

企业数字化转型、碳排放与供应链溢出

屠西伟, 张平淡

[摘要] 数字化转型是提升企业全要素生产率、抑制碳排放的重要动力。本文围绕上市公司匹配数据,实证检验了企业数字化转型对供应链各节点企业碳排放的影响。研究发现,企业数字化转型能够显著抑制自身碳排放,且具有前向溢出的降碳效应。机制分析表明,企业数字化转型通过提高自身绿色技术创新水平、企业全要素生产率进而实现自身碳减排,通过提高下游企业全要素生产率进而引致下游企业碳减排。异质性分析表明,企业数字化转型对国有企业、大规模企业、不受环境规制企业的降碳作用更大,对下游小规模企业、近距离企业、资源禀赋更低地区企业的降碳作用更大。进一步研究发现,企业数字化转型对直接碳排放的降碳效应被间接碳排放的增碳效应部分抵消,但这种抵消作用并未显著溢出到下游企业。本文研究结论表明,发挥企业数字化转型的供应链网络降碳效应,对于推动数字化绿色化协同转型发展、提升产业链供应链现代化水平、积极稳妥推进碳达峰碳中和具有重要意义。

[关键词] 企业数字化转型; 供应链; 碳排放; 全要素生产率; 绿色技术创新
[中图分类号] F272 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-480X(2024)04-0133-19

一、引言

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》指出“提升产业链供应链现代化水平”,这是党中央统筹中华民族伟大复兴战略全局和世界百年未有之大变局、站在全面建设社会主义现代化国家新征程的高度所作出的重要战略决策。提升产业链供应链现代化水平,需要企业在流程、功能、环节上实现绿色低碳化,还要求供应链全域实现绿色低碳发展(中国社会科学院工业经济研究所课题组,2021)。碳排放广泛存在供应链的各个环节,涵盖了能源使用、原材料获取、生产过程、物流运输等,单一企业或环节的改良无法有效推动“双碳”目标的实现。推进供应链绿色低碳转型,是中国实现“双碳”目标的重要途径,也是提升产业链供应链现代化水平、推动高质量发展的内在要求。当前,中国“双碳”目标面临减排幅度大、转型任务重、时间窗口紧、核心技术受制约等挑战,绿色低碳转型中数字赋能的重要性愈发凸显。2022年8月,工业和信

[收稿日期] 2023-10-03

[基金项目] 北京市习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心重大项目“人与自然和谐共生现代化研究”(批准号23LLMLA057)。

[作者简介] 屠西伟,北京师范大学经济与工商管理学院博士研究生;张平淡,北京师范大学经济与工商管理学院教授,博士生导师,管理学博士。通讯作者:张平淡,电子邮箱:pingsanzhang@bnu.edu.cn。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见,文责自负。

息化部等三部门联合印发《工业领域碳达峰实施方案》,重点指出“推动数字赋能工业绿色低碳转型,强化企业需求和信息服务供给对接,加快数字化低碳解决方案应用推广”;2022年11月,中共中央网络安全和信息化委员会办公室等五部门联合开展数字化绿色化协同转型发展综合试点。由此,在新一轮科技革命和产业变革的背景下,研究企业数字化转型的降碳效应及供应链溢出,具有重要的现实意义。

既有研究大多关注宏观层面数字化转型对能源环境的影响(Zheng et al., 2023)、微观层面企业数字化转型对创新(Zhuo and Chen, 2023)和生产绩效(Su et al., 2023)的影响,对企业数字化转型的降碳效应关注不足,也没有深入分析企业数字化转型降碳效应的供应链溢出影响。随着市场分工日益精细,供应链中各种信息流相互作用,供应链网络任何节点的微小变化都可能引发“涟漪效应”(陈剑和刘运辉, 2021)。降碳压力不仅作用于单个企业,还能传导至上下游企业,相应地,“双碳”目标的达成可以从供应链网络的整体视角入手(宋华等, 2023),挖掘供应链各环节的降碳潜力,形成合力。涉及供应链网络的相关研究已经开始关注企业数字化转型对上游企业生产率(陶锋等, 2023)、信息溢出(李青原等, 2023)的影响,不过,尚未深入分析企业数字化转型对自身、上下游企业碳排放的影响,对企业数字化转型的降碳效应及供应链溢出的传导机制分析也存在不足。既往文献主要考察了企业数字化转型对企业自身劳动效率(倪克金和刘修岩, 2021)、创新(赵宸宇等, 2021)、人力资本结构(Su et al., 2023)等影响机制,少量文献考察了企业数字化转型对上游企业影响的传导机制,如技术创新(杨金玉等, 2022)、供需关系(陶锋等, 2023)、信息溢出(李青原等, 2023)等,但尚未深入分析供应链节点其他企业主动碳减排的动机。此外,对于间接碳排放的关注也不足。一方面,企业在生产过程中消耗化石能源形成直接碳排放;另一方面,企业数字化转型会消耗电力(Du et al., 2023; Zheng et al., 2023),而中国电力结构中煤电占比高,电力消费需求主要来自煤电,因此,电力消耗会导致间接碳排放的增加。也就是说,企业数字化转型对直接碳排放的影响是否被间接碳排放的增加所抵消,这需要进一步检验。

本文分析了企业数字化转型的降碳效应、机制及供应链溢出,具体围绕上市公司匹配数据构建三级供应链网络数据库,实证检验企业数字化转型对自身、上下游企业碳排放的影响。研究发现,上市公司数字化转型有显著的降碳效应,前向溢出显著但后向溢出不显著,即能够带动下游企业的碳减排,对上游企业的碳减排影响并不显著。其作用机制在于,上市公司数字化转型通过促进自身绿色技术创新水平、提高企业全要素生产率实现碳减排,还能够促进下游企业的全要素生产率提升,引致下游企业碳减排。异质性分析表明,上市公司数字化转型对国有企业、不受环境规制企业、大规模企业的降碳作用更强,对下游小客户企业、近距离企业、地区资源禀赋更低企业的降碳作用更强。进一步分析表明,上市公司数字化转型对直接碳排放的降碳效应被间接碳排放的增碳效应部分抵消,但这种抵消作用并未显著溢出到下游企业。

与既往文献相比,本文研究贡献主要体现在以下四点:①提供了企业数字化转型对碳排放影响的直接证据,拓展了相关研究。现有研究大量考察了企业数字化转型对企业创新(赵宸宇等, 2021)、生产率(陶锋等, 2023)等的影响,少量研究关注到数字化转型对企业碳排放的影响(Shang et al., 2023),然而,这些研究对企业碳排放的变量表征只是依据行业能源消耗数据的估算,存在较大的测量误差^①,无法反映企业真实碳排放情况。本文基于企业微观层面的能源消费数据,研究了

① 由于存在较大的测量误差而导致企业数字化转型对碳排放的影响估计有偏,为此,本文基于数理推导进行解释性说明,具体参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

企业数字化转型的降碳成效。②考察了企业数字化转型对上下游企业碳排放的影响,丰富了企业数字化转型对供应链网络不同节点企业碳排放的影响研究。既有研究对于企业数字化转型的探讨集中在对自身(赵宸宇等, 2021; Su et al., 2023)、中下游企业(杨金玉等, 2022; 陶锋等, 2023)的经济绩效影响,对供应链各个节点的分析不足。本文从供应链网络的整体视角切入,深入分析企业数字化转型对自身、上下游企业碳排放的影响。③基于供应链网络视角,深化企业数字化转型降碳效应的机制分析。本文从绿色技术创新、全要素生产率两个机制入手考察企业数字化转型对自身降碳影响的作用渠道,同时,立足知识溢出和企业主动降碳的动机,基于全要素生产率机制分析了企业数字化转型对下游企业碳减排的影响路径。④丰富了企业数字化转型对直接碳排放和间接碳排放的影响研究。以往对企业碳排放的研究多集中于直接碳排放(徐斌等, 2019),本文比较企业数字化转型对企业化石能源消耗所产生的直接碳排放影响和电力消耗所对应间接碳排放的影响,为企业数字化转型的降碳方向提供了有益启示。

二、理论分析

供应链网络是以核心企业为中心,通过信息流、物流和资金流的控制,连接供应商、制造商、分销商、零售商和最终用户,形成一个具有投入产出关系的功能网络(Ettl et al., 2000)。供应链网络由主体(节点)要素和结构(主体间关系)要素构成。上市公司作为供应链网络中的关键节点和龙头(领导)企业,具有明显的规模、技术和市场优势,拥有较高的供应链主导控制力和行业知名度(叶振宇和庄宗武, 2022),不仅具有数字化转型的基础和能力,还具有较强的网络外部性,能对上下游施加影响,对供应链结构要素产生作用。上市公司作为供应链网络最活跃的中心环节,数字化转型能否抑制企业自身碳排放,能否通过供应链传导至上下游企业,传导机制如何?在此,深入分析企业数字化转型在供应链网络中的传导机制。

1. 企业数字化转型、绿色技术创新与企业自身碳减排

企业数字化转型,可以融合数字技术推动企业绿色技术创新。绿色技术创新往往需要引入新思想、新行为、新产品和新工艺,能够减少对环境的影响,符合生态可持续发展目标。绿色技术的发展高度依赖于其他绿色技术领域,特别是非绿色技术领域的进步(Barbieri et al., 2023),如数字技术的应用和创新。可以看到,一个领域的技术进步推动了其他相关领域的技术发展,一个领域的技术进步也需要其他相关领域的技术进展,只不过,与非绿色技术相比,绿色技术往往需要引入新的知识组合,需要结合更多不同领域的技术。Acemoglu et al.(2016)的研究表明,技术创新不只局限在其所在领域,不只是依托其之前的累积知识,也不太可能是自由涌现,存在所谓的共享知识基础,拼搭和嫁接就能形成新的技术或技术领域。更为真实的情况是,某个技术领域都扎根在一些关键技术基础之上,这样,其迭代速度和创新水平往往取决于所依赖所扎根技术领域、关键技术基础的创新与发展(Barbieri et al., 2023)。企业数字化转型加快了数字技术应用,加速了信息跨越时间和空间的流动,帮助企业快速收集和整理工艺技术数据(Bouschery et al., 2023),促进企业创新过程中多个技术领域之间的链接、渗透和重构,能够提升企业的绿色技术创新水平。循环经济理论认为,绿色技术创新可以通过产品设计的改进和循环思维的应用,提高企业生产效率,降低能源消耗,抑制碳排放。现有研究表明,企业绿色技术创新能够减少环境污染,提高资源利用效率,实现环境保护与企业竞争力相协调的绿色可持续发展。以上分析表明,企业数字化转型可以推动绿色技术创新实现自身碳减排。

2. 企业数字化转型、全要素生产率与企业自身碳减排

企业数字化转型通过提高企业全要素生产率进而抑制企业碳排放,实现企业自身碳减排。企业数字化转型将数字技术以多种形式融入原有的组织体系中,使原材料制造过程、产品研发和生产过程数字化,引发企业创新流程和组织体系的数字化转型(Zhuo and Chen, 2023),促进企业全要素生产率提升(袁淳等, 2021;陶锋等, 2023),能够提升企业竞争优势(杜勇等, 2023)。熊彼特创新理论认为,创新是技术应用和进步而导致的生产要素和生产条件的重新组合。数字化也能够通过重新整合融入数字技术产生新的产品,甚至形成“创造性破坏”,实现企业全要素生产率的提升。此外,企业数字化转型有助于降低搜索成本,扩大搜索的潜在范围和质量(Goldfarb and Tucker, 2019)。应用数字技术可以显著增强企业的信息获取和处理能力,还能减少时空距离带来的信息障碍,帮助企业获取更多上下游企业的信息(Bernard et al., 2019),优化匹配更好的生产资源,发现更多的市场机遇,有利于改进全要素生产率。

全要素生产率是表征现代经济发展质量的核心因素,被视为经济长期持续增长的源泉,其内涵既包括了技术进步带来的边际产出增加,又包括了优化资源配置产生的效率改进(蔡昉, 2013)。新古典经济学理论认为,全要素生产率的提高可以改进资源利用效率(Solow, 1956)。全要素生产率的提升意味着在相同的资源投入下实现更高的产出水平,能够改善资源、能源利用效率(Li and Lin, 2018;张平淡和屠西伟, 2022),可以抑制碳排放。现有研究也提供了改善全要素生产率抑制中国碳排放的经验证据,其中,杨莉莎等(2019)基于中国省份数据,研究发现二氧化碳减排主要依赖技术进步的推动,技术进步带来的实际减排率为2.1%;Chen et al.(2020)的研究同样发现,技术进步的净效应抑制了中国的碳排放。上述分析表明,企业数字化转型通过推动企业全要素生产率实现自身碳减排。

3. 企业数字化转型、全要素生产率与上下游企业碳减排

企业数字化转型通过影响上下游企业全要素生产率,进而带动上下游企业碳减排。企业数字化转型对供应链网络上、下游企业全要素生产率的影响,体现在企业知识溢出的方式以及上下游企业对知识溢出的吸收和转化能力。知识溢出的本质是信息的传递,但是信息的流动和传递受限于空间。企业数字化转型能跨越地理空间限制,促进显性知识远程传播(Forman and Zeebroeck, 2019),而且,基于投入产出关系的网络有利于知识和技术的传播。企业数字化转型能推动自身技术创新,还能在供应链网络中产生知识溢出。企业创新活动的知识溢出,可供其他企业免费使用,促进其他企业研发、知识创新和技术进步(Griliches, 1979),为供应链网络上下游企业全要素生产率改进奠定创新基础。上下游企业能否吸收供应链网络的知识溢出并形成推动自身全要素生产率增长的核心动力,取决于知识溢出的方式和上下游企业各自吸收和转化知识溢出的能力(Isaksson et al., 2016)。理论和经验文献确定了知识溢出的两个主要方式:租金溢出和纯知识溢出(Verspagen, 1997)。租金溢出与企业之间的中间品流动有关,如果这种中间品被用作另一家企业生产过程中的投入,其将从中获得租金溢出。纯知识溢出并不直接与中间品的流动相联系,往往通过专利信息、研究人员流动等渠道发挥作用。

考虑到生产网络的市场结构和投入产出关系的非对称性,企业数字化转型对上下游企业的知识溢出至少存在两个差异:一是溢出方式。企业数字化转型、信息技术投资能够改进产品和发明新产品,以中间品的形式进入下游企业(Cheng et al., 2007),帮助下游企业获得租金溢出,同时,数字化转型企业在申请专利、披露专利信息过程中还能对下游企业形成纯知识溢出。在两种知识溢出方式推动下,下游企业能更便利技术创新,有利于改进全要素生产率。对上游企业而言,由于投入产出关联

的限制,缺乏获得租金溢出的基础和条件。二是吸收和转化能力。供应链关联具有知识溢出效应,但这种效应不会自动产生,取决于对知识的吸收和转化能力。吸收和转化能力主要与外部知识来源之间的技术组合相似度决定(Cohen and Levinthal, 1989),在外部技术内生过程中发挥重要作用(陈爱贞等, 2021),在一定程度上决定知识溢出的创新成果。上、下游企业与上市公司的研发范围、技术领域存在差异,则上、下游企业吸收和转化上市公司知识溢出并将其重新组合成自己技术的能力也势必存在差异。Bartelsman et al.(1994)区分了下游联系(需求驱动的溢出)和上游联系(供给驱动的溢出)的潜在溢出,认为来自供给驱动的研发溢出效应比来自需求驱动的研发溢出效应更能影响长期增长,而需求驱动的外部性只会引起短期波动,有些情形下甚至溢出效应的流动几乎完全是在下游方向(Tallon, 2011),决定了作为数字化转型的下游企业是最大受益者。

对于企业数字化转型所形成的知识溢出,上下游企业吸收和转化知识的主动性直接影响各自生产效率,在很大程度上影响了各自碳减排的主动性。由于知识溢出方式、吸收和转化能力差异,相比于上游企业而言,下游企业的降碳动机可能更强。数据显示^①,2008—2016年下游企业引用上市公司发明专利的平均次数为0.0518次,上游企业引用上市公司发明专利的平均次数为0.0133次,也就是说,下游企业引用上市公司发明专利的次数是上游企业的4倍左右。这一特征事实表明,下游企业对上市公司知识溢出的吸收和转化能力更强,专利相似度高,因而下游企业与上市公司更具备合作研发的基础。客户选择多样性的增加和议价能力的提高,强化了下游企业与上市公司合作研发的基础,进一步激发了下游企业的碳减排动机。一方面,数字技术的应用突破了地理空间的限制,扩大了供应链的地理分布,提高了客户选择多样性(李万利等, 2023),促进下游企业加强与上市公司在生产和研发等方面的合作,巩固创新网络,且有利于长期稳定合作。另一方面,下游企业加强与议价能力强的上市公司合作关系可以降低所面临的供应风险,有助于深化创新网络。上市公司与下游企业间合作研发关系的增强、创新网络的深化,会对下游企业创新行为施加影响,有助于下游企业与上市公司共同研发创新。在共同创新网络下,下游企业提高了对上市公司溢出知识的吸收和转化效率,能够促进下游企业提高全要素生产率,进而抑制碳排放。现有经验研究证据也表明,上游行业数字化转型会推动下游企业全要素生产率提高(杨汝岱等, 2023)。由于合作研发基础不同,上市公司数字化转型对上下游企业全要素生产率影响不同,导致对上下游企业碳减排的效果也可能存在差异。

三、研究设计

1. 数据来源与处理

上市公司是供应链网络的核心企业,是供应链最活跃的中心环节。本文考察上市公司数字化转型对自身碳排放的影响及机制,以及上市公司数字化转型对上下游企业碳排放的影响。在此,围绕上市公司匹配数据构建三级供应链网络数据库。第一套数据是上市企业2008—2016年财务信息数据,包括股权集中度、资产负债率等指标,数据来源于国泰安(CSMAR)数据库。第二套数据是上市企业供销名单,来源于中国研究数据服务平台(CNRDS),该数据库记录了境内前五大供应商和

^① 通过国泰安数据库获得上市公司发明专利被引用信息,其中被引用信息包括专利引用权人,本文通过这个专利信息与上市公司客户和供应商分别匹配,从而获得供应商(上游)、客户(下游)引用上市公司的发明专利数据。

客户的企业名称等信息。仅剔除供销名单中未披露企业名称的供应商或客户,保留了大量非上市供应商和客户数据。第三套数据是2008—2016年全国税收调查数据。

本文在天眼查上检索、爬取、整理,得到了上市公司的工商注册信息数据,获得上市公司法人代码,根据法人代码和年份将上市公司财务信息数据与企业税收调查数据进行精确匹配,获得上市公司2008—2016年匹配数据。根据企业名称和年份将上市公司供应商名单与全国税收调查数据匹配,获得2008—2016年上市公司上游企业匹配数据,根据企业名称和年份将上市公司客户名单与全国税收调查数据匹配,获得2008—2016年上市公司下游企业匹配数据。在获得2008—2016年上市公司匹配数据、上市公司—上游企业匹配数据、上市公司—下游企业匹配数据后,为进一步降低缺失值,基于2008—2014年中国工业企业数据和企业污染排放数据按照企业名称和年份与上述三套数据再次匹配,对于其中缺失值进行补充,最终获得上市公司一年份12914个观测值,上市公司—上游企业一年份8112个观测值,上市公司—下游企业一年份16515个观测值。经过匹配后的数据为本文研究上市公司数字化转型对自身、上下游企业碳排放的影响提供了丰富的数据支撑。^①

2. 计量模型设定

为检验企业数字化转型对自身碳排放及上下游企业碳排放的影响,设定如下计量模型:

$$CO_{2it} = a + a_1 DI_{jt} + X'_{it} \gamma + \delta_j + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,下标 $i = \{s, j, c\}$ 分别对应上游企业、上市公司、下游企业, t 表示时间, δ_j 和 μ_i 分别表示企业和年份固定效应, ε_{it} 为随机扰动项。 DI_{jt} 表示企业数字化转型程度, CO_{2it} 对应上游企业、上市公司、下游企业的企业碳排放量。 X_{it} 是一系列控制变量:讨论上市公司数字化转型对自身碳排放影响时,控制变量纳入上市公司的资产负债率、企业规模、年龄、股权集中度等;讨论上市公司数字化转型对上下游企业碳排放影响时,为提高模型拟合优度,还进一步控制其上下游企业的资产收益率、是否为上市公司等指标。

3. 变量定义

(1) 企业数字化转型。根据吴非等(2021)的研究,对相关数字化词频进行加总,然后将其加1取对数处理作为企业数字化转型的代理变量(李青原等, 2023; Chen et al., 2023)。此外,考虑到企业数字化转型度量的稳健性,本文首先参照赵宸宇等(2021)的做法对数字化相关词频进行统计,并将其加1取对数进行处理以作稳健,其次,采用CNRDS提供的上市公司年报文本数字化指标进一步检验基准结果。

(2) 企业碳排放。有别于现有研究将企业ESG标准的环境绩效分数、与环境相关的新闻和舆论指标(Zhou et al., 2023)作为企业碳排放的代理指标,本文基于企业煤炭、油消耗所产生的碳排放量进行直接折算测算,检验企业数字化转型对碳排放影响的具体效果。具体测算思路如下:样本期企业税收调查数据中企业煤炭、油消费数据存续时间完整,相应选取这两大类化石能源消费数据。根据《中国能源统计年鉴》(2022)各能源折标准煤参考系数,将煤炭消费量(吨)折算为标准煤,折算系数为“0.7143千克标准煤/千克”;同理,将油消费(吨)折算为标准煤,根据企业税收调查数据填表说明可知,油消费包括汽油、煤油、柴油、燃料油等,相应地,将油消费折算系数取值为这四种能源折算系数的均值。根据《综合能耗计算通则》(GB/T 2589-2008)、《省级温室气体清单编制指南》以及孙博文和张政(2021)的研究,将两类化石能源按照相应的碳排放系数进行折算加总,得到企业层面的碳排放量(吨)。对于未消耗相关化石能源的企业以0值替代,最后将碳排放量加1取对数处理。

^① 具体匹配过程和数据处理过程参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

(3)控制变量。本文关注上市公司数字化转型对自身、上下游企业碳排放的影响,根据已有研究(Du et al., 2023;李青原等, 2023;陶锋等, 2023),尽可能控制影响企业数字化转型的关键变量,包括企业规模、资产负债率、股权集中度、企业年龄、净资产收益率、是否持有银行股份、留存收益资产比和行业集中度。在探究上市公司数字化转型对上下游企业碳排放的影响时,为提高模型拟合优度增加估计效率,分别控制上下游企业是否为上市企业、企业规模、固定资产比、净资产收益率和出口状态等变量,还对存在异常值的变量进行上下1%的缩尾处理。

上市公司主要变量描述性统计结果见表1^①。从表1可以看出,企业碳排放(对数值)均值为3.8792,最大值为15.2080,最小值为0,企业碳排放的差异较大;企业数字化转型(对数值)均值为0.7280,标准差为1.1437。主要控制变量数据,如企业资产负债率(均值0.4227)、股权集中度(均值49.6434)、企业净资产收益率(均值0.0659)等控制变量取值均在合理范围内。

表1 上市公司主要变量描述性统计

变量	变量定义	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
<i>CO₂</i>	二氧化碳排放量加1取对数	12393	3.8792	4.5584	0.0000	15.2080
<i>DI</i>	数字化转型程度	12393	0.7280	1.1437	0.0000	5.9764
<i>Hold</i>	是否持有银行股份	12393	0.1646	0.3708	0.0000	1.0000
<i>Debt</i>	资产负债率	12393	0.4227	0.2178	0.0401	0.9849
<i>Stock</i>	股权集中度(%)	12393	49.6434	15.8119	3.0928	96.9400
<i>Size</i>	企业员工人数	12393	0.4544	1.3173	0.0009	29.4761
<i>Retain</i>	留存收益资产比	12393	0.1428	0.1829	-1.1335	0.5372
<i>Age</i>	企业年龄对数值	12393	2.6452	0.4023	0.0000	3.8918
<i>Roe</i>	净资产收益率	12393	0.0659	0.1187	-0.6275	0.3360
<i>HHI</i>	行业集中度	12393	0.0653	0.1121	0.0140	1.0000

四、实证分析

1. 上市公司数字化转型对自身碳排放的影响

企业数字化转型能否推动自身降碳是实现供应链绿色化的关键一环,是降碳效应在供应链上下游溢出的前提和条件。为此,首先验证上市公司数字化转型对自身碳排放的影响。上市公司数字化转型与自身碳排放的相关性图形^②表明二者呈现负相关关系,即企业数字化转型程度越高,企业碳排放量越少。相关性图形描述提供了直观判断,但这一判断并没有考虑其他影响因素的干扰以及企业数字化转型与碳排放之间的内生关系,仅表明了二者存在相关性,为此需要基于基准模型进行回归分析,识别企业数字化转型对碳排放的因果效应。

表2第(1)、(2)列汇报了上市公司数字化转型对自身碳排放的影响。第(1)列未控制企业固定效应、控制变量,回归结果显示两变量之间存在显著的负相关关系,这与相关性图形的图示判断保持一致。在控制企业固有特征、遗漏变量等混杂因素对结果的干扰下,第(2)列回归结果表明上市公司数字化转型显著抑制了碳排放。从第(2)列的经济结果意义看,企业数字化转型每增加1个标

① 上下游企业主要变量描述性统计参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

② 相关性图形描述参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

准差,企业碳排放对数值下降 0.1137($\approx 0.0994 \times 1.1437$),相对于其均值下降 2.93%($\approx 0.1137/3.8792 \times 100\%$)。需要说明的是,由于受到反向因果效应的抵消,真实因果效应可能被低估,后续稳健性检验对此展开深入分析。这一结论初步表明,企业数字化转型显著抑制了碳排放,有降碳效应。现有研究认为,企业数字化转型能够改善企业环境绩效,原因在于企业数字化转型涵盖数字技术的应用,有助于推动企业技术进步,而技术进步能够提高资源利用效率、改进供应链管理、提高生产灵活性以及减少废物产生,可以显著抑制污染排放和碳排放。

表 2 上市公司数字化转型对自身及上、下游企业碳排放的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	上市公司		下游企业		上游企业	
	CO_2	CO_2	CO_2	CO_2	CO_2	CO_2
<i>DI</i>	-0.5973*** (0.0446)	-0.0994** (0.0500)	-0.4882*** (0.0440)	-0.1936*** (0.0701)	-0.5724*** (0.0489)	-0.0164 (0.0938)
控制变量	否	是	否	是	否	是
企业固定效应	否	是	否	是	否	是
年份固定效应	否	是	否	是	否	是
样本量	12870	12393	15421	14115	7627	6911
R ²	0.0226	0.6410	0.0131	0.3892	0.0207	0.4280

注:括号内为聚类到上市公司企业层面的稳健标准误;*、**、***分别表示 10%、5%、1% 的显著性水平。以下各表同。

2. 上市公司数字化转型对上、下游企业碳排放的影响

上市公司和上下游企业所形成的供应链网络,反映了大量企业与多个不同类型的供应商和客户合作的特点。在供应链网络中,任何节点的微小变化往往会引发涟漪效应(陈剑和刘运辉,2021)。作为供应链网络的关键节点,上市公司数字化转型可能通过供应链网络引起上下游的连锁反应,降碳效应在供应链网络中的具体反应强度如何,还需进一步检验。为廓清这一问题,本文首先基于相关性描述进行分析,再通过回归分析进行因果识别。

相关性图形^①表明,上市公司数字化转型与上下游企业碳排放呈现显著的负相关关系。由于没有考虑内生性问题,真实因果效应能否被相关性合理化表征,还需精细识别。表 2 第(3)、(4)列汇报了上市公司数字化转型对下游企业碳排放的影响。第(3)列未做任何控制,回归结果表明二者存在显著负相关关系。在控制企业个体、年份固定效应和相关控制变量后,第(4)列回归系数估计绝对值有所降低,但依然显著为负。从第(4)列的经济意义看,上市公司数字化转型每增加 1 个标准差,下游企业碳排放对数值下降 0.2131($\approx 0.1936 \times 1.1007$),相对于其均值下降 6.63%($\approx 0.2131/3.2125 \times 100\%$)。这一结论表明,企业数字化转型显著抑制了下游企业碳排放,前向溢出效应显著。表 2 第(5)、(6)列汇报了上市公司数字化转型对上游企业碳排放的影响。第(5)列结果显示,在未做任何控制下,两变量之间存在显著的负相关关系,这与相关性图形的图示判断保持一致。在控制企业个体、年份和控制变量下,第(6)列的回归结果显示,上市公司数字化转型并未显著抑制上游企业碳排放,后向溢出效应并不显著。从经济显著性看,上市公司数字化转型程度每增加 1 个标准差,带动上游企业碳排放相对于其均值下降 0.53%($\approx 0.0164 \times 1.1707/3.5999 \times 100\%$)。无论是统计显

① 相关性图形描述参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

著性,还是经济显著性,企业数字化转型的降碳效应都未能显著溢出到上游企业。

3. 稳健性检验

(1) 基准结论的稳健性检验。为验证上市公司数字化转型对自身碳排放影响的稳健性,本文进行了多种稳健性检验:①替换核心变量,基于CNRDS数据库提供的上市公司企业年报文本数字化转型指标,对其词频进行加1取对数处理,然后,参照赵宸宇等(2021)的做法,构建企业数字化转型的替代变量。②替换被解释变量,将煤炭、油消费导致的碳排放调整为以煤为主的碳排放指标。③调整碳排放系数,参照徐斌等(2019)的做法,先将煤炭、油消费折算为标准煤,再按照2.70折算系数计算企业碳排放量。④增加控制变量,模型中加入智慧城市政策的控制变量。⑤调整聚类层级、固定效应,为避免聚类偏差,将聚类层次调整到行业层面、行业交互时间层面,进一步还将固定效应调整到行业层面。

为验证上市公司数字化转型对上、下游企业碳排放影响的稳健性,先根据上市公司数字化转型对企业自身碳排放影响的稳健性检验方式进行相应检验,此外,在探究企业数字化转型对上、下游企业碳排放影响的时候,还考虑了行业内竞争效应带来的水平方向溢出等影响。需要注意的是,在供应链网络中还可能存在企业污染转移行为,最为典型的就是向供应链后端环节转移,甚至层层向上传递。如果企业污染型供应商增多,可能伴随的企业污染转移行为就越严重,为此,需要构造污染转移变量加以控制。以上稳健性检验结果均表明基准结论不变^①。

(2) 内生性问题处理。从理论和现实看,识别企业数字化转型对碳排放的因果效应,可能受到反向因果、遗漏变量等潜在内生问题的干扰。现有针对企业数字化转型指标构造的工具变量多采用全国互联网端口数(万个)或滞后一期全国互联网上网人数(万人)交乘1984年地级市每万人固定电话数量(袁淳等,2021;李青原等,2023)。同样,本文首先构造两个工具变量 IV_1 (全国互联网端口数 \times 1984年地级市每万人固定电话数量)、 IV_2 (滞后一期全国互联网上网人数 \times 1984年地级市每万人固定电话数量)。其次,借鉴既有研究的思路,继续构造工具变量。20世纪80年代以来,中国经济迅速增长,投资规模扩大,综合通信能力显著提升。随着全球信息化浪潮的兴起,国家于1994年5月12日发布了《全国邮电“九五”计划纲要》,明确规定到20世纪末将建立覆盖全国省会城市和重点地区的“八纵八横”高速信息传输和通信网络,以促进高容量的信息传输能力。企业与光缆骨干城市距离的接近程度与企业实施数字化转型所依托的基础和条件紧密相关。从相关性看,宽带基础设施为企业提供了可靠的互联网连接,为企业数字化转型提供了强大的技术支持。由于距离“八纵八横”网络中的节点城市是历史地理变量,具有良好的外生性,因此,通过计算企业所在城市质心到“八纵八横”光缆骨干城市最短距离,再将其加1取倒数^②交乘全国互联网端口数作为工具变量 IV_3 。基于3个工具变量(IV_1 、 IV_2 、 IV_3)的稳健性检验结果均验证了基准结论的可信度。

以上分析结果说明,企业数字化转型能显著抑制企业碳排放,有明显的降碳效应,还能带动下游企业的碳减排,前向溢出效应显著,但后向溢出效应不显著。可能的原因是,企业数字化转型对自身碳排放的影响是直接的,而对下游企业则是多方面影响的叠加效果:一是企业数字化转型通过知识溢出等方式促进下游企业全要素生产率提升进而引致下游企业碳减排,这种直接影响是生产网络的垂直溢出而自然产生的。二是企业数字化转型巩固了与下游企业创新的网络,强化了下游

① 稳健性检验部分详细说明参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

② 加1是由于位于节点城市的企业距离骨干城市距离为0。基于工具变量的稳健性检验结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

企业主动碳减排的动力。下游企业与上市公司具备合作研发基础,还会随着上市公司的客户选择多样性增加、议价能力提高后得到深化。创新网络的深化,有助于提高下游企业的知识吸收和转化能力,强化了下游企业的降碳动机^①。在多重降碳效应的作用下,上市公司数字化转型可能对下游企业碳减排的效果更大。要深入理解企业数字转型显著抑制自身和下游企业碳排放背后的原因,还需深入分析和检验其中的作用机制。

五、机制分析

根据前文理论分析,这里从绿色技术创新、全要素生产率两条路径检验上市公司数字化转型影响自身碳排放的机制,从全要素生产率角度检验上市公司数字化转型对下游企业碳排放的影响机制。

1. 上市公司数字化转型驱动自身碳减排的机制分析

(1)绿色技术创新。数字技术的渗透性促进了绿色技术与更多不同领域的技术融合,可以提高企业现有绿色技术创新质量(Barbieri et al., 2023),有利于抑制企业碳排放。本文预期企业数字化转型能够推动企业绿色技术创新并产生绿色知识溢出。绿色专利数据里面有分类号和主分类号两个变量,这样,在税调数据与专利数据匹配后可以获得两类数据:基于分类号筛选得到的企业绿色发明专利申请专利、基于主分类号筛选得到的企业绿色发明专利申请专利,将两类指标分别加1取对数表征企业绿色技术创新水平,记作 $Invent1$ 、 $Invent2$ 。表3第(1)、(2)列回归结果表明,上市公司数字化转型显著推动自身绿色技术创新水平,这一结论与部分研究一致(Su et al., 2023)。企业数字化转型可以提升快速收集和整理工艺技术数据的能力(Bouschery et al., 2023),促进企业创新过程中多个技术领域之间的链接、渗透和重构,能够提升企业绿色技术创新质量。与此同时,上市公司绿色技术创新水平提升还会产生知识溢出,为此,将上市公司绿色发明专利被索引次数加1取对数表征企业知识溢出水平(PI)。第(3)列结果表明,上市公司数字化转型促进企业知识溢出。考虑到机制结论的稳健性,表3第(4)一(6)列基于工具变量方法进行回归,结果表明上市公司数字化转型依然显著提高绿色技术创新质量,促进知识溢出。

表3 上市公司自身绿色技术创新机制检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	$Invent1$	$Invent2$	PI	$Invent1$	$Invent2$	PI
DI	0.0325*** (0.0083)	0.0303*** (0.0075)	0.0542*** (0.0137)	0.2866** (0.1435)	0.2566** (0.1234)	0.9630*** (0.2768)
控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	否	否	否
行业固定效应	否	否	否	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
KP-LM P-value				0.0000	0.0000	0.0000
CD-F				31.3770	31.3770	46.9780
Hansen J P-value				0.8537	0.9785	0.1884
样本量	12393	12393	12393	11035	11035	11035

注:第(4)、(5)列基于工具变量 IV_1 、 IV_2 、 IV_3 进行回归,第(6)列基于 IV_2 、 IV_3 进行回归。

^① 相关性论证参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

(2)全要素生产率。新古典经济学理论认为,全要素生产率的提高可以实现资源利用效率的改进(Solow, 1956),能够抑制碳排放。根据已有研究采用OP方法测算企业全要素生产率^①。表4第(1)列回归结果表明,上市公司数字化转型显著提高自身全要素生产率水平,这一结论与现有研究保持一致(袁淳等, 2021)。表4第(2)列基于工具变量进行稳健性检验,结果依然稳健。因此,企业数字化转型改善全要素生产率进而影响企业碳排放的作用机制得以验证^②。全要素生产率改进会提高资源、能源利用效率,能够抑制企业二氧化碳排放(Li and Lin, 2018)。

表4 全要素生产率改进机制检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	上市公司		下游企业	
	TFP	TFP	TFP	TFP
DI	0.0597* (0.0340)	0.8480*** (0.3249)	0.0913* (0.0537)	2.2321** (1.1109)
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	否	是	否
行业固定效应	否	是	否	是
年份固定效应	是	是	是	是
KP-LM P-value		0.0001		0.0685
CD-F		20.6310		16.4660
Hansen J P-value		0.4847		0.7619
样本量	8271	7291	8470	7340

2.上市公司数字化转型驱动下游企业碳减排的机制分析

表4第(3)、(4)列回归结果表明,上市公司数字化转型显著提高下游企业全要素生产率,表明上市公司数字化转型可以通过驱动下游企业生产效率改善进而引致下游企业碳减排。表3第(3)、(6)列回归结果已表明,上市公司数字化转型会促进知识溢出,为下游企业吸收知识创造前提条件。考虑到生产网络的市场结构和投入产出关系的非对称性,下游企业更容易吸收上游企业数字化转型的租金溢出和纯知识溢出,也就是说,上市公司数字化转型会促进下游企业主动吸收供应链网络的溢出知识,这能够提高下游企业全要素生产率。杨汝岱等(2023)从资源优化、库存优化等角度同样论证了上游数字化推动下游企业全要素生产率改善。

六、异质性分析

前文分析讨论了企业数字化转型对自身、上下游企业碳排放的影响,还深入分析了作用机制。

① 全要素生产率的测算中投入要素包括资本、劳动,产出要素包括企业工业增加值,数据来源于企业税收调查数据。参考已有文献采用OP方法进行测算(Olley and Pakes, 1996),同时,还采用ACF方法进行修正(Ackerberg et al., 2015),得到修正后的全要素生产率(TFP_{ACF})。检验结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。
② 机制检验中,讨论全要素生产率对企业碳排放的影响借鉴了江艇(2022)的做法。在此基础上,还从实证角度论证了全要素生产率对碳排放的影响,仅作解释性说明,二者结论一致。具体参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

本节着重分析上市公司数字化转型降碳效应的异质性,以及对下游企业降碳作用的异质性。

1. 上市公司数字化转型对自身碳排放影响的异质性分析

(1) 产权异质性。企业所有权性质决定了资源、技术等生产要素的分配和利用方式(杨金玉等, 2022), 相应地, 不同所有制企业数字化转型的降碳效应就可能存在差异。表5第(1)、(2)列结果表明, 国有企业数字化转型具有显著的降碳效应, 而非国有企业降碳效应不显著, 前者效应更强(组间系数差异显著性检验表明, 以下各表同)。类似研究也认为企业数字化转型对环境绩效(Zhou et al., 2023)、能源技术创新(Du et al., 2023)、全要素生产率(Su et al., 2023)等的影响主要存在于国有企业。可能原因是数字化转型是一个复杂的长期过程, 涵盖了企业生产、经营、营销、人力资源等各个方面, 需要持续的资金投入。国有企业往往在行业中拥有更强的市场地位, 拥有更多的资源优势, 具有较强的抗风险能力(Zhuo and Chen, 2023), 能更持久地投入数字化转型, 当然, 也有可能是数字化转型能更好地改善国有企业的生产运作效率, 有利于抑制碳排放。

表5 上市公司数字化转型对自身碳排放影响的异质性分析

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	非国有企业	国有企业	小规模	大规模	不受规制	受规制
<i>DI</i>	-0.0321 (0.0582)	-0.1884** (0.0955)	-0.0687 (0.0659)	-0.1528* (0.0854)	-0.2048*** (0.0789)	0.0105 (0.0658)
控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	7017	5189	6050	5992	6195	6012
R ²	0.6314	0.6562	0.6618	0.6684	0.6474	0.6600

注:对所有分组进行组间系数差异性检验,结果表明均存在显著差异。

(2) 规模异质性。大规模企业通常具有数字化转型的基础和条件:一方面,大企业具备更充足的经济和技术资源,能够投入更多的资金、人力和技术支持数字化转型。数字化转型往往需要大规模的技术改造、设备更新和员工培训等,这些都需要大量的资源投入。相比之下,小企业的资金、技术和人力资源相对有限,数字化转型的资源投入可能受到限制,降碳效应相对较弱。另一方面,大企业在供应链中占据较大的市场份额和影响力,数字化转型所带来的降碳效应应具有更大的规模效应。大企业的生产规模较大,数字化转型可以在更多生产环节中发挥降碳效应,如资源利用效率的提高、能源消耗的减少等。相比之下,小企业的生产规模较小,降碳效应的规模相对有限。可以预期,大企业数字化转型的降碳效应更为显著。根据资产规模的中位数将样本划分为大规模企业、小规模企业。表5第(3)、(4)列回归结果发现,大企业数字化转型的降碳效应强于小企业。

(3) 环境规制异质性。基于二氧化硫排污费征收标准提高的政策背景将样本划分为两类:受环境规制影响的样本、不受环境规制影响的样本,检验在不同环境规制强度下上市公司数字化转型降碳效应的异质性。之所以选择二氧化硫排污费标准提高这一规制政策,是因为企业二氧化硫排放和碳排放同根同源(张平淡和屠西伟, 2023),不同环境规制强度下企业数字化转型的降碳效应可能存在显著差异。表5第(5)、(6)列回归结果表明,不受环境规制影响的样本,企业数字化转型的降碳效应更强。可能的原因是,排污收费制度针对企业污染排放造成环境外部损失征收费用,将污染排放单位成本内部化,这样,受环境规制影响的样本企业面临更大的减排压力,在有限的资源约

束下,企业将部分生产资源用于治污设备的购买,可能会减少在数字化转型方面的投入,不利于发挥数字化转型的降碳效应。不受环境规制影响的样本企业不必额外支出合规成本,可以将更多资源投入到数字化转型,降碳效应更显著。

2.上市公司数字化转型对下游企业碳排放影响的异质性分析

(1)规模异质性。上市公司数字化转型通常伴随着供应链的协同和整合,在数字化转型中建立的供应链平台和创新的合作模式可以为小企业提供供应链协同和对接的机会。通过与上市公司开展合作,小企业可以参与到更高效的供应链网络中,获得更多的商业机会和资源,提高响应速度,降低成本,提升了自身的竞争力。在此,以客户资产规模中位数值将样本划分为大规模客户、小规模客户。表6第(1)、(2)列回归结果显示,上市公司数字化转型对小规模客户碳排放的抑制作用更加显著。由于数字技术创新的高门槛、高成本和高风险,使得许多小企业在数字化转型战略选择中“不愿创新”“不敢创新”,这样,一旦小规模客户能够触及到上市公司的知识溢出,应该更有动力去吸收和转化,这能够提高生产效率,有利于提高降碳效应。对大规模客户而言,具有雄厚的技术、资金基础,面对供应链网络的知识溢出时,动力和积极性可能不太足,上市公司数字化转型的溢出影响有限。

表6 上市公司数字化转型对下游企业碳排放影响的异质性分析

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	小客户	大客户	近距离	远距离	低资源禀赋	高资源禀赋
<i>DI</i>	-0.1845** (0.0856)	-0.1041 (0.1108)	-0.4005*** (0.1510)	-0.1207 (0.0871)	-0.2239* (0.1352)	-0.1097 (0.0840)
控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	6668	7046	4246	9485	5497	8267
R ²	0.4466	0.4608	0.4741	0.4337	0.4713	0.4175

(2)距离异质性。企业数字化转型可以克服地理空间限制,促进显性知识进行长距离传播(Forman and Zeebroeck, 2019),当然,如果距离过远,可能不利于隐性知识的溢出。隐性知识是内含于知识学习者自身的一种高度语境化、多样化和复杂化、难以编码甚至无法编码的知识,只能通过直接的面对面接触来获得,无法通过信息或数字技术进行常规化和远距离传播。与显性知识相比,隐性知识普遍被认为在企业创新过程中发挥着更为重要的作用(Forman and Zeebroeck, 2019),可以认为,数字化转型企业与下游企业的距离影响降碳效应。基于上市公司与下游企业地理距离的中位数对样本划分为近距离、远距离。表6第(3)、(4)列回归结果表明,当上市公司与客户距离超过中位数时,上市公司数字化转型对下游企业的降碳作用不再显著。类似研究表明,企业空间集聚在信息交互、知识转移中依然发挥着重要作用,企业数字化和集聚网络在特定空间范围内才具有明显的协同效应和相互强化作用(韩峰和姜竹青, 2023)。

(3)资源禀赋异质性。下游企业所在地区资源禀赋不同,降碳效应存在差异。上市公司数字化转型为下游企业转变发展方式提供了契机。低资源禀赋地区企业面临资源禀赋约束,技术创新的动力更强,倾向于依托数字化转型企业的知识溢出,将其学习吸收再转化,形成数字技术创新,以数字技术赋能自身发展,改进企业生产效率,提升降碳效应。高资源禀赋地区往往会优先发展资源型

产业,容易造成资源依赖,资源利用效率较低,还缺乏转型动力。可以预期,企业数字化转型对下游低资源禀赋地区企业的降碳作用更加显著。本文对中国不同地区资源禀赋进行划分^①。表6第(5)、(6)列结果表明,上市公司数字化转型显著推动下游低资源禀赋地区企业的降碳效应,对下游高资源禀赋地区企业的降碳效应不显著。

七、进一步分析

前文分析以企业化石能源消耗折算测算二氧化碳排放量,表征直接碳排放,研究结论表明上市公司数字化转型显著抑制自身、下游企业碳排放。企业数字化转型的核心是数字技术的应用,云计算、人工智能、区块链和其他依赖于大量数据和计算的数字技术往往会刺激电力消耗(Zheng et al., 2023),数字化服务和产品的高能源需求和电力消耗也有可能间接导致间接碳排放的增加(Du et al., 2023),这样,企业数字化转型通过技术进步等机制抑制直接碳排放,还有可能刺激电力消耗,增加间接碳排放。因此,有必要进一步回答,上市公司数字化转型带来的直接碳排放的减少是否足以抵消对间接碳排放的增加?

根据电力折算二氧化碳排放系数0.997(单位:千克二氧化碳/千瓦时),计算企业二氧化碳排放量(排除电力、热力生产和供应业企业),并将其对数化处理作为企业间接碳排放指标(*CE*)。根据《中国能源统计年鉴》(2022)各能源折标准煤参考系数,将电力折算为标准煤,计算企业电力能源消耗(单位:吨),将其对数化处理作为企业电力能源消耗指标(*Elec*)。表7汇报了上市公司数字化转型对自身、上游、下游企业电力消耗以及间接碳排放的影响。第(1)列结果显示,企业电力消耗有所增加;第(2)列显示,企业电力消耗对应的间接碳排放有所增加。从估计结果看,上市公司数字化转型程度每增加1个标准差,企业间接碳排放对数值增加0.0963($\approx 0.0842 \times 1.1437$),占间接碳排放均值的1.63%($\approx 0.0963 / 5.8987 \times 100\%$)。相比于上市公司数字化转型对自身化石能源消耗的降碳作用效果0.1137,被电力消耗产生的间接碳排放抵消0.0963,净效果为0.0174,占直接碳排放对数均值的0.45%。第(3)、(4)列结果显示,下游企业电力能源消耗、间接碳排放均未显著增加;第(5)、(6)列结果显示,上游企业电力消耗、间接碳排放均没有显著增加。

表7 企业数字化转型对企业电力消耗和间接碳排放的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	上市公司		下游企业		上游企业	
	<i>Elec</i>	<i>CE</i>	<i>Elec</i>	<i>CE</i>	<i>Elec</i>	<i>CE</i>
<i>DI</i>	0.0695* (0.0408)	0.0842* (0.0503)	0.0321 (0.0625)	0.0401 (0.0777)	0.1131 (0.0866)	0.1442 (0.1052)
控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	12033	12033	13155	13155	6539	6539
R ²	0.6733	0.6736	0.4881	0.4859	0.5268	0.5314

^① 低资源禀赋地区组包含天津、上海、海南、浙江、广东、广西、北京、西藏、湖北、青海、福建、江苏、江西、重庆、吉林、甘肃;高资源禀赋地区组包含宁夏、湖南、辽宁、新疆、云南、四川、河北、黑龙江、安徽、贵州、山东、河南、陕西、内蒙古、山西。

进一步分析的结论表明,企业数字化转型对电力结构清洁化、绿色化转型提出了紧迫要求。目前中国电力结构以火电为主,2021年中国电力装机容量和发电量数据显示,煤电占全部装机容量的46.7%,贡献全国60%的发电量。风电、光伏装机比例合计达到26.7%,电量贡献仅为12%(林伯强和杨梦琦,2022)。国家统计局数据显示,2020年中国总发电量77790.6亿千瓦时,其中,火电占比为68.5%。电力结构的化石能源特征导致二氧化碳排放居高不下。根据2020年中国细分行业碳排放数据显示,2020年中国全年共排放103.76亿吨二氧化碳,燃煤电厂排放量高达35.39亿吨,电力结构清洁化、绿色化问题亟待破解。当前,受制于风电、光伏等清洁能源不确定性、不稳定性及不连续性,消纳并网以及有效调配将是未来能源系统的发展瓶颈,也将催生大量成本,这就决定煤电依然是保障电力电量供应的“压舱石”、兜底手段。短期内,在电力结构得不到有效改善的情况下,企业数字化转型可能加剧间接碳排放,影响“双碳”目标的实现。要解决这一矛盾,需要构建清洁高效、兜底安全的传统能源保障体系,还需要加快规划建设新型能源体系,对于风能、太阳能等可再生能源,充分融合数字化技术,调节新能源发电间歇性、波动性、随机性等特征,降低各种不确定性,提高可再生能源发电效率,逐步替代煤电等高碳发电方式,满足企业数字化转型的电力需求,满足经济高质量发展的电力需求。

结合全文研究结论,企业数字化转型对直接碳排放的抑制被间接碳排放的增加部分抵消。从供应链网络视角看,企业数字化转型的降碳效应向下游溢出,并未显著导致下游企业的间接碳排放增加。现有研究从数字资本、数字化服务等角度论证了数字化转型对电力需求的增加(Zheng et al., 2023)。本文实证还发现,企业数字化转型引致电力消耗增加,会刺激间接碳排放,但是,这种碳排放增加量小于企业数字化转型所带来的碳排放减少量,整体看,企业数字化转型依然具有显著的降碳效应。

八、结论与政策启示

绿色发展是高质量发展的底色,新质生产力本身就是绿色生产力。近年来,数字技术加速创新,成为全球科技革命和产业革命的先导力量,数字技术创新推动了企业数字化转型,是新质生产力引领高质量发展的主要形态。大力推进现代化产业体系建设,提升产业链供应链现代化水平,加快发展新质生产力,需要厚植高质量发展的绿色底色。基于供应链网络视角,研究企业数字化转型的降碳效应及作用机制具有现实意义,对于推动数字化绿色化协同转型发展、提升产业链供应链现代化水平、积极稳妥推进碳达峰碳中和、推动高质量发展具有重要启示。本文围绕上市公司匹配数据构建三级供应链网络数据库展开实证研究,得到以下结论:①企业数字化转型能够显著抑制自身和下游企业碳排放。②企业数字化转型通过提高自身绿色技术创新水平、企业全要素生产率进而实现自身碳减排,通过促进下游企业全要素生产率进而引致下游企业碳减排。③企业数字化转型对国有企业、大规模企业、不受环境规制企业的降碳作用更强,对下游小规模企业、近距离企业、低资源禀赋地区企业的降碳作用更强。④企业数字化转型对直接碳排放的降碳效应被间接碳排放的增碳效应部分抵消,但这种抵消作用并未显著溢出到下游企业。

根据以上结论,本文得出如下政策启示:①大力推动企业数字化转型,发挥数字化转型的降碳效应,加快推动发展方式绿色低碳转型。数字技术创新和应用推动了企业数字化转型,数字化转型还会驱动数字技术迭代创新和突破,塑造企业高质量发展的新动能、新优势。本文实证发现,企业数字化转型能够促进绿色技术创新,能够改进企业全要素生产率,能够带来显著的降碳效

应,也就是企业数字化转型能够夯实经济高质量发展的绿色底色,有利于积极稳妥推进碳达峰碳中和。相应地,推动企业数字化转型,可以推进数字化绿色化协同转型发展,以绿色发展新成效持续激发新质生产力发展新动能。②发挥企业数字化转型对供应链降碳效应的带动作用,提升产业链供应链现代化水平。积极稳妥推进碳达峰碳中和,不仅需要重点行业、重点企业的绿色低碳转型,还需要供应链全域的绿色化。本文研究发现,上市公司数字化转型能够带动下游企业的碳减排,有显著的前向溢出效应,然而,后向溢出及作用机制没有显现,相应地,需要进一步廓清数字化转型降碳效应在供应链网络中的成效和堵点,发挥企业数字化转型降碳效应在供应链网络中的带动作用,推动实现供应链全域的绿色低碳转型,助推产业链供应链的现代化。③强化重点企业数字化转型的降碳效应,支持有条件的重点企业率先碳达峰。坚持把发展经济的着力点放在实体经济上,要深刻把握新型工业化的基本规律,把建设制造强国同发展数字经济、产业信息化、企业数字化转型等有机结合,促进数字经济和实体经济的深度融合。本文异质性分析发现,数字化转型的降碳效应在国有企业、大企业样本中更为显著。相应地,协同推进经济高质量发展和生态环境高水平保护,要强化和发挥重点企业的引领和带动作用,大力推动国有企业、大型企业等重点企业的数字化转型,发挥这些重点企业数字化转型的降碳效应,支持这些有条件的重点企业率先碳达峰,树立深入推进碳达峰行动的标杆。④加快能源、电力结构清洁化转型。中国式现代化需要不断厚植现代化的物质基础,这需要能源结构、电力结构的清洁化转型为依托。本文进一步分析发现,企业数字化转型刺激了电力消耗,加大了间接碳排放,对能源结构、电力结构的清洁化转型提出了紧迫要求。短期内煤电系统仍然是保障电力安全稳定和充足供应的“稳定器”和“压舱石”,要立足能源资源禀赋,坚持先立后破,加快构建新型能源体系,以能源结构绿色转型推动低碳经济发展。

本文深入讨论了企业数字化转型对自身碳排放的影响及机制,及其对上游、下游企业碳排放影响的溢出效应,但存在一些局限性:①受限于供应链网络数据的可得性,本文供应链网络数据是基于上市公司构建的。随着后续数据的整理,可以扩展到一般企业构建供应链网络数据,进而增强研究结论的外部有效性。②从微观层面考察了企业数字化转型的降碳效应及供应链溢出,未来可以将研究视角延伸到产业链层面,深入分析产业链(上下游)数字化转型对企业碳排放的影响。

[参考文献]

- [1]蔡昉.中国经济增长如何转向全要素生产率驱动型[J].中国社会科学,2013,(1):56-71.
- [2]陈剑,刘运辉.数智化使能运营管理变革:从供应链到供应链生态系统[J].管理世界,2021,(11):227-240.
- [3]陈爱贞,陈凤兰,何诚颖.产业链关联与企业创新[J].中国工业经济,2021,(9):80-98.
- [4]杜勇,娄靖,胡红燕.供应链共同股权网络下企业数字化转型同群效应研究[J].中国工业经济,2023,(4):136-155.
- [5]韩峰,姜竹青.集聚网络视角下企业数字化的生产率提升效应研究[J].管理世界,2023,(11):54-77.
- [6]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.
- [7]李青原,李昱,章尹赛楠,郑昊天.企业数字化转型的信息溢出效应——基于供应链视角的经验证据[J].中国工业经济,2023,(7):142-159.
- [8]李万利,刘虎春,龙志能,汤旭东.企业数字化转型与供应链地理分布[J].数量经济技术经济研究,2023,(8):90-110.
- [9]林伯强,杨梦琦.碳中和背景下中国电力系统研究现状、挑战与发展方向[J].西安交通大学学报(社会科学版),

- 2022,(5):1-10.
- [10]倪克金,刘修岩.数字化转型与企业成长:理论逻辑与中国实践[J].经济管理,2021,(12):79-97.
- [11]宋华,韩梦玮,胡雪芹.供应链金融如何促进供应链低碳发展?——基于国网英大的创新实践[J].管理世界,2023,(5):93-112.
- [12]孙博文,张政.国有企业混合所有制改革的碳减排效应及其机制分析——基于中国工业企业污染数据库的微观证据[J].改革,2021,(7):75-90.
- [13]陶锋,王欣然,徐扬,朱盼.数字化转型、产业链供应链韧性与企业生产率[J].中国工业经济,2023,(5):118-136.
- [14]吴非,胡慧芷,林慧妍,任晓怡.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[J].管理世界,2021,(7):130-144.
- [15]徐斌,陈宇芳,沈小波.清洁能源发展、二氧化碳减排与区域经济增长[J].经济研究,2019,(7):188-202.
- [16]杨金玉,彭秋萍,葛震霆.数字化转型的客户传染效应——供应商创新视角[J].中国工业经济,2022,(8):156-174.
- [17]杨莉莎,朱俊鹏,贾智杰.中国碳减排实现的影响因素和当前挑战——基于技术进步的视角[J].经济研究,2019,(11):118-132.
- [18]杨汝岱,李艳,孟珊珊.企业数字化发展、全要素生产率与产业链溢出效应[J].经济研究,2023,(11):44-61.
- [19]叶振宇,庄宗武.产业链龙头企业与本地制造业企业成长:动力还是阻力[J].中国工业经济,2022,(7):141-158.
- [20]袁淳,肖土盛,耿春晓,盛誉.数字化转型与企业分工:专业化还是纵向一体化[J].中国工业经济,2021,(9):137-155.
- [21]赵宸宇,王文春,李雪松.数字化转型如何影响企业全要素生产率[J].财贸经济,2021,(7):114-129.
- [22]张平淡,屠西伟.制造业集聚、技术进步与企业全要素能源效率[J].中国工业经济,2022,(7):103-121.
- [23]张平淡,屠西伟.排污费征收标准调高、技术进步与企业能源效率[J].经济管理,2023,(2):23-38.
- [24]中国社会科学院工业经济研究所课题组.提升产业链供应链现代化水平路径研究[J].中国工业经济,2021,(2):80-97.
- [25]Acemoglu, D., U. Akcigit, D. Hanley, and W. Kerr. Transition to Clean Technology [J]. *Journal of Political Economy*, 2016, 124(1):52-104.
- [26]Akerberg, D. A., K. Caves, and G. Frazer. Identification Properties of Recent Production Function Estimators [J]. *Econometrica*, 2015, 83(6):2411-2451.
- [27]Barbieri, N., A. Marzucchi, and U. Rizzo. Green Technologies, Interdependencies, and Policy [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2023.102791>, 2023.
- [28]Bartelsman, E. J., R. J. Caballero, and R. K. Lyons. Customer- and Supplier-Driven Externalities [J]. *American Economic Review*, 1994, 84(4):1075-1084.
- [29]Bernard, A. B., A. Moxnes, and Y. U. Saito. Production Networks, Geography, and Firm Performance [J]. *Journal of Political Economy*, 2019, 127(2):639-688.
- [30]Bouschery, S. G., V. Blazevic, and F. T. Piller. Augmenting Human Innovation Teams with Artificial Intelligence: Exploring Transformer-Based Language Models [J]. *Journal of Product Innovation Management*, 2023, 40(2):139-153.
- [31]Chen, C., S. Dasgupta, T. D. Huynh, and Y. Xia. Product Market Competition and Corporate Relocations: Evidence from the Supply Chain [J]. *Management Science*, 2023, 69(9):5147-5173.
- [32]Chen, J., M. Gao, K. Ma, and M. Song. Different Effects of Technological Progress on China's Carbon Emissions Based on Sustainable Development [J]. *Business Strategy and the Environment*, 2020, 29(2):481-492.
- [33]Cheng, Z. J., and B. R. Nault. Industry Level Supplier-Driven IT Spillovers [J]. *Management Science*, 2007, 53(8):

- 1199–1216.
- [34]Cohen, W. M., and D. A. Levinthal. Innovation and Learning: The Two Faces of R&D[J]. *Economic Journal*, 1989, 99(397):569–596.
- [35]Du, J., Z. Shen, M. Song, and L. Zhang. Nexus between Digital Transformation and Energy Technology Innovation: An Empirical Test of A-share Listed Enterprises[J]. *Energy Economics*, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106572>, 2023.
- [36]Ettl, M., G. E. Feigin, G. Y. Lin, and D. D. Yao. A Supply Network Model with Base-Stock Control and Service Requirements[J]. *Operations Research*, 2000, 48(2):216–232.
- [37]Forman, C., and N. V. Zeebroeck. Digital Technology Adoption and Knowledge Flows within Firms: Can the Internet Overcome Geographic and Technological Distance[J]. *Research Policy*, <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.10.021>, 2019.
- [38]Goldfarb, A., and C. Tucker. Digital Economics[J]. *Journal of Economic Literature*, 2019, 57(1):3–43.
- [39]Griliches, Z. Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity[J]. *Bell Journal of Economics*, 1979, 10(1):92–116.
- [40]Isaksson, O. H. D., M. Simeth, and R. W. Seifert. Knowledge Spillovers in the Supply Chain: Evidence from the High Tech Sectors[J]. *Research Policy*, 2016, 45(3):699–706.
- [41]Li, K., and B. Lin. How to Promote Energy Efficiency Through Technological Progress in China[J]. *Energy*, 2018, 143:812–821.
- [42]Olley, G. S., and A. Pakes. The Dynamics of Productivity in the Telecommunications Equipment Industry [J]. *Econometrica*, 1996, 64(6):1263–1297.
- [43]Shang, Y., S. A. Raza, Z. Huo, V. Shahzad, and X. Zhao. Does Enterprise Digital Transformation Contribute to the Carbon Emission Reduction? Micro-level Evidence from China[J]. *International Review of Economics & Finance*, 2023, 86:1–13.
- [44]Solow, R. M. A Contribution to the Theory of Economic Growth[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1956, 70(1):65–94.
- [45]Su, J., Y. Wei, S. Wang, and Q. Lei. The Impact of Digital Transformation on the Total Factor Productivity of Heavily Polluting Enterprises[J]. *Scientific Reports*, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33553-w>, 2023.
- [46]Tallon, P. P. Value Chain Linkages and the Spillover Effects of Strategic Information Technology Alignment: A Process-Level View[J]. *Journal of Management Information Systems*, 2011, 28(3):9–44.
- [47]Verspagen, B. Estimating International Technology Spillovers Using Technology Flow Matrices[J]. *Review of World Economics*, 1997, 133(2):226–248.
- [48]Zheng, R., G. Wu, Y. Cheng, H. Liu, Y. Wang, and X. Wang. How Does Digitalization Drive Carbon Emissions? The Inverted U-Shaped Effect in China [J]. *Environmental Impact Assessment Review*, <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107203>, 2023.
- [49]Zhou, M., K. Jiang, and J. Zhang. Environmental Benefits of Enterprise Digitalization in China [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107082>, 2023.
- [50]Zhuo, C., and J. Chen. Can Digital Transformation Overcome the Enterprise Innovation Dilemma: Effect, Mechanism and Effective Boundary [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122378>, 2023.

Enterprise Digital Transformation, Carbon Emissions and Supply Chain Spillovers

TU Xi-wei, ZHANG Ping-dan

(Business School, Beijing Normal University)

Abstract: The green and low-carbon transformation of the supply chain is very important for China to achieve the “dual-carbon” goal, upgrade the modernization of the supply chain, and promote high-quality development. The “dual-carbon” goal is faced with challenges such as large emission reduction, heavy transformation tasks, tight time window, and constraints on core technologies. At present, digital empowerment in green and low-carbon transformation is becoming increasingly prominent. Under the new round of technological revolution and industrial change, the study of the carbon reduction effect of enterprise digital transformation and the supply chain spillover has important practical guidance significance and economic and social value.

Compared with previous studies, this paper examines the impact of enterprise digital transformation on the carbon emissions of its upstream and downstream enterprises from the perspective of the supply chain network, deepens the analysis of the mechanism of the carbon reduction effect, and enriches the study of the impact of enterprise digital transformation on direct and indirect carbon emissions. This paper utilizes the three-level supply chain network database of listed companies from 2008 to 2016 to conduct empirical research, and finds that the digital transformation of enterprises can significantly inhibit their carbon emissions, with a significant forward spillover carbon reduction effect. Mechanism analysis shows that enterprise digital transformation achieves carbon reduction by improving enterprise green technology innovation and total factor productivity (TFP). Enterprise digital transformation leads to carbon emission reduction in downstream enterprises by improving their TFP. Further research shows that the carbon reduction effect of digital transformation on direct carbon emissions is partially offset by the carbon increase effect of power consumption, although this offsetting effect does not significantly spill over to downstream enterprises.

The results of this paper suggest that the continuous promotion of enterprise digital transformation helps realize the carbon reduction effect of digital transformation. In the steady and orderly promotion of “double carbon”, it is necessary to outline the effectiveness and blockage of the carbon reduction effect of digital transformation in the supply chain network as a whole, optimize and focus on the direction and priorities of digital transformation, and form the momentum of carbon reduction. In addition, the enterprise digital transformation puts forward new requirements for the cleaner and greener transformation of energy and power structures. Therefore, promoting the transformation of clean energy and power structure to meet the demand for clean power in enterprise digitalization can effectively reduce indirect carbon emissions. The findings can provide policy references and practical support for upgrading the modernization of the industrial chain and supply chain.

Keywords: enterprise digital transformation; supply chain; carbon emissions; total factor productivity; green technology innovation

JEL Classification: D22 O13 Q50

[责任编辑:李鹏]