



孙博文,王树勋. 数字生态文明:数智时代破解“杰文斯悖论”的中国智慧与中国方案[J]. 中国人口·资源与环境,2026,36(4):1-10.  
[SUN B W, WANG S X. Digital ecological civilization: Chinese wisdom and solutions for resolving the “Jevons Paradox” in the era of digital intelligence[J]. China population, resources and environment, 2026, 36(4): 1-10.]

# 数字生态文明:数智时代破解“杰文斯悖论”的中国智慧与中国方案

孙博文<sup>1,2,3</sup>, 王树勋<sup>4</sup>

(1. 中国社会科学院数量经济与技术经济研究所,北京 100732; 2. 中国社会科学院习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心,北京 100732; 3. 中国社会科学院环境与发展研究中心,北京 100730; 4. 中国社会科学院大学应用经济学院,北京 102401)

**摘要** 从宏观历史视角出发,该研究系统梳理了自第一次工业革命至第四次工业革命进程中“杰文斯悖论”的演化脉络,并将其划分为4个递进的发展阶段(1.0—4.0),提出人工智能(AI)时代“杰文斯悖论”的新形态。具体而言,第一次工业革命时期形成了以“蒸汽机技术-煤炭应用”为核心关系要素的“杰文斯悖论”1.0阶段;第二次工业革命时期,演进为以“电气化-多元能源”为核心关系要素的“杰文斯悖论”2.0阶段;第三次工业革命时期,则呈现出以“信息技术-能耗全球化”为核心关系要素的“杰文斯悖论”3.0阶段。立足数智时代经济社会发展全面绿色转型的要求,该研究构建了以人工智能技术与碳排放(AI-CO<sub>2</sub>)为核心关系要素的“杰文斯悖论”4.0阶段分析框架。通过融合古典政治经济学、马克思资本有机构成理论、熊彼特“创造性破坏”理论以及佩蕾丝技术-经济范式变革理论,研究发现:技术-经济范式内部的协同障碍是“杰文斯悖论”形成的结构性诱因,而技术-经济范式与社会制度的结构性错配则是悖论固化的制度根源,其主要影响因素包括绿色技术创新的强度与效能、清洁能源在电力结构中的占比、低碳产业体系的构建与规模、碳交易制度的完善与约束力,以及消费者绿色偏好的形成与表达。以习近平经济思想和习近平生态文明思想为根本遵循,该研究进一步阐释了“数字生态文明”这一习近平生态文明思想的重要标识性概念所蕴含的中国智慧。研究指出,通过数字化变革能源结构、智能化对冲规模效应、融合化促进模式转型、体系化创新治理机制,能够为破解“杰文斯悖论”提供理论支撑。在此基础上,从发展绿色新质生产力、构建适配新型生产关系、培育绿色人工智能社会风尚、参与并引领全球人工智能治理等方面,提出了数智时代破解“杰文斯悖论”的中国方案。

**关键词** 数字生态文明;人工智能;杰文斯悖论;中国智慧;中国方案

中图分类号 F091.3; F49 文献标志码 A 文章编号 1002-2104(2026)04-0001-10 DOI:10.12062/cpre.20251208

技术进步、效率提升与能耗总量之间的复杂互动关系,是能源经济学与绿色发展领域的经典命题。19世纪中叶,英国经济学家威廉·杰文斯在《煤炭问题》中指出,蒸汽机技术大幅提升了煤炭利用效率,但英国的煤炭总消费量却不降反升,即效率提高并未减少消费,反而因成本降低刺激了需求扩张。这一现象被概括为“杰文斯悖论”<sup>[1]</sup>,也成为能源回弹效应的早期理论雏形<sup>[2-3]</sup>。该规律并非偶然,而是深度嵌入历次工业革命的技术-经济范式演进之中。从蒸汽时代、电气时代到信息化时代,每一次能效的飞跃,都伴随着主导能源消费规模的阶段性扩张。能效进步在解放生产力的同时,也往往催生规模更大、能耗更高的生产与消费模式。在新一轮科技革命与产业变革加速

演进的当下,以人工智能、大数据、云计算为主导的数智经济时代,使得“杰文斯悖论”呈现出新的形态。据国际能源署报告,近年来全球数据中心与算力需求能耗持续攀升,2022年全球数据中心、人工智能和加密货币的耗电量已达460 TW·h,约占全球总能耗的2%<sup>[4]</sup>。生成式人工智能如GPT-4的单次训练能耗亦十分惊人<sup>[5]</sup>。与此同时,算力效率仍遵循“摩尔定律”实现指数级提升,显著降低单次计算的边际成本,进而推动全社会数据存储、传输与处理需求爆发式增长,形成“数字工具效率提升→数字产品与服务成本下降→社会需求扩张与应用泛在化→总能耗与隐含碳排放攀升”的循环<sup>[6-7]</sup>。“杰文斯悖论”由此进入以高算力能耗与复杂供应链隐含碳排放为特征的新阶段<sup>[8]</sup>。值

收稿日期:2025-09-17 修回日期:2026-01-05

**作者简介:**孙博文,博士,副研究员,主要研究方向为中国特色绿色发展经济学、数字生态文明。E-mail:sunbowen@cass.org.cn。

**基金项目:**国家自然科学基金青年项目“中国清洁生产环境规制的减污降碳协同效应、机制与路径研究”(批准号:72303239);中国社会科学院习近平新时代中国特色社会主义思想研究阐释工程重点项目“生态文明3.0:数字生态文明标识性概念与三重逻辑研究”(批准号:2026XYZD09);中国社会科学院智库基础研究项目“数智技术的‘碳排放悖论’:历史逻辑、生成机制与策略应对”(批准号:2025-JZ-22)。

得关注的是,数字技术本身也可能为缓解这一问题提供思路。人工智能、物联网等技术在优化能源系统调度、提升可再生能源消纳能力、赋能全产业链节能降碳等方面展现出显著潜力<sup>[4,9-11]</sup>。因此,深化对“杰文斯悖论”在新时代下的学理探究与实践审视,提出破解“杰文斯悖论”4.0的中国智慧与中国方案,既是对这一经典规律的理论检验与发展范式更新,也有助于科学把握数智技术对绿色发展的“双刃剑”效应,对推进系统性破解数智经济时代“杰文斯悖论”难题具有重要的理论意义与实践价值。

## 1 文献述评

与本研究直接相关的文献主要分为两方面:第一方面,聚焦于“杰文斯悖论”的理论演进、技术背景下的表现差异、内在机制及实证研究。自凡勃伦<sup>[12]</sup>、马歇尔<sup>[13]</sup>、熊彼特<sup>[14]</sup>分别从社会消费心理、市场机制及历史进程等视角奠定其经典论辩基础以来,如“炫耀性消费”催生高耗能文化、“市场弹性”部分抵消能源回弹效应、技术革命通过“创造性破坏”突破能源约束等,后续研究系统阐释了该悖论背后的“能源回弹效应”机理,并将其分解为直接、间接与整体效应,以及替代、收入与规模效应等传导机制<sup>[15-19]</sup>。大量实证研究证实了能源回弹效应的普遍存在,但其强度因研究方法、地域、时期、能源种类与技术类型而异<sup>[18,20-23]</sup>。例如,在居民用电、私人交通等领域直接回弹效应往往较为显著,而在工业部门则因成本结构复杂而回弹效应可能较小甚至为负。随着数字经济兴起,研究进一步揭示了数字经济发展与碳排放之间的复杂非线性关系,“数字能源回弹效应”或“数字碳回弹效应”亦被证实<sup>[6]</sup>,研究视角正从传统的“能源悖论”向更综合的“碳悖论”拓展。第二方面,集中于数字生态文明的理论内涵与实践框架。学术界对其内涵的界定仍在讨论中,大致可分为狭义与广义两种:狭义理解侧重工具层面,视数字生态文明为数字技术赋能生态环境监测、治理、保护与修复全过程的数字化手段<sup>[24]</sup>;广义理解则将其上升为一种新的文明形态,认为是数字文明与生态文明深度融合的产物,不仅体现为技术工具创新,更意味着新发展理念、经济模式、社会结构与价值伦理的深刻变革,旨在实现人与自然和谐共生的现代化<sup>[8,25]</sup>。尽管存在分歧,但普遍共识是数字生态文明对推动经济社会发展全面绿色转型、实现中国式现代化具有重大战略价值<sup>[26-28]</sup>。相关研究也从绿色新型基础设施、生态环境大数据体系、产业数字化与绿色化协同转型、数字化治理体系及生态文化传播等方面提出了实践框架<sup>[8,29-30]</sup>。同时,也有学者指出,由于生态伦理失范、技术理性泛滥等原因,数字生态文明建设在主体协同、技术赋能与治理效能等方面仍面临挑战<sup>[29,31-34]</sup>。

总体来看,既有研究仍有深化空间:一是研究视角有待拓展,多数分析仍局限于“技术进步-能源效率-能源消费”的传统范式,尚未实现从“能源悖论”到“碳悖论”的批判性超越,缺乏在碳治理视域下对数智经济时代“杰文斯悖论”生成逻辑与演化特征的深入剖析。二是理论机制有待深化,现有研究多集中于回弹效应的实证测度与渠道分解,或仅从生产力(技术)或生产关系(制度)单一视角展开,少见从技术-经济范式与社会制度适应性匹配的辩证统一视角,对悖论形成的深层次制度根源进行系统分析。三是实践路径有待系统化,面对人工智能驱动的技术浪潮,如何统筹其带来的绿色发展机遇与能源气候挑战,尚缺乏兼具系统性、可操作性的顶层设计与实施方案。

## 2 工业革命演进下的“杰文斯悖论”阶段特征与形成原因解释

### 2.1 “杰文斯悖论”的工业革命阶段特征

“杰文斯悖论”的表现形态,紧密跟随主导性通用技术(general purpose technology, GPT)的变迁而演变,每一次工业革命都重塑了其作用场景和复杂性。第一次工业革命以蒸汽机为标志,蒸汽机效率的提升虽然降低了单位产出的能量成本<sup>[35]</sup>,却通过驱动纺织、采矿等行业的规模扩张及铁路网络的广泛建设<sup>[36-37]</sup>,最终导致英国煤炭消费量的增速远超人口增长,推动了机械化大生产的同时,能源效率提升与资源消耗总量扩张的正反馈机制得以强化,形成了以“蒸汽机技术-煤炭应用”为核心关系要素的“杰文斯悖论”1.0阶段。第二次工业革命以电气化为核心,作为一种二次能源,电力转换和传输效率远高于蒸汽动力,在提升能源转换与使用效率的同时,还扩大了照明、电动机、家用电器等新需求,并催生了电化学工业等新兴产业,使能源消费渗透至社会生活的各方面,扩大了全社会能耗总量<sup>[16]</sup>,形成了以“电气化-多元能源”为核心关系要素的“杰文斯悖论”2.0阶段。第三次工业革命的信息化浪潮,通过智能电网与数字化精细管理提升能效<sup>[38]</sup>,但其自身基础设施(如数据中心、通信网络等)也成为巨大能耗源<sup>[39]</sup>,还通过降低全球交易成本、刺激数字服务扩张来促进能源需求的全球化扩散<sup>[21,40-42]</sup>,进而形成了以“信息技术-能耗全球化”为核心关系要素的“杰文斯悖论”3.0阶段。

当前,以人工智能为核心驱动力的新一轮科技革命与产业变革,正加速推动“杰文斯悖论”转向以“人工智能-碳排放”(AI-CO<sub>2</sub>)为核心关系要素的4.0新阶段。对人工智能的环境影响分析,不能仅局限于传统能源的供需方面,而是需要引入能源结构因素,综合考虑碳排放这一核心生态要素,将可再生能源以及绿电等零碳能源因

素纳入其中,将研究视野从能源悖论转向影响更加深刻的“碳悖论”领域,这不仅有助于拓展“杰文斯悖论”的理论视野,也是“双碳”目标下的重大实践要求。究其原因,人工智能与清洁能源的深入融合,正在重塑全球经济社会格局,通过构建智能化、去中心化的新型能源系统,并利用超短期预测、智能调度等技术显著提升系统效率与韧性,对碳足迹产生深远影响<sup>[43]</sup>。借助经典回弹效应理论可以对“杰文斯悖论”4.0阶段的新特征进行解释。直接回弹效应方面,AI算力需求的增加遵循摩尔定律,伴随着数据量和参数的增加而呈指数级增长,对建设更大规模数据中心、更先进的芯片制造厂产生了巨大投资需求,将显著促进直接能耗与隐含碳排放水平攀升<sup>[44]</sup>。间接回弹效应方面,AI通过大幅度降低智能服务的边际成本,将迅速拓展全新应用场景和激发新的消费模式,导致节能效应被部分或全部抵消<sup>[45]</sup>。比如,虚拟现实、个性化AI助理以及自动驾驶等技术应用,都将消耗大量能源,提高碳排放水平。系统回弹效应方面,AI通过发挥规模报酬递增和网络效应的作用,在促进全要素生产率提升、扩大生产规模的同时<sup>[46]</sup>,还可能导致技术红利的全球分配不均衡。也就是说,发达国家可能利用AI率先实现产业升级和碳排放脱钩,而发展中国家则可能被锁定在高碳制造环节和建设高耗能数据中心的人工智能发展路径,这加剧了全球碳治理的“中心-边缘”格局。

## 2.2 “杰文斯悖论”的形成机制与影响因素

### 2.2.1 形成机制

科学解释“杰文斯悖论”的形成机制,是破解悖论的前提。既有研究多遵从市场经济的解释逻辑,利用能源供需、价格弹性、收入效应与替代效应等概念开展分析,虽然具有一定的解释力,但缺乏对其思想渊源与动因的深层次挖掘。代表性的研究如下。

一是对古典政治经济学“免费礼物”假设的早期反思。古典政治经济学虽奠定了市场效率分析的基础,但通常将自然资源视为“免费的礼物”,未将其综合价值纳入经济核算体系<sup>[47-48]</sup>。杰文斯认为,在纯粹的市场逻辑下,资源稀缺性的真实社会成本被系统性低估,煤炭虽然开采成本低,但若长期忽略资源的稀缺性会推动边际成本上升,对自然资源免费论进行了批判性反思。

二是马克思资本有机构成理论为理解这一悖论提供了深刻的政治经济学批判框架<sup>[49]</sup>。在资本主义生产关系下,技术进步从根本上服从于资本增殖目标,效率提升被异化为扩大再生产、追求超额利润的重要手段,并且这一效率的提升主要表现在微观层面,而非社会总资源的节约。正如马克思、恩格斯<sup>[50]</sup>所言:“消费力还受到追求积累的欲望,扩大资本和扩大剩余价值生产规模的欲望的

限制。这是资本主义生产的规律,它是由生产方法本身的不断革命,由总是和这种革命联系在一起的现有资本的贬值,由普遍的竞争斗争以及仅仅为了保存自身和避免灭亡而改进生产和扩大生产规模的必要性决定的。”这意味着,资本主义生产的内在规律决定了利润率会随着资本有机构成的提高而呈现下降趋势。为了抵消这一趋势,资本需要不断积累并扩大生产规模,进而驱动了资源消耗的无节制增长。

三是熊彼特“创造性破坏”理论揭示了突破悖论的可能路径。他认为,颠覆性的技术创新能够催生新的技术-经济范式,从而重构整个社会的生产、消费与组织方式<sup>[14,51]</sup>,这为打破传统高耗能的“生产-消费”循环提供了结构性的转型机会。然而,新范式能否实现可持续发展转型,取决于产权、规制等社会制度能否及时、有效地与之匹配。若知识产权制度倾向于激励短期套利,金融制度偏好高碳资产,社会价值观崇尚物质主义消费,那么,新技术应用可能在提高资源开采与利用效率的同时,加剧能源消耗与环境压力,强化“杰文斯悖论”<sup>[52]</sup>。

四是佩蕾丝的技术-经济范式与社会制度协同理论为此提供了系统的阶段分析框架<sup>[53]</sup>。在技术革命“导入期”,金融资本狂热追逐新技术概念,但传统范式的社会制度框架滞后于技术扩散,无法有效评估、引导与约束新技术应用引发的环境外部性问题。比如,对数据中心能耗、人工智能算法碳足迹、平台经济导致的能源消耗等,短期内缺乏适应性的衡量标准和监管制度。从“导入期”过渡到稳定的“展开期”,关键在于建立与新范式相匹配的监管框架、分配机制和产业政策,唯有如此,技术的生产性潜力才能被充分释放,并转向更包容、更可持续的发展方向。比如,通过建立覆盖全生命周期的数字产品碳足迹核算监测制度,并实现其与碳交易市场的有效衔接,是数智时代完善适应性企业碳减排激励制度,促进生态产品价值实现的重要途径。

综合上述理论,对“杰文斯悖论”生成与演化的深层次制度分析,须置于生产力与生产关系的矛盾运动中来理解。一方面,从生产力视角看,生产力系统内部协同障碍与系统性摩擦,是诱发并加剧“杰文斯悖论”的重要结构性成因。这也表现为技术-经济范式内部要素的协同障碍。新技术-经济范式的确立过程,体现了通用技术、互补性技术体系、产业组织与要素结构的系统性重组<sup>[54]</sup>,也是新质生产力形成的过程。若生产力系统内部要素协同不足,便会提高系统的整体能耗。具体表现在以下3个方面。

一是通用技术与互补技术发展不协同。数智技术能效提升作用的充分发挥,离不开绿色数据中心、高能芯



片、灵活低碳能源网络等互补技术的有效支撑<sup>[55]</sup>。在转型初期,新旧技术并行,试错成本高,滞后的配套基础设施会导致技术应用的边际收益递减。

二是新旧生产要素错配与“A-J效应”(Averch-Johnson Effect)风险。“A-J效应”反映了政府价格管制通过扭曲企业投资和生产决策,引发的资本过度投入和生产效率损失效应。数字技术-经济新范式要求实现数据、算法等新型生产要素与资本、劳动、能源等传统要素的优化重组,但数据产权、定价与交易等基础制度不完善导致要素市场扭曲<sup>[56-58]</sup>。这也使得人工智能应用偏向于资本对劳动的替代,而非优化整体生产函数与能源代谢路径,企业倾向于过度使用高耗能AI算力等“便宜”的要素,可能诱发资源错配的“A-J效应”<sup>[59]</sup>,导致宏观能效下降。

三是技术应用与绿色转型目标脱节。数字化、智能化本身并不自然导向绿色化<sup>[60]</sup>。在钢铁、水泥、化工等传统高耗能产业的数字化转型过程中,通常面临着改造成本高、人才短缺以及组织变革滞后等障碍,导致绿色技术供给无法满足产业减排的需求。

另一方面,新技术-经济范式与既有社会制度的结构性不匹配,构成了“杰文斯悖论”生成与固化的根本制度性根源。根据偏向性技术进步理论<sup>[61]</sup>,技术进步方向受市场信号和制度框架引导。若制度未能将生态环境成本充分内化,效率提升便可能被异化为刺激总需求扩张的工具。这种深层次的不匹配后果体现在以下3个方面。

一是制度缺位引发能耗反弹。根据“生产率悖论”理论<sup>[62]</sup>,由于匹配性制度的缺失,技术进步尤其是信息技术的宏观生产率提升效果,往往滞后于微观层面生产效率改进。这意味着,数字技术的宏观节能效益,需要配套的制度性投入(如绿色标准、碳核算认证、生态监管等)、组织流程再造与管理模式变革才能实现。缺乏这些协同,容易陷入“有先进技术、无减排实效”的困境<sup>[63]</sup>。历史经验也表明,制度缺陷会显著放大技术进步的能源回弹效应,例如,英国蒸汽时代因矿产资源产权制度不完善,曾引发“采富弃贫”的掠夺式开采,效率提升反而刺激了大量的煤炭资源总消耗<sup>[64]</sup>。

二是金融与投资制度的短期化导向。当前金融市场对AI等前沿技术的投资情绪复杂、趋于短视,往往热衷于易估值、快退出的应用领域,而对需要长期投入的底层绿色算力基础设施、基础算法能效优化等领域的投资仅限于某些大厂,政策支持力度有待加强。这种资本配置的扭曲,可能使得技术发展路径偏离可持续方向。

三是全球治理碎片化会放大外部性。当今世界,主要经济体的人工智能治理路径存在显著差异:欧盟侧重于算法透明与权利保护,美国推行“创新优先”的行业自

律模式,中国则倡导“安全可控”的包容性治理<sup>[65]</sup>,而且还面临着能效标准、碳足迹核算等制度协调不足的问题,显著放大了AI的碳排放负外部性。

## 2.2.2 影响因素

人工智能作为第四次工业革命的核心驱动力,其碳减排效应并非线性或单向的,而是呈现出显著的双重性与复合性。具体而言,人工智能的最终环境影响取决于其产生的节能效应与所引发的回弹效应之间的动态权衡。核心判定条件在于两种效应的力量对比:当人工智能技术进步带来的节能效应(通过提升能源效率、优化流程管理等方式降低单位产出的能耗与排放)超越其规模效应(通过降低生产成本、催生新应用、刺激经济增长而导致能源总需求扩张)时,“杰文斯悖论”将被削弱甚至避免,从而实现净减排;反之,若规模效应压倒节能效应,则会导致总碳排放不降反增<sup>[52]</sup>,形成典型的“杰文斯悖论”4.0。根据一般均衡分析框架,这一均衡结果并非预先注定,而是受到一系列关键外部约束条件的非线性交互作用所塑造。从关键影响因素来看,人工智能的碳减排效应受多重外部条件的非线性交互作用所塑造,以下系统梳理五大关键影响因素及其现实制约性。

一是绿色技术创新的强度与效能。绿色技术创新是直接放大人工智能节能效应、对冲其规模效应的核心驱动力。理论上,更高效的算法、更节能的硬件以及更完善的系统能效管理方案,能够显著降低人工智能训练与推理过程的单位算力能耗,从而提升全社会的能源利用效率,削弱经济增长对能源投入的依赖,缓解“杰文斯悖论”<sup>[14,51]</sup>。然而,当前绿色人工智能创新遇到多重瓶颈,制约了其潜能释放:第一,算法层面的能效挖掘不足。许多模型开发仍过度依赖算力与数据的“暴力”堆砌,未能充分挖掘算法架构本身的深度节能潜力。第二,硬件能效提升面临物理极限约束。传统GPU等计算芯片的能耗增长已接近物理极限,而量子计算、神经形态芯片等颠覆性低碳硬件技术尚处于实验室或早期应用阶段,规模化商用路径尚不明确。第三,系统集成与标准化缺失。尤其在工业等复杂场景中,环保需求多样导致不同厂商的人工智能解决方案互操作性差,形成“数据孤岛”与“技术烟囱”<sup>[54]</sup>。企业为实施智能化改造,往往需要耗费大量成本,用于数据清洗与系统对接,严重制约了技术协同效能与整体节能效益的提高。

二是清洁能源在电力结构中的占比。提高风电、光伏等清洁能源在一次能源消费中的占比,是从供给侧降低碳排放强度的根本途径。即使人工智能技术增加了总电力需求,若新增电力主要来自零碳能源,其导致的直接碳排放增长也有限。因此,加速能源结构清洁化是抵消



人工智能规模效应的关键举措。但这一路径在实践中面临三大突出矛盾:第一,“绿电追赶困境”。人工智能算力基础设施的扩张速度远快于其实际绿电消纳比例的提升速度。到2025年底,国家枢纽节点新建数据中心的绿色能源占比超过80%,但大量非枢纽节点数据中心用能依然高比例依赖化石能源发电,清洁能源的边际减排效益被高速扩张的规模效应所抵消。第二,资源与负荷的“空间错配”。当前,中国约70%的风光资源集中在西北部,而超过60%的算力负荷位于东部沿海,“西电东送”压力巨大,长途输电的网损和调度复杂度抬高了用能成本与系统风险。第三,电网系统灵活性与算力负荷的“特性冲突”。清洁能源的间歇性、波动性与数据中心等算力设施瞬间突增的负载特性叠加,给电网稳定运行带来挑战。在缺乏足够灵活性调节资源的情况下,电网安全约束会反过来限制清洁能源的接入,形成技术性协同障碍。

三是低碳产业体系的构建与规模化。“杰文斯悖论”中的规模效应体现在两个层面:一是人工智能行业自身高耗能环节的直接扩张;二是人工智能提升其他行业效率所节约的资源,被重新投入到新的高碳生产和消费活动中,引发间接回弹效应。因此,破解悖论必须构建覆盖全经济体系的绿色低碳循环的产业生态<sup>[53]</sup>。这意味着需要同步推进两大任务:第一,发展绿色人工智能核心产业,建设全面采用高效制冷、绿电直供等方式的绿色数据中心;第二,利用人工智能技术赋能钢铁、水泥、化工等传统高耗能产业的全流程绿色化改造,并培育战略性新兴低碳产业集群。其目标是引导生产要素向低碳领域配置,使资源节约的成果得以巩固。当前的主要制约在于技术碎片化与系统集成不足。传统产业工艺流程复杂,环保需求各异,导致通用的人工智能节能模型难以精准匹配。应用多局限于单个工序或设备的优化,缺乏覆盖“能源-物料-排放”的全流程系统性解决方案。企业需要整合多个供应商的产品,不仅推高了部署成本,更阻碍了能源与碳数据的统一管理 with 全局优化,难以释放最大协同减排潜力<sup>[60]</sup>。

四是碳交易制度的完善与约束力。碳定价机制是将碳排放外部成本内部化,作用于企业微观决策的核心经济手段。通过提高化石能源使用成本,碳价可以抑制高碳能源需求,从而削弱人工智能技术进步可能刺激的能源总需求扩张,为节能效应的发挥创造市场空间。现实中的关键问题在于政策覆盖与核算体系的双重缺位。从政策覆盖看,全球主要碳市场的管控范围多基于传统高耗能行业的历史排放量划定。人工智能企业作为新兴实体,往往未被明确纳入重点排放单位名单,导致许多排放量已达管控门槛的数据中心或算力企业游离于碳市场约束之外。从核算体系看,现有温室气体核算标准对人工

智能行业的适用性严重不足。企业广泛通过购买可再生能源证书等方式实现财务报表上的“范围2”排放归零,但这掩盖了其实际依赖的电网平均排放强度。更重要的是,模型训练、硬件制造等产生的“范围3”排放极其复杂,缺乏统一的测量、报告与核查标准,企业披露极不完整。核算体系的缺失使得监管部门难以准确掌握行业真实碳足迹,无法进行有效监管<sup>[65-66]</sup>。

五是消费者绿色偏好的形成与表达。消费者是人工智能产品与服务的最终用户,其环境意识与消费选择构成了重要的市场需求信号。绿色偏好会引导消费者优先选择能效更高、碳足迹更低的人工智能产品和服务,同时对高碳排放的数字消费行为保持克制。这种来自需求侧的约束力,能直接抑制导致规模效应的非理性消费扩张,形成对绿色技术创新的市场拉力。然而,当前绿色人工智能发展面临“高关注度、低认知度”的消费者认知盲区。尽管公众对气候变化等宏观环境议题普遍关注,但对人工智能技术本身的环境影响,特别是对其从芯片制造、模型训练到日常使用全生命周期的巨大碳足迹认识不足。多数消费者不了解“杰文斯悖论”的存在,无法在购买或使用人工智能服务时作出有意识的环境友好型选择。

### 3 数字生态文明建设:“杰文斯悖论”的破解路径

#### 3.1 数字生态文明的中国智慧与“杰文斯悖论”破解机制

作为习近平生态文明思想的重要发展,数字生态文明是数字技术-经济范式与绿色技术-经济范式在第四次工业革命浪潮下的系统性融合,将通过能源结构转型、全系统效率提升、发展模式创新与治理体系优化等渠道促进破解“杰文斯悖论”,体现了新质生产力与新型生产关系的辩证统一。

##### 3.1.1 数字生态文明的中国智慧

数字生态文明是习近平生态文明思想的重要标识性概念,不仅反映了对生态文明建设规律的深刻把握,更体现了以中国式现代化开创人类文明新形态,以及创新生产要素理论、构建系统化治理路径的中国智慧。党的十八大将生态文明建设纳入“五位一体”总体布局,确立了其全局性战略地位,为数智技术与生态文明融合奠定了基础。习近平在2021年致世界互联网大会乌镇峰会的贺信中首次提出“数字文明”的概念,深刻揭示了数字技术塑造人类文明新形态的历史趋势。这为数字生态文明这一更高阶、更集成理念的诞生提供了关键的理论先导。2023年,《数字中国建设整体布局规划》明确将“数字生态文明建设取得积极进展”作为2025年重要目标,并将其纳

入数字中国“2522”整体框架,标志着该理念完成了从战略构想、理论概念到国家顶层设计的关键跨越。同年,在全国生态环境保护大会上,习近平明确提出,“深化人工智能等数字技术应用,构建美丽中国数字化治理体系,建设绿色智慧的数字生态文明”<sup>[67]</sup>,进一步指明了其核心路径和发展目标。数字生态文明不仅要求以数字技术赋能生态环境治理,还蕴含着以新质生产力催生人类文明新形态的重大理论创新空间<sup>[8]</sup>。习近平指出,“中国式现代化创造了人类文明新形态”<sup>[68]</sup>,在推进人与自然和谐共生的中国式现代化征程中,数字生态文明作为数字文明与生态文明时代历史性交汇的产物,体现了对传统工业文明高消耗高排放模式的摒弃,通过对生态文明全面数字化、智能化赋能<sup>[69]</sup>,孕育了一种新的文明形态。

从新质生产力构成的要素与技术-经济范式基础看,数字生态文明还蕴含着新型生产要素与新技术-经济范式形成的理论贡献。一方面,确立了数据要素与生态环境要素相结合的新型生产要素基础。数据要素通过从资源化、要素化到产品化的形态演进,驱动数字经济与实体经济深度融合,成为推动生产力要素重组、塑造发展新动能的关键力量<sup>[70-71]</sup>。习近平指出,“保护生态环境就是保护生产力,改善生态环境就是发展生产力”<sup>[72]</sup>。通过生态资源资产化、生态资产资本化等渠道,建立健全生态要素价值实现路径,已成为绿色生产力发展的重要途径<sup>[73-74]</sup>。另一方面,数字生态文明体现了数字技术-经济范式与绿色技术-经济范式的系统性融合。这一融合以人工智能等颠覆性数字技术为核心驱动力,以人与自然和谐共生为目标导向,贯穿技术、经济、社会与制度等多重维度。技术层面,通过数智技术与绿色技术双向赋能,优化能源与资源利用效率。经济层面,催生数智经济、虚拟电厂、碳资产管理等新业态,促进生态经济数字化与数字经济生态化。社会层面,数字赋能绿色生活方式广泛形成,塑造数字生态文化新风尚。制度层面,推动生态环境全过程治理向数字化、智能化转型。

### 3.1.2 数字生态文明破解“杰文斯悖论”的作用机制

数字生态文明建设为破解“杰文斯悖论”提供了实践框架,体现为以下4个方面。

一是以数字化驱动能源结构转型,破解能源高碳锁定问题。“杰文斯悖论”在能源领域凸显的核心前提,是经济增长与高碳能源系统深度绑定的“碳锁定”效应。历史上,蒸汽机、内燃机的效率提升,均因能源结构以煤炭、石油为主,而刺激了更大量的化石能源消耗。数字生态文明建设的关键突破,在于通过数智技术赋能,推动能源系统从依赖存量化石能源的“资源开采型”,转向开发增量可再生能源的“技术赋能型”,从根源上降低经济增长的

碳排放总量和强度。比如,通过人工智能算法进行风能、太阳能资源的超短期与中长期精准预测,显著降低“弃风弃光”率,提升可再生能源开发利用效率。另外,以“云-大-物-移-智-链”等技术为支撑的“源-网-荷-储”协同互动系统,能够实现分布式能源的即插即用、海量负荷的柔性调节,以及储能设施的优化调度,有助于构建一个清洁低碳、安全可控、灵活高效的智慧能源网络。

二是以智能化重塑系统效率,对冲粗放规模扩张。工业时代的效率提升,多局限于单一设备、单一工艺或单一企业的“单点节能”,这一局部优化效果往往会在价格信号的驱动下,引发更大规模的生产投资与消费需求。数字生态文明坚持系统观念,致力于实现覆盖“能源-物料-工艺-产品-排放”全链条、全生命周期的系统性效率革命。比如,通过工业互联网与数字孪生,实现在虚拟空间中构建物理工厂镜像,对生产工艺、设备运行、物流流动进行仿真、预测与优化管理,显著降低能耗、物耗和废品率。另外,通过嵌入传感器和物联网标识,采集分析产品从设计、制造、使用到回收的全过程数据,推动生态设计、延长产品寿命、促进再制造和高值化回收。这改变了“大量生产、大量消费、大量废弃”的线性模式,从需求侧抑制了对原生资源的无限索取。

三是以融合化催生新模式,超越线性消耗逻辑。“杰文斯悖论”背后的深层逻辑,是工业文明下以所有权为核心、以物质产品大规模消费为目标的线性经济增长模式。数字生态文明通过推动数智技术与绿色理念的深度融合,催生了以“使用价值”而非“占有价值”为核心的新经济模式,从根本上改变资源代谢的路径。一方面,数字化赋能循环经济,使其从理念走向规模化、经济化实践。基于物联网、区块链的追溯系统,可以确保再生资源来源清晰、流向可控,解决信息不对称导致的信任与交易成本问题,激活废旧物资回收利用的巨大市场。产业互联网平台能够高效匹配废弃物的供应与需求,将传统的“垃圾”转化为“城市矿产”,显著提升资源产出率。另一方面,数字化催生了分享经济、服务化转型等新业态。通过平台整合闲置资源,实现使用权的共享与优化配置,可以在不增加甚至减少物质资产总量的前提下,满足同等甚至更高的服务需求。

四是以体系化创新数绿协同治理机制,构建长效制度环境。技术路径的转型离不开制度框架的同步革新。“杰文斯悖论”的固化,很大程度上源于生态环境成本的外部化,以及由此导致的市场信号扭曲与政策监管失灵。数字生态文明建设,通过构建空-天-地一体化的监测网络和智慧环保管理平台,为将环境外部成本精准内部化、实现激励相容提供了前所未有的技术可能和制度创新空



间。在监管层面,通过利用卫星遥感、无人机、地面传感器与大数据分析等技术,实现对生态环境质量、污染物排放、碳排放的“全天候、全地域、全过程”动态感知与智能预警,提高监管效能。此外,数字平台还能赋能生态产品价值实现,通过量化森林、湿地等生态系统的碳汇功能,并将其进行数字化确权、交易和运营,使“绿水青山”有迹可循,更容易转化为“金山银山”。

### 3.2 破解“杰文斯悖论”的中国方案:构建数字生态文明的系统性路径

面对数智时代新挑战,必须依托系统性、整体性的变革予以解决。坚持以习近平生态文明思想和习近平经济思想为根本遵循,数字生态文明建设能够以绿色新质生产力为内核驱动,以适配的新型生产关系为制度保障,以全民绿色数智素养提升为社会基础,以积极参与全球治理为外部协同,解决人工智能发展面临的生态伦理困境。

#### 3.2.1 内核驱动:发展绿色新质生产力,从源头上强化节能效应

为壮大绿色新质生产力并激发其内生节能效应,需将绿色化、低碳化深度融入以人工智能为代表的战略性新兴产业发展全过程,推动一场覆盖底层创新、产业融合与生态构建的绿色技术革命。具体路径如下:一是深化算法与硬件的效率革命,筑牢绿色创新基础。在软件层面,重点发展以绿色为导向的人工智能技术,着力突破轻量化模型训练、稀疏化计算等关键算法,从源头降低算力需求。在硬件层面,前瞻布局光子计算、存算一体等颠覆性架构,推动计算模式根本性变革。同时,推广先进散热技术,规模化应用于数据中心,并引入AI自优化系统实现能耗的精细管控。为促进技术落地,应构建国家级研发转化平台,贯通前沿研究、工程化与大场景应用。建立严格的“算力能效”标准与准入机制,以标准引领产业绿色转型。二是推动数智技术与绿色技术深度融合,赋能系统性降碳。打造跨领域协同赋能平台,促进人工智能与数字孪生、5G、区块链等技术融合创新,在能源、制造、交通等重点领域形成系统级节能解决方案。三是构建自主可控、韧性强的绿色人工智能产业生态,实现全链条能效协同。通过组建国家级创新联合体,有机整合芯片、算法、算力、应用等关键环节,形成从基础研究到技术开发再到场景落地的创新闭环。在此基础上,建设真实场景验证平台,提供一站式能效评估服务,加速绿色技术的商业化应用——这相当于为新技术、新产品提供面向市场的“试练场”与“体检中心”,助力其快速成熟并获得市场认可。

#### 3.2.2 制度保障:构建新型生产关系,有效抑制规模扩张

构建适应性生产关系,完善约束与激励机制,将人工

智能发展导入绿色轨道,抑制碳足迹规模无序扩张。一是健全人工智能碳核算标准体系并稳步纳入碳市场。精准管理的前提是精准计量。需要多部门协同,加快构建覆盖芯片制造、模型训练、部署推理等全生命周期的AI碳足迹核算标准体系,建立以“单位算力能耗”“单位参数碳排放”为核心的基准方法学,并利用区块链等技术确保绿电溯源与碳数据可信度。在此基础上,采取“试点先行、稳步扩大”的路径,逐步将大型AI企业及数据中心纳入全国碳市场,利用市场信号引导资本流向绿色AI领域。二是优化“东数西算”布局与创新“算电协同”模式。这是从空间与能源结构上化解悖论的关键举措。需进一步优化国家算力网络布局,强化在西部可再生能源富集区建设国家级智算枢纽,并通过高速网络引导东部算力需求西迁。同时,大力创新“源网荷储”一体化和“绿电直供”模式,推动数据中心与新能源电站直接对接,并通过政策支持提升存量数据中心绿电使用比例。其核心是打破体制与技术壁垒,构建一个数字化、可视化的绿色能源价值链,实现算力增长与清洁能源发展的协同。

#### 3.2.3 社会基础:培育绿色AI应用风尚,激发需求侧牵引

培育全民绿色数智素养,引导形成绿色低碳的消费与应用风尚,是从需求侧出发抑制非理性规模扩张、形成良性社会反馈的重要一环。一是构建覆盖全生命周期的绿色AI素养教育体系。将绿色AI教育纳入国民素质教育,从基础教育到高等教育乃至社会教育进行全程设计。利用数字平台、VR/AR体验馆、科普短视频等多元形式,向社会公众生动展示AI的能耗特性与绿色应用潜力,提升全社会对“数字碳足迹”的认知。二是创新机制推动绿色AI应用普及。通过设计“碳积分+绿色信用”等激励机制,将个人使用绿色AI应用产生的减排行为可视化、价值化,并与公共服务权益挂钩。同时,优先在智能家电、智慧交通、社区环保等高频生活场景推广绿色AI应用,以实际体验改变公众生活习惯。将绿色AI应用普及率纳入智慧城市评价体系,并建立应用质量认证制度,确保其安全有效,从而形成“需求牵引供给”的良性市场化关系。

#### 3.2.4 全球协同:引领人工智能可持续治理,贡献可持续发展智慧

应积极参与并引领全球人工智能治理体系改革,推动构建公平合理、合作共赢的全球数字生态文明。首先,推动建立全球互认的算力碳足迹规则与协作网络。倡导并参与制定国际通用的AI能效与碳足迹评估标准、核算方法学,利用区块链等技术支持建立可信的全球算力碳足迹监测平台。推动各国研究机构共建可持续AI算法开源社区与联合实验室,促进关键节能技术的全球共享。

其次,系统总结并推广“算电协同”与产业价值网络重塑的中国经验。探索将“东数西算”工程中优化算力空间布局、促进能源清洁化的成功实践,上升为“绿色算力伙伴关系”国际合作倡议,携手“一带一路”沿线可再生能源富集地区共同规划建设绿色算力枢纽;积极倡导构建以碳效率为核心的全球人工智能产业链与价值链,探索基础模型共享、绿色人工智能服务溢价、碳足迹追溯等新型商业模式,将环境效益切实转化为产业链绿色竞争力。最后,积极参与引领全球绿色人工智能治理进程。在全球人工智能治理框架内,推动设立绿色发展专门议题或常设工作组,形成涵盖技术标准、伦理准则与市场规则的多元共治体系。在此过程中,中国可通过分享在碳市场建设、绿色电力交易、智能算力基础设施布局等方面的实践经验,为全球特别是发展中国家提供可借鉴、可落地的系统性方案。

#### 参考文献

- [1] JEVONS W S. The coal question: an inquiry concerning the progress of the nation, and the probable exhaustion of our coal mines [M]. London: Macmillan and Company, 1865:62.
- [2] BERKHOUT P H G, MUSKENS J C, VELTHUIJSEN J W. Defining the rebound effect[J]. Energy policy, 2000, 28(6/7):425-432.
- [3] 陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. 经济研究, 2009, 44(4):41-55.
- [4] 杨虎涛, 唐瑜. 数字经济时代的杰文斯悖论: 人工智能竞争与“双碳”目标[J]. 企业经济, 2025, 44(7):15-25.
- [5] 谢里, 陈宇. 节能技术创新有助于降低能源消费吗: “杰文斯悖论”的再检验[J]. 管理科学学报, 2021, 24(12):77-91.
- [6] HUANG C, LIN B. The impact of digital economy on energy rebound effect in China: a stochastic energy demand frontier approach [J]. Energy policy, 2025, 196:114418.
- [7] POLIMENI M J, POLIMENI I R. Jevons' Paradox and the myth of technological liberation [J]. Ecological complexity, 2006, 3(4):344-353.
- [8] 孙博文. 面向中国式现代化的数字生态文明建设的三重逻辑[J]. 改革, 2024(10):62-77.
- [9] 李玮, 胡佳霖, 王熙. 全球视域下数字经济发展的碳减排效应及其作用机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2024, 34(8):3-12.
- [10] 金祥义, 张文菲. 人工智能与企业污染减排: 智能治理的环境效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(8):138-145.
- [11] LI J, HERDEM M S, NATHWANJ J, et al. Methods and applications for artificial intelligence, big data, internet of things, and blockchain in smart energy management [J]. Energy and AI, 2023, 11:100208.
- [12] 凡勃伦. 有闲阶级论[M]. 蔡受百, 译. 北京: 商务印书馆, 2017:54-59.
- [13] 马歇尔. 经济学原理[M]. 朱志泰, 译. 北京: 商务印书馆, 2017:25-141.
- [14] 熊彼特. 经济发展理论[M]. 何畏, 易家详, 等译. 北京: 商务印书馆, 2017:66-74.
- [15] SAUNDERS H D. A view from the macro side: rebound, backfire, and Khazzoom-Brookes [J]. Energy policy, 2000, 28(6/7):439-449.
- [16] GREENING L A, GREENE D L, DIFIGLIO C. Energy efficiency and consumption: the rebound effect [J]. Energy policy, 2000, 28(6-7):389-401.
- [17] SAUNDERS H D. The Khazzoom-Brookes Postulate and neoclassical growth [J]. Energy journal, 1992, 13(4):131-148.
- [18] GILLINGHAM K, KOTCHEN M J, RAPSON D S, et al. The rebound effect is overplayed [J]. Nature, 2013, 493:475-476.
- [19] BROBERG T, BERG C, SAMAKOVLIS E. The economy-wide rebound effect from improved energy efficiency in Swedish industries: a general equilibrium analysis [J]. Energy policy, 2015, 83:26-37.
- [20] SORRELL S, DIMITROPOULOS J. The rebound effect: micro-economic definitions, limitations and estimations [J]. Ecological economics, 2008, 65(3):636-649.
- [21] 邵帅, 杨莉莉, 黄涛. 能源回弹效应的理论模型与中国经验 [J]. 经济研究, 2013, 48(2):96-109.
- [22] LIU W, LIU Y, LIN B. Empirical analysis on energy rebound effect from the perspective of technological progress: a case study of China's transport sector [J]. Journal of cleaner production, 2018, 205:1082-1093.
- [23] DU Q, LI Z, LI Y, et al. Rebound effect of energy efficiency in China's construction industry: a general equilibrium analysis [J]. Environmental science and pollution research, 2019, 26:12217-12226.
- [24] 杨开忠. 建设集绿色与智慧于一身的数字生态文明 [N]. 光明日报, 2023-07-22(2).
- [25] 景池, 冯明宇. 数字生态文明: 当代出场、内涵面相与实践展陈 [J]. 北方民族大学学报, 2025(2):123-132.
- [26] 景池. 数字生态文明建设推动新质生产力发展的逻辑关联与实践进路 [J]. 华东理工大学学报(社会科学版), 2025, 40(2):1-18.
- [27] 邹晓燕. 中国式现代化视域下的数字生态文明建设 [J]. 中州学刊, 2025(7):5-14.
- [28] 胡仙芝, 陈元. 乡村振兴视域下数字生态文明建设的内涵、问题及对策 [J]. 新视野, 2024(4):97-107.
- [29] 张波, 王媛祺, 吴班, 等. 数字生态文明的内涵、总体框架和推进路径 [J]. 环境保护, 2023, 51(21):34-38.
- [30] 李思齐, 邹庆治. 数字生态文明建设的价值旨归与前景展望 [J]. 人民论坛, 2024(19):87-89.
- [31] 李培鑫, 李全喜. 数字生态文明的理论意涵、异化风险与规范进路: 政治哲学视域内的考察 [J]. 青海社会科学, 2024(2):52-60.
- [32] 黄爱宝. 数字生态文明的理论蕴涵、实践机理与建设价值 [J]. 南京工业大学学报(社会科学版), 2024, 23(2):12-22.
- [33] 燕连福, 牛刚刚. 数字生态文明建设的核心要义、基本向度与推进路径 [J]. 南通大学学报(社会科学版), 2025, 41(5):



- 11-21.
- [34] 王丹,王闻萱. 数字生态文明建设:现实功效、卡点瓶颈及因应路径[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版),2024,26(4):117-124.
- [35] 史丹,王蕾. 能源革命及其对经济发展的作用[J]. 产业经济研究,2015(1):1-8.
- [36] 龚书铎. 近代前编(1840—1919)[M]//白寿彝. 中国通史:第十一卷. 上海:上海人民出版社,2007:100-124.
- [37] 李纯武,严志梁. 简明世界通史(下)[M]. 北京:人民教育出版社,1983:104-126.
- [38] 何建坤. 中国能源革命与低碳发展的战略选择[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版),2015,68(1):5-12.
- [39] SALAHUDDIN M, ALAM K. Information and communication technology, electricity consumption and economic growth in OECD countries: a panel data analysis[J]. International journal of electrical power & energy systems,2016,76:185-193.
- [40] XUE Y, TANG C, WU H, et al. The emerging driving force of energy consumption in China: does digital economy development matter[J]. Energy policy,2022,165:112997.
- [41] 林伯强. 能源经济学视角的科学发展观的理论探索:评《节能减排、结构调整与工业发展方式转变研究》[J]. 经济研究,2013(3):154-159.
- [42] 韩松花,赵艺璇. 数字经济对中国能源“双控”目标的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2024,34(9):67-75.
- [43] 薛澜,张慧勇. 第四次工业革命对环境治理体系建设的影响与挑战[J]. 中国人口·资源与环境,2017,27(9):1-5.
- [44] 刘江华,龚年姣. 人工智能对能源和气候变化的影响[J]. 财经智库,2024(2):95-116,138-139.
- [45] HERRERO S T, NICHOLLS L, STRENGERS Y. Smart home technologies in everyday life: do they address key energy challenges in households? [J]. Current opinion in environmental sustainability,2018,31:65-70.
- [46] CERUTTI E, GARCIA PASCUAL A, KIDO Y, et al. The global impact of AI: mind the gap[R]. Washington, D. C. :International monetary fund,2025.
- [47] 马尔萨斯. 人口原理[M]. 朱泱,胡企林,朱和中,译. 北京:商务印书馆,2017:55-80.
- [48] 李嘉图. 政治经济学及赋税原理[M]. 郭大力,王亚南,译. 北京:商务印书馆,2017:8-30.
- [49] 马克思,恩格斯. 马克思恩格斯文集:第5卷[M]. 北京:人民出版社,2009:707.
- [50] 马克思,恩格斯. 马克思恩格斯文集:第7卷[M]. 北京:人民出版社,2009:273.
- [51] 熊彼特. 资本主义、社会主义与民主[M]. 吴良健,译. 北京:商务印书馆,2017:144-150.
- [52] 杨虎涛,唐瑜. 新质生产力的数据要素:特质及其适宜性制度基础[J]. 中国特色社会主义研究,2024(4):23-34.
- [53] 佩蕾丝. 技术革命与金融资本:泡沫与黄金时代的动力学[M]. 北京:中国人民大学出版社,2007:140-149.
- [54] 中国社会科学院经济研究所课题组,黄群慧,杨耀武,等. 结构变迁、效率变革与发展新质生产力[J]. 经济研究,2024,59(4):4-23.
- [55] LIPSEY R G, CARLAW K, BEKAR C. Economic transformations: general purpose technologies and long-term economic growth [M]. Oxford, UK:Oxford University Press, 2005:13.
- [56] 荣健欣,王大中,张天衡. 产业链再造视角下的关键技术创新激励机制[J]. 经济研究,2025,60(1):56-73.
- [57] 王玉燕,唐辰新. 智能制造如何提升企业碳全要素生产率:基于要素投入成本与结构的视角[J]. 技术经济,2025,44(7):76-92.
- [58] 刘海兵,夏长衍. 数字平台生态系统如何赋能资源编排能力:结构洞的中介作用[J]. 技术经济,2025,44(3):97-110.
- [59] AVERCH H, JOHNSON L. Behavior of the firm under regulatory constraint [J]. American economic review,1962(52):1052-1069.
- [60] 曹裕,李想,胡韩莉,等. 数字化如何推动制造企业绿色转型:资源编排理论视角下的探索性案例研究[J]. 管理世界,2023,39(3):118-142.
- [61] ACEMOGLU D, AGHION P, BURSZTYN L, et al. The environment and directed technical change [J]. American economic review,2012,102(1):31-166.
- [62] BRYNJOLFSSON E, HITT L M. Beyond computation: information technology, organizational transformation and business performance [J]. Journal of economic perspectives, 2000, 14(4):23-48.
- [63] 王海,郭鹏飞,陈劲. 数字化转型如何赋能企业绿色创新发展[J]. 管理世界,2023,39(8):99-119.
- [64] FLINN M W. The history of the British coal industry[M]. Oxford, UK: Clarendon Press,1984:420-450.
- [65] 余南平. 通用人工智能时代的国际权力重塑[J]. 中国社会科学,2025(4):41-59.
- [66] ZHONG M R, CAO M Y, HAN Z. The carbon reduction effect of ICT: a perspective of factor substitution [J]. Technological forecasting and social change, 2022,181(8):121754.
- [67] 习近平在全国生态环境保护大会上强调 全面推进美丽中国建设 加快推进人与自然和谐共生的现代化[N]. 人民日报,2023-07-19(01).
- [68] 习近平谈治国理政:第五卷[M]. 北京:外文出版社,2025:80.
- [69] 曹孟勤,徐海红. 马克思劳动概念的生态意蕴及其当代价值[J]. 马克思主义与现实,2010(5):44-49.
- [70] 戎珂,陆志鹏. 数据要素论[M]. 北京:人民出版社,2022:1-15.
- [71] 蔡跃洲,牛新星. 中国数字经济增加值规模测算及结构分析[J]. 中国社会科学,2021(11):430.
- [72] 习近平生态文明文选:第一卷[M]. 北京:中央文献出版社,2025:10.
- [73] 孙博文. 建立生态产品价值实现机制:“五难”问题及优化路径[J]. 天津社会科学,2023(4):87-97.
- [74] 沈满洪. 生态经济学[M]. 3版. 北京:中国环境出版集团,2022:350-400.

## Digital ecological civilization: Chinese wisdom and solutions for resolving the “Jevons Paradox” in the era of digital intelligence

SUN Bowen<sup>1,2,3</sup>, WANG Shuxun<sup>4</sup>

- (1. Institute of Quantitative & Technological Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China;
2. Research Center on Xi Jinping Thought on Socialism with Chinese Characteristics for a New Era, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China;
3. Center for Environment and Development Research, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100730, China;
4. Faculty of Applied Economics, University of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 102401, China)

**Abstract** From a macro-historical perspective, this study systematically traces the evolutionary trajectory of the “Jevons Paradox” from the First to the Fourth Industrial Revolutions, delineating four progressive stages (1.0 – 4.0) and proposing a new form of the “Jevons Paradox” in the era of artificial intelligence (AI). Specifically, the First Industrial Revolution gave rise to Jevons Paradox 1.0, characterized by the core relational elements of “steam technology–coal application.” The Second Industrial Revolution saw an evolution into Jevons Paradox 2.0, defined by the core relational elements of “electrification–diversified energy sources.” The Third Industrial Revolution ushered in Jevons Paradox 3.0, centered on the core relational elements of “information technology–globalization of energy consumption.” In light of the requirements for a comprehensive green socio-economic transformation in the era of digital intelligence, this study constructs an analytical framework for “Jevons Paradox 4.0,” with artificial intelligence and carbon emissions as its core relational elements. By integrating classical political economy, Marx’s theory of the organic composition of capital, Schumpeter’s theory of “creative destruction,” and Perez’s theory of techno-economic paradigm shifts, this study reveals that the lack of synergy within techno-economic paradigms serves as a structural driver of the “Jevons Paradox,” while the structural mismatch between techno-economic paradigms and social institutions constitutes the institutional root of its persistence. Key influencing factors include the intensity and efficacy of green technological innovation, the proportion of clean energy in the power structure, the development and scale of low-carbon industrial systems, the robustness and enforceability of carbon trading mechanisms, and the formation and expression of consumers’ green preferences. Adhering to Xi Jinping Thought on the Economy and Xi Jinping Thought on Ecological Civilization as fundamental principles, this study further elucidates the Chinese wisdom embodied in the concept of “digital ecological civilization,” a landmark concept within Xi Jinping Thought on Ecological Civilization. The study posits that theoretical support for resolving the “Jevons Paradox” can be provided through the digital restructuring of the energy structure, intelligent offsetting of scale effects, integrated promotion of paradigm shifts, and the systematic innovation of governance mechanisms. Building on this, the study systematically proposes a Chinese solution for addressing the “Jevons Paradox” in the era of digital intelligence, encompassing the development of green new quality productive forces, the construction of compatible new relations of production, the cultivation of a green AI-driven social ethos, and active participation in and leadership of global AI governance.

**Key words** digital ecological civilization; artificial intelligence; Jevons Paradox; Chinese wisdom; Chinese solution

(责任编辑:刘呈庆,李 琪)