

# 信息技术应用的减排效果与成本分摊机制\*

李磊 刘常青

**摘要:**长期以来,经济效益与减排成本之间的冲突是环境规制难以在微观企业层面得以落实的关键障碍。本文借助国家级“两化融合”试验区实施的契机,基于由中国工业企业数据和污染排放数据匹配而成的新数据库,通过构建三重差分模型考察了试验区内重污染行业运用信息技术减排的效果及相应的成本分摊机制。本文研究发现:(1)信息技术应用显著降低了二氧化硫和烟粉尘两种主要工业污染物的排放强度;(2)信息技术的减排效应由生产工艺绿色化而非生产率效应驱动;(3)与“波特假说”的预期不同,信息技术并没有借由生产率效应补偿减排成本,而是基于自身规模报酬递增的特性令减排成本得到了分摊;(4)与试验区重污染行业存在投入—产出关联的下游行业减排强度没有受到影响,且试点行业也未将减排成本转嫁给下游行业;(5)试点绩效考核机制的引入有效地确保了重污染行业利用信息技术减排的效果,且利用信息技术减排能够弥补环境规制措施的不足。本文的结论为利用新一代信息技术实现工业绿色化转型,助力实现“双碳”目标提供了积极证据。

**关键词:**信息技术 污染治理 减排成本

## 一、引言

党的十八大以来,中国特色社会主义进入了新时代,“人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾”成为社会的主要矛盾。随着主要矛盾的转化,对优美生态环境的追求在人民美好生活向往中的权重不断提高。然而由于缺乏自发的市场化污染定价机制,环境需求侧的变动并不会刺激污染源供给侧的自发调整。为此,政府需要发挥“有形之手”的作用,利用环境规制措施予以引导,推动环境治理的供给侧改革。21世纪之初,中国便在“十五”计划中制定了减少主要污染物排放量的约束性目标,并且随后通过政府间的契约设计强化环境规制的执行力度,还颁布了包括《大气污染防治法》《水污染防治法》等在内的一系列法律法规。从2016年开始,中央政府对地方开展环保督察巡视,以高压态势加强环保治理。然而即便如此,各地企业偷排、漏排等违法行为仍然时有发生。<sup>①</sup>因此,如何有效调动企业积极性,以实现环境保护的源头治理就成为广受关注的重要议题,其解决之道也是“双碳”目标如期实现的重要保障。

既有的环境规制之所以未能达到预期效果,关键在于这类成本惩罚型措施与企业追求利润最大化的动机相悖。由于污染本身的外部性,企业排污的私人成本小于社会成本,在出台有效地将外部成本内部化的规制措施之前,排污对于追求利润最大的企业而言是最优决策。即便政府通过征收排污费或者行政处罚的方式提高污染排放成本,受信息不对称的制约,一刀切的处罚手段依旧难以遏

\* 李磊,中山大学国际金融学院,邮政编码:519082,电子邮箱:lilei66@mail.sysu.edu.cn;刘常青(通讯作者),珠海市香洲区商务局,邮政编码:519001,电子邮箱:lq\_eco@163.com。基金项目:国家自然科学基金青年项目“信息技术扩散政策对制造业升级的影响研究:效应、机制与优化”(72103211)、教育部人文社会科学青年基金“人力资本消费外部性影响制造业升级的理论机制与实证研究”(20YJC790064)。感谢匿名审稿专家的宝贵意见,文责自负。

①《2021年1月6日国家发改委就推动长江经济带发展五周年取得的成效举行专题新闻发布会实录》,https://www.gov.cn/xinwen/2021-01/06/content\_5577443.htm。

制企业的排污势头,甚至会使企业偷排、漏排的现象愈演愈烈。近年来,以市场交换为基础的排污权交易制度为在减排和获取经济回报之间取得平衡提供了一种思路,成为激励企业减排的一种可行的制度安排。然而,现阶段中国的市场体系还不健全,市场发育还不充分,相对低效的市场机制并不足以支撑排污权交易制度的有效运行(涂正革、谌仁俊,2015)。

在此背景下,具有显著“通用性”和“赋能”特征的信息技术被视为支撑精准治污、科学治污,助力治污实现成本—收益平衡的关键技术。与常见的清洁技术专门针对污染本身的“前端预防”或“末端治理”不同,信息化的减排技术能够嵌入企业生产和管理全流程中,通过对数据和信息流的整合、分析和运用,实现生产、管理、控制一体化,提高资源使用效率,落实污染减排的源头治理。实践中,以计算机辅助制造(CAM)、企业资源管理计划(ERP)等为代表的生产、管理信息系统的应用,便于企业整合生产全过程的实时数据和生产管理信息,挖掘生产环境节能降耗潜力,从而改进产品生产工艺,减少生产过程中的污染产生量。而在信息化、自动化的环境监测和污染源监控系统的辅助下,企业能够及时感知、定位污染来源,便于有针对性地采取综合治理措施,降低污染排放量。一方面是降低污染的产生量,另一方面是加速污染的去除量,二者“双管齐下”能够促进污染企业生产的绿色化转型。与其他的治污措施一致,企业应用信息技术减排必然也要支付相应的减排成本,而由信息技术引致的生产率效应及其规模报酬递增的技术特性能在一定程度上弥补减排成本。由于信息技术本身显著的“赋能”特点,这令信息技术在与企业生产、管理结合的过程中不仅能够降低污染排放,还能够改善企业生产率,进而一定程度上弥补减排成本。此外,信息技术作为一项具有规模报酬递增特点的技术(Lashkari et al,2018),其用于企业减排,理论上能够促使平均减排成本随着企业规模上升而下降(Andreoni & Levinson,2001),进而为企业减排提供足够的激励。

当前已经有部分文献考察了信息技术对环境质量的影响,却并未得到一致的结论。其中,较多的研究集中于检验信息技术应用对二氧化碳排放的影响。信息技术的引入能够促进经济发展模式、能源结构以及产业结构的调整,进而有效地减少碳排放,但同时也可能触发反弹效应(rebound effect),诱导能源消费的增长(Wei & Liu,2017)。实证结果也印证了这一观点,有研究表明信息技术应用减少了二氧化碳排放(Liu et al,2021),但也有研究认为其加剧了二氧化碳排放(Avom et al,2020;Alataş,2021),还有研究认为没有显著影响或者影响呈非线性关系(Amri et al,2019;Shahnazi & Dehghan Shabani,2019)。信息技术应用对其他污染物排放的影响也未能得到一致的结论。同样是基于中国地级市层面的数据,石大千等(2018)发现,致力于利用先进信息技术变革城市治理的智慧城市建设和促使城市废气和废水排放量显著下降;Wu et al(2021)也发现“宽带中国”战略带来的互联网发展改善了城市节能减排效率;而 Cheng et al(2019)却发现在反弹效应的作用下,信息技术加剧了城市环境污染,致使城市工业烟粉尘、二氧化硫以及工业废水排放量显著增加。

既有研究未能得到一致结论的原因可能有两点:一是信息技术指标测度较为模糊。这种模糊性主要表现为未能或者无法明确信息技术具体的应用对象。既有的研究中,大多使用互联网接入数、电话保有量等指标来测度信息通信技术渗透率(Amri et al,2019;Cheng et al,2019;Avom et al,2020;Alataş,2021)或者直接构建一个互联网发展的综合指数(Wu et al,2021),而这些指标只能笼统地描述一个国家或地区信息化环境建设程度,却并不能指出这些信息技术应用的具体对象和场景,这导致最终的估计结果是信息技术在不同场景下减排效应相互杂糅的结果。二是现有研究多使用宏观数据进行估计,这会受到加总偏误的困扰。现有估计信息技术对环境质量影响的研究多数用的是宏观数据,包括跨国数据(Avom et al,2020;Alataş,2021)、一国的时间序列数据(Amri et al,2019)、国内各地区的面板数据(石大千等,2018;Cheng et al,2019;Shahnazi & Dehghan Shabani,2019)或者行业层面的数据(Zhou et al,2019;Liu et al,2021)。由于信息技术用于减排主要是由微观个体执行的,因而宏观的加总数据会导致微观个体迥异的减排效果相互杂糅,使得基于总量数据进行的估计出现偏误。近来的一些研究开始使用企业层面的数据探究信息技术、数字技术应用的减

排效应。例如许宪春等(2019)以滴滴出行、货车帮等互联网平台企业为典型案例分析了大数据在绿色发展中的作用;戴翔和杨双至(2022)基于中国工业企业数据库发现数字技术投入显著降低了企业能源消耗和污染排放强度;靳毓等(2022)基于制造业上市公司数据发现数字化转型能够改善企业绿色创新能力。然而这些基于企业层面数据进行的研究忽视了一个重要问题,即应用新技术对于企业而言是存在成本的,即使应用信息技术、数字技术能够实现减排目标,然而这种技术性减排措施能否实现成本—收益平衡才是影响企业形成减排内生动力的重要考量。

在此基础上,本文利用工业和信息化部(以下简称工信部)推进国家级“两化融合”试验区建设的契机,基于匹配而成的工业企业污染数据库,考察了信息技术用于减排的效果及其成本分摊机制。从2008年10月份开始,工信部在全国范围内遴选了两个批次共16个国家级“两化融合”试验区。“两化融合”试验区主要强调利用信息技术改造和提升传统工业,推动工业发展的提质增效。其中,利用信息技术促进节能减排,推进重污染工业行业绿色化改造被视为各试验区主要目标之一。据此,本文通过构建三重差分模型(difference-in-difference-in-differences,DDD)识别了试验区重污染行业利用信息技术减排的成效,并检验了信息技术用于减排的成本能否从生产率效应或者规模报酬递增中得到补偿。<sup>①</sup>实证结果显示,信息技术在试验区重污染工业行业中的应用有效降低了二氧化硫和烟粉尘排放强度,促进了工业生产工艺的绿色化转型。受益于信息技术规模报酬递增的特性,利用信息技术减排的成本随着企业收入规模的上升得到了有效分摊。位于试验区重污染行业下游企业的污染排放强度未受到影响,并且重污染行业也没有将减排成本转嫁给下游企业。进一步的分析表明,将试点绩效纳入地方官员政绩考核体系内能够强化试验区内重污染行业利用信息技术减排的效果,并且利用信息技术减排能够在一定程度上弥补征收排污费等环境规制措施的不足。

本文的边际贡献主要有三点:第一,本文基于大样本的微观企业数据,利用国家级“两化融合”试验区这一自然实验,较为准确地识别了信息技术作用于减排的效果。基于微观企业数据和三重差分模型的设定,本文为信息技术应用能够显著降低污染物排放强度提供了可靠的证据。第二,本文回答了利用信息技术减排能否以及如何能在减排成本与经济收益之间取得平衡,从而实现经济发展和环境保护“双赢”这一重要问题。企业之所以缺乏减排激励主要受制于减排成本的影响,如何实现低成本减排是实现环境保护源头治理的关键。与“波特假说”的观点不同,本文发现信息技术应用对减排成本的补偿主要是因为信息技术规模报酬递增的特性在其中发挥了作用,这一发现对于破除经济增长与环境质量之间的困境具有启示意义(王林辉等,2020)。第三,本文的发现为利用包括工业互联网、大数据、5G等在内的新一代信息技术赋能绿色制造提供了证据,为实现绿色生产目标提供了可靠的行动路径。

## 二、制度背景与研究假说

### (一)制度背景

为了应对日益严峻的环境污染形势、避免步发达国家“先污染后治理”的后尘,中国在发展经济的同时有意识地进行节能减排,强化环境保护力度。“九五”计划首次提出了污染物排放总量控制目标,“十五”计划则进一步明确设置了二氧化硫、尘(烟尘及工业粉尘)、化学需氧量、氨氮、工业固体废物等主要污染物排放总量比2000年减少10%的约束性目标。<sup>②</sup>然而“十五”时期末,二氧化硫、烟尘、化学需氧量等主要污染物排放量较期初不减反增,减排目标未能如期实现,环境保护压力巨大。为此,中央政府通过将地方环保工作绩效纳入官员绩效考核体系,利用行政规制手段遏制环境恶化

<sup>①</sup>重污染行业的划分主要依据原环保部于2008年公布的《上市企业环保核查行业分类管理名录》(环办函〔2008〕373号)。

<sup>②</sup>参见《国家环境保护“十五”计划》,国家发展和改革委员会网站,<https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzlggh/gjjzxgh/200506/W020191104623915133099.pdf>。

的趋势。<sup>①</sup>另外,利用信息技术等新的技术措施来实现污染排放的源头治理也被提上了日程。国家级“两化融合”试验区则是利用信息技术实现节能减排的重要试点。

国家级“两化融合”试验区是典型的先试先行政策,是“两化融合”战略部署落地深耕的先行政策和重要环节。2008年,为了深入贯彻落实党的十七大提出的“大力推进信息化和工业化融合,促进工业由大变强”的部署要求,国务院以原国防科工委、信息产业部和信息化工业办公室为基础,成立工业和信息化部。同年的10月份,工信部开始启动国家级“两化融合”试验区建设,内蒙古的“呼包鄂”地区成为首个试验区所在地。2009年又批复了包括上海市、重庆市、珠江三角洲地区等在内的另外7个国家级“两化融合”试验区,并在“呼包鄂”试验区的基础上增加了乌海市。2011年12月,第一批8个国家级“两化融合”试验区通过了工信部验收组的验收。同年4月份,第二批8个国家级“两化融合”试验区也得到了工信部的批复。与第一批试验区主要集中于东部地区(主要分布于京津冀、长三角和珠三角地区)不同,第二批“两化融合”试验区则向中西部以及东北地区倾斜,包括“长株潭”城市群、西安—咸阳、沈阳等地区。2013年4—5月,第二批试验区也顺利通过工信部组织的实地验收。至此,国家级“两化融合”试验区共包括16个试验区,涉及30个城市,并且未再扩容。

国家级“两化融合”试验区的建设思路主要围绕应用信息技术改造和提升工业发展效能展开,通过对工业体系、流程、技术的信息化再造来转变工业发展方式、促进工业转型升级。其中,利用信息技术促进节能减排、发展绿色工业和循环经济成为各试验区重要的目标之一,这也是中国利用技术手段治污的一次重要尝试。在各试验区发布的建设方案中,利用信息技术实现节能减排的试点主要集中在高耗能、高污染行业,如冶金、电力、化工、建材等行业内,这些行业也是二氧化硫、烟尘等污染物的主要贡献者。此外,由于上述这些能源、工业基础原料行业多属于上游行业,这些行业环保能力提升有望通过产业链上下游的带动作用,进一步释放减排潜力。在具体的应用上,各试验区对信息技术的应用主要集中于三点:一是强化企业自身对污染的监控能力,利用信息技术构建环境监测和污染源监控系统;二是利用信息技术对生产工艺流程进行改造,通过绿色生产减少污染物排放;三是将信息技术用于环境规制中,加强信息技术在行业准入、管理和执法监督方面的应用。其中,前两点措施被各个试验区所采用,第三点措施仅在个别试验区中提及。从上述措施可以看出,信息技术用于减排一方面是在工业生产中减少污染的产生,另一方面则是强化对污染的监测。若这些技术性治污措施能够低成本帮助企业完成减排,实现绿色生产,将有望从源头上遏制环境污染,助力绿色发展。

## (二) 研究假说

如图1所示,对于试点地区而言,理论上,信息技术用于企业减排可通过两条机制实现。

1. 生产率效应。信息技术作为一种赋能型技术,其特有的信息处理与分发能力在与物质资本和人力资本有机互补下能够带来生产率的显著提升(蔡跃洲、张钧南,2015;郭家堂、骆品亮,2016;陈彦斌等,2019),进而会刺激工业生产规模扩张,在其他条件不变的情况下,污染物的排放会随着规模的扩张而成比例地增长,因而信息技术的应用可能会成为污染排放加剧的“助推器”。但生产率的提升意味着企业利用既定的要素投入能够生产出更多的产品,在其他条件不变的情况下,要素使用效率的提升会带来单位产出污染排放量(即污染排放强度)的下降(金培振等,2014),此时信息技术又会成为污染源头治理的“预防针”。因而,从生产率视角来看,信息技术作用于减排的效果并不明确。

2. 绿色生产机制。所谓绿色生产,是以生态经济协调发展为目标,通过技术进步,实现资源利用效率最大化及对环境压力最小化的生产方式(侯聪美等,2020)。绿色生产包含两个方向:一是产品生产组织过程的绿色化,即通过引入低污染的生产技术、优化能源结构、提高能源利用效率、打造“原料—产品—废料再利用”的闭环制造模式等方式降低生产过程中的污染产生量;二是产品本身的绿色化,即产品从使用到报废回收对环境的伤害最小化。信息技术的引入让绿色生产成为可能。以

<sup>①</sup>2005年《关于落实科学发展观加强环境保护的决定》提出把环境保护纳入绩效考核内容。

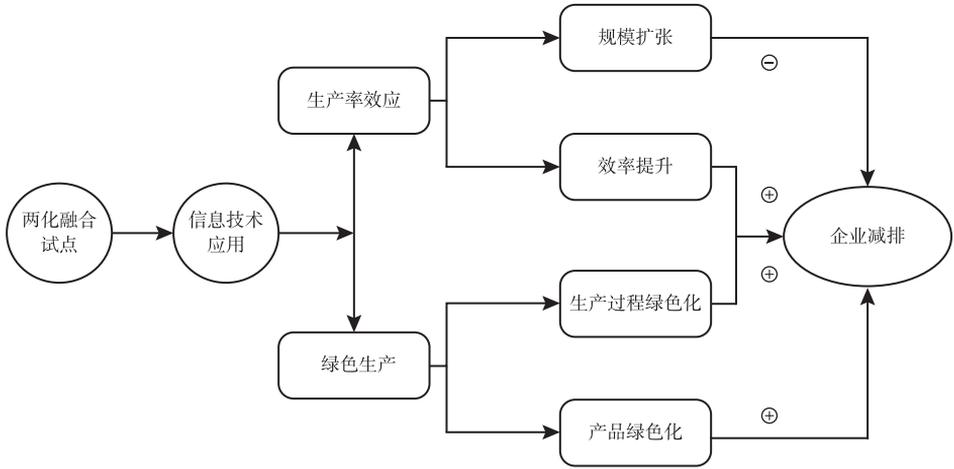


图 1 “两化融合”试点影响企业减排的机制

计算机辅助制造和工程控制技术为代表的信息技术赋能生产过程,通过对生产过程的数字化监控、信息共享及管理,能够充分挖掘现有生产工艺节能降耗的潜能,进而通过对生产流程的再造,有针对性地降低生产过程中的原料和燃料损耗,降低污染产生量。而以信息技术为核心的各种智能化能源、污染监测系统的应用,能够助力企业实时动态掌握能源利用和污染排放情况,并通过对监测信息的有效反馈持续推进污染排放的综合治理(魏斌、黄明祥,2014;石大千等,2018)。并且信息技术具备规模报酬递增的技术特点(Lashkari et al,2018)。信息技术强大的信息处理能力以及网络化的技术特点令其能够随着组织规模扩大和复杂性的提高而发挥更大的效益。当规模报酬递增的信息技术应用于绿色生产过程时,能够形成环境库兹涅茨曲线“倒 U”型现象(Andreoni & Levinson, 2001),即在“倒 U”型曲线拐点的左侧,虽然产出的增加会带来污染排放总量的增加,但同等产出带来的污染排放增量却在逐步下降,即污染排放强度随着产出的增加而下降,而在拐点的右侧,污染排放总量也会随着产出的增加而下降,污染排放强度则会更大幅度地降低。

在绿色产品的开发和管理上,信息技术能够深入产品概念发展、研发设计、流程设计和商业化生产乃至售后服务的各个环节(Kleis et al,2012),利用其强大的信息搜集、存储和回溯能力有效建立起产品生命周期的全流程管理模式,确保产品环保属性充分发挥,使产品在具有过硬使用功能的同时又兼具节能、低环境损害性的特点。由此可见,产品绿色化的最终受益者主要是使用这些产品作为中间投入的下游企业,即信息技术的应用以产品为媒介沿着产业链能够改善下游企业的污染排放状况(戴翔、杨双至,2022)。

利用信息技术实现节能减排在理论上虽然可行,然而对生产流程的信息化改造以及污染监测系统的引进均需要企业承担相应的成本。对于追求利润最大化的企业而言,之所以不愿意在减排上进行投资,其原因主要有两点:一是污染的外部性特征令企业可以以较低的成本排污,在严格的环境规制实施前,甚至能够做到零成本排污;二是执行相应的减排措施一定程度上会挤占企业正常的生产投入,甚至需要企业对成熟的生产模式进行重大的结构性调整,而减排产生的收益又难以内部化。因此,减排成本能否得到有效补偿就成为企业是否致力于减排的主要考量。“波特假说”认为技术创新能够令企业在环境保护成本与经济效益之间取得平衡(Porter & van der Linde,1995)。该假说认为产品或者生产流程的技术创新引发的生产率效应能够抵消甚至超过环境保护所支付的成本。信息技术作为技术创新的一种,其对生产率的正向影响已经被众多的研究所发现。因此,若企业利用信息技术嵌入生产流程以实现减排目标,理论上其产生的生产率效应应该可以抵消相应的减排成本。

此外,信息技术规模报酬递增的特点也有助于消化减排成本。既有的理论研究发现减排技术本身规模报酬递增的特性可以解释环境库兹涅茨曲线“倒 U”型现象(Andreoni & Levinson,2001)。

这意味着只要应用具有规模报酬递增特性的减排技术,企业完全可以在获得收入增长的同时实现污染排放的降低,从而以较低的成本实现污染治理。在其他条件不变的情况下,规模报酬递增的减排技术意味着减排的平均成本会随着企业收入的增加而下降。<sup>①</sup>因而将信息技术用于污染治理能够有效利用其规模收益递增的特性在经济增长和减排成本之间取得平衡。

除了内部消化减排成本外,试验区内的重污染行业还可以凭借自身作为上游行业的优势转嫁减排成本。作为试点对象的重污染行业多由能源行业以及工业基础原料等上游行业构成,而改革开放至今,与下游行业相比,中国上游行业多处于垄断状态(王永进、施炳展,2014)。理论上,对于减排支出,试点的重污染行业在不同程度上可以通过提高垄断定价将该成本转嫁给下游行业。减排成本转嫁渠道的存在可以在一定程度上为重污染行业投资减排活动提供激励。图2概括了试验区应用信息技术减排的成本分摊机制。

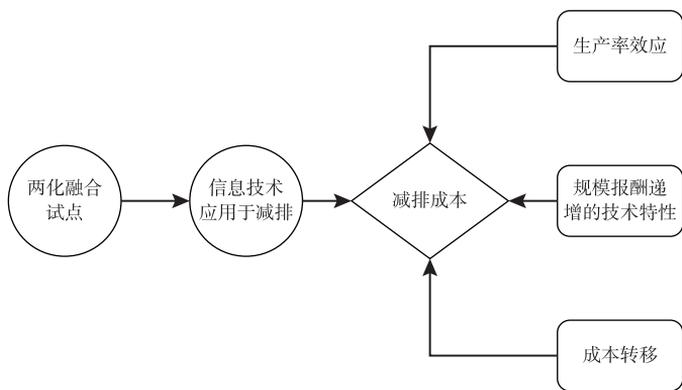


图2 信息技术减排的成本分摊机制

综上,本文提出两个待检验假说:

假说1:“两化融合”试验区内的重污染行业能够利用信息技术降低污染排放强度。<sup>②</sup>

假说2:试点的重污染行业能够通过生产率效应、信息技术的规模报酬递增特性或者成本转嫁途径消化减排成本。

### 三、研究设计

#### (一)模型设定

本文利用国家级“两化融合”试验区先试先行的政策契机,基于微观工业企业数据考察利用信息技术减排的效果。为了识别先试先行政策的效果,通常的做法是构建双重差分模型,即将试点单位与非试点单位在试点前绩效差异的差值视为政策效果。然而“两化融合”试验区建设方案中并非将所有工业行业列为利用信息技术减排的试点行业,试点主要针对的是重污染工业行业。若要基于企业数据构建双重差分模型,实验组必然是试验区重污染工业行业企业,而对照组则有两种选择思路:一是以试验区非重污染工业行业的企业作为对照组;二是以非试验区重污染工业行业的企业作为对照组。<sup>③</sup>若选择以第一种方式构建对照组,面临的一个问题是重污染行业与非重污染行业排污的相对差异可能会随时间发生变化。这意味着即便此时实验组与对照组在政策实施前能够满足事前平行趋势假定,但是仍然无法从二者政策实施后的差异中分离出真正的政策效应。而以第二种方

<sup>①</sup>假定污染排放量是收入规模的增函数,而规模报酬递增的减排技术意味着单位减排投入能够带来额外的污染物排放量下降(Kohn,1988),那么收入规模越大,平均的减排支出也就越低。

<sup>②</sup>信息技术用于减排对污染排放总量的影响并不确定,一方面可能会通过生产率效应导致污染排放规模增加,另一方面又可能通过规模报酬递增的特性降低污染排放规模。对此,相应的检验结果见表5。

<sup>③</sup>非试验区非重污染行业企业,与实验组在两个维度上存在差异,若选其作为对照组,平行趋势假定恐难以满足。

式构建对照组,同样存在此类问题,试验区与非试验区动态禀赋条件、产业结构、环境规制强度的差异等均可能导致实验组与对照组排污状况出现不同的时间趋势。

为了解决对照组选择的问题,一种可行的办法是将两个对照组利用起来,构建三重差分模型,即利用试验区内重污染行业与非重污染行业在政策前后排污差异的差值,减去非试验区内重污染行业与非重污染行业在政策前后排污差异的差值,将最终的重重差分视为政策效果。利用该三重差分模型,不仅可以捕捉到重污染行业与非重污染行业企业之间排污的时间趋势差异,并将其差分掉,还可以通过控制地区—时间联合固定效应来控制试验区与非试验区之间的各种时变差异,从而准确识别出“两化融合”试验区中重污染行业利用信息技术减排的效果。

参考闫昊生等(2021),本文三重差分模型的具体设定如式(1)所示:

$$Pollution_{ijct} = \alpha_1 + \beta_1 PZII_{it} \cdot P\_ind_j + X'\Gamma + \mu_i + \lambda_{ct} + \eta_{cp} + \theta_{pt} + \varepsilon_{ijct} \quad (1)$$

其中,被解释变量 $Pollution_{ijct}$ 表示 $c$ 城市 $j$ 行业 $i$ 企业在 $t$ 年的污染排放强度。与现有研究一致(张丽华等,2021),本文主要关注工业企业二氧化硫和烟粉尘这两种主要污染物的排放强度,这两种污染物是工业企业最主要的污染排放物,《国家环境保护“十五”计划》在设置主要污染物减排目标时将这两种污染物分别列在第一、二位,设置的减排量也是所有工业污染物中的前两位。

主要解释变量为 $PZII_{it} \cdot P\_ind_j$ 。 $PZII_{it}$ 表示“两化融合”试验区指示变量,若 $c$ 城市在 $t$ 年入选试验区则 $PZII_{it}$ 在当年及之后均取值为1,否则取值0。考虑到“呼包鄂”试验区作为首个试验区在2008年10月份得到批复,对于该试验区内的城市,本文以2009年作为政策起点。

$P\_ind_j$ 是重污染工业行业的指示变量。若 $j$ 行业是重污染行业,则 $P\_ind_j$ 取值为1,否则为0。重污染行业的划分主要依据原环保部(现生态环境部)2008年公布的《上市企业环保核查行业分类管理名录》(环办函[2008]373号)(以下简称《环保管理名录》)。该名录中共列出了包括火电、钢铁、水泥等在内的12个行业类别,并列明了下属的子行业类型。本文依据2002年行业分类和说明,将《环保管理名录》中涉及子行业逐一对应到4位数行业分类码。

其他的控制变量。 $X$ 表示一系列企业层面的控制变量,参考现有研究(Cole et al,2005;陈登科,2020;陈诗一等,2021),本文主要纳入了包括企业年龄、杠杆率、资本劳动比、企业出口状态以及劳动生产率等在内的一系列变量。

相关变量的变量名及定义参见表1。 $\mu_i$ 则表示企业固定效应,用于控制非时变的企业特征因素。

除此之外,为了实现对三重差分模型中水平项和二重交互项的完全控制,本文还在模型(1)中进一步控制了城市—年份联合固定效应( $\lambda_{ct}$ )、城市— $P\_ind$ (重污染行业)联合固定效应( $\eta_{cp}$ )以及 $P\_ind$ —年份联合固定效应( $\theta_{pt}$ )。

表1 主要变量含义

变量名	变量含义	变量定义
SO <sub>2</sub>	二氧化硫排放强度	ln(二氧化硫排放量/工业总产值)
Smoke	烟粉尘排放强度	ln(烟粉尘排放量/工业总产值)
PZII	“两化融合”试验区指示变量	若 $i$ 城市在 $t$ 年入选试验区,则PZII取值为1,否则为0
P_ind	重污染行业指示变量	若 $j$ 行业属于重污染行业,则该变量取值为1,否则为0
Age	企业年龄	ln(当前年份—开业年份+1)
Lev	杠杆率	负债总额/资产总额
K/L	资本劳动比	ln(固定资产合计/员工数)
Exp	企业出口	出口交货值大于0则取值为1,否则为0
Labor_P	劳动生产率	ln(工业总产值/员工数)

对城市—年份联合固定效应( $\lambda_{ct}$ )的控制至少有两个好处:一是可以有效地排除城市层面各类时变的可观测和不可观测因素差异的影响,使得本文在模型中无须再加入城市层面的控制变量。这种

控制可以有效地解决试验区选择上的非随机造成的估计偏误。二是控制城市一年份联合固定效应可以有效地控制各地差异化的环境规制措施对企业排放行为的影响。对于一些有公开文件的环境规制政策,比如“十一五”期间中央政府将减排目标分解到各省,并与省政府签订减排目标责任书,理论上可以利用各省不同的减排幅度与“十一五”时点的交互项来控制该项政策的影响。此外,还有排污费收费制度等,也可以在模型中通过控制各地排污费标准予以控制。然而一方面该方法很难穷尽所有的环境规制措施,另一方面环境规制措施的落实还取决于地方政府的治污努力,而这种可能随着时间变化的治污努力却是无法观测并予以控制的。本文通过纳入城市一年份联合固定效应可以有效地捕捉到各地差异化的环境规制措施及治污努力等因素的影响。

本文主要关注 $\beta_1$ 的方向和显著性,若假说1成立,那么 $\beta_1$ 需要显著为负,即此时试验区城市的重污染行业应用信息技术显著降低了污染排放强度。

## (二)数据来源

本文使用的数据集主要为2003—2013年中国工业企业数据库(以下简称工业企业数据库)和中国工业企业污染排放数据库(以下简称污染排放数据库)。工业企业数据库目前已经得到广泛使用,而污染排放数据库是目前从微观企业视角研究中国环境污染问题最主要的数据库。污染排放数据库是由占各地区污染排放85%以上的工业企业填表汇总而成,是《中国环境统计年鉴》编制的基础数据之一。本文先利用Brandt et al(2012)的方法,分别将中国工业企业数据库和污染排放数据库处理成非平衡面板数据。然后参考苏丹妮和盛斌(2021)的做法,利用企业名称、组织机构代码和年份等信息将工业企业数据库和污染排放数据库进行匹配。对于匹配上的数据库,本文进一步剔除了关键变量如总资产、职工人数、工业总产值、固定资产等指标缺失或者为负的样本、职工人数小于8的样本以及其他不符合会计规范的样本。此外,本文还剔除了“两化融合”试验区实施前后任意一侧没有观测值的企业样本。由于2010年工业企业数据受到较多质疑,本文也对该年数据做了剔除处理。

为了保证能够将《环保管理名录》中的重污染行业对应到匹配好的工业企业污染数据库中,本文还对该数据的行业代码进行了调整,即将所有年份的行业代码均对应至《国民经济行业分类》(GB/T 4754—2002)。

除了上述数据库外,本文分析中还用到了《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国城市统计年鉴》等的数据以及中国2007年行业投入产出表。需要说明的是,直辖市属于省级行政单位,与普通地级市存在显著差异,因此,本文的样本中剔除了四个直辖市,仅保留地级市样本。

## 四、计量回归结果

### (一)基准回归

理论分析认为在“两化融合”试验区内,若重污染行业依照建设方案将信息技术用于生产工艺流程的绿色化改造,并构建环境监测和污染源监控信息系统,那么是能够降低污染排放强度的。表2给出了依据三重差分模型设定得到的估计结果。其中,前4列中以二氧化硫的排放强度作为被解释变量,后4列中以烟粉尘的排放强度作为被解释变量。从各列回归结果来看, $PZII \cdot P\_ind$ 对二氧化硫与烟粉尘的排放强度均有显著的负向作用,表明信息技术应用的确降低了试验区内重污染行业污染排放强度,假说1成立。

具体来看,表2列(1)(5)均没有控制企业层面的时变变量,并且标准误也只使用常规的企业层面聚类标准误。列(2)(6)则控制了包括企业年龄(Age)、杠杆率(Lev)以及资本劳动比(K/L)等在内的企业层面变量,以缓解遗漏变量问题造成的估计偏误,此时信息技术减排的效果有所提升,并且以SO<sub>2</sub>为被解释变量时,信息技术作用在1%的水平上显著,以Smoke为被解释变量时交互项显著性虽不变,但估计精度提高。可见,这些企业层面的控制变量比较重要,若遗漏这些变量会导致信息技术减排效果的低估。列(3)(7)对标准误进行了调整,考虑到主要解释变量是在城市一行业层面,本文将标准误聚类到城市一二位数行业层面,以解决潜在的自相关可能导致的标准误低估问题。修正

后的标准误较前列略有提升,但并没有影响到本文的结论。考虑到“两化融合”试验区落实在城市层面,列(4)(8)则进一步将标准误聚类到城市层面,此时标准误分别较列(3)(7)几乎不变。

基于表2列(4)(8)回归结果,“两化融合”试验区内信息技术的应用使得二氧化硫排放强度下降了约14%、烟粉尘排放强度下降了25.7%。

表2 “两化融合”试验区应用信息技术减排的效果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	Smoke	Smoke	Smoke	Smoke
PZII · P <sub>ind</sub>	-0.093* (0.049)	-0.140*** (0.043)	-0.140*** (0.052)	-0.140** (0.056)	-0.204*** (0.052)	-0.257*** (0.045)	-0.257*** (0.056)	-0.257*** (0.057)
控制变量	否	是	是	是	否	是	是	是
企业聚类	是	是	否	否	是	是	否	否
城市×二位数行业聚类	否	否	是	否	否	否	是	否
城市聚类	否	否	否	是	否	否	否	是
观测值	186832	186832	186832	186832	181704	181704	181704	181704
调整的 R <sup>2</sup>	0.772	0.827	0.827	0.826	0.719	0.775	0.775	0.774

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%水平上显著,下同。括号内为聚类稳健标准误。如无特别说明,下表控制变量中均包括Age、Lev、K/L、Exp以及Labor\_P。回归中均控制了企业、城市一年份、城市一污染、污染一年份固定效应。

## (二)信息技术投入在减排中的作用

表2的估计结果表明“两化融合”试验区内应用信息技术减排的重污染行业显著降低了污染排放强度。为了进一步检验污染排放程度下降是否是由信息技术投入带来的,本文基于中国2007年行业投入产出表,利用行业间的投入产出关联测度了重污染行业对信息技术的投入强度(IT\_Connect)。仅使用2007年行业投入产出表计算的原因在于该年份正好位于政策实施前,比较外生,且因其较为接近政策实施的初始年份,从而能更准确地捕捉到行业间的投入产出关联。

在指标的具体计算上,首先,本文利用2002年行业分类表将重污染行业对应至投入产出表中相应的行业。其次,根据投入产出表中重污染行业对上游信息技术行业(包括两个行业:计算机服务业和软件业)的完全消耗系数W<sub>pm</sub>,用式(2)计算重污染行业信息技术投入强度:

$$IT\_Connect_p = \sum W_{pm} \tag{2}$$

其中,p表示重污染行业,m表示信息技术行业,包括计算机服务业和软件业。

在此基础上,将IT\_Connect代入如式(3)所示的回归模型:

$$Pollution_{ijct} = \alpha_2 + \beta_2 PZII\_P\_ind_{jct} + \rho_2 IT\_Connect_j + \gamma_2 PZII\_P\_ind_{jct} \cdot IT\_Connect_j + X'\Gamma + \mu_i + \lambda_{ct} + \eta_{cp} + \theta_{pt} + \epsilon_{ijct} \tag{3}$$

其中,IT\_Connect<sub>j</sub>在j为重污染行业时取值为IT\_Connect<sub>p</sub>,否则为0。PZII\_P\_ind<sub>jct</sub>等于模型(1)中的PZII<sub>ct</sub> · P\_ind<sub>j</sub>,这里使用同一个变量名表示。本文主要关注γ<sub>2</sub>的方向和显著性,若γ<sub>2</sub>显著为负,则表明试验区内信息技术投入越多的重污染行业减排效果越明显。

表3的列(1)(3)是基于式(3)估计得到的结果,表明试验区内重污染行业信息技术投入强度越高,则减排效果越明显。具体地,重污染行业信息技术投入强度每提高0.1个百分点,试点后会令企业二氧化硫排放强度下降约15%,烟粉尘排放强度下降约19.5%。

考虑到在控制企业固定效应的情形下,理论上IT\_Connect<sub>j</sub>应该会被企业固定效应吸收,然而列(1)(3)中IT\_Connect<sub>j</sub>仍然存在,这可能是由于部分企业4位数行业代码变换导致的。为此,表3列(2)(4)则是进一步控制了四位数行业代码,此时IT\_Connect<sub>j</sub>的确被吸收,但主要发现与列(1)(3)一致。

表 3 信息技术投入对减排的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	Smoke	Smoke
<i>PZII_P_ind</i>	0.181 (0.165)	0.177 (0.165)	0.164 (0.171)	0.170 (0.169)
<i>IT_Connect</i>	-0.024 (0.442)		0.295 (0.565)	
<i>PZII_P_ind · IT_Connect</i>	-1.500* (0.783)	-1.452* (0.793)	-1.950*** (0.656)	-1.962*** (0.668)
四位数行业 FE	否	是	否	是
观测值	186832	186821	181704	181696
调整的 R <sup>2</sup>	0.826	0.827	0.774	0.775

注:括号内为城市层面聚类稳健标准误。下同。回归中包括了所有控制变量,并控制了企业、城市一年份、城市一污染、污染一年份固定效应,结果未予展示。

## 五、信息技术的减排机制与成本分摊

### (一) 试验区内信息技术减排的机制

表 3 的回归结果显示信息技术投入强度越高的行业减排效果越好,表明信息技术在减排中的确发挥了重要作用,然而具体机制仍旧是个“黑箱”。

在理论分析部分,本文指出信息技术用于工业企业减排的思路主要有两个:一是通过影响企业生产率而对污染排放产生影响;二是推进绿色生产的发展,这其中又包括产品生产过程的绿色化和产品本身绿色化两种。而从“两化融合”试验区建设方案来看,信息技术用于减排主要是围绕生产率提升和生产过程绿色化展开。至于产品绿色化,试点方案并没有涉及。

本文首先检验试验区内重污染行业应用信息技术是否引发了生产率效应。以劳动生产率(*Labor\_P*)作为生产率的代理变量,表 4 列(1)的回归结果表明信息技术的应用没有提升试验区内重污染行业的生产率。此外,列(1)的结果也意味着本文将劳动生产率作为控制变量是合适的,如果 *PZII · P\_ind* 对劳动生产率有显著影响,则 *Labor\_P* 会是一个“坏”的控制变量。由于劳动生产率无法捕捉到企业在管理等方面效率的提升,因而第(1)列的回归结果可能无法全面反映信息技术应用对生产率的影响。为此,列(2)–(5)将被解释变量替换为全要素生产率。全要素生产率的测算参考了鲁晓东和连玉君(2012)的做法,分别用 LP 和 OP 法进行测算。对于工业企业数据库中部分年份工业增加值、中间品投入、本年折旧等变量缺失的情况,分别参考刘小玄和李双杰(2008)以及陈林(2018)提供的方法进行计算补充。列(2)–(5)的回归结果显示,重污染行业应用信息技术对分别以 LP 法和 OP 法测度的全要素生产率均没有显著影响,其中,列(4)(5)纳入劳动生产率为控制变量,可以看到劳动生产率与全要素生产率之间存在显著的正向关系。

表 4 生产率机制

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	劳动生产率	LP 法生产率	OP 法生产率	LP 法生产率	OP 法生产率
<i>PZII · P_ind</i>	-0.048 (0.030)	0.053 (0.040)	0.043 (0.042)	0.052 (0.040)	0.041 (0.041)
<i>Age</i>	-0.023*** (0.008)	0.091*** (0.008)	0.066*** (0.008)	0.092*** (0.008)	0.067*** (0.008)
<i>Lev</i>	0.124*** (0.017)	-0.144*** (0.021)	-0.114*** (0.021)	-0.151*** (0.020)	-0.123*** (0.020)
<i>K/L</i>	0.370*** (0.008)	-0.093*** (0.006)	-0.306*** (0.007)	-0.122*** (0.006)	-0.347*** (0.007)

续表 4

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	劳动生产率	LP 法生产率	OP 法生产率	LP 法生产率	OP 法生产率
<i>Exp</i>	-0.021* (0.011)	0.074*** (0.013)	0.042*** (0.013)	0.074*** (0.012)	0.042*** (0.012)
<i>Labor_P</i>				0.120*** (0.006)	0.167*** (0.006)
观测值	237217	168709	168709	168709	168709
调整的 R <sup>2</sup>	0.691	0.775	0.754	0.779	0.762

注：回归中均控制了企业、城市一年份、城市一污染、污染一年份固定效应。

表 5 考察了生产过程绿色化机制。信息技术嵌入生产过程中可以在两个方面促进生产工艺的绿色化：一是信息技术应用引致的生产工艺改进能够充分挖掘节能降耗的潜能，进而通过生产流程的灵活再造降低污染产生量；二是信息技术用于构建污染监测系统，强化企业对污染排放信息的获取和整合能力，进而提高了企业在生产流程末端处理污染的能力。列(1)(2)分别以单位产出的二氧化硫、烟粉尘产生量(取对数)为被解释变量，检验了信息技术应用是否降低了生产过程中污染产生量。回归结果表明，两种污染物的产生量均有显著下降。列(3)(4)则分别以两种污染物的去除率为被解释变量来考察信息技术用于生产流程末端污染处理的效果。去除率=(污染物产生量-污染物排放量)/污染物产生量×100%，回归结果显示二氧化硫去除率有显著提升，烟粉尘的去除率为正但不显著。

此外，当规模报酬递增的信息技术被用于减排时，会进一步加速生产过程的绿色化。若减排技术呈规模报酬递增的特性，此时污染排放量与收入之间的关系符合库兹涅茨“倒 U”型曲线的特征，即随着收入的增加，污染排放的增量会逐渐递减，在“倒 U”型曲线拐点的右侧，污染排放的绝对量也会随着收入的上升而下降。为了检验信息技术用于减排是否存在规模报酬递增的特性，表 5 的列(5)先以主营业务收入的绝对值作为收入的代理变量进行了回归，结果显示试验区内重污染行业应用信息技术实现了企业收入的显著增长。列(6)将主营业务收入替换为工业总产值，*PZII·P\_ind* 的促进作用依旧存在。进一步地，列(7)(8)则是以 SO<sub>2</sub>、*Smoke* 排放量的绝对值(不是排放强度)为被解释变量，*PZII·P\_ind* 对两种污染物排放量有显著抑制作用。结合列(5)–(8)的回归结果可知，信息技术用于减排不仅令试验区内重污染行业收入得以增长，而且还带来了污染排放总量的下降，完全符合减排技术存在规模报酬递增特性时“倒 U”型曲线拐点右侧所描述的情形。

表 5 生产工艺绿色化机制

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	单位产出 SO <sub>2</sub> 产生量	单位产出 <i>Smoke</i> 产生量	SO <sub>2</sub> 去除率	<i>Smoke</i> 去除率	主营业务收入	工业总产值	SO <sub>2</sub> 排放量	<i>Smoke</i> 排放量
<i>PZII·P_ind</i>	-0.175** (0.089)	-0.202* (0.119)	1.979* (1.175)	1.179 (3.350)	0.086*** (0.023)	0.083*** (0.024)	-0.098* (0.052)	-0.225*** (0.057)
观测值	186832	181704	169043	165588	237193	237046	186832	181704
调整的 R <sup>2</sup>	0.799	0.789	0.497	0.745	0.895	0.895	0.815	0.737

注：回归中包括了所有控制变量，并控制了企业、城市一年份、城市一污染、污染一年份固定效应，结果未予展示。

表 5 的回归结果表明在“两化融合”试验区政策的作用下，试点城市重污染行业应用信息技术促进了生产过程绿色化转型。

为了检验试验区内重污染行业的产品是否变得更加绿色，本文的思路是检验重污染行业的下游行业是否变得更加清洁。若重污染行业产品的绿色化程度提升，那么以这些产品作为中间投入品的下游行业也会变得更加清洁。

为了识别下游行业的企业是否会变得更加清洁,参考卞泽阳等(2021)的思路,本文认定受到影响的下游行业需满足两个条件:第一,该行业企业所在的城市位于试验区内;第二,该行业企业所处的行业为试验区重污染行业的下游行业。进一步地,基于2007年投入产出表,本文整理了重污染行业对应的所有4位行业分类码层级的下游行业,并将该投入产出关系匹配至本文的数据库。

在此基础上,本文利用式(4)计算了下游行业受试验区重污染行业利用信息技术减排影响的强度指标  $Forward$ :

$$Forward_{cnt} = \sum_j PZII_{ct} \cdot W_{np} \quad (4)$$

其中,  $W_{np}$  表示下游行业  $n$  对重污染行业  $p$  的直接消耗系数。

本文利用式(5)估计了下游行业污染排放受“两化融合”试验区政策影响的程度:

$$Pollution_{inct} = \alpha_4 + \beta_4 Forward_{cnt} + X'\Gamma + \mu_i + \lambda_{ct} + \varepsilon_{inct} \quad (5)$$

表6列(1)(2)表明下游行业的二氧化硫和烟粉尘排放量并没有受到显著影响。在列(3)(4)中,本文仅保留试验区内的下游行业样本,这样识别依赖的变异主要取决于下游行业对重污染行业的直接消耗系数。从回归结果来看,与列(1)(2)基本一致,即消耗较多试验区重污染行业产品的下游行业,其污染排放量并没有发生显著变化。

综上,下游行业的污染排放强度没有发生变化,意味着信息技术并没有促进重污染行业产品绿色化。

表6 下游行业是否变得更加清洁

变量	包括试验区与非试验区下游行业		仅试验区下游行业	
	(1)	(2)	(3)	(4)
	SO <sub>2</sub>	Smoke	SO <sub>2</sub>	Smoke
$Forward$	-0.020 (0.069)	0.026 (0.159)	-0.031 (0.079)	0.018 (0.137)
观测值	94631	95359	18554	18683
调整的 R <sup>2</sup>	0.885	0.865	0.881	0.863

注:回归中包括了所有控制变量,并控制了企业、城市一年份固定效应。结果未予展示。

结合前述分析及表3至表6的发现,可知在试验区政策中信息技术的减排机制主要是通过推进生产过程的绿色化实现的,该结论与研究假说中的分析是一致的。

## (二)信息技术减排的成本分摊机制

研究假说部分的分析表明:虽然对生产流程的信息化改造以及污染监测系统的引进均需要企业承担相当的成本,但是试验区内重污染行业能够利用信息技术自身的特性及其作为上游产业的地位消化相应的减排成本。从信息技术自身的特性来看,依据波特假说,信息技术释放的生产率效应能够在一定程度抵消减排成本。然而根据表4的回归结果可知,该渠道并不成立。

除了生产率效应外,理论分析表明信息技术存在的规模报酬递增特性同样能够降低企业减排成本。用于减排的信息技术存在规模报酬递增的特性意味着减排的平均成本会随着企业收入规模的扩大而下降。在减排机制的分析中,本文发现信息技术主要被用于促进生产过程的绿色化,那么信息技术减排的成本自然会被记入产品制造费用中,并随着产品的销售转化为主营业务成本。如果信息技术的减排成本能够随着收入的增长被有效分摊,那么应该可以观测到在其他条件不变的情况下,追求利润最大化的企业为了抵消减排成本造成的影响,对信息技术投入的临界值应该是单位收入成本与引入信息化减排技术前无差异的那个点。从实证检验的角度来看,在这个临界点上政策变量  $PZII \cdot P\_ind$  不应该对单位收入成本有显著影响。

表7的列(1)(2)分别以主营业务收入成本、单位收入成本(主营业务成本除以主营业务收入)为被解释变量进行了检验。 $PZII \cdot P\_ind$  对主营业务成本有显著正向影响,使得主营业务成本增加了约8.9%,与表5主营业务收入8.6%的增量基本一致。然而在单位收入成本的检验上, $PZII \cdot P\_ind$  对

其却没有显著影响,这与上文的分析是一致的,即单位收入成本不变是重污染行业投资信息技术用于减排的临界点。主营业务成本的增长主要是由于产出增长和销售规模扩大带来的,而单位收入成本没有显著变化意味着信息技术规模报酬递增的特征有效地缓解了减排的成本负担。

在会计处理上,非生产过程的减排支出会被记入管理费用,而前述的分析认为试验区内重污染行业主要将信息技术用于生产过程的绿色化,若事实如此,那么不应该看到政策变量  $PZII \cdot P\_ind$  会对管理费用有显著影响,表7列(3)(4)回归结果证实了这一点, $PZII \cdot P\_ind$  对管理费用总额以及管理费用率(用管理费用比主营业务成本)并无显著影响。并且,该回归结果在一定程度上也表明,在本文的样本期内,信息技术在政府环境监管上还没有发挥突出的作用,否则污染企业的管理费用支出应该会上升。

表7 信息技术减排的成本分摊机制

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	主营业务成本	单位收入成本	管理费用	管理费用率
$PZII \cdot P\_ind$	0.089*** (0.023)	-0.002 (0.002)	0.044 (0.028)	-0.001 (0.001)
观测值	237171	237184	237009	236986
调整的 R <sup>2</sup>	0.891	0.651	0.857	0.685

注:回归中包括了所有控制变量,并控制了企业、城市一年份、城市一污染、污染一年份固定效应,结果未予展示。

既然信息技术的减排成本已经从产出增长中得到了补偿,那么理论上作为上游行业的重污染行业不会向下游行业转移减排成本。为了检验这一点,本文基于式(5),将被解释变量分别替换为下游行业的主营业务成本、单位收入成本以及利润率。表8列(1)-(3)的回归样本中包含了试验区和非试验区的所有下游行业,列(4)-(6)仅包含试验区内的下游行业。从回归结果来看,主要的解释变量  $Forward$  对下游行业的主营业务成本、单位收入成本以及利润率并没有显著影响,这表明试验区内的重污染行业并没对信息技术的减排成本进行转移。

表8 信息技术减排成本是否向下游行业转移

变量	包括试验区与非试验区下游行业			仅试验区下游行业		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	主营业务成本	单位收入成本	利润率	主营业务成本	单位收入成本	利润率
$Forward$	-0.036 (0.048)	-0.001 (0.005)	0.009 (0.008)	-0.039 (0.049)	-0.001 (0.005)	0.009 (0.008)
观测值	136321	136327	136250	29514	29517	29515
调整的 R <sup>2</sup>	0.902	0.606	0.116	0.908	0.603	-0.046

注:回归中包括了所有控制变量,并控制了企业、城市一年份固定效应。结果未予展示。

## 六、稳健性检验

### (一)平行趋势检验

与双重差分模型一样,三重差分模型同样需要满足平行趋势假定,在本文中,需要满足的平行假定是:重污染工业行业与非重污染工业行业在污染排放强度上的差异在试验区与非试验区之间于政策实施前具有相同的时间趋势。与检验双重差分模型平行趋势假定的方法一致,这里利用事件研究法来检验事前的平行趋势是否满足,模型设定如式(6)所示:

$$Pollution_{ijct} = \alpha_3 + \sum_{\tau=-4}^4 \varphi_{\tau} PZII_{t_{c0+\tau}} \cdot P\_ind_j + X' \Gamma + \mu_i + \lambda_c + \eta_{cp} + \theta_{pt} + \varepsilon_{ijct} \quad (6)$$

其中,  $t_{c0}$  表示  $c$  城市进入“两化融合”试验区的初始年份。对于试验区内城市  $c$  而言,  $PZII_{t_{c0+\tau}}$  在试验区实施前、后的第  $\tau$  年取值为1,否则取值为0。需要说明的是,本文把政策实施前5年及以上的合并为一个组别,并将其设为基准组。

图3分别给出了以二氧化硫、烟粉尘排放强度为被解释变量的估计结果。从图中可以看到,在

政策实施前(即第0时期之前),所有的估计系数均不显著,表明平行趋势假定成立,而只有在政策实施后,重污染行业利用信息技术减排的效果才逐步显现。

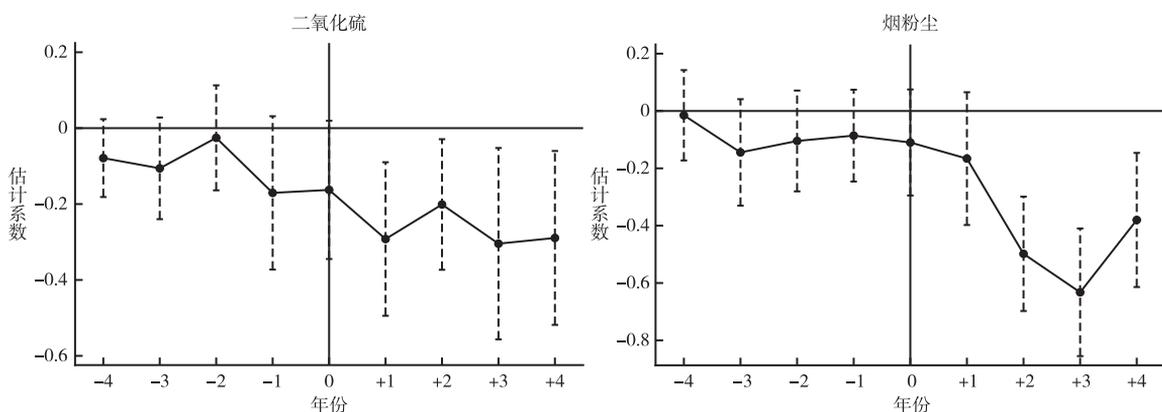


图3 平行趋势检验

## (二) 排除零排放企业和行业转换的影响

考虑到样本中一些企业的二氧化硫或者烟粉尘排放量为0,本文认为作为一个由企业自行填报形成的数据库,这可能是由于企业误报或者故意瞒报导致的。如果这种零污染数据是非随机生成的,则有可能导致信息技术的减排效果被高估。为此,表9的列(1)删除了二氧化硫排放量为0的样本,列(2)则删除了烟尘排放量为0的样本,此时  $PZII \cdot P\_ind$  估计系数的绝对值较基准回归略有下降,可见“零排放”企业的存在确实会导致减排效应被高估,但“两化融合”试验区中重污染行业利用信息技术实现减排的发现仍然成立。

由此引申出的另一个担忧是污染数据中的排放数据是否是由企业瞒报或者随意报告形成的?陈登科(2020)对工业污染排放数据的可靠性进行了验证,他发现 $SO_2$ 与烟粉尘排放量是高度正相关的,且 $SO_2$ 排放量随着煤炭消耗量的增加以及企业规模的扩大而增长,这在一定程度上说明污染排放数据是可靠的。退一步来看,即使污染排放数据存在瞒报问题,那么瞒报出现的原因无外乎两点因素:地方环境监管不严,致使企业有瞒报的空间;从企业自身来看,瞒报可以逃避环境规制,避免或减少环保支出,从而维持企业在行业内的相对竞争优势。因此,由瞒报而导致的排放数据误差必然会在地区内或者行业内系统性存在,因而只要控制相应的地区固定效应、行业固定效应或者地区一年份固定效应、行业一年份固定效应,必然可以缓解这种地区间或者行业间系统性瞒报误差造成的估计偏误。

在表3的回归中,本文发现样本期内一些企业发生了行业转换。为了检验该行业转换是否对基准回归结果造成影响,本文在表9的列(3)(4)中控制了四位数行业固定效应,主要结论不变。为了能够进一步控制行业层面可观测和不可观测时变因素的影响,列(5)(6)则引入了四位数行业一年份的联合固定效应,本文的主要发现依旧成立。表9同时控制了城市一年份固定效应和行业一年份固定效应,主要结论依旧成立,意味着即使 $SO_2$ 和  $Smoke$  存在系统性的测量误差,对本文结论的影响也不大。

表9 排除零排放企业和行业转换的影响

变量	剔除零排放企业		行业转换			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	$SO_2$	$Smoke$	$SO_2$	$Smoke$	$SO_2$	$Smoke$
$PZII \cdot P\_ind$	-0.121** (0.052)	-0.202*** (0.065)	-0.133** (0.055)	-0.255*** (0.055)	-0.121** (0.054)	-0.126*** (0.046)
四位数行业 FE	否	否	是	是	否	否
四位数行业_年份 FE	否	否	否	否	是	是
观测值	168994	161608	186821	181696	186359	181217
调整的 $R^2$	0.861	0.791	0.827	0.775	0.830	0.790

注:回归中包括了所有控制变量,并控制了企业、城市一年份、城市-污染、污染一年份固定效应,结果未予展示。下同。

(三)排除企业进入退出的影响

作为一个非平衡面板数据库,企业的进入退出可能与其污染排放密切相关。在本文的样本期内(2003—2013年),环境保护在“五年”规划(计划)中的重要性日渐凸显,中央政府不仅出台文件将环境保护纳入领导干部的政绩考核内容,还与地方政府签订减排目标责任书,落实环境目标责任制。现有研究表明在目标责任制下,政府环境规制力度的加强能够有效引导企业重视环境保护、减少污染排放(Fan et al,2019)。具体地,政府可以利用信贷规制工具提高污染企业的信贷利率、减少其授信规模以迫使其降低污染排放(Fan et al,2021)。因此,在加强环境保护的大环境下,工业企业的清洁生产能力是其得以持续经营的重要能力。

那些重污染企业可能会因为日趋严格的环境规制力度而退出市场,而新进入企业也可能会因为出众的清洁生产能力而获得一定的市场份额。

本文基于数据库分别生成了表示企业进入(*Enter*)、退出(*Exit*)的变量。表 10 列(1)(2)仅考虑企业进入的影响,列(3)(4)仅考虑退出的影响,最后两列同时控制进入、退出变量。从回归结果来看,是否控制进入、退出并不影响本文的结论,与前述分析的一致,进入市场的新企业有着更低的二氧化硫排放强度,退出的企业二氧化硫排放强度更高。在烟尘排放上,虽然进入、退出的企业烟尘排放强度都较高,但从列(6)的回归结果来看,退出企业的烟尘排放量明显更高。仅二氧化硫指标与预期一致的原因在于,政府将工业企业二氧化硫的减排放在了突出的位置,“十一五”规划的减排目标中明确二氧化硫排放量要削减 10%,并将该目标分解到了各个地方。因此,二氧化硫排放是否达标成为了行业准入的重要衡量尺度之一。

表 10 企业进入退出的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	SO <sub>2</sub>	Smoke	SO <sub>2</sub>	Smoke	SO <sub>2</sub>	Smoke
<i>PZII · P_ind</i>	-0.140** (0.056)	-0.256*** (0.057)	-0.139** (0.055)	-0.257*** (0.056)	-0.139** (0.055)	-0.256*** (0.056)
<i>Enter</i>	0.012 (0.013)	0.071*** (0.014)			0.015 (0.013)	0.075*** (0.014)
<i>Exit</i>			0.101*** (0.015)	0.106*** (0.017)	0.102*** (0.015)	0.111*** (0.017)
观测值	186832	181704	186832	181704	186832	181704
调整的 R <sup>2</sup>	0.826	0.774	0.827	0.774	0.827	0.774

(四)PSM-DDD 法

由于本文已经在基准回归中控制了城市一年份联合固定效应,理论上所有影响试点城市选择的可观测和不可观测因素均得到了控制,此时政策变量应该是条件独立于潜在结果的,即政策的非随机性应该不会影响到估计结果。

为了检验“两化融合”试验区的选择是否会对本文的估计结果造成影响,表 11 的列(1)(2)利用 PSM-DDD 方法进行了稳健性检验。PSM 方法利用政策前的可观测变量将试点城市与非试点城市进行匹配,使得试点城市与非试点城市在潜在结果上具有相似分布,以此来消除选择性偏误问题(Perreira & Pedroza,2019)。具体而言,通过政策前的协变量,利用 logit 模型估计城市入选“两化融合”试验区的概率(即倾向得分),然后依据倾向得分的相似性来为试点城市匹配最相近的非试点城市。匹配年份选择为政策实施前,匹配变量包括人均 GDP(*lnpgdp*)、城镇化水平(*Urban*)、人均工业产出(*lnpind*)、是否为副省级城市(*Sub\_city*)、财政科技支出水平(*Fiscal*)以及人力资本(*Edu*)。匹配方法为无放回的近邻一对一匹配。根据 PSM 前后的协变量平衡性检验结果,可以认为,匹配后,协变量间的标准偏误显著降低,偏误基本控制在 10%以内,并且试点城市与非试点城市在协变量上的差异也变得不显著,表明匹配质量较好。

图4分别给出了匹配前后试点城市与非试点城市倾向得分分布情况。匹配前试点城市与非试点城市的倾向得分核密度分布差异很大,匹配后二者的分布几乎一致。这说明匹配过程是有效的。利用匹配后的试点城市和非试点城市样本,本文重新估计了模型(1),结果如表11的列(1)(2)所示。此时,“两化融合”试验区内重污染行业利用信息技术减排的效应依旧存在,并且效应大小与基准回归非常接近,这说明在基准回归已经控制城市一年份联合固定效应的情况下,政策的非随机选择并不会对估计结果造成影响。

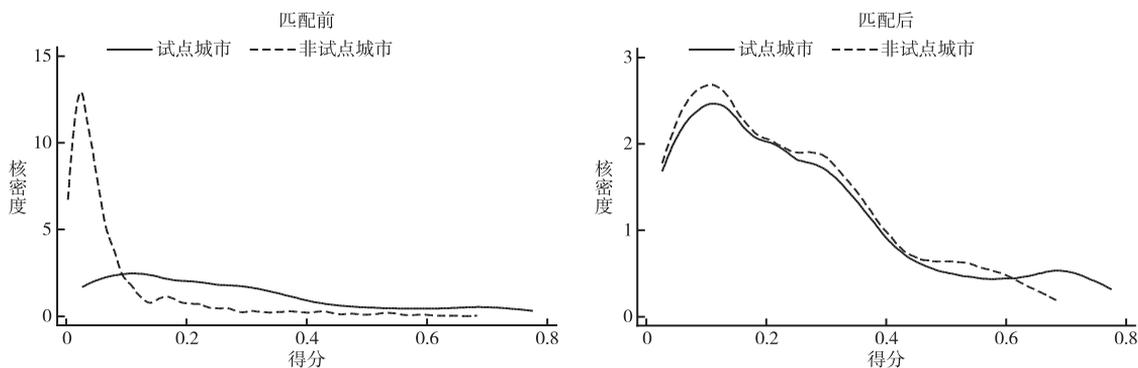


图4 倾向得分核密度分布

表11 PSM-DDD

变量	(1)	(2)
	SO <sub>2</sub>	Smoke
$PZII \cdot P_{ind}$	-0.187*** (0.058)	-0.267*** (0.063)
观测值	107939	105119
调整的 R <sup>2</sup>	0.845	0.800

注:本文还从排除产业结构的影响、安慰剂检验以及异质性处理效应等方面做了稳健性检验,均得到了预期的结果。

## 七、进一步分析

### (一) 试验区绩效考核机制的影响

国家级“两化融合”试验区作为一个试点政策,其有效的实施和执行有赖于强有力的组织领导。在地方官员治理模式下(周黎安,2007),如何将官员目标与政府职能绑定形成激励相容机制是“两化融合”试验区政策得以顺利推进的制度保障。具体的实践中,第一批试验区所在地的部分省、市如广东省、河北省唐山市等为了确保两化融合试点工作能够落实,将两化融合的工作业绩评估结果纳入所在县(区)党政领导班子的年终绩效考核中。第二批试验区更是全面引进了以考核促进工作的制度措施,把“两化融合”成绩作为基层政府和单位绩效考核的重要内容之一。理论上,这种激励相容的考核机制有助于试验区内地方政府推动信息化减排技术在重污染行业的落地应用,而缺乏这种考核机制的试验区执行效果可能差强人意。

表12将主要的解释变量( $PZII \cdot P_{ind}$ )分解为两个: $PZII_{KH} \cdot Pollute$ 和 $PZII_{NO} \cdot Pollute$ 。其中, $PZII_{KH}$ 表示有考核的试验区, $PZII_{NO}$ 表示无考核的试验区,两个变量的定义方式与 $PZII$ 一致。结果显示,在二氧化硫的减排上,仅有考核的试验区重污染行业获得了二氧化硫排放强度的显著下降,无考核的试验区有负向影响但并不显著。而在烟粉尘排放上,有考核和无考核的试验区均实现了烟粉尘排放强度的下降,但有考核试验区降幅明显更大。表12的回归结果表明试验区激励相容的考核机制对于政策落地具有重要意义。

表 12 试验区绩效考核机制的影响

变量	(1)	(2)
	SO <sub>2</sub>	Smoke
PZII_KH · P_ind	-0.163*** (0.059)	-0.288*** (0.058)
PZII_NO · P_ind	-0.038 (0.104)	-0.114** (0.047)
观测值	186832	181704
调整的 R <sup>2</sup>	0.826	0.774

(二)环境规制力度的影响

为了遏制环境污染引发的负外部性行为,常见的做法是由政府采取一定的环境规制措施将环境污染的社会成本全部或者部分地转化为私人成本。其中,征收排污费是实现污染外部成本内部化的有效手段之一。而为了应对排污费性质的环境规制,企业既可以选择继续排污并缴纳排污费,也可以采取减少产量或者利用技术手段减少污染排放。企业的异质性反应意味着在环境规制程度不同的地区,“两化融合”试验区内重污染行业应用信息技术减排可能会产生差异化的效果。考虑到引进减排技术会产生一定的减排成本,若排污费的征收标准较低、征收力度较弱,那么为应对环境规制,企业有可能采取缴纳排污费的方式;相对地,在那些排污费征收标准较高、征收力度较强的地区,企业有可能事前就已经引入减排技术。因此,对于归属于“两化融合”试验区重污染行业的企业而言,若该地之前的排污费规制力度较弱,而企业在政策实施后引进信息技术用于减排,那么污染排放强度可能会出现显著下降;然而若该地之前的排污费规制力度较强,由于企业在政策前已经利用相应的排污技术来减少污染排放,那么在政策实施后利用信息技术减排的效果就会不明显。

基于《中国环境统计年鉴》中各省排污费征收情况表,本文计算了试验区政策实施前各省份单位排污费(排污费收入总额除以缴费单位数,单位为万元/个)平均额度。<sup>①</sup>进一步地,依据该排污费额度的中位数将高于中位数的省份视为规制强的省份,小于等于中位数的省份视为规制弱的省份,由此生成分组变量 *Regulation*<sup>②</sup>。表 13 的列(1)(2)利用交互项的方式进行了检验,结果显示信息技术应用对污染排放的抑制作用在环境规制强度不同的地区均存在。信息技术的减排效应在排污费征收标准不同的地区均存在,可能是因为排污费征收标准普遍较低,追求利润最大的企业会策略性地选择缴纳排污费而非落实减排。从分组变量来看,政策实施前单位平均排污费征收额度的中位数、均值都在 2 万元左右,90%分位数也仅为 3.2 万元,显然该排污支出对于样本中规模以上工业企业而言并不高。而信息技术的应用能够很好地弥补排污费这一规制措施的不足,激励企业落实减排责任。

排污费的征收标准是省级层面的,难以体现省内各市之间的差异。另外,除了征收排污费外,地方政府还可能采取其他的环境规制措施。为了更好地测度各地级市环境治理力度的差异,参考陈诗一和陈登科(2018)的做法,本文分别利用地级市政府工作报告中与环保相关的词汇出现的频数以及这些词频占报告全文的比重作为环境规制力度的代理变量。依据政策实施前各地级市政府工作报告,本文统计得到各市历年政府工作报告中平均环保词频数及其占报告总词数的平均比重,进而分别利用这两个指标的中位数将各地级市划分为规制强和规制弱的市,依次生成两个组别变量 *Gov\_R1*、*Gov\_R2*。当高于各自中位数时,两个变量分别取值为 1,表示规制强;反之取值为 0,表示规制弱。表

①《中国环境统计年鉴》对排污费的统计从 2004 年开始。各年排污费利用以 2003 年为基期的 CPI 对通胀进行了调整。

②*Regulation* 在高于中位数时取值为 1,低于中位数时取值为 0。

13 的列(3)–(6)的回归结果表明,新的环境规制力度指标并没有改变列(1)(2)得到的结论,即试验区利用信息技术减排的作用在环境规制力度不同的地区均成立,信息技术用于减排有效地弥补了环境规制措施的不足。

表 13 环境规制力度对信息技术减排效果的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	SO <sub>2</sub>	Smoke	SO <sub>2</sub>	Smoke	SO <sub>2</sub>	Smoke
<i>PZII_P_ind</i>	-0.178*** (0.062)	-0.300*** (0.055)	-0.346*** (0.092)	-0.378** (0.184)	-0.240*** (0.085)	-0.301*** (0.100)
<i>PZII_P_ind</i> · <i>Regulation</i>	0.127 (0.109)	0.148 (0.108)				
<i>PZII_P_ind</i> · <i>Gov_R1</i>			0.231** (0.106)	0.135 (0.189)		
<i>PZII_P_ind</i> · <i>Gov_R2</i>					0.128 (0.103)	0.056 (0.111)
观测值	186832	181704	186832	181704	186832	181704
调整的 R <sup>2</sup>	0.826	0.774	0.826	0.774	0.826	0.774

注:*PZII\_P\_ind*=*PZII*·*P\_ind*,*Regulation*表示以排污费构造的分组变量,*Gov\_R1*表示以政府工作报告环保词频数构造的分组变量,*Gov\_R2*表示以环保词频占比构造的分组变量。

## 八、结论

在“绿水青山就是金山银山”这一“绿色治理”观的引领下,中国出台了各类环境治理政策,并设立中央环保督察制度,将环保执法提升至空前的高度。然而在如此强有力的环境规制下,企业偷排、漏排的现象仍旧屡禁不止。究其原因在于遵循环境规制、增加减排支出对于追求私人利益最大化的企业而言并非最优决策。因此,要想实现环境污染的源头治理、激励企业减排的关键在于能够找到一种减排措施令企业在减排成本与经济收益之间取得平衡。

信息技术作为目前最令人瞩目的技术手段,凭借其强大的渗透能力和赋能作用被视为驱动企业生产绿色化转型、实现环境质量与经济效益“两手抓”的关键技术。本文基于由工业企业数据和污染排放数据匹配而成的数据库,借助国家级“两化融合”试验区这一自然实验,通过构建三重差分模型,考察了信息技术用于减排的效果并分析了减排成本的分摊机制。本文研究发现试验区内重污染行业应用信息技术后,其二氧化硫和烟粉尘的排放强度和排放量均出现了显著下降。机制检验表明试验区内重污染行业主要将信息技术用于促进生产过程的绿色化改造,相应的减排成本也被记入制造费用中并随着产品销售转化为主营业务成本。然而在信息技术规模报酬递增性质的影响下,企业平均主营业务成本并没有显著增加,表明企业减排的平均成本随着收入规模扩大而得到了有效分摊。进一步的分析表明,处于试验区重污染行业下游行业的二氧化硫和烟粉尘排放强度并未受到影响,并且试验区重污染行业也未将减排成本转嫁给下游行业。相关的异质性分析表明,将试验区的试点绩效纳入地方官员的政绩考核中能够有效提升信息技术用于减排的效果。此外,利用信息技术减排较好地弥补了环境规制力度不足造成的制度漏洞。

本文的发现表明信息技术用于减排不仅能够取得较好的减排效果,而且还能够有效地分摊减排成本,从而为促进微观层面的污染治理提供足够的激励。因此,为了构建污染治理和经济发展的长效机制,有必要构建基于大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术为基础的绿色制造技术供给平台,加速工业企业生产方式数字化转型的进程,通过技术变革引领绿色化转型,助力“双碳目标”稳步实现。特别地,在环境监管部门无法准确地为排污定价收费的情形下,本文的发现表明,鼓励企业应用信息技术减排而非采取一刀切的环境规制措施是加强环境治理的有效措施。此外,就“两化融合”

试点政策本身而言,本文的发现表明在各类试点政策推进的过程中,有必要围绕晋升制度做出相应的试点绩效考核安排,从而为政策执行提供充分的激励。

#### 参考文献:

- 卞泽阳 李志远 徐铭遥,2021:《开发区政策、供应链参与和企业融资约束》,《经济研究》第10期。
- 蔡跃洲 张钧南,2015:《信息通信技术对中国经济增长的替代效应与渗透效应》,《经济研究》第12期。
- 陈登科,2020:《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》,《经济研究》第12期。
- 陈林,2018:《中国工业企业数据库的使用问题再探》,《经济评论》第6期。
- 陈诗一 陈登科,2018:《雾霾污染、政府治理与经济高质量发展》,《经济研究》第2期。
- 陈诗一 张建鹏 刘朝良,2021:《环境规制、融资约束与企业污染减排——来自排污费标准调整的证据》,《金融研究》第9期。
- 陈彦斌 林晨 陈小亮,2019:《人工智能、老龄化与经济增长》,《经济研究》第7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。
- 郭家堂 骆品亮,2016:《互联网对中国全要素生产率有促进作用吗?》,《管理世界》第10期。
- 侯聪美 陈红 龙如银,2020:《绿色生产研究进展与展望:基于文献计量分析》,《系统工程理论与实践》第8期。
- 金培振 张亚斌 彭星,2014:《技术进步在二氧化碳减排中的双刃效应——基于中国工业35个行业的经验证据》,《科学学研究》第5期。
- 靳毓 文雯 何茵,2022:《数字化转型对企业绿色创新的影响——基于中国制造业上市公司的经验证据》,《财贸研究》第7期。
- 刘小玄 李双杰,2008:《制造业企业相对效率的度量和比较及其外生决定因素(2000—2004)》,《经济学(季刊)》第3期。
- 鲁晓东 连玉君,2012:《中国工业企业全要素生产率估计:1999—2007》,《经济学(季刊)》第2期。
- 石大千 丁海 卫平 刘建江,2018:《智慧城市建设能否降低环境污染》,《中国工业经济》第6期。
- 涂正革 谌仁俊,2015:《排污权交易机制在中国能否实现波特效应?》,《经济研究》第7期。
- 王林辉 王辉 董直庆,2020:《经济增长和环境质量相容性政策条件——环境技术进步方向视角下的政策偏向效应检验》,《管理世界》第3期。
- 王永进 施炳展,2014:《上游垄断与中国企业产品质量升级》,《经济研究》第4期。
- 魏斌 黄明祥,2014:《信息技术在生态环境保护中应用及发展趋势》,《环境保护》第14期。
- 许宪春 任雪 常子豪,2019:《大数据与绿色发展》,《中国工业经济》第4期。
- 闫昊生 孙久文 蒋治,2021:《创新型城市、所有制差异与企业创新:基于目标考核视角》,《世界经济》第11期。
- 周黎安,2007:《中国地方官员的晋升锦标赛模式研究》,《经济研究》第7期。
- Alataş, S. (2021), “The role of information and communication technologies for environmental sustainability: Evidence from a large panel data analysis”, *Journal of Environmental Management* 293, 112889.
- Amri, F. et al(2019), “ICT, total factor productivity, and carbon dioxide emissions in Tunisia”, *Technological Forecasting and Social Change* 146:212—217.
- Andreoni, J. & A. Levinson(2001), “The simple analytics of the environmental Kuznets curve”, *Journal of Public Economics* 80(2):269—286.
- Avom, D. et al(2020), “ICT and environmental quality in sub-Saharan Africa: Effects and transmission channels”, *Technological Forecasting and Social Change* 155, 120028.
- Brandt, L. et al(2012), “Creative accounting or creative destruction? Firm-level productivity growth in Chinese manufacturing”, *Journal of Development Economics* 97(2):339—351.
- Cheng, Z. et al(2019), “The effect of information technology on environmental pollution in China”, *Environmental Science and Pollution Research* 26(32):33109—33124.
- Cole, M. A. et al(2005), “Industrial characteristics, environmental regulations and air pollution: An analysis of the UK manufacturing sector”, *Journal of Environmental Economics and Management* 50(1):121—143.
- Fan, H. et al(2019), “Going green in China: Firms’ responses to stricter environmental regulations”, NBER Working Paper, No. 26540.
- Fan, H. et al(2021), “Greening through finance?”, *Journal of Development Economics* 152, 102683.
- Kleis, L. et al(2012), “Information technology and intangible output: The impact of IT investment on innovation productivity”, *Information Systems Research* 23(1):42—59.

- Lashkari, D. et al(2018), “Information technology and returns to scale”, Social Science Research Network Working Paper, No. 3458604.
- Liu, J. et al(2022), “The effect of artificial intelligence on carbon intensity: Evidence from China’s industrial sector”, *Socio-Economic Planning Sciences* 83, 101002.
- Perreira, K. M. & J. M. Pedroza(2019), “Policies of exclusion: Implications for the health of immigrants and their children”, *Annual Review of Public Health* 40:147–166.
- Porter, M. E. & C. van der Linde(1995), “Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship”, *Journal of Economic Perspectives* 9(4):97–118.
- Shahnazi, R. & Z. Dehghan Shabani (2019), “The effects of spatial spillover information and communications technology on carbon dioxide emissions in Iran”, *Environmental Science and Pollution Research* 26:24198–24212.
- Wei, T. & Y. Liu(2017), “Estimation of global rebound effect caused by energy efficiency improvement”, *Energy Economics* 66:27–34.
- Wu, H. et al(2021), “How does internet development affect energy-saving and emission reduction? Evidence from China”, *Energy Economics* 103, 105577.
- Zhou, X. et al(2019), “How information and communication technology drives carbon emissions: A sector-level analysis for China”, *Energy Economics* 81: 380–392.

## The Emission Reduction Effect and Cost Sharing Mechanism of Information Technology Applications

LI Lei<sup>1</sup> LIU Changqing<sup>2</sup>

(1. Sun Yat-sen University, Zhuhai, China;

2. Bureau of Commerce, Xiangzhou District, Zhuhai, China)

**Abstract:** Over a long period, the conflict between economic benefits and emission reduction costs is the key obstacle for firms to comply with environmental regulation. Exploiting the implementation of the national pilot zones for integrating informatization and industrialization, and employing the new database matching the industrial enterprise data and pollution emission data, this paper constructs a DDD model to examine the emission reduction effect and cost allocation of IT in heavy pollution industry in the pilot area. The findings show that: (1) IT significantly reduces the emission intensity of sulfur dioxide and smoke and dust; (2) The emission reduction effect of IT is driven by the greening production process rather than the productivity effect; (3) In contrast to the “Porter Hypothesis”, IT does not compensate the emission reduction cost by the productivity effect, but dilutes it by increasing returns to scale; (4) The pollution emission intensity of downstream industries related to the heavily polluting industries in the pilot area has not been affected, and the pilot industries have not transferred the emission reduction cost to the downstream industries; (5) Pilot performance appraisal effectively ensures the emission reduction effect of IT in heavily polluting industries, and the use of IT in emission reduction can make up for the shortcomings of environmental regulation measures. Our conclusions provide supportive evidence for using the new generation of IT to realize the green transformation of industry and help realize goals for reducing carbon emissions.

**Keywords:** Information Technology; Pollution Control; Emission Reduction Cost

(责任编辑:何伟)

(校对:冀木)