

国家生态工业示范园对企业绿色创新的影响研究

吴健贤¹, 聂鑫^{1,2}, 汪晗^{1*}

(1. 广西大学公共管理学院, 广西南宁 530004; 2. 北京大学中国农业政策研究中心, 北京 100871)

【摘要】 国家生态工业示范园是中国工业绿色转型的主要载体。本文基于创建国家生态工业示范园为切入点, 采用多期双重差分法 (difference-in-differences, DID) 和 2002—2017 年上市公司的面板数据, 实证考察了国家生态工业示范园对企业绿色创新的影响。研究发现: ①创建国家生态工业示范园显著促进了企业绿色创新, 平均提升了上市公司绿色发明专利 0.883 项, 绿色实用专利 0.465 项; ②事件分析表明, 国家生态工业示范园与企业绿色创新之间存在着“先增后降”的倒“U”形关系; ③国家生态工业示范园显著增加了企业环保投资, 抑制了企业排污费, 但与政府环保补助之间没有必然联系; ④国家生态工业示范园更有助于非国有企业、经营状况比较好的企业以及东部经济发达地区的企业绿色创新, 并且其绿色创新效应不集中于特定行业 (如重污染行业)。本文从微观企业层面为理解创建国家生态工业示范园的经济社会效益提供了启发。

【关键词】 国家生态工业示范园; 企业绿色创新; 波特假说; 环境规制; 准自然实验; 生态工业园

【中图分类号】 X32; X196; F273.1; F425

【文章编号】 1674-6252 (2023) 04-0099-09

【文献标识码】 A

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2023.04.099

引言

工业园是一把“双刃剑”, 促进经济高速发展的同时, 也导致严重的环境负外部性问题, 如工业污染、过量碳排放、空气污染和水污染等。作为新兴的环境政策工具, 生态工业园 (Eco-industrial Parks, EIPs) 被联合国工业发展组织 (United Nations Industrial Development Organization, UNIDO) 以及越来越多国家所采用。生态工业园通过严格的规制措施、优惠的税收政策和有效的自愿倡导, 为负责任的企业创造共享的经济机会和创新途径, 更好地整合城市中的产业, 有助于实现经济、环境和社会的三重效益。

然而, 既有关注生态工业园的研究主要从区域层面展开, 鲜有文献从微观企业层面来评估生态工业园的经济社会效益。基于中国城市面板数据, 现有文献评估了国家生态工业示范园 (National Demonstration

Eco-industrial Parks) 对于中国区域经济增长^[1]和外商投资^[2]的影响。类似区域层面的实证研究也表明, 国家生态工业示范园显著促进了中国城市低碳转型^[3]和技术进步^[4]。习近平总书记在党的二十大报告中明确指出: “强化企业科技创新主体地位, 发挥科技型骨干企业引领支撑作用, 营造有利于科技型中小微企业成长的良好环境, 推动创新链产业链资金链人才链深度融合。”^①因此, 本文旨在分析国家生态工业示范园对企业绿色创新影响。具体而言, 本文采用 2002—2017 年上市公司的面板数据, 利用国家生态工业示范园试点的准自然实验冲击, 识别了其绿色创新效应及背后机制, 为深入理解工业园区的绿色发展政策提供启发。

本文的边际贡献有两点: 一方面, 不同于既有研究主要关注国家生态工业示范园在城市层面的政策效果, 本文采用更加微观的大尺度企业层面数据, 结合

资助项目: 广西研究生教育创新计划项目“广西沿海湿地生态系统服务与农户福祉的耦合机制与政策优化研究——以北部湾红树林地区为例”; 国家自然科学基金项目面上项目“海陆交错区国土空间管制下农地发展受限与农户可行性能力动态变化过程模拟及政策响应——广西北部湾的实证分析”(71970038); 国家自然科学基金项目地区基金项目“海岸带生境动态变化与农户土地利用生计策略多情景模拟及政策调控研究: 以广西北部湾为例”(71763001)。

作者简介: 吴健贤 (1997—), 男, 博士生, 研究方向为环境经济与应用微观计量, E-mail: JasenWu@alu.gxu.edu.cn。

*** 责任作者:** 汪晗 (1988—), 女, 副教授, 研究方向为土地管理学, E-mail: hanwang@gxu.edu.cn。

① <https://www.workercn.cn/c/2022-12-26/7681527.shtml>。

多期双重差分法和固定效应模型,有助于精确评估国家生态工业示范园的绿色创新效应。另一方面,既往环境科学、环境工程的研究更多关注国家生态工业示范园的环境效益,但其经济社会效益尚待进一步挖掘,本文有助于更加全面认识创建国家生态工业示范园的价值。本文第一部分是政策背景与研究假说;第二部分是研究方法与研究设计,介绍了双重差分法、计量建模、变量和数据的描述性分析;第三部分是实证分析,包括基准估计、稳健性检验、机制分析和异质性分析;最后,第四部分是研究结论与政策建议。

1 政策背景与研究假说

1.1 政策背景

与传统的“设计—生产—使用—废弃”生产方式不同,生态工业园遵循“资源—产品—再生资源”的循环经济模式^[5]。它仿照自然生态系统物质循环方式,使不同企业之间形成共享资源和互换副产品的产业共生组合,使上游生产过程中产生的废物成为下游生产的原料,达到资源最优配置,进而实现可持续发展^[6]。生态工业园兴起于20世纪90年代的西方国家,如丹麦著名的卡伦堡(Kalundborg)工业园。随后,生态工业园在东西方蓬勃发展,日本北九州(Kitakyushu)工业园、加拿大伯恩赛德(Burnside)工业园、德国鲁尔(Ruhr)工业园等均为典型生态工业园代表^[7]。生态工业园于20世纪90年代末至21世纪初传入中国。1999年,原国家环保总局和联合国环境规划署决定组织实施“中国工业园区的环境管理研究项目”,在试点工业园区引入生态工业理念。2001年,广西贵港生态工业(制糖)园区和广东南海生态工业园区被确认为国家生态工业示范园^[8]。此后,国家生态工业示范园创建在国内蓬勃开展。截至2020年年底,全国共计90余家国家生态工业示范园^①。表1呈现了样本期内所有国家生态工业示范园试点年份。

国家生态工业示范园的特点包括:一是园区内企业之间形成资源循环利用的生态产业链;二是园区内物质、能量、信息的交换利用和基础设施的集成共享;三是园区建设的最终目的是实现经济发展与环境保护的双赢。以2010年被批准为国家生态工业示范园的南昌国家高新技术产业开发区为例。南昌国家高新技

术开发区积极推进企业实施节能技术改造,对于实施节能技术改造的企业给予市级以上节能专项资金补助金额的50%的资金配套。同时,南昌国家高新技术产业开发区助力企业采取清洁生产,奖励采取清洁生产的每家企业一次10万元。另外,南昌国家高新技术产业开发区鼓励企业开展绿色建筑评价工作,对达到国家绿色建筑评价标准二星级或三星级建筑的项目单位,分别给予10万元或20万元一次性奖励。相较于未创建国家生态工业示范园的地区,创建国家生态工业示范园的地区对于当地企业的冲击类似于“准自然实验”,为评估其绿色创新效应提供了天然场景。

1.2 研究假说

生态工业园是在政府指导下以企业合作为基础,以实现废物的零排放为目标的可持续工业发展模式^[9]。在生态工业园中,企业按照部门、规模、技术以及管理水平进行划分,尽可能实现环境、经济和社会效益的协同^[10]。丹麦、美国、埃及和印度等国家将生态工业园视为产业集聚和提升竞争力的绿色发展政策^[11]。在中国,政府通过严格的环境标准、税收优惠、财政补贴等举措指导生态工业园区的创建^[12],尤其是直接参与了生态工业园绩效目标的制定,并以严格的法规为其发展提供了支持^[13]。生态工业园内以龙头企业为核心,通过带动上下游企业发展,形成完整产业链,发挥规模经济效应^[14]。另外,新结构经济学^[14]强调政府应在促进企业技术创新、扶植产业升级和实现经济多样化方面发挥因势利导作用^[15]。中央政府在推进生态工业园的过程中,通过试点到扩散的渐进方式,不仅充分吸收试点地区的经验与教训,还考虑政策实践的过渡成本,为稳步推行和发挥政策效应奠定基础。因而,渐进推行国家生态工业示范园体现了环境规制的“合理性”,而政府因势利导又体现了其“严格性”,满足波特假说^[16](The Porter Hypothesis)^②成立的前提条件。基于上述分析,提出如下研究假说。

假说1:创建国家生态工业示范园激发了企业绿色创新。

为进一步回答国家生态工业示范园何以激发企业绿色创新,本文尝试从企业环保投资、排污费和政府环保补助三个企业层面的机制展开分析。环保投资是

① 根据生态环境部的政策信息,国家生态工业示范园包括正式命名的国家级生态工业园区和批准开展国家生态工业示范园建设的园区。第一类共计48家,第二类共计45家。但由于数据获取原因,2001年和2003年的广西贵港和山东滨州的生态工业示范园被排除在分析样本之外,所以本文以91家国家生态工业示范园构造准自然实验。

② 波特假说认为合理而严格的环境规制能够激发企业创新甚至提升竞争力。该观点不同于新古典经济学视环境规制为企业成本的观点,成为目前环境经济研究的重要话题之一。

表1 创建国家生态工业示范园的时间表

国家生态工业示范园	年份	国家生态工业示范园	年份	国家生态工业示范园	年份
苏州工业园区	2008	赣州经济技术开发区	2013	宁波经济技术开发区	2014
苏州高新技术产业开发区	2008	乌鲁木齐经济技术开发区	2013	上海闵行经济技术开发区	2014
天津经济技术开发区	2008	江苏常州钟楼经济开发区	2013	沈阳经济技术开发区	2014
上海市莘庄工业区	2010	江阴高新技术产业开发区	2013	徐州高新技术产业开发区	2015
西安高新技术产业开发区	2010	广东东莞生态产业园区	2013	锡山经济技术开发区	2015
山东潍坊滨海经济开发区	2010	浙江杭州湾上虞工业园区	2013	吴中经济技术开发区	2015
株洲高新技术产业开发区	2010	长春经济技术开发区	2013	天津市牙经济技术开发区	2015
东营经济技术开发区	2010	山东阳谷祥光生态工业园区	2013	长沙高新技术产业开发区	2015
昆山经济技术开发区	2010	天津港保税区暨空港经济区	2013	宁波高新技术产业开发区	2015
张家港保税区暨扬子江国际化学工业园	2010	沈阳高新技术产业开发区	2013	杭州经济技术开发区	2015
扬州经济技术开发区	2010	吴江经济技术开发区	2013	福州经济技术开发区	2015
合肥经济技术开发区	2010	青岛经济技术开发区	2013	昆明经济技术开发区	2015
日照经济技术开发区	2010	上海张江高科技园区	2014	上海市工业综合开发区	2015
烟台经济技术开发区	2010	南通经济技术开发区	2014	蒙西高新技术工业园区	2015
无锡新区(高新技术产业开发区)	2010	常州国家高新技术产业开发区	2014	嘉兴港区	2015
南昌高新技术产业开发区	2010	常熟经济技术开发区	2014	杭州钱江经济开发区	2015
广州开发区	2011	连云港徐圩新区	2014	杭州萧山临江高新技术产业园区	2015
武汉经济技术开发区	2011	芜湖经济技术开发区	2014	长沙经济技术开发区	2016
贵阳经济技术开发区	2011	潍坊经济开发区	2014	连云港经济技术开发区	2016
北京经济技术开发区	2011	廊坊经济技术开发区	2014	淮安经济技术开发区	2016
上海金桥出口加工区	2011	山东茌平经济技术开发区信发工业园	2014	郑州经济技术开发区	2016
太原经济技术开发区	2011	内蒙古鄂尔多斯上海庙经济开发区	2014	长春汽车经济技术开发区	2016
天津滨海高新技术产业开发区华苑科技园	2012	马鞍山经济技术开发区	2014	温州经济技术开发区	2016
上海漕河泾新兴技术开发区	2012	赣州高新技术产业园区	2014	扬州维扬经济开发区	2016
肇庆高新技术产业开发区	2012	张家港经济技术开发区	2014	盐城经济技术开发区	2016
广州南沙经济技术开发区	2012	珠海高新技术产业开发区	2014	上海市市北高新技术服务业园区	2016
南京经济技术开发区	2012	成都经济技术开发区	2014	江苏武进经济开发区	2016
上海化学工业经济技术开发区	2013	徐州经济技术开发区	2014	武进国家高新技术产业开发区	2016
临沂经济技术开发区	2013	南京高新技术产业开发区	2014	南京江宁经济技术开发区	2016
上海市青浦工业园区	2013	合肥高新技术产业开发区	2014	—	
昆山高新技术产业开发区	2013	青岛高新技术产业开发区	2014	—	

注：资料来源于生态环境部。

指企业对于环保技术研发、环保设备购置、环境管理和污染治理方面的支出。既有研究已经表明加强企业环保投资有助于绿色创新^[17]，改善企业绩效^[18]。所以，本文认为企业环保投资是国家生态工业示范园的作用机制之一。排污费是一种市场激励型手段，属于企业污染外部成本内部化的庇古税(Pigovian Tax)。园区内的企业面临缴纳排污费时，出于成本考虑，增加了技术投入，采用更为先进的生产技术来降低排污

费，进而有助于绿色创新。相关研究表明，排污费与企业创新之间总体上存在着反向变动的关系^[19]。所以，抑制排污费是第二个作用机制。政府环保补助是政府对于企业在环保方面进行财政、信贷和税收等补助。既有文献对于政府环保补助与绿色创新的研究存在一定争议。有研究表明政府环保补助降低了企业创新风险^[20]，提供了必要的资金支持^[21]，有助于绿色创新。但也有证据表明，政府环保补助的重点在于环保

投资而非绿色创新，企业需要迎合地方政府的意愿，一定程度上“挤出”了企业的绿色创新资源^[22]。所以本文认为政府环保补助是另一个作用机制。基于上述分析，提出如下研究假说。

假说2：国家生态工业示范园通过提升企业环保投资、降低排污费来激发企业绿色创新；而政府环保补助与企业绿色创新之间尚存争议。

本文的异质性分析主要从微观企业、中观行业和宏观区域三个方面加以考虑。在微观企业方面，国有企业的公有产权属性决定了国企存在着创新效率的损失^[23]。在企业创新的研究中，国有与非国有的资产属性经常被作为异质性分析变量^[24,25]。熊彼特假说（The Schumpeterian Hypothesis）认为，企业规模和市场力量影响了创新^[26]。相关研究表明在要素市场扭曲相同的环境中，规模较大的企业创新效率^[27]也较高。另外，企业盈利等财务变量与企业创新有关^[28]。因此，本文认为创建国家生态工业示范园在上述微观企业特征层面存在着异质性。在中观行业方面，生态环境部对重污染行业一直进行重点监控。《环境保护综合名录（2021年版）》明确指出“深入打好污染防治攻坚战，坚决遏制高耗能、高排放项目盲目发展，促进重点行业企业绿色转型”。有研究从企业数字化角度讨论了绿色创新对重污染行业发展的重要性^[29]。因此，本文认为重污染行业是需要关注的异质性。在宏观区域方面，有研究指出国家生态工业示范园的政策效果受制于地域因素^[3]。本文关注的另一个异质性是地域差异的影响。基于上述分析，提出如下研究假说。

假说3：国家生态工业示范园的绿色创新效应在微观企业、中观行业和宏观区域三个方面存在着异质性。

2 研究方法与设计

为了准确估计国家生态工业示范园对企业绿色创新的影响，最为直观的思路是比较受到该政策冲击的企业与其他企业绿色创新的差异，但这种对比可能受到不随时间变化的不可观测因素影响。为了尽可能得到准确的政策效应，双重差分基于受到政策冲击的处理组和未受到冲击的对照组进行差分，成为政策效果评价的合适研究方法。具体的多期双重差分计量方程设定如下：

$$Y_{i,b,j,t} = \alpha + \beta \text{Treat}_j \times \text{Post}_t + \text{Controls} + \zeta_i + \varrho_b + \eta_j + \xi_t + \varepsilon_{i,b,j,t} \quad (1)$$

① 作者感谢审稿人指出此处需要控制行业固定效应。

式中， $Y_{i,b,j,t}$ 为衡量企业绿色创新的因变量。参考齐绍洲等^[30]的研究，绿色创新的衡量主要采取世界知识产权组织（World Intellectual Property Organization, WIPO）发布的国际专利分类绿色清单（International Patent Classification Green Inventory），包括替代能源生产、交通运输、能源节约、废物管理、农业/林业、行政、监管或设计方面以及核能发电。基于该分类标准，本文分别核算了企业每年申请绿色发明专利和绿色实用新型专利的数量。

$\text{Treat}_j \times \text{Post}_t$ 是本文主要关注的核心解释变量。若一个城市在试点年份之后创建了国家生态工业示范园，则 $\text{Treat}_j \times \text{Post}_t = 1$ ，否则 $\text{Treat}_j \times \text{Post}_t = 0$ 。 β 代表了创建国家生态工业示范园的绿色创新效应，为本文关注的核心参数。

Controls表示控制变量。借鉴以往文献做法^[22,31,32]，本文选取了以下6个控制变量：①企业规模（ln Size）：资产总计的自然对数。②资本结构（ln Lev）：负债总额与资产总计比值的自然对数。③现金流量（ln Cfo）：经营活动产生的现金流量净额与总资产比值的自然对数。④企业成长性（ln Growth）：营业总收入增长率的自然对数。⑤市场势力（ln Market）：销售收入与营业成本比值的自然对数。⑥资本密集度（ln Density）：固定资产净额与员工人数比值的自然对数。上述数据来自中国研究数据服务平台和国泰安数据库，政策数据来自生态环境部公布的政策文件。

在计量方程（1）中， i 表示企业； b 表示行业； j 表示城市； t 表示年份； ζ_i 表示企业固定效应（Fixed Effects, FE）； ϱ_b 表示行业固定效应^①； η_j 表示城市固定效应； ξ_t 表示年份固定效应； $\varepsilon_{i,b,j,t}$ 表示随机误差项。表2展示了上述变量的描述性统计。表3进一步呈现了控制变量之间的均值差异。企业特征变量之间存在一定的差异也是本文控制固定效应的基础。

3 实证结果与分析

3.1 基准估计结果

表4展示了本文针对计量方程式（1）控制城市层面的聚类稳健标准误的基准估计结果。列（1）表明在控制协变量、行业、城市和年份固定效应后，创建国家生态工业示范园显著促进了当地上市公司的绿色创新，绿色发明专利申请数增加了0.883项。列（2）的结果进一步表明，替换因变量的衡量指标为绿

表2 描述性统计

变量	样本量	均值	标准差
绿色发明专利申请量	31 273	0.760	6.700
绿色实用新型申请量	31 273	0.550	4.060
ln Size	33 355	21.800	1.490
ln Lev	31 936	-0.920	0.690
ln Cfo	25 341	-2.980	1.060
ln Growth	21 219	-1.630	1.320
ln Market	20 837	0.290	0.310
ln Density	31 867	0.750	0.850

表3 控制变量的平衡性检验

变量	对照组样本量	均值	处理组样本量	均值	均值比较
ln Size	15 288	21.678	18 067	21.903	-0.225***
ln Lev	13 977	-0.898	17 959	-0.937	0.039***
ln Cfo	11 605	-2.983	13 736	-2.971	-0.012
ln Growth	9 206	-1.607	12 013	-1.648	0.041**
ln Market	9 228	0.279	11 609	0.298	-0.019***
ln Density	13 930	0.765	17 937	0.737	0.029***

注：*、**、*** 分别表示显著性水平为 10%、5% 和 1%。后表同。

表4 国家生态工业示范园对企业绿色创新的影响

变量	(1)	(2)
	绿色发明专利申请量	绿色实用新型申请量
Treat _j × Post _t	0.883** (0.446)	0.465** (0.222)
ln Size	1.345*** (0.281)	0.751*** (0.214)
ln Lev	-0.030 (0.207)	0.082 (0.104)
ln Cfo	0.047 (0.121)	0.041 (0.060)
ln Growth	-0.116** (0.055)	-0.033 (0.024)
ln Market	0.799** (0.312)	0.183* (0.101)
ln Density	-0.663*** (0.170)	-0.229** (0.109)
行业 FE	是	是
城市 FE	是	是
年份 FE	是	是
城市聚类稳健标准误	是	是
样本量	10 869	10 869
R ²	0.155	0.143

色实用专利时，国家生态工业示范园的绿色创新效应依旧显著，绿色实用新型专利申请量增加了 0.465 项。基准估计的结果初步验证了假说 1。

3.2 稳健性检验

3.2.1 事件分析

为保证基准识别的可靠性，本文构建了事件研究模型来判断平行趋势（Parallel Trends）是否成立。方程（2）呈现了设定的事件分析模型。 $D_{j,t}^{-q}$ 表示当某城市在首次创建国家生态工业示范园前的第 q 年记为 1，否则为 0。 $D_{j,t}^{+q}$ 表示当某城市在首次创建国家生态工业示范园后的第 q 年记为 1，反之为 0。 ζ_i 和 ξ_t 表示企业和年份的固定效应。

$$Y_{i,b,j,t} = \alpha + \beta_2 D_{j,t}^{-5} + \beta_3 D_{j,t}^{-4} + \dots + \beta_{15} D_{j,t}^8 + \text{Controls} + \zeta_i + \xi_t + \varepsilon_{i,b,j,t} \quad (2)$$

考虑到异质性处理效应（Heterogeneous Treatment Effect）对于多期双重差分估计量可能存在的偏误^[33]，本文采用斯坦福大学徐轶青老师及其合作者提出的反事实方法^[34]估计平行趋势。图 1 给出了反事实的估计系数走势，横轴表示政策实施前后的年份，纵轴是估计系数的大小。在政策实施 0 年（2008 年）之前估计系数未发现明显变化趋势，均接近于零且基本不显著。这表明创建国家生态工业示范园前，处理组和对照组发展趋势大体一致，模型不存在系统误差，满足平行趋势假设。而在 2008 年之后，创建国家生态工业示范园对企业绿色创新的促进作用存在着“先增后降”的倒“U”形关系。即在 2014 年（政策实施 6 年）之前，国家生态工业示范园显著促进了企业绿色创新；但 2014 年之后，国家生态工业示范园的绿色创新效应一定程度上有所衰减。

3.2.2 改变计量模型

最近，金融学权威期刊 *Journal of Financial Economics* 的研究^[35]和 *Review of Finance* 的前主编 Edmans^[36]均指出，对企业专利数据加 1 后取对数 $[\log(1+Y)]$ 作为因变量的回归系数缺乏有意义的解释并可能导致估计系数符号错误，更好的做法是使用泊松（Poisson）计量模型。为此，本文对计量模型（1）进行重新估计，表 5 呈现了泊松估计的结果。无论因变量是绿色发明专利申请量还是绿色实用新型申请量，在控制协变量、行业、城市和年份固定效应后，创建国家生态工业示范园对于企业绿色创新的影响依然显著为正。

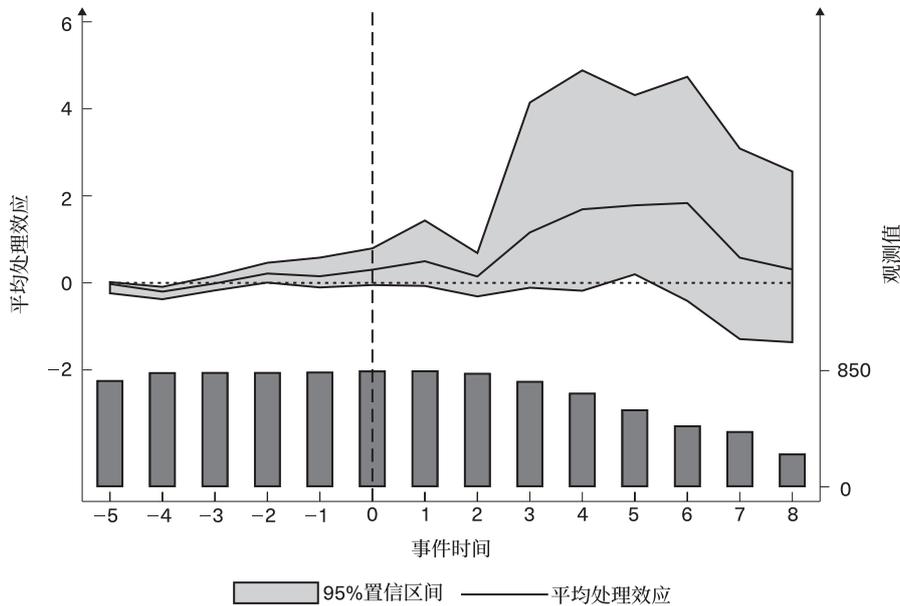


图1 平行趋势检验

表5 泊松估计结果

变量	(1) 绿色发明专利 申请量	(2) 绿色实用新型 申请量
$Treat_j \times Post_t$	1.124*** (0.371)	0.338* (0.174)
控制变量	是	是
行业 FE	是	是
城市 FE	是	是
年份 FE	是	是
城市聚类稳健标准误	是	是
样本量	10 878	10 878

3.2.3 控制企业固定效应

虽然本文在基准估计中控制了行业、城市和年份的固定效应，但企业的不可观测因素依然可能干扰到估计结果。为此，本文进一步控制了企业固定效应，并改变聚类方式以观察估计结果的可靠性。表6汇报了上述稳健性检验结果。列(1)和列(2)表明，尽可能控制更精细单位的不可观测因素后，创建国家生态工业示范园依然显著促进了企业绿色创新。

3.2.4 结合匹配方法

考虑到上市公司之间存在着较大的差异，样本选择性问题可能存在。本文结合倾向值匹配 (Propensity Score Matching) 和双重差分进行估计。匹配方式分别选取核匹配、马氏匹配和样条匹配等六种方式，并采取 Logit 模型估计倾向值。表7呈现了匹配后的估计

结果。不难发现，基准估计中确实存在着一定的选择性问题，估计系数略有减少，但依旧显著激发了绿色创新。基准估计是稳健的。

3.2.5 排除碳排放权交易的影响

碳排放权交易是中国重要的市场激励型环境规制政策^[37]。该政策于2013年开始在北京、天津、上海、重庆、湖北、广东、深圳试点，到2021年已经开始在电力行业全国推广。为了排除国家生态工业示范园的绿色创新效应受到碳排放权交易政策的干扰，

本文将2013年开始实施的碳排放权交易加入计量方程(1)，然后判断国家生态工业示范园绿色创新效应的变动情况。表8表明在控制特征变量、行业、城市和年份固定效应后，即使考虑碳排放权交易的政策干扰，国家生态工业示范园依然显著促进了企业绿色创新。

3.3 机制分析

该部分试图回答国家生态工业示范园促进企业绿色创新的作用机制，方程(3)呈现了具体设定的计量模型。其中， $Channel_{i,b,j,t}$ 用上市公司环保投资、排污费和政府环保补助来衡量。环保投入费用(亿元)来自于国泰安数据库；考虑到研究假说部分探究的排污费与企业绿色创新之间存在着反向变动关系，排

表6 控制企业固定效应的结果

变量	(1) 绿色发明专利申请量	(2) 绿色实用新型申请量
$Treat_j \times Post_t$	0.996* (0.561)	0.617* (0.322)
控制变量	是	是
企业 FE	是	是
行业 FE	是	是
城市 FE	是	是
年份 FE	是	是
企业聚类稳健标准误	是	是
样本量	10 448	10 448
R^2	0.512	0.534

表7 匹配—双重差分估计结果

变量	绿色发明专利申请量					
	(1) 核匹配	(2) 马氏 匹配	(3) 样条 匹配	(4) 局部线性 回归匹配	(5) 半径卡 尺匹配	(6) 1:1 近邻 卡尺匹配
$Treat_j \times Post_t$	0.669* (0.368)	0.669* (0.368)	0.669* (0.368)	0.669* (0.368)	0.658* (0.367)	0.658* (0.367)
控制变量	是	是	是	是	是	是
行业 FE	是	是	是	是	是	是
城市 FE	是	是	是	是	是	是
年份 FE	是	是	是	是	是	是
城市聚类 稳健标准误	是	是	是	是	是	是
样本量	10 836	10 836	10 836	10 836	10 833	10 833
R^2	0.114	0.114	0.114	0.114	0.110	0.110

表8 排除碳排放权交易的影响

变量	(1) 绿色发明专利申请量	(2) 绿色实用专利申请量
$Treat_j \times Post_t$	0.858** (0.432)	0.457** (0.213)
$Treat_j \times Post_t$ (碳排放权交易)	0.476 (0.667)	0.157 (0.382)
控制变量	是	是
行业 FE	是	是
城市 FE	是	是
年份 FE	是	是
城市聚类稳健标准误	是	是
样本量	10 869	10 869
R^2	0.155	0.144

污费(万元)用倒数来衡量,数据来自上市公司的年度报告;政府环保补助采用政府对上市公司环境治理补助(亿元)来衡量,数据来自中国研究数据服务平台。同时,本文对政府补助金额和环保投资上下缩尾1%以排除可能存在的极值干扰。

$$\text{Channel}_{i,b,j,t} = \alpha + \psi \text{Treat}_j \times \text{Post}_t + \text{Controls} + \varrho_b + \eta_j + \xi_t + \varepsilon_{i,b,j,t} \quad (3)$$

① 东部地区包括北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南;中部地区包括山西、安徽、江西、河南、湖北和湖南;西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆;东北地区包括辽宁、吉林和黑龙江。

其中,估计系数 ψ 反映了国家生态工业示范园潜在的影响机制。表9呈现了上述机制分析结果。在控制协变量、行业、城市和年份固定效应后,列(1)结果表明国家生态工业示范园显著促进了上市公司环保投资;列(2)核心解释变量的估计系数显著为负,意味着国家生态工业示范园抑制了上市公司排污费;列(3)核心解释变量的估计系数并不显著,这意味着政府环保补助并非国家生态工业示范园生效的作用机制。假说2得到部分验证。

表9 机制分析结果

变量	(1) 企业环保投资	(2) 排污费	(3) 政府环保补助
$Treat_j \times Post_t$	0.604** (0.305)	-0.427** (0.190)	-0.005 (0.014)
控制变量	是	是	是
行业 FE	是	是	是
城市 FE	是	是	是
年份 FE	是	是	是
样本量	1 564	804	2 551
R^2	0.315	0.252	0.361

3.4 异质性探究

上述结果报告了国家生态工业示范园对企业绿色创新影响的平均处理效应,下面,进一步从企业、行业和区域方面进行异质性考察。其中,以资产总计的自然对数来衡量企业规模;以是否为国有控股(以国家股和国有法人股筛选)以及国有股股数对数的交乘项来定义国有企业;取现金流水平代表企业盈利。具体根据上述变量的中位数来划分为大规模企业和小规模企业、国有企业和非国有企业、经营状况较好和经营状况较差的企业。另外,重污染行业分类参考既有研究^[38]和证监会2012年修订的行业分类标准,重污染行业代码分别是B06、B07、B08、B09、B10、B11、B12、C17、C18、C19、C22、C25、C26、C27、C28、C29、C31、C32和D44。依据国家统计局标准,区域划分为东部地区、中部地区、西部地区和东北地区^①。异质性分析采用分样本估计,具体计量模型设定如下:

$$Y_{i,b,j,t} = \alpha + \kappa_{heterogeneity} \text{Treat}_j \times \text{Post}_t + \text{Controls} + \varrho_b + \eta_j + \xi_t + \varepsilon_{i,b,j,t} \quad (4)$$

其中， $\kappa_{heterogeneity}$ 捕捉了国家生态工业示范园的异质性绿色创新效应。表 10 呈现了上述异质性分析结果。在微观企业层面，列 (1) 和列 (2) 的结果表明，企业的规模大小与国家生态工业示范园激发的绿色创新效应无关；列 (3) 和列 (4) 的结果表明，国家生态工业示范园更有助于激发非国有企业而非国有企业的绿色创新；列 (5) 和列 (6) 的结果表明，国家生态工业示范园有效促进了经营状况比较好企业的绿色创新。在中观行业层面，列 (7) 和列 (8) 结果表明，比较其他行业而言，虽然国家生态工业示范园对重污染行业的绿色创新效应更大，但遗憾的是不具有统计意义上的显著性。这意味着国家生态工业示范园的绿色创新效应不集中于特定行业。对于宏观区域层面，列 (9) 到列 (12) 的结果表明，国家生态工业示范园更有助于东部地区企业绿色创新，而中西部地区和东北地区的效果并不明显。这意味着传统经济发达地区更加适合创建国家生态工业示范园。假说 3 得以验证。

表 10 异质性分析结果

变量	因变量：绿色发明专利申请量					
	(1) 大规模企业	(2) 小规模企业	(3) 国有企业	(4) 非国有企业	(5) 经营较好	(6) 经营较差
Treat _j × Post _t	1.035 (0.654)	0.120 (0.192)	0.223 (0.469)	1.062* (0.582)	1.063* (0.564)	0.040 (0.209)
样本量	6 386	4 462	3 452	7 397	7 763	3 074
R ²	0.215	0.031	0.198	0.182	0.186	0.095
变量	(7) 重污染行业	(8) 其他行业	(9) 东部地区	(10) 中部地区	(11) 西部地区	(12) 东北部地区
Treat _j × Post _t	1.367 (0.917)	0.551 (0.456)	1.280** (0.611)	0.196 (0.460)	-0.463 (0.568)	-0.249 (0.205)
样本量	3 484	7 377	6 724	2 404	1 731	631
R ²	0.259	0.124	0.164	0.134	0.208	0.345
控制变量	是	是	是	是	是	是
行业 FE	是	是	是	是	是	是
城市 FE	是	是	是	是	是	是
年份 FE	是	是	是	是	是	是
城市聚类稳健标准误	是	是	是	是	是	是

4 结论与政策启示

在当前“双碳时代”和创新驱动发展战略的格局下，如何实现中国企业绿色创新具有鲜明现实意义，本文实证研究了创建国家生态工业示范园对企业绿色创新的影响。研究发现：第一，国家生态工业示范园显著促进了企业绿色创新，平均提升了上市公司绿色发明专利 0.883 项，绿色实用专利 0.465 项。第二，事件分析表明，国家生态工业示范园与企业绿色创新之间存在着倒“U”形关系。第三，机制分析表明，国家生态工业示范园显著增加了企业环保投资，抑制了企业排污费，但与政府环保补助之间没有必然联系。第四，异质性分析表明，国家生态工业示范园更有助于非国有企业和经营状况比较好企业的绿色创新；国家生态工业示范园的绿色创新效应不集中于特定行业（如重污染行业）；国家生态工业示范园更有助于东部经济发达地区的企业绿色创新。

本文的政策含义如下：一方面，积极推进国家生态工业示范园的创建，政府应该创建工业共生网络，延长绿色产业链和供应链，增进工业共生能力。政府也要为国家生态工业示范园创建提供保障，完善基础设施，不断完善环境风险防控机制，鼓励符合标准且运行良好的省级生态工业园积极申报国家生态工业示范园。另一方面，示范园区内的企业应该积极增加环保投资，提高生产技术和资源利用效率，努力促进企业高质量发展。同时，在具体落实国家生态工业示范园创建的措施中，政府应该严格落实园区的创建管理办法和监督机制，及时指导高能耗高污染企业转变生产方式，倒逼企业减少排污费的缴纳，积极引导企业绿色转型。另外，创建国家生态工业示范园要重点招商非国有企业和经营状况较好的企业，示范园区试点工作应该优先考虑传统经济发达的东部地区。

参考文献

- [1] 蒲龙, 丁建福, 刘冲. 生态工业园区促进城市经济增长了吗?——基于双重差分法的经验证据 [J]. 产业经济研究, 2021(1): 56-69.
- [2] 华岳, 谭小清. 绿色区位导向性政策与外商直接投资: 来自国家生态工业示范园区的证据 [J]. 国际贸易问题, 2022(1): 130-145.
- [3] NIE X, WU J X, WANG H, et al. Contributing to carbon peak: Estimating the causal impact of eco-industrial parks on low-carbon development in China [J]. Journal of industrial ecology, 2022, 26(4): 1578-1593.
- [4] WU J X, NIE X, WANG H, et al. Eco-industrial parks and green technological progress: Evidence from Chinese cities [J]. Technological forecasting & social change, 2023, 189: 122360.
- [5] 肖序, 曾辉祥. 可持续供应链管理 with 循环经济能力: 基于制度压

- 力视角[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(7): 1793-1804.
- [6] 田金平, 刘巍, 李星, 等. 中国生态工业园区发展模式研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(7): 60-66.
- [7] 徐宜雪, 崔长颢, 陈坤, 等. 工业园区绿色发展国际经验及对我国的启示[J]. 环境保护, 2019, 47(21): 69-72.
- [8] 冯之浚, 刘燕华, 周长益, 等. 我国循环经济生态工业园发展模式研究[J]. 中国软科学, 2008(4): 1-10.
- [9] WANG Y Q, LI P T, ZHU Z W, et al. The evaluation of eco-efficiency of the industrial coupling symbiosis network of the eco-industrial park in oil and gas resource cities[J]. Energy science & engineering, 2019, 7(3): 899-911.
- [10] United Nations Industrial Development Organization. An International Framework for Eco-industrial Parks, Version 2.0[M]. Washington, DC: World Bank Group, 2021.
- [11] United Nations Industrial Development Organization, World Bank Group, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, et al. A Practitioner's Handbook for Eco-industrial Parks: Implementing the International EIP Framework[M]. Washington, DC: World Bank Group, 2018.
- [12] YU F, HAN F, CUI Z J. Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China[J]. Journal of cleaner production, 2015, 87: 339-347.
- [13] BAI L, QIAO Q, YAO Y, et al. Insights on the development progress of National Demonstration eco-industrial parks in China[J]. Journal of cleaner production, 2014, 70: 4-14.
- [14] 林毅夫. 新结构经济学——重构发展经济学的框架[J]. 经济学(季刊), 2011, 10(1): 1-32.
- [15] LIN J Y. New structural economics: a framework for rethinking development and policy[M]. Washington, D. C.: The World Bank, 2012.
- [16] PORTER M, VAN DER LINDE C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship[J]. Journal of economic perspectives, 1995, 9(4): 97-118.
- [17] AWAN U, ARNOLD M G, GÖLGECI I. Enhancing green product and process innovation: Towards an integrative framework of knowledge acquisition and environmental investment[J]. Business strategy and the environment, 2021, 30(2): 1283-1295.
- [18] KHALIL M A, NIMMANUNTA K. Conventional versus green investments: advancing innovation for better financial and environmental prospects[J]. Journal of sustainable finance & investment, 2021: 1-28, doi: 10.1080/20430795.2021.1952822.
- [19] 牛美晨, 刘晔. 提高排污费能促进企业创新吗?——兼论对我国环保税开征的启示[J]. 统计研究, 2021, 38(7): 87-99.
- [20] HUANG Z H, LIAO G K, LI Z H. Loaning scale and government subsidy for promoting green innovation[J]. Technological forecasting and social change, 2019, 144: 148-156.
- [21] LIU J J, ZHAO M, WANG Y B. Impacts of government subsidies and environmental regulations on green process innovation: A nonlinear approach[J]. Technology in society, 2020, 63: 101417.
- [22] 李青原, 肖泽华. 异质性环境规制工具与企业绿色创新激励——来自上市企业绿色专利的证据[J]. 经济研究, 2020, 55(9): 192-208.
- [23] 吴延兵. 国有企业双重效率损失研究[J]. 经济研究, 2012, 47(3): 15-27.
- [24] 王永钦, 李蔚, 戴芸. 僵尸企业如何影响了企业创新?——来自中国工业企业的证据[J]. 经济研究, 2018, 53(11): 99-114.
- [25] 刘诗源, 林志帆, 冷志鹏. 税收激励提高企业创新水平了吗?——基于企业生命周期理论的检验[J]. 经济研究, 2020, 55(6): 105-121.
- [26] 吴延兵. 企业规模、市场力量与创新: 一个文献综述[J]. 经济研究, 2007, 42(5): 125-138.
- [27] 戴魁早, 刘友金. 要素市场扭曲与创新效率——对中国高技术产业发展的经验分析[J]. 经济研究, 2016, 51(7): 72-86.
- [28] 顾夏铭, 陈勇民, 潘士远. 经济政策不确定性与创新——基于我国上市公司的实证分析[J]. 经济研究, 2018, 53(2): 109-123.
- [29] 宋德勇, 朱文博, 丁海. 企业数字化能否促进绿色技术创新?——基于重污染行业上市公司的考察[J]. 财经研究, 2022, 48(4): 34-48.
- [30] 齐绍洲, 林岫, 崔静波. 环境权益交易市场能否诱发绿色创新?——基于我国上市公司绿色专利数据的证据[J]. 经济研究, 2018, 53(12): 129-143.
- [31] 张琦, 郑瑶, 孔东民. 地区环境治理压力、高管经历与企业环保投资——一项基于《环境空气质量标准(2012)》的准自然实验[J]. 经济研究, 2019, 54(6): 183-198.
- [32] 张璇, 刘贝贝, 汪婷, 等. 信贷寻租、融资约束与企业创新[J]. 经济研究, 2017, 52(5): 161-174.
- [33] ATHEY S, IMBENS G W. Design-based analysis in difference-in-differences settings with staggered adoption[J]. Journal of econometrics, 2022, 226(1): 62-79.
- [34] LIU L C, WANG Y, XU Y Q. A practical guide to counterfactual estimators for causal inference with time-series cross-sectional data[J]. American journal of political science, 2022, doi: 10.1111/ajps.12723.
- [35] COHN J B, LIU Z, WARDLAW M I. Count (and count-like) data in finance[J]. Journal of financial economics, 2022, 146(2): 529-551.
- [36] EDMANS A. Learnings from 1,000 rejections[J]. Available at SSRN 4336383, 2023.
- [37] 张希良, 张达, 余润心. 中国特色全国碳市场设计理论与实践[J]. 管理世界, 2021, 37(8): 80-94.
- [38] 马永强, 赵良凯, 杨华悦, 等. 空气污染与企业绿色创新——基于我国重污染行业A股上市公司的经验证据[J]. 产业经济研究, 2021(6): 116-128.

(下转98页)

Research on the Development Path of the Construction of Smart Carbon Supervision in China

CUI Zeyou, DONG Zhanfeng*, GE Chazhong

(Institute of Environmental Planning, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100041, China)

Abstract: Smart carbon supervision is a modern governance measure for governments, parks, and enterprises to implement carbon emission reduction. Through the use of big data platforms, real-time monitoring and tracking of carbon emission data, achieving functions such as carbon emission monitoring and early warning, assessment, evaluation, and decision-making, is an important guarantee for accomplishing dual-carbon goal. The application and development of carbon supervision in China is still at the early stage, promoting the implementation of smart carbon supervision is not only the direction of development, but also faces many challenges. This paper analyzes the development status, practical progress and practical characteristics of smart carbon supervision in China, and puts forward relevant system strategies around the key problems in data management system, policy support system, technology system, innovative function application, service guarantee system, thereby promoting the intelligent development and innovative practice of carbon supervision in China.

Keywords: digital intelligence technology; carbon supervision; smart; energy; dual carbon

（上接107页）

Research on the Impact of National Demonstration Eco-industrial Parks on Enterprises' Green Innovation?

WU Jianxian¹, NIE Xin^{1,2}, WANG Han^{1*}

(1. School of Public Policy & Management, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. China Center for Agricultural Policy, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: National demonstration eco-industrial park (EIP) is the leading carrier of China's industrial green transformation. This study empirically investigated the association between EIPs and corporate green innovation by constructing EIPs as the entry point, using the multi-period difference-in-differences (DID) and panel data of listed companies from 2002-2017. The study found that: ① The creation of the EIPs significantly promoted corporate green innovation, raising the average number of listed companies' green invention patents by 0.883 and green utility patents by 0.465. ② The event study analysis showed an inverted U-shaped relationship between the EIPs and the corporate green innovation, with "first increase and then decrease." ③ The EIPs significantly increased corporate investment in environmental protection. They curbed corporate emissions charges, but there was no necessary link between the EIPs and government environmental subsidies. ④ EIPs were more helpful to non-state corporates, corporates with better business conditions, and corporates in the economically developed eastern regions for green innovation. The effects of green innovation were not concentrated in specific industries (e.g., heavy pollution). This paper might provide insights into the economic and social benefits of EIPs at the micro-corporate level.

Keywords: national demonstration eco-industrial park; corporate green innovation; the Porter hypothesis; environmental regulation; quasi-natural experiment; eco-industrial park