1975. [Du L M, Wang R Q, Xiao Z H. The impact of ecological innovation on ecological economy of the Yangtze River Delta in China[J]. Resources Science, 2021, 43(10): 1961–1975.]
- [9] 孙艺璇, 程钰, 刘娜. 中国经济高质量发展时空演变及其科技创新驱动机制[J]. 资源科学, 2021, 43(1): 82–93. [Sun Y X, Cheng Y, Liu N. Spatiotemporal evolution of China’s high quality economic development and its driving mechanism of scientific and technological innovation[J]. Resources Science, 2021, 43(1): 82–93.]
- [10] 熊爱华, 丁友强, 胡玉凤. 低碳门槛下绿色创新补贴对全要素生产率的影响[J]. 资源科学, 2020, 42(11): 2184–2195. [Xiong A H, Ding Y Q, Hu Y F. Impact of low-carbon subsidies and green innovation on total factor productivity in view of the threshold effect of carbon emission reduction[J]. Resources Science, 2020, 42(11): 2184–2195.]
- [11] 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, 43(1): 94–103. [Zeng G, Lu L Y, He J L. Impact of ecological innovation on the economic transformation of resource-based cities[J]. Resources Science, 2021, 43(1): 94–103.]
- [12] Marchi V D. Environmental innovation and R&D cooperation: Empirical evidence from Spanish manufacturing firms[J]. Research Policy, 2012, 41(3): 614–623.
- [13] Bossle M B, Barcellos M D, Vieira L M, et al. The drivers for adoption of eco-innovation[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 113(1): 861–872.
- [14] 席龙胜, 赵辉. 高管二元环保认知、绿色创新与企业可持续发展绩效[J]. 经济管理, 2022, 44(3): 139–158. [Xi L S, Zhao H. Senior executive dual environmental cognition, green innovation and enterprise sustainable development performance[J]. Business and Management Journal, 2022, 44(3): 139–158.]
- [15] 李凡, 朱缤绮, 孙颖. 环境政策、制度质量和可再生能源技术创新: 基于32个国家的实证分析[J]. 资源科学, 2021, 43(12): 2514–2525. [Li F, Zhu B Q, Sun Y. Environmental policy, institutional quality and renewable energy technology innovation: An empirical analysis of 32 countries[J]. Resources Science, 2021, 43(12): 2514–2525.]
- [16] Graetz G, Michaels G. Robots at work[J]. Review of Economics and Statistics, 2018, 100(5): 753–768.
- [17] Acemoglu D, Restrepo P. The Wrong Kind of AI? Artificial Intelligence and the Future of Labor Demand[R]. NBER Working Paper No. 25682, 2019.
- [18] 吕越, 谷玮, 包群. 人工智能与中国企业参与全球价值链分工[J]. 中国工业经济, 2020, 37(5): 80–98. [Lv Y, Gu W, Bao Q. Artificial intelligence and Chinese enterprise’ participation in global value chains[J]. China Industrial Economics, 2020, 37(5): 80–98.]
- [19] 陈彦斌, 林晨, 陈小亮. 人工智能、老龄化与经济增长[J]. 经济研究, 2019, 54(7): 47–63. [Chen Y B, Lin C, Chen X L. Artificial intelligence, aging and economic growth[J]. Economic Research Journal, 2019, 54(7): 47–63.]
- [20] 孙早, 侯玉琳. 工业智能化如何重塑劳动力就业结构[J]. 中国工业经济, 2019, 36(5): 61–79. [Sun Z, Hou Y L. How does industrial intelligence reshape the employment structure of Chinese labor force[J]. China Industrial Economics, 2019, 36(5): 61–79.]
- [21] Aghion P, Jones B F, Jones C I. Artificial Intelligence and Economic Growth[R]. NBER Working Paper No. 23928, 2017.
- [22] 王林辉, 胡晟明, 董直庆. 人工智能技术会诱致劳动收入不平等吗: 模型推演与分类评估[J]. 中国工业经济, 2020, 37(4): 97–115. [Wang L H, Hu S M, Dong Z Q. Will artificial intelligence technology induce labor income inequality: Model deduction and classification evaluation[J]. China Industrial Economics, 2020, 37(4): 97–115.]
- [23] 郭凯明. 人工智能发展、产业结构转型升级与劳动收入份额变动[J]. 管理世界, 2019, 35(7): 60–77. [Guo K M. Artificial intelligence, structural transformation and labor share[J]. Management World, 2019, 35(7): 60–77.]
- [24] 林晨, 陈小亮, 陈伟泽, 等. 人工智能、经济增长与居民消费改善: 资本结构优化的视角[J]. 中国工业经济, 2020, 37(2): 61–83. [Lin C, Chen X L, Chen W Z, et al. Artificial intelligence, economic growth and household consumption improvement: A capital structure perspective[J]. China Industrial Economics, 2020, 37(2): 61–83.]
- [25] 徐佳, 崔静波. 低碳城市和企业绿色技术创新[J]. 中国工业经济, 2020, 37(12): 178–196. [Xu J, Cui J B. Low-carbon cities and firms’ green technological innovation[J]. China Industrial Economics, 2020, 37(12): 178–196.]
- [26] Ye Z P, Yang J Q, Zhong N, et al. Tackling environmental challenges in pollution controls using artificial intelligence: A review [J]. The Science of the Total Environment, 2020, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134279.
- [27] 周铭山, 张倩倩. “面子工程”还是“真才实干”: 基于政治晋升激励下的国有企业创新研究[J]. 管理世界, 2016, 33(12): 116–

2022年5月

132. [Zhou M S, Zhang Q Q. "Face project" or "true talent": A research based on the relationship between political promotion incentive and innovation activity in state-owned listed companies [J]. *Management world*, 2016, 33(12): 116-132.]
- [28] 齐绍洲, 张倩, 王班班. 新能源企业创新的市场化激励: 基于风险投资和企业专利数据的研究[J]. *中国工业经济*, 2017, 34(12): 95-112. [Qi S Z, Zhang Q, Wang B B. Market-oriented incentives to the innovation of new energy companies: Evidence from venture capital and companies' patents[J]. *China Industrial Economics*, 2017, 34(12): 95-112.]
- [29] Zhu C. Big data as a governance mechanism[J]. *The Review of Financial Studies*, 2019, 32(5): 2021-2061.
- [30] 李春涛, 闫续文, 宋敏, 等. 金融科技与企业创新: 新三板上市公司的证据[J]. *中国工业经济*, 2020, 37(1): 81-98. [Li C T, Yan X W, Song M, et al. Fintech and corporate innovation: Evidence from Chinese NEEQ-listed companies[J]. *China Industrial Economics*, 2020, 37(1): 81-98.]
- [31] 王莉娜, 张国平. 信息技术、人力资本和创业企业技术创新: 基于中国微观企业的实证研究[J]. *科学学与科学技术管理*, 2018, 39(4): 111-122. [Wang L N, Zhang G P. Information technology, human capital and innovation of start-up firm: An empirical study based on enterprise-level data of China[J]. *Science of Science and Management of S.&T.*, 2018, 39(4): 111-122.]
- [32] 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, 38(2): 136-154. [Tao F, Zhao J Y, Zhou H. Does environmental regulation improve the quantity and quality of green innovation? Evidence from the target responsibility system of environmental protection[J]. *China Industrial Economics*, 2021, 38(2): 136-154.]
- [33] 刘亮, 李廉水, 刘军, 等. 智能化与经济发展方式转变: 理论机制与经验证据[J]. *经济评论*, 2020, (2): 3-19. [Liu L, Li L S, Liu J, et al. Intelligentization and the transformation of economic development mode: Theoretical mechanism and empirical evidence[J]. *Economic Review*, 2020, (2): 3-19.]

Influence of intelligentization on enterprise green innovation: Evidence from listed companies of new energy industry in China

ZHAN Hua¹, HOU Mengting², TAN Feifei¹

(1. Jiangsu Industrial Development Research Institute, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China;

2. Sociological Research Institute, Jiangsu Provincial Academy of Social Science, Nanjing 210004, China)

Abstract: Green innovation capability is important for achieving innovation-driven high-quality development in China, therefore how to improve the capability of green innovation is an important issue. Considering the rapid development of artificial intelligence, this article presented a theoretical and empirical analysis of the impacts of intelligentization on enterprise green innovation. Using the data of listed companies in the new energy industry, this study tested how artificial intelligence affects the green innovation of enterprises in China. The results show that: (1) Intelligentization can improve the capability of enterprise green innovation significantly, and these effects have a certain time lag; (2) The impacts of intelligentization on enterprise green innovation vary between regions and enterprises; (3) Mechanism test shows that mitigating financing constraints and increasing human capital are the channels through which artificial intelligence can promote green innovation capability. The research results not only offer enlightenment for the integration of intelligentization and ecological governance, but also can provide references for the government to improve green innovation capability.

Key words: intelligentization; green innovation; new energy industry; financing constraints; human capital; mediation effect; China