

数字经济对城市群工业低碳协同的 赋能与治理

钟成林¹, 张 迁¹, 贾俊松²

(1. 江西师范大学 财政金融学院, 江西 南昌 330022;

2. 江西师范大学 地理与环境学院, 江西 南昌 330022)

摘要: 城市群工业低碳协同是工业低碳协同的高级形态, 对中国“双碳”目标的顺利实现及区域经济高质量发展具有重要战略意义。本文从数字经济视角出发, 对城市群工业低碳协同的赋能机制与治理困境进行系统探讨。研究结果显示: 数字经济对城市群工业低碳协同具有重要赋能作用, 且具有多维特性, 不同赋能路径的实现机制存在显著差别。具体而言, 微观赋能路径的实现主要依靠工业低碳技术交易机制、协同创新机制, 以及基于工业设备运维与企业内部能源利用管理的市场竞争机制; 中观赋能路径的实现主要落脚在跨区域价值链与能源供应网络两类实体领域, 并将通过价值链的“链式协同”机制与能源供应网络的“网络协同”机制助推城市群工业低碳协同; 宏观赋能路径的实现则主要得益于工业低碳政策投资诱导机制与消费促进机制。进一步研究发现, 当前数字经济对城市群工业低碳协同赋能作用的发挥仍面临着赋能对象的“数字鸿沟”、赋能过程的“转型成本障碍”及赋能路径体系的“结构性失衡”等治理困境, 本文对此提出了相应的政策建议。

关键词: 数字经济; 城市群; 工业低碳; 协同发展

中图分类号: F061.5; F062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-176X(2024)07-0088-14

一、问题的提出

随着工业化进程的持续快速推进, 中国工业经济飞速发展, 工业增加值快速扩张, 由1978年的不足2000亿元提高到2022年的40万亿元。中国工业体系日益完备, 实现了联合国产业分类目录的全覆盖。品牌影响力和世界竞争力不断攀升, 2023年入围《世界品牌500强》和《财富》世界500强的中国工业企业数量分别为22家和94家, 分别占中国入围企业总数的1/2和2/3。但是, 工业经济的快速发展也导致大量的化石能源消耗和碳排放, 中国碳核算数据库的统计结果显示, 1997—2019年, 中国工业碳排放总量持续攀升, 从1997年的24.1亿吨增加至2019年的83.2

收稿日期: 2024-01-25

基金项目: 国家自然科学基金地区项目“混频异构数据下空气污染物减排与温室气体减排协同效应的量化测度及优化控制”(72264016)

作者简介: 钟成林(1988-), 男, 江西宜春人, 副教授, 博士, 主要从事数字经济与发展经济研究。E-mail: 310327129@qq.com

张 迁(1998-), 女, 甘肃定西人, 硕士研究生, 主要从事供应链管理研究。E-mail: 1978233679@qq.com

贾俊松(1981-), 男, 江西宜春人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事低碳经济研究。E-mail: jiaaniu@126.com

亿吨,年均增长5.8个百分点。工业碳排放的相对份额也长期居高不下,1997—2019年,中国工业碳排放占比高达84.5%。从变化趋势看,2012年党的十八大召开以来,工业碳排放占比有所收窄,但仍长期位居84.0%以上的高位。工业经济高速发展引发的巨量化石能源消耗和碳排放不仅给中国的能源安全带来了巨大挑战,也为中国“双碳”目标的实现施加了巨大压力。如何推动工业低碳发展已成为中国破解“双碳”难题的主攻方向。

从工业低碳实践看,省际工业低碳发展水平并不平衡,2019年中国工业碳排放平均强度为2.5万吨/亿元,宁夏的碳排放强度最高,达10.2万吨/亿元,约为全国平均水平的4倍,是最低省份江西的11.7倍。除此之外,新疆、青海、辽宁、山东、甘肃和内蒙古等六省份的碳排放强度均超过了5.0万吨/亿元,约为全国平均水平的两倍。在此背景下,如何刺激先进低碳技术扩散,推动区域工业低碳协同是未来中国“双碳”发展的主攻方向,而城市群作为区域经济发展的“推动性单元”,对区域协同降碳具有引领性作用,如何挖掘城市群的降碳潜力正日益成为区域协同降碳的前沿课题。

二、文献综述

工业碳排放作为一个复杂的环境经济现象,具有典型的区域博弈特性,一个地区的工业低碳转型不仅会对自身的碳减排绩效产生直接影响,而且会对关联地区的工业低碳转型产生间接作用。因此,本文将工业低碳发展的正向空间外溢现象称为区域工业低碳协同。经梳理发现,当前国内外对工业低碳协同及其与数字经济之间关系的研究主要集中在如下三个方面:

一是低碳协同的表现形式。根据协同对象与协同内容的不同,可将低碳协同分为三类。第一类,“碳—非碳”系统之间的过程协同,如碳污协同、经济发展与低碳发展协同、经济效益与低碳利益协同^[1-3]。第二类,“碳—非碳”系统之间的政策协同,如智慧城市试点与低碳城市试点政策协同、创新试点与低碳城市试点政策协同^[4-5]。第三类,产业链不同节点或不同产业之间的“碳—碳”协同,如供应链上下游企业之间的低碳协同、产业链创新要素之间的低碳协同、产业集聚的低碳协同^[6-8]。

二是数字经济对碳减排的影响。当前学术界对数字经济的碳减排效应尚未达成共识,部分学者认为,数字经济有利于促进碳减排,技术进步、技术多样性增加、能源利用效率与碳交易效率提升,以及产业结构优化等是其内在实现逻辑^[9-12]。与此相对,部分学者则认为,数字经济不利于碳减排,依据主要是当前中国数字产业的发展方式较为粗放,碳排放量占比较高,且在不断攀升^[13]。此外,其他学者的研究表明,数字经济的碳减排效应并不稳定,最终减排效果会因经济发展、产业集聚、能源利用强度及场景而异^[14-16]。

三是数字经济对协调发展的影响。数字经济作为一种普惠型经济发展模式,将推动“企业—产业—区域”各层级的协调发展。戴翔和杨双至^[17]的研究表明,数字经济对制造业绿色转型的赋能作用会通过产业链外溢至上下游企业,最终推动整个产业链的绿色协同发展。江小涓和靳景^[18]的研究为上述结论提供了新的证据,研究指出数字经济向消费全域和生产全链赋能将提升企业的全域全链业务贯通能力,提高各类产业(或平台)的协作效率。郭峰等^[19]将研究视角拓展至区域层面,并对数字经济发展的空间经济后果进行了系统探讨,研究结果显示,数字经济将缓解行政分割的弊端,克服地理障碍的限制,引导产业投资从中心城市向边缘地区扩散,推动整个区域的协同增长。

国内外学者分别从低碳协同的表现形式、数字经济对碳减排和协同发展的影响等角度开展了大量研究,但在如下两个方面仍有待完善:

一是对工业低碳协同发展的研究主要从平面视角出发,考察的是同一地区特定系统内部的低碳协同现象,很少有研究从空间视角分析不同地区之间的低碳协同问题,以城市群这一新型空间

组织形态为研究对象的分析更是少见。随着区域经济的不断发展, 城市之间的经济社会联系日益紧密, 城市群将成为区域经济的重要组织形态。因此, 有必要将工业低碳协同的研究范围拓展至城市群这一新型空间组织形态。

二是对数字经济赋能工业低碳协同发展的研究分散在制造业、区域低碳及协同发展等领域, 鲜有研究将“工业”“低碳”“协同”三者结合起来。虽然部分学者的研究有所涉及, 但这些研究仅从量化关系角度论证了数字经济对工业低碳发展的空间外溢作用, 并未深入揭示其内在机制。随着“双碳”目标的深入实施及数字经济的不断发展, 如何借助数字经济赋能区域工业低碳协同正成为工业高质量发展的重大现实难题。

为进一步提高数字经济对城市群工业低碳协同的赋能功效, 助力中国“双碳”目标的顺利实现, 推动中国区域经济高质量发展, 本文从微观、中观和宏观三个视角出发, 对数字经济情境下城市群工业低碳协同的提升路径进行系统探讨, 着重考察数字经济赋能城市群工业低碳协同的实现机制及治理困境, 并据此提出针对性较强的治理对策。

三、数字经济对城市群工业低碳协同的赋能路径

根据数字技术承接主体的不同, 可将数字经济赋能城市群工业低碳协同的实现路径分为微观、中观和宏观三个维度, 其数字化表现形式如表1所示。

(一) 微观数字化赋能路径

微观数字化赋能路径以企业为数字技术承接主体, 通过提高企业生产效率的方式实现其赋能功效。从微观数字化发展实践看, 主要有数字化工业低碳技术交易平台、数字化工业低碳技术协同创新平台、数字化工业设备远程运维管理平台, 以及企业级数字化能源利用管理平台等。从赋能过程看, 微观赋能活动主要体现为企业借助大数据、云计算、物联网、区块链及数据孪生等先进数字技术再造企业生产要素的开发利用或管理过程, 推动生产要素开发利用过程数字化, 并通过空间关联和市场竞争等渠道助力城市群工业低碳协同, 即“数字技术→生产要素→生产要素开发利用与管理过程数字化→协同机制→城市群工业低碳协同”。

(二) 中观数字化赋能路径

中观数字化赋能路径以跨区域价值链(供应链、产业链等)和能源供应网络为数字化改造对象, 通过提高跨区域价值链的运作效率或跨区域能源供应网络的网络经济效应等方式强化赋能载体的边际效率。按照系统论的观点, 当价值链或价值网络中特定节点企业的状况发生变化时, 将通过产业关联或网络关联的纽带作用传递给其他企业。因此, 跨区域价值链和价值网络是数字经济赋能城市群工业低碳协同的中观承载主体。从中观数字化实践看, 主要表现为针对各行业的工业互联网平台、以传统能源开发利用过程为赋能对象的传统能源供应网络管理“云”平台, 以及以新能源开发利用过程为赋能对象的新能源供应网络管理“云”平台等。从赋能过程看, 中观赋能活动主要体现为价值链与价值网络中的骨干企业利用先进的数字技术手段(主要包括物联网、“云”、5G、人工智能及区块链等)再造价值链与价值网络的价值运动过程, 密切价值链内各节点的协作关系, 优化价值网络的内部结构, 提高价值链的协作效率和价值网络的网络经济效应, 并在产业关联机制及网络经济效应的作用下推动城市群工业低碳协同^[20], 即“数字技术→价值链和价值网络→价值链和价值网络管理数字化→协同机制→城市群工业低碳协同”。

(三) 宏观数字化赋能路径

宏观数字化赋能路径以工业低碳治理决策为数字化赋能技术承接载体, 通过提高工业低碳治理主体决策能力和决策水平的方式实现其数字化赋能目标。从宏观数字化发展实践看, 其技术实现形式主要体现为各类数字化工业低碳治理平台, 如数字化碳普惠平台、数字化碳排放管理平台、数字化碳金融市场等。从赋能过程看, 宏观赋能活动集中体现为政府部门借助数字技术辅助

工业低碳决策，并通过网络经济效应及市场竞争机制等促进城市群工业低碳协同，即“数字技术→工业低碳治理决策→工业低碳政策制定数字化→协同机制→城市群工业低碳协同”。

表1 三维数字化实现形式

数字化层级	数字化概念形态	数字化典型实例
微观数字化 赋能路径	数字化工业低碳技术交易平台	江西省网上常设技术市场、安徽科技大市场线上服务平台、上海技术交易所、技E网、国际技术交易服务联盟平台等
	数字化工业低碳技术协同创新平台	橙色云工业产品协同研发平台、宁海制造研发设计云平台等
	数字化工业设备远程运维管理平台	海为云平台、蘑菇物联、博云控（工业物联云平台）等
	企业级数字化能源利用管理平台	智慧能源公共服务云平台等
中观数字化 赋能路径	工业互联网平台	卡奥斯COSMOPlat、根云、忽米H-IIP、百度开物、京东JD、阿里云SupET、用友精智、浪潮等
	传统能源供应网络管理“云”平台	国网能源“云”、西部能源“云”等
	新能源供应网络管理“云”平台	新能源云平台、智能光伏发电监测系统
宏观数字化 赋能路径	数字化碳普惠平台	全国数字化碳普惠平台：碳账户、碳碳星球等 地方数字化碳普惠平台：碳汇天府（成都）、武碳江湖（武汉）、低碳星球（深圳）、绿色生活季（北京）、绿盟碳普惠（天津）、绿宝碳汇（江西）、绿疆碳汇（新疆）、宁夏碳普惠、碳惠安徽、低碳黔行、浙碳宝等 行业与企业级碳普惠平台：碳驿通（汽车行业）、太保碳普惠（太平洋财产保险公司）等
	数字化碳排放管理平台	全国碳排放管理平台：中国工业碳排放信息系统、全国排污许可证管理信息平台等 地区碳排放管理平台：重庆碳排放申报（报告）系统、北京生态环境局碳排放管理系统、广东碳排放信息报告与核查系统、深圳温室气体排放信息管理系统、四川公共机构能源消耗信息化监测管理系统、福建生态环境局环境信息平台、浙江工业碳平台、湖北碳排放权交易中心、天津碳排放权交易所、上海环境能源交易所等
	数字化碳金融市场	湖北“鄂绿通”平台（期权）、重庆碳排放权交易中心（配额质押登记）、深圳碳排放权交易所“绿金服务”系统（境内外碳资产“回购式”融资业务）、上海环境能源交易所、广州碳排放权交易所（配额抵押登记）、北京绿色交易所“企业碳账户和绿色项目库系统”（已开展碳配额回购、CCER质押融资以及中碳指数等业务）等

四、数字经济赋能城市群工业低碳协同的实现机制

不同的数字经济赋能路径，其技术承接载体的内部结构及运作方式存在较大差异，这直接导致其对城市群工业低碳协同的赋能机制也有很大的不同，数字经济对城市群工业低碳协同的实现机制如图1所示。

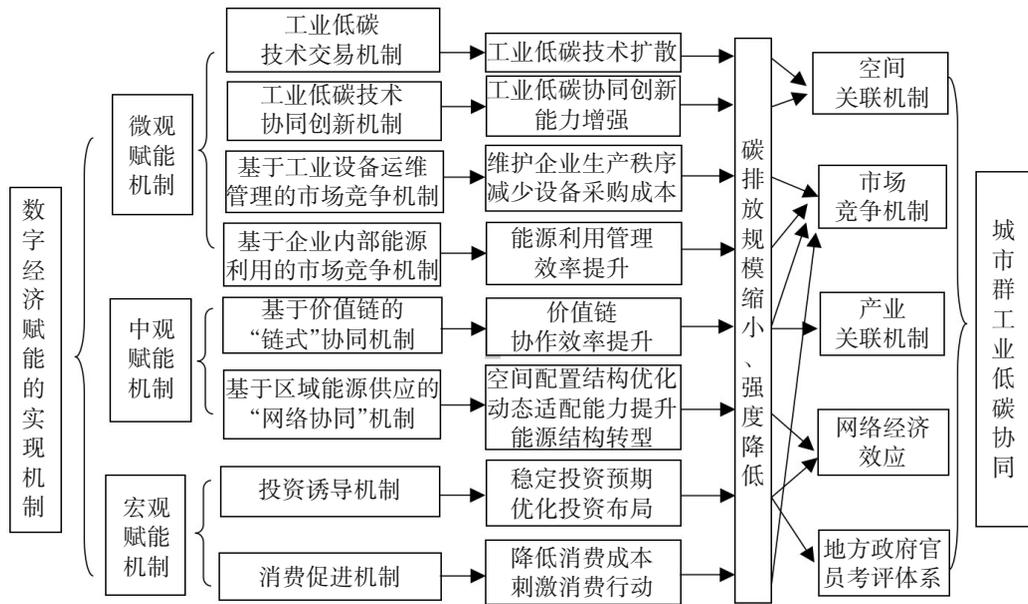


图1 数字经济对城市群工业低碳协同的实现机制示意图

(一) 微观赋能效应的实现机制

工业低碳技术、工业设备及工业能源是工业生产活动的重要投入，其数字化转型将推动工业低碳技术协同进步，改善工业设备健康水平，增进企业内部的能源利用管理效能，促进企业低碳发展。在区域合作^①和竞争机制^②的作用下，这种积极影响将从一个地区传递给城市群内的其他地区，最终推动整个城市群工业低碳协同。

1. 工业低碳技术交易机制

技术扩散是推动工业低碳技术进步的重要渠道，而技术交易又是实现技术扩散的重要工具。在其他条件不变的情况下，技术交易效率越高，其扩散速度越快，对城市群工业低碳协同的促进作用也将越好。

在传统经济情境下，工业低碳技术交易主要以场内交易为主，但受交易成本^③的限制，场内交易不仅参与主体少、技术来源范围窄、供需适配难度大，且交易风险防范措施不健全，技术交易风险较高，严重弱化了市场主体参与技术交易的内生动力，不利于技术交易与扩散，阻碍了城市群工业低碳协同。

随着数字技术的不断嵌入，数字化工业低碳技术交易平台可完美复刻线下交易活动，有效突破线下技术交易的时空限制，拓展拟交易技术的来源范围，丰富拟交易技术的种类。此外，数字化工业低碳技术交易平台可借助区块链等先进数字技术对交易风险进行有效控制，震慑技术交易过程中的机会主义行为，维护技术交易秩序，降低技术交易风险。这两个方面都将提高技术成交概率，加速先进适用技术扩散，推动城市群工业低碳协同。

2. 工业低碳技术协同创新机制

在传统经济时代，工业低碳技术协同创新组织主要为各类实体协同创新平台（如高校、地方政府、企业，以及不同地区、不同部门共同设立各类协同创新中心）。从创新过程看，实体协同创新平台有效汇聚了协同创新成员单位的各类优势创新资源，改善了区域创新组织的种群结

① 即互补性协同机制，主要表现为技术市场和技术协同创新活动的整体性或不可分性。
 ② 即竞争性协同机制，主要表现为区域市场竞争。
 ③ 如搜寻交易对手、与交易对手讨价还价、签订合同、防范对手违约以及违约后的制裁等。

构,增强了区域创新生态系统的创新能力,推动了整个区域的工业低碳协同发展。但是,从组织质量看,传统实体协同创新组织的管理机制较为僵化,成员单位相对固定,创新思想及创新资源的多样性较低,协同创新的流程较为复杂。这增加了协同创新的参与成本,弱化了协同创新资源的参与动力。

随着数字技术的不断发展及其向区域工业低碳技术协同创新活动的不断渗透,一些跨地区跨部门的数字化工业低碳技术协同创新平台应运而生,该类协同创新平台不仅继承了传统协同创新生态系统的优良基因,而且有效弥补了其内在缺陷,极大地提高了区域工业低碳技术协同创新效率,驱动了城市群工业低碳协同。

从组织模式看,数字化工业低碳技术协同创新平台将传统的线下协同创新活动迁移至“线上”或“半线上”场域,有效破解了传统模式下开展协同创新活动的时空限制,降低了协同创新的参与成本,强化了协同创新资源的参与动力,促进了区域工业低碳技术协同创新生态系统的效率增长。从种群结构看,数字化协同创新平台有利于增强创新资源对协同创新平台的可及性,吸引全国乃至全世界的优质创新资源流入,改善区域工业低碳协同创新生态系统的种群结构,提升其协同创新能力。

从组织机制看,数字化协同创新平台以较低的成本组建各种临时性工业低碳技术协同创新组织,增进协同创新活动对市场环境与市场需求的适应能力,促进工业低碳协同创新效率的提高。无论是区域工业低碳技术协同创新能力的提升还是协同创新效率的提升,都将推动区域工业低碳技术协同进步,并在互补性机制(协同创新的整体性或不可分性)的作用下促进城市群工业低碳协同。

3.基于工业设备运维管理的市场竞争机制

在传统经济时代,企业对工业设备的运维管理理念较为落后,大多采用的是“事后管理”模式,只在工业设备出现故障或损坏后才采取维修或保养行动,很少采取预防性干预举措,这降低了工业设备的健康水平,弱化了其生产功能,加剧了企业的停工风险,提高了企业的生产成本和碳排放强度。

随着数字经济的不断发展及其向工业设备运维管理领域的持续渗透,数字化工业设备运维管理平台持续涌现,这极大地增强了企业对设备运行状况的了解程度,推动了工业设备运维管理模式从“事后管理”向“事前管理”转型。这将提高企业的设备运维管理效率,并在市场竞争机制的作用下推动城市群工业低碳协同。

具体而言,在数字化工业设备运维管理框架下,企业可以借助各类传感器和新一代通信技术对工业设备的运转数据进行采集和整理,并可借助大数据、云计算、数字孪生及人工智能等数字技术对工业设备的健康状况进行建模,勾勒工业设备的健康发展曲线,预判工业设备的风险节点,进而引导企业对工业设备进行预防性维护。这有利于提高工业设备(特别是关键工业设备)的健康水平和使用寿命,降低设备采购和生产成本,减少设备故障,弱化停工风险,降低碳排放强度。进一步地,这将提高企业的市场竞争力,并在市场竞争机制的作用下诱发区域同一市场内其他地区企业的模仿,提高其他地区企业的设备运维管理水平,降低碳排放强度,最终推动所在区域的城市群工业低碳协同。

4.基于企业内部能源利用的市场竞争机制

在其他条件不变的情况下,企业内部能源利用管理水平越高、能力越强,其低碳发展水平也将越高。这种积极影响在市场竞争机制的作用下传递给城市群内其他地区的同类企业,最终促成城市群工业低碳协同。

在传统经济时代,企业内部的能源利用主要采用人工管理模式。按照制度经济学的观点,人是有限理性的,在作经济决策时其所掌握的信息并不完全。因此,在大多数情况下市场主体仅能

作出次优决策。在进行工业能源利用决策时, 管理人员仅能依靠部分信息进行能源利用决策, 这样的管理方式较为粗放, 政策和决策的精准性不足。更进一步, 随着职业经理人制度的不断完善和普及, 高级管理人员的跨区域流动将日趋平常。受先进地区的高收入吸引, 部分落后地区的企业高级管理人员会有意识地向先进地区流动, 该过程不仅会引发企业高级管理人员的空间位移, 也会导致工业低碳管理理念的跨区域交流, 这将破坏先进地区的工业低碳管理体系, 降低先进地区的工业能源管理效能, 加剧其工业碳排放, 阻碍城市群工业低碳协同。

企业级数字化能源利用管理平台的应用将深化企业对自身能源利用过程的理解, 强化其对能源使用过程的监督, 辅助其能源利用决策, 并在区域市场竞争机制的作用下推动城市群工业低碳协同。一方面, 企业可借助物联网技术对能源消耗过程进行实时监控, 提升企业内部能源供应链的管理水平, 减少能源消耗管理摩擦, 提高企业的能源利用效率, 降低碳排放强度。另一方面, 企业还可借助大数据、云计算、数字孪生和人工智能等先进数字技术对能源利用数据进行分析 and 模拟, 识别能源利用漏洞, 优化能源利用流程, 提高能源利用效率, 促进其低碳发展。在长期发展过程中, 城市群内不同地区的同类企业构建了较为稳定的市场区域, 形成了一些较为零碎的区域性市场, 当一个地区的企业因实施能源利用数字化转型而降低了碳排放强度、提高了市场竞争力时, “场内”其他地区的同类企业也会竞相模仿, 这将刺激其他地区企业能源利用的数字化转型, 降低碳排放规模与强度, 最终助力城市群工业低碳协同。

(二) 中观赋能效应的实现机制

“工业互联网”和“云”是数字经济对城市群工业低碳协同中观赋能的技术基础, 而“工业互联网+跨区域价值链管理”“工业互联网+云+跨区域能源供应网络管理”是上述技术实现形式的典型应用, 两类应用场景的赋能机制如下:

1. 基于价值链的“链式”协同机制

在传统经济时代, 核心企业对自身供应链系统的管理较为松散, 主要通过与合作伙伴建立战略联盟或签署合作协议的方式维持, 从形式上看, 属于典型的“选择性供应链管理模式”。虽然上述供应链管理有效地提高了核心企业对节点企业的控制能力, 降低了一般性“断链”风险, 推动了整个供应链的协同发展, 但也潜藏了诸多风险, 并对城市群工业低碳协同构成了严重威胁。一方面, “选择性供应链管理”并未将远离中心的末端企业及规模较小的中间节点企业纳入管理体系, 致使“链主”企业经营的供应链很容易遭受“黑天鹅”式“断链”风险的侵袭^①。更关键的是, 由于外围企业并未与“链主”企业建立正式的合作关系, 导致其在融入价值链的过程中存在诸多摩擦, 这将提高外围企业的融入成本, 降低其融入意愿, 弱化其融入行动, 并对供应链的稳定发展带来诸多不确定因素。无论是“断链”风险还是融入摩擦都将降低价值链的运作效率, 抑制城市群工业低碳协同。另一方面, “选择性供应链管理”框架下“链主”企业与合作企业之间的联系不够紧密, 缺乏足够的约束, 这直接导致核心企业的工业低碳技术进步要求无法快速传递给其他地区的节点企业, 在一定程度上阻断了工业低碳发展的跨区域联系通道。

随着数字经济的不断发展及其向企业生产经营各领域的持续渗透, 一个能串联企业研发设计、生产制造及销售服务等所有活动的数字化价值链管理平台(工业互联网平台)应运而生, 并将通过如下三个渠道促进城市群工业低碳协同:

一是提升价值链的运作效率。与传统管理框架下“选择性供应链管理”相对, 数字经济情境下基于工业互联网技术的“紧密型供应链管理”可将所有节点企业纳入管理范畴, 这极大地增强了核心企业对价值链的控制, 降低了跨区域价值链的“断链”风险, 提高了整个价值链

^① 指由非关键性节点企业引发的供应链中断风险。

的运作效率,促进了城市群工业低碳协同。

二是加速工业低碳技术协同进步。数字化价值链管理平台(工业互联网平台)将加大价值链内所有节点企业的横向联系,增进节点企业之间的联系频率,增加其联系深度,提高联系速率,这不仅会加速先进工业低碳技术的扩散,而且会促进技术进步的压力传导,加速跨区域价值链的工业低碳技术协同进步。

三是诱发工业低碳协同的空间外溢。按照波特竞争理论,企业的竞争最终归结为企业核心竞争力的竞争,数字化价值链(供应链、产业链)管理将显著提升“链主”企业的市场竞争力,并将在市场竞争机制的媒介作用下引发其他地区同类或关联企业(产业)的模仿,刺激数字化价值链管理技术采纳行动,减少价值链的管理摩擦,提高价值链管理效率,促进城市群工业低碳协同。

2.基于区域能源供应的“网络协同”机制

在传统经济时代,跨区域能源利用管理的信息化、智能化和现代化水平相对较低,分布式能源的供给信息及分散式能源需求信息主要靠人工方式采集,信息采集成本高,且存在信息时滞与信息误差,能源供应网络运营主体“上网—输配”决策的信息环境较差,降低了能源供应网络的管理效率,并将通过两个渠道抑制城市群工业低碳协同。一方面,无法为能源“上网”提供有效指引,致使部分受自然因素影响较大的非稳定能源(如风力发电、太阳能发电等清洁能源)被排除在常规能源供应体系之外,难以优化企业的能源利用结构,抑制了城市群工业低碳协同。另一方面,将误导能源供应网络的能源配置决策,恶化区域能源配置结构,降低其能源配置效率,抑制城市群工业低碳协同。

随着数字技术的不断进步及其向跨区域能源供应网络的不断渗透,基于数字技术的能源供应网络管理平台(如能源“云”、智慧能源管理系统等)应运而生,并对能源供应网络的“供给—消纳”管理能力及城市群工业低碳协同产生深远影响。

在数字化能源供应网络管理框架下,能源网络运营主体可借助物联网、区块链及人工智能等先进数字技术采集能源供给及工业能源“消纳”信息,减小信息采集误差,缩短信息时滞,提高信息精度。这将改善运营主体能源配置决策的信息环境,提高决策的精准性及整个能源供应网络的能源配置效率,推动城市群工业低碳协同。

数字化能源供应网络将赋能运营主体围绕区域工业体系建立适配性的能源“供给—消纳”数字模型,精准研判能源“供给—消纳”走势,增强能源供给对能源消耗的动态适配能力,提高整个能源供应网络的运作效率,减少能源损耗,促进城市群工业低碳协同。

此外,数字化能源供应网络管理模式还将提高能源供应网络对非稳定能源(如风能、太阳能等清洁能源)的吸纳能力,增加非稳定能源的“上网”机会,改善区域能源供应网络的能源供给与区域工业体系的能源消费结构,减少化石能源消耗规模,提升清洁能源消费比重,降低区域工业碳排放规模与碳排放强度,促进城市群工业低碳协同。

(三)宏观赋能效应的实现机制

工业低碳政策是保障城市群工业低碳协同的纽带,是决定宏观赋能效应的关键。

1.投资诱导机制

在传统经济时代,城市群工业低碳协同治理采取的是“自下而上”与“自上而下”相结合的混合型治理策略。一方面,上级政府要求下级政府上报辖区工业低碳发展信息,并据此出台规制政策。在现行地方政府官员政绩考评体系下,下级政府倾向于采取机会主义行为和选择性上报策略,仅上报那些对其有利的数据。在部分情况下,下级政府甚至会要求辖区企业“调整”直报数据。另一方面,上级政府部门也会主动出击,对辖区企业的碳排放状况进行实地摸排,以克服“自下而上”治理模式的“信息过滤”问题。但是,企业碳排放核查技术相对复杂,所需数据资

料较多且主要由企业提供。为“粉饰”碳排放绩效，弱化地方政府的政治风险，积累相应的政治资源，企业并不会如实提供碳核查所需的各项数据资料，而是倾向于采取瞒报或虚报的方式应对上级核查。无论是下级政府部门向上级汇报过程中的“信息过滤”，还是企业在应对上级核查时的“业绩粉饰”，都将引发碳排放信息失真。进一步，这将扭曲工业低碳产业投资，致使部分高碳行业不仅未在政策约束下及时收缩，反而会出现攀比性扩张，这将恶化区域工业结构，增加区域工业碳排放，抑制城市群工业低碳协同。

随着数字经济的不断发展及其向工业低碳治理领域的持续渗透，工业低碳治理的数字化水平也在不断攀升，各种数字化工业低碳政务平台（如工业碳平台、碳排放信息报告系统以及全国工业碳排放系统等）持续涌现，有效改善了工业低碳投资与布局政策的制定环境，提高了投资与布局政策的精准性，并从稳定工业低碳投资预期和优化工业低碳空间布局两个维度促进城市群工业低碳协同。

在工业低碳数字政务平台框架下，上级政府部门的信息获取不再依赖下级政府部门的零星汇报或自身的碎片化实地调研，而是可以直接从工业低碳数字政务平台上提取。与此同时，政府部门也不需要通过猜测的方式研判各地区和各企业的应对策略，而是可以借助大数据分析技术，对管理行为和管理绩效进行科学分析。这有利于增进政府部门对辖区工业低碳发展水平的了解，^①强化其对工业低碳投资政策需求的识别，优化城市群工业低碳投资政策供给，提高城市群工业低碳投资政策的精准性和适配度。这将改善产业资本对低碳产业的投资预期，稳定投资信心，强化投资意愿，刺激工业低碳投资行动，推动区域工业结构的低碳升级，降低区域工业体系的碳排放强度。在地方政府官员考评体系的激励约束下，特定地区的低碳投资政策及低碳引资行动将引发其他地区的模仿，增进其他地区对工业低碳资本的吸引能力，改善工业投资结构和碳排放绩效，产生工业低碳发展的正向空间外溢效应，推动城市群工业低碳协同^[21]。

此外，工业低碳数字政务平台可以提高城市群政府部门对属地工业低碳投资空间布局现状的认识，改善工业低碳产业布局政策制定的信息环境，提高工业低碳产业空间布局政策的精准性。从产业投资端看，这将有效引导投资布局，优化城市群工业低碳产业投资的空间结构，提高整个城市群工业低碳投资的空间效率，促进城市群工业低碳协同。

2. 消费促进机制

工业低碳产品消费是拉动工业低碳产品价值循环及产业发展的内生动力，而工业低碳政策（如发放低碳产品消费券制度、工业低碳产品政府采购政策、工业低碳消费金融促进政策、工业低碳产品跨区域流通政策等）是刺激工业低碳产品消费的重要外部诱因。在传统经济时代，工业低碳消费政策的制定主要依据归口管理部门的事前调研信息或消费群体的事后反馈。从信息质量看，事前调研或事后反馈信息不仅来源范围较窄，大多源自与政府归口管理部门有密切合作关系的下级单位或社会责任意识较强的消费者，与调查总体的信息分布结构存在较大的偏差，难以符合高质量抽样调查活动的“代表性”工作要求，更关键的是，存在较为严重的信息时滞，无法为工业低碳消费政策的制定提供足够的瞬时信息支撑，恶化了工业低碳消费政策制定的信息环境，降低了工业低碳政策的精准性和及时性。

工业低碳数字政务平台的应用将赋能政府工业低碳消费信息获取，^②拓展工业低碳消费信息的来源范围，减少工业低碳消费信息时滞，提升工业低碳消费信息质量，改善工业低碳消费政策制定的信息环境，全面提升工业低碳消费政策精准化水平、前瞻化程度与引领性能力。这将改善区域工业低碳产品的消费环境，降低其消费成本，缓解消费约束，刺激区域工业低碳产品消费，并

① 如各地区的工业低碳发展水平、空间分布、空间关联和动态演化趋势等。

② 如政府部门可借助碳普惠等数字政务平台掌握城市群居民的工业低碳消费意愿、习惯、结构和时空等信息，解析隐藏在工业低碳消费结构背后的金融、空间和时间偏好等信息。

在区域网络经济效应与市场竞争机制的作用下推动城市群工业低碳协同。

五、数字经济赋能城市群工业低碳协同的治理困境

(一) 赋能对象体系内部存在多重“数字鸿沟”

赋能对象的数字化是赋能效应得以发挥的关键一环。从数字化实践看,各层级赋能对象体系内部均存在不同程度的“数字鸿沟”,阻碍了数字经济赋能功效的发挥。

第一,企业之间的“数字鸿沟”。从城市群企业数字化转型实践看,不同生态位企业的数字化转型绩效差距明显,“头部”企业的数字化转型起步早、步伐快、动作大,数字化水平整体较高,而“尾部”企业的数字化转型起步晚且步伐较为缓慢,与前者形成了较为明显的差距。《中国产业数字化报告2020年》的调查显示,2020年中国绝大多数中小企业仍停留在信息化初级阶段,进入信息化高级阶段的企业占比极少,仅有6%的企业实施了SCM方案,10%的企业实施了ERP和CRM方案。

第二,价值链或价值网络之间的“数字鸿沟”。各赋能对象位于不同生命周期阶段的供应链或产业链,其数字化转型的成本结构、转型意愿及转型条件存在显著差距,这使得其数字化转型绩效也存在较大的差距。战略性新兴产业属于新生产业,企业的数字化转型负担较轻,转型成本较低。传统工业已步入成熟期甚至是衰退期,数字化转型的负担较重,转型成本较高。更关键的是,传统工业的企业管理人员大多接受的是传统教育,对数字化较为排斥,自主开展数字化转型的意愿不高。两种因素综合作用,致使战略性新兴产业的数字化转型步伐较快,数字化水平较高,而传统产业的数字化转型步伐较慢,数字化水平相对较低,并与前者形成了较为明显的“数字鸿沟”,如全国碳交易市场及9个地区性试点碳交易市场的数字化基础设施都落户在一线城市或省会城市。依托碳交易市场体系的碳金融市场也主要集中在一线城市或省会城市。

第三,城市之间工业低碳治理制度基础设施的“数字鸿沟”。数字化工业低碳治理制度基础设施是工业低碳治理的载体,不同等级的城市,其政治资源与政策辐射能力存在较大差距,对制度型基础设施布局的吸引力也存在较大差距。高等级城市政治资源雄厚,政策辐射能力强,对工业低碳治理制度基础设施的汇聚能力较强,吸引了绝大部分数字化制度型基础设施落户。低等级城市的政治资源稀薄,政策辐射范围较窄,影响力不足,致使其在竞争中处于劣势,与高等级城市之间形成了“数字鸿沟”。

(二) 赋能对象的数字化进程存在“转型成本障碍”

数字化是数字经济赋能城市群工业低碳协同的前提。从数字化发展实践看,无论是微观、中观还是宏观赋能路径,赋能对象的数字化转型均面临一定的转型成本障碍。

第一,企业数字化转型的系统性成本较高。数字化转型是一个系统工程,微观赋能作用的发挥不仅要求企业围绕核心要素(如工业低碳技术创新、工业设备及工业能源利用管理等)进行数字化改造,而且要求其关联要素进行配套性数字化改革,这将放大转型成本,提高数字化转型难度,弱化转型动力。

第二,外围企业接入数字化价值链或价值网络的成本较高。虽然价值链或价值网络的数字化项目主要由核心(“链主”)企业发起设立并旨在为核心企业服务,绝大多数收益也由核心企业获取,但价值链或价值网络数字化基础设施的建设成本并不完全由核心企业承担,而是需要外围企业共担。从结构上看,核心企业承担了价值链的初始建设成本(主要体现为“建链”或“建网”成本),而外围企业则要承担相应的入网费用(主要体现为配套设施的建设与维护成本)。价值链或价值网络数字化基础设施的建设成本投入与收益的非对称分布弱化了外围企业加入数字化价值链或价值网络的内生动力。

第三,数字化工业低碳治理的遵循成本较高。数字化工业低碳治理平台是数字经济赋能城市

群工业低碳治理的技术表现形态, 其高效运转不仅需要政府部门进行初始建设和后期维护, 而且需要被规制企业进行长期的适配性投资 (也称规制遵循成本, 如工业碳管理系统的安装、调试、升级与维护、人员培训、管理人员福利薪酬等), 这加大了被规制企业参与数字化工业低碳治理项目的成本。

(三) “微观—中观—宏观” 赋能路径体系建设水平 “结构性失衡”

微观、中观及宏观赋能路径除了会直接对城市群工业低碳发展产生影响外, 还会通过路径之间的交互作用产生间接影响, 并集中体现为低层级赋能路径为高层级赋能路径奠定基础, 助推高层级赋能效应的显化。高层级赋能路径会引导低层级赋能路径的升级, 促进低层级赋能效应的发挥。因此, 提高“微观—中观—宏观” 赋能路径体系的协调水平就是实现城市群工业低碳协同发展目标的题中应有之义。从数字化赋能实践看, “微观—中观—宏观” 赋能路径体系的整体发展水平较低, 且与高层级赋能路径的高质量发展需求存在较大偏差。从微观赋能路径看, 2023年全国企业业务上“云”普及率为41.4%, 这意味着仍有近60%的企业尚未开展业务上“云”行动, 无法为工业互联网及能源供应网络的高质量发展提供数字化支撑。中观赋能路径的发展也不容乐观, 全国工业互联网应用的普及率仅为22.2%, 仍有近80%的企业未纳入工业互联网的价值管理体系, 严重抑制了中观赋能效应的发挥, 也无法为宏观赋能路径提供适合的工业互联网基础。受微观与中观赋能路径欠佳的影响, 当前宏观赋能路径的发展并不成熟, 从全国碳交易市场的发展状况看, 仅有少量企业被纳入碳排放权交易体系, 以2022年履约年度为例, 纳入全国碳交易市场或地方试点碳交易市场的企业共5459家, 仅占当年全国企业总数的0.003%。

六、研究结论与政策建议

(一) 研究结论

数字经济对城市群工业低碳协同具有重要的赋能作用, 且赋能路径具有多维特征, 不同赋能路径的实现机制存在显著差异。

第一, 微观赋能路径的实现机制集中体现在数字经济与工业低碳技术、工业生产设备及工业能源利用的融合发展有利于加速技术扩散, 从而增强企业的低碳技术协同创新能力, 提高工业设备管理效率及企业能源利用效率。这不仅会直接助力本地企业的工业低碳技术进步, 提高其生产效率, 改善其碳排放绩效, 而且会在空间外溢效应、网络经济效应及市场竞争机制的作用下间接促进“场域”内其他地区企业碳排放绩效的改善, 助力城市群工业低碳协同。

第二, 中观赋能效应的实现机制则主要落脚在跨区域价值链或价值网络运作效率的提升上。随着工业互联网技术向价值链管理过程的持续渗透, 跨区域价值链的组织化程度将显著提升, 沟通成本也会大幅下降, 这将强化价值链内各地区节点企业的横向联系, 减少价值链的运作摩擦, 强化价值链技术进步的压力传导, 在减少价值链整体运作成本的同时加速其技术协同进入, 降低城市群的工业碳排放。与此类似, 跨区域能源供应网络的“云”化与互联网化将有效帮助运营主体建立适配性的能源“供给—消纳”数字模型, 提高能源配置效率, 优化能源消费结构, 促进城市群工业低碳协同。

第三, 宏观赋能效应的发挥则聚焦在工业低碳投资结构优化及工业低碳产品消费升级两个细分领域。随着工业低碳数字政务的深入发展, 工业低碳治理政策的精准性也将不断增强, 这将有效引导投资方向, 优化投资的空间布局, 改善消费环境, 刺激产品消费, 并在网络经济效应、地方政府官员政治考评体系及市场竞争机制等作用下推动城市群工业低碳协同。

(二) 政策建议

1. 建立健全企业数字化转型助推机制, 推动企业的数字化转型

企业是数字经济赋能城市群工业低碳协同的微观载体, 其数字化发展不仅对微观赋能效应的

发挥具有决定性作用,而且对“微观—中观—宏观”赋能路径体系整体赋能效应的显化具有间接影响。但是,受转型禀赋、转型成本及转型环境等因素的制约,当前中国企业的数字化转型意愿较弱,完成度较低。从结果看,仅有部分企业完成了数字化转型,大量企业的数字化仍处于起步阶段,无法为微观与整体赋能效应的发挥提供有效支撑。未来,各地可结合当地特色,遴选部分数字化基础较好的企业开展数字化转型试点,通过企业的“朋辈示范”,减少企业数字化转型的思想顾虑,坚定其数字化转型的信心,刺激其数字化转型行动。与此同时,相关部门可在充分调研的基础上编制企业数字化转型经典案例库,通过案例剖析与经验总结,提炼企业数字化转型的典型模式与路径,并将该模式在一定范围内进行推广。

2.加大对跨区域价值链或价值网络数字互联基础设施的建设支持力度,推动价值链或价值网络的“补短板”“强弱项”行动

工业互联网是数字经济中观赋能路径的技术基础,而“工业互联网+价值链”“工业互联网+云+区域能源供应网络”是其实现形态。从工业互联网与中观赋能对象的结合状态看,不仅融合范围窄,而且融合深度较浅,严重制约了中观赋能效应的发挥。因此,应进一步深化工业互联网与供应链、产业链、区域能源供应网络的融合,全面提升跨区域供应链、产业链、能源供应网络及其他区域经济组织的数字化联通特性与“云”化水平,提高其协作效率,推动城市群工业低碳协同。为此,各地应深入贯彻落实《工业互联网创新发展行动计划(2021—2023年)》,适时开展工业价值链与工业能源供应网络的“补短板”“强弱项”行动。为此,相关部门应在充分调研的基础上,遴选部分发展潜力较大、重要性程度较高,但工业互联网化水平较低的工业价值链或工业能源供应网络进行数字化“建链”援助行动。通过明确“建链”主体,制定“建链”规划,完善“建链”制度,积极引导“链主”企业、地方政府及工业行业协会联合开展工业互联网建设工作,提升关联工业价值链或能源供应网络工业互联的协调水平,改善数字经济中观赋能路径的作用条件,强化其赋能功效,推动城市群工业低碳协同。与此同时,“链主”企业应定期评估基于工业互联网的企业供应链、工业行业产业链及工业能源供应网络的发展状况,有效识别其薄弱环节,并据此开展针对性较强的“强弱项”行动,通过发展供应链金融,为其提供技术援助与配套资源,降低其接入工业互联网的难度,强化其接入意愿,增强其接入能力,推动工业价值链或工业能源供应网络的高质量发展。

3.建立健全工业低碳数字政务平台建设成本的分摊机制,强化宏观赋能效应

工业低碳数字政务平台建设成本的分摊机制并不健全,除了需要政府承担相应的平台建设成本之外,还需要被规制企业承担配套性成本开支,这弱化了被规制企业的接入动力,减损了数字政务平台的赋能功效,抑制了城市群工业低碳协同。因此,应进一步完善成本分摊机制,妥善处理工业低碳数字政务平台建设与运行过程中的成本分摊问题。积极通过财政与税收优惠政策降低企业的数字政务平台接入成本,强化其参与动力,促进宏观赋能效应的发挥。为此,财政、税收及金融管理部门可联合行动。一方面,允许企业将系统接入费用(如系统管理人员的工资福利开支、业务培训支出、碳管理软件购置与升级支出等)在税前按照一定比例加计扣除。另一方面,允许企业按照一定标准据实向财政部门申领接入补贴。此外,还可将工业低碳数字政务平台接入状况纳入绿色信贷审查体系,并向系统接入状况良好的企业优先配给绿色授信额度。

4.针对赋能路径层级的不同,采取差异化的路径建设干预政策

当前城市群工业低碳协同的“微观—中观—宏观”赋能路径体系内部结构并不协调,低层级赋能路径的发展水平相对较低,无法为高层级赋能路径提供有效支持。因此,应根据赋能路径层级的不同采取差异化的干预政策。一方面,加大对低层级赋能路径建设的干预力度,积极通过技术援助、财政补贴、融资便利等手段为低层级赋能路径的赋能对象提供支持,加速其数字化发展进程,蓄积数字化赋能潜力,改善其赋能条件,在促进自身赋能效应发挥的同时为高层级赋能路

径奠定基础。另一方面, 适当控制高层级赋能路径的建设进度, 并采取“权变式”建设支持策略。当低层级赋能路径的发育水平较高时, 要加快高层级赋能路径的建设速度, 通过财政、税收、金融等手段加速其数字化发展, 以有效吸收低层级赋能路径的支撑效应; 当低层级赋能路径的发育水平较低时, 则应适当控制高层级赋能路径的建设节奏, 延缓其建设进程, 减少赋能路径建设过程中的资源浪费, 在规避高层级赋能效应损失的同时推动整个赋能路径体系赋能功效的增长。

参考文献:

- [1] 赵彦云, 陆香怡, 王汶. 低碳城市的CO₂与PM2.5减排协同效应分析[J]. 中国环境科学, 2023, 43(1): 465-476.
- [2] 邬彩霞. 中国低碳经济发展的协同效应研究[J]. 管理世界, 2021, 37(8): 105-117.
- [3] 周咏馨, 姚旗龙, 储成楠, 等. 环境规制对长三角城市工业用地高效低碳利用协同效应的影响[J]. 中国土地科学, 2022, 36(12): 128-137.
- [4] 郝向举, 何爱平, 薛琳. 城市发展模式叠加与绿色低碳发展——基于智慧城市与低碳城市协同减排的实证分析[J]. 城市问题, 2023(7): 93-103.
- [5] 苏涛永, 郁雨竹, 潘俊汐. 低碳城市和创新型城市双试点的碳减排效应——基于绿色创新与产业升级的协同视角[J]. 科学学与科学技术管理, 2022, 43(1): 21-37.
- [6] YU B, WANG J, LU X, et al. Collaboration in a low-carbon supply chain with reference emission and cost learning effects: cost sharing versus revenue sharing strategies[J]. Journal of cleaner production, 2020, 250(3): 230-261.
- [7] AGHABALAYEV F, AHMAD M. Does innovation in ocean energy generations-related technologies in G7 countries reduce carbon dioxide emissions? Role of international collaboration in green technology development and commercial and monetary policies[J]. Environmental science and pollution research, 2022, 30(1): 14545-14564.
- [8] 沈能, 王群伟, 赵增耀. 贸易关联、空间集聚与碳排放——新经济地理学的分析[J]. 管理世界, 2014(1): 176-177.
- [9] 邬彩霞, 高媛. 数字经济驱动低碳产业发展的机制与效应研究[J]. 贵州社会科学, 2020(11): 155-161.
- [10] NGUYEN T, PHAM T, TRAM H. Role of information and communication technologies and innovation in driving carbon emissions and economic growth in selected G-20 countries[J]. Journal of environmental management, 2020, 261(5): 1-10.
- [11] 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.
- [12] 杨刚强, 王海森, 范恒山, 等. 数字经济的碳减排效应: 理论分析与经验证据[J]. 中国工业经济, 2023(5): 80-98.
- [13] 渠慎宁, 史丹, 杨丹辉. 中国数字经济碳排放: 总量测算与趋势展望[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(9): 11-21.
- [14] 王香艳, 李金叶. 数字经济是否有效促进了节能和碳减排?[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(11): 83-95.
- [15] 黎新伍, 黎宁, 谢云飞. 数字经济、制造业集聚与碳生产率[J]. 中南财经政法大学学报, 2022(6): 131-145.
- [16] LU Y, CHEN X. Digital economy, new-type urbanization, and carbon emissions: evidence from China [J]. Environmental progress & sustainable energy, 2023, 42(3): 1-13.
- [17] 戴翔, 杨双至. 数字赋能、数字投入来源与制造业绿色化转型[J]. 中国工业经济, 2022(9): 83-101.
- [18] 江小涓, 靳景. 数字技术提升经济效率: 服务分工、产业协同和数实孪生[J]. 管理世界, 2022, 38(12): 9-26.
- [19] 郭峰, 熊云军, 石庆玲, 等. 数字经济与行政边界地区经济发展再考察——来自卫星灯光数据的证据[J]. 管理世界, 2023, 39(4): 16-34.
- [20] 钟成林, 胡雪萍, 尹小剑. 土地利用数字化对城市建设用地利用效率的影响[J]. 东北财经大学学报, 2021(5): 86-97.
- [21] 钟成林, 胡雪萍. 区位因素对流域城市群环境规制互动的研究——以长江中游城市群为例[J]. 社会科学, 2022(3): 34-42.

Empowerment and Governance of Digital Economy for Industrial Low-Carbon Synergy in Urban Agglomerations

ZHONG Cheng-lin¹, ZHANG Qian¹, JIA Jun-song²

(1. School of Finance, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China;

2. School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)

Summary: Industrial low-carbon synergy in urban agglomerations is a high-level form of industrial low-carbon synergy, and improving its level of development is of strategic significance to the successful realization of the national “dual-carbon” goals and the high-quality development of China’s regional economy. For this reason, this paper makes a detailed theoretical analysis of the enhancement mechanism and governance dilemma of industrial low-carbon synergy in urban agglomerations from the perspective of the digital economy.

The results show that the digital economy effectively promotes industrial low-carbon synergy in urban agglomerations. However, this enabling role has a multidimensional character, and there are significant differences in the realization mechanisms of different enabling paths. Specifically, the micro-enabling pathways are mainly due to the production function improvement of production factors. The digital economy accelerates the diffusion of low-carbon industrial technologies and facilitates collaborative innovation in low-carbon industrial technologies, thus promoting industrial low-carbon synergy in urban agglomerations directly. It also enhances the ability to identify the health status of industrial equipment and inner energy utilization, thus empowering the industrial low-carbon synergy in urban agglomerations through the intermediary role of market competition mechanisms. In contrast, the realizing of the meso-enabling pathway mainly depends on the value chains and regional energy supply networks.

On the one hand, the digital economy improves the level of organization and operational efficiency of value chains and promotes the industrial low-carbon synergy in urban agglomerations of local urban agglomerations under the intermediary effect of industrial linkage and market competition mechanism. On the other hand, the digital economy optimizes the regional energy allocation structure, enhances the dynamic adaptability of the energy supply network, improves the tolerance of non-stable energy sources, and promotes the industrial low-carbon synergy of local urban agglomerations by network economy effects. In addition, the realization mechanism of the macro-enabling path focuses on industrial low-carbon governance. Industrial low-carbon digital government enhances the accuracy of industrial low-carbon public policy, improves the investment and consumption environment, guides the industrial low-carbon investment, and stimulates industrial low-carbon consumption, thus promoting industrial low-carbon synergy across the entire urban agglomerations under the synergistic mechanisms of the network economy, regional market, and political competition. It is also found that the enabling effect still faces multidimensional digital divides between empowered objects, harsh transformation cost barriers during the digitization process, and structural imbalance of the enabling path system.

Key words: digital economy; urban agglomerations; industrial low-carbon; synergistic development

(责任编辑: 邓 菁)

[DOI]10.19654/j.cnki.cjwtyj.2024.07.007

[引用格式]钟成林,张迁,贾俊松.数字经济对城市群工业低碳协同的赋能与治理[J].财经问题研究,2024(7): 88-101.