

# “中国制造2025”试点示范城市建设政策对制造业能源消费强度的影响分析

连莹颖, 沈嘉敏

福建师范大学数学与统计学院, 福建 福州

收稿日期: 2026年3月24日; 录用日期: 2026年5月3日; 发布日期: 2026年5月20日

## 摘要

制造业能源消费管控是我国实现“双碳”目标与经济高质量发展的关键抓手,“中国制造2025”试点示范城市建设政策作为推动制造业绿色转型的国家级产业政策,其能源消费效应亟待评估。本文以2010~2023年中国234个城市为样本,将该政策视为准自然实验,采用渐进双重差分模型及空间杜宾模型等方法,实证分析其对制造业能源消费强度的影响、异质性、调节机制及空间溢出效应。研究发现:(1)政策显著降低了试点城市制造业能源消费强度,平均降幅达49.5%,该结论经多种稳健性检验仍然成立;(2)政策效果存在异质性,在东部城市、非资源型城市、高工业化城市及环保重点城市的节能效果更为突出;(3)政府财政压力负向调节、但城市金融发展正向调节政策节能效果;(4)城市制造业能源消费强度存在显著空间正相关性,政策不仅抑制本地制造业能源消费强度,还通过负向空间溢出效应降低邻近及经济关联地区的能耗,且技术创新在这一空间溢出过程中发挥了正向调节作用,促进区域协同节能。本研究为评估国家级产业政策的能源效应评估提供了实证依据,也为协同推进制造业绿色低碳转型、优化政策支撑体系提供了针对性启示。

## 关键词

制造业能源消费强度,“中国制造2025”,调节机制,空间溢出效应

# Impact Assessment of “Made in China 2025” Pilot Demonstration City Initiative on Manufacturing Energy Consumption Intensity

Yingying Lian, Jiamin Shen

School of Mathematics and Statistics, Fujian Normal University, Fujian Fuzhou

Received: March 24, 2026; accepted: May 3, 2026; published: May 20, 2026

文章引用: 连莹颖, 沈嘉敏. “中国制造 2025”试点示范城市建设政策对制造业能源消费强度的影响分析[J]. 可持续发展, 2026, 16(5): 91-107. DOI: 10.12677/sd.2026.165189

## Abstract

Energy consumption control in manufacturing is vital for China's "dual carbon" goals and high-quality development. The "Made in China 2025" pilot demonstration city Initiative aims to drive green transformation in manufacturing, but its energy impact remains underassessed. Using data from 234 Chinese cities from 2010 to 2023 and treating the policy as a quasi-natural experiment, this paper applies models such as a phased difference-in-differences model and a spatial Durbin model to examine its effects on manufacturing energy consumption intensity, heterogeneity, regulatory mechanisms, and spatial spillovers. Key findings are as follows: (1) The policy significantly cuts manufacturing energy consumption intensity in pilot cities, by an average of 49.5%, and this result robust to multiple robustness tests; (2) The policy effects are heterogeneous: stronger in eastern, non-resource-based, highly industrialized, and environmentally prioritized cities; (3) Government fiscal pressure weakens while urban financial development enhances the policy's energy-saving effect; (4) Manufacturing energy consumption intensity exhibits significant spatial positive correlation. The policy not only reduces local energy consumption intensity but also lowers consumption intensity in neighboring and economically linked regions via negative spatial spillovers, wherein technological innovation exerts a positive moderating effect, fostering regional collaborative energy conservation. This study provides empirical evidence for evaluating national industrial policies' energy impacts and offers targeted insights for advancing green, low-carbon manufacturing transformation and optimizing policy support.

## Keywords

Manufacturing Energy Consumption, "Made in China 2025", Regulatory Mechanism, Spatial Spillover Effect

Copyright © 2026 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

近年来, 全球人口持续增长、经济加速发展, 推动能源消费规模不断扩大, 加剧了气候变化。国际能源署(IEA)数据显示, 制造业能源消费占全球总能耗超 50%, 是主要碳排放源之一。面对气候变化与能源转型双重挑战, 推动制造业绿色转型、实现可持续发展, 已成为全球主要经济体战略竞争的焦点。中国作为制造业大国, 其制造业能源消耗在国民经济各行业中的长期居高, 备受关注[1]。工业和信息化部日前透露, 2024 年, 我国规模以上工业增加值同比增长 5.8%, 较 2023 年提升 1.2 个百分点; 全部工业增加值完成 40.5 万亿元, 制造业总体规模连续 15 年保持全球第一<sup>1</sup>。当前中国亟须系统提升能效与资源利用效率, 在保障产业合理发展的前提下, 优化能源消费结构, 夯实制造业能源可持续发展基础。因此, 如何科学、高效地管控制造业能源消费, 提升其可持续发展能力, 已成为我国统筹推进“双碳”目标与经济高质量发展的关键任务之一。

《中国制造 2025》<sup>2</sup>的核心在于推动制造业转型升级, 为扎实推进该战略实施, 工信部于 2016 年和 2017 年分两批启动“中国制造 2025”试点示范城市建设工作[2]。这些试点城市作为支撑制造业结构性变革的国家级载体, 在实现“双碳”目标进程中发挥着关键作用[3]。地方政府依托差异化激励与刚性约束

<sup>1</sup><https://www.news.cn/tech/20250127/9e3899a83ed34165be5db4866efefad1/c.html>

<sup>2</sup>[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zc/fb/qt/201505/t20150520\\_967388.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zc/fb/qt/201505/t20150520_967388.html)

相结合的政策工具,重点引导制造业企业开展绿色化技术改造,并协同推进清洁低碳能源供应体系建设,以实现制造业能源消费强度的系统性下降。由此可见,“中国制造 2025”试点示范城市建设政策(简称“中国制造 2025”政策)是一项以技术创新为内核、绿色转型为导向的国家产业政策,核心路径是推动制造业向高端化、智能化、绿色化深度转型,全面提升资源与能源利用效率[4]。相比传统规制或补贴型政策,该政策突出创新驱动与绿色发展有机融合,构建起技术升级与能耗约束双向协同、互促共进的制度化框架。然而,现有研究尚未识别该政策对制造业能源消费强度的影响。本文基于渐进双重差分(DID)等方法,实证检验其节能效果聚焦以下问题:(1) 该政策是否降低了制造业能源消费强度?(2) 政策效应是否因城市禀赋差异而异?(3) 政府财政压力和城市金融发展能否调节政策效果?(4) 该政策是否通过空间溢出效应重塑区域制造业能耗格局?

本文边际贡献主要体现在以下方面:(1) 首次将“中国制造 2025”政策与制造业能源消费纳入统一分析框架,突破既有研究聚焦创新绩效与生产率的局限,系统评估国家级产业政策的绿色节能效果。(2) 从地理位置、资源禀赋和产业基础和环保水平四个方面开展异质性检验,精准识别政策在不同类型城市的差异化影响,为政策因地制宜、精准落地提供实证支撑。(3) 揭示政府财政压力与城市金融发展对政策节能效果的调节作用,拓展产业政策生效边界条件的理论认识。(4) 突破现有研究忽视区域关联性的局限,将空间溢出效应纳入评估体系,证实该政策不仅降低试点城市自身能耗,还能通过技术创新显著影响邻近地区制造业能耗格局。

## 2. 文献综述和理论假设

### 2.1. 文献综述

能源资源是我国制造业培育新经济增长点的重要动力支撑。现有研究普遍指出,能源消费是制约制造业转型升级的关键瓶颈,当前相关研究主要聚焦于经济绿色增长、产业结构优化、技术革新及区域差异等核心维度:经济绿色增长对制造业能源消费具有显著影响。Yang 等(2021)研究表明,制造业作为经济增长的重要引擎,其规模化生产活动持续推高能源需求,致使能源消费总量攀升至历史高位,增加了CO<sub>2</sub>排放[5];Wu 等(2022)则指出,制造业经济增速放缓一定程度上可抑制能源消费的过快扩张。产业结构变迁是驱动制造业节能减排及企业能源消费模式转型的关键要素[6]。谢里等(2021)指出,产业结构优化可降低能源消费强度、改善消费结构,有效遏制能源非理性扩张[7]。此外,技术创新与制造业能源消费的互动关系亦受到学界广泛关注。Duan (2024)研究表明,技术进步是数字经济影响能源消耗强度的主要手段[8];Zeng 等(2017)运用灰色预测模型研究发现,尽管中国制造业能源消费总量增速趋于放缓,但规模仍在扩张,实现可持续调控亟需依托产业结构优化与节能降碳技术规模化应用[9]。

特别的是,政策在制造业能源消费调控中发挥着重要的引导作用。陈志宇(2024)研究发现,绿色信贷政策具有显著的区域集聚效应和异质性特征,强化政府扶持可提升政策传导效能,加速制造业能源消费结构转型[10]。宋玉臣等(2022)强调,完善碳排放权交易市场的制度设计与运行规则,有助于推动制造业企业转向环保型、清洁型能源,加快能源结构转换进程[11]。

而“中国制造 2025”政策聚焦绿色制造体系建设,是推动制造业转型升级的关键举措,引发了学界对其绿色创新绩效、经济效应及作用机制的广泛探讨。Xu (2022)基于企业层面数据发现,该政策显著提升了制造业企业的绿色创新潜力[12];蒋长流(2025)进一步证实该试点政策能够提升城市绿色创新水平[13]。潘凌云(2023)识别出税收减免、财政补贴以及由政策引致的竞争强化效应是该政策发挥作用的主要传导渠道[14];Liu 等(2022)从宏观金融维度出发,考察该政策与资产价格之间的关联性,发现其仅在短期内激发了积极的市场反应[15]。除此之外,是我国一项提高国际经济竞争力的新战略。李健等(2025)通过实证分析发现,该政策能够显著提升制造业产业链自主可控能力[16]。郑建明等(2020)则立足于中美贸易摩擦的

现实背景,指出政府应持续深化《中国制造 2025》战略实施,改善税收结构[17]。美国科研产出追踪与分析平台称,该政策促进了区域间技术转移与经济增长,但在关键核心技术自主创新方面仍面临挑战。

综上所述,现有研究围绕制造业能源消费影响因素及“中国制造 2025”政策效应展开了丰富探讨,为后续研究奠定了基础,但仍存在以下三方面明显不足:其一,对该政策与制造业能源消费强度等核心指标的系统性实证分析不足。多数文献聚焦该政策对全要素生产率等绩效的影响,直接关联的研究较匮乏;其二,虽有部分研究尝试开展异质性分析,但立足于制造业能源消费强度视角的差异化效应识别仍不充分,尤其缺乏对政策生效过程中关键调节变量的深入探讨;其三,现有研究普遍忽视区域间存在的空间关联性,尚未检验该政策是否以及如何通过空间溢出效应影响邻近地区的制造业能源消耗格局。鉴于此,在既有理论框架基础上,本文采用渐进 DID 等方法识别该政策对制造业能源消费强度的净效应,结合调节效应模型与异质性分析其调节机制及边界条件,并验证空间溢出效应,以补充相关研究空白。

## 2.2. 理论假设

“中国制造 2025”战略明确提出,到 2025 年,重点行业单位工业增加值能源消耗及污染物排放需达到世界先进水平。十余年来,中国制造业已从“大而不强”迈向“大而较强、大而强”的新阶段。为缓解制造业节能减排压力,推动传统制造业向绿色化、智能化、高端化转型[18]。依据能源经济学理论,能源消费与经济发展相互影响和制约,工业经济的快速扩张必然伴随能源消耗的大幅增长。基于中国经济体量大、能源消费总量高的基本国情,推进节能减排成为必然选择[19]。在此背景下,各地区相继出台可持续能源消费激励政策,持续优化能源结构,为制造业高质量发展提供支撑[20]。需要指出的是,“中国制造 2025”政策的核心实施环节,不仅构成提升中国制造业全球竞争力的关键路径,亦有利于减少资源浪费、降低能源消耗,推动绿色制造业的发展。基于上述分析,提出假设:

H1: “中国制造 2025”政策能够显著降低制造业能源消费强度。

中国工业经济在快速发展的同时,带来了能源消费规模的持续攀升。为实现《中国制造 2025》战略目标,政府需精准施策,推动产业经济和环境协同发展,政府作为政策实施的核心主体,其财政情况直接影响政策实施效果。Zhang 等(2022)研究表明,我国绿色发展政策对试点企业能源效率具有显著提升效应[21];孙传旺等(2022)则指出,政府在制造业节能减排进程中具有不可替代的主导作用,可通过组合运用激励型与服务型政策工具引导制造业能源消费转型[22];其中,政府补贴能够有效缓解企业资金约束。因此,政府财政压力不仅直接影响政策效果,也间接影响传导渠道[23]。为落实《中国制造 2025》战略部署,国家通过财政激励等积极手段,有效纾解制造企业融资难题,引导其迈向数字化发展进程。金融作为现代经济的重要组成部分,在资源配置等方面发挥着关键作用;金融发展能够为能源相关企业与项目提供融资支持及配套金融服务[24]。既有研究佐证了这一机制:Demirtas 等(2025)基于英国样本的实证分析表明,金融发展水平显著正向影响能源结构优化与可持续发展绩效,凸显了金融支持对能源转型的战略支撑价值[25]。进一步地,“中国制造 2025”政策效能的释放,还可依托绿色金融跨区域协同机制完善等路径,系统性改善微观企业融资可得性,从而推动区域能源消费强度的实质性下降。综上,本文提出假设:

H2: 在“中国制造 2025”降低制造业能源消费强度的过程中,政府财政压力和城市金融发展起到调节作用。

实现经济发展“质”的有效提升与“量”的合理增长,须推动高污染和低能效企业升级改造。然而,受区位条件、发展基础与政策导向等差异影响,我国区域经济社会发展水平存在显著分化。孙少岩(2023)认为,地理特征等空间因素对节能减排效果具有重要影响[26]。Yin 等(2025)进一步发现,中国区域发展不平衡问题突出,新质生产力对能源消费结构的负向溢出效应随地理距离增加而衰减,其有效边界约为

600 公里[27]。而马丽梅等(2022)认为技术创新是影响金融结构发展对可再生能源使用的重要因素, 成熟的技术可以使得企业在低成本下大量采用可再生能源[28]。并且, 各生产部门技术创新的提升能改善生产流程和方法, 促进节能生产方法的采用, 降低区域能源消耗[8]。由此可见, 政策试点的实施效果具有鲜明的空间非对称性, 基于此, 本文提出假设:

H3: “中国制造 2025”政策通过技术创新对制造业能源消费强度产生空间溢出效应。

### 3. 实证策略

#### 3.1. 研究方法

由于“中国制造 2025”政策实施存在时间与空间差异, 本文采用渐进 DID 模型识别目标政策对制造业能源消费强度的影响, 基准模型如下:

$$Mec_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Policy_{it} + \alpha Control_{it} + u_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,  $i$  表示城市,  $t$  表示年份;  $Mec$  为制造业能源消费强度;  $Policy$  为“中国制造 2025”政策虚拟变量, 城市入选试点后取值为 1, 否则为 0;  $Control$  代表控制变量集合;  $u$  和  $v$  分别是城市固定效应与年份固定效应;  $\varepsilon$  为误差项。

为探究政府财政压力和城市金融发展对“中国制造 2025”政策影响制造业能源消费强度的调节作用, 本文在模型(1)基础上引入交互项, 构建如下调节效应模型:

$$Mec_i = b_0 + b_1 Policy_{it} + b_2 (Policy_{it} \times Mod_{it}) + b_3 Mod_{it} + b Control_{it} + u_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中,  $Mod$  为机制变量,  $Policy \times Mod$  表示政策变量和机制变量的交互项。

最后, 双重差分法的适用性依赖于个体处理稳定性假设, 即个体处理效应不受其他个体的干扰。若该假设无法满足, 传统 DID 估计结果可能存在偏误。相较而言, 空间 DID 模型具有更强的灵活性, 可有效刻画处理效应随个体间交互作用发生改变的情形。尤为关键的是, 该模型可借助参数检验, 对平均处理效应进行分解。因此, 我们借鉴 Wang 等(2024)的研究[29], 建立如下模型:

$$Mec_{it} = \rho WMec_{jt} + \gamma_1 Policy_{it} + \gamma_2 (Policy_{it} \times Mod_{it}) + \gamma_3 Mod_{it} + \delta_1 WPolicy_{jt} + \delta_2 WMod_{it} + \delta_3 W(Policy_{jt} \times Mod_{jt}) + \gamma Control_{it} + \delta WControl_{jt} + u_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中,  $\rho$  为空间自相关系数,  $W$  为空间权重矩阵, 本文分别采用了经济地理嵌套矩阵( $W_d$ )和反距离矩阵( $W_l$ )进行估计。

#### 3.2. 变量说明

鉴于数据可得性, 本文在剔除数据严重缺失及行政区划调整导致统计口径不一致的城市样本后, 最终选取 2010~2023 年中国 234 个城市为研究样本, 共计 3276 个观测值。实证分析所涉数据主要来源于《中国城市统计年鉴》、各省(自治区、直辖市)统计年鉴以及 EPS 数据库。对于部分变量存在的少量缺失值, 本文采用插值法予以填补。相关变量的设定如下:

(1) 被解释变量。制造业能源消费强度( $Mec$ )。当前, 我国仅公开各省及直辖市层面的制造业能源消费总量数据。据此, 本文借鉴戴翔等(2022)的测算方法, 依照《国民经济行业分类》(GB/T4754-2017)、《综合能耗计算通则》(GB/T2589-2020)及相关行业能耗核算标准进行折算[30]。在兼顾数据可得性与代表性基础上, 选取煤炭、焦炭、电力、汽油、煤油、柴油、燃料油和天然气八类主要能源品种, 统一折算为标准煤当量后加总, 得到各城市制造业能源消费总量; 进而对各行业能源消费标准化处理, 最终测算出城市层面的制造业能源消费强度[1]。

(2) 核心解释变量。“中国制造 2025”试点示范城市虚拟变量(Policy)。2016 年 8 月, 工信部批复宁波为全国首个试点示范城市; 此后, 经国家制造强国建设领导小组批准, 苏州等苏南五市在内的 21 个城市入选第二批; 2017 年新增 9 个, 最终共确立 30 个试点示范城市。试点城市名单见附表 A1。

(3) 控制变量。为避免遗漏关键因素导致估计偏误, 本文参照相关文献, 选取如下控制变量: 经济发展水平(Eco)为人均 GDP 的自然对数[31]; 劳动力水平(Lab)为就业人员数的自然对数[10]; 工业化水平(Ind)为工业增加值占 GDP 比重[10]; 对外开放程度(Open)为进出口总额占 GDP 比重[32]; 外商投资(Fdi)为实际利用外资额占 GDP 比重[2]。

(4) 机制变量。参考既有研究: 选取政府财政压力(Fp)与城市金融发展(Fd)作为调节变量, Fp 以城市财政收支差额占 GDP 的比重衡量[23]; Fd 以年末金融机构各项贷款余额占 GDP 的比重表征[33]。选取技术创新(Rd)为空间溢出的渠道变量, Rd 用每万人授予的专利数量衡量[8]。

本文主要变量描述性统计结果详见表 1。

**Table 1.** Descriptive statistics for each variable

**表 1.** 各变量的描述性统计结果

变量	含义	样本量	平均值	标准差	最小值	最大值
Mec	制造业能源消费强度	3276	0.0831	0.1084	0.0000	0.9920
Policy	试点示范城市政策	3276	0.0705	0.2560	0.0000	1.0000
Eco	经济发展水平	3276	10.8117	0.7088	8.7965	13.1851
Lab	劳动力水平	3276	14.4985	0.7323	9.5680	16.6345
Ind	工业化水平	3276	0.3742	0.1193	0.0000	1.0446
Open	对外开放程度	3276	0.1844	0.3004	0.0000	2.5498
Fdi	外商投资	3276	0.0026	0.0027	0.0000	0.0201
Fp	政府财政压力	3276	0.1094	0.0846	-0.0671	0.6356
Fd	城市金融发展	3276	16.7310	1.2444	13.5849	20.8058
Rd	技术创新	3276	16.2847	33.0549	0.0493	443.000

## 4. 实证结果

### 4.1. 基准回归

基于模型(1)的回归结果见表 2。在未引入控制变量与固定效应的回归结果中, “中国制造 2025”政策对制造业能源消费强度表现为正向影响。随着逐步控制城市与年份固定效应及相关控制变量, 政策效应方向发生明显转变。在表 2 列(4)中, 政策变量系数显著为-0.0411, 表明“中国制造 2025”政策能够显著降低制造业能源消费强度, 试点城市制造业能源消费相对样本均值下降约 49.5% (0.0411/0.0831), 验证了假设 H1。这一节能效果说明该政策通过对试点城市实施激励与约束并举的机制, 推动地方强化技术创新推广、加快了产业结构优化升级, 进而提升能源利用效率、抑制了低效能源消费。

**Table 2.** Baseline regression results

**表 2.** 基准回归结果

变量	Mec	Mec	Mec	Mec
Policy	0.0227***	-0.0442***	-0.0378***	-0.0411***
	(0.0067)	(0.0073)	(0.0071)	(0.0071)

续表

Constant	0.0815*** (0.0020)	0.0829*** (0.0052)	-1.0330*** (0.0564)	0.3413*** (0.0959)
Control	No	No	Yes	Yes
FE	No	Yes	No	Yes
N	3276	3276	3276	3276
R2	0.0029	0.8336	0.1935	0.8385

注: \*, \*\*, \*\*\*分别表示 10%, 5%, 1%的显著性水平, 下同。

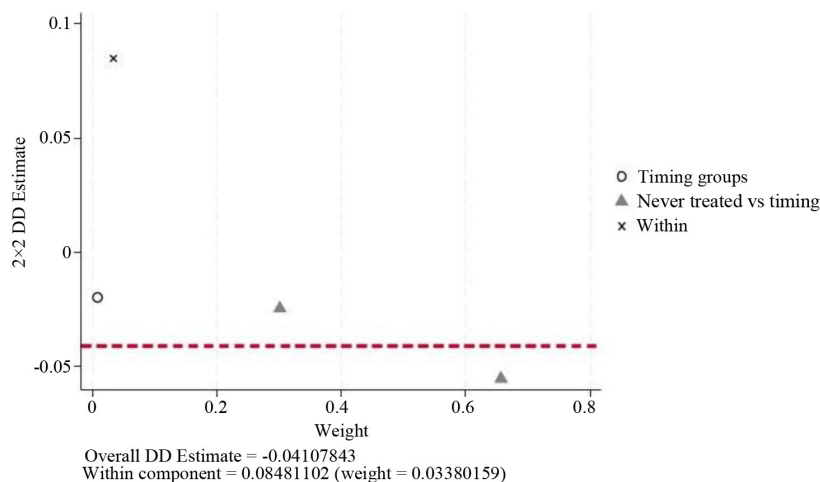
当存在异质性处理效应时, 双向固定效应模型(TWFE)可能产生系统性偏误。为检验基准结果的稳健性, 本文采用 Goodman-Bacon 的方差分解法对 TWFE 估计量进行结构化诊断, 结果见表 3 与图 1。结果显示, 95.78%的估计权重来自从未处理组与处理组的组间比较, 且该部分系数为负, 方向与基准回归一致。这表明尽管 TWFE 在理论上可能受处理时点异质性干扰, 但未动摇本文核心结论。

**Table 3.** Goodman-Bacon decomposition results

**表 3.** Goodman-Bacon 分解结果

类型	系数	权重
从未处理组 vs 处理组	-0.0457	0.9578
处理组内部比较	0.0848	0.0338
早处理组 vs 晚处理组	-0.0198	0.0083

图 1 中展示了所有两两比较子估计量的系数及其权重。总体处理效应为-0.0457, 与表 2 基准回归结果一致, 进一步验证了本文核心结论的可靠性。值得注意的是, 图中绝大多数高权重子估计量紧密聚集在总体效应线(水平虚线)附近, 且全部为负值, 表明主导总体估计的子估计量(处理组与处理组间的对比结果)在方向和幅度上一致, 均呈现显著且相近的负向效应。这说明: 个体层面的处理效应虽存在异质性, 但未实质性改变总体效应的方向与量级; 基准回归结果因而具有较强稳健性与可信度。



**Figure 1.** Coefficients and weights of Goodman-Bacon decomposition sub-estimators

**图 1.** Goodman-Bacon 分解子估计量的系数及其权重

## 4.2. 平行趋势检验

平行趋势假设是 DID 模型有效的前提。本文以政策实施前一年为基期, 采用事件研究法考察政策实施前后 5 年的动态效应。

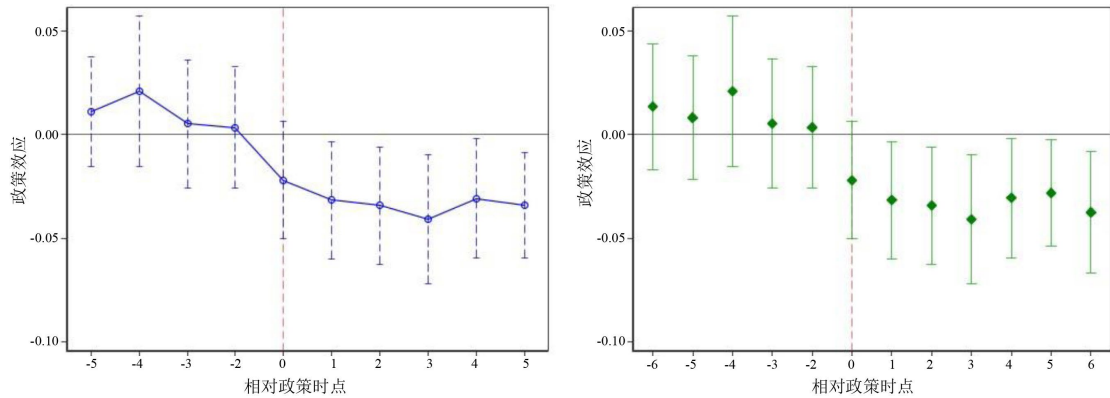


Figure 2. Verification of stationarity  
图 2. 平行趋势检验

结果显示, 政策前各期系数不显著。由图 2 (左半图) 可知, 政策实施前系数围绕零值波动, 置信区间包含零, 表明试点与非试点城市满足平行趋势假设。政策实施第一年后开始显著抑制能源消费强度, 实施后第 3 年效应最为显著。此外, 本文进一步延长时间窗口重新检验。由图 2 (右半图) 可知, 政策实施前 6 年政策效应系数均不显著; 政策实施后系数持续为负, 第 3 年负向效应达阶段性峰值, 此后虽略有回调但保持稳定负向水平, 表明政策效果具备持续性。这一结果为“中国制造 2025”政策节能减排的长期有效性提供了实证支持。

## 4.3. 其他稳健性检验

### 4.3.1. 合成 DID 估计与 PSM-DID 估计

鉴于“中国制造 2025”试点城市数量有限, 传统 DID 模型可能因此存在估计偏误, 本文采用合成 DID 方法开展稳健性检验, 估计结果见表 4 与图 3。结果显示, 该政策对制造业能源消费强度具有显著抑制作用。2010~2015 年政策实施前, 处理组与合成控制组的能源消费强度趋势高度契合, 满足平行趋势假设。政策实施后, 处理组能源消费显著下降, 与控制组形成明显分化, 呈现显著的负向抑制效应; 2016 年政策即时效应突出, 2017 年趋于平缓; 2019 年尤为显著。

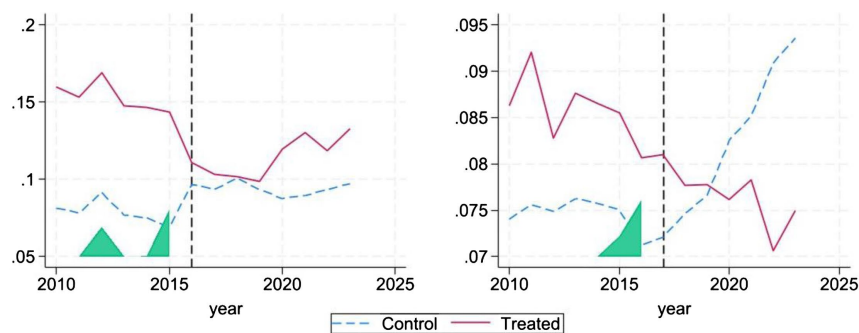


Figure 3. Visualization results of synthetic DID  
图 3. 合成 DID 的可视化效果

此外, 为缓解样本选择性偏差, 本文采用近邻匹配与半径匹配两种方法开展倾向得分匹配 - 双重差分(PSM-DID)估计, 结果见表 4。在不同匹配设定下政策系数均显著为负, 尤其在控制选择性偏差后, “中国制造 2025” 政策对制造业能源消费强度的抑制作用较传统 DID 模型更强。上述结果为基准结论提供了稳健支撑, 证实“中国制造 2025” 政策确实显著降低了制造业能源消费强度。

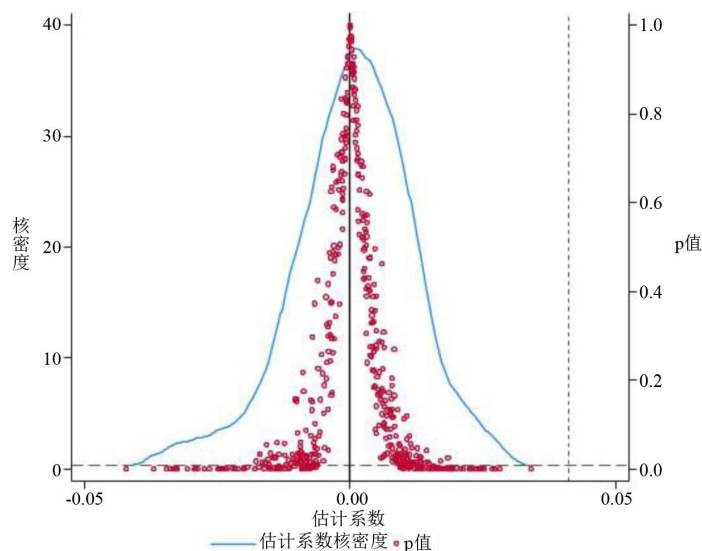
**Table 4.** Estimation results of synthetic DID and PSM-DID

**表 4.** 合成 DID 估计与 PSM-DID 估计结果

变量	Mec	Mec	Mec	Mec
	Placebo	Bootstrap	1:5 近邻匹配	半径匹配
Policy	-0.0419*** (0.0097)	-0.0419* (0.0235)	-0.0478*** (0.0181)	-0.0412** (0.0190)
Constant			0.8633** (0.4326)	0.3996 (0.2426)
Control	Yes	Yes	Yes	Yes
FE			Yes	Yes
N	3276	3276	1276	3186
R <sup>2</sup>			0.8348	0.8377

#### 4.3.2. 安慰剂检验

本文通过安慰剂检验, 排除估计结果受潜在随机因素驱动的可能。该检验采用随机生成处理组的方式, 即在样本中随机抽取与实际处理组相同比例的观测单元构成伪处理组, 并随机设定其政策实施时点, 重复基准回归 500 次。图 4 显示, 伪回归系数近似服从以 0 为中心的正态分布, 高度集中于零附近; 绝大多数 p 值不显著, 而真实政策效应估计值明显偏离该分布主体。这表明, “中国制造 2025” 政策对制造业能源消费强度的抑制作用并非由随机因素或模型偏误驱动, 增强了本文核心结论的可信度。



**Figure 4.** Placebo test  
**图 4.** 安慰剂检验

### 4.3.3. 排除其他政策干扰、预期效应和极端值的影响

政策效应可能受到同期其他政策的协同强化或干扰削弱作用, 从而引发政策混杂问题。为此, 本文全面梳理了 2010~2023 年期间在城市层面实施的三项关键政策干预: 碳达峰试点政策(Cpp)、节能减排财政政策(Eaef)和“低碳城市”试点政策(Lcp)。在基准回归模型中, 我们依次引入上述政策的虚拟变量重新回归。表 5 列(1)~列(4)显示, 政策系数均显著为负。同时, 为排除政策预期效应以及极端值的干扰, 本文参照 Xu 等(2022)的方法构建政策前一年虚拟变量(Policy\_M)纳入模型(1)、对所有连续变量进行 1%缩尾处理, 分别进行回归[34]。表 5 列(5)和(6)结果知, 基准回归结果可靠。

**Table 5.** Partial robustness test regression results

**表 5.** 部分稳健性检验回归结果

变量	Mec	Mec	Mec	Mec	Mec	Mec	Mec	Mec	Mec
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Policy	-0.0419** (0.0193)	-0.0408** (0.0191)	-0.0400** (0.0194)	-0.0405** (0.0195)	-0.0429** (0.0191)	-0.0317** (0.0143)	-0.0381* (0.0212)	-0.0416** (0.0191)	-0.0418** (0.0201)
Cpp	0.0227 (0.0157)			0.0227 (0.0157)	0.5481 (0.3513)	0.3964 (0.3024)		0.3895 (0.3205)	0.2736 (0.3021)
Eaef		0.0048 (0.0155)		0.0051 (0.0154)					
Lcp			-0.0054 (0.0047)	-0.0055 (0.0048)					
Policy_M					-0.0105 (0.0086)				
Constant	0.3525 (0.2155)	0.3623* (0.2154)	0.3558 (0.2170)	0.3430 (0.2133)	0.3612* (0.2172)	0.2849 (0.2072)	0.2983 (0.2459)	0.3838* (0.2201)	0.3618** (0.1789)
Control	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	3276	3276	3276	3276	3276	3276	3178	3220	2340
R <sup>2</sup>	0.8388	0.8385	0.8386	0.8389	0.8385	0.8559	0.8410	0.8252	0.8726

### 4.3.4. 引入联合固定效应

为控制省份层面的时间异质性, 本文参照 Li 等(2024)的方法, 在基准模型中引入省份 - 年份联合固定效应[35]。表 5 列(7)显示, 政策系数仍显著为负, 与基准回归方向一致、显著性水平相近, 表明控制省份时间异质性后, “中国制造 2025” 试点示范城市建设政策降低制造业能源消费强度的效应依旧稳健。

### 4.3.5. 调整样本数据

为缓解特殊样本对政策效应估计的干扰, 本文进行样本调整: 一是剔除北京、上海、天津和重庆四大直辖市样本; 二是剔除 2020 年及以后样本以控制突发公共卫生事件的影响。如表 5 列(8)和列(9)所示, 两种调整下政策系数均显著为负, 与基准回归结果高度接近, 表明研究结论不受特殊样本与突发公共卫生事件冲击影响。

#### 4.4. 异质性分析

(1) 从地理位置看,“中国制造 2025”政策对制造业能源消费强度的影响存在显著区域差异。表 6 显示,该政策在东部城市抑制效应显著,而在中、西部城市影响微弱。这一结果印证了政策成效存在地理分异规律。原因在于,东部城市凭借更为完善的产业配套基础与先进的技术水平,能够更高效地落实政策要求,进而推动生产技术升级与能源利用效率提升。

(2) 从资源禀赋看,表 6 中估计结果表明,“中国制造 2025”政策的效应估计系数在非资源型城市中显著为负,在资源型城市中不显著,即该政策仅对非资源型城市的制造业能源消费强度具有显著抑制作用。究其根源,非资源型城市产业结构更为多元、技术吸收能力更强,因而能更高效地将政策导向内化为能源效率改进;而资源型城市长期依赖煤炭等传统能源开发利用,对能源效率提升重视不足,产业结构刚性突出、转型路径依赖明显,致使政策效果偏弱[36]。

(3) 从产业基础看,表 6 列(6)和列(7)呈现了“中国制造 2025”政策在不同工业化水平城市间的节能效果:对高工业化城市制造业能源消费强度的抑制效应显著强于低工业化城市。高工业化城市凭借雄厚的制造业基础与较强的技术创新能力,更高效地将政策红利转化为能源效率提升;而低工业化城市因产业配套不完善、技术积累薄弱,政策效果的显现相对有限。

Table 6. Heterogeneity analysis results

表 6. 异质性分析结果

变量	Mec	Mec	Mec	Mec	Mec	Mec	Mec	Mec	Mec
	东部	中部	西部	资源型	非资源型	高工业化	低工业化	环保重点	环保非重点
Policy	-0.0645*	-0.0102	-0.0326	-0.0077	-0.0476**	-0.0622*	-0.0129*	-0.0475*	-0.0234**
	(0.0326)	(0.0079)	(0.0371)	(0.0169)	(0.0233)	(0.0366)	(0.0072)	(0.0267)	(0.0105)
Constant	0.9114	-0.2290	0.8102*	0.1485	0.5481	0.7280**	0.3895	0.2736	0.3964
	(0.6353)	(0.1564)	(0.6353)	(0.1553)	(0.3513)	(0.3530)	(0.3205)	(0.3021)	(0.3024)
Chow test		7.46		10.74		6.44		5.18	
		[0.0006]		[0.0011]		[0.0112]		[0.0229]	
Control	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	1190	1162	924	994	2282	1630	1629	1414	1862
R <sup>2</sup>	0.8236	0.8709	0.8548	0.7924	0.8453	0.8424	0.9019	0.8568	0.7482

(4) 从环保水平上,为改善区域大气环境质量、减少温室气体排放,2007 年国务院印发《国家环境保护“十一五”规划》<sup>3</sup>,将 113 个城市列为环保重点城市,并明确考核与监管要求。鉴于环保重点与非重点城市在环境制度和资源可得性上的差异,可能引致绿色效应分化[37],本文对样本分组进行回归,结果见表 6。“中国制造 2025”政策对两类城市制造业能源消费强度均有显著抑制作用,且对环保重点城市的效应更强。原因可能在于:一是环保重点城市承担更严格的环保与节能减排考核任务,地方政府配套更严的绿色转型激励,倒逼企业淘汰高耗能产能、推进绿色改造;二是其通常集聚更充足的人才、技术等绿色要素,为企业响应政策、实现绿色转型提供支撑,增强了政策节能效应。

#### 4.5. 调节效应分析

为探究“中国制造 2025”政策生效的边界条件,本文进一步考察了政府财政压力与城市金融发展可

<sup>3</sup>[https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/ghs/sjdt/200801/t20080115\\_1169758.html](https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/ghs/sjdt/200801/t20080115_1169758.html)

能存在的调节作用。由表 7 结果可知:

(1) 政府财政压力是影响“中国制造 2025”政策节能效果的重要调节因素: 地方政府财政压力越大, 该政策对制造业能源消费强度的抑制效果越弱。该结果可从以下三方面解释: ① 政策执行偏差。“中国制造 2025”政策具有明确的核心目标与考核要求, 形成了强大的政策势能[4]。财政压力大的地方政府更倾向保增长、稳收入, 因而加大对高耗能传统产业的依赖, 削弱绿色转型力度, 降低节能成效。② 升级资源不足。企业依托试点政策开展技术改造和产业升级需大量前期投入[38], 而财政承压的城市在资金补贴和基础设施供给上能力有限, 推高企业绿色转型成本, 抑制了其转型意愿与速度。③ 政策传导不畅。尽管“中国制造 2025”政策是国家级政策, 但自上而下的落实效果因地方财政状况分化: 财政压力较小的城市能更高效将政策导向转化为具体举措; 压力大的城市则因资源约束强, 传导效率偏低。

(2) 城市金融发展水平对“中国制造 2025”政策的节能效应具有显著负向调节作用, 即金融发展水平越高的城市, 该政策对制造业能源消费强度的抑制效果越强。一方面, 以排污红线、处罚惩戒为代表的约束型政策, 主要通过倒逼方式推动产业末端治理[39]; 而“中国制造 2025”政策作为引领型产业政策, 高度依赖大规模资金投入以支撑研发创新与技术改造。金融发展水平较高的城市具备更完善的信贷体系与更多元的融资工具, 可有效降低企业绿色转型的融资成本与融资约束, 进而加快制造业能源消费下降进程。另一方面, 该结果印证了产业政策与城市金融发展存在显著协同效应: 当产业政策明确绿色转型方向时, 发达的金融体系能高效引导社会资本投向政策支持绿色产业与技术领域。因此, 推进制造业绿色转型不能仅依赖产业政策, 还需同步健全金融市场体系、发展绿色金融, 为政策效应的充分释放提供坚实的金融支撑。

**Table 7.** Regression results of moderating effects

**表 7.** 调节效应回归结果

变量	Mec	Mec
Policy	-0.0535*** (0.0119)	0.3143*** (0.1104)
Policy × Fp	0.2030** (0.1035)	
Fp	-0.0681** (0.0278)	
Policy × Fd		-0.0195*** (0.0064)
Fd		-0.0133** (0.0057)
Constant	0.4624*** (0.1167)	0.5028*** (0.1251)
Control	Yes	Yes
FE	Yes	Yes
N	3276	3276
R <sup>2</sup>	0.8391	0.8402

### 4.6. 空间效应分析

本文还进一步聚焦“中国制造 2025”政策对制造业能源消费强度的空间影响, 探讨该政策是否通过空间溢出效应重塑区域制造业能耗格局。在空间自相关性分析中, 我们借助 Moran 散点图与莫兰指数检验城市间制造业能源消费强度的空间关联特征。图 5 显示, 2010~2023 年莫兰指数均显著为正, 散点分布集中、拟合直线斜率明显, 表明城市间制造业能源消费强度存在显著的空间正相关, 高耗能与低耗能城市均呈空间集聚特征。此外, 不同的空间权重矩阵  $W_d$  和  $W_l$  下, 各年份的莫兰指数均显著(附表 A2), 说明在不同空间关联衡量方式下, 城市间的制造业能源消费强度存在稳健的空间自相关。

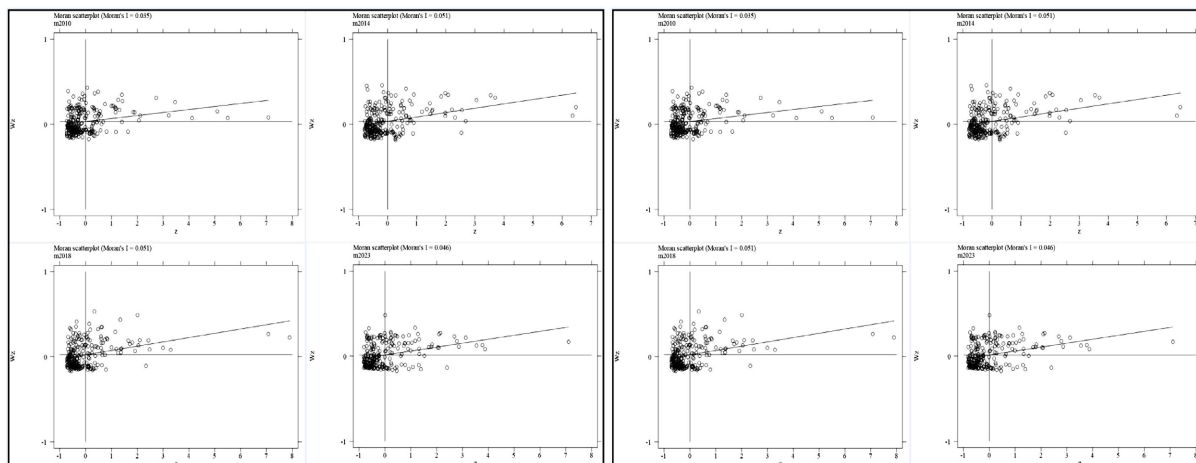


Figure 5. Moran scatter plots (left:  $W_d$ ; right:  $W_l$ )

图 5. Moran 散点图(左  $W_d$  右  $W_l$ )

为确定空间模型形式, 本文依次进行(Robust) LM 检验与 LR 检验(结果见附表 A3), 均支持选择空间杜宾模型(SDM)。据此, 本文采用双向固定效应 SDM 开展空间计量分析。

Table 8. Decomposition of spatial effects

表 8. 空间效应分解

变量	$W_d$				$W_l$			
	Main	Direct	Indirect	Total	Main	Direct	Indirect	Total
<i>Policy</i>	-0.0403*** (0.0098)	-0.0472*** (0.0104)	-1.7628*** (0.6215)	-1.8099*** (0.6244)	-0.0460*** (0.0098)	-0.0478*** (0.0105)	-1.8496*** (0.6689)	-1.8974*** (0.6719)
$W^*Policy$					-0.4971*** (0.1387)			
$W^*Policy * Rd$					0.0052*** (0.0019)			
$\rho$					0.7025*** (0.0687)			
$\sigma^2$					0.0085*** (0.0002)			
$W^*Control$	Yes				Yes			

续表

<i>Control</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	3276	3276	3276	3276	3276	3276	3276	3276
R <sup>2</sup>	0.0452	0.0452	0.0452	0.0452	0.0440	0.0440	0.0440	0.0440

表 8 汇报了 Wd 和 Wl 权重下 SDM 的回归结果。空间自回归系数 均显著为正, 表明城市间制造业能源消费强度存在正向空间溢出效应。效应分解结果显示, 政策变量的直接效应和间接效应均显著为负, 说明“中国制造 2025”政策不仅显著降低本地制造业能源消费强度, 还通过空间溢出抑制邻近地区的制造业能源消费强度。空间滞后项系数亦显著为负, 证实该政策冲击的空间传导机制成立。此外, 政策与技术创新的交互项系数显著为正, 表明技术创新在政策的空间溢出过程中发挥了正向调节作用。综上, “中国制造 2025”政策既是有效的本地节能减排政策工具, 又通过“以点带面”的空间联动, 推动区域制造业能源协同治理与一体化减排, 且技术创新水平越高的地区, 越能放大政策对邻近城市制造业能源消费强度的抑制效应, 为区域绿色发展提供重要实践支撑

## 5. 研究结论和政策启示

为基于 2010~2023 年中国 234 个城市的面板数据, 以“中国制造 2025”政策为准自然实验, 本文综合运用渐进 DID、调节效应模型和空间 DID 等方法, 系统评估其对城市制造业能源消费强度的影响。结果表明: (1) 该政策显著降低了试点城市制造业能源消费强度, 平均降幅约 49.5%; (2) 政策效果在东部城市、非资源型城市、高工业化城市及环保重点城市更为突出; (3) 政府财政压力对政策效应具有正向调节作用, 而城市金融发展水平则发挥负向调节作用; (4) 该政策通过空间溢出效应抑制了试点城市邻近城市的制造业能源消费强度, 且技术创新在这一空间溢出过程中发挥了正向调节作用。

基于上述研究结论, 我们提出以下四点政策建议: 第一, 深化试点政策推广, 强化政策落地执行力度。依托试点城市的成功经验, 稳步扩大“中国制造 2025”政策试点范围, 注重政策的精细化实施。针对试点城市验证的节能降耗有效路径, 形成标准化实施指南, 向非试点城市普及。同步建立政策执行的动态监测与考核机制, 将制造业能源消费强度降幅等指标纳入地方政府绩效考核体系, 推动全国制造业能源消费总量下降。第二, 实施差异化施策, 适配城市发展禀赋。针对地理区位、资源禀赋、产业基础与环保水平差异, 各地方政府需因地制宜制定制造业绿色转型政策方案, 匹配相应政策力度。支持东部城市、非资源型城市、高工业化城市与环保重点城市加大绿色技术创新投入, 率先打造高端化、智能化和绿色化融合标杆; 强化中西部地区产业配套和创新平台建设, 引导其发展特色低碳产业; 对资源型城市出台专项扶持政策, 破解传统资源依赖难题。第三, 优化调节支撑体系, 营造政策实施环境。统筹财政调控与金融赋能, 为“中国制造 2025”政策落地见效筑牢制度与资金保障。一方面, 中央与地方应协同加大财政支持, 对财政压力较大的城市给予专项绿色转型补贴, 优化财政支出结构。另一方面, 加快推进城市金融发展与绿色金融体系建设, 降低制造业企业绿色转型的融资成本与难度, 引导金融资源向符合“中国制造 2025”发展方向的绿色制造领域集聚。第四, 健全区域协同机制, 释放空间溢出效应。依托制造业能源消费强度的空间关联性, 各城市可以构建跨区域绿色转型协同治理体系。以试点城市为核心, 建立区域间制造业节能降耗合作机制, 推动节能创新技术与治理模式向周边地区扩散, 完善跨区域节能减排考核与利益共享机制, 充分释放政策空间溢出效应, 提升全域制造业能源消费管控效能。

## 参考文献

- [1] 张莉娜. 数字化投入对制造业能源消费的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南财经大学, 2024.

- [2] 王伟龙, 王健龙, 谢成兴, 等. “中国制造 2025”试点示范城市建设对城市绿色发展效率的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(9): 147-158.
- [3] 张跃, 燕梦珂. “中国制造 2025”试点示范城市建设对城市碳排放效率的影响研究[J]. 成都理工大学学报(社会科学版), 2025, 33(1): 61-73.
- [4] 田馨. “中国制造 2025”重大战略的新形势与现实路径研究[J]. 改革与战略, 2017, 33(3): 57-60.
- [5] Yang, M., Wang, E. and Hou, Y. (2021) The Relationship between Manufacturing Growth and CO<sub>2</sub> Emissions: Does Renewable Energy Consumption Matter? *Energy*, **232**, Article 121032. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121032>
- [6] Wu, S., Wu, L. and Zhao, X. (2022) Impact of the Green Credit Policy on External Financing, Economic Growth and Energy Consumption of the Manufacturing Industry. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, **20**, 59-68. <https://doi.org/10.1016/j.cjpre.2022.03.007>
- [7] 谢里, 陈宇. 节能技术创新有助于降低能源消费吗?——“杰文斯悖论”的再检验[J]. 管理科学学报, 2021, 24(12): 77-91.
- [8] Duan, H. and Sun, X. (2024) Research on Technology Spillover of Digital Economy Affecting Energy Consumption Intensity in Beijing-Tianjin-Hebei Region. *Sustainability*, **16**, Article 4562. <https://doi.org/10.3390/su16114562>
- [9] Zeng, B., Zhou, M. and Zhang, J. (2017) Forecasting the Energy Consumption of China's Manufacturing Using a Homologous Grey Prediction Model. *Sustainability*, **9**, Article 1975. <https://doi.org/10.3390/su9111975>
- [10] 陈志宇. 绿色信贷对制造业能源消费转型的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2024.
- [11] 宋玉臣, 李芳妍. 异质性债券和能源价格与碳价格的关联机制研究——来自广州碳排放权交易所的实证证据[J]. 财经问题研究, 2022(9): 75-82.
- [12] Xu, L. (2022) Towards Green Innovation by China's Industrial Policy: Evidence from Made in China 2025. *Frontiers in Environmental Science*, **10**, Article ID: 924250. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.924250>
- [13] 蒋长流, 陈欣宇. 《中国制造 2025》试点政策对城市绿色创新水平的影响及其机制[J]. 当代经济, 2025, 42(8): 56-70.
- [14] 潘凌云. 产业政策与企业生产率——来自《中国制造 2025》颁布的准自然实验[J]. 经济学报, 2023, 10(4): 284-304.
- [15] Liu, X., Megginson, W.L. and Xia, J. (2022) Industrial Policy and Asset Prices: Evidence from the Made in China 2025 Policy. *Journal of Banking & Finance*, **142**, Article 106554. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2022.106554>
- [16] 李健, 孟纹羽, 公雪. 产业政策是否提升了制造业产业链自主可控能力?——基于《中国制造 2025》的准自然实验[J]. 经济与管理评论, 2025, 41(2): 150-160.
- [17] 郑建明, 杨策, 王万军. 我国在全球价值链重构中面临的挑战和机遇——基于中美贸易摩擦视角[J]. 国际贸易, 2020(9): 31-37, 75.
- [18] Xin, L., Sun, H., Xia, X., Wang, H., Xiao, H. and Yan, X. (2022) How Does Renewable Energy Technology Innovation Affect Manufacturing Carbon Intensity in China? *Environmental Science and Pollution Research*, **29**, 59784-59801. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20012-8>
- [19] 杨鑫环. 基于非竞争型投入产出表的制造业能源消费与污染物排放的实证研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州财经大学, 2021.
- [20] 黄丽, 高玉洁. 中国省区制造业产业结构升级与碳排放效率的耦合及预测分析[J]. 世界地理研究, 2025, 34(4): 97-110.
- [21] Zhang, Z. and Jiang, Y. (2022) Can Green Public Procurement Change Energy Efficiency? Evidence from a Quasi-Natural Experiment in China. *Energy Economics*, **113**, Article 106244. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106244>
- [22] 孙传旺, 魏晓楠. 市场激励型环境规制、政府补贴与企业绩效[J]. 财政研究, 2022(7): 97-112.
- [23] Song, Y., Cheng, Q., Gan, X. and Huang, H. (2023) The Dual Environmental and Economic Effects of the Emission Trading Scheme under Local Fiscal Pressure: “Efficient Markets” and “Promising Governments”. *Frontiers in Environmental Science*, **11**, Article ID: 1095321. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1095321>
- [24] Tang, X. and Zhou, X. (2023) Impact of Green Finance on Renewable Energy Development: A Spatiotemporal Consistency Perspective. *Renewable Energy*, **204**, 320-337. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.012>
- [25] Demirtas, C., Tiwari, A.K., Soyü Yildırım, E. and Shahbaz, M. (2025) Does Financial Development Support Renewable Energy Consumption: Evidence from the UK. *Renewable Energy*, **243**, Article 122480. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122480>
- [26] 孙少岩, 王笑音, 高翠云. 绿色信贷能发挥碳减排效应吗? [J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(8): 37-47.

- [27] Yin, K. and Shen, X. (2025) Spatial Effects of New Quality Productivity on the Low-Carbon Transformation of Energy Consumption Structure—Evidence from Provincial Data in China. *Sustainability*, **17**, Article 2091. <https://doi.org/10.3390/su17052091>
- [28] 马丽梅, 黄崇乐. 金融驱动与可再生能源发展: 基于跨国数据的动态演化分析[J]. 中国工业经济, 2022(4): 118-136.
- [29] Wang, X., Long, R., Sun, Q., Chen, H., Jiang, S., Wang, Y., *et al.* (2024) Spatial Spillover Effects and Driving Mechanisms of Carbon Emission Reduction in New Energy Demonstration Cities. *Applied Energy*, **357**, Article 122457. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122457>
- [30] 戴翔, 杨双至. 数字赋能、数字投入来源与制造业绿色化转型[J]. 中国工业经济, 2022(9): 83-101.
- [31] Weng, S., Benkraiem, R., Nghiem, X., Zhao, X. and Xu, J. (2025) Market Tools for Achieving Carbon Unlocking: Is China's Energy-Consumption Trading Policy Effective? *Journal of Environmental Management*, **389**, Article 126162. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126162>
- [32] Xie, H. and Bui, W.K.T. (2024) Impact of Globalization and Energy Consumption on CO2 Emissions in China: Implications for Energy Transition. *Finance Research Letters*, **67**, Article 105939. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.105939>
- [33] 韩元亮, 赵忠秀, 石贝贝. 金融发展、货币政策变动与企业投资效率——基于企业融资约束视角的实证研究[J]. 经济与管理评论, 2021, 37(4): 30-43.
- [34] Xu, T., Kang, C. and Zhang, H. (2022) China's Efforts Towards Carbon Neutrality: Does Energy-Saving and Emission-Reduction Policy Mitigate Carbon Emissions? *Journal of Environmental Management*, **316**, Article 115286. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115286>
- [35] Li, R., Fang, D. and Xu, J. (2024) Does China's Carbon Inclusion Policy Promote Household Carbon Emissions Reduction? Theoretical Mechanisms and Empirical Evidence. *Energy Economics*, **132**, Article 107462. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107462>
- [36] Wang, J., Hu, X. and Song, J. (2024) Unleashing the Power of Green Fiscal Policies: Driving Energy Efficiency in China. *Energy*, **312**, Article 133402. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133402>
- [37] 胡逸群, 赵莉, 郝冰艳. 碳排放权交易对工业企业绿色创新效率的影响研究——来自中国上市公司的证据[J]. 科技进步与对策, 2025, 42(24): 127-137.
- [38] Xie, Q. (2023) Firm Size and Chinese Firms' Internationalization Speed in Advanced and Developing Countries: The Moderating Effects of Marketization and Inward FDI. *Journal of Business Research*, **159**, Article 113720. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113720>
- [39] Wai, N. and Guiquan, W. (2025) Effect of Digital Transformation on Green Productivity of China's Manufacturing Enterprises. *Resources Science*, **47**, 864-875. <https://doi.org/10.18402/resci.2025.04.14>

## 附录

Table A1. List of pilot cities

表 A1. 试点城市名单

类型	名单	试点建立时间
试点城市	宁波、镇江、南京、常州、无锡、苏州、珠海、佛山、中山、江门、阳江、肇庆、长沙、株洲、湘潭、沈阳、长春、泉州、青岛、武汉、吴忠	2016 年
	湖州、合肥、赣州、郑州、洛阳、新乡、衡阳、广州、成都	2017 年

Table A2. Results of Moran's I index test

表 A2. 莫兰指数检验结果

	Year	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
$W_d$	I	0.038***	0.043***	0.049***	0.054***	0.056***	0.053***	0.072***
	z	6.941	7.713	8.683	9.608	9.815	9.324	12.498
$W_d$	I	0.065***	0.053***	0.056***	0.063***	0.057***	0.047***	0.047***
	z	11.305	9.65	10.039	10.987	9.985	8.376	8.405
$W_i$	I	0.036***	0.041***	0.046***	0.052***	0.053***	0.05***	0.069***
	z	6.716	7.442	8.368	9.271	9.439	8.962	12.112
$W_i$	I	0.063***	0.052***	0.055***	0.06***	0.055***	0.045***	0.046***
	z	11.061	9.544	9.943	10.729	9.756	8.193	8.288

Table A3. Results of LM test and LR test

表 A3. LM 检验和 LR 检验结果

	LM_Error Robust	LM_Error	LM_Lag Robust	LM_Lag	LR_Error	LR_Lag
$W_d$	238.295***	83.052***	163.642***	8.399***	128.700***	115.010***
$W_i$	240.652***	83.534***	165.439***	8.321***	127.950***	120.950***