



董依婷,原珂,赵贤,等.数字经济赋能城市能源转型:基于政府与公众异质约束视角[J].中国人口·资源与环境,2025,35(6):100-111. [DONG Y T, YUAN K, ZHAO X, et al. Digital economy enabling urban energy transition: based on the perspective of heterogeneous constraints of government and the public[J]. China population, resources and environment, 2025, 35(6): 100-111.]

数字经济赋能城市能源转型: 基于政府与公众异质约束视角

董依婷¹, 原珂¹, 赵贤², 龚新蜀³

(1. 对外经济贸易大学国家对外开放研究院, 北京 100029; 2. 华南理工大学公共管理学院, 广东 广州 510641;
3. 石河子大学经济与管理学院, 新疆 石河子 832003)

摘要 该研究选取2011—2021年中国284个地级及以上城市面板数据,运用双向固定效应模型、中介机制模型与调节效应模型实证检验数字经济对城市能源转型的影响及其作用机制。研究发现:①数字经济对城市能源强度与能源效率的影响分别具有倒“U”形、“U”形特征,该结论在经过一系列稳健性检验后依旧成立。②中介机制检验发现,数字经济通过强化人才集聚、创新集聚与产业集聚等方式促进城市能源转型。③调节效应检验发现,政府经济增长目标在数字经济对城市能源强度与能源效率的影响中具有负向调节作用;政府环境治理目标在数字经济对城市能源强度的影响中具有正向调节作用,在城市能源效率方面的正向调节作用有限;公众环境关注在数字经济对城市能源强度与能源效率的影响中具有正向调节作用。④异质性检验发现,数字经济发展能够在一定程度上推动老工业基地城市与资源型城市的能源转型。基于此,建议政府部门应制定兼顾经济增长与环境治理的政策措施,并引导公众参与环境监管,以协同推进城市能源转型。

关键词 数字经济;能源转型;经济增长目标;环境治理目标;公众环境关注

中图分类号 F49 文献标志码 A 文章编号 1002-2104(2025)06-0100-12 DOI:10.12062/cpre.20240519

改革开放以来,中国依靠大规模要素投入加速推动了工业化和城镇化的发展进程,虽然实现了经济快速增长,但也致使能源消费总量持续增加。国家统计局数据显示,2022年中国能源消费总量高达54.1亿t(以标准煤计),煤炭消费量占能源消费总量的56.2%,二氧化碳排放量达114.77亿t,万元国内生产总值能耗比为0.45,推进能源转型迫在眉睫^①。2021年,国家发展改革委等9部门联合印发《“十四五”可再生能源发展规划》,明确强调“十四五”时期中国可再生能源将进入高质量跃升发展新阶段,呈现大规模、高比例、市场化、高质量发展新特征;到2025年,可再生能源消费总量达到10亿t(以标准煤计)左右,在一次能源消费增量中占比超过50%。目前,数字经济作为一种新型经济发展模式正逐渐向社会生产的各个领域和生活的各个方面渗透。根据《中国数字经济发展研究报告(2023年)》,2022年,中国数字经济规模

达到50.2万亿元,同比名义增长10.3%,已连续11年显著高于同期GDP的名义增速,正成为推动经济高质量发展的重要引擎。2023年,《国家能源局关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见》明确指出,要释放能源数据要素价值潜力,强化网络与信息安全保障,有效提升能源数字化智能化发展水平,促进能源数字经济和绿色低碳循环经济发展,构建清洁低碳、安全高效的能源体系。降低传统能源强度和提高能源效率是能源转型的两大支柱,数字经济能够通过合理配置能源资源、加速企业技术创新、降低能源开采与转化成本等,在需求侧和供给侧为中国能源转型提供新的可行路径。那么在实践中,数字经济能否成为促进城市能源转型的新动能?促进的内在机制是什么?数字经济对城市能源转型的作用机制在老工业基地城市与资源型城市有无异质性?关于这一系列问题还需要系统性研究。

收稿日期:2023-08-24 修回日期:2024-12-25

作者简介:董依婷,博士生,主要研究方向为公共政策与教育经济管理。E-mail:yitingdong9527@163.com。

通信作者:原珂,博士,教授,博导,主要研究方向为公共政策与教育经济管理。E-mail:yu_anke@126.com。

基金项目:全球挑战研究基金项目“The GCRE centre for sustainable, healthy, and learning cities and neighbourhoods”(批准号:ES/P011020/1);对外经济贸易大学优秀青年学者资助项目“中国城市社区发展治理创新研究”(批准号:21YQ20)。

①https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202302/t20230228_1919011.html。

1 文献综述

目前,关于数字经济与能源转型研究的文献大致分为三类:一是关于能源转型的研究。大多数学者认为数字技术、环境规制、产业结构、居民消费、市场贸易、区域禀赋等是影响能源强度和能源效率的重要因素^[1-3]。二是关于数字经济的研究。数字经济依托数字基础设施、数字技术与数据资源,凭借其广覆盖性与高渗透性等特性,能够在产业结构升级、共同富裕、绿色发展、经济提质增效等方面发挥重要作用^[4-6]。例如,数字时代下的移动手机端可通过抖音、快手等数字平台宣传绿色发展理念,培育消费者的绿色消费意识,并且利用“数字+”技术提升绿色消费体验,针对个性化需求还能提供“私人定制”,增强消费者对绿色产品的偏好。三是关于数字经济对能源转型影响的研究。方冬莉^[7]基于数字经济的能源技术效应视角,指出数字经济能够通过技术进步和技术外溢来提升城市能源利用效率。岳书敬等^[8]发现数字经济可以通过技术进步和制造业升级来降低能源强度,且作用强度具有边际递减的特征。但上述关于数字经济影响能源转型的理论探讨不足,实证检验亟待完善,且与本研究相关的文献主要聚焦在数字经济与全要素能源效率之间的线性关系研究,关于数字经济与城市能源转型的非线性关系研究还有待加强。

2 理论机制与研究假设

2.1 数字经济对城市能源转型的非线性影响

数字经济作为一种全新的经济模式,以信息和通信技术的快速发展为基础,通过智能化和数字化手段重构能源生产、消费和管理等方式,为城市能源转型以及实现可持续发展提供新的动力。一是从资源整合角度看,数字经济能够打破地理位置壁垒,使得要素流动特别是数据流动更为顺畅,这让企业可以突破地理空间界限进行数据生产、采集、存储、加工和分析等。例如,企业通过数字化平台对各种能源资源的生产、消耗数据进行获取和监控,能够增强预测的准确性和可靠性,进而减少资源错配造成的效率损失,实现能源的高效配置和优化利用。二是从生产效率角度看,数据与传统要素相结合,简化了能源在生产经营活动中的复杂操作流程,提高了传统要素的边际报酬,拓展了生产行为和可能性边界,提升了能源利用效率^[1]。三是从能源节约角度看,数字经济不仅能够降低学习专业知识、推动技术创新以及研发新产品的边际成本,还能够充分减少能源在生产、传输、储存、消费等过程中的信息不对称问题,进而通过促进能源企业技术效率和经营决策效率的提升,有效降低传统能源强度、提高能源利用效率。

值得注意的是,数字经济发展也会导致更多的能源需求和资源消费,形成“能源回弹效应”。一是数字经济发展初期会新建大量数据中心、基站等数字基础设施,这些基础设施均属于高耗能产业,需要消耗大量的电力能源维持系统运行,导致能源需求的增加^[9]。二是随着在线办公、网络购物等数字化生活方式的普及,消费者对智能手机、电脑、物联网设备等数字设备的需求逐渐增加,而这些数字设备的制造亦会加剧能源消耗。三是数字经济发展推动生产技术进步会提高企业的生产效率,在其他条件不变的情况下会增加社会总供给,当消费者拥有额外的消费能力时就会增加社会产品需求,进而带来更多的能源消费^[10]。当前,数字技术仍处于发展阶段,面对短期能源需求的急剧增长及能源结构多样化挑战,数字技术难以提高能源利用效率,对城市能源转型产生不利影响。基于此,提出研究假设H1。

H1:数字经济对城市能源转型具有非线性影响。

2.2 数字经济推进城市能源转型的传导机制

人才集聚是推动城市能源转型的重要引擎。一是数字经济在发展过程中催生了新产业、新业态、新模式,其与实体经济的融合发展不仅创造了新的就业岗位和就业机会,还弱化了产业间的行业壁垒,为人才资源跨区域、跨行业流动提供可能。二是数字经济发展能够降低企业人才甄别成本,不仅企业可依托数字平台精准匹配所需人才,高素质人才也会利用数字平台获取市场需求信息,向市场竞争优势更强的区域中心集聚,进而提高城市的经济活力和人才集聚水平^[11]。三是数字经济发展改变了传统的工作模式,员工依靠数字网络平台实现数字化办公,在数字层面形成人才的虚拟集聚效应^[12]。这些通过数字化发展集聚的人才通常具有较高的文化素质与劳动技能,不仅能够为企业的绿色技术创新提供支持、推动生产效率的提升,还能通过人才流动形成技术外溢,在区域内部实现绿色技术共享、资源配置优化、产业结构升级等,从而推动城市能源转型。

创新集聚是推动城市能源转型的核心动力。数字经济的发展使数据成为新的生产要素,这些数字资源以及数字技术的有效配置能够为创新集聚提供重要支撑,有效缓解企业创新资源不足的问题。一是数字技术能够缓解创新主体之间的信息不对称,加强企业之间的联系,降低企业创新交易成本等,并能够拓宽协同创新的广度与深度,进而达成提升创新资源配置效率的目标^[13]。二是数字经济的网络示范效应能够在网络空间范围内对创新资源进行调配,突破创新要素资源配置的空间限制,改变传统资源集聚的固定模式,依托数字化构建高维度的创新要素虚拟集聚^[14]。因此,数字经济通过强化创新集聚

效应能够促进新技术、新工艺等各类数据信息在网络平台中传播,提高技术溢出效率,进而优化区域整体的生产流程和能源利用率,推动城市能源转型。

产业集聚是推动城市能源转型的关键因素。数字经济因其高渗透性和广覆盖性模糊了与实体经济之间的界限,为产业集聚创造了良好的基础条件。一是数字经济通过大数据、云计算及互联网等构建数字生产要素资源库,通过为产业经济主体提供服务、改变传统产业生产流程和降低产品流通成本等,夯实产业集聚基础。二是随着数字基础设施建设完善,数字技术能够以网络化特征改变传统生产要素地理集聚的固定模式,通过对传统生产要素进行数字化赋能,增强产业要素集聚效应,进而实现实体经济与数字经济协同发展^[15]。依托数字经济发展集聚起来的产业,能够推动数字城市网络体系构建,有助于加快企业信息传播与技术溢出,优化企业生产效率与能源利用效率。此外,激烈的市场竞争会倒逼企业更重视技术创新及其市场应用,进而提高企业的生产效率,最终促进城市能源转型。

需要指出的是,与传统高耗能、高污染产业依赖石油、煤炭等化石能源投入不同,数字产业发展的核心要素是人力资本和技术创新。由于数字资源的市场化应用需要投入大量人力资源和创新资源,且资源整合尚需时日,短期内难以充分发挥数字经济对产业的赋能效应。因此,在数字经济发展初期,其对人才集聚、创新集聚和产业集聚的促进作用较为有限。同时,由于数字基础设施的建设和运行需要消耗大量电能,能源节约的边际效应显著,这不仅增加了能源消费和碳排放,也可能在一定程度上延缓城市绿色发展和能源转型进程。基于此,提出研究假设H2。

H2:数字经济能够通过强化人才集聚、创新集聚以及产业集聚来推动城市能源转型。

2.3 政府与公众双重约束下数字经济推进城市能源转型的作用机制

地方政府在推动能源转型的过程中有着举足轻重的地位,但在面临经济发展和环境保护的双重目标时经常陷入自设的两难境地,那么如何制定合理的增长目标与环境规制政策对政府促进城市能源转型和实现城市绿色发展具有重大意义。

政府经济增长目标约束。发展初期,政府设定的经济增长目标具有适宜的压力,政策力度和方向变动幅度不大,能够改善要素市场化配置以及创新环境,促进创新要素聚集,并通过产业结构升级、要素配置优化和创新发展等推动绿色转型^[16]。然而,官员晋升与辖区经济增长绩效存在显著关联。在现行考核机制下,部分官员为在

任期内超额完成上级制定的经济增长目标,往往会主动调高本地区发展指标。这种目标层层加码的激励机制,客观上容易诱发短期化政策行为^[17]。因此,地方政府在招商引资时更青睐短期内能带来高效益的资源密集型企业,在投资时更倾向于基础设施建设和房地产开发,以此拉动地方经济增长。这种发展模式可能阻碍产业结构优化升级、挤占教育与科研领域资金、推高企业技术研发融资成本,进而抑制技术创新的发展^[18]。同时,地方政府设定过高的经济增长目标将会导致经济发展偏离地方实际、产业结构升级与技术创新受阻等,造成资源浪费与环境污染,削弱数字经济发展带来的能源“降强”与“提效”效应,不利于城市能源转型。

政府环境治理目标约束。为推进绿色发展转型,中国政府出台了一系列的环境规制政策,加大环保监管与问责力度,并将环境目标约束纳入官员绩效考核体系,以此来约束地方政府的“短视”行为^[19]。环境规制目标具有强制性,地方政府最初在执行政策时往往采取“一刀切”甚至“加码”执行的方式,而企业在严格的监管处罚机制下往往仅以满足基本合规要求为目标,缺乏开展绿色新技术创新和能源转型升级的主动性。并且,严格的环境治理目标可能扭曲企业决策,迫使其将有限资源过度配置于环保领域,这不仅挤占了正常的生产性投资,还可能导致企业产出规模缩减和能源利用效率降低等负面效应^[20]。但是,随着环境治理目标的逐渐明确,地方政府在招商引资时会考虑企业的环保能力,禁止“三高”企业的进入,并给予低能耗、高附加值企业税收优惠与财政补贴,鼓励其加大创新投入和生产技术改进,从而推动能源转型^[21]。在此政策引导下,企业会主动将资源投向减排降耗的治理方向,向绿色清洁生产转型。根据“波特假说”,企业为治理污染而增加的环保投资,会倒逼企业进行绿色技术创新与生产工艺改进,进而实现能源转型。

公众环境关注。随着数字经济的不断发展,公众环境保护意识逐渐觉醒,对环境监督管理提出了更高要求。政府在制定环保政策时也更加重视公众参与,积极鼓励并引导公众表达环境目标诉求并参与环境治理^[22]。当公众诉求被纳入地方政府绩效考核体系时,环境投诉率较高的地区往往表现为更严格的环境监察与污染惩治。同时,具有较强环境保护意识的公众对企业的污染排放、能源浪费等行为有着较低容忍度,会对污染事件中的企业进行环保声讨与产品抵制,会调整市场购买行为与投资行为来实施“市场惩罚”,对环保表现好的企业表现出更高的产品购买倾向。这促使企业加大绿色环保技术研发投入,持续优化生产工艺流程,主动塑造绿色品牌形象。在这一过程中,高能耗、高污染的企业逐渐被市场淘汰^[23]。因此,公众环

境关注通过影响政府环境政策制定以及企业环保行为,倒逼企业进行绿色技术创新、产业结构升级,进而推动城市能源转型。基于此,提出研究假设H3。

H3:政府经济增长目标约束负向调节数字经济与城市能源转型的非线性关系,政府环境治理目标约束与公众环境关注正向调节数字经济与城市能源转型的非线性关系。

3 研究设计

3.1 变量选取

3.1.1 被解释变量:城市能源强度与能源效率

从能源“降强”与“提效”两个层面来衡量城市能源转型。一方面,考虑到中国能源转型的目标是逐渐降低能源强度,故选取各城市的能源消耗总量与生产总值的比值作为城市能源转型“降强”层面的被解释变量^[6]。其中,城市能源消耗数据根据城市天然气、液化石油气、供热总量以及全社会用电量按照能源折合标准煤系数进行折算,再通过加总计算得到城市能源消耗总量。另一方面,考虑到将能源消费和碳排放纳入全要素生产率(total factor productivity, TFP)框架中所得到的全要素能源效率同时具有节能降耗与提高经济效率的双重属性,故选其作为城市能源转型“提效”层面的被解释变量。选取资本、劳动、能源作为投入要素,地区生产总值作为期望产出,碳排放作为非期望产出,采用超效率DEA-SBM模型(data envelopment analysis, slack-based measure model, DEA-SBM)对全要素能源效率进行衡量^[24]。

3.1.2 核心解释变量:数字经济发展水平

关于城市层面的数字经济发展水平的测度,借鉴孔令英等^[6]的研究,从数字基础设施、数字产业发展、数字创新水平和数字普惠金融4个维度选取指标对城市数字经济发展水平进行综合测度,测度方法为熵权-TOPSIS。具体指标见表1。

3.1.3 中介变量:人才集聚、创新集聚与产业集聚

人才集聚,采用单位面积普通高等学校在校学生人数来衡量^[25]。创新集聚,采用单位面积绿色发明专利授

权数来衡量^[26]。产业集聚,采用制造业集聚和生产性服务业集聚来衡量^[27]。

3.1.4 调节变量:政府经济增长目标、政府环境治理目标与公众环境关注

政府经济增长目标,采用历年城市政府工作报告中的经济增长目标值来衡量^[19]。政府环境治理目标,选取工业废水排放量、工业二氧化硫排放量和工业烟粉尘排放量作为基础指标,采用熵值法测算^[28]。公众环境关注,采用百度公众环境污染搜索指数来衡量^[29]。

3.1.5 控制变量

参考既有研究^[6,19,24],选取以下变量作为控制变量:城市经济发展水平,采用地区生产总值进行衡量;城市人口密度,采用每平方千米的人口数量衡量;基础设施建设,采用人均道路面积衡量;政府干预,采用政府公共财政支出占当年生产总值的比例进行衡量;城市工业企业规模,采用城市规模以上工业企业的数量进行衡量。

3.2 模型设定

为考察数字经济对城市能源转型的影响,本研究从城市能源强度与能源效率两个层面来进行衡量,采用双向固定效应模型进行基础回归检验:

$$E_{1,i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 D_{i,t} + \alpha_2 D_{i,t}^2 + \gamma C_{i,t} + F + Y + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

$$E_{2,i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 D_{i,t} + \alpha_2 D_{i,t}^2 + \gamma C_{i,t} + F + Y + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

式中: i 表示城市, t 表示年份; E_1 与 E_2 为被解释变量,分别代表城市的能源强度和能源效率; D 为核心解释变量,表示城市的数字经济发展水平, D^2 为数字经济发展水平的平方; C 为控制变量; α_0 为常数项; α_1 、 α_2 、 γ 为待估系数; F 为地区固定效应; Y 为时间固定效应; ε 为随机扰动项。

基于前文理论分析可知,数字经济对能源强度与能源效率的影响会通过人才集聚、创新集聚和产业集聚的间接机制发生作用。为验证上述推论,构建如下中介机制模型:

$$M_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 D_{i,t} + \alpha_2 D_{i,t}^2 + \gamma C_{i,t} + F + Y + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

$$E_{1,i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 D_{i,t} + \alpha_2 D_{i,t}^2 + \eta_1 M_{i,t} + \gamma C_{i,t} + F + Y + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

表1 数字经济评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	衡量标准	指标属性
数字经济发展水平	数字基础设施	互联网普及率	每万人互联网宽带接入用户数/户	+
		移动电话普及率	每万人移动电话用户数/户	+
	数字产业发展	信息产业基础	信息传输、计算机服务和软件业从业人员占比/%	+
		电信产业发展	人均电信业务量/元	+
		邮政业务发展	人均邮政业务量/元	+
	数字创新水平	数字创新基础	人均科学技术支出/元	+
		数字高新技术渗透	上市公司中数字高新技术应用渗透程度	+
	数字普惠金融	数字普惠金融发展	北京大学数字普惠金融指数	+

$$E_{2,i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 D_{i,t} + \alpha_2 D_{i,t}^2 + \eta_1 M_{i,t} + \gamma C_{i,t} + F + Y + \varepsilon_{i,t} \quad (5)$$

式中： M 为中介变量，包括人才集聚、创新集聚和产业集聚。其他变量含义同上。

为进一步揭示政府的经济增长目标、环境治理目标、公众对环境的关注度等会有效调节数字经济对城市能源强度和能源效率的影响，构建如下调节效应模型：

$$E_{1,i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 D_{i,t} + \alpha_2 D_{i,t}^2 + \beta_1 D_{i,t} \times R_{i,t} + \beta_2 D_{i,t}^2 \times R_{i,t} + \beta_3 R_{i,t} + \gamma C_{i,t} + F + Y + \varepsilon_{i,t} \quad (6)$$

$$E_{2,i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 D_{i,t} + \alpha_2 D_{i,t}^2 + \beta_1 D_{i,t} \times R_{i,t} + \beta_2 D_{i,t}^2 \times R_{i,t} + \beta_3 R_{i,t} + \gamma C_{i,t} + F + Y + \varepsilon_{i,t} \quad (7)$$

式中： R 为调节变量，包括政府经济增长目标、政府环境治理目标以及公众环境关注。其他变量含义同上。

3.3 数据来源

基于2011—2021年284个地级及以上城市（限于数据可获取性，未包括三沙、儋州、毕节、铜仁、海东、吐鲁番和哈密等城市，未涉及西藏、香港、澳门、台湾等省区的城市）进行研究。所选指标的原始数据主要来自《中国城市统计年鉴》（2012—2022年）、《中国城乡建设统计年鉴》（2012—2022年）、各地级市统计年鉴与国民经济和社会发展统计公报、中国研究数据服务平台（CNRDS）以及北京大学数字金融研究中心公布的相关数据。个别缺失值采用线性插值法补齐，并对非比值型的各项指标进行自然对数处理。主要变量的描述性统计见表2。

4 实证结果与分析

4.1 基准回归结果

表3报告了数字经济对城市能源强度与能源效率的

基准回归结果。其中，列(1)和列(4)分别显示数字经济发展水平对城市能源强度与能源效率的线性回归结果，估计系数均在1%水平上显著为负，说明数字经济对城市能源强度与能源效率具有显著的负向影响。列(2)、列(5)报告了非线性检验结果。列(2)中数字经济发展水平一次项和二次项系数分别显著为正、负，这说明数字经济对城市能源强度的影响呈现倒“U”形特征。列(5)中数字经济发展水平一次项和二次项系数分别显著为负、正，这说明数字经济对城市能源效率的影响呈“U”形。考虑到遗漏变量的问题，在回归方程中加入控制变量，列(3)、列(6)中数字经济发展水平一次项与二次项的回归系数符号和显著性仍然没有明显变化。同时，采用U-shape Test检验进行非线性关系识别。结果显示，数字经济取值范围两端斜率陡峭且异号，拐点值位于取值范围内，且均在1%水平上显著。因此，数字经济与能源强度之间的倒“U”形关系真实存在，数字经济与能源效率之间的“U”形关系真实存在，研究假设H1得到验证。

原因分析如下：数字经济所依托的信息网络、算力设施和融合基础设施等数字基础设施以及以数字化生产和数字化服务为核心的产业会带来大量的能源消耗，进而提升能源消耗强度。同时，数字经济能够全方位渗透社会生产生活，数字技术进步会促使能源生产效率提高、能源价格降低、产品的单位生产成本降低，导致消费者增加能源需求或者以低成本获取产品来拥有额外的消费能力，对能源效率产生直接或间接的“能源回弹效应”，并且数字经济发展初期的数字技术并不成熟，面对激增的能源消费不能充分发挥提高能源利用效率的作用^[30]。但

表2 变量描述性统计

变量类型	变量名称	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	能源强度	3 124	0.119	0.124	0.009	2.004
	能源效率	3 124	0.566	0.260	0.172	1.803
解释变量	数字经济发展水平	3 124	0.389	0.155	0.023	0.756
	数字经济发展水平的平方	3 124	0.175	0.113	0.001	0.572
中介变量	人才集聚	3 124	0.109	0.206	0.001	1.900
	创新集聚	3 124	0.016	0.070	0	1.728
	产业集聚	3 124	1.145	0.814	0.307	16.083
调节变量	政府经济增长目标	3 124	9.314	2.877	1	25
	政府环境治理目标	3 124	3.201	0.104	2.202	3.298
	公众环境关注	3 124	23.298	26.253	0	164.507
控制变量	城市经济发展水平	3 124	16.631	0.936	14.106	19.884
	城市人口密度	3 124	5.742	0.923	1.625	7.924
	基础设施建设	3 124	18.141	7.616	1.370	60.07
	政府干预	3 124	0.203	0.102	0.044	0.916
	城市工业企业规模	3 124	6.592	1.095	2.996	9.475

表3 基准回归结果

变量	能源强度			能源效率		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
数字经济发展水平	-0.427*** (0.085)	0.264** (0.103)	0.486*** (0.099)	-0.849*** (0.210)	-2.032*** (0.260)	-1.510*** (0.252)
数字经济发展水平的平方		-0.773*** (0.069)	-0.577*** (0.069)		1.323*** (0.174)	1.816*** (0.176)
常数项	0.133*** (0.009)	0.074*** (0.010)	2.021*** (0.179)	1.082*** (0.022)	1.182*** (0.025)	6.733*** (0.458)
Slope at Lower Bound			0.459***			-1.428***
Slope at Upper Bound			-0.387***			1.236***
Turning Point			0.421			0.416
U-shape Test			4.141***			5.172***
控制变量	NO	NO	YES	NO	NO	YES
地区固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.269	0.299	0.386	0.560	0.569	0.612
观测值	3 124	3 124	3 124	3 124	3 124	3 124

注:** $P < 0.05$,*** $P < 0.01$;括号内数值为标准误。

是,随着数字产业的发展完善,数字经济能够通过加强地区之间经济联系、优化资源配置、赋能企业生产以及减少生产过程中的资源消耗,降低能源消耗强度。并且,通过精准匹配市场供需,引导生产要素从低效率部门向高效率部门转移,从而提升能源效率。因此,数字经济对城市能源强度和能源效率的影响分别表现为先增加后减少的倒“U”形与先减少后增加的“U”形。

4.2 内生性与稳健性检验

4.2.1 内生性检验

考虑到数字经济与城市能源转型之间可能存在的内生性问题,本研究使用工具变量法来缓解上述问题,将各城市1984年电话机数量与上一年全国互联网用户数的交互项作为当年该城市数字经济发展指数的工具变量^[13],回归结果见表4列(1)、列(2)。结果表明,排除内生性问题后,研究假设H1仍然成立。同时,基于过度识别的Anderson Canon Corr LM Statistic的统计值为181.034, P 值为0.000,显著拒绝原假设;在弱工具变量识别检验中,Cragg-Donald Wald F statistic统计值为175.539, P 值为0.000,大于Stock-Yogo弱识别检验10%水平上的临界值,不存在弱工具变量问题。总体而言,以上检验证明了工具变量选取的合理性。

4.2.2 稳健性检验

替换解释变量。采用熵值法对数字经济发展水平重新进行测度^[6],回归结果见表4列(3)、列(4)。结果表明,在更换解释变量以后,数字经济对城市能源强度的影响呈倒“U”形、对城市能源效率的影响呈“U”形的结论依然

成立,证明了基准回归结果的稳健性。

替换被解释变量。采用城市全社会用电量与生产总值的比值来重新衡量城市能源强度,并采用超效率DEA-SBM模型对城市能源效率重新进行测量^[31],回归结果见表4列(5)、列(6)。结果表明,在替换被解释变量后,数字经济对城市能源强度影响的倒“U”形、对城市能源效率影响的“U”形结论依然稳健,支持了基准回归的结论。

5 作用机制检验

5.1 中介机制检验

5.1.1 人才集聚

数字经济通过强化人才集聚促进城市能源转型。表5列(1)、表6列(1)分别为数字经济对能源强度与能源效率的基准回归结果,表5列(2)、表6列(2)为数字经济对人才集聚的实证检验结果。回归结果显示,数字经济发展水平一次项和二次项系数分别显著为负、正,说明数字经济对人才集聚的影响是呈“U”形的。表5列(3)、表6列(3)中,人才集聚的估计系数在1%的水平上分别显著为负和显著为正,说明人才集聚能够降低城市能源强度和提高城市能源效率。同时,数字经济发展水平一次项与二次项系数都显著,且列(3)绝对值较列(1)下降,说明人才集聚在数字经济对城市能源强度和城市能源效率的影响中发挥了部分中介效应。因此,数字经济发展初期,通过加强人才集聚能够为城市发展带来新活力,为城市绿色创新提供人才支撑,增强城市绿色发展动力,实现城市能源转型。

表4 内生性与稳健性检验结果

变量	工具变量法		替换解释变量		替换被解释变量	
	(1)能源强度	(2)能源效率	(3)能源强度	(4)能源效率	(5)能源强度	(6)能源效率
数字经济发展水平	1.807*** (0.427)	-5.137*** (0.945)	0.950*** (0.135)	-2.183*** (0.345)	0.359*** (0.074)	-1.631*** (0.259)
数字经济发展水平的平方	-1.060*** (0.185)	3.423*** (0.408)	-0.139*** (0.018)	0.352*** (0.045)	-0.440*** (0.052)	1.971*** (0.182)
常数项	2.682*** (0.231)	7.381*** (0.510)	0.451 (0.317)	10.159*** (0.808)	1.052*** (0.134)	7.017*** (0.472)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES
地区固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.845	0.803	0.387	0.613	0.364	0.566
观测值	2 618	2 618	3 124	3 124	3 124	3 124
“U”型检验	倒“U”形	“U”形	倒“U”形	“U”形	倒“U”形	“U”形

 注:*** $P < 0.01$;括号内数值为标准误。

表5 中介机制检验:能源强度

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	能源强度	人才集聚	能源强度	创新集聚	能源强度	产业集聚	能源强度
数字经济发展水平	0.486*** (0.099)	-0.219*** (0.051)	0.459*** (0.099)	-0.880*** (0.053)	0.379*** (0.103)	-5.348*** (0.407)	0.408*** (0.101)
数字经济发展水平的平方	-0.577*** (0.069)	0.471*** (0.036)	-0.521*** (0.071)	1.017*** (0.037)	-0.454*** (0.078)	7.037*** (0.285)	-0.475*** (0.076)
人才集聚			-0.119*** (0.036)				
创新集聚					-0.121*** (0.035)		
产业集聚							-0.015*** (0.005)
常数项	2.021*** (0.179)	-0.881*** (0.092)	1.916*** (0.182)	-1.012*** (0.096)	1.898*** (0.182)	-6.857*** (0.741)	1.921*** (0.182)
控制变量	YES						
地区固定效应	YES						
年份固定效应	YES						
R ²	0.386	0.282	0.388	0.375	0.389	0.423	0.388
观测值	3 124	3 124	3 124	3 124	3 124	3 124	3 124

 注:*** $P < 0.01$;括号内数值为标准误。

5.1.2 创新集聚

数字经济通过强化创新集聚促进城市能源转型。表5列(4)、表6列(4)为数字经济对创新集聚的实证检验结果。回归结果显示,数字经济发展水平一次项和二次项系数分别显著为负、正,说明数字经济对创新集聚的影响是“U”形的。表5列(5)、表6列(5)中,创新集聚的估计系数分别在1%的水平上显著为负和10%的水平上显著为正,说明创新集聚能够降低城市能源强度和提高城市能源效率。同时,数字经济发展水平一次项与二次项系数

显著,且列(5)绝对值较列(1)下降,说明创新集聚在数字经济对城市能源强度和能源效率的影响中发挥了部分中介效应。因此,数字经济能够通过加强创新集聚为城市创新发展带来新动力,提升绿色创新技术的研发效率,助力城市能源转型。

5.1.3 产业集聚

数字经济通过强化产业集聚促进城市能源转型。表5列(6)、表6列(6)为数字经济对产业集聚的实证检验结果。回归结果显示,数字经济发展水平一次项和二次项

表6 中介机制检验:能源效率

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	能源效率	人才集聚	能源效率	创新集聚	能源效率	产业集聚	能源效率
数字经济发展水平	-1.510*** (0.252)	-0.219*** (0.051)	-1.440*** (0.252)	-0.880*** (0.053)	-1.380*** (0.264)	-5.348*** (0.407)	-1.336*** (0.259)
数字经济发展水平的平方	1.816*** (0.176)	0.471*** (0.036)	1.665*** (0.181)	1.017*** (0.037)	1.666*** (0.199)	7.037*** (0.285)	1.587*** (0.194)
人才集聚			0.322*** (0.093)				
创新集聚					0.148* (0.090)		
产业集聚							0.033*** (0.012)
常数项	6.733*** (0.458)	-0.881*** (0.092)	7.017*** (0.464)	-1.012*** (0.096)	6.883*** (0.467)	-6.857*** (0.741)	6.957*** (0.464)
控制变量	YES						
地区固定效应	YES						
年份固定效应	YES						
R ²	0.612	0.282	0.613	0.375	0.612	0.423	0.613
观测值	3 124	3 124	3 124	3 124	3 124	3 124	3 124

 注:* $P < 0.10$,*** $P < 0.01$;括号内数值为标准误。

系数分别显著为负、正,说明数字经济对产业集聚的影响是“U”形的。表5列(7)、表6列(7)中,产业集聚的估计系数在1%的水平上分别显著为负和显著为正,说明产业集聚能够降低城市能源强度和提高城市能源效率。同时,数字经济发展水平一次项与二次项系数依旧显著,且表5、表6的列(7)绝对值较列(1)下降,说明产业集聚在数字经济对城市能源强度和城市能源效率的影响中发挥了部分中介效应。因此,互联网经济与实体经济相结合能够在数字空间中实现产业集聚,优化地区产业结构,提高资源配置效率,促进城市能源转型。因此,研究假设H2得到验证。

5.2 调节效应检验

5.2.1 经济增长目标

表7列(1)和列(2)汇报了经济增长目标的调节效应检验结果。列(1)中数字经济发展水平二次项与经济增长目标的交互项的估计系数在1%水平上显著为正,列(2)中数字经济发展水平二次项与经济增长目标的交互项的估计系数在10%水平上显著为负,这说明经济增长目标对数字经济与能源强度的倒“U”形关系和数字经济与能源效率的“U”形关系存在负向调节作用。经济增长目标使数字经济与能源强度的倒“U”形关系曲线和数字经济与能源效率的“U”形关系曲线表现得更加平缓,弱化了数字经济发展后期的“降强”和“提效”效应。原因在于:地方政府官员在设置经济增长目标时会受到“政治锦标赛”、晋

升动机以及任务加码的影响,为完成既定考核目标,地方政府会发生短视行为,选择以牺牲环境为代价发展经济。同时,政府发展数字经济的方式被扭曲,偏向于利用数字经济改变资源配置方向,驱使生产要素流向“三高”产业。这在短期内会促使生产效率提高,但从长期来看将不利于城市发展转型,数字赋能效应得不到充分发挥,产业结构固化,最终增加城市能源转型难度。

5.2.2 环境治理目标

表7列(3)和列(4)汇报了环境治理目标的调节效应检验结果。列(3)中数字经济发展水平二次项与环境治理目标的交互项的估计系数在1%水平上显著为负,列(4)中数字经济发展水平二次项与环境治理目标的交互项的估计系数不显著,但数字经济发展水平一次项与环境治理目标的交互项的估计系数在10%水平上显著为正。这说明,环境治理目标对数字经济与能源强度的倒“U”形关系存在正向调节作用,而对数字经济与能源效率的“U”形关系的正向调节作用有限。环境治理目标使数字经济与能源强度的倒“U”形关系曲线表现得更加陡峭,增强了数字经济发展后期的“降强”效应,而环境治理目标使数字经济与能源效率的“U”形关系曲线表现得更加平坦,弱化了数字经济发展前期降低能源效率的负面效应。原因在于:环境治理目标在强化政府环境监管行为的同时也会弱化政府经济增长动力,并向市场传递绿色信号,使数字经济能够充分在市场上发挥数字赋能效应,

表7 调节效应检验结果

变量	政府经济增长目标		政府环境治理目标		公众环境关注	
	(1)能源强度	(2)能源效率	(3)能源强度	(4)能源效率	(5)能源强度	(6)能源效率
数字经济发展水平	0.472*** (0.101)	-1.533*** (0.259)	0.505*** (0.099)	-1.413*** (0.253)	0.375*** (0.111)	-1.121*** (0.282)
数字经济发展水平 的平方	-0.540*** (0.079)	1.835*** (0.202)	-0.602*** (0.072)	1.682*** (0.183)	-0.423*** (0.102)	1.273*** (0.259)
数字经济发展水平 × 政府经济增长目标	-0.048*** (0.012)	0.072** (0.032)				
数字经济发展水平 × 政府环境治理目标			0.438 (0.271)	1.272* (0.694)		
数字经济发展水平 × 公众环境关注					0.002 (0.001)	-0.011*** (0.004)
数字经济发展水平的平 方 × 政府经济增长目标	0.074*** (0.019)	-0.096* (0.049)				
数字经济发展水平的平 方 × 政府环境治理目标			-1.157*** (0.411)	-1.563 (1.050)		
数字经济发展水平的平 方 × 公众环境关注					-0.003** (0.002)	0.017*** (0.004)
政府经济增长目标	-0.000 (0.001)	0.004* (0.002)				
政府环境治理目标			-0.111*** (0.025)	0.183*** (0.065)		
公众环境关注					0.000 (0.000)	-0.000 (0.000)
常数项	1.963*** (0.184)	6.978*** (0.470)	2.409*** (0.204)	6.004*** (0.520)	1.940*** (0.183)	7.166*** (0.464)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES
地区固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.389	0.613	0.391	0.614	0.388	0.617
观测值	3 124	3 124	3 124	3 124	3 124	3 124

注: * P<0.01, ** P<0.05, *** P<0.01; 括号内数值为标准误。

加速推动绿色发展、升级产业结构、发挥环境治理效应,从而实现城市能源转型升级。然而,政府环境规制过强会增加企业环保负担,导致企业生产资源投入失衡,企业生产效率受限,进而不利于提高城市能源效率。

5.2.3 公众环境关注

表7列(5)和列(6)汇报了公众环境关注的调节效应检验结果。列(5)中数字经济发展水平二次项与公众环境关注的交互项的估计系数在5%水平上显著为负,列(6)中数字经济发展水平二次项与公众环境关注的交互项的估计系数在1%水平上显著为正,这说明公众环境关注对数字经济与能源强度的倒“U”形关系和数字经济与能源效率的“U”形关系存在正向调节作用。公众环境关注使数字经济与能源强度的倒“U”形关系和数字经济与

能源效率的“U”形关系曲线更加陡峭,强化了数字经济发展后期的“降强”和“提效”效应。原因在于:随着公众环境保护意识的增强,公众对环境绿色环保、可持续发展的要求更高。数字信息技术的普及则是公众实现环境监管的一把“利器”,数字信息的传递效率能够使污染信息及及时有效地传递给公众,增强公众对环境事件的参与度,对政府与企业的行为进行更强的环境监管。在公众环境关注压力下,政府部门会出台更严格的环境规制政策来惩罚环境污染,采取最新的数字技术来监督环境污染。同时,企业亦会更积极地进行数字化升级,利用数字资源研发绿色新技术、实现清洁生产,在多方合力的支持下数字经济能更好地推动城市能源转型。因此,研究假设H3得到验证。



6 异质性分析

6.1 城市工业属性异质性

老工业基地城市是指国家在建国初期投入大量资源集中建设的一批以重工业为产业中心的城市,发展的产业多为高耗能、高污染的能源密集型产业,生产过程中需要消耗大量的化石能源。随着社会经济发展,老工业基地的发展模式逐渐落后,亟待实现城市能源转型升级。考虑到数字经济在老工业基地城市与非老工业基地城市之间存在着异质性,依据国务院在2013年批复的《全国老工业基地调整改造规划(2013—2022年)》的分类标准,将城市划分为老工业基地城市与非老工业基地城市进行分组回归。

回归结果见表8列(1)—列(4)。从城市能源“降强”结果来看,老工业基地城市数字经济发展水平的一次项系数和二次项系数均不显著,非老工业基地城市数字经济发展水平的一次项系数和二次项系数在1%水平上分别显著为正和显著为负,呈现出倒“U”形趋势。从城市能源“提效”来看,老工业基地城市与非老工业基地城市的数字经济发展水平一次项系数均在1%水平上显著为负,数字经济发展水平二次项系数均在1%水平上显著为正,两者均呈现出“U”形趋势。综合来看,数字经济能够推动老工业基地实现能源转型,但更有利于推动非老工业基地实现能源转型。原因在于:老工业基地城市的传统产业存在严重的路径依赖,粗放的经济方式在短时间内难以发生转变,故数字经济对老工业基地城市能源转型的作用有限。但是,非老工业基地城市的产业结构较“轻”,行业门类多元化,面对数字经济的兴起能较快适应并实现市场化应用,有助于推动数字技术与绿色节能技术融合发展与效能扩散,降低能源消耗强度与提高能源

利用效率。

6.2 城市资源禀赋异质性

资源型城市拥有得天独厚的资源条件,在工业化与城镇化发展过程中容易形成以资源型产业为主的固化发展模式,形成锁定效应与路径依赖,从而导致资源型城市发展数字经济时面临“资源诅咒”。考虑到数字经济对城市能源转型的作用在资源型城市与非资源型城市之间存在异质性,依据国务院批复的《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》的分类标准,将城市划分为资源型城市与非资源型城市进行分组回归。

回归结果见表8列(5)—列(8)。从城市能源“降强”结果来看,资源型城市和非资源型城市的数字经济发展水平一次项系数和二次项系数在5%和1%水平上显著,两者均呈现倒“U”形特征。从城市能源“提效”来看,资源型城市和非资源型城市的数字经济发展水平一次项系数和二次项系数均在1%水平上显著,两者均呈现出“U”形趋势。综合来看,数字经济的能源“降强”效应在非资源型城市更强,数字经济的能源“提效”效应在资源型城市更强。原因在于:一方面,资源型城市受地方资源禀赋影响,在产业发展选择过程中过度依赖资源型产业,并且资源型产业中以高耗能高污染产业居多,数字技术嵌入产业的深度还有待提升。反之,非资源型城市的产业结构更健康,对资源依赖程度较低,将数字技术运用于降低城市能源强度时面临的产业结构阻力更小,故数字经济的能源“降强”效应在非资源型城市更强。另一方面,资源型城市由于长期依赖资源型产业,产业发展方式较粗放,能源利用效率有较大改善空间,当以大数据为代表的新兴数字技术与传统产业结合时,更容易为传统产业转型注入新的动能与活力,资源型城市能源效率得到更大提升。反之,非资源型城市

表8 异质性检验结果

变量	老工业基地城市		非老工业基地城市		资源型城市		非资源型城市	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	能源强度	能源效率	能源强度	能源效率	能源强度	能源效率	能源强度	能源效率
数字经济发展水平	0.311 (0.236)	-1.258*** (0.422)	0.457*** (0.108)	-1.715*** (0.325)	0.277** (0.137)	-2.114*** (0.445)	0.483*** (0.143)	-1.075*** (0.329)
数字经济发展水平的平方	-0.067 (0.236)	1.668*** (0.421)	-0.775*** (0.069)	1.949*** (0.208)	-0.419*** (0.139)	1.954*** (0.452)	-0.533*** (0.092)	1.594*** (0.210)
常数项	3.292*** (0.341)	4.879*** (0.609)	1.881*** (0.216)	7.293*** (0.649)	0.896*** (0.194)	6.665*** (0.632)	3.787*** (0.309)	5.708*** (0.708)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
地区固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.350	0.750	0.464	0.578	0.513	0.652	0.373	0.608
观测值	1 045	1 045	2 079	2 079	1 254	1 254	1 870	1 870

注:** $P < 0.05$,*** $P < 0.01$;括号内数值为标准误。

产业结构比较完善,能源利用效率本身就比较高,想要进一步提升的空间小、阻力大,故数字经济的能源“提效”效应在资源型城市中更强。

7 结论与建议

利用2011—2021年284个地级及以上城市的平衡面板数据,通过对数字经济推动城市能源转型的理论分析与实证检验,得到如下结论:①数字经济与城市能源强度、城市能源效率分别具有倒“U”形和“U”形的非线性关系,数字经济能够通过“降强”与“提效”来推动城市能源转型,该结论经过工具变量法的内生性检验和替换解释变量、替换被解释变量等方法的稳健性检验后依旧成立。②中介机制分析表明,数字经济能够通过人才集聚、创新集聚与产业集聚3个重要途径助力城市能源转型。③调节效应检验表明,政府目标约束与公众环境关注的作用存在差异性,政府环境治理目标和公众环境关注会正向调节数字经济对能源转型的影响,政府经济增长目标会负向调节数字经济对城市能源转型的影响。④异质性分析表明,相较于老工业基地城市,数字经济更有利于推动非老工业基地城市实现能源转型;数字经济的能源“降强”效应在非资源型城市更强,能源“提效”效应在资源型城市更强。

据此,本研究提出如下政策建议。

第一,提升数字经济水平,助力城市能源转型。首先,大力推进数字基础设施建设,加大对5G网络、大数据中心与工业物联网等的投入,推进数字经济发展体制机制建设,为数字经济发展打造坚实的基础。其次,利用数字网络空间无界限的优势,充分发挥数字经济的引领作用,使人才集聚、创新集聚、产业集聚与数字经济紧密衔接。最后,加快数字经济推动能源产业转型升级,通过人才培育、绿色技术创新、制度改革和产业结构优化等方式提升能源效率和降低传统能源强度,并通过推进清洁能源和可再生能源的规模化利用来为城市能源转型培育新动能。

第二,选择合适的政府经济增长与环境治理政策,鼓励公众参与环境监管,与数字经济合力助推城市能源转型。首先,地方政府在制定经济增长目标时要因地制宜,避免因过高的经济目标所导致经济运行活动中的资源浪费与环境污染,经济目标和环境政策要相互协调适配。其次,地方政府在制定环境治理目标时要注意循序渐进,发挥环境约束倒逼企业进行绿色创新的良性循环机制,形成数字经济与环境约束协同发展的治理机制。最后,要积极引导鼓励公众通过合理、合法、数字化、智能化的方式参与环境治理,借用微信、小红书、微博、抖音等数字化信息平台调动公众主动关注环境的积极性、提高公众反馈结果的

真实性,充分发挥公众对政府与企业环保行为的监督作用。

第三,根据地区资源禀赋与产业发展水平,加快推进老工业基地城市、资源型城市数字化转型。老工业基地城市应抓住数字化时代机遇,从制度创新、科技创新和人才培育等方式入手,充分利用数字信息技术对传统产业进行数字化改造,使其产业结构和资源要素禀赋摆脱对粗放型发展方式的严重依赖。资源型城市应充分利用数字技术优化创新资源配置的优势,加快绿色技术创新,对资源型产业进行系统化、全方位的改造,破除对传统能源资源依赖的“痼疾”,避免形成资源锁定的发展模式。

参考文献

- [1] 陈晓红,李杨扬,宋丽洁,等. 数字经济理论体系与研究展望[J]. 管理世界,2022,38(2):208-224.
- [2] WANG X P, SONG J N, DUAN H Y, et al. Coupling between energy efficiency and industrial structure: an urban agglomeration case[J]. Energy, 2021, 234: 121304.
- [3] XU X F, WEI Z F, JI Q, et al. Global renewable energy development: influencing factors, trend predictions and countermeasures[J]. Resources policy, 2019, 63: 101470.
- [4] 刘洋. 数字经济、消费结构优化与产业结构升级[J]. 经济与管理, 2023, 37(2): 68-75.
- [5] 陈梦根,周元任. 数字经济、分享发展与共同富裕[J]. 数量经济技术经济研究, 2023, 40(10): 5-26.
- [6] 孔令英,董依婷,赵贤. 数字经济、资源错配与经济高质量发展: 基于261个城市数据的实证分析[J]. 中国科技论坛, 2023(5): 123-133.
- [7] 方冬莉. 数字经济对中国城市能源利用效率的影响: 基于技术赋能和技术外溢视角[J]. 资源科学, 2023, 45(2): 296-307.
- [8] 岳书敬,张鑫和. 数字经济对能源强度的影响研究[J]. 南昌大学学报(人文社会科学版), 2023, 54(1): 77-90.
- [9] LIN B Q, HUANG C C. How will promoting the digital economy affect electricity intensity?[J]. Energy policy, 2023, 173: 113341.
- [10] COYNE B, DENNY E. Applying a model of technology diffusion to quantify the potential benefit of improved energy efficiency in data centres[J]. Energies, 2021, 14(22): 7699.
- [11] 郭然,原毅军. 互联网发展对产业协同集聚的影响及其机制研究[J]. 统计研究, 2022, 39(6): 52-67.
- [12] 刘运材,罗能生. 互联网发展对城市绿色全要素生产率的影响: 基于全要素生产率分解视角[J]. 软科学, 2022, 36(7): 46-52.
- [13] 赵涛,张智,梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展: 来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10): 65-76.
- [14] 张永恒,王家庭. 数字经济发展是否降低了中国要素错配水平?[J]. 统计与信息论坛, 2020, 35(9): 62-71.
- [15] 王如玉,梁琦,李广乾. 虚拟集聚: 新一代信息技术与实体经济深度融合的空间组织新形态[J]. 管理世界, 2018, 34(2): 13-21.
- [16] 周瑞辉,杨新梅. 经济增长目标压力与城市绿色发展[J]. 城市



- 问题,2021(1):63-72.
- [17] 周黎安. 中国地方官员的晋升锦标赛模式研究[J]. 经济研究, 2007,42(7):36-50.
- [18] 石磊. 地方政府双重目标管理与环境污染:基于中国城市数据的经验研究[J]. 财经理论与实践,2022,43(1):104-113.
- [19] 张杰,付奎,刘炳荣. 数字经济如何赋能城市低碳转型:基于双重目标约束视角[J]. 现代财经(天津财经大学学报),2022,42(8):3-23.
- [20] 穆献中,周文韬,胡广文. 不同类型环境规制对全要素能源效率的影响[J]. 北京理工大学学报(社会科学版),2022,24(3):56-74.
- [21] 余泳泽,孙鹏博,宣烨. 地方政府环境目标约束是否影响了产业转型升级? [J]. 经济研究,2020,55(8):57-72.
- [22] CHEN J D, PAN J, XU Y Q. Sources of authoritarian responsiveness: a field experiment in China [J]. American journal of political science,2016,60(2):383-400.
- [23] MA D Y, SUN H, XIA X C, et al. The impact of government and public dual-subject environmental concerns on urban haze pollution: an empirical research on 279 cities in China [J]. Sustainability,2022,14(16):9957.
- [24] ZHANG W, LIU X M, WANG D, et al. Digital economy and carbon emission performance: evidence at China's city level [J]. Energy policy,2022,165:112927.
- [25] 王磊,李吉,王兴启. 数字经济对城市经济绿色转型的影响研究:基于集聚经济的实证分析[J]. 城市问题,2023(4):76-86.
- [26] 赵星,王林辉. 中国城市创新集聚空间演化特征及影响因素研究[J]. 经济学家,2020(9):75-84.
- [27] 夏帅,谭黎阳,笪远瑶. 高铁开通对城市三重产业集聚的影响研究:基于中国286个地级及以上城市平衡面板的准自然实验分析[J]. 云南财经大学学报,2023,39(4):17-39.
- [28] 叶琴,曾刚,戴勃勃,等. 不同环境规制工具对中国节能减排技术创新的影响:基于285个地级市面板数据[J]. 中国人口·资源与环境,2018,28(2):115-122.
- [29] 吴力波,杨眉敏,孙可贺. 公众环境关注度对企业和政府环境治理的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2022,32(2):1-14.
- [30] LIU Y, MA C Y, HUANG Z H. Can the digital economy improve green total factor productivity: an empirical study based on Chinese urban data [J]. Mathematical biosciences and engineering, 2023,20(4):6866-6893.

Digital economy enabling urban energy transition: based on the perspective of heterogeneous constraints of government and the public

DONG Yiting¹, YUAN Ke¹, ZHAO Xian², GONG Xinshu³

- (1. Academy of China Open Economy Studies, University of International Business and Economics, Beijing 100029, China;
2. School of Public Administration, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510641, China;
3. Faculty of Economics and Management, Shihezi University, Shihezi Xinjiang 832003, China)

Abstract This study selected the panel data of 284 prefecture-level and above cities in China from 2011 to 2021 and empirically examined the impact of the digital economy on urban energy transition and its mechanisms of action using a two-way fixed-effect model, a mediating-effect model, and a moderating-effect model. The study found that: ① The impact of the digital economy on urban energy intensity and energy efficiency exhibited an inverted U-shaped and a U-shaped pattern, respectively, and this conclusion still held after a series of robustness tests. ② The mediating-effect analysis found that the digital economy promoted urban energy transition by enhancing talent agglomeration, innovation agglomeration, and industry agglomeration. ③ The moderating-effect analysis revealed that the government's economic growth targets negatively moderated the digital economy's impact on urban energy intensity and energy efficiency; the government's environmental governance targets positively moderated its impact on urban energy intensity and had a limited positive moderating effect on urban energy efficiency; and public environmental concerns had a positive moderating effect. ④ The heterogeneity test found that the development of the digital economy could promote energy transition in old industrial base cities and resource-based cities to a certain extent. Based on these findings, this study suggests that government departments should formulate policies and measures considering both economic growth and environmental governance and guide public participation in environmental regulation, which is conducive to promoting urban energy transition synergistically.

Key words digital economy; energy transition; economic growth target; environmental governance target; public environmental concern

(责任编辑:王爱萍)