DOI:10.20069/j.cnki.DJKX.2026019

减污降碳的政策协同效应研究
——基于能源政策“双试点”的证据

魏 佳，高嘉隆，温 军，邓亚萍
西安交通大学 经济与金融学院，陕西 西安 710049

移动端阅读

摘要：政策协同是有效解决环境气候问题的关键手段。以新能源示范城市建设和用能权交易制度“双试点”为准自然实验，实证检验能源政策“双试点”的减污降碳效应。研究发现，“双试点”城市同步减少了二氧化硫和二氧化碳排放量，具有显著的减污降碳效应。此外，“双试点”城市比“单试点”城市政策效应更强，能源政策组合发挥了“1+1>2”的正向协同作用。“双试点”城市通过政策协同机制，依靠清洁能源技术创新、清洁能源消费替代、能源利用效率提升和产业结构优化四条路径实现减污降碳。进一步分析表明，“双试点”通过降碳协同减污的内在逻辑发挥作用，同时具有空间溢出特征，最终能够增进经济—社会—健康多重福利。据此提出注重“有为政府”与“有效市场”的有机结合，加强目标管理，完善政策设计，关注存量与增量的关系，定期开展政策验收评估等政策建议。

关键词：能源政策；减污降碳；新能源示范城市；用能权交易；政策协同
文献标识码：A **文章编号**：1002-2848-2026(03)-0114-16

一、问题提出

环境污染与气候变化已经成为中国经济社会可持续发展中的重要问题。《2023年中国生态环境状况公报》显示，2023年全国136个城市环境空气质量超标，较2022年有所增加。世界卫生组织估计，2019年全球有670万人死于空气污染；到2030年，每年将约有25万人因气候变化死亡①。环境气候问题已给人类造成极大健康负担，其负面影响正进一步向经济领域蔓延，减少居民收入并阻碍经济增长[1]。大气污染物与温室气体具有同根同源、同过程性，因此减污降碳的双重效果能够同时实现，协同推进减污降碳目标由此被提上议程[2]。

早期，中国政府将污染控制作为主要目标，重点实施以减污为导向的单一目标政策。此后，中国政府陆续提出气候目标，在2016年修订的《中华人民共和国大气污染防治法》中增设“大气污染物与温室气体实施协同控制”原则性条款，并在《2030年前碳达峰行动方案》中要求提升温室气体控制的环境边际效益，由此陆续出台了一批减污降碳协同控制政策，开启了减污降碳协同治理的政策实践[3]。即便如此，由于政策红利期有限、“绿色悖论”、央地间“上有政策，下有对策”等主客观因素的存在，传统环境政策往往被证明治标不治本，难以实现减污降碳的可持续性[4]。从根源上看，能源结构不合理是环境污染与气候

基金项目：国家社会科学基金青年项目(23CJY031)。

作者简介：魏佳，女，西安交通大学经济与金融学院副教授，博士生导师，研究方向为能源经济与政策；高嘉隆，男，西安交通大学经济与金融学院博士研究生，研究方向为能源与环境经济；温军，男，通信作者，西安交通大学经济与金融学院教授，博士生导师，研究方向为产业组织、公司治理与技术创新，电子邮箱为wjun1978@163.com；邓亚萍，女，西安交通大学经济与金融学院硕士研究生，研究方向为健康不平等。

① 参见 https://www.who.int/publications/i/item/9789240074323。

变化问题的根本原因，因为化石燃料是大气污染物与温室气体的主要源头。国际能源署数据显示，中国煤炭燃烧排放的二氧化碳约占总排放量的70%[①]，由于大气污染物与温室气体的直接或间接联系，环境污染与碳排放在时空上体现出高度一致性[3]。因此，推动治理从末端向源头减排转变是未来的发展趋势，以能源转型为目标的能源政策将成为减污降碳协同治理的关键。

能源转型要求能源供给侧结构发生根本性变革，是以非化石能源为主的新型能源体系对以化石能源为主的传统能源体系的替代过程。在中国的能源转型实践中，政府与市场分别使用“看得见的手”与“看不见的手”相互协同，依靠“有为政府”和“有效市场”两个层面实现能源转型目标[5]。在“有为政府”层面，中央政府长期以来通过法律规划制定、计划指标约束引导能源转型方向，地方政府则从过去的政策遵从转向主动试点，因地制宜“自下而上”地推进能源转型工作。然而，由于信息不对称问题，以政府引导为主的能源政策难以对微观主体形成有效激励，实施效果不尽相同[6]。因此，中国的能源政策逐步从政府引导型向市场激励型转变，通过将能源环境权益纳入市场交易，形成“有效市场”对“有为政府”的有益补充。国外研究表明，政府引导与市场激励相结合的混合政策效果往往优于单一政策[7]，但这一结论是否适用于中国的能源政策实践仍有待考察。然而，国内文献多集中于分析单一类型的能源政策，难以反映不同类型能源政策之间的关联，更无法捕捉其中存在的政策协同效应[8]。

为在推进能源转型进程中发挥地方层面“有为政府”的作用，中国于2014年开展了新能源示范城市建设（以下简称“单试点”），其本质是一项政府示范推动型能源政策。2016年，中国又进一步将市场机制引入能源领域，把用能权纳入要素市场化配置改革，建立基于能源消费总量管理的用能权交易制度，旨在优化能源要素的配置。上述两项能源政策，是中国在能源转型领域推动“有为政府”与“有效市场”协同发力的典型代表，学界对二者的政策效应进行了丰富的研究。一方面，研究证明新能源示范城市具有技术创新效应[9]；另一方面，新能源示范城市建设有助于减少试点城市的环境污染物排放，推动碳减排，实现绿色发展[10-12]。用能权交易制度试点也被证实可以提高能源利用效率，实现减污降碳[13-14]。现有文献表明，新能源示范城市建设和用能权交易制度试点两项政策各自单独实施都能促进减污或降碳。但两项政策之间具有目标重合、主体互补、手段协同的特征，若只考虑其中一项政策而忽视另一项政策的影响，可能会造成估计偏误，也无法捕捉两项政策之间的协同作用，更难以探究背后的政策协同机制。

政策协同是政策的制定和实施主体通过不同政策措施的相互协调以更好地实现目标的过程[15]。随着环境与气候问题日益受到重视，协同理论也逐渐应用于节能减排政策的分析中。例如，已有研究考察了“两控区”叠加环境绩效考核的污染减排效应[16]，以及低碳试点政策组合的产业低碳转型效果[17]。现有研究存在两点不足。第一，政府引导是中国运用最多的政策手段，但近年来更加重视市场激励型政策对行政干预的补充，因此针对能源领域政府与市场政策协同的研究亟待加强。第二，现有文献多关注政策组合的协同效应，忽视了政策目标的协同——即一项政策除实现自身目标外的其他收益。同时，现有文献往往只评估单一目标，缺乏对减污降碳这一协同目标的分析。

基于此，顺应政策评估从单一政策转向政策组合协同效应研究的趋势，本文关注新能源示范城市建设和用能权交易制度（以下简称“双试点”）的减污降碳效应。首先，将2014年启动的新能源示范城市建设试点和2016年启动的用能权交易制度试点作为准自然实验，利用2011—2019年中国270个地级市面板数据，采用双重差分法实证检验能源政策“双试点”的减污降碳效应，分析“双试点”相对于“单试点”净效应的强化作用，考察能源政策组合是否具有“1+1>2”的正向协同作用。其次，探究能源政策“双试点”实现减污降碳的政策协同机制及其异质性效果。最后，进一步分析“双试点”实现减污降碳的内在逻辑、空间溢出效应，以及对经济—社会—健康福利的延伸影响。

本文的边际贡献主要体现在三个方面。第一，补充了关于能源政策协同的研究。近年来学界对政策协同的关注日益增长，但多数研究集中在环境政策或创新政策协同的效应评估，鲜有从政府与市场视角研究考察能源政策组合的协同作用。已有文献仅分析了新能源示范城市建设和用能权交易制度试点各自的减污或降碳效应，本文则进一步考虑二者之间的协同作用。第二，丰富了研究减污降碳效应的文献。已有文献仅关注单一政策的减污降碳效应或政策协同的减污降碳效应，未能将政策协同与目标协同相联

① 参见 https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023。

系。本文将能源政策“双试点”作为准自然实验，采用双重差分方法评估两项政策组合的减污降碳效应。第三，对未来政策制定提供理论与经验支持。厘清能源政策之间的关系，识别“有为政府”与“有效市场”之间的协同作用，对于进一步完善能源领域顶层制度设计、打好不同能源政策的“组合拳”以实现气候变化和环境污染的协同治理至关重要。

二、理论假说

作为政府推动能源转型、促进经济社会绿色低碳发展的能源政策，无论是新能源示范城市建设还是用能权交易制度试点，均应具有减污降碳效应。首先，从目标协同视角看，中国目前的能源结构以煤炭为主，煤炭燃烧不仅会产生二氧化碳，还会产生二氧化硫。二者进入大气后，二氧化碳所引致的气温升高会通过物理、化学和生物过程对二氧化硫等污染物产生间接影响，而二氧化硫也可以通过气溶胶对气候变化产生影响[3]。因此，二氧化碳和传统污染物具有同根同源、同过程性，以降碳为主的能源政策可以优化能源结构，减少化石能源燃烧，在降低二氧化碳排放的同时，也有助于同步减少传统污染物排放。其次，从政策内容看，新能源示范城市建设要求优先发展可再生能源，鼓励各城市选取至少两类当地特色新能源重点发展，扩大各类新能源技术在城市区域供电、供热、供气、交通和建筑中的应用比例。当前，中国的污染物和二氧化碳主要来自煤炭等化石能源燃烧，清洁能源消费占比的提高有助于改变以煤炭为主的能源结构，实现减污降碳[18]。此外，国家能源局还对试点城市设置了约束性发展指标，设定规划期内的清洁能源应用比例，这给试点城市推动清洁能源发展、加快能源转型进程施加了基于行政激励的目标约束。但有研究表明，行政干预型的命令或激励手段很可能导致“绿色悖论”问题[19]。因此，2016年在浙江、福建、河南、四川开展的用能权交易制度试点，将用能权纳入要素市场化改革框架中，把市场机制引入能源转型领域，弥补政府干预的不足。用能权交易制度是科斯定理对排污权市场化交易的延伸，通过对用能权指标进行初始分配，实现企业能源外部成本内部化，再引入市场交易机制实现能源资源配置的帕累托最优[13]。具体而言，在能源消费总量控制的前提下，企业超出的用能部分需要从交易市场购买能源使用权，从而推动高耗能企业主动选择节能降耗措施，新增的技术成本也能通过剩余能源使用权的出售得到补偿，从而降低高耗能企业的生产经营成本。而在新制度下无法盈利的低效落后企业则会选择减少能源消费，甚至退出市场，从而深度调整整个行业的用能结构，使其向清洁、高效的方向发展。同时，市场化交易也有助于生产效率高的企业购买用能权来实现更大的产出，或通过出售剩余能源使用权来缓解资金约束，最终有利于促进各种要素向低能耗、高效率项目集聚，减少能源过度消费，实现减污降碳[20]。基于此，本文提出如下假说：

假说1：新能源示范城市建设和用能权交易制度“双试点”具有减污降碳效应。

从政策协同看，相较于“单试点”，“双试点”地区可能会产生更强的减污降碳效应。考虑到政策开展存在时间上的先后顺序，用能权交易制度试点可以发挥对新能源示范城市的强化作用，进一步增强新能源示范城市的减污降碳效应。新能源示范城市建设和用能权交易制度试点均以《能源发展“十二五”规划》为指导框架，旨在逐步优化能源结构、加快能源领域清洁化低碳化转型。因此“双试点”具有政策手段上的互补和递进关系，可以通过政策协同进一步发挥减污降碳效应。在互补性方面，“双试点”体现了“有为政府”与“有效市场”的有机互补。新能源示范城市建设主要依赖政府设置的约束性发展指标，通过考核机制加快清洁能源发展利用；而用能权交易制度则是依靠市场机制，利用价格信号促使企业进行绿色低碳转型，实现能源要素在总量能耗约束下的最优配置。在递进关系上，“双试点”深化了市场在能源转型中的关键作用。新能源示范城市建设强调模式创新，通过金融支持的方式激发投资与需求主体的市场活力；用能权交易制度试点则通过制度设计赋予企业更多自主权，使其根据成本自主在“用能”和“节能”上权衡，利用市场交易机制实现能源最优化利用，确保在新能源有序发展的前提下，逐步降低存量能源消耗，提高绿色发展水平。因此，“双试点”可以进一步深化“单试点”的政策效能，在此基础上发挥能源政策的协同作用，这表现为用能权交易制度试点进一步强化了新能源示范城市的减污降碳效应，两项能源政策组合可以发挥“1+1>2”的正向协同作用。基于此，本文提出如下假说：

假说2：能源政策“双试点”比“单试点”具有更强的减污降碳效应，政策组合发挥了“1+1>2”的正向

协同作用。

就政策协同机制而言，能源政策“双试点”可以通过政府引导和市场激励两个手段协同推进减污降碳。在政府引导机制上，主要体现为清洁能源技术创新与清洁能源消费替代。清洁能源产业作为战略性绿色产业，需要大规模的固定资产投资，运营成本较高，不具备短期经济盈利性，市场主体通常缺乏主动投资的意愿。但该产业明显的正外部性会驱动政府积极干预并引导清洁能源产业发展。新能源示范城市建设作为一项政府引导型政策，依靠政府规划编制的引导扶持模式，不仅能够促进供给侧的清洁能源技术创新和推广应用，还可以统筹区域内各方面资源，在需求侧完成清洁能源消纳，提高清洁能源在城市能源消费中的占比。此外，用能权交易制度通过“用能单位自产自用可再生能源不计入其综合能源消费量”的政策设计，鼓励企业生产和使用清洁能源。这有助于在政府引导之外，依靠能源权益交易的成本机制和市场预期机制，激励市场主体投资清洁能源技术，推动清洁能源替代传统能源，从而降低长期用能成本。清洁能源本身具有“零碳”特征，技术创新可以降低清洁能源与传统能源的价格差距，同时提高推广应用的技术适应性和社会认可度，在能源替代过程中可直接实现减污降碳的双重效果[21]。

在市场激励机制上，主要体现为能源利用效率提升与产业结构优化。用能权交易制度作为市场激励型政策，设计了“配额内用能免费、超限额用能有偿”的计划与市场结合机制。该机制激励用能主体积极采取节能降耗措施，提高配额内能源利用效率，避免支付超额用能的购买成本。行业领先者也有动力通过提高能源利用效率的方式，购入更多的用能权以扩大产出，或在市场出售剩余用能权实现盈利，最终优化整个行业的能效结构。此外，新能源示范城市建设也能在推广清洁能源应用的同时，对低效高污染能源产生挤出效应，形成市场激励机制的协同作用。提高能源利用效率可以降低单位国内生产总值（GDP）能耗，这有助于减少能源过度投入，直接降低污染与碳排放水平[22]。用能权交易也为资源重新配置提供了经济手段，用能主体通过市场化交易，推动有限的能源要素流向高能效产业，低效落后产能则在成本机制的作用下进行清洁化改造或退出市场，最终通过优胜劣汰的市场竞争方式优化要素投入和产出结构，促进产业向合理化方向演进。同时，新能源示范城市协同引导新能源项目发展，通过初始的产业政策冲击，打破新能源产业发展不足的局面，提高产业空间布局与发展结构的合理化程度。产业结构反映了生产活动的污染密集性特征，合理的产业结构对改善环境和气候质量具有重要作用[23]。基于此，本文提出如下假说：

假说3：能源政策“双试点”具有政府引导与市场激励之间的政策协同机制，通过清洁能源技术创新、清洁能源消费替代、能源利用效率提升和产业结构优化四条路径实现减污降碳。

三、研究设计

（一）模型构建

本文将新能源示范城市建设与用能权交易制度“双试点”作为准自然实验，通过双重差分模型评估其对城市减污降碳的效应：

$$Y_{it}=c+\beta DID_{it}+\sum_j \alpha_j X_{it}+\gamma_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \tag{1}$$

其中，下标i代表城市，t代表年份；被解释变量Y_{it}为城市的减污降碳水平，以二氧化硫与二氧化碳排放量的对数值衡量；核心解释变量DID_{it}为“双试点”城市与政策实施时间的交互项，城市i同时入选新能源示范城市和用能权交易制度试点的当年及以后年份取值为1，否则为0；X_{it}为本文的控制变量；γ_i为个体固定效应，μ_t为时间固定效应；ε_{it}为随机误差项。

（二）变量选择

1.被解释变量

减污降碳水平（Y_{it}）。二氧化硫作为典型大气污染物，一直是中国政府的主要控制对象；二氧化碳作为主要温室气体，其排放指标被纳入国家规划，实行碳排放“双控”。因此，本文使用二氧化硫排放量取对数（$\ln SO_2$）与二氧化碳排放量取对数（$\ln CO_2$）分别衡量城市的减污和降碳水平，若二者同时下降，则说明

存在减污降碳协同效应。

2.核心解释变量

新能源示范城市建设与用能权交易制度“双试点”(DID_{it})。为评估两项试点各自及政策组合的减污降碳效应,本文将政策冲击分为三种情景:

情景1:新能源示范城市建设“单试点”($NEDC_{it}$)。该变量为$treat_{1i}$和$post_{1t}$的交乘项:城市i若为新能源示范城市则$treat_{1i}$取值为1,否则为0;时间t若在2014年及以后则$post_{1t}$取值为1,否则为0。

情景2:用能权交易制度“单试点”($ECRT_{it}$)。该变量为$treat_{2i}$和$post_{2t}$的交乘项:城市i若位于用能权交易制度试点地区则$treat_{2i}$取值为1,否则为0;时间t若在2017年及以后则$post_{2t}$取值为1,否则为0。

情景3:新能源示范城市建设与用能权交易制度“双试点”(DID_{it})。该变量为$treat_{3i}$和$post_{3t}$的交乘项:城市i若为新能源示范城市且位于用能权交易制度试点地区,则视为处理组$treat_{3i}$取值为1,否则为0;时间t若在“双试点”政策实施当年及之后,$post_{3t}$取值为1,否则为0。

本文重点关注情景3中DID_{it}的回归系数,其表征能源政策“双试点”对城市减污降碳水平的影响大小。情景1与情景2主要用于剥离两项“单试点”的净效应,以便进行“双试点”政策组合的协同效应比较。最终,本文共涉及66个新能源示范城市,以及用能权交易制度试点地区(浙江、福建、河南、四川)内的55个地级市,两项政策的重叠区域即形成“双试点”城市。

3.控制变量

除“双试点”政策外,其他因素亦可能影响城市的减污降碳水平。为此,本文选择如下变量加以控制:经济发展水平(*gdp*)以城市地区生产总值取对数表示;产业结构(*str*)以城市第二产业增加值占城市GDP的比重表示;人口密度(*pop*)以城市总人口数与城市面积的比值表示;固定资产投资(*fix*)以城市固定资产投资额取对数表示;科教水平(*se*)以政府科教支出总额占一般公共预算支出的比重表示;工资水平(*wag*)以职工平均工资表示;城市绿化水平(*gre*)以人均公园绿地面积表示;对外开放水平(*fdi*)以当年实际使用外资总额取对数表示。本文变量的描述性统计结果见表1。

表1 变量描述性统计结果

变量		情景1		情景2		情景1和2		情景3			
		处理组		处理组		对照组		处理组		对照组	
		平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
被解释变量	$\ln SO_2$	10.290	1.037	9.748	1.157	9.986	1.233	10.051	1.299	10.010	1.193
	$\ln CO_2$	17.213	0.636	16.715	0.709	16.926	0.714	17.287	0.509	16.951	0.714
解释变量	*DID*	0.667	0.472	0.333	0.472	0	0	0.333	0.474	0	0
控制变量	*gdp*	16.863	0.902	16.687	0.709	16.431	0.820	17.004	0.812	16.564	0.840
	str	45.810	10.245	50.485	8.161	46.651	10.594	51.095	8.498	47.114	10.267
	pop	0.403	0.269	0.361	0.236	0.371	0.256	0.387	0.301	0.376	0.256
	fix	16.541	1.022	16.437	0.694	16.085	1.013	16.709	0.773	16.239	0.989
	se	0.188	0.038	0.205	0.035	0.193	0.044	0.224	0.043	0.194	0.042
	wag	10.896	0.318	10.871	0.312	10.843	0.295	10.899	0.320	10.858	0.303
	gre	14.314	4.335	12.578	2.750	13.828	5.039	11.955	2.387	13.721	4.618
	fdi	10.490	1.905	10.124	1.596	9.736	1.836	10.698	1.669	9.958	1.838

(三)数据来源

本文采用2011—2019年中国270个地级市的面板数据。其中,新能源示范城市建设与用能权交易制度试点城市名单来自国家能源局和发改委官方网站;碳排放数据来源于中国碳核算数据库(CEADs);机制变量中的专利数据来源于国家知识产权局(CNIPA);清洁能源消费数据来源于Scientific Data的开源数据;其余城市层面的数据均来源于历年《中国城市统计年鉴》与《中国城乡建设统计年鉴》。

四、实证结果分析

（一）基准回归：能源政策“双试点”的减污降碳效应

本文估计了能源政策“双试点”对城市减污降碳的影响，基准回归结果如表2所示。第(1)(3)列展示了仅将能源政策“双试点”作为解释变量对二氧化硫和二氧化碳排放量的回归结果，其回归系数均显著为负。加入控制变量后，第(2)(4)列的*DID*回归系数同样在1%的水平下显著为负，回归系数分别为−0.522和−0.076。这表明，相比非“双试点”城市，能源政策“双试点”使城市的污染水平平均降低约52.2%，碳排放水平平均降低约7.6%。因此，能源政策“双试点”对减污和降碳均产生积极影响，能够同步减少二氧化硫和二氧化碳排放量，具有显著的减污降碳效应，假说1得到验证。

表2　基准回归估计结果

变量	$\ln SO_2$		$\ln CO_2$	
	(1)	(2)	(3)	(4)
DID	−0.511***	−0.522***	−0.073***	−0.076***
	(0.185)	(0.181)	(0.024)	(0.022)
控制变量	否	是	否	是
观测值数	2 430	2 430	2 430	2 430
R^2	0.888	0.889	0.991	0.992

注：1.（）内为聚类到城市层面的稳健标准误。

2. ***表示在1%的水平下显著。

3. 个体和时间固定效应已控制，控制变量估计结果留存备索。

（二）进一步检验：“双试点”政策组合的协同效应

本文进一步考察“双试点”的政策组合是否比单独实施某一项政策的“单试点”具有更强的减污降碳效应，以及“双试点”政策组合是否发挥了“1+1>2”的正向协同作用。为回答上述问题，首先剥离两项“单试点”政策的净效应：保留新能源示范城市建设“单试点”样本作为处理组，以既非新能源示范城市又非用能权交易制度试点的城市作为对照组，此时交互项*NEDC*反映单独实施新能源示范城市建设的减污降碳效应。同理，保留用能权交易制度“单试点”样本，以既非用能权交易制度试点又非新能源示范城市建设的样本作为对照组，此时交互项*ECRT*反映单独实施用能权交易制度试点的减污降碳效应。两组样本的回归结果如表3第(1)～(4)列所示，两项“单试点”均具有减污降碳效应，从系数大小看，单独实施新能源示范城市建设的减污和降碳估计系数分别为−0.125和−0.022，单独实施用能权交易制度试点的减污和降碳估计系数分别为−0.214和−0.068，在绝对值上均低于基准回归中“双试点”政策的估计系数，表明能源政策组合的“双试点”比仅实施某一项政策的“单试点”具有更强的减污降碳效应，政策协同作用得到有效发挥。

由于用能权交易制度试点时间为2017年，在2014年启动的新能源示范城市建设之后，两项政策试点的先后时差为本文观测政策叠加效果提供了条件。因此，本文进一步考察用能权交易制度在新能源示范城市建设基础上的强化作用。保留新能源示范城市样本和“双试点”城市样本，此时*DID*反映在新能源示范城市中叠加实施用能权交易制度试点的减污降碳效应，即用能权交易制度试点对新能源示范城市减污降碳效应的强化作用。表3第(5)(6)列显著为负的*DID*估计系数表明，用能权交易制度的试点可以在新能源示范城市建设的基础上使污染水平和碳排放水平进一步降低约48.5%和7.6%，说明新能源示范城市叠加用能权交易制度试点成为“双试点”城市后，减污降碳效应得到明显强化，能源政策组合发挥了“1+1>2”的正向协同作用，假说2得到验证。

表3 “双试点”政策组合的协同效应估计结果

变量	新能源示范城市“单试点”净效应		用能权交易制度“单试点”净效应		“双试点”对“单试点”的强化效应	
	(1)ln SO_2	(2)ln CO_2	(3)ln SO_2	(4)ln CO_2	(5)ln SO_2	(6)ln CO_2
DID					−0.485**	−0.076***
					(0.189)	(0.023)
NEDC	−0.125*	−0.022**				
	(0.069)	(0.010)				
ECRT			−0.214**	−0.068***		
			(0.103)	(0.015)		
观测值数	1 935	1 935	1 836	1 836	594	594
R^2	0.886	0.992	0.888	0.992	0.898	0.990

注：1.（）内为聚类到城市层面的稳健标准误。

2. *、**和***分别表示在10%、5%和1%的水平下显著。

3. 个体和时间固定效应已控制，控制变量估计结果留存备索。

（三）稳健性检验①

1.平行趋势检验

满足平行趋势检验是双重差分方法运用的前提，即“双试点”政策未开始时，处理组和对照组城市的减污降碳水平应具有相同的变化趋势。本文构造了年份虚拟变量与核心解释变量“双试点”的交互项，纳入式(1)进行平行趋势检验。结果显示，在“双试点”冲击前，处理组城市和对照组城市的污染排放水平和碳排放水平均无显著差异，满足试点前的平行趋势假设。在“双试点”开展当年及以后，处理组城市的减污和降碳政策动态效应显著异于零，表明能源政策“双试点”具备减污降碳效应。

虽然“双试点”满足平行趋势检验，但Roth等[24]指出，政策试点前具有相同趋势并不能保证满足平行趋势检验，传统的事件研究法在统计意义上是低功效的，且可能造成有偏估计。因此，本文继续进行平行趋势检验的敏感性分析，参考Rambachan等[25]的方法，通过构造与平行趋势的最大偏离程度，以及与该偏离程度相对应的处理后点估计量的置信区间，若置信区间不包含0，则表明处理效应对平行趋势的偏离程度具有较好的稳健性。设置最大偏差度为*DID*回归系数标准误的一倍，结果表明无论是减污还是降碳，90%的置信区间内均不包含0，说明新能源示范城市建设和用能权交易制度“双试点”在开展当年具有稳健的减污降碳效应，通过了平行趋势的敏感性检验。

2.RI-DID

鉴于本文处理组样本为12个地级市，可能因样本过少导致估计偏误。为保证基于传统DID模型的基准回归结果稳健，本文进一步参考裴丹等[26]的研究，使用基于蒙特卡洛随机推断的小样本双重差分模型（RI-DID）对回归标准误进行调整，具体如下：

提出原假设H0：$E[Y_i(treat_{3i}=1)-Y_i(treat_{3i}=0)]=0$，如果没有开展“双试点”，则有$E[Y_i(treat_{3i}=1)]=E[Y_i(treat_{3i}=0)]$。

对于原始样本，构造检验统计量：$\tau=\overline{Y}_i(treat_{3i}=1)-\overline{Y}_i(treat_{3i}=0)$。

对于任意的随机化过程，构造检验统计量：$\tau_r^*=\overline{Y}_i(treat_{3i}^r=1)-\overline{Y}_i(treat_{3i}^r=0)$。

如果假设H0成立，则τ和τ_r^*将服从同一分布，从而可以计算二者差异的P值：

$$P=\frac{1}{N}\sum_{r=1}^{N}\mathrm{II}(|\tau_r^*|>|\tau|) \tag{2}$$

若$P\leqslant\alpha$，则可以在α的显著性水平下拒绝原假设H0，认为存在处理效应。本文通过蒙特卡洛抽样法从原始样本中随机独立抽取N_1个处理组和N_2个对照组，并根据式(1)对随机抽取的样本进行回归，重

① 篇幅有限，结果留存备索。

复上述过程100次，最后根据式(2)计算100次随机抽取过程的检验统计量的绝对值大于原始样本检验统计量的绝对值的概率，形成P值。回归结果显示，RI-DID模型中的回归系数与传统DID模型相比无显著差异，且DID项的P值均小于0.001，说明当使用RI调整标准误时，核心解释变量的回归系数始终保持显著，因此可以拒绝原假设H0，认为“双试点”政策存在处理效应，证实了基准回归结果的稳健性。

3.其他稳健性检验

PSM-DID。针对样本选择偏误可能导致的估计偏差，采用PSM-DID方法进行1∶4近邻匹配修正后，利用匹配样本再次回归。

内生性检验。为排除反向因果导致的内生性问题，即“双试点”城市选取可能与城市历史减污降碳水平相关，进一步将“双试点”城市虚拟变量$treat_{3i}$作为被解释变量，城市污染排放水平$\ln SO_2$和碳排放水平$\ln CO_2$作为解释变量，使用Logit模型检验影响“双试点”城市样本选择的因素。

替换被解释变量。为消除不同城市人口规模导致的污染排放差异，将被解释变量替换为人均排放量后再次回归。

调整样本结构。基准回归中情景3的对照组包含未试点城市、新能源示范城市“单试点”城市和用能权交易制度“单试点”城市，实际是将“双试点”城市与“非双试点”城市对比。为更准确地识别“双试点”的减污降碳效应，进一步剔除单独实施两项“单试点”的城市样本，将“双试点”城市作为处理组，未试点城市作为对照组，识别能源政策“双试点”的净效应。结果显示，“双试点”的减污降碳效应既高于两项“单试点”净效应之和，也强于基准回归中的平均处理效应，证实了能源政策组合发挥了“1+1>2”的正向协同作用。

排除其他政策影响。本文考虑了2013—2016年实施的碳排放权交易试点政策、2010—2017年实施的低碳城市试点政策、2017年实施的大气污染防治政策、2012—2018年实施的清洁能源示范省建设，通过在模型中控制这些政策变量后重新估计。

遗漏变量检验。针对遗漏不可观测变量的潜在问题，参考Oster[27]的方法，使用已加入的控制变量与处理变量之间的相关性信息，计算不可观测变量与处理变量的相关性，估计遗漏变量导致的偏误大小。

上述稳健性检验结果共同证实，“双试点”具有显著的减污降碳效应，证明本文结论稳健可靠。

(四)政策协同机制分析

基准回归结果表明能源政策“双试点”具有显著的减污降碳效应，但其如何发挥政策协同效应？本文基于前文理论假说的分析，从政府引导与市场激励互补协同的视角，参考江艇[28]的研究，构建如下模型进一步检验“双试点”的政策协同机制：

$$M_{it}=c+\beta NEDC_{it}+\sum_j\alpha_jX_{it}+\gamma_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \tag{3}$$

$$M_{it}=c+\beta ECRT_{it}+\sum_j\alpha_jX_{it}+\gamma_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \tag{4}$$

$$M_{it}=c+\beta DID_{it}+\sum_j\alpha_jX_{it}+\gamma_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \tag{5}$$

其中，M_{it}为机制变量，包含清洁能源技术创新、清洁能源消费替代、能源利用效率和产业结构优化。式(3)(4)分别检验新能源示范城市建设下的政府引导机制以及用能权交易制度试点下的市场激励机制，式(5)则进一步验证“双试点”的政策协同机制。

1.新能源示范城市建设下的政府引导机制

从政府引导角度看，新能源示范城市建设要求地方政府推动各类清洁能源技术的推广应用，提升城市清洁能源消费比重。因此，政府引导下的供给侧技术创新和需求侧能源消纳是“双试点”政策实现减污降碳的关键渠道。

在供给侧技术创新层面，首先根据国际专利分类(IPC)，从国家知识产权局专利分析与检索系统中筛选清洁能源相关专利授权信息，并汇总至城市层面[29]。其次，从知识存量视角衡量城市清洁能源技术创新水平($Inno$)：

$$Inno_{it}=\sum_{j=0}^{2}CEPAT_{it}\exp[-\beta_1(t-j)]\{1-\exp[-\beta_2(t-j)]\} \tag{6}$$

其中，$CEPAT_{it}$是城市i在t年所获清洁能源专利授权数量；β_1为专利折旧率，取0.22；β_2为专利扩散率，取0.03。

在需求侧的能源消纳层面，采用清洁能源电力消费占全社会用电量的比重衡量城市清洁能源替代水平（*Sub*）。清洁能源消费数据来自Yang等[30]的研究，涵盖风电、太阳能、水电和核能四种清洁能源的终端消费量。

上述两个机制变量的回归结果见表4第（1）～（6）列。结果显示，新能源示范城市建设“单试点”对清洁能源技术创新和消费替代均产生显著促进作用，但用能权交易制度“单试点”的技术创新效应不显著，甚至降低了清洁能源替代水平。这可能源于清洁能源技术投入成本高、未来收益不确定性大的特征，而用能权交易作为市场型政策，在缺乏政府引导时难以有效激励市场主体主动采纳清洁能源技术。然而，在考虑政策组合后，“双试点”城市在清洁能源技术创新和消费替代上均表现出更大的促进效应，说明“双试点”政策在政府引导机制上发挥了协同效应。

表4 政策协同机制分析估计结果

变量	新能源示范城市建设下的政府引导机制					
	清洁能源技术创新			清洁能源消费替代		
	（1）*Inno*	（2）*Inno*	（3）*Inno*	（4）*Sub*	（5）*Sub*	（6）*Sub*
NEDC	2.819***			0.088**		
	（1.056）			（0.041）		
ECRT		0.915			−0.290**	
		（1.066）			（0.140）	
DID			4.089*			0.326***
			（2.434）			（0.088）
观测值数	1 935	1 836	2 430	1 908	1 809	2 403
R^2	0.736	0.710	0.728	0.734	0.761	0.762
变量	用能权交易制度试点下的市场激励机制					
	能源利用效率提升			产业结构优化		
	（7）*Ene*	（8）*Ene*	（9）*Ene*	（10）*RS*	（11）*RS*	（12）*RS*
NEDC	−0.007			0.041		
	（0.007）			（0.057）		
ECRT		−0.021**			−0.044	
		（0.011）			（0.050）	
DID			−0.051**			−0.116*
			（0.026）			（0.067）
观测值数	1 908	1 809	2 403	1 935	1 836	2 430
R^2	0.807	0.841	0.809	0.851	0.862	0.862

注：1.（）内为聚类到城市层面的稳健标准误。

2. *、**和***分别表示在10%、5%和1%的水平下显著。

3. 个体和时间固定效应已控制，控制变量估计结果留存备索。

2.用能权交易制度试点下的市场激励机制

从市场激励角度看，用能权交易制度通过总量目标控制下限额分配的制度设计，能够提升市场主体对存量能源的利用水平。超限额部分的用能权有偿使用，则进一步通过“优胜劣汰”的成本机制优化区域产业结构。因此，市场激励下的能源利用效率提升和产业结构优化是“双试点”实现减污降碳的另一关键渠道。

本文将城市全社会用电量、人工煤气和天然气供气量、液化石油气供气量折算为标准煤吨数，以单位GDP能耗的形式表征能源利用效率（*Ene*）。产业结构优化则参考干春晖等[31]提出的衡量产业结构合理化的泰尔指数，构建产业结构合理化指标，计算方法如下：

$$RS=\sum_{i=1}^{3}(Y_i/Y)\ln[(Y_i/L_i)/(Y/L)] \tag{7}$$

其中，Y为当年总产出，Y_i为第i个产业的当年产出，L为就业水平，L_i为第i个产业的就业水平，RS越大意味着产业结构越不合理。本文将上述两个机制变量进行回归，结果如表4第（7）～（12）列。结果

表明，用能权交易制度“单试点”可显著提升城市的能源利用效率，叠加新能源示范城市建设后，“双试点”城市的能源利用效率提升效应更大。此外，虽然“单试点”城市的产业结构优化效应并不明显，但“双试点”政策组合可显著促进产业结构合理化，说明产业结构优化是单一政策试点难以实现的，需要“双试点”政策组合的政府引导与市场激励双向协同才能实现。

上述结果说明，新能源示范城市建设与用能权交易制度“双试点”发挥了政府引导与市场激励的政策协同机制，通过政府引导下的清洁能源技术创新和清洁能源消费替代，以及市场激励下的能源利用效率提升和产业结构优化四条路径实现减污降碳，假说3得到验证。

（五）异质性分析

1.城市人口规模异质性

在城市范围内开展清洁能源的推广应用需要足够的现实需求进行消纳，而城市人口规模与能源需求侧的终端消纳问题密切相关。大城市由于人口密集、经济活跃，其能源需求具有基数大、负荷高、持续性强的特点，为清洁能源消纳提供了充足的市场基础。相反，小城市的经济体量和人口规模较小，相应的能源消费总量和峰值负荷通常低于大城市，可能面临能源消纳瓶颈。因此，在人口规模大的地区实施“双试点”将更有利于形成较大规模利用和整体配套的清洁能源产业体系，这些地区相对充足的能源供给，也会通过规模效应推高用能权交易规模，发挥用能权交易在节能降耗方面的市场优势。本文按照城市年平均人口的中位数，将样本划分为人口规模大和人口规模小的城市，分组回归结果如表5第(1)～(4)列所示。结果显示，在人口规模大的城市，*DID*回归系数对减污和降碳都在1%的水平下显著为负，说明“双试点”在人口规模大的城市发挥了更为明显的减污降碳效应。

表5　异质性分析估计结果

变量	人口规模大		人口规模小		环境目标压力大	
	(1)lnSO_2	(2)lnCO_2	(3)lnSO_2	(4)lnCO_2	(5)lnSO_2	(6)lnCO_2
DID	−0.725***	−0.092***	−0.026	−0.034	−0.149	−0.041
	(0.200)	(0.023)	(0.194)	(0.034)	(0.146)	(0.028)
观测值数	1 211	1 211	1 213	1 213	1 201	1 201
R^2	0.875	0.991	0.904	0.989	0.904	0.994
变量	环境目标压力小		资源型城市		非资源型城市	
	(7)lnSO_2	(8)lnCO_2	(9)lnSO_2	(10)lnCO_2	(11)lnSO_2	(12)lnCO_2
DID	−0.681***	−0.129***	−0.656*	−0.100***	−0.447**	−0.056**
	(0.168)	(0.022)	(0.392)	(0.027)	(0.191)	(0.027)
观测值数	1 229	1 229	990	990	1 440	1 440
R^2	0.900	0.991	0.885	0.991	0.890	0.992

注：1.（）内为聚类到城市层面的稳健标准误。

2. *、**和***分别表示在10%、5%和1%的水平下显著。

3. 个体和时间固定效应已控制，控制变量估计结果留存备索。

2.环境目标压力异质性

能源结构是解决环境污染问题的根本手段，能源政策“双试点”的设立初衷，是为了发挥可再生能源在保护环境方面的作用，推动绿色发展。因此，城市间环境压力的差异可能会导致“双试点”效果的异质性。城市环境压力往往来自上级政府的偏向性环境目标约束，2006年政府首次将二氧化硫和化学需氧量（COD）两大污染物列入排放总量控制约束性指标。考虑到二氧化硫已在本文中作为被解释变量，这里选取相对独立的COD作为衡量城市环境目标压力的污染物指标。本文手工收集整理了“十一五”“十二五”“十三五”期间各省份、各地级市的COD减排目标数据，通过各地级市COD减排目标与其所在省份减排目标的差额来衡量城市环境目标压力，并以0为分界将样本划分为两组。表5第(5)～(8)列估计结果表明，“双试点”在环境目标压力小的城市具有更强的减污降碳效应。环境目标压力大的城市通常面临

更为严峻的环境问题，减污降碳的协同实现难度相对更大。另外，在上级政府严格的环境约束性指标考核压力下，地方政府可能先行先试，主动利用可再生能源和清洁能源替代传统能源，从而导致新政策的试点效果由于瓶颈效应而相对不明显。

3.城市资源禀赋异质性

能源产业发展离不开自然资源支持，资源丰富的城市通常以资源型产业为主导，产业链相对完备，在能源转型中新旧产业更替环节具有更大潜力。此外，本地丰富的能源供给也为用能权交易提供了广泛的市场需求空间。资源型城市主要依赖本地区矿产、森林等自然资源的开采与加工作为主导产业，面临资源枯竭、环境恶化的不利局面。能源政策“双试点”的出台，为资源型城市传统能源产业绿色化转型、培育清洁能源替代产业提供了政策机遇。

因此，“双试点”效果在资源型城市应更为明显。本文根据《全国资源型城市可持续发展规划（2013—2020年）》，将样本划分为资源型城市和非资源型城市进行分组回归。表5第（9）～（12）列结果显示，尽管两组*DID*回归系数均显著为负，但资源型城市的回归系数相对更大，表明“双试点”在资源型城市中具有更强的减污降碳效应。

五、进一步分析

（一）“双试点”的降碳协同减污效应

能源政策的目标是实现能源转型，而能源转型可以从根源上减少碳排放。因此，新能源示范城市建设与用能权交易制度试点在本质上均属于降碳政策，但由于环境污染物与二氧化碳的同根同源、同过程性，能源政策在实现降碳直接目标时，也能同时实现减污的协同目标。本文进一步验证能源政策“双试点”减污降碳效应的实现逻辑：降碳协同减污。

参考Zhu等[32]的思路，计算各城市在“双试点”实施年份之前的平均二氧化碳排放量$m\ln CO_{2i}$，并与*DID*进行交乘，构建回归模型如下：

$$\ln SO_{2it}=c+\beta DID_{it}\times m\ln CO_{2i}+\sum_j\alpha_jX_{it}+\gamma_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \tag{8}$$

回归系数β反映“双试点”政策在不同二氧化碳历史排放水平上的减污效应。结果表明，无论是否加入控制变量，系数β均在1%的水平下显著为负，说明“双试点”在二氧化碳历史排放水平更高的城市中具有更强的减污效果，在碳减排的同时有效降低二氧化硫排放，即“双试点”实现了降碳协同减污，减污效应根源于“双试点”的降碳效应①。

（二）“双试点”的空间溢出效应

由于空气污染物和温室气体具有空间扩散特征，能源政策“双试点”在改善本地环境和气候状况的同时，也能同步减少周边地区的污染水平和碳排放量。此外，在示范效应和学习效应影响下，邻近地区亦可从试点地区获得与新能源项目相关的创新技术，并通过政策效仿等方式获取环境气候收益。因此，本文进一步分析能源政策“双试点”的空间溢出效应，利用城市经纬度信息构建反距离空间权重矩阵，设置如下空间计量回归模型：

$$Y_{it}=c+\rho\boldsymbol{W}Y_{it}+\beta DID_{it}+\theta\boldsymbol{W}DID_{it}+\sum_j\alpha_jX_{it}+\sum_j\delta_j\boldsymbol{W}X_{it}+\gamma_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \tag{9}$$

其中，$\boldsymbol{W}$为空间权重矩阵，ρ为空间自回归系数，θ为能源政策“双试点”的空间滞后项回归系数，δ_j为控制变量的空间滞后项回归系数。

分别使用空间杜宾模型（SDM）、空间滞后模型（SAR）和空间误差模型（SEM）的回归结果见表6，ρ显著为正的结果表明污染水平和碳排放水平具有明显的空间相关性，“双试点”政策具有空间溢出效应的理论基础。第（1）（2）列*DID*的空间滞后项回归系数均显著为负，说明“双试点”政策的实施不仅能够实

① 限于篇幅，结果留存备索。

现本地的减污降碳效应，也能带动周边地区实现减污降碳。

表6　“双试点”的空间溢出效应估计结果

变量	SDM		SAR		SEM	
	(1)lnSO_2	(2)lnCO_2	(3)lnSO_2	(4)lnCO_2	(5)lnSO_2	(6)lnCO_2
DID	−0.434***	−0.051***	−0.504***	−0.059***	−0.494***	−0.050***
	(0.077)	(0.011)	(0.297)	(0.011)	(0.077)	(0.011)
W×*DID*	−1.787*	−0.380***				
	(1.000)	(0.136)				
ρ	0.532***	3.316***	0.705***	2.546***		
	(0.115)	(0.028)	(0.030)	(0.019)		
λ					0.679***	3.301***
					(0.089)	(0.032)
Wald 空间滞后项检验	50.926***	29.072***				
Wald 空间误差项检验	55.679***	58.582***				
观测值数	2 421	2 421	2 421	2 421	2 421	2 421
R^2	0.660	0.153	0.513	0.012	0.240	0.001

注：1.（）内为聚类到城市层面的稳健标准误。

2. *和***分别表示在10%和1%的水平下显著。

3. 个体和时间固定效应已控制，控制变量估计结果留存备索。

（三）“双试点”的经济—社会—健康福利

本文关于能源政策“双试点”的政策效应评估集中于环境气候领域，下面尝试跳出这一领域，进一步分析“双试点”的经济—社会—健康多重福利效应。

一方面，“双试点”城市通过制定有利于新能源利用的投资政策，引导新能源产业发展，促进现有产业基础设施转型升级，以投资拉动经济增长并提供就业机会。另一方面，“双试点”城市注重市场在资源配置中的决定性作用，通过改善能源要素配置效率，促进优质要素流向优质产业，推动产业间均衡高效发展，提升经济整体运行效率。与此同时，“双试点”发挥减污降碳效应的同时，环境与气候问题的缓解也有助于改善居民健康水平。

因此，本文选取城市人均GDP（*Pgdp*）和第二产业产值（*Ind*）来衡量经济福利。本文还选取城市就业人数（*Job*）和城镇居民可支配收入（*Inc*）来衡量社会福利。在健康福利方面，本文基于中国健康与养老追踪调查（CHARLS）中2011、2013、2015和2018年的微观数据，从生理健康、心理健康和社会适应能力三个维度衡量居民健康水平（*Hea*）。

表7结果显示，能源政策“双试点”显著提升了试点地区经济福利，说明“双试点”在减污降碳的同时，并未拖累城市经济发展，而是实现环境气候与经济发展的脱钩，推动二者相容发展。在此基础上，“双试点”还增进了社会福利，促进了当地就业和居民收入水平提升。最后，“双试点”在实现减污降碳的同时，也改善了居民健康水平，增进了健康福利。

表7　“双试点”的经济—社会—健康福利效应估计结果

变量	经济福利		社会福利		健康福利
	(1)*Pgdp*	(2)*Ind*	(3)*Job*	(4)*Inc*	(5)*Hea*
DID	0.444*	0.019**	0.154*	0.018*	0.033**
	(0.228)	(0.008)	(0.080)	(0.010)	(0.016)
观测值数	2 430	2 430	2 430	2 430	21 240
R^2	0.481	0.969	0.298	0.954	0.645

注：1.（）内为聚类到城市层面的稳健标准误。

2. *和**分别表示在10%和5%的水平下显著。

3. 个体和时间固定效应已控制，控制变量估计结果留存备索。

六、结论与政策启示

本文基于2011—2019年全国270个地级市的面板数据，采用DID方法实证分析了新能源示范城市建设与用能权交易制度“双试点”的减污降碳效应。本文研究结论有五点。第一，能源政策“双试点”的实施对二氧化硫和二氧化碳排放量均具有显著抑制作用，具备明显减污降碳效应。第二，“双试点”城市相比“单试点”城市具有更强的减污降碳效应，表现为用能权交易制度试点强化了新能源示范城市的政策效应，且能源政策组合发挥了“1+1>2”的正向协同作用。第三，能源政策“双试点”具有政府引导与市场激励的政策协同机制，通过清洁能源技术创新、清洁能源消费替代、能源利用效率提升和产业结构优化四条路径实现减污降碳。第四，“双试点”在人口规模大、环境目标压力小和资源禀赋丰裕的城市表现出更好的减污降碳效果。第五，降碳协同减污是“双试点”政策实现减污降碳的内在逻辑，且具有空间溢出特征。在减污降碳的基础上，能源政策“双试点”可进一步增进经济—社会—健康福利。随着美丽中国建设全面推进，如何推进减污降碳协同增效成为未来绿色低碳发展的关键问题。本文研究结论的政策启示如下：

第一，注重“有为政府”与“有效市场”的有机结合，充分发挥能源政策之间的协同作用。能源转型对减污降碳协同增效意义重大。深化能源体制机制改革，提升能源领域市场化水平，发挥市场在能源要素配置中的决定性作用，同时注重政府引导功能，培育扶持市场主体的创新意愿与能力，规范能源发展方向，力求实现政府引导与市场激励的协同发力。

第二，加强目标管理，推进减污和降碳的协同治理。能源转型背景下，污染治理与碳减排是一个问题的两面。挖掘减污政策的降碳效应与降碳政策的减污效应，遵循减污与降碳系统的内在规律，利用政策的目标协同特征，增进减污降碳协同程度，提升施策效率。

第三，完善政策设计，因地制宜提升能源政策与不同地区的匹配度。针对人口规模较小的城市，一方面充分激活本地能源消纳潜力，避免供给侧盲目扩张清洁能源项目，通过布局更多“小而精”的精准化、集约化分布式能源项目，提升政策实施效能。另一方面加快技术创新，拓展清洁能源在市政、交通、建筑等城市领域应用场景，主动培育多元化能源消费市场，构建“以需定供，以供创需”的清洁能源发展模式。

第四，关注存量与增量的关系，提升存量能源的低碳化利用和新增能源的清洁化水平。应进一步推动能源要素市场化交易，利用市场机制推动用能主体开展传统能源技术低碳化改造，实现存量能源低碳化利用，持续提升能源利用效率。同时滚动开展新一轮新能源示范城市建设，制定优惠政策扩大新能源应用场景，有序降低非化石能源消费比重，促进能源结构绿色低碳转型。

第五，定期开展政策验收评估，进一步扩大多领域、多层次协同创新试点。及时评估各项试点政策实施效果与协同作用，通过扩大试点范围延长政策红利期，同步做好政策创新，开展跨领域、跨层级、跨部门、跨区域的政策取向评估，打好政策组合拳，以政策协同积极稳妥推进“降碳、减污、扩绿、增长”。

参考文献：

[1] BURKE M，HSIANG S M，MIGUEL E. Global non-linear effect of temperature on economic production[J]. Nature，2015，527(7577)：235-239.

[2] 刘华军，张一辰.减污降碳协同效应的生成逻辑、内涵阐释与实现方略[J].当代经济科学，2024，46(3)：32-44.
LIU H J，ZHANG Y C. Synergistic effect of pollution reduction and carbon emission reduction：generating logic，connotation explanation and realization strategy[J]. Modern Economic Science，2024，46(3)：32-44.

[3] 赵曼仪，王科.减污降碳协同效应综合评估的研究综述与展望[J].中国人口·资源与环境，2024，34(2)：58-69.
ZHAO M Y，WANG K. Comprehensive evaluations of the synergistic effects of carbon emission reduction and air pollution control：a literature review[J]. China Population，Resources and Environment，2024，34(2)：58-69.

[4] 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.
ZHANG H. Can low-carbon city construction reduce carbon emissions？ Evidence from a quasi-natural experiment[J]. Business and Management Journal，2020，42(6)：25-41.

[5] 王班班，齐绍洲.市场型和命令型政策工具的节能减排技术创新效应：基于中国工业行业专利数据的实证[J].中国工

业经济，2016，34(6)：91-108.
WANG B B，QI S Z. The effect of market-oriented and command-and-control policy tools on emissions reduction innovation：an empirical analysis based on China's industrial patents data[J]. China Industrial Economics，2016，34(6)：91-108.

[6] 张宁，张维洁.中国用能权交易可以获得经济红利与节能减排的双赢吗?[J].经济研究，2019，65(1)：165-181.
ZHANG N，ZHANG W J. Can energy quota trading achieve win-win development for economic growth and energy savings in China?[J]. Economic Research Journal，2019，65(1)：165-181.

[7] PIZER W A. Combining price and quantity controls to mitigate global climate change[J]. Journal of Public Economics，2002，85(3)：409-434.

[8] 李辉，徐美宵，张泉.改革开放40年中国能源政策回顾：从结构到逻辑[J].中国人口·资源与环境，2019，29(10)：167-176.
LI H，XU M X，ZHANG Q. Review of energy policies in the 40 years of reform and opening in China：from structure to logic[J]. China Population，Resources and Environment，2019，29(10)：167-176.

[9] 李豫新，程洪飞，倪超军.能源转型政策与城市绿色创新活力：基于新能源示范城市政策的准自然实验[J].中国人口·资源与环境，2023，33(1)：137-149.
LI Y X，CHENG H F，NI C J. Energy transition policy and urban green innovation vitality：a quasi-natural experiment based on the new energy demonstration city policy[J]. China Population，Resources and Environment，2023，33(1)：137-149.

[10] YANG X，ZHANG J N，REN S Y，et al. Can the new energy demonstration city policy reduce environmental pollution? Evidence from a quasi-natural experiment in China[J]. Journal of Cleaner Production，2021，287：125015.

[11] 高瑀，赵晓丽.绿色转型政策组合对碳减排和经济发展的影响[J].西安交通大学学报(社会科学版)，2025，45(4)：39-54.
GAO Y，ZHAO X L. Impact of green transition policy combination on carbon mitigation and economic development [J].Journal of Xi'an Jiaotong University(Social Sciences)，2025，45(4)：39-54.

[12] LIN B Q，XU C C. Reaping green dividend：the effect of China's urban new energy transition strategy on green economic performance[J]. Energy，2024，286：129589.

[13] 薛飞，周民良.用能权交易制度能否提升能源利用效率?[J].中国人口·资源与环境，2022，32(1)：54-66.
XUE F，ZHOU M L. Can the energy-consuming right transaction system improve energy utilization efficiency?[J]. China Population，Resources and Environment，2022，32(1)：54-66.

[14] 王芝炜，孙慧，张贤峰，等.用能权交易制度能否实现减污降碳的双重环境福利?[J].产业经济研究，2023，22(4)：15-26.
WANG Z W，SUN H，ZHANG X F，et al. Can the energy quota trading system achieve the double environmental benefits of reducing pollution and carbon emissions?[J]. Industrial Economics Research，2023，22(4)：15-26.

[15] 彭纪生，仲为国，孙文祥.政策测量、政策协同演变与经济绩效：基于创新政策的实证研究[J].管理世界，2008，24(9)：25-36.
PENG J S，ZHONG W G，SUN W X. Measurement of policy，coordination of policy and economic performance：an empirical study on innovation policy[J]. Journal of Management World，2008，24(9)：25-36.

[16] 韩超，李翀宇，张淑睿."两控区"叠加环境绩效考核政策的污染减排效应[J].财经问题研究，2021，43(8)：31-39.
HAN C，LI C Y，ZHANG S R. The pollution reduction effect of the constrained environmental performance assessment policy for "controlled zones for acid rain and sulfur dioxide"[J]. Research on Financial and Economic Issues，2021，43(8)：31-39.

[17] 袁航，夏杰长.国家低碳政策协同与中国产业低碳转型[J].当代经济科学，2025，47(2)：82-96.
YUAN H，XIA J C. National low-carbon policy coordination and low-carbon transformation of China's industry[J]. Modern Economic Science，2025，47(2)：82-96.

[18] 林伯强，李江龙.环境治理约束下的中国能源结构转变：基于煤炭和二氧化碳峰值的分析[J].中国社会科学，2015，36

(9):84-107.
LIN B Q, LI J L. Transformation of China's energy structure under environmental governance constraints: a peak value analysis of coal and carbon dioxide[J]. Social Sciences in China, 2015, 36(9): 84-107.
[19] SINN H W. Public policies against global warming: a supply side approach[J]. International Tax and Public Finance, 2008, 15: 360-394.
[20] WANG K K, SU X W, WANG S H. How does the energy-consuming rights trading policy affect China's carbon emission intensity?[J]. Energy, 2023, 276: 127579.
[21] ZHANG H C, WANG Y, WANG W M. Does renewable energy technology innovation achieve the synergistic effect of pollution and carbon reduction?[J]. Renewable Energy, 2025, 250: 123329.
[22] YADAV M, ANEJA R, AHMED W. Do clean energy transition, environment degradation, and energy efficiency influence health expenditure: empirical evidence from emerging countries[J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 428: 139355.
[23] 蔡昉,都阳,王美艳.经济发展方式转变与节能减排内在动力[J].经济研究,2008,43(6):4-11.
CAI F, DU Y, WANG M Y. The political economy of emission in China: will a low carbon growth be incentive compatible in next decade and beyond?[J]. Economic Research Journal, 2008, 43(6): 4-11.
[24] ROTH J, SANT'ANNA P H C, BILINSKI A, et al. What's trending in difference-in-differences? A synthesis of the recent econometrics literature[J]. Journal of Econometrics, 2023, 235(2): 2218-2244.
[25] RAMBACHAN A, ROTH J. A more credible approach to parallel trends[J]. The Review of Economic Studies, 2023, 90(5): 2555-2591.
[26] 裴丹,陈林,韩胜飞.网络型自然垄断产业纵向分离改革绩效评估:基于随机推断的小样本双重差分模型[J].数量经济技术经济研究,2023,40(1):192-212.
PEI D, CHEN L, HAN S F. An impact of structural separation reform on China's mobile telecommunications industry: an empirical study based on a small sample difference in differences model with randomization inference[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2023, 40(1): 192-212.
[27] OSTER E. Unobservable selection and coefficient stability: theory and evidence[J]. Journal of Business & Economic Statistics, 2019, 37(2): 187-204.
[28] 江艇.因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J].中国工业经济,2022,40(5):100-120.
JIANG T. Mediating effects and moderating effects in causal inference[J]. China Industrial Economics, 2022, 40(5): 100-120.
[29] LIN B Q, ZHU J P. The role of renewable energy technological innovation on climate change: empirical evidence from China[J]. Science of the Total Environment, 2019, 659: 1505-1512.
[30] YANG G L, ZHANG G X, CAO D Q, et al. A comprehensive city-level final energy consumption dataset including renewable energy for China, 2005-2021[J]. Scientific Data, 2024, 11(1): 738.
[31] 干春晖,郑若谷,余典范.中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J].经济研究,2011,46(5):4-16.
GAN C H, ZHENG R G, YU D F. An empirical study on the effects of industrial structure on economic growth and fluctuations in China[J]. Economic Research Journal, 2011, 46(5): 4-16.
[32] ZHU J P, WU S H, XU J B. Synergy between pollution control and carbon reduction: China's evidence[J]. Energy Economics, 2023, 119: 106541.

编辑:张静,王磊

The Policy Synergy in Pollution and Carbon Reduction: Evidence from China's Dual Energy Policy Pilots

WEI Jia, GAO Jialong, WEN Jun, DENG Yaping

School of Economics and Finance, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

Summary Environmental pollution and climate change have emerged as critical challenges to the sustainable development of China's economy and society. Policy synergy is widely regarded as a key instrument to address these challenges effectively. In the context of energy transition, promoting the organic combination of a proactive government and an efficient market is essential for achieving coordinated governance of pollution reduction and carbon mitigation. Although existing literature suggests that hybrid policy instruments—those combining government intervention with market-based incentives—are generally more effective than single-policy approaches, whether this conclusion holds in the context of China's energy policy remains an open question.

Against the broader shift in policy evaluation from single-policy assessment to the study of synergistic effects among policy combinations, this paper examines the pollution- and carbon-reduction effects of two energy-related pilot programs: the New Energy Demonstration Cities and the Energy-Consumption Rights Trading System. Specifically, we assess the co-benefits of these dual pilots in reducing both air pollutants and carbon emissions. Our empirical findings indicate that cities implementing both pilots concurrently experienced significant reductions in sulfur dioxide and carbon dioxide emissions, demonstrating robust co-benefits in pollution and carbon reduction. Moreover, the dual pilot cities outperformed single-pilot cities, confirming the existence of a synergistic effect wherein the combined impact of both policies exceeds the sum of their individual effects ("1 + 1 > 2"). This synergy stems from the coordinated interaction between government-led guidance and market incentives. The dual pilot cities achieved pollution and carbon reductions through four primary channels: innovation in clean energy technologies, substitution toward cleaner energy consumption, improved energy efficiency, and industrial restructuring. Further analysis shows that the co-benefits of the dual pilot program are more pronounced in cities with larger populations, weaker pressure from environmental targets, and richer resource endowments. Moreover, we find evidence that the dual pilot policies achieve pollution reduction through carbon mitigation, confirming an intrinsic logic of co-control. The effects also display spatial spillovers, benefiting neighboring regions and ultimately improving economic, social, and health-related welfare.

This study makes several key contributions. First, it advances the understanding of coordinated energy policy by examining how the combination of government-led and market-based instruments—specifically, the New Energy Demonstration Cities and the Energy-consuming Right Trading System—can generate synergistic effects. Second, it enriches the literature on the co-benefits of pollution and carbon reduction from the perspective of linking policy synergy with target coordination. Using the dual pilot policies as a quasi-natural experiment, this paper employs a difference-in-differences framework to assess their joint effects on pollution and carbon reduction. Third, the findings provide both theoretical and practical implications for future policy design. Clarifying the interaction between different energy policies and identifying the complementary roles of a well-functioning government and an efficient market are essential for improving the top-level design of the energy governance system. Such insights are critical for building an integrated and coherent policy portfolio capable of simultaneously addressing climate change and environmental degradation.

Keywords energy policies; pollution and carbon reduction; new energy demonstration cities; energy-consuming right trading system; policy synergy