

企业数字化、网络地位与污染减排

韩 峰 黄 敏 姜竹青*

内容提要 本文利用上市企业董事兼任和绿色专利引用数据构建企业关系网络指标,进而基于上市公司数据检验企业数字化及其网络地位对污染减排的影响。研究发现,数字化转型能够显著降低企业的污染排放水平,且企业所处网络位置越优越,越有助于发挥数字化转型的污染减排效应;与社会关系网络相比,绿色技术关联网络对企业数字化转型的作用效果具有更为明显的提升作用。进一步研究发现,企业数字化转型的污染减排效应主要通过绿色技术创新效应、规模经济效应以及要素配置效应来实现,且其作用效果随着“宽带中国”战略和国家级大数据综合试验区的实施而得到明显增强。本文不仅从企业关系网络视角拓展了数字化转型对污染减排的影响机理,而且也为数字经济下企业走好绿色转型发展之路提供了有益借鉴。

关键词 企业数字化转型 社会关系网络 绿色技术关联网络 污染减排

一 引言

党的二十大报告指出:“我们要推进美丽中国建设,……,协同推进降碳、减污、扩绿、增长,推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展”。这表明促进降污减排不仅是美

* 韩峰:南京审计大学联合研究院 电子邮箱:hanfeng@nau.edu.cn;黄敏:南京审计大学经济学院 电子邮箱:huangmin5691@163.com;姜竹青(通讯作者):长沙理工大学经济与管理学院 湖南省长沙市天心区赤岭路45号 电子邮箱:jiangzhuqing1008@126.com。

作者感谢国家自然科学基金面上项目(72073071)、江苏高校“青蓝工程”中青年学术带头人资助项目(D202062045)以及江苏省研究生科研创新计划项目(KYCX22_2074)的资助。感谢匿名审稿专家的宝贵建议。当然,文责自负。

丽中国建设的题中之义,而且是推动中国经济高质量发展、全面建设社会主义现代化国家的内在要求。在这个背景下,加快发展方式转变、推动经济结构转型升级、培育降污减排的绿色发展新动能,已经成为促进美丽中国建设的重要抓手。近年来,随着大数据、云计算、人工智能以及区块链等技术加速创新并融入经济社会发展的各领域全过程,数字经济已成为当前最具活力、最具创新力、辐射最为广泛的经济形态(韩君和高瀛璐,2022)。

数字化转型以数字技术应用和数据要素使用为主要特征。数字技术具有高技术含量、低能耗、低污染、低排放的特点,而且还能够以其可编辑性、可扩展性、开放性及相关性等特征降低资源搜寻、要素配置及绿色技术创新中的成本和信息不对称,进而有助于企业充分获取、整合、重组及有效利用各类环保资源和要素进行污染治理。然而,数字化转型提升的不仅仅是企业内部不同部门间要素和资源的配置效率,而且还能够强化其与周边企业间的联系,促使彼此在频繁的相互接触和互惠交易中形成稳定的关系网络。这些关系网络能够帮助企业有效识别、利用外部有价值的要素、技术和信息等来降低创新风险(王海花和杜梅,2021),进一步提升各类资源的配置效率,降低污染排放。因此,企业数字化的污染减排效应除了与自身内部资源配置效率有关外,还与其所处的企业关系网络位置密切相关。在数字化水平既定的情况下,与其他企业具有较高联系水平且在企业关系网络中处于优越位置的企业,在利用数字技术获取、整合和利用各类资源以及机会识别等方面更具优势(Mazzola *et al.*, 2016; 严若森和华小丽, 2017)^①。从这个意义上说,不仅企业数字化强化了企业间关系网络的外部效应,而且企业关系网络的发展反过来也会进一步强化企业数字化的资源配置效应和污染减排效应。因此,探讨污染减排中企业数字化和企业关系网络的协同效应,对于全面深刻把握数字化转型的影响机制,更好发挥环境治理中的数字经济优势具有重要的理论和现实意义。

与本文研究主题相关的文献大致可以分为两类,第一类是关于污染减排影响因素的研究,第二类是关于数字化转型的研究。从污染减排的影响因素来看,国内外学者主要从宏微观两个角度围绕环境污染的成因和决定因素展开探讨。从宏观角度看,现

^① 企业在关系网络中处于优越位置是指,企业在关系网络中拥有更多的联系、资源和影响力,使其能够更便利地与其他企业互动、合作与交流,从而有利于企业在数字化转型中更好地获取、整合和利用各类资源和机会。这意味着,即使两个企业具有相同的数字化水平,但如果二者在关系网络中所处地位不同,那么他们利用数字技术获取外部资源和信息的能力也不尽一致。在关系网络中拥有更优越位置的企业,更能够充分发挥数字技术获取、处理和利用资源的优势。

有文献分析了经济增长(Grossman and Krueger, 1995)、环境规制(Safi *et al.*, 2021)、产业集聚(Han *et al.*, 2018)、技术创新(董直庆等, 2014)、国内外贸易(Antweiler *et al.*, 2001)等因素对环境污染或环境质量的作用;从微观角度看,现有文献主要研究企业财务绩效(Blanco *et al.*, 2009)和融资约束(Yu *et al.*, 2021)等因素对企业环境绩效的影响。

伴随着新一代信息通信技术的快速发展,数字经济在推动经济发展方式转变、引领经济高质量发展方面发挥着越来越重要的作用。大量学者围绕数字经济或数字化转型的影响展开了深入探讨,主要从经济发展(韩君和高瀛璐, 2022)、家庭分工(张勋等, 2023)、产业升级(Bai *et al.*, 2023)、创新和绿色发展(Ghasemaghahi and Calic, 2019; Gao *et al.*, 2022)等方面探讨了数字经济的影响。具体到数字经济与环境质量间的关系,已有研究主要分析了数字经济或数字化转型对绿色全要素生产率(Hao *et al.*, 2023)、产能利用率(韩国高等, 2022)、制造业绿色转型(戴翔和杨双至, 2022)、碳排放(Gu, 2022)的影响,多数文献认为数字经济和数字化转型有利于推动经济绿色转型和环境污染改善。但已有文献主要从地区或行业层面展开研究,并没有聚焦到微观企业的数字化及污染排放进行更为细致的分析。即使有研究探讨了数字化对企业层面节能减排的影响(戴翔和杨双至, 2022),但在衡量企业数字化时也主要是将行业层面的投入数字化指标依据相关权重分配至企业层面,并未直接从企业层面构建更为精确的指标来反映企业的数字化水平。而且,多数研究在探讨企业数字化的影响时忽视了与数字化密切相关的企业关系网络的作用。因此,本文以2008–2020年中国沪深A股上市制造业企业数据为样本,从企业层面构建数字化转型和污染排放指标,探讨企业数字化及其所处关系网络位置对污染减排的影响。

与已有研究相比,本文贡献在于以下方面。(1)本文从微观企业层面切入,基于数字化转型和企业关系网络的综合视角探讨了企业污染减排的影响机制,丰富和拓展了企业数字化转型环境效应的相关研究,为中国依托数字经济优势补齐生态环境短板,加快建设“数字中国”和“美丽中国”提供新思路。(2)本文利用上市企业年报文本数据构建企业数字化测度指标,运用上市企业污染排放明细数据测度企业污染排放水平,还使用企业董事是否在其他企业兼任董事的信息以及企业绿色授权专利被引用信息,分年份构建“企业–企业”关系网络位置指标,为考察企业数字化转型及企业关系网络的污染减排效应提供了新的微观量化依据。(3)为使企业数字化影响污染减排的机制能够在统一的逻辑分析框架中进行分析,本文根据环境库兹涅茨曲线

理论,从微观企业层面识别数字化转型通过绿色技术创新效应、规模经济效应以及要素配置效应推进污染减排的作用机制,并且识别了数字化转型和企业关系网络在污染减排中的协同机制,有助于全面把握企业数字化转型与污染减排之间的内在逻辑。(4)本文进一步探讨了国家级大数据试验区、“宽带中国”战略等政策冲击下,企业数字化转型及其关系网络对污染减排的影响,从而有针对性地提出促进企业数字化转型和实现绿色发展的政策建议。

二 理论机制与研究假设

(一)企业数字化对污染减排的影响机制

本文根据环境经济学经典的环境库兹涅茨曲线理论,根据 Grossman and Krueger (1993)的研究来构建企业数字化影响污染排放的逻辑框架。Grossman and Krueger (1993)在研究环境污染与经济增长之间的倒U型函数关系时,认为经济增长通过规模效应、技术效应和结构效应三种机制影响环境污染。企业数字化作为结构转型、新技术应用和市场升级的重要体现,也必然会通过规模效应、技术效应和结构效应对环境污染产生影响。由于结构升级在宏观层面表现为要素在不同行业间的优化配置,因而对应到微观层面,结构升级效应便体现为企业内部要素配置方式的转变。企业数字化是以数字技术为手段、工具和支撑,以促进企业业务重塑和运营效率提升为根本目标的转型过程。数字技术应用和数据要素使用是其鲜明特征。因此,从企业层面依托数字化转型推动污染减排的关键在于充分发挥数字化转型的绿色技术创新效应、规模经济效应以及要素配置效应。

1.企业数字化通过绿色技术创新效应作用于企业污染排放

企业数字化有助于提高数字知识、技术和数据要素在生产经营活动中的投入比重,进而通过提升企业创新动力、丰富创新资源、升级创新方式等渠道提高企业研发水平和污染治理能力,有效推动企业降低能耗、提升清洁生产水平。企业的技术创新水平不仅会影响到要素资源利用的综合效率,还关系到企业的清洁生产能力和治污技术水平,是推动污染治理和环境质量提升的决定性因素(韩国高等,2022)。

数字技术作为企业数字化转型中的核心技术要素,同样具备天然的绿色属性,其创新水平的提高对企业实现污染减排和绿色发展具有重要意义。首先,数字化转型能够通过提升企业研发支出水平,促进技术创新,进而降低污染排放。数字化转型能够推动企业增加对数字技术的研发支出,降低对土地、能源等传统要素的依赖,从而

在生产方式上促进数字技术与实体企业融合发展,使数字技术迅速渗透在实体经济的各个环节,激发企业研发创新活力,提升企业的数字技术创新能力。数字技术的研发、推广、应用及数据要素的使用推动企业朝着网络化和智能化方向发展,助力企业生产模式由粗放型向集约型升级转变。这有助于提高企业在环境监管、治理和服务等方面的智能化水平和精准性,缩短企业对清洁技术的研发周期,从而降低企业生产中非期望产出对环境的损害(Hao *et al.*, 2023),促进企业实现绿色发展。其次,数字化转型能够通过强化技术外溢效应提升企业技术创新能力,进而降低污染排放。企业数字化提升了资源的开放性和共享性,使实体企业间的联系更加便捷、紧密,能够促使丰富的数据要素和技术知识有效克服地理空间距离的阻隔而得到高效的传播与交流(Ma and Li, 2022)。这不仅有助于提高企业内部不同部门间的学习效率,拓展清洁环保技术研发过程中部门间合作的广度和深度,还有利于发挥技术外溢效应和知识溢出效应对绿色技术和知识的大范围传递功能,为其他企业开展数字化转型和环保技术创新提供宝贵的学习资源,提高企业绿色创新资源整合能力和联合创新能力,最终在更大范围和更深层次上赋能企业绿色转型、降低污染排放(Gao *et al.*, 2022; Gu, 2022)。最后,数字化转型不仅有利于企业吸引信息、知识等生产要素集聚,提高其对绿色创新资源的整合和利用效率,而且能够使企业及时地获取市场竞争信息和感知技术变化方向,从而提高绿色清洁产品的研发创新力度,降低污染排放(赵宸宇等, 2021; Zhang *et al.*, 2024)。总之,企业数字化转型能够促进数字技术与企业生产、运营、创新等业务的融合应用,为企业提供更多创新机会和创新资源,从而有利于企业优化生产运营模式,更多地使用先进、清洁的生产技术来降低能源消耗和污染排放。因此,本文提出如下研究假设。

假设 1:企业数字化能够通过绿色技术创新效应降低污染排放水平。

2. 企业数字化通过发挥规模经济效应作用于企业污染排放

企业数字化的规模经济效应主要体现在两个方面:一是企业可利用数字平台促进生产和消费精准对接,扩大生产规模,挖掘市场潜力,从而获得规模递增收益;二是通过共享数字基础设施和数据资源提升交易和协作效率。规模经济效应的发挥不仅有助于企业降低单位能耗、提升能源利用率,而且能够降低单位产品环保成本,激励企业进一步推进环境治理、降低污染排放(Han *et al.*, 2018; 苏丹妮和盛斌, 2021)。企业数字化转型能够通过数字技术将物理空间中的生产活动同步到网络空间,拉近企业、部门及员工在互联网平台上的联结关系,并以缩小企业线上距离的方式帮助企业克服线下距离过长造成的低效沟通问题,使管理、生产、销售等业务流程实现虚拟空

间与现实空间的无缝衔接,促进“网-人-物”的深度融合(王如玉等,2018),从而推动企业降低成本、产生规模经济效应。

首先,数字技术使企业生产决策和消费者需求直接对接,可以直接针对消费市场需求变化快速做出应对策略,从而能够精准满足消费者需求变化,最大限度提升企业产品对于最终消费市场的可达性。面对平台经济、新零售等数字业务消费规模的扩大,企业有更强的动机去更新生产设备和扩大生产规模,以更加多元化和个性化的产品服务精准满足市场新需求,从而持续推动企业产生规模经济优势,降低单位产品环保成本和能耗,提升企业污染治理和减排水平。其次,数字化转型使企业能够借助数字技术推动装备、生产线和工厂的数字化、网络化和智能化,将采购、运输、制造、销售等重要生产环节和业务流程同步于网络平台,从而便于企业对各个环节的信息进行实时跟踪和掌握,提升企业间信息、数据的共享性、实时性和透明性(曾建光和王立彦,2015)。信息共享和业务协同一方面使得企业几乎能以零成本使用数据资源,精准掌握生产经营活动各个环节的能源利用、环境污染等问题及市场动态变化,从而减少企业整体的监督成本和环保成本,提高管理决策效率(赵宸宇等,2021);另一方面也便于产品制造、运输以及市场需求等关键信息在供应链中进行精准传递,促进企业“以信息换库存”,简化生产工艺流程(Goldfarb and Tucker, 2019),进而达到降低能耗、促进污染减排的效果。最后,数字化转型可促使企业业务流程由线下转为线上,有效推动企业内部深化分工、上下游企业高效沟通,并且推动企业间协同联动(袁淳等,2021)。这有助于降低企业中间交易成本和生产协作成本,提升企业内部与企业间的资源共享程度和协同效率,提高企业节能减排水平。可见,企业数字化有利于企业实现规模化生产,促使企业生产交易成本更低、协作能力更强、能源利用效率更高、资源浪费更少,从而提升企业污染减排水平。因此,本文提出以下假设。

假设2:企业数字化可通过发挥规模经济效应推进污染减排。

3. 企业数字化通过要素配置效应作用于企业污染排放

企业数字化转型通过增加数字技术和数据要素投入,提高数据要素、知识技术在资源配置中的占比,发挥数字技术优化企业要素结构和提高资源配置的能力,由此推动企业减少对高能耗、高污染生产要素的依赖,促进企业由能源密集型向低污染的知识技术密集型转变。

随着大数据、云计算、物联网等数字技术的发展,要素、资源不再局限于在企业内不同部门间进行流动和配置,而是能够基于互联网平台进行跨部门、跨区域以及

跨行业的配置。各类要素和资源在市场上广泛且快速的流动,不仅提高了企业之间在数字平台中的互联互通性,还进一步为企业绿色发展带来了丰富的资源要素。数据和数字技术是企业数字化转型的重要生产要素和关键驱动力,既能够作为一种新型生产要素参与到企业生产经营当中,影响企业资源的配置效率,又能作为企业资源配置的手段,影响企业资源要素的配置方式和效果,从而对企业的污染排放产生影响。

首先,企业数字化转型中数据资源和数字技术等要素具有低污染、低能耗和低边际成本等特征(蔡跃洲和马文君,2021)。数据、知识和信息资源在企业生产投入中的比例提升,有助于降低企业对能耗高、效率低、污染大的生产要素的依赖,从而优化企业的资源投入结构,提升企业绿色发展水平。Bai *et al.*(2023)的研究指出,数据资源和数字技术投入增加,不仅能够促进企业低能耗、高效率运转和无纸化办公,而且有利于企业推动新资源和新要素更多地向技术密集程度更高的业务或部门配置。这有助于提升企业的要素配置效率和资源利用水平,降低不必要的能源消耗,减少污染排放。其次,以数据和数字技术为依托的数字化转型可通过“数据+传统生产要素”的形式催生一批新劳动、新技术等新型要素。这些新型要素能以与各类传统要素迭代组合的形式进入企业生产中,不仅有助于丰富企业要素投入的种类和组合形式,提高资源配置效率(Ghasemaghaei and Calic, 2019),而且能够促使企业在投入中有偏向地增加对数据要素和数字技术的资源投入,重组和优化资源要素的配置结构,提高知识技术在要素配置中的占比,促进企业节能减排和绿色发展。最后,数字化转型还有利于优化企业要素配置方式,提升企业要素配置效率。物联网、云计算等数字技术的引入,有利于企业精准获得生产及经营活动相关的高质量数据资源,更好地了解生产和销售情况,实现精细化生产。企业可以利用数据信息更灵活地调整生产要素投入,增强要素投入精准对接市场需求的能力,从而避免要素的过度和不足分配,减少不必要的生产、库存和资源浪费,改善要素配置效率(韩国高等,2022;Zhang *et al.*, 2024),降低能耗和污染排放。基于此,本文提出以下假设。

假设3:企业数字化可通过提升要素配置效率降低企业污染排放水平。

(二)企业数字化和企业关系网络对污染减排的交互影响效应

企业数字化使其以较低成本强化了与周边企业间的沟通与交流,在频繁的相互接触和互惠交易中增强彼此间的归属感和社会认同(钱锡红等,2010),进而形成基于信任与合作的关系网络。作为非正式制度的企业关系网络是具有共同价值观的

社会、技术和文化系统,共同价值观渗透于市场的各个方面并左右着市场的运行,是企业社会资本的重要体现(严若森和华小丽,2017)。企业关系网络内共同的行为准则体系、社会化过程中已成为自觉的行为规范,以及企业间的归属感共同提升了企业间的社会邻近性。企业间因本地关系网络中对待特定团体的归属感和社会认同增强了彼此间的相互信任,促使企业间形成了非正式的、灵活可变的合作(Capello, 2015)。这种合作关系和社会邻近性有助于形成约束机会主义行为(比如企业的污染排放行为)的共同社会准则,并且形成防止机会主义与欺诈行为的管理机制,从而降低了环境治理成本,促使企业污染排放行为按照既定准则和市场规则有序运行。因此,企业污染减排中市场和合作关系产生了协同效率,基于数字化关系网络的合作和相互作用给企业污染治理和绿色发展带来了制度优势和规模优势。卢昌崇和陈仕华(2009)的研究指出,企业间关系网络有助于联结企业之间的关系,增强信息透明度,降低“谈判-执行-再谈判”的成本,提升生产经营活动的协同效率。企业间的关系网络有助于扩大企业获取要素、信息、技术等多样化资源的范围,帮助企业发现更多创新机会(王海花和杜梅,2021),提升企业识别、利用有价值资源进行创新和精准控制污染排放的能力。可见,企业数字化强化了企业间关系网络的稳定性,进而为充分发挥网络外部性和社会邻近性的效率提升效应和污染减排效应提供了重要保障。

此外,数字化转型在强化企业间网络关系的同时,企业网络位置的差异也会对企业应用数字技术吸收、处理、整合及利用各类资源进行污染治理的能力产生影响。随着信息化和数字化水平不断提升,企业间市场竞争日趋激烈,单纯依靠自身力量推进污染治理和绿色转型难以满足自身发展和竞争的需要,需要从外部网络获取、整合和利用各类资源进行污染治理、提升发展质量,培育自身发展的竞争优势。企业在所处关系网络中的位置体现了其与其他企业间联系的广度和深度,是其获取、控制资源能力的集中体现(彭正银等,2019)。即使在数字化水平既定情况下,处于网络不同地位的企业能够获取和调配的资源数量和质量也存在明显差异(陈祖胜等,2018)。因而,处于优越网络位置的企业,其在利用数字技术获取、整合资源进行污染治理方面将更具优势。企业所处关系网络位置的提升对企业数字化转型的污染减排效应将起到强化作用。基于此,本文提出以下研究假设。

假设4:企业数字化和企业关系网络在推进污染减排中具有交互影响效应和相互强化效应。

图1总结了企业数字化和企业关系网络对污染减排的作用机制。

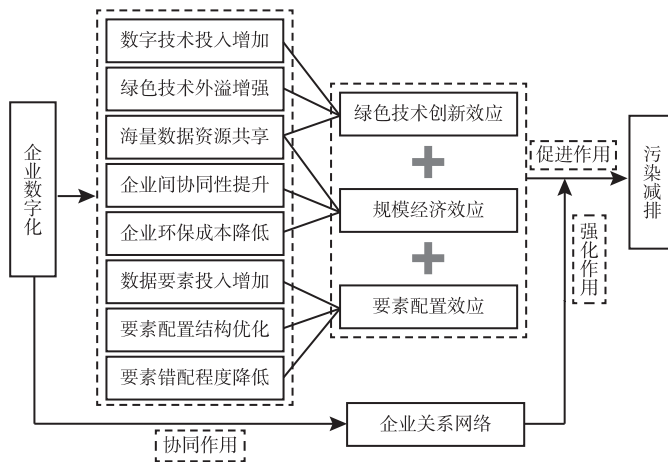


图1 企业数字化和企业关系网络对污染减排的作用机制

三 研究设计

(一) 计量模型构建

假设企业在生产过程中主要使用劳动力和资本两类要素,其生产函数可设定为:

$$q_i = al_i^{\alpha_1} k_i^{\alpha_2} \quad (1)$$

其中, q_i 为企业 i 的产量, l_i 为企业劳动就业数量, k_i 为资本, α_1 和 α_2 分别为劳动力和资本的弹性系数,且 $0 < \alpha_1 < 1$ 、 $0 < \alpha_2 < 1$, a 为常数。假设企业在生产中同时产生了数量为 P 的污染物排放,因而还需要投入比例为 λ 的资源用于环境治理,且 $0 \leq \lambda < 1$ 。当 $\lambda=0$ 时表示企业未对其污染排放行为进行治理,其产量依然为 q ;当 $0 < \lambda < 1$ 时,表示企业投入比例 λ 的资源来控制污染排放,此时企业产品产量为 $z = (1 - \lambda_i)q_i = (1 - \lambda_i)al_i^{\alpha_1} k_i^{\alpha_2}$ 。根据 Copeland and Taylor(1994)的研究,此时企业 i 的污染排放量为:

$$P = \psi(\lambda_i) al_i^{\alpha_1} k_i^{\alpha_2} \quad (2)$$

其中, $\psi(\lambda)$ 为污染排放函数,且 $\psi'(\lambda) < 0$ 。根据 Copeland and Taylor(1994)的研究,污染排放函数可设定为 $\psi(\lambda) = (1 - \lambda_i)^{\frac{1}{\sigma}} / A_i$,其中 σ 为企业治理环境污染的意愿,且 $0 < \sigma < 1$, A 为生产技术或全要素生产率。根据本文的理论机制分析,企业获取、处理、整合和利用数据资源的能力越强,就越有助于发挥其绿色技术创新效应、规模经济效应和要素配置效应。因而企业生产技术或全要素生产率 A 可看作企业可获取

的数据资源(D)的增函数:

$$A_i = A_0 D_i^\theta \xi_i \quad (3)$$

其中, A_0 为常数; ξ 为除数据资源外其他影响全要素生产率的因素; θ 为数据要素的技术产出弹性,是企业生产中决定数据重要性的关键参数,且 $\theta > 0$ 。根据 Jones and Tonetti (2020) 的研究,企业拥有的数据资源除受自身数字化水平影响外,还会受到周边其他企业数据资源的影响。而企业从其他企业获取数据的难易程度则决定于其所处关系网络中的位置。企业在关系网络中的位置越优越,其在机会识别和资源获取等方面将越有优势(严若森和华小丽,2017)。企业的数据资源 D 同时是企业数字化水平(Szh)和其所处企业关系网络(Net)的函数:

$$D_i = D_0 (Szh)_i^{\phi_1} (Net)_i^{\phi_2} \quad (4)$$

其中, D_0 代表了除自身数字化转型和周边关系网络外,通过其他途径获取的数据资源; ϕ_1 、 ϕ_2 分别为企业数字化转型和企业关系网络的弹性系数。结合式(2)(3)(4)可得到数字化转型和企业关系网络影响其污染排放的决定方程:

$$P = \Phi (Szh)_i^{-\theta\phi_1} (Net)_i^{-\theta\phi_2} l_i^{\alpha_1} k_i^{\alpha_2} (1 - \lambda_i)^{\frac{1}{\sigma}} \xi_i^{-1} \quad (5)$$

其中, $\Phi = aA_0^{-1}D_0^{-\theta}$ 。对式(5)两边取对数并写为计量模型形式,得到下式:

$$\ln P_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln Szh_{it} + \beta_2 \ln Net_{it} + \alpha_1 \ln l_{it} + \alpha_2 \ln k_{it} + \frac{1}{\sigma} \ln(1 - \lambda_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

其中, $\beta_0 = \ln aA_0^{-1}D_0^{-\theta}$, t 表示年份, $\beta_1 = -\theta\phi_1$, $\beta_2 = -\theta\phi_2$, $\varepsilon_{it} = \xi_{it}^{-1}$ 为随机扰动项。为便于计量估计,本文以 $\alpha_3 \ln \lambda_{it}$ 来代替式(6)中的 $\ln(1 - \lambda_{it})/\sigma$,由于目前企业层面并无较为可靠的环境治理变量统计,本文以企业所在城市层面的环境规制水平(GZ)来反映企业在生产经营中受到的环境规制政策影响及相应的环境治理水平。根据已有研究(戴翔和杨双至,2022;韩国高等,2022),影响企业污染排放的变量还可能包含总资产增长率($Tagr$)、净资产收益率(Roe)、现金流量资产比率(Cr)、总负债率(Tl)等。进一步在计量模型中控制以上变量,式(6)可扩展为:

$$\begin{aligned} \ln P_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \ln Szh_{it} + \beta_2 \ln Net_{it} + \alpha_1 \ln l_{it} + \alpha_2 \ln k_{it} + \alpha_3 \ln GZ_{it} \\ & + \alpha_4 Tagr_{it} + \alpha_5 Cr_{it} + \alpha_6 Tl_{it} + \alpha_7 Roe_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (7)$$

(二) 指标选取、变量说明和数据来源

本文样本为中国沪深A股上市制造业企业的面板数据。上市企业财务基础数据主要来源于国泰安数据库(CSMAR)。上市企业污染排放数据主要从上市公司年报、上市公司社会责任报告、上市公司网站获得,共有32 682个观测值;企业年报的相关数据来自深圳证券交易所和上海证券交易所的官方网站。在计量分析之前,本文删

除了金融业样本、ST、PT等经特殊处理的上市企业样本,此外还删除了相关变量缺失较为严重、员工人数小于8、在建工程环保投资额小于0的样本,并对样本进行了1%水平的双边缩尾处理。将所有数据匹配、处理后,基准回归共包含26 436个观测值,以下详细说明各变量的测度方法。

1.企业污染排放量。目前常用的上市企业污染排放数据主要来自国泰安数据库(CSMAR)的中国上市公司环境研究数据库。尽管该数据对中国上市公司资源消耗以及污染排放等进行了披露,但其报告的企业样本量较少,且起始年份为2015年,时间跨度和企业个体数对于计量分析而言均具有较大局限性。为尽可能地增加样本,本文进一步爬取了上市公司年报、可持续发展报告、社会责任报告、上市公司网站信息等资料,参考这些报告及网站中与环境污染相关的信息,在企业个体数和时间跨度两个方面对污染排放数据进行扩充。上市制造业企业污染排放数据主要包含5种污染物指标,其中水污染方面包括化学需氧量排放量、氨氮排放量,大气污染方面包括二氧化硫排放量、氮氧化物排放量以及烟粉尘排放量。由于各类排放物单位不尽一致,本文依据苏丹妮和盛斌(2021)的方法来测算企业层面污染排放综合指标。首先,使用极值法对以上污染物指标原始数据进行标准化处理,记 $spem_{ikt}$ 为标准化后的第 k 种污染物排放量。其次,测算企业 i 第 k 种污染物的调整系数 ϕ ,即 $\phi_{ikt} = \frac{spem_{ikt}}{\overline{spem_{kt}}}$,其中 $\overline{spem_{kt}}$ 为样本中第 k 种污染物排放量的均值。最后,企业 i 所有污染物排放量综合指标(P)可表示为 $P_{it} = \frac{1}{5} \sum_k (spem_{ikt} \times \phi_{ikt})$ 。

2.企业数字化转型。借鉴Dauth *et al.* (2017)和Acemoglu *et al.* (2021)的研究,利用上市企业年报文本数据和基于机器学习的“词频-逆文本频率”(TF-IDF)方法测算企业数字化水平($\ln Sz$)^①:

$$\ln Sz_{it} = \sum_v \left[\ln(f_{it}^v + 1) \times \ln(N_v/n_i^v + 1) \right] \quad (8)$$

其中, $\ln(f_{it}^v + 1)$ 为数字化关键词 v 在上市企业 i 第 t 年的年报中的词频; N_v 为第 t 年上市企业年报文本总数, n_i^v 为第 t 年包含数字化关键词 v 的年报文本数量, $\ln(N_v/n_i^v + 1)$ 便是包含数字化关键词 v 的逆文本频率。在企业数字化转型特征词的确定上,借鉴吴非等(2021)的研究,分别从企业数字化转型的“底层技术运用”和“技

① 用该方法能够有效提升数字化关键词在文本分析中的识别能力,从而降低因通用词汇过多而带来的对数字化词汇的低估程度。

术实践应用”两个层面来确定需要筛选和统计的关键词,这两个层面具体又包含5个维度,即人工智能、区块链、云计算、大数据以及数字技术运用,然后基于这5个维度及其囊括的特征词对企业年报进行检索、匹配和词频统计。

3. 企业关系网络地位。企业关系网络是企业之间形成的非正式的“非贸易”关系以及由员工流动和企业间学习而产生的学习网络,也可以是在技术发展、职业和在职培训、人事安排等领域形成的社会关系网络。本文从企业社会关系网络(*SNet*)和企业绿色技术关联网络(*TNet*)两个方面来界定企业关系网络地位(*Net*)。在社会关系网络方面,连锁董事网络是企业社会关系网络的重要表现形式,在组织间学习、模仿、知识转移、信息传递和交换中发挥着重要作用。卢昌崇和陈仕华(2009)指出,中国80%以上的上市企业存在连锁董事,上市企业之间已经以连锁董事为基础形成了一个庞大的社会网络系统。社会网络关系长期稳定嵌入至企业之中,是企业获取外部资源和信息的重要来源(严若森和华小丽,2017)。本文手工收集国泰安数据库中上市企业董事是否在其他企业兼任董事的信息,分年份构建“企业-企业”网络位置关系矩阵,若上市企业*i*和*j*在相应年份至少有一位共同董事,则矩阵元素取值为1,反之取值为0。在绿色技术关联网络方面,本文对来源于国家知识产权局和 Google Patent 的绿色专利被引用信息进行了整理,以企业授权绿色专利被引用信息来构建企业之间的关系矩阵,以反映企业间的绿色技术关联关系。如果企业间授权的绿色专利在某年份存在被引用状况(包括单向被引和双向被引),则矩阵元素设置为1,否则设置为0^①。

企业在关系网络中的位置可由网络中心度(G_i)和结构洞指数(S_i)来衡量。网络中心度反映了企业与网络中其他企业之间的直接联系程度。其测算方法为:

$$G_i = \frac{\sum_{j \neq i} x_{ij}}{N - 1} \quad (9)$$

其中, x_{ij} 表示企业*i*与企业*j*之间是否存在网络关系,若存在,则 $x_{ij}=1$,否则 $x_{ij}=0$; $\sum_{j \neq i} x_{ij}$ 为企业*i*与其他企业网络关系的加总, N 为企业数量。

结构洞是指当两个非直接关联的企业都连接到同一企业时在信息流中形成的缺口。由于处于结构洞位置的企业将没有直接联系的企业联系起来,并在企业联系中

① 需要说明的是,企业之间存在广泛的关系网络,同一社区内企业之间的误差项可能存在明显的相关性,但本文之所以没有利用社区发现算法,未基于关系网络所对应的邻接矩阵识别社区层面的企业关系网络,是因为企业可能逐年在不同社区内变动,关系网络难以全面刻画,所以本文构建的“企业-企业”网络位置关系并没有考虑到社区层面。

发挥“桥梁”或“中介”的作用,因而与其他未处于结构洞位置的企业相比,该类企业不仅能够从整个网络中获得更多的创新资源和信息,而且能够促进信息和知识的流动,并通过控制信息流为自身的技术创新服务。因此,企业所处关系网络位置(Net)由网络中心度和结构洞指数综合来决定,可表示为:

$$Net_{it} = G_i \times S_i \quad (10)$$

根据钱锡红等(2010)的研究,结构洞指数(S_i)可由企业在关系网络中所面临的限制性水平来反映,企业在关系网络中面临的限制性水平越小,则其发挥“桥梁”或“中介”作用的可能性就越大,其结构洞指数也就越大^①。若以 R_i 表示企业在关系网络中面临的限制性水平,则结构洞指数为 $S_i = 1/R_i$ 。 R_i 可表示为:

$$R_i = \sum_{j \neq i} \left(r_{ij} + \sum_{v \neq i, j} r_{iv} r_{vj} \right)^2 \quad (11)$$

其中, r_{ij} 为企业*i*与企业*j*在关系网络中的直接联系强度; $\sum_{v \neq i, j} r_{iv} r_{vj}$ 为企业*i*在关系网络中通过企业*v*与企业*j*产生的所有非直接联系的强度总和; $\left(r_{ij} + \sum_{v \neq i, j} r_{iv} r_{vj} \right)^2$ 表示企业*i*因企业*j*而在关系网络中面临的限制性水平。企业*i*在关系网络中受到的总体限制性水平(R_i)便是该企业在关系网络中因所有其他企业而受到的限制性水平的加总。

在构建网络中心度和网络结构洞指标的基础上,将由企业连锁董事构建的社会网络位置关系矩阵和由企业绿色专利被引信息构建的网络位置关系矩阵导入社会网络分析软件(Ucinet)中,便可计算每个企业在社会关系网络和绿色技术关联网络中的网络中心度和结构洞指数。最后将测算的网络中心度和结构洞指数代入式(10),可得到企业在社会关系网络及绿色技术关联网络中的位置。

4. 控制变量。企业劳动力数量(l)用企业员工数量表示;资本(k)用企业资本存量表示,依据王雄元和徐晶(2022)的研究,资本存量等于可折旧的有形资产净值,即企业总资产减无形资产净值减商誉净值;企业盈利能力采用企业总资产增长率($Tagr$)和企业净资产收益率(Roe)两个指标来衡量;现金流资产比率(Cr)以企业经营活动产生的现金流净额与总资产的比值来衡量;企业财务杠杆水平即资本负债率

^① 在衡量结构洞的众多指数中,“约束”指数最受关注并且应用最为广泛,能够有效地测量企业结构洞的匮乏程度。本文将“约束”理解为企业在关系网络中所受到的限制性水平,企业在关系网络中受到的限制性水平越大(“约束”越高),表明企业拥有的结构洞越少,则其发挥“桥梁”或中介作用的可能性越小,企业结构洞指数也就越小。

(*TL*)以企业总负债与总资产的比值来表示;城市层面环境规制(*GZ*)以城市层面每年政府工作报告中环境词频占报告总词数的比值来表示^①。

四 计量结果与分析

(一)基准回归分析

本文控制了一系列影响企业污染排放的因素,但不可避免地存在第三方不可观测因素的影响,从而使模型存在遗漏变量问题。同时,企业污染排放也可能与企业数字化、企业关系网络之间存在反向因果关系,导致内生性问题。为进一步解决模型中可能存在的内生性问题,本文通过构建企业数字化和企业关系网络的工具变量,在控制企业、城市和年份固定效应的情况下,将稳健标准差聚类到企业层面,进行两阶段最小二乘法(2SLS)估计。

1.企业数字化的工具变量。本文首先借鉴张勋等(2023)的研究,进一步测算企业到“八纵八横”光缆网络骨干城市的距离作为企业数字化的工具变量。由于数字经济发展依赖于互联网的普及,而互联网发展与早期的光缆网络规划和铺设密切相关,因而历史上能成为光缆骨干网点城市的区域,其周边也可能具有布局宽带基础设施的条件。即企业距离“八纵八横”光缆网络骨干城市越近,其数字化发展水平也会越高。而到“八纵八横”光缆网络骨干城市的距离作为历史地理数据,并不会对企业当前的排污行为产生直接影响,符合作为工具变量的要求。其次,本文还选用表征企业所在城市自然地理特征的地形坡度变量,来构建企业数字化转型的工具变量。由于地势越高、坡度越大的地区,往往面临的气候变化风险越大,材料运输成本越高,物流和交通网络的布局也较为稀疏,导致铺设互联网基础设施的难度增大,进而对企业数字化转型产生不利影响。而城市地形坡度是自然地理条件,不会对企业的污染排放行为产生直接影响,因而该工具变量也能较好地满足相关性和外生性的条件。鉴于本文样本为面板数据,为避免不随时间变化的工具变量在固定效应估计中被自动剔除,本文以城市地形坡度(*Slope*)、企业到光缆网络骨干城市最短距离(*Mdis*)与历年全国层面互联网普及率(*IPR*)相乘的方式,构建同时具有空间和时间维度的工具变量,分别以 *Slope*&*IPR* 和 *Mdis*&*IPR* 表示。

2.企业关系网络地位的工具变量。根据 Helsley and Zenou(2014)的研究,社会网络中经济个体间的互动水平会随着网络节点间链接密度及经济个体间集聚水平的提

① 限于篇幅,未报告各变量具体描述统计结果,有需要者可到本刊网站下载本文补充材料。

升而提高,那些处于社会关系网络更中心位置的经济个体更倾向于定位在靠近地理中心的地方,从而会产生一种基于社交距离的内生空间分布模式。因此,处于地理中心区位的企业容易获得更优的生产网络地位、广阔的产品市场和充分的信息资源供给,企业和社会关系网络及绿色技术关联网络中所处的地位与企业地理空间位置具有高度相关性。但作为纯粹的自然地理区位特征,企业在地理空间上的位置与其污染排放之间并不存在直接关联,因而企业所处地理空间位置符合工具变量的要求。本文根据刘修岩(2014)的方法,使用上市企业微观地理信息数据来测算企业地理中心度指标($Cent$),并以地理中心度与全国层面相应企业关系网络均值($Anet$)的交互项($Cent \& Anet$)作为工具变量。企业层面的地理中心度为 $Cent_i = \sum_{j=1}^n (1/d_{ij})$ 。此外,本文也使用2007年企业所在行业其他企业所处社会关系网络位置均值($OSNet$)与除企业所在省份外的全部样本董事在其他企业兼任董事平均频率增长率($Gafcd$)的乘积($OSNet \& Gafcd$),作为本企业所处社会关系网络的工具变量;使用2007年企业所在行业中其他企业所处绿色技术关联网络位置的均值($OTNet$)与除企业所在省份外全部样本中企业专利平均被引频率增长率($Gacfp$)的乘积($OTNet \& Gacfp$),作为本企业所处绿色技术关联网络的工具变量。

表 1 企业数字化和企业关系网络影响环境污染的基准回归结果

变量	企业社会关系网络下的估计结果			企业绿色技术关联网络下的估计结果	
	(1)第一阶段	(2)第一阶段	(3)第二阶段	(4)第一阶段	(5)第二阶段
	$\ln Szh$	$\ln SNet$	$\ln P$	$\ln TNet$	$\ln P$
$\ln Szh$			-0.0296** (-2.49)		-0.0224*** (-2.79)
$\ln SNet$			-0.0029** (-2.05)		
$\ln TNet$					-0.3257* (-1.92)
$Slope \& IPR$	-0.0910*** (-7.05)				
$Mdis \& IPR$	-0.0006*** (-2.58)				
$Cent \& Anet$		0.0019 (1.34)		0.00001*** (2.56)	
$OSNet \& Gafcd$		3.8128*** (8.05)			
$OTNet \& Gacfp$				19.2599*** (10.84)	

(续表)

变量	企业社会关系网络下的 估计结果			企业绿色技术关联网络下的 估计结果	
	(1)第一阶段 $\ln Szh$	(2)第一阶段 $\ln SNet$	(3)第二阶段 $\ln P$	(4)第一阶段 $\ln TNet$	(5)第二阶段 $\ln P$
$\ln l$	0.0106 (0.54)	0.0001 (0.11)	0.0010 (0.60)	0.0560 (0.43)	0.0009 (0.53)
$\ln k$	0.1506*** (7.03)	0.0036*** (4.15)	0.0050 (1.59)	1.0308*** (7.13)	0.0045 (1.43)
Cr	0.0210** (2.07)	0.0006 (1.29)	0.0022*** (3.02)	0.0371 (0.83)	0.0024*** (3.21)
Tl	0.0141** (2.20)	-0.0002 (-1.15)	0.0012** (2.52)	0.1207*** (3.39)	0.0009** (2.12)
$Tagr$	0.0069 (1.25)	-0.0001 (-0.45)	0.0008 (1.39)	-0.0394 (-0.86)	0.0009 (1.46)
Roe	0.0052* (1.71)	0.0004 (1.26)	0.0007 (1.34)	-0.0095 (-0.35)	0.0009* (1.93)
$\ln GZ$	0.0178* (1.83)	-0.0002 (-0.47)	0.0030*** (2.70)	0.0191 (0.23)	0.0031*** (2.71)
企业固定效应	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
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
KP rk Wald F			11.506		12.819
Hansen J 检验			0.6440 [0.7246]		0.0460 [0.9770]
样本量	26 436	26 436	26 436	26 436	26 436
R^2			0.0890		0.0788

说明: *、**、***分别代表 10%、5% 及 1% 的统计显著性水平,圆括号内为 t 值,方括号内为相应统计量的伴随概率,稳健标准误聚类至企业层面;绿色技术关联网络下企业数字化的第一阶段估计结果与企业社会关系网络一致,在此不再列出。后表同。

表 1 在企业社会关系网络下的估计结果显示,在第一阶段回归中,城市地形坡度 ($Slope\&IPR$)、企业到光缆网络骨干城市最短距离 ($Mdis\&IPR$) 对企业数字化转型的回归系数均显著为负;企业地理中心度 ($Cent\&Anet$) 尽管未通过显著性检验,但交互项 $OSNet\&Gafcd$ 的系数在 1% 水平上显著为正,且 Kleibergen-Paap (KP) rk Wald F 统计值均大于 Stock-Yogo 弱识别检验在 10% 水平上的临界值 7.56,说明不存在弱工具变量问题。同时, Hansen 检验结果显示不能拒绝所有工具变量均有效的原假设,说明本文所选的工具变量是合理的。在企业绿色技术关联网络下的估计结果显示,第一阶段中 $Cent\&Anet$ 和 $OTNet\&Gacfp$ 系数也显著为正,且 KP rk Wald F 检验统计量也显著支持模型不存在弱工具变量的假设。另外, Hansen 检验结果也没有拒绝原假设,进一步

说明本文工具变量选择是合理的。

第(3)列显示,企业数字化、企业社会关系网络的回归系数均在5%及以上水平上显著为负,说明数字化转型、企业社会关系网络均有效抑制了企业污染排放。企业数字化不仅显著提升了企业获取、整合和利用外部数据信息资源进行环保技术创新的能力,还增强了企业生产与需求间的精准匹配水平,提高了企业产品生产中的规模经济效应和要素配置效率,因而有助于企业降低污染、提升减排水平。企业和社会关系网络中处于较高位置能够使其获得比其他企业更多的外部资源和社会资本,从而减少企业清洁技术和环保产品创新中的不确定性,提升企业间污染减排的协同效率。第(5)列显示,企业数字化和绿色技术关联网络对企业污染排放存在抑制作用。绿色技术关联网络促进了信息、知识的快速交换与传播,加强了企业个体间在污染减排方面的协同效率。这种协同性支撑着企业个体在污染减排方面的相互作用、信任和合作,从而能够有效约束企业污染排放行为,强化企业间与数字技术相关的集体学习和知识社会化进程。因此,处于绿色技术关联网络优势地位的企业更有激励降低污染排放,提升数字技术在环境治理领域的应用水平。进一步比较企业绿色技术关联网络和企业社会关系网络的作用效果来看,企业绿色技术关联网络对企业污染减排的促进作用更为明显。这说明,与社会关系网络相比,企业间绿色技术关联网络在知识传播、环保资源获取方面更具优势,更有助于发挥污染减排效应。

(二)稳健性检验

本文进行了一系列稳健性检验,包括更换企业污染排放测度方法、替换企业数字化测度指标、在1%水平上对样本进行两端截尾处理、更换绿色技术关联网络测度方法等等,检验结果与表1基本一致(限于篇幅,未报告稳健性检验具体结果,有需要者可到本刊网站下载本文补充材料)。

五 机制检验

本部分根据江艇(2022)对中介效应分析的建议,选择对企业污染减排具有直接且显著影响的,能够度量绿色技术创新效应、规模经济效应和要素配置效应的中介变量作为被解释变量,检验企业数字化和企业关系网络对污染减排的作用机制。

(一)绿色技术创新效应

由于企业数字化不仅能够推进知识外溢和企业绿色技术创新,而且能够使企业通过便捷获取和有效利用外部资源进行直接创新,进而降低企业污染排放,本部分

从企业技术创新投入、绿色技术创新产出和绿色技术外溢三个方面来反映企业数字化的绿色技术创新效应。在技术创新投入方面,本文以企业研发投入的支出比率(RD_{sr})进行测度,企业研发支出比率为企业研发支出占企业营业总收入比重,数据来源于国泰安(CSMAR)数据库;在绿色技术创新产出方面,本文以企业绿色专利授权量来表示($\ln GPA$),数据来源于国家知识产权局和Google Patent 专利数据库;在绿色技术外溢效应方面,本文使用上市企业微观地理信息数据、绿色专利数据和潜力模型构建绿色技术外溢指标,进而检验企业数字化通过发挥绿色技术外溢效应降低污染排放的机制。绿色技术外溢指标可表示为 $gs_i = \sum_{j=1, j \neq i} (R_j/d_{ij})$,其中 R_j 为绿色行业中企业 j 的研发投入^①。企业从周边绿色行业研发投入中获得的技术外溢效应越明显,其绿色发展和节能减排能力就越强。表2报告了企业数字化转型通过绿色技术创新效应影响污染减排的机制检验结果。结果显示,无论在社会关系网络还是绿色技术关联网络作用下,企业数字化转型不仅能够有效激励企业增加研发支

表2 关于绿色技术创新效应的机制检验

变量	技术创新投入		绿色技术创新产出		绿色技术外溢	
	社会关系网络	绿色技术关联网络	社会关系网络	绿色技术关联网络	社会关系网络	绿色技术关联网络
$\ln Szh$	0.2765* (1.95)	0.2392* (1.68)	0.2161** (2.26)	0.1745** (2.05)	0.0733** (2.28)	0.0650** (2.16)
$\ln Net$	0.0899*** (3.44)	0.7829*** (3.52)	0.1327*** (2.86)	0.4434*** (2.56)	0.7373 (1.32)	0.0062* (1.84)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
企业固定效应	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
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
KP rk Wald F	12.3650	12.3370	9.0940	11.3450	16.3260	16.4520
Hansen J 检验	2.3240 [0.3128]	2.6730 [0.2627]	2.3440 [0.3097]	4.0840 [0.1297]	1.1320 [0.5679]	0.3910 [0.8223]
样本量	25 525	25 525	29 761	29 761	29 405	29 405
R ²	0.2074	0.1949	0.5955	0.6727	0.8840	0.8827

① 绿色行业包括绿色制造业和绿色服务业。绿色制造业行业主要包括节能环保、清洁生产、清洁能源、生态环境、基础设施绿色升级等5个行业领域;绿色服务业指的是为相关绿色产业提供智力支持和专业化服务的产业,主要包括检验检测、技术产品认证和推广、项目运营管理、咨询服务、环保项目评估审计、信息传输和计算机服务、金融、科学研究和技术服务、环境治理和公共设施管理等行业。

出($\ln RD_{sr}$)、提高绿色创新成果产出水平($\ln GPA$),而且显著促进了企业间的相互学习和绿色知识外溢($\ln gs$),从而有助于降低污染排放。可见,企业数字化转型及其关系网络通过推动绿色技术创新进而降低污染排放的机制得到印证,本文研究假设1成立。

(二)规模经济效应

企业数字化对污染减排产生的规模经济效应意味着数字化转型降低了企业单位产品的资源消耗和环保成本,从而在产量既定情况下有助于降低污染排放(或污染排放量既定情况下有助于提升产品产量)。本文从企业平均成本降低的角度来反映企业数字化的规模经济效应。本文以企业营业成本占营业总收入比值(Ocr)、企业营业成本占营业总资产比值(Ocs)、企业环保支出占营业总收入比重(Ecr)来衡量数字规模经济释放的成本效应。表3报告了企业数字化和企业关系网络通过发挥规模经济效应促进污染减排的机制检验结果。

表3 关于规模经济效益的机制检验

变量	营业成本/总营收		营业成本/总资产		企业环保支出/总营收	
	社会关系网络	绿色技术关联网络	社会关系网络	绿色技术关联网络	社会关系网络	绿色技术关联网络
$\ln Szh$	-0.1863*** (-3.51)	-0.1224*** (-2.62)	-1.6050** (-2.01)	-1.3916* (-1.95)	-0.0488** (-2.34)	-0.0306* (-1.72)
$\ln Net$	-1.5930* (-1.79)	-0.0091* (-1.89)	-1.0110*** (-2.74)	-3.4264*** (-2.88)	-0.0342*** (-3.21)	-0.1120*** (-3.00)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
企业固定效应	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
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
KP rk Wald F	17.1030	17.8540	12.2710	14.6050	12.2440	14.4540
Hansen J 检验	0.5920 [0.7439]	1.4920 [0.4743]	0.8470 [0.6547]	1.7080 [0.4256]	3.3700 [0.1855]	3.7120 [0.1563]
样本量	29 763	26 106	29 762	29 762	29 763	29 763
R ²	0.1570	0.0858	0.1257	0.0462	0.3992	0.0745

表3结果显示,当以企业营业成本占营业总收入的比值(Ocr)、营业成本占企业总资产的比值(Ocs)作为机制变量时,企业数字化转型和企业社会关系网络、绿色技术关联网络的系数均显著为负,意味着企业数字化程度越高、企业在关系网络中的地位

越具有优势,就越有利于其在节能减排和污染治理中产生规模经济效应,从而降低企业单位成本和单位产品资源消耗,减少污染排放。当使用企业环保支出占营业总收入比重(Ecr)作为机制变量时,企业数字化和企业关系网络的系数亦显著为负,说明企业数字化及其关系网络显著降低了单位环保成本,强化了企业环保中的规模经济效应,有助于促进企业污染减排。可见,企业数字化转型及其所处关系网络能够通过释放规模经济效应进而降低污染排放,本文研究假设2得到印证。

(三)要素配置效应

企业要素配置效率主要体现为各种要素和资源在企业生产中的投入比例关系和利用效率,因此本文从企业数字资源投入、要素配置扭曲和全要素生产率三个方面来反映企业的要素配置效应。

1. 企业数字资源投入结构。由于缺少企业层面的数字资源投入数据,本文利用各省份投入产出表来测算各省各行业对数字行业投入占全部中间投入的比重,进而将企业所在“省份-行业”层面的数字资源投入比重依据企业主营业务收入占行业份额分配至企业层面,以近似反映企业层面的数字资源投入结构(DS)。其测度公式为:

$$DS_{iht} = \frac{mb_{iht}}{\overline{mb}_{hpt}} \times \frac{\sum_d \delta_{hdp}}{\sum_{h'} \delta_{hh'p}} \quad (12)$$

其中, i 、 h 、 p 、 t 分别表示企业、行业、省份和年份; δ_{hdp} 为省份 p 中企业 i 所在行业 h 对数字行业 d 的完全消耗系数; $\sum_{h'} \delta_{hh'p}$ 为省份 p 中企业 i 所在行业 h 对所有其他行业 h' 的完全消耗系数; $\sum_d \delta_{hdp} / \sum_{h'} \delta_{hh'p}$ 反映了“省份-行业”层面的数字资源投入比重。2003和2004年完全消耗系数使用2002年投入产出表来计算;2005–2009年完全消耗系数表以2007年投入产出表来测算;2010–2013年完全消耗系数用2012年投入产出表进行测算;2014–2016年完全消耗系数用2015年投入产出表来计算;2017–2019年完全消耗系数以2017年投入产出表测算。 mb_{iht} 为第 t 年省份 p 行业 h 中企业 i 的主营业务收入, $\overline{mb}_{hpt}$ 为第 t 年省份 p 行业 h 的主营业务收入均值。

2. 企业层面要素配置。企业要素配置状况分别以劳动力错配程度($dist_l$)和资本错配程度($dist_k$)来表示。假设企业以C-D生产函数进行生产,且要素规模报酬不变,则企业劳动力配置扭曲程度可用 $dist_l_{it} = (\hat{\alpha} Q_{it} / \omega_{it} l_{it}) - 1$ 表示,企业资本配置扭曲程度可用 $dist_k_{it} = [(1 - \hat{\alpha}) Q_{it} / r_{it} k_{it}] - 1$ 表示。其中, $\hat{\alpha}$ 为使用C-D生产函数估算的劳动力产出弹性; Q_{it} 为企业层面工业增加值,以上市企业营业总收入表示; ω_{it} 为上

市企业员工工资,以上市企业应付职工薪酬总额与从业人员数比值来表示; l_{it} 为上市企业从业人员数; k_{it} 为上市企业固定资产总额; r_{it} 为上市企业面临的资本价格或利率水平,参照王宁和史晋川(2015)的做法,采用每年度6个月至1年期企业贷款基准利率的年均值来衡量。由于上市企业要素配置存在配置不足和配置过度两种情况,本文将 $dist_l$ 与 $dist_k$ 取绝对值,得到上市企业劳动力配置扭曲与资本配置扭曲指标,该数值越大表明要素扭曲情况越严重,要素配置效率越低。

3. 企业层面全要素生产率。本文以LP方法计算得到企业全要素生产率(Tfp_lp),用来衡量企业资源配置效率水平,企业各要素投入整合效率越强,意味着企业资源配置效率水平越高,即企业全要素生产率也越高。

表 4 关于要素配置效应的机制检验

变量	数字资源投入结构		劳动力配置扭曲		资本配置扭曲		全要素生产率	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
$\ln Szh$	0.4279** (2.13)	0.3783** (2.07)	-0.3150** (-2.21)	-0.2878** (-2.19)	-7.8715* (-1.94)	-7.3653* (-1.93)	0.5090*** (7.36)	0.4899*** (7.65)
$\ln SNet$	0.2582*** (2.62)		-0.1501** (-2.12)		-4.6188** (-2.28)		0.0913*** (2.60)	
$\ln TNet$		1.0096*** (3.09)		-0.5941** (-2.31)		-9.9478*** (-2.64)		0.3100** (2.49)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	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	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
KP rk Wald F	9.9830	11.9740	12.0030	13.8710	12.2440	14.5920	12.4130	14.5700
Hansen J 检验	0.6640 [0.7176]	0.4990 [0.7794]	0.1500 [0.9277]	0.4110 [0.8143]	2.1080 [0.3485]	1.7260 [0.4218]	2.0600 [0.3570]	3.5310 [0.1711]
样本量	25 928	25 928	26 185	26 185	29 763	29 763	29 725	29 725
R ²	0.2283	0.0897	0.0971	0.0286	0.1716	0.1036	0.0167	0.1285

从表4第(1)(2)列要素投入的结构来看,数字化转型明显提升了数字要素在企业中间品投入中的份额,促进了企业要素投入的数字化水平。第(3)(4)列显示,企业数字化、社会关系网络、绿色技术关联网络对劳动力配置扭曲的影响系数均显著为负,说明企业数字化水平越高,企业和社会关系网络和绿色技术关联网络中的位置越

优越,就越有助于缓解劳动力配置扭曲,提升劳动力配置效率。第(5)(6)列进一步显示,不仅企业数字化降低了企业资本配置的扭曲程度,而且企业间相互学习和知识外溢效应的充分发挥也使得绿色技术关联网络明显缓解了资本配置的扭曲效应。由于要素配置扭曲不利于资源的有效利用和企业污染减排能力的提升(阚大学和吕连菊,2016),因此企业数字化及其关系网络对要素配置扭曲的缓解效应将有助于推动企业污染减排,提升区域环境治理水平。第(7)(8)列显示,数字化转型有助于企业优化要素配置,提升全要素生产率;而企业和社会关系网络和绿色技术关联网络中所处位置越优越,越有助于发挥全要素生产率提升效应,从而减少污染排放。可见,企业数字化及其关系网络不仅能够提升数字资源在要素投入中的占比,优化企业要素配置结构,而且能够缓解要素配置扭曲,提升全要素生产率,进而降低企业污染水平。本文研究假设3得到印证。

六 进一步分析

(一)基于企业数字化和企业网络地位协同效应的研究

根据本文理论机制,企业数字化和企业关系网络在推进污染减排中具有交互影响效应和相互强化效应,为检验该项作用机制,本文在式(7)中进一步引入企业数字化和企业关系网络的交互项,使用二者工具变量的交互项作为 $\ln Szh_{it} \times \ln Net_{it}$ 的工具变量进行两阶段最小二乘估计。表5结果显示,在加入交互项后,企业数字化、社会关系网络、绿色技术关联网络的系数显著为负,而且企业数字化与社会关系网络、与绿色技术关联网络交互项的系数亦显著为负,意味着企业数字化及其社会关系网络和绿色技术关联网络在推动污染减排过程中具有明显的协同效应和相互强化作用。

一方面,企业数字化强化了企业间的沟通和联系,提高了企业关联的密度、强度和传递效率,为企业间社会关系和绿色技术关联网络的构建、社会认同和非正式制度的形成提供了保障;另一方面,企业间社会关系网络和绿色技术关联网络的发展为企业利用数字技术吸收、整合和利用各类资源提供了便利条件,强化了企业数字化的污染减排效应。本文研究假设4得到印证。从交互项作用效果来看,表5第(7)列中绿色技术关联网络与企业数字化的交互效应明显大于第(4)列中社会关系网络与企业数字化的交互效应,说明绿色技术关联网络对数字化转型的污染减排效应具有更为明显的强化作用。

表 5 企业数字化和企业关系网络对污染排放的协同效应研究

变量	企业社会关系网络下的估计结果				企业绿色技术关联网下的估计结果		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	第一阶段	第一阶段	第一阶段	第二阶段	第一阶段	第一阶段	第二阶段
	$\ln Szh$	$\ln SNet$	$\ln Szh \times \ln SNet$	$\ln P$	$\ln TNet$	$\ln Szh \times \ln TNet$	$\ln P$
$\ln Szh$				-0.0526** (-2.24)			-0.0081** (-2.28)
$\ln SNet$				-0.1041** (-2.27)			
$\ln TNet$							-0.0485* (-1.82)
$\ln Szh \times \ln SNet$				-0.0021** (-2.43)			
$\ln Szh \times \ln TNet$							-2.0784*** (-2.78)
$Slope \& IPR$	-0.0910*** (-7.05)						
$Mdis \& IPR$	-0.0006*** (-2.58)						
$Cent \& Anet$		0.00001*** (2.56)			0.0019 (1.34)		
$OSNet \& Gafcd$		19.2599*** (10.84)					
$OTNet \& Gacfp$					3.8128*** (8.05)		
$Slope \& IPR \times Cent \& Anet$			-0.1026*** (-2.83)			-0.1941* (-1.79)	
$Mdis \& IPR \times Cent \& Anet$			0.7512*** (6.13)			1.8668*** (5.59)	
$Slope \& IPR \times OSNet \& Gafcd$			-0.1842*** (-3.16)				
$Mdis \& IPR \times OSNet \& Gafcd$			0.8294*** (3.99)				
$Slope \& IPR \times OTNet \& Gacfp$						-0.0125 (-0.61)	
$Mdis \& IPR \times OTNet \& Gacfp$						0.0269*** (2.99)	
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	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	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
KP rk Wald F				27.591			49.365
Hansen J 检验				5.9360 [0.6544]			5.2610 [0.7293]
样本量	23 658	26 019	26 019	26 019	23 658	23 658	23 658
R ²				0.2634			0.1027

说明:绿色技术关联网下企业数字化的第一阶段估计结果与企业社会关系网络下一致,本表不再列出。

(二)基于“宽带中国”战略和国家级大数据综合试验区的进一步分析

为推动数字经济和实体经济深度融合,国家先后推出“宽带中国”战略和国家级大数据综合试验区试点政策,为企业数字化转型提供了良好的政策环境和保障。本部分进一步探讨在“宽带中国”战略和国家级大数据综合试验区建设影响下,企业数字化转型的污染减排效应。

首先,数字化转型离不开网络基础设施建设,“宽带中国”战略旨在为数字经济发展提供物质基础和载体,保障企业顺利实现数字化转型。本文进一步在计量模型中引入“宽带中国”战略的政策冲击。2014年工业和信息化部与国家发展和改革委员会联合印发《创建“宽带中国”示范城市(城市群)工作管理办法》,标志着“宽带中国”战略正式进入试点阶段。本文使用设置虚拟变量的方式来反映“宽带中国”战略的政策冲击(BD),将城市在“宽带中国”试点及以后年份设置为1,否则设置为0,并将“宽带中国”试点及其与企业数字化、企业关系网络的交互项引入计量方程(7)进行估计,结果如表6第(1)栏所示。其次,大数据技术是企业数字化转型的重要支撑,本文也进一步在计量方程中引入国家级大数据综合试验区建设的政策冲击,探讨在国家级大数据综合试验区建设下企业数字化及其关系网络的污染减排效应。2015年8月,国务院印发《促进大数据发展行动纲要》,将大数据作为国家重要战略进行全面部署,并提出开展国家大数据综合试验区试点工作。由此,国家大数据综合试验区进入试点阶段,意在通过不断实践,总结出一条可以在全国推广复制的大数据产业发展经验。大数据综合试验区在数据资源整合与共享、实现产业数字化和智能化过程中发挥了重要作用。本文依据国家级大数据综合试验区名单,将城市获准建设大数据试验区当年及此后年份设定为1,否则设定为0,构建国家大数据综合试验区建设的虚拟变量(TD)。将国家大数据综合试验区虚拟变量及其与企业数字化、企业关系网络的交互项引入计量方程(7),进一步探讨国家大数据综合试验区试点下企业数字化转型的污染减排效应,估计结果如表6第(2)栏所示。

从表6第(1)栏可以看出,在引入“宽带中国”战略及其与企业数字化交互项后,企业数字化与企业关系网络依然对污染减排有促进作用。同时,“宽带中国”战略及其与企业数字化交互项的参数估计亦显著为负,说明“宽带中国”战略的实施不仅显著降低了企业污染排放水平,而且也通过强化数字经济发展的基础设施建设,提升了企业数字化转型的污染减排效应。“宽带中国”战略与企业社会关系网络、与企业绿色技术关联网络的交互项系数均在10%水平上显著为负,说明在企业污染减排过程中,“宽带中国”战略实施与企业关系网络存在协同效应,不仅“宽带中国”战略强化了企

表6 基于“宽带中国”战略和国家级大数据综合试验区的进一步分析

变量	(1)“宽带中国”战略的影响		(2)国家级大数据综合试验区的影响	
	社会关系网络	绿色技术关联网	社会关系网络	绿色技术关联网
$\ln Szh$	-0.0519* (-1.91)	-0.0805** (-2.06)	-0.0527** (-2.47)	-0.0628*** (-2.61)
$\ln Net$	-0.0026* (-1.68)	-0.6665* (-1.70)	-0.0029* (-1.88)	-0.5511* (-1.81)
BD	-0.0964** (-2.20)	-0.1297** (-2.10)		
TD			-0.1027*** (-2.64)	-0.1049** (-2.52)
$\ln Szh \times BD$	-0.0282* (-1.86)	-0.0434** (-2.02)		
$\ln Szh \times TD$			-0.0286** (-2.39)	-0.0338** (-2.54)
$\ln Net \times BD$	-0.0019* (-1.75)	-0.4802* (-1.73)		
$\ln Net \times TD$			-0.0021** (-1.96)	-0.4001* (-1.84)
控制变量	控制	控制	控制	控制
企业固定效应	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
KP rk LM 统计量	13.8420 [0.0031]	9.5760 [0.0225]	22.9960 [0.0000]	16.1460 [0.0002]
Hansen J 检验	2.2800 [0.3199]	1.0090 [0.6038]	0.4880 [0.7835]	0.4050 [0.8165]
样本量	26 436	26 436	26 436	26 436
R ²	0.1437	0.3341	0.1529	0.2079

业关系网络的社会邻近性和技术外溢性,而且企业关系网络也进一步推进了“宽带中国”战略等数字经济政策的有效实施。表6第(2)栏显示,无论在企业社会关系网络还是绿色技术关联网影响下,国家级大数据综合试验区及其与企业数字化交互项的系数均在5%及以上水平上显著为负,说明国家级大数据综合试验区政策的实施显著促进了企业污染减排,且在国家级大数据试验区试点的城市,企业数字化转型的污染减排效应更为明显。国家级大数据综合试验区与企业社会关系网络、与企业绿色技术关联网交互项的系数亦均显著为负,意味着国家级大数据综合试验区政策的实施也与企业关系网络在推进企业污染减排中存在相互强化效应。国家级大数据综合试验区政策实施提升了企业 在社会关系网络及绿色技术关联网中的地位,增强

了企业获取清洁生产技术和绿色环保资源的能力,因而有助于强化企业的污染减排效应;而企业间社会关系网络、绿色技术关联网络的发展和企业关系网络地位的提升也进一步提升了国家级大数据综合试验区政策的实施效果。

七 结论与政策建议

本文从微观企业层面切入,利用中国2008–2020年沪深A股上市制造业企业污染排放明细数据、年报文本数据及董事兼任和绿色专利引用数据探讨了企业数字化及企业关系网络地位对污染排放的影响。结果显示:(1)企业数字化具有明显的污染减排效应,且企业所处关系网络位置越优越,越有助于强化企业数字化转型的污染减排效应;(2)与企业社会关系网络相比,绿色技术关联网络对企业数字化转型的污染减排效应具有更为明显的强化作用;(3)机制检验发现,绿色技术创新效应、规模经济效应和要素配置效应是企业数字化和关系网络推动企业污染减排的重要渠道;(4)国家级大数据综合试验区、“宽带中国”战略等数字经济政策的实施均有效强化了企业数字化和企业关系网络对污染减排的促进作用。

以上研究结论具有重要的政策启示。第一,应促使企业紧抓数字化转型新机遇积极推动绿色转型发展。企业要积极顺应“数企相融”发展潮流,充分把握数字化转型的良好机遇,增强数字技术引进和研发力度,着力提高生产设备的联网率和数智化率,全面提升数字技术在企业生产、管理、组织设计等领域的融合广度和渗透深度,加快推动企业培育数字经济发展新优势和绿色发展新动能。第二,应加强企业间的社会联系,通过发挥企业的网络外部性和社会邻近性增强企业数字化转型的污染减排效应。要充分利用数字技术在业务发展、职业和在职培训、人事安排等领域建立的企业间社会联系,增强企业间社会邻近性及获取外部资源与先进技术的能力,提升数字化转型中企业间污染减排的协同效率。第三,应增强企业间的绿色技术关联网络,提升企业污染减排水平。企业要依据市场效率原则,选择与自身运营模式、发展阶段、生产技术、市场特征、产业发展环境相吻合的数字化转型模式和绿色发展方式,与周边企业建立起沟通效率高、资源共享性强和技术关联性大的绿色技术网络关系,使企业在绿色技术网络关系媒介作用下加强与周边企业的环保资源及绿色技术对接、互换和共享,不断提升企业在技术关联网络中的地位,有效激发数字化转型对企业污染减排的“赋能”作用。第四,企业应配合政府环境监管治理和生态绩效考核政策,有效激发数字化转型的污染减排效应。企业要利用现有资源与网络关系中的潜在资源提

升数字技术在生产、流通、销售等环节的应用场景,加快提高企业创新能力和完善生产工艺技术,提升企业资源利用效率和生态治理水平;此外,要构建多元化的业绩考核制度,增加生产效率、资源利用率、单位产出能耗及创新产出等反映绿色发展质量的多元考核指标比重,引导企业充分利用社会关系网络和技术关联网络的绿色技术吸收和资源获取优势,综合提升企业的财务绩效和环境绩效,推动企业绿色转型。

参考文献:

- 蔡跃洲、马文君(2021):《数据要素对高质量发展影响与数据流动制约》,《数量经济技术经济研究》第3期。
- 陈祖胜、叶江峰、林明、丁淑娟(2018):《联盟企业的网络位置差异、行业环境与网络位置跃迁》,《管理科学》第2期。
- 戴翔、杨双至(2022):《数字赋能、数字投入来源与制造业绿色化转型》,《中国工业经济》第9期。
- 董直庆、蔡啸、王林辉(2014):《技术进步方向、城市用地规模和环境质量》,《经济研究》第10期。
- 韩国高、陈庭富、刘田广(2022):《数字化转型与企业产能利用率——来自中国制造企业的经验发现》,《财经研究》第9期。
- 韩君、高瀛璐(2022):《中国省域数字经济发展的产业关联效应测算》,《数量经济技术经济研究》第4期。
- 江艇(2022):《因果推断经验研究中的中介效应与调节效应》,《中国工业经济》第5期。
- 阙大学、吕连菊(2016):《要素市场扭曲加剧了环境污染吗——基于省级工业行业空间动态面板数据的分析》,《财贸经济》第5期。
- 刘修岩(2014):《空间效率与区域平衡:对中国省级层面集聚效应的检验》,《世界经济》第1期。
- 卢昌崇、陈仕华(2009):《断裂联结重构:连锁董事及其组织功能》,《管理世界》第5期。
- 彭正银、黄晓芬、隋杰(2019):《跨组织联结网络、信息治理能力与创新绩效》,《南开管理评论》第4期。
- 钱锡红、杨永福、徐万里(2010):《企业网络位置、吸收能力与创新绩效——一个交互效应模型》,《管理世界》第5期。
- 苏丹妮、盛斌(2021):《产业集聚、集聚外部性与企业减排——来自中国的微观新证据》,《经济学(季刊)》第5期。
- 王海森、杜梅(2021):《数字技术、员工参与与企业创新绩效》,《研究与发展管理》第1期。
- 王如玉、梁琦、李广乾(2018):《虚拟集聚:新一代信息技术与实体经济深度融合的空间组织新形态》,《管理世界》第2期。
- 王宁、史晋川(2015):《中国要素价格扭曲程度的测度》,《数量经济技术经济研究》第9期。
- 吴非、胡慧芷、林慧妍、任晓怡(2021):《企业数字化转型与资本市场表现——来自股票流动性的经验证据》,《管理世界》第7期。
- 王雄元、徐晶(2022):《放松市场准入管制提高了企业投资效率吗?——基于“市场准入负面清单”试点的准自然实验》,《金融研究》第9期。
- 严若森、华小丽(2017):《环境不确定性、连锁董事网络位置与企业创新投入》,《管理学报》第3期。
- 袁淳、肖土盛、耿春晓、盛誉(2021):《数字化转型与企业分工:专业化还是纵向一体化》,《中国工业经济》第9期。
- 张勋、杨紫、谭莹(2023):《数字经济、家庭分工与性别平等》,《经济学(季刊)》第1期。

- 赵宸宇、王文春、李雪松(2021):《数字化转型如何影响企业全要素生产率》,《财贸经济》第7期。
- 曾建光、王立彦(2015):《Internet治理与代理成本——基于Google大数据的证据》,《经济科学》第1期。
- Acemoglu, D.; Ozdaglar, A. and Siderius, J. "Misinformation: Strategic Sharing, Homophily, and Endogenous Echo Chambers." *NBER Working Paper*, No.28884, 2021.
- Antweiler, W.; Copeland, B. R. and Taylor, M. S. "Is Free Trade Good for the Environment?" *The American Economic Review*, 2001, 91(4), pp. 877–908.
- Bai, T.; Qi, Y.; Li, Z. and Xu, D. "Digital Economy, Industrial Transformation and Upgrading, and Spatial Transfer of Carbon Emissions: The Paths for Low-Carbon Transformation of Chinese Cities." *Journal of Environmental Management*, 2023, 344, 118528.
- Blanco, E.; Rey-Maqueira, J. and Lozano, J. "The Economic Impacts of Voluntary Environmental Performance of Firms: A Critical Review." *Journal of Economic Surveys*, 2009, 23(3), pp. 462–502.
- Capello, R. *Regional Economics*. New York: Routledge, 2015.
- Copeland, B. R. and Taylor, M. S. "North-South Trade and the Environment." *The Quarterly Journal of Economics*, 1994, 109(3), pp. 755–787.
- Dauth, W.; Findeisen, S.; Südekum, J. and Woessner, N. "German Robots-The Impact of Industrial Robots on Workers." *CEPR Discussion Paper*, No. DP12306, 2017.
- Gao, D.; Li, G. and Yu, J. "Does Digitization Improve Green Total Factor Energy Efficiency? Evidence from Chinese 213 Cities." *Energy*, 2022, 247, 123395.
- Ghasemaghaei, M. and Calic, G. "Does Big Data Enhance Firm Innovation Competency? The Mediating Role of Data-Driven Insights." *Journal of Business Research*, 2019, 104, pp. 69–84.
- Goldfarb, A. and Tucker, C. "Digital Economics." *Journal of Economic Literature*, 2019, 57(1), pp. 3–43.
- Grossman, G. M. and Krueger, A. B. "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement," in Peter Garber, eds., *The Mexican-U.S. Free Trade Agreement*. MIT Press, Cambridge, MA, 1993.
- Grossman, G. M. and Krueger, A. B. "Economic Growth and the Environment." *The Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2), pp. 353–377.
- Gu, J. "Sharing Economy, Technological Innovation and Carbon Emissions: Evidence from Chinese Cities." *Journal of Innovation & Knowledge*, 2022, 7(3), 100228.
- Han, F.; Xie, R. and Fang, J. "Urban Agglomeration Economies and Industrial Energy Efficiency." *Energy*, 2018, 162, pp. 45–59.
- Hao, X.; Li, Y.; Ren, S.; Wu, H. and Hao, Y. "The Role of Digitalization on Green Economic Growth: Does Industrial Structure Optimization and Green Innovation Matter?" *Journal of Environmental Management*, 2023, 325, 116504.
- Helsley, R. W. and Zenou, Y. "Social Networks and Interactions in Cities." *Journal of Economic Theory*, 2014, 150, pp. 426–466.
- Jones, C. I. and Tonetti, C. "Nonrivalry and the Economics of Data." *The American Economic Review*, 2020, 110(9), pp. 2819–2858.

Ma, Y. and Li, B. “Effect of Digitalization on Knowledge Transfer from Universities to Enterprises: Evidence from Postdoctoral Workstation of Chinese Enterprises.” *Technology in Society*, 2022, 71, 102102.

Mazzola, E.; Perrone, G. and Kamuriwo, D. S. “The Interaction between Inter-firm and Interlocking Directorate Networks on Firm’s New Product Development Outcomes.” *Journal of Business Research*, 2016, 69(2), pp. 672–682.

Safi, A.; Chen, Y.; Wahab, S.; Zheng, L. and Rjoub, H. “Does Environmental Taxes Achieve the Carbon Neutrality Target of G7 Economies? Evaluating the Importance of Environmental R&D.” *Journal of Environmental Management*, 2021, 293, 112908.

Yu, C. H.; Wu, X.; Zhang, D.; Chen, S. and Zhao, J. “Demand for Green Finance: Resolving Financing Constraints on Green Innovation in China.” *Energy Policy*, 2021, 153, 112255.

Zhang, Y.; Liu, M. and Fu, B. “Can Digital Technology Application Promote Energy Saving and Emission Reduction Practices in Enterprise? An Empirical Study Based on the Awareness-Motivation-Capability Perspective.” *Energy*, 2024, 286, 129636.

Enterprise Digitalization, Network Status and Pollution Reduction

Han Feng; Huang Min; Jiang Zhuqing

Abstract: This research paper employs the concurrent directorship and green patent citation data of listed enterprises to establish an enterprise relationship network index. It then investigates the impact of enterprise digitalization and its network status on pollution reduction, utilizing panel data from listed manufacturing enterprises. The findings suggest that the implementation of enterprise digitalization can significantly reduce the pollutant emission levels of enterprises, and they indicate that the more advantageous an enterprise network location is, the more conducive it is to facilitating the pollution-reducing effects of digital transformation. Compared to social relationship networks, green technology linkage networks contribute more significantly to enterprise digital transformation. Additional research reveals that the pollution-reducing effect of enterprise digitalization is primarily achieved through green technology innovation, scale economy and factor allocation effects, and its influence is significantly enhanced with the implementation of national big data comprehensive pilot zones and the “Broadband China” strategy. This paper not only examines the impact mechanism of digital transformation on pollution reduction from an enterprise relationship network perspective, but also offers valuable insights for enterprises seeking to embrace green transformation and development in the digital economy.

Key words: enterprise digital transformation, social relationship networks, green technology linkage networks, pollution reduction

JEL codes: D21, L86, P28

(截稿:2024年1月 责任编辑:曹永福)