【区域绿色发展】

能源环境政策工具适应“双碳”目标的动态优化分析*

刘戒骄 刘冰冰

摘 要：能源环境政策工具的设计与运用是影响中国“双碳”目标实现的重要因素。聚焦能源环境政策工具与“双碳”目标的动态适配关系，对供给型、需求型和环境型三类政策工具在不同阶段的组合效力与调整优化策略进行研究。通过政策文本分析识别“双碳”目标提出前后的高频政策工具和组合，进而利用双向固定效应模型和调节效应模型，评估各类政策工具的碳减排效应。研究发现，技术支持、基础设施建设、法律法规政策工具具有显著的降碳效果，并且基础设施建设和政府绿色采购在“双碳”目标提出后具有更强的降碳效果。供给型和环境型政策工具组合的减碳效果最佳。异质性分析显示在不同企业规模、企业碳排放强度和城市资源特征条件下，政策工具的有效性呈现梯队分布。中国应从提高政策工具组合的整体效力、增强政策工具组合与阶段性目标任务的适配能力、实现政策工具的系统联动等方面，提升政策工具组合运用的精准性，增强政策的整体效力，形成与“双碳”目标阶段进程相适配的能源环境政策工具及组合策略。

关键词：能源环境政策；政策工具；“双碳”目标；政策分析

中图分类号：X322 **文献标识码**：A **文章编号**：2095-5766(2026)05-0133-15 **收稿日期**：2026-03-27

***基金项目**：国家社会科学基金重大项目“‘双碳’目标下我国新型能源监管体系构建与监管政策优化研究”(23&ZD102)。

作者简介：刘戒骄，男，江西服装学院商学院院长（南昌 330201），中国社会科学院工业经济研究所研究员（北京 100006）。

刘冰冰，女，中国社会科学院美国研究所助理研究员（北京 100007）。

一、引言

党的二十届四中全会再次强调如期实现碳达峰目标，并从重点领域绿色低碳转型、落实促进绿色低碳发展政策、建成清洁低碳安全高效的新型能源体系、推动能源消费绿色化低碳化等方面进行了部署。2025年中央经济工作会议提出坚持双碳引领，推动全面绿色转型，深入推进重点行业节能降碳改造。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》将加快能源结构调整优化作为如期实现碳达峰目标的重要手段。能源环境领域是实现“双碳”目标的主战场和关键支撑，能源环境政策工具的设计与运用关系政策的科学性和可行性，直接影响政策效果，对中国实现碳达峰和碳中和进程具有重要影响。一方面，中国煤炭、石油等高碳能源消费占比高，能源活动是温室气体的主要排放源。另一方面，环境治理体系为碳排放监管、核算、交易和责任分配提供制度保障。明确能源与环境政策工具与“双碳”目标实现进程的匹配关系，对于科学选择、系统设计和动态优化能源环境政策工具，提升政策工具组合运用的精准性，增强能源环境政策的整体效力，推动“双碳”目标实现具有重要作用。

然而，能源环境政策工具复杂多样，其运用需要明确不同政策工具在调节对象、作用条件和实施时间维度等方面的差异。因此，对能源环境政策进行分类研究，有助于系统识别政策作用效果和机制，提升政策工具组合设计与阶段性任务的动态适配性，从而有效推动“双碳”目标的实现。现有研究较多采用Rothwell et al.（1981）的分类方式，将政策工具分为供给型、需求型和环境型三类进行政策分析（Shen et al.，2025；Shyu et al.，2001）。一方面，供给、需求和环境型政策工具分类可以覆盖“资源配置—行为引导—制度保障”的耦合闭环，有助于避免政策工具碎片化。同时，这种分类可以精准匹配政策目标，根据政策目标动态调整政策工具组合提升政策效力。另一方面，该分类方式有利于跨国家能源政策工具的比对（王新玲，2024）。国际能源署、欧盟委员会等机构采用供给、需求和环境型政策工具分类方法研究能源技术发展、清洁能源创新、能源系统整合等内容，可为中国参考其他国家政策工具使用情况提供依据。为全面反映政策工具在资源配置、市场激励和制度塑造方面的作用机制，分析“双碳”目标在不同阶段的适配组合方式，揭示各类政策工具耦合的关键节点，本文采用供给型、需求型和环境型的三元分类方法。三类政策工具的政策目的和手段各不相同。供给型政策工具通过改善资金、技术、人才、基础设施等条件，推动能源供给能力提升。需求型政策工具通过扩大或创造新的市场需求，促进产业规模化应用。环境型政策工具则通过制度设计维护市场运行环境，引导消费者和生产者行为向政策目标方向转变。供给型政策工具为需求面提供要素基础，而需求型政策工具利用需求刺激产业进步和规模壮大，环境型政策工具为供需衔接提供良好运作的市场环境。

既有文献关于上述三类政策工具及其组合运用开展了不少富有价值的研究。国外研究集中从政策工具组合的互动关系、政策工具组合的减碳效果等问题展开。Ma et al.（2025）认为政策工具的互动、设计、选择和排序决定了技术创新和环境绩效；不同政策工具之间既可能互补也可能相互替代（Hille et al.，2023）。Scotti et al.（2025）发现混合政策工具能够以技术变革方式推进能源转型，减少能源企业碳排放。政策工具并不是越多越好，过度叠加可能会降低政策组合的有效性（Costantini et al.，2017）。并且政策组合工具的作用需要嵌入基础设施、市场和制度环境等因素中理解（Juntunen et al.，2026）。国内相关研究集中于分析“双碳”政策工具组合的使用分布情况。宋敏等（2022）发现“双碳”政策工具数量和结构分布不均，混合型政策工具使用最多，环境创造类政策工具占比较高。付琳等（2023）发现环境型、需求型和供给型政策工具的运用存在失衡。庄贵阳等（2023）的研究强调根据经济发展环境和战略任务的变化，加强“双碳”政策的适应性管理。上述研究说明当前“双碳”政策工具使用类别具有不均衡性和动态适应性，但是并未进一步分析政策工具组合应如何适应“双碳”目标发展。虽然既有研究使用文本分析方法或计量模型对不同类政策工具的绿色转型作用、降碳作用进行了分析（Torné et al.，2026；吴明宇等，2024；陈诗一等，2022），但是对政策工具如何动态优化适应“双碳”进程、政策工具组合减碳效应的研究还存在研究空白。

为分析政策工具与“双碳”目标的有效匹配方式，本文使用政策文本分析方法和计量模型对政策工具及其组合的减碳效应进行了评估。首先，处理能源环境相关的政策文本，将识别的能源环境政策工具归类到供给型、需求型和环境型三类，解析具体政策工具的内容和使用频次占比，得出供给型和环境型政策工具使用频率较高，需求型政策工具使用不足。根据政策工具联系得出环境型和供给型政策工具联系最为密切。进一步地，使用双向固定效应模型和调节效应模型分析了七项高频政策工具及其组合的减碳效果。结果发现环境型和供给型政策工具组合减碳效果最佳，政府需谨慎使用单一类别政策工具，以及需求型和供给型相结合的政策工具组合。最后，考虑到政策作用对象和环境差异可能影响政策工具效用发挥，本文从企业规模、企业碳排放量和城市资源类型三个维度进行了异质性分析，并总结了政策工具组合效力的三个梯队，得出促进政策工具适应“双碳”目标的动态优化路径。

本文可能的边际贡献如下：第一，从静态工具识别转向动态组合优化，拓展了能源行业降碳的政策工具组合研究。已有研究考察了政府补贴、税收减免、非金融政策、创新政策等对新能源行业发展的影响（Qin et al.，2022；Zeng et al.，2025），现有研究

更多停留在单政策或双政策效应评估(韩先锋等,2023;高升等,2026),但是并未从政策工具动态优化角度系统研究政策工具组合如何适应“双碳”目标的阶段性演进。第二,将文本分析方法与计量模型结合,可以检验客观上使用频次较高的政策工具及其组合的效果,得出促进能源领域降碳的有效政策工具组合。文本分析虽然能够直观显示当前政府的政策工具偏好(俞立平等,2023),但是不能显示政策工具效果的局限性。第三,从工具—环节—体系三个维度提出政策优化路径,为动态调整降碳政策组合提供了可操作框架。多数研究止步于加强政策协同这一原则性结论,缺乏对如何优化的进一步分析。本文提出构建效力突出的政策工具组合、统一有序的政策实施环节和系统联动的政策工具体系,将政策优化从理论层面落实到设计层面,为政府动态优化政策工具提供参考路径。

二、能源环境政策工具的文本分析

(一)政策文本分析

政策文本分析方法通过分析政策的变化特征及导向,揭示政策演进的内在逻辑。本文使用政策文本分析方法,利用Gooseeker软件对能源领域相关的政策文件进行处理,并从能源环境政策工具等维度,分析“双碳”目标提出前后政策工具频次和内容变化、政策工具联系等,为挖掘能源环境政策工具有效性提供量化依据。

1.能源环境政策文本来源和统计分析

本文收集了2012—2024年中央层级的重要能源政策原文。政策文件主要来自北大法宝数据库、生态环境部官方网站、国家能源局网站、中国政府网、国家发展和改革委员会网站等。本文对所有文件进行了筛选,去掉与能源环境政策主题非直接相关的政策文件,最后共获得100份关于能源环境监管、“双碳”目标、环境监管和能源发展的相关政策原文。为分析“双碳”目标提出前后能源政策工具变化,本文根据“双碳”目标提出时间节点将政策划分为两组。其中,“双碳”目标提出前的政策文件数共有47份,“双碳”目标提出后的政策文件数53份。收集的具体政策文件类型分布见表1。“双碳”目标实施之前,国务院政府工作报告、能源监管工作和任务、能源行业五年规划和工作指导意见来源占比较高。“双碳”目标提出后,为响应降碳需要,关于碳排放核算等相关管理办法和减排方案占比较多,具体减碳的建设指南占比也较高,说明降碳方法执行类政策占主导。

表1 能源环境政策分布数量和占比统计

“双碳”目标提出前政策类型分布	数量	类型占比	“双碳”目标提出后政策分布类型	数量	类型占比
党的全国代表大会报告	2	4.26%	党的全国代表大会报告	2	3.77%
五年规划	2	4.26%	五年规划	1	1.89%
国务院政府工作报告	9	19.15%	国务院工作报告	3	5.66%
能源发展五年规划	2	4.26%	能源发展五年规划	1	1.89%
能源行业五年规划	6	12.77%	能源行业五年规划	1	1.89%
能源工作指导意见	6	12.77%	能源工作指导意见	4	7.55%
能源监管工作和重点任务	7	14.89%	能源监管工作和重点任务	3	5.66%
国务院意见	1	2.13%	国务院意见	4	7.55%
管理办法和方案	5	10.64%	管理办法和方案	12	22.64%
建设指南	2	4.26%	建设指南	6	11.32%
其他	5	10.64%	其他	16	30.19%

数据来源:数据由作者根据政策类型数量计算获得。

2.数据处理和分析

能源政策文本的数据处理包括以下四步(见图1)。第一,对政策文本进行分词。使用Gooseeker软件分别对“双碳”目标提出前后的政策进行了分词。此时可以获得所有政策文本词频,但是大部分词语与能源环境和“双碳”主题不相关。第二,明确筛选标准并完成词汇筛选和归类。筛选与“双碳”目标、能源政策工具等相关的政策。将筛选词组手动添加到词汇库,并对语义相近、指向同一政策工具的词汇进行合并归类,统一归属于所属政策工

具，确保归类一致性。第三，分别展示“双碳”目标提出前后的政策类别及具体政策工具和内容。第四，筛选高频政策工具并生成政策工具网络图。

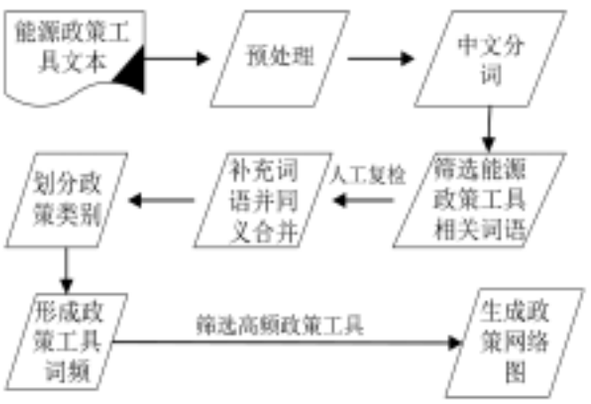


图1 政策文本量化流程

资料来源：作者绘制。

（二）“双碳”目标提出前后政策工具对比

供给型政策工具通过政府财政对绿色低碳基础设施和要素供给的资助，降低能源生产企业的低碳发展成本，提高绿色低碳能源供给能力。需求型政策工具通过对能源使用端的干预，激励和约束用能企业和终端用户提高对低碳产品的偏好，从而激发绿色低碳产品和服务的市场需求。环境型政策工具通过规制、标准与规范，为供需两端营造低碳发展所需要的行为规范、信息结构和边界约束。“双碳”目标实施前后，首先是供给型政策工具词频占比分别是60.36%和57.02%，一直占据主导地位。其次是环境型政策工具，词频占比分别是28.72%和27.56%，最后是需求型政策工具，词频占比分别为13.50%和15.42%。“双碳”目标实施后，需求型和环境型政策工具使用频次更加均衡。从具体政策工具来看，“双碳”目标提出前，技术支持、基础设施、规划、金融支持和财政支出占比较高；“双碳”目标提出后，基础设施、金融支持、人才支持、规划政策工具占比较高。其中，财政支出、基础设施、规划的政策工具作用一直占比较高，分别对应需求型、供给型和环境型政策类型。

“双碳”目标提出前后政策工具使用频次的变化是政策适配“双碳”目标推进阶段、能源领域发展转变和外部发展环境的共同作用结果。一方面，中国“双碳”目标提出前后面临不同发展问题。“双碳”目标提出之前，我国能源领域发展处于攻坚阶段，面临绿色低碳能源供给不足，高碳能源占比过高、低碳基础设施薄弱、低碳技术不成熟等问题。此时政策导向注重“强供给”，因此注重运用供给型政策工具补齐绿色基础设施供给短板。“双碳”目标提出之后，随着供给能力逐步提升，单纯依靠供给端发力很难实现减排目标，而需求端动力不足制约减排推进。因此，政策转向了供需协同、约束强化目标，通过提升需求型和环境型政策工具使用频次，构建起协同发力的政策工具体系。另一方面，不同阶段减排目标推动政策工具更加细化和深化。“双碳”目标提出前，环境和能源政策的核心目标是控制污染和初步降碳，政策工具的针对性不强，以供给型政策工具兜底为主；“双碳”目标提出后，减排目标更加细化，要实现“双碳”的系统性目标，需要兼顾供给、需求和环境三大维度。因此，政策工具向多元协同和结构均衡化转变。

（三）能源环境政策工具间联系分析

根据政策工具构建共词矩阵，即如果两个政策工具共同出现在了同一段政策文本中，则取值为1，否则为0。分别绘制“双碳”目标前后的政策工具联系网络图（见图2）。政策工具之间的连线表明文件中这两个政策工具同时出现在一段中。各政策工具之间的连线越粗，表明政策工具共同使用的频次越高。为更清晰简洁观测政策工具之间的联系，本文仅选取了三类政策中使用频次较高的政策工具。由图2可知，“双碳”目标提出前，基础设施、人才支持、技术支持等供给型政策工具和法律法规、标准规范等环境型政策工具联系较为密切。财政政策为代表的需求型政策工具和供给型政策工具联系也较多。这说明上述政策工具组合使用频率较高。“双碳”目标实施后，管制、标准和法律法规为代表的环境型政策工具与金融政策联系紧密。而且环境型政策工具与基础设施、技术支持等供给型政策工具联系也较为密切。综合“双碳”目标提出前后的政策联系来看，环境型和供给型政策工具联系最为密切，需求型政策工具与其他类别政策工具联系在“双碳”目标提出后偏弱。

三、实证设计

根据政策文本分析，得到不同类别政策工具的使用频次、政策工具组合的搭配关系，以及“双碳”目标提出前后政策工具使用变化情况，但是仍

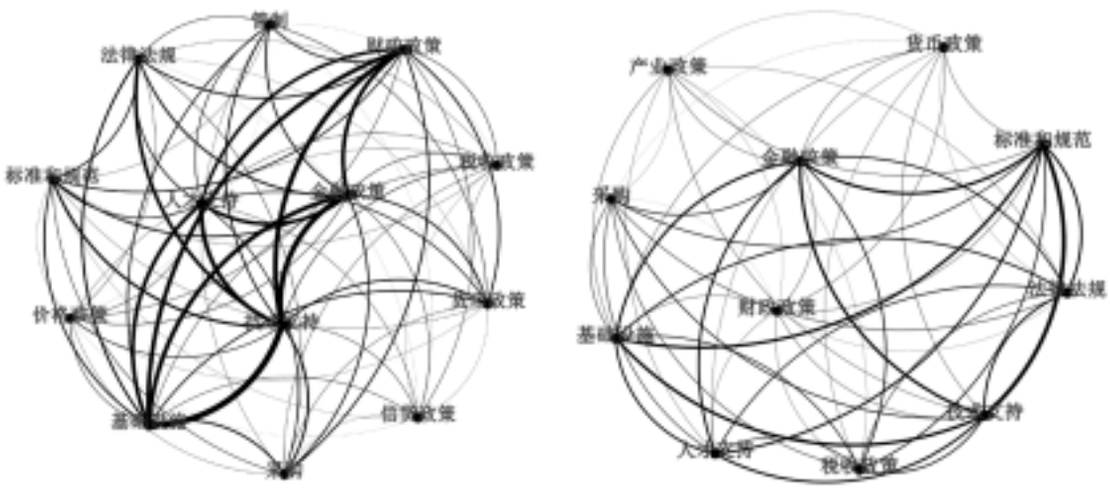


图2 “双碳”目标提出前(左图)后(右图)能源环境政策工具联系分析

资料来源:作者绘制。

无法得知不同政策工具及政策工具组合的减碳效果。为此,根据政策文本分析得到的高频使用的政策工具,分别量化各类政策工具,并分析不同政策工具组合对企业碳排放量的影响。

(一)变量构造

1.被解释变量

企业碳排放量。企业温室气体排放需要基于国际通用的《温室气体核算体系》制定的标准。该标准将企业温室气体排放划分为三个范围。第一范围是企业拥有的直接排放源。第二范围是核算企业消耗的外购电力和热力产生的间接温室气体排放。第三范围是企业活动产生的碳排放,它并不来自企业拥有或控制的排放源,而是由于开采原材料、出售产品等产生的碳排放。参考王浩等(2022)研究,选择第一范围和第二范围作为企业碳排放的测度范围,并采取对数化的形式得到企业碳排放量($\ln CO_2$)。

2.解释变量

各项政策工具。依据数据可得性和企业层面分析特点、选取每类政策中的高频政策工具为原则,分别选择技术支持、人才支持和基础设施政策工具作为供给型政策的代表政策工具;选择财政支出和政府购买代表需求型政策工具,并选择法律法规代表环境型政策工具。在数据可得性前提下,选取如下变量代表上述政策工具。首先,针对技术支持、人才支持和基础设施建设等供给型政策工具,分别使用企业获得的R&D补贴与营业收入之比(*Lnrdincome*),研发人员占比(*Lnrd_Person*),企业数字化无形资产投资与营业收入之比(*Asset_Pro*)表示。限于数据可得性,本文无法直接获得政府对于企业的人才补贴数额,所以直接从结果角度用人才支持变量表示。硬件和软件基础设施支持能够为企业碳减排提供基本支撑,并且数字技术通过提高要素利用效率和绿色创新等降低企业碳排放(屠西伟等,2024;杨刚强等,2023)。政府也对企业数字化投资给予政策优惠,所以利用企业数字化无形资产占比度量企业软件基础设施水平。

其次,财政支出和政府购买等政策工具在需求型政策中使用频率较高。本文使用绿色投资(*Green_Invest*)、政府绿色补贴(*Green_Sub*)和政府绿色采购(Ln*govern*)表示常见的需求型政策工具。企业绿色投资(*Green_Invest*)是企业受到政策支持后作出积极反应的显著表现,是企业履行环境治理责任的积极行为,虽然它并不直接代表政策工具力度,但是能够从企业投资规模变化反映政策支持力度。参考赵领娣等(2022)的构造方法,从企业在建工程明细表中加总与企业生态环境治理和防治相关的投资支出金额,并除以期末总资产进行标准化处理。参考李青原等(2020)的做法,从上市企业年报中获得政府补贴的明细数据,根据“环保”“减碳”“节能”等关键词搜索政府补贴下关于环保补贴的数额,加总后与营业收入作比得到政府绿色补贴。参考江鑫等(2024)的做法,从政府采购网中识别绿色采购合同类别,然后与上市企业匹配,计算得到加总后的绿色采购总额对数值。

最后，本文选择法律法规和环境监管代表环境型政策工具。虽然“规划”“行业标准”“政策引导”等词频占比排名更靠前，但上述政策较为宏观，多为国家或区域层面指导性和框架性安排，缺乏直接匹配到企业层面的量化数据，很难度量企业获得的政策支持或约束。并且法律法规的核心作用是通过惩戒性条款规范企业环保行为，环保处罚正是该政策执行的直接体现。其频次直接反映了法律法规政策的执行力度和企业的合规程度。所以，以企业受到的环保处罚次数（*Fine_Sum*）度量法律法规和环境监管类政策工具。

3.控制变量

本文分别从企业和城市层面控制了可能影响企业碳排放的因素。城市层面因素包括产业结构（*industry_pro*）、城市工业废物利用率（*Recycle*）、城市年度平均空气质量（*Air_Quality*）、人均地区生产总值（*Per_GDP*）、城市经济增长目标（*Economic_Goal*）。企业层面因素包括：总资产净利润率（*ROA*），资产负债率（*Lev*）、营业收入增长率（*Growth*）和企业年龄（*Firmage*）（见表2）。

（二）模型

为分析各类政策工具对企业碳排放的影响，同时避免个体异质性和时间共同冲击的干扰，本文构建了双向固定效应模型。在此基础上，本文还使用调节效应模型分析“双碳”目标提出前后政策工具有效性变化，并分析政策工具组合的降碳效果。

1.双向固定效应模型

模型（1）中的被解释变量为$LnCO_{2i,t}$，即企业i在第t年的二氧化碳排放量的对数值。核心解释变量为$Policy_{it}$，是企业i在第t年获得的各类政策工具支持。$Controls_{i,c,t}$为一系列包括城市和企业层面的控制变量。θ_t为年份固定效应，用以控制时间维度上不可观测的因素。μ_i是企业固定效应，表示控制企业层面不随时间变化的因素，比如：企业文化特征等。系数α_1表示单项政策工具对企业碳排放量的影响。如果系数显著为负，说明该政策工具对企业具有显著的降碳效应。

$$\mathrm{Ln}CO_{2i,t}=\alpha_0+\alpha_1 Policy_{it}+\sum\gamma\, Controls_{i,c,t}+\theta_t+\mu_i+\varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

2.调节效应模型

模型（2）为“双碳”目标提出前后政策工具有效性的分析。其中当样本年份在2021年及以后时，$Post$=1；否则为0。如果系数β_1显著为负，说明“双碳”目标提出后，该项政策工具降碳效果要显著优于“双碳”目标提出之前。系数不显著，说明政策工具效果没有显著差异。系数显著为正，则说明该政策在“双碳”目标提出后相比提出前增加了碳排放。

$$\mathrm{Ln}CO_{2i,t}=\beta_0+\beta_1 Policy_{it}\times Post+\beta_2 Policy_{it}+\beta_3 Post+\sum\gamma\, Controls_{i,c,t}+\theta_t+\mu_i+\varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

模型（3）和模型（4）是政策工具组合的分析。模型（3）中，$Policy_A_{it}$和$Policy_B_{it}$分别为上述4项政策工具中的任意两项。系数δ_1如果显著为负，说明该政策工具组合实现了协同降碳的效果。类似地，模型（4）为三项政策工具组合的回归模型。系数φ_1为三项政策工具组合对企业碳排放的影响效应，如果φ_1显著为负，则说明政策工具组合起到了显著的降碳效果。根据模型（3）和模型（4），本文可以对4项政策工具的任意两项和三项组合的协同减碳效果进行检验。

$$\mathrm{Ln}CO_{2i,t}=\delta_0+\delta_1 Policy_A_{it}\times Policy_B_{it}+\delta_2 Policy_A_{it}+\delta_3 Policy_B_{it}+\sum\gamma Controls_{i,c,t}+\theta_t+\mu_i+\varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}\mathrm{Ln}CO_{2i,t}=\;&\varphi_0+\varphi_1 Policy_A_{it}\times Policy_B_{it}\times Policy_C_{it}+\varphi_2 Policy_A_{it}+\varphi_3 Policy_B_{it}+\varphi_4 Policy_C_{it}+\varphi_5 Policy_A_{it}\times Policy_B_{it}+\varphi_6 Policy_A_{it}\times Policy_C_{it}+\varphi_7 Policy_C_{it}\times Policy_B_{it}+\sum\gamma Controls_{i,c,t}+\theta_t+\mu_i+\varepsilon_{i,t}\end{aligned} \quad (4)$$

（三）数据来源和描述性分析

本文的核心数据集包括中国沪深A股上市企业碳排放数据和政策工具数据，部分政策工具变量的最新年份为2022年，所以本文将样本时间范围定为2010—2022年。基于研究能源环境政策工具对企业碳排放影响的需要，本文不仅选择了直接与能源相关的电力、热力、燃气及水生产和供应业，还选取了与能源行业关联度较高的上下游行业，包括采矿业，交通运输、仓储和邮政业，信息传输、软件和信息技术服务业，以及能源消耗较高的部分制造业，包括黑色金属冶炼和压延加工业，石油、化学、生物制药等行业。本文主要数据来源如下：第一，企业碳排放数据来源于上市企业公司披露的碳排

放数据和ESG报告披露的数据。还有部分企业未披露碳排放数据，本文根据企业化石燃料消耗量和对应的排放因子，计算企业消耗化石燃料产生的碳排放。上述碳排放是企业主要的碳排放来源，并将其作为未披露碳排放数据企业的碳排放量。第二，各类政策工具的数据来源于中国研究数据服务平台（CNRDS）和国泰安数据库（CSMAR）。表2展示了“双碳”目标提出前后变量的统计特征。

四、实证结果

（一）单项政策工具效果分析

根据模型（1），本文得到了表3的回归结果。列（1）—（3）表示供给型政策工具对企业碳排放的影响。发现政府对R&D的补贴和企业数字化无形资产投资可以显著降低企业碳排放，但是单独使用人才支持政策并没有产生降碳效果。列（4）—（5）表示需求型政策工具对企业碳排放的影响，政府绿色补贴和企业绿色投资降碳效果显著，但政府绿色采购单独使用并没有产生积极降碳效果。政府绿色采购不显著的原因在于政府绿色采购的碳减排效果依赖于采购标准的设定，许多政府绿色低碳采购项目缺乏明确的碳足迹标准，导致政策设计的结构性断裂。列（7）显示以环保处罚为代表的环境型政策工具可以显著降低企业碳排放量，这表明法律法规具有威慑效应，受到环保处罚的企业会推动企业生产行为合规。最后，将所有单项政策工具纳入回归，列（8）显示，人才支持、绿色补贴和投资效果发生了变动。搭配使用其他政策，人才支持可以显著降低碳排放。但是政府绿色补贴和企业绿色投资工具不再显著。列（8）并未考虑政策协同效果。实际上，政府可以通过多项政策工具的搭配使用弥补各项政策工具不足或增强政策互补优势，从而产生比单一政策工具更高的政策效果。

（二）“双碳”目标提出前后政策工具有效性对比分析

根据政策文本分析结果，政策工具使用频次在“双碳”目标提出前后发生了变化。为分析政策工具效力的变化情况，根据模型（2）进行了回归，得到表4的结果。供给型政策工具中，“双碳”目标提

表2　描述性统计

变量	测度方法	Panel A：“双碳”目标提出前（2010—2020年）				Panel B：“双碳”目标提出后（2021—2022年）			
		均值	标准差	最小值	最大值	均值	标准差	最小值	最大值
LnCO_2	碳排放总量对数值	13.36	1.45	5.82	19.55	12.80	1.65	6.89	19.41
Ln*rd_Person*	研发人员占比	5.65	1.20	0.00	10.49	5.70	1.18	0.00	11.15
Ln*rdincome*	政府研发补贴/营业收入	0.06	0.20	0.00	17.93	0.07	0.06	0.00	0.81
Asset_Pro	数字化无形资产/营业收入	35.12	168.18	−117.53	8770.74	34.96	138.90	0.00	4322.25
Green_Sub	政府绿色补贴/营业收入	0.03	0.10	0.00	0.67	0.02	0.06	0.00	0.67
Green_Invest	企业绿色投资/期末总资产	0.09	0.16	0.00	12.43	0.08	0.11	0.00	1.04
Ln*govern*	政府绿色采购对数值	0.30	1.51	0.00	18.51	0.44	1.78	0.00	17.02
Fine_Sum	企业受到的环保处罚次数	0.04	0.63	0.00	35.00	0.02	0.22	0.00	6.00
Industry_Pro	第三产业增加值/GDP	43.63	10.48	11.70	89.75	39.61	9.87	13.550	73.03
Recycle	城市一般工业废物利用率	84.96	16.47	1.00	134.00	83.22	17.03	2.00	151.00
Air_Quality	城市年均空气质量指数	84.34	10.57	54.40	100.00	84.76	10.14	54.400	100.00
Per_GDP	人均地区生产总值	9.76	4.41	0.72	25.69	13.16	4.56	2.53	25.69
Economic_Goal	政府年报中地级市经济增长目标	8.63	2.29	1.00	25.00	6.79	1.06	5.00	12.00
ROA	利润/净资产	0.05	0.07	−0.76	0.82	0.05	0.08	−0.74	1.29
Lev	负债总额/总资产	0.40	0.20	0.01	1.65	0.40	0.19	0.02	1.14
Growth	本年营业收入增加额/上一年营业收入总额	0.23	1.59	−0.86	84.99	0.22	0.55	−0.81	18.56
Firmage	Ln（当年样本−企业上市年份+1）	2.82	0.36	0.69	3.78	3.03	0.29	1.79	3.85

表3 单项政策工具效果分析

变量	(1) LnCO_2	(2) LnCO_2	(3) LnCO_2	(4) LnCO_2	(5) LnCO_2	(6) LnCO_2	(7) LnCO_2	(8) LnCO_2
Lnrd_Person	0.3894***							−0.3122***
	(0.0090)							(0.0263)
Lnrdincome		−0.3269***						−0.0002***
		(0.0275)						(0.0000)
Asset_Pro			−0.0002***					−0.2109***
			(0.0000)					(0.0547)
Green_Sub				−0.1906***				−0.0391
				(0.0473)				(0.0272)
Green_Invest					−0.0484*			−0.0050
					(0.0264)			(0.0032)
Lngovern						−0.0035		−0.0123*
						(0.0030)		(0.0069)
Fine_Sum							−0.0236***	−0.3122***
							(0.0072)	(0.0263)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	11,654	14,487	15,991	15,991	15,245	13,712	15,991	12,077
R-Squared	0.9603	0.9344	0.9334	0.9334	0.9348	0.9432	0.9334	0.9441

注:固定效应包含企业和年份固定效应。括号内为稳健标准误。***,**,*分别表示在1%,5%和10%水平上的显著水平,下同。

出后,基础设施建设带来的降碳效果要显著高于目标提出前,但人才和技术支持的降碳效果不如“双碳”目标提出前。列(4)—(6)显示“双碳”目标后政府绿色采购降碳效果要显著高于提出前,但企业绿色投资效果要弱于目标提出前。政府绿色补贴的政策工具效果在“双碳”目标提出前后没有显著差异,法律法规政策工具效果也无显著差异。因此,“双碳”目标提出后,基础设施建设和政府绿色采购产生了更明显的降碳效果。可能的原因在于,“双碳”目标作为具有强约束力的国家战略,显著改善了市场主体对低碳发展的预期,提高了企业对绿色采购的响应能力。由于本文能够获得的最新数据年份为2022年,有些政策工具效果可能存在滞后性,未来可通过延长数据年份进行更深入的研究,以捕捉更多政策工具的降碳影响。

(三)政策工具组合效果分析

根据图2的政策工具分析结果可知,三类政策工具之间存在组合使用,并且环境型和供给型政策工具联系较强。因此,本文对不同政策工具搭配是否会产生“1+1>2”的降碳效果进行验证。分两步进行:第一,分析两项政策工具搭配的影响;第二,将政策工具拓展为三项,分析三项政策工具组合的

表4 “双碳”目标提出前后政策工具有效性对比分析结果

Y:LnCO_2	(1) *Goal*× *Lnrd_Person*	(2) *Goal*× *Lnrdincome*	(3) *Goal*× *Asset_Pro*	(4) *Goal*× *Green_Sub*	(5) *Goal*× *Green_Invest*	(6) *Goal*× *Lngovern*	(7) *Goal*× *Fine_Sum*
系数	0.0344***	0.5899***	−0.0002***	0.0947	0.5370***	−0.0298***	0.0060
	(+0.0061)	(+0.1588)	(+0.0001)	(+0.1233)	(+0.0792)	(+0.0046)	(+0.0348)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	11,604	14,444	15,928	15,928	15,183	13,658	15,928
R-Squared	0.9608	0.9349	0.9338	0.9337	0.9354	0.9438	0.9337

注:限于篇幅,只展示了交互项的系数和稳健标准误,需要相关数据的读者可向作者函索。

影响。

1.双项政策工具组合效果

双项政策工具组合搭配的效果如表5所示。七种政策工具取其中两种，一共有21种政策工具组合搭配。限于篇幅，本文只展示了政策交互项系数显著的组合。列(1)—(3)显示人才支持和环保处罚，研发补贴和环保处罚，以及数字化无形资产投资和政府绿色补贴工具搭配可以发挥政策工具协同作用，产生比单一政策更强的降碳效果。但是根据列(4)—(6)的结果可知，技术支持和绿色投资，人才支持和技术支持，以及绿色补贴和政府绿色采购的政策工具组合交互项显著为正，说明该组合未能形成协同减排，反而削弱政策降碳效力。这和图2得出的供给型和环境型政策工具联系密切的现象具有一致性。可能的原因是国家加强了环境执法，通过有效的环境监测和监管促进供给型政策工具较好发挥作用。而同一种类政策工具组合也可能由于负责实施的部门不同而存在协调机制不健全，或刺激力度过大，在实施过程中容易诱导行为主体偏离政策目标。比如，绿色补贴和绿色政府购买均属于需求型政策工具，政策目标是支持企业增加绿色产品供给。但当外部监管机制缺失，政策补贴力度过大极易诱导企业骗取补贴的机会主义行为，企业转而进行非绿色生产活动，这会增加碳排放量。

2.三项政策工具组合效果

七项政策工具中选取其中三项政策工具，一共有35种组合。表6展示了供给型和需求型政策工具组合中，三项政策交互项显著的回归结果。列(1)—(5)的系数均显著为正，说明三项政策工具组合搭配会提高企业碳排放量。列(6)—(7)显示人才支持、基础设施建设和绿色投资政策工具组合可以显著降低企业碳排放量。人才支持、绿色补贴和绿色投资也具有比单一政策和双项政策工具实施更强的降碳效果。表7展示了其他政策工具组合的回归结果。这些政策工具组合降碳效果均十分显著。其中环保处罚为代表的环境型政策工具与供给型政策工具搭配的效果较好。供给型政策工具下的三类政策工具组合减碳效果也很明显。供给型政策工具通过完善对企业减碳的要素供给支持和基础设施投资，提高企业生产端绿色供给能力。环境型政策工具为企业减碳提供法律约束、标准指引等，通过环境培育企业的降碳能力。上述两类政策工具搭配实现“有效监管+有效供给”，较少扭曲企业降碳激励。尽管供给型和需求型政策工具组合属于“结构+市场”双驱动组合，政策力度较高，但这种组合在缺乏监管约束和协调机制不健全的情况下，容易出现信号干扰，扭曲企业减碳激励。此即一些文献所说的诱使企业采取策略性减碳行为(刘相锋等，2025)，导

表5　双项政策工具组合回归结果

变量	(1) LnCO_2	(2) LnCO_2	(3) LnCO_2	(4) LnCO_2	(5) LnCO_2	(6) LnCO_2
Lnrd_Person×Fine_Sum	−0.0277***					
	(0.0094)					
Lnrdincome×Fine_Sum		−1.1786**				
		(0.5263)				
Asset_Pro×Green_Sub			−0.0008*			
			(0.0005)			
Lnrdincome×Green_Invest				0.3348***		
				(0.1114)		
Lnrd_Person×Lnrdincome					0.1796**	
					(0.0885)	
Green_Sub×Lngovern						0.1163***
						(0.0188)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	11,654	14,487	15,991	13,845	10,582	13,712
R-Squared	0.9604	0.9345	0.9335	0.9356	0.9609	0.9433

注：回归结果仅展示了交互项系数，单项政策工具限于篇幅不再展示，有需要的读者可向作者函索。

表6 供给型和需求型三项政策工具组合

变量	(1) LnCO_2	(2) LnCO_2	(3) LnCO_2	(4) LnCO_2	(5) LnCO_2	(6) LnCO_2	(7) LnCO_2
Lnrd_Person×Lnrdincome×Green_Invest	0.6198***						
	(0.1384)						
Lnrd_Person×Lnrdincome×Green_Sub		1.5125***					
		(0.4643)					
Lnrdincome×Asset_Pro×Green_Invest			0.0078***				
			(0.0014)				
Asset_Pro×Green_Sub×Green_Invest				0.0102**			
				(0.0043)			
Asset_Pro×Green_Sub×Lngovern					0.0004**		
					(0.0002)		
Lnrd_Person×Asset_Pro×Green_Invest						−0.0009*	
						(0.0005)	
Lnrd_Person×Green_Sub×Green_Invest							−1.8832***
							(0.5002)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	10,118	10,550	13,803	15,183	13,658	11,113	11,113
R-Squared	0.9619	0.9616	0.9366	0.9355	0.9438	0.9616	0.9613

注：回归结果仅展示了三项政策工具组合的回归系数，单项和两两政策工具组合结果限于篇幅不再展示，有需要的读者可向作者函索。

表7 其他政策工具组合

变量	(1) LnCO_2	(2) LnCO_2	(3) LnCO_2	(4) LnCO_2	(5) LnCO_2
Lnrd_Person×Lnrdincome×Asset_Pro	−0.0013***				
	(0.0003)				
Lnrd_Person×Lnrdincome×Fine_Sum		−2.3974***			
		(0.2982)			
Lnrdincome×Asset_Pro×Fine_Sum			−0.0217***		
			(0.0072)		
Lnrd_Person×Asset_Pro×Fine_Sum				−0.0015**	
				(0.0006)	
Lnrd_Person×Green_Invest×Fine_Sum					−0.1123*
					(0.0646)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	10,550	10,550	14,444	11,604	11,113
R−Squared	0.9620	0.9628	0.9353	0.9611	0.9612

致政策效果偏离政策目标。

(四)稳健性检验

为了保证回归结果的稳健性，本文采取了如下的稳健性检验：第一，考虑政策工具的滞后性，本文将因变量滞后一期重新进行回归。第二，删除特殊样本。本文删除了直辖市样本。直辖市作为省级行政单位，其资源禀赋、政策执行力度和普通地级市存在显著差异，删除直辖市样本后可避免行政层级带来的样本干扰。第三，控制碳排放权交易试点政策的影响。检验均证实基准回归结果具有稳健性。限于篇幅，相关补充内容及完整表格从略，有需要的读者可向本刊函索。

（五）异质性分析

政策工具的有效性不仅取决于政策工具本身，还和政策作用对象特征、政策环境等因素密切相关。本文从企业规模、企业碳排放和城市资源三个维度，分析政策作用对象和环境等异质性特征如何影响各类政策工具作用效果。同时，为了体现上述因素对政策工具在“双碳”目标提出前后效力的影响，在模型（2）的基础上也进行分组回归。

首先，企业规模本身是部分政策对象选择的直接标准或隐形标准。大规模企业通常在行业内享有示范作用，在获得政策资源方面享有领先优势，更容易获得试点资格和政策支持。因此，大规模企业相比小规模企业可能享有更多的政策工具资源。但是，小规模企业一般面临比大企业更高的融资约束。因此，小规模企业面临单位政策资源可能有更高的减排积极性。同时小规模企业生产经营灵活，组织简单，调整成本低，绿色转换成本比大企业更低。本文根据企业固定资产规模将所有企业按照50%分位划分为大规模和小规模企业两组。表8的列（1）和列（2）显示两类企业在部分政策工具下降碳效果差异较大。Panel A显示大规模企业在绿色投资和环保处罚政策工具方面的降碳效果要优于小规模企业。大规模企业绿色投资具有规模经济优势，而且环保处罚等会对企业声誉造成较大影响，所以大规模企业对上述政策工具更为敏感。其余政策工具差异不显著。Panel B显示大规模企业在“双碳”目标提出之后，部分供给型、需求型政策的减排效力相比目标提出前有所减弱。

不同碳排放量企业减排空间存在差异。以50%分位的企业碳排放量作为划分标准，将所有企业区分为高碳排放和低碳排放两组。列（3）和列（4）展示了回归结果。Panel A表示对高碳排放企业的技术支持、基础设施建设和法律法规政策工具降碳更有效，低碳排放企业对绿色采购政策工具反应更敏感。Panel B显示高碳排放企业在研发补贴、绿色补贴和绿色投资等政策工具作用下，降碳效果要弱于“双碳”目标提出前。但是基础设施建设的减碳效果要优于“双碳”目标提出前。低碳排放企业政府绿色采购效果要比目标提出前更有效。政府应谨慎对高碳排放企业给予研发补贴和绿色投资支持。

本文考虑城市发展路径依赖对政策工具作用效果的影响。根据国务院2013年颁布的《全国资源型城市可持续发展规划（2013—2020年）》，将其中126个地级市划分为资源型城市，其余为非资源型城市。Panel A的列（5）和列（6）显示资源型城市基础设施建设和绿色投资的降碳效果更明显，这说明资源型城市逐步通过投资转变城市发展路径。非资源型城市研发和绿色补贴，以及法律法规政策工具降碳效果显著。Panel B显示两类城市在“双碳”目标实施后，基础设施建设和政府绿色采购工具显著发挥降碳作用，资源型城市降碳效果更好。综合上述分析，从政策工具在不同分组情况下的减碳效果来看（横向维度），Panel A显示技术支持、基础设施建设在不同分组下减碳效果较好，可以列为第一梯队。第二梯队为绿色补贴、绿色投资、法律法规，这些政策工具在部分分组情况下显著。第三梯队为政府绿色采购，政策作用效果较弱。Panel B显示基础设施建设和政府绿色采购在“双碳”目标提出后降碳效果最佳，列为第一梯队。第二梯队为法律法规，该政策工具在目标提出前后政策效果无显著差异。其他政策工具减碳效果要弱于“双碳”目标提出前，列为第三梯队。

五、实证结论

利用政策文本分析方法和中央政府发布的能源行业政策文件，本文得出“双碳”目标提出前后政策工具的使用频次变化。在此基础上，基于2010—2022年能源行业上市企业数据，运用双向固定效应模型和调节效应模型，验证供给型、需求型和环境型政策工具的降碳效果。首先，单项政策工具降碳效果的分析表明，除人才支持和政府绿色采购以外，其余政策工具均可显著降低企业碳排放。将所有政策工具加入模型回归后发现，除绿色补贴和绿色投资外，其余政策工具均可以降低企业碳排放。人才支持、政府绿色采购、绿色补贴和绿色投资这四个政策工具，在理论上具有提升低碳技术供给、激励低碳消费，进而促进“双碳”目标的功能。结合政策文本再分析，可以判断这几个政策工具之所以未表现出显著的减碳效果，主要原因是其与“双碳”目标的要求关联和约束不够，绿色项目的标准模糊，执行中可操作性和透明度不高。其次，为了验证“双碳”目标提出后，各类政策工具效力的变化，

表8 异质性分析

变量	（1）大规模企业 $LnCO_2$	（2）小规模企业 $LnCO_2$	（3）高碳排放 $LnCO_2$	（4）低碳排放 $LnCO_2$	（5）资源型城市 $LnCO_2$	（6）非资源型城市 $LnCO_2$
Panel A：单项政策异质性分析						
ln*RD_person*	0.3028***	0.3779***	0.2321***	0.4248***	0.2534***	0.4010***
	（0.0114）	（0.0155）	（0.0103）	（0.0149）	（0.0261）	（0.0095）
ln*RDincome*	−0.1971***	−1.3490***	−1.1142***	−0.3411***	−0.3658***	−0.4053***
	（0.0286）	（0.1918）	（0.1355）	（0.0377）	（0.0614）	（0.0318）
asset_pro	−0.0006***	−0.0001***	−0.0010***	−0.0001***	−0.0006***	−0.0002***
	（0.0001）	（0.0000）	（0.0001）	（0.0000）	（0.0002）	（0.0000）
green_sub	−0.1610**	−0.1673***	−0.0480	−0.0900	−0.0431	−0.2171***
	（0.0651）	（0.0560）	（0.0613）	（0.0580）	（0.1127）	（0.0517）
green_invest	−0.0751***	−0.0585	−0.0267	−0.0788	−0.2894***	−0.0192
	（0.0270）	（0.0509）	（0.0254）	（0.0508）	（0.1051）	（0.0271）
lngovern	−0.0023	−0.0058	−0.0004	−0.0087*	0.0054	−0.0040
	（0.0033）	（0.0052）	（0.0031）	（0.0049）	（0.0107）	（0.0031）
fine_sum	−0.0211***	0.0033	−0.0225***	0.0095	−0.0089	−0.0279***
	（0.0066）	（0.0251）	（0.0061）	（0.0276）	（0.0113）	（0.0094）
Panel B：“双碳”目标提出前后政策工具效果对比						
Goal×Lnrd_Person	0.0435***	0.0063	0.0173**	0.0459***	0.0590***	0.0323***
	（0.0081）	（0.0147）	（0.0077）	（0.0130）	（0.0222）	（0.0063）
Goal×Lnrdincome	0.9021***	0.2675	1.4822***	0.0585	0.2761	0.5942***
	（0.2233）	（0.2264）	（0.2395）	（0.1898）	（0.6769）	（0.1627）
Goal×Asset_Pro	−0.0003**	−0.0002***	−0.0011***	−0.0001**	−0.0009**	−0.0002***
	（0.0001）	（0.0001）	（0.0002）	（0.0001）	（0.0005）	（0.0001）
Goal×Green_Sub	0.2098	0.0024	0.6521***	0.1020	−0.3098	0.1354
	（0.1454）	（0.1774）	（0.1612）	（0.1610）	（0.3049）	（0.1351）
Goal×Green_Invest	0.7387***	0.4347***	0.6702***	0.4975***	0.2664	0.6083***
	（0.1042）	（0.1100）	（0.1116）	（0.1029）	（0.2049）	（0.0864）
Goal×Lngovern	−0.0312***	−0.0369***	−0.0262***	−0.0347***	−0.0337*	−0.0288***
	（0.0050）	（0.0084）	（0.0051）	（0.0075）	（0.0201）	（0.0047）
Goal×Fine_Sum	−0.0578	0.0861	−0.0653	0.0801	−0.0679	0.0282
	（0.0475）	（0.0545）	（0.0443）	（0.0594）	（0.0742）	（0.0396）

注：限于篇幅，本文只展示了交互项在不同分组情况下的回归结果，需要相关过程资料的读者可向本刊函索。

本文采用调节效应模型进行回归。实证结果显示基础设施建设和政府绿色采购在“双碳”目标提出后降碳效果提升；绿色补贴和法律法规无显著差异，而其他政策效果要低于“双碳”目标提出前。实际上，政府通常采用政策工具组合实现更强的政策效果。本文分析了两项和三项政策工具组合的减碳影响。两项政策工具组合显示，法律法规分别与人才支持和技术支持的政策工具组合可以形成协同作用，显著降低企业碳排放。基础设施建设和政府绿色补贴也具有政策协同效果。三项政策工具组合显示环境型政策和供给型政策工具协同降碳效果较好。最后，考虑到政策工具效果要受到政策作用对象本身特征和政策环境等因素影响，本文分别从企业规模、碳排放量特征和城市资源特征维度进行了异质性分析。结果显示不同政策工具在上述分组条件下存在显著差异。但总体而言，技术支持、数字化无形资产投资在不同分组下减碳效果最好。基础设施建设和政府绿色采购在“双碳”目标提出后降碳效果最显著。

六、适应“双碳”目标的政策工具动态优化策略

上述结论表明，单一政策工具和静态的政策工具组合，难以满足“双碳”目标的阶段性和系统性要求。中国实现“双碳”目标，必须设计与之相适配的

能源环境政策工具动态组合策略，不断提高供给型、需求型和环境型三项政策工具组合与“双碳”目标的适配联动。

（一）从单一到多元，提高政策工具组合的整体效力

科学匹配多种政策工具并形成合力，可以克服单一工具在覆盖范围、激励强度和执行可持续性方面的局限性，提升碳减排边际效应并促进“双碳”目标的实现。为此，需要根据各类政策目标适应性和政策工具作用机制，对供给型、需求型和环境型政策工具进行科学组合，形成供给型工具支持供给能力、需求型工具激发市场需求、环境型工具提供制度规范的整体效力。第一，实证结果显示研发补贴、数字化无形资产投资在各类分组中减碳效果最优。需要进一步优化供给型政策工具内部结构，采取竞争性补贴方式，重点支持低碳技术研发，摆脱技术锁定效应。针对实证结果得出的人才支持和绿色补贴效果不佳的结论，需要明确人才培养要紧扣“双碳”核心需求，进一步细化绿色补贴的适用标准。第二，针对需求型政策工具使用不足问题，要充分发挥需求型政策工具的市场牵引作用。一方面，要完善绿色采购制度，制定清晰采购目录，将低碳采购与机构环境绩效挂钩；另一方面，设立绿色信贷专项额度和健全绿色投资机制。通过绿色信贷、税收减免等支持碳减排表现优异的企业，同时对高耗能企业采取差异化信贷管控，倒逼企业绿色转型。

三类工具的组合设计应当重点完善供给型和需求型政策工具布局，充分发挥环境型政策工具的保障作用。一方面，要加强技术和人才支持等供给型政策与环境型政策的联动，提高技术和人才供给政策与“双碳”目标的匹配能力，进而激励相关学科专业发展和人才培养。另一方面，针对环境型政策工具在具体实施层面的规则模糊等问题，结合政府绿色采购等需求型政策工具，完善规划、标准、监管等低碳产品推广应用环境，细化碳足迹分级制度和低碳产品采购目录，提高减排主体对“双碳”目标的响应能力，推动环境型政策工具落地。此外，针对中国碳排放市场存在的覆盖范围小，碳排放监管薄弱等问题，建立健全碳核算、分配、交易的基础制度，尽快将碳交易扩大到所有高排放行业。

（二）从静态到动态，增强政策工具组合与阶段性目标任务的适配能力

针对实证中数字化无形资产投资和政府绿色采购在“双碳”目标提出后降碳效果提升，其他政策效果低于“双碳”目标提出前的结论，必须根据中国实现“双碳”目标所经历的碳达峰、碳排放总量稳定和实现碳中和三个阶段，结合降碳技术成熟度、低碳产品市场需求、低碳发展制度完善程度等基础条件，形成与之相适应的政策工具组合策略，不断提高政策工具组合与目标任务的适配能力。

第一阶段（2020—2030年）为碳达峰阶段，主要任务是遏制碳排放的趋势性增长，实现碳排放总量在2030年达到峰值。根据国务院办公厅发布的《加快构建碳排放双控制度体系工作方案》，这一阶段由两个细分阶段构成。2025年前着力完善地方、行业、企业、产品碳排放统计核算体系，提升“双碳”相关核算、统计和监测能力；“十五五”时期，在全国范围内全面实施碳排放总量和强度双控制度。这一阶段低碳发展制度仍处于探索期，技术路径不稳定，市场需求不足，应当构建以供给型政策为主、需求型政策为辅、环境型政策为支撑的政策工具组合。此阶段技术路径不明确，市场不成熟，需求型政策工具主要是引导公众和企业接受绿色低碳消费理念，碳交易市场、碳税、绿色采购相关制度处于建设初期，只能起到边际辅助作用，应当主要采用供给型政策工具，重点支持低碳发展人才培养、技术供给、基础设施建设，改善低碳发展的要素条件，降低企业低碳发展的成本。同时，通过环境型政策工具完善碳排放强度核算、监测与监管，严格碳信息披露要求，构建使供给型和需求型政策工具得以发挥作用的基础性制度框架。

第二阶段（2031—2045年）为巩固碳达峰成果阶段，重点以技术创新和结构优化保持碳排放总量稳定或减量，实施以总量控制为主、强度控制为辅的碳排放双控制度。这一阶段低碳发展意识得到增强，低碳消费市场初具规模，低碳发展制度逐步完善，低碳技术趋于成熟，应当推广应用能够提高边际减排效率的工具，构建供给需求协同驱动、环境型为支撑的政策工具组合。供给型政策从普惠补贴转向竞争性补贴和低碳技术孵化应用，需求型政策进一步发挥碳定价、绿色信贷和绿色采购等作用，环境型工具以碳市场建设为牵引，重点完善碳

定价、碳交易和碳信息披露制度。

第三阶段（2046—2060年）为深度脱碳阶段，主要任务是推广应用碳捕集与负排放机制，实现碳中和。这一阶段“双碳”发展的环境制度与供求机制更加成熟，市场信号和消费者选择将发挥更大作用，但降碳空间大幅度缩减，边际成本较高，重点构建环境型、需求型和供给型相互协同的政策工具组合策略。环境型政策工具重点加强人工碳汇、零碳、负碳技术核算，加强激励型监管措施，供给型政策工具应精准支持边际成本过高领域的低碳技术研发与产业化应用，需求型政策工具主要通过碳税、碳金融、碳配额分配等手段激励低碳产品需求。

（三）从局部到整体，实现政策工具的系统联动

构建系统联动的政策工具体系，关键在于加强三类政策工具在目标指向和作用方向上的一致性，形成相互加强的综合效应。文本分析显示政策工具结构存在失衡问题。中国现行的碳减排政策偏重于研发补贴、产业投资等供给型工具和排放标准、经济处罚等环境型工具，对绿色信贷、绿色采购、绿色投资等需求型政策工具的利用程度较低。从政策工具的具体运用看，供给型政策工具以财政支持为主，力度较大但精准程度偏低。环境型政策工具以规制和处罚为主，减排标准与动态评估机制尚未有效衔接。需求型政策工具以政府绿色补贴为主，关于政府绿色采购和企业绿色投资的标准不够清晰，对低碳消费行为的引导能力不足。供给型政策工具为低碳发展提供初始动力，其效力依赖于需求型政策工具激发的低碳产品消费需求和环境型政策工具提供的制度规范。需求型政策工具激发低碳产品需求的功能也必须嵌入供给型工具和环境型工具中才能有效发挥作用。环境型工具提供的制度条件，需要与供给型政策工具和需求型政策工具形成联动才能形成政策合力。因此，解决政策工具结构失衡问题，一方面要着力优化三类政策工具比例结构，进一步发挥信贷、政府采购、优惠政策的使用频率，提升政策工具使用的均衡性和协调性。另一方面，注重优化每类政策工具的内部结构，缓解政策工具失衡的问题。环境型政策工具应在完善环境规制和碳核算框架基础上，加强标准类和监督考核类政策工具的使用，为减排主体和环境监管提供清晰的行为标准。供给型政策工具要加强资源配置工具作用，将绿色低碳标准融入财税、金融、市场准入等政策。同时，降低跨行政区域碳排放交易的行政壁垒和市场准入门槛，扩大碳排放权交易范围。需求型政策工具加大对绿色采购、信贷和税收政策的运用，重点支持碳减排表现良好的企业，帮助高耗能和高碳排放企业通过参与碳排放权交易市场倒逼企业绿色技术创新，以可持续方式达到碳减排目的。此外，随着“双碳”目标的不断接近，政策对象和政策环境也在不断变化，还要注重政策工具和政策环境、政策对象的契合。构建系统联动的政策工具体系，必须要建立政策工具、政策对象和政策环境之间的联动机制。政府作为政策制定者和政策执行者，要提高各项政策制定和政策工具使用的透明度，统筹政策工具的运用范围和强度，保证政策对象和潜在对象实时掌握信息动态。

参考文献

[1] Costantini V, Crespi F, Palma A. Characterizing the policy mix and its impact on eco-innovation: A patent analysis of energy-efficient technologies[J]. Research Policy, 2017, 46(4):799—819.

[2] Hille E, Oelker T J. International expansion of renewable energy capacities: The role of innovation and choice of policy instruments[J]. Ecological Economics, 2023, 204: 107658.

[3] Juntunen J K, Shakeel S R. Contextualizing policy mixes - A configurational study on rapid transitions[J]. Research Policy, 2026, 55(1):105359.

[4] Ma C, Peñasco C, Anadón L D. Technology innovation and environmental outcomes of road transportation policy instruments[J]. Nature Communications, 2025, 16(1): 4467.

[5] Qin S, Xiong Y. Innovation strategies of Chinese new energy vehicle enterprises under the influence of non-financial policies: Effects, mechanisms and implications [J]. Energy Policy, 2022, 164:112946.

[6] Rothwell R, Zegveld W. Industrial Innovation and Public Policy: Preparing for the 1980s and the 1990s [M]. London:Frances Printer, 1981.

[7] Scotti F, Flori A, Crescenzi R. Demand-pull and technology-push environmental innovation: a policy mix analysis on EU ETS and EU Cohesion Policy[J]. Climate Policy, 2025, 25(2):153—170.

[8] 付琳，张东雨，闫昊本，等.基于政策文本分析的中国碳减排政策工具研究[J].科学学研究，2023，41(3)：435-

443.
[9]俞立平,周朦朦,张运梅.基于政策工具和目标的碳减排政策文本量化研究[J].软科学,2023,37(10):61-69.
[10]刘相锋,丁猛杰,金暄暄,等.激励性政策能否导致发电企业实施策略性绿色创新:兼论政策协同与内外监管效应[J].中国工业经济,2025(2):137-155.
[11]吴明宇,郭雪松.区域能源转型与碳达峰:“配额约束—补贴激励”政策组合效应研究[J].经济问题探索,2024(9):142-154.
[12]宋敏,龙勇.政策工具视角下我国碳达峰碳中和政策文本分析[J].改革,2022(6):145-155.
[13]屠西伟,张平淡.企业数字化转型、碳排放与供应链溢出[J].中国工业经济,2024(4):133-151.
[14]庄贵阳,王思博.全球气候治理变革期主要经济体碳中和战略博弈[J].社会科学辑刊,2023(5):190-196.
[15]李青原,肖泽华.异质性环境规制工具与企业绿色创新激励:来自上市企业绿色专利的证据[J].经济研究,2020,55(9):192-208.
[16]杨刚强,王海森,范恒山,等.数字经济的碳减排效应:理论分析与经验证据[J].中国工业经济,2023(5):80-98.
[17]江鑫,胡文涛,许文立,等.政府绿色采购如何激发企业绿色创新活力[J].数量经济技术经济研究,2024,41(11):200-220.

Dynamic Optimization Analysis of Energy and Environmental Policy Tools Adapting to the “Dual Carbon” Goals

Liu Jiejiao Liu Bingbing

Abstract: The design and application of energy-environmental policy instruments are critical factors influencing the achievement of China’s “dual carbon” goals (carbon peaking and carbon neutrality). Focusing on the dynamic alignment between energy-environmental policy instruments and the “dual carbon” goals, this study investigates the combined effectiveness and optimization strategies of three categories of policy instruments—supply-side, demand-side, and environment-oriented—across different developmental stages. Through policy text analysis, this study identifies high-frequency policy instruments and their combinations before and after the announcement of the “dual carbon” goals, and then employs two-way fixed effects models and moderating effect models to evaluate the carbon emission reduction effects of various policy instruments. The results show that technical support, infrastructure construction, and laws and regulations exert significant carbon-reduction effects, while infrastructure construction and government green procurement demonstrate even stronger emission-reduction effects after the introduction of the “dual carbon” goals. The combination of supply-side and environment-oriented policy instruments yields the optimal emission-reduction outcome. Heterogeneity analysis reveals that the effectiveness of policy instruments exhibits a tiered distribution across firms of different sizes, firms with varying carbon emission intensities, and cities with distinct resource endowments. China should enhance the precision of policy instrument portfolio application and strengthen overall policy efficacy by improving the aggregate effectiveness of policy combinations, reinforcing the adaptability of instrument portfolios to stage-specific targets and tasks, and achieving systematic coordination among instruments, thereby forming energy-environmental policy instruments and portfolio strategies commensurate with the phased progression of the “dual carbon” goals.

Key Words: Energy and Environmental Policy; Policy Tools; The “Dual Carbon” Target; Policy Analysis

（责任编辑:平　萍）