

生态文明先行示范区建设如何助力 实现“双碳”目标？ ——基于合成控制法的实证研究

陈 军，肖雨彤

摘 要：实现碳达峰碳中和是贯彻新发展理念、构建新发展格局、推动高质量发展的内在要求，是建设人与自然和谐共生的中国式现代化的应有之义。探究典型区域“双碳”目标的实现机理和内在规律，对推动我国经济社会发展全面绿色转型具有重要启示意义。本文运用合成控制法与中介效应模型评估了中国生态文明先行示范区建设的碳减排效应。研究发现：在考察期内，生态文明先行示范区的碳减排成效总体优于全国其他地区，示范区建设对实现“双碳”目标具有重要引领作用；生态文明先行示范区建设的碳减排效应具有区域异质性，福建、贵州和云南的碳减排成效较为突出，江西的碳减排成效尚不明显；环境规制、结构优化、生态碳汇等因素在示范区碳减排过程中发挥着链式中介效应，其中生态碳汇的中介效应较为突出。尽管示范区建设未诱发明显的技术创新中介效应，但是，技术创新在抑制示范区碳排放过程中发挥着直接显著的作用。为此，深入推进我国生态文明建设，需要建立以“双碳”为目标导向的生态系统治理多元规制体系，优化产业结构和能源结构推动生产方式绿色低碳转型，加强零碳负碳技术创新促进区域生态系统碳平衡。

关键词：生态文明先行示范区；“双碳”目标；合成控制法；碳减排效应

中图分类号：F124.5 **文献标识码：**A **文章编号：**1671-0169(2023)01-0087-15

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.20221219.001

一、引 言

我国生态文明建设进入了以降碳为重点战略方向、推动减污降碳协同增效、促进经济社会发展全面绿色转型、实现生态环境质量改善由量变到质变的关键时期^[1]。如何通过减污降碳推动绿色发展，已经成为建设人与自然和谐共生的中国式现代化面临的重大理论和实践问题。2020 年 9 月，习近平主席向国际社会宣示了我国“将在 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和”的决心和目标（以下简称“双碳”目标），彰显了我国致力构建人类命运共同体的积极意愿和大国担当。实现“双碳”目标，迫切需要在生态文明建设历史进程中系统审视生产方式绿色转型的经验与成效，在统筹发展与安全的现代化进程中探索实现“双碳”目标的规律和路径。事实上，为了应对日益突出的资源环境问题，我国选取不同发展阶段、不同资源环境禀赋、不同主体功能要求的地区开展生态文明先行示范区建设，这些地区为实现“双碳”目标提供了试点示范。生态文明先行示范区作为

基金项目：国家社会科学基金项目“新时代我国生态文明建设制度化的经验研究”（22BKS158）

作者简介：陈军，中国地质大学（武汉）马克思主义学院教授、博士生导师，cj-2010@139.com（湖北 武汉 430074）；肖雨彤，中国地质大学（武汉）马克思主义学院博士研究生

以点带面推动全国生态文明建设的“排头兵”和经济社会发展全面绿色转型的“引领区”，为探索中国特色社会主义生态文明道路积累了宝贵经验，为凝聚改革合力、增添绿色发展动能、促进“双碳”目标实现提供了重要参考。自2013年12月国家启动生态文明先行示范区建设以来，作为第一批省级生态文明先行示范区，福建、江西、贵州、云南和青海等地不断提升经济发展质量、深化资源能源节约利用、加强生态建设与环境保护，生态文明体制机制建设生机勃勃。为此，全面考察生态文明先行示范区建设所发挥的碳减排效应，从示范区建设的“天然实验田”和“金山宝库”中追踪汲取实现“双碳”目标的智慧力量，在系统推进的生态文明建设进程中寻求碳中和革命发展范式的实现路径，对当前我国建设人与自然和谐共生的现代化、推进构建清洁美丽世界将产生重要启示意义。

二、文献综述

生态文明先行示范区作为全国发展方式绿色低碳转型的先导区和模范区，在机制创新、制度供给和模式探索方面取得了显著成效^[2]，在改善生态环境质量、促进发展方式转型以及推动生态文明体制改革等方面走在全国前列^[3]，在我国“双碳”目标实现中亦具有重要的创新引领地位。实现“双碳”目标是生态文明建设的题中之义，而推进碳减排则是实现“双碳”目标的先决条件。国内外关于碳减排问题的研究主要围绕以下三个方面展开：

一是关于碳减排效应的影响因素研究。碳减排过程植根于社会经济系统的制度、技术变迁与经济结构调整过程之中，并受到这些因素的驱动。有学者认为，适当的环境规制不仅可以抵消企业的“环境合规成本”，还可以激励企业进行生产技术革新，并通过技术、知识的溢出效应实现生产效率提升和污染排放降低的“双赢”^[4]。当然，也有学者对此持有不同观点^[5]。一些研究认为，环境规制增加了企业生产的额外成本，在一定程度上抑制了技术创新，且根据“污染天堂假说”^[6]，投资商向环境规制弱的地方转移，只是带来了碳排放的空间转移，并未降低碳排放总量。为证实以上观点，杨莉莎等探讨了中国各区域各产业碳排放驱动因素，从数量上证实了技术进步对碳减排的关键作用^[7]。孙博文等分析了国有企业混合所有制改革的碳减排影响因素，发现能源效率改善所带来的间接减排效应大于技术进步和能源结构清洁化的作用^[8]。

二是关于碳减排效应的空间异质性研究。一些研究从省域和县域维度，探寻碳排放空间差异性并揭示了中国碳排放的空间关联与演化特征。如徐盈之等检验了我国省际碳排放的空间效应，证实了我国整体以及东中西三大地区碳排放存在相关性和空间溢出效应^[9]。杨曦等对北京四大功能区碳排放的时空演化特征及区域异质性进行了分析，发现四大功能区碳排放都经历了先增后减的过程，碳排放空间上具有“聚集”和“分异”并存的特征^[10]。在此基础上，刘华军等运用县域和市域的数据考察了中国碳排放空间格局及动态分布演进。研究表明，我国碳排放差异不断缩小，总体呈“东高西低”“南高北低”的空间格局，各地区碳排放强度动态研究特征差异较大，但总体具有显著的空间收敛态势^[11]。

三是关于碳减排相关政策效应评估。随着“双碳”目标的提出，学界关注的焦点逐渐转移至碳减排政策效应评估上。一些研究运用双重差分法评估碳排放权交易试点政策的效应^[12]、采用合成控制法评价低碳城市试点政策^[13]，证实了碳排放权交易、低碳城市试点政策在推进碳减排中的积极作用。与此同时，理论界还采用仿真手段模拟分析碳减排潜力。如通过投入产出法模拟不同行业的碳减排效应^[14]、构建动态可计算一般均衡模型模拟不同情境下工业碳减排对“双碳”目标的贡献^[15]。研究显示，随着能源效率提升、产业结构转型、绿色技术创新能力提高以及碳市场交易机制的建设，我国能够在预定的目标期限内促成“双碳”目标的实现^[16]。这类研究为我国更好地探

索寻求绿色低碳发展政策提供了详实的经验证据。

综上所述,已有文献围绕碳减排问题已展开了系统深入的研究,但是,由于缺少基于生态文明先行示范区等典型地区绿色低碳发展试点示范政策实施后碳减排效应的经验证实,现有研究一定程度弱化了“双碳”政策实施和深化改革的针对性。为此,本文将“双碳”目标纳入生态文明建设的整体框架之中,在系统考量环境规制、结构优化、技术创新、生态碳汇对实现“双碳”目标的作用机制的基础上,运用合成控制法和中介效应模型研究中国首批省级生态文明先行示范区建设的碳减排效应。相较已有文献,本文的边际贡献主要体现在以下三个方面:一是在研究对象的选择上突出了试点示范的引领镜鉴导向,选取福建、江西、贵州、云南、青海 5 个生态文明先行示范区入选省份作为政策评估对象,设立准自然实验评估方案考察这些地区生态文明改革实验的碳减排成效,为挖掘这些典型政策试点地区的碳减排经验提供新的视阈。二是构建涵盖“环境规制—结构优化—技术创新—生态碳汇”四个维度的碳减排理论分析框架,系统分析并实证回答我国生态文明先行示范区建设实现“双碳”目标的内在机理,进而揭示这些地区碳减排成效发生的显著特征与潜在规律。三是结合我国首批生态文明先行示范区所处的发展阶段与绿色低碳发展面临的挑战,基于实证结论提出既具有针对性又兼具互补性的政策建议,深化和拓展现有实现“双碳”目标的政策研究。

三、政策依据与理论机制

实现“双碳”目标,既是应对气候变化、加强生态环境保护的必然之举,更是创新体制机制、变革发展模式的战略之需。尽管我国于 2020 年才正式提出“双碳”目标,并将“双碳”目标纳入生态文明建设整体布局,但事实上,碳减排在我国首批生态文明先行示范区建设规划中早已得到充分重视,并在长期探索中取得了一定成效。2013 年 12 月,国家发改委等六部委下发了《关于印发国家生态文明先行示范区建设方案(试行)》明确提出,要力争通过 5 年左右的努力,实现节能减排和碳强度指标下降幅度超过上级政府下达的约束性指标,以推动绿色、循环、低碳发展为基本途径,促进生态文明建设水平明显提升。福建省作为全国第一个生态文明先行示范区,较早开展了碳减排政策设计。2014 年 3 月国务院印发的《关于支持福建省深入实施生态省战略加快生态文明先行示范区建设的若干意见》明确提出,要全面实施能耗强度、碳排放强度和能源消费总量控制,强化目标责任考核。此后,江西、贵州和云南等地区也将碳排放约束纳入各自生态文明先行示范区建设实施方案。

生态文明先行示范区建设旨在通过开展生态文明体制改革的综合性试验,探索可复制、可推广的制度成果和有效模式,引领带动全国生态文明建设和体制改革。为此,生态文明先行示范区在强化碳减排政策约束的同时,还在打造符合自身优势的低碳产业、推进绿色低碳技术创新和标准制定、加强生态环境治理修复提升碳汇潜力等方面进行了积极探索。2020 年 11 月,国家发改委发布的《国家生态文明试验区改革举措和经验做法推广清单》中列举了福建、江西、贵州等地 90 项可在全国复制和推广的改革举措和经验,包含了生态产业发展机制、绿色生态技术标准创新机制、“碳普惠”制度和碳汇交易等大量与碳减排相关的内容。从生态文明先行示范区绿色低碳发展的经验中可以看出,实现碳减排需要规制设计、技术创新、结构优化和生态碳汇等积极因素的全方位支持,只有在多种因素的耦合协调中才能避免顾此失彼的盲区。为此,本文在系统性视阈中构建起“环境规制—技术创新—结构优化—生态碳汇”有机统一的理论分析框架(如图 1 所示),以解析生态文明示范区建设对实现“双碳”目标的作用机制。

(一) 环境规制的“控碳”效应

减少和消除生产活动对自然环境的负外部性是生态文明的本质要求。单一的市场机制作用容易

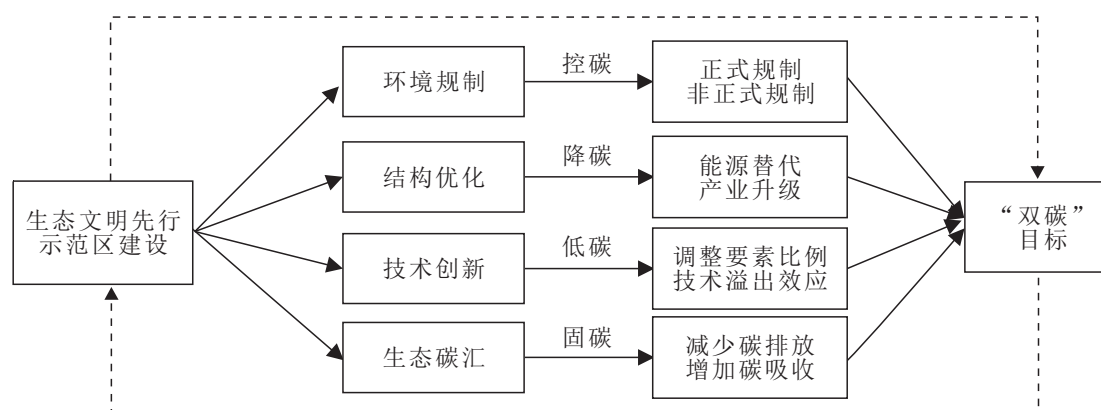


图1 生态文明示范区建设对“双碳”目标的作用机制

造成市场失灵和生态系统失衡，故需要政府通过环境规制加以调控^[17]。环境规制对生态文明先行示范区碳排放的抑制效应可分为直接效应和间接效应。一方面，政府通过法律和政策等命令-控制型规制手段或征税和罚款等市场激励型规制手段直接限制生态文明先行示范区的碳排放量；另一方面，政府通过环境规制影响生态文明先行示范区的经济活动间接抑制碳排放。一些研究表明^{[18][19]}，环境规制能够限制污染密集型产业规模扩张，促使经济结构调整，刺激生产活动选择更优质、更高效的能源作为投入。根据波特假说^[20]，合理的环境规制能够激励并诱导企业进行技术创新，并通过技术创新的补偿效应填补遵循成本，从而提高资源能源利用效率并抑制碳排放。此外，社会公众也通过舆论监督等非正式环境规制方式参与到生态文明建设当中，间接约束污染排放者行为，并对企业降低碳排放形成“倒逼效应”^[21]。生态文明先行示范区作为国家改革试验区，在生态环境重视程度、政策执行力度以及公众参与程度等方面具有明显优势。良好的环境规制实施条件决定了这些地区能以较低的环境规制成本，发挥出高效的环境规制“控碳”效应并推动实现“双碳”目标。

（二）结构优化的“降碳”效应

产业系统与生态系统相互关联，生态系统是产业系统的先在条件，而产业系统则通过资源能源消耗与污染排放对生态系统产生干扰。生态文明时代生产生活方式全面绿色转型的内在要求，赋予了优化现有工业经济结构、加速战略型新兴产业发展、降低碳排放强度的重要意义。生态文明先行示范区建设中，产业结构的优化升级改变了能源消费结构并增强了能源可替代性，能源消费结构的调整促使企业将碳排放内化为自身生产成本。此时，边际碳排放成本较低的企业具有绿色发展的比较优势，而边际碳排放成本较高的企业因难以承受成本上涨而导致所在行业规模不断萎缩^[22]。当然，随着社会分工的深化，产业间和产业内部能够通过产业关联形成产业聚合效应，促使新型生产要素不断向高效率、高技术、低能耗的产业部门流动^[23]。在规模效应的导向下，低碳产业的生产成本不断降低，资源配置不断优化，生产系统不断向经济化、集约化方向演进，进而减少经济活动的碳排放量。相对其他地区而言，生态文明先行示范区较早开始推进产业低碳转型，产业结构的优化促使生态文明先行示范区的发展方式由高能耗、高排放向低碳、清洁型转变，形成结构优化的“降碳”效应进而加速“双碳”目标实现。

（三）技术创新的“低碳”效应

新古典增长理论认为，技术进步和全要素生产率的提高是推动经济持续增长的关键。在生态文明先行示范区建设促进碳减排的问题上，这一观点也有其适用性。具体表现为：在早期生态文明建设中，这类地区产业结构升级主要依靠要素驱动，技术创新形式以模仿式创新为主，高耗能企业偏

向于通过引进低碳生产设备或减少高碳型生产要素的投入来降低碳排放。随着生态文明建设的深入推进,人们为满足生态环境的需要而对产业绿色技术创新的要求也逐渐提高,这驱动企业更倾向于把资本投入到绿色技术的研发中。此时,绿色创新导向的技术运用和产业活动则改变原先生产要素的投入比例,具有低成本扩散、边际收益递增特点的创新生产要素不断汇集与融合,形成技术和知识的溢出效应^{[24][25]},进而促进技术密集型的低碳产业发展。显然,生态文明建设离不开绿色技术创新的支撑,新技术的研发、引进、应用和扩散,深化了低碳、清洁生产技术研发和可再生能源开发与利用。绿色技术创新的成果通过政府引导和市场机制应用于社会生产过程,势必促进企业生产模式优化以提高资源能源利用效率,在降低生产成本、增加企业利润中,加速对低碳、清洁生产方式的运用,形成生产良性循环^[26]。绿色技术引发的“低碳”效应,为生态文明先行示范区实现“双碳”目标注入了创新源泉。

(四) 生态碳汇的“固碳”效应

生态文明先行示范区大多设立在生态基础较好、资源环境承载能力较强的地区,这些地区在固碳增汇、碳源控制和清洁能源保障方面具有天然优势。因而,这些地区的生态碳汇在碳中和过程中起到自然基础作用^[27],所拥有的自然生态系统在碳吸纳、碳消解中呈现出“天然屏障”的功能并产生显著的“固碳”效应。根据物质循环理论,物质在生态系统中处于不断循环的过程,山水林田湖草等生态要素能够通过固有的自然物理机能吸收人类生产和生活中产生的碳排放量,形成自然界物质能量的动态平衡。在生态文明建设过程中,生态系统的碳汇功能激发人们更加注重生态系统内在要素的耦合关系和作用规律。一方面,日益完善的制度规约促使人们转变发展理念,改变发展方式,通过优化能源资源配置和治理结构等方式减少碳排放源;另一方面,生态环境治理体系治理能力现代化的目标追求,促进地方政府加强生态治理和环境修复、制定空间管理规划,进而提升生态系统稳定性和多样性,巩固和增强生态碳汇的持续性。由此,通过减少碳源和增加碳汇两种途径使生态系统的碳输入大于人类活动负外部性产生的碳输出,在生态系统碳收支为正状态下发挥生态碳汇的“固碳”效应,为“双碳”目标的实现厚植了生态根基。

四、研究设计

(一) 计量模型选择

科学评估生态文明先行示范区建设的碳减排效应,关键在于寻找一种合适的政策评估模型和方法。在现有的政策效应评估中,双重差分(Difference In Differences, DID)备受国内外学者青睐。然而,使用该方法的前提是实验组和控制组在干预前具有可比性,且实验组和控制组的选择必须符合随机分组的假设。生态文明先行示范区的选点布局是基于资源禀赋、经济发展水平和主体功能定位等多种因素综合考量的结果,因此,上述省域作为政策效应评估的实验组不符合随机分组假设,若采用传统双重差分法容易导致政策评估出现偏差。Abadie 等^①提出的合成控制法(Synthetic Control Methods, SCM)对传统 DID 方法进行了拓展,它根据数据特征确定控制组的最优权重,并对控制组加权平均,构造每个政策干预体的“反事实”状态。控制组作为合成控制的对象也就能有效避免双重差分法非随机分组的缺陷^[28]。本文结合合成控制法的设计思路,将生态文明先行示范区建设视为政策冲击,在准自然实验的框架下评估福建、江西、贵州、云南、青海地区的碳减排效应。

① 参见 Abadie, A., A. Diamond, J. Hainmueller. Synthetic control methods for comparative case studies: Estimating the effect of California's tobacco control program, *Journal of the American Statistical Association*, 2010, 105.

假设有 $M+1$ 个地区, 其中, 仅区域 1 在 T_0 期被列为生态文明先行示范区, Y_{it}^1 表示地区 i 在 t 期被列为生态文明先行示范区的潜在结果, Y_{it}^0 表示地区 i 在 t 期未实施试点政策的潜在结果, 从而, 该地区被纳入生态文明先行示范区的因果效应为 $\beta_{it} = Y_{it}^1 - Y_{it}^0$, 其中, $i=1, \dots, M+1, t=1, \dots, T$ 。地区 i 在 t 期观测到的结果效应为 $Y_{it} = D_{it} Y_{it}^1 + (1 - D_{it}) Y_{it}^0 = Y_{it}^0 + \beta_{it} D_{it}$, D_{it} 表示地区 i 在 t 期的政策干预状态, 若地区 i 在 t 期受到政策干预取值为 1, 否则取值为 0。由于我们无法观测到如果地区 1 未纳入生态文明先行示范区时的潜在结果 Y_{it}^0 。为了估计“示范区”的反事实结果, 本文采用了 Abadie 等构造的因子模型来估计 Y_{it}^0 : $Y_{it}^0 = \delta_i + \theta_i Z_i + \lambda_i \mu_i + \varepsilon_{it}$ (1)

式中, δ_i 是时间固定效应; Z_i 是可观察到的 $(R \times 1)$ 维协变量, 表示不受试点政策影响的控制变量。 θ_i 是 $(1 \times R)$ 维未知参数向量; λ_i 为 $(1 \times F)$ 维不能观测的公共因子向量; μ_i 为 $(F \times 1)$ 维无可观察的省份固定效应; ε_{it} 为不可观测的短期冲击, 假设其均值为零。

从上述公式 (1) 看出, 合成控制法对双重差分法进行了拓展, 传统 DID 模型允许观测不到的影响因素不随时间变化的存在, 即 λ_i 为常数。而式 (1) 观测不到因素的效应 λ_i 可随时间变化, 从而在更广泛的领域提供了有效估计。

假设存在一个 $M \times 1$ 维的权重向量 $W = (w_2, \dots, w_{M+1})$ 满足 $w_j \geq 0, j=2, \dots, M+1, w_2 + \dots + w_{M+1} = 1$ 。向量 W 的每个特征值表示对地区的潜在合成控制, 通过对控制组内所有省份的结果变量值加权平均得到: $\sum_{j=2}^{M+1} w_j Y_{jt} = \delta_i + \theta_i \sum_{j=2}^{M+1} w_j Z_j + \lambda_i \sum_{j=2}^{M+1} w_j \mu_j + \sum_{j=2}^{M+1} w_j \varepsilon_{jt}$ (2)

假设存在权重向量 $(W_2^*, \dots, W_{M+1}^*)$, 使得:

$$\sum_{j=2}^{M+1} w_j^* Y_{j1} = Y_{11}, \sum_{j=2}^{M+1} w_j^* Y_{j2} = Y_{12}, \dots, \sum_{j=2}^{M+1} w_j^* Y_{jT_0} = Y_{1T_0}^1, \sum_{j=2}^{M+1} w_j^* Z_j = Z_1 \quad (3)$$

Abadie 等证明了如果 $\sum_{t=1}^{T_0} \lambda_t' \lambda_t$ 为非奇异矩阵 (Nonsingular Matrix), 则有:

$$Y_{it}^0 - \sum_{j=2}^{M+1} w_j^* Y_{jt} = \sum_{j=2}^{M+1} w_j^* \sum_{s=1}^{T_0} \lambda_s (\sum_{n=1}^{T_0} \lambda_n' \lambda_n)^{-1} \lambda_s' (\varepsilon_{js} - \varepsilon_{1s}) - \sum_{j=1}^{M+1} w_j^* (\varepsilon_{jt} - \varepsilon_{1t}) \quad (4)$$

通常情况下, 若政策试点前的时间相较于政策试点后的时间长, 则式 (4) 右侧将趋近于 0。

因此, 在生态文明先行示范区建设的政策评估中, 能够用合成控制组 $\hat{Y}_{it}^0 = \sum_{j=2}^{M+1} w_j^* Y_{jt}$ 作为 Y_{it}^0 的无偏估计量。由此, 得到政策干预效果的估计值:

$$\hat{\beta}_{1t} = Y_{1t} - \sum_{j=2}^{M+1} w_j^* Y_{jt}, t \in [T_0 + 1, \dots, T] \quad (5)$$

准确估计 $\hat{\beta}_{1t}$ 需找到使 (3) 式成立的权重 $W^* = (w_2^*, \dots, w_{M+1}^*)$, 可通过近似解来确定合成控制向量 W^* 。一般选择最小化的 X_1 和 $X_0 W$ 之间的距离 $\|X_1 - X_0 W\|$ 来确定权重 W^* 。其表达式为: $\|X_1 - X_0 W\| = \sqrt{(X_1 - X_0 W)' V (X_1 - X_0 W)}$ (6)

其中, X_1 是生态文明先行示范区建设前相应的特征向量; X_0 是 $(m \times M)$ 矩阵, X_0 的第 j 列为地区 j 被列为生态文明先行示范区前相应的特征向量。 V 是一个 $(m \times M)$ 的对称半正定矩阵。 V 的取值影响方程的均方误差, 因此, 应先确定满足均方误差最小化条件下的 V^* , 进而确定 w_j^* 。使其在政策实施之前, 目标省份通过加权合成的变化路径与其相应时期发生的变化路径相吻合。

(二) 指标选取

1. 被解释变量: 碳排放总量和碳排放强度。碳排放强度根据碳排放总量计算得出。本文参照 2013 年 5 月发布的《国家生态文明建设试点示范区指标 (试行)》意见中的计算公式, 用当年二氧化碳排放总量 (千克) 与当年 GDP 总量 (万元) 的比值表示, 该指标反映了各省份某年度单位

GDP 二氧化碳排放量。

2. 核心解释变量: 本文将 2013 年 12 月国家发展改革委、财政部、国土资源部、水利部、农业部等部门联合下发的《关于印发国家生态文明先行示范区建设方案(试行)的通知》作为被评估政策。以 2013 年为基准时间, 将文件中首批确立的省级生态文明先行示范区(福建、江西、贵州、云南、青海)作为实验组, 其余省份作为控制组。在中介效应模型中, 将生态文明先行示范区政策虚拟变量与政策实施时间虚拟变量的交互项作为解释变量。政策虚拟变量中生态文明先行示范区省份取值为 1, 其他省份取值为 0; 时间虚拟变量中 2013 年以后取值为 1, 反之取值为 0。

3. 控制变量: 在合成控制法中控制变量也叫预测变量, 用于合成与实验组匹配的合成控制对象。考虑到合成控制对象的拟合效果及结果的稳健性, 本文参考现有研究^{[19][29]}, 设定如下影响碳排放的控制变量: (1) 地区经济发展水平, 用各省国内生产总值(亿元)表示。(2) 能源消费结构, 用煤炭消费占能源消费总量的比重(%)表示。(3) 能源消耗总量, 选用各省每年能源消费总量(亿吨标准煤)来衡量。(4) 能源消耗强度, 用能源消费量占国内生产总值的比重(%)表示。(5) 森林碳汇潜力, 用森林覆盖率(%)衡量。(6) 生态治理能力, 用环境污染治理投资额(亿元)来衡量。(7) 产业深化程度, 用第三产业增加值(亿元)与第二产业增加值的比值(亿元)表示。(8) 技术创新水平, 用规模以上工业企业 R&D 经费支出(亿元)来衡量。(9) 经济聚集程度, 用城市人口密集程度(人/平方公里)表示。

4. 中介变量: 为验证理论机制, 本文参考既有相关文献^{[10][11]}, 用煤炭消费占能源消费总量的比重(%)来衡量能源结构效应, 该指标越高表明该地区能源结构越传统, 反之表明能源结构越优化。用环境基础设施建设投资(亿元)来衡量环境规制效应, 该指标越高表明政府对生态环境的重视程度越高。用规模以上工业企业 R&D 经费支出(亿元)来衡量技术创新效应, 该指标越高表明企业对科研投入力度越大。用森林覆盖率(%)来衡量生态碳汇效应, 该指标反映了地区自然生态系统的碳汇潜力。

(三) 数据来源

为保证数据的真实性、科学性与权威性, 本文碳排放总量的数据来自中国碳排放数据库(CEADs)^①中 2008—2019 年各省的碳排放量数据。其余数据均源于 2008—2019 年《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国环境统计年鉴》。在本研究中, 剔除西藏、台湾、香港和澳门地区的数据缺失, 将福建、江西、贵州、云南、青海作为实验组, 其余 25 个省份作为控制组。

五、实证结果分析

(一) 基准结果分析

福建、贵州、江西、云南、青海五省虽然同一时间被列为国家首批生态文明先行示范区, 但是, 上述省域在资源禀赋、生态环境、产业结构以及所处的发展阶段等方面存在差异, 生态文明建设任务实现路径也必然呈现多元性和复杂性, 这也使得上述地区绿色低碳发展成效评估面临挑战。当然, 作为对塑造人与自然和谐关系行动回应的重要标识, 碳减排虽然不能全面反映生态文明先行示范区建设的成效, 但不可否认的是, 人类生产生活中的资源能源消耗与碳排放存在客观的自然物

① 数据来源: CEADs (<http://www.ceads.net>) 在包括英国研究理事会、牛顿基金会、中国国家自然科学基金委员会、中国科学院等多家研究机构的共同支持下, 聚集了来自中外等多国研究机构的学者, 共同编纂中国多尺度碳排放清单, 分析中国及其区域碳排放特征。

理关联，并通过相应的经济、技术与制度作用在社会发展中得以呈现，因而，碳减排的规模或强度就成为衡量区域绿色低碳发展与生态文明建设成效的重要指标。本文将碳排放量和碳排放强度作为衡量生态文明先行示范区建设政策效果的主要指标并展开实证分析。在合成控制法的应用中，本文基于前文所述的控制变量合成生态文明先行示范区碳排放量的虚拟控制组，合成控制组省份的权重系数如表 1 所示。总体来看，除青海省外，合成控制组省份与目标省份发展情况较为接近，意味着合成控制组能够较好地模拟示范区的特征。

表 1 生态文先行示范区碳排放值对应合成省份的权重系数

福建		江西		贵州		云南		青海	
合成省份	权重	合成省份	权重	合成省份	权重	合成省份	权重	合成省份	权重
宁夏	0.52	海南	0.44	安徽	0.64	海南	0.37	海南	0.94
安徽	0.29	湖南	0.36	海南	0.26	辽宁	0.26	重庆	0.05
湖南	0.15	北京	0.12	四川	0.03	安徽	0.20		
辽宁	0.04	辽宁	0.05	北京	0.07	北京	0.17		

生态文明先行示范区与合成控制地区 2008—2019 年的碳排放曲线如图 2 所示。图中，竖直虚线左侧为政策实施前的碳排放曲线，右侧为政策实施后的碳排放曲线。依据合成控制法的设计原理，生态文明先行示范区政策的碳减排效应大小可以用政策实施后的碳排放量与合成控制省份的碳排放量的差值来确定。若政策实施前实验组与控制组拟合程度较好且政策实施后差异越明显，则表明政策效果越显著，反之则表明政策效果不显著。由于青海在 2013 年前与合成省份的拟合程度较低，即未匹配到合适的合成对象，不符合合成控制法的前提假设，因此青海的政策效果暂不纳入考虑范围。从福建、贵州、云南和江西省的实证结果来看，2013 年前生态文明先行示范区和合成控制

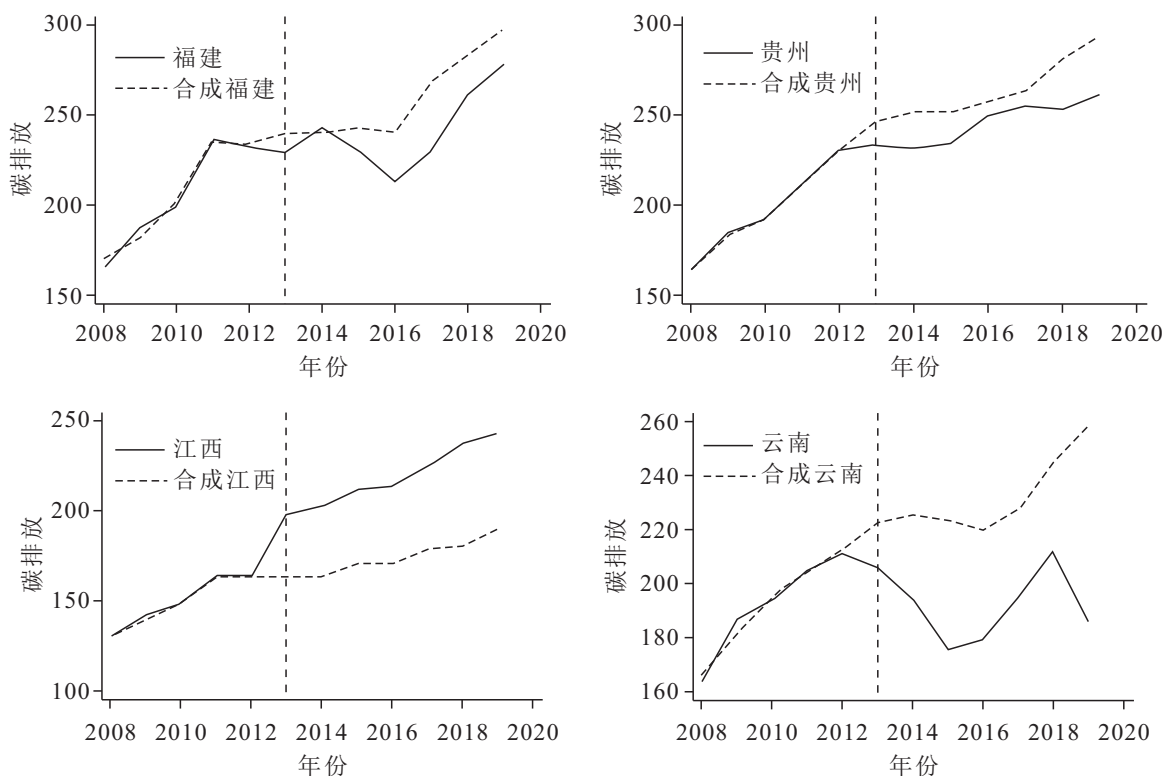


图 2 生态文明先行范区与合成地区碳排放总量对比

地区的碳排放量拟合效果较好, 2013 年后两者出现了明显偏离, 因此使用合成控制法有效。进一步地, 通过具体分析示范区各省份的碳排放量还可发现, 2008 年至 2019 年生态文明先行示范区和合成控制地区的碳排放量总体仍呈上升趋势。这表明, 示范区各省份乃至全国碳排放的趋势性压力尚未根本缓解, 碳达峰、碳中和目标实现仍然任务艰巨。但在示范区政策实施后, 福建、贵州和云南省的碳排放量明显低于合成地区, 且碳排放量增长幅度有所放缓, 这意味着生态文明先行示范区建设在这些省份产生了良好的政策效果。

值得关注的是, 江西省在 2013 年后的碳排放量反而高于合成的未试点地区。为深入探究江西省碳排放不降反增的原因, 本文对江西省能源消耗碳排放清单的原始数据进行分析。结果发现, 2013 年至 2019 年江西省的边际碳排放量虽不断递减, 但总体碳排放量仍逐年增加。具体分析碳排放来源发现, 煤炭仍是碳排放的主要来源, 但在 2013 年后江西省煤炭消费碳排放平均增长率由 2013 年前的 9% 下降至 2013 年后的 4%。可见, 生态文明示范区建设加强了碳排放主要来源控制, 并产生了政策效应, 降低了煤炭消费碳排放增长率。然而, 2013 年起, 江西省有色金属冶炼加工产生的其他气体碳排放量较 2013 年前每年约增加 20 百万吨, 增加量约占每年碳排放总量的 10%, 由此 2013 年后江西省的总体碳排放量被抬上了一个新高度。显然, 这与江西省的资源禀赋与产业结构密不可分。江西位于中国中部地区, 是工业主导型省份, 其金属矿产资源丰富且开发程度较高, 在国内外具有一定优势。近年来, 随着国内外市场扩大, 江西省有色金属开采量不断增加, 稳居江西省第一大支柱产业, 从而一定程度上增加了碳排放。与此同时, 在生态文明先行示范区建设政策指引下, 传统依靠化石能源消耗获取增长的“三高—低”企业为摆脱对煤炭等化石能源依赖, 不断调整产品结构和能源结构, 但受制于当地经济发展水平与科技创新能力, 规模较小且成长能力较弱的企业往往更倾向于转向与原先产品结构相似且转换成本相对较低的行业, 具有资源禀赋优势且成本较低有色金属冶炼与加工产业便成为部分企业的选择。另外, “双碳”目标的提出加速了全国能源转型, 光伏、水电、风电等知识密集型的新能源产业迅速发展, 而上游新能源设备制造离不开铜、锂等有色金属原材料, 这也一定程度上带动了江西省有色金属产业链发展, 进而增加了碳排放。

同理, 本文还计算得到了福建、贵州、江西、云南、青海省碳排放强度值的合成控制组省份的权重系数 (如表 2 所示)。合成控制组省份与目标省份较为接近, 这意味着合成控制组能够较好地模拟示范区省份的特征。如图 3 所示的实证结果表明, 2013 年政策实施以前实验组和合成控制组拟合效果总体较好, 2013 年后两者呈现出明显差异表明政策效果显著。具体来看, 2008—2019 年生态文明先行示范区的碳排放强度均呈明显下降趋势, 其中福建、贵州、云南省的碳排放强度在政策实施后明显低于合成控制省份, 且贵州和云南的碳排放强度值与合成控制省份碳排放强度值的差值更大, 这说明碳减排政策效果更好。江西省的碳排放强度值在政策施行后高于合成控制组, 碳减排效果不理想。青海省的碳排放强度值拟合效果不好, 因此暂不纳入考虑范围内。

表 2 生态文明先行示范区碳强度值合成省份的权重系数

福建		江西		贵州		云南		青海	
合成省份	权重	合成省份	权重	合成省份	权重	合成省份	权重	合成省份	权重
海南	0.42	北京	0.31	山西	0.78	辽宁	0.84	安徽	0.78
浙江	0.40	安徽	0.25	河北	0.12	山西	0.11	山西	0.17
山西	0.18	湖南	0.23	辽宁	0.10	新疆	0.03	新疆	0.05
		辽宁	0.18			陕西	0.02		

(二) 稳健性检验

前文的分析初步发现了生态文明先行示范区建设所存在的碳减排效应, 有助于“双碳”目标实

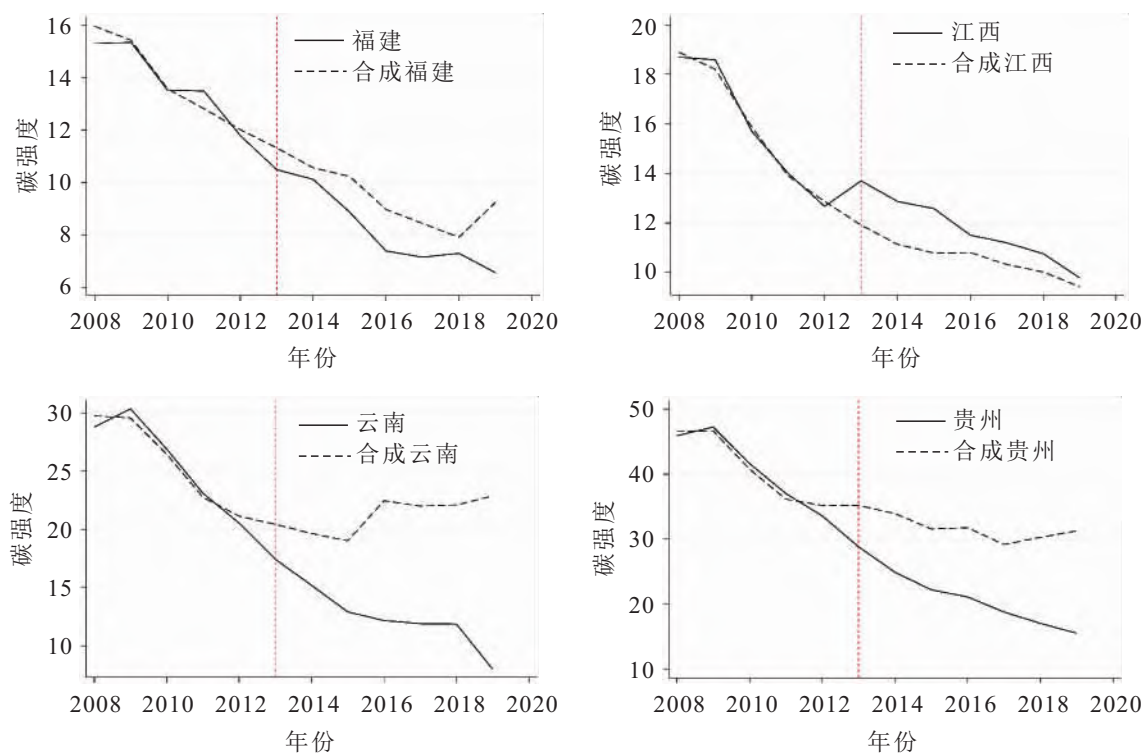


图3 生态文明先行示范区与合成地区碳强度对比

现。但是,这类效应的实现究竟源自生态文明先行示范区建设政策还是源自其他未观测到的外生因素,这是需要进一步厘清和确定的重要命题。因此,为了证明实证结果的有效性,本文对实证结果理想的省份(福建、贵州、云南)进行稳健性检验,检验方法选取常用的安慰剂检验和排序检验。

1. 安慰剂检验。根据安慰剂检验的原理,本文参考已有研究做法^{[30][31]},选取2013年某个未被纳入生态文明先行示范区建设的省份进行与前文同样的分析。若该省在2013年前后碳排放量和碳排放强度存在显著差异,而且与生态文明先行示范区的碳排放趋势基本一致,则说明合成控制法不能为生态文明先行示范区建设碳减排效应的存在提供证据。对于安慰剂省份的选择,分别选择在合成省份权重系数表中碳排放总量与碳排放强度出现频率最高且贡献值最大的安徽省和山西省作为样本。从安慰剂检验的结果(如图4所示)可以看出,安徽和山西的实际值与和合成值在2013年后与生态文明先行示范区碳排放的趋势恰好相反,即碳排放值和碳强度值均高于合成地区,这表明生态文明先行示范区建设的确促进了福建、贵州、云南地区碳减排。

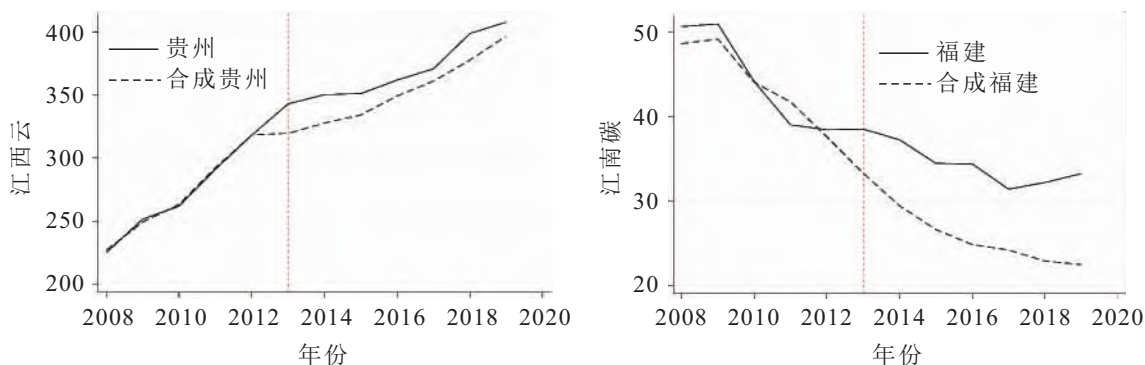


图4 安徽省碳排放总量和山西省碳强度的安慰剂检验

2. 排序检验。为了进一步增强研究结果的有效性, 本文采用 Abadie 等提出的一种类似于统计中秩检验 (Rank Test) 的排序检验 (Permutation Test) 方法, 用来判断是否还有省份出现与生态文明先行示范区类似的情况以及概率有多大。具体来说, 假设所有控制组省份在 2013 年被纳入生态文明先行示范区, 并用合成控制法构造相应省份的合成控制单元, 比较示范区省份真实情况下所产生的效果与控制组省份假设情况下的效果, 若两者差异明显则说明示范区建设有一定的效果。此方法要求政策实施前实验组与合成控制组较好的拟合, 否则不能准确证明生态文明先行示范区建设的效果。

均方根预测误差 (Root Mean Square Prediction Error, RMSPE) 衡量了实验组与合成控制对象的拟合程度, 若 RMSPE 值较大, 表明拟合效果不理想。本文剔除 2013 年前 RMSPE 值超过生态文明先行示范区各省份 1.5 倍的省份。图 5 和图 6 展现了各省实际碳排放与各自合成控制组碳排放的差值分布。黑色实线分别表示福建、贵州和云南的碳排放量与碳排放强度预测误差, 灰色虚线为其他省份的预测误差。可以看出, 2013 年前, 黑色实线大多位于灰色虚线之上, 2013 年后, 黑色实线明显下降位于多数灰色虚线之下。这表明生态文明先行示范区建设显著降低了福建、贵州和云南的碳排放量和碳排放强度。

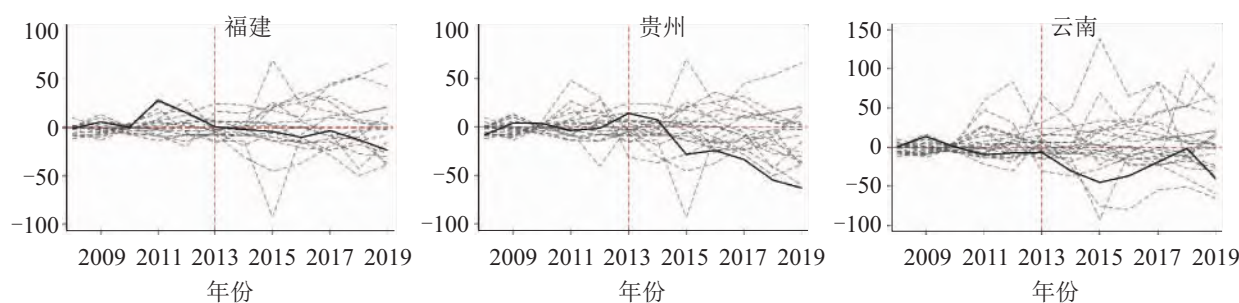


图 5 各省碳排放量的差值分布

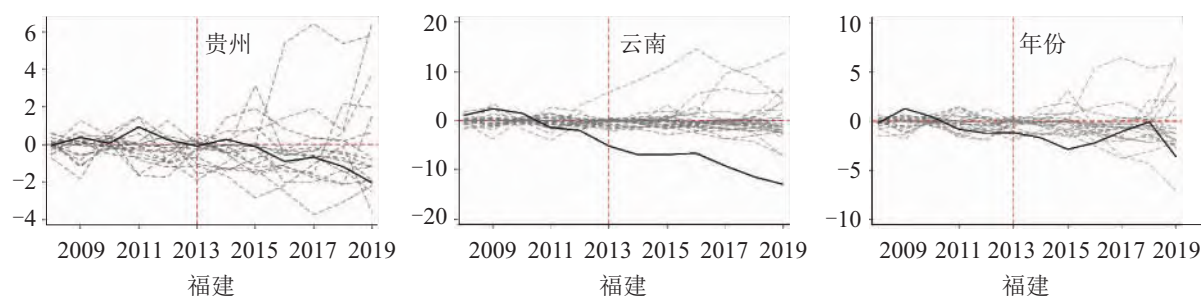


图 6 各省碳排放强度的差值分布

六、理论机制的再验证

从前述实证结果可以看出, 生态文明先行示范区建设总体能够抑制碳排放总量增长, 并降低碳排放强度。那么, 生态文明先行示范区建设究竟如何助力这些地区实现“双碳”目标? 如何系统认识示范区建设对碳减排发生的作用机制? 这是研究需要进一步回答的重要问题。为此, 本文结合前文所述的理论机制和实证结论, 从环境规制效应、结构优化效应、技术创新效应、生态碳汇效应四个方面对生态文明先行示范区建设对“双碳”目标的作用机制展开实证分析。

在实证分析前, 通过用方差膨胀因子 (Variance Inflation Factor, VIF) 法诊断是否存在多重共线性, 结果显示各变量中 VIF 值最大为 3.57, 远小于临界值 10。因此, 可以排除多重共线问题。为避免变量存在内生性问题, 本文参考已有研究^[32], 对主要变量进行了 Hausman 内生性检验, 结

果显示 P 值为 0.116（大于 0.1），无法拒绝所有解释变量均为外生的原假设，可以排除内生变量问题。在分析过程中，本文借鉴温忠麟等^[33]的做法，通过中介效应三步法构建递归方程式。式（7）考察生态文明先行示范区建设对碳排放的影响，式（8）考察生态文明先行示范区建设对 4 个中介变量的影响，式（9）将中介变量作为解释变量，考察中介变量在政策实施与碳排放的中介效应。

$$Carbon_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 treat_{it} + \theta control_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

$$M_{it} = \alpha_{it} + \varphi treat_{it} + \gamma control_{it} + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

$$Carbon_{it} = \alpha_{it} + \beta_2 treat_{it} + \lambda M_{it} + \phi control_{it} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

其中， $Carbon_{it}$ 表示碳排放总量， $control_{it}$ 表示控制变量， α_{it} 为常数项。 $treat_{it}$ 用生态文明先行示范区省份的虚拟变量与政策实施时间虚拟变量的乘积表示。若省份 i 在 t 年已经被纳入生态文明先行示范区，则该虚拟变量为 1，否则为 0。 M_{it} 为影响碳排放量的中介变量，包括环境规制（ gov ）、能源结构（ str ）、生态碳汇（ eco ）和技术创新（ tec ），用于检验生态文明先行示范区建设对“双碳”目标的作用机制。

回归结果如表 3 所示。模型（1）为基准回归结果，是中介效应存在的前提，回归系数在 1% 的显著水平上为负，表明生态文明先行示范区建设对碳排放起到了显著的抑制作用，这与合成控制法的结论相吻合。模型（2）至（5）分别考察了生态文明示范区建设对中介变量的影响，回归系数均在 5% 的水平上显著，表明生态文明先行示范区建设对环境规制、结构优化、技术创新和生态碳汇具有一定影响。模型（2）和（4）的系数为正，表明生态文明先行示范区建设对环境规制和生态碳汇的正向影响大于全国其他地区。模型（3）的回归系数为负，表明生态文明先行示范区煤炭消费占能源消费总量的比重总体低于全国其他地区，即能源结构更优化。通过对比回归系数绝对值的大小发现，生态文明先行示范区建设对生态碳汇的影响最大，能源结构次之，环境规制相对偏小。

表 3 生态文明先行示范区建设对碳排放的作用机制检验

变量	基准模型	中介机制模型				综合模型
	(1) 碳排放 <i>carbon</i>	(2) 环境规制 <i>gov</i>	(3) 能源结构 <i>str</i>	(4) 生态碳汇 <i>eco</i>	(5) 技术创新 <i>tec</i>	(6) 碳排放 <i>carbon</i>
<i>Treat</i>	-0.585*** (0.099)	0.060** (0.113)	-0.256*** (0.728)	0.467*** (0.142)	-0.624*** (0.156)	-0.167** (0.067)
环境规制 (<i>gov</i>)			0.261*** (0.032)	0.031 (0.069)	1.089*** (0.048)	-0.118*** (0.032)
能源结构 (<i>str</i>)		0.608*** (0.075)		0.055 (0.105)	-0.867*** (0.107)	0.580*** (0.048)
生态碳汇 (<i>eco</i>)		0.019* (0.042)	0.014 (0.027)		0.161*** (0.059)	-0.045* (0.025)
技术创新 (<i>tec</i>)		0.541*** (0.024)	-0.185*** (0.022)	0.131*** (0.048)		-0.322*** (0.022)
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
控制变量	否	是	是	是	是	否
<i>N</i>	360	360	360	360	360	360
<i>R-squared</i>	0.741	0.693	0.248	0.096	0.700	0.799

注：***、**、和* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平上显著，括号内数值为稳健标准误。

值得注意的是，模型（5）的回归系数在 1% 的显著水平上为负，这表明生态文明先行示范区建设对技术创新的影响小于全国其他地区。这是由于江西、贵州、云南、青海位于中国中部和西部地区，经济发展长期依靠资源和要素驱动，信息技术产业基础薄弱，技术创新、人才支撑、科研投入等方面与东部地区相比还存在较大的差距。此外，根据《关于印发国家生态文明先行示范区建设

方案(试行)的通知》,生态文明先行示范区建设更加侧重经济发展质量、资源能源节约利用、生态建设与环境保护、生态文化和体制机制四方面的内容,而对于科技创新未提出明确的要求,因此,技术创新效应相对不明显。

模型(6)是将解释变量和中介变量同时纳入回归方程的综合模型回归结果。实证结果表明,核心变量 $Treat$ 的回归系数在 5% 的水平上显著为负,且系数绝对值 0.17 小于模型(1)中的 0.59,表明生态文明先行示范区建设对碳排放存在间接影响。模型(6)的回归系数绝对值更小,表明在加入中介变量后生态文明先行示范区建设对碳排放产生了积极影响。其中,技术创新的系数为负,表明尽管生态文明先行示范区建设未诱发出明显的技术创新中介效应,但技术创新却直接促进了碳减排。为了检验中介效应的有中介效应性,本文采用系统 Bootstrap 检验法,抽样次数 1 000 次对中介效应进行稳健性检验。检验结果显示,在 95% 的置信区间内不包含 0,表明中介效应确实存在。以上结果证实了结构优化、环境规制和生态碳汇在生态文明先行示范区建设中发挥着显著的碳减排效应,也间接印证了前文所述的生态文明先行示范区建设对实现“双碳”目标的作用机制。

七、结论与启示

本文面向新时代我国提出的碳达峰、碳中和目标,深入分析了生态文明先行示范区建设对实现“双碳”目标的作用机理,运用合成控制法探究我国首批省级生态文明先行示范区建设的碳减排效应,并通过中介效应模型检验了生态文明先行示范区建设对实现“双碳”目标的促进功能。研究表明:(1)在考察期内,中国生态文明先行示范区建设总体促进了碳减排,示范区建设有助于实现“双碳”目标。(2)生态文明先行示范区建设的碳减排效应具有异质性,其中,福建、贵州和云南的碳减排成效较为突出,表现为碳排放量增速放缓,碳排放强度陡坡式下降,江西省受到本土资源禀赋、产业结构的制约,其被纳入生态文明先行示范区建设的碳减排效果相对不够明显。(3)生态文明先行示范区主要通过环境规制、结构优化和生态碳汇因素的中介效应间接促进区域碳减排,其中,生态碳汇对碳减排的贡献较突出。尽管生态文明先行示范区建设并未诱发明显的技术创新中介效应,但技术创新在抑制示范区碳排放过程中发挥着直接显著的作用。

基于以上研究结论,为进一步推进我国生态文明建设,助力“碳达峰、碳中和”目标实现,本文提出如下促进策略:(1)建立以“双碳”目标导向的生态系统治理多元规制体系。基于生态系统内在要素的耦合关系,各地要增强国土空间规划、生态保护红线、重大生态修复工程等生态治理举措与减污降碳目标的协同性,建立现代化生态系统综合治理体系,提升自然生态系统的协调性与生态碳汇的稳定性。与此同时,发挥制度在生态治理中的激励和约束作用,淘汰高耗能企业以释放碳容量,并通过完善碳排放总量和强度“双控”目标责任考核制度、总量控制与配额调控机制、加强统一监管等举措促进减碳政策协同。(2)优化产业结构和能源结构推动生产方式绿色低碳转型。生态文明先行示范区各省要大力推进供给侧结构性改革,加快淘汰落后产能,遏制“三高一低”产业无序盲目发展,鼓励发展战略性新兴产业,加速高端要素、优质产业聚集,推动传统产业向高端化、智能化、绿色化转型。同时,加快能源结构调整,控制化石能源消费量,逐步压缩煤炭等过剩产能,提高煤炭清洁利用能力。加快清洁能源开发利用能力,提高能源自给率,建立低碳、清洁、高效能源体系。通过发展循环共享经济节约自然资源,从而减少碳排放。(3)加强零碳负碳技术创新促进区域生态系统碳平衡。各地区因资源禀赋、发展阶段不同,其实现碳中和的空间尺度范围、难易程度、策略空间也具有差异性。各地应根据区域发展实际制定符合区域发展特征的碳减排技术路径,重新定义各地区在经济版图上的角色。青海、云南等清洁能源资源丰富、碳封存潜力较大的地区,应重点发挥生态碳汇系统碳吸纳、碳消解的优势作用,提升碳汇增量,降低碳排放总量。福

建、江西、贵州等地区应加快培育绿色低碳技术创新能力,推进低碳零碳负碳技术研发及规模化应用,提高生态系统碳汇能力。

参考文献

- [1] 习近平. 努力建设人与自然和谐共生的现代化[J]. 求是, 2022(11).
- [2] 游上, 史策. 全国首个生态文明试验区的创新经验[J]. 中国行政管理, 2018(1).
- [3] 李庆旭, 刘志媛, 刘青松, 等. 我国生态文明示范建设实践与成效[J]. 环境保护, 2021(13).
- [4] 陈诗一. 节能减排与中国工业的双赢发展: 2009—2049[J]. 经济研究, 2010(3).
- [5] Palmer, K., W. E. Oates, P. R. Portney. Tightening environmental standards: The benefit-cost or the no-cost paradigm? [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 1995(4).
- [6] 汤维祺, 吴力波, 钱浩祺. 从“污染天堂”到绿色增长——区域间高耗能产业转移的调控机制研究[J]. 经济研究, 2016(6).
- [7] 杨莉莎, 朱俊鹏, 贾智杰. 中国碳减排实现的影响因素和当前挑战——基于技术进步的视角[J]. 经济研究, 2019(11).
- [8] 孙博文, 张政. 国有企业混合所有制改革的碳减排效应及其机制分析——基于中国工业企业污染数据库的微观证据[J]. 改革, 2021(7).
- [9] 徐盈之, 王书斌. 碳减排是否存在空间溢出效应? ——基于省际面板数据的空间计量检验[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2015(1).
- [10] 杨曦, 孟椿雨, 林竞立, 等. 非首都功能疏解政策下北京四大功能区碳排放时空演化及区域异质性影响研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2021(2).
- [11] 刘华军, 邵明吉, 吉元梦. 中国碳排放的空间格局及分布动态演进——基于县域碳排放数据的实证研究[J]. 地理科学, 2021(11).
- [12] 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).
- [13] 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(11).
- [14] 赵巧芝, 闫庆友, 何永贵. 基于投入产出方法的各行业碳减排效果模拟研究[J]. 统计研究, 2017(8).
- [15] 史丹, 李鹏. “双碳”目标下工业碳排放结构模拟与政策冲击[J]. 改革, 2021(12).
- [16] Xu, G., H. Dong, Z. Xu, et al. China can reach carbon neutrality before 2050 by improving economic development quality[J]. *Energy*, 2022, 243.
- [17] 陈诗一, 张建鹏, 刘朝良. 环境规制、融资约束与企业污染减排——来自排污费标准调整的证据[J]. 金融研究, 2021(9).
- [18] 高红贵, 许莹莹, 朱于珂. 命令控制型环境规制对碳市场价格的影响——来自中央环保督察的准自然实验[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2022(3).
- [19] 丁斐, 庄贵阳, 刘东. 环境规制、工业集聚与城市碳排放强度——基于全国 282 个地级市面板数据的实证分析[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2020(3).
- [20] Porter, M. America's green strategy[J]. *Business and the Environment: A Reader*, 1996, 33.
- [21] 原毅军, 谢荣辉. 环境规制的产业结构调整效应研究——基于中国省际面板数据的实证检验[J]. 中国工业经济, 2014(8).
- [22] 林毅夫, 付才辉. 比较优势与竞争优势: 新结构经济学的视角[J]. 经济研究, 2022(5).
- [23] Baumol, W. J. Macroeconomics of unbalanced growth: The anatomy of urban crisis[J]. *The American Economic Review*, 1967(3).
- [24] He, A., Q. Xue, R. Zhao, et al. Renewable energy technological innovation, market forces, and carbon emission efficiency[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 796.

- [25]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(2).
- [26]石大千,丁海,卫平,等. 智慧城市建设能否降低环境污染[J]. 中国工业经济, 2018(6).
- [27]杜之利,苏彤,葛佳敏,等. 碳中和背景下的森林碳汇及其空间溢出效应[J]. 经济研究, 2021(12).
- [28]Gharehgozli, O. An empirical comparison between a regression framework and the synthetic control method [J]. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 2021, 81.
- [29]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).
- [30]陈太明. 改革开放与中国经济增长奇迹——基于合成控制法的研究[J]. 经济理论与经济管理, 2021(6).
- [31]刘友金,曾小明. 房产税对产业转移的影响:来自重庆和上海的经验证据[J]. 中国工业经济, 2018(11).
- [32]宋宝琳,张航,胡欣蕊. 数字金融发展对地方财政收入的影响及区域差异研究——基于中国 282 个地级市面板数据的中介效应检验[J]. 财政科学, 2022(5).
- [33]温忠麟,张雷,侯杰泰,等. 中介效应检验程序及其应用[J]. 心理学报, 2004(5).

How does the Construction of the Ecological Civilization Pilot Zone Help Achieve “Dual Carbon” Goal ?

— An Empirical Study Based on Synthetic Control Method

CHEN Jun, XIAO Yu-tong

Abstract: To achieve carbon peaking and carbon neutrality is an inherent requirement for implementing the new development concept, building a new development pattern and promoting high-quality development. “Dual carbon” goal is also an essential part of Chinese modernization featuring harmonious coexistence between man and nature. Therefore, exploring the realization mechanism and internal laws of “dual carbon” target in typical region presents important implications for promoting comprehensive green transformation of China’s economic and social development. In this paper, the carbon emission reduction effect of ecological civilization pilot demonstration zone is evaluated by using synthetic control method and intermediary effect model. The results show that the carbon emission reduction effect of the demonstration zone is generally better than that of other regions in the country and the construction of the demonstration area plays a leading role in realizing the “dual carbon” target. The carbon emission reduction effect of the demonstration zone construction has regional heterogeneity. The effect is more prominent in Fujian, Guizhou and Yunnan provinces, but not obvious in Jiangxi province. Environmental regulation, structural optimization and ecological carbon sink play a chain intermediary effect in the process of carbon emission reduction in the demonstration zone, and the intermediary effect of ecological carbon sink is more prominent. Although the construction of demonstration zone does not induce obvious technological innovation effect, technological innovation plays a direct and significant role in the process of curbing carbon emissions. To further promote the construction of ecological civilization, it is necessary to establish a multi-regulation system for ecosystem governance, optimize industrial and energy structure to promote the green and low-carbon transformation of production methods, strengthen the innovation of zero-carbon and negative-carbon technologies to promote regional ecological system carbon balance.

Key words: ecological civilization pilot demonstration zone; “dual carbon” target; synthetic control method; carbon reduction effect

(责任编辑 孙 洁)