

# 人工智能技术能否成为引领城市绿色发展的新引擎

陈芳<sup>1,2</sup>,刘松涛<sup>1</sup>

(1. 安徽大学 经济学院,安徽 合肥 230601; 2. 安徽大学 创新发展研究院,安徽 合肥 230601)

**摘要:**在大数据时代背景下,人工智能技术不仅能够推动经济快速发展,而且在促进经济结构转型、改善环境质量上具有不可替代的作用。基于2007—2018年长三角城市群的面板数据,首先量化各城市人工智能技术发展规模,同时运用DEA-BCC模型测算出各城市的绿色发展效率,进而通过实证检验其影响效果及作用机制。结果表明:人工智能技术显著提高了城市绿色发展效率且是通过结构效应、创新效应和人力资本效应三种途径对城市的绿色发展产生影响,其中人力资本效应起主导作用;在不同区域的城市群中,人工智能技术的发展规模对绿色全要素生产率的影响效果各不相同;城市的产业集聚对其人工智能技术顺利促进绿色发展具有不可或缺的作用。最后,提出加大对人工智能人才、技术、产业的投入,加快人工智能与绿色发展的融合以及推动长三角地区经济一体化发展的政策建议。

**关键词:**人工智能技术;绿色发展;产业集聚;长三角城市群;中介效应

**中图分类号:**F830.91 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-6049(2022)03-0078-09

## 一、引言与文献综述

在中国经济从高速增长向高质量增长转型的重要时期,习近平总书记主持会议并通过《关于促进人工智能和实体经济深度融合的指导意见》,强调了人工智能是引领未来发展的战略性技术。党的十九大明确指出,“迫切需要推动互联网及人工智能技术和实体经济深度融合,做大做强数字经济”“提高社会治理社会化、法治化、智能化、专业化水平”。在当前大数据发展背景下,人工智能技术不仅能够推动经济快速发展,而且在推动绿色低碳发展,持续改善环境质量上更具有重要性。因此,人工智能是提升生态系统质量和稳定性,解决当前我国贯彻绿色发展理念所面临问题的重要途径。长三角在中国经济高质量发展中发挥着至关重要的作用,但绿色发展是约束长三角高质量发展的明显短板。新一轮科技革命和产业变革下的人工智能成为提升长三角城市绿色发展的重要驱动力量。《国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知》中,双碳“3060”目标下人工智能成为推动经济向创新驱动、内涵式发展、协调发展和绿色发展转型的根本路径<sup>[1]</sup>。因此,深入研究人工智能对长三角城市绿色发展的影响效应,不仅有助于厘清人工智能助力长三角绿色发展一体化的内在机理,也为创新引领长三角更高质量一体化提供理论支撑。

目前,国内外关于人工智能的研究围绕着“内涵界定—程度量化—效应评估”的逻辑展开。

人工智能最早在1956年由“人工智能之父”Marvin Minsky提出。对人工智能的界定,学者们根据

收稿日期:2021-12-17;修回日期:2022-04-27

基金项目:国家社会科学基金一般项目“长江经济带跨界污染协同治理及政策研究”(20BJL101);安徽大学区域经济与城市发展研究院开放招标课题“人工智能能否成为引领长三角城市绿色发展的新引擎”

作者简介:陈芳(1982—),女,河南永城人,理论经济学博士后,安徽大学经济学院、创新发展研究院副教授,研究方向为绿色发展;刘松涛(1998—),男,安徽六安人,安徽大学经济学院硕士研究生,研究方向为环境经济。

研究领域和方向的不同也提出了不同的理解和界定标准,但内涵基本一致。国内研究学者中比较有代表性的是刘海滨<sup>[2]</sup>在研究人工智能的演进历史中提出的“人工智能是通过研究、开发并用于模拟、延伸和扩展人工智能的理论、方法、技术及应用系统的一门技术科学”。如何定量分析人工智能这一概念近些年来引起了学者们的广泛谈论,而当前国内外学者对于人工智能的发展规模衡量主要有两种方法,一种是以信息传输、计算机服务和软件业全社会资产投资额来代表<sup>[3-4]</sup>,这种方法建立在资金投入和发展水平呈正向因果关系的基础上,用在人工智能方面的投入来代表人工智能发展规模;另一种方法是用具象描述的方法,机器人是人工智能的产物,其数量则一定程度上反映了人工智能的发展水平,故采用机器人密度的对数来衡量人工智能水平<sup>[5-7]</sup>。

对于人工智能的快速发展所带来的影响效应,众多学者从经济层面、社会层面、环境层面进行了论证,认为人工智能的应用对经济发展具有显著的促进作用<sup>[8-10]</sup>。然而在作用路径和机制方面有着不同研究:人工智能拓展了企业发展路径,实现颠覆性创新进而促进经济发展<sup>[11]</sup>;以人工智能、数字化革命为代表的大数据应用将实现空前的技术进步<sup>[12]</sup>;人工智能技术通过革新生产模式、改进分配效率、优化交换模式、驱动消费升级助推经济高质量发展<sup>[13]</sup>。人工智能对于社会生活层面的影响探究主要集中在劳动就业方面,学者们认为人工智能应用带来的自动化会对日常手工任务产生替代效应,对非日常认知任务则产生互补效应,促进人力资本提升<sup>[14-15]</sup>。在环境保护方面,人工智能能够在环境污染物的检测、污染源的分析以及针对污染提出相关解决方案等方面提升环境保护能力<sup>[16]</sup>。

关于人工智能与绿色发展的关系主要是从理论上分析人工智能的背景下绿色发展所遇到的挑战与应对<sup>[17-19]</sup>。人工智能一方面通过提升资源利用率、加强环境精细化管理,减轻了经济发展与环境保护的对立<sup>[20]</sup>;另一方面为解决环境污染动态监管等难题提供新的解决方案<sup>[13]</sup>。人工智能通过促进产业转型升级,建立公共服务平台,建设环境监管体系三个方面发挥其在绿色发展中的作用<sup>[21]</sup>;虽然人工智能在绿色产业、绿色消费、绿色管理等方面发挥了积极作用,但同时也存在着技术创新、机制协调、资源利用、制度监管等缺陷和问题<sup>[16]</sup>,加快技术创新、建立协调机制、强化服务监管等应对措施在我们的顶层设计中需要被进一步强化。

在已有文献基础上,本文将进一步探讨人工智能技术对长三角绿色发展影响的内在机理及实证检验,并基于城市群尺度研究人工智能绿色效应的异质性,为长三角未来人工智能产业规划及相关配套政策优化生态环境提供理论支撑。

## 二、理论分析

当今数字技术飞速发展背景下,人工智能技术深刻改变着人类生产生活方式与社会形态结构,并以产业结构变革、科学技术创新、人力资本流动与提升三种主要形式驱动经济高质量发展。人工智能技术可通过结构优化效应、技术创新效应、人力红利效应三种途径对绿色发展产生正向作用。

### (一) 结构优化效应

绿色发展的实现依赖高级化的产业结构。在市场力量引导下,资本会向人工智能相关产业效率高、潜力大、收益高的企业和部门流入,通过金融中介和金融市场对资本的重新配置,将有限的资源更多地投入到具有更高生产率和更高产出增长率的区域或主体,进而提高整个社会和区域的资源利用效率和绿色发展水平。一方面,人工智能推动综合产业结构升级<sup>[15]</sup>、推动传统农业向智能农业升级,同时促进工业化与信息化深度融合,推动第二产业的智能升级,也能推动传统服务业向智能服务业的升级;另一方面,人工智能提高了数据处理能力,而数据是推进当今世界制造业发展的新型生产要素,因而人工智能的广泛应用必将继续推进中国制造业的升级<sup>[22]</sup>,促进产业结构升级和绿色技术进步。

### (二) 技术创新效应

第一,技术创新是实现绿色发展的根本和关键。人工智能作为机器设备投资本身就具备技术进步效应,扩大制造业的生产可能性边界,引导企业进行绿色技术创新,生产更多环境友好型产品,提升

要素生产率,增加绿色发展中的合意产出。人工智能作为机器设备投资本身就具备技术进步效应,并通过拓展创新主体、搭建新兴技术创新基础平台、推动组织创新、打造新型商业模式四种机制促进企业创新<sup>[23]</sup>。第二,人工智能通过智能电网、智能控制、节能技术、新材料技术、物联网等先进技术的运用,降低生产及传导过程的能耗,提升能源利用效率;另外人工智能结合大气星象图、传感器、智慧检测等技术,改进污染治理及防治手段,快速准确锁定污染源,提升政府治理的智能化水平<sup>[24]</sup>,有效降低绿色发展中的非合意产出。

### (三) 人力红利效应

人工智能对量化且无须复杂思考的低收入岗位有挤出效应<sup>[25]</sup>,同时围绕人工智能,新的工作岗位和高技能劳动力收入水平提升,引导优质劳动力主动流向劳动力要素回报高的企业,优化劳动力就业结构,会超常规地提升全要素生产率<sup>[26]</sup>;人工智能通过智能规划和绿色交易模式有助于居民消费从传统消费向绿色消费升级,在提升民众“消费者剩余”的基础上,培养民众绿色消费意识和环保意识,反过来监督和督促政府强化环境治理和节能减排,将人工智能融入智慧城市、智慧环保等建设,提升政府治理效率、降低政府治理成本从而提高政府治理能力。

人工智能技术对城市绿色发展的作用机制如图1所示。

### 三、变量选取与模型构建

#### (一) 变量说明与数据来源

##### 1. 变量说明

##### (1) 被解释变量

绿色发展衡量标准主要有两种方法,一种是综合指标体系评价法,另一种是通过投入产出测算绿色发展效率。由于效率值的测算更加客观,所以与本文的研究目的更加匹配。目前国内外学者对绿色发展效率的定量评价采用绿色全要素生产率。本文使用规模报酬可变的DEA-BCC模型来测算长三角地级城市的绿色全要素生产率(*GTFP*),其中DEA-BCC模型的资本投入、劳动投入、能源投入分别选取固定资产投资、城镇从业人员数量以及用电量作为各项投入指标,选取各市人均GDP值作为期望产出,选取污水排放量、二氧化硫排放量以及粉尘排放量作为非期望产出的指标。

##### (2) 解释变量

人工智能技术发展规模(*AI*)是本文核心解释变量,其中难点是衡量城市层面人工智能,考虑到数据可获得性,参照俞伯阳<sup>[3]</sup>的做法,以信息传输、计算机服务和软件业全社会投资额来代表人工智能技术发展规模。从技术研发到产生经济效应需要一定时间,所以本文在后续分析中采用滞后一期的数据进行计量检验。

##### (3) 控制变量

为控制其他变量对城市绿色发展效率的影响,参考陈芳和胡艳<sup>[27]</sup>的做法,引入控制变量如下  
① 人口密度(*POP*)。人口增长促进了经济的快速发展,但同时也会带来环境污染,本文使用人口密度指标,具体以各地级市单位面积的人口数表示;② 经济发展增速(*VGDP*)。各地不同的经济实力也影响着当地发展的选择,而各地发展水平的不同可能对计量结果产生影响,故本文选择各地GDP

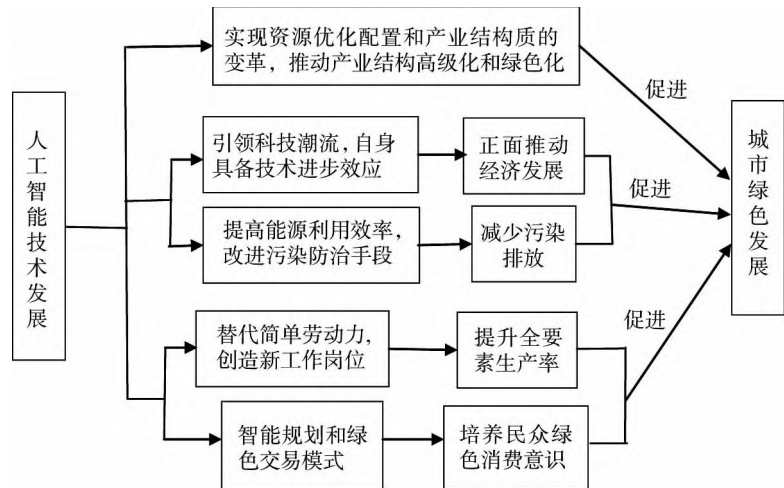


图1 人工智能技术对城市绿色发展的作用机制

增长速度作为经济发展增速的变量。③ 产业结构 (*STR*)。产业结构通过生产要素重置、产业溢出效应和专业化分工等途径影响绿色发展,这里用第三产业占 GDP 比重(三产占比)表示产业结构变量。④ 对外开放度。对外贸易可能通过技术外溢对当地绿色发展产生正面影响,也可能通过加重地区环境污染而抑制当地的绿色发展。这里以外商直接投资 (*FDI*) 代表对外开放程度变量。⑤ 政府财政支出 (*GOV*)。政府财政支出对地方的生产生活环境建设及社会保障体系发展起决定性作用,促进了社会整体发展与高质量转型。本文采用地方政府一般性财政支出总量作为政府财政支出变量。

## 2. 数据来源

本文研究样本为 2007—2018 年包含长三角三省一市共 40 个地级市(浙江省舟山市因数据问题未纳入研究范围)的平衡面板数据。所使用的数据来自 2007—2018 年的《中国统计年鉴》,本文在分析检验中对于人工智能技术发展规模、人口密度、对外开放度、政府财政支出变量进行了自然对数处理。对数据的描述性统计见表 1。

### (二) 模型构建

为研究城市绿色发展效率和人工智能技术发展规模之间的关系,本文基于 2007—2018 年长三角地区 40 个城市的面板数据,构建了一个人工智能技术发展规模对绿色发展效率的实证模型,实证计量模型如下:

$$GTFP_{it} = \beta_0 + \beta_1 AI_{it} + \alpha X + \mu_i + \varphi_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, $i$  表示不同城市, $t$  表示年份, $GTFP_{it}$  表示绿色发展效率, $\beta_0$  为常数项, $AI_{it}$  表示人工智能发展规模, $X$  向量包含了人口密度、经济发展增速、产业结构、对外开放程度和政府财政支出这五种对经济增长有影响的控制变量, $\varphi_t$  用来控制时间固定效应, $\mu_i$  用来控制地区固定效应, $\varepsilon_{it}$  表示误差项。依据 (1) 式中的系数  $\beta_1$ ,可以判断出人工智能发展规模与绿色发展效率曲线的形状。若  $\beta_1 > 0$ ,则绿色发展效率随着人工智能发展规模的增大而变高;若  $\beta_1 < 0$ ,则相反,曲线呈递减关系。

## 四、实证结果

### (一) 基准回归结果

表 2 报告了 6 种模型的回归结果,其中模型 I 是基本多元线性回归,模型 II 至模型 V 均固定了时间效应和地区效应,并逐次加入不同的控制变量进行回归。回归结果表明模型均能通过整体性  $F$  检验,模型有意义且这几个模型的拟合优度  $R^2$  均超过了 0.6,在自然数据条件下,整体拟合效果较好。模型中核心解释变量  $AI$  的系数  $\beta_1 \approx 0.025$ ,显著为正,表明人工智能技术发展规模显著促进了各地的绿色发展。回归结果报告了各控制变量所发挥的不同作用:(1) 人口密度与绿色发展效率呈正相关,说明长三角现阶段人口数量对绿色发展是有益的,人口数量的增加所带来的绿色经济发展效益比由于人口增加所带来的环境污染效应更强。(2)  $GDP$  的增速对城市绿色发展也呈现正向促进作用,随着绿色发展的理念日渐深入人心,各地政府越来越多地强调高质量发展,绿色发展所带来的经济高速增长又使得政府更加坚持绿色发展道路,形成良性循环。(3) 在本文的几个模型中产业结构对城市绿色发展效率的影响不是十分明显,可能是因为长三角地区第二产业集聚度高使得能源利用效率较高,由第二产业引起的污染相对较低,故第三产业占比增加不能显著提高绿色发展效率。(4) 对外开放水平能够促进能源环境效率提高,同时外资企业高效率、高竞争力的生产行为对城市内其他企业高效协调发展起到了示范作用,协同促进城市的绿色发展。(5) 政府财政支出对绿色发展有着不利影响,可能是由于

表 1 变量的描述性统计

变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
<i>GTFP</i>	440	0.592	0.262	0.081	1.000
<i>AI</i>	439	10.949	1.287	5.784	15.434
<i>POP</i>	440	660.817	401.687	117.37	3 823.000
<i>VGDP</i>	440	10.246	2.786	-0.400	18.200
<i>STR</i>	440	3.706	0.193	3.151	4.270
<i>FDI</i>	440	1 700.508	2 717.625	29.130	18 513.780
<i>GOV</i>	440	493.301	849.384	35.760	8 351.540
<i>CON</i>	440	0.852	0.284	0.313	2.452
<i>INN</i>	440	10 016.23	16 149.38	13.000	96 819
<i>MAN</i>	440	214.99	219.50	12.248	1 275.50

政府前些年的财政投入中促进绿色发展的占比还比较低,不能明显地反映其所发挥的作用。

表2 人工智能发展规模与绿色发展效率的基准回归结果

变量	模型 I	模型 II	模型 III	模型 IV	模型 V	模型 VI
<i>AI</i>	0.017** (0.039)	0.025*** (0.003)	0.025*** (0.002)	0.024*** (0.003)	0.026*** (0.002)	0.025*** (0.002)
<i>POP</i>	0.0003* (0.081)		0.0001*** (0.005)			0.0001** (0.011)
<i>VGDP</i>	0.019*** (0.000)			0.009* (0.061)		0.004 (0.349)
<i>LNSTR</i>	0.339*** (0.000)					-0.079 (0.464)
<i>FDI</i>	0.0003*** (0.000)		0.0003*** (0.005)		0.0004*** (0.001)	0.0003*** (0.010)
<i>LNGOV</i>	-0.194*** (0.000)		-0.069*** (0.009)	-0.050* (0.056)	-0.059** (0.023)	-0.069*** (0.008)
常数项		0.311*** (0.001)	0.574*** (0.000)	0.496*** (0.005)	0.574*** (0.000)	0.828** (0.050)
城市固定效应	否	是	是	是	是	是
年份固定效应	否	是	是	是	是	是
R <sup>2</sup>	0.174	0.680	0.651	0.642	0.639	0.656
F 检验值	12.957***	16.702***	16.798***	16.233***	16.677***	16.189***

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

(二) 稳健性检验与内生性检验

上述基准回归证明了基本假设,但为了防止结果受到绿色全要素生产率测算方法的影响,本文通过更换被解释变量进行稳健性检验。目前对绿色全要素生产率测算的方式除了常用的 BCC 模型,也能通过 LM 模型测算绿色全要素生产率的变化情况,因此本文采用 LM 模型测算出的结果作为被接受变量进行稳健性检验。检验结果显示主解释变量系数仍然显著为正,通过稳健性检验。

考虑到可能存在的内生性问题,本文参考江永红和张本秀<sup>[28]</sup>的做法,主要从两个方面进行内生性检验:一是解决遗漏主要变量导致的内生性问题,在上述实证模型中,进一步引入了科技创新(各市专利申请数)加以控制。二是人工智能技术发展规模与绿色发展之间可能会存在反向因果关系,故选用滞后一期的解释变量作为当期值的工具变量,尽可能消除“绿色发展水平越好,人工智能发展越好”这种内生性偏差。两次内生性检验结果显示主解释变量系数仍然显著为正,结论可靠。

五、进一步讨论

(一) 作用机制检验

基准回归结果表明:人工智能技术发展规模显著提升了绿色发展水平。机理分析指出结构优化效应、技术创新效应和人力红利效应影响经济发展、产业转型及环境治理,最终提升绿色发展水平。为验证这三种效应是否成立,本文进行中介效应检验,设定计量模型如下:

$$GTFP_{it} = \beta_0 + \beta_1 AI_{it} + \alpha X + \mu_i + \varphi_t + \varepsilon_{it} \tag{2}$$

$$M_{it} = \theta_0 + \theta_1 AI_{it} + \rho X + \mu_i + \varphi_t + \varepsilon_{it} \tag{3}$$

$$GTFP_{it} = \kappa_0 + \kappa_1 AI_{it} + \kappa_2 M_{it} + \lambda X + \mu_i + \varphi_t + \varepsilon_{it} \tag{4}$$

公式中,*M* 表示中介变量,包含理论分析中的三种中介变量,根据中介效应的三步检验法,首先对(2)式进行回归,这在上文的基准回归结果中已经得到证实。接着对(3)式进行回归,即将人工智能

技术发展规模与三种影响变量回归,如果系数显著,即说明人工智能技术对绿色发展的影响具有这三种效应。最后,对(4)式进行回归,将核心解释变量与中介变量同时纳入方程中,若人工智能发展规模系数仍然显著,则表明该中介效应是显著的,结果如表3所示。

表3 作用机制检验

变量	(1)	结构效应		创新效应		人力资本效应	
		(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
<i>AI</i>	0.025*** (0.00)	0.028** (0.00)	0.016*** (0.05)	217.1** (0.01)	0.018** (0.02)	0.061*** (0.01)	0.023*** (0.00)
<i>M</i>			0.312*** (0.00)		0.0001*** (0.00)		0.202*** (0.00)
中介效应效果占比		0.3494		0.0858		0.4929	
城市固定	是	是	是	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是	是	是	是
R <sup>2</sup>	0.680	0.847	0.654	0.820	0.672	0.973	0.652
F 检验值	16.70***	49.57***	17.30***	41.04***	18.66***	321.03**	17.11***

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

根据表3的回归结果可以看出,(3)式在三种作用机制下人工智能技术发展规模的回归系数均显著为正,表明人工智能技术发展规模确实具有结构效应、创新效应和人力资本效应;(4)式的回归结果可以看出,在加入中介变量之后,核心解释变量的回归系数仍显著为正,且中介变量显著为正,表明这三种作用机制均能够提高城市绿色发展。结合两式综合分析,本文验证了人工智能技术确实是通过结构效应、创新效应以及人力资本效应三种途径促进了城市的绿色发展。同时通过三种中介效应对总效应占比可以看出人力资本效应占主导地位,人工智能技术的发展使得劳动力结构发生了大幅变化,大量无人机器和无人车间的出现使资源得到了更充分的利用,同时产生了更少的污染,进而推动了绿色发展。结构效应次之,创新效应影响最小。

(二) 异质性讨论

经济活动的空间问题从来都是经济活动演进的另一个呈现维度。长三角以省会城市为依托构建城市经济圈正在如火如荼地开展,先后建成了上海都市圈、南京都市圈等,区域专业化分工和聚集经济效应共同推动了经济圈内城市的经济一体化发展。历次新技术革命在推动生产力沿着时间轴演进的同时,也推动着经济地理一次次的重塑<sup>[29]</sup>。人工智能通过技术替代效应和空间压缩效应<sup>[30]</sup>,对长三角不同经济要素的跨区域流动、空间组织和集聚形态带来了重要影响,并可能通过虚拟空间一体化加速长三角生态绿色一体化;同时长三角各城市在要素禀赋、要素配给、政策落实等方面均存在较大差异,故发展战略及发展水平各不相同。本文旨在以长三角地区四个都市经济圈为例,研究不同都市圈中人工智能的发展对当地绿色发展的影响差异化,并考察是否具有空间溢出效应。长三角四个城市群主要包括的城市情况如表4所示。

表4 长三角四大都市圈分布

这里对原始数据按照都市圈进行分类,分别进行回归,得到绿色发展效率和人工智能技术发展规模的回归关系结果见表5。结果显示,长三角地区的四大都市圈中,人工智能发展对城市绿色发展的影响具有明显异质性,其中上海都市圈、南京都市圈、合肥都市圈三大都市圈人工智能发展对城市绿色发展具有显著正向促进,且合肥都市圈最好,南京都市圈次

分类	城市数量	城市名
上海都市圈	8	上海、苏州、无锡、常州、南通、嘉兴、宁波、舟山
南京都市圈	7	南京、镇江、扬州、淮安、芜湖、马鞍山、滁州
杭州都市圈	6	杭州、湖州、嘉兴、绍兴、衢州、宣城
合肥都市圈	7	合肥、淮南、六安、滁州、芜湖、马鞍山、蚌埠

之。究其原因,这可能与这些城市原本自身发展水平及绿色发展路径有关,相比于南京都市圈和合肥都市圈,绿色发展水平较高的上海都市圈绿色发展效率再提高空间有限。合肥都市圈当前正强化智能装备、智能工厂及工业机器人应用,加快智能制造进程;南京都市圈中也有几个“互联网+先进制造业”的特色产业基地<sup>[31]</sup>,人工智能当前主要在向制造业渗透,并对其技术创新、生产效率提升、组织模式变革产生深远影响<sup>[32]</sup>;而杭州都市圈城市主要发展以新型互联网经济为主,人工智能对其污染水平降低不显著,因而对其整体绿色发展的影响不明显。

(三) 基于城市产业集聚的讨论

在依据四大都市圈对长三角城市群进行分类时,本文发现既有城市分属多个城市群,比如嘉兴、芜湖等;也有城市只属于固定一个城市群,比如南京、合肥等;还有一些城市不属于任何一个城市群,比如徐州、安庆等。而那些能分属不同城市群的城市必然在地理空间上具有很好的位置,而便利的地理位置及周围大城市的完整市场也让其更容易形成产业集聚。深入探讨依据城市群归属划分的不同类型城市的人工智能对绿色发展效率的影响是否有差异,能够更有效地解释产业集聚对于人工智能影响绿色发展的调节效应。长三角城市群重新分类结果如表6所示。

表6 长三角城市关于都市圈归属分类表

城市分类	城市个数	城市名
分属多个都市圈	4	嘉兴、滁州、芜湖、马鞍山
属于特定都市圈	20	上海、苏州、无锡、常州、南通、宁波、舟山、南京、镇江、扬州、淮安、杭州、湖州、绍兴、衢州、宣城、合肥、淮南、六安、蚌埠
不属任何都市圈	17	徐州、连云港、盐城、泰州、宿迁、温州、金华、台州、丽水、淮北、铜陵、安庆、黄山、阜阳、宿州、亳州、池州

对不同组别的城市进行模型拟合,回归结果如表7所示。根据结果可知,不属于任何都市圈的城市,其人工智能技术发展规模对城市绿色发展的影响不显著;在都市圈内的城市,其人工智能发展规模对其绿色发展效率都有显著正向影响;分属多个都市圈的城市,其人工智能技术发展规模对城市绿色发展效率影响更强。这说明城市的产业集聚对其在人工智能技术影响城市绿色发展的过程中发挥着重要的作用。

六、研究结论及政策建议

(一) 研究结论

本文的研究结论如下:(1)总体上,人工智能技术发展显著提高了城市绿色发展效率,但对不同发展定位的都市圈影响不同,且城市的产业集聚对其人工智能顺利促进绿色发展具有不可或缺的作用。(2)作用机制分析表明,人工智能技术是通过结构效应、创新效应和人力资本效应三种途径对城市的

表5 异质性检验估计结果

变量	上海都市圈	南京都市圈	杭州都市圈	合肥都市圈
AI	0.097*** (0.003)	0.055** (0.017)	-0.050* (0.092)	0.067*** (0.006)
城市固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
R <sup>2</sup>	0.657	0.705	0.221	0.728
F 检验值	6.532***	8.300***	2.154**	9.309***

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

表7 进一步讨论研究结果

变量	分属多个都市圈	属于特定都市圈	不属任何都市圈
AI	0.071** (0.024)	0.042** (0.004)	0.007 (0.524)
城市固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
R <sup>2</sup>	0.741	0.507	0.728
F 检验值	8.678***	8.226***	18.196***

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

绿色发展产生影响,且人力资本效应对绿色发展效率的影响最大。

## (二) 政策建议

(1) 把握时代发展走向,抢抓人工智能发展的重大战略机遇,加大对人工智能人才、技术、产业的投入,构筑当地人工智能发展的优势,打造竞争新优势,开拓发展新空间。(2) 完善相关法律体系,降低人工智能技术引发的绿色发展风险,人工智能技术的快速发展带来了各种问题,此时需完善的法律体系来维护社会各方面利益。(3) 理顺利益协调机制,加快人工智能与绿色发展的融合,充分利用人工智能技术发展所带来的科技创新、产业结构升级与人力资源配置优势,加速创新成果转换,以绿色发展为导向,推动企业环保生产。(4) 加强城市交流合作,推动区域经济一体化发展,完善资源配置,加速产业融合与人才流通,充分利用都市圈辐射效应,推动区域经济共同发展。

## 参考文献:

- [1] 国务院关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知 [J]. 中华人民共和国国务院公报,2021(31):48-58.
- [2] 刘海滨. 人工智能及其演化 [M]. 北京: 科学出版社,2016.
- [3] 俞伯阳. 人工智能技术促进了中国劳动力结构优化吗? ——基于省级面板数据的经验分析 [J]. 财经问题研究,2020(3):94-102.
- [4] BORLAND J, COELLI M. Are robots taking our jobs? [J]. Australian economic review,2017,50(4):377-397.
- [5] 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(5):80-98.
- [6] GRAETZ G, MICHAELS G. Robots at work [J]. Review of economics and statistics, 2018,100(5):753-768.
- [7] 杨光,侯钰. 工业机器人的使用、技术升级与经济增长 [J]. 中国工业经济,2020(10):138-156.
- [8] 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(2):61-83.
- [9] 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(7):47-63.
- [10] 陈劲. 人工智能与实体经济的整合式创新路径研究 [J]. 人民论坛,2021(1):29-31.
- [11] 张光宇,欧春尧,刘贻新,等. 人工智能企业何以实现颠覆性创新? ——基于扎根理论的探索 [J]. 科学学研究,2021(4):738-748+757.
- [12] BRYNJOLFSSON E, MCATEE A, 奕轩. 人工智能时代的曙光 [J]. 英语文摘,2014(6):36-41.
- [13] 师博. 人工智能助推经济高质量发展的机理诠释 [J]. 改革,2020(1):30-38.
- [14] BRAVO C, AGUILAR-CASTRO J, RIOS A, et al. Arquitectura basada en inteligencia artificial distribuida para la gerencia integrada de producción industrial [J]. Elsevier journal,2011,8(4):405-417.
- [15] 谭泓,张丽华. 人工智能促进人力资本流动与提升 [J]. 科学学研究,2021(5):833-841.
- [16] 王旭,王钊越,潘艺蓉,等. 人工智能在 21 世纪水与环境领域应用的问题及对策 [J]. 中国科学院院刊,2020(9):1163-1176.
- [17] 王文军,李琪,刘丹. 论人工智能时代绿色发展的挑战及应对 [J]. 西安财经大学学报,2020(1):30-36.
- [18] 唐晓华,迟子茗. 工业智能化提升工业绿色发展效率的实证研究 [J]. 经济学家,2022(2):43-52.
- [19] 杨虎涛. 智能绿色增长、生活方式与社会一政治范式的重构 [J]. 财经问题研究,2021(3):3-12.
- [20] 梁本凡. 中国未来 30 年绿色发展制度创新方向研究 [J]. 江淮论坛,2019(4):5-10+2.
- [21] 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):5-22.
- [22] 高春明,于潇,陈世坤. 人工智能对中国未来劳动力就业的影响——基于劳动力供给视角的分析 [J]. 社会科学战线,2020(10):249-254.
- [23] 章文光,吴映雄. 基于人工智能的创新变革 [J]. 北京大学学报(哲学社会科学版),2020(4):139-148.
- [24] 程承坪. 人工智能促进经济发展的途径 [J]. 当代经济管理,2020(3):1-8.
- [25] 师博. 人工智能促进新时代中国经济结构转型升级的路径选择 [J]. 西北大学学报(哲学社会科学版),2019(5):



14-20.

- [26] 黄泽清,陈享光. 人工智能、社会权力与隐形就业[J]. 当代经济管理,2022(3):1-11.
- [27] 陈芳,胡艳. 长江经济带绿色发展平衡的阻碍:水平差距还是协调低效[J]. 科技进步与对策,2020(11):43-50.
- [28] 江永红,张本秀. 人工智能影响收入分配的机制与对策研究[J]. 人文杂志,2021(7):58-68.
- [29] 黄利秀. 人工智能对经济地理影响研究[J]. 现代经济探讨,2021(10):14-21.
- [30] 孙志燕,郑江淮. 全球价值链数字化转型与“功能分工陷阱”的跨越[J]. 改革,2020(10):63-72.
- [31] 许夕青,葛和平. 长三角智能制造集聚的影响机制与发展路径研究[J]. 经济问题,2021(12):89-96.
- [32] 郑琼洁,王高凤. 人工智能驱动制造业价值链攀升:何以可能,何以可为[J]. 江海学刊,2021(4):132-138.

(责任编辑:陈春;英文校对:葛秋颖)

## Can Artificial Intelligence Technology Become a New Engine of Urban Green Development

CHEN Fang<sup>1,2</sup>, LIU Songtao<sup>1</sup>

(1. School of Economics, Anhui University, Hefei 230601, China;

2. Hefei Regional Economic and Urban Development Institute, Hefei 230601, China)

**Abstract:** In the era of big data, AI technology can not only promote rapid development of economy, but also promote transformation of economic structure and improve environmental quality. Based on the Yangtze River Delta Economic Zone panel data from 2007 to 2018, this paper first quantifies the scale of AI development in cities, and then uses DEA-BCC model to calculate the green development efficiency of cities, then empirically tests its effect and mechanism of impact. The results show that the artificial intelligence technology significantly improves the urban green development efficiency and influences the urban green development through three ways: structure effect, innovation effect and human capital effect, and the human capital effect plays a leading role. The scale of AI technology development has different effects on the green total factor productivity in different urban agglomerations. Urban Industrial agglomeration plays an important role in promoting the green development of artificial intelligence technology. It also puts forward policy suggestions on increasing investment in artificial intelligence talents, technology and industry, speeding up the integration of artificial intelligence and green development, and promoting the integrated development of the Yangtze River Delta Economic Zone.

**Key words:** artificial intelligence; green development; industrial agglomeration; the Yangtze River Delta Economic Zone; intermediary effect