

引用格式:王娇,孙慧,廖振良,等.碳减排“双试点”政策能否发挥“减污降碳试验田”效能[J].技术经济,2024,43(10):124-139.

WANG Jiao, SUN Hui, LIAO Zhenliang, et al. Whether the carbon emissions reduction policy “double pilot” can exert the effectiveness of the “experimental fields for reducing pollution and carbon emissions” [J]. Journal of Technology Economics, 2024, 43(10): 124-139.

碳减排“双试点”政策能否发挥 “减污降碳试验田”效能

王 娇^{1,2}, 孙 慧^{1,2}, 廖振良^{2,3}, 杨伟艺^{1,2}

(1. 新疆大学新疆创新管理研究中心, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学经济与管理学院, 乌鲁木齐 830046;

3. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘 要: 碳交易政策和低碳城市试点政策作为两项典型的碳减排试点政策,对减污降碳是否具有政策叠加效应? 本文基于2006—2020年中国279个地级市面板数据,运用多期双重差分模型,从政策协同、目标协同的视角探究碳减排政策对城市减污降碳的影响。结果表明:①碳减排“双试点”政策对减污降碳具有明显的协同效应,政策实施时间越长,减排效应越强;②“双试点”政策通过创新效应和减源效应实现减污降碳协同;③西部地区、非资源型城市、非老工业基地和发达城市实施“双试点”政策,减污降碳效果更好;④两个“单试点”政策都能促进减污降碳,二者相比,碳交易政策的降碳效果更好,低碳城市试点政策的减污效应更优。“双试点”比“单试点”政策对减污降碳更有效,先成为低碳城市试点再实施碳交易政策的“双试点”城市减污降碳效果更明显。本文研究可为碳减排政策的实施提供参考和一定支撑。

关键词: 碳交易政策; 低碳城市试点政策; 双重差分模型; 减污降碳

中图分类号: F204; X321 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-980X(2024)10-0124-16

DOI: 10.12404/j.issn.1002-980X.J24031706

一、引言

全球气候变化日渐明显^[1],温室效应逐年增加^[2],生态环境逐渐恶化^[3]。中国为应对气候变化和环境问题,出台了一系列碳减排政策,主动承担环境保护的国际责任。政策之间只有合理搭配、配合使用,才能发挥最大效应,有效激发减排潜力^[4]。碳交易政策和低碳城市试点政策是我国绿色低碳发展、实现碳达峰碳中和目标的重要战略举措,二者在试点选择上存在部分重合和差异,可用于研究政策组合效应。低碳城市试点政策是通过设定降碳目标和计划,引导城市、企业优化能源消费结构,提高能源利用效率,推进城市低碳建设,打造低碳产业体系,形成绿色低碳的生活方式和消费模式,推动绿色低碳发展。碳交易政策是实现“双碳”目标的核心政策工具,以市场化手段为减排提供经济激励,降低全社会成本,提高收益,实现低碳发展。

长期以来,中国政府一直独立对待履行气候承诺和改善空气质量这两个环境问题,每个问题采取不同的策略^[5]。而环境污染与二氧化碳排放具有同根同源性,二者在控制理念和管理措施上高度一致^[6-7],这使得实现减污降碳协同具有可行性。政府报告多次指出,应坚持政府与市场协同发力,以降碳为重点战略方

收稿日期: 2024-04-19

基金项目: 自治区重点研发计划项目“能源领域碳排放碳汇指标测算、计量及数智化管控关键技术研发”(2022B01010);国家自然科学基金地区基金项目“新疆资源型产业污染集聚、损益偏离与包容性绿色增长”(71963030);国家科技部重大科技项目暨第三次新疆综合科学考察课题项目“吐哈盆地国家能源基地建设调查与碳减排潜力评估”(SQ2021xjkk01800-5);新疆大学2024年优秀博士研究生创新项目“碳交易政策对绿色低碳转型的影响机理研究”(XJU2024BS021);国家社会科学基金重大项目“碳中和目标驱动下多能互补体系的协同机理与实现路径研究”(21&ZD133)

作者简介: 王娇,新疆大学经济与管理学院博士研究生,研究方向:资源与环境经济;孙慧,新疆创新管理研究中心主任,新疆大学经济与管理学院教授,博士研究生导师,研究方向:资源配置与可持续发展;廖振良,同济大学环境科学与工程学院、新疆大学经济与管理学院教授,博士研究生导师,研究方向:环境系统工程、碳交易;杨伟艺,新疆大学经济与管理学院博士研究生,研究方向:资源与环境经济。

向,推进减污降碳协同增效。因此,有必要探究碳交易政策和低碳城市试点政策对减污降碳的组合效应,以及政策实施方案和顺序,为全面协调促进减污降碳,实现绿色低碳转型提供行动指导。

在此背景下,本文以碳交易政策和低碳城市试点政策两个碳减排试点政策为切入点,从政策协同、减污降碳目标协同的视角,分析同时实施两种政策,能否发挥“减污降碳试验田”效能,实现路径是什么?“双试点”政策减污降碳效应是否优于单一政策?政策的最优实施顺序是什么?进而为促进城市绿色低碳转型提供参考。该研究为构建目标多元化和政策多元化的城市绿色低碳可持续发展之路提供了理论依据,也为加强政策间协同配合提供启示。

二、文献回顾

(一)单一试点政策对减污降碳的效果评估

自2010年以来,中国政府推出了一系列碳减排政策,最为典型的是碳排放权交易政策和低碳城市试点政策,国内外针对碳减排政策对碳减排和污染减排影响的研究已很丰富,主要以单一政策、单一减排目标展开研究。碳交易政策作为中国实现“双碳”目标的核心政策工具,将碳排放权市场化,赋予价格属性,企业权衡成本-利益关系,开展技术创新实施减排措施,控制和减少碳排放,同时降低环境污染物排放,推动绿色低碳发展。Gao等^[8]基于生产端和消费端的视角发现碳交易政策有利于试点地区和行业的碳减排。郭丰和任毅^[9]通过渐进双重差分模型考察了低碳城市试点政策可以显著降低城市碳排放。张华^[10]发现低碳城市试点政策具有显著的碳减排效应,并且在西部城市更显著。郑汉和郭立宏^[11]研究低碳城市试点政策的溢出效应,发现低碳城市政策显著降低了邻接非试点城市的碳排放。

碳交易政策和低碳城市试点政策发挥碳减排效应被学者们一致肯定,但是在实现碳减排的同时能否减少污染排放,最近关于碳污协同减排的研究也在逐渐增多,结论存在一些分歧。有研究认为中国碳交易市场对于烟粉尘、PM_{2.5}和NO_x不存在协同减排作用^[12],而Yan等^[13]研究碳交易政策对空气污染的影响,并肯定了其污染减排效应。张国兴等^[14]运用双重差分模型验证了碳交易政策促进碳排放强度降低的同时,对SO₂、PM_{2.5}等大气污染物也具有减排效应。陆敏等^[15]也通过双重差分模型和合成控制法发现碳交易政策具有显著的减污降碳协同效应。

(二)政策组合的协同减排效应

为了解决环境问题,中国出台了一揽子环境政策。近年,关于政策的环境效应研究,逐渐从单一政策转向多项政策协同效应的研究。政策组合协同的相关研究主要分为两类,第一类分析不同类型政策的组合,研究其对环境的影响效应。Xian等^[16]分析减碳政策与减污政策的协同效应,发现在不同部门不同污染物与二氧化碳的协同减排效应存在差异。朱思瑜和于冰^[17]基于排污权和碳排放权交易政策分为三种政策情景,从污染治理视角和政策协同管理视角研究,发现在减少二氧化硫污染方面,组合政策比各类政策的单独实施更为有效,在降低二氧化碳排放方面,碳排放权交易比排污权交易和组合政策更为有效。郭秋秋和马晓钰^[18]分析宽带中国战略和低碳城市两个试点政策对污染减排的影响,发现“双试点”政策相较于“单试点”政策,能使环境污染水平显著降低,并且存在明显的空间溢出效应。第二类分析同类型多种政策工具的叠加效应。韩先锋等^[19]选取国家自主创新示范区和创新型城市试点两个创新驱动政策,分析政策协同对碳排放的影响,发现“双试点”政策相对于“单试点”政策对碳排放量降质升的效果更好,可以有效发挥创新试验田效能。政策之间的组合可能发挥政策叠加效应,市场和政府之间的有效协作也是加强政策效应的渠道。

当前学者对碳交易政策和低碳城市试点政策在经济、环境、社会领域中的政策效应的相关研究已经非常丰富,两种碳减排政策对于降低碳排放、减少污染的作用已经得到广泛肯定,但是同一城市同时实施两个政策,是冲突还是互补,怎样能使效应最大化,值得考察。董梅和李存芳^[20]考察低碳省区试点政策碳减排效应,分析地区异质性原因时,发现碳交易政策的叠加能更有效地促进碳减排。这也为本文的研究提供了依据。

基于此,本文可能的边际贡献:①基于中国最典型的两种碳减排政策,评估了二者组合实施的政策叠加效应;②系统探讨了政策实施顺序对政策协同赋能的异质性影响,以及政策实施的最优路径;③揭示了碳减排政策组合赋能城市减污降碳的目标协同效应、作用机制及地区异质性影响。

三、政策背景与研究假说

(一) 政策背景

中国面对气候变化和环境质量改善的双重压力,先后出台了一系列减污政策和降碳政策,在不断地探索中逐渐完善。早期以实施强制性环境法律法规为主,如 1987 年颁布了《大气污染防治法》,1998 年实施的《设立酸雨控制区和 SO₂ 污染控制区的意见》等,后期建立以排污权交易制度为代表的市场型环境规制。2007 年发布了《中国应对气候变化国家方案》,将低碳发展作为重要任务,开始重视碳减排。为应对气候行动目标,2010 年开始陆续实施了低碳城市试点政策、碳交易政策等碳减排政策,但是一直独立对待履行气候承诺和改善空气质量这两个环境问题。“十四五”时期中国生态文明建设进入以降碳为重点战略方向,推动减污降碳协同增效的关键时期,迫切需要发挥环境政策的综合治理效应。2022 年生态环境部等 7 部门发布《减污降碳协同增效实施方案》,为中国实现减污降碳提供了行动指导。而碳交易政策和低碳城市试点政策作为中国应对气候变化的两大重要碳减排政策,能否在降碳的同时实现减污,助力实现全面绿色低碳转型?

1. 碳交易政策

碳交易政策作为典型的市场激励型碳减排政策,通过市场交易的方式达到碳减排的目标,是中国绿色低碳发展的重要战略。其具有灵活性、节省成本和有效性等优点,被认为是减少全球温室气体排放、应对气候变化的有效手段。2011 年 10 月,国家发展和改革委员会发布开展碳市场的试点建设。北京、天津、上海、广东、深圳 5 个省市在 2013 年建立了碳市场,2014 年湖北、重庆碳市场建立,2016 年福建碳市场建立。八个试点碳市场之间彼此独立,覆盖行业、市场运行机制差异较大,分布于东部、中部、西部地区。全国统一碳市场建设于 2017 年启动,于 2021 年 7 月 16 日正式上线完成交易,将 2000 余家发电重点排放单位纳入交易,发展成为覆盖全球碳排放规模最大的碳交易市场。

2. 低碳城市试点政策

低碳城市试点政策以经济高质量发展的同时,将降低能源消耗和减少碳排放作为目标,以优化能源结构、产业低碳化发展、节能与提高能效、增加碳汇和倡导低碳绿色生活和消费模式 5 个方面为重点任务,同时采用了命令控制型、市场激励型、自愿型政策工具,属于一种综合性碳减排政策。国家发展和改革委员会于 2010 年确定陕西、云南等五省和厦门、深圳等八市开展第一批低碳试点工作,于 2012 年末确定海南和吉林、苏州等 28 个省市开展第二批低碳试点工作,于 2017 年确定沈阳、南京等 41 个城市和逊克县等 4 个区县开展第三批低碳试点工作,以试点地区引领、示范、带动全国低碳发展。至此低碳试点已遍布 31 个省份(因数据缺失,未包含港澳台地区),试点省市在完善体制机制、调整产业结构、优化能源结构、节能提效、提高公众意识等方面开展了大量工作,探索符合本地实际的低碳发展路径。

(二) 理论机制与研究假设

1. 碳减排“双试点”政策赋能的基本机制

碳交易政策和低碳城市试点政策是国家践行绿色低碳发展战略的核心政策,直接目的均是抑制碳排放总量及强度,提高碳排放效率。两个碳减排政策促进碳减排的运行机制不同,组合实施可能发挥政策叠加效应。

首先,低碳城市试点政策通过设定降碳目标和计划,通过多种方式引导、推进城市低碳建设,具有弱约束性、行业针对性和政策组合性的特点^[21]。而碳交易政策是在碳排放总量约束下,以市场为基础赋予碳排放权商品属性,通过配额交易机制实现排放权的最优分配,以及减排成本最低化,进而实现地区整体减排。碳交易政策和低碳城市试点政策的实施机制存在差别,但是目标相同,推动政府积极强化环境规制约束,提高市场准入门槛,促使高污染高排放产业向绿色化、低碳化转型,催生新兴产业。其次,低碳城市试点政策为碳交易政策的实施提供了低碳发展的配套政策,相比于“单试点”政策,“双试点”政策在共同推进碳减排中相互补充,该类城市可能具备更好的碳减排基础和更完善的减排机制,可能存在政策协同作用,达到更好的减排效果。最后,实施“双试点”政策的城市,有更大的碳减排压力,政府重视度高,引进高端人才、先进技术,企业为了达到环境规制要求加大研发投入,通过技术创新提高碳生产率、能源效率,从生产传统产品转向高端化、绿色化、低碳化产品,发挥“1+1>2”的政策叠加效应,降碳的同时也实现减污,从而发挥“减污降

碳试验田”效能。

基于此,本文提出假设 1:

碳减排“双试点”政策协同促进减污降碳(H1)。

2. 碳减排“双试点”政策赋能的传导机制

第一,创新效应。“双试点”政策协同发挥减污降碳效应,绿色低碳先进技术是关键支撑。首先,碳减排政策实施的同时会有一些激励或惩罚的配套政策,企业权衡成本收益,不得不加大研发投入,推动绿色技术创新,进行环境治理^[22-23]。其次,促使企业实现了从要素驱动到创新驱动形式的转变^[24],并进行商业模式创新,迫使企业改进生产技术^[25],加快资源合理利用和优化配置,实现绿色低碳发展^[26]。最后,绿色技术创新推动新能源领域发展,促进清洁能源生产,改善能源消费结构,助推企业清洁生产,有效促进生产结构优化升级,提高企业生产效率,实现减污降碳效应。

第二,减源效应。能源消费是 CO₂ 和大气污染物的主要来源,而中国以煤炭消费为主导的能源结构转型任重道远,减污降碳压力很大^[27]。一方面,化石能源使用是碳污排放的来源,企业为了实现减排目标,考虑调整要素投入结构,逐步减少传统化石能源消耗,并增加清洁能源投入,通过碳减排政策推动清洁能源产业发展和能源消费结构转型^[28],在不降低产值的情况下减少碳排放。另一方面,控排企业为了实现碳排放目标,可能选择减少能耗、降低产量、优化产业结构,但是从长远来看,为了更可持续发展或者是以盈利为目标的理性企业,将加大研发投入,加快工艺流程创新,提高能源使用效率和碳效率,充分利用其减排优势,加快转型,降低生产和污染控制成本,从碳交易中获得利润。

基于此,本文提出假设 2:

碳减排“双试点”政策通过减源效应和创新效应协同推进减污降碳(H2)。

四、研究设计

(一) 模型构建

由于碳交易政策试点和低碳城市政策试点分批设立,试点城市部分重合,本文采用多期双重差分模型评估“双试点”设立前后,实施了“双试点”政策的的城市相较于未实施“双试点”政策的城市的减污降碳效果差异,评估“双试点”政策对减污降碳的政策冲击效果。为了缓解内生性因素的干扰,采用时间、城市双固定效应模型,模型设定如式(1)所示。

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 dual_{it} + \beta_2 X_{it} + \mu_i + \sigma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中:下标 i 为城市; t 为年份; Y_{it} 为被解释变量,包括人均碳排放量(P_{CO_2})与大气污染物($PM_{2.5}$); $dual_{it}$ 为核心解释变量,即碳减排“双试点”政策虚拟变量,同时实施两个试点政策的城市实施当年及之后年份, $dual_{it}$ 赋值为 1,否则赋值为 0; X_{it} 为一系列控制变量; β_2 为各控制变量的估计系数; μ_i 为个体固定效应; σ_t 为时间固定效应; ε_{it} 为随机扰动项; β_1 为本文重点关注的系数,表示“双试点”政策的净效应。如果 $\beta_1 < 0$ 且通过显著性检验,则意味着“双试点”政策具有显著的减污降碳效应。

(二) 变量定义

1. 被解释变量

本文选择城市人均碳排放量(P_{CO_2})与大气污染物($PM_{2.5}$)作为被解释变量,并对其进行取对数处理。

2. 核心解释变量

“双试点”政策虚拟变量($dual_{it}$):根据城市是否同时实施低碳城市试点政策和碳交易政策构造虚拟变量: $dual_{it} = treat_i \times time_t$, $treat_i$ 代表是否为实验组,当 i 代表同时实施了碳交易政策和低碳城市试点政策的地区时, $treat_i = 1$,当 i 代表其他地区时, $treat_i = 0$ 。 $time_t$ 代表政策实施时间,用于区分政策实施前后,当 t 代表同时成为双试点城市当年及之后年份时, $time_t = 1$,除此之外 $time_t = 0$,因此,同时实施两种政策的城市,成为“双试点”当年及之后年份, $dual_{it}$ 取值为 1,反之取值为 0。同理设置碳交易或低碳城市政策的单试点政策虚拟变量,分别用 $CMarket_{it}$ 和 $LCarbon_{it}$ 表示,城市成为试点的当年及之后年份赋值为 1,其余赋值为 0。“双试点”首次出现的时间为 2013 年,研究期内一共有 585 个“双试点”城市样本观测值。

3. 机制变量

①绿色技术创新:采用每万人绿色专利授权量(*GTI*)表征,分为人均发明型绿色技术创新(*GIP*)和人均实用型绿色技术创新(*GUP*);②能源消费结构(*ES*):参考邵帅等^[29]的做法,采用能源消费总量中煤炭消费量占比衡量;③能源使用效率(*EE*):采用地区生产总值与能源消费总量的比值表征。

4. 控制变量

本文借鉴已有研究^[14,18-20],选取以下可能影响城市减污降碳的因素作为控制变量:①经济发展水平(*PGDP*),用人均地区生产总值表征;②城市人口密度(*POP*),用单位行政区域土地面积人口数来衡量;③科技支持(*TEC*),用地方财政支出中科学支出的比例表征;④金融发展水平(*FIA*),用年末金融机构贷款余额占地区生产总值的比值表征;⑤城镇化水平(*URB*),用总人口中城镇人口的比例表征;⑥政府干预(*GOV*),用国内生产总值中地方财政一般预算内支出的比例表征;⑦交通基础设施水平(*TRA*),用城市总面积中道路面积的比例表征;⑧绿化覆盖率(*GRE*),用城市总面积中绿化面积的比例表征。所有控制变量全部取对数处理。

(三) 数据来源

本文选取 2006—2020 年中国 279 个地级市作为研究样本。根据国家发展和改革委员会及工业和信息化部官方网站手工整理碳交易试点和低碳城市试点名单。碳排放量核算参考丛建辉等^[30]考虑城市辖区内直接排放、发生在辖区外与能源相关的间接排放和城市内部活动引起产生于辖区外的碳排放,加总所得。 $PM_{2.5}$ 数据根据美国哥伦比亚大学社会经济数据与应用中心提供的全球 $PM_{2.5}$ 的年均浓度数据整理计算而得。绿色技术创新数据来源于中国创新专利研究数据库。其他数据来源于《中国城市统计年鉴》《中国能源统计年鉴》。部分缺失数据,通过线性插值法补全。

五、实证分析

(一) 基准回归

本文选择城市人均碳排放量(P_{CO_2})与大气污染物($PM_{2.5}$)作为被解释变量,将其与碳交易和低碳城市“双试点”政策的虚拟变量进行回归,研究“双试点”政策的减污降碳效应,所有回归均同时控制了时间、地区固定效应,结果如表 1 所示。表 1 的(1)列和(7)列不加入控制变量,(2)列和(8)列加入了控制变量,结果表明,无论是否添加控制变量,“双试点”政策均有效抑制了二氧化碳和大气污染物排放。控制变量的影响方向也符合理论预期。为了进一步分析政策实施的滞后性,将核心解释变量滞后 1 期~4 期(分别用 $L1.dual$ 、 $L2.dual$ 、 $L3.dual$ 、 $L4.dual$ 表示)进行回归,结果见表 1 中(3)列~(6)列和(9)列~(12)列,表明滞后处理后,“双试点”政策对减污降碳影响依然显著为负,但是随着滞后期数增加呈减弱趋势,反向说明政策实施时间越长,减排效应越强,政策效应具有一定的累积效果,充分证明了城市实施碳减排“双试点”政策有效发挥了减污降碳作用,验证了假设 H1。

表 1 基准回归

变量	(1) P_{CO_2}	(2) P_{CO_2}	(3) P_{CO_2}	(4) P_{CO_2}	(5) P_{CO_2}	(6) P_{CO_2}	(7) $PM_{2.5}$	(8) $PM_{2.5}$	(9) $PM_{2.5}$	(10) $PM_{2.5}$	(11) $PM_{2.5}$	(12) $PM_{2.5}$
<i>dual</i>	-0.036 *** (0.007)	-0.028 *** (0.007)					-0.087 *** (0.006)	-0.085 *** (0.006)				
<i>l1.dual</i>			-0.027 *** (0.007)						-0.085 *** (0.006)			
<i>L2.dual</i>				-0.028 *** (0.008)						-0.081 *** (0.007)		
<i>L3.dual</i>					-0.018 ** (0.008)						-0.066 *** (0.008)	
<i>L4.dual</i>						-0.017 * (0.009)						-0.043 *** (0.008)

续表

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
	P_{CO_2}	P_{CO_2}	P_{CO_2}	P_{CO_2}	P_{CO_2}	P_{CO_2}	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}$
$PGDP$		0.248*** (0.022)	0.242*** (0.025)	0.230*** (0.028)	0.214*** (0.033)	0.184*** (0.031)		-0.025** (0.011)	-0.034*** (0.012)	-0.055*** (0.013)	-0.064*** (0.015)	-0.087*** (0.016)
POP		-0.053 (0.037)	-0.042 (0.038)	-0.041 (0.039)	-0.042 (0.040)	-0.023 (0.041)		-0.127*** (0.023)	-0.110*** (0.023)	-0.091*** (0.023)	-0.091*** (0.024)	-0.091*** (0.025)
TEC		-0.037*** (0.005)	-0.034*** (0.005)	-0.032*** (0.005)	-0.028*** (0.005)	-0.025*** (0.005)		-0.018*** (0.003)	-0.020*** (0.003)	-0.018*** (0.004)	-0.020*** (0.004)	-0.018*** (0.004)
GOV		0.141*** (0.023)	0.142*** (0.025)	0.125*** (0.027)	0.127*** (0.029)	0.128*** (0.030)		0.029** (0.011)	0.022* (0.012)	0.010 (0.013)	-0.008 (0.015)	-0.033** (0.017)
GRE		0.002 (0.006)	0.005 (0.006)	0.008 (0.007)	0.012* (0.007)	0.015** (0.007)		-0.016*** (0.004)	-0.014*** (0.005)	-0.011** (0.005)	-0.009* (0.005)	-0.006 (0.006)
TRA		0.007 (0.007)	0.006 (0.007)	0.001 (0.008)	0.000 (0.009)	-0.003 (0.009)		-0.016*** (0.005)	-0.016*** (0.005)	-0.017*** (0.006)	-0.021*** (0.006)	-0.023*** (0.007)
FIA		0.075*** (0.014)	0.077*** (0.014)	0.084*** (0.015)	0.083*** (0.017)	0.068*** (0.015)		-0.005 (0.009)	-0.005 (0.009)	-0.005 (0.010)	-0.000 (0.011)	-0.004 (0.011)
URB		0.020 (0.014)	0.036** (0.015)	0.045** (0.019)	0.073*** (0.023)	0.084*** (0.026)		-0.022** (0.010)	-0.022** (0.010)	-0.014 (0.012)	-0.037** (0.015)	-0.029 (0.018)
constant	2.131*** (0.002)	-0.534 (0.342)	-0.521 (0.375)	-0.336 (0.408)	-0.157 (0.456)	0.065 (0.455)	3.742*** (0.001)	4.662*** (0.187)	4.669*** (0.197)	4.816*** (0.211)	4.956*** (0.230)	5.286*** (0.248)
城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
调整后的 R^2	0.977	0.980	0.980	0.981	0.981	0.982	0.948	0.951	0.952	0.951	0.950	0.951
R^2	0.979	0.981	0.982	0.982	0.983	0.984	0.952	0.955	0.956	0.955	0.954	0.955
样本量	4185	4185	3906	3627	3348	3069	4185	4185	3906	3627	3348	3069

注：*、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 的水平上显著；括号内数值为稳健标准误。

(二) 平行趋势检验

本文参考孙伟增等^[31]使用事件分析方法检验实验组和对照组之间的差异是否满足平行趋势假设,并分析政策动态效应。以政策实施当年为基期,构建政策实施前4年、后4年的年份虚拟变量,并与政策虚拟变量进行交互,设置模型式(2)所示。

$$Y_{it} = \beta_0 + \sum_{n=-1}^{-4} \beta_{pre-n} D_{pre-n} + \sum_{n=1}^{4} \beta_{post-n} D_{post-n} + \beta_2 X_{it} + \mu_i + \sigma_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中: D_{pre-n} 和 D_{post-n} 分别为“双试点”政策实施前第 n 年和政策实施后第 n 年的时间虚拟变量与其对应政策虚拟变量的交互项,非试点城市的相对时间虚拟变量均为0; β_{pre-n} 和 β_{post-n} 则为对应的重要观察系数,其余变量符号及含义与前文模型相同。

图1所示为对人均碳排放量和 $PM_{2.5}$ 政策效应的平行趋势检验,政策实施相对时间为0表示政策实施当

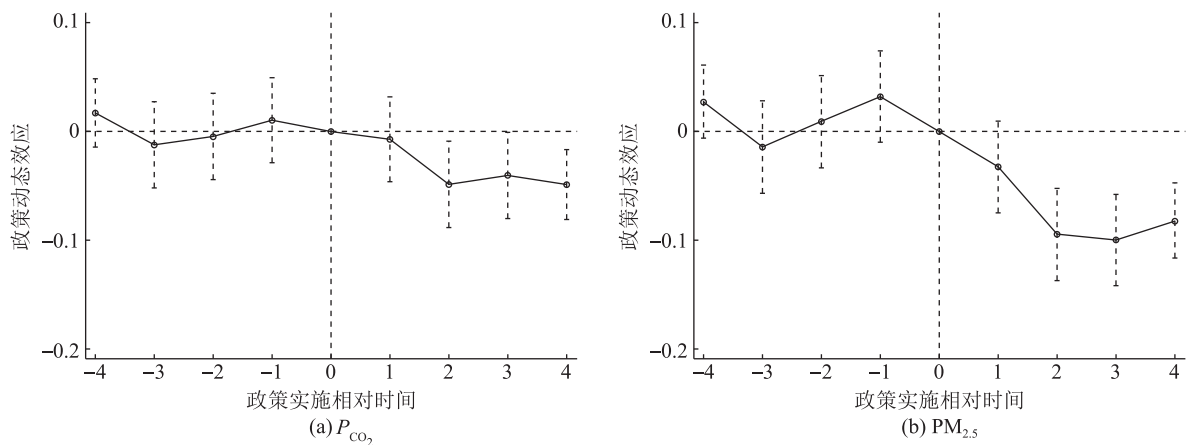


图1 平行趋势检验

年,可以看出,“双试点”启动前,政策冲击均未通过显著性检验,表明在政策实施前实验组与对照组人均碳排放量和大气污染物浓度不存在显著差异,符合平行趋势检验条件。从动态效应视角分析,无论人均碳排放还是大气污染物,双试点政策实施后政策冲击效应呈现波动递增趋势,且在政策实施后第二年趋于显著。这也印证了基本结论的可靠性。

(三) 稳健性检验

1. 安慰剂检验

本文进一步通过安慰剂检验来判断碳减排“双试点”政策对减污降碳的影响是否是由其他随机因素所引起。对“双试点”政策虚拟变量进行随机 500 次抽样并回归,得到 500 个“伪”“双试点”样本的系数估计结果,如图 2 所示为估计系数及其 p 值和概率密度的分布,可以看出,系数值呈正态分布且在 0 附近,对比真实事件中人均碳排放与污染排放的回归系数(-0.027 与-0.082,竖向的黑色虚线),差异显著; p 值大部分远离零值,仅有少数落在 5% 的显著性水平内(横向的黑色虚线),表明随机实验组对减污降碳冲击是不显著的,本文得到的结果确实是由碳减排政策“双试点”设立带来的,结论成功通过安慰剂检验。

2. PSM-DID 方法

样本选择可能存在偏误,借鉴余泳泽和潘妍^[32]的处理方式,采用倾向得分匹配-双重差分(propensity score matching difference-in-differences,PSM-DID)法评估碳减排“双试点”政策对减污降碳的冲击效应。以基准模型中的控制变量作为 PSM-DID 中的匹配变量,通过三种匹配方法(近邻匹配、卡尺内近邻匹配、局部线性回归匹配)为每个实验组城市匹配每个年份的对照组样本,然后根据基准模型进行多期双重差分回归,结果如表 2 所示,可以看出无论采用哪种匹配方法,核心解释变量的回归系数与基准结果相差不大,验证了基本结论的稳健性。

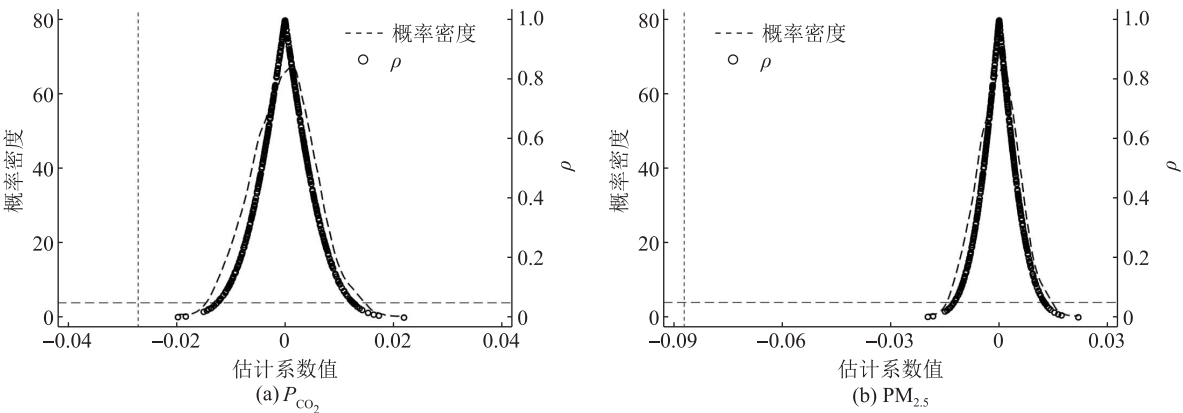


图 2 安慰剂检验

表 2 稳健性检验

变量	近邻匹配		局部线性回归匹配		卡尺内近邻匹配	
	P_{CO_2}	$PM_{2.5}$	P_{CO_2}	$PM_{2.5}$	P_{CO_2}	$PM_{2.5}$
<i>dual</i>	-0.079 *** (0.024)	-0.040 * (0.023)	-0.079 *** (0.024)	-0.040 * (0.023)	-0.080 *** (0.024)	-0.059 *** (0.020)
<i>constant</i>	2.491 *** (0.127)	3.712 *** (0.120)	2.491 *** (0.127)	3.712 *** (0.120)	2.478 *** (0.128)	3.755 *** (0.107)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
调整后的 R^2	0.989	0.962	0.989	0.962	0.989	0.970
R^2	0.992	0.973	0.992	0.973	0.992	0.979
样本量	410	410	410	410	408	408

注: *、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 的水平上显著;括号内数值为稳健标准误。

3. 考虑样本选择偏差的影响

将碳减排“双试点”政策视为准自然实验使用双重差分模型的理想前提是政策试点的选择是完全随机的。但现实中,各省份的经济发展、地理位置和政府干预度等存在很大差异,会影响试点的选择。为了缓解政策试点可能非随机选择造成的结果偏差,本文参考何可等^[27]的做法,在回归中分别将地理位置和地区行政等级作为基准特征变量,与时间线性趋势交互,加入基准模型中进行回归。地理位置按照是否为北方地区进行区分。地区行政等级划分依据为直辖市、副省级城市所在省份为行政等级较高地区,准副省级城市所在省份为行政等级较低地区。估计结果见表3的(1)列~(4)列,加入基准变量与时间线性交互项后,“双试点”政策虚拟变量的系数依然显著为负,表明在进一步考虑地区差异影响后,基准回归的结论依然稳健。

4. 更换标准误的聚类方式

本文通过更换标准误的聚类方式检验不同聚类方式下基准回归的准确性,表3的(5)列和(6)列汇报了聚类到省份层面的回归结果,(7)列和(8)列汇报了聚类到城市层面的回归结果,结果表明碳减排双试点政策依然显著促进城市减污降碳。

表3 稳健性检验

变量	行政等级		地理位置		聚类到省份层面		聚类到城市层面	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	P_{CO_2}	$PM_{2.5}$	P_{CO_2}	$PM_{2.5}$	P_{CO_2}	$PM_{2.5}$	P_{CO_2}	$PM_{2.5}$
<i>dual</i>	-0.052 *** (0.007)	-0.087 *** (0.007)	-0.008 ** (0.007)	-0.057 *** (0.006)	-0.027 *** (0.010)	-0.082 *** (0.009)	-0.027 * (0.015)	-0.082 *** (0.020)
行政等级× 时间线性趋势	0.007 *** (0.001)	0.001 ** (0.001)						
地理位置× 时间线性趋势			0.007 *** (0.001)	0.009 *** (0.001)				
<i>constant</i>	-7.238 *** (1.025)	3.231 *** (0.673)	-7.052 *** (1.083)	-4.056 *** (0.665)	-0.534 (0.543)	4.662 *** (0.270)	-0.534 (0.775)	4.662 *** (0.327)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
调整后的 R^2	0.980	0.951	0.980	0.954	0.980	0.951	0.980	0.951
R^2	0.982	0.955	0.982	0.957	0.981	0.955	0.981	0.955
样本量	4185	4185	4185	4185	4185	4185	4185	4185

注:*、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 的水平上显著;(1)列~(4)列括号内数值为稳健标准误,(5)列和(6)列括号内数值为省份层面的聚类稳健标准误,(7)列和(8)列括号内数值为城市层面的聚类稳健标准误。

5. 替换被解释变量

为避免因变量测量偏误造成结果差异,本文替换被解释变量进行稳健性检验。参照已有研究将人均碳排放量替换为碳排放强度(CI)^[34], $PM_{2.5}$ 替换为工业二氧化硫排放量(SO_2)^[35],均取对数并进行回归检验,这两个指标有助于更全面地衡量政策的减污降碳效应:碳排放强度将经济发展也纳入考虑,符合绿色发展要求;煤炭中硫元素占比较大, SO_2 与 CO_2 具有较强的同根同源性。由表4可知,“双试点”政策依然显著促进减污降碳,验证了结论的稳健性。

6. 调整样本结构

一是改变研究时段。“双试点”政策的开始时间是2013年,将研究样本时段缩短为2013—2019年,回归结果见表4,可以看出“双试点”政策对碳排放和污染排放依然具有抑制作用。二是剔除特殊样本。直辖市城市规模大、经济发展水平高,作为研究样本可能对估计结果产生一定干扰,因此将直辖市样本剔除后重新回归,结果见表4。可以看出,碳减排“双试点”政策促进减污降碳的结论并未改变。

表 4 稳健性检验

变量	替换被解释变量		改变研究时段		剔除特殊样本		剔除其他政策干扰	
	<i>CI</i>	SO ₂	<i>P</i> _{CO₂}	PM _{2.5}	<i>P</i> _{CO₂}	PM _{2.5}	<i>P</i> _{CO₂}	PM _{2.5}
<i>dual</i>	-0.027 *** (0.007)	-0.202 *** (0.043)	-0.004 (0.016)	-0.056 *** (0.017)	-0.026 *** (0.007)	-0.086 *** (0.006)	-0.027 *** (0.007)	-0.082 *** (0.006)
智慧城市试点							-0.013 ** (0.007)	-0.002 (0.005)
宽带中国试点							-0.029 *** (0.007)	-0.000 (0.005)
<i>constant</i>	8.677 *** (0.342)	7.916 *** (1.184)	0.655 (0.567)	5.077 *** (0.396)	-0.547 (0.346)	4.638 *** (0.187)	-0.386 (0.338)	4.667 *** (0.188)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
调整后的 <i>R</i> ²	0.988	0.853	0.984	0.957	0.979	0.952	0.980	0.951
<i>R</i> ²	0.989	0.864	0.986	0.964	0.981	0.955	0.981	0.955
样本量	4185	4185	1953	1953	4125	4125	4185	4185

注：*、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 的水平上显著；括号内数值为稳健标准误。

7. 剔除其他政策干扰

在实施碳交易政策和低碳城市试点政策的同时,中国实施了一系列其他碳减排政策,这些政策可能影响城市减污降碳,导致高估了本研究碳减排“双试点”政策的净效应,参照闫华飞等^[36]选取智慧城市、宽带中国试点政策作为碳减排密切相关的政策。因此,本文在基准回归中分别加入这两个政策的虚拟变量,以消除这些政策可能对结果产生的估计偏差,回归结果见表 4。可以看出,核心解释变量系数依然在 1%水平上显著为负,再次验证了结论的稳健性。

(四) 影响机制检验

上述分析已经证明碳减排“双试点”政策赋能确实显著提升城市减污降碳效果,而本文更需关注其作用路径。技术创新是不影响经济发展实现减排的有效动力,能源消费是大气污染物和二氧化碳排放共同的根和源^[37]。本文参考徐军委等^[38]进一步从创新效应和减源效应的视角探究碳减排“双试点”政策促进减污降碳的路径。

1. 创新效应

技术创新是绿色低碳发展的动力,为检验“双试点”政策是否能够通过提高城市技术创新水平,进而促进减污降碳,以及创新策略选择,本文分别采用人均绿色发明专利申请量(*GIP*)和人均绿色实用新型专利申请量(*GUP*)衡量城市绿色技术创新水平并进行机制检验,结果见表 5。表 5 的(1)列和(2)列分别展示了“双试点”政策对 *GIP* 和 *GUP* 的影响,系数分别为 0.257 和 0.265,在 1%的水平上显著为正,说明“双试点”

表 5 影响机制检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>GIP</i>	<i>GUP</i>	<i>ES</i>	<i>EE</i>
<i>dual</i>	0.257 *** (0.067)	0.265 *** (0.058)	-0.030 ** (0.013)	0.072 ** (0.029)
<i>constant</i>	0.315 (1.465)	1.308 (1.344)	3.104 *** (0.296)	1.918 ** (0.847)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
调整后的 <i>R</i> ²	0.672	0.668	0.666	0.777
<i>R</i> ²	0.695	0.692	0.690	0.793
样本量	4185	4185	4125	4125

注：*、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 的水平上显著；括号内数值为稳健标准误。

政策显著提升了绿色技术创新水平。一方面,碳减排政策通过“信号-预期”机制驱动企业进行绿色专利布局,各类绿色技术创新类型都有显著提升,进而提高自身竞争能力。另一方面,企业面对碳排放成本压力,只有通过绿色创新实现技术变革,改变传统生产模式,提高能源使用效率、碳排放效率,才能降低减排成本。因此,“双试点”政策可以通过创新效应实现减污降碳协同。

2. 减源效应

基于理论分析,本文从源头减排角度考察碳减排“双试点”政策能否通过改善能源消费结构(ES)和提高能源使用效率(EE)的方式促进减污降碳。表5中(3)列检验“双试点”政策对能源消费结构的影响,政策虚拟变量的回归系数显著为负,说明“双试点”政策实施后,与对照组相比,实验组能够有效降低能源消费中煤炭的占比,改善能源消费结构。表5中(4)列检验“双试点”政策对能源使用效率的影响,政策虚拟变量的回归系数显著为正,说明“双试点”政策能够有效提高能源使用效率。能源结构改善和能源使用效率提升从源头上降低二氧化碳和大气污染物排放,因此可以得出:能源消费结构改善和能源使用效率提高是“双试点”政策通过减源效应促进减污降碳协同的重要路径。

另外,绿色技术创新也会提高能源使用效率,降低能源强度。因此,减源效应和创新效应在碳减排“双试点”政策促进减污降碳中发挥重要中介作用。综上,验证了假设H2。

(五)“双试点”政策减污降碳效应的空间异质性分析

通过前文分析,碳交易和低碳城市“双试点”政策具有显著的减污降碳协同效应,而中国各区域资源禀赋、经济发展水平、工业基础、城市等级等差异很大,造成区域发展不平衡不充分现象突出,因此本文进一步根据城市区位和类型分组分析“双试点”政策对减污降碳的异质性影响。

1. 地理区位异质性

本文将样本城市划分为东部、中部、西部三个子样本,分别进行回归,回归结果见表6。在西部地区“双试点”政策具有显著的碳减排效应,在东部地区也呈负相关但不显著,而在中部地区表现为促进碳排放。在东部、中部、西部三个区域,“双试点”政策的污染减排效应都在1%的水平上显著,效应大小为西部>东部、中部。比较组间系数差异,“双试点”政策对碳减排影响的组间差异显著。在东部、中部、西部三组中,“双试点”政策对污染减排都具有显著促进作用,系数值虽然未通过组间差异检验,但在西部地区中明显更大。分析其可能的原因,西部地区受国家政策倾斜,大力引进科技人才,投入研发资金,技术进步明显,能源结构不断改善,减污降碳潜力大。东部地区经济发展水平高,生产要素和资源丰富,产业基础好,资金投入多,人才集聚度高,为政策的实施提供了良好的基础,但是该区域产业结构较为合理,高污染高耗能产业少,减排潜力小。中部地区资源丰富,高污染高耗能产业多,彻底改变产业结构难度大,短期内政策效应难以显现。

表6 地理区位异质性分析

变量	P_{CO_2}			$PM_{2.5}$		
	东部	中部	西部	东部	中部	西部
<i>dual</i>	-0.014 (0.009)	0.006 (0.014)	-0.049 ** (0.022)	-0.078 *** (0.009)	-0.078 *** (0.010)	-0.092 *** (0.022)
<i>constant</i>	2.915 *** (0.429)	-3.233 *** (0.624)	-1.102 * (0.584)	5.110 *** (0.311)	4.134 *** (0.337)	4.985 *** (0.291)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
调整后的 R^2	0.988	0.980	0.977	0.970	0.947	0.934
R^2	0.989	0.982	0.979	0.972	0.952	0.939
样本量	1500	1485	1200	1500	1485	1200
系数差异 P 值	0.000		0.011	0.150		0.132

注: *、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 的水平上显著;括号内数值为稳健标准误。系数差异 P 值是采用费舍尔组合检验(Bootstrap 抽样 1000 次)计算得到,用于检验组间系数差异的显著性。

2. 资源禀赋异质性

根据《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020 年)的通知》将样本城市划分为资源型城市和非资源型城市两个子样本分别进行回归,结果见表 7,可以看出,“双试点”政策对非资源型城市具有显著的碳减排效应,对资源型城市的碳减排效应不明显。对两类城市的污染减排效应都显著,并且非资源型城市系数更大。比较组间系数差异发现,“双试点”政策的系数在两组之间存在显著性差异。结果表明,与资源型城市相比,“双试点”政策对非资源型城市减污降碳的促进作用更显著。原因可能是,资源型城市对自然资源依赖度较高,依然为高耗能、高排放的粗放发展模式难以彻底转变,面临的减排压力大,“双试点”政策能起到减污降碳作用,但在短期内,在不影响经济增长的情况下减污降碳效果欠佳。

表 7 城市特征异质性分析

变量	资源禀赋				工业基础			
	P_{CO_2}		$PM_{2.5}$		P_{CO_2}		$PM_{2.5}$	
	资源型	非资源型	资源型	非资源型	老工业	非老工业	老工业	非老工业
<i>dual</i>	0.010 (0.015)	-0.027 *** (0.008)	-0.073 *** (0.014)	-0.081 *** (0.007)	0.006 (0.015)	-0.021 *** (0.008)	-0.084 *** (0.013)	-0.081 *** (0.007)
<i>constant</i>	-0.786 * (0.452)	-0.482 (0.453)	4.394 *** (0.265)	4.709 *** (0.263)	-0.850 * (0.448)	-0.766 * (0.454)	4.930 *** (0.293)	4.458 *** (0.216)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
调整后的 R^2	0.979	0.980	0.955	0.949	0.982	0.979	0.951	0.951
R^2	0.981	0.981	0.959	0.953	0.983	0.981	0.955	0.955
样本量	1665	2520	1665	2520	1410	2775	1410	2775
系数差异 P 值	0.001		0.031		0.020		0.284	

注：*、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 的水平上显著,括号内数值为稳健标准误。系数差异 P 值是采用费舍尔组合检验(Bootstrap 抽样 1000 次)计算得到,用于检验组间系数差异的显著性。

3. 工业化水平异质性

根据《全国老工业基地调整改造规划(2013—2022 年)》依据地级市规划范围,将样本城市划分为老工业基地和非老工业基地分组进行回归,结果见表 7,可以看出,相较于老工业基地,“双试点”政策对非老工业基地的降碳效果更有效,对老工业和非老工业基地的减污效果都很显著,相差不明显。与组间系数差异比较结果一致。

4. 城市等级异质性

根据《2023 年中国城市商业魅力排行榜》将样本城市划分为发达城市(包括新一线、一线、二线)、较发达城市(包括三线)和欠发达城市(包括四线、五线),评估“双试点”政策对不同等级城市减污降碳的异质性影响,回归结果见表 8,“双试点”政策对发达城市和欠发达城市都具有显著的碳减排效应,对三个等级的城市都具有明显的减污效应。比较系数的组间差异,对于碳减排效应,发达城市与较发达城市和欠发达城市相比,组间差异显著。对于污染减排效应,发达城市与欠发达城市之间系数差异显著。表明“双试点”政策对发达城市的减污降碳效果优于其他城市。分析其原因,发达城市政府财政资金相对充裕,注重生态环境保护,对城市环境治理投资多,资源配置效率更好,为政策的实施提供了优越的基础。

表 8 城市等级异质性分析

变量	P_{CO_2}			$PM_{2.5}$		
	较发达城市	发达城市	欠发达城市	较发达城市	发达城市	欠发达城市
<i>dual</i>	0.009 (0.012)	-0.032 *** (0.011)	-0.024 ** (0.010)	-0.078 *** (0.010)	-0.086 *** (0.015)	-0.072 *** (0.009)
<i>constant</i>	-0.087 (0.522)	-0.477 (0.609)	-0.651 * (0.384)	3.646 *** (0.398)	4.648 *** (0.490)	4.880 *** (0.228)

续表

变量	P_{CO_2}			$PM_{2.5}$		
	较发达城市	发达城市	欠发达城市	较发达城市	发达城市	欠发达城市
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
调整后的 R^2	0.973	0.987	0.974	0.968	0.944	0.943
R^2	0.975	0.988	0.976	0.970	0.949	0.947
样本量	1035	735	2415	1035	735	2415
系数差异 P 值	0.006		0.010	0.106		0.022

注：*、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 的水平上显著；括号内数值为稳健标准误。系数差异 P 值是采用费舍尔组合检验（Bootstrap 抽样 1000 次）计算得到，用于检验组间系数差异的显著性。

六、进一步讨论：“双试点”政策协同效果的比较分析

前文已充分证明碳减排“双试点”政策的减污降碳协同效应，本文进一步对协同效果进行比较分析。

首先，评估“单试点”政策的减污降碳效应。具体做法为：剔除低碳试点城市的样本数据，以碳交易政策“单试点”为实验组，“无试点”为对照组。 $CMarket$ 系数显示了碳交易政策影响减污降碳的净效应，回归结果见表 9 的（1）列~（4）列，表明碳交易政策有效抑制了碳排放，对污染排放也有抑制作用但是效果不显著。同理，剔除碳交易政策试点城市的样本数据， $LCarbon$ 系数可以评估低碳城市试点政策影响减污降碳的净效应。回归结果见表 9 的（5）列~（8）列，表明低碳城市试点政策有效抑制了碳排放与污染排放。比较两个“单试点”政策净效应，发现两个碳减排政策对碳减排的“单试点”净效应都为显著促进作用，并且碳交易政策效果更好。对于污染减排，低碳城市试点政策的“单试点”净效应更明显，碳交易政策净效应不明显。因此推测污染减排需要两个政策的协同合力推动。

其次，比较“双试点”和“单试点”的政策效果。具体做法为：剔除所有“无试点”样本，设置“双试点”样本为实验组，“单试点”样本为对照组，回归结果见表 10，可知“双试点”政策相较于“单试点”政策对减污降碳的冲击更为有效，验证了碳交易与低碳城市“双试点”政策的协同叠加效应，并且对污染减排的政策协同效应更强。

再次，检验“双试点”与不同类型“单试点”的政策效应。具体做法是：剔除无试点样本的基础上，再剔除仅成为低碳城市试点的样本，比较“双试点”与碳交易“单试点”的减污降碳效果。同理，对比“双试点”与低碳城市“单试点”。结果见表 11，可以看出，在碳交易政策或低碳城市政策“单试点”作为对照组时，“双试点”能发挥更好的减污降碳效果，并且对污染减排的效果更佳。

表 9 “单试点”政策的减排净效应

变量	碳交易试点政策净效应				低碳城市试点政策净效应			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	P_{CO_2}	P_{CO_2}	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}$	P_{CO_2}	P_{CO_2}	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}$
$CMarket$	-0.026 * (0.016)	-0.041 *** (0.015)	-0.016 (0.011)	-0.018 (0.012)				
$LCarbon$					-0.021 ** (0.008)	-0.012 * (0.008)	-0.011 ** (0.005)	-0.010 * (0.005)
$constant$	2.116 *** (0.002)	-1.221 *** (0.407)	3.777 *** (0.002)	4.929 *** (0.248)	2.098 *** (0.002)	-0.675 * (0.378)	3.758 *** (0.002)	4.588 *** (0.201)
控制变量	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes
城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
调整后的 R^2	0.977	0.979	0.947	0.952	0.976	0.979	0.946	0.949
R^2	0.978	0.981	0.951	0.955	0.978	0.980	0.950	0.953
样本量	2385	2385	2385	2385	3510	3510	3510	3510

注：*、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 的水平上显著；括号内数值为稳健标准误。

表 10 “单试点”总效应与“双试点”对比

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	P_{CO_2}	P_{CO_2}	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}$
<i>dual</i>	-0.018 ** (0.009)	-0.008 * (0.008)	-0.082 *** (0.007)	-0.072 *** (0.007)
<i>constant</i>	2.147 *** (0.003)	0.179 (0.543)	3.678 *** (0.002)	4.449 *** (0.234)
控制变量	No	Yes	No	Yes
城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
调整后的 R^2	0.979	0.982	0.952	0.954
R^2	0.980	0.983	0.956	0.957
样本量	1890	1890	1890	1890

注：*、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 的水平上显著；括号内数值为稳健标准误。

表 11 “单试点”与“双试点”净效应对比

变量	碳交易“单试点”与“双试点”对比				低碳城市“单试点”与“双试点”对比			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	P_{CO_2}	P_{CO_2}	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}$	P_{CO_2}	P_{CO_2}	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}$
<i>dual</i>	-0.023 ** (0.012)	-0.007 (0.011)	-0.027 *** (0.009)	-0.013 (0.009)	-0.018 * (0.009)	-0.009 (0.009)	-0.085 *** (0.007)	-0.075 *** (0.007)
<i>constant</i>	2.318 *** (0.006)	-0.311 (0.604)	3.646 *** (0.005)	3.327 *** (0.403)	2.149 *** (0.003)	0.134 (0.559)	3.696 *** (0.002)	4.395 *** (0.242)
控制变量	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes
城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
调整后的 R^2	0.984	0.989	0.966	0.970	0.979	0.981	0.949	0.951
R^2	0.985	0.990	0.969	0.973	0.980	0.983	0.953	0.955
样本量	675	675	675	675	1800	1800	1800	1800

注：*、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 的水平上显著；括号内数值为稳健标准误。

最后,进一步探索“双试点”政策实施先后顺序影响减污降碳的效果差异。如果先成为低碳城市试点再成为碳交易政策试点,定义为路径 1;如果先成为碳交易政策试点再成为低碳城市试点,定义为路径 2。路径 1、路径 2 分别反映不同政策实施顺序的政策冲击净效应。探究路径 1 时,将先成为低碳城市试点的“双试点”城市作为实验组,未实施政策的城市为对照组,回归结果见表 12 中(1)列~(4)列,表明先成为低碳城市试点的“双试点”城市对减污降碳促进效果显著。探究路径 2 时,将先成为碳交易政策试点的“双试点”城市作为实验组,未实施政策的城市为对照组,回归结果见表 12 中(5)列~(8)列,可以看出先实施碳交易政策再实施低碳城市政策对降碳具有抑制效应,对减污具有促进效应但是不显著。政策实施的先后顺序会影响“双试点”政策对减污降碳的效果,先成为低碳城市试点再实施碳交易政策的“双试点”城市减污降碳效果更明显。分析其可能的原因,碳交易政策属于市场激励型政策,有效发挥其作用需要依靠市场机制的完善、企业的调节适应能力、城市较好的减排能力,城市只有具备这些条件,在实施碳交易政策时才能很好地实现减排目标。而低碳城市试点政策设定降碳目标和计划,明确政策重点内容,鼓励地方政府结合城市人才、技术、资源等基础条件,探索合乎自身发展的减碳方案,城市各部门各层级感觉更直接,响应更快。因此,先实施碳交易政策后成为低碳城市试点的“双试点”城市,减污降碳效果没有体现。先试点低碳城市政策可以为碳交易政策的实施提供更优质的实施基础,使“双试点”政策发挥叠加效应,更能加快低碳化绿色化进程。因此,国家实施试点政策时需考虑实施顺序合理性。

综合上述分析,可以得出,低碳城市“单试点”政策和碳交易“单试点”政策均能发挥减污降碳效应,两个碳减排政策相比,碳交易政策的减碳效果优于低碳城市试点政策,低碳城市试点政策的减污效果优于碳交易政策;“双试点”比“单试点”政策对减污降碳更有效,尤其是污染减排方面;先成为低碳城市试点再实施碳交易政策的“双试点”城市减污降碳效果更显著。

表 12 政策实施先后顺序对比

变量	路径 1(先成为低碳城市试点后实施碳交易政策)				路径 2(先实施碳交易政策后成为低碳城市试点)			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	P_{CO_2}	P_{CO_2}	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}$	P_{CO_2}	P_{CO_2}	$PM_{2.5}$	$PM_{2.5}$
<i>dual</i>	-0.049*** (0.008)	-0.040*** (0.008)	-0.090*** (0.007)	-0.083*** (0.007)	0.080*** (0.022)	0.063*** (0.023)	-0.034 (0.025)	-0.031 (0.027)
<i>constant</i>	2.163*** (0.002)	-1.031*** (0.375)	3.783*** (0.002)	4.899*** (0.232)	2.119*** (0.002)	-1.253*** (0.410)	3.792*** (0.002)	4.902*** (0.251)
控制变量	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes
城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
调整后的 R^2	0.978	0.981	0.946	0.950	0.977	0.979	0.944	0.949
R^2	0.979	0.982	0.950	0.954	0.978	0.981	0.948	0.953
样本量	2865	2865	2865	2865	2310	2310	2310	2310

注：*、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 的水平上显著；括号内数值为稳健标准误。

七、研究结论与政策启示

本文基于 2006—2020 年中国 279 个地级市面板数据,运用多期双重差分模型,从政策协同、目标协同的视角探究了碳减排政策对减污降碳的影响,得出以下研究结论:

(1)碳减排“双试点”政策对减污降碳具有明显的协同效应,政策实施时间越长,减排效应越强。

(2)“双试点”政策通过促进绿色技术创新、优化能源消费结构和提高能源使用效率发挥减污降碳协同效应。

(3)西部地区、非资源型城市、非老工业基地、发达城市实施“双试点”政策,能更有效发挥减污降碳协同效应。

(4)“单试点”政策和“双试点”政策都能发挥减污降碳效应。两个碳减排政策相比,碳交易政策的减碳效果更好,低碳城市试点政策的减污效果更好。“双试点”比“单试点”政策对减污降碳更有效,先成为低碳城市试点再实施碳交易政策的“双试点”城市减污降碳效果更显著。

基于上述结论,本文提出以下政策建议。

第一,优化政策实施顺序,使政策效应最大化。从试点城市的减污降碳效果来看,“双试点”政策比“单试点”政策效果更好,尤其是先成为低碳城市试点再实施碳交易政策的“双试点”城市。政策制定者可以考虑优化政策实施顺序,发挥低碳城市试点政策的示范效应,为碳交易政策更有效发挥作用提供基础,实现减污降碳协同治理和政策效应最大化。

第二,鼓励绿色技术创新,强化源头防控。在促进地区经济发展的同时,政府应加大对科技创新部门的投入力度,鼓励企业进行高质量、高转化的创新;加强区域间联动发展、协同创新,推动区域间产业链、供应链、创新链融合发展;注重清洁能源的使用,降低传统能源消费比例,提高能源集约利用效率。通过源头防控、鼓励技术创新,实现绿色、低碳、循环发展,助力实现“双碳”目标。

第三,因地制宜精准施策,推动减污降碳协同。中国区域间经济发展水平、自然环境、资源禀赋差异很大,减排潜力不同,地方政府要根据当地发展实际,执行合理有效的环境治理政策,制定最优政策组合,选择适合本地“双碳”目标实现的路径。

参考文献

- [1] SUN C, MIN J, LI J, et al. Public participation and policy evaluation in China's smog governance[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2023, 100(5): 107052.
- [2] WANG S, SHI C, FANG C, et al. Examining the spatial variations of determinants of energy-related CO₂ emissions in China at the city level using Geographically Weighted Regression Model[J]. Applied Energy, 2019, 235(2): 95-105.
- [3] LIU Z, TANG Y, WILSON J, et al. Influence of government attention on environmental quality: An analysis of 30 provinces in China[J].

- Environmental Impact Assessment Review, 2023, 100(3): 107084.
- [4] 彭建军, 段春梅. 打好“组合拳”: 低碳政策工具协同对绿色技术创新的影响及机理研究[J]. 技术经济, 2023, 42(8): 26-38.
- [5] ZHAO L, YUAN L, YANG Y, et al. A cooperative governance model for SO₂ emission rights futures that accounts for GDP and pollutant removal cost[J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 66(12): 102657.
- [6] YI H, ZHAO L, QIAN Y, et al. How to achieve synergy between carbon dioxide mitigation and air pollution control? Evidence from China[J]. Sustainable Cities and Society, 2022, 78(1): 103609.
- [7] 王慧, 孙慧, 肖涵月, 等. 碳达峰约束下减污降碳的协同增效及其路径[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(11): 96-108.
- [8] GAO Y, LI M, XUE J, et al. Evaluation of effectiveness of China's carbon emissions trading scheme in carbon mitigation[J]. Energy Economics, 2020, 90(8): 104872.
- [9] 郭丰, 任毅. 低碳城市试点政策能够促进城市低碳发展吗?[J]. 当代经济管理, 2024, 46(3): 26-37.
- [10] 张华. 低碳城市试点政策能够降低碳排放吗?——来自准自然实验的证据[J]. 经济管理, 2020, 42(6): 25-41.
- [11] 郑汉, 郭立宏. 低碳城市试点对邻接非试点城市碳排放的外部效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(7): 71-80.
- [12] 曾诗鸿, 李璠, 翁智雄, 等. 我国碳交易试点政策的减排效应及地区差异[J]. 中国环境科学, 2022, 42(4): 1922-1933.
- [13] YAN Y, ZHANG X, ZHANG J, et al. Emissions trading system (ETS) implementation and its collaborative governance effects on air pollution: The China story[J]. Energy Policy, 2020, 138(3): 111282.
- [14] 张国兴, 樊萌萌, 马睿琨, 等. 碳交易政策的协同减排效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(3): 1-10.
- [15] 陆敏, 徐好, 陈福兴. “双碳”背景下碳排放交易机制的减污降碳效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(11): 121-133.
- [16] XIAN B, XU Y, CHEN W, et al. Co-benefits of policies to reduce air pollution and carbon emissions in China[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2024, 104(1): 107301.
- [17] 朱思瑜, 于冰. “排污权”和“碳排放权”交易的减污降碳协同效应研究——基于污染治理和政策管理的双重视角[J]. 中国环境管理, 2023, 15(1): 102-109.
- [18] 郭秋秋, 马晓钰. “宽带中国”战略和低碳城市双试点的减污效应研究[J]. 产业经济研究, 2023(5): 129-142.
- [19] 韩先锋, 郑酌基, 肖远飞. 创新驱动政策“双试点”协同赋能与碳排放“量降质升”——来自国家自主创新示范区与创新型城市的证据[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(10): 112-123.
- [20] 董梅, 李存芳. 低碳省区试点政策的净碳减排效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(11): 63-74.
- [21] 徐佳, 崔静波. 低碳城市和企业绿色技术创新[J]. 中国工业经济, 2020(12): 178-196.
- [22] 郭沛, 梁栋. 低碳试点政策是否提高了城市碳排放效率——基于低碳试点城市的准自然实验研究[J]. 自然资源学报, 2022, 37(7): 1876-1892.
- [23] 钱丽, 魏圆圆, 肖仁桥, 等. 碳交易试点政策对中国区域经济绿色增长的影响机制研究[J]. 技术经济, 2023, 42(4): 110-124.
- [24] MORETTI F, BIANCARDI D. Inbound open innovation and firm performance[J]. Journal of Innovation & Knowledge, 2020, 5(1): 1-19.
- [25] SAMUEL R, DOLORES B, DANIEL P, et al. The effect of digitalization on business performance: An applied study of KIBS[J]. Journal of Business Research, 2021, 126(3): 319-326.
- [26] LLOPIS-ALBERT C, RUBIO F, VALERO F. Impact of digital transformation on the automotive industry[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, 162(1): 120343.
- [27] 何可, 朱信凯, 李凡略. 聚“碳”成“能”: 碳交易政策如何缓解农村能源贫困?[J]. 管理世界, 2023, 39(12): 122-144.
- [28] 李程琳, 周云亨, 王福宁, 等. 能源低碳转型风险及其应对策略——基于新型能源安全观的研究[J]. 能源环境保护, 2023, 37(4): 46-55.
- [29] 邵帅, 范美婷, 杨莉莉. 经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展——基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察[J]. 管理世界, 2022, 38(2): 46-69, 4-10.
- [30] 丛建辉, 刘学敏, 赵雪如. 城市碳排放核算的边界界定及其测度方法[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(4): 19-26.
- [31] 孙伟增, 毛宁, 兰峰, 等. 政策赋能、数字生态与企业数字化转型——基于国家大数据综合试验区的准自然实验[J]. 中国工业经济, 2023(9): 117-135.
- [32] 余泳泽, 潘妍. 中国经济高速增长与服务业结构升级滞后并存之谜——基于地方经济增长目标约束视角的解释[J]. 经济研究, 2019, 54(3): 150-165.
- [33] 吴茵茵, 齐杰, 鲜琴, 等. 中国碳市场的碳减排效应研究——基于市场机制与行政干预的协同作用视角[J]. 中国工业经济, 2021(8): 114-132.
- [34] 陈道平, 廖海凤, 谭洪. 中国碳交易政策的减排效应及其机制研究[J]. 技术经济, 2022, 41(7): 106-119.
- [35] 崔和瑞, 辛媛, 赵巧芝. 区域协同治理政策的大气污染减排效应研究——基于双重差分法的实证检验[J]. 技术经济, 2022, 41(11): 94-103.
- [36] 闫华飞, 章雷敏, 肖静. “宽带中国”和低碳城市双试点政策的碳减排效应——基于 283 个地级市的准自然实验[J]. 南京财经大学学报, 2023(5): 69-78.

- [37] 宋德勇, 陈梁, 王班班. 环境权益交易如何实现减污降碳协同增效: 理论与经验证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(2): 171-192.
- [38] 徐军委, 刘志华, 王建雄. 碳交易试点是否提升了区域绿色全要素生产率? [J]. 技术经济, 2022, 41(8): 23-33.

Whether the Carbon Emissions Reduction Policy “Double Pilot” Can Exert the Effectiveness of the “Experimental Fields for Reducing Pollution and Carbon Emissions”

Wang Jiao^{1,2}, Sun Hui^{1,2}, Liao Zhenliang^{2,3}, Yang Weiyi^{1,2}

(1. Xinjiang Innovation Management Research Center, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. School of Economics and Management, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

3. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Do the carbon trading policy and low-carbon city policy, as two typical carbon emissions reduction pilot policies, have a policy overlay effect on reducing pollution and carbon emissions? The multi-period difference-in-differences (DID) model was used to explore the policy effect of carbon emissions reduction policies on reducing pollution and carbon emissions from the perspectives of policy synergy and target synergy, basing on the panel data of 279 cities in China from 2006 to 2020. The results show that the dual pilot policy has an obvious synergistic effect on reducing pollution and carbon emissions. The longer the policy is implemented, the stronger the emissions reduction effect is. The dual pilot policy reduces pollution and carbon emissions by the innovation effect and source reduction effect. The implementation of dual pilot policy in western regions, non-resource-based cities, non-old industrial bases and developed cities has achieved better effect on reducing pollution and carbon emissions. Both single pilot policies can promote to reduce pollution and carbon emissions. Comparison between two policies, the carbon trading policy plays better effect on carbon emissions reduction, and the low carbon city pilot policy plays better effect on pollution reduction. The double pilot policy is more effective than the single pilot policy in reducing pollution and carbon. The double pilot cities that first becomes the low carbon city pilot and then implements the carbon trading policy have stronger effect on reducing pollution and carbon. It provides a reference for implementing carbon emissions reduction policies.

Keywords: carbon trading policy; low carbon city pilot policy; difference-in-differences model; reducing pollution and carbon emissions