

大数据战略对电力消费碳排放的影响

——基于国家级大数据综合试验区的准自然实验

常皓亮 金 磊 薛 飞

内容提要:全面实施国家大数据战略是助推高质量发展的重要引擎。本文以国家级大数据综合试验区作为切入点,聚焦研究大数据综合试验区建设的减排效果。基于中国2011—2019年161个地级市的面板数据,以国家级大数据综合试验区作为一项准自然实验,采用双差分法,考察大数据战略对城市电力消费碳排放的影响及其潜在机制。研究表明,国家级大数据综合试验区建设能够有效降低电力消费碳排放水平,该结论在进行一系列稳健性检验后仍然成立;机制检验表明,大数据综合试验区建设主要通过促进技术创新和数字普惠金融发展降低电力消费碳排放水平;异质性分析结果表明,试验区对于资源型城市电力消费碳排放具有更强的影响效应,并且除内蒙古、广东、沈阳外,其余试验区均对电力消费碳排放的降低产生了积极作用。本文的研究结果对于进一步推动大数据战略,促进数字经济高质量发展具有政策参考价值。

关键词:大数据 电力消费碳排放 技术创新 数字普惠金融 国家级大数据综合试验区

中图分类号:F124.5;F205

文献标识码:A

文章编号:1000-7636(2023)05-0093-17

一、问题提出

改革开放以来,中国经济快速发展,但是粗放型经济增长模式导致资源环境约束趋紧、能源利用效率低下,对于各类环境污染和生态破坏问题人民群众反映强烈。随着中国进入高质量发展阶段,加强生态文明建设,坚持绿色发展是实现高质量发展的必然选择。2020年中国明确提出碳达峰碳中和目标,体现出为应对空气污染、气候变化等全球性问题,主动承担人类可持续发展责任的大国担当。因此,有序推进碳达峰碳中和工作,有效降低碳排放,推动经济社会低碳转型成为当前亟需解决的重大课题。

与此同时,伴随新一轮科技革命和产业变革,在全球数字化快速发展的大背景下,中国逐渐进入数据驱动经济发展新阶段,数字经济与经济社会各领域全方位融合成为不可抵挡的时代大潮。作为数字经济时代

收稿日期:2022-09-28;修回日期:2023-04-11

基金项目:国家社会科学基金重大研究专项“加快构建中国特色哲学社会科学学科体系、学术体系、话语体系”之“新时代中国特色经济学基本理论问题研究”(18VXK002);中国社会科学院学部委员创新工程项目“经济学范式变革与中国经济的创新道路”(2022-2023)

作者简介:常皓亮 中国社会科学院大学应用经济学院博士研究生,北京,102488;

金 磊 中国社会科学院学部委员,北京,100044;郑州大学商学院院长,郑州,450001;

薛 飞 中国社会科学院大学应用经济学院博士研究生。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

的关键生产要素,大数据催生了新业态、新模式,实现了价值的成倍递增。随着大数据等数字技术在资源、生态环境等领域的创新发展与深度应用,其对于“双碳”目标的作用也逐渐受到关注。例如,大数据、云计算、人工智能等新兴数字技术可以助力工业领域智能升级,促进高耗能行业绿色化转型。特别是在能源行业的应用,能够提高能源的使用和分析效率^[1],为各类能源政策提供客观依据,引导能源绿色低碳转型。同时,大数据等技术与碳足迹、碳汇领域融合,可以帮助企业对各环节产生的碳实现精准监测和规划,有助于直接或间接减少碳排放量。

中国拥有丰富的数据资源和市场优势,为了落实国家大数据战略,打造以大数据为支撑的全新经济社会发展平台,2015年9月《国务院关于印发促进大数据发展行动纲要的通知》中明确提出“推进贵州等大数据综合试验区建设”。2016年2月,贵州获批建设首个国家级大数据综合试验区(以下简称试验区)。同年10月,第二批获批建设试验区名单发布,具体包括北京、天津、河北、内蒙古、沈阳、河南、上海、重庆、广东。建设大数据综合试验区的主要任务是要通过强化基础设施统筹,打造大数据产业集聚区域,推动大数据融合应用,更进一步地,以大数据引领区域科技创新,并加强数字经济与实体经济融合,从而推动经济社会高质量发展。

已有研究表明,数据、技术和场景在实体经济中不断融合会促进生产方式、生活方式以及监管方式转变,从而表现出节能减排方面的潜力^[2]。然而,在大数据综合试验区蓬勃发展的背后,其自身电力需求增加带来的碳排放问题不容忽视。大数据综合试验区建设的重点任务之一是数据中心建设,理论上这一数字基础的建设会增加能源消耗尤其是电能消耗,产生碳锁定效应,从而加剧电力消费碳排放。因此,如何处理好发展和减排的关系成为大数据综合试验区能否实现高质量发展的关键。在国家致力于实现“双碳”目标的当下,电力部门的努力将是一个重要的组成部分,而发电产生的二氧化碳排放最终由电力消费所驱动,因此,了解电力消费侧碳排放能够为缓解气候变化提供有益的参考。那么,大数据综合试验区是否降低了城市的电力消费碳排放水平呢?如果能降低,那么具体的影响机制如何?进一步地,这种影响是否存在异质性?基于上述问题,本文将大数据综合试验区设立视作一项准自然实验,分析试验区设立与电力消费碳排放水平之间的关系,为试验区建设提供借鉴,并为相关政策制定和执行提供借鉴。

二、文献综述

近年来,学术界针对碳排放的影响因素进行了有益的探讨,发现经济增长^[3]、环境政策和环境规制^[4-5]、技术创新^[6]、结构调整^[7]、贸易开放度^[8]等均是影响碳排放的重要因素。作为一种新经济形态,数字经济从根本上改变了经济环境和经济活动,并引起了国内外学者的广泛关注。关于数字经济的研究,主要集中于经济和社会福利效应方面,并且多数研究肯定了数字经济与实体经济不断融合给经济社会带来的正向激励作用^[9-10]。随着对环境关注度的不断提升,一些学者也开始探究数字经济的环境福利效应^[11]。与本研究最为密切的是关于数字化对碳排放影响的研究,学者们从不同角度探究了数字化对碳排放问题的影响,但并未得出一致的结论。张三峰和魏下海(2019)利用世界银行2001年和2012年中国制造业企业调查数据发现,企业生产运营中数字化水平增加,能够支持其设备和技术更新换代并促进柔性化生产运营,从而有效促进企业节能减排^[12]。陈晓红等(2021)从理论上分析了数字技术对能源行业碳中和目标的作用,认为数字化、智能化有助于实现能源高效利用以及碳排放的精准计量和预测^[13]。李少林和冯亚飞(2021)利用2003—2017年中国93个环保重点城市面板数据,研究发现企业运用数字技术可以提高能源效率,促进制造业绿色转型^[14]。此外,一些研究发现,数字化与碳排放之间存在非线性关系^[15]。

另一类与本文相关的文献是大数据综合试验区建设的政策效果评估。随着大数据已经成为推动经济社会变革的关键力量,发达国家将大数据战略视为强化国际竞争力的重要手段。为贯彻大数据战略,促进数字中国建设,中国也在大力推进大数据综合试验区发展。学者们对大数据综合试验区的政策效应进行的研究较多关注经济福利效应。例如,邱子迅和周亚虹(2021)利用2013—2017年中国207个城市面板数据发现,大数据综合试验区试点政策通过促进纯技术进步显著提高了地区全要素生产率^[16]。徐林等(2022)利用2008—2019年中国283个城市面板数据评估了大数据综合试验区对城市创新能力的影响,发现试验区建设通过优化要素配置、促进产业结构高级化、推动创新创业显著提升了城市创新能力,并且通过加速知识和技术扩散对周边地区产生了积极的创新溢出效应^[17]。类似地,基于2013—2019年中国沪深两市A股上市公司,陈文和常琦(2022)发现试验区建设能够有效提高企业的绿色专利申请量^[18]。孙哲远(2022)基于2008—2020年沪深两市A股上市制造业企业,研究发现大数据综合试验区建设有助于矫正企业经营方向,促进企业“脱虚向实”^[19]。与上述关注经济指标的文献不同,郭炳南等(2022)基于2005—2019年中国283个城市面板数据,评估了大数据综合试验区设立对城市空气质量的影响,研究发现试验区建设通过推动产业结构升级、促进技术创新、优化资源配置有效降低了人均工业二氧化硫以及烟(粉)尘水平^[20]。

综上,现有关于数字经济的研究大多集中于经济效应方面,涉及环境福利的较少,并且多数研究通过构建指标体系衡量区域数字化水平,可能存在内生性问题。此外,关于大数据综合试验区政策效果评估的现有文献尚未直接关注试验区建设与电力消费碳排放之间的关系。鉴于此,本文选取2011—2019年中国161个地级市的面板数据,采用双重差分法考察国家级大数据综合试验区建设对电力消费碳排放的影响和作用机制。

本文可能的边际贡献主要体现在以下几个方面。第一,利用国家级大数据综合试验区建设评估大数据战略对城市电力消费碳排放水平的影响,并用多种方法对结果进行了稳健性检验,扩展了相关研究;第二,从理论和实证两个层面分析了大数据战略对电力消费碳排放的传导路径,发现大数据战略能够通过促进技术创新和数字普惠金融发展,降低电力消费碳排放水平,而产业结构升级这一机制在现阶段还未产生显著作用,这进一步扩展了数字经济对碳排放影响的研究深度;第三,基于资源禀赋、创新要素、试验区等视角,研究了大数据战略对电力消费碳排放的异质影响,有助于更深刻地把握大数据战略对电力消费碳排放水平影响的作用机理。

三、政策理论分析与研究假设

(一) 大数据综合试验区建设对电力消费碳排放的直接影响

梳理大数据综合试验区政策相关文件可知,试验区重点任务包括:大数据制度创新、数据资源共享开放、大数据创新应用、大数据产业集聚发展、大数据基础设施统筹发展、数据中心整合利用以及大数据交流合作^[21]。根据上述任务可知,大数据综合试验区建设将会对电力消费碳排放产生两个方面的影响:第一,试验区建设增加了电能消耗从而加剧电力消费碳排放。试验区政策在产业布局方面指出要培育大数据产业集聚区,推动数据中心布局建设,而大数据产业以及数据中心建设的电能消耗较大,规模扩大后会加剧电力需求,造成电力消费碳排放的增加。根据国家能源局发布的数据,2020年中国数据中心耗电量已经超过2000亿千瓦时。第二,试验区建设将进一步统筹数字基础设施,在整合利用、开放共享、行业应用等方面开拓创新。对于企业而言,数据和技术的可获得性可以帮助其优化生产流程,减少不必要的电能消耗^[13]。第三,试验区大数据创新应用为电力大数据统计、分析、挖掘和预测提供了机遇,能够推动电力大数据发展,提高政府和企业智能决策能力^[12]。具体而言,一方面,通过构建电力大数据平台,政府部门能够对全社会电力消耗情况进行全方位监测;另一方

面,通过对电力大数据的深度挖掘,企业能够对其生产运营电能消费展开精确核算,同时对电力供需预测进行分析,从而降低企业电力消耗。基于上述分析,本文提出如下研究假设:

假设 1:大数据综合试验区建设能够影响电力消费碳排放水平。

(二) 大数据综合试验区建设对电力消费碳排放的影响机制

1. 产业结构升级效应

一方面,依托大数据综合试验区政策,各地区吸引了一批大数据及关联企业,能够推动信息产业发展从而带动产业结构升级。例如贵州通过“千企改造”“万企融合”等行动,布局发展大数据产业及关联产业,其大数据制度创新试验也通过信号传递释放利好消息从而吸引龙头企业进驻。通过产业集聚和产业融合推动物联网、云计算、人工智能等新兴技术发展,进一步推动信息产业增长,使得生产要素由低效率部门向高效率部门转移,从而带来产业结构优化升级。另一方面,大数据集聚发展还能对本地其他企业产生溢出效应,通过推动传统产业改造提升来促进产业结构升级^[22]。试验区持续推进大数据创新应用,能够辐射带动各行各业改造升级,突破产业的传统生产制造方式,有效提高生产效率,优化生产流程,特别是对于传统产业技术升级和效率提升可以发挥积极作用。通过数据赋能加快产业融合的步伐,使得产业自身由低级向高级转化,从而实现产业结构升级。与此同时,产业结构升级对电力消费需求放缓具有积极作用,其对减少电力消费碳排放的作用已经得到较多文献支持^[23-25]。一方面,随着产业优化调整,资源要素从低效率部门转移到高效率部门,会产生替代效应,挤压传统的化工等高耗能行业,淘汰部分企业或者加快其转型升级,有助于电力需求降低,从而降低电力消费碳排放水平。另一方面,在大数据赋能下,产业自身逐渐向高技术产业、高附加值产业转变,从而降低对电力资源的消耗,将有利于降低电力消费碳排放^[26]。基于上述分析,本文提出如下研究假设:

假设 2:大数据综合试验区建设能够通过推动产业结构升级降低电力消费碳排放水平。

2. 技术创新效应

新增长理论认为技术创新的核心要素是知识的积累以及人力资本的积累。首先,大数据技术具有易复制、非损耗、低边际成本等特征^[19],通过对庞大的数据信息进行加工处理从而实现数据的增值。试验区建设在推动大数据技术发展的同时,也会引起大数据技术溢出成本持续下降,推动数据资源融通和应用^[16]。因此,随着大数据技术的发展,知识生产和传播的效率进一步得到提升,能够有效提升企业收集和整合信息的效率,降低知识和技术获取成本,增加知识存量。同时,大数据服务能够推动人力资源信息化建设,优化企业人才梯队,从而为技术创新奠定良好的基础。并且,借助于数字平台能够实现人力、物力、财力等创新资源高效配置,助推企业尝试多元化的技术路线,促进产品、工艺等方面的创新^[27]。其次,技术创新活动具有高投入、长周期、高风险等特征,这是制约企业技术创新的障碍^[28]。大数据技术可以通过信息共享和协作有效规避非必要试错过程,降低技术创新成本,从而形成更多的高质量研发产出,并通过对消费者需求信息挖掘分析有效降低研发成果转化时滞带来的技术创新收益不确定性^[29]。与此同时,技术创新有助于提高电能利用效率,进而有利于减少电力消费碳排放^[7]。基于上述分析,本文提出如下研究假设:

假设 3:大数据综合试验区建设能够通过促进技术创新降低电力消费碳排放水平。

3. 数字普惠金融效应

大数据综合试验区建设能够充分发挥新型基础设施建设的示范带动作用,推动信息通信、支付清算的完善,为数字普惠金融创新发展提供重要保障,进而加速数字普惠金融的推广服务。与此同时,数字普惠金

融对降低电力消费碳排放的作用已经得到文献支持^[30]。首先,数字普惠金融是大数据技术和金融行业结合的典型代表,其便捷的线上渠道具有安全、高效、低成本等优势,能够提高电能利用效率,从而减少非必要电能消耗所产生的排放^[31-32]。同时数字普惠金融能够带动金融服务业发展,有助于提升服务业占比,进而有助于降低电力消费碳排放^[33]。并且,一些数字普惠金融项目扶持的重点是符合国家发展战略的高技术类产业以及低能耗类产业^[34],有助于降低电能消耗,进而抑制电力消费碳排放。其次,借助大数据分析、区块链、云计算等相关数字技术,数字普惠金融能够提高金融服务的质量和效率,改善信贷资源错配和融资约束的问题^[35],通过扩大金融行业的服务范围、优化企业融资支持,有助于推动具有发展潜力的中小企业对技术创新加大研发投入,提高电能利用效率^[36],进而减少生产环节电能消耗,降低电力消费碳排放。基于上述分析,本文提出如下研究假设:

假设 4: 大数据综合试验区建设能够通过推动数字普惠金融发展降低电力消费碳排放水平。

四、研究设计

(一) 模型设定

本文重点考察的是国家级大数据综合试验区对电力消费碳排放水平的影响。为此,本文将“国家级大数据综合试验区”作为外生政策冲击,构建双重差分法模型比较政策执行前后试验区城市与非试验区城市电力消费碳排放水平间的差异。具体计量模型如下:

$$\ln ci_{it} = \alpha_0 + \beta NBDEZ_{it} + \delta X_{it} + \theta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i 和 t 分别表示城市和年份。 $\ln ci$ 表示城市电力消费碳排放水平,本文采用电力消费碳排放强度作为代理变量。 $NBDEZ_{it}$ 表示大数据综合试验区政策的虚拟变量(根据城市获批建设试验区的时间,某一地区在获批建设试验区之前赋值为0,获批建设的当年及之后赋值为1)。 X_{it} 为一系列控制变量,包括城市规模、政府因素等; θ_i 和 μ_t 分别表示城市固定效应和年份固定效应, ε_{it} 表示随机误差项。本文关心的估计系数是 β ,若 $\beta < 0$ 且显著,则意味着大数据综合试验区设立显著降低电力消费碳排放水平。

(二) 变量选择

1. 被解释变量电力消费碳排放水平($\ln ci$)

电能是大数据产业发展的能源基础与保障,同时电力消费也是二氧化碳排放增加的最主要原因^[37]。因此,本文仅考虑电力消费所产生的碳排放量,并以电力消费碳排放强度衡量电力消费碳排放水平。需要指出的是,电力消费碳排放量是由全社会用电量乘以区域电网碳排放因子得出。其中,电网碳排放因子来源于国家发展和改革委员会应对气候变化司发布的《2011 和 2012 年中国区域电网平均二氧化碳排放因子》^①。

2. 核心解释变量国家级大数据综合试验区虚拟变量($NBDEZ$)

本文根据国家发展和改革委员会、工业和信息化部、中央网信办批准的国家级大数据综合试验区建设名单,对各地级市进行统一赋值。具体而言,本文选取 2016 年、2017 年作为试验区的政策时间节点,原因是:2016 年 2 月,贵州获批建设首个试验区,同年 10 月,国家公布第二批试验区获建省份名单,两批试验区虽然都是在 2016 年批复,但时间相差较大,考虑到政策的滞后性,对第一批试验区从 2016 年起开始赋值为

^① 该报告自 2013 年起不再更新,因此,2011 年的电力消费碳排放量采用《2011 年中国区域电网平均二氧化碳排放因子》,2012 年及之后年份采用《2012 年中国区域电网平均二氧化碳排放因子》。

1,对第二批试验区从2017年起开始赋值为1。

3. 机制变量

产业结构(*ui*)采用产业结构层次系数来衡量,即通过给三次产业占地区生产总值比重分别赋值为1、2、3的方法,从份额比例的相对变化考察三次产业的演进方向。技术创新(*patent*)采用地区每百万人专利申请量来衡量技术创新水平,专利申请量数据来源于中国研究数据服务平台(CNRDS)。数字普惠金融(*dif*)采用北京大学数字普惠金融指数来衡量^[38],包含数字金融覆盖广度、数字金融使用深度和普惠金融数字化程度3个维度。

4. 控制变量

为了控制其他潜在因素对电力消费碳排放水平的影响,本文还纳入了一系列控制变量。政府参与(*gov*),采用公共财政支出与地区生产总值的比重衡量。城市规模(*lnpop*),借鉴姚昕等(2017)的做法,采用城市年末总人口衡量城市规模。财政科技水平(*rd*),采用财政科技支出占公共财政支出的比重衡量。发电结构(*es*),采用省级火力发电占发电量的比重衡量。

本文的所有变量中,国家级大数据综合试验区名单由课题组整理而得,除特别说明外,其他数据均来源于《中国城市统计年鉴》《中国区域统计年鉴》以及各省份统计年鉴。需要说明的是,由于《中国城市统计年鉴》在2017年及之后年份仅公布全市口径的全社会用电量数据,为了保持统计口径的统一,本文统一采用全市口径进行分析,最终采用中国161个地级市2011—2019年的非平衡面板数据作为研究样本。

表1为主要变量的定义及描述性统计结果。

表1 主要变量定义及描述性统计结果

变量名称	变量符号	变量定义与解释	观测数	平均值	标准差	最小值	最大值
电力消费碳排放	<i>ln_{ci}</i>	电力消费碳排放强度取对数	1 432	-5.359	0.409	-6.716	-3.312
国家级大数据综合试验区	<i>NBDEZ</i>	虚拟变量(0,1)	1 449	0.086	0.280	0	1
产业结构升级	<i>ui</i>	产业结构层次系数	1 448	2.335	0.138	1.982	3.04
技术创新	<i>patent</i>	地区每百万人专利申请量	1 448	0.246	0.438	0.003	4.713
数字普惠金融	<i>dif</i>	北京大学数字普惠金融指数	1 449	172.441	66.545	23.880	321.650
政府参与	<i>gov</i>	公共财政支出占地区生产总值的比重	1 448	16.695	6.147	6.237	50.852
城市规模	<i>lnpop</i>	城市年末总人口取对数	1 448	6.058	0.648	4.301	8.136
财政科技水平	<i>rd</i>	财政科技支出占公共财政支出的比重	1 448	2.207	1.788	0.745	13.089
发电结构	<i>es</i>	省级火力发电占发电量的比重	1 449	0.82	0.162	0.11	0.998

五、实证结果分析

(一) 基准回归

本文首先评估国家级大数据综合试验区对电力消费碳排放水平的直接影响,以检验假设1。回归结果如表2所示。其中,列(1)是未加入控制变量的回归结果,列(2)是进一步加入控制变量的回归结果。可以发现,无论是否加入控制变量,本文所关注的国家级大数据试验区的估计系数均在5%的显著性水平下为负,这表明国家级大数据综合试验区设立有利于降低电力消费碳排放水平。进一步地,列(2)的回归结果表

明,国家级大数据综合试验区的估计系数为-0.06,即与非试验区城市相比,国家级大数据综合试验区设立使得试验区城市的电力消费碳排放强度下降6%。表2的结果基本上验证了前文提出的研究假设1,即说明国家级大数据综合试验区设立的确能够降低电力消费碳排放水平。这一结论与既有文献的观点较为一致,均肯定了国家级大数据综合试验区设立的积极作用。

表2 基准回归结果

变量	ln <i>ci</i>	
	(1)	(2)
<i>NBDEZ</i>	-0.056** (0.025)	-0.060** (0.025)
<i>gov</i>		0.003* (0.002)
<i>lnpop</i>		0.125* (0.066)
<i>rd</i>		0.007 (0.006)
<i>es</i>		-0.256 (0.155)
常数项	-5.354*** (0.002)	-5.966*** (0.422)
城市固定效应	控制	控制
时间固定效应	控制	控制
观测值	1 432	1 432
<i>R</i> ²	0.931	0.932

注:列(1)是未加入控制变量的回归结果,列(2)是进一步加入控制变量的回归结果。*、**、***分别表示在10%、5%、1%的水平下显著;括号中的数值是城市层面聚类的稳健标准误,后表同。

(二) 平行趋势及动态效应检验

双重差分法有效性是建立在满足平行趋势假设基础上的,即在未受到政策干预的情况下,实验组与对照组电力消费碳排放水平具有相同的变化趋势。由于国家在设立大数据综合试验区时会综合考虑不同地区的各方面条件,因此可能试验区城市和非试验区城市本身的变化趋势就不一致,所以需要通过平行趋势检验来看各城市在政策实施前是否存在系统性差异。同时,大数据综合试验区建设可能受到政策强度、基础条件的影响,政策效果可能存在一定的滞后性。基于以上考虑,本文借鉴贝克等(Beck, et al., 2010)^[39]的做法,利用动态双重差分(DID)模型来进行平行趋势检验,并对政策的动态效应进行检验。具体模型设置如下:

$$ln*ci*_{it} = \alpha_0 + \sum_{k=-5, k \neq -1}^{k=3} \beta_k DID_{i,k} + \delta X_{it} + v_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, *DID*_{*i,k*} 是虚拟变量,表示城市 *i* 获批国家级大数据综合试验区的第 *k* 年。*k* 的设置方法如下:当 *k*<0 时,表示试验区设立前的第 |*k*| 年;当 *k*=0 时,表示试验区设立的当年;当 *k*>0 时,表示试验区设立

后的第 k 年。本文将试验区设立的前一年作为基期,即上式中不包括 $k=-1$ 的虚拟变量。 β_k 表示国家级大数据综合试验区设立前后对电力消费碳排放的影响,用以检验是否满足平行趋势假设,还能刻画国家级大数据综合试验区设立的动态效应。当 $k<0$ 时,若 β_k 并不显著,则印证符合平行趋势假设。

图 1 展示的是模型 (2) 中的估计系数,虚线表示 95% 的置信区间。可以看出,在试验区设立之前,交互项各期系数估计值不显著,未呈现出明显的趋势性变动,说明政策时点前实验组和对照组之间满足平行趋势的假设。而电力消费碳排放强度的降低是在大数据综合试验区设立后出现的,并且从系数估计值来看,这一负向影响逐渐增大。检验结果表明大数据综合试验区设立在短期内会对城市电力消费碳排放水平产生负向影响,且政策效果随着时间的推移而增强。

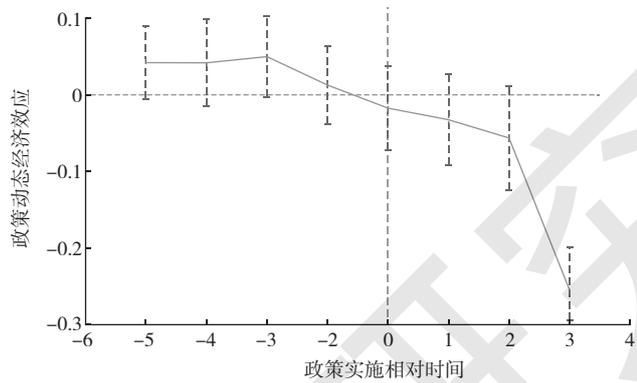


图 1 平行趋势检验

(三) 稳健性检验

1. 安慰剂检验

为了进一步验证结果的稳健性,本文借鉴李等人 (Li, et al., 2016)^[40]、卢盛峰等 (2021)^[41] 的研究,通过随机抽取实验组,并随机抽取样本期作为政策时间来进行安慰剂检验。具体而言:首先从样本中随机筛选出 41 个国家级大数据综合试验区涉及的城市作为“伪实验组”,然后再随机产生政策时间,构造了政策时间和城市两个层面随机实验,

最后生成“伪政策虚拟变量”,代替真实的交互项进行回归。该过程重复 500 次,相应得到 500 次估计结果,图 2 汇报了估计系数概率密度分布图。由图可知,随机处理下的估计系数分布于零附近,服从正态分布,并且与真实系数相差较大,表明政策对随机选取的实验组无显著作用,从而推断试验区的设立对实验组电力消费碳排放的作用是真实存在的,模型并不存在严重的遗漏变量问题,进一步表明估计结果是稳健可靠的。

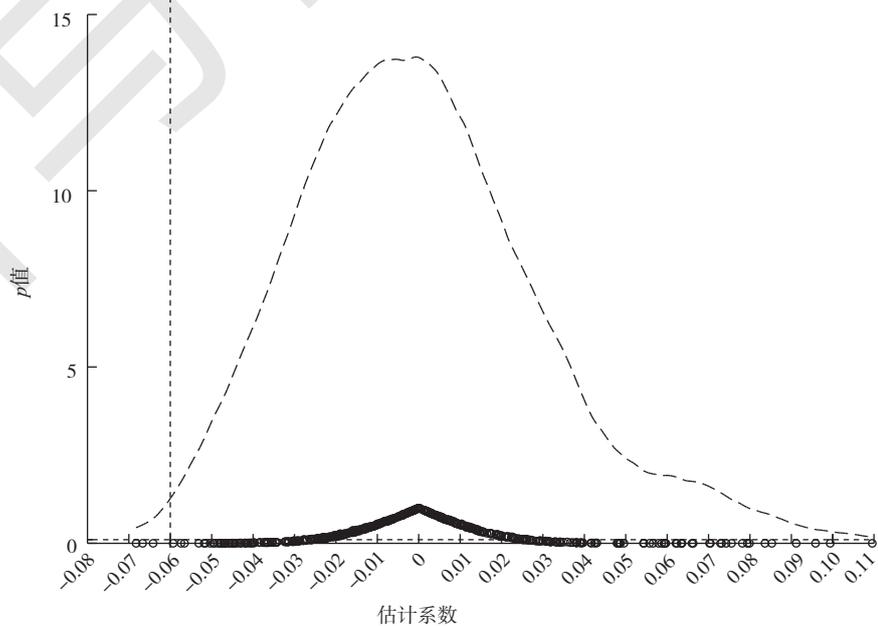


图 2 安慰剂检验

2. 反事实检验

为了进一步验证结果的稳健性,本文通过虚拟国家级大数据综合试验区设立时间进行反事实检验。假想各地建设大数据综合试验区的时间统一提前,观察变量 *NBDEZ* 的系数估计结果,如果显著为负,则说明电力消费碳排放水平的降低很可能是其他因素导致,而不是因为试验区设立;如果不显著,则说明基准回归结果可信。因此,将试验区设立时间分别提前2年、3年、4年,以此进行反事实检验,回归结果如表3所示。可以看出,大数据综合试验区设立时间提前,核心解释变量 *NBDEZ* 的系数并不显著,从而印证了本文结论不受其他因素影响。

表3 反事实检验

变量	Inci					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>NBDEZ</i>	-0.041 (0.031)	-0.041 (0.031)	-0.033 (0.036)	-0.032 (0.036)	-0.021 (0.051)	-0.018 (0.051)
常数项	-5.352*** (0.005)	-5.938*** (0.419)	-5.352*** (0.007)	-5.883*** (0.423)	-5.354*** (0.012)	-5.848*** (0.436)
控制变量	未控制	控制	未控制	控制	未控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	1 432	1 432	1 432	1 432	1 432	1 432
R^2	0.930	0.931	0.930	0.931	0.930	0.931

注:列(1)和列(2)、列(3)和列(4)、列(5)和列(6)分别是将试验区设立时间提前2年、3年、4年的回归结果。

3. 排除其他政策的影响

在样本期内实施的其他政策可能会混淆基准回归结果。因此,本文进一步控制清洁能源示范省政策以及“宽带中国”等政策的影响。首先,国家能源局从2014年开始先后确立了浙江、四川、西藏、甘肃、宁夏和青海为清洁能源示范省,发展清洁能源对于满足清洁用电需求具有重要意义。因此,本文设置相应的政策虚拟变量 *CE*,对于样本期内清洁能源示范省涉及的城市,将政策实施当年以及之后的年份赋值为1,其余年份设置为0,非清洁能源示范省的城市,赋值为0。其次,已有研究表明数字基础设施的完善对于提高电能利用效率具有积极作用^[42]。为了加快数字基础设施建设,工业和信息化部与国家发展与改革委员会在2014—2016年分三批推进“宽带中国”试点政策。因此,设置相应的政策虚拟变量 *BC*,其中,试点城市的当年及之后各年取值为1,其余为0。在模型中包含这些政策虚拟变量,从而控制相关政策对结果的影响。表4中的列(1)显示了回归结果,与基准回归相比,*NBDEZ*的系数大小和显著性并未发生明显变化,表明其他政策不会导致估计结果存在偏差。此外,考虑到不同城市之间面临不同的环境约束,为充分考虑现实经济中存在的多维冲击,本文采用白(Bai, 2009)^[43]提出的交互固定效应模型进一步控制城市×年份的固定效应。结果如表4列(2)所示,*NBDEZ*系数估计结果仍然显著为负,这无疑支持本文的研究结果。

4. 倾向评分匹配-双重差分(PSM-DID)方法的结果分析

为了更好地实现大数据综合试验区的建设成效,国家可能选择一批基础条件较好的城市进行试点,因此,实验组的样本可能会存在选择性偏差。本文采用PSM-DID方法解决选择性偏差问题,并用控制变量表征协变量。基本思路是在对照组中找到某个城市*j*,使得城市*j*与实验组中的城市*i*的可测变量取值尽可能相似,进而城市*j*和城市*i*设立大数据综合试验区的概率相近,能够相互比较,然后再基于匹配成功的样本,进行双重差分检验。具体而言:首先选择城市规模、政府参与、财政科技水平和发电结构这四个可观测变量作为协变量;然后,运用

评定(Logit)模型,采取一对一最近邻匹配方法对实验组和对照组样本匹配,得到倾向得分值以及配对的实验组和对照组;最后,检验匹配后的实验组和对照组是否存在显著差异。根据平衡性检验结果,对比匹配前,大多数匹配变量的标准化偏差大幅缩小,并且所有匹配变量的标准化偏差绝对值均小于5%。而且匹配后的t统计量不显著,检验结果不拒绝实验组和对照组无显著差异的原假设。此外,共同支撑检验结果也表明,大多数观测值均落在了共同取值范围内,确保了采用PSM-DID方法的可靠性。根据匹配后的样本,重新进行双重差分,得到回归结果见表4。从结果看出,在进行倾向得分匹配后,NBDEZ系数估计结果在5%的显著性水平下为负,可以证明前文的基准回归结果是稳健的,说明试验区设立能够有效降低城市电力消费碳排放水平。

5. 改变模型设定

将政策的起始时间设定为2016年,按照标准DID模型进行估计。具体做法是:若某一城市设立国家级大数据综合试验区的当年及之后各年取值为1,否则为0,回归结果见表4。可以看出,改变为标准DID模型后,大数据综合试验区的估计系数仍在5%的显著性水平下为负,表明前文结果的稳健性。

6. 更换被解释变量估计方法

为了避免变量估算方法的差异导致估计结果存在偏误,本文采用生态环境部最新公布的全国电网排放因子(0.581tCO₂/MWh)重新估算电力消费碳排放水平^①,然后代入基准回归模型中,以检验估计结果的稳健性,回归结果见表4。可以看出,在更换被解释变量估计方法后,试验区对城市电力消费碳排放水平的估计系数仍在5%的显著性水平下为负,表明前文结果的稳健性。

7. 剔除直辖市样本

样本数据共包含161个不同层级的城市,其中,北京、天津、上海、重庆四个直辖市与其他城市在大数据发展水平、技术创新水平上存在较大差距,而且试验区在试点地区的选择上可能存在“挑选赢家”的行为动机,导致政策效应评估存在一定偏误,因此有必要剔除直辖市样本后,重新估计试验区建设对电力消费碳排放水平的影响,回归结果见表4。可以看出,在剔除了直辖市样本后,回归结果仍在5%的显著性水平下为负,说明即使对于普通城市,试验区建设仍然能够显著降低电力消费碳排放水平,验证了结论的稳健性。

表4 稳健性检验

变量	排除其他政策影响		PSM-DID	标准 DID 模型	更换被解释变量	剔除直辖市
	(1)	(2)				
NBDEZ	-0.061** (0.025)	-0.030** (0.012)	-0.058** (0.028)	-0.058** (0.025)	-0.042** (0.019)	-0.058** (0.027)
CE	-0.006 (0.021)					
BC	-0.070*** (0.022)					
常数项	-6.081*** (0.391)	-5.475*** (0.402)	-5.098*** (0.924)	-5.964*** (0.422)	1.021*** (0.277)	-5.969*** (0.423)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制

① 2022年3月15日,生态环境部发布了《关于做好2022年企业温室气体排放报告管理相关重点工作的通知》,其中,规定电网排放因子调整为0.5810 tCO₂/MWh,在稳健性检验部分,本文采用这一电网碳排放因子计算电力消费碳排放量。

表4(续)

变量	排除其他政策影响		PSM-DID	标准 DID 模型	更换被解释变量	剔除直辖市
	(1)	(2)				
城市×时间固定效应	未控制	控制	未控制	未控制	未控制	未控制
观测值	1 432	1 432	544	1 432	1 432	1 396
R ²	0. 934		0. 949	0. 932	0. 784	0. 931

注:列(1)为加入 CE 和 BC 政策虚拟变量的回归结果,列(2)为交互固定效应模型回归结果。

(四)作用机制检验

基于理论分析部分,本文构建中介效应模型从产业结构升级、技术创新、数字普惠金融三个方面考察试验区对电力消费碳排放的影响路径。模型具体形式如下:

$$mech_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 NBDEZ_{it} + \alpha_2 X_{it} + \vartheta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$Inci_{it} = \beta_0 + \beta_1 NBDEZ_{it} + \beta_s mech_{it} + \beta_2 X_{it} + \vartheta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中, *mech* 为机制变量(中介变量),包括产业结构升级、技术创新和数字普惠金融,其他变量与基准回归模型含义一致。在模型(3)和模型(4)中,本文关注的估计系数是 α_1 和 β_s ,其中, α_1 度量的是试验区建设对机制变量的作用,若 $\alpha_1 > 0$ 且显著,表明试验区建设显著促进了地区产业结构升级、技术创新和数字普惠金融发展。系数 β_s 度量的是机制变量对电力消费碳排放的作用,若 $\beta_s < 0$ 且显著,则意味着产业结构升级、技术创新、数字普惠金融能够有效降低地区电力消费碳排放水平。

表 5 为试验区影响电力消费碳排放的机制检验结果。其中列(1)结果显示,试验区的估计系数为正,但不显著,表明试验区没有通过推动产业结构升级影响电力消费碳排放水平。从列(2)和列(3)结果来看, *NBDEZ* 的估计系数均在 5% 的显著性水平下为正,表明试验区的设立能够提高技术创新水平,推动数字普惠金融发展。列(4)和列(5)分别考察了技术创新以及数字普惠金融对电力消费碳排放的影响,其中,技术创新和数字普惠金融的系数估计值分别在 10% 和 5% 的显著性水平下为负,表明随着技术创新水平的不断提升以及数字普惠金融的不断发展,各地的电力消费碳排放水平表现出下降的趋势。综上,机制分析结果表明大数据综合试验区通过促进技术创新和数字普惠金融发展对电力消费碳排放产生了负向影响,从而验证了假设 3 和假设 4,而产业结构升级这一机制尚未有足够证据表明其发挥了作用。

表 5 机制分析结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>NBDEZ</i>	0. 004 (0. 009)	0. 143 ** (0. 060)	2. 055 ** (0. 930)	-0. 052 ** (0. 026)	-0. 054 ** (0. 025)
<i>patent</i>				-0. 050 * (0. 029)	
<i>dif</i>					-0. 003 ** (0. 001)
常数项	2. 626 *** (0. 285)	-3. 725 (3. 279)	200. 418 *** (53. 998)	-6. 149 *** (0. 446)	-5. 424 *** (0. 500)

表5(续)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	1 448	1 448	1 448	1 432	1 432
R^2	0.934	0.904	0.996	0.932	0.933

注:列(1)—列(3)分别为产业结构升级、技术创新、数字普惠金融的机制检验结果。列(4)和列(5)分别考察了技术创新、数字普惠金融对电力消费碳排放的影响。

(五) 异质性分析

1. 资源禀赋异质性

资源型城市因资源开发而兴起,主要依托煤炭、石油、冶金等上游产业,在发展过程中,由于各方面原因,资源约束趋紧,生态环境压力日益增加,并且单纯依靠资源的发展道路会加剧城市的衰落,转型发展迫在眉睫。试验区建设能否推动资源型城市绿色低碳转型?有必要考察试验区对于资源型城市和非资源型城市电力消费碳排放的异质影响。本文以资源型城市作为参照组,在基准模型中加入是否属于资源型城市的虚拟变量(Res)与政策虚拟变量($NBDEZ$)的交互项,检验试验区对电力消费碳排放影响的异质效应。具体模型如下:

$$lnci_{it} = \alpha_0 + \beta_1 NBDEZ_{it} + \beta_2 NBDEZ_{it} \times Res + \gamma_0 X_{it} + \vartheta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

上式中, β_1 表示试验区建设对资源型城市电力消费碳排放的影响; $\beta_1 + \beta_2$ 表示试验区对非资源型城市电力消费碳排放的影响。表6报告了资源禀赋异质性的回归结果。其中, $NBDEZ$ 的估计系数 β_1 在1%的水平上显著为负,说明试验区建设对于资源型城市电力消费碳排放具有显著的负向影响。这是因为随着中国对部分资源型城市数字基础设施建设的政策扶持力度不断加大,一些具有底层技术能力的城市成为实施大数据战略的良好平台。并且资源型城市以第二产业为主,大数据创新应用的边际效应较强,因此,试验区建设可以为资源型城市可持续发展提供新思路、新路径。另外,虽然 β_2 在10%的水平上显著为正,但绝对值比 β_1 小,可以推断试验区对于非资源型城市也具有积极作用。

2. 创新要素异质性

创新是推动大数据综合试验区发展的重要支撑力量,也是推动电力消费碳排放降低的关键因素。而人才是创新的核心要素,也是大数据战略的核心。不同创新要素集聚水平下,试验区建设对电力消费碳排放的影响可能存在差异化特征。城市的发展需要人才的助力,科教水平较高的城市,其人力资本和科研资源更加丰富,有助于构筑人才高地,助力试验区的建设发展。因此,有必要考察不同地区人力资本($Hcap$)差异导致的异质影响。 $Hcap$ 的设定方法为:根据政策发生前一年(2015年)各地区高等学校在校学生数的中位数,中位数(含)以上为1,其余为0。本文在基准模型中加入是否属于高人力资本水平地区的虚拟变量($Hcap$)与政策虚拟变量($NBDEZ$)的交互项,检验创新要素对试验区影响的异质效应。具体模型形式如下:

$$lnci_{it} = \alpha_0 + \beta_1 NBDEZ_{it} + \beta_2 NBDEZ_{it} \times Hcap + \gamma_0 X_{it} + \vartheta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

其中, β_1 表示试验区对人力资本水平相对较低地区电力消费碳排放的影响, $\beta_1 + \beta_2$ 表示试验区对人力资

本水平相对较高地区电力消费碳排放的影响,回归结果见表6。结果显示, β_1 和 β_2 的系数值为负,但均不显著,表明试验区建设对于人力资本不同水平的地区电力消费碳排放影响并无显著差异。

3. 试验区政策异质性

由于国家级大数据综合试验区是分批建设,不同地区的政策设计以及具体实施措施有所不同,不同的政策强度和政府支持力度也可能导致试验区建设对电力消费碳排放产生异质影响。因此有必要考察不同试验区对电力消费碳排放的异质影响。本文以第一批获批的贵州为参照组,在基准模型中依次加入其余9个省份的虚拟变量(Pro)与政策虚拟变量($NBDEZ$)的交互项,检验由于政策设计不同导致试验区对电力消费碳排放的异质影响。具体模型形式如下:

$$lnci_{it} = \alpha_0 + \beta_1 NBDEZ_{it} + \beta_j NBDEZ_{it} \times Pro_j + \gamma_0 X_{it} + \vartheta_i + \mu_t + \varepsilon_{it}, j = 1, \dots, 10 \quad (7)$$

其中, β_1 表示贵州试验区对电力消费碳排放的影响, $\beta_1 + \beta_2$ 表示北京试验区对电力消费碳排放的影响,以此类推,回归结果如表6所示。由试验区试点政策结果可知, β_1 显著为负, $\beta_j(j \neq 1)$ 显著为正,但 β_1 的绝对值要大于 $\beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_7, \beta_8$,说明贵州、北京、天津、河北、河南、上海、重庆这7个省份建设试验区对电力消费碳排放的降低产生了积极作用,而内蒙古、广东、沈阳这三个省市建设试验区增加了电力消费碳排放水平。

贵州作为首个国家级大数据综合试验区,先发优势较为明显,在数据资源管理、共享、整合、应用创新等方面取得了显著成效,并在大数据的引领下加快了创新型城市建设,试验区发展对于电力消费碳排放的降低具有积极作用。北京、天津、河北三地试验区建设依托于京津冀一体化发展,为数据中心整合利用、建设数据产业基地等方面提供了必不可少的环境条件,通过数据流支撑跨区域产业转移和社会治理,进一步提高了区域一体化效率,这有利于试验区建设发展。作为区域类综合试验区,河南通过建设“两区两基地”支撑试验区发展,上海通过产学研用一体化进一步加快了大数据创新融合与创新应用,重庆在云计算等重点领域实现创新突破,推动试验区发展的同时有利于发挥环境福利效应。而内蒙古和广东是中国的发电大省,并且是以火力发电为主,因此,试验区建设对于抑制电力消费碳排放的作用不显著。另外,沈阳试验区政策的实施重心在于大数据产业规模,过度重视大数据产业规模可能导致试验区在发展过程中单纯引进数据中心而忽略了运营和技术应用的合理性,从而导致政策存在扭曲,造成电力消费碳排放增长。

表6 异质性检验

变量	ln <i>c_i</i>		
	资源禀赋	创新要素	试验区试点政策
<i>NBDEZ</i>	-0.132 *** (0.045)	-0.030 (0.036)	-0.311 *** (0.017)
<i>NBDEZ</i> × <i>Res</i>	0.093 * (0.050)		
<i>NBDEZ</i> × <i>Hcap</i>		-0.045 (0.043)	
<i>NBDEZ</i> × <i>Beijing</i>			0.296 *** (0.010)
<i>NBDEZ</i> × <i>Tianjin</i>			0.181 *** (0.012)

表6(续)

变量	Inci		
	资源禀赋	创新要素	试验区试点政策
<i>NBDEZ × Hebei</i>			0.240*** (0.079)
<i>NBDEZ × Neimeng</i>			0.486*** (0.010)
<i>NBDEZ × Henan</i>			0.199*** (0.026)
<i>NBDEZ × Liaoning</i>			0.429*** (0.022)
<i>NBDEZ × Shanghai</i>			0.202*** (0.012)
<i>NBDEZ × Chongqing</i>			0.266*** (0.011)
<i>NBDEZ × Guangdong</i>			0.325*** (0.039)
常数项	-5.890*** (0.434)	-5.989*** (0.409)	-5.729*** (0.447)
控制变量	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制
观测值	1 432	1 432	1 432
R^2	0.932	0.932	0.934

六、结论与建议

大数据综合试验区是国家为了实施大数据战略和推动数字经济发展采取的重要举措。本文以国家级大数据综合试验区作为一项准自然实验,基于2011—2019年161个城市的面板数据,实证检验了大数据综合试验区建设对电力消费碳排放水平的影响,得出如下结论:(1)大数据综合试验区建设能够显著降低电力消费碳排放,该结论在经过平行趋势检验、安慰剂检验、PSM-DID方法等一系列稳健性检验后仍然成立。(2)作用机制检验表明,试验区的设立通过促进技术创新、提升数字普惠金融发展水平对电力消费碳排放产生了负向影响,现阶段,产业结构升级机制并未发挥作用。(3)异质性检验结果表明,相较于非资源型城市,试验区设立在降低资源型城市电力消费碳排放水平的边际效应更大;短期内,试验区对于高人力资本、低人力资本地区的电力消费碳排放的作用无显著差异;分试验区来看,贵州、北京、天津、河北、河南、上海、重庆这7个省份更能从试验区政策促进减排中获益,其建设试验区对电力消费碳排放的降低产生了积极作用,而内蒙古、广东、沈阳这三个地区建设试验区增加了电力消费碳排放水平。

基于上述结论,本文提出以下建议:

第一,全力实施大数据战略,以试验区建设实践为基础,推动大数据与各行各业深度融合。实证研究结果表明,试验区建设能够显著降低电力消费碳排放水平,这是大数据战略在生态环境方面的一个重要正外部效

应,丰富了当前热议的数字经济内容。因此,在碳达峰碳中和以及“数字中国”背景下,应把试验区建设作为推动数字经济发展的关键抓手,推动大数据等相关产业创新发展,充分利用中国的数据规模优势,丰富数据开发、应用场景,激发大数据潜力,不断催生新业态新模式,实现质量和应用水平同步提升。已设立为试验区的地区,要建立长效机制,巩固经济发展新动能,放大试验区的辐射带动作用。另外,要加强总结试验区建设以来的工作成效,为全国大数据产业蓬勃发展、数据要素市场健康运行提供可复制推广的成功经验。

第二,积极探索试验区降低电力消费碳排放的多重路径,以推动数据创新应用为核心,提升政策实施效果。在试验区建设过程中,要以数字化为引领,推动数字普惠金融发展,提高金融效率;要积极引导普惠金融和绿色金融融合,助力科技创新与绿色发展。同时要进一步推动新一代信息基础设施建设,推动大数据、云计算、人工智能等新兴技术应用,并通过构建数字化创新平台,充分发挥数据的创新引擎作用,促进技术创新水平提升。此外,当前产业结构升级这一机制的作用相对有限,这表明在建设发展试验区时,应为新兴企业提供更加完善的服务支持,同时要进一步精准施策推动大数据融合发展,通过数据、技术和场景在实体经济中不断融合,推动生产率的增长并带动其他产业发展,促进产业结构优化升级。

第三,中国客观上存在显著的地区发展差异,政府需要充分考虑城市自身禀赋的差异,因地制宜实施差异化发展战略,有效释放试验区建设带来的经济和环境福利效应。资源型城市基础条件相对较差,因此要以试验区建设为契机帮助其发挥后发优势,优化技术、资金、人才等支撑,促进资源型城市转型发展。另外,对于内蒙古、广东等发电大省,在大力发展试验区的同时也要谨慎对待大数据中心等新基建投资,避免项目盲目上马,同时要完善电能利用效率考核体系,提升监测管理的精准性,以绿色低碳创新为目标引领试验区高质量发展,补齐区域发展短板,使大数据战略发挥最大的经济社会效应。

参考文献:

- [1] ZHOU K L, YANG S L, SHAO Z. Energy internet: the business perspective[J]. *Applied Energy*, 2016, 178: 212-222.
- [2] LIN B Q, ZHOU Y C. Does the internet development affect energy and carbon emission performance? [J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2021, 28: 1-10.
- [3] ZHANG X P, TAN Y K, TAN Q L, et al. Decomposition of aggregate CO₂ emissions within a joint production framework[J]. *Energy Economics*, 2012, 34(4): 1088-1097.
- [4] LIN B Q, JIANG Z J. Estimates of energy subsidies in China and impact of energy subsidy reform[J]. *Energy Economics*, 2011, 33(2): 273-283.
- [5] 张华. 低碳城市试点政策能够降低碳排放吗? ——来自准自然实验的证据[J]. *经济管理*, 2020, 42(6): 25-41.
- [6] ZHOU P, ANG B W, HAN J Y. Total factor carbon emission performance: a Malmquist index analysis[J]. *Energy economics*, 2010, 32(1): 194-201.
- [7] 邵帅, 范美婷, 杨莉莉. 经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展——基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察[J]. *管理世界*, 2022, 38(2): 46-69, 10.
- [8] ZHANG S, LIU X Y, BAE J. Does trade openness affect CO₂ emissions: evidence from ten newly industrialized countries? [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 24(21): 17616-17625.
- [9] 余东华, 李云汉. 数字经济时代的产业组织创新——以数字技术驱动产业链群生态体系为例[J]. *改革*, 2021(7): 24-43.
- [10] 聂秀华, 江萍, 郑晓佳, 等. 数字金融与区域技术创新水平研究[J]. *金融研究*, 2021(3): 132-150.
- [11] CHEN L J. How CO₂ emissions respond to changes in government size and level of digitalization? Evidence from the BRICS countries [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(1): 457-467.

- [12] 张三峰,魏下海. 信息与通信技术是否降低了企业能源消耗——来自中国制造业企业调查数据的证据[J]. 中国工业经济,2019(2):155-173.
- [13] 陈晓红,胡东滨,曹文治,等. 数字技术助推我国能源行业碳中和目标实现的路径探析[J]. 中国科学院院刊,2021,36(9):1019-1029.
- [14] 李少林,冯亚飞. 区块链如何推动制造业绿色发展?——基于环保重点城市的准自然实验[J]. 中国环境科学,2021,41(3):1455-1466.
- [15] 缪陆军,陈静,范天正,等. 数字经济发展对碳排放的影响——基于278个地级市的面板数据分析[J]. 南方金融,2022(2):45-57.
- [16] 邱子迅,周亚虹. 数字经济发展与地区全要素生产率——基于国家级大数据综合试验区的分析[J]. 财经研究,2021,47(7):4-17.
- [17] 徐林,侯林岐,程广斌. 国家级大数据综合试验区创新效应研究[J]. 科技进步与对策,2022,39(20):101-111.
- [18] 陈文,常琦. 大数据赋能了企业绿色创新吗——基于国家级大数据综合试验区的准自然实验[J]. 财经科学,2022(8):76-92.
- [19] 孙哲远. 数字经济发展如何影响制造业企业“脱虚向实”?——来自国家级大数据综合试验区的证据[J]. 现代经济探讨,2022(7):90-100.
- [20] 郭炳南,王宇,张浩. 数字经济发展改善了城市空气质量吗——基于国家级大数据综合试验区的准自然实验[J]. 广东财经大学学报,2022,37(1):58-74.
- [21] 郭炳南,王宇,张浩. 大数据试验区设立能否驱动中国城市经济增长质量提升? [J]. 南京财经大学学报,2022(4):98-108.
- [22] WANG S, LIANG Y C, LI W D, et al. Big data enabled intelligent immune system for energy efficient manufacturing management[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 195: 507-520.
- [23] FISHER-VANDEN K, JEFFERSON G H, LIU H M, et al. What is driving China's decline in energy intensity? [J]. Resource and Energy Economics, 2004, 26(1): 77-97.
- [24] 朱永彬,刘昌新,王铮,等. 我国产业结构演变趋势及其减排潜力分析[J]. 中国软科学,2013(2):35-42.
- [25] 王文举,向其凤. 中国产业结构调整及其节能减排潜力评估[J]. 中国工业经济,2014(1):44-56.
- [26] 葛立宇,莫龙炯,黄念兵. 数字经济发展、产业结构升级与城市碳排放[J]. 现代财经(天津财经大学学报),2022,42(10):20-37.
- [27] 肖静华,吴瑶,刘意,等. 消费者数据化参与的研发创新——企业与消费者协同演化视角的双案例研究[J]. 管理世界,2018,34(8):154-173,192.
- [28] 温珺,阎志军,程愚. 数字经济驱动创新效应研究——基于省际面板数据的回归[J]. 经济体制改革,2020(3):31-38.
- [29] 彭硕毅,张营营. 区域数字经济发展与企业技术创新——来自A股上市公司的经验证据[J]. 财经论丛,2022(9):3-13.
- [30] LIU Z S, ZHANG X L, YANG L Q Q, et al. Access to digital financial services and green technology advances: regional evidence from China[J]. Sustainability, 2021, 13(9): 4927.
- [31] 黄益平,黄卓. 中国的数字金融发展:现在与未来[J]. 经济学(季刊),2018,17(4):1489-1502.
- [32] 段永琴,何伦志,克魁. 数字金融、技术密集型制造业与绿色发展[J]. 上海经济研究,2021(5):89-105.
- [33] 王巧,尹晓波. 数字普惠金融能否有效促进碳减排?——基于阶段性效应与区域异质性视角[J]. 首都经济贸易大学学报,2022,24(6):3-13.
- [34] 丁凡琳. 中国数字普惠金融对碳强度的影响[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版),2022,75(6):110-120.
- [35] BARTLETT R, MORSE A, STANTON R, et al. Consumer-lending discrimination in the FinTech era[J]. Journal of Financial Economics, 2022, 143(1): 30-56.
- [36] 张云辉,李少芳. 数字金融发展能提升能源效率吗[J]. 财经论丛,2022(3):47-55.
- [37] 韩峰,谢锐. 生产性服务业集聚降低碳排放了吗?——对我国地级及以上城市面板数据的空间计量分析[J]. 数量经济技术经济研究,2017,34(3):40-58.
- [38] 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[J]. 经济学(季刊),2020,19(4):1401-1418.
- [39] BECK T, LEVINE R, LEVKOV A. Big bad banks? The winners and losers from bank deregulation in the United States[J]. The Journal of Finance, 2010, 65(5): 1637-1667.
- [40] LI P, LU Y, WANG J. Does flattening government improve economic performance? Evidence from China[J]. Journal of Development Economics, 2016, 123: 18-37.
- [41] 卢盛峰,董如玉,叶初升. “一带一路”倡议促进了中国高质量出口吗——来自微观企业的证据[J]. 中国工业经济,2021(3):80-98.
- [42] 薛飞,刘家旗,付雅梅. 人工智能技术对碳排放的影响[J]. 科技进步与对策,2022,39(24):1-9.
- [43] BAI J S. Panel data models with interactive fixed effects[J]. Econometrica, 2009, 77(4): 1229-1279.

Impact of Big Data Strategy on Carbon Emissions from Electricity Consumption

—A Quasi-natural Experiment from National Big Data Comprehensive Pilot Area

CHANG Haoliang¹, JIN Bei^{2,3}, XUE Fei¹

(1. University of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 102488;

2. Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100044;

3. Zhengzhou University, Zhengzhou 450001)

Abstract: Entering a new stage of data-driven economic development, China is promoting the construction of national big data comprehensive pilot areas. With the development and application of big data in resources, ecological environment and other fields, its role in the goal of carbon peaking and carbon neutrality is also gradually attracting attention. Previous studies show that the continued integration of data, technology and scenarios in the real economy will promote the transformation of production, living and regulation, thereby demonstrating the potential for energy conservation and emission reduction. However, behind the vigorous development of the experimental zone, the carbon emission caused by the increase in its own electricity demand cannot be ignored. Therefore, this paper considers the construction of national big data comprehensive experimental areas as a quasi-natural experiment, and analyzes the relationship between the construction and the carbon emission of electricity consumption from both theoretical and empirical perspectives.

First, this paper examines the impact of the construction of national big data comprehensive pilot areas on carbon emissions from electricity consumption with the difference-in-differences method using the panel data of 161 prefecture-level cities in China from 2011 to 2019, and conducts various methods to test the robustness. Second, it analyzes the transmission path of big data strategy on carbon emissions from electricity consumption, further expanding the research on the impact of the digital economy on carbon emissions. Third, based on the perspectives of resource endowment, innovation factors, and pilot areas, this paper investigates the heterogeneity of big data strategies on carbon emissions from electricity consumption, to gain a deeper understanding of the impact mechanism.

The research results show that: (1) The construction of national big data comprehensive pilot areas can significantly reduce the carbon emissions from electricity consumption. This finding is still valid after a series of robustness tests, such as the parallel trend test, the placebo test, and the PSM-DID method. (2) The construction has a negative impact on carbon emissions from electricity consumption by promoting technological innovation and enhancing the development of digital inclusive finance. (3) Most pilot areas have a positive reduction effect. Specifically, compared with non-resource-based cities, the marginal utility of the construction in resource-based cities is greater in reducing carbon emissions from electricity consumption.

These findings have important implications for better leveraging the demonstration and leading role of pilot areas and for China's green and low-carbon development in the new era.

Keywords: big data; carbon emission from electricity consumption; technological innovation; digital inclusive finance; national big data comprehensive pilot area

责任编辑:姜 菜;魏小奋