

doi. 10. 3724/1005-0566. 20250818

人工智能增强技术创新绿色动力研究： 动态优化、平衡与适配问题

李 萌

(中国社会科学院生态文明研究所,北京 100005)

摘要:要应对当前复杂的国际局势,特别是在激烈的市场博弈中取得竞争优势,中国需要充分激活创新动力,发展新质生产力。在绿色经济逐步成为国家核心竞争力的背景下,绿色市场的巨大规模成为国家技术创新活动的重要动力源。通过比较研究后发现:“压力—动力”转化问题是技术创新绿色动力的典型特点,在把生态环保压力转换为技术创新动力过程中,面临着压力的动态优化、供需的动态平衡,以及市场需求变化与技术突破方向的动态适配等三重动态性带来的挑战。人工智能具有实时感知与响应、自主学习与推理、复杂动态系统控制、不确定性管理及多智能体协同等优势,为应对动态性提供了更高效的解决方案。在政策层面,应基于“弹性架构+智能调节”的政策设计理念,政策模块化设计模式,以及运用AI形成“压力—动力”敏捷转化链等措施,完善有利于应对动态性的智能化“感知—决策—行动”系统。

关键词:生态环保压力;技术创新;绿色动力;人工智能;动态性

中图分类号:F062.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-0566(2025)08-0189-12

Research on artificial intelligence enhancing the green driving force of technological innovation: dynamic optimization, balance, and adaptation

LI Meng

(Research Institute for Eco-civilization, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100005, China)

Abstract: To cope with the current complex international situation, especially to gain a competitive advantage in the fierce market competition, China needs to fully activate its innovation drive and develop new quality productive forces. Against the backdrop of green economy gradually becoming the core competitiveness of the country, the huge scale of the green market has become an important driving force for national technological innovation activities. Through comparative analysis, it is found that the problem of “pressure-power” transformation is a typical characteristic of green driving force in technological innovation. In the process of converting environmental pressures into technological innovation drivers, will face challenges brought by the dynamic optimization of pressure, dynamic balance of supply and demand, and dynamic adaptation of market demand with technological breakthrough directions; The advantages of artificial intelligence, such as real-time perception and response, autonomous learning and reasoning, complex dynamic system control, uncertainty management, and multi-agent collaboration, provide more efficient solutions for dealing with dynamism; At the policy level, should pay attention to the policy design concept of “flexible architecture + intelligent

收稿日期:2025-03-17 修回日期:2025-07-30

基金项目:中国社会科学院智库基础项目“‘十五五’期间绿色科技的创新生态演化趋势与创新韧性提升策略研究”(ZKJC251304)。

作者简介:李萌(1973—),女,湖北宜昌人,中国社会科学院大学应用经济学院教授,中国社会科学院生态文明研究所研究员,博士,研究方向为可持续发展经济学。

regulation”, policy modular design mode, and using AI to form a “pressure-power” agile transformation chain, in order to improve the intelligent “perception-decision-action” system.

Key words: ecological and environmental pressure; technological innovation; green driving force; artificial intelligence; dynamicity

在全球经济下行趋势、贸易战及科技战等多因素叠加下,中国经济在新发展阶段伊始面临需求收缩、供给冲击、预期转弱三重压力,这也为“十五五”时期的发展及规划带来挑战。技术创新是康德拉季耶夫周期产生的根本推动力,一个经济周期的上升阶段分为复苏和繁荣,下跌阶段分为衰退和萧条,而摆脱衰退和萧条,推动经济繁荣的关键力量就是又一波强大创新集群的出现。“技术僵局理论”也认为,经济不景气时,社会只有通过技术创新才能摆脱困境。随着绿色竞争力成为中国的国家核心竞争力,绿色发展将为技术创新活动提供新的动力,推动产生新一波的创新集群,为“十五五”时期的发展提供新的活力源。把绿色经济、绿色科技等绿色竞争力转化为国家技术创新动力过程中,存在一个典型特征:就是需要把各类生态环保考核指标、标准及发展目标等压力转换为技术创新动力。欧美发达国家由于较早面临工业化带来的生态环境问题,也率先发现及推动了“生态环保压力→技术创新动力”的转换工作。例如,美国 1990 年通过的《清洁空气法》修正案,针对二氧化硫(SO₂)实施全国性配额交易,成为全球首个大规模环境权交易实践。基于排污权及碳排放权等形成的环境权交易机制,带来了庞大的市场潜力,并进一步拉动了技术创新活动。

在把生态环保压力转化为技术创新动力过程中,人工智能(AI)具有增强技术创新绿色动力的技术优势。AI 作为前沿颠覆性技术,已成为推动新一轮科技革命和产业变革的核心力量。联合国贸易和发展组织(UNCTAD)认为,人工智能历经三次发展浪潮,正成为通用技术,与其他技术协同创新,有望引发第五次工业革命^[1]。经济合作与发展组织(OECD)认为,加速科学生产力可能是 AI 所有用途中最具经济和社会价值的^[2]。联合国大会 2024 年通过的首个关于 AI 的全球决议《抓住安

全、可靠和值得信赖的人工智能系统带来的机遇,促进可持续发展》认为,AI 在推动包括创新在内的可持续发展目标(SDG)方面具有巨大潜力^[3]。有研究报告分析了 18.3 万多篇被高引用的人工智能文献后也发现,52.6% 的高引用人工智能文献对至少一个可持续发展目标有直接促进作用^[4]。AI 作为“创新伙伴”,通过数据驱动、算法优化与自动化执行重构创新逻辑,赋能技术创新绿色动力,推动“绿色即先进”等新型技术哲学理念的落实。本文采用比较研究方法,通过对比信息时代与 AI 时代的差异,重点探讨把生态环保压力转化成技术创新动力的内在逻辑,以及智慧时代如何高效应对“压力—动力”转换过程中面临的挑战。

本文的创新之处主要体现在 3 个方面。一是提出技术创新绿色动力概念,并从该视角进行研究,现有相关研究主要探讨绿色低碳技术的创新动力问题,本研究则把绿色市场需求及绿色科技发展作为国家整体技术创新活动的动力。二是研究技术创新绿色动力生成过程中面临的三重动态性问题,本文认为,要把生态环保约束压力转化为技术创新动力,将面临三重动态性带来的挑战:生态环保压力的动态优化问题;外部环境成本内部化的动态平衡问题;市场需求变化与技术突破方向的动态适配问题。三是研究人工智能在增强技术创新绿色动力特别是在应对动态性方面的优势与路径,并提出应通过政策模块化设计等措施,构建智能化“感知—决策—行动”系统,以利于应对生态环保压力转换成技术创新绿色动力过程中的多重动态性挑战。

一、研究综述

技术创新动力理论中的“推—拉”理论认为,在驱动技术创新活动的动力中,市场需求是拉力,科技进步是推力。发明创造是追求利润的经济活动,它受市场需求的引导和制约,市场需求形成的经济势能会牵引资金、人才等要素流向特定技术

领域,加速技术商业化进程,提升创新成功率。当技术成熟度达到需求引爆阈值,市场拉力更会呈现指数级放大的临界点效应。科技进步则通过提供知识储备、工具方法、成本优化和需求刺激,成为技术创新的“推力”。随着绿色经济增速逐步超过 GDP 整体增速,成为中国经济增长的新引擎,绿色产业已成为中国的主导产业^[5],庞大的市场需求、资金投入及市场预期将为中国的技术创新活动提供强劲拉力。根据《新时代的中国绿色发展》白皮书^[6],2021 年节能环保产业产值超过 8 万亿元,约占国家 GDP 的 7%。国际可再生能源署 (IRENA) 发布的《全球可再生能源展望》报告指出,到 2050 年,保障气候安全的方案将需要累计 110 万亿美元的能源投资,实现完全碳中和则需要再增加 20 万亿美元,能源系统转型可以刺激全球 GDP 累计增加 98 万亿美元^[7]。多家机构的测算结果是,中国落实“双碳”目标需要投入百万亿元人民币。例如,中金公司研究部与中金研究院估算,为了实现碳中和,至 2060 年中国需要 139 万亿元的投资,其中到 2030 年就需要 22 万亿元的投资^[8]。新能源汽车、光伏产品等一些绿色产品的出口已经成为中国稳外贸、促经济的一个重要抓手。庞大的绿色市场潜力不仅是中国经济新的增长点,也是技术创新活动的重要拉力。技术创新需要科技方面的积累,同国家整体科技水平密切相关,以新能源科技为代表的绿色科技也为国家技术创新活动提供了新的推力。

基于以上分析,可以界定“技术创新绿色动力”的内涵及边界——是指在国家技术创新活动中,绿色市场需求是重要拉力,绿色科技是重要推力。“技术创新绿色动力”与“绿色技术创新动力”两个概念之间有一定联系,但二者存在着较大区别,前者探讨“技术创新”的绿色动力,侧重于把“绿色发展的进展及潜力”视为各类技术创新活动的动力,后者则探讨“绿色技术”的创新动力,该类动力并不一定是绿色的。技术创新绿色动力系统不仅具有技术创新动力的基本属性,也有着自身的特殊性。生态环保工作带有公共性、外部性及约束性等属性,这决定了“压力—动力”转换机制

是绿色动力系统运行的重要特征,其内在逻辑是:“生态环保领域生成适度压力→把生态环保压力转换成市场需求→把市场需求转变成对新技术的需求”。生态环保压力的本质是人类活动与地球生态系统自愈能力之间的失衡矛盾,这种压力源于工业化文明对自然资本的过度榨取,导致生态系统服务功能退化、生物多样性锐减及关键生态阈值突破,最终形成威胁人类生存的反向约束。要把生态环保压力转换成技术创新动力,关键在于重构市场规则与政策体系的激励相容结构,推动环境成本的内部化。

在把生态环保压力转换成技术创新动力过程中,需要应对三大挑战。一是生态环保压力的动态优化问题。生态环保压力形成过程中需要坚持“适度原则”,其本质是在生态保护刚性约束与经济社会发展现实需求之间寻找动态平衡点,既要避免因环保压力不足导致生态退化不可逆,也要防止过度施压引发经济失速与社会矛盾。二是将环境外部成本转化为经济内生动力的动态平衡问题。将生态环保压力转化为市场需求的本质是通过制度设计和技术革命重构经济系统的成本收益函数,使环境外部成本内部化,最终形成自组织、可持续的绿色发展市场生态。这一过程实质上就是“供给—需求”生成过程,供给与需求的动态平衡则是经济高质量发展的基本要求。三是市场需求变化与技术突破方向的动态适配问题。将市场需求转化为对新技术需求的本质是解决市场痛点与技术供给的动态匹配问题,“需求—技术”鸿沟可能导致技术开发偏离实际需求,或需求无法通过现有技术实现。

三大挑战的共同特征是“动态性”,动态性主要是指持续变化性、信息不完整性、交互性、模糊性及不可预测性等特征。“人工智能创新生态系统”^[9]具有自主学习、实时响应及复杂系统建模等能力,为应对“动态性”及“不确定性”^[10]提供了更高效的路径。在技术基础方面,传统信息技术的核心是互联网、数据库及传统算法,依赖预设规则应对已知场景,这种被动响应难以处理突发变化,而 AI 神经网络的主要特征就是“表示、学习、推理

和决策”^[11],通过自主学习主动适应动态性,反应速度具有实时性特征。学者^[12]分析了 2013—2023 年产生的 11 897 篇与 AI 相关的论文后发现,从 2013—2023 年,研究 AI 的论文以指数级速度增长,在生成式 AI、可解释 AI、强化学习和优化方法等领域有显著增长。在应对动态性的机制方面,信息技术依赖人工提取特征,基于历史数据进行统计分析,且系统逻辑固定,处理复杂关系能力弱,无法处理高维度不确定性,需人工干预才能应对新场景。AI 则具有实时感知与响应、自主演化与适应性、复杂动态系统控制、不确定性管理及多智能体协同等优势,不仅能更高效地应对变化,还能主动预测和塑造动态环境。基于 AI 能够显著赋能技术创新水平提升^[13-15],以及对绿色经济增长具有显著正向空间溢出效应等优势^[16],企业利用 AI 应对碳减排等生态环保压力的积极性较高^[17],这为利用 AI 推动“压力—动力”转换奠定了较好的基础。

在研究领域,AI 正在驱动创新范式变革,重构人类突破认知边界的底层逻辑,这也导致“人工智能驱动的科学(AI for Science)”成为研究领域关注的焦点。欧盟(European Union)发布的《科研领域负责任使用生成式人工智能指南》认为,科学研究是可能受到生成式 AI 影响最严重的领域之一^[18]。美国总统科学技术顾问委员会(PCAST)发布的《赋能研究:利用人工智能应对全球挑战》报告,也旨在推动安全、有效地应用人工智能,增强人类研究人员的能力,探索科学的可能性^[19]。在同本文密切相关的研究方面,现有文献主要聚焦于 AI 影响绿色创新层面,并主要从全要素绿色生产率、城市、区域、行业、企业及政府等角度切入。在全要素绿色生产率方面,联合国贸易和发展会议(UNCTAD)发布的《2025 年技术与创新报告——以包容性人工智能促进发展》认为,AI 可以提高劳动生产率和全要素生产率^[20]。国内研究也发现,AI 通过技术外溢的遮掩效应强化了对绿色全要素生产率的提升作用^[21],具有明显空间溢出效应^[22],但 AI 发展对绿色全要素生产率的净效应呈“U”型特征,并具有“低水平陷阱”和“高水平壑

断”的趋同特征^[23]。在区域、城市方面,有研究发现,数据要素与 AI 融合能显著提升城市创新能力^[24],但在不同区域的城市群中,AI 的发展规模对绿色全要素生产率的影响效果各不相同^[25]。对于经济发展水平越高、技术越密集的地区,AI 赋能技术创新水平提升的作用越明显^[26-27]。在行业、企业性质及规模方面,有研究发现,AI 能显著提升企业创新绩效,同企业绿色创新呈正向关系,在新质生产力水平高的地区、民营企业、技术密集型行业和低污染行业中更为显著^[28-29]。在政府作用方面,主流观点是,良好的制度环境和适当的政府干预正向调节 AI 对绿色创新的赋能效应^[30-31]。鉴于 AI 对技术创新的推动作用,现有研究普遍认为应加大“智能化+绿色化”^[32]“AI+双碳”^[33]等融合问题。有研究对 2000—2023 年关于技术进步影响碳中和的 589 篇文献进行计量分析后认为,需要加强 AI 和生命周期评估对碳中和的影响研究^[34]。但对于 AI 影响技术创新特别是绿色技术创新问题,也有相对谨慎的研究观点,如以下看法:AI 应用可以显著促进企业的渐进式创新,而在短期内对企业突破式创新的促进作用并不显著^[35],AI 的无限制应用可能会对企业创新产生负向影响^[36];环境规制不能够提升国有企业、小规模企业的绿色创新水平,且应用 AI 也不能够增强环境规制对小规模企业绿色创新水平的提升作用^[37];AI 应用能够显著促进本地绿色创新水平产生“数字红利”,但对其邻地绿色创新水平的负向溢出加剧了“数字鸿沟”^[38];AI 对推动绿色发展具有时滞效应,但该效应在技术密集度和资本密集度投向更高时可得到一定程度缓解^[39]。

总体来看,不仅理论研究普遍支持 AI 有利于提升技术创新的观点,中国政府也在积极推动相关实践。科学技术部等六部门印发的《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》把“场景驱动技术创新成效显著”作为主要发展目标之一。科学技术部《科技创新 2030—“新一代人工智能”》在重大项目中也设置了“AI for Science”方面的专题。科技部会同国家自然科学基金委启动了“人工智能驱动的科技

学研究”专项部署工作。中国在 AI 领域进步较快,这也为应用 AI 增强技术创新动力奠定了有利的技术基础,例如,在 AI“重要模型”方面,美、中两国占 2024 年全球总数的 90.2%,顶尖美国模型在 2023 年尚显著优于中国同类产品,而到 2024 年,这一优势已非常微弱^[40]。2025 年中国政府工作报告提出,要“持续推进‘人工智能+’行动”,推动 AI 与绿色低碳产业等领域的深度融合。在技术创新绿色动力研究方面,国内外现有相关研究主要存在以下 3 个方面的不足。一是缺少专门从生态环保压力视角研究技术创新动力的文献,不能深刻反映技术创新绿色动力的典型特征。现有文献主要是从政府政策^[41]、政府激励机制^[42]及战略驱动^[43]等角度着手,研究影响绿色低碳技术创新动力的要素、“双碳”目标如何促进低碳技术创新等,也有研究者专门从知识产权保护政策、节能减排政策、政府采购政策、低碳技术国际转让政策等公共政策角度着手,研究绿色低碳技术创新的驱动机制^[44],或者从技术风险、市场失灵、路径依赖、中端技术锁定、国际低碳技术转让障碍等角度^[45-46]研究影响技术创新动力的问题及障碍,而专门从“生态环保压力转换成技术创新动力”视角进行的研究存在缺失。二是对技术创新绿色动力转换过程中的动态性特征研究不足,无法准确把握“压力—动力”转换的典型规律及内在逻辑。三是研究 AI 影响技术创新的文献较多,但没有发现专门研究 AI 增强技术创新绿色动力方面的文献。经济下行压力对环保压力及科技创新均提出了高要求,在完善技术创新绿色动力转换机制过程中,深入探讨应用 AI 调适动态性的理论与方法,有利于大幅度增强技术创新绿色动力,这也是本文研究的理论价值与现实意义。

二、技术创新绿色动力生成过程中的三重动态性

技术创新绿色动力的生成遵循技术创新“推—拉”理论等基本规律,但也带有绿色发展自身的特色——把生态环保压力转化成技术创新绿色动力。在推动“压力—动力”转换过程中,需要重点应对三重动态性带来的挑战:一是生态环保

压力的动态优化问题,即生态环保压力需要实现“适度”目标。二是“供给—需求”的动态平衡问题,涉及压力传导及需求生成动力等多重机制。最后是“技术—市场”的动态适配性问题,其本质是将消费者痛点、产业升级需求和未来趋势预判转化为技术突破的驱动力。

(一)生态环保压力的动态优化问题

不仅生态系统具有自我修复的弹性阈值,经济、社会也都存在耐受边界,生态环保压力需要坚持适度原则,压力过大将导致企业难以生存,技术创新活动也难以继,压力太小则起不到有效的驱动作用,并将产生中低端技术锁定效应等问题。压力适度原则的本质是在复杂系统中寻找“韧性发展”路径,强调在环境保护与经济社会发展之间寻求动态平衡,通过科学量化及弹性政策,既避免过度干预导致的发展停滞,又防止放任破坏造成的生态问题。面对市场需求疲软、经济脱钩及科技脱钩等挑战,坚持生态环保压力适度原则对中国来说尤为重要。但在具体操作过程中,面临多重复杂挑战。例如,生态保护与经济发展的动态博弈、区域差异与政策普适性的矛盾及技术替代能力的滞后性等。完善生态环保压力动态优化机制,是应对以上问题的重要手段。

生态环保压力的动态优化本质上是复杂系统的动态博弈过程,经济快速增长与资源环境承载力之间的冲突需要通过动态优化实现“精准调控”,以平衡发展与保护的矛盾,环保技术和政策工具的快速革新,以及公众环境诉求的不断变化,也都要求对生态环保压力进行动态调整。动态优化生态环保压力的核心在于灵活性与科学性,通过环境质量监测、经济承压指数分析、社会敏感度图谱分析等措施,完善“监测—评估—反馈—调整”机制,以利于压力监测、动态预警及压力传导等机制的高效运行。未来需进一步强化数据驱动的决策能力,推动环境治理从“被动应对”转向“主动预见”,以实现生态保护与高质量发展的动态平衡。

(二)环境外部成本内部化的动态平衡问题

技术创新是由科学发现和技术发明推动的,

有效需求的创造是技术创新持久的根本动力。将生态环保压力转化为市场需求,即将生态保护从“成本项”转化为“利润源”,是技术创新绿色动力机制的重要一环,其本质是将原本被忽视或外部化的环境成本内化为经济活动的驱动力,从而激发市场对环保产品和服务的需求。例如,把约束性的碳排放指标、排污指标转变成碳排放权交易、排污权交易。这种动力生成遵循从压力传导到市场响应,再到创新动力的演化路径,其核心逻辑是将环境成本转化为经济信号,进而重构生产与消费模式。环境外部成本内部化主要是“供给—需求”问题,即通过压力传导机制形成的“供给”,以及通过需求生成动力系统形成的“需求”,涉及复杂的动态平衡问题。

将生态环保压力转化为市场需求,首先要把压力传导出去,也就是转化为可交易的市场要素。压力传导机制包括两个层面:一是将隐性环境成本转化为可量化指标,通过排放配额发放等方式,将生态环保压力转化为可量化、可交易、可调节的市场要素;二是使环境成本转化为生产要素价格,通过构建碳交易、排污权交易等市场机制,利用供给与需求等要素调节产品价格。在将生态环保压力转化为可量化经济价值,以及把环境成本转化为生产要素价格过程中,均面临量化难题。生态价值具有的经济、社会、文化等多维性,导致生态系统服务的价值评估缺乏统一标准,且跨区域、跨时间的生态效益更难以科学定价。同时,利益再分配过程中也易引起多种冲突,制度执行成本也较高,生态监测、数据核证等需要高精度技术支持,中小企业和地方政府往往难以负担。

将生态环保压力转化为市场需求的核心在于构建一个能够将环境外部成本内部化、激发经济主体主动参与的动力机制——需求生成动力系统。该系统主要由 4 部分构成。一是倒逼机制。该机制的核心逻辑是将环境成本内部化,通过经济杠杆重塑市场行为,其成功依赖于政策、市场、技术及社会等要素的协同:政策红线形成新的需求,市场需求提供创新拉力,技术创新突破瓶颈,进而形成社会共识,如落实“双碳”目标带来的市

场需求潜力。二是环境负外部性转化为市场需求。环境污染、碳排放、生态破坏等环境负外部性是经济活动未被定价的隐性成本,将其转化为市场需求,本质是重塑经济系统的价值坐标系——从“唯 GDP 论”转向“自然资本定价”,其核心逻辑是将外部成本内部化,并创造可交易的环保产品与服务,例如环境权交易。三是创造绿色溢价市场。绿色溢价是指消费者为购买环保产品或服务愿意支付的额外费用,反映了环保属性带来的市场增值。成功的关键在于通过技术创新及需求扩张来降低成本,最终使绿色选择成为经济理性下的自然选项。短期需通过政策扶持和技术降本跨越价格鸿沟,长期则依赖市场机制重塑和消费者心智培育。四是长尾需求激活。长尾理论认为,在互联网时代,那些看似分散、低频、小众的需求(即“长尾”)通过平台化和规模化整合,可以形成与主流市场相匹敌甚至更大的商业价值。在生态环保领域,长尾需求的特点和挑战尤为突出,环保市场将不再局限于“大项目主导”,而是呈现多元化格局。

(三) 市场需求变化与技术突破方向的动态适配问题

绿色市场的规模潜力并不必然与推动技术创新的贡献成正比。例如,贵州省提出,到 2025 年,要把绿色经济占地区生产总值比重从 45% 提高到 50%,但贵州省整体技术创新能力依然相对较弱,这同该省的绿色经济主要由生态旅游、生态农业等科技含量相对较低的生态产品构成有关。绿色市场需求潜力要成为技术创新的拉力,需要通过技术范式变革实现对生态约束的“创造性响应”,把生态环保压力带来的市场潜力转化为对新技术的需求,而不仅是对已有需求的简单满足,最终实现从“被动合规”到“主动创造”的市场转型。

环保压力与技术突破并非单向驱动,而是相互激发,压力阈值突破倒逼技术迭代,技术突破又重塑环境约束边界,相互驱动过程中产生了动态适配问题。技术突破方向具有显著动态性及不确定性特征,绿色市场需求的动态性特征则主要表

现在需求非线性增长、需求结构快速迭代、政策的波动性、区域需求异质性及消费认知跃迁等方面。要把生态环保约束压力转化成技术创新动力,对“技术—市场”的动态适配机制或动态交互机制提出了较高的要求。要实现绿色市场需求变化与技术突破方向不确定性的有效匹配,需建立多维度的动态响应机制,理想状态是通过智慧化的市场需求感知、压力阈值设定、技术路线评估及风险管

控等方式方法,研判市场需求变化与技术拐点的耦合时机。并需要形成多主体协同、多要素联动的动态适配网络,企业需培养技术预见及市场洞察的双重能力,科研机构要形成基础研究与应用转化的贯通机制,政府部门则需要完善政策法规支撑体系。

生态环保压力转换成技术创新绿色动力的内在逻辑及三重动态性参见图1。

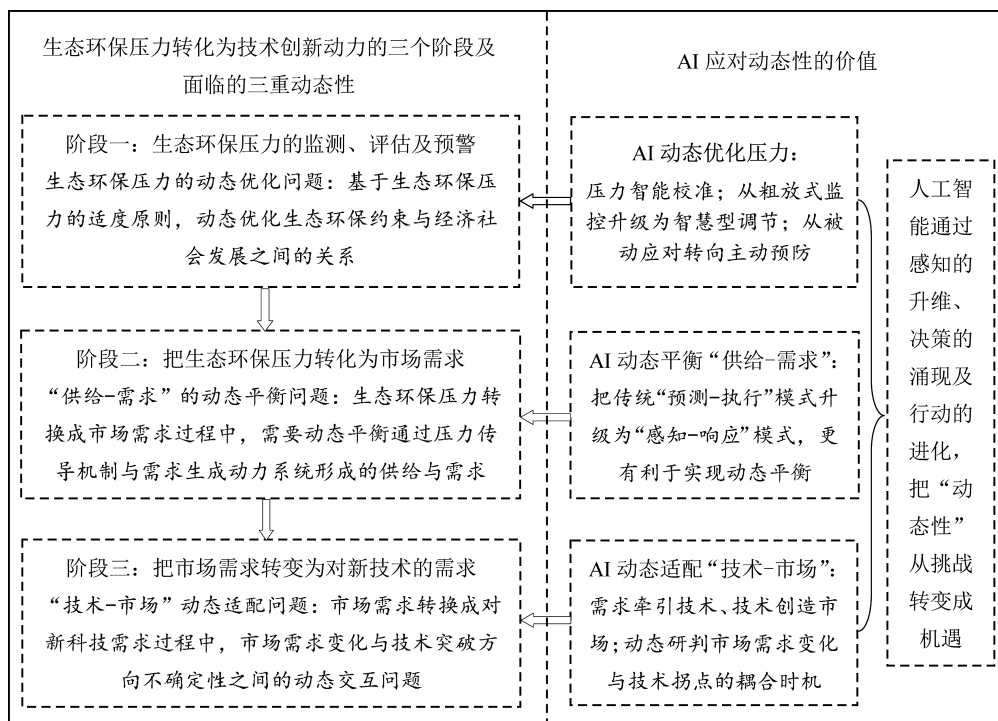


图1 “生态环保压力→技术创新绿色动力”的转化逻辑

三、人工智能调适动态性的优势与路径：智能化“感知—决策—行动”系统

斯坦福大学发布的《2025 年人工智能指数报告》认为,随着大模型深度推理能力的持续提升,我们有望见证大模型能力“全面超越人类水平”的奇点时刻^[47]。AI 通过数据驱动、算法优化与自动化执行三大核心能力,不仅深刻重构了传统的“压力—响应”机制,还强化了从环保压力到创新动力的传导机制。将传统被动、离散、经验驱动的压力反应机制,升级为主动、连续、算法优化的智能化“感知—决策—行动”系统,能更加有效地应对生态环保压力转换成技术创新绿色动力过程中的三重动态性。

(一)人工智能通过强大的复杂系统治理能力深化生态环保压力动态优化工作

生态环保压力的动态优化是典型的“复杂系统治理”问题,涉及自然生态、社会经济及政策法规等多维度的动态耦合。相较于传统信息技术,AI 在超维数据处理、动态系统建模、实时风险预警及多目标优化决策等方面具有优势,具备更强的复杂系统治理能力,能大幅度提升生态环保压力动态优化工作的效率与精准度。在监测方面,传统信息技术背景下,生态环保监测依赖固定传感器网络或人工巡查,监测点布局需预先规划且覆盖密度低,易造成资源浪费或重复投入,AI 则通过强化学习动态调整监测网络布局,优先覆盖高风

险区域,按需启动监测设备,减少冗余监测点。在评估方面,传统评估多依赖固定阈值刚性规则,忽视生态系统弹性,AI 可以基于实时数据评估政策效果,快速调整策略,避免“一刀切”式决策导致的过度治理。在预警方面,则实现了从“被动报警”到“分级响应”,传统预警方法存在滞后性与泛化,预警触发后常需人工介入制定应对方案,易因信息不全导致反应过度或不足,AI 则自主划分预警等级(低/中/高风险),更有利于差异化干预,并通过结合多智能体系统(MAS)发现最优解。

鉴于人工智能的优势,中国生态环境部印发了《国家生态环境监测网络数智化转型方案》,提出进一步提升技术装备数智化能力,推进建成新一代国家生态环境监测网络。国务院国资委推动中央企业布局 AI 技术,开展“AI+专项行动”,支持环保领域智能算力中心建设。欧盟通过“地球观测计划(哥白尼计划)”整合 AI 技术分析全球气候变化数据,推动跨国环境数据共享与协同治理,欧盟碳边境调节机制(CBAM)立法遵循“渐进覆盖、动态调整”原则。综合来看,中国现有 AI 应用更多的用于优化监管机制,在评估及优化企业等市场主体承受的生态环保压力方面应用不足,只有金融业较多应用“压力测试”工具,需要应用 AI 完善动态阈值、压力指数等工具方法,以利于多维度动态优化生态环保压力。

(二)人工智能通过实时感知与响应能力高效调节“供给—需求”的动态平衡问题

“供给—需求”动态平衡问题的本质是资源时空错配问题,对实时感知与响应能力要求较高。AI 具有计算革命、算法革命及架构革命优势,能有效缩短响应延迟时间,并能通过促进需求结构变革拉动消费需求增长^[48],有利于高效调节环境外部成本内部化过程中的“供给—需求”动态平衡问题。当前环境外部成本内部化进程中面临产权界定困境、市场活跃度不足、价格形成扭曲及技术支持薄弱四大结构性矛盾,导致市场失灵问题突出。AI 在应对以上问题方面具有显著优势:在破解产权界定困境方面,可动态追踪生态系统的空间及资源变化,结合卫星遥感、无人机监测和 AI 图像识

别技术,可以增强数据精准性,有利于界定产权边界及量化其经济价值。在激活市场参与度方面,AI 能丰富交易场景与工具,推动智能匹配与多元化交易,麦肯锡研究显示,AI 每年可为全球经济带来 2.6 万亿~4.4 万亿美元的增长^[49]。在矫正价格扭曲方面,有利于动态定价与政策模拟,通过物联网传感器实时采集环境要素数据,可预测供需变化并动态生成价格信号,模拟不同政策对市场的影响。在强化技术支撑方面,可进行全流程及全天候监测,更高效地部署 AI 物联网设备。

当前,国内外均重视应用 AI 优化生态环境市场机制,以碳排放权交易为例:由于 AI 驱动的算法能够更加精准地分析市场供需关系,提前预测碳配额的价格波动,中国生态环境部积极构建全国碳市场数智化治理体系,主要包括监测、报告及核查 3 个组成部分;欧盟碳市场通过 AI 技术实现了从数据监测到政策设计的全链条优化,并主要集中在排放监测、市场预测、配额管理及政策模拟等领域。在将生态环保压力转化为市场需求的过程中,欧美国家较为重视动态调整机制。例如,美国的区域碳污染减排计划(RGGI)中,设定了向市场投放配额及扣留拍卖配额的上下限触发价格,同时还实行了配额临时调整机制。与欧美国家相比较,中国在政策的动态调整机制建设方面存在不足,需要利用 AI 优势及机遇,逐步提升政策的弹性设计能力。

(三)人工智能通过强化学习及推理能力系统提升“技术—市场”的动态适配性

“技术—市场”动态适配的本质是在可能性叠加态中寻找最优解,对进化试错能力有较高的依赖。AI 具有强化学习、跨领域知识重组及复杂系统仿真等方面的优势,能通过构建科学知识图谱及跨域关联挖掘,更精准地进行技术潜力预判,能通过行为因果推理及社会动力学仿真,高效破解市场接受的“黑箱”,能通过强化学习沙盒及自动机器学习,加速进化试错进程,进而推动“技术—市场”的高效动态适配。例如,基于华为的知识计算平台,可以形成一个动态、智能的“技术”与“市场”适配环境,通过自动爬取全球学术论文库、专

利数据库、行业报告、技术标准、企业内部研发文档、市场需求信息及客户反馈等知识,并利用大模型对文本进行深度解析,可以形成产业技术知识图谱,然后利用模型强大的关联和推理能力进行智能化匹配,能实现论文、专利、内部技术等技术供给要素与产业痛点、应用场景、客户诉求等市场需求之间的深度匹配。基于华为云知识计算解决方案等类似的技术路径,企业及其他各类机构可以打造自己的知识计算平台,在生态环保领域也有着广泛的应用空间,有利于提升绿色市场需求与技术发明创造之间的适配性。在应用 AI 匹配技术创新与市场需求过程中,中国面临训练大模型需要巨额资金投入、产教融合深度不足及科技成果转化机制不完善等挑战,需通过政策引导强化企业主导的产学研合作,把技术攻关与场景落地密切结合起来。

市场需求疲软背景下,政府绿色采购日益成为拉动技术创新的重要动力。在提升政府绿色采购过程中的“技术—市场”动态适配性方面, AI 的价值主要体现在以下两个方面。一是智能需求预测与动态规划,利用 AI 分析历史采购数据、环境政策趋势及产业技术发展动态,可预测市场需求趋势,进而把相关新技术及产品优先纳入政府绿色采购目录,特别是通过首购、预购等措施可以把绿色市场需求转化为对新技术的需求。二是技术匹配的智能推荐系统,通过优化技术数据库,增强绿色采购需求与技术解决方案的关联性。为充分发挥 AI 具有的优化流程、增强决策能力和激发创新需求等优势,中国国务院国资委等部门联合出台的《关于规范中央企业采购管理工作的指导意见》提出,要“支持中央企业电子采购与大数据、人工智能、区块链等新技术融合发展”。AI 是提升政府绿色采购效率、透明度和政策执行力的重要手段,但在实践中仍面临绿色采购法律法规的缺失、绿色标准体系不完善,以及 AI 对复杂需求的理解局限、全生命周期评估的技术瓶颈等挑战。

AI 的发展以大数据等信息技术为重要支撑,但由于其具有智能感知及自主反应等优势,更有

利于应对动态性及不确定性。在应对生态环保压力转化为技术创新动力过程中存在的动态性方面,基于 AI 的智能化“感知—决策—行动”系统的优势参见表 1。

四、结论与对策建议

要充分发挥技术创新绿色动力的价值,需要提升政策应对动态性的敏捷反应能力,以利于将生态环保压力高效转化为技术创新动力。在信息时代,政策调整属于计划性迭代,在应对动态性挑战方面存在滞后性问题,且以局部优化为主,全局协调成本高。AI 为实现政策参数的实时优化与场景化匹配提供了强有力的技术支持,但要把技术优势转换为政策过程优势,需要重视从以下几个方面着手,以完善智能化“感知—决策—行动”系统。

一是要重视弹性架构与智能调节相结合的政策设计理念。这种政策制定模式强调通过深度融合人工智能技术的预测、分析和自适应能力,构建包括智能感知与调节技术、模块化政策框架等要素在内的政策生态。其核心价值在于用标准化降低不确定性,用灵活性提升响应力,能基于实时情况自动生成策略包及动态调整支持力度,以利于提升政策体系的动态适应性和效率。主要设计理念包括:一是重视政策法规框架的弹性,例如,增加日出/日落条款;二是重视完善评估机制,例如,敏捷性指数、碳税阶梯定价、绿色信贷动态调节系数及环境技术成熟度指数等工具;三是重视关键平衡点的掌控,需要采取设定模块调整触发条件等阈值管理措施,建立包括政策响应延迟、政策执行误差及社会总成本等指标的动态反馈调节机制。

第二,要重视政策模块化设计模式。政策模块化是一种以分块设计、灵活组合及动态优化为核心的新型治理模式,具有模块独立性、快速迭代能力、政策工具包兼容、区域定制化、沙盒机制、故障熔断及绩效量化等特点,其核心优势在于通过模块间的灵活组合与调整,将政策的刚性约束与弹性适配有机结合。模块化政策框架尤其适用于复杂治理场景, AI 则能极大提升政策的动态调整能

表 1 智能化“感知—决策—行动”系统应对动态性的优势

动态性	应对机制	应对机制的原理与构成	面临的主要挑战	智能化“感知—决策—行动”	
生态环保压力的动态优化问题	“监测—评估—反馈—调整”的闭环机制	通过环境质量监测、经济承压指数、社会敏感度图谱等措施,完善压力动态优化机制	监测方面的资源浪费;评估方面忽视生态系统弹性;预警方法的滞后性与泛化	通过 AI 强大的复杂系统治理能力,动态调整监测网络布局,实现了从“被动报警”到“分级响应”	
环境外部成本内部化的“供给—需求”动态平衡问题	需求生成动力系统	压力传导机制	将隐性环境成本转化为可量化指标,例如碳排放配额;将环境成本转化为生产要素价格,例如碳排放权交易价格	价值评估机制不完善等因素导致的量化难题;市场机制设计缺陷;企业接受度不足;利益再分配矛盾	AI 通过精准量化与动态定价、强化监管与规避能力,以及赋能中小企业转型等措施,应对压力传导过程中的难量化及难定价问题
		倒逼机制	通过政策倒逼,构建绿色底线;通过市场倒逼,改变供求市场;通过技术倒逼,驱动成本重构;通过社会倒逼,重塑消费选择	政策执行与协同难题;市场主体转型成本高;市场机制设计缺陷;技术转化与规模化瓶颈;社会认知与行为惯性	AI 具有智能感知、精准评估及实时反馈优势,有利于实现精准量化、智能监测与动态执法,成为倒逼市场需求及技术创新的加速器
		环境负外部性转化	通过政策工具重塑市场规则;通过产权界定建立交易市场,将环境负外部性转化为可交易商品;通过技术赋能,推动负外部性价值显性化;通过完善需求侧响应机制,挖掘消费端潜力	产权界定困境、市场活跃度不足、价格形成扭曲及技术支撑薄弱四大结构性矛盾,导致市场失灵问题突出,例如,碳排放权、排污权等环境权交易机制进展缓慢	AI 具有精准量化环境成本、动态定价与市场激活、需求创造与技术催化,以及信任机制重构等优势,有利于更准确地进行生态资源确权工作,重塑环境成本显性化市场规则,激活需求侧及供给侧
		创造绿色溢价市场	完善政策框架与激励机制;技术创新与规模化降本;培育市场需求与消费者认知;金融工具创新与资本引导;构建国际合作与标准体系;数据驱动与市场透明度;塑造绿色消费文化	价格壁垒导致环保成本转嫁难题;“漂绿”行为与认证混乱等信任危机问题;政策与市场激励脱节,消费端激励不足,供给侧、需求侧及流通侧难以形成协同效应	推动需求侧实现精准识别与动态定价,供给侧实现技术降本与敏捷创新,流通侧实现智能匹配与价值传递,有利于量化隐性环保价值、打破“绿色=高价”的市场现象及认知,构建有竞争力的绿色溢价市场
		长尾需求激活	通过制度创新,降低长尾市场成本;通过金融工具创新,激活小微参与;通过场景化渗透,融入生活细节;通过文化认同建构,实现从责任到需求	市场需求高度碎片化;技术门槛高但回报周期长;政策驱动与市场自发需求并存;资源分配失衡;产品臃肿及功能冗余	AI 通过灵敏感知及快速反应优势,实现了智能挖掘分散的环保需求,数据驱动长尾需求发现,智能匹配供需资源,用户参与式环保网络构建
市场需求变化与技术突破方向的动态适配问题	“需求牵引技术、技术创造市场”的良性循环机制	产学研用一体化;政策工具驱动需求与技术协同;市场信号与技术研究的动态适配平台;开放创新与产业协同平台	需求与技术的时空错配;信息不对称与协同障碍;资金与风险分配矛盾;全球“技术—市场”协同困境	利用大模型强大的学习和推理能力进行智能化适配,能实现技术供给要素与市场需求之间的深度匹配,推动产学研用一体化	

力,有利于模块化政策策略的实施。同传统“集成化”政策架构相比,模块化政策有利于提升短期灵活性,但也面临长期系统性不足问题,需要重视短期灵活性与长期系统性的有机协同。

第三,要应用 AI 完善动态优化生态环保压力的工具方法。结合 AI 在感知等方面的优势,通过动态监测与预警机制创新、政策工具创新等措施,针对生态环保压力构建反应敏捷的监测、评估、反馈及调整机制。AI 赋能的压力优化工具及方法主要包括:通过构建动态阈值管理体系、开发压力指数等措施,实时测算环境承载力、产业失业警戒线及民生福利基线等指标,并综合碳排放强度、就业弹性、基尼系数等指标动态调整环保强度。同时,对不同区域采取分区策略,对不同产业设定差异标准。

第四,要运用 AI 形成“压力—动力”敏捷转化链。利用 AI 构建多方联动的创新生态系统,通过

优化压力传导及需求生成动力机制,最终形成“环保约束创造市场机会”“需求牵引技术、技术创造市场”的良性循环。主要措施包括:通过用户行为数据分析挖掘隐性需求,分析海量数据高效预测技术爆发点及缩短转化周期;通过智能优化降低试错成本,推动市场需求与技术成熟度的动态匹配;通过技术赋能、数据共享及协同创新等机制,推动“产学研用”深度融合。

第五,要利用 AI 创新政府绿色采购机制。要更好地发挥政府绿色采购作为“创新需求引擎”的价值,需要针对 AI 赋能政府绿色采购面临的挑战,探索应对方法及路径。主要措施包括:明确 AI 应用的合规边界,开发面向绿色采购的专用 AI 模型;通过强化机器学习模型,优化采购配额分配策略;通过政府补贴或“服务券”模式,支持中小企业接入数字化平台,降低技术应用门槛,弥合数字鸿沟;构建动态监管体系,推动跨部门数据共享,建

立 AI 驱动的动态预警机制。

第六,要客观认知 AI 在政策过程中的优劣势及发展趋势。未来竞争将聚焦于“AI + 领域知识”的深度融合能力,而非单一技术优势,需要进一步推动 AI 与生态环保的深度融合,通过政策引导、技术创新及 AI 赋能的三位一体模式,推动生态保护与可持续发展的动态平衡。尽管 AI 能显著提升政策决策能力及效率,但仍需注意解决数据隐私、数据偏见、模型黑箱化、伦理风险及跨领域协作等问题,专业人士负责价值判断与最终决策。

参考文献:

- [1] UN TRADE AND DEVELOPMENT. Technology and innovation report 2025: Inclusive artificial intelligence for development[R]. Geneva, 2025:19-20.
- [2] ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Artificial intelligence in science: challenges, opportunities and the future of research[R]. Paris: OECD publishing, 2023:10.
- [3] UNITED NATIONS. Seizing the opportunities of safe, secure and trustworthy artificial intelligence systems for sustainable development[R/OL]. (2024-03-11) [2025-04-18]. <https://docs.un.org/zh/A/78/L.49>.
- [4] 世界互联网大会人工智能专业委员会安全与治理推进计划. 以普惠包容的人工智能治理赋能全球可持续发展[R]. 北京:世界互联网大会,2025:4.
- [5] 娄伟. 新质生产力创新生态进化研究:基于中美创新韧性比较[J]. 中国软科学,2024(11):9.
- [6] 中华人民共和国,国务院新闻办公室. 新时代的中国绿色发展[R/OL]. (2023-01-19) [2025-04-18]. http://www.scio.gov.cn/zfbps/zfbps _ 2279/202303/t20230320 _ 707649.html.
- [7] INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Global renewables outlook: energy transformation 2050 [R]. 2020:95-97.
- [8] 中金公司研究部、中金研究院. 碳中和和经济学:新约束下的宏观与行业分析[M]. 北京:中信出版社,2021:1-410.
- [9] SECUNDO G, SPILOTRO C, GAST J, et al. The transformative power of artificial intelligence within innovation ecosystems: a review and a conceptual framework[J/OL]. Review of managerial science, 2015, 19:2697-2728. (2024-11-23) [2025-04-18]. <https://doi.org/10.1007/s11846-024-00828-z>.
- [10] 高华川,王划璞,董珍. 智能驱动与企业绿色创新:基于国家人工智能试验区的准自然实验[J]. 江南大学学报(人文社会科学版),2024,23(6):55.
- [11] BHUYAN B P, RAMDANE-CHERIF A, TOMAR R, et al. Neuro-symbolic artificial intelligence: a survey[J]. Neural computing and applications, 2024(36):12809-12844.
- [12] BAJPAI A, YADAV S, NAGWANI N K. An extensive bibliometric analysis of artificial intelligence techniques from 2013 to 2023[J/OL]. The Journal of supercomputing, 2025, 81: 540(2025-01-31) (2025-04-18). <https://wgmktgpxscrj1-s.libvpu.cass.cn/10.1007/s11227-025-07021-3>.
- [13] 陈伟,邓堯,杨柏,等. 人工智能能否赋能区域技术创新:创新环境的中介效应[J]. 科技进步与对策,2024,41(10):57.
- [14] 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.
- [15] 邱耕田,强竞丹. 人工智能时代的新科技革命:特点、风险和应对[J]. 阅江学刊,2024,16(4):7.
- [16] 周杰琦,陈达,夏南新. 人工智能对绿色经济增长的作用机制与赋能效果:产业结构优化视角[J]. 科技进步与对策,2023,40(4):45.
- [17] 王新成,李垣. 人工智能技术赋能企业碳减排绩效的实证研究[J]. 中国软科学,2024(9):142.
- [18] EUROPEAN UNION. Responsible use of generative AI in research[EB/OL]. (2024-03-22) [2024-11-14]. https://intellectual-property-helpdesk.ec.europa.eu/news-events/news/new-guidelines-responsible-use-generative-artificial-intelligence-2024-03-22_en.
- [19] PRESIDENTS COUNCIL OF ADVISORS ON SCIENCE AND TECHNOLOGY. Supercharging research: harnessing artificial intelligence to meet global challenges[R]. Washington: PCAST, 2024:1-63.
- [20] UN TRADE AND DEVELOPMENT. Technology and innovation report 2025: inclusive artificial intelligence for development[R]. Geneva, 2025:1-168.
- [21] 孙文远,周浩平. 人工智能、技术外溢与绿色全要素生产率[J]. 当代经济,2023,40(2):3.
- [22] 邝劲松,杨坤宇,石校菲,等. 省域人工智能发展对绿色全要素生产率的空间效应[J]. 经济地理,2024,44(7):144.
- [23] 苏晨晨,王飞. 人工智能发展对绿色全要素生产率的双边效应[J]. 技术经济与管理研究,2025(2):38.

- [24]程名望,褚羽舟. 数据要素与人工智能技术融合能提升城市创新能力吗[J]. 同济大学学报(社会科学版), 2024,35(3):49.
- [25]陈芳,刘松涛. 人工智能技术能否成为引领城市绿色发展的新引擎[J]. 南京财经大学学报,2022(3):78.
- [26]韩松岩. 人工智能技术对企业数字创新的影响研究[J]. 工业技术经济,2022,41(11):13.
- [27]郑坤,彭甲超. 人工智能政策对中国制造业绿色低碳转型的影响效应分析[J]. 能源研究与管理,2025,17(1)25.
- [28]朱冠平,王琨. 人工智能应用与制造业企业绿色创新[J]. 工业技术经济,2024,43(9):73.
- [29]巫强,黄孚,汪沛. 人工智能技术与企业创新绩效:兼论新质生产力的赋能作用[J]. 财经问题研究,2024(10):67.
- [30]崔伟. 人工智能促进绿色创新了吗[J]. 科学决策,2024(4):61.
- [31]朱力,江文奇. 人工智能、ESG 表现与企业绿色治理水平[J]. 技术经济与管理研究,2024(12):71.
- [32]许潇丹,惠宁. 人工智能对工业绿色低碳发展的影响研究[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2024,53(6):74.
- [33]甄紫涵,周胜,王灿. 人工智能助力实现“双碳”目标:新质生产力视角下的机制与对策[J]. 阅江学刊,2024,16(5):76.
- [34]AGYEKUM E B, ALI E B. Impact of technological innovation on carbon neutrality-systematic and bibliometric review of two decades of research[J]. Carbon research, 2025(4):1.
- [35]李玉花,林雨昕,李丹丹. 人工智能技术应用如何影响企业创新[J]. 中国工业经济,2024(10):155.
- [36]徐雷,李政,郭晓玲. 人工智能算法决策与企业研发“合谋”[J]. 中国软科学,2024(6):223.
- [37]任思绮,相楠,李圣楠,等. 环境规制、人工智能与企业绿色创新[J/OL]. 资源与产业. (2025-03-06)[2025-04-15].
- [38]贺星星,阮俊杰,卞彩杏. 人工智能应用促进了长江经济带三大城市群的绿色创新吗?:基于“数字红利”和“数字鸿沟”视角[J]. 经济地理,2024,44(8):137.
- [39]周杰琦,陈达,夏南新. 人工智能、产业结构优化与绿色发展效率:理论分析和经验证据[J]. 现代财经(天津财经大学学报),2023,43(4):96.
- [40]HUMAN-CENTERED ARTIFICIAL INTELLIGENCE. Artificial intelligence index report 2025[R]. Stanford University, 2025:49,96.
- [41]罗敏. 基于 EPNR 模型的中国低碳技术创新动力因素分析[J]. 科技管理研究,2018,38(1):240-241.
- [42]赖小东,詹伟灵. 双碳背景下低碳技术创新激励机制研究:基于双重信息不对称的博弈分析[J]. 上海管理科学,2022,44(2):43.
- [43]王波,吴彦茹,张伟,等. “双碳”目标背景下绿色技术创新路径与政策范式转型[J]. 科学管理研究,2022,40(2):4.
- [44]周五七,聂鸣. 促进低碳技术创新的公共政策实践与启示[J]. 中国科技论坛,2011(7):18.
- [45]陈文剑,黄栋. 我国低碳技术创新的动力和障碍分析[J]. 科技管理研究,2011,31(20):22-24.
- [46]贺俊. 中国低碳技术创新面临的新问题与政策调整[J]. 中国能源,2014,36(3):20.
- [47]HUMAN-CENTERED ARTIFICIAL INTELLIGENCE. Artificial intelligence index report 2025 [R]. Stanford University, 2025:93-94.
- [48]杜传忠,李钰葳. 推进人工智能与经济社会融合发展[J]. 人民论坛,2025(4):48-49.
- [49]CHUI M. The economic potential of generative AI;The next productivity frontier[R]. McKinsey & Company, 2023:3.

(本文责编:希文)