

数字赋能、数字投入来源与制造业绿色化转型

戴 翔， 杨双至

[摘要] 数字技术如何赋能制造业绿色化转型,是一个值得深入研究的重要命题。本文通过实证研究发现:数字赋能能够促进企业绿色化转型,这一研究结论在各种稳健性检验下依然成立,而且上述效应在不同能耗强度的行业之间存在异质性。数字赋能还能够通过产业链对上下游企业绿色化转型产生积极的外溢效应。从具体作用机制看,数字赋能主要通过规模效应和技术效应两个机制促进制造业企业绿色化转型。虽然数字赋能对制造业企业绿色化转型具有显著的积极影响,但依托国外数字来源实现的数字赋能,比依托国内数字来源实现的数字赋能,对制造业绿色化转型影响更大。上述差别可能源于国内外数字技术发展的差距,这一判断在不同经济发展水平地区、不同要素密集型制造业行业的异质性分析中均得到进一步证实,说明在新一轮的技术竞争中,中国必须警惕国内外数字技术发展差距可能带来的影响。本文不仅有助于拓展和深化认识制造业企业绿色化转型的影响因素,而且对于如何抓住数字技术带来的战略机遇,在开放融合创新中构筑先发优势,缩小与国外数字发展水平的差距,夯实制造业绿色化转型的数字赋能基础也有重要的政策启示。

[关键词] 数字赋能； 制造业企业； 绿色化转型； 发展差距

[中图分类号]F424 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1006-480X(2022)09-0083-19

一、引言

党的十九届六中全会通过的《中共中央关于党的百年奋斗重大成就和历史经验的决议》提出：“必须实现创新成为第一动力、协调成为内生特点、绿色成为普遍形态、开放成为必由之路、共享成为根本目的的高质量发展”。其中,制造业绿色化不仅是高质量发展的重要表征,更是基于符合生态文明建设要求的可持续发展模式。客观而论,经过40多年的开放发展,中国产业尤其是制造业实现了长足发展,突出地表现为自2010年以来,中国制造业已连续11年位居世界第一。但正如现有研究指出,体量之大并非代表着筋骨之强(金碚,2018),在当今全球制造业四级梯队格局中,中国

[收稿日期] 2022-02-22

[基金项目] 江苏省高校哲学社会科学研究重大项目“习近平关于双循环新发展格局重要论述研究”(批准号2021SJZDA010);江苏省社会科学基金一般项目“习近平总书记关于对外开放的重要论述与江苏开放型经济研究”(批准号22EYB014)。

[作者简介] 戴翔,南京审计大学经济学院教授,江苏省习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心特约研究员,博士生导师,经济学博士;杨双至,浙江大学经济学院博士研究生。通讯作者:杨双至,电子邮箱:18262616344@163.com。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见,文责自负。

处于第三梯队,与美、欧、日等制造业强国相比,还有较大差距(苗圩,2017)。在过去嵌入全球价值链过程中,中国主要是通过承接发达国家转移的位于产业链低端的劳动密集型产业,加速本国工业化进程以壮大经济实力。然而,由于转移的大多为高消耗、高污染的价值链环节,且中国在经济建设初期更多偏重发展速度,加之污染治理能力相对较弱,因此,在制造业快速扩张过程中,也带来产业结构失调、环境污染严重等不可持续问题,增长方式亟待转变。特别地,当前中国已迈入高质量发展的新阶段,作为制造业大国,能否实现由大到强的跨越,关系到经济高质量发展的目标能否顺利实现,其中包括制造业绿色化等中高端发展目标。当前,针对“制造业绿色化转型”尚未形成统一界定,但基于《关于深化制造业与互联网融合发展的指导意见》《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》《中国制造2025》等有关文件论述,以及理论研究中对“制造业绿色化转型”的理解(中国社会科学院工业经济研究所课题组,2022;解学梅和韩宇航,2022),可以认为,“制造业绿色化转型”的核心和根本要义在于“节能减排”,因此,在具体表现上可以从两个维度进行考察:一是能源消耗强度,二是污染排放强度。

当前,得益于信息与通信技术的发展,数字经济作为一种新型经济形态日益成为全球经济和社会发展的重要推动力(逢健和朱欣民,2013),不仅能对传统产业进行全方位、全角度、全链条赋能,而且不断催生出新的产业与模式,进而释放数字技术对经济发展带来的放大、叠加、倍增作用(贾利军和陈恒烜,2021)。数字技术的出现与迅速发展,不仅会促进各产业之间的深度融合,而且可能推动全球价值链重构,发展中国家在这一过程中可能通过推动产业中高端化发展,进而提升自身的全球价值链参与度,在开放中获得更大的收益(江小涓和孟丽君,2021)。目前,发达国家已经将发展重点转向数字经济,并寄予通过数字技术进步实现“重振制造业”的战略目标,抢占新一轮技术革命的主导优势。例如,美国从实施“信息高速公路”战略到“先进制造业”战略以及发布《国家网络战略》、英国出台《数字发展战略》和《政府数字服务:2021—2024年战略》、德国实施“工业4.0”发展战略等(刘淑春,2019),无不寄希望于通过数字赋能而推动制造业新发展。实际上,数字技术作为一种新的生产力,能够极大地提高生产效率并促进传统生产方式转变,有望成为工业发展的支撑动力,由此推动与传统发展模式有着重要区别的新型工业化可持续发展,包括通过数字技术与传统工业结合以实现绿色化转型。

在此背景下,中国十分重视数字化与绿色化的战略地位。2015年中央政治局会议上首次提出“绿色化”这一概念,绿色化的提出意味着过去的经济发展模式不可持续,在未来经济建设中不仅要发掘经济增长新动能以维持中国经济持续进步,还要打造包含考虑环境因素在内的可持续发展模式,实现经济效益与生态效益相统一。同年,国务院颁布的《中国制造2025》中提出,全面推行绿色制造,包括加快制造业绿色改造升级、推进资源高效循环利用、积极构建绿色制造体系、开展绿色制造工程。习近平总书记在2018年中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上讲话时提及“融合机器人、数字化、新材料的先进制造技术正在加速推进制造业向智能化、服务化、绿色化转型”。近期颁布的《“十四五”工业绿色发展规划》中更是明确指出“统筹发展与绿色低碳转型,深入实施绿色制造”,并提出了“到2025年,工业产业结构、生产方式绿色低碳转型取得显著成效,绿色低碳技术装备广泛应用,能源资源利用效率大幅提高,绿色制造水平全面提升”的发展目标。这就提出了一个很有理论意义和实践价值的问题:数字赋能是否以及如何有助于制造业企业绿色化转型?遗憾的是,鲜有文献对这一重要命题进行深入研究。

虽然针对数字赋能对制造业企业绿色化发展的影响,目前还缺乏直接理论和经验研究,但有关数字技术及其影响与有关制造业绿色化研究,为本文提供了借鉴和启发意义。概括地看,当前有关

数字技术研究主要集中于两个方面:一是数字经济内涵及衡量方法(许宪春和张美慧,2020);二是研究数字技术对经济发展的影响。在宏观与中观层面,现有文献主要探讨数字经济与数字技术对国内经济高质量发展的影响(赵涛等,2020)。在微观层面,现有文献主要侧重探讨数字技术对企业生产效益(柏培文和喻理,2021)、组织结构及变革(Bloom et al.,2012)、企业全球价值链地位升级(张晴和于津平,2021)等方面的影响。可见,现有研究尚未关注到数字技术对制造业企业绿色化转型的作用。

关于绿色化转型研究,现有文献聚焦于企业污染排放,涉及环境规制(万攀兵等,2021)、市场分割(吕越和张昊天,2021)、产业集聚(苏丹妮和盛斌,2021)、对外贸易(陈登科,2020)等对企业污染排放可能带来的影响。少量文献虽然关注到数字经济对绿色化转型可能产生的影响,但并未考虑数字技术对绿色化转型的全面影响及其内在机制,且进一步考虑在全球化背景下,不同来源的数字技术对中国企业绿色化的影响是否存在异质性等问题,现有文献没有进行探讨。

鉴于此,本文着重探讨数字赋能对制造业绿色化转型的影响。与现有文献相比,本文可能的边际贡献在于:①在研究视角上,从数字技术角度入手,探讨制造业企业绿色化转型的影响因素。具体而言,从理论和实证两个层面分析数字技术作为一种新技术能否以及如何促进制造业企业绿色化转型,并且考虑不同能耗强度的制造业行业间可能存在的异质性影响。②在指标衡量上,将制造业投入数字化细化到企业微观层面,以此作为制造业企业数字赋能表征变量,与此同时,采用企业能源消耗强度与污染排放强度两个指标,对企业绿色化转型进行全面衡量与测度,试图从微观层面研究数字赋能对企业绿色化转型可能带来的影响。③在研究内容上,不仅研究了数字赋能对企业绿色化转型产生的作用,而且还探讨了其中可能的作用机制,并进一步对规模效应与技术效应两个主要中介机制进行细分,以全面衡量数字赋能对绿色化转型影响的可能传导途径。④考虑到全球化条件下开放发展的特征事实,将数字赋能进一步区分为利用国内数字技术与国外数字技术,研究基于不同数字技术来源的数字赋能,对企业绿色化转型的异质性作用,进一步从地区差异、行业差异等角度对异质性产生的原因进行分析。

二、理论机制与假说提出

以“节能减排”为核心和根本要义的绿色化,反映在经济领域主要是一种生产方式,其不仅仅体现了生产效率的持续提升,更重要的是强调了一种益于自然环境的生产方式。尽管过去的工业革命给世界发展带来了巨大的积极变化,但机器的使用与标准化生产也带来了大量资源消耗、环境污染。不同于传统生产技术,数字技术本身就具有高技术含量、低环境成本等特点,在提高生产效率的同时,更加注重生产与环境的协调,能耗和物耗均相对有限,对环境影响也是微乎其微(鲍健强等,2008),因而数字技术并不同于以往其他生产投入与技术,其在极大提高资源配置效率的同时,还有利于环境的改善(Arik, 2009)。从绿色化内涵要求与数字技术特点看,数字技术应用无疑符合绿色化发展两大内涵,即从投入和产出两个层面看,具有推动企业从高投入、高产出、高耗能、高污染的传统生产模式,向低碳、节能、高效生产模式转变的能力,有助于企业在利用新技术提高自身生产效益同时,兼顾生产模式对环境带来的负面影响,从而实现自身绿色化转型。例如,航空航天等制造业产业领域的研发设计,在传统经济发展模式下离不开“风洞”进行空气动力学试验,如此的试验装备不仅具有高昂的投入成本,而且也有极高的运营和维护成本,会增加物质能耗和污染排放。但是,在数字技术支撑条件下,诸如此类的研发设计可以改为数字化模型,可实现精准的飞机外形

设计,大大减少了“风洞”建设和试验的能耗和污染。制造业领域的源头设计环节如此,中间的生产阶段和使用阶段乃至生命周期的再回收阶段无不如此。据此,本文提出:

H1:数字赋能能够有效促进制造业企业绿色化转型。

数字赋能之所以能够促进制造业企业绿色化转型,主要是通过规模效应与技术效应两个作用机制发挥作用,其中,规模效应可表现为制造业企业自身规模效应与企业所在地区规模效应;技术效应可表现为技术进步与资本更新。

就制造业企业自身规模效应而言,传统工业时代下制造业企业由于受到自身管理能力、资产存量等因素限制,并不能简单地将生产规模保持在最佳水平即长期平均成本最低点,以保证自身生产利润的最大化,也就是说,制造业企业的生产规模扩张受到一定的限制(裴长洪等,2018)。在数字经济时代,数字技术的一大特点是固定成本较高,但能够持续降低制造业企业边际生产成本,因此,制造业企业生产规模的持续扩张所受到的限制会无限缩小甚至可以忽略,在此基础上,平均成本的持续下降带来生产的规模经济,进而扩展制造业企业生产可能性边界。另外,制造业企业生产规模的扩大,不仅仅体现在原有产品生产效率,也能够反映在产品多样性这一范围经济方面。得益于数字技术的应用,制造业企业能够较快获取并更新市场信息,进而迅速反馈到制造业企业生产行为之中,缓解信息不对称带来的生产滞后问题,提高生产效率,降低能耗水平。因此,数字技术不但通过制造业企业供给侧的生产规模扩大促进效率提升,而且可以通过需求端信息的及时传递,扩大制造业企业经济范围,因而数字技术的采用会带来收益的持续递增。规模扩大带来的生产率提高可能会减少制造业企业对原材料以及其他能源的利用率,而且制造业企业利润增长使制造业企业将更多的资金投入到减排之中,以此提高制造业企业污染治理水平。因此,数字技术能够通过扩大自身规模促进制造业企业绿色化转型。

就制造业企业所在地区规模效应而言,多样化产业集聚能够促使信息汇集的产品空间不断强化其自身发展优势,进而对邻近企业溢出更先进的技术和知识(董洁妙和余壮雄,2021)。数字技术的应用,有利于有较强联系或类型差别较小的产业在空间格局中形成集聚。根据产业集聚相关理论可知,关联性较强的企业集聚,会加速企业间信息传递与技术交流,进而促进对地区集聚产业产生积极的知识、技术溢出等外部效应,降低企业投入成本,提高各企业生产效率,包括能源利用效率。产业集聚带来的企业利润增长与技术共享,使企业将更多资金用于减排,促进同行企业排污技术共享,进而使得企业污染处理技术升级并提高污染处理能力。当然,制造业集聚也可能会造成环境污染、企业资源配置效率下降等负面影响,但从前文分析指出的数字经济条件下数据生产要素根本特性看,由数字赋能制造业企业形成的集聚水平达到一定程度后,集聚会表现出显著的减排效应,从而总体上有利于企业绿色化转型。此外,由数字技术和数据生产要素的特点可知,其不仅有助于促进相关企业在地理空间上的集聚,同时也能提高无关产业之间的联系,原本可能缺乏技术与经济上交流与合作的产业和企业,伴随着数字技术的应用,其联系可能会得到加强,甚至能够实现技术突破。需要指出的是,上述效应在数字技术应用初期可能难以显现,原因主要在于产业间数字应用水平存在差异,因此,数字技术利用度与绿色化转型速度可能并不完全同步,进而众多且关联性较弱的企业集聚所产生的规模效应,在促进制造业企业绿色化转型这一作用中的中介效应并不明晰。在数字技术发展初期,企业所在地区规模效应的主要机制,可能仍然在于相关产业和企业之间的集聚产生的积极溢出效应。

就技术进步效应而言,数字技术的应用对企业来说,本身就是生产投入的一种新技术,包括数据生产要素的使用,因而能够提高企业能源利用效率水平。进一步地,对于制造业企业,数字技术应用带来的包括能源利用效率等方面的效率提升,在拓展生产可能性边界的同时,更重要的是对创

新技术边界的延伸(郭美晨和杜传忠,2019),包括能源利用效率等在内的效率提升能够增强制造业企业盈利能力,进而促进企业进行产品以及技术上的创新,反过来进一步推动效率提升。另外,数字技术带来的创新还体现在有利于企业减少污染排放的清洁技术方面。由于污染排放本身也是一种成本,因此,制造业企业在提高能源利用效率、推动技术进步的同时,也会考虑到其带来的负面影响,进而在技术研发与创新过程中纳入对环境这一因素的考虑,提高生产技术的清洁度,因此创新水平的提升也体现在污染处理技术与生产设备进步等方面。总之,数字技术可以通过增强制造业企业技术进步能力促进自身绿色化转型。

就数字技术加速企业资本更新而言,由于数字技术本身是一种带来革新方式的科学技术进步,而以革新的方式更新企业生产,即用效率更高的机器设备代替过时的旧生产设备,或是以更为先进的生产技术代替传统生产工艺,既可以使设备与生产方式更符合绿色可持续的现代化生产需求,又可以提高企业自身经济效益。也就是说,随着数字技术的应用与不断进步,若继续使用原先投入生产的大部分生产机器设备与技术,可能会因生产技术落后影响自身的生产速度和市场竞争能力,因此,制造业企业需要顺应技术进步不断更新自身的生产设备,以符合采用数字技术的需要。换言之,数字技术的应用会促使制造业企业加快生产性资本更新步伐,在提高生产效率的同时,也促使制造业企业倾向投入更加先进环保的新机器设备以促进减排,从而实现制造业企业整体绿色化转型。由此,本文提出:

H2:数字赋能主要是通过规模效应和技术进步效应促进制造业企业绿色化转型,其中,规模效应包括企业自身规模效应与企业所在地区规模效应;技术效应包括企业技术进步与资本更新。

随着生产分工的细化,各部门之间的生产联系日益紧密,对一个产业而言,其生产方式、技术等方面的变化会通过产业关联效应对其他产业部门产生影响。也就是说,数字技术的使用不仅通过规模效应与技术效应影响企业自身绿色化转型,而且可能会影响同处于产业链上下游的企业生产行为。前文分析指出,数字技术可能会通过增强企业间在经济、技术等方面的联系而影响相关企业绿色化转型,即数字技术带来的生产红利,可能会首先影响联系最为紧密的制造业企业,通过高协同性与正反馈效应形成具有强烈互动的产业集群,再通过产业链的关联效应影响其他上下游行业企业的生产行为,进而促进上下游企业绿色化转型。

具体看,就前向产业关联效应而言,上游行业在生产中使用数字技术,通过规模效应与技术效应促进绿色化转型,反映到供应链下游行业的产品与服务中,而这会通过向下游行业提供生产所需的投入中间品,直接影响下游行业的能源消耗强度与污染排放强度。不仅如此,上游行业使用数字技术大幅提高了自身生产效率以及产品质量,在“匹配效应”的影响下,在一定程度上也能推动下游行业进行技术创新与生产方式变革,进而提高自身绿色化转型水平。因此,上游行业在生产中加大数字技术的应用,对下游行业的主要外溢效应体现在直接的技术层面。另外,下游行业使用数字技术也会对上游产业产生积极的溢出效应。具体而言,如果下游行业因数字赋能促进了自身绿色化水平,那么其对中间投入品和服务的质量与环保度也会产生更高要求,进而通过产业链的关联效应推动上游行业生产行为的改进,促进上游行业注重自身生产效益的提升并提供更为清洁的中间品。此外,正是由于下游行业对中间投入品和服务的要求提高,导致在上游行业的企业之间产生竞争效应,进一步促进上游行业企业的绿色化转型。总之,下游行业的制造业企业在数字赋能下实现绿色化转型,会通过需求效应与竞争效应,推动上游行业制造业企业的绿色化转型。据此,本文提出:

H3:数字赋能不仅能推动制造业企业自身绿色化转型,而且还会通过产业链产生积极的外溢效应,进一步推动产业链上游与下游制造业企业的绿色化转型。

在全球化大背景下,各个国家经济发展紧密相连。各国在对外交流过程中通常具有“出口中学”效应等明显的学习效应、技术外溢效应(Hummels et al., 2001; Javorcik, 2004),这一点尤为表现在,发展中国家企业在向发达国家出口过程中,能够主动或者被动地从发达国家获得产品设计、生产工艺、生产管理等方面的技术指导,从而促进其企业效益提升。在数字经济时代,数字技术快速发展将各经济体更加紧密地联系起来,不仅显著提高了国际贸易规模,而且能够大幅降低贸易成本、提高贸易效率(Chaney, 2011),进而促进交流向深度与广度拓展。尤其是考虑到数字技术和数字经济具有开放、开源的特性,与以往经济发展模式下相比,国与国之间的信息、技术在各经济体之间可共享的程度会更高。在中国对外开放与吸引大量外资的过程中,通过引进有利于环保的产品与技术,能够影响企业的绿色生产(Letchumanan and Kodama, 2000),同时引进的国外大量先进技术和管理知识也促进了经济发展(黄群慧,2018),而引进的新技术可能会有利于改善制造业的环境质量,促使其实现绿色化生产与转型(Birdsall and Wheeler, 1993)。因此,在数字经济条件下,考虑到数字技术具有典型的开放和开源式特征,利用数字赋能从技术来源角度看,不仅有来自国内数字技术支持,而且会受到国外数字化发展水平的影响。这就提出了一个非常有意义的问题:不同来源的数字技术对中国制造业企业绿色化转型是否会产生不同影响?如果说上述异质性影响确实存在,那么其在不同地区、行业之间具有怎样差异性表现?

本文认为,考虑到数字技术本身具有前文分析指出的各种效应,不论是来源于国内还是来源于国外的数字技术,对企业绿色化转型均存在着积极促进作用,即不同来源的数字技术均有利于中国制造业企业实现绿色化转型,这种影响并不因数字投入来源而产生显著差异。但需要指出的是,由于不同国家所处发展阶段不同,数字技术与各产业领域的融合发展程度也不尽相同,进而在开放条件下,一国制造业数字化转型所依赖的数字投入来源也会有所差异。令人欣慰的是,近年来伴随中国数字技术和数字经济的快速发展,中国在某些方面已经跻身世界前列。例如,联合国贸易和发展会议(UNCTAD)发布的《2019年数字经济报告》指出,美国和中国在全球数字经济发展中保持领先。当然,在看到中国数字经济发展方面具有“领先优势”的同时,也要注意到在某些方面与发达国家存在的差距。《2022全球数字经济发展水平评估报告》指出:“数字技术与制造业融合为制造业创新发展提供了新动力,纵观全球主要国家制造业与数字化发展,德、美、韩、日、英五国制造业数字化转型领跑全球,尤其是德国、美国、日本制造业数字化水平和综合实力均全球领先。”因此,从体量看,中国在制造业数字化上已经遥遥领先于发达国家,但是考虑到中国大量传统制造业本身数字化程度较低,中国在制造业数字化密度上可能与发达国家还有一定差距。此外,工业和信息化部发布的《中国工业软件产业白皮书(2020)》表明,在诸如设计研发、信息管理、生产控制管理、工业嵌入式软件和工业集成平台、计算机辅助制造、大量数理分析软件、集成核心工业经验软件等方面,中国还面临着严重“卡脖子”问题,由此也反映出此类技术领域中中国与发达国家之间的差距以及中国对外部市场的依赖。总之,不同国家数字技术发展水平不同,中国各地区之间同样存在着数字技术发展差异,包括对数字技术利用水平的差异、不同地区实际开放水平的差异,因此,各地区受到国内与国外不同来源数字技术的影响大小可能会有所不同。当国外数字技术发展水平较高而国内发展水平相对较低时,依赖数字赋能促进绿色化转型,来自国外数字技术产生的效应可能更为明显。此外,除了数字技术来源的国别差异外,不同产业的制造业企业依托数字赋能实现绿色化转型的效应可能也不尽相同。通常而言,考虑到数字技术的自身特点以及其与各行业的适配程度,其投入使用带来的影响在不同要素密集型的行业之间可能会存在异质性,与数字技术密切关联的知识密集型与高技术行业,可能对数字技术的依赖程度更高,在相同条件下可能更容易受到数字技术的影响。而

对于技术含量较低的行业如劳动密集型产业,数字技术与其融合确实能推动传统低技术产业变革升级,但其转型过程可能对数字技术的发展水平与质量要求较高,也就是说,在国内数字技术包括数字基建仍处于起步阶段,尚未达到全面渗透以及在各产业领域广泛应用阶段,依托数字化转型可能主要还表现为对数字技术更敏感、依赖程度更高、率先得到应用的制造业行业领域。由此,本文提出:

H4: 基于国外和国内不同来源的数字技术投入,数字赋能对制造业企业绿色化转型存在异质性影响,国外数字技术对制造业企业绿色化转型的促进作用大于国内数字技术,而且这种异质性影响会体现在不同地区、不同行业之间。

三、研究设计与数据来源

1.模型构建

本文试图从制造业企业层面验证数字赋能对绿色化转型可能产生的影响。考虑到企业层面数据可得性,本文从投入与产出两个角度,即将制造业企业能源消耗强度与污染排放强度两个指标作为制造业企业绿色化转型的表征变量。回归模型具体设定如下:

$$Energy_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Digital_{ijt} + \alpha_2 controls_{ijt} + \varepsilon_{ijt} \quad (1)$$

$$Pollution_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Digital_{ijt} + \alpha_2 controls_{ijt} + \varepsilon_{ijt} \quad (2)$$

其中,下标*i*、*j*、*t*分别表示企业、行业、年份; $Energy_{it}$ 表示企业 *i* 在 *t* 年的能源消耗强度; $Pollution_{it}$ 表示企业 *i* 在 *t* 年的污染排放水平; $Digital_{ijt}$ 为制造业企业的数字赋能,也是本文最关心的核心解释变量,在具体测度上,以 *j* 行业 *i* 企业在 *t* 年的生产投入数字化水平表示; $controls_{ijt}$ 是一系列企业层面及行业层面的相关控制变量。

2.变量与数据说明

(1) 制造业企业绿色化转型。本文以制造业企业能源消耗强度和污染排放强度两个指标作为绿色化转型的替代变量,具体测算方法说明如下。

关于能源消耗强度($Energy$),本文选取了企业工业煤炭消费量、原料煤消费量以及燃料油消费量这三种能源消费指标,同样参照对污染排放强度的测算方法,对企业的能源消耗强度进行测算,并对测算出的企业能源消耗强度指标取倒数,从而其值越大,说明企业能源消耗强度越低。

关于污染排放强度($Pollution$),本文主要选取了工业废水排放量、化学需氧量排放量、烟粉尘排放量、二氧化硫排放量、氨氧化物排放量这五种污染排放指标,并参考王杰和刘斌(2014),计算出各企业污染物单位产值的排放量:

$$pollution_{iqt} = \frac{E_{iqt}}{Output_{it}} \quad (3)$$

其中,*q* 表示各个污染物的排放量(*q*=1、2、3、4、5,分别为五种污染物); E_{iqt} 表示 *t* 年企业 *i* 对污染物 *q* 的污染排放量; $Output_{it}$ 表示 *t* 年企业 *i* 的工业总产值; $pollution_{iqt}$ 则表示 *t* 年企业 *i* 污染物 *q* 的单位产值排放量。在这一基础上,对各个污染物的单位产值排放量进行线性标准化处理:

$$pollution_{iqt}^{stan} = \frac{pollution_{iqt} - \min(pollution_q)}{\max(pollution_q) - \min(pollution_q)} \quad (4)$$

其中, $\max(pollution_q)$ 、 $\min(pollution_q)$ 分别表示污染物 *q* 指标在所有制造业企业中的最大值和最小值; $pollution_{iqt}^{stan}$ 则表示 *i* 企业 *q* 污染物标准化之后的值。最后,将各个污染物的单位产值排放量

标准化后的值进行等权加和平均计算,得到各制造业企业的整体污染排放强度:

$$Pollution_{it} = \frac{1}{5} \sum_q pollution_{iqt}^{stan} \quad (5)$$

为便于后续分析,在上述计算的基础上将 $Pollution_{it}$ 取倒数,从而其值越大,说明企业污染排放程度越低,越有利于绿色化转型;反之,则企业污染排放强度越高,越不利于绿色化转型。

(2) 制造业企业数字赋能。本文首先对数字行业进行分类和划分,划分标准主要是参照国家统计局在 2021 年出台的《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》。在划分相关数字行业后,本文参照张晴和于津平(2021)对数字赋能指标的构建,采用完全消耗系数来测度制造业投入数字化水平,并进一步地计算完全依赖度这一相对指标对企业投入的数字化水平进行测度,该指标能够更进一步体现制造业与数字行业之间的直接和间接联系。根据上述测算方法得到了各行业数字化水平数据,最后通过企业的人均资本水平来近似刻画企业间数字技术的异质性,以此进一步将该指标分解到企业层面以衡量各企业的数字化水平^①。

(3) 其他控制变量。参照万攀兵等(2021)等相关研究,本文纳入控制变量如下:①资本密集度 $CapIntensity$,采用企业固定资产净值除以企业年平均员工数衡量;②企业年龄 Age ,采用当期年份减去企业开业年份,再对其加 1;③企业财务状况 $Finance$,采用企业总负债与总资产的比值衡量;④出口占比 $Export$,采用企业出口交货值与总产值之比进行衡量;⑤赫芬达尔指数 HHI ,利用企业总资产计算其所占行业市场份额进行测算用以反映行业集中度。

3. 数据来源及说明

本文使用的数据来源于世界投入产出(WIOD)数据库、中国工业企业数据库与中国工业企业绿色发展数据库。在具体测算核心解释变量的过程中,本文按照上文提到的分类标准,将划分的数字行业与 WIOD 数据库的行业进行匹配,计算各行业的数字化投入程度。需要注意的是,由于具体的数字经济及其核心产业统计分类对应的为四位行业代码,但 WIOD 数据库只有二位行业代码,因此本文需要将两者手动匹配,在处理过程中主要根据具体行业名称、具体内容以及其相对二位行业的占比重要程度对数据进行匹配,若该行业实际占比较小,则不予将其纳入数字化投入的行业之中。中国工业企业绿色发展数据库主要反映了中国工业企业环境治理的微观层面信息,中国工业企业数据库则包含了企业基本情况与财务数据。需要说明的是,由于中国工业企业绿色发展数据库存在少量年份数据缺失的问题,本文利用人工神经网络模型对缺失数据进行了预测和补充^②。在此基础上,将两个数据库进行匹配并仅保留制造业企业数据,对合并后的数据做进一步处理,在上述匹配及处理后,得到 2000—2012 年的面板数据。

四、基准回归结果

1. 基准回归结果

对(1)、(2)式进行回归,得到结果如表 1 第(1)、(3)列所示。从中可见,本文最关心的数字赋能变量 $Digital$ 的系数估计值均显著为正,即数字赋能对降低污染排放强度和能源消耗强度具有显著的积极影响。由此,数字赋能促进了制造业企业绿色化转型。为保证(1)、(2)式回归的准确性,本文在(1)、(2)式的基础上进一步控制企业和年份的固定效应,并分别对其进行回归估计,得到结果

^① 指标计算过程参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

^② 方法及说明参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

如表1第(2)、(4)列所示,从中可见,数字赋能变量 *Digital* 依然在 1% 水平上显著为正,说明企业数字赋能的确能够降低能源消耗强度和减少其污染物排放,推动绿色化转型。据此,假说 1 得到初步验证。

表 1 基准回归结果

变量	<i>Energy</i>		<i>Pollution</i>	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Digital</i>	0.1561*** (8.86)	0.0485*** (2.77)	0.9718*** (47.91)	0.9086*** (40.66)
控制变量	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是
企业固定效应	否	是	否	是
年份固定效应	否	是	否	是
样本数	294848	294848	291002	291002
R ²	0.0706	0.1143	0.3318	0.3134

注:括号内为 t 值;***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。以下各表同。

如前文提及,《数字经济及其核心产业统计分类(2021)》中数字经济核心产业又可以细分为 1—4 类,即数字产品制造业、数字产品服务业、数字技术应用业、数字要素驱动业。因此,本文在基准回归的基础上,进一步将核心解释变量细分为四个子指标分别进行回归,估计结果显示^①,不论是数字产品制造业、数字产品服务业、数字技术应用业还是数字要素驱动业的投入,均对以企业能源消耗强度与污染减排减少为表征的制造业企业绿色化转型具有显著的影响,这一结果表明前文所得的结论具有可靠性。

2. 稳健性检验

考虑到基本回归结果仍可能存在一定偏差,本文从以下几个方面对基本回归结果的稳健性进行检验^②:更换被解释变量和核心解释变量的具体使用指标;基于行业数据的再检验;内生性问题的讨论;考虑样本期内可能遭受的外生冲击影响。以上估计结果均显示基本回归结果的稳健性,假说 1 得到进一步验证。

3. 异质性分析:基于行业能耗差异

本文探讨的是数字赋能对企业绿色化转型带来的影响,所使用的样本聚焦于制造业行业。根据前文的研究,数字赋能确实能够促进制造业企业绿色化转型,但值得注意的是,制造业内部各行业的能耗强度与污染密集度差异很大,因此数字赋能带来的积极影响可能会呈现一定的差异,这就需要考虑制造业内部各行业所受数字赋能影响的异质性。针对这一问题,本文将使用的制造业行业细分为污染行业与清洁行业,具体回归结果见表 2。可以看出,清洁行业的企业使用数字技术后,数字技术对其能源消耗强度并没有显著的影响,但对降低污染行业的企业能源消耗强度起到了显著的积极作用;而数字技术的使用均能够显著降低两类行业的企业污染减排强度。对于清洁行业,其能源消耗强度可能本身就不高,因此数字赋能对其产生的积极影响主要集中于污染排放这一

^① 回归结果参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

^② 稳健性检验的完整说明与回归结果参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

方面;而对于污染行业,其生产方式不论是从投入还是产出两个方面均存在较大问题,数字赋能能够较好地改善污染行业的企业生产方式,进而促进其绿色化转型。

表 2 基于行业能耗差异的异质性检验

变量	清洁行业		污染行业	
	Energy	Pollution	Energy	Pollution
Digital	0.0145 (0.84)	0.9943*** (25.47)	0.0427* (1.94)	0.9136*** (32.24)
控制变量	是	是	是	是
样本数	80016	78741	211310	208805
R ²	0.1283	0.3008	0.1182	0.1782

注:所有回归结果都同时控制了行业层面、企业层面和年份层面的固定效应。以下各表同。

4. 基于行业间上下游区分的差异分析

由于同处产业链上下游的制造业企业之间普遍存在经济联系,因此制造业企业数字赋能可能通过产业间前向与后向关联效应,对上下游行业的制造业企业绿色化转型产生间接影响。为了识别上述传导机制是否存在以及可能具有的差异性影响,本文设定回归模型如下所示:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 Digital_{ijt} + \beta^{up} Up_Digital_{ijt} + \beta_2 controls_{ijt} + \varepsilon_{ijt} \quad (6)$$

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 Digital_{ijt} + \beta^{back} Back_Digital_{ijt} + \beta_2 controls_{ijt} + \varepsilon_{ijt} \quad (7)$$

其中, β^{up} 的系数衡量了j行业的上游行业数字化水平对j行业制造业企业绿色化水平带来的影响; β^{back} 的系数则衡量了j行业的下游行业的数字化水平对j行业制造业企业绿色化水平的影响。本文参考王永钦和董雯(2020),构建上下游行业关联指标,并根据计算出的制造业企业上下游行业的数字赋能水平进行回归,回归结果如表3所示。从能源消耗强度表征的绿色化转型层面看,回归估计结果表明,上游行业数字化水平提高对下游制造业企业的绿色化转型影响并不显著。为此,本文将其进一步分解为国内来源与国外来源投入的数字赋能,分别代入回归模型,结果显示,上游行业基于国内数字来源投入实现的数字赋能,对下游制造业企业以能源消耗强度为表征的绿色化转型影响仍不显著,但基于国外数字来源投入的数字赋能,能够有效促进绿色化转型。出现这一结果的原因可能正如前文理论分析指出的,在样本期内,国内数字技术水平相比美国等发达国家还较为滞后,进而对降低制造业企业能源消耗强度的作用也就难以有效发挥。与之相比,下游行业数字化水平提高,对降低上游行业的制造业企业能源消耗强度存在明显的正向溢出效应。这可能因为下游行业制造业企业数字化水平提升,对上游行业制造业企业的溢出效应不仅体现在技术溢出上,更多是从需求层面生产的激励作用,通过需求增长进一步促进上游行业制造业企业之间的竞争,进而使得上游行业制造业企业降低自身能源消耗强度,以满足下游行业制造业企业生产所需。

从污染减排表征的绿色化转型层面看。数字赋能的产业关联效应在上下游制造业企业间的污染减排强度方面体现得均较为明显。具体而言,不论是上游行业制造业企业还是下游行业制造业企业,数字赋能水平提升均能够通过产业关联效应影响其他制造业企业的污染减排强度,从而在促进自身绿色化转型的同时,还通过产业链关联效应促进其他制造业企业的绿色化转型。正如前文的理论分析指出的,不论是上游对下游的直接技术溢出,还是下游对上游的需求引致效应,制造业企业的数字赋能均有有利于促进制造业企业之间的技术共享与信息传递,进而可能通过

清洁技术或是设备更新等,在产业和投入产出关联中产生了积极的溢出效应。据此,假说3得以验证。

表3 产业关联对绿色化转型的实证检验

变量	上游—前向				下游—后向	
	Energy	Energy	Energy	Pollution	Energy	Pollution
<i>Up_Digital</i>	0.0151 (0.58)			0.6067*** (18.42)		
<i>Up_DomDigital</i>		0.0016 (0.56)				
<i>Up_ForDigital</i>			0.0481*** (6.97)			
<i>Back_Digital</i>					0.0125*** (2.02)	0.0858*** (10.82)
<i>Digital</i>	0.0436** (2.24)	0.0473*** (2.68)	-0.2538*** (5.42)	0.7102*** (28.64)	0.0415*** (2.32)	0.8607*** (37.79)
控制变量	是	是	是	是	是	是
样本数	294848	294848	294848	291002	294848	291002
R ²	0.1143	0.1143	0.1145	0.3149	0.1143	0.3137

五、机制分析

1. 规模效应中介作用机制检验

根据前文理论分析,制造业企业数字赋能水平的提升会通过扩大制造业企业自身规模,推动制造业企业绿色化转型。本文采用制造业企业从业人员衡量制造业企业规模(*Size*),对这一机制进行回归分析。结果具体见表4。从中可见,所得估计结果与理论预期一致,即数字赋能不仅促进了制造业企业规模的扩大,而且通过制造业企业生产规模对降低自身能源消耗强度与减少污染物排放产生了积极影响。此外,前文理论分析指出制造业企业所在地区规模可能同样发挥着中介效应,本文利用产业多样性指标(*Rv*)进行衡量,该指标能够进一步分解为相关多样性和无关多样性^①。正如现有研究指出的,不仅相关产业的集聚能够产生知识、技术等积极的溢出效应,无关产业之间可能会增强各行业生产时所需要的物质与人力资本在不同行业之间匹配的可能性,以及提升地区整体抗风险能力,进而促进制造业企业绿色化转型。在测算出指标后,考虑单个企业的数字投入可能并不足以提高其所在地区的规模效应,本文通过所使用的企业层面数字技术水平,测算出每年各地区平均意义上的地区整体数字技术水平,以此进行机制检验。结果显示,制造业企业所在地区数字技术水平的提升,确实有利于所在地区产业多样性的提高,进一步地,相关多样性确实在制造业企业数字赋能降低企业能源消耗强度中起到了中介机制作用。但是,相关多样性在制造业企业数字赋能影响排污强度中并未表现出显著的中介作用,即在样本期间内,相关多样性在数字赋能促进以降低能源消耗强度为表征的绿色化转型中,已经显现了显著的

^① 测算过程参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

中介作用,但在数字赋能促进以降低污染减排为表征的绿色化转型中,中介作用尚未显现,因此,总体看,上述作用机制仍然存在。另外,制造业企业数字赋能对地区产业无关多样性的影响并不显著,因此还无法体现其在数字赋能影响制造业企业绿色化转型中的中介作用^①。据此,假说2中的规模效应中介机制检验得以验证。

表4 规模效应的作用机制检验

变量	制造业企业自身规模效应			制造业企业所在地区规模效应		
	Size	Energy	Pollution	RV	Energy	Pollution
Digital	0.2959*** (49.57)	0.0368** (2.09)	0.8806*** (39.22)	0.0335*** (28.06)	-0.1641 (-1.50)	0.8773*** (6.23)
Size		0.0395*** (6.68)	0.0948*** (12.58)			
RV					0.8000*** (4.28)	-0.0534 (-0.22)
控制变量	是	是	是	是	是	是
样本数	294848	294848	291002	285476	285476	281737
R ²	0.1863	0.1145	0.3165	0.9663	0.4738	0.3270

2. 技术效应中介作用机制检验

本文选用制造业企业新产品产值来衡量制造业企业技术进步,将其作为中介变量代入回归,所得结果如表5所示。据此可见,制造业企业数字赋能确实能够促进其自身生产技术进步;进一步地,不论被解释变量是企业能源消耗强度还是排污强度,技术进步这一中介变量的系数回归估计值都显著为正,也就是说,制造业企业技术进步在数字赋能促进制造业企业绿色化转型中起到了中介作用。

表5 技术效应的作用机制检验

变量	技术进步			资本更新		
	Innovation	Energy	Pollution	Depreciation	Energy	Pollution
Digital	0.1845*** (5.96)	0.0620*** (3.24)	0.8474*** (33.27)	2.3648*** (115.58)	0.0269 (1.48)	0.8862*** (38.31)
Innovation		0.0243*** (17.05)	0.0048** (2.55)			
Depreciation					0.0083*** (4.73)	0.0080*** (3.60)
控制变量	是	是	是	是	是	是
样本数	236501	236501	233390	292442	292442	288643
R ²	0.1195	0.1174	0.2863	0.2983	0.1142	0.3110

本文使用当年折旧来衡量制造业企业资本更新。折旧可以对固定资产进行及时更新,而且折旧一方面被计入产品成本,另一方面被视作投资来源(李帮喜和赵峰,2017)。对于制造业企业,投资会转化成企业收入进而为资本更新提供了条件。将制造业企业当年折旧作为资本更新的中介代理变量代入回归,所得结果如表5所示,从中可见,制造业企业数字赋能能够有效加快资本更新速

^① 完整回归结果参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

度,并且,无论是以能源消耗强度还是污染排放表征的制造业企业绿色化转型,对资本更新变量都产生了显著影响,由此说明资本更新在制造业企业数字赋能促进绿色化转型中确实起到了中介机制作用。据此,假说2中的技术效应中介机制检验得以验证。

六、进一步分析: 基于数字投入来源差异

1. 基于不同数字投入来源的差异分析

在开放条件下,本文实际上更关心技术竞争,或者说依托不同数字技术来源,究竟会对制造业企业绿色化转型产生怎样差异性影响。为此,本文分别测算各行业企业依赖国内和国外数字来源投入实现的数字赋能水平,将其分别作为核心解释变量代入回归模型,以此区分不同数字投入来源所可能具有的差异性影响,具体结果如表6所示。从中可见,不论是依赖国内数字来源投入(*Domestic*)还是国外数字来源投入(*Foreign*),数字赋能均显著促进了制造业企业绿色化转型。但是不同之处在于,从核心解释变量的系数大小看,依托国外数字来源投入实现的数字赋能水平提升,对制造业企业绿色化转型的促进作用似乎要比依托国内数字来源投入实现的数字赋能水平产生的作用更大。出现上述差异可能与本文研究选择的样本期有关。虽然近年来中国在数字技术和数字经济等方面表现不俗,但是相对于美国等发达国家起步相对较晚。在本文研究的样本期内,中国数字技术和数字经济的发展显然滞后于美国等发达国家,因此,制造业企业实现数字赋能,在开放发展条件下可能更多地依赖于国外而非数字技术发展相对滞后的国内。处于起步阶段的国内数字技术发展,对制造业企业绿色化转型产生的促进作用相对较小。尽管本文选取的样本期以及对制造业企业层面的分析很难对制造业数字化水平进行国际比较,但是制造业数字化根本上仍然取决于数字技术发展水平。根据《2022全球数字经济发展水平评估报告》等提供的分析结果可见,尽管近年来中国在数字技术方面取得了显著进步,但与美国等发达国家的数字技术相比仍然存在一定差距,由此不难推断的是,在本文的研究样本期内,这种差距应该更大、更明显。

表6 区别数字投入来源

变量	<i>Energy</i>		<i>Pollution</i>	
	<i>Domestic</i>	<i>Foreign</i>	<i>Domestic</i>	<i>Foreign</i>
<i>Digital</i>	0.2718*** (4.82)	1.8001*** (3.57)	2.5253*** (35.10)	20.8002*** (32.33)
控制变量	是	是	是	是
样本数	294922	294922	291076	291076
R ²	0.1143	0.1143	0.3114	0.3130

值得注意的是,数字技术作为新一轮信息技术革命的代表,是各国未来技术战略重点,同时也是各国竞争的焦点。发达国家从20世纪90年代就开始重视数字经济发展,并将其作为推动经济增长新动力,如美国商务部以“数字经济”为主题发布了多项年度研究成果(裴长洪等,2018)。尽管中国近些年高度重视数字经济发展,但根据《全球数字经济国家竞争力发展报告(2021)》中对数字经济竞争力的测度,中国在数字经济基础设施、创新能力等方面还存在一定发展空间。另外,在相关措施的具体实施方面也存在短板,如战略前瞻性、发展均衡度等方面。从中国融入GVC分工体系

发展实践看,源于技术差距等原因而选择所谓“低端嵌入”发展模式,使得中国制造业发展确实面临“低端锁定”困境(吕越等,2018),容易遭受如“卡脖子”等产业链供应链安全稳定的风险。从这一意义上理解,结合上述研究发现,可以得出的基本判断是,国内外数字技术的发展差距以及由此产生的依赖性,如果处理不当,极有可能对制造业数字化与绿色化转型带来不利影响。从技术竞争本身以及由技术赋能其他产业转型升级角度看,如果在数字技术发展中落伍,必然会在新一轮经济全球化中失去发展的主动权,落入“受制于人”的被动局面,在未来的全球产业链分工格局中,会面临更加严峻的产业链、供应链安全稳定问题。据此,假说4得以初步验证。

2. 基于地区划分的差异分析

整体而言,不论是发展水平较高还是较低的地区,依托国内数字技术进步实现的数字赋能,理论上均能够推动制造业企业绿色化转型。因为数字赋能是一种新增长动力,其本身的应用通过规模效应与技术效应影响制造业企业绿色化转型,并不会因地区发展水平不同而产生差异,更不容易受到地理空间的限制。值得注意的是,中国实施的对外开放政策在前一轮开放发展中具有明显的区域非均衡性,这就决定了各地区在与国外进行经济与贸易等方面虽然具有交流的机会与政策,但不同地区的开放发展确实是在区域非均衡条件下进行的。总之,在区位、开放政策等多种因素共同作用下,国内不同地区的开放发展水平确实存在较大差异,那么在利用国外数字技术来源实现数字赋能,推动绿色化转型方面,同样可能会产生差异。

为此,本文根据地区发展水平、开放程度将样本内的制造业企业分为高发展水平地区制造业企业与低发展水平地区制造业企业,据此分别进行回归,具体见表7。结果表明,在区分高发展水平地区(*HighDev*)与低发展水平地区(*LowDev*)后,各分样本的数字赋能依然对绿色化转型有积极作用。进一步观察可以发现,在高发展水平地区,依托国外数字来源投入实现的数字赋能,对制造业企业绿色化转型的促进作用大于低发展水平地区;而依托国内数字来源投入实现的数字赋能,对制造业企业绿色化转型的促进作用,则表现出在低发展水平地区比高发展水平地区更大的作用。这一差异可能一方面说明了不同地区开放程度差别造成的影响,另一方面进一步印证了前文的分析和判断,即在数字技术发展存在国内外显著差异的样本期,在更加依赖国外数字投入实现数字赋能条件下,率先开放的东南沿海地区显然有“近水楼台先得月”的优势,进而表现为依托国外数字来源投入实现数字赋能,对制造业企业绿色化转型的更强促进作用。而开放型经济发展相对滞后的地区,只能更多地依靠国内数字化投入,由此产生了上述差异。更为重要的是,上述异质性影响进一步证实了前文提及的不同来源数字技术影响具有差异。越是开放度较高的地区,对国外数字来源投入实现的数字赋能依赖度越高,由此不难推断,伴随中国进一步扩大开放,如果不加快缩小数字技术的国内外差距,尤其是与美国等发达国家之间的差距,那么对外部的过度依赖极有可能会对制造业企业数字化发展,进而制造业绿色化转型的高质量发展带来潜在风险和挑战。据此,假说4中所提出的地区异质性得以验证。

3. 基于行业划分的差异分析

本文将所有行业具体分为劳动密集型、资本密集型以及技术密集型行业,对所属上述三类不同类型制造业行业的企业进行分样本回归^①。就技术密集型行业看,回归结果显示,不同来源的数字技术均对技术密集型行业的制造业企业绿色化转型产生了显著积极影响。就劳动密集型行业看,依托国外数字来源投入实现的数字赋能,有效推动了其制造业企业绿色化转型,与之相比,虽然依托国内数字来源投入实现的数字赋能也有促进作用,但主要表现在降低污染减排维度的绿色化转

^① 回归结果参见《中国工业经济》网站(<http://ciejournal.ajcass.org>)附件。

表7 区别数字投入来源——地区差异

变量	<i>Energy_HighDev</i>		<i>Energy_LowDev</i>	
	<i>Domestic</i>	<i>Foreign</i>	<i>Domestic</i>	<i>Foreign</i>
Digital	0.2474*** (3.38)	1.9930*** (3.07)	0.3185*** (3.43)	1.4877* (1.77)
控制变量	是	是	是	是
样本数	182852	182852	112070	112070
R ²	0.1129	0.1129	0.1254	0.1253
变量	<i>Pollution_HighDev</i>		<i>Pollution_LowDev</i>	
	<i>Domestic</i>	<i>Foreign</i>	<i>Domestic</i>	<i>Foreign</i>
Digital	0.3191*** (25.11)	21.4871*** (25.87)	2.3943*** (20.48)	20.7718*** (19.71)
控制变量	是	是	是	是
样本数	180487	180487	110589	110589
R ²	0.2582	0.2609	0.2623	0.2644

型方面,在降低能源消耗强度维度的绿色化转型方面尚未呈现显著的影响。不论是依托国外数字来源投入实现的数字赋能,还是依托国内数字来源投入实现的数字赋能,目前仅在以降低污染减排为表征的绿色化转型上表现出积极的促进作用。

基于行业划分的对比分析表明,数字赋能对制造业企业绿色化转型,在技术密集型制造业企业中作用力最大,而在资本和劳动密集型制造业企业中仅在部分维度上呈现积极作用。这种差异可能同样源自于本文研究的样本期内数字技术发展水平差异及其应用水平差异。当然,这一发现其实从行业层面进一步印证了不同来源数字技术对国内制造业企业绿色化转型的影响存在的差异,即无论是在制造业行业层次上的依赖性差别,还是从具体要素密集型行业的作用力大小差别,均反映了依托国外数字投入的更强依赖性特征。正如前文分析指出,数字技术本身代表着高技术演进方向,因此在其发展初期可能还无法大规模、全面地渗透到所有行业,更多的则是高技术产业领域的应用。另外,前文发现上游行业基于国内数字来源投入实现的数字赋能,对下游制造业企业以能源消耗强度为表征的绿色化转型影响并不显著,本文认为其可能的原因还在于样本期内美国等发达国家在数字技术上具有明显领先优势,依托国外数字来源投入实现的数字赋能,能够有效促进制造业企业绿色化转型,在此基础上进一步通过产业关联效应积极溢出到下游行业的制造业企业,推动绿色化转型。而国内数字来源投入在样本期内发展水平还较低,无法在制造业企业尤其是劳动密集型行业的企业生产中实现有效投入和使用,对绿色化转型带来的影响也较为有限。据此,假说4中所提出的行业异质性得以验证。

七、结论与启示

随着社会主要矛盾的转变,目前中国已经迈入高质量发展新阶段,发展与环境兼顾逐渐成为经济社会建设中重要的目标之一,也是满足人民日益增长的美好生活需要的重要体现。而作为中国经济高质量发展重要组成部分的制造业,如何推动其向绿色化方向转型,是当前亟待解决的重要问

题。制造业绿色化转型主要依赖于技术进步。当前,数字技术作为新一轮产业变革的核心动力,是世界各国重点把握的战略方向与竞争的焦点。考虑到数字技术自身特点,依托数字赋能,制造业企业能够通过降低能源消耗强度和减少污染排放,实现绿色化转型。

本文在理论分析基础之上,利用2000—2012年WIOD数据库、中国工业企业数据库以及中国工业企业绿色发展数据库合并后的制造业企业层面的微观数据,研究了数字赋能是否促进了制造业企业绿色化转型。研究结论主要包括:①数字赋能的确能够促进制造业企业绿色化转型,这一研究结论在一系列稳健性检验后依然成立,并且数字赋能对制造业企业的绿色化转型带来的影响在不同能耗强度、污染密集度行业之间存在着一定的异质性。②数字赋能能够通过产业链间的关联效应,影响上下游制造业企业绿色化转型,并且下游对上游制造业企业绿色化转型的外溢效应更为明显。③数字赋能主要通过规模效应与技术效应两种作用机制促进制造业企业绿色化转型,具体而言,制造业企业自身规模效应、技术进步与资本更新在数字赋能促进企业绿色化转型中均起到了中介作用;而地区规模效应中的地区相关多样性,仅在数字赋能促进以能源消耗强度为表征的绿色化转型方面发挥了中介作用。④从影响的差异性角度看,基于国内和国外数字来源实现的数字赋能,均能够对制造业企业绿色化转型产生积极促进作用,但前者作用略弱于后者;发展水平较高地区依托国外数字来源投入促进绿色化转型的作用要强于发展水平较低地区,而依托国内数字来源投入产生的作用恰好相反;不同数字来源实现的数字赋能,对高技术行业的制造业企业绿色化转型均有积极作用,但在劳动密集型和资本密集型行业,不同数字来源实现的数字赋能,要么仅在能源消耗强度维度,要么仅在污染减排维度,促进制造业企业数字化转型。上述各种差异化影响意味着,国内外数字技术发展差距可能对制造业数字化发展进而绿色化转型的高质量发展带来隐患和风险。

本文的研究发现,不仅为数字赋能促进制造业企业绿色化转型提供了理论阐释与经验证据,而且对于如何利用数字技术进一步促进制造业企业绿色化转型,以推动中国制造业由大变强,在高质量道路上实现可持续发展具有重要政策启示。

(1)加快推动数字技术进步和数字经济发展。当前,数字技术对推动制造业转型升级和高端化发展具有极为关键的作用和意义。中国经济正处于转型升级的关键阶段,亟需解决传统工业化模式遗留的问题并寻找新的增长动力,推动制造业高质量发展。数字技术由于其本质特性,能够为兼顾经济发展与环境保护两大主题提供重要支撑。依赖数字技术促进制造业发展,不同于以往依赖资源投入、以环境为代价的增长模式,其更加有利于在降低能源消耗强度中实现资源节约和优化配置,减少污染排放,从而推动制造业企业向绿色化方向转型,实现高质量和可持续发展。因此,无论是从新一轮科技革命的竞争角度看,还是从依托数字技术推动制造业高质量发展、改善制造业在全球价值链分工地位角度看,中国都应加快推动数字技术进步和数字经济发展,抢抓机遇,构筑先发优势。目前,数字赋能促进企业绿色化转型的行业差异性表明中国在这一方面还有很大的进步和提升空间。

(2)加速国内大循环,畅通国内产业链。本文基于规模效应的中介效应发现,数字技术通过促进地区产业集聚,有利于制造业企业之间的知识、信息和技术等交流,形成并发挥绿色化转型的外溢效应。应当说,中国在数字经济方面拥有庞大的市场规模优势,产业间存在的产业关联效应,能够加强位于产业链上的制造业企业之间的技术经济联系,有利于数字技术的溢出效应通过链条作用持续传播。尽管上游行业由于自身技术特点,需要较高水平的数字技术推动其转型升级,但通过产业链效应能够放大数字技术产生的积极作用,有利于中国产业链在协同推进绿色化转型中,提升

整体竞争力,进而向制造业全球价值链高端攀升。此外,尽管在本文研究时间范围内,数字赋能对地区内无关产业的集聚带来的影响还未显现,但理论上数字技术的应用有利于增强地区的无关多样性,进而促进配套产业的发展,同样可以在绿色化转型中产生积极的外溢效应。而这些效应的产生乃至被放大,其前提条件就是要畅通国内产业链、加速国内大循环。

(3)实施高水平开放,打造开源式数字技术进步格局。本文研究发现,中国制造业企业依托国外数字来源实现的数字赋能,对制造业企业绿色化转型具有相当重要的积极作用,甚至对某些行业的制造业企业而言,受到发展较为成熟的国外数字技术影响更大。因此,在进一步深度融入国际分工体系中,借鉴与学习国外较高水平的数字技术,能够促使中国制造业企业更快实现绿色化转型,促进工业价值链向高端、绿色、智能的方向延伸(史丹和李鹏,2019)。另外,国外部分较为成熟的数字技术与相关数字产业的发展经验对中国数字技术建设以及与制造业的融合也会带来积极的影响。客观地看,虽然目前中国在数字技术的某些领域具有一定优势,但是在核心技术、关键设备,尤其是在芯片设计和软件开发等方面,与发达国家尚存差距,因此,通过实施更高水平开放,与各国加强在数字领域的沟通与合作,可以有效防止出现“数字鸿沟”。正如江小涓(2021)指出的,数字技术本身就具有开放开源的特征。尽管当前国际形势不稳定不确定、“逆全球化”思潮横行、全球新冠肺炎疫情的持续蔓延,影响了经济全球化健康发展,但越是在经济全球化遭遇逆流之际,中国越需要有战略定力,在坚持扩大开放和实施更高水平开放中,构建国际国内相互促进的新发展格局,在整合和利用全球优质资源中,加快推动数字技术进步,夯实制造业绿色化转型的数字赋能基础。

(4)正确处理好数字技术开放与安全关系,确保制造业绿色化转型过程中的产业链、供应链安全稳定。本文研究发现,依托国外数字来源实现的数字赋能,对制造业绿色化转型的作用力,要大于依托国内数字来源实现的数字赋能作用。这一方面说明了对数字技术和数据资源以开放的姿态和心态加以发展和利用的重要性,另一方面也说明在数字技术方面中国与美国等发达国家之间存在差距,以及中国可能面临的竞争压力。特别地,虽然数字技术通过融合和渗透能够对产业转型升级产生重要推动作用,但与此同时也更容易对产业发展产生主导力和控制力,从全球价值链分工格局看,更是如此。鉴于数字技术条件下的数据本身更容易引发不稳定、不安全,更容易形成数字垄断等问题,在打造开源式数字技术进步格局过程中,中国还要处理好开放和安全问题。依托数字赋能推动制造业绿色化转型,需要建立在自主创新能力提升基础之上,需要建立在正确处理科技自立自强与开放合作辩证统一关系基础之上。

〔参考文献〕

- [1]柏培文,喻理.数字经济发展与企业价格加成:理论机制与经验事实[J].中国工业经济,2021,(11):2-20.
- [2]鲍健强,苗阳,陈锋.低碳经济:人类经济发展方式的新变革[J].中国工业经济,2008,(4):153-160.
- [3]陈登科.贸易壁垒下降与环境污染改善——来自中国企业污染数据的新证据[J].经济研究,2020,(12):98-114.
- [4]董洁妙,余壮雄.产品配置如何让出口企业变得更清洁[J].中国工业经济,2021,(8):171-188.
- [5]郭美晨,杜传忠.ICT提升中国经济增长质量的机理与效应分析[J].统计研究,2019,(3):3-16
- [6]黄群慧.改革开放40年中国的产业发展与工业化进程[J].中国工业经济,2018,(9):5-23.
- [7]贾利军,陈恒烜.数字技术助力中国技术赶超:理论逻辑与政策取向[J].政治经济学评论,2021,(6):135-157.
- [8]江小涓,孟丽君.内循环为主、外循环赋能与更高水平双循环——国际经验与中国实践[J].管理世界,2021,(1):1-19.
- [9]江小涓.数字时代的技术与文化[J].中国社会科学,2021,(8):4-34.

- [10]金碚.中国改革开放40年的制度逻辑与治理思维[J].经济管理,2018,(6):5-16.
- [11]李帮喜,赵峰.固定资本、加速折旧及其经济波动效应[J].政治经济学评论,2017,(3):190-202.
- [12]刘淑春.中国数字经济高质量发展的靶向路径与政策供给[J].经济学家,2019,(6):52-61.
- [13]吕越,陈帅,盛斌.嵌入全球价值链会导致中国制造的“低端锁定”吗[J].管理世界,2018,(8):11-29.
- [14]吕越,张昊天.打破市场分割会促进中国企业减排吗[J].财经研究,2021,(9):4-18.
- [15]苗圩.在建设制造强国的伟大征程中成长成才[J].时事报告,2017,(10):28-33.
- [16]逄健,朱欣民.国外数字经济发展趋势与数字经济国家发展战略[J].科技进步与对策,2013,(8):124-128.
- [17]裴长洪,倪江飞,李越.数字经济的政治经济学分析[J].财贸经济,2018,(9):5-22.
- [18]史丹,李鹏.中国工业70年发展质量演进及其现状评价[J].中国工业经济,2019,(9):5-23.
- [19]苏丹妮,盛斌.产业集聚、集聚外部性与企业减排——来自中国的微观新证据[J].经济学(季刊),2021,(5):1793-1816.
- [20]万攀兵,杨冕,陈林.环境技术标准何以影响中国制造业绿色转型——基于技术改造的视角[J].中国工业经济,2021,(9):118-136.
- [21]王杰,刘斌.环境规制与企业全要素生产率——基于中国工业企业数据的经验分析[J].中国工业经济,2014,(3):44-56.
- [22]王永钦,董雯.机器人的兴起如何影响中国劳动力市场?——来自制造业上市公司的证据[J].经济研究,2020,(10):159-175.
- [23]解学梅,韩宇航.本土制造业企业如何在绿色创新中实现“华丽转型”?——基于注意力基础观的多案例研究[J].管理世界,2022,(3):76-106.
- [24]许宪春,张美慧.中国数字经济规模测算研究——基于国际比较的视角[J].中国工业经济,2020,(5):23-41.
- [25]张晴,于津平.制造业投入数字化与全球价值链中高端跃升——基于投入来源差异的再检验[J].财经研究,2021,(9):93-107.
- [26]赵涛,张智,梁上坤.数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J].管理世界,2020,(10):65-76.
- [27]中国社会科学院工业经济研究所课题组.工业稳增长:国际经验、现实挑战与政策导向[J].中国工业经济,2022,(2):5-26.
- [28]Arik, L. Technology, International Trade, and Pollution from U.S. Manufacturing[J]. American Economic Review, 2009, 99(5):2177-2192.
- [29]Birdsall, N., and D. Wheeler. Trade Policy and Industrial Pollution in Latin America: Where Are the Pollution Havens[J]. Journal of Environment and Development, 1993, 25(2):137-149.
- [30]Bloom, N., R. Sadun, and J. van Reenen. The Organization of Firms across Countries [J]. Quarterly Journal of Economics, 2012, 127(4):1663-1705.
- [31]Chaney, T. The Network Structure of International Trade[J]. American Economic Review, 2011, 104(11):3600-3634.
- [32]Hummels, D., J. Ishii, and K. Yi. The Nature and Growth of Vertical Specialization in World Trade[J]. Journal of International Economics, 2001, 54(1): 75-96.
- [33]Javorcik, S. B. Does Foreign Direct Investment Increase the Productivity of Domestic Firms in Search of Spillovers through Backward Linkages[J]. American Economic Review, 2004, 94(3): 605-627.
- [34]Letchumanan, R. and F. Kodama. Reconciling the Conflict between the Pollution-Haven Hypothesis and an Emerging Trajectory of International Technology Transfer[J]. Research Policy, 2000, 29(1): 59-79.

Digital Empowerment, Source of Digital Input and Green Manufacturing

DAI Xiang¹, YANG Shuang-zhi²

(1. School of Economics, Nanjing Audit University;

2. School of Economics, Zhejiang University)

Abstract: China now has entered a new stage of high-quality development. How to balance development and environment has become one of the most important goals in economic and social construction gradually, as well as an important embodiment of meeting the people's increasing needs for a better life. It is an important topic awaiting urgent settlement on how to promote green manufacturing in the process of high-quality development.

Based on the theoretical analysis, this paper uses enterprise-level micro data from 2000 to 2012 to empirically analyze the practical effects of digital empowerment on promoting the green manufacturing. Research finds that digital empowerment indeed promotes the green manufacturing, which maintains valid under various robustness tests. In addition, the above effects are heterogeneous among industries with different energy consumption intensities. Digital empowerment not only helps to facilitate the green transformation of manufacturing enterprises, but also has a positive spillover effect on the green manufacturing of upstream and downstream enterprises through the industrial chain. From the perspective of specific mechanism, digital empowerment promotes the green manufacturing mainly through two mechanisms: scale effect and technical effect. Despite the significant positive impact of digital empowerment on green manufacturing, digital empowerment based on foreign digital sources has a stronger effect than that based on domestic digital sources, which may result from the development gap of digital technology between China and foreign countries. Such a judgment is further confirmed by heterogeneity analysis based on regions with different levels of economic development and various factor-intensive manufacturing industries. This indicates that China must be alert about the possible impact of the development gap between domestic and foreign digital technology in the new round of technological competition.

This paper helps to expand and deepen the understanding of factors influencing green manufacturing. Moreover, it has important policy implications on how to seize the strategic opportunity brought by digital technology, construct first-mover advantage in the open integration innovation, narrow the gap with foreign digital development level, and consolidate the digital foundation for green manufacturing. On the one hand, it is necessary to accelerate digital technological progress and digital economic development, so as to promote green manufacturing. Meanwhile, the government should accelerate the circulation in domestic market and smooth the domestic industrial chain. On the other hand, it is necessary to implement high-level opening up and create a progress pattern of open source digital technology, so as to facilitate the process of green manufacturing. In the process, the government should correctly handle the relationship between digital technology opening and security in order to ensure the safety and stability of industrial chain and supply chain in the process of green manufacturing.

Keywords: digital empowerment; manufacturing enterprises; green manufacturing ;development gap

JEL Classification: F14 F20 L00

[责任编辑:李鹏]