

数字经济、异质性环境规制与资源型城市碳排放

苟红霞 高志刚 韩延玲

摘要: 资源型城市面临经济转型与节能减排双重压力,探究数字经济的碳减排作用意义重大。基于2011—2021年111个资源型城市面板数据研究发现:数字经济显著降低资源型城市碳强度,并呈动态减弱趋势。异质性上,数字基建降碳效果更佳,环境规制和资源禀赋高位城市及碳强度75%分位点城市数字经济的降碳效果更明显,不同发展阶段的城镇降碳影响有别。数字经济通过提升环境规制降低城市碳强度,控制型环境规制渠道作用更强。数字经济在数字经济降碳影响中发挥“先增强后弱化”的边际效应,存在最优区间。数字经济赋能环境规制和治理型环境规制有助于突破“遵循成本假说”,发挥“创新补偿效应”降低碳强度,在控制型环境规制降碳中表现为边际效应递增特征。要扩大资源型城市数字经济规模、强化数字化环境治理思维、分类引导发展,以数字经济推动资源型城市低碳转型,实现经济高质量发展和“双碳”目标。

关键词: 数字经济; 碳排放; 控制型环境规制; 治理型环境规制; 资源型城市

DOI: 10.19836/j.cnki.37-1100/c.2025.02.012

一、引言

党的二十大报告指出:“实现碳达峰碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革。”^①党的二十届三中全会指出:“必须完善生态文明制度体系,协同推进降碳、减污、扩绿、增长,积极应对气候变化,加快完善落实绿水青山就是金山银山理念的体制机制。”^②城市是“双碳”目标实现的主战场,在全球碳排放进程中城市碳排放占比约为75%,而中国城市碳排放占比为80%左右^③。资源型城市占全国城市的40%,在正常达峰情景下,2030年资源型城市碳排放量为72.65亿吨,约占当年全国碳排放总量的60%^④,可见资源型城市是城市“双碳”目标实现的重点场域。作为国家煤炭、石油、天然气、矿产资源等能源资源重要供应地的资源型城市,一直以来发展存在高度依赖高化石能源、产业结构单一、能源利用效率低、创新发展水平不高、生态环境恶化等问题。“十四五”规划纲要中提到要支持特殊类型地区发展,推动资源型地区可持续发展示范区和转型创新试验区建设,旨在推动资源枯竭城市探

基金项目: 国家自然科学基金项目“绿色全要素能源效率对新疆经济高质量发展的影响研究”(72064035);新疆财经大学科研基金项目“基于多视角的新疆经济高质量发展综合研究”(XJWT202301);新疆财经大学研究生科研创新项目“‘双碳’目标背景下数字经济对碳排放的影响研究”(XJUFE2022B06);新疆维吾尔自治区社会科学基金项目“新发展理念下新疆对外贸易高质量发展的动能塑造与路径选择”(21BJL034)。

作者简介: 苟红霞,新疆财经大学经济学院讲师(乌鲁木齐 830012; 1743463421@qq.com);高志刚(通讯作者),新疆科技学院院长,教授,新疆财经大学经济学院博士生导师(库尔勒 841000; 乌鲁木齐 830012; gaozhg1206@163.com);韩延玲,新疆财经大学统计与数据科学学院教授(乌鲁木齐 830012; 472216711@qq.com)。

① 习近平:《高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告》,北京:人民出版社,2022年,第51页。

② 《中共中央关于进一步全面深化改革 推进中国式现代化的决定》,北京:人民出版社,2024年,第38页。

③ 《碳中和时钟滴答作响:城市碳排放占比高达75%,碳减排“主战场”如何破局?》, <https://www.21jingji.com/article/20220114/herald/b0f5f320a8084ef634badc46eb72b499.html>, 访问日期:2023年6月14日。

④ 冯相昭、蔡博峰、王敏等:《中国资源型城市CO₂排放比较研究》,《中国人口·资源与环境》2017年第2期。

索转型路径。2021年国家发展改革委、财政部、自然资源部印发《推进资源型地区高质量发展“十四五”实施方案》的通知,指明要推动资源型地区绿色发展,强调要开展生态环境综合治理、加快形成绿色生产方式、建设生态宜居环境。数字经济发展通过优化资源配置、提高生产效率、激发创新活力等,为城市经济增长注入新动力,资源型城市数字经济存在较大发展空间。在“双碳”任务和“十四五”资源型地区高质量发展的目标约束下,资源型城市面临较大绿色压力,如何在稳定保障国家能源供应的同时实现自身低碳转型迈向高质量发展?数字经济的发展究竟能否为其高碳排放困境破局,带来新的发展机遇?与上述问题相关的研究主要包括以下几个方面:

(一)资源型城市绿色低碳发展相关研究

从核心期刊发文量看,2000年以来呈“快速增长→波动下降→平稳发展”的趋势,2011年后资源型城市转型问题关注度下降。从转型领域看,以经济转型和产业转型为主过渡到以绿色转型、可持续发展、低碳转型为主。重点关注绿色低碳发展转型领域:一是绿色转型方面,以资源型城市绿色转型绩效评价研究为主,得出资源型城市经济与社会转型绩效显著提升、环境转型绩效有待提高的结论^①。二是可持续发展方面,一方面关注资源型城市可持续发展的路径^②,另一方面关注资源型城市可持续发展政策对促进就业、环境治理以及对降低化学需氧量、SO₂、氮氧化物、PM2.5等污染排放指标的积极作用^{③④⑤}。三是低碳转型方面,聚焦资源型城市碳排放的研究数量较少,随“双碳”目标提出,相关研究近年来受到学者关注。(1)以资源型城市低碳转型路径和碳排放效率评价为主^{⑥⑦}。(2)资源型城市碳排放的相关影响研究关注如下两方面:一方面,城市转型、可持续发展政策主要通过经济产业、社会生活、生态环境转型、优化技术选择、提高财政扶持、提升生活质量,促进资源型城市碳减排^{⑧⑨}。此外,资源型城市低碳技术进步抑制了碳排放增长,存在区域异质性和门槛效应^⑩。另一方面,资源型城市提高其经济增长目标,通过加强资源依赖和阻碍技术创新降低了碳排放效率^⑪。

(二)数字经济对城市碳排放的影响研究

数字经济对城市碳排放的影响关系主要有三种。一是降碳影响。一方面,数字经济能显著减少城市碳排放,传导渠道有绿色技术创新^⑫、产业结构升级和能源效率提升^⑬等。数字经济还能提升城市碳绩效^⑭,传导渠道为绿色技术创新、产业结构优化、绿色金融发展。另一方面,“智慧城市”政策对

① 聂雷、王圆圆、张静等:《资源型城市绿色转型绩效评价——来自中国114个地级市的检验》,《技术经济》2022年第4期。

② 汪涛、张家明、禹湘等:《资源型城市的可持续发展路径——以太原市创建国家可持续发展议程示范区为例》,《中国人口·资源与环境》2021年第3期。

③ 昌敦虎、李明奎、原佳倩等:《中国资源型城市可持续转型对促进就业和环境治理的影响——基于“人与自然和谐共生”视角的分析》,《人口研究》2023年第3期。

④ 关海玲、董慧君、张宇茹:《〈全国资源型城市可持续发展规划〉的污染减排效应研究》,《经济问题》2021年第6期。

⑤ 周宏浩、谷国锋:《资源型城市可持续发展政策的污染减排效应评估——基于PSM-DID自然实验的证据》,《干旱区资源与环境》2020年第10期。

⑥ 孙秀梅、闫肃:《TOE框架下资源型城市低碳转型驱动路径——基于我国108个资源型城市的fsQCA研究》,《科技进步与对策》2023年第23期。

⑦ 张明斗、席胜杰:《资源型城市碳排放效率评价及其政策启示》,《自然资源学报》2023年第1期。

⑧ 徐维祥、郑金辉、周建平等:《资源型城市转型绩效特征及其碳减排效应》,《自然资源学报》2023年第1期。

⑨ 张艳、郑贺允、葛力铭:《资源型城市可持续发展政策对碳排放的影响》,《财经研究》2022年第1期。

⑩ 王家明、余志林:《资源型城市低碳技术进步驱动碳减排的多重异质性》,《中国人口·资源与环境》2022年第11期。

⑪ 边志强、钟顺昌:《资源型城市经济增长目标对碳排放效率的影响》,《中国环境科学》2023年第8期。

⑫ 郭丰、杨上广、任毅:《数字经济、绿色技术创新与碳排放——来自中国城市层面的经验证据》,《陕西师范大学学报(哲学社会科学版)》2022年第3期。

⑬ 范合君、潘宁宁、吴婷:《数字经济发展的碳减排效应研究——基于223个地级市的实证检验》,《北京工商大学学报(社会科学版)》2023年第3期。

⑭ 王奕淇、董吴娟:《数字经济与城市碳排放绩效:作用机制与空间效应》,《大连理工大学学报(社会科学版)》2024年第5期。

属地和邻近城市均具有降碳影响,空间减排效应符合地理距离衰减特征^①。二是增碳影响。数字基础设施建设通过增大能源投入总量、人均能源消费量和提高能源强度等增加城市碳排放^②。三是非线性影响。数字经济与城市碳排放间存在“N”型^③和倒“U”型^④的影响关系、非线性的空间减排效应^⑤、绿色能效表现的非线性门槛效应^⑥及数字经济对城市碳排放的“双重效应”^⑦等。

(三)环境规制对城市碳排放的影响研究

现有研究主要基于“波特假说”和“绿色悖论”展开争论。一是降碳影响,主要通过提高资源配置效率 and 改善能源依赖程度^⑧、能耗“双控”效应、产业结构效应及绿色创新效应^⑨等降低城市碳排放。二是增碳影响,环境规制抑制生产性服务业多样化集聚对城市碳排放效率的提升作用^⑩。三是非线性影响,环境规制对城市碳强度具有“U”型的非线性关系^⑪、绿色技术创新的非线性门槛效应和负向的空间溢出效应等^⑫。目前关于资源型城市环境规制对碳排放的影响研究相对较少,相关研究主要关注资源型城市环境规制对产业结构转型、绿色全要素生产率、经济高质量发展等方面的影响。

综上所述,现有研究存在以下不足:一是研究视角上,资源型城市低碳转型中关注数字经济驱动作用的研究较少,而资源型城市数字经济发展对其低碳转型可能给出“良方”。二是影响机制上,相关机制探讨中,环境规制的渠道作用鲜有提及,而环境规制在资源型城市产业可持续转型中起到重要作用^⑬。有鉴于此,本文边际贡献为:一是以数字经济为研究视角,探索性构建影响资源型城市碳排放的理论分析框架,拓展了资源型城市减碳的研究视角,为资源型城市高质量发展提供思路借鉴。二是以污染物排放的前端控制和末端治理为出发点,将环境规制分为控制型环境规制和治理型环境规制,探讨其在数字经济与资源型城市碳强度间的渠道作用机制。三是发现数字经济发展在数字经济降低资源型城市碳强度的过程中存在最优门槛区间。四是发现环境规制和治理型环境规制作用碳排放的过程中存在“先促进后抑制”的非线性数字经济门槛效应,治理型环境规制作用碳排放存在边际效应递增的数字经济的门槛效应。五是丰富拓展了数字经济对资源型城市降碳影响的多种异质性研究。

二、影响机理与研究假设

(一)数字经济发展对资源型城市碳排放强度的直接作用机理

第一,数字产业发展方面。一是相比非资源型城市,资源型城市劳动、资本和能源生产要素投入

- ① 徐维祥、周建平、刘程军:《数字经济发展对城市碳排放影响的空间效应》,《地理研究》2022年第1期。
- ② Tang K., Yang G., “Does Digital Infrastructure Cut Carbon Emissions in Chinese Cities?”, *Sustainable Production and Consumption*, 2023, 35, pp. 431-443.
- ③ Yi M., Liu Y., Sheng M. S., et al., “Effects of Digital Economy on Carbon Emission Reduction: New Evidence from China”, *Energy Policy*, 2022, 171, No. 113271.
- ④ 王帅龙:《数字经济之于城市碳排放:“加速器”抑或“减速带”?》,《中国人口·资源与环境》2023年第6期。
- ⑤ 李治国、王杰:《经济集聚背景下数字经济发展如何影响空间碳排放?》,《西安交通大学学报(社会科学版)》2022年第5期。
- ⑥ Yu Z., Liu S., Zhu Z., “Has the Digital Economy Reduced Carbon Emissions?: Analysis Based on Panel Data of 278 Cities in China”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(18), No. 118114.
- ⑦ 高维龙、彭影、胡续楠:《“双碳”目标下数字经济对城市节能减排的影响研究》,《城市问题》2023年第3期。
- ⑧ 刘亦文、周韶成:《正式与非正式环境规制政策协同的减污降碳效应研究》,《财经论丛》2023年第8期。
- ⑨ 黄和平、谢云飞:《市场型环境规制促进了工业低碳转型吗?——来自用能权交易的证据》,《产业经济研究》2023年第1期。
- ⑩ 江三良、鹿才保:《环境规制影响碳排放效率的外部性及异质性——基于生产性服务业集聚协同的分析》,《华东经济管理》2022年第10期。
- ⑪ 程杰晟、雷俊霞:《环境规制对国家级城市群生态旅游产业碳排放效率的时空动态影响》,《中南林业科技大学学报》2023年第3期。
- ⑫ 刘习平、庄金苑:《“双碳”目标下环境规制、绿色技术创新与碳强度》,《统计与决策》2023年第13期。
- ⑬ 李虹、邹庆:《环境规制、资源禀赋与城市产业转型研究——基于资源型城市与非资源型城市的对比分析》,《经济研究》2018年第11期。

错配问题明显,而能源要素错配最为严重^①,资源利用效率低。数字经济与实体经济深度融合,利用互联网、大数据、人工智能等数字技术,精准掌握全产业链发展的要素投入、使用、消耗、余量等数据信息,合理精准投入生产要素,降低要素交易成本,有效改善资源型城市的要素错配问题^②,节约资源和能源消耗,促进资源型城市低碳转型升级。二是资源型城市产业发展面临产业结构单一^③、重工业比重大等问题。而资源型城市数字经济发展以数字技术为核心,通过数字技术向传统产业市场渗透,融合创新出新产业、新服务、新业态、新模式,赋能传统产业技术改造推动企业数字化转型升级^④,赋能资源型城市培育摆脱能源依赖的有持续增长潜力的新产业,或赋能传统产业由单一产业结构属性向综合性且多元支撑的产业结构发展格局转变,有望拯救因资源衰竭而导致的产业衰退,从而降低产业粗放导致的碳排放。

第二,数字基础设施建设方面。一是资源型城市是我国重要能源资源战略保障基地,发展主要靠物质要素的粗放投入,尤其是其能源依赖度较高,采掘业占第二产业的比重超过20%,高碳排放特征明显。数据生产要素相比物质要素较为清洁^⑤,数字基础设施建设是数据要素投入的重要载体,资源型城市数字基础设施的发展使数据作为关键要素充斥到经济发展中,大大减少劳动、资本、土地,尤其是能源等传统要素的比重,改变其能源资源要素过度依赖的增长模式^⑥,发挥要素替代效应,降低高能耗导致的碳排放。二是资源型城市具有资源垄断性的产业发展特征,市场竞争力弱化,易产生信息不对称,造成供需端不匹配问题,产生资源浪费导致高碳排放。数字基础设施发展会减少产品生产、运输、储存、消费等过程中的信息不对称问题^⑦,链接匹配上中下游生产和需求数量,缓解供需端不平衡,有效避免盲目生产导致能源过度消耗问题,降低碳排放。

第三,数字金融发展方面。资源型城市金融市场发展相对滞后、金融结构单一、融资渠道狭窄,资源枯竭型城市融资更难。在其产业转型中金融支持极为重要^⑧。一是数字金融相比传统金融具有较强普惠性和包容性,极大拓宽企业融资渠道,尤其是中小微企业,金融产品和服务不断更迭,使其更加高效、便捷、智能地享受金融信贷服务,有足够资金投入绿色技术研发活动推动产业低碳转型,降低碳排放;二是数字金融广泛运用大数据、互联网、云计算等数字技术和数字金融服务平台,能精准实现金融资源供需端的合理配置,降低金融资源因信息不对称导致的错配,发挥数字金融优化配置的杠杆作用,提升资源利用效率,减少碳排放^⑨。综上提出假说1。

假说1:资源型城市数字经济发展可能通过改善其要素错配、产业结构单一、能源依赖度高、供需端信息不对称、融资难等问题,降低碳排放强度。

(二)数字经济发展影响资源型城市碳排放强度的间接传导作用机理

资源型城市发展常面临“开发与保护”矛盾,资本逐利性引诱粗放盲目开采,致使环境问题突出。

① 王昀、孙晓华、刘桐等:《资源型城市的要素错配问题更严重吗?》,《统计研究》2023年第2期。

② 张毅、王军:《数字经济对资源错配的影响研究:作用机理与经验证据》,《当代经济管理》2023年第11期。

③ 徐君、戈兴成、王曦等:《资源型城市高质量转型发展的机制及路径研究——基于需求侧和供给侧双轮驱动视角》,《广西社会科学》2020年第12期。

④ 李晓华:《数字经济新特征与数字经济新动能的形成机制》,《改革》2019年第11期。

⑤ 陈怡安、刘津利:《数字基础设施建设促进了能源效率提升吗?——基于“宽带中国”示范城市建设的准自然实验》,《西部论坛》2023年第4期。

⑥ 王阳、郭俊华:《数字基础设施建设能否推动工业绿色转型发展?——基于“宽带中国”战略的准自然实验》,《经济问题探索》2023年第8期。

⑦ 邓荣荣、张翱翔:《中国城市数字经济发展对环境污染的影响及机理研究》,《南方经济》2022年第2期。

⑧ 毛成刚、杨国佐、范瑞:《数字金融与资源型地区产业结构转型升级——基于109个资源型城市的实证分析》,《经济问题》2022年第7期。

⑨ 姚凤阁、王天航、谈丽萍:《数字普惠金融对碳排放效率的影响——空间视角下的实证分析》,《金融经济研究》2021年第6期。

为减少企业盲目开发资源行为、约束企业碳排放,亟待加强环境规制水平。资源型城市环境规制存在碳排放交易市场发展滞后、地方政府环保执法不灵活、缺乏分类指导环境管理制度^①、监管执法效率低与成本高导致碳治理逃避或出现企业倒闭关停等问题,未有效发挥环境规制正效应。而资源型城市数字经济发展可赋能控制型环境规制和治理型环境规制,提高碳治理水平。

第一,控制型环境规制方面。一是利用大数据、遥感监测技术、地理信息系统等数字化方式赋能资源精准开发规划与管理,形成数智化资源勘探与分区管理,通过数字化建设资源型城市资源可持续发展预警与调控系统,动态监测资源型城市资源开发与环境保护协调,减少碳排放。二是使环境监管、执法模式得到改革创新^②,利用人工智能、物联网、大数据等现代化数字技术对能源投入、生产能耗、污染物排放等环节进行数字化控制,联网至环保监管部门实现实时监测、预警、模拟仿真等,辅助政府等环境规制主体提高环境执法和环境监管效能。

第二,治理型环境规制方面。数字经济赋能智慧化环境治理,实现精准、科学、依法治污^③。一是囿于污染排放治理协调成本较高、治理主体权责模糊、环境法治规则不统一^④、政府环保执法“一刀切”等问题,环境治理效率难以提升。数字技术突破地理边界,借助人工智能的数据处理、辅助决策等功能,应用数字化协同环境治理网络平台,共享区域环境政策和法律法规等信息,降低协调成本提升政府环境规制效率,降低碳排放。二是生态资产数据库、生态环境价值评估、生态价值补偿及生态产品交易的数字化平台应用,使市场型环境规制成本降低和效率提升,引导企业外部环境成本内部化,倒逼企业绿色技术创新降低碳排放^⑤。三是数字网络媒体和数字服务平台发展为公众或社会团体参与环境治理提供有效途径^{⑥⑦}。如网络问政、数字碳中和论坛、全国生态环境投诉举报平台等,加强政企民间协商对话,畅通不同利益群体与相关责任主体沟通渠道,规避政府环境治理寻租及“逐底竞赛”环境规制执行力弱化^⑧、企业侥幸投机行为,随即亦能提升公众环境保护意识进而降低碳排放。综上提出假说2。

假说2:数字经济通过提升环境规制现代化水平,从而降低资源型城市碳排放强度,控制型环境规制和治理型环境规制两类环境规制渠道作用可能存在差异。

(三)数字经济的边际效应作用机理

一是在数字经济影响资源型城市碳强度的过程中,可能存在数字经济发展的边际效应。当数字经济发展小于某阈值时,资源型城市数字经济水平不高,数字基础设施建设滞后,数字技术和数据要素对经济、社会等发展的融合与覆盖程度不够,难以释放数字经济的降碳影响;当跨越该阈值后,数字基础设施较为完备,数字经济水平明显提升,数字技术和数据要素与经济融合程度加深,数字经济的降碳影响开始显现^⑨。二是资源型城市数字经济发展的不同阶段,对环境规制的融合渗透碳减排效

① 赵明亮、冯健康、孙威:《环境规制影响资源型城市绿色全要素生产率的途径与政策建议》,《自然资源学报》2023年第1期。

② Shin D. H., Choi M. J., “Ecological Views of Big Data: Perspectives and Issues”, *Telematics and Informatics*, 2015, 32(2), pp. 311-320.

③ 余敏江:《智慧环境治理:一个理论分析框架》,《经济社会体制比较》2020年第3期。

④ 胡志高、李光勤、曹建华:《环境规制视角下的区域大气污染联合治理——分区方案设计、协同状态评价及影响因素分析》,《中国工业经济》2019年第5期。

⑤ Yang X., He L., Zhong Z., et al., “How Does China’s Green Institutional Environment Affect Renewable Energy Investments? The Nonlinear Perspective”, *Science of the Total Environment*, 2020, 727, No. 138689.

⑥ Yang J., Li X., Huang S., “Impacts on Environmental Quality and Required Environmental Regulation Adjustments: A Perspective of Directed Technical Change Driven by Big Data”, *Journal of Cleaner Production*, 2020, 275, No. 124126.

⑦ 易承志:《互联网传播对城市居民环境诉求的影响方式与政府回应路径》,《西南民族大学学报(人文社会科学版)》2020年第12期。

⑧ 宋鹏、朱琪、张慧敏:《环境规制执行互动与城市群污染治理》,《中国人口·资源与环境》2022年第3期。

⑨ 班楠楠、张潇月:《数字经济对我国居民消费碳排放影响》,《中国环境科学》2023年第12期。

应可能存在差异。当数字经济发展小于某阈值时,囿于资源型城市数字基础设施薄弱、数字化应用范围不广、数字技术水平低等使规模效应无法溢出到环境规制层面,同时环境规制主体的数字素养欠缺,存在思想认知黏性,传统环境规制方式占据主导地位,导致数字经济与环境规制融合较浅,受“遵循成本假说”的负向影响,可能会增加资源型城市排放强度;当数字经济发展高于某阈值时,根据梅特卡夫法则,随着数字经济快速渗透和覆盖,数字化技术、平台等充分与环境规制领域融合,环境规制主体个性化需求逐渐被满足,激发更强的“长尾效应”,规避环境规制的“遵循成本假说”发挥“创新补偿效应”赋能资源型城市碳减排。综上提出假说3-1和假说3-2。

假说3-1:数字经济影响资源型城市碳强度中存在“先增碳后减碳”的数字经济边际效应。

假说3-2:数字经济发展在资源型城市环境规制影响碳强度的过程中存在“先增碳后减碳”的边际效应,控制型环境规制和治理型环境规制存在差异。

三、研究设计

(一)模型设定

首先,为验证假说1,数字经济是否降低资源型城市碳排放强度,构建以下基准模型:

$$cei_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 dig_{it} + \delta X_{it} + \lambda_i + \epsilon_{it} \quad (1)$$

(1)式中,下标*i*表示地级市,*t*表示年份;*cei*表示碳排放强度;*dig*表示数字经济发展水平;*X*表示控制变量集; λ_i 表示城市固定效应; ϵ_{it} 表示随机扰动项,下文公式中相同字符含义不再赘述。

其次,为验证假说2,参考江艇^①的研究,在基准模型基础上,检验数字经济分别对环境规制(*er*)、控制型环境规制(*er*₁)、治理型环境规制(*er*₂)的影响,环境规制对碳强度的影响作用基于现有理论,构建传导机制模型如下:

$$m_{it} = \beta_0 + \beta_1 dig_{it} + \varphi X_{it} + \lambda_i + \epsilon_{it} \quad (2)$$

(2)式中 *m_{it}* 分别为环境规制(*er*)、控制型环境规制(*er*₁)、治理型环境规制(*er*₂)。

最后,为验证假说3-1和假说3-2数字经济发展的边际效应,构建以下门槛模型:

$$cei_{it} = \eta_0 + \eta_1 dig_{it} \cdot I(dig_{it} \leq \gamma) + \eta_2 dig_{it} \cdot I(dig_{it} > \gamma) + \xi X_{it} + \epsilon_{it} \quad (3)$$

$$cei_{it} = \eta_0 + \eta_1 e_{it} \cdot I(dig_{it} \leq \gamma) + \eta_2 e_{it} \cdot I(dig_{it} > \gamma) + \xi X_{it} + \epsilon_{it} \quad (4)$$

上式中 *I*(·) 是门槛指示性函数,按照门槛值进行分段,*dig_{it}* 是门槛变量, γ 是门槛值;其中式(4)中 *e_{it}* 分别为环境规制(*er*)、控制型环境规制(*er*₁)、治理型环境规制(*er*₂)。

(二)变量选取与测度

为消除价格变动影响,凡涉及价格变动的变量均以2011年为基期进行平减。

1. 被解释变量:碳排放强度(*cei*)。采用二氧化碳排放量与实际GDP的比值表征,二氧化碳排放量数据来自Oda^②团队发布的人为二氧化碳开源数据库(ODIAC)。

2. 核心解释变量:数字经济发展水平(*dig*)。参考赵涛等^③的研究,采用熵权法从数字产业、数字基建、数字金融三方面构建指标体系表征数字经济发展水平。数字产业发展指标包含电信业务收入占比以及信息传输、计算机服务和软件业从业人员占比。数字基建发展指标包含每百人互联网宽带接入用户数、每百人移动电话用户数。数字金融发展采用郭峰等编制的城市数字普惠金融指数

① 江艇:《因果推断经验研究中的中介效应与调节效应》,《中国工业经济》2022年第5期。

② Oda T., Maksyutov S., Andres R. J., “The Open-source Data Inventory for Anthropogenic CO₂, Version 2016(ODIAC2016): A Global Monthly Fossil Fuel CO₂ Gridded Emissions Data Product for Tracer Transport Simulations and Surface Flux Inversions”, *Earth System Science Data*, 2018, 10(1), pp. 87-107.

③ 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》,《管理世界》2020年第10期。

表征^①。

3. 影响机制变量:环境规制水平(er)。参考王晓红等^②的研究将环境规制(er)区分为控制型环境规制(er_1)和治理型环境规制(er_2)。前者为环境污染前采取预防和控制的行为,后者为环境污染后规制主体参与污染治理的行为。采用熵值法构建环境规制综合指数,包含控制型和治理型环境规制指数。控制型环境规制的指标包含工业废水排放强度、工业 SO_2 排放强度、工业烟粉尘排放强度;治理型环境规制的指标包含污水处理厂集中处理率、生活垃圾处理率、一般工业固体废物综合利用率。

4. 控制变量。参考相关理论与文献,影响碳排放的控制变量有:(1)城市化水平($urban$),以市辖区人口占全市总人口的比重表征^③;(2)碳汇水平($green$),以每万人拥有公园绿地面积表征^④;(3)人口密度(pop),采用城市总人口占城市行政区域面积的比重表征;(4)经济发展水平($pgdp$),采用人均实际GDP表征;(5)科技投入强度($tech$),采用科学技术支出占GDP的比重表征^⑤。

(三)样本选择与数据来源

国务院于2013年11月12日颁布《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》,划定262个资源型城市,剔除数据缺失和市县调整的城市,研究样本为2011—2021年111个资源型地级市的面板数据。依据资源型城市资源保障能力、可持续发展能力及城市发展生命周期规律等,将其分为成长型城市(13个)、成熟型城市(60个)、衰退型城市(23个)、再生型城市(15个)四种类型。数据主要来自《中国城市统计年鉴》,部分数据来源于各省统计年鉴、各地级市统计年鉴以及地级市统计公报等,其余少部分缺失数据采用均值法、线性插补法、趋势外推法、倒推计算法等进行插补。

四、特征事实

(一)资源型城市数字经济发展和碳排放强度的历年变化趋势

由图1可知,2011—2021年资源型城市数字经济发展总体呈增长态势,2017年数字经济均值略高于其余年份,主要源于该年我国数字经济发展步入快速发展阶段,世界互联网大会蓝皮书公布我国数字经济发展规模位居全球第二。同时2011—2021年资源型城市碳排放强度呈下行趋势,中国高度重视气候变化问题,多措并举降低碳排放,如建立碳排放交易市场、推进碳排放交易试点、低碳省份和低碳城市试点、低碳工业园区和低碳社区试点等,显然2011—2021年资源型城市的低碳发展成效显著。

(二)资源型城市数字经济发展与碳排放强度统计关系初探

如图2所示,将数字经济发展指数作为权重绘制散点图,空心圆越大代表该城市数字经济水平越高。如图2a所示,数字经济与碳排放强度近似呈负向关系,较大的空心圆在右侧居多,表明数字经济水平较高的城市碳强度较低;如图2b所示,数字经济与环境规制近似呈正向关系,但不明显,绘制数字经济分别与控制型环境规制和治理型环境规制的关系图。如图2c所示,数字经济发展与控制型环境规制呈现较为明显的正向关系,而数字经济发展与治理型环境规制的散点图与图2b相似,表明数字经济发展与环境规制呈正向关系,其中与控制型环境规制的正向关系较为明显;如图2d所示,环境规制对碳排放强度的影响近似呈负向关系,总体上数字经济发展水平较高的城市,环境规制与碳排放强度

① 郭峰、王靖一、王芳等:《测度中国数字普惠金融发展:指数编制与空间特征》,《经济学》(季刊)2020年第4期。

② 王晓红、冯严超:《环境规制对中国循环经济绩效的影响》,《中国人口·资源与环境》2018年第7期。

③ 田皓森、潘明清:《数字金融发展与城市经济绩效研究——空间效应与门槛特征》,《经济问题》2021年第12期。

④ 张赫、王睿、于丁一等:《基于差异化控碳思路的县级国土空间低碳规划方法探索》,《城市规划学刊》2021年第5期。

⑤ 张保留、白梓函、张楠等:《城市碳达峰碳中和行动评估方法与应用》,《环境科学》2023年第7期。

的负向关系越明显。综上所述,不考虑其他因素前提下,初步判定资源型城市数字经济与碳排放强度之间呈负向关系,可能存在环境规制的影响机制,下面进行实证验证。

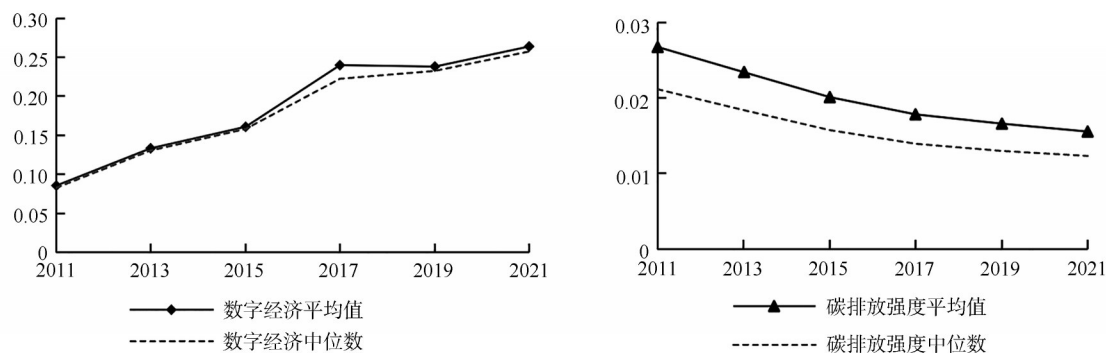


图1 资源型城市数字经济发展和碳排放强度的历年变化趋势

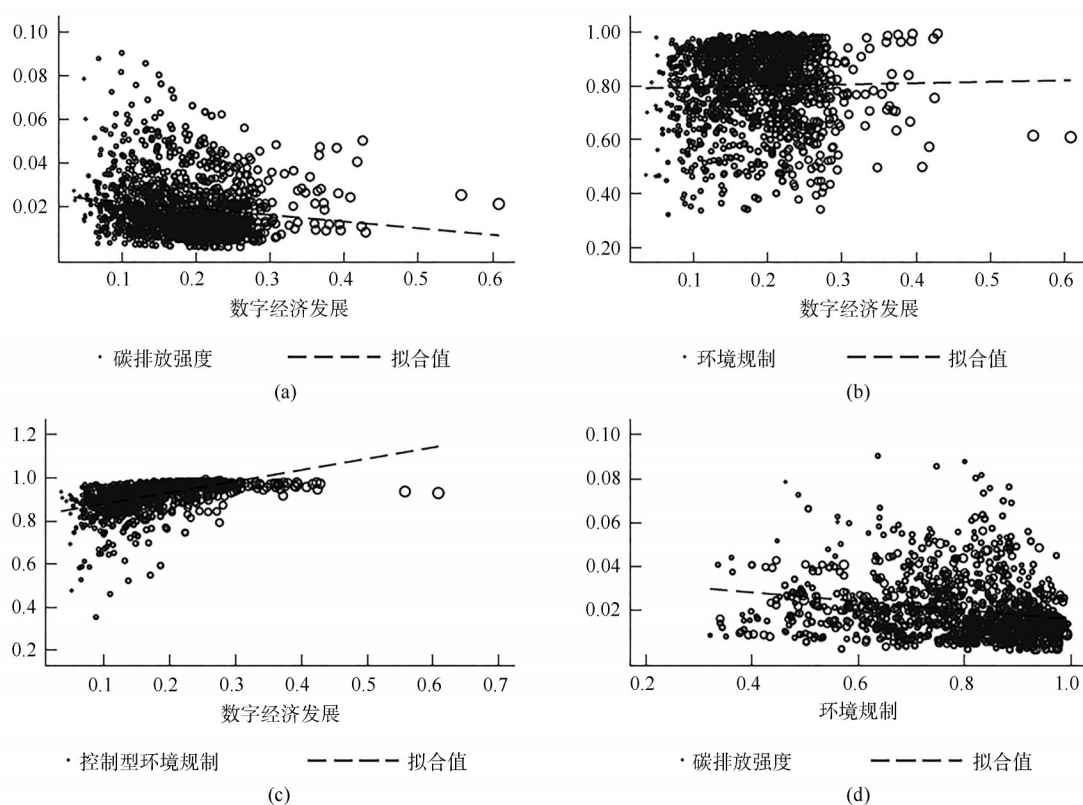


图2 资源型城市数字经济发展与碳排放强度的关系

五、实证分析

(一) 基准回归结果

首先,如表1列(1)和列(2)所示,无论是否添加控制变量,在两种稳健标准误下资源型城市数字经济发展均对碳排放强度的影响在1%的显著性水平下为负。表明数字经济发展可显著降低资源型城市的碳排放强度,假设1得以验证。此外,控制变量结果基本符合预期。其次,将当期数字经济发

展替换为数字经济发展的滞后4期^①。如表1列(3)至列(6)所示,资源型城市数字经济的影响系数均在1%的显著性水平下为负,从系数看滞后期越大数字经济的降碳影响越弱。表明数字经济降低资源型城市碳排放强度的影响具有动态减弱特征。

表1 基准回归的估计结果

变量	(1)	(2)	(3)滞后1期	(4)滞后2期	(5)滞后3期	(6)滞后4期
<i>dig</i>	-0.517 (0.025)*** [0.035]***	-0.446 (0.045)*** [0.056]***	-0.361 (0.039)*** [0.047]***	-0.279 (0.034)*** [0.039]***	-0.175 (0.027)*** [0.030]***	-0.163 (0.021)*** [0.023]***
控制变量	否	是	是	是	是	是
常数项	0.029*** (0.001)	0.014*** (0.004)	0.014*** (0.004)	0.014*** (0.004)	0.014*** (0.004)	0.015*** (0.004)
观测值	1221	1221	1110	999	888	777
R ²	0.961	0.966	0.972	0.979	0.985	0.991

注: *、**、***分别代表10%、5%、1%的显著性水平, ()内代表异方差稳健标准误, []内代表城市层面的聚类标准误。

(二)内生性处理

经 Hausman 及 DWH 检验后模型确实存在内生性,采用工具变量法缓解。选取地形起伏度^②和1984年每百人固定电话数作为工具变量^③。一是地形起伏度与数字基础设施的调试、安装、宽带接入信号等密切相关,一般地形起伏度越小,有利于减少数字基建的投入成本和降低施工难度。地形起伏度属自然地理特征,具有高度随机性和外生性,不会直接影响碳排放强度。二是固定电话是现代信息技术发展的重要表征,与当前电信产业和移动互联网密切相关。1984年的历史固定电话数对当今城市碳排放强度无直接影响,有也日渐式微,满足外生性。考虑到工具变量不随时间变化,最终选取的工具变量为地形起伏度与年份虚拟变量的交乘项(Z_1)、地形起伏度与全国互联网普及率的交乘项(Z_2)、1984年每百人固定电话数与时间虚拟变量的交乘项(Z_3)、1984年每百人固定电话与互联网普及率的交乘项(Z_4)。如表2所示,所有工具变量均通过检验,表明缓解模型内生性后假设1依然成立。

表2 工具变量的估计结果

变量	(1) Z_1	(2) Z_2	(3) Z_3	(4) Z_4
第一阶段回归结果(<i>dig</i>)				
<i>IV</i>	0.003*** (0.0004)	0.0002*** (0.00001)	0.003*** (0.001)	0.0002*** (0.00002)
第二阶段回归结果(<i>cei</i>)				
<i>dig</i>	-1.067 (0.136)*** [0.123]***	-0.852 (0.053)*** [0.115]***	-0.981 (0.186)*** [0.175]***	-0.679 (0.080)*** [0.176]***
控制变量	是	是	是	是
K-PLM	26.900***	116.587***	20.510***	73.921***

① 唐松、伍旭川、祝佳:《数字金融与企业技术创新——结构特征、机制识别与金融监管下的效应差异》,《管理世界》2020年第5期。
② 地形起伏度数据是利用 ArcGIS 将数字高程模型(SRTM90m)数据重采样 1km,运用模型计算得到地形起伏度公里网格数据。
③ 钱海章、陶云清、曹松威等:《中国数字金融发展与经济增长的理论与实证》,《数量经济技术经济研究》2020年第6期。

续表 2

变量	(1) Z_1	(2) Z_2	(3) Z_3	(4) Z_4
C-DWal	64.916	252.567	41.582	150.784
观测值	1221	1221	946	1221
R^2	0.275	0.483	0.449	0.588

注：*、**、***分别代表10%、5%、1%的显著性水平，()内代表异方差稳健标准误，[]内代表城市层面的聚类标准误。Stock-Yogo弱工具变量检验在10%显著水平上的临界值为16.38。

(三)异质性分析

1. 数字经济不同维度。如表3所示,数字产业、数字基建、数字金融发展对资源型城市碳排放强度的影响均在1%的显著性水平下为负。从系数看资源型城市数字基建发展降碳效果更佳,其次是数字金融和数字产业发展。数字基建通过数据要素替代能源要素等有效减少碳排放。

表 3 数字经济不同维度的异质性

变量	(1)	(2)	(3)
数字产业发展	-0.008 (0.002)*** [0.003]***		
数字基建发展		-0.019 (0.002)*** [0.003]***	
数字金融发展			-0.018 (0.001)*** [0.001]***
控制变量	是	是	是
观测值	1221	1221	1221
R^2	0.948	0.956	0.976

注：*、**、***分别表示10%、5%、1%的显著性水平，()内代表异方差稳健标准误，[]内代表城市层面的聚类标准误。

2. 环境规制水平和不同碳强度。如表4列(1)和列(2)所示,无论环境规制水平高低与否,数字经济的降碳影响均在1%的显著性水平下为负。从系数上看,高位城市的数字经济降碳影响略高于低位城市。如表4列(3)至列(6)所示,从系数看随碳排放强度分位点的提高,数字经济的降碳影响呈先增后减的倒“U”型趋势。原因可能是碳排放强度过高的城市,数字经济的降碳作用在短期内成效较缓。

表 4 环境规制水平和碳强度的异质性

变量	环境规制(er)		碳排放强度分位数回归			
	(1)低	(2)高	(3) $q=25\%$	(4) $q=50\%$	(5) $q=75\%$	(6) $q=100\%$
dig	-0.354 (0.062)*** [0.071]***	-0.456 (0.033)*** [0.053]***	-0.317*** [0.003]	-0.354*** [0.002]	-0.392*** [0.004]	-0.219*** [0.001]
控制变量	是	是	是	是	是	是
观测值	601	605	1221	1221	1221	1221
R^2	0.968	0.979				

注：*、**、***分别表示10%、5%、1%的显著性水平，()内代表异方差稳健标准误，[]内代表城市层面聚类标准误，[]内为普通标准误。

3.可持续发展阶段与资源禀赋。如表5列(1)至列(4)所示,数字经济对四种资源型城市的碳排放强度影响均显著为负。从系数来看,资源型城市数字经济降碳影响排序为:衰退型>成长型>再生型>成熟型。如表5列(5)至列(7)所示,数字经济对不同程度资源禀赋的资源型城市碳排放强度影响均显著为负,从系数上看,降碳影响排序为:高资源禀赋型城市>中资源禀赋型城市>低资源禀赋型城市。

表5 资源型城市发展阶段与资源禀赋的异质性

发展阶段					资源禀赋		
变量	(1)成长型	(2)成熟型	(3)衰退型	(4)再生型	(5)高禀赋	(6)中禀赋	(7)低禀赋
<i>dig</i>	-0.453 (0.056)*** [0.097]***	-0.437 (0.064)*** [0.076]***	-0.517 (0.069)*** [0.122]***	-0.439 (0.045)*** [0.074]***	-0.527 (0.136)*** [0.158]***	-0.275 (0.053)*** [0.060]***	-0.254 (0.065)*** [0.072]***
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
观测值	143	660	253	165	332	328	325
R ²	0.960	0.968	0.976	0.971	0.964	0.980	0.979

注: *、**、***分别表示10%、5%、1%的显著性水平, ()内代表异方差稳健标准误, []内代表城市层面聚类标准误。

(四)机制检验结果

如表6列(1)至列(6)所示,异方差稳健标准误下,无论是否考虑控制变量,数字经济(*dig*)分别对环境规制(*er*)、控制型环境规制(*er₁*)、治理型环境规制(*er₂*)的影响均在1%的显著性水平下为正。以Sobel检验作为补充,发现均通过了显著性检验。结合各机制回归系数与聚类标准误下的显著性来看,控制型环境规制(*er₁*)的系数与显著性明显高于治理型环境规制(*er₂*),充分表明数字经济能有效提升环境规制数智化水平作用资源型城市碳治理,降低碳排放强度,且数字经济对控制型环境规制的驱动力更强,验证假说2。治理型环境规制作用稍弱可能是:一方面,控制型环境规制从碳污染前端发力,降碳控制力强于治理型环境规制。另一方面,数字技术与数据应用不足、人才短缺、市场化程度低等限制其充分发挥作用。

表6 环境规制机制的估计结果

变量	(1) <i>er</i>	(2) <i>er</i>	(3) <i>er₁</i>	(4) <i>er₁</i>	(5) <i>er₂</i>	(6) <i>er₂</i>
<i>dig</i>	1.906 (0.461)*** [0.838]**	3.199 (0.900)*** [1.413]**	6.522 (0.343)*** [0.571]***	5.553 (0.581)*** [0.805]***	1.395 (0.494)*** [0.905]	2.938 (0.956)*** [1.514]*
控制变量	否	是	否	是	否	是
Sobel_z		-4.135***		-14.93***		-3.49***
观测值	1221	1221	1221	1221	1221	1221
R ²	0.707	0.713	0.684	0.701	0.705	0.711

注: *、**、***分别代表10%、5%、1%的显著性水平, ()内代表异方差稳健标准误, []内代表城市层面的聚类标准误。作为补充还报告了Sobel检验结果。

(五)面板门槛回归结果

1.门槛显著性检验。如表7所示,一是以数字经济(*dig*)为门槛变量时,数字经济(*dig*)对资源型城市碳强度(*cei*)的影响呈现显著的双重门槛效应,门槛值为0.1152和0.2690。二是以数字经济

(dig)为门槛变量时,环境规制(er)、控制型环境规制(er_1)以及治理型环境规制(er_2)对资源型城市碳强度(cei)的影响均呈现显著的双重门槛效应,门槛值分别为0.1094、0.1581、0.1152、0.1507、0.1094、0.1581,通过了门槛显著性检验。

表7 数字经济门槛的显著性检验结果及门槛值

解释变量	门槛变量	门槛类型	F 值	10%	5%	1%	门槛值
dig	dig	单一门槛	140.68***	48.349	51.383	57.887	0.1152
		双重门槛	65.03***	25.175	29.975	42.523	0.2690
er		单一门槛	373.09***	71.519	79.058	107.429	0.1094
		双重门槛	175.22***	22.044	26.422	39.084	0.1581
er_1		单一门槛	209.72***	28.026	34.886	42.781	0.1152
		双重门槛	88.97***	20.277	23.366	30.197	0.1507
er_2		单一门槛	376.41***	70.577	79.716	101.960	0.1094
		双重门槛	177.83***	22.317	28.070	40.459	0.1581

注: *、**、***分别表示10%、5%、1%的显著性水平,Bootstrap次数为300。

2. 门槛回归估计结果。如表8列(1)所示,在数字经济发展(dig)的三个门槛区间,数字经济(dig)对城市碳强度(cei)的影响均在1%的显著性水平下为负,从系数看负效应呈先上升后下降的趋势。表明资源型城市数字经济发展降碳影响中存在“先增强后弱化”的数字经济门槛效应,存在最优区间,即 $0.1152 \leq dig < 0.2690$,与假说3-1存在微小区别。

如表8列(2)至列(4)所示,数字经济发展(dig)的三个门槛区间,环境规制(er)和治理型环境规制(er_2)对碳强度(cei)的影响呈正向不显著向负向显著的趋势发展,而控制型环境规制(er_1)对资源型城市碳强度(cei)的影响均在1%的水平上显著为负,系数不断增大。表明数字经济可赋能资源型城市现代化环境治理水平提升,环境规制和治理型环境规制均能克服“遵循成本假说”负面影响,发挥“创新补偿效应”作用城市碳减排,而控制型环境规制影响碳减排的数字经济门槛效应呈边际递增规律,验证了理论假说3-2。国家对环境污染排放监管本身较为严格,资源型城市数字经济的发展对控制型环境规制仅是“锦上添花”。

表8 门槛回归的估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
$dig (dig < 0.1152)$	-0.024*** [0.006]			
$dig (0.1152 \leq dig < 0.2690)$	-0.045*** [0.005]			
$dig (dig \geq 0.2690)$	-0.035*** [0.005]			
$er (dig < 0.1094)$		0.002 [0.003]		
$er (0.1094 \leq dig < 0.1581)$		-0.003 [0.003]		
$er (dig \geq 0.1581)$		-0.007** [0.003]		

续表 8

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
$er_1(dig<0.1152)$			-0.034*** [0.007]	
$er_1(0.1152\leq dig<0.1507)$			-0.036*** [0.007]	
$er_1(dig\geq 0.1507)$			-0.038*** [0.006]	
$er_2(dig<0.1094)$				0.003 [0.002]
$er_2(0.1094\leq dig<0.1581)$				-0.002 [0.002]
$er_2(dig\geq 0.1581)$				-0.006** [0.002]
控制变量	是	是	是	是
F 检验	250.72***	220.58***	303.75***	218.00***
观测值	1221	1221	1221	1221
R ²	0.694	0.656	0.773	0.651

注：*、**、***分别表示 10%、5%、1% 的显著性水平，[] 内代表城市层面的聚类标准误，仅 F 检验是未考虑稳健性后的结果。

3. 数字经济门槛跨越区域分布。一是如表 9 列(1)和列(2)所示,2011 年 102 个资源型城市未通过数字经济的第一门槛,表明该阶段数字经济发展规模较小,9 个资源型城市恰好处在数字经济发展门槛最优区间;至 2021 年,发现多数资源型城市数字经济发展水平明显提高,75 个资源型城市处在数字经济降低城市碳强度的最优数字经济门槛区间。二是如表 9 列(3)和列(4)所示,2011 年 99 个资源型城市未跨越数字经济的第一门槛,3 个资源型城市跨越了环境规制和治理型环境规制的第一个数字经济门槛,8 个城市跨越了控制型环境规制碳减排的第一个数字经济门槛,仅有白山市跨越了所有类型环境规制碳减排的数字门槛,表明 2011 年白山市数字经济发展基础较好,较快地融合环境规制发挥城市碳减排作用;至 2021 年 111 个资源型城市均通过所有环境规制类型的数字经济门槛。

表 9 数字经济门槛跨越区域分布

区间	(1)2011 年	(2)2021 年	区间	(3)2011 年	(4)2021 年
$dig<0.1152$	唐山等(102)		$dig<0.1094$	唐山等(99)	
$0.1152\leq dig<0.2690$	包头、乌海、鄂尔多斯、白山、伊春、湖州、东营、广元、克拉玛依(9)	邯郸等(75)	$0.1094\leq dig<0.1152$	赤峰、大庆、南平(3)	
			$0.1152\leq dig<0.1507$	包头、乌海、鄂尔多斯、伊春、湖州、东营、广元、克拉玛依(8)	
$dig\geq 0.2690$		唐山等(36)	$0.1507\leq dig<0.1581$		
			$dig\geq 0.1581$	白山(1)	唐山等(111)

(六)稳健性检验

(1)基准回归稳健性检验。将被解释变量更换为中国碳核算数据库(CEAD_s)公布的城市二氧化

碳排放数据,采用碳排放量与实际GDP的比值表征碳排放强度。(2)传导机制稳健性检验。传导机制采用工具变量法进行2sls回归,选择地形起伏度与年份虚拟变量的交乘项(Z_1)作为工具变量。(3)边际效应稳健性检验。采用不加控制变量和逐步添加控制变量的方法检验。经基础回归、传导机制、边际效应结果的稳健性检验后,研究结论依然稳健可靠^①。

六、结论与对策建议

为落实“双碳”目标和推动资源型地区高质量发展,数字化引领资源型城市低碳转型刻不容缓。基于2011—2021年资源型城市面板数据,验证数字经济对资源型城市碳排放强度的影响关系与机制。研究发现:(1)数字经济能改善资源型城市要素错配等问题,降低碳排放强度,且影响呈动态减弱趋势。异质性结果表明,数字基建降碳更佳,环境规制水平和资源禀赋居高位及碳排放强度75%分位点的资源型城市数字经济降碳效果更明显,不同发展阶段降碳影响排序为衰退型>成长型>再生型>成熟型。(2)数字经济通过提升环境规制水平降低碳强度,其中控制型环境规制渠道作用更强劲。(3)数字经济在降碳过程中存在“先增强后弱化”的非线性双重门槛效应,最优区间为 $0.1152 \leq dig < 0.2690$ 。(4)数字经济发展可赋能环境规制和治理型环境规制克服“遵循成本假说”,发挥“创新补偿效应”作用于城市碳减排,而在控制型环境规制降低碳强度中呈边际效应递增的数字经济门槛特征。

有鉴于此,提出如下对策建议:

第一,扩大资源型城市数字经济规模,赋能低碳转型。一是构建数据资源体系,制定数据基础制度框架;发展大数据产业,尤其是资源枯竭型城市,探索数据流通模式,促进数据要素价值释放;建设应用基础设施,搭建工业互联网平台,打造5G全链接工厂,培育产业生态。二是重点促进数字经济与传统能源产业各链条和环节深度融合,实现要素精准管理;支持数字创新,争取国家数字化降碳项目倾斜,培育新兴产业,推动产业转型。三是健全碳价格机制,推进金融数字化转型,开发数字化碳资产管理等平台,集中金融资源重点支持20个产业转型升级示范区,推进数字金融与绿色金融融合。

第二,提升数字素养,推动碳治理现代化。一是强化规制主体数字素养,培养数字化治理思维,重视数字化应用。二是重视数字化赋能控制型环境规制,运用数字技术监测资源开发与高耗能产业,提升监管效能。三是持续推动治理型环境规制助力城市碳治理,提升碳排放溯源解析等监测数据深度应用,依据碳源精准高效治理;借数字化技术提高治理决策精度效率。推广碳资产评估交易等数字化平台,助力外部成本内部化;加强公众数字化治理平台建设,约束碳治理不良行为。

第三,分类引导发展,因地制宜促进数字经济降碳。一是当前资源型城市应加强数字基础设施建设,依基建水平调整数字产业与数字金融投入。二是全面且细致地制定资源分配规划,将资源重点向高碳排放特征凸显的资源型城市和高碳排放行业集聚。三是按资源型城市可持续发展阶段施策,重点关注衰退型城市数字基建,推动发展要素转型,重视生态环境修复。根据成长型、再生型、成熟型城市数字经济降碳的影响程度,按比例数字化投入。四是将数字经济资源重点布局在环境规制水平和资源禀赋程度较高的城市,充分释放数字经济的降碳效能。

^① 由于篇幅所限,相关检验结果未能展示,如有需要请向作者索取。

Digital Economy, Heterogeneous Environmental Regulation, and Carbon Emissions in Resource-Based Cities

Gou Hongxia¹ Gao Zhigang^{1,2} Han Yanling¹

(1. Xinjiang University of Finance and Economics, Urumqi 830012, P.R.China;

2. Xinjiang Institute of Science and Technology, Korla 841000, P.R.China)

Abstract: As cities have emerged as the principal arena for China's carbon peaking and carbon neutrality goals, resource-based cities become focused as major areas. The reason is that resource-based cities are confronted with the pressure from both economic transformation and energy conservation and emission reduction. Against this backdrop, exploring the role of the digital economy in carbon emission reduction holds significant importance. Based on panel data from 111 resource-based prefecture-level cities in China spanning from 2011 to 2021, this paper examines the relationship and mechanisms through which the digital economy influences the carbon emission intensity of resource-based cities. The study finds that: (1) The digital economy has significantly reduced the carbon emission intensity of resource-based cities. Additionally, it is found that the digital economy continues to significantly lower carbon emission intensity over an extended period, demonstrating a dynamic attenuation effect. (2) Heterogeneity in carbon reduction effects; within resource-based cities, the sub-dimensions of the digital economy are ranked in order of influence as digital infrastructure > digital finance > digital industry; the level of environmental regulation has a higher rank in cities with stringent regulations compared to those with less stringent regulations; the carbon reduction effectiveness of the digital economy in resource-based cities with carbon intensity in the 75% quartile is particularly evident; the stages of sustainable development exhibit a ranking of declining > growing > rejuvenating > mature in terms of carbon reduction; and resource endowment shows a ranking of high resource endowment > medium resource endowment > low resource endowment. (3) The development of the digital economy reduces the carbon emission intensity of resource-based cities by enhancing the level of environmental regulation, the control-oriented environmental regulation exerts a stronger effect. (4) Digital economic development plays the double threshold effect of "enhancement followed by weakening" in the process of reducing carbon intensity in resource cities, and there is an optimal interval. (5) The development of the digital economy empowers environmental regulation and governance-oriented environmental regulation to overcome the "compliance cost hypothesis" and exerts an "innovation compensation effect" on urban carbon reduction. In contrast, it exhibits characteristics of increasing marginal effects with a digital economy threshold in reducing carbon intensity through control-oriented environmental regulation. Therefore, it is essential to expand the scale of digital economy development in resource-based cities, enhance the mindset of digital environmental governance, and provide categorized guidance for the scientific development of these cities. By leveraging the digital economy to empower the low-carbon transformation of resource-based cities, we can facilitate their achievement of high-quality economic development and the "carbon peaking and carbon neutrality" goals.

Keywords: Digital economy; Carbon emissions; Control-based environmental regulation; Governance-based environmental regulation; Resource-based cities

[责任编辑:王玲强]