

信息化水平促进中国全要素碳生产率增长的路径研究

吴传清^{1,2,3}, 邓明亮¹

(1. 武汉大学经济与管理学院, 湖北 武汉 430072;

2. 武汉大学中国发展战略与规划研究院, 湖北 武汉 430072;

3. 武汉大学区域经济研究中心, 湖北 武汉 430072)

摘要:基于2000—2020年中国省级面板数据,根据拓展的STIRPAT模型构建多重中介效应模型,采用超效率SBM-DDF模型和Luenberger分析方法测算中国全要素碳生产率,引入技术创新、产业融合、产业结构作为中介变量,考察信息化水平影响中国全要素碳生产率的效应和路径。研究结果显示:信息化水平具有显著节能降碳效应,能够直接推动中国全要素碳生产率增长;信息化水平能够通过技术创新效应、业态更新效应、结构优化效应间接促进中国全要素碳生产率增长。为加快实现信息化、推进“碳达峰碳中和”,提升全要素碳生产率,应以数字化发展为总抓手,发挥信息化驱动引领作用;以改革创新为根本动力,强化绿色低碳科技支撑;以“新四化同步”为着力点,加快培育低碳环保新业态;以绿色低碳循环为方向,促进产业结构转型升级。

关键词:信息化水平;全要素碳生产率;影响机制;多重中介;提升路径

中图分类号:F427

文献标识码:A

文章编号:1005-0566(2023)04-0177-12

Study on the path of informationization level promoting the growth of total factor carbon productivity in China

WU Chuanqing^{1,2,3}, DENG Mingliang¹

(1. School of Economic and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. China Institute of Development Strategy and Planning, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

3. Regional Economic Research Center, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Based on the provincial panel data of China from 2000 to 2020, a multiple mediating effect model was constructed according to the extended STIRPAT model. The super-efficiency SBM-DDF model and Luenberger analysis method were used to calculate China's total factor carbon productivity, and technological innovation, industrial integration and industrial structure were introduced as mediating variables. To investigate the effect and path of informatization level on total factor carbon productivity in China. The results show that informatization level has a significant effect on energy conservation and carbon reduction, which can directly promote the growth of total factor carbon productivity in China. The level of informatization can indirectly promote the growth of China's total factor carbon productivity through

收稿日期:2022-10-16 修回日期:2023-03-01

基金项目:国家社会科学基金项目“推动长江经济带制造业高质量发展研究”(19BJL061)。

作者简介:吴传清(1967—),男,湖北石首人,武汉大学经济与管理学院/武汉大学中国发展战略与规划研究院/区域经济研究中心教授、博士生导师,研究方向为区域经济。

the effect of technological innovation, business form renewal and structure optimization. In order to accelerate the realization of informatization, promote "carbon peaking and carbon neutralization", and enhance total factor carbon productivity, digital development should be taken as the overall starting point, and the leading role of informatization should be played. To strengthen the support of green and low-carbon technology with reform and innovation as the fundamental driving force; Focusing on the new type of industrialization, IT application, urbanization and agricultural modernization, we will accelerate the cultivation of new low-carbon and environmentally friendly business forms. To promote the transformation and upgrading of industrial structure in the direction of green and low-carbon cycle.

Key words: information level; total factor carbon productivity; influence mechanism; multiple intermediaries; ascension path

中国几十年间完成了发达国家百年走过的工业化历程,实现经济快速发展和社会长期稳定的同时,也伴随能源资源大量消耗和温室气体大量排放。2021 年中国能源消费总量达到 52.4 亿吨标准煤,是 2000 年的 3.57 倍、1978 年的 9.17 倍和 1957 年的 54.33 倍,煤炭消费量占比达到 56.00%,清洁能源消费占比仅为 25.50%,能源消费规模大、“高碳”结构特征明显^[1]。《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》(2021)、《2030 年前碳达峰行动方案》(2021)等国家顶层设计明确了碳达峰碳中和的目标要求和实施路径,党的二十大报告进一步明确“积极稳妥推进碳达峰碳中和”。立足新发展阶段,着力提升全要素碳生产率,是加快经济增长与碳排放“脱钩”^[2],促进经济社会全面绿色低碳转型,实现经济社会发展和节能降碳双重目标的必然选择^[3]。

伴随新一代信息技术蓬勃发展和广泛应用,以数字化、网络化、智能化和电子化为典型特征的信息化加速了全球经济社会发展模式革新和世界格局重塑。“十四五”规划和党的二十大报告进一步明确到 2035 年基本实现信息化的远景目标,《“十四五”国家信息化规划》等国家战略规划落地实施,中国信息化进程的战略重点和推进路径逐步明晰和细化。新时代背景下,信息化进程对经济社会的影响从“技术应用”向“数字驱动”转变,进入加快数字化发展、建设数字中国新阶段。加快推进信息化进程既是高质量推进现代化建设的重要内容^[4],也是突破资源环境约束、实现智慧绿色增长、助力碳达峰碳中和目标实现的必然选择。如何充分发挥信息化对经济社会全面绿色低碳转

型的驱动引领作用,推动数字化绿色化协同发展,全面提升全要素碳生产率,对于打造高质量发展新动能、加快建设现代化经济体系具有重要的理论意义和实践价值。信息化水平与全要素碳生产率的关系如何?表现出哪些影响效应?传导机制如何?本文试图对上述问题进行探索和分析。

国内外学者围绕信息化能否有效“降碳增效”进行了系列探索,相关研究成果主要聚焦信息化进程的降碳效应、经济促进效应和综合效应等 3 个方面。一是信息化水平的降碳效应研究。信息化水平在节能降碳中兼具正反两种效应:一方面,现代信息技术的应用能够提升能源利用效率,有效降低能源消耗和碳排放规模^[5];另一方面,信息化改造和现代信息技术应用须由能源消耗支撑,大规模能源消费需求形成新的碳减排阻力。二是信息化水平的经济促进效应研究^[6]。从直接效应来看,信息化进程中“数字产业化”和“产业数字化”快速推进,新兴产业加快发展形成经济发展新的增长点^[7]。在间接促进效应方面,信息化技术应用和设备更新有助于推进技术创新、促进产业结构优化和产业融合,优化资源配置,增强经济发展驱动力^[8-9]。三是信息化水平的降碳增效综合效应研究。有研究从单要素生产率出发,认为信息化进程中技术进步、产业结构优化、资源优化配置等作用的发挥能够形成“能源要素替代”效应^[10],降低能源强度和碳强度,实现经济高质量发展。也有研究基于全要素生产率考虑,从信息化进程中的成本、创新、需求等效应出发^[11],考察信息化水平对碳排放效率和全要素碳生产率的影响^[12-13]。

学术界现有研究成果分层次论证了信息化水

平在“降碳增效”中的作用,但仍有以下问题值得关注:第一,基于全要素碳生产率的研究有待深化,现有关于碳强度等单要素的研究难以全面反映经济社会发展中的投入产出要素;第二,理论框架有待进一步梳理整合,现有研究尚未形成统一的理论分析框架,信息化水平“降碳增效”中的技术创新、结构优化、业态更新、节能降碳等效应有待进一步整合;第三,信息化水平“降碳增效”的作用路径和机制有待进一步厘清,现有研究重点关注信息化进程“降碳增效”的总体效应,关于信息化水平影响效应的内在机理和传导路径仍需深入探索。有鉴于此,本文从全要素碳生产率视角出发,将技术创新、结构优化、业态更新、节能降碳效应纳入同一分析框架,运用链式多重中介效应模型考察信息化水平影响全要素碳生产率的具体路径,在平行中介传导机制研究基础上进一步探索信息化水平影响全要素碳生产率的链式多重中介渠道。

一、路径机制与研究假说

信息化进程是新一代信息技术创新、经济社会数字化网络化转型的过程,以信息化驱动中国式现代化面临机遇也伴随挑战。信息化进程步入新阶段,能否有效促进中国全要素生产率,尤其是纳入能源消耗和碳排放后的中国全要素碳生产率增长?中国全要素碳生产率增长主要源于纯技术进步(LTP)、纯技术效率改善(LPEC)、配置效率改善(LTPSC)和规模效率改善(LSEC)4个方面^[14],信息化对中国全要素碳生产率增长的影响也主要通过技术创新效应、业态更新效应、结构优化效应和节能降碳效应4条路径产生。

(一)技术创新效应路径分析

纯技术进步能够通过生产技术、工艺等创新促进全要素碳生产率增长,信息化水平通过纯技术进步影响全要素碳生产率的过程表现为技术创新效应。

信息化是经济社会生态各领域信息技术创新和应用推广的过程,信息化水平对生产技术创新、工艺优化的正向促进效应已得到国内外学者广泛认可^[15]。一是信息化为高校、企业、科研机构、个体等广泛参与技术创新和应用提供有效支撑,创

新主体日益多元化;二是信息化能够有效促进创新资源交流、扩散、共享,催生出协同合作、众包、平台分包、众创等新型技术创新研发模式,创新组织模式日益开放包容^[16];三是信息化有效缩短物理空间距离,建立起各类创新主体联系互动的网络,促进碎片化分散式知识信息有效整合,知识获取和技术应用推广成本大幅降低,有助于人力资本快速积累,为科技创新提供源动力^[17];四是信息化实现各类主体紧密联系,能够有效规避创新供需错位,促进技术创新转化应用推广。

绿色低碳科技创新是推进中国全要素碳生产率增长的关键支撑^[18-20]。一方面,资源节约与低碳环保技术开发和应用直接关系到经济社会各领域要素投入使用、碳捕集利用和封存,新一代环保技术与设备研发应用能够直接优化资源要素配置,降低能源消耗和碳排放规模,提升能源利用效率。另一方面,科技创新与应用以“创造性破坏”助推资源要素整合、突破行业边界,有助于加快产业融合、促进产业结构升级,以科技创新助力经济社会全面绿色低碳转型,提升全要素碳生产率。基于以上分析,提出假设H1:信息化水平能够通过技术创新间接影响中国全要素碳生产率增长。

(二)业态更新效应路径分析

纯技术效率改善能够通过制度创新、经验积累、流程优化等促进全要素碳生产率增长,信息化水平通过纯技术效率改善影响全要素碳生产率的过程表现为业态更新效应。

信息化搭建起生产者和消费者的交互网络,信息化水平对产业变革的“破坏性创新”得到国内外学术界广泛认可^[21]。一方面,信息化搭建起链接生产者和消费者的紧密网络,生产制造从“产品中心”向“用户中心”转变,消费需求呈现出多元化个性化特征,设计、生产、流通、销售、售后等各环节交流时间和成本大幅节约,催生出一系列生产消费模式和新兴产业业态;另一方面,信息化是科学技术溢出效应的催化剂^[22],逐步突破各环节生产工艺和技术壁垒,大规模精简化生产向小规模定制化生产转变激励企业顺沿产业链向上下游拓展,传统产业界限逐渐模糊,产业关联日益紧密,

产业融合在信息化进程中不断深化。

产业融合是推进中国全要素碳生产率增长的重要途径^[23]。一是制造业服务化和专业化定制的增值效应,产业融合过程中价值链延伸和成本控制能够有效降低资源消耗和碳排放,实现产业更高效发展;二是产业协同集聚的规模效应,产业融合中制造业和服务业在空间上的重叠,能够充分发挥集聚规模效应,降低中间环节运输和沟通成本,实现碳减排和全要素碳生产率增长;三是产业结构升级的资源配置效应,产业融合推动服务业和制造业向价值链上游延伸,产业结构高级化促成绿色低碳循环化转型,实现全要素碳生产率增长。基于以上分析,提出假设 H2:信息化水平能够通过产业融合间接影响中国全要素碳生产率增长。

(三) 结构优化效应路径分析

配置效率改善能够通过资源配置优化、结构调整等实现全要素碳生产率增长,信息化水平通过配置效率改善影响全要素碳生产率的过程表现为结构优化效应。

现代信息技术应用能够促进产业间资源要素优化配置,推动产业结构转型升级,得到学术界充分肯定^[24]。一是现代信息技术在农业、工业、服务业发展中广泛应用推广,不同类型产业共生联合日益普遍,产业融合不断深化,新兴业态促进产业结构逐步高级化、低碳化、绿色化;二是信息化直接推动现代信息技术产业高速发展,高新技术产业、战略新兴产业在信息化进程中地位不断提升,第二产业发展模式从高耗能污染密集型向高附加值绿色低碳型转变,第二产业内部结构不断向技术密集型、知识密集型发展;三是信息化带动信息技术咨询与服务等第三产业快速崛起,第三产业占比相对上升,第二产业向后工业化阶段推进,服务型经济结构逐步形成。

产业结构升级是推动中国全要素碳生产率增长的重要方式^[25-26]。一方面,产业结构合理化推动三次产业不断绿色低碳转型,生产工艺和流程向自动化、精细化推进,各产业劳动生产率快速提升的同时碳排放强度逐步降低,推动全要素碳生产率不断增长;另一方面,产业结构高级化促进资

源要素向高附加值绿色低碳型产业集聚,低附加值高耗能产业在产业结构升级中比重逐步降低,传统高投入粗放式生产模式加快淘汰,新兴产业部门快速萌发,促进经济高质量发展的同时减少碳排放规模^[27],实现全要素碳生产率大幅增长。基于以上分析,提出假设 H3:信息化水平能够通过产业结构调整影响中国全要素碳生产率增长。

(四) 节能降碳效应路径分析

规模效率改善能够通过规模经济、集群经济、成本节约等促进全要素碳生产率增长,信息化进程通过规模效率改善影响全要素碳生产率的过程表现为节能降碳效应。

信息化进程能够有效节约生产成本、推广成本、交易成本,降低能源消耗总量和碳排放规模,实现全要素碳生产率增长^[28-29]。一是信息化进程加快产业生产设备、工艺、流程优化升级,能源资源开采、运输、使用、回收效率不断提升,规模经济、集聚经济、范围经济效益充分发挥,能源消耗规模有效降低、碳排放总量得到控制;二是大数据、区块链、云计算等现代信息技术在生产流通各环节充分应用,各类信息资源在供需双方、企业之间、部门之间充分流动匹配,生产者能够低成本、高效率、高精度获取市场需求、绘制用户画像,优化调整产品生产和推广策略,有效降低推广成本,实现全要素碳生产率增长;三是信息化快速发展具有显著网络效应,产品和服务交易信息不对称程度在信息快速流动过程中充分降低,买卖双方搜寻成本显著下降、供需双方匹配度大幅上升,市场交易成本和资源浪费减少,资源配置效率显著提升,推动全要素碳生产率增长^[30]。基于以上分析,提出假设 H4:信息化水平能够直接发挥节能降碳效应,促进中国全要素碳生产率增长。

综上所述,信息化进程本身能够发挥节能降碳效应,有效降低生产、推广、交易成本,提升资源配置效应,推动全要素碳生产率增长。与此同时,信息化进程带动绿色技术创新、产业融合和产业结构优化,能够通过技术创新效应、业态更新效应、结构优化效应减少能源消耗总量、降低碳排放规模,实现全要素碳生产率增长(见图1)。

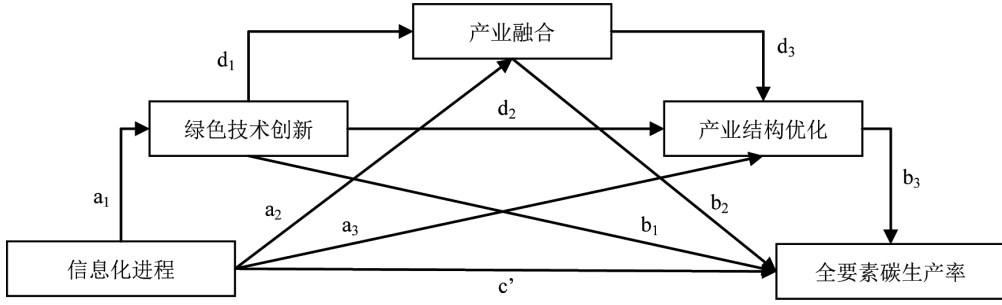


图1 信息化进程影响全要素碳生产率增长的机制和路径

二、研究方法与变量说明

（一）模型设定

1. STIRPAT 模型

在经济社会活动与生态环境关系的早期研究中,IPAT 恒等式将环境影响(I)与人口规模(P)、富裕水平(A)、技术创新(T)纳入同一模型进行考察,将生态环境变化定义为经济社会活动的多元函数,如式(1)所示。为规避多元因素等比例弹性假设导致的偏误,国内外学者将常数项(a)、多元因素影响系数(b、c、d)和随机误差(e)同时纳入IPAT 恒等式,拓展得到 STIRPAT 模型^[31],如式(2)所示。为进一步估计经济社会发展各因素对生态环境的影响系数,对两端同时取对数,可得对数形式的 STIRPAT 模型^[32],如式(3)所示。

$$I_i = P_i A_i T_i \quad (1)$$

$$I_i = a P_i^b A_i^c T_i^d e_i \quad (2)$$

$$\ln I_i = \ln a + b \ln P_i + c \ln A_i + d \ln T_i + \ln e_i \quad (3)$$

2. 拓展的 STIRPAT 模型

在实际应用中,国内外学术界主要采用两种方法对 STIRPAT 基础模型进行拓展和调整,以满足实证检验需要。一种方法是对 I、P、A、T 各变量进行重新定义,让分析模型适用于研究内容^[33];另一种方法是将经济社会活动中的其他变量引入基础模型,考察新因素对特定生态环境变量的影响程度^[34]。为适用于信息化水平与全要素碳生产率关系问题探讨,一是采用 CO_2 表示环境变量,二是将信息化水平(LI)引入分析模型,三是采用城市人口密度(PD)、经济发展水平(ECO)、技术创新(TI)重新定义 P、A、T,四是将产业融合(IC)、产业结构(IS)、环境规制(ER)、对外开放(OP)等变量引入模型,

得到信息化水平影响碳排放的分析模型,如式(4)所示。

$$\ln CO_{2it} = a + \beta_1 \ln LI_{it} + \beta_2 \ln TI_{it} + \beta_3 \ln IC_{it} + \beta_4 \ln IS_{it} + \beta_5 \ln ECO_{it} + \beta_6 \ln ER_{it} + \beta_7 \ln PD_{it} + \beta_8 \ln OP_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

在信息化水平影响碳排放检验模型基础上,进一步拓展得到信息化水平影响全要素碳生产率的分析模型。根据全要素碳生产率内涵,以控制其他因素时的能源消耗和碳排放最优水平为基准,采用碳排放最优水平(CO_2^*)和实际碳排放水平之比(CO_2)衡量全要素碳生产率。在最优状态下,碳排放实际水平与最优水平相等,可得到最优状态模型,如式(5)所示。

$$\ln CO_{2it}^* = a + \beta_1^* \ln LI_{it} + \beta_2^* \ln TI_{it} + \beta_3^* \ln IC_{it} + \beta_4^* \ln IS_{it} + \beta_5^* \ln ECO_{it} + \beta_6^* \ln ER_{it} + \beta_7^* \ln PD_{it} + \beta_8^* \ln OP_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

基于全要素碳生产率内涵和对数计算法则,将最优和实际两种状态模型纳入同一模型中,得到信息化水平影响全要素生产率的分析模型,如式(6)所示, $TFCP_{it}$ 表示全要素碳生产率、 $control_{it}$ 表示控制变量、 γ 为控制变量系数。

$$\ln TFCP_{it} = \ln(CO_{2it}^*/CO_{2it}) = a + (\beta_1^* - \beta_1) \ln(LI_{it}) + (\beta_2^* - \beta_2) \ln TI_{it} + (\beta_3^* - \beta_3) \ln IC_{it} + (\beta_4^* - \beta_4) \ln IS_{it} + (\gamma^* - \gamma) \ln control_{it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

伴随信息化进程不断深化,生产和消费规模飞速增长,一方面能源消费规模增大导致碳排放规模的增加,另一方面信息化进程能够有效提升效率和降低碳排放强度,可见信息化水平在影响碳排放和全要素碳生产率过程中存在动态均衡。根据拓展的 STIRPAT 模型,信息化水平影响全要素碳生产

率的效应取决于 β_1^* 和 β_1 的关系。当 $\beta_1^* > \beta_1$ 时, 信息化水平对全要素碳生产率增长表现出正向促进效应; 当 $\beta_1^* < \beta_1$ 时, 信息化水平对全要素碳生产率增长呈现出负向抑制效应。

3. 多重中介效应模型

以 STIRPAT 拓展模型为基础, 利用复合式多重中介效应模型深入解析信息化水平与中国全要素碳生产率之间的传导机制^[35-36], 讨论技术创新效应(TI)、业态更新效应(IC)、结构优化效应(IS)在作用机制中发挥的并行及链式影响, 如式(7)~式(11)所示, μ_i 表示个体固定效应、 δ_i 表示时间固定效应、 ε_{it} 为随机扰动项。

$$\ln TI_{it} = a_0 + a_1 \ln LI_{it} + \sum control_{it} + \mu_i + \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

$$\ln IC_{it} = a_0 + a_2 \ln LI_{it} + d_1 \ln TI_{it} + \sum control_{it} + \mu_i + \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

$$\ln IS_{it} = a_0 + a_3 \ln LI_{it} + d_2 \ln TI_{it} + d_3 \ln IC_{it} + \sum control_{it} + \mu_i + \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

$$\ln TFCP_{it} = c_0 + c' \ln LI_{it} + b_1 \ln TI_{it} + b_2 \ln IC_{it} + b_3 \ln IS_{it} + \sum control_{it} + \mu_i + \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

$$\ln TFCP_{it} = c_0 + c \ln LI_{it} + \sum control_{it} + \mu_i + \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

式(10)中, 系数 c' 代表信息化水平影响中国全要素碳生产率的直接效应。式(11)中, 系数 c 代表信息化水平影响全要素碳生产率的总效应。信息化水平影响中国全要素碳生产率的间接效应成为中介效应, 具体包括并行中介效应和链式中介效应两种。如图1所示, 信息化水平影响中国全要素碳生产率的并行中介效应主要包括3条路径, 对应式(7)~式(10)中各变量系数, 3个并行中介效应分别为 $a_1 b_1$ 、 $a_2 b_2$ 、 $a_3 b_3$; 信息化水平影响中国全要素碳生产率的链式中介主要涉及4条路径, 对应式(7)~式(10)中各变量系数, 4个链式中介效应分别为 $a_1 d_1 b_2$ 、 $a_1 d_2 b_3$ 、 $a_2 d_3 b_3$ 、 $a_1 d_1 d_3 b_3$ 。

(二) 变量选择和数据来源

1. 被解释变量

全要素碳生产率(TFCP)。采用超效率 SBM-DDF 模型和 Luenberger 分析方法测算中国全要素

碳生产率^[37-38]。选择资本、人员和能源为投入指标, 其中资本投入指标选取固定资本存量反映, 采用永续盘存法进行处理^[39]; 人员投入指标选取各地人口总数反映, 各地居民既是消费者也是生产者, 与碳排放息息相关; 能源投入指标选取各地能源消费量反映。产出指标包括期望产出和非期望产出, 其中期望产出指标选取各地 GDP 表示, 并以2000年为基期进行平减; 非期望产出选取二氧化碳排放量反映, 采用 IPCC(2006) 测算方法以煤炭、焦炭、石油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、天然气等能源消费量进行折算^[40]。相关数据整理自《中国统计年鉴》(2001—2021)、《中国能源统计年鉴》(2001—2021)、EPS 数据平台和中经网统计数据库。

2. 核心解释变量

信息化进程(LI)。为充分反映以互联网为代表的现代信息技术发展和应用水平, 借鉴学术界现有研究成果^[41], 综合考虑数据连续性和可得性, 选取单位面积长途光缆长度作为反映各地区信息化水平。相关数据整理自《中国统计年鉴》(2001—2021)。

3. 中介变量

在考察信息化水平影响中国全要素碳生产率的路径过程中, 选取技术创新水平、产业融合水平、产业结构水平作为中介变量。(1)技术创新(TI)采用各省份技术市场成交额占 GDP 比重反映; (2)产业融合(IC)采用制造业和服务业融合发展水平反映, 将空间要素纳入传统耦合协调度模型完成测算^[42]; (3)产业结构(IS)采用工业化水平进行反映, 以产业增加值测算三次产业占比, 运用乘数法构建中国工业化进程指数(IS_{it}) 测算模型, 反映产业结构升级水平^[43], 如式(12)所示, N_{it} 为非农产业占比, CI_{it}^* 为第二产业占比, CS_{it}^* 为第三产业占比, IS_{it} 为工业化水平。相关数据整理自《中国统计年鉴》(2001—2021)、EPS 数据平台、中经网统计数据库、各地区国民经济和社会发展统计公报和政府工作报告。

$$IS_{it} = N_{it} \cdot CI_{it}^* \cdot CS_{it}^*$$

$$s. t. \begin{cases} N_{it} = PI_{it} + CS_{it} \\ CI_{it}^* = \min(1, PI_{it}'/0.48), PI_{it}' = \max(PI_{it}) \\ CS_{it}^* = \min(1, PS_{it}'/0.70), PS_{it}' = \max(CS_{it}) \end{cases} \quad (12)$$

4. 控制变量

为减少模型估计偏误,根据拓展的 STIRPAT 模型,在实证分析中纳入 4 个控制变量。①经济发展水平(ECO)采用人均 GDP 反映;②环境规制(ER)采用各省份工业污染治理项目本年完成投资占 GDP 比重反映;③对外开放(OP)选取各省份当年利用外资金额占 GDP 比重反映;④城市人口密度(PD)选取各地城市人口密度反映人口集聚程度。相关数据整理自《中国环境统计年鉴》(2001—2021)、《中国统计年鉴》(2001—2021)、《中国城市建设统计年鉴》(2001—2021)、EPS 数据平台和中经网统计数据库,部分缺失数据采用移动平均法补齐。

三、实证结果和机制检验

(一)信息化水平影响中国全要素碳生产率的总体效应检验

首先,采用全国 30 个省级行政区(不包括港澳台及西藏)2001—2020 年数据,运用面板固定效应模型,逐步添加控制变量,实证检验信息化水平影响中国全要素碳生产率增长的总体效应,见表 1。检验结果显示,信息化水平提升能够有效促进中国全要素碳生产率增长。在模型(1)到模型(5)中逐步添加控制变量,信息化水平估计系数绝对值虽有变化,但均在 1% 的水平下显著为正,可见信息化水平提升对中国全要素碳生产率增长存在显著正向促进作用。伴随信息化水平不断提升,能够有效发挥节能降碳提效作用,降低碳排放强度,促进经济高质量发展,推动中国全要素碳生产率提升。

各控制变量对中国全要素碳生产率的影响存在一定差异。经济发展水平(ECO)影响中国全要素碳生产率的系数显著为负,当前阶段,人均 GDP 不断增长的同时,生产生活消费规模快速扩大,能源消费规模大幅提升,导致碳排放规模扩大,一定程度上抑制了中国全要素碳生产率的提升。环境

规制(ER)对中国全要素碳生产率的影响系数显著为正,伴随各项环境规制政策落地落实,绿色低碳循环发展理念在生产生活中得到广泛宣传和实践,环境质量得到有效改善,能源资源利用效率得到提升,有助于全要素碳生产率的提升。对外开放水平(OP)影响中国全要素碳生产率的系数为正,但未通过显著性检验,开放型经济兼具“环境收益”效应和“逐底竞争”效应,在技术资本要素转移的同时也伴随着碳排放转移,在对外开放过程中有必要进一步关注国际碳转移问题,实现更高质量的开放发展。城市人口密度(PD)影响中国全要素碳排放效率的系数为负,但未通过显著性检验,人口的集中伴随着能源消费需求的扩张,不利于碳排放强度的降低,对全要素碳生产率增长存在一定抑制作用,在人口城镇化快速推进过程中应加大绿色低碳生活方式宣传推广力度,促进绿色低碳新型城镇化发展。

表 1 信息化水平影响中国全要素碳生产率的总体效应估计结果

变量	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)
<i>LI</i>	0.568 *** (8.487)	0.564 *** (8.469)	0.400 *** (6.352)	0.401 *** (6.322)	0.399 *** (6.245)
<i>ECO</i>	-	-0.036 ** (1.995)	-0.042 *** (2.814)	-0.049 *** (2.841)	-0.048 *** (2.637)
<i>ER</i>	-	-	0.096 *** (4.943)	0.106 *** (4.916)	0.097 *** (4.845)
<i>OP</i>	-	-	-	0.004 (0.533)	0.008 (0.518)
<i>PD</i>	-	-	-	-	-0.011 (0.114)
常数项	-0.572 *** (-79.214)	-0.555 *** (-42.437)	-0.470 *** (-44.430)	-0.577 *** (-42.229)	-0.582 *** (-22.394)
个体固定效应	Y	Y	Y	Y	Y
时间固定效应	Y	Y	Y	Y	Y
<i>R</i> ²	0.692	0.698	0.717	0.717	0.717
<i>N</i>	600	600	600	600	600

注:括号中的数字表示估计系数的标准误;**和***分别表示在 $p < 0.05$ 、 $p < 0.01$ 时有统计学意义。

(二)信息化水平影响中国全要素碳生产率的路径检验

为考察信息化水平影响中国全要素碳生产率的路径,首先根据链式多重中介效应模型,按照式(7)~式(10)对信息化水平影响中国全要素碳生产率的路径进行逐步回归^[44];然后采用 Bootstrap 方法对式(7)~式(10)进行系统估计^[45],根据系数乘积对各变量中介效应进行检验。

1. 逐步回归法检验

逐步回归法检验表明,信息化水平在促进中国全要素碳生产率增长过程中存在部分中介效应(见表2)。模型(6)~模型(8)估计结果显示,信息化水平估计系数为正,且均通过显著性检验,表明信息化进程中存在显著技术创新效应(0.107)、业态更新效应(0.122)、结构优化效应(0.110),信息化水平提升能够有效促进技术创新、产业融合、产业结构优化升级,可见信息化水平促进中国全要素碳生产率增长过程中可能存在间接效应。模型(9)中信息化水平估计系数显著为正,表明信息化水平在全要素碳生产率增长过程中存在显著正向直接效应;模型(5)估计结果表明信息化水平影响全要素碳生产率增长的总效应显著为正。对比模型(9)和模型(5)估计结果,信息化水平影响中国全要素碳生产率的总效应系数(0.399)大于直接效应系数(0.287),表明信息化水平在促进中国全要素碳生产率增长过程中存在部分中介效应。

表2 信息化水平对中国全要素碳生产率的影响路径检验

参数	模型(6) 技术创新效应	模型(7) 业态更新效应	模型(8) 结构优化效应	模型(9) TFCP	模型(5) TFCP
Ll	0.107 ** (1.988)	0.122 * (1.785)	0.110 ** (2.445)	0.287 *** (7.207)	0.399 *** (6.245)
Tl	-	0.291 *** (4.000)	0.526 * (2.191)	0.148 *** (3.437)	-
IC	-	-	0.013 ** (1.53)	0.096 ** (1.850)	-
IS	-	-	-	0.014 * (1.717)	-
常数项	-0.095 *** (-3.960)	-0.431 *** (-15.970)	-0.809 *** (-4.150)	-0.387 *** (-6.042)	-0.582 *** (-22.394)
控制变量	Y	Y	Y	Y	Y
个体固定效应	Y	Y	Y	Y	Y
时间固定效应	Y	Y	Y	Y	Y
R^2	0.477	0.754	0.753	0.719	0.717
N	600	600	600	600	600

注:括号中的数字表示估计系数的标准误;*、**和***分别表示在 $p < 0.10$ 、 $p < 0.05$ 、 $p < 0.01$ 时有统计学意义。

2. Bootstrap 法检验

为规避逐步回归法检验存在的强假设条件和统计缺陷,进一步采用 Bootstrap 法完成多重中介效应检验,见表3。信息化水平通过技术创新、产业融合、产业结构优化升级间接影响中国全要素碳生产率增长的中介效应之和,即为信息化水平的总中介效应0.032 89,其中并行中介效应占比达到88.43%、链式中介效应占比为11.57%。

表3 信息化水平影响中国全要素碳生产率的
多重中介效应机制检验

效应类型	参数	TFCP
总体中介效应	$(a_1 b_2 + a_2 b_2 + a_3 b_3 + a_1 d_1 b_2 + a_1 d_2 b_3 + a_2 d_3 b_3 + a_1 d_1 d_3 b_3)$	0.032 89 *** (9.002)
技术创新效应的中介作用	TI ($a_1 b_2$)	0.015 84 *** (5.968)
	TI→IC ($a_1 d_1 b_2$)	0.002 99 *** (4.510)
	TI→IS ($a_1 d_2 b_3$)	0.000 79 *** (5.374)
	TI→IC→IS ($a_1 d_1 d_3 b_3$)	0.000 01 *** (4.811)
业态更新效应的中介作用	IC ($a_2 b_2$)	0.011 71 *** (2.439)
	IC→IS ($a_2 d_3 b_3$)	0.000 02 *** (2.574)
结构优化效应的中介作用	IS ($a_3 b_3$)	0.001 54 ** (1.399)

注:括号中数字表示估计系数的z统计量;**和***分别表示在 $p < 0.05$ 、 $p < 0.01$ 时有统计学意义。

(1)技术创新效应的中介作用。信息化水平在促进中国全要素碳生产率过程中存在显著技术创新中介效应,技术创新效应发挥的正向累计中介作用达到0.019 62,在总体中介效应中占比达到59.64%。在信息化水平的技术创新效应中,既包括信息化水平→技术创新效应→全要素碳生产率(0.015 84)的并行中介作用,也包括信息化水平→技术创新效应→业态更新效应→全要素碳生产率(0.002 99)、信息化水平→技术创新效应→结构优化效应→全要素碳生产率(0.000 79)、信息化水平→技术创新效应→业态更新效应→结构优化效应→全要素碳生产率(0.000 01)等链式中介作用。信息化水平的技术创新效应检验结果表明,技术创新能够促进生态环境可持续健康发展,推动全要素碳生产率增长。

(2)业态更新效应的中介作用。信息化水平影响中国全要素碳生产率过程中,既包括信息化水平→业态更新效应→全要素碳生产率的并行中介作用(0.011 71),也包括信息化水平→业态更新效应→结构优化效应→全要素碳生产率的链式中介作用(0.000 02)。表明产业融合能够推动中国全要素碳生产率增长,业态更新效应发挥的累计中介作用为0.011 73,在总体中介效应中占比为35.67%。

(3)结构优化效应的中介作用。在信息化促进中国全要素碳生产率增长过程中,结构优化效应单

独发挥了显著正向并行中介作用,即信息化水平→结构优化效应→全要素碳生产率(0.001 54)的并行中介作用,在总体中介效应中占比为 4.68%。可见信息化水平直接促进的产业结构优化升级,能够有效推动中国全要素碳生产率增长,信息化加速了产业结构绿色低碳转型升级,为全要素碳生产率增长提供重要支撑。

(三)稳健性检验

本文采用两种方面完成信息化水平影响中国全要素碳生产率增长的稳健性检验。一是替换核心解释变量,采用人均电信业务总量反映各地信息化水平,重新检验信息化水平影响中国全要素碳生产率增长的路径,见表 4、表 5。表 4 估计结果表明,信息化水平、技术创新水平、产业融合水平、产业结构水平等核心变量的估计系数绝对值虽有变化,但影响方向并未改变,且均通过显著性检验,信息化水平促进中国全要素碳生产率增长过程中存在间接效应。表 5 估计结果显示,并行中介效应和链式中介效应在信息化影响中国全要素碳生产率过程中同时存在,并行中介效应占比达到 69.89%,链式中介效应占比为 30.11%,两类中介效应占比存在差异,但均显著存在。

表 4 替换核心解释变量后的多重中介效应模型估计结果

变量	技术创新效应	业态更新效应	结构优化效应	TFCP
LI	0.165 *** (11.152)	0.097 * (1.845)	0.037 *** (5.318)	0.283 *** (7.201)
TI	—	1.887 *** (15.710)	0.121 *** (6.658)	0.147 *** (3.440)
IC	—	—	0.061 *** (11.249)	0.035 * (1.015)
IS	—	—	—	0.035 * (0.920)
常数项	-0.481 *** (-4.252)	-0.972 *** (-3.060)	-0.172 *** (-2.708)	-0.448 *** (-5.412)
控制变量	Y	Y	Y	Y
个体固定效应	Y	Y	Y	Y
时间固定效应	Y	Y	Y	Y
R ²	0.714	0.629	0.620	0.656
N	600	600	600	600

注:括号中数字表示估计系数的标准误;* 和 *** 分别表示在 $p < 0.10$ 、 $p < 0.01$ 时有统计学意义。

二是通过设定不同抽样次数重新检验信息化水平对中国全要素碳生产率增长的影响,见表 6。Bootstrap 法通过随机抽取样本的方式考察信息化影响全要素碳生产率的中介效应,在抽样过程中,设置不同抽样次数可得到差异性检验结果。表 6

检验结果显示,在 1 500 次、2 000 次和 2 500 次抽样过程中,技术创新效应、业态更新效应、结构优化升级效应的并行中介作用,以及链式中介作用虽然绝对值存在一定差异,但中介效应系数同号且均通过显著性检验。可见,信息化能够直接和间接促进中国全要素碳生产率增长,且估计结果较为可靠。

表 5 替换核心解释变量后的 Bootstrap 法检验结果

中介效应类型	中介效应值	95% 置信区间	抽样次数
并行中介效应 1 TI (a_1b_2)	0.015 84 * (4.562)	[0.013, 0.025]	1 000
并行中介效应 2 IC (a_2b_2)	0.011 71 *** (5.920)	[0.008, 0.016]	1 000
并行中介效应 3 IS (a_3b_3)	0.001 54 *** (5.778)	[0.000, 0.003]	1 000
链式中介效应 ($a_1d_1b_2 + a_1d_2b_3 + a_2d_3b_3 + a_1d_1d_3b_3$)	0.003 80 *** (7.632)	[0.001, 0.013]	1 000
总体中介效应	0.032 89 * (1.897)	[0.031, 0.042]	1 000

注:中介效应值下括号中数字表示估计系数的 z 统计量;* 和 *** 分别表示在 $p < 0.10$ 、 $p < 0.01$ 时有统计学意义。

表 6 不同抽样次数下的 Bootstrap 法检验结果

中介效应类型	1 000 次抽样	1 500 次抽样	2 000 次抽样	2 500 次抽样
并行中介效应 1 TI (a_1b_2)	0.015 84 *** (5.968)	0.017 23 *** (3.902)	0.016 95 *** (3.765)	0.016 41 *** (3.808)
并行中介效应 2 IC (a_2b_2)	0.011 71 *** (2.439)	0.012 44 *** (5.251)	0.012 33 *** (5.649)	0.012 78 *** (5.674)
并行中介效应 3 IS (a_3b_3)	0.001 54 ** (1.399)	0.001 83 *** (4.593)	0.002 31 *** (5.014)	0.002 39 *** (5.526)
链式中介效应 ($a_1d_1b_2 + a_1d_2b_3 + a_2d_3b_3 + a_1d_1d_3b_3$)	0.012 47 ** (2.099)	0.004 27 *** (3.041)	0.004 43 *** (3.172)	0.004 41 *** (3.132)
总体中介效应	0.032 89 *** (9.002)	0.035 78 *** (6.031)	0.036 03 *** (6.019)	0.035 98 *** (6.503)

注:括号中数字表示估计系数的 z 统计量;** 和 *** 分别表示在 $p < 0.05$ 、 $p < 0.01$ 时有统计学意义。

(四)进一步讨论

鉴于学术界对中介效应分析存在的争议,借鉴江艇等^[46]对中介效应分析的操作建议,本文引入技术创新(TI)、产业融合(IC)、产业结构(IS)作为中介变量,反映信息化水平(LI)影响中国全要素碳生产率(TFCP)增长的作用渠道。纵观国内外学术界现有研究成果,相关核心变量间的影响已经得到充分证明。一是信息化水平(LI)的影响作用,已有研究证明信息化水平能够显著促进技术创新水平提升^[47],推动产业融合发展^[21],促进产业结构优化升级^[24],直接推动中国全要素碳生产率增长^[11];二是中介变量对中国全要素碳生产率的影响,已有研究证明技术创新^[48]、产业融合^[23]、

产业结构优化升级能够直接促进中国全要素碳生产率增长^[49];三是中介变量间的关系,技术创新对产业融合的推动作用^[50]、技术创新对产业结构升级的支撑作用^[51]、产业融合对产业结构升级的促进作用已经得到广泛认可^[52]。由此可见,各中介变量在信息化水平影响中国全要素碳生产率增长过程中存在间接关联作用。

四、研究结论与政策启示

(一) 研究结论

(1) 信息化水平具有显著节能降碳效应,能够通过直接和间接作用发挥,有效推动中国全要素碳生产率增长;

(2) 信息化水平具有显著技术创新效应,信息化进程中,能够通过技术创新推动产业融合发展,促进产业结构升级,加快绿色低碳技术研发应用,通过技术创新间接推动中国全要素碳生产率增长;

(3) 信息化水平具有业态更新效应,信息化水平提升能够推动产业深度融合,加快产业结构升级,通过产业融合间接推动中国全要素碳生产率增长;

(4) 信息化水平具有结构优化效应,信息化进程中的能够直接或间接推动产业结构绿色低碳化转型升级,通过产业结构升级间接推动中国全要素碳生产率增长。

(二) 政策启示

(1) 发挥信息化低碳引领功能。加快推进信息化进程,充分发挥信息化建设的直接和间接效应,推动中国全要素碳生产率增长。一是推进新型基础设施建设。深入实施 5G 创新应用工程、“智能网联”设施建设和应用推广工程、大数据中心体系建设工程,不断深化公共设施数字化、智能化转型升级,全方位提升基础设施信息化服务支撑能力。二是充分发挥数据作为新生产要素的关键作用。稳步推进数据要素化,加快推动数据要素流通,繁荣数据应用生态,提升数据要素服务经济社会发展的效能,充分激发信息化进程中的数据要素价值。三是推进信息化与经济社会深度融合。在数字经济、数字政府、数字社会建设中深化

互联网、大数据、人工智能等现代信息技术运用,突破部门间、行业间、区域间信息壁垒,全面提升资源要素配置、产品服务供给效率,降低碳排放强度,推动中国全要素碳生产率增长。

(2) 强化绿色低碳科技创新支撑。充分发挥信息化进程中的技术创新效应,通过低碳科技创新有效支撑中国全要素碳生产率增长。一是支持低碳零碳负碳关键核心技术攻关。加快建立线上线下开放式、协同化、网络化科技创新平台,全面提升绿色低碳科技创新能力和水平,为经济社会全面绿色低碳转型提供技术支撑。二是支持绿色低碳技术推广应用。聚焦经济社会绿色低碳发展新思路、新专利、新工艺、新产品、新设备,促进科技成果转化应用推广,推动形成创新链共享、供应链协同、数据链联动、产业链协作的融通发展模式,全面提高生产能力、降低能源资源消耗强度、提高经济发展质量,以绿色低碳科技支撑中国全要素碳生产率增长。

(3) 充分激发产业融合新动力。在信息化进程中有效发挥业态更新效应,激发产业融合新动力,通过产业融合促进中国全要素碳生产率增长。一是推动信息化与新型工业化、城镇化、农业现代化同步发展,以“新四化同步”为着力点,积极培育新业态。二是推进先进制造业和现代服务业深度融合,打造现代产业集群,充分发挥产业集聚效应和规模效应,提升资源要素利用效率,提升全要素碳生产率。三是加大绿色低碳新兴产业扶持力度,综合应用减税降费等多种优惠政策,促进新兴产业高质量发展。

(4) 深化产业结构低碳转型升级。充分发挥信息化在产业结构低碳转型中的直接和间接作用,以信息化中的结构优化效应促进中国全要素碳生产率增长。一是推动三次产业结构优化升级。科学提升服务业发展比重,保持制造业比重基本稳定,推进产业基础高级化、产业结构合理化、产业链现代化发展,加快构建现代产业体系,不断提升产业链供应链现代化水平。二是深入推进新型工业化。加快淘汰传统高耗能高污染工业产能,支持绿色低碳高附加值高技术产业、战略性

新兴产业发展,推动工业产业结构向价值链上游延伸,加快提升产业合理化水平,不断降低碳排放强度,助力全要素碳生产率增长。

(三)研究展望

加快实现信息化、按时实现“碳达峰碳中和”是中国式现代化的重要内容和新发展阶段重要使命,本文从直接和间接两条路径考察信息化促进中国全要素碳生产率增长的效应和路径,但进一步深化新时代中国信息化和绿色低碳发展研究,仍有较多问题值得关注:一是科学量化信息化水平、全要素碳生产率仍需进一步探索,核心变量的科学评价指标体系有待进一步丰富完善;二是信息化促进中国全要素碳生产率增长的路径还有哪些、存在何种机制,仍需进一步研究;三是从理论和实证考察信息化影响中国全要素碳生产率的路径和机制的方法,仍需进一步关注和探索。

参考文献:

- [1] 刘华军,石印,郭立祥,等. 新时代的中国能源革命:历程、成就与展望[J]. 管理世界, 2022, 38(7): 6-24.
- [2] 林伯强. 碳中和进程中的中国经济高质量增长[J]. 经济研究, 2022, 57(1): 56-71.
- [3] 张成,史丹,王群伟. 绿色发展背景下中国碳生产率的时空演变和系统优化研究[M]. 北京:人民出版社, 2019: 1-19.
- [4] 洪银兴. 论中国式现代化的经济学维度[J]. 管理世界, 2022, 38(4): 1-15.
- [5] YUCE B, REZGUI Y. An ANN-GA Semantic Rule-Based System to reduce the gap between predicted and actual energy consumption in buildings [J]. Ieee transactions on automation science and engineering, 2017, 14(3): 1351-1363.
- [6] 崔兆财,周向红. 信息化、省际贸易、知识溢出与中国区域经济异质增长——基于多维邻近视角下的交互影响研究[J]. 经济问题探索, 2020(8): 63-73.
- [7] 刘洪涛. 信息化基建、跨系统融合与经济发展内在机理研究[J]. 统计与信息论坛, 2021, 36(4): 30-41.
- [8] 潘伟,韩伯棠,韩磊. 信息化背景下知识溢出与城市群空间经济增长模型研究[J]. 数学的实践与认识, 2019, 49(7): 62-76.
- [9] 彭继增,李爽,王怡. 地区信息化与绿色经济发展的空间关联性研究——基于空间杜宾模型的实证分析[J]. 工业技术经济, 2019, 38(8): 99-107.
- [10] 刘洪涛,杨洋. 信息化与中国碳强度——基于中国省级面板数据的经验分析[J]. 科技管理研究, 2018, 38(19): 226-233.
- [11] 白雪洁,孙献贞. 互联网发展影响全要素碳生产率:成本、创新还是需求引致[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(10): 105-117.
- [12] 李博,张文忠,余建辉. 服务业发展、信息化水平与全要素碳生产率增长——基于门限效应的实证研究[J]. 地理研究, 2016, 35(5): 953-965.
- [13] 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[J]. 金融经济研究, 2021, 36(6): 142-158.
- [14] GROSSKOPF S. Some remarks on productivity and its decompositions [J]. Journal of productivity analysis, 2003, 20(3): 459-474.
- [15] 左晖,艾丹祥. 技术变化方向异性和全要素生产率——来自中国制造业信息化的证据[J]. 管理世界, 2022, 38(8): 132-159.
- [16] 蒋含明. 外商直接投资知识溢出、信息化水平与技术创新能力[J]. 江西财经大学学报, 2019(1): 34-42.
- [17] 朱华波,王彤君. 信息化、董事会人力资本与制造业企业技术创新[J]. 财会通讯, 2021(2): 81-85.
- [18] 王淑英,程南皓,卫朝蓉. 绿色技术创新与碳生产率的空间溢出效应——基于政府支持的调节作用研究[J]. 管理现代化, 2021, 41(5): 87-92.
- [19] 张宁. 碳全要素生产率、低碳技术创新和节能减排效率追赶——来自中国火力发电企业的证据[J]. 经济研究, 2022, 57(2): 158-174.
- [20] 李新安,李慧. 外资引入、技术进步偏向影响了制造业的碳排放吗? ——来自我国 27 个制造业行业面板数据模型的实证检验[J]. 中国软科学, 2022(1): 159-170.
- [21] 周振华. 信息化进程中的产业融合研究[J]. 经济动态, 2002(6): 58-62.
- [22] 唐红祥,夏惟怡,黄跃. 西部陆海新通道制造业与物流业协同集聚的影响因素识别及突破路径研究[J]. 中国软科学, 2022(8): 131-139.
- [23] 李琳,赵桁. “两业”融合与碳排放效率关系研究[J]. 经济经纬, 2021, 38(5): 71-79.
- [24] 纪成君,孙晓霞. 信息化、城镇化与产业结构升级的互动关系[J]. 科技管理研究, 2019, 39(21): 194-199.
- [25] 黎振强,周秋阳. 产业结构升级是否有助于促进碳减排——基于长江经济带地区的实证研究[J]. 生态经济, 2021, 37(8): 34-40.
- [26] 刘健强,马晓钰. 人口老龄化、产业结构升级与碳排放——基于 STIRPAT 模型的空间计量分析[J]. 金融与经

- 济, 2021(7): 54-62.
- [27] 乔英俊, 赵世佳, 伍晨波, 等. “双碳”目标下我国汽车产业低碳发展战略研究[J]. 中国软科学, 2022(6): 31-40.
- [28] 叶强, 高超越, 姜广鑫. 大数据环境下我国未来区块链碳市场体系设计[J]. 管理世界, 2022, 38(1): 229-249.
- [29] 徐玉德, 杨晓璇, 刘剑民. 信息化密度、社会信任与企业价值创造[J]. 中国软科学, 2022(1): 98-110.
- [30] ASONGU S A, LE ROUX S, BIEKPE N. Environmental degradation, ICT and inclusive development in Sub-Saharan Africa [J]. Energy policy, 2017(111): 353-361.
- [31] XU F J, HUANG Q X, YUE H B, et al. Reexamining the relationship between urbanization and pollutant emissions in China Based on the STIRPAT Model [J]. Journal of environmental management, 2020(273): 111134.
- [32] 李华, 马进. 环境规制对碳排放影响的实证研究——基于扩展 STIRPAT 模型[J]. 工业技术经济, 2018, 37(10): 143-149.
- [33] 尹礼汇, 吴传清. 环境规制与长江经济带污染密集型产业生态效率[J]. 中国软科学, 2021(8): 181-192.
- [34] 刘健强, 马晓钰. 人口老龄化、产业结构升级与碳排放——基于 STIRPAT 模型的空间计量分析[J]. 金融与经济, 2021(7): 54-62.
- [35] 任晓松, 马茜, 刘宇佳, 等. 碳交易政策对高污染工业企业经济绩效的影响——基于多重中介效应模型的实证分析[J]. 资源科学, 2020, 42(9): 1750-1763.
- [36] 任晓松, 马茜, 刘宇佳, 等. 碳交易政策对工业碳生产率的影响及传导机制[J]. 中国环境科学, 2021, 41(11): 5427-5437.
- [37] 吴新中, 邓明亮. 技术创新、空间溢出与长江经济带工业绿色全要素生产率[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(17): 50-58.
- [38] PASTOR J T, LOVELL C A K, APARICIO J. Defining a new graph inefficiency measure for the proportional directional distance function and introducing a new malmquist productivity index [J]. European journal of operational research, 2020, 281(1): 222-230.
- [39] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000[J]. 经济研究, 2004(10): 35-44.
- [40] 贺勇, 傅飞飞, 廖诺. 基于 STIRPAT 模型的工业研发投入对碳排放影响效应分析[J]. 科技管理研究, 2021, 41(17): 206-212.
- [41] 谢康, 廖雪华, 肖静华. 效率与公平不完全相悖: 信息化与工业化融合视角[J]. 经济研究, 2021, 56(2): 190-205.
- [42] 吴传清, 黄成, 杜宇, 等. 长江经济带产业蓝皮书: 长江经济带产业发展报告(2019)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2020: 310-335.
- [43] 尹虹潘. 中国工业化水平的重新测度[J]. 经济学家, 2019(3): 35-42.
- [44] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014, 22(5): 731-745.
- [45] PREACHER K J, HAYES A F. Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models [J]. Behavior research methods, 2008, 40(3): 879-891.
- [46] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120.
- [47] 李磊, 刘常青, 韩民春. 信息化建设能够提升企业创新能力吗? ——来自“两化融合试验区”的证据[J]. 经济学(季刊), 2022, 22(3): 1079-1100.
- [48] 刘朝, 王梓林, 原慈佳. 结构视域下自主技术创新对工业碳排放的影响及趋势预测[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(7): 12-21.
- [49] 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.
- [50] 焦青霞, 刘岳泽. 数字普惠金融、农业科技创新与农村产业融合发展[J]. 统计与决策, 2022, 38(18): 77-81.
- [51] 杨力, 杨凌霄, 张紫婷. 金融支持、科技创新与产业结构升级[J]. 会计与经济研究, 2022, 36(5): 89-104.
- [52] 曹菲, 聂颖. 产业融合、农业产业结构升级与农民收入增长——基于海南省县域面板数据的经验分析[J]. 农业经济问题, 2021(8): 28-41.

(本文责编: 辛 城)