

引用格式:韩先锋,李佳佳,朱承亮. 中国人工智能发展的包容性绿色增长效应[J]. 资源科学, 2025, 47(6): 1278-1294. [Han X F, Li J J, Zhu C L. Inclusive green growth effects of China's artificial intelligence development[J]. Resources Science, 2025, 47(6): 1278-1294.] DOI: 10.18402/resci.2025.06.09

中国人工智能发展的包容性绿色增长效应

韩先锋¹, 李佳佳¹, 朱承亮²

(1. 昆明理工大学管理与经济学院, 昆明 650093;

2. 中国社会科学院数量经济与技术经济研究所, 北京 100732)

摘要:【目的】在经济社会绿色低碳转型日益迫切的现实背景下,探究人工智能发展对包容性绿色增长的影响及作用机制是当下亟待关注的议题。【方法】本文基于2010—2021年中国地级市面板数据,在测算包容性绿色增长水平的基础上,采用中介效应、面板门槛模型等方法实证考察了人工智能对城市包容性绿色增长的影响及内在机制。【结果】研究发现:①现阶段人工智能发展明显有利于城市包容性绿色增长,但二者之间存在典型的倒“U”型关联,即随着人工智能水平的提升,其对城市包容性绿色增长会产生“先提升后降低”的影响趋势;而当前人工智能发展水平(0.003)尚远低于理论上的最佳阈值(0.441),该结论在一系列稳健性检验后仍然成立。②在数字基础薄弱地区、非资源型城市与外围城市,人工智能对包容性绿色增长的赋能效果更为明显。③人工智能主要通过优化产业结构、驱动技术创新和累积人力资本3种渠道间接推动城市包容性绿色增长。④地方政府竞争能动态强化人工智能对城市包容性绿色增长的赋能效应,其中环境竞争表现出显著的正向“U”型强化机制,且其与经济竞争协同能更有利于释放人工智能的包容性绿色增长红利。【结论】应积极拓宽人工智能推进城市包容性绿色增长的多元传导渠道,并针对薄弱地区制定差异化扶持政策、合理引导地方竞争,以加快释放增长红利。

关键词:人工智能;包容性绿色增长;地方政府竞争;动态调节;巴蒂克工具变量;面板门槛模型;中国

DOI: 10.18402/resci.2025.06.09

1 引言

党的二十大报告指出,中国式现代化是人与自然和谐共生的现代化、全体人民共同富裕的现代化。新时代的共同富裕不仅要实现经济增长,也要促成环境友好和社会公平,是发展与共享的统一。这意味着,以追求经济稳定增长、资源环境不断向好、社会福利持续改善为宗旨的包容性绿色增长方式正是实现共同富裕的应有之义^[1]。事实上,由于现阶段资源依赖型的传统经济增长模式难以为继,各国均在迫切寻找实现经济增长、环境保护和社会包容协调发展的新动力,致力于实现兼具三者深刻内涵的包容性绿色增长^[2]。在这一迫切的转型需求

下,积极探索新技术赋能成为助力包容性绿色增长的关键。其中,作为引领新一轮科技革命和产业变革重要引擎的人工智能凭借其深度学习、智能决策及系统优化能力,不仅能精准洞悉市场需求、优化生产流程、提升资源利用效率,还可通过促进数字经济与实体经济深度融合,拓宽中小企业和创新创业者发展空间,增强社会经济活力与包容性,为城市实现包容性绿色增长提供新的动力与依托^[3]。中国政府一直高度重视人工智能发展,习近平总书记于2015年首次提出“机器人革命”,正式拉开了国内人工智能产业高速发展的序幕;2022年,卫健委等六部门公布的《关于加快场景创新以人工智能高水

收稿日期: 2024-04-02; 修订日期: 2024-08-12

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(72473059); 教育部人文社科规划基金项目(23YJA790026); 云南省基础研究计划面上项目(202401AT070393)

作者简介: 韩先锋,男,陕西商洛人,特聘教授,研究方向为绿色创新。E-mail: hanxianfeng2008@163.com

通讯作者: 朱承亮,男,安徽太湖人,研究员,研究方向为科技创新与经济发展。E-mail: zcliang100@126.com

2025年6月

平应用促进经济高质量发展的指导意见》强调,充分发挥人工智能赋能经济社会发展的作用,以推动经济高质量发展。来自国家层面的密切关注,无疑为加快人工智能在经济增长、绿色发展等领域的场景应用和融合渗透提供了重要契机,也使得如何利用好人工智能为城市包容性绿色增长“添薪蓄力”成为理论界亟待探究的重要话题。那么,人工智能是否推动了城市包容性绿色增长?如果答案是肯定的,其具体的异质性特征和作用路径是什么?客观评价人工智能对包容性绿色增长的作用,预判人工智能能否成为支撑新时代下加快城市包容性绿色增长的新引擎,对未来国家前瞻性地制定和执行相关政策具有重要的理论与现实意义。

包容性绿色增长概念起源于2012年“里约+20”峰会,首次被定义为一种强调经济增长、生态绿色、社会包容协调的新发展理念,是包容性增长与绿色增长的有机结合^[4]。目前有关包容性绿色增长的研究主要集中于3个方面:①包容性绿色增长的内涵界定。在国际上,大多学者基于发展经济学^[5]或福利经济学^[6]角度界定包容性绿色增长;在国内,周小亮等^[7]对包容性绿色增长的外延与内涵进行了较全面的界定,外延即经济、社会、生态三大系统的共生协调性,内涵是指经济发展、社会公平、环境友好等可持续增长方式;李华等^[8]则认为,包容性绿色增长作为助推中国经济发展方式转型的有效手段,涵盖创新、协调、绿色、开放、共享等多方面理念。②包容性绿色增长的测度研究。国内外文献思路较为一致,大部分学者基于数据包络分析来衡量包容性绿色增长效率高低^[3];也有学者根据包容性绿色增长的内涵构建多维指标体系进行综合测量^[4,9],但这方面的探索尚寥寥无几。③包容性绿色增长的影响因素识别。现有研究大多聚焦从经济政策不确定性^[10]、网络基础设施^[4]、外商直接投资与能源效率^[11]等角度对如何驱动包容性绿色增长展开讨论。综上,目前尚缺乏人工智能对包容性绿色增长的影响及内在机制的研究,相关理论探析仍需进一步补充和完善。

同时,本文还关注了人工智能对经济社会造成冲击的文献。最为典型的是,“机器换人”技术的兴起引发了人们对于就业岗位冲击和收入降低的担

忧,大量研究基于宏观和微观层面检验人工智能对劳动力市场的冲击效果^[12,13];此外,也有文献针对人工智能在产业协同聚集、技术创新、资本结构优化及全球价值链竞争等方面的作用展开探索^[14-17]。在传统增长方式“包容性”不强和“绿色化”缺失的情况下,人工智能影响包容性增长或绿色增长的话题也开始引起学界的关注。现有文献主要分别从致力于生态、经济系统平衡的绿色增长与强调社会、经济系统联系的包容性增长两个维度进行考察:①人工智能赋能的绿色增长效应研究。如孙早等^[18]的研究表明,工业智能化与人力资本的有机结合能转换产业功能,推动经济绿色发展;师博^[19]分析得出,人工智能可以提升全要素生产率和资源配置效率,助力中国经济绿色发展;吕越等^[20]发现,人工智能主要通过促进技术创新、增加减排设备投资以及替代低技能劳动力3条渠道实现绿色减排发展。②人工智能赋能的包容性增长效应研究。如陈东等^[21]发现,人工智能可通过促进经济增长、缩小贫富差距来驱动包容性增长;李成明等^[22]发现,城市智能化依托人工智能等数字技术刺激居民劳动参与率的提升,具有就业包容性作用。遗憾的是,已有文献大多分别研究人工智能对绿色增长或包容性增长的效应及机制,普遍忽视了包容性增长和绿色发展的内在关联性和不可分割性,尚未有文献系统构建分析框架解析人工智能是否、如何赋能城市包容性绿色增长,以及地方政府竞争在其中所扮演的角色,进而导致学界对这一重大现实问题的认识和理解仅为“冰山一角”。

鉴于此,本文在构建综合指标体系并运用熵权法测算2010—2021年中国275个地级市包容性绿色增长水平的基础上,实证检验了人工智能对城市包容性绿色增长的赋能效应及传导机制,探究人工智能赋能不同数字基础、资源禀赋、行政等级下城市的异质性表现,并进一步考察地方政府竞争调节下人工智能影响包容性绿色增长的演变规律。与既有研究相比,本文的创新性贡献如下:首先,构建综合指标体系并运用客观赋权的熵值法测算各城市包容性绿色增长指数,尝试将人工智能纳入促进包容性绿色增长的分析框架,从理论和实证层面发现并阐释了人工智能对城市包容性绿色增长影响

的倒“U”型机制,进一步探究了人工智能赋能的异质性事实;其次,从优化产业升级、驱动技术创新以及累积人力资本等多个视角出发,明晰人工智能赋能城市包容性绿色增长的传导机制,为相关研究提供有益补充;最后,客观阐释了地方政府竞争约束下人工智能赋能城市包容性绿色增长的动态演变特征,为地方政府有效破解经济增长与环境发展“现实矛盾”,妥善依托经济竞争与环境竞争联动,来协同推动城市包容性绿色增长提供了新视角和复合策略。

2 理论分析与研究假设

2.1 人工智能影响包容性绿色增长的基本机制

实现包容性绿色增长是一个全局性和系统性的复杂过程,外在约束条件变化或公共政策冲击虽均可能成为破除粗放发展方式的动因,但通常会为包容性绿色增长带来局部、短期及不连贯性冲击。这种情况下,真正有效推动经济增长绿色化与包容性转型的底层逻辑和长期动能只能是技术进步。从本质上看,人工智能本身就是信息技术不断进步的客观产物,其不仅能打破传统资源使用中的技术壁垒和信息孤岛,引导经济发展进行绿色化转型,还可通过“机器学习”以及激发配套科技创新等方式促进社会技术进步^[23]。然而,根据熊彼特“创造性破坏”理论,人工智能技术普遍使用也可能会导致社会经济主体活动的社会收益同私人收益间出现不平衡,使在动态竞争过程中具备技术和资本优势的微观个体会“领先而行”,而另一部分个体将处于被破坏状态。因此,人工智能有利于包容性绿色增长,但二者的内在关联性可能具有多样性与复杂性特征。

在人工智能应用的初级阶段,一方面,人工智能通过“人机融合”发挥人类智能、机器智能二者间的互补优势^[24],进而在深化人机协同分工的基础上释放人类创造力,提高生产和服务效率,并持续促进劳动收入份额提升,从而极大地增进人类生活福祉;另一方面,人工智能凭借其渗透性,广泛参与到传统产业部门的生产、交换、分配等各个环节,不断加速传统技术升级改造,由此快速提升国民经济生产效率和资源配置效率,进而实现减少污染物排放、改善生态环境的目的。同时,人工智能还会催生一系列新兴产业和模式,促使传统产业向高生产

率、高附加值的部门转移,从根本上优化现代产业体系,并由此为城市包容性绿色增长创造良好条件。然而,随着人工智能由导入期逐渐进入拓展期,颠覆性技术创新难度逐步增大,此时需要更大范围、更广程度的物联网、智能电网、通信基础设施以及智能化人才等互补性要素配套投入,这会在一定程度上提高资本、劳动等要素所占份额,加之偏向性技术进步也会加剧收入分配不均衡和有效消费能力不足的矛盾^[25],由此可能导致智能化资本存量的累积与互补性要素投入不足,从而导致其对包容性经济增长的冲击效果将逐渐弱化。综上所述,人工智能与城市包容性绿色增长之间并非简单的线性关系,而是体现为“先提升后降低”的双边机制。基于此,本文提出以下假设:

H1a: 人工智能有利于驱动城市包容性绿色增长。

H1b: 人工智能的积极作用呈现典型的倒“U”型关联,即随着人工智能水平的提升,其对城市包容性绿色增长会产生“先提升后降低”的影响趋势。

2.2 人工智能影响包容性绿色增长的传导机制

基于经济逻辑和现有文献,本文认为人工智能之所以能够释放包容性绿色增长红利,主要是通过优化产业结构、驱动技术创新与累积人力资本这3个渠道发挥传导作用。

(1) 产业结构优化机制。人工智能应用有利于发挥各产业部门生产要素替代、成本降低与知识创造等溢出效应,不断提高各产业部门的生产效率、资源配置效率以及产品和服务质量,进而推动产业升级和结构优化。一方面,人工智能应用有助于企业突破既有生产边界,使其持续向产业链上游延伸或向下游拓展,不断加速终端设备、产品及服务的智能化,以及技术成果的产业化和商业化,并由此快速衍生叠加出新的产业形态,从而有利于产业发展高级化;另一方面,作为一种全新的高级生产要素,人工智能可通过推动产业融合带动产业创新、技术变革,实现更高效的资源配置,不断推动全行业生产率改善,从而有利于实现产业结构趋向持续合理化发展。进一步,在产业结构优化过程中,农村剩余劳动力和城市低收入人群通常会向劳动要素报酬较高的二、三产业流动,一定程度上改善了

2025年6月

相对弱势群体的就业机会不足和收入水平低下问题,提升了劳动者在经济增长过程中共享收入水平;在此过程中,市场还将更倾向发展以技术、知识为主的密集型行业,逐步挤出以粗放型发展方式为主的高污染行业,驱动创新资源向高效率部门转移^[19],为产业绿色发展提供关键支持,从而有利于城市实现经济效益、社会效益、生态效益同步提升的包容性绿色增长^[3]。

(2)技术创新驱动机制。人工智能作为一种兼具通用性、基础性和智能性的数字技术创新,能不断改进一般技术生产方式,推动经济技术模式向更高水平迭代^[26]。一方面,人工智能应用具有非连续性技术创新特征,不仅会促进新知识的发现,而且能够将既有知识进行排列组合式创新。例如,在生产过程中,人工智能利用智能化系统,有效助力企业实现对海量数据精确地分类、预测和分析,智能识别出复杂工艺模型设计原理中存在的问题,从而提高研发创新效率、实现生产模式创新;另一方面,人工智能技术有利于加速场景创新,强化人工智能创新要素供给。例如,人工智能应用能将线上线下社交活动打造并丰富成不同情景模块内容,通过“跨界”与“深耕”提升各地技术竞争力,加速推动地区技术创新发展。进一步,技术创新有利于优化工业生产模式,推动污染加工设备更新换代,实现整个生产方式的绿色化、清洁化。伴随着企业生产过程中废气污染物排放量持续减少,生态环境质量得以明显提升,经济与环境发展更为协调,从而有助于持续推动经济高质量发展;此外,技术创新还会使得生产力社会化、机械化与数字化水平不断提高,由此逐渐改变居民的工作、生活方式,为经济体系注入大量的就业岗位与增收机会,促使更多民众共享经济发展成果^[4],由此推动经济、社会和生态的可持续发展,实现城市包容性绿色增长。

(3)人力资本累积机制。人工智能技术应用催生了社会经济对高技能劳动力的需求,而科技、信息人才正是实现包容性绿色增长的动力源泉。人工智能发展提高了地区科技竞争力和生产效率,有利于科技、信息人才自我价值的实现,从而吸引全球范围内的科技、信息人才向高人工智能技术区流入,并加快形成人力资本累积的学习效应和扩散效

应。一方面,人才集聚通过促进个体间的紧密交流与合作,极大地加速了知识、技能和经验的传播与共享,使得隐性知识得以显性化,有利于促进集体学习氛围的形成,从而产生人力资本累积的学习效应^[27]。另一方面,根据人力资本外部性理论,人力资本集聚存在明显的正外部性,尤其是高级劳动力要素集聚产生的知识溢出效应将吸引更多资源和创造更多机会,有助于增强城市影响力和竞争力,从而对更广泛的区域产生积极的辐射和带动作用,由此形成人力资本累积的扩散效应。进一步,人力资本累积有利于学习和模仿同行先进的绿色减排技术,扩大公共知识存量,驱动上下游企业进行低碳技术革新,为经济绿色增长注入活力。此外,人力资本还能显著提升全民的知识技能与创新潜能,为社会多元化发展构建坚实的人才基石^[28],促使更多人参与经济活动,共享经济增长红利,缩小贫富差距,进而最终有利于实现经济增长、社会包容和生态保护的共赢,推动城市包容性绿色增长。基于此,本文提出以下假设:

H2a:人工智能可以通过优化产业结构来赋能城市包容性绿色增长。

H2b:人工智能可以通过驱动技术创新来赋能城市包容性绿色增长。

H2c:人工智能可以通过累积人力资本来赋能城市包容性绿色增长。

2.3 政府竞争对人工智能影响城市包容性绿色增长的调节机制

基于多任务委托代理理论,当代理人面对多重任务时,代理人通常倾向投身于能实现自身利益最大化的任务。在当前经济高质量发展方式下,地方政府“代理”的经济发展和环境保护矛盾难以有效调和。长期以来,“自上而下”“层层加码”的动态经济增长竞争,使地方政府过度依赖“有形之手”主观分配资源来拉动短期经济增长,由此最终导致地方政府行为和政策短视化^[29]。随着粗放式发展对环境的破坏愈演愈烈,国家“十一五”规划明确提出将节能减排作为必须完成的“强约束性指标”,地方官员政绩考核和治理体系逐步过渡为由环境绩效和经济绩效共同决定的复合型考核模式,这自然而然会引发政绩考核下的地方竞争,而地方政府间竞争态

势又会直接影响到地方政府行为选择,进而决定其对各种利益冲突的协调取向。在此背景下,地方政府往往依托“有形的手”专注服务于特定时期需要完成的绩效目标^[30],由此引发的环境和经济层面的“二维竞争”行为将可能直接影响到人工智能对城市包容性绿色增长的作用效果。

在宽松的环境竞争下,高经济增长目标能有效为早期经济的快速增长累积物质基础,加之较为薄弱的发展基础,使地方政府在促使经济发展形势向好和完善社会保障体系等方面往往能取得明显成效;而处于初级发展阶段的经济结构调整、生态环境保护的改善空间也相对较大,从而使得环境竞争会对人工智能的包容性绿色增长效应产生明显的积极影响。随着环境竞争强度的逐步提升,经济发展开始迈入粗放型增长阶段,此时的经济增长速度较高,环境治理压力日益增大。这种情况下,地方竞争通常会陷入环境保护与经济增长难以权衡,甚至相互干扰的现实窘境,由此不可避免地造成了环境竞争一定程度上迟滞经济快速增长^[31],而经济快速增长亦会产生更多环境问题的矛盾。因此,由于地方二维竞争强度相当的“正”“反”两方面作用力持续对冲,反而导致此时人工智能赋能城市包容性绿色增长的积极作用变得相对有限。随着环境竞争愈来愈激烈,经济发展通常已开始逐步步入集约型发展阶段,由于短期经济行为会受到环境约束的钳制,使得地方开始挤出辖区内现有污染密集型产业,并倾向于对本地区企业进行技术改进和创新补贴,此举有利于推动长期内的绿色创新和产业结构升级;而也正是由于前期物质资本的充分积累,地方在社会保障、经济质量改善方面亦可有较大的作为,从而使得此时环境竞争的积极调节作用又开始增强。

另外,随着经济增长方式由高速增长向高质量发展转变,地方政府开始面临新的“为增长而竞争”和“为生态而竞争”的双重考核约束。地方只有统筹兼顾环境竞争与经济竞争,方能有效为激发人工智能的驱动效能提供支撑。相较于环境竞争的单边调节,环境竞争与经济竞争协同能更好地平衡保护与增长过程中“鱼与熊掌不可兼得”的矛盾,从而表现出更为明显的正向调节效果。具体表现为:一方面,二维竞争协同有助于缓解地方政府官员因竞

相超额完成经济增长目标而滋生的经济竞争压力,遏制政府官员单纯为完成增长目标而盲目上马低效益、高污染的投资项目或者与现实需求相悖的政绩工程等短视行为,极大地改善各类资源的扭曲错配,并持续提升有限资源的使用效率;另一方面,二维竞争协同还能有效降低地方对要素驱动路径的依赖和对要素市场的干预,使其高度重视人工智能等新一代信息技术对社会经济绿色化、高端化发展的战略引领作用,并有动力将有限的资源持续投入培育创新动力、保护生态环境、改善社会民生等方面^[32],以不断协同提升经济、生态以及社会效益,从而有利于推动城市包容性绿色增长。基于此,随着人工智能和包容性绿色增长等持续动态演变,地方政府竞争对人工智能驱动城市包容性绿色增长的调节广度和深度都在不断发生变化,最终可能使不同地方政府竞争模式下人工智能发展的包容性绿色增长机制并非简单线性关联,而是具有复杂的动态非线性特征。基于此,本文提出以下假说:

H3a: 地方政府的环境与经济二维竞争能动态强化人工智能对城市包容性绿色增长的赋能效应。

H3b: 环境竞争表现出人工智能对城市包容性绿色增长的正向“U”型强化机制。

H3c: 相较于环境竞争的单边调节,环境竞争与经济竞争协同更有利于释放人工智能的包容性绿色增长红利。

3 研究方法 with 数据

3.1 基准模型

为检验上述研究假设,针对基本作用机制构建如下的基本模型:

$$IG_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 AI_{it} + \beta_j X_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$IG_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 AI_{it} + \alpha_2 AI_{it}^2 + \beta_j X_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中: IG_{it} 为被解释变量,表示*i*城市*t*年份的包容性绿色增长; AI_{it} 为核心解释变量,表示人工智能发展水平; α_1 为人工智能的估计系数,系数大小及方向反映了人工智能发展对城市包容性绿色增长的具体影响; α_0 为常数项; X_{it} 为一系列控制变量; β_j 为控制变量的估计系数; μ_i 为地区固定效应; v_t 为时间固定效应; ε_{it} 为随机扰动项。在式(2)中,将 AI_{it} 的平方项纳入回归模型中进行考察; α_2 为二次项系数;如果 α_1 显著且为正, α_2 显著且为负,表明人工智能与城市包

2025年6月

容性绿色增长呈现倒“U”型关系。

3.2 门槛回归模型

为深入揭示人工智能赋能包容性绿色增长的异质约束机制,进一步从地方政府二维竞争视角进行考察,以阐释不同维度地方政府竞争下人工智能发展赋能城市包容性绿色增长的内在异质非线性调节规律,在式(1)基础上构建调节模型如下:

$$IG_{it} = \beta_0 + \beta_1 AI_{it} \times I(Lc_{it} \leq \gamma) + \beta_2 AI_{it} \times I(Lc_{it} > \gamma) + \theta_j X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中: Lc_{it} 为地方政府二维竞争的门槛变量; $I(\cdot)$ 表示取值为1或者0的指示函数; γ 为待估计的门槛值; β_0 为常数项; β_1 和 β_2 分别为在不同门槛区间下,人工智能发展对城市包容性绿色增长的影响系数; θ_j 为控制变量的估计系数。考虑到样本可能存在多个门槛,这里对模型(3)扩充至多门槛情形:

$$IG_{it} = \beta_0 + \beta_1 AI_{it} \times I(Lc_{it} \leq \gamma_1) + \beta_2 AI_{it} \times I(Lc_{it} > \gamma_1) + \dots + \beta_{2n-1} AI_{it} \times I(Lc_{it} \leq \gamma_n) + \beta_{2n} AI_{it} \times I(Lc_{it} > \gamma_n) + \theta_j X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

3.3 变量设置和说明

(1)被解释变量:城市包容性绿色增长(IG)。参考周小亮等^[7]、张涛等^[4]相关研究的共同性与差异性,本文认为,包容性绿色增长测度是一个涵盖“包容性”和“绿色化”的复杂系统问题,涉及经济、民生、社会、生态和资源等多个方面。具体而言,拟从经济增长、收入分配、社会公平和环保减排4个维度构建综合评价指标体系,以构造城市包容性绿色增长指数:①经济增长。参考张涛等^[4]、周小亮等^[7]、吴武林等^[9]的研究,基于人均GDP、GDP增长率、第二产业比重和第三产业比重来衡量经济增长,以反映出经济增长的量和质;②收入分配。从城镇居民人均可支配收入、农村居民人均纯收入这两个绝对收入维度,以及城乡居民人均收入比这一相对收入维度来衡量收入分配,可以准确反映收入分配能否公平、有效地惠及城市和农村居民;③社会公平。选用每百人公共图书馆藏书、博物馆数、体育场馆数、医院和卫生院床位数、城镇职工基本养老保险参保人数、城镇基本医疗保险参保人数和失业保险参保人数来衡量社会公平,这反映了教育资源、文化资

源、体育资源、医疗卫生资源和社会保障制度等方面资源配置的公平性和可及性,是实现社会公平的重要基础。④环保减排。水、大气、固体废物作为环保治理的核心主体,因此,从工业废水排放量、工业废水排放达标量、 $PM_{2.5}$ 浓度、碳排放量、生活垃圾无害化处理率、工业固体废物综合利用率以及污水处理厂集中处理率来衡量环保减排。本文利用熵权法对指标权重进行设定和测度,最终得到各城市包容性绿色增长的量化指数,见表1。

表1 城市包容性绿色增长指标测度体系

Table 1 Measurement system for urban inclusive green growth indicators

二级指标	三级指标	性质	单位
经济增长	人均GDP	+	元/人
	GDP增长率	+	%
	第二产业比重	-	%
	第三产业比重	+	%
收入分配	城镇居民人均可支配收入	+	元/人
	农村居民人均纯收入	+	元/人
	城乡居民人均收入比	-	—
社会公平	每百人公共图书馆藏书	+	册/百人
	博物馆数	+	个
	体育场馆数	+	个
	医院、卫生院床位数	+	张
	城镇职工基本养老保险参保人数	+	人
	城镇基本医疗保险参保人数	+	人
	失业保险参保人数	+	人
	失业保险参保人数	+	人
环保减排	工业废水排放量	-	t
	工业废水排放达标量	+	t
	$PM_{2.5}$ 浓度	-	$\mu g/m^3$
	碳排放量	-	t
	生活垃圾无害化处理率	+	%
	工业固体废物综合利用率	+	%
	污水处理厂集中处理率	+	%

(2)核心解释变量:人工智能发展水平(AI)。借鉴黄志等^[33]的研究,采用人工智能专利(以申请日为准),即人工智能专利申请数来衡量人工智能发展水平,具体以“人工智能 OR ai”为关键词,在Patenthub(专利汇)数据库中,使用高级检索申请号合并功能,剔除重复数据,检索时结合使用布尔运算符(如AND、OR)来精确控制检索结果。例如,使用‘addr:①“某某省某某市”AND(“人工智能”OR“ai”)’

① addr字段用于结合布尔运算符(如AND、OR、NOT)来构建检索表达式,以精确查找特定地址范围内的专利信息。

来确保检索结果既不包含重复专利又限定在一定地级市辖区内,最终手工整理得到2010—2021年中国275个地级市人工智能专利申请数(万件)。同时,为增强研究结论的可靠性,本文还采用人工智能专利数(以公告日为准),即当年获得公开的人工智能专利数(万件)作为稳健性检验指标。

(3)机制变量:产业结构(Ts)、技术创新(Ti)与人力资本(Hc)。对于产业结构(Ts),根据克拉克定律,采用第三产业产值与第二产业产值之比来刻画;对于技术创新(Ti),选取《中国城市和产业创新能力报告》的创新指数加1取对数来衡量;人力资本(Hc),借鉴白俊红等^[34]的研究,选用科研、信息从业人员占总就业人员比重来衡量。

(4)调节变量:地方政府二维竞争(Lc)。基于环境竞争和经济竞争两个维度来考察地方竞争。对于环境竞争,参照胡光旗等^[35]的做法,采用地级市 $PM_{2.5}$ 年均浓度的同比下降率($PM_decline$)来衡量,其数值越小,表明环境竞争程度越高,相应的环境竞争亦越激烈;反之,则越宽松。对于经济竞争,选择经济增长预期目标(Mb)作为经济竞争的代理变量,参考熊家财等^[36]的做法,收集2010—2021年各地级市政府工作报告所披露的经济增长目标。此外,对于个别地级市只报告五年规划增长目标的情况,这里以五年规划的增长目标来代替。

(5)控制变量:①外商直接投资(Fdi),采用外商直接投资额占实际GDP比重来衡量;②科技支出占比(Tei),选用地方政府科技支出占实际GDP比重来体现;③市场化程度(Mar),选用樊纲市场化指数的对数来衡量;④环境规制(Er),采用实际GDP/能源消费总量作为环境规制的替代变量来体现;⑤基础设施水平(Il),以人均道路面积取对数来表征。

3.4 数据来源

本文选取中国275个城市层面2010—2021年样本数据(因数据缺失未包含西藏自治区和港澳台地区)。 $PM_{2.5}$ 数据来自达尔豪斯大学大气成分分析组,包容性绿色增长、相关机制变量及控制变量的原始数据均来自《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国城市和产业创新能力报告》,部分缺失数据采用插值法补齐处理。此外,为消除价格的影响,地区生产总值按2006年为

基期进行不变价处理。

4 结果与分析

4.1 基本机制检验

表2报告了对H1a、H1b检验的实证结果。其中,列(1)是关于人工智能与城市包容性绿色增长关系的基准回归结果,可知人工智能发展水平每增加1%,城市包容性绿色增长水平将上升0.270%,表明人工智能对城市包容性绿色增长产生了显著的积极影响。进一步地,列(2)–(4)在列(1)的基础上加入人工智能平方项(其中,列(2)为时间、地区效应均未固定,列(3)只固定地区效应,列(4)为时间、地区效应均固定),可以看出在逐步控制时间与地区固定效应的过程中,人工智能一次项系数在方向上和显著性上与基准回归基本保持一致,二次项系数在1%水平上均显著为负,意味着人工智能发展对城市包容性绿色增长的积极影响呈现“先提升后下降”的倒“U”型关系。由表2列(4)可知,外商直接投资、科技支出占比和环境规制均与城市包容性绿色增长存在正相关关系,且至少在5%水平上保持显著,说明吸引外来资本投资、提高科技经费支出和加大环保力度对于推动城市包容性绿色增长至关重要;而市场化程度和基础设施水平的系数均显著为负,这意味着政府宏观调控介入程度越小、市场化程度越高、人均道路面积越大,越不利于城市包容性绿色增长。上述结果表明,在考虑控制变量后,人工智能与城市包容性绿色增长的倒“U”型关系依然显著存在,初步验证了假说H1a、H1b。由于以二次项形式判断非线性关系容易造成极值点识别误差,这里进一步检验拐点两侧区间是否存在相反的单调性。结果表明,人工智能发展水平区间为(0.000, 0.642),拐点为0.441,左侧区间斜率显著为0.345,右侧区间斜率为-0.158且在1%水平上显著,这充分表明,人工智能与城市包容性绿色增长确实呈现倒“U”型非线性关联,具体来说,当人工智能发展水平处于临界值(0.441)前时,其对包容性绿色增长形成显著的正向驱动效应;而一旦突破该阈值,随着人工智能应用规模扩大与程度加深,其边际效应呈现递减趋势,其对城市包容性绿色增长的积极作用逐渐弱化。之所以存在倒“U”型作用机制,原因可能在于:在以人工智能为代表的智能化

2025年6月

表2 人工智能对城市包容性绿色增长的基本机制

Table 2 Basic mechanisms of artificial intelligence's impact on urban inclusive green growth

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
<i>AI</i>	0.270*** (6.68)	2.807*** (10.51)	0.670*** (10.51)	0.606*** (9.83)	0.151*** (3.07)	0.375*** (3.38)	0.790*** (10.21)	-0.304*** (-4.58)
<i>AI</i> ²		-3.996*** (-6.53)	-0.787*** (-5.95)	-0.690*** (-5.84)	-0.283*** (-3.07)	-0.420** (-2.13)	-0.907*** (-5.97)	0.442*** (3.87)
<i>Fdi</i>	0.030** (2.01)	0.309*** (7.50)	0.024 (1.59)	0.040*** (2.63)	0.077*** (2.68)	0.091*** (2.72)	0.031* (1.84)	0.054** (2.23)
<i>Tei</i>	0.428*** (2.83)	1.547*** (3.55)	0.402** (2.44)	0.263** (2.48)	0.320** (1.99)	0.800*** (3.30)	0.290** (2.31)	-0.196 (-1.37)
<i>Mar</i>	-0.016*** (-4.03)	0.018*** (6.28)	0.055*** (30.49)	-0.013*** (-3.33)	-0.014 (-1.63)	0.016 (1.39)	-0.014*** (-3.18)	-0.016 (-1.36)
<i>Er</i>	0.002*** (6.32)	0.001 (0.97)	0.002*** (6.57)	0.002*** (5.48)	0.005*** (7.47)	0.004*** (4.48)	0.002*** (4.64)	-0.001 (-1.05)
<i>Il</i>	-0.004*** (-4.60)	0.003 (1.56)	0.001 (1.07)	-0.003*** (-3.47)	0.005*** (2.77)	-0.005** (-2.50)	-0.003*** (-3.02)	-0.004** (-2.20)
常数项	0.121*** (12.39)	0.006 (0.81)	-0.066*** (-20.24)	0.111*** (11.82)	0.241*** (11.31)	0.217*** (7.56)	0.087*** (8.26)	0.193*** (5.93)
时间固定	是	否	否	是	是	是	是	是
地区固定	是	否	是	是	是	是	是	是
<i>N</i>	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
<i>R</i> ²	0.966	0.528	0.964	0.969	0.928	0.965	0.959	0.929
<i>F</i>	30.75	110.88	460.53	34.21	16.04	13.44	34.29	4.21

注: *、**、***分别表示在10%、5%和1%的显著性水平上拒绝原假设;括号内数值表示*t*统计量。下同(不含表7)。

革命初期,人工智能能够快速“拥抱”实体经济,加快推动制造业生产方式数字化、网络化协同步伐,有助于防止产能过剩和环境污染,提高资源利用率,从而为城市包容性绿色增长提供新的可能;而从长期来看,随着人工智能技术的成熟,需要更多的生产要素来有效支撑其发展,而资源的过度占用可能会挤压包容性绿色增长的发展空间。事实上,通过对城市人工智能样本数据的统计与对比可知,人工智能发展水平拐点值0.441远高于其考察期内平均水平0.003,可见当前我国人工智能仍处于缓慢发展的“爬坡”阶段,国家需要进行顶层设计并大力加快人工智能发展,从而为推动城市包容性绿色增长注入新动力。

为探究人工智能究竟对包容性绿色增长哪个维度产生了更为深刻的冲击,这里进一步讨论人工智能对包容性绿色增长各分维度指标的具体影响,基于经济增长、收入分配、社会公平以及环保减排的回归结果依次见表2列(5)–(8)。据此可知,人工

智能与经济增长、收入分配、社会公平之间均呈现出倒“U”型关系,这一现象与包容性绿色增长的情况保持一致。而其对环保减排却呈现出“U”型关系,这意味着人工智能对环保减排具有一定的积极作用,但这种正向冲击随着人工智能的发展呈现先弱化后增强的趋势。产生该现象的原因可能在于,早期人工智能发展需要一定的能源消耗与原材料开采,这不仅会无形中增加企业环境成本,又受制于红利优势难以快速形成,可能使得短期内人工智能对环保减排的赋能效果尚不够明显;随着人工智能的深入发展,其能不断外延拓展组织边界,持续降低绿色活动边界的模糊性,引导全域全链充分释放数据要素、智能技术的潜在价值,为经济增长、收入分配、社会公平以及环保减排带来质量变革、动力变革,从而使得长期内人工智能会对环保减排产生积极影响。

4.2 稳健性检验

为验证前文结果的稳健性,本文从替换解释变

量、改变研究样本、调整研究时限、剔除异常值影响4个方面考虑估计结果的稳健性,具体结果见表3。

(1)替换解释变量。以当年获得公开的人工智能专利数替换当年人工智能专利申请数,重新进行检验。基于表3列(1)可知,人工智能显著有利于推动城市包容性绿色增长,且二者间的倒“U”型关联并未发生根本变化,证实了基准结论的可靠性。

(2)改变研究样本。从275个地级市中剔除人工智能发展基础较差的5个自治州,同时剔除人工智能发展基础较好的4个直辖市,保留其他城市样本进行回归分析。由表3列(2)可知,人工智能一次项、二次项系数显著性与基准回归完全一致,基准结论可靠。

(3)调整研究时限。2017年国务院发布了《新一代人工智能发展规划》,明确了我国在2030年成为人工智能科技强国的宏伟目标,这为我国人工智能产业的发展提供了政策保障。为保证政策影响前后的时区对称性和集中性,将研究时限调整到规划发布的前后4年,具体以2013—2021年的所有城市样本进行回归分析。基于表3列(3)可以发现,在改变时间区间后,人工智能赋能的弹性系数下降至0.513且通过了1%显著性检验,基准结论稳健。

(4)剔除异常值影响。将基准回归中的被解释变量和所有控制变量均进行了1%、99%分位点的缩尾处理并进行重新回归。由表3列(4)可以发现,剔除样本异常值后,人工智能系数方向和显著性与基准回归并无明显差别,基准结论稳健。

4.3 内生性检验

为进一步识别二者间的因果关系,采用解释变量和所有控制变量滞后一期、巴蒂克(Bartik)工具变量回归以及Heckman两阶段模型3种方法进行内生性检验,具体结果见表4。

(1)解释变量和所有控制变量滞后一期。将除被解释变量之外的所有变量进行滞后一期处理,结果如表4列(1)所示。人工智能一次项系数依然显著为正,二次项系数依然显著为负,结果强化了本文结论。同时,人工智能一次项系数由基准模型的0.270上升至0.827,也表明人工智能对城市包容性绿色增长的影响具有鲜明的持续性特征。

(2)巴蒂克(Bartik)工具变量回归。基于份额移动法构造Bartik工具变量(IV)^[23]。一方面,全国人工智能专利变化率与城市经济增长是独立的,可被视为一个独立因素来影响人工智能专利的变化,因而满足外生性要求。另一方面,初始变量的预测值与本地人工智能技术进步之间存在紧密相关性,预测值可以用于解释本地人工智能技术的进步情况,能进一步支持研究的有效性。结果见表4列(2)、(3),可知Bartik工具变量均通过了不可识别检验和弱工具变量检验,在第一阶段,工具变量对人工智能的回归系数显著为正;在第二阶段,人工智能的一次项和平方项系数分别显著为正和为负,即人工智能对城市包容性绿色增长的积极影响及其潜在的倒“U”影响趋势是显著存在的。

(3)Heckman两阶段模型。使用Heckman两阶

表3 稳健性检验

Table 3 Robustness tests

变量	(1)替换被解释变量	(2)改变研究样本	(3)调整研究时限	(4)剔除异常值
AI	0.705*** (9.20)	0.656*** (7.33)	0.513*** (8.13)	0.298*** (5.08)
AI^2	-0.950*** (-6.17)	-0.950*** (-5.40)	-0.673*** (-4.90)	-0.517*** (-5.18)
常数项	0.112*** (11.83)	0.106*** (10.41)	0.099*** (6.54)	0.120*** (12.42)
控制变量	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是
地区固定	是	是	是	是
N	3300	2940	2475	3300
R^2	0.968	0.956	0.975	0.965
F	31.29	20.45	29.31	26.73

表4 内生性检验

Table 4 Endogeneity tests

变量	(1)滞后一期	Bartik IV		(4)Heckman 两阶段法
		(2)第一阶段	(3)第二阶段	
Bartik IV		0.438*** (12.49)		
AI	0.827*** (9.46)		0.590*** (6.00)	2.926*** (3.01)
AI ²	-1.348*** (-7.18)		-0.683*** (-3.91)	-3.427*** (-2.97)
常数项	0.114*** (11.13)	0.019*** (2.95)	0.346*** (22.95)	0.118*** (10.17)
Kleibergen-Paap rk LM			7.834***	
Kleibergen-Paap Wald rk F			155.952	
IMR				7.161** (2.38)
控制变量	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是
地区固定	是	是	是	是
N	3025	3025	3025	3300
R ²	0.970		0.970	0.969
F	25.94		334.87	33.30

段法以解决样本选择偏误问题,通过构建影响人工智能发展的Probit模型,计算得到逆米尔斯比率(Inverse Mill's Ratio, IMR),并将其作为控制变量引入到式(2)进行回归估计。表4列(4)展示了Heckman两阶段模型的实证结果,从中可以看出人工智能一次项的系数在1%水平上显著为正,且其二次项系数显著为负,说明在控制样本选择偏差可能带来的内生性问题之后,核心结论依然成立。

4.4 异质性检验

本文从3个方面进行异质性检验,结果见表5。

4.4.1 数字基础异质性

作为一种新经济形态,数字经济以数据信息作为关键生产要素,以数字技术作为主要技术支撑,通过与实体经济深度融合来实现经济价值与社会效益的倍增效应。不同的数字经济发展基础亦可能会造成人工智能赋能城市包容性绿色增长的效果存在差异。这里参考《中国数字经济发展白皮书(2021)》,以数字经济规模一万亿元为临界点将城市数字基础分为高水平组和低水平组分别进行回归。表5列(1)和(2)结果表明,人工智能对高水平组和低水平组城市包容性绿色增长的赋能效果均

在1%水平上显著为正,但对低水平组的回归系数(1.133)远高于高水平组的回归系数(0.558),这意味着人工智能对数字基础薄弱地区的包容性绿色增长表现出更强的赋能效果。可能原因在于:数字基础薄弱地区在引入人工智能技术时,由于前期技术积累较少,新技术带来的边际效益通常更为显著,能够迅速提升生产效率和创新能力,从而更显著地激发人工智能赋能的后发优势,明显促进城市经济包容化、绿色化发展。

4.4.2 资源禀赋异质性

城市资源禀赋会作用于经济主体的资源利用效率及产业结构,进而影响该城市的包容性绿色增长。本文依据《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》,将全部样本划分为资源型城市与非资源型城市,来考察人工智能对城市包容性增长的异质性影响。表5列(3)和(4)结果表明,人工智能发展对非资源型城市包容性绿色增长的影响呈现出“先上升后下降”的非线性特征,这与全国层面是一致的;而对资源型城市的影响并不显著。可能的原因在于:依托自然资源为主导产业的资源型城市,其产业路径依赖严重且经济结构单一,这不

表5 异质性检验

Table 5 Heterogeneity tests

变量	数字基础		资源禀赋		行政等级	
	(1)高水平	(2)低水平	(3)资源型	(4)非资源型	(5)中心城市	(6)外围城市
AI	0.558*** (9.08)	1.133*** (3.88)	2.515 (1.53)	0.580*** (9.48)	0.444*** (5.87)	0.605*** (5.37)
AI^2	-0.619*** (-5.44)	-2.946 (-0.83)	-132.330 (-0.26)	-0.654*** (-5.66)	-0.430*** (-4.18)	-0.770*** (-4.36)
常数项	0.081*** (5.24)	0.108*** (9.25)	0.097*** (8.27)	0.113*** (8.19)	0.173*** (4.41)	0.099*** (10.62)
控制变量	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是
地区固定	是	是	是	是	是	是
N	1860	1440	1308	1992	360	2940
R^2	0.971	0.956	0.898	0.972	0.977	0.947
F	28.36	13.02	10.39	29.70	55.06	14.47

仅导致就业结构的单一进而影响人民生活福祉,还会导致因矿产资源过度开采对生态环境造成严重破坏。当人工智能发展与产业融合不足时,难以有效推动固有产业结构与经济发展模式转型升级。而非资源型城市受经济发展惯性制约较小,产业发展模式较为灵活,更容易激发人工智能发展的城市包容性绿色增长效应。

4.4.3 行政等级异质性

通常来说,与外围城市相比,中心城市大多具有较高的行政级别,享有更多政策制定和资源分配方面的话语权和决策权。这种差异会进一步导致城市包容性绿色增长的较大异质性。将全体样本分为中心城市(直辖市和副省级城市)和外围城市(一般地级市),来探讨人工智能对不同行政级别城市包容性绿色增长的影响差异,根据表5列(5)和(6)的估计结果可知,人工智能对外围城市和中心城市的包容性绿色增长效应均显著,且对外围城市的赋能效果更明显。可能的原因在于:外围城市作为国内大循环最重要的底层支撑,在畅通国内大循环、加速城镇高速发展和新型城镇化过程中,生产要素也依据比较优势由中心城市向外围城市转移;另外,人工智能可充分发挥外围城市成本优势,实现优势集群的创新引领,从而促进区域“经济-社会-生态”三者协同发展,在一定程度上为释放外围城市经济增长潜力和社会红利结构带来了机遇,从

而更有利于驱动该地区包容性绿色增长。

5 进一步分析

5.1 人工智能赋能的传导机制检验

本文参考江艇^[37]的观点,从3个方面进行传导机制检验。具体分析结果见表6。

5.1.1 产业结构优化机制

由表6列(1)可知,人工智能对产业结构优化的估计系数为1.108,且在1%的水平上显著,表明人工智能发展能显著地优化产业结构。作为新工业革命中突破性技术创新,人工智能发展为产业转型升级奠定坚实的技术基础,有力地推动了传统产业智能改造升级、培育新兴产业发展以及引领产业跨越式发展。此外,产业结构升级作为经济结构调整的重要任务,是转变经济增长方式和实现经济集约化发展的主要途径。产业结构的优化有利于提高各种要素资源的配置效率和产出效率,减少生产过程的环境污染和资源浪费,推动就业结构更加合理,从而促进包容性绿色增长。因此,优化产业结构有助于实现地区包容性绿色增长,即优化产业结构是人工智能赋能城市包容性绿色增长的重要中介。

5.1.2 技术创新驱动机制

由表6列(2)可知,从技术创新驱动的回归结果来看,人工智能发展水平每提高1%,技术创新水平提高0.972%,即人工智能可以显著推动一般技术创新能力改善。根据内生增长理论,技术创新会变革

2025年6月

表6 传导机制检验

Table 6 Tests of transmission mechanisms

变量	(1)产业结构优化	(2)技术创新驱动	(3)人力资本累积
<i>AI</i>	1.108*** (3.01)	0.972*** (2.85)	0.148*** (5.77)
常数项	0.063 (0.22)	3.920*** (11.10)	0.047*** (5.46)
控制变量	是	是	是
时间固定	是	是	是
地区固定	是	是	是
<i>N</i>	3300	3300	3300
<i>R</i> ²	0.874	0.969	0.866
<i>F</i>	14.55	40.36	16.74

经济生产组织方式,催生新经济,带来经济规模的扩大和经济结构的演进,释放出极大的增长潜能,并提升地方政府财政收入水平、加速基础设施建设和城市化进程,由此实现多渠道为低收入群体的收入赋能,提升经济发展成果共享水平;同时,技术创新也有益于污染物的集中治理,构建循环经济体系,提升资源配置效率和绿色经济发展水平,从而推动城市包容性绿色增长。因此,人工智能可以通过驱动一般技术创新最终实现城市包容性绿色增长。

5.1.3 人力资本累积机制

由表6列(3)可知,人工智能对人力资本累积的估计系数显著为正,证明人工智能可有效加速人力资本累积。此外,高素质的人力资本对新知识的吸收、消化和运用的能力强,更有利于充分发挥人力资本的外部溢出效应,从而能在较大程度上创新管理模式、改良升级绿色生产工艺;此外,人力资本累积还有助于推动产业由劳动和资本密集型转向技术和知识密集型,据此更有助于发挥人口红利优势、形成新的经济增长极;并且,人力资本的集中不仅能促进经济发展,降低社会成本,还可以增强企业家创造和改造环境的能力,增进社会福祉。因此,人工智能可通过人力资本累积来推动城市包容性绿色增长。

综上所述,人工智能能通过优化产业结构、驱动技术创新与累积人力资本3条渠道,最终实现城市包容性绿色增长,故假设H2a、H2b、H2c得以验证。

5.2 地方政府竞争的调节机制检验

基于全国层面对地方政府竞争下人工智能与城市包容性绿色增长之间的门槛关联进行考察。基于Bootstrap *P* 值来判断地方政府竞争效应的存在性,具体的Bootstrap *P* 值可依据Hansen^[38]提出的“自举法”并重叠模拟似然比检验统计量300次得到。表7反映了在纳入控制变量的情形下分别以环境竞争、环境竞争与经济竞争二者协同为门槛变量的检验结果。检验发现,当以环境竞争或二者协同为门槛变量时,均可得到以下结论:在全国层面,*F* 统计量无论是在单一门槛还是双重门槛中,均通过了1%的显著性检验,故模型均存在两个门槛值;同时,为尽可能增强基本结论的稳健性,并较好地克服非线性模型的内生性问题,这里还采取替换解释变量的做法,以人工智能专利数(以公告日为准)为替代指标进行稳健性检验。结果表明,人工智能变量均依次通过了单一、双重面板门槛检验,佐证了存在双重门槛效应,表明采用双重面板门槛数据模型探究地方政府二维竞争下人工智能对城市包容性绿色增长的非线性影响是合理的。具体门槛分析结果见表8。由表8可知,人工智能赋能城市包容性绿色增长的异质非线性调节机制明显存在。具体表现如下:

(1)人工智能赋能城市包容性绿色增长的环境竞争门槛值依次为0.021、0.147。当环境竞争强度值低于第一门槛值0.021时,人工智能赋能的弹性系数为0.642且显著,表明在第一门槛区间内人工智能对城市包容性绿色增长产生了显著的积极影响;当环境竞争强度值介于0.021与0.147之间时,

表7 各门槛变量检验结果

Table 7 Test results of different threshold variables

门槛变量	门槛	全国	稳健性检验
环境竞争	单一门槛	89.939*** (0.000)	142.329** (0.000)
	双重门槛	75.698*** (0.000)	117.672*** (0.000)
环境竞争× 经济竞争	单一门槛	90.280*** (0.000)	142.786*** (0.000)
	双重门槛	204.083*** (0.000)	154.680*** (0.000)

注:括号内数值为*P*值。

表8 不同约束条件下的门槛估计结果

Table 8 Threshold estimation results under different constraints

门槛变量	基准门槛模型		稳健性检验	
	门槛区间	估计系数	门槛区间	估计系数
环境竞争	$Lc < 0.021$	0.642*** (24.13)	$Lc < 0.021$	1.081*** (26.62)
	$0.021 \leq Lc < 0.147$	0.332*** (13.19)	$0.021 \leq Lc < 0.057$	0.379*** (11.32)
	$Lc \geq 0.147$	2.668*** (9.63)	$Lc \geq 0.057$	3.316*** (11.91)
	$Lc < 0.001$	0.723*** (28.08)	$Lc < 0.001$	1.104*** (29.03)
	$0.001 \leq Lc < 0.006$	0.397*** (16.28)	$0.001 \leq Lc < 0.006$	0.417*** (13.33)
	$Lc \geq 0.006$	3.530*** (15.61)	$Lc \geq 0.006$	5.249*** (13.11)

人工智能估计系数为0.332且通过了1%的显著性水平检验,表明人工智能发展的包容性绿色增长效应在第二门槛区间有所减弱;当环境竞争强度下降至0.147时,人工智能的边际贡献系数增大至2.668且显著,此区间内最有利于发挥人工智能对包容性绿色增长的赋能效应。不难发现,随着环境规制的日趋严厉,较激烈的环境竞争更有利于实现人工智能与地区包容性绿色增长的协调发展。因此,在环境竞争门槛约束下,人工智能对城市包容性绿色增长的影响存在显著的正向先抑后扬的“U”型调节特征,即在较宽松或者较激烈的环境竞争调节下会加速人工智能的覆盖和渗透效果,使其在一定程度上强化人工智能的整体赋能效应。可能的原因在于:①在环境竞争较为宽松时,政府和企业承担的环境治理压力均较低,能以较低的环境成本进行企业扩大再生产规模,提高规模效率,从而能明显释放人工智能对包容性绿色增长的赋能红利。②当环境竞争强度进一步提高、经济竞争仍占据主导地位时,政府为实现短期经济绩效,极易发生环境治理过程中的“逐底竞争”行为,以致放松对企业的环保整治力度,致使企业抱有较大的侥幸和投机心理,使其更多依赖简单的末端环境治理来表面上满足规制要求,不会积极开展实质性研发创新活动。这种“治标不治本”的行为虽然使企业个体获得短期利益,但不利于整个社会的绿色技术创新进步,从而会导致人工智能对城市包容性绿色增长的积极

作用开始减弱。③随着环境竞争执行严厉程度进一步增加,“强约束”的环境保护倒逼地方不得不摒弃“短视”行为,此时地方间的环境竞争迫使企业加大对污染处理和生态保护的支出,而企业通过发展绿色技术、提高能源利用率、拓展绿色产业,能在保护生态的同时实现经济发展结构转型,从而进一步提升人工智能赋能的包容性绿色增长效应。

(2)人工智能对城市包容性绿色增长影响的环境竞争与经济竞争二者协同约束的门槛值依次为0.001、0.006,与环境竞争调节下的非线性调节特征相似,即随着二维竞争协同水平提高,人工智能对城市包容性绿色增长的赋能效应是先下降后上升,尤其是较高的环境竞争与经济竞争协同更有利于释放人工智能对城市包容性绿色增长的赋能红利。具体表现为:当环境竞争与经济竞争协同水平值低于第一门槛值0.001时,其对人工智能发展水平的弹性系数为0.723且显著,表明在第一门槛区间内人工智能对城市包容性绿色增长产生显著积极影响;当协同效应水平值趋于第二门槛区间[0.001, 0.006)时,人工智能对城市包容性绿色增长的回归系数变为0.397且依然显著,但系数绝对值有所减小,表明此调节区间下人工智能赋能城市包容性绿色增长的红利有所损失;当协同水平值提升至0.006时,人工智能的作用系数为3.530且显著,系数绝对值增大,表明此时人工智能发展对城市包容性绿色增长的积极影响又开始增强。

2025年6月

进一步观察可知,环境竞争和经济竞争协同效应下的门槛系数,在每一门槛区间内均大于环境竞争单边效应的门槛系数,即表现出更强的正向效应,一定程度上可印证两者协同有利于强化人工智能发展对城市包容性绿色增长的积极作用。究其原因可能是:进入绿色化、低碳化的高质量发展阶段,环境治理的“硬约束”与经济增长的“软约束”并驾齐驱,推动我国经济结构由粗放型向集约型转变,在减少污染物排放、促进绿色资源有效利用,以及培育新经济增长点等方面共同发力,从而有利于实现经济增长包容化和绿色化。因此,统筹环境竞争与经济竞争更能激励人工智能赋能,最终呈现出“ $1+1>2$ ”的协同效果。值得注意的是,在表2基准回归的列(1)中,人工智能对城市包容性绿色增长的估计系数为0.270;而在表8中,纳入环境竞争以及二者协同效应后,各区间的人工智能系数均明显增大,这意味着其对人工智能的赋能效应均被强化。以上研究充分表明,人工智能对城市包容性绿色增长的影响会因地方竞争的变化而表现出动态演化特征,且地方竞争总体上会强化人工智能发展的包容性绿色增长效应,即验证了H3a、H3b、H3c成立。

6 结论与政策启示

6.1 结论

本文在分析人工智能与包容性绿色增长关系及传导路径的基础上,客观揭示了人工智能发展为城市包容性绿色增长带来的经济红利,并将环境竞争与经济竞争纳入一个统一的分析框架,考察了人工智能赋能的包容性绿色增长效应及地方政府二维竞争在其中所扮演的角色。研究结论如下:

(1)人工智能对城市包容性绿色增长具有显著正向影响并呈现出倒“U”型关系,即存在某一阈值,在人工智能达到阈值前会助推包容性绿色增长,而越过临界点后,则会迟滞包容性绿色增长水平的提升。

(2)异质性分析发现,人工智能的作用效果受制于不同数字基础、资源禀赋、行政等级的约束,即人工智能发展的包容性绿色增长效应在数字基础薄弱地区、非资源型城市与外围城市中表现得更为明显。

(3)就影响机制而言,人工智能能够优化产业结构、驱动技术创新与累积人力资本,间接驱动城市包容性绿色增长。

(4)地方政府竞争能动态强化人工智能对城市包容性绿色增长的赋能效应,其中环境竞争表现出先下降后上升的正向“U”型趋势,而相较于人工智能单独作用,环境竞争与经济竞争协同更有利于释放人工智能的包容性绿色增长红利。

6.2 政策启示

研究为地方政府竞争下人工智能赋能城市包容性绿色增长提供了一系列经验证据,具体蕴含的政策含义如下:

(1)把握“智能+”契机,加快推动人工智能发展,为实现包容性绿色增长注入新活力。首先,政府应完善人工智能发展环境,大力建设以产业智能化为导向的新型创新园区,持续吸引优质项目、技术,不断推动实体经济与人工智能的融合,以发挥好人工智能赋能包容性绿色增长的“溢出效应”;其次,要鼓励企业积极参与人工智能应用场景建设,主动引进智能设备,为人工智能技术发展应用创造有利条件,从而推进智能化与包容性绿色增长的协同发展;最后,不同区域应根据自身人工智能发展与包容性绿色增长的实际情况,因地制宜、因时制宜地选择最佳的区域智能化政策,充分利用各地已有智能化技术和市场优势,优化生产布局,引导产业分工,在整体发展中推动包容性绿色增长。

(2)加快优化融合环境,积极创造人工智能赋能城市包容性绿色增长的外在条件。首先,充分提升三次产业智能化水平,推动产业高质量发展转型。通过人工智能技术深度融合优化资源配置,革新传统生产方式与管理模式,促进产业协同联动,最终达到包容性绿色增长目的;其次,政府通过政策倾向鼓励有条件的企业进行自主创新,做好人工智能与一般技术创新融合的顶层设计,战略性、前瞻性地开发和布局与其企业发展需求相一致的人工智能技术;最后,积极鼓励人工智能领域的人才培养,形成持续发力的人才梯队资源,支持和引导企业参与人工智能相关研发,通过设立人工智能发展的海内外人才基地、研发中心等手段为人工智能发展创造有利环境,从而促进包容性绿色增长。

(3)注重完善地方官员考核机制,积极推行环境竞争与经济增长协同的发展策略,充分考虑经济发展与环境保护的互擘关系,既应持续引导地方政府设定以高质量发展为导向的增长目标并继续完善环境目标责任制,又要注意规避地方政府之间的恶性引资竞争,推动城际间形成良性向好的竞争关系,以此构建绿色生态和经济增长的双赢格局,进而充分释放人工智能赋能包容性绿色增长的新技术红利。

参考文献(References):

- [1] 陈明华, 谢琳霄, 李倩, 等. 黄河流域包容性绿色增长绩效评价及地区差距: 基于减污降碳和共同富裕双重目标的经验考察[J]. 资源科学, 2023, 45(3): 564-578. [Chen M H, Xie L X, Li Q, et al. Performance evaluation and regional disparities of inclusive green growth in the Yellow River Basin: An empirical study based on the dual goals of pollution and carbon reduction and common prosperity[J]. Resources Science, 2023, 45(3): 564-578.]
- [2] Jia L J, Xu R Y, Shen Z Y, et al. Which type of innovation is more conducive to inclusive green growth: Independent innovation or imitation innovation? [J]. Journal of Cleaner Production, 2023, DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137026.
- [3] 周锐波, 吴云峰, 宋佳晔. 共生共荣: 工业智能化发展与包容性绿色增长[J]. 中国人口·资源与环境, 2024, 34(5): 162-174. [Zhou R B, Wu Y F, Song J X. Symbiosis and co-prosperity: Industrial intelligence development and inclusive green growth[J]. China Population, Resources and Environment, 2024, 34(5): 162-174.]
- [4] 张涛, 李均超. 网络基础设施、包容性绿色增长与地区差距: 基于双重机器学习的因果推断[J]. 数量经济技术经济研究, 2023, 40(4): 113-135. [Zhang T, Li J C. Network infrastructure, inclusive green growth, and regional inequality: From causal inference based on double machine learning[J]. Journal of Quantitative & Technical Economics, 2023, 40(4): 113-135.]
- [5] Shobande A O, Ogbeifun L, Tiwari K A. Carbon neutrality: Synergy for energy transition, circular economy and inclusive green growth[J]. Journal of Environmental Management, 2025, DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.124114.
- [6] Wu H T, Luo S Y, Li S X, et al. Fostering urban inclusive green growth: Does corporate social responsibility (CSR) matter?[J]. Journal of Business Ethics, 2023, 189(4): 677-698.
- [7] 周小亮, 吴武林. 中国包容性绿色增长的测度及分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2018, 35(8): 3-20. [Zhou X L, Wu W L. The measurement and analysis of inclusive green growth in China[J]. Journal of Quantitative & Technical Economics, 2018, 35(8): 3-20.]
- [8] 李华, 董艳玲. 中国经济高质量发展水平及差异探源: 基于包容性绿色全要素生产率视角的考察[J]. 财经研究, 2021, 47(8): 4-18. [Li H, Dong Y L. China's high-quality economic development level and the source of differences: Based on the inclusive green TFP perspective[J]. Journal of Finance and Economics, 2021, 47(8): 4-18.]
- [9] 吴武林, 周小亮. 中国包容性绿色增长测算评价与影响因素研究[J]. 社会科学研究, 2018, (1): 27-37. [Wu W L, Zhou X L. The evaluation and influencing factors of China's inclusive green growth[J]. Social Science Research, 2018, (1): 27-37.]
- [10] Gu K Y, Dong F, Sun H, et al. How economic policy uncertainty processes impact on inclusive green growth in emerging industrialized countries: A case study of China[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128963.
- [11] Ofori I K, Gbolonyo E Y, Ojong N. Foreign direct investment and inclusive green growth in Africa: Energy efficiency contingencies and thresholds[J]. Energy Economics, 2023, DOI: 10.1016/j.eneco.2022.106414.
- [12] 李磊, 王小霞, 包群. 机器人的就业效应: 机制与中国经验[J]. 管理世界, 2021, 37(9): 104-119. [Li L, Wang X X, Bao Q. The employment effect of robots: Mechanism and evidence from China [J]. Journal of Management World, 2021, 37(9): 104-119.]
- [13] Mejia G A. The impact of artificial intelligence on future labor markets[J]. International Journal of Economics, Finance and Management Sciences, 2021, 9(6): 250-259.
- [14] 谭玉松, 任保平, 师博. 人工智能影响产业协同集聚的效应研究[J]. 经济学家, 2023, (6): 66-77. [Tan Y S, Ren B P, Shi B. Research on the effect of artificial intelligence affecting synergistic industrial agglomeration[J]. Economist, 2023, (6): 66-77.]
- [15] 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. [Yang G, Hou Y. The usage of industry robots, technology upgrade and economic growth[J]. China Industrial Economics, 2020, (10): 138-156.]
- [16] 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. [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, (2): 61-83.]
- [17] 何宇, 陈珍珍, 张建华. 人工智能技术应用与全球价值链竞争[J]. 中国工业经济, 2021, (10): 117-135. [He Y, Chen Z Z, Zhang J H. The application of artificial intelligence technology and global value chains competition[J]. China Industrial Economics, 2021, (10): 117-135.]
- [18] 孙早, 侯玉琳. 工业智能化与产业梯度转移: 对“雁阵理论”的

2025年6月

- 再检验[J]. 世界经济, 2021, 44(7): 29-54. [Sun Z, Hou Y L. Industrial intelligence and industrial gradient transfer: Re-examination of the "flying geese theory"[J]. The Journal of World Economy, 2021, 44(7): 29-54.]
- [19] 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. [Shi B. An explanation of the mechanism of AI promoting economic high-quality development[J]. Reform, 2020, (1): 30-38.]
- [20] 吕越, 马明会, 陈泳昌, 等. 人工智能赋能绿色发展[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(10): 100-111. [Lv Y, Ma M H, Chen Y C, et al. Artificial intelligence empowers green development[J]. China Population, Resources and Environment, 2023, 33(10): 100-111.]
- [21] 陈东, 秦子洋. 人工智能与包容性增长: 来自全球工业机器人使用的证据[J]. 经济研究, 2022, 57(4): 85-102. [Chen D, Qin Z Y. Artificial intelligence and inclusive growth: Evidence from international robot data[J]. Economic Research Journal, 2022, 57(4): 85-102.]
- [22] 李成明, 王霄, 李博. 城市智能化、居民劳动供给与包容性就业: 来自准自然实验的证据[J]. 经济与管理研究, 2023, 44(3): 41-59. [Li C M, Wang X, Li B. Urban intelligence, residents' labor supply and inclusive employment: Evidence from a quasi-natural experiment[J]. Economic and Management Research, 2023, 44(3): 41-59.]
- [23] Brynjolfsson E, Rock D, Syverson C. Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics[R]. New York: Social Science Electronic Publishing, 2017.
- [24] Acemoglu D, Restrepo P. The race between man and machine: Implications of technology for growth, factor shares, and employment[J]. American Economic Review, 2018, 108(6): 1488-1542.
- [25] 葛伟, 肖涵. 人工智能、居民消费与经济奇点: 基于优化再分配政策的视角[J]. 中国管理科学, 2025, 33(3): 93-106. [Ge W, Xiao H. Artificial intelligence, household consumption and economic singularity: Based on the perspective of optimizing redistribution policy[J]. Chinese Journal of Management Science, 2025, 33(3): 93-106.]
- [26] 杨仁发, 李自鑫. 创新型城市试点政策能够促进共同富裕吗?[J]. 财经研究, 2023, 49(8): 19-33. [Yang R F, Li Z X. Can innovative city pilot policy promote common prosperity?[J]. Journal of Finance and Economics, 2023, 49(8): 19-33.]
- [27] Weinstein A, Patrick C. Recession-proof skills, cities, and resilience in economic downturns[J]. Journal of Regional Science, 2020, 60(2): 348-373.
- [28] 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.]
- [29] 莫龙炯, 张小鹿. 增长目标设定能否驱动经济高质量发展[J]. 经济学家, 2022, (9): 39-48. [Mo L J, Zhang X L. Can growth target setting drive high-quality economic development[J]. Economist, 2022, (9): 39-48.]
- [30] 张德涛, 张景静. 地方政府的行为选择与企业绿色技术创新[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(3): 86-94. [Zhang D T, Zhang J J. Behavioral choices of local governments and corporate green technology innovation[J]. China Population, Resources and Environment, 2022, 32(3): 86-94.]
- [31] Chen Y J, Li P, Lu Y. Career concerns and multitasking local bureaucrats: Evidence of a target-based performance evaluation system in China[J]. Journal of Development Economics, 2018, 133(7): 84-101.
- [32] 邱冬阳, 白玉铭. 经济增长预期目标、弹性约束与经济高质量发展[J]. 改革, 2023, (5): 54-73. [Qiu D Y, Bai Y M. Economic growth expectation target, elastic constraints and high-quality economic development[J]. Reform, 2023, (5): 54-73.]
- [33] 黄志, 程翔. 人工智能对劳动收入水平和收入差距的影响: 理论解读与实证检验[J]. 经济理论与经济管理, 2023, 43(1): 78-95. [Huang Z, Cheng X. The impacts of artificial intelligence on labor income level and income gap: Theoretical interpretations and empirical tests[J]. Economic Theory and Business Management, 2023, 43(1): 78-95.]
- [34] 白俊红, 张艺璇, 卞元超. 创新驱动政策是否提升城市创业活跃度: 来自国家创新型城市试点政策的经验证据[J]. 中国工业经济, 2022, (6): 61-78. [Bai J H, Zhang Y X, Bian Y C. Does innovation-driven policy increase entrepreneurial activity in cities: Evidence from the national innovative city pilot policy[J]. China Industrial Economics, 2022, (6): 61-78.]
- [35] 胡光旗, 踪家峰. 中国存在环境锦标赛吗? 基于地级市的经验证据[J]. 经济学报, 2022, 9(1): 85-107. [Hu G Q, Zong J F. Does China exist environmental tournament? Empirical evidence based on prefecture-level cities[J]. China Journal of Economics, 2022, 9(1): 85-107.]
- [36] 熊家财, 杜川. 经济增长目标与企业人力资本结构优化升级[J]. 系统工程理论与实践, 2025, 45(3): 717-734. [Xiong J C, Du C. Economic growth target and corporate human capital structure upgrade[J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2025, 45(3): 717-734.]
- [37] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022, (5): 100-120. [Jiang T. Mediating effects and moderating effects in causal inference[J]. China Industrial Economics, 2022, (5): 100-120.]
- [38] Hansen B E. Inference when a nuisance parameter is not identified under the null hypothesis[J]. Econometrica, 1996, 64(2): 413-430.

Inclusive green growth effects of China's artificial intelligence development

HAN Xianfeng¹, LI Jiajia¹, ZHU Chengliang²

(1. Faculty of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Institute of Quantitative and Technical Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China)

Abstract: [Objective] In the context of the increasingly urgent need for green and low-carbon transition of economy and society, exploring the impact and mechanisms of artificial intelligence (AI) development on inclusive green growth has become a crucial research priority. [Methods] Using panel data of prefecture-level cities in China from 2010 to 2021, this study measured the levels of inclusive green growth. Building upon this, methods such as the mediating effect model and panel threshold model were employed to empirically examine the impact of AI on urban inclusive green growth and its underlying mechanisms. [Results] The study found that: (1) current AI development significantly promoted urban inclusive green growth, but exhibited a typical inverted U-shaped relationship. Specifically, as AI levels increased, its impact on urban inclusive green growth first increased and then decreased. The current AI development level (0.003) was substantially below the theoretical optimal threshold (0.441). This conclusion remained valid after using Bartik instrumental variables and other robustness tests. (2) In regions with weak digital infrastructure, non-resource-based cities, and peripheral cities, the empowering effect of AI on inclusive green growth was more pronounced. (3) AI indirectly promoted urban inclusive green growth mainly through three channels: optimizing industrial structure, driving technological innovation, and accumulating human capital. (4) Local government competition could dynamically strengthen the empowering effect of AI on urban inclusive green growth. Among them, environmental competition showed a significant positive U-shaped strengthening mechanism, and its coordination with economic competition could better unleash the potential of AI for inclusive green growth. [Conclusion] It is necessary to diversify AI's transmission channels to promote urban inclusive green growth, formulate differentiated support policies for weak areas, and properly guide local competition, so as to accelerate the release of growth dividends.

Key words: artificial intelligence; inclusive green growth; local government competition; dynamic regulation; Bartik instrumental variables; panel threshold model; China