引用格式:赖小东, 谢过. 中国数字经济网络发展与“绿色中国”建设——基于碳减排的证据[J]. 技术经济, 2025, 44(10): 60-72.
Lai Xiaodong, Xie Guo. The development of China's digital economy network and the construction of green China: Evidence based on carbon emission reduction[J]. Journal of Technology Economics, 2025, 44(10): 60-72.

产业技术经济

中国数字经济网络发展与“绿色中国”建设
——基于碳减排的证据

赖小东, 谢 过
(华南师范大学经济与管理学院, 广州 510006)

摘 要: 本文基于 2011—2021 年各省数字经济发展水平,运用社会网络分析构建省际数字经济网络,分析数字经济网络特征,探索数字经济发展水平和数字经济网络地位对空间碳排放的影响。研究发现:①中国数字经济网络发展迅速,广东、江苏、山东等东部省份处于网络中心地位,呈中心向周边地区再向边缘地区扩散的特点。②数字经济网络能显著影响碳排放,当地数字经济网络发展程度越高越有利于降低碳排放,而数字经济网络地位越低越不利于降低碳排放。③经济发展和能源强度是数字经济网络作用于碳排放的重要间接渠道。相关政策制定需重视区域数字经济发展差异,通过信息共享、技术外溢和资源配置等措施,发挥数字经济网络效应,实现数字经济区域间的协调发展,有效促进碳减排。

关键词: 数字经济网络; 空间碳排放; 社会网络分析; 空间杜宾模型
中图分类号: F49; X321 **文献标志码**: A **文章编号**: 1002-980X(2025)10-0060-13
DOI:10. 12404/j. issn. 1002-980X. J24073024

一、引言

为应对全球气候变化和控制碳排放,2020 年 9 月中国政府提出“双碳”目标,并将其纳入生态文明建设整体布局。“双碳”目标的实现是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革,以数字经济加快生产生活方式绿色化转型、提高资源利用效率、推动资源更加合理配置和能源清洁高效利用是实现这一目标的重要途径[1]。根据国家互联网信息办公室发布的《数字中国发展报告(2022)》,中国数字经济总体规模由 2016 年的 22. 6 万亿元上升到 2022 年的 50. 2 万亿元,累计增长 1. 22 倍,发展规模位居全球第二。这种以现代信息网络作为载体,以数据资源作为要素的新型经济形态,对碳达峰碳中和的实现产生重要影响,提高了资源利用效率,已成为中国经济的重要增长模式,有助于降低碳排放,推动“双碳”目标的实现。

数字经济具备明显网络性特征。已有文献论证了数字经济网络对加快要素流动、技术溢出和产业结构优化的积极作用[2-4]。数字经济网络的发展打破了传统经济联系的时空局限性,推动经济活动在空间与地理上的集中化,表现出明显的空间溢出效应[5]。一方面,数字经济网络利用互联网、云计算和大数据等技术,突破过往生产过程的地域局限性,降低资源投入和减少浪费,强化发达地区向落后地区的溢出效应,进而促进碳减排。另一方面,数字经济网络增强了中心地区对周边地区影响力,放大地区间竞争效应,地区间

收稿日期: 2024-07-30
基金项目: 国家社会科学基金面上项目“ESG 评级约束下高耗能企业的碳减排效应与转型路径研究”(23BGL228)
作者简介: 赖小东(1974—),博士,华南师范大学经济与管理学院教授,硕士研究生导师,研究方向:环境经济、数字经济、低碳技术创新和可持续建设项目管理;谢过(1998—),华南师范大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向:环境政策评价与计量分析、绿色技术创新、绿色投融资。

中心-外围结构更为凸显，发达地区利用竞争优势实现碳减排区域间转移[6]。数字经济发展与碳排放脱钩存在明显的空间关联和马太效应[7]。

因此，研究数字经济网络如何影响空间碳排放及其作用机制，将有助于推进“双碳”目标实现和优化中国数字发展战略。本文使用2011—2021年省级面板数据，基于社会网络分析视角，分析中国省际数字经济网络特征，结合空间计量模型，探索数字经济网络对中国省际空间碳排放的减排效应和作用机制，为推进数字经济发展和实现碳减排目标提供理论依据和经验借鉴。

本文可能的学术贡献如下：一是从数字经济网络视角为数字经济对碳排放的影响提供了新的经验证据。相比于以往文献主要从数字经济发展水平研究其对碳排放影响，本文构建了数字经济网络，并将网络发展程度纳入数字经济与碳排放的分析框架中。二是考虑数字经济网络有向性，从网络地位视角出发阐释网络地位差异性对数字经济碳减排作用的影响，为理解数字经济网络发展与碳排放的联系提供了直接的经验证据。

二、文献综述

（一）数字经济网络

科学评价数字经济发展水平直接关系到数字经济网络构建，进一步影响如何客观衡量数字经济对碳排放影响和相关政策准确制定。现有研究从数字产业产值视角出发，构建数字经济综合性评价体系。例如，许宪春和张美慧[8]在提炼数字经济的内涵、形成要素和数字经济规模核算框架基础上，测算了2007—2017年中国数字经济增加值与总产出等指标。Dong等[9]基于国家数字竞争力、数字经济创新环境和数字经济基础设施三个维度构建了数字经济发展综合指标体系，使用熵值法测度了60个国家数字经济发展水平。杨航英和强永昌[10]从数字产业、数字创新、数字用户等三个维度指标合成城市数字经济指数。也有学者基于投入产出表测算数字经济规模和数字化程度。例如，陈梦根和张鑫[11]基于投入产出序列表建立数字经济规模和全要素生产率测算框架，发现了中国数字经济规模年均实际增长率高达11.24%。马丹等[12]利用投入产出表测算了中国2012年和2017年各部门投入的数字化程度。

数字经济网络不断拓展和延伸，推动了要素组合方式和生产模式的重大变革。推动生产要素的空间流动，突破了传统生产边界，能有效削弱经济发展的时空约束，加强区域间经济联动[13]。李磊和袁世昌[14]发现数字经济网络产生的区域联动效应和关联溢出效应对提升经济增长水平有重要的驱动作用。徐妍和张玉冰[15]认为处于数字经济空间传导路径交汇处的城市更能凭借数字经济网络进一步加强区域之间的联系，合理配置资源、享受数字经济带来的红利。

（二）数字经济对空间碳排放影响研究

当前有关数字经济网络对空间碳排放影响研究较少，但有关数字经济对碳排放影响及其空间效应的研究可为本研究提供重要参考。数字经济通过建设工业互联网、数据中心和5G网络等新型基础设施，发展产业集群和数字产业链，能有效减少资源错配、降低交易成本、提高产品附加值和推动生产力高速发展。数字经济已成为中国经济新的重要增长点，是实现高质量发展、促进绿色创新、提升全要素生产率、稳定就业和拉动收入水平等的重要驱动因素[16-20]。研究普遍认为数字经济发展水平能显著降低碳排放强度，提升碳排放效率，同时具有很强的空间溢出效应。该结论在国家、省级和城市层面均成立[9,21-22]。Yi等[23]基于2011—2019年中国省级面板数据，发现数字经济发展对碳减排具有显著的空间溢出效应，数字经济可通过能源结构的转变间接影响碳减排。Liu等[24]实证检验了数字经济发展对碳排放效率的作用，发现其具有显著的正向直接效应和空间溢出效应。董昕和张朝辉[25]发现数字经济发展能够显著提升城市的碳排放效率，趋于分散或多中心的城市空间结构也有利于碳排放效率的提升，并且城市的多中心结构有助于数字经济发挥其对碳排放效率的提升作用。部分学者进一步探讨了数字经济发展水平与碳排放的非线性关系。冯兰刚等[1]使用门槛模型检验了数字经济对碳排放先强后弱的非线性作用。李治国和王杰[5]发现数字经济发展对本地碳排放具有“先促增、后抑制”的倒U型效应，同时对周边地区具有“先促增、后抑制”的U型效应。

综合来看,当前数字经济对碳排放研究热点集中在探讨二者非线性关系和碳排放空间溢出效应。尽管研究普遍认为碳排放具有正向的空间相关性,但学者对于数字经济影响碳排放的空间效应的结论有意见,存在正向的空间溢出效应、负向的空间溢出效应或空间溢出效应不显著等三种观点。进一步的,尽管已有研究关注了数字经济网络特征,但有关数字经济网络特征对碳排放的影响关系研究缺乏。Zhong等[6]基于数字经济的网络中心性特征,探讨了网络中心性对数字经济与碳排放关系的调节效应,但忽略了数字经济网络的方向性。

针对以上研究不足,本文充分考虑数字经济网络特征,研究其对区域空间碳排放的影响:首先,构建合理指标体系用以测度数字经济发展水平;其次,构建省级数字经济网络,分析数字经济网络发展的总体特征,厘清区域间数字经济的关联性和差异化网络地位;最后,将数字经济网络纳入空间碳排放影响研究,从数字经济网络发展程度和网络地位出发,检验数字经济网络对空间碳排放的直接效应和作用机制,为数字经济发展和实现"双碳"目标提供有益的实践支撑和政策启示。

三、理论与研究假设

一是,数字经济网络发展助力知识外溢,通过数字技术赋能,构建资源互联互通渠道,助力降低碳排放[26]。数字经济空间关联网络依托数据这一新的生产要素发展新型经济模式。根据梅特卡夫定律,用户数量越多网络价值越大,即随着地区数字经济发展程度和地区间数字经济关联程度加深,数字经济网络价值快速增长,带来正向外部效应。数字经济网络发展加强地区间的联系,提高信息获取和资源配置效率,推动了资源配置优化和生产过程精细化,放大规模经济和范围经济效应,实现了经济效益的最大化,进一步降低碳排放[15]。

二是,在数字经济网络中,由于各省份处于网络的位置不同,从而具有不同的网络发展程度。省份在网络中的连接数越多,网络发展程度越高,省份越处于网络中心位置,越能通过资源流动、技术共享促进碳减排,出现数字经济集聚现象。数字经济网络的中心省份往往是那些经济相对发达的地区,这些地区在数字经济相关要素禀赋方面处于优势地位。数字经济集聚使得与数字经济相关的技术密集型产业在区域内集中不断发展壮大,促进了产业结构的优化升级[2],进而更大程度地降低空间碳排放。

基于此,本文提出假设1:

当地数字经济网络发展程度越高越有利于降低空间碳排放(H1)。

数字经济网络中存在两种关系,溢出关系和接收关系。溢出关系多的省份数字经济发展水平高,对周边地区数字经济具有辐射作用,处于网络的中心地位。这些省份利用其数字经济网络溢出效应,打破传统生产时空局限性,推动加强产业经济区域间的关联性[13],利用资源要素优化配置、先进技术外溢及数字技术边际低成本特性,带来减排效应溢出。接收关系多的省份数字经济发展相对滞后,处于网络中的边缘地位。数字经济强外溢性加剧了经济集聚效应,中心-外围结构更为明显,外围地区竞争力进一步弱化,承接中心地区碳排转移,区域间数字经济对碳排放影响存在竞争效应。数字经济网络中心地区与边缘地区的区位差异导致省份之间的产业转移,中心省份可以不断地从边缘省份获取数字经济的生产要素,通过优化产业结构,将被取代的产业转移到边缘省份,导致边缘地区碳减排效应弱于中心省份[6]。

基于此,本文提出假设2:

当地数字经济网络地位越低越不利于降低空间碳排放(H2)。

已有研究论证数字经济通过经济集聚、能源效率、产业结构和技术创新等作用渠道间接影响碳排放[27-30]综合来看,其中重要的两个间接影响渠道分别是数字经济网络的经济发展机制和能源强度机制。①经济发展机制。数字经济作为重要的经济形态,自身直接具有刺激经济作用。一方面,数字经济网络助力其他产业发展,提高其生产效率,降低其生产成本,带来生产端的碳减排;另一方面,投入-产出共同作用下提升生产部门收益,进而带动产业规模扩张,扩大能源需求,碳排放总量亦随之增加。②能源强度机制。首先,数字经济网络整合信息资源,降低企业搜寻成本,提高企业融资能力;其次,数字经济网络发展提高企业收益,激励企业加大技术研发投入;最后,数字经济网络下资源共享,技术外溢,降低技术门槛。三者共同作用

提升区域整体技术水平。技术水平推动产业高级化、生产集约化，降低整体能源强度，进而降低空间碳排放。但同时，技术进步带来的扩张效应可能导致“能源回弹”。

基于此，本文提出假设 3：

数字经济网络通过影响经济发展和能源强度间接影响空间碳排放（H3）。

数字经济网络对碳排放影响机制理论框架如图 1 所示，其中入度表示省份在网络中的接收关系，出度表示省份在网络中的溢出关系。“出度+入度”表示省份在网络中的总关系数，反映网络发展程度，“入度-出度”表示省份在网络中的净入度，反映省份的网络地位。

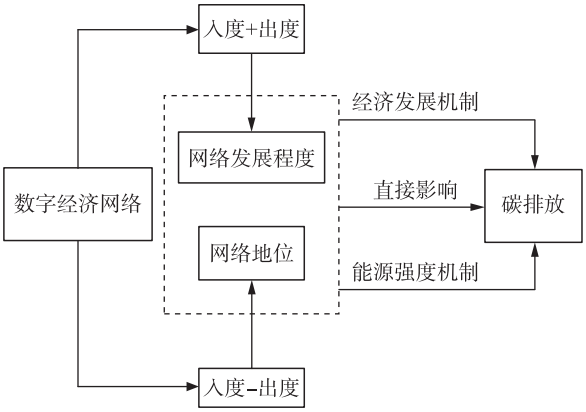


图 1　数字经济网络对碳排放影响机制理论框架

四、方法与数据

（一）模型方法

1. 社会网络分析

社会网络分析最早基于图论发展起来的定量分析方法，用于研究网络社会关系，后被引入经济学研究[31-32]。本文将各个省份抽象为网络节点，省份间数字经济引力强度为网络连接，构建起省际数字经济网络，研究总体网络特征及节点网络地位，分析数字经济网络发展程度及各节点在网络中地位和作用。社会网络分析主要分析方法和指标如表 1 所示。

表 1　社会网络分析主要分析方法和指标

网络特征	指标	指标描述
总体网络特征	网络亲和度	所有实际网络连接的总和，用 M 表示
	网络密度	网络密度 $D=\frac{M}{N(N-1)}$，其中 D 为网络密度，N 为网络中节点数量。密度越高，省际天然气消费关系越密切
	平均距离	平均距离 $D_c=\frac{\sum_{i=1}^{c}M_i}{N_c}$，其中 D_c 为平均距离，N_c 为网络中直接或间接相连的节点数，M_i 为节点 i 到达可连接点的最多路径之和，反映节点关联作用的传递效率
	网络等级度	网络等级度 $H=1-\frac{K}{\mathrm{MAX}(K)}$，其中 H 是层次结构，K 为网络中对称可达点的组数，$\mathrm{MAX}(K)$ 为网络中最大可能可达点的组数。网络等级度越高刚性越强
中心度	程度中心度	程度中心度 $De=\frac{L}{N(N-1)-1}$，其中 De 为程度中心度，L 为与省份直接相关的省份数量。程度中心度越高，省份与网络中其他省份的联系越多，越有可能成为网络的中心
	中间中心度	中间中心度 $C_b=\sum_{j}^{n}\sum_{k}^{n}b_{jk}(i)$，$j\neq k\neq i$，$j<k$，其中 C_b 为中间中心度，$b_{jk}(i)$ 为节点 i 控制节点 j 和 k 之间连接的能力。中间中心度越高的省份对其他省份间数字经济交互的影响越强
	接近中心度	接近中心度 $C_c^{-1}=\sum_{j=1}^{n}d_{ij}$，其中 C_c^{-1} 为接近中心度，d_{ij} 为节点 i 和 j 之间的距离。接近中心度反映了整个网络中每个节点不受其他节点控制的程度
块模型	净收益块	该块从其他块接收到的关系比它向其他块发送的关系要多
	净溢出块	该块向其他块发送关系比它从其他块接收关系更多
	双向溢出块	该块的成员同时发送和接收来自其他块的关系，并且块内成员的关系相对较多
	经纪人块	该块发送和接收来自其他块的关系，并且它与其他块成员有更多的关系

注：方法和指标参照刘军的《整体网分析讲义：UCINET 软件实用指南》[35]。

省份间数字经济引力强度使用引力模型测量。引力模型起源于牛顿万有引力定律。Tinbergen最早提出引力模型,并用于研究国际贸易不对称问题。此后,引力模型被广泛应用于国际贸易、区域经济、跨国投资等各个研究领域,是用于测算空间经济关联的常用方法[33]。本文使用引力模型衡量区域数字经济关联强度。省份间数字经济间同时存在溢出效应和竞争效应,数字经济网络与省份发展程度高度相关,且呈现非对称的特点。借鉴金灿阳等[34]的方法,本文分别构建2011—2021年省份间数字经济引力矩阵。引力强度计算公式如式(1)所示。

$$G_{ij} = k\frac{de_i de_j}{d_{ij}^2},\ k = \frac{de_j}{de_i + de_j} \tag{1}$$

其中:G_{ij} 省份 i 对省份 j 的数字经济引力强度;k 为修正引力常量;de_i 和 de_j 分别为省份 i 和省份 j 的数字经济发展水平;d_{ij} 为省份 i 和省份 j 之间省会城市距离。为消除网络中弱相关关系影响,以2011—2021年数字经济引力强度均值为阈值,对引力矩阵进行二值化处理,引力强度大于均值记为1,小于均值记为0。

2. 空间计量模型

为验证假设H1、假设H2,本文构建如下空间计量模型:

$$cc_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Wcc_{it} + \alpha_2 deg_{it} + \alpha_3 Wdeg_{it} + \alpha_4 X + \alpha_5 WX + u_i + v_t + \varepsilon_{it} \tag{2}$$

$$cc_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Wcc_{it} + \alpha_2 ns_{it} + \alpha_3 Wns_{it} + \alpha_4 X + \alpha_5 WX + u_i + v_t + \varepsilon_{it} \tag{3}$$

其中:cc_{it} 为省份 i 在 t 年的碳排放强度;Wcc_{it} 为碳排放强度的空间滞后项;deg_{it} 和 ns_{it} 分别为数字经济网络发展程度和网络地位;$Wdeg_{it}$ 和 Wns_{it} 为其空间滞后项;X 和 WX 为控制变量及其空间滞后;W 为空间权重矩阵;控制变量包括人口规模、就业结构、对外开放程度、产业结构、环境规制及金融发展水平;$\alpha_0 \sim \alpha_5$ 为待估参数;u_i 为个体固定效应;v_t 为时间固定效应;ε_{it} 为随机扰动项。本文构建了三种空间权重矩阵:经济引力权重矩阵、经济距离权重矩阵和地理距离权重矩阵。经济引力权重矩阵元素表示两省份平均经济引力。经济距离权重矩阵表示两省份GDP均值差的绝对值倒数。地理距离权重矩阵表示两省份省会最近距离倒数。

为进一步探讨数字经济网络对碳排放间接效应,分别研究经济发展机制和能源强度机制的间接传导机制,模型形式如下:

$$med_{it} = \delta_0 + \delta_1 Wmed_{it} + \delta_2 deg_{it} + \delta_3 Wdeg_{it} + \delta_4 X + \delta_5 WX + u_i + v_t + \varepsilon_{it} \tag{4}$$

$$med_{it} = \delta_0 + \delta_1 Wmed_{it} + \delta_2 ns_{it} + \delta_3 Wns_{it} + \delta_4 X + \delta_5 WX + u_i + v_t + \varepsilon_{it} \tag{5}$$

其中:med_{it} 为机制变量,包括经济发展和能源强度;$\delta_0 \sim \delta_5$ 为待估参数。

(二)变量选取与数据来源

1. 被解释变量

碳排放强度(cc)。实现“双碳”目标要求保证经济平稳发展的同时实现减排目标,其关键在于降低碳排放强度。本文使用碳排放强度作为碳排放的主要指标,使用省级碳排放量与GDP的比重进行衡量。其中,碳排放量数据来源于CEADs(Carbon Emission Account and Datasets)数据库(即中国碳核算数据库)[36-39]。

2. 解释变量

本文参考庞瑞芝等[40]、汪晓文等[41],从数字经济基础设施、应用程度、发展程度三个方面出发,结合熵权法和Topsis法构建数字经济发展水平评价体系,合理测度数字经济实际发展水平(de)。数字经济发展水平测度评价指标体系如表2所示。数字经济网络入程度中心度和出程度中心度(以下简称“入度”和“出度”)基于社会网络分析方法计算而得,计算方式如表1所示。其中,入度表示省份在网络中的接收关系,出度表示省份在网络中的溢出关系。出度和入度均较高的省份是网络中联系最多的省份,处于网络中心地位;拥有较高出度的省份在网络中处于优势地位,入度较高的省份在网络中处于劣势地位,入度出度均较低的省份是网络中边缘地位。

数字经济网络发展程度(deg):使用省份总关系数表示,即入度和出度之和。网络关系数越多说明省份网络发展程度越高。数字经济网络地位(ns):使用省份净入度表示,即入度和出度之差。该指标为负向指标,净入度越高,说明省份主要为接收关系,省份在网络中地位越低。

3. 控制变量

参照张争妍和李豫新[21]的做法,并引入政策因素,从人口、经济、技术和政策4个角度出发引入相关控

制变量。人口因素用人口规模和就业结构衡量：人口规模（*pop*）使用年末人口数表示；就业结构（*es*）使用非农就业人口占比表示。经济因素用人均 GDP、产业结构、对外开放程度和金融发展水平衡量：人均 GDP（*pgdp*）使用实际 GDP 与年末人口比值表示；产业结构（*str*）使用第三产业增加值与第二产业增加值比值表示；对外开放程度（*open*）用进出口总额与 GDP 的比值表示；金融发展水平（*fin*）用银行业金融机构各项贷款余额与 GDP 的比值表示[42]。技术因素用能源强度衡量：能源强度（*ei*）使用单位 GDP 能耗表示。政策因素使用环境规制衡量：环境规制（*er*）用工业污染治理投资额占 GDP 比重表示[43]。

表 2　数字经济发展水平评价指标体系

变量	一级指标	二级指标及单位
数字经济发展水平	数字经济基础设施	电信业务总量（亿元）
		互联网宽带接入端口（万个）
		光缆线路长度（千米）
		移动电话基站（万个）
	数字经济应用程度	每百家企业拥有网站数（个）
		移动电话普及率（部每百人）
		快递业务收入（万元）
		互联网宽带接入用户（万户）
	数字经济发展程度	研究与试验发展（R&D）经费投入强度（%）
		软件产品收入（亿元）

4. 数据来源

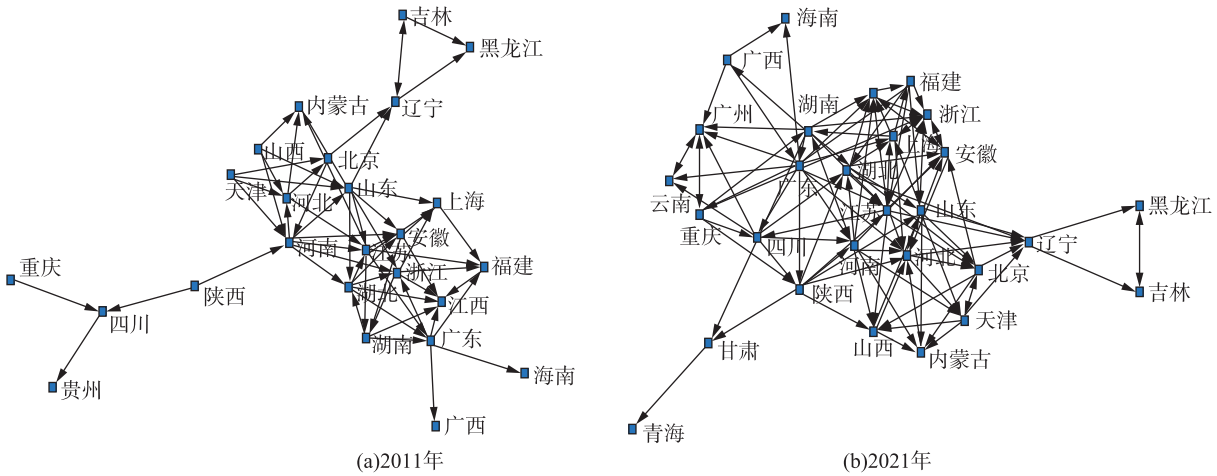
基于数据可得性与统计口径的一致性，本文选取了 30 个省份（因数据缺失，未含西藏地区及港澳台地区）2011—2021 年面板数据作为研究对象。数字经济网络相关指标根据社会网络分析结果计算得到，其余数据主要来自国家统计局、各省统计年鉴和 CNRDS 数据库。货币指标以 2011 年为基期按居民消费价格指数（consumer price index，CPI）进行平减，部分缺失值使用线性趋势插值法补充。为减少异方差，降低数据离散程度，除解释变量外，其他所有变量均加一取自然对数处理。

五、实证结果分析

（一）数字经济网络分析

1. 整体网络特征

基于引力模型的数字经济网络及其总体特征分别如图 2 和表 3 所示。2011—2021 年数字经济网络快速发展，网络中的连接数（网络亲和度）除 2021 年有所下降外均保持上升趋势，由 2011 年 108 条上升到 2021 年 204 条，对应网络密度从 2011 年 0.124 上升到 2021 年 0.234。网络中最大可能的连接数为 930 条，2021 年仅存在 23.4%的连接数。由此可见，数字经济整体网络发展仍然不够充分，特别是新疆、宁夏、云南等



(a)2011年　　(b)2021年

图 2　2011 年、2021 年数字经济网络图

表3 部分年份数字经济网络总体特征

数字经济网络指标	2011年	2014年	2017年	2020年	2021年
网络亲和度	108	147	168	210	204
网络密度	0.124	0.169	0.193	0.241	0.234
平均距离	2.493	2.391	2.307	2.044	2.132
网络等级度	0.222	0.217	0.316	0.202	0.202

西部省份长期处于网络中的边缘位置,网络连接数少。其中,新疆、宁夏在2021年仍处于网络中的孤立位置,说明其数字经济发展滞缓,并且没有享受到数字经济网络的正向外部性。网络中平均距离由2011年2.493缓慢下降到2.132,说明网络连通性不够强,只在少部分区域间发展迅速,边缘地区参与度仍然不高。另外,网络等级度总体呈现先上升后下降的趋势。网络等级度是网络对称关系的指标,网络等级度越高说明网络主要为单向溢出,反之说明网络节点间大多为双向溢出关系。网络等级度的短期波动,反映了数字经济发展由中心地区向周边地区扩散,进而向边缘地区扩散的趋势。

2. 节点中心度分析

2021年省份间数字经济网络节点中心度相关指标如表4所示。广东、江苏、山东等中东部地区省份数字经济发展总体规模大,拥有较高的入度和出度,处于网络的中心地位。宁夏、青海、新疆、海南等地区数字经济发展落后,入度和出度均较低,处于网络中的边缘位置。其中,新疆、宁夏仍处于孤立点位置,与其余省份均未表现出强关联关系。接近中心度反映节点不受其他节点控制的程度。出度较高的省份出接近中心度

表4 2021年数字经济网络节点中心度

省份	出度	入度	出接近中心度	入接近中心度	中间中心度
广东	18	8	53	81	78.709
江苏	17	12	52	76	52.933
山东	17	13	52	73	107.066
河南	14	15	58	73	52.645
湖南	12	12	59	75	71.162
河北	11	14	62	72	65.607
湖北	11	13	60	75	16.451
浙江	11	10	62	79	4.544
安徽	10	12	65	76	7.932
上海	10	5	65	88	0.000
北京	9	5	67	87	1.589
江西	8	10	65	79	1.363
陕西	8	8	64	78	64.191
四川	8	6	67	84	28.974
福建	7	9	67	80	0.718
天津	7	6	69	84	5.423
辽宁	5	7	72	84	94.000
山西	4	8	74	81	4.797
重庆	4	5	75	87	51.155
广西	3	2	77	96	2.726
贵州	2	6	99	88	28.015
黑龙江	2	2	97	106	0.000
吉林	2	2	97	106	0.000
内蒙古	2	6	87	87	0.000
甘肃	1	2	197	94	25.000
云南	1	3	125	93	0.000
海南	0	2	203	98	0.000
宁夏	0	0	203	203	0.000
青海	0	1	203	113	0.000
新疆	0	0	203	203	0.000

大多低于入接近中心度，说明其主要表现为溢出关系，在网络中占主导地位。出度较低的省份出接近中心度大多高于入接近中心度，主要表现为接收关系，在网络中占弱势地位。山东、辽宁、广东、湖南、河北、陕西拥有最高的中间中心度。这些省份地理位置优越，不仅自身数字经济表现出极强的外溢性，同时在网络中也承担了桥梁作用，增强了周边地区之间的联系。山东、广东、河北处于网络中心位置，辽宁是东北地区数字经济枢纽，湖南承担连接中东西部地区的作用，陕西处在西北地区与网络中心联系的关键地位。

3. 块模型分析

基于 CONCOR 算法，集中标准设为 0.2，最大分割深度设为 2，将全国各省份划分为以下 4 个板块①。块模型分析结果如表 5 和表 6 所示。板块内关系数为 131，板块外关系数为 71，表明各板块间关联不充分，溢出效应不够明显。各板块实际内部关系比均远高于期望内部关系比，省份间关联关系主要发生在板块内部，板块间关联较少。这说明中国数字经济网络区域特征明显，但区域间联系不够紧密，仍存在一定壁垒。其中板块一关系数最多，是数字经济网络最为发达的地区，且板块外溢出关系数远大于板块外接收关系数，属于净溢出板块。板块二数字经济网络较为发达，板块外溢出关系数小于板块外接收关系数，属于净收益板块。板块三板块外溢出关系数远小于板块外接收关系数，同样属于净收益板块，但其网络发展程度远小于板块二。板块四内部关系数和外部关系数都很少，是网络最不发达的地区，处于网络边缘位置。

表 5　块模型接收关系

板块	接收关系数				板块成员数
	板块一	板块二	板块三	板块四	
板块一	97	26	12	0	11
板块二	17	24	3	2	7
板块三	5	2	8	1	7
板块四	0	2	1	2	5

表 6　块模型内外关系分析

期望内部关系比(%)	实际内部关系比(%)	板块外溢出关系数	板块外接收关系数	板块功能
35.714	71.852	38	22	净溢出板块
21.429	52.174	22	30	净收益板块
21.429	50.000	8	16	净收益板块
14.286	40.000	3	3	双向溢出板块

基于板块间关联密度和网络平均密度构建数字经济网络像矩阵，关联密度大于网络平均密度记为 1，否则记为 0。像矩阵结果如表 7 所示。仅板块一、板块二内部及其相互关联密度大于网络平均密度，说明板块一、板块二数字经济网络发展较好，板块三、板块四内部外部关系均低于网络平均水平，网络发展滞后。这说明当前中国数字经济发展区域差异较大。

表 7　像矩阵

板块	板块一	板块二	板块三	板块四
板块一	1	1	0	0
板块二	1	1	0	0
板块三	0	0	0	0
板块四	0	0	0	0

（二）数字经济网络对碳排放强度影响

1. 数字经济网络的直接效应

首先进行空间相关性检验②，2011—2021 年碳排放强度和数字经济网络发展水平的莫兰指数（Moran's *I*）均在 1%显著性水平下显著，即认为碳排放存在明显的正向空间自相关关系，应该使用空间计量模型。基于最小二乘估计进行空间相关性检验。使用数字经济网络发展水平作为解释变量时 LM error、LM lag 检验结果分别为 30.594、9.350，均在 1%显著性水平下显著，认为存在空间滞后项和空间误差项，初步考虑使用空间杜宾模型。针对空间自回归模型、空间误差模型的 LR 检验结果分别为 18.44、22.67，分别在 5%、1%显著性水平下显著，认为空间杜宾模型不会退化为空间自回归模型和空间误差模型，即使用空间杜宾模型形式。在使用数字经济网络地位作为解释变量时，LM error、LM lag 检验结果分别为 33.528、8.961，均在 1%显著性水平下显著，认为存在空间滞后项和空间误差项，但 Moran's *I* 表明网络地位不存在明显的空间聚集，因此采用空间自相关模型作为基准模型形式。同时报告了不考虑空间关联的面板模型，模型回归结果如表 8 所示。

表 8 的回归结果显示，区域碳排放强度存在明显的正向相关性，使用两种解释变量回归时碳排放强度空

① 板块一成员有安徽、江苏、陕西、福建、广东、上海、湖北、湖南、江西、浙江、山东；板块二成员为北京、天津、河北、山西、河南、辽宁、内蒙古；板块三成员为宁夏、甘肃、青海、黑龙江、吉林、新疆；板块四成员为广西、贵州、四川、重庆、海南、云南。

② 限于篇幅未展示空间相关性检验结果。

间滞后项系数分别为0.251、0.469,分别在1%和5%显著性水平下显著。数字经济网络发展程度显著降低了碳排放强度,这一结果在1%显著性水平下显著,这验证了假设H1。网络发展程度对碳排放强度的空间效应并不显著,可能的原因是网络中同时存在溢出效应和竞争效应,两者影响相反,前者能降低周边地区碳排放,而后者增加周边地区碳排放。而数字经济网络地位显著增加了碳排放强度,这一结果在1%显著性水平下显著,说明网络地位低的省份承接了网络中心的省份的污染转移,这验证了假设H2。

表8 基准回归结果

变量	固定效应模型	空间杜宾模型	固定效应模型	空间自相关模型
W. ln*cc*		0.251**(0.098)		0.469***(0.119)
deg	−0.015***(0.005)	−0.014***(0.003)		
ns			0.025*(0.013)	0.026***(0.005)
W. *deg*		0.004(0.009)		
lambda				−0.306*(0.173)
控制变量	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是
样本量	330	330	330	330

注:*、**、*** 分别表示在10%、5%、1%的水平上显著;括号内为稳健标准误。

2. 数字经济网络影响的机制分析

以往研究对作用机制的分析多参照温忠麟和叶宝娟[44]提出的三步法检验步骤。但根据江艇[45]指出传统的机制效应逐步检验分析方法会产生明显的内生性问题,可能使机制效应估计结果出现偏误。本文参照江艇[45]建议的检验步骤进行机制分析。一是,通过理论分析探讨经济发展和能源强度对碳排放强度的影响;二是,通过回归检验数字经济对经济发展和能源强度的影响,以此降低估计过程的偏误,从而克服原有机制检验方法的缺陷。

机制检验结果如表9所示。经济发展机制检验结果表明,数字经济网络发展能够显著提升当地经济发展。已有研究表明,当前经济发展与碳排放强度处于"脱钩"阶段,经济发展绿色化程度提升,降低碳排放强度[46-48]。而网络地位对经济发展具有负向影响,这说明网络边缘地区经济发展由于竞争劣势受到一定程度抑制,不利于当地碳减排。能源强度机制检验结果表明,数字经济网络发展能够有效降低当地能源强度,而能源强度对碳排放强度具有正向影响,即网络发展通过降低能源强度间接降低碳排放强度。而网络地位对能源强度具有正向影响,网络边缘地区承接了大量网络中心地区高污染产业转移,网络地位越低这一作用越明显。这一作用提高了当地能源强度,间接增加碳排放。

表9 作用机制检验

变量	ln*pgdp*	ln*ei*	ln*pgdp*	ln*ei*
ln*pgdp*				
deg	0.007***(0.001)	−0.009***(0.002)		
ns			−0.004*(0.002)	0.008***(0.003)
W. ln*cc*	0.706***(0.062)	0.352***(0.100)	0.268**(0.125)	0.472***(0.102)
lambda			0.579***(0.135)	0.024(0.145)
控制变量	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是
样本量	330	330	330	330

注:*、**、*** 分别表示在10%、5%、1%的水平上显著;括号内为稳健标准误。

3. 稳健性检验

本文使用三种方式检验结论稳健性。一是替换被解释变量。分别使用人均碳排放量和碳排放总量检验结果稳健性。二是更换权重矩阵。分别使用地理距离矩阵和经济距离矩阵进行稳健性检验。三是更换模型形式。考虑到省份可能迫于碳减排压力加快产业转型和数字化发展,为应对模型可能存在的内生性问题,使用解释变量滞后1期重新回归。

稳健性检验结果如表 10 和表 11 所示。在使用人均碳排放量和碳排放总量时，数字经济网络发展程度和网络地位对碳排放影响仍然显著，且与基准回归保持一致。尽管空间自相关系数变得不显著，但使用非空间模型结果与空间计量模型结果一致，稳健性检验结果仍具有可信度。在更换空间权重矩阵后，数字经济网络发展程度及数字经济网络地位对碳排放强度影响依然稳定，说明结论具备一定稳健性。使用滞后 1 期作为工具变量时，Kleibergen-Paap rk LM 统计量和 Kleibergen-Paap rk Wald *F* 统计量均显著拒绝原假设，即认为不存在不可识别和弱工具变量问题。工具变量法估计结果与基准回归一致，说明内生性问题得到较好控制。

表 10　稳健性检验——替换被解释变量

变量	人均碳排放作为被解释变量		碳排放总量作为被解释变量	
deg	−0.003***（0.001）		−0.014***（0.004）	
ns		0.005***（0.001）		0.029***（0.006）
W. lncc	0.050（0.114）	0.344***（0.130）	−0.137（0.116）	0.061（0.146）
lambda		−0.459***（0.172）		−0.229（0.166）
控制变量	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是
样本量	330	330	330	330

注：*、**、*** 分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著；括号内为稳健标准误。

表 11　稳健性检验——更换权重矩阵

变量	解释变量滞后 1 期		替换权重矩阵			
			地理距离矩阵		经济距离矩阵	
deg	−0.024***（0.004）		−0.013***（0.003）		−0.013***（0.004）	
ns		0.028*（0.016）		0.023***（0.006）		0.021***（0.005）
W. lncc			0.362***（0.081）	0.487***（0.125）	−0.188*（0.097）	−0.812***（0.100）
lambda				−0.004（0.185）		0.850***（0.037）
控制变量	是	是	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	330	330	330	330	330	330

注：*、**、*** 分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著；括号内为稳健标准误。

六、结论和政策与建议

本文将数字经济网络引入研究框架，分析了数字经济网络发展水平和网络地位对碳排放强度的直接效应和作用机制。基于 2011—2021 年各省数字经济发展水平，应用社会网络分析方法构建数字经济网络，结合空间杜宾模型对理论进行检验。主要结论如下。

第一，区域数字经济发展水平差异显著。2011—2021 年数字经济网络规模和网络密度平稳增长，但仍表现为区域性集聚，区域间联系不够紧密。整体数字经济发展程度仍不够充分，2021 年网络密度仅为 0.234。广东、江苏、山东等处于数字经济网络中心地位，新疆、宁夏等处于网络边缘地位。基于网络关系可将网络分为 4 个内部联系较为密切的板块，其中板块一是数字经济网络最为发达的地区；板块二、板块三板块外溢出关系数远小于板块外接收关系数，属于净收益板块；板块四是网络最不发达的地区，处于网络边缘位置。

第二，数字经济网络发展程度对碳排放强度具有负向的直接影响，省份在网络中的连接数越多，网络发展程度越高，越处于网络中心位置，越能通过资源流动、技术共享促进碳减排。处于网络中心位置的省份形成数字经济集聚，促进了相关产业在区域内集中不断发展壮大，进而更大程度促进碳减排。同时，数字经济网络发展能提升通过降低能源强度和促进经济发展两个渠道间接降低碳排放强度。

第三，数字经济网络地位能显著影响碳排放强度，边缘地区碳减排效应弱于中心地区。数字经济强外溢性使得外围地区竞争力进一步弱化，承接中心地区碳排转移。区域间数字经济对碳排放影响存在竞争效

应。中心省份可以不断地从边缘省份获取数字经济的生产要素,通过优化产业结构,将被取代的产业转移到边缘省份,导致边缘地区碳减排效应弱于中心省份。这一作用同时通过提高能源强度和抑制经济发展两个渠道间接影响碳排放强度。

基于以上研究结论提出政策建议如下。

第一,在着力于数字经济总体规模提升的同时,需要提升数字经济区域协调发展水平,打破区域数字经济发展壁垒,实现更大范围的数字经济网络连通。利用数字经济强溢出性特点,以发达地区优势产业优势技术支援带动落后地区共同发展,实现更高质量更协调可持续的发展。要从全局出发,树立系统观念,完善相关支撑政策机制,提高要素、技术、人才等资源区域流动性,推动区域主体间的合作交流,打造完善的数字经济关联网络。同时,根据各省在数字经济网络中的差异化网络地位,因地制宜提出适合当地发展的碳减排措施。特别是对于新疆、宁夏等西部数字经济发展落后省份,要充分学习东部省份先进发展模式,加强与东部中心省份联系的同时,加强区域范围内数字经济合作发展。

第二,数字经济网络发展为经济低碳绿色转型提供了良方。应继续完善数字经济网络,推动数字经济更好服务于实体经济绿色发展,跳出产能过度扩张陷阱。加快数字基础设施建设,提升基础设施数字化、智能化和网络化水平,以此充分发挥数字经济网络促进碳减排的重要作用。同时,充分利用数字经济网络降低能源强度进而降低碳排放强度这一减排渠道,以数字技术推动传统生产模式革新,利用数字产业化和产业数字化方式,推动整体产业绿色化转型,降低能源强度和碳排放强度。同时,以数字经济发展为依托,强化绿色技术的良性溢出效应,带动提升整体生产效率,形成经济增长与环境治理的良性循环。

第三,正确处理区域竞合关系,更多发挥数字经济网络溢出效应的减排作用。在考虑数字经济网络结构基础上,从宏观层面整体设计网络中各省份的减排工作。对于处于网络中心位置的省份:一方面,要充分利用数字经济集聚效应的优势,加快数字经济相关产业的发展;另一方面,应充分发挥数字经济的辐射作用,使资源合理配置,向周边省份转移。对于网络中心周边的外围省份:一方面,应鼓励跨区域数字贸易,建立数字经济联系,提高省份在网络中的地位;另一方面,在控制排放的前提下,妥善处理中心省份的产业转型,并进行转型,以保持自身的发展势头。对于处于网络孤立位置的省份,应加大政策扶持力度,建立与中心省份和周边省份的数字经济联系,利用区域技术和知识示范带动全区域全行业绿色化程度共同提升,构建联合控排机制,实现区域联合减排,为实现“双碳”目标提供助力。

参考文献

[1] 冯兰刚, 阳文丽, 王忠, 等. 中国数字经济与城市碳排放强度: 时空演化与作用机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(1): 150-160.

[2] 张明斗, 翁爱华. 数字经济空间关联网络的产业结构变迁效应研究——基于网络节点中心性分析视角[J]. 产业经济研究, 2022(6): 129-142.

[3] 许恒, 张一林, 曹雨佳. 数字经济、技术溢出与动态竞合政策[J]. 管理世界, 2020, 36(11): 63-79.

[4] 于良春, 宫园园. 数字经济、地区性行政垄断与产业过度同构化[J]. 当代财经, 2023(10): 109-120.

[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?[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2022, 42(5): 87-97.

[6] ZHONG K, FU H, LI T. Can the digital economy facilitate carbon emissions decoupling? An empirical study based on provincial data in China [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(11): 6800.

[7] 董瑞媛, 周晓唯. 数字经济与碳排放的脱钩水平及其空间关联网络特征[J]. 统计与决策, 2023, 39(18): 129-133.

[8] 许宪春, 张美慧. 中国数字经济规模测算研究——基于国际比较的视角[J]. 中国工业经济, 2020(5): 23-41.

[9] DONG F, HU M, GAO Y, et al. How does digital economy affect carbon emissions? Evidence from global 60 countries[J]. Science of the Total Environment, 2022, 852: 158401.

[10] 杨航英, 强永昌. 数字经济如何影响城市出口产品质量——基于长三角地区数据的实证分析[J]. 技术经济, 2024, 43(4): 26-37.

[11] 陈梦根, 张鑫. 中国数字经济规模测度与生产率分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(1): 3-27.

[12] 马丹, 唐佳琦, 何雅兴. 投入产出框架下中国产品部门投入数字化程度的测算、分解及质量效应研究[J]. 统计研究, 2022, 39(12): 3-21.

[13] 王振涛, 许英. 我国数字经济空间关联网络结构特征及其效应分析——基于社会网络分析[J]. 金融经济, 2022(10): 29-42.

[14] 李磊, 袁世昌. 数字经济空间关联与区域经济增长——来自中国省域层面的经验证据[J]. 新疆财经大学学报, 2024(3): 28-39.

[15] 徐妍，张玉冰. “促进”还是“阻碍”：数字经济空间关联网络对碳排放绩效的影响[J]. 环境科学，2025，46(1)：76-87.
[16] GUO B，WANG Y，ZHANG H，et al. Impact of the digital economy on high-quality urban economic development：Evidence from Chinese cities[J]. Economic Modelling，2023，120：106194.
[17] 李平，方健. 环境规制、数字经济与企业绿色创新[J]. 统计与决策，2023，39(5)：158-163.
[18] LÜ Y，WANG W，WU Y，et al. How does digital economy affect green total factor productivity? Evidence from China[J]. Science of The Total Environment，2023，857：159428.
[19] WU B，YANG W. Empirical test of the impact of the digital economy on China’s employment structure[J]. Finance Research Letters，2022，49：103047.
[20] 陈东，郭文光. 数字化转型、工资增长与企业间收入差距——兼论“灯塔工厂”的行业引导效应[J]. 财经研究，2023，49(4)：50-64.
[21] 张争妍，李豫新. 数字经济对我国碳排放的影响研究[J]. 财经理论与实践，2022，43(5)：146-154.
[22] SUN J，WU X. Research on the mechanism and countermeasures of digital economy development promoting carbon emission reduction in Jiangxi province[J]. Environmental Research Communications，2023，5(3)：035002.
[23] YI M，LIU Y，SHENG M S，et al. Effects of digital economy on carbon emission reduction：New evidence from China[J]. Energy Policy，2022，171：113271.
[24] LIU L，ZHANG Y，GONG X，et al. Impact of digital economy development on carbon emission efficiency：A spatial econometric analysis based on chinese provinces and cities[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health，2022，19(22)：14838.
[25] 董昕，张朝辉. 数字经济、城市空间结构与碳排放效率[J]. 城市问题，2023(8)：15-25.
[26] 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.
[27] 佘群芝，吴柳，郑洁. 数字经济、经济聚集与碳排放[J]. 统计与决策，2022，38(21)：5-10.
[28] ZHANG L，MU R，ZHAN Y，et al. Digital economy，energy efficiency，and carbon emissions：Evidence from provincial panel data in China[J]. Science of the Total Environment，2022，852：158403.
[29] ZHU Z，LIU B，YU Z，et al. Effects of the digital economy on carbon emissions：Evidence from China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health，2022，19(15)：9450.
[30] LI Z，WANG J. The dynamic impact of digital economy on carbon emission reduction：Evidence city-level empirical data in China[J]. Journal of Cleaner Production，2022，351：131570.
[31] 沈丽，刘媛. 全球政府债务风险的跨国传导网络结构及其解释[J]. 当代财经，2020(4)：38-51.
[32] 刘英恒太，杨丽娜. 中国数字经济产出的空间关联网络结构与影响因素研究[J]. 技术经济，2021，40(9)：137-145.
[33] 余海华. 中国数字经济空间关联及其驱动因素研究[J]. 统计与信息论坛，2021，36(9)：23-34，44.
[34] 金灿阳，徐蔼婷，邱可阳. 中国省域数字经济发展水平测度及其空间关联研究[J]. 统计与信息论坛，2022，37(6)：11-21.
[35] 刘军. 整体网分析-UCINET 软件实用指南(第 2 版)[M]. 上海：格致出版社，2014.
[36] SHAN Y，LIU J，LIU Z，et al. New provincial CO_2 emission inventories in China based on apparent energy consumption data and updated emission factors[J]. Applied Energy，2016，184：742-750.
[37] SHAN Y，GUAN D，ZHENG H，et al. China CO_2 emission accounts 1997—2015[J]. Scientific Data，2018，5(1)：1-14.
[38] SHAN Y，HUANG Q，GUAN D，et al. China CO_2 emission accounts 2016—2017[J]. Scientific Data，2020，7(1)：54.
[39] GUAN Y，SHAN Y，HUANG Q，et al. Assessment to China’s recent emission pattern shifts[J]. Earth’s Future，2021，9(11)：e2021EF002241.
[40] 庞瑞芝，张帅，王群勇. 数字化能提升环境治理绩效吗？——来自省际面板数据的经验证据[J]. 西安交通大学学报(社会科学版)，2021，41(5)：1-10.
[41] 汪晓文，陈明月，陈南旭. 数字经济、绿色技术创新与产业结构升级[J]. 经济问题，2023(1)：19-28.
[42] 吴昌南，田凌峰. 数字经济、碳全要素生产率与城市低碳发展[J]. 当代财经，2024(9)：111-125.
[43] 阳立高，邬佩云，韩峰. 数字产业与制造业协同集聚对企业绿色创新的影响研究[J]. 财经理论与实践，2024，45(3)：131-138.
[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] 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.
[46] 曾鹏，段至诚，宗成. 中国城市群经济高质量发展与碳排放强度的解耦态势及差异分解[J]. 统计与决策，2024，40(16)：117-121.
[47] 左晓慧，钱鹏程. 数字经济发展赋能碳减排的影响研究[J]. 税务与经济，2024(5)：54-63.
[48] 王娇，孙慧，廖振良. 数字经济赋能、双碳发展绩效与区域协调效应[J]. 经济问题探索，2024(5)：125-148.

The Development of China's Digital Economy Network and the Construction of Green China: Evidence Based on Carbon Emission Reduction

Lai Xiaodong, Xie Guo

(School of Economics & Management, South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Based on the development level of digital economy in each province from 2011 to 2021, social network analysis was conducted to build an inter provincial digital economy network, the characteristics of digital economy network was analyzed, and the impact of digital economy development level and digital economy network status on spatial carbon emissions were further explored. Research finds that the digital economy network in China developed rapidly, Guangdong, Jiangsu, and Shandong occupy a central position in the network. The development of the internet is characterized by the diffusion from the center to the surrounding areas and then to the periphery. The digital economy network can significantly affect carbon emissions. The higher the level of development of the local digital economy network, the more conducive it is to promoting carbon reduction, while the lower the status of the digital economy network, the less conducive it is to promoting carbon reduction. Economic development and energy intensity are important indirect channels through which the digital economy network affects carbon emissions. Therefore, the formulation of relevant policies should attach great importance to the differences of regional digital economy by means of the measures like information sharing, technology spillover, and resource allocation. The network effect of the digital economy should be leveraged to achieve coordinated development among regions in the digital economy and effectively promote carbon reduction.

Keywords: digital economy network; space carbon emission; social network analysis; spatial Durbin model