

# 智慧城市建设与高耗能企业碳减排绩效： 内在机制与经验证据

薛永善，贾晓霞

上海理工大学管理学院，上海

收稿日期：2023年7月9日；录用日期：2023年8月28日；发布日期：2023年9月4日

## 摘要

智慧城市建设作为促进城市智慧产业集群和产业转型升级的有力保障，为实体经济赋能的重要性日益凸显。基于2010~2020年我国智慧城市试点地级市内250家高耗能企业样本的面板数据，运用多期DID模型和PSM-DID模型实证检验了智慧城市试点政策对高耗能企业碳减排绩效的影响。研究表明：智慧城市试点建设有利于地级市内高耗能企业碳减排绩效的提高，且在政策实施前三年促进作用较高，该结论在一系列稳健性检验后依然成立。机制检验表明，技术创新在智慧城市试点政策对高耗能企业碳减排绩效的影响中起到了部分中介效应，中介效应占比为6.7%。异质性分析发现，国有高耗能企业受智慧城市试点政策的影响更大，其政策效应的估计系数高于非国有高耗能企业；所在省份环境规制越强，高耗能企业碳减排绩效的政策效应估计系数就越大，政策的影响幅度越高。

## 关键词

智慧城市，高耗能企业，碳排放，PSM-DID

# Smart City Construction and Carbon Emission Reduction Performance of Energy-Consuming Enterprises: Intrinsic Mechanisms and Empirical Evidence

Yongshan Xue, Xiaoxia Jia

Business School of University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Jul. 9<sup>th</sup>, 2023; accepted: Aug. 28<sup>th</sup>, 2023; published: Sep. 4<sup>th</sup>, 2023

文章引用：薛永善，贾晓霞. 智慧城市建设与高耗能企业碳减排绩效：内在机制与经验证据[J]. 建模与仿真, 2023, 12(5): 4305-4319. DOI: 10.12677/mos.2023.125393

## Abstract

The significance of smart city construction as a powerful guarantee to promote urban smart industry clustering and industrial transformation and upgrading to empower the real economy has been increasingly highlighted. Based on the panel data of a sample of 250 energy-intensive enterprises within prefecture-level cities of smart cities in China from 2010 to 2020, the impact of smart city pilot policies on the carbon emission reduction performance of energy-intensive enterprises is empirically examined using a multi-period DID model and a PSM-DID model. The findings show that the smart city pilot construction is conducive to the improvement of carbon emission reduction performance of high energy-consuming enterprises within prefecture-level cities, and the promotion effect is higher in the first three years of policy implementation, and this finding still holds after a series of robustness tests. The mechanism test shows that technological innovation plays a partial mediating effect in the impact of the smart city pilot policy on the carbon emission reduction performance of high energy-consuming enterprises, with the mediating effect accounting for 6.7%. The heterogeneity analysis found that state-owned high energy-consuming enterprises were more influenced by the smart city pilot policy, and the estimated coefficient of its policy effect was higher than that of non-state-owned high energy-consuming enterprises; the stronger the environmental regulation in the province where they were located, the larger the estimated coefficient of the policy effect on the carbon emission reduction performance of high energy-consuming enterprises, and the higher the magnitude of the policy's influence.

## Keywords

Smart City, Energy-Intensive Enterprises, Carbon Emission, PSM-DID

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

众所周知, 企业是城市经济的筋骨血肉, 亦是国家发展的脊梁, 同样也是碳排放的制造主体。如何按期实现碳达峰, 同时又确保完成既定经济增长目标, 成为每一个城市有待破解的现实考题, 而碳排放量占比超一半的高耗能企业的碳排放相关议题更是成为近年来关注的热点问题。如 Pardo 和 Moya 通过建立欧洲钢铁产业能源和二氧化碳仿真模型, 得出突破性技术创新可以使钢铁产业能源消耗和二氧化碳排放的绩效有所改善[1]; 郭朝先采用 LMDI 分解法, 定量分析了产业结构变动对碳排放变动的影 响, 研究提出高耗产业低碳化对碳减排能够产生较大影响, 预计贡献度为 10%~20% [2]。随着新兴技术的兴起, 越来越多的学者开始关注高层次技术创新对碳排放的作用, 典型研究有 Wang 等发现面向无碳技术的创新可以显著降低 CO<sub>2</sub> 排放水平[3]。Geels 等指出快速、深层次的低碳转型需要更具突破性的低碳技术创新, 以实现对现有的社会技术体系重构[4]。显然, 新兴技术的运用不仅可以促进规模城市的聚集效应, 还能促使经济低碳转型, 有效防治城市病, 达到减碳降碳的目的[5], 而这完全契合了我国自 2012 年起探索和试点智慧城市的初衷。高耗能企业是城市碳排放的主体, 那么以智慧城市建设为导向的新型城市发展模式是否会引导高耗能企业走绿色低碳的发展道路? 如果是, 其与高耗能企业碳减排绩效之间的作用机制是怎样的? 二者在推动国家“双碳”战略目标按期实现的主阵地是如何协同作战的呢? 对这些问题的回

答不仅有助于识别国家应对气候变化系列政策的净效应, 同时也是高耗能企业适应国家生态文明治理挑战的必然要求。本文尝试厘清智慧城市试点政策影响高耗能企业碳减排绩效的作用机理, 以 2012 年至 2014 年实施的智慧城市试点政策为准自然实验, 运用多期(渐进)双重差分法进行实证检验, 以此评估政府政策助推节能减排效果的研究视阈, 拓展对高耗能企业减污降碳驱动力的讨论。

区别于既有研究, 本文的边际贡献为: 1) 在研究视角方面, 现有文献对企业碳减排绩效的政策因素探究大都围绕碳交易试点展开[3] [6] [7], 而对智慧城市建设的效应研究又多聚焦于中观层面[3] [5] [8], 缺乏对智慧城市试点政策微观经济后果的完整的评估研究。本文从智慧城市试点政策出发, 运用多期 DID 模型和 PSM-DID 模型识别其影响碳排占比过半的高耗能企业碳绩效的作用机理, 揭示微观主体碳排放绩效的政策环境和影响力; 2) 尽管智慧城市建设能够加速城市创新和绿色技术创新已经得到众多学者的共识[9] [10], 然而, 在节能减排的大背景下, 这项政策的落地是否通过科技赋能主力军的低碳发展在各位学者的论述中并没有明确的表述和分析。本文以技术创新为中介变量的有益尝试, 丰富了低碳技术创新赋能企业高质量发展的证据; 3) 不同学者往往高度概括性研究高耗能企业, 本文通过分样本回归的异质性探索, 系统观察智慧城市建设对不同产权性质以及不同环境规制强度下高碳企业减排的驱动力, 进一步厘清了国家治理中减污降碳激励约束机制完善的必要性和重要性。

## 2. 理论分析与假设提出

作为集感知、分析、测量、控制为一体的新型城市运营管理模式, 智慧城市的实质是通过数字化赋能城市治理[11]。从生产要素聚集的角度来看, 智慧城市建设能促进生产资源协同, 通过信息共享提高资源配置效率、产业结构优化, 拓宽清洁产业发展路径与应用场景[12]。从产业结构转型的视角来看, 智慧城市建设能有效促进区域内产业向低碳绿色方向发展[13]。其中智慧城市试点政策又可划分为智慧产业政策、智慧政务政策以及智慧民生政策, 其分别领导城市内数据要素聚集、产业结构优化、绿色技术创新, 从而预防“城市病”[14]。而高耗能企业作为城市碳排放的主要贡献者, 其减排绩效是否受到智慧城市政策的影响呢?

### (一) 智慧城市建设与高耗能企业碳减排

在兼顾能源安全、环境保护和应对气候变化的前提下, 驱动高耗能企业尽快实现由化石能源向非化石能源的转型已成为各城市当前亟待解决的关键问题。首先, 智慧城市建设通过技术赋能优化资源配置、提高资源利用率。新兴互联网技术的融入为企业提高资源配置效率、优化作业流程提供了技术保障。实现生产要素有机融合, 为企业发展提供了要素保障, 以提效节能的方式促进碳减排[8]。其次, 智慧城市建设通过非正式约束督促企业积极承担社会责任。生态文明理念、可持续发展理念的宣传不断地引导企业走绿色低碳发展模式, 推动企业文化向环境友好、资源节约方面不断发展, 以非正式环境规范约束企业主动承担碳减排责任[15]。最后, 智慧城市建设为企业提供资金禀赋。智慧城市建设依靠城市经济实力发展, 对城市环境治理、绿色治理模式研发提供更多资金支持, 为企业进行绿色生产提供资金保障, 促进企业绿色全要素生产率提高[8], 从而提升企业碳减排绩效。基于上述理论分析, 本文提出:

假设 1: 智慧城市试点政策能促进高耗能企业碳减排绩效的提升。

### (二) 智慧城市建设、低碳技术创新与高耗能企业碳减排

众所周知, 由创新驱动的智慧城市建设能够产生技术效应、配置效应和结构效应[5], 而这三种效应主要通过信息支撑、规模集聚和资金配置促进低污染、绿色清洁型技术创新的量质齐升[10], 反映到生态环境保护层面, 就是减污降碳、提升绩效的结果。一方面, 智慧城市试点实施中的智慧产业政策促使各种生产要素与技术流程紧密结合[9], 以低碳技术创新和技术进步的方式促进地区高耗能企业的节能降耗, 促进碳减排。另一方面, 智慧城市建设旨在打造以数字化为基础的智慧治理格局, 增强企业运营中的监督, 促使企业

更加关注自身环境责任。同时, 智能化基础设施与智能建筑的建设为科研工作者提供了良好硬件条件, 城市大数据平台的应用为科研工作者提供了更便捷的信息交流共享的机制, 共同为新能源开发、绿色技术创新与应用成果转化、碳减排绩效提升提供了良好的环境[16]。换言之, 低碳技术创新是实现污染密集型企业转型升级的重要手段, 也是提高企业经济效益和环境质量的重要保障[17][18]。基于以上分析, 本文提出:

假设 2: 智慧城市试点政策通过低碳技术创新提升高耗能企业碳减排绩效。

### 3. 研究设计

#### (一) 模型设定

根据《住房城乡建设部办公厅关于开展国家智慧城市 2013 年度试点申报工作的通知》, 首批智慧城市试点涵盖 90 个地、县级城市, 此后新增第二批、第三批试点城市, 本文拟将智慧城市试点政策看作准自然实验, 采用多期(渐进)双重差分模型评估智慧城市试点政策对地级市内高耗能企业的碳减排绩效的影响。由于本文研究对象界定为地级市高耗能企业, 故将试点城市为区或县(如北京市东城区)的样本剔除, 以同省份内其他地级市高耗能企业作为实验的对照组, 得到处理组样本共 167 家企业, 对照组样本共 131 家企业。参考宋弘等[19]、胡兆廉等[20]的做法, 根据双重差分模型的要求设定年份和企业的双重倍差变量  $Policy_{i,t}$ 。为了消除城市间异质性和样本选择偏差的影响, 本文在 DID 的基础上进一步引用 Heckman、Rosenbaum and Rubin 发展而来的倾向得分匹配法(PSM)以及其他检验方法来确保实验结果的稳健性, 以期获得更科学精准的智慧城市试点政策对地级市高耗能企业碳减排绩效的处理效应。

由于第二批智慧城市政策不包含地级市试点, 故最终考虑的只有 2012 年第一批以及 2014 年第三批, 构建多期(渐进)双重差分模型如下:

$$CCR_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 Policy_{i,t} + \alpha_2 Control\_Var_{i,t} + AreaFE + YearFE + IndustryFE + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

其中,  $i$  和  $t$  分别代表高耗能企业和年份,  $CCR$  为企业碳减排绩效,  $Policy$  为智慧城市政策变量, 当  $Policy = 1$  时说明  $i$  企业所在地级市在  $t$  年份属于智慧城市试点城市,  $Policy = 0$  时说明  $i$  企业所在地级市在  $t$  年份不属于智慧城市试点城市。  $Control\_Var$  为一系列控制变量, 是影响企业碳减排绩效的其他因素, 具体包括: 高耗能企业所在地级市的  $gdp$  增长率、产权性质、出口比例、资产负债率、净资产收益率、专利申请数量、环境规制强度。  $AreaFE$ 、 $YearFE$  和  $IndustryFE$  分别为地区固定效应、年份固定效应以及行业固定效应, 为避免多重共线性问题不考虑个体固定效应。智慧城市试点政策对高耗能企业碳减排绩效的影响由估计系数  $\alpha_1$  测量。

为了进一步探究智慧城市试点政策对高耗能企业碳减排的影响, 本文拟借鉴温忠麟等[21]的研究方法, 构建智慧城市试点政策对高耗能企业碳减排影响路径的中介效应三步检验模型:

$$CCR_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 Policy_{i,t} + \alpha_2 Control\_Var_{i,t} + AreaFE + YearFE + IndustryFE + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

$$Patent_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 Policy_{i,t} + \beta_2 Control\_Var_{i,t} + AreaFE + YearFE + IndustryFE + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

$$CCR_{i,t} = \varphi_0 + \varphi_1 Policy_{i,t} + \varphi_2 Patent_{i,t} + \varphi_3 Control\_Var_{i,t} + AreaFE + YearFE + IndustryFE + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

其中模型(2)和模型(4)中被解释变量为高耗能企业碳减排绩效, 模型(3)中被解释变量为技术创新水平, 根据中介效应三步检验法, 第一步对模型(2)进行检验, 若结果显著, 说明试点政策对企业碳减排绩效存在影响,  $\alpha_1$  衡量政策的总效应; 第二步对模型(3)进行检验, 系数  $\beta_1$  衡量技术创新是否在政策效应中起到中介的作用, 若该系数显著, 说明存在中介效应; 第三步对模型(4)中系数  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$  进行检验, 分别衡量政策效应的直接效应与间接效应, 若  $\varphi_2$  显著但  $\varphi_1$  不显著, 说明存在完全中介效应, 若二者均显著, 说明存在部分中介效应。

## (二) 样本选择与数据来源

本文研究的样本为 2010 年到 2020 年中国 A 股上市的高耗能企业。为提高研究结果的准确性, 在样本选取时进行以下处理: 1) 去除 ST、PT 类的上市公司; 2) 去除产权变化的企业; 如辽宁省抚顺特钢在 2018 年由地方国有企业转变为民营企业, 产权变化可能对其碳减排绩效造成影响。3) 剔除碳减排绩效测量缺失的企业。4) 去除资不抵债的企业。最终获得总实验样本 229 家高耗能企业, 2519 个观测样本, 属于智慧城市试点的地级市企业 128 家, 对照组企业 101 家。为消除离群值对研究结果的影响, 数据处理中对 GDP 增长率、资产负债率、净资产收益率、环境规制强度以及企业碳减排绩效的度量值进行 1% 和 99% 的 Winsor 缩尾处理。

本文研究变量中, 高耗能企业碳减排测度数据来源于和讯网上市公司社会责任报告数据库(CRS), 对于部分年份缺失的数据采用线性插值法补充, 全部年份缺失的样本做剔除处理。高耗能行业划分参考《国民经济行业分类》在 2011 年修订的行业分类标准, 上市公司的财务数据来源于国泰安数据库(CSMAR)、CEIC 数据库以及 Wind 数据库, 专利申请数量来源于中国国家知识产权局官方网站, 城市 GDP 增长率以及污染治理投资来源于中国城市统计年鉴。

## (三) 变量说明与测度

### 1) 被解释变量

高耗能企业碳减排绩效(CCR)。出于企业碳排放数据的难获得性, 已有文献[6][7]在研究企业碳减排绩效时多采用社会责任报告中环境信息披露赋值法或社会责任评分进行度量。拟参考方兰等[22]的做法, 用和讯网上市公司社会责任报告中得分来衡量, 取自然对数处理。该评分依靠专业的社会责任评估体系, 涵盖了股东责任、环境责任等五项指标, 能够较为准确地描述企业社会责任履行程度, 其数据已经被广泛应用于研究中。

### 2) 核心解释变量

智慧城市试点政策(Policy)。本文以智慧城市试点政策作为一项准自然实验, 智慧城市试点政策的处理效应(Policy)用高耗能企业虚拟变量和政策实施时间虚拟变量的交互项(Treated\*Time)表示。具体而言就是将处理组企业赋值为 1, 对照组企业赋值为 0; 政策实施年份后为 1, 实施年份前为 0; 多期 DID 模型在不同智慧城市试点的政策实施虚拟变量不完全一致。该项系数  $\alpha_1$  表示智慧城市试点政策对高耗能企业的平均影响效应。

### 3) 控制变量

为减少其他因素对研究结果的影响, 提高研究结论的稳健性, 本文参考汪方军等[23]的做法, 引入七个控制变量, 具体包括: 1) GDP 增长率(GDP growth), 以该高耗能企业所在地级市的年 GDP 增长率来表示; 2) 产权性质(soe), 是否为国有企业; 3) 出口比率(export), 用出口贸易额占总营业收入的比率来表示; 4) 资产负债率(leverage), 总负债与总资产之比; 5) 净资产收益率(roe), 净利润与净资产的比率; 6) 技术创新(patent), 中国国家知识产权局公布的专利申请数量加一取自然对数; 7) 环境规制强度(environment), 以该企业所在省份环境污染治理投资占总 GDP 的比重来衡量。变量符号与定义见表 1; 样本描述性统计见表 2。

Table 1. Variable symbols and definitions

表 1. 变量符号和定义

变量名称	符号	定义
被解释变量		
企业碳减排绩效	CCR	和讯网社会责任评分取对数

## Continued

核心解释变量		
智慧城市试点	Policy	城市当年及以后进行试点取 1, 否则为 0
控制变量		
GDP 增长率	GDP growth	企业所在地级市的年 GDP 增长率
产权性质	soe	虚拟变量, 国有企业取 1, 非国有企业取 0
出口比率	export	出口贸易额占总营业收入的比率
资产负债率	leverage	总负债与总资产之比
净资产收益率	roe	净利润与净资产之比
技术创新	patent	该企业当年的专利申请数量加一取对数
环境规制	environment	该企业所在省份环境污染治理投资占总 GDP 的比重

**Table 2.** Sample descriptive statistics  
**表 2.** 样本描述性统计

变量名称	平均值	标准差	最小值	最大值
实验组				
CCR	3.053	0.750	-3.507	4.755
GDP growth	9.378	7.946	-28.14	33.19
soe	0.438	0.496	0	1
export	11.47	17.67	0	100
leverage	45.69	21.17	4.795	94.98
roe	8.545	18.18	-190.1	66.00
patent	2.060	1.766	0	6.727
environment	1.352	0.862	0.202	4.401
对照组				
CCR	2.803	0.872	-3.912	4.449
GDP growth	9.519	8.325	-28.14	29.56
soe	0.406	0.491	0	1
export	14.16	20.99	0	100
leverage	43.57	21.29	5.002	94.98
roe	9.789	19.02	-90.87	266.6
patent	1.995	1.829	0	6.987
environment	1.141	0.759	0.202	4.251

## 4. 实证结果分析

### (一) 多期 DID 回归与 PSM-DID 回归

本文采用多期 DID 模型和 PSM-DID 模型对智慧城市试点政策于高耗能企业的碳减排绩效的影响进行测量, 引入地区固定效应、年份固定效应以及行业固定效应, 并采用聚类稳健标准误以提高测量结果的准确性。表 3 中第(1)、(2)列分别表示添加控制变量前后多期 DID 模型的回归结果, 第(3)、(4)列分别表示添加控制变量前后 PSM-DID 模型的回归结果。从结果中我们可以看出, 无论是否引入控制变量, 智慧城市试点政策对试点区域内高耗能企业碳减排绩效都有显著的促进作用, 在引入 PSM-DID 模型进行进一步检验后, 测量结果略低于传统 DID 模型, 说明传统多期 DID 模型在测度智慧城市试点政策对高耗能企业碳减排绩效的影响方面有一定程度的高估, 但显著性水平依然维持在 1%的水平。假设 1 得到初步验证。

**Table 3.** Benchmark regression results

**表 3.** 基准回归结果

变量名称	(1)	(2)	(3)	(4)
	CCR			
policy	0.340 <sup>***</sup> (5.43)	0.329 <sup>***</sup> (5.95)	0.338 <sup>***</sup> (5.37)	0.326 <sup>***</sup> (5.78)
soe		0.206 <sup>***</sup> (3.73)		0.203 <sup>***</sup> (3.60)
patent		0.073 <sup>***</sup> (4.02)		0.073 <sup>***</sup> (3.90)
export		0.002 (1.57)		0.002 <sup>*</sup> (1.80)
lev		-0.010 <sup>***</sup> (-5.78)		-0.010 <sup>***</sup> (-5.69)
roe		0.015 <sup>***</sup> (5.48)		0.015 <sup>***</sup> (5.36)
GDP growth		0.002 (0.56)		0.002 (0.49)
environment		0.022 (0.90)		0.027 (1.08)
Constant	2.814 <sup>***</sup> (76.47)	2.842 <sup>***</sup> (29.99)	2.816 <sup>***</sup> (75.41)	2.836 <sup>***</sup> (29.78)
Area FE	YES	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES	YES
Industry FE	YES	YES	YES	YES
Adj_R <sup>2</sup>	0.093	0.289	0.097	0.289
Observations	2519	2519	2464	2464

注: \*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \* p < 0.1, 括号内为 t 值, 聚类到城市层面, 下同。

## (二) 智慧城市试点政策的减排路径检验

表 4 为基于技术创新的中介机制检验结果, 其中(1)、(2)、(3)列分别是模型(2)、(3)、(4)的回归结果, 从第(3)列可以看出, 智慧城市试点政策对高耗能企业技术创新存在显著的促进效应, Goodman 检验 1 结果显著, 表明存在中介效应, 并且根据三步检验法结果计算得出, 技术创新在试点政策对高耗能企业碳减排绩效的影响中发挥 6.7%的部分中介效应, 假设 2 得证。

**Table 4.** Mediation mechanism test based on technological innovation

**表 4.** 基于技术创新的中介机制检验

变量名称	(1)	(2)	(3)
	CCR	Patent	CCR
patent			0.055*** (6.19)
policy	0.305*** (9.75)	0.351*** (4.99)	0.286*** (9.16)
soe	0.301*** (9.33)	1.173*** (16.22)	0.237*** (7.04)
export	0.002** (1.98)	0.009*** (5.16)	0.001 (1.35)
lev	-0.009*** (-11.21)	-0.003* (-1.83)	-0.009*** (-11.06)
roe	0.015*** (18.61)	-0.008*** (-4.67)	0.015*** (19.24)
GDP growth	0.002 (1.29)	-0.047*** (-11.07)	0.005*** (2.60)
environment	0.034* (1.88)	-0.180*** (-4.40)	0.044** (2.43)
Constant	2.867*** (57.01)	2.174*** (19.28)	2.748*** (51.38)
Observations	2519	2519	2519
Adjusted R-squared	0.208	0.177	0.219
Sobel 检验		0.019*** (z = 3.89)	
Goodman 检验 1		0.019*** (z = 3.86)	
Goodman 检验 2		0.019*** (z = 3.92)	
中介效应系数		0.019*** (z = 3.89)	
直接效应系数		0.286*** (z = 9.16)	
总效应系数		0.305*** (z = 9.75)	
中介效应比例		0.067	



### (三) 平行趋势检验

为排除其他干扰项对政策实施效果的影响, 双重差分模型要求处理组和对照组在政策实施前差异尽可能小, 政策实施后处理组和对照组有显著差异。平行趋势检验旨在判断处理组和对照组在政策实施前是否具有显著差异, 由于智慧城市试点政策由 2013 年开始执行, 本文将政策实施前一年作为基期, 采用事件研究法进行平衡趋势检验。多期 DID 检验结果如图 1 所示, 不难看出, 0 时点前处理组和对照组发展趋势基本平稳, 相关差异不显著, 政策实施后火柴图置信区间不再包括 0, 说明在政策的影响下, 处理组的高耗能企业碳减排绩效显著高于对照组, 通过平衡趋势检验。

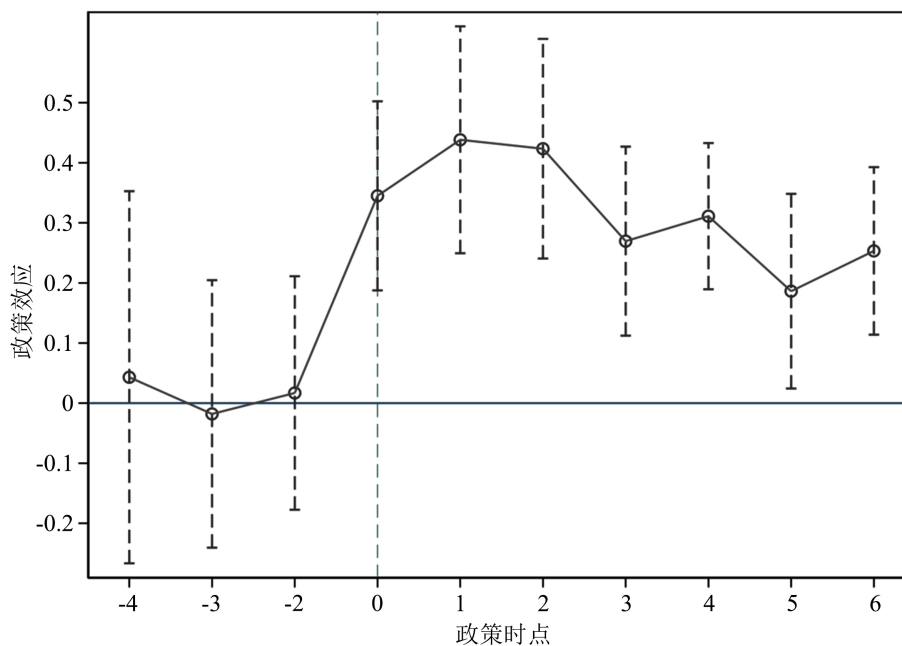


Figure 1. Parallel trend test  
图 1. 平行趋势检验

### (四) 稳健性检验

#### 1) 共同支撑检验

PSM-DID 要求样本数据满足共同支撑检验, 故在平行趋势检验之后需要进一步按照试点城市 GDP 增长率、高耗能企业产权性质、出口比率、资产负债率、净资产收益率、专利数量和环境规制强度这七个控制变量对处理组和对照组进行匹配, 以降低不同组之间的差异, 增强研究结果的说服力。具体而言是依据各个控制变量以及是否为试点城市的虚拟变量 *treated*, 运用 logistic 回归计算倾向得分值。拟采用卡尺内最近邻匹配法(卡尺半径 0.129)从对照组中挑选与处理组样本特征最符合的样本数据进行匹配, 降低不同城市之间高耗能企业碳减排绩效的系统性差异。具体检验结果如表 5 中所示, 大部分控制变量在进行匹配后 p 值均不再显著, 说明匹配后处理组和对照组之间没有显著系统性差异, 通过共同支撑检验。

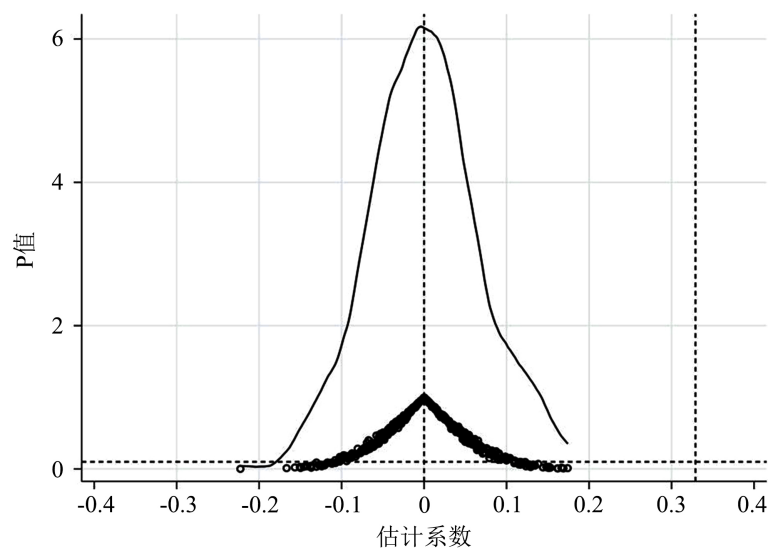
#### 2) 安慰剂检验

尽管在传统 DID 模型中进一步使用 PSM-DID 模型和增设控制变量以增强研究结果的稳健性, 但仍然可能存在一些难以观测的特征对智慧城市试点政策的效果评估造成影响, 为排除这些干扰因素对研究结果的影响, 借鉴白俊红等[24]的做法, 构建随机处理组变量 *Treatrandom* 共 128 个和随机政策时间变量 *Timerandom*, 对其进行 500 次的随机模拟实验, 分别记录每次实验的估计系数与 p 值, 图 2 为一系列操

作的结果图, 其中空心圆点和实线分别表示随机模拟实验得到的 p 值与估计系数。易知, 随机试验的 P 值大多超过 0.1, 且估计系数与原始 DID 模型的估计系数 0.329 存在显著差异, 排除了本文研究结果的随机性, 进一步检验了其稳健性。

**Table 5.** Common support hypothesis  
**表 5.** 共同支撑假设

变量名称		处理组均值	对照组均值	标准差	T 值	P 值
GDP growth	匹配前	9.378	9.519	-1.7	-0.43	0.665
	匹配后	9.377	9.057	3.9	0.99	0.320
soe	匹配前	0.438	0.406	6.4	1.59	0.112
	匹配后	0.437	0.454	-3.4	-0.89	0.373
export	匹配前	11.474	14.161	-13.9	-3.49	0.000
	匹配后	11.506	10.362	5.9	1.77	0.077
leverage	匹配前	45.694	43.572	10.0	2.49	0.013
	匹配后	45.661	45.684	-0.1	0.03	0.977
roe	匹配前	8.545	9.789	-6.7	-1.67	0.095
	匹配后	8.604	8.372	1.2	0.33	0.739
patent	匹配前	2.060	1.995	3.6	0.90	0.366
	匹配后	2.056	2.115	-3.3	-0.86	0.390
environment	匹配前	1.352	1.141	26.0	6.42	0.000
	匹配后	1.344	1.304	4.9	1.25	0.211



**Figure 2.** Placebo testing  
**图 2.** 安慰剂检验

### 3) 被解释变量滞后一期

为了尽可能减小惯性关联和序列自相关等内生性问题对高耗能企业碳减排绩效的影响, 引入被解释变量滞后一期的方法来检验研究结果的稳健性。具体做法可将上一年度的智慧城市试点政策作为本年度的企业碳减排绩效的解释变量进行回归, 结果见表 6, 其中(1)、(2)列显示了添加控制变量前后试点政策对高耗能企业碳减排绩效的回归结果, 在引入滞后项之后结果依然显著, 验证了本文研究结果的稳健性。

**Table 6.** Robustness test

**表 6.** 稳健性检验

变量名称	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	CCR					
Policy	0.315*** (5.44)	0.297*** (5.92)	0.410*** (4.56)	0.365*** (4.80)	0.375*** (4.68)	0.346*** (4.94)
soe		0.177*** (3.32)		0.289*** (3.50)		0.266*** (3.47)
patent		0.076*** (4.14)		0.090*** (3.18)		0.085*** (3.46)
export		0.001 (0.96)		0.002 (1.22)		0.002 (1.65)
lev		-0.010*** (-5.90)		-0.009*** (-4.00)		-0.010*** (-4.60)
roe		0.017*** (7.57)		0.017*** (5.64)		0.014*** (4.49)
gdpgrowth		0.001 (0.23)		0.004 (0.68)		0.006 (1.10)
environment		0.019 (0.67)		0.039 (0.68)		0.039 (1.26)
Constant	2.838*** (84.26)	2.860*** (29.77)	2.819*** (55.74)	2.737*** (16.06)	2.823*** (64.45)	2.778*** (21.02)
AreaFE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
YearFE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
IndustryFE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Adj_R <sup>2</sup>	0.096	0.307	0.105	0.306	0.095	0.284
Observations	2290	2290	1374	1374	1832	1832

#### 4) 改变样本时间窗

鉴于样本研究期间过长可能对实验结果造成的负面影响, 也为了验证智慧城市试点对高耗能企业碳减排绩效的净政策效应, 拟将样本时间截取政策发生前后两年与前后三年分别进行回归分析。表 6 中(3)、(4)列表示时间控制在政策实施前后两年的回归结果, (5)、(6)列表示将样本时间控制在政策实施前后三年的回归结果, 可以得知在改变样本时间窗的情况下, 智慧城市试点政策对高耗能企业的碳减排绩效仍然有显著的促进效应, 本文的研究结论依然稳健。

### 5. 异质性分析

鉴于企业因产权性质及受某些地域影响特质不同, 而造成企业对碳排标准的认知和执行力度不同, 和动力, 进而影响企业碳减排绩效。本文将样本分为国有与非国有、高环境规制与低环境规制组, 探究智慧城市试点政策对高耗能企业碳减排绩效的异质性影响。

#### (一) 高耗能企业产权性质的异质性分析

将研究样本按照所有权性质分为国有企业组和非国有企业组并进行回归, 如表 7 中(1)、(2)列所示, 国有企业组与非国有企业组的估计系数均显著为正, 且国有企业组的估计系数(0.404)大于非国有企业组的估计系数(0.297)。究其原因可能是由于国有企业在资源分配、财政支持上比非国有企业更有优势, 因能调动更多的资源积极参与与智慧城市建设, 优化要素配置, 通过信息技术赋能提高作业效率, 进而降低温室气体排放。同时国有企业从自身企业形象出发, 主动地承担社会责任, 积极响应政策号召, 因此在碳减排方面表现得更为突出。

#### (二) 高耗能企业所处地环境规制强度的异质性分析

根据各省份环境规制的中位数进行分样本回归, 如表 7 中(3)、(4)所示, 无论是高环境规制地区还是低环境规制地区, 智慧城市试点政策都对当地高耗能企业的碳减排绩效具有显著的促进作用, 且企业所在地为高环境规制的样本估计系数(0.443)明显高于企业所在地为低环境规制的样本的估计系数(0.233)。说明对于环境规制更严格的地方, 企业超额排放可能会面临高额罚款或行政限制, 因此企业更主动地承担自身的环境责任, 从而取得更优的碳减排绩效。

Table 7. Heterogeneity analysis

表 7. 异质性分析

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	国有企业	非国有企业	高环境规制	低环境规制
	CCR	CCR	CCR	CCR
Policy	0.404*** (4.34)	0.297*** (3.83)	0.443*** (4.64)	0.233*** (4.18)
soe			0.144 (1.62)	0.257*** (3.69)
patent	0.075*** (2.75)	0.068*** (2.80)	0.090*** (3.65)	0.049* (1.86)
export	0.003 (1.31)	0.001 (0.95)	0.002 (1.31)	0.001 (1.05)

## Continued

lev	-0.012*** (-4.13)	-0.008*** (-4.11)	-0.009*** (-3.00)	-0.011*** (-5.66)
roe	0.020*** (8.37)	0.012*** (3.48)	0.018*** (6.95)	0.013*** (3.52)
gdpgrowth	-0.002 (-0.47)	0.003 (0.68)	-0.002 (-0.73)	0.006 (0.89)
environment	0.013 (0.29)	0.028 (1.06)		
Constant	3.138*** (17.57)	2.794*** (23.62)	2.721*** (15.15)	2.978*** (27.45)
AreaFE	YES	YES	YES	YES
YearFE	YES	YES	YES	YES
IndustryFE	YES	YES	YES	YES
Adj_R <sup>2</sup>	0.417	0.208	0.316	0.273
Observations	1067	1452	1122	1397

## 6. 结论与建议

智慧城市政策能通过优化资源配置、信息技术赋能等方式推进高耗能企业节能减排,是实现“碳达峰”、“碳中和”目标的有力抓手。本文首先通过理论分析阐明智慧城市建设与高耗能企业碳减排绩效的联系以及影响路径,在实证部分运用多期双重差分法探究智慧城市试点政策对地级市内高耗能企业碳减排绩效的影响,通过PSM-DID、平行趋势检验、安慰剂检验以及滞后被解释变量等方法验证实验结果的稳健性。研究表明,智慧城市试点政策对地级市内的高耗能企业碳减排绩效有显著的促进作用,该结论在一系列稳健性检验后依然成立。机制检验表明,技术创新在智慧城市试点政策对高耗能企业碳减排绩效的影响中起到了部分中介效应,中介效应占比为6.7%。异质性分析结果表明,国有高耗能企业受智慧城市试点政策的影响更大,其政策效应的估计系数高于非国有高耗能企业;所在省份环境规制越强,高耗能企业碳减排绩效的政策效应估计系数就越大,政策的影响幅度越高。

基于研究结论可以得出,智慧城市试点政策对地级市内高耗能企业碳减排绩效具有显著的促进作用,对我国“双碳”目标的实现具有重要的积极作用。据此为完善智慧城市试点政策,本文提出以下建议:

第一、纳入更多试点城市,扩大试点范围,保持政策的连续性与政策力度的持久性。依托数字化赋能政府监管,提高监管效率与监管力度,促进数字化与产业的结合,强化产业集群效应与促进产业结构转型升级,发挥试点政策对区域内高耗能企业碳减排的正向促进作用,保障我国“双碳”目标的有效实现。

第二、因地制宜精准施策,加大环境规制力度。根据中介机制检验结果,当地政府应当鼓励企业进行技术创新,具体可通过设立研发基金、引进高水平人才等方式提高企业技术创新水平。根据异质性检验结果,建议将福利政策与支持资金更多地倾向于非国有企业,促进其绿色低碳转型。

第三、坚持绿色发展理念, 构建绿色发展格局。企业文化与经营理念在很大程度上影响着其减排效果与社会责任履行程度, 应促进其将绿色经营理念贯彻到生产、经营、销售的各个方面。通过政策宣传增强企业的环保意识、引导企业积极主动承担社会责任, 实现企业绿色全要素生产率提升。通过设立绿色发展扶持政策激发企业绿色技术创新潜能, 同时为绿色发展企业提供融资便利等多方政策支持, 引导企业走绿色低碳发展道路。

## 基金项目

国家社科基金项目(22BJY199)。

## 参考文献

- [1] Pardo, N. and Moya, J.A. (2013) Prospective Scenarios on Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions in the European Iron & Steel Industry. *Energy*, **54**, 113-128.
- [2] 郭朝先. 产业结构变动对中国碳排放的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(7): 15-20
- [3] Wang, Z.H., Yang, Z.M., Zhang, Y.X. and Yin, J.H. (2012) Energy Technology Patents—CO<sub>2</sub> Emissions Nexus: An Empirical Analysis from China. *Energy Policy*, **42**, 248-260.
- [4] Geels, F.W., Sovacool, B.K., Schwanen, T. and Sorrell, S. (2017) Sociotechnical Transitions for Deep Decarbonization. *Science*, **357**, 1242-1244.
- [5] 石大千, 丁海, 卫平, 刘建江. 智慧城市建设能否降低环境污染[J]. 中国工业经济, 2018(6): 117-135.
- [6] Chen, S.J., Mao, H. and Sun, J.Q. (2022) Low-Carbon City Construction and Corporate Carbon Reduction Performance: Evidence from a Quasi-Natural Experiment in China. *Journal of Business Ethics*, **180**, 125-143.
- [7] 姬新龙. 碳排放权交易是否促进了企业环境责任水平的提升? [J]. 现代经济探讨, 2021(9): 49-55.
- [8] 惠献波. 智慧城市建设与企业绿色全要素生产率:内在机制与经验证据——基于“赋能”和信贷配给的视角[J]. 企业经济, 2023, 42(2): 118-128
- [9] 张龙鹏, 钟易霖, 汤志伟. 智慧城市建设对城市创新能力的影响研究——基于中国智慧城市试点的准自然试验[J]. 软科学, 2020, 34(1): 83-89.
- [10] 宋德勇, 李超, 李项硕. 新型基础设施建设是否促进了绿色技术创新的“量质齐升”——来自国家智慧城市试点的证据[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(11): 155-163.
- [11] 唐珺, 高煜, 李朋林. 智慧城市能否通过智慧能源建设推动双碳目标实现?——基于合成控制法的试验证据[J/OL]. 软科学: 1-12[2023-08-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1268.G3.20221010.1219.004.html>
- [12] 李珊, 湛泳. 产业转型升级视角下智慧城市建设的碳减排效应研究[J]. 上海财经大学学报, 2022, 24(5): 3-18, 107.
- [13] 张兵兵, 陈思琪, 曹历娟. 城市因“智慧”而低碳吗?——来自智慧城市试点政策的探索[J]. 经济评论, 2022(6): 132-148.
- [14] 姚圣文, 赵兰香, 张耀坤. 智慧城市建设提高企业全要素生产率了吗? [J]. 科学学研究, 2022, 40(11): 1957-1967
- [15] Guo, C., Wang, Y.L., et al. (2023) Does Smart City Policy Improve Corporate Green Technology Innovation? Evidence from Chinese Listed Companies. *Journal of Environmental Planning and Management*.
- [16] 洪银兴. 科技创新阶段及其创新价值链分析[J]. 经济学家, 2017(4): 5-12.
- [17] Wang, C.M. and Li, J. (2020) The Evaluation and Promotion Path of Green Innovation Performance in Chinese Pollution-Intensive Industry. *Sustainability*, **12**, Article 4198.
- [18] 吴卫红, 丁章明, 王建英, 张爱美. 高耗能产业技术创新-节能效率-减排效率协同发展的影响因素[J]. 科技管理研究, 2018, 38(21): 233-242.
- [19] 宋弘, 孙雅洁, 陈登科. 政府空气污染治理效应评估——来自中国“低碳城市”建设的经验研究[J]. 管理世界, 2019, 35(6): 95-108.
- [20] 胡兆廉, 聂长飞, 石大千. 鱼和熊掌可否得兼?——创新型城市试点政策对城市产业集聚的影响[J]. 产业经济研究, 2021(1): 128-142.
- [21] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014, 22(5): 731-745.

- [22] 方兰, 汤鹤延. 碳排放权交易对企业碳减排的效应——基于中国上市公司数据的准自然实验方法分析[J]. 陕西师范大学学报, 2022, 51(5): 14-27.
- [23] 汪方军, 孙俊勤. 政府压力对企业碳减排绩效的影响研究[J]. 预测, 2019, 38(1): 37-44.
- [24] 白俊红, 张艺璇, 卞元超. 创新驱动政策是否提升城市创业活跃度——来自国家创新型城市试点政策的经验证据[J]. 中国工业经济, 2022(6): 61-78.