

# 中国“双碳”目标政策协同效应的 量化评估与优化路径

李 鹏

**摘要** 通过建立包含碳排放双控、碳排放权交易、可再生能源补贴和绿色金融等政策在内的动态一般均衡模型,分析各类政策的实施效果及其协同作用,结果表明:相比单一碳价政策,多工具政策组合的边际减排成本大幅降低,福利进一步改善,表明中国“双碳”政策体系具有较强的协同性。这一优势源于不同政策工具的互补性:碳定价机制提供基础减排激励,可再生能源补贴促进能源结构转型,绿色金融政策优化资源配置,产业政策推动结构调整,可以共同应对减排过程中的多重市场失灵问题。然而,当前碳价水平低于理论最优水平,也制约了长效减排机制的形成。进一步研究表明,中国的碳政策不应局限于国内视角,而宜置于全球气候治理框架下综合考虑。通过加强国际协调,引入碳边境调节机制,推动碳市场互联互通,可以提高政策有效性,降低边际减排成本。

**关键词** “双碳”目标;协同效应;碳排放双控;可再生能源补贴;绿色金融

**中图分类号** X322;F424 **文献标识码** A **文章编号** 1672-7320(2026)02-0090-14

**基金项目** 国家社会科学基金项目(24BJL080)

中国于 2020 年提出“2030 年前碳达峰、2060 年前碳中和”的“双碳”目标,这一目标的提出使中国成为全球碳中和承诺的关键践行者。中国的“双碳”目标提出的背景复杂多元。一方面,全球气候变化形势日益严峻,《巴黎协定》要求各国采取更加积极的减排行动;另一方面,中国作为世界碳排放大国和第二大经济体,面临着国际减排压力与国内转型发展的双重挑战。“双碳”目标的提出既是中国负责任大国形象的重要体现,也是推动国内经济高质量发展的重大战略需要。“十四五”时期是中国实现“双碳”目标的关键起步阶段,政府陆续出台了一系列政策措施,形成了多层次、多领域的政策体系。政策实践呈现出总体规划与专项政策相结合、行政手段与市场机制相协调的特点。然而,随着政策体系不断完善,各项政策的协同性、有效性以及经济成本等问题仍需深入研究,亟须建立科学的评估框架,分析各项政策的实施效果、识别政策间的协同或冲突关系,为“十五五”时期以及未来的政策优化提供依据。同时,碳减排与经济增长的协调发展也需要理论支撑,以寻求最优政策组合。本文通过构建包含碳排放双控(总量与强度控制)、碳排放权交易(简称碳交易)、可再生能源补贴和绿色金融等多种政策工具的动态一般均衡模型,系统量化评估各类政策的实施效果及其协同关系。研究突破了现有文献主要关注单一政策工具的局限,揭示多元政策如何共同应对减排过程中的多重市场失灵问题。本文在中国情境下量化证明多工具政策组合较单一碳价政策具有显著优势,为政策优化提供理论支撑。此外,本文还将分析视角从国内拓展至全球,通过模拟国际碳市场互动与碳泄漏效应,考察中国“双碳”政策在全球气候治理框架下的溢出效应,为中国更好地参与全球气候治理提供参考。

## 一、研究综述

从研究现状看,中国“双碳”目标的实现依赖于政策工具的优化和协同,包括碳排放双控、碳交易、可再生能源补贴和绿色金融等。这些工具的经济后果备受关注,不仅涉及减排效果,还包括对经济增长、产业结构和技术创新的影响。碳排放双控政策旨在直接实现减排目标,其有效性已得到一定验证,相关研究肯定其减排的有效性<sup>[1]</sup>(P20-38),但其经济成本和技术进步驱动下的长期效应研究相对较少<sup>[2]</sup>(P379-398)。从碳交易政策看,其成本效益存在争议:一方面,碳交易政策通过激励技术创新降低排放,能够有效降低边际减排成本,且未显著损害产业竞争力;另一方面,中国试点市场受限于区域分割和碳价机制缺陷,总体减排效果不及预期<sup>[3]</sup>(P912-924)。上述矛盾可能源于研究方法(如模型假设)和数据尺度(如行业覆盖范围)的差异。此外,虽然碳税在中国尚未正式实施,但其潜在经济后果已被广泛讨论。碳税通过引导技术变革有效降低碳排放,而其长期经济影响在很大程度上取决于税收收入再分配机制<sup>[4]</sup>(P152-174)。国内研究则更关注实施可行性与经济代价评估,有研究发现,碳税对能源密集型行业的产出和就业构成威胁,进而对经济产生不利影响<sup>[5]</sup>(P30-44);也有研究认为,通过合理设计的碳税政策可以缓解经济负面冲击,并推动产业结构优化<sup>[6]</sup>(P9-13)。

从产业政策影响看,可再生能源补贴通过降低清洁能源生产成本,形成对传统能源的替代效应,减少碳排放,但该政策对经济的影响较为复杂,既有正面效应<sup>[7]</sup>(P142-162),如平均每投资100万美元可创造约7.5个就业岗位<sup>[8]</sup>(P440),也有潜在扭曲。同时,绿色金融政策也具有显著的碳减排效应<sup>[9]</sup>(P60-72)。其内在机制体现在两个方面:一是对污染企业的约束效应,该政策会促进污染企业调整自身能源结构,降低碳排放;二是对绿色创新的激励效应,促进了污染企业开发和应用绿色技术。基于企业异质性视角,绿色信贷政策对大型企业与小企业的影响存在分化:大型企业倾向于增加减排投入,而中小企业因融资约束可能选择缩减规模<sup>[10]</sup>(P2-16)。

综上所述,碳排放双控、碳交易、产业政策(可再生能源补贴)和绿色金融等政策的经济后果在减排效果和经济影响上呈现复杂特征。碳排放双控和碳交易在短期内可能增加经济成本,但长期看通过技术进步等可实现增长与减排的共赢;可再生能源补贴和绿色金融则更依赖政策设计和配套机制,其经济效应因行业和区域差异而异。上述政策覆盖了中国实现“双碳”目标的主要手段,能够较为完整地反映中国“双碳”政策体系的核心特征,具体体现为两个方面:一是行政手段(碳排放双控)与市场手段(碳交易)互补;二是直接约束(碳排放双控、碳交易)与间接支持(可再生能源补贴、绿色金融)并行。然而,上述研究多聚焦单一政策工具的局部效应,缺乏在统一分析框架下对多种政策工具协同机制的量化评估,也较少从一般均衡视角考察政策间的交互影响。

## 二、政策框架

中国“双碳”政策体系是一个多层次、多维度的综合性政策框架,本部分系统梳理中国“双碳”政策体系的基本框架,包括核心政策工具的设计逻辑、实施机制及其特点,为后续模型构建和政策效应评估奠定基础。

### (一) 顶层设计政策

“1+N”政策体系中的“1”是指《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》,该文件作为顶层设计,明确了“双碳”工作的指导思想、基本原则和主要目标,确立了分步走战略。“N”则包括《2030年前碳达峰行动方案》及电力、工业、建筑、交通等重点领域和煤炭、石油、天然气等重点行业的专项实施方案,形成了纵向贯通、横向协同的政策矩阵。这一政策体系具有三个显著特点:一是系统性,覆盖从国家战略到行业实施的各个层面;二是战略性,设定2030年碳达峰、2060年碳中和的阶段性目标;三是协同性,统筹减污降碳与经济的关系。

## (二) 碳排放控制政策

2020年以前,中国主要以能耗双控(能源消费总量和强度控制)为核心,辅以重点行业碳排放限额等措施。能耗双控在推动节能减排方面取得了显著成效,但随着经济发展和能源结构变化,其政策局限性逐渐显现,例如,能耗指标无法直接反映碳排放情况,尤其是当能源结构中清洁能源比例提高时;不同能源品种的碳排放系数不同,单纯控制能耗无法精准引导低碳转型。2021年3月,《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出“实施以碳强度控制为主、碳排放总量控制为辅的制度”,标志着政策导向开始转变。2021年12月颁布的《国务院关于印发“十四五”节能减排综合工作方案的通知》,提出“逐步将碳排放强度和总量纳入经济社会发展综合评价体系”。“十四五”期间,中国设定了单位国内生产总值(GDP)能耗降低13.5%、单位GDP二氧化碳排放降低18%的约束性指标,并将其分解到各省市区和重点行业。这类政策具有强制性和约束性特征,通过行政手段直接限制碳排放总量和强度,在短期内能够快速发挥减排作用。然而,由于缺乏灵活性,这类政策可能导致较高的经济调整成本。

## (三) 碳交易政策

碳市场通过市场化手段实现减排资源的优化配置,理论上能以较低成本实现减排目标。中国碳交易市场建设始于2011年,当年颁布的《国家发展改革委办公厅关于开展碳排放权交易试点工作的通知》选定北京、天津、上海、重庆、湖北、广东等作为首批试点地区。2021年7月,全国碳市场正式启动,首批纳入电力行业2162家重点排放单位,覆盖约45亿吨二氧化碳排放量。生态环境部数据显示,截至2024年底,全国碳市场累计成交配额6.3亿吨,成交额430.3亿元。2025年3月,钢铁、水泥、铝冶炼行业纳入全国碳市场,覆盖比例从40%提升至60%以上。在配额分配方式上,主要采用基于行业基准线的免费分配方法,这与欧盟碳市场的做法存在差异。

## (四) 产业政策

本文涉及的产业政策主要包括可再生能源补贴、高耗能行业投资约束等。这些政策通过调整产业结构和能源结构,促进低碳转型。例如,可再生能源补贴政策通过价格激励与市场保障机制加速清洁能源替代,早期以固定电价补贴、税收优惠、全额保障性收购为核心,有效降低了风电、光伏项目的投资风险与成本。2015年后推行“竞价上网”与“平价上网”政策,逐步实现补贴退坡,倒逼企业提升技术效率。可再生能源补贴政策不仅推动中国成为全球清洁能源产业链主导者,还为氢能、储能等新兴领域的技术突破奠定了基础。对高耗能行业实施投资约束政策,通过限制高碳产业的投资增速,引导资源向低碳领域流动,推动行业整体能效提升。“十四五”期间,中国对可再生能源补贴机制进行了重大调整,从固定上网电价补贴逐步向竞价补贴、绿色电力证书交易等市场化机制转变,体现了“政府引导、市场主导”的政策思路。

## (五) 绿色金融政策

绿色金融政策涵盖绿色金融标准体系、绿色信贷、绿色债券、碳减排支持工具等多元化工具。这些政策通过优化资金配置,引导社会资本投向低碳产业和项目,为“双碳”目标提供资金保障。2021年,中国人民银行创设碳减排支持工具,对金融机构向碳减排重点领域提供的贷款按一定比例提供低成本资金,有效撬动了社会资本投入低碳领域。在绿色债券方面,2021年修订《绿色债券支持项目目录》,统一了绿色债券标准,并排除了化石能源项目,使其与国际标准更加接轨。在绿色信贷方面,原中国银行保险监督管理委员会将绿色信贷纳入银行考核体系,引导金融机构加大对绿色低碳领域的支持力度。此外,中国还建立了绿色金融标准体系,包括统一绿色项目分类标准、环境信息披露规范等,为金融机构识别和支持绿色项目提供了明确指引。

总体上,中国“双碳”政策体系呈现出从传统行政命令型政策向市场机制型政策转变的趋势,为多政策工具组合的建模分析提供了现实基础。

### 三、模型构建

为系统分析不同碳政策的宏观经济效应和政策组合的最优性,本文构建了一个包含异质性企业和环境外部性的动态一般均衡模型。该模型以微观主体的优化行为为基础,通过均衡条件刻画宏观经济运行规律,能够捕捉政策冲击的一般均衡效应和动态调整过程。

#### (一) 模型设定

本文构建包含家庭、企业、政府三部门的动态一般均衡模型,系统刻画碳政策的经济传导机制。

##### 1. 家庭部门

模型中的代表性家庭不仅关心消费和闲暇,还考虑环境质量对福利的影响。其效用函数设定为:

$$U = \sum_{t=0}^{\infty} B^t \left[ \frac{C_t^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \chi \frac{L_t^{1+\eta}}{1+\eta} - \omega \frac{E_t^{1+\mu}}{1+\mu} \right] \quad (1)$$

其中, $C_t$ 是消费, $L_t$ 是劳动力供给, $E_t$ 是环境质量恶化程度(与碳排放正相关), $B$ 是主观贴现因子, $\sigma$ 、 $\eta$ 和 $\mu$ 分别是消费、劳动力和环境的弹性参数, $\chi$ 和 $\omega$ 分别是劳动力和环境效用的权重参数。 $\omega \frac{E_t^{1+\mu}}{1+\mu}$ 表示环境恶化带来的福利损失,参数 $\omega$ 衡量了家庭对环境问题的关注程度, $\mu$ 则决定了环境损害边际福利损失的递增程度。

家庭面临的预算约束为:

$$P_t C_t + S_t = W_t L_t + r_t K_t + T_t \quad (2)$$

其中, $P_t$ 是价格水平, $S_t$ 是储蓄, $W_t$ 是名义工资率, $L_t$ 为劳动力供给, $r_t$ 、 $K_t$ 分别为资本收益率、资本存量, $r_t K_t$ 为资本收入, $T_t$ 是转移支付。

家庭最优化问题的一阶条件包括:

劳动力供给条件: $\chi L_t^\eta = \frac{W_t}{P_t} C_t^{-\sigma}$ ,表明劳动力的边际效用等于实际工资乘以消费的边际效用;欧拉方程: $C_t^{-\sigma} = B C_{t+1}^{-\sigma} (1 + r_{t+1})$ ,描述了家庭跨期消费选择的最优条件。资产积累方程: $A_{t+1} = (1 + r_t) A_t + W_t L_t - P_t C_t + T_t$ 。

##### 2. 生产部门

假设经济中存在两类异质性企业,根据生产技术分为高碳企业和低碳企业两类。企业*i*的生产函数为:

$$Y_{i,t} = A_{i,t} K_{i,t}^\alpha L_{i,t}^\beta M_{i,t}^{1-\alpha-\beta} \quad (3)$$

其中, $A_{i,t}$ 表示企业*i*在*t*期的技术水平,且满足 $A_{\text{低碳},t} > A_{\text{高碳},t}$ ,以反映低碳企业通常具有更高的技术水平。参考相关研究的思路<sup>[11]</sup>(P52-101),设定初始值 $A_{\text{低碳},0} = 1.2 A_{\text{高碳},0}$ 。 $K_{i,t}$ 、 $L_{i,t}$ 和 $M_{i,t}$ 分别是资本、劳动力和能源投入, $\alpha$ 是资本份额, $\beta$ 是劳动力份额, $1 - \alpha - \beta$ 是能源份额,本文设定 $\alpha = 0.4$ 、 $\beta = 0.5$ ,能源份额为0.1。此外,本文引入资本动态积累方程: $K_{i,t+1} = (1 - \delta) K_{i,t} + I_{i,t}$ 。其中, $\delta$ 为资本折旧率,参考相关研究<sup>[12]</sup>(P1253),设定中国资本折旧率0.06; $I_{i,t}$ 为企业*i*在*t*期的投资。

##### 3. 内生技术进步与减排

本文考虑技术进步的内生化过程,反映研发投入对技术水平的提升作用:

$$A_{i,t+1} = A_{i,t} (1 + g_i + \psi R_{i,t}) \quad (4)$$

其中, $g_i$ 为基准技术进步率, $R_{i,t}$ 为研发投入, $\psi$ 为研发效率参数。对低碳企业,设定 $g_{\text{低碳}} > g_{\text{高碳}}$ ,以反映低碳技术进步速度更快的现实。

企业*i*的碳排放函数设定为:

$$E_{i,t} = (1 - \zeta_{i,t}) \gamma_i M_{i,t}^{\theta_i} \quad (5)$$

其中, $\zeta_{i,t}$ 表示企业*i*的减排技术水平, $\gamma_i$ 为排放强度参数, $\theta_i$ 为排放的能源弹性参数。该设定是气候经济

模型中广泛采用的设定方式。

将内生生化技术升级对排放强度的影响表示为:

$$\zeta_{i,t} = 1 - \frac{1}{1 + \chi_i A_{i,t}^{\sigma_\mu} H_{i,t}^{\omega_A}} \quad (6)$$

其中,  $\chi_i$  为行业特定参数,  $\sigma_\mu$  为技术对减排的弹性,  $\omega_A$  为知识存量弹性,  $H_{i,t}$  为减排投资积累的知识存量, 满足:

$$H_{i,t+1} = (1 - \delta_H)H_{i,t} + \xi R_{i,t}^{abate} \quad (7)$$

其中,  $\delta_H$  为知识折旧率,  $\xi$  为研发效率,  $R_{i,t}^{abate}$  为减排技术研发投入。这一设定使减排不再仅依赖于抑制产出, 而是可以通过技术进步和知识积累实现。

进一步, 本文刻画政策对技术升级的长期影响:

$$A_{i,t+1} = A_{i,t} [1 + g_i + \psi R_{i,t} + \eta(A_{\max,t} - A_{i,t})/A_{\max,t}] \quad (8)$$

其中,  $A_{\max,t}$  为  $t$  期经济体的最高技术水平, 这里  $\eta$  为技术追赶参数, 设定为 0.2。这允许技术落后的企业通过模仿和技术扩散赶上先进企业, 同时也形成了技术进步的内生驱动机制。

企业面临的利润最大化问题为:

$$\max V_{i,0} = E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t [P_t Y_{i,t} - W_t L_{i,t} - r_t K_{i,t} - P_t^M M_{i,t} - C_{i,t}^{carbon} - \Phi(I_{i,t}, K_{i,t})] \quad (9)$$

其中,  $P_t^M$  是能源价格。碳成本项  $C_{i,t}^{carbon}$  根据政策机制选择参数  $\lambda \in \{0, 1\}$  确定:  $C_{i,t}^{carbon} = (1 - \lambda)\tau_i E_{i,t} + \lambda p_t^c (E_{i,t} - \bar{E}_{i,t})$ 。  $p_t^c$  是碳价,  $\bar{E}_{i,t}$  是免费分配的碳配额。当  $\lambda = 0$  时, 采用碳税机制, 此时  $C_{i,t}^{carbon} = \tau_i E_{i,t}$ , 碳交易项为零。这确保了碳税与碳交易不同时施加。  $\Phi(I_{i,t}, K_{i,t}) = \frac{\phi}{2} (\frac{I_{i,t}}{K_{i,t}} - \delta)^2 K_{i,t}$  为资本调整成本函数,  $\phi$  为调整成本参数。

#### 4. 政府部门

政府负责制定和实施各类碳政策, 其预算约束为:

$$G_t + S_t + T_t = (1 - \lambda)\tau_i \int E_{i,t} di + \lambda p_t^c \int \max(E_{i,t} - \bar{E}_{i,t}, 0) di + B_t - R_{t-1} B_{t-1} \quad (10)$$

其中,  $G_t$  是政府支出,  $S_t$  是可再生能源补贴。等式左侧是政府支出, 包括一般性支出、可再生能源补贴和转移支付; 右侧是政府收入, 包括碳税收入、碳配额拍卖/交易收入和政府债务变动。这一设定反映了碳政策能够同时实现减排和提供财政收入的目标。

假设政府遵循简单的财政规则:

$$T_t = \phi_B (B_t - \bar{B}) + \phi_C (G_t - \bar{G}) \quad (11)$$

其中,  $\phi_B$  和  $\phi_C$  是政策参数,  $\phi_B < 0$ ,  $\bar{B}$  和  $\bar{G}$  分别是政府债务和支出的稳态水平。这一设定确保了财政的长期可持续性, 同时允许短期灵活调整。

#### 5. 碳排放约束

全社会碳排放总量由各企业排放之和决定:

$$E_t = \int E_{i,t} di \quad (12)$$

为实现“双碳”目标, 碳排放路径需满足约束:

$$E_t \leq E_{2021} (1 + g_t) \quad (13)$$

其中,  $g_t$  随时间变化, 在碳达峰前为正, 达峰后为负。根据中国“双碳”目标,  $g_t$  将在 2030 年前由正转负, 至 2060 年, 排放路径约束要求  $\prod_{s=0}^t (1 + g_s)$  趋近于零。这一排放路径约束是连接环境目标和经济行为的关键机制。当约束绑定时, 碳排放成为稀缺资源, 产生影响经济运行的“碳价”。

#### 6. 均衡条件

商品市场出清条件为:

$$Y_t = C_t + I_t + G_t + NX_t + AC_t \quad (14)$$

其中,  $Y_t = \sum_i Y_{i,t}$  为总产出,  $C_t$  为总消费,  $I_t = \sum_i I_{i,t}$  为总投资,  $G_t$  为政府支出,  $NX_t$  为净出口,  $AC_t = \sum_i \Phi(I_{i,t}, K_{i,t})$  为总调整成本。在封闭条件下,  $NX_t = 0$ 。

劳动力市场出清条件为:

$$L_t = \sum_i L_{i,t} \quad (15)$$

资本市场出清条件为:

$$K_t = \sum_i K_{i,t} \quad (16)$$

碳配额市场出清条件为:

$$\sum_i \max(E_{i,t} - \bar{E}_{i,t}, 0) = \sum_i \max(\bar{E}_{i,t} - E_{i,t}, 0) \quad (17)$$

## (二) 政策工具建模

本文在模型中纳入了碳排放双控、碳交易、可再生能源补贴和绿色金融等政策工具。每类政策通过不同机制和传导路径影响经济运行和碳排放。

### 1. 碳排放双控政策

本文以能耗双控的建模框架为基础,通过引入能源—碳排放转换系数将其转化为碳排放双控约束。能耗双控通过对能源消费总量和强度实施约束:

$$\begin{cases} \sum_i Energy_{i,t} \leq \overline{Energy}_t \\ \frac{\sum_i Energy_{i,t}}{\sum_i Y_{i,t}} \leq \overline{Intensity}_t \end{cases} \quad (18)$$

其中,  $Energy_{i,t}$  是企业  $i$  的能源消费,  $\overline{Energy}_t$  和  $\overline{Intensity}_t$  分别是能源消费总量和强度的上限。假设能源消费与碳排放存在稳定关系:  $Energy_{i,t} = \delta_i E_{i,t}$ ,  $\delta_i$  是能源—碳转换系数。本文模型通过将约束条件中的  $Energy_{i,t}$  替换为  $E_{i,t}$  来反映碳排放双控政策约束。需要指出,该转换假设在能源结构快速变化(如清洁能源占比大幅提高)时可能产生偏差,这构成本文模型的一个局限。能耗双控政策的约束通过拉格朗日乘数  $\lambda_i^E$  和  $\lambda_i^I$  影响企业决策。当存在约束时,这些乘数为正,相当于对能源消费征收隐性税,提高了高碳企业生产的成本。

当存在双控政策约束时,企业面临的实际能源价格为:

$$P_{i,t}^{Energy} = P_t^{Energy} + \lambda_i^E + \lambda_i^I / \sum_i Y_{i,t} \quad (19)$$

其中,  $P_t^{Energy}$  是基础能源价格。可以看出,双控政策通过隐性提高能源价格,促使企业节约能源并提高能效。

### 2. 碳交易政策

碳交易通过市场机制确定碳价,企业可在市场上买卖碳配额:

$$p_i^c = f(E_t - \bar{E}_t, \sigma_E) \quad (20)$$

其中,  $\bar{E}_t$  是配额总量,  $\sigma_E$  是市场弹性参数。市场出清条件要求:

$$\int \max(E_{i,t} - \bar{E}_{i,t}, 0) di = \int \max(\bar{E}_{i,t} - E_{i,t}, 0) di \quad (21)$$

上式表明,配额需求总量等于配额供给总量。配额价格  $p_i^c$  通过市场机制调节,使上述条件满足。当总排放量接近或超过配额总量时,碳价上升;反之则下降。

在理想情况下,碳交易能够实现给定减排目标下的成本最小化:

$$\min \sum_i MC_{i,t}^{abate}(e_{i,t}) \quad (22)$$

其中,  $MC_{i,t}^{abate}$  是企业  $i$  的边际减排成本函数,  $e_{i,t}$  是企业减排量。当实现均衡时,所有企业的边际减排成本相等,等于碳价  $p_i^c$ ,这保证了减排资源的最优配置。

### 3. 碳税政策

考虑中国尚未实施碳税,本文仅在反事实情景讨论其效果。碳税对所有碳排放征收统一税率:

$$T_t^c = \tau_t E_t \tag{23}$$

其中,  $\tau_t$  是碳税率。碳税通过直接提高排放成本影响企业决策。

理论上,最优碳税应等于碳排放的边际社会损失:

$$\tau_t^* = MSC_t \tag{24}$$

其中,  $MSC_t$  是碳排放的边际社会成本,反映了每增加一单位碳排放对社会造成的环境损害。在本模型中,  $MSC_t$  由家庭效用函数中的环境损害项得出。

### 4. 可再生能源补贴政策

可再生能源补贴通过降低清洁能源的有效价格,促进能源结构转型。设能源投入  $M_{i,t}$  由化石能源  $M_{i,t}^f$  和可再生能源  $M_{i,t}^r$  组成,两者存在不完全替代关系,通过 CES 函数复合。可再生能源补贴使企业面临的有效可再生能源价格降低:  $P_{i,t}^{r,eff} = P_t^r - s_t^r$ 。其中,  $P_t^r$  为可再生能源市场价格,  $s_t^r$  为单位补贴额。

### 5. 绿色金融政策

绿色金融通过降低低碳项目融资成本实现:

$$r_{i,t} = r_t(1 - s_{i,t}) \tag{25}$$

其中,  $s_{i,t}$  是利率补贴,与企业碳强度负相关:

$$s_{i,t} = s_0 \cdot \max(0, 1 - \frac{E_{i,t}/Y_{i,t}}{E/\bar{Y}}) \tag{26}$$

其中,  $s_0$  是基准补贴率,  $\bar{E}/\bar{Y}$  是碳强度基准值。这一设计使得碳强度越低的企业获得的融资优惠越大,形成了对低碳发展的激励机制。

从资本成本角度看,绿色金融政策改变了企业的资本成本结构:

$$WACC_{i,t} = w_d r_{i,t}(1 - \tau^c) + w_e r_{i,t}^e \tag{27}$$

其中,  $WACC_{i,t}$  是加权平均资本成本,  $w_d$  和  $w_e$  分别是债务和权益的权重,  $\tau^c$  是企业所得税率,  $r_{i,t}^e$  是权益成本。利率补贴通过降低债务成本  $r_{i,t}$ , 减少了低碳企业的整体资本成本,提高了低碳投资的吸引力。

### (三) 模型校准与求解

本文将贴现因子设为 0.98; 相对风险厌恶系数  $\sigma$  取值 1.5<sup>[13]</sup> (P41-88); 劳动力供给弹性  $\eta$  设为 0.8; 环境质量弹性  $\mu$  参考已有研究的思路<sup>[14]</sup> (P1-21); 环境效用权重设为 0.2; 资本份额  $\alpha$  设为 0.4<sup>[15]</sup> (P61-101)。根据本文测算,高碳企业排放强度  $\gamma_{\text{高碳}}$  设为 0.8, 低碳企业排放强度  $\gamma_{\text{低碳}}$  设为 0.3, 估计思路参照已有研究<sup>[16]</sup> (P445-455); 高碳企业排放弹性  $\theta_{\text{高碳}}$  设为 1.2, 低碳企业排放弹性  $\theta_{\text{低碳}}$  设为 0.9, 估计思路参照已有研究<sup>[17]</sup> (P439-456)。模型采用递归动态求解近似方法。

### (四) 最优碳价

在一般均衡模型框架下,社会最优碳价应等于碳排放的边际社会损害。家庭效用函数中包含环境损害项  $\omega \frac{E_t^{1+\mu}}{1+\mu}$ , 对  $E_t$  求导得到环境损害的边际效用:

$$\frac{\partial U}{\partial E_t} = -\omega E_t^\mu \tag{28}$$

这表示增加一单位碳排放导致效用损失  $\omega E_t^\mu$ 。将这一边际损失转换为消费等价单位(即用多少消费可以补偿这一损失),得到碳排放的边际社会成本:

$$MSC_t = \frac{\omega E_t^\mu}{\lambda_t} \tag{29}$$

其中,  $\lambda_t = C_t^{-\sigma}$  是消费的边际效用。分子是环境损害的边际效用,分母是货币的边际效用,两者之比即为环境损害的货币价值。

根据庇古税原理,当外部性被完全内部化时,最优碳价应等于边际社会成本。由企业利润最大化的一阶条件可知:

$$p_i^{c*} = \frac{\omega E_t^\mu}{\lambda_t} \quad (30)$$

这一最优碳价表明,其随着排放量 $E_t$ 的增加而增加(因为 $\mu > 0$ ),反映了环境损害的边际递增特点。同时,这一最优碳价与消费水平 $C_t$ 正相关(因为 $\lambda_t = C_t^{-\sigma}$ ),表明经济越发达,消费者对环境质量的支付意愿越高。此外,它还取决于环境偏好参数 $\omega$ ,偏好越强,最优碳价越高。考虑到二氧化碳在大气中的长期存留特性,需要计算排放的动态边际损害:

$$p_i^{c*} = \sum_{j=0}^{\infty} \beta^j \frac{\partial D_{t+j}}{\partial E_t} \frac{1}{\lambda_{t+j}} \quad (31)$$

其中, $\frac{\partial D_{t+j}}{\partial E_t}$ 表示当期排放对未来各期环境损害的边际影响。上式表明,当期排放不仅造成当期损害,还会通过碳积累影响未来环境质量,导致持续损害。最优碳价应等于所有这些未来损害的贴现和。这一动态视角解释了二氧化碳的社会成本(即理论最优碳价)通常高于实际碳价的原因。

实际校准结果显示,对中国而言,2025年的理论最优碳价约为145元/吨,2030年将上升至200元/吨左右。这表明,随着碳排放累积,环境边际损害持续增加。

#### (五) 多政策工具组合的最优性分析

在不完全市场条件下,单一政策工具难以实现社会福利最大化。根据丁伯根法则,达成 $N$ 个独立的政策目标需要至少 $N$ 个独立的政策工具。对“双碳”政策而言,既要实现减排目标,又要维持经济增长,需要多种政策工具的组合。本文先分析单一碳价政策的局限性。假设只实施碳税 $\tau_t$ ,由企业利润最大化的一阶条件,对于资本和劳动力:

$$\frac{\partial \Pi_{i,t}}{\partial K_{i,t}} = \alpha P_t \frac{Y_{i,t}}{K_{i,t}} - r_t = 0, \quad \frac{\partial \Pi_{i,t}}{\partial L_{i,t}} = \beta P_t \frac{Y_{i,t}}{L_{i,t}} - W_t = 0 \quad (32)$$

对于能源:

$$\frac{\partial \Pi_{i,t}}{\partial M_{i,t}} = (1 - \alpha - \beta) P_t \frac{Y_{i,t}}{M_{i,t}} - P_t^M - \tau_t (1 - \zeta_{i,t}) \gamma_i \theta_i M_{i,t}^{\theta_i - 1} = 0 \quad (33)$$

碳税 $\tau_t$ 通过提高能源投入的边际成本影响企业生产和减排决策,但同时也造成产出损失。当面临多重市场失灵时,单一碳定价政策难以同时实现减排和经济增长的双重目标。在存在技术溢出效应的情况下,低碳技术创新的社会收益高于私人收益,单一碳定价政策无法解决这一外部性问题。引入多政策工具组合可以克服这一局限。例如,同时实施碳税和绿色金融政策,政策组合为 $(\tau_t, s_t)$ ,其中 $\tau_t$ 是碳税率, $s_t$ 是绿色金融补贴率。由此,最优化问题可表示为:

$$\begin{aligned} \max_{(\tau_t, s_t)} \quad & \int_0^{\infty} e^{-\rho t} [U(C_t, L_t, E_t)] dt \\ \text{s.t.} \quad & E_t \leq \bar{E}_t \text{ (碳排放约束)} \\ & Y_t \geq \bar{Y}_t \text{ (经济增长约束)} \end{aligned} \quad (34)$$

其中, $\rho$ 是社会贴现率, $\bar{E}_t$ 和 $\bar{Y}_t$ 分别是排放上限和产出下限。

通过求解该最优控制问题,可以证明最优政策组合为:

$$\begin{cases} \tau_t^* = MSC_t \\ s_t^* = \frac{\kappa}{r_t} (\gamma_{\text{高碳}} - \gamma_{\text{低碳}}) p_t^{c*} \end{cases} \quad (35)$$

其中, $\tau_t^*$ 是最优碳税率, $s_t^*$ 是最优绿色金融补贴率, $MSC_t$ 是边际社会成本, $\kappa$ 是调整参数,反映了高低碳企业的替代弹性,取值范围为 $(0, 1)$ ,本文设定为0.3。这一最优政策组合表明,碳税 $\tau_t^*$ 主要解决环境外部

性问题,其最优值等于碳排放的边际社会成本。绿色金融补贴  $s_t^*$  主要解决结构转型问题,促进资源从高碳部门向低碳部门流动。补贴率与高低碳企业的排放强度差异  $(\gamma_{\text{高碳}} - \gamma_{\text{低碳}})$  成正比,表明排放差异越大,结构调整的空间和必要性越大。同时,补贴率还与碳价正相关,反映了碳减排紧迫性对结构调整的影响。

进一步地,引入技术创新,最优政策组合将扩展为:

$$\begin{cases} \tau_t^* = MSC_t \\ s_t^* = \frac{\kappa}{r_t} (\gamma_{\text{高碳}} - \gamma_{\text{低碳}}) p_t^* \\ s_t^{R\&D} = \nu \cdot Spillover_t \end{cases} \quad (36)$$

其中,  $s_t^{R\&D}$  是研发补贴率,  $Spillover_t$  是技术溢出效应大小,  $\nu$  是调整参数。研发补贴解决了技术创新的正外部性问题,促进低碳技术进步。

上述推导表明,在存在多重市场失灵条件下,针对每类市场失灵配置相应的政策工具,能够避免单一工具的效率损失,实现更优的减排和增长平衡。这一结论在理论上支持了中国采用多元政策组合的做法。

#### 四、模拟结果及分析

本部分通过多种政策情景设计,比较不同情景下的减排效果、经济成本和福利影响,量化评估不同政策组合的协同效应。

##### (一) 政策情景设计

本文设计了四种政策情景:

1. 基准情景(BAU)。假设不实施额外碳政策,仅维持现有政策强度。这一情景作为对照组,用于评估各类政策的增量效果。该情景下,GDP 增长(年均 5%),能源强度下降(年均 2.5%),能源结构改善(非化石能源占比年均提高 1 个百分点)。在这些因素共同作用下,2030 年排放量预计比 2021 年增加约 21%,达到约 121 亿吨二氧化碳(设定 2021 年为 100 亿吨,该值为相对值)。

2. 单一碳价情景。在基准情景基础上,仅实施碳定价政策,假设碳价从 2021 年的 50 元/吨逐步上升至 2030 年的 200 元/吨。碳价路径遵循线性上升趋势,体现了减排力度的逐步加强。该情景旨在评估单一价格工具的减排效果和经济影响。

3. 双工具情景。碳价与可再生能源补贴组合。在单一碳价基础上,增加可再生能源补贴政策,补贴力度从 2021 年 0.1 元/千瓦时逐步降至 2030 年的 0.03 元/千瓦时,体现了补贴退坡和市场化转型趋势。

4. 多工具情景。多工具情景为“碳价+可再生能源补贴+绿色金融+其他产业政策”。在双工具基础上,进一步增加绿色金融支持(贷款利率下浮 30%)和产业结构调整政策(高碳产业投资约束,设定年投资增速上限为 GDP 增速的 60%)。该情景代表了全方位、多元化的政策组合,也最接近中国当前的政策实践。

##### (二) 均衡路径模拟

表 1 模拟结果显示,基准情景下碳排放将持续上升至 2030 年,无法实现碳达峰目标;单一碳价情景可在 2028 年实现碳达峰;双工具情景可提前至 2026 年达峰;在多工具情景的模拟结果中,碳排放于 2025 年达到峰值。在基准情景下,由于经济增长和能源需求上升,碳排放呈持续增长趋势,2030 年排放量比 2021 年增加约 21%。这一路径明显偏离了碳达峰目标要求,显示了政策干预的必要性。上述结果表明,虽然碳价是减排的核心工具,但单独使用可能难以在短期内实现大幅减排。

双工具情景通过组合碳价和可再生能源补贴,形成了减排的“推拉”机制,将达峰时间提前至 2026 年,峰值排放约 106 亿吨二氧化碳(相对于 2021 年 100 亿吨的基准)。可再生能源补贴显著提高了清洁能

表1 不同政策情景下碳排放变化(2021-2030)

政策情景	2021年 (基准=100)	2025年	2030年	碳达峰时间	峰值排放量(亿吨二氧化碳)
基准情景(BAU)	100	110	121	未达峰	-
单一碳价情景	100	107	106	2028年	109
双工具情景	100	105	103	2026年	106
多工具情景	100	102	99	2025年	102

源竞争力,加速了能源结构调整。模拟结果显示,2030年非化石能源占比在双工具情景下比单一碳价情景高约4个百分点,这一结构变化是提前达峰的重要原因。这表明,在解决能源转型这一关键环节时,针对性支持政策比一般性价格信号更为有效。多工具政策情景将达峰时间进一步提前至2025年,峰值排放约102亿吨二氧化碳。绿色金融政策通过降低融资成本,加速了低碳技术应用和产业转型;产业政策则通过抑制高碳产业扩张,优化了经济结构。这些政策与碳价、补贴形成了协同效应,实现了减排与转型的良性互动。多工具情景下的排放路径特点是“早峰低峰”,不仅提前达峰,峰值水平也更低,为后续深度减排奠定了良好基础。

表2比较了四种政策情景下的经济增长表现。与基准情景相比,2030年单一碳价情景GDP损失约1.23%;双工具情景GDP损失约0.84%;多工具情景GDP损失最小,仅为0.52%,表明多元政策组合能够在实现减排目标的同时最大限度降低经济成本。值得注意的是,GDP损失呈现先高后低的动态趋势,即初期损失较大,随后逐渐收敛,这反映了经济对碳价冲击的适应过程。双工具情景的GDP损失显著低于单一碳价情景,表明补贴政策在一定程度上缓解了碳价对经济的不利影响。可再生能源补贴降低了清洁能源的有效价格,带动非化石能源占比提升,从而在抑制碳排放的同时缓解了因碳价上升导致的能源成本压力。多工具情景的GDP损失最小,表明全方位的政策组合更有助于在实现减排目标的同时,取得更优的经济增长表现,即实现最佳的减排与增长平衡。

表2 不同政策情景下GDP增长变化(2021-2030)

政策情景	2021年 (基准=100)	2025年	2030年	GDP损失
基准情景(BAU)	100	121.6	155.1	-
单一碳价情景	100	119.4	153.2	-1.23%
双工具情景	100	119.6	153.8	-0.84%
多工具情景	100	119.8	154.3	-0.52%

从动态角度看,多工具情景下的GDP增长呈现出更强的韧性和适应性。在政策实施初期(2021-2023年),各情景的GDP差异较小;随着政策力度加大(2024-2027年),差异逐渐显现;而在后期(2028-2030年),多工具情景的GDP增长表现更好。这一动态特征表明,虽然短期内减排政策可能带来一定经济成本,但通过优化政策组合,中长期内可以实现减排与增长的平衡,甚至在培育新产业、推动技术创新方面获得增长优势。

### (三) 福利分析

通过计算消费等价变化(CEV)评估不同政策情景的福利效应:

$$CEV = \left( \frac{U_p - U_{NC}^{BAU}}{U_C^{BAU}} \right)^{\frac{1}{1-\sigma}} - 1 \quad (37)$$

其中, $U_p$ 是政策情景 $p$ 下的社会福利, $U_C^{BAU}$ 、 $U_{NC}^{BAU}$ 分别是基准情景下消费效用和非消费效用(劳动负效用与环境损害)的贴现值, $\sigma$ 是相对风险厌恶系数,决定了效用差异向消费等价比例的转换关系。CEV表

示为了达到政策情景 $p$ 的福利水平,基准情景下的消费需要永久增加的比例。

表3福利分析结果显示,所有政策情景相对于基准情景均带来福利改善,这表明减排政策的环境收益超过了经济成本。单一碳价情景的福利提升为1.5%,双工具情景为3.2%,多工具情景最高,达到4.1%。这一结果证实了多元化政策组合的福利优势。

表3 不同政策情景的福利效应与边际减排成本

政策情景	福利变化(CEV, %)	边际减排成本(元/吨二氧化碳)
基准情景	-	-
单一碳价	1.5	285
双工具情景	3.2	232
多工具情景	4.1	186

从减排成本看,多工具情景表现出明显的成本优势。边际减排成本从单一碳价情景的285元/吨二氧化碳下降到多工具情景的186元/吨二氧化碳。这一成本下降主要得益于政策协同效应和结构优化效应。一方面,多元政策形成合力,共同突破减排瓶颈,避免了单一政策的局限性;另一方面,通过优化经济结构和能源结构,实现了从低成本减排路径向低成本减排路径的转变。从政策实施的效果看,多工具情景还具有更强的可行性和接受度。与单一高碳价相比,多元政策组合对经济冲击较小,行业影响更为均衡,社会阻力更小。需要指出的是,本文模型未考虑区域异质性,包含这一因素的多元政策组合在可行性方面的优势有待后续研究进一步验证。

本文对关键参数进行了敏感性分析。当环境偏好参数 $\omega$ 变化时,虽然各情景的绝对福利水平会发生变化,但多工具情景的相对优势保持不变。同样,当考虑不同的社会贴现率时,政策排序也保持一致。这表明,无论决策者如何权衡当前与未来、经济与环境,多元化政策组合均是优于单一政策的选择。敏感性分析表明,尽管参数取值变化影响各政策组合的绝对效果,但不同政策组合的相对优势排序保持稳健。例如,较高的相对风险厌恶系数( $\sigma=2.0$ )意味着家庭更倾向于平滑消费路径,经济对碳政策冲击的动态调整能力减弱,所有政策组合的GDP损失均增加,边际减排成本上升。相比单一碳价情景,多工具情景在不同相对风险厌恶系数下都保持更小的GDP损失,展现了多元政策组合的稳健调节优势。

### 五、进一步分析

考虑到碳排放的全球性特征和国际贸易的重要性,将模型扩展至开放经济框架,纳入国际碳市场互动和碳泄漏效应。在开放经济模型中,中国与世界其他地区进行贸易互动,产品市场和碳市场均存在国际联系。一方面,碳政策影响产品的相对价格和竞争力;另一方面,一国的减排努力可能通过贸易渠道导致排放转移到其他国家,形成碳泄漏。

碳泄漏效应可表示为:

$$E_{global} = E_{domestic} + \xi(E_{BAU} - E_{domestic}) \tag{38}$$

其中, $E_{global}$ 是经碳泄漏调整后的有效排放水平, $E_{domestic}$ 是国内排放量, $E_{BAU}$ 是无政策情景下的国内排放量。这里 $\xi$ 表示碳泄漏系数,取值介于0和1之间, $\xi = 0$ 表示没有碳泄漏, $\xi = 1$ 表示完全碳泄漏(国内减排量完全被国外排放增加所抵消)。参考相关研究的思路<sup>[18]</sup>(P29-39),并结合中国实际,模型中设定不同行业的碳泄漏敏感度存在显著差异:能源密集型贸易行业(钢铁、水泥、铝业)的碳泄漏系数初始值为0.39;服务业及内向型行业为0.08;其他行业平均为0.22。碳边境调节机制(CBAM)通过改变进口产品的相对价格影响碳泄漏,设定CBAM的效力参数为0.75,表示其能够覆盖75%的进口产品碳含量。国际合作情景设计包括四种水平:(1)低合作情景:各国碳价差异大(设模拟初始期2025年中国碳价为70元/吨,欧盟为100欧元/吨),CBAM覆盖率高(65%);(2)部分合作情景:区域内协调(中国—东盟碳价差异

缩小至30%，欧盟内差异小于15%），部分碳市场连接（连接效率参数为0.4）；（3）高合作情景：主要经济体碳价差异缩小至40%，碳市场互联互通（连接效率参数为0.7）；（4）全球合作情景：全球碳价差异低于25%，全球碳市场一体化（连接效率参数为0.9）。

表4模拟结果显示，在无国际协调的情况下，碳泄漏率呈现持续上升趋势，从2026年的22.9%增长至2030年的24.7%。这一结果反映了随着中国碳政策力度加大，产业转移和碳密集型产品进口替代效应逐渐增强。CBAM实施后，碳泄漏率显著下降，从2026年的12.1%降至2030年的5.9%，表明CBAM能有效减少排放转移。从行业差异看，能源密集型贸易行业（钢铁、水泥、铝业）的碳泄漏风险显著高于平均水平，无CBAM情况下2030年达到39.8%。CBAM实施后，此类行业泄漏率大幅下降至9.2%，表明CBAM对高风险行业尤为有效。此外，中国通过与国际碳市场互联互通，边际减排成本降低幅度（29.2%）高于全球平均水平（23.1%），反映了中国与发达经济体减排边际成本的显著差异。这支持了关于异质性经济体碳市场连接的理论研究结果<sup>[19]</sup>（P2-24），即边际减排成本差异越大，碳市场连接带来的效率提升越显著。

表4 国际碳市场互动模拟结果（%）

指标	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年
碳泄漏率(无国际协调)	22.0	22.9	23.5	24.0	24.3	24.7
碳泄漏率(实施CBAM)	22.0	12.1	9.0	7.5	6.6	5.9
能源密集型贸易行业泄漏率(无CBAM)	39.0	39.1	39.2	39.4	39.6	39.8
能源密集型贸易行业泄漏率(有CBAM)	39.0	18.0	13.8	11.4	10.0	9.2
服务业及内向型行业泄漏率	8.0	8.3	8.6	8.7	8.8	8.9
碳市场互联互通边际减排成本降幅(全球)	19.2	20.4	21.3	22.1	22.7	23.1
碳市场互联互通边际减排成本降幅(中国)	24.8	26.0	27.1	28.0	28.6	29.2

由此，本文认为，鉴于碳排放的全球性特征和国际贸易的重要影响，中国的碳政策设计需要在立足国内实际的基础上，充分考虑全球气候治理框架下的国际协调与合作。

表5显示，国际合作水平与中国减排政策效果强相关。在全球合作情景下，中国边际减排成本较低合作情景大幅降低，碳泄漏问题几乎消除，同时显著提升出口竞争力（以出口产品相对价格的倒数表征，基准情景设为100）。中国在不同情景下的最优政策组合也有显著差异：低合作情景下，应加强产业竞争力保障与碳边境调节措施；高合作情景下，应加大碳价信号传导与市场机制作用。这一结果体现了气候政策的博弈特征，即国内政策选择与国际战略环境相互影响。从战略互动角度看，中国应主动推动国际气候合作，同时保持政策灵活性，根据主要经济体政策走向调整国内政策力度。

表5 不同国际合作情景下中国碳政策效果（2030年）

指标	低合作情景	部分合作情景	高合作情景	全球合作情景
碳泄漏率（%）	24.7	17.5	8.0	2.1
多工具边际减排成本（元/吨）	186	158	131	110
中国出口竞争力指数	93.6	96.8	99.5	102.4

## 六、研究结论与政策建议

本文构建了包含异质性企业和环境外部性的一般均衡模型，对中国“十四五”期间“双碳”政策进行了系统评估。主要研究结论如下：1. 多政策工具组合能够以更低成本实现减排目标，同时提高社会福利。模拟结果表明，相比单一碳价政策，多工具政策组合的边际减排成本显著降低，福利进一步改善。这源于不同政策工具的互补性：碳定价机制构成减排的核心价格信号，可再生能源补贴加速能源结构低

碳化,绿色金融政策引导资本向低碳领域配置,产业政策则约束高碳产能扩张并推动结构优化。多元政策形成合力,共同应对减排过程中的多重市场失灵问题,同时实现了减排与增长。2. 碳价机制有待强化。目前,中国碳市场价格相对于理论最优碳价仍然偏低,激励作用有限。这意味着碳排放的边际社会损害尚未被充分内部化。而长效减排机制的建立需要稳定、可预期且具有足够强度的碳价信号,这是当前政策体系的短板。3. 能源密集型贸易行业面临较高的碳泄漏风险,显著高于服务业。实施碳边境调节机制能够有效抑制排放转移,实现国际碳市场互联互通可使中国的边际减排成本显著下降。

结合上述结论,本文提出以下政策建议:

第一,完善碳市场建设,强化价格信号作用。当前中国碳市场覆盖范围有限,配额分配以免费为主,价格信号作用不足。需要扩大碳市场覆盖范围,逐步过渡到配额拍卖制度,建立碳价下限机制。一是逐步扩大行业覆盖范围,尽快将更多高排放行业纳入,提高市场覆盖面;二是逐步提高拍卖比例,从免费分配向有偿使用过渡,增强价格信号;三是建立碳价稳定机制,设定价格下限,防止价格过低削弱减排激励;四是完善交易规则,引入做市商制度,提高市场流动性,使碳价能更灵敏、真实地反映边际减排成本。

第二,构建多元政策协同框架,优化政策组合。构建以碳价为核心,辅以差异化支持政策的多元政策体系,强化政策协同。研究表明,多元化政策组合具有显著的成本和福利优势。未来政策设计应以碳价为“核心锚”,发挥市场在资源配置中的决定性作用;同时,针对不同行业特点和减排阶段,设计差异化的支持政策。例如,对技术成熟但经济性不足的领域(如可再生能源),采用竞价补贴促进规模化;对技术尚不成熟的前沿领域(如氢能、储能),加大研发支持力度;对转型困难但关系国计民生的传统行业,提供转型基金和技术支持。此外,建立“双碳”政策协同评估指标体系,定期评估政策组合效果;构建跨部门协调平台,降低政策协调成本;开发政策模拟工具,对政策组合进行事前评估,根据评估结果及时调整政策组合。

第三,加强国际合作。推动碳市场国际互联互通,减少碳泄漏风险,促进全球减排合作。研究表明,在全球化背景下,单边气候政策面临碳泄漏挑战,影响政策有效性。应积极推动国际气候合作,在多层次开展行动:双边层面,与主要贸易伙伴开展碳市场合作,探索碳市场互联互通路径;区域层面,推动“一带一路”绿色发展,帮助发展中国家提升减排能力;全球层面,积极参与国际气候治理,推动构建公平合理的全球气候治理体系。同时,应防范碳泄漏风险,研究碳边境调节机制的设计与应对,保护国内产业竞争力;推动国际技术合作,促进低碳技术转让和联合研发,降低全球边际减排成本;参与国际绿色金融标准制定,加快可持续金融体系建设,引导全球资本流向低碳领域。

## 参考文献

- [1] 姜春海,闫振好,王敏.“双碳”目标约束下的能耗双控到碳排放双控:规制工具、效应模拟与政策评价. 中国工业经济, 2024, (11).
- [2] P. Li, Y. Ouyang. Quantifying the Role of Technical Progress Towards China's 2030 Carbon Intensity Target. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2021, 64(3).
- [3] H. Zhang, M. Duan, Z. Deng. Have China's Pilot Emissions Trading Schemes Promoted Carbon Emission Reductions? The Evidence from Industrial Sub-sectors at the Provincial Level. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 234.
- [4] L. H. Goulder, I. W. H. Parry. Instrument Choice in Environmental Policy. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2008, 2(2).
- [5] 史丹,李鹏.“双碳”目标下工业碳排放结构模拟与政策冲击. 改革, 2021, (12).
- [6] 苏明,傅志华,许文等. 新形势下我国碳税政策设计与构想. 地方财政研究, 2010, (1).
- [7] C. Fischer, R. G. Newell. Environmental and Technology Policies for Climate Mitigation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2008, 55(2).
- [8] H. Garrett-Peltier. Green versus Brown: Comparing the Employment Impacts of Energy Efficiency, Renewable Energy and Fossil Fuels Using an Input-output Model. *Economic Modelling*, 2017, 61.

- [9] 张颖, 邹国昊. 绿色金融政策对碳排放的空间溢出效应研究. *武汉大学学报(哲学社会科学版)*, 2024, (5).
- [10] H. Fan, Y. Peng, H. Wang et al. Greening through Finance? *Journal of Development Economics*, 2021, 152.
- [11] D. Acemoglu, U. Akcigit, D. Hanley et al. Transition to Clean Technology. *Journal of Political Economy*, 2016, 124(1).
- [12] A. Young. Gold into Base Metals: Productivity Growth in the People's Republic of China during the Reform Period. *Journal of Political Economy*, 2003, 111(6).
- [13] M. Golosov, J. Hassler, P. Krusell et al. Optimal Taxes on Fossil Fuel in General Equilibrium. *Econometrica*, 2014, 82(1).
- [14] B. Annicchiarico, F. Di Dio. Environmental Policy and Macroeconomic Dynamics in a New Keynesian Model. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2015, 69.
- [15] C. Bai, C. Hsieh, Y. Qian. The Return to Capital in China. *Brookings Papers on Economic Activity*, 2006, (2).
- [16] S. Zhang, N. Bauer, G. Luderer, et al. Role of Technologies in Energy-related CO<sub>2</sub> Mitigation in China within a Climate-Protection World: A Scenarios Analysis Using REMIND. *Applied Energy*, 2014, 115.
- [17] B. Xiao, Y. Fan, X. Guo. Exploring the Macroeconomic Fluctuations under Different Environmental Policies in China: A DSGE Approach. *Energy Economics*, 2018, 76.
- [18] F. Branger, P. Quirion. Would Border Carbon Adjustments Prevent Carbon Leakage and Heavy Industry Competitiveness Losses? Insights from a Meta-analysis of Recent Economic Studies. *Ecological Economics*, 2014, 99.
- [19] B. Doda, S. Quemin, L. Taschini. Linking Permit Markets Multilaterally. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2019, 98.

## Quantitative Assessment and Optimization Pathway For The Synergistic Effects in China's "Dual Carbon" Goal Policy

Li Peng (Chinese Academy of Social Sciences)

**Abstract** By establishing a general equilibrium model covering policies such as dual control over the amount and intensity of carbon emissions, carbon emission rights trading, renewable energy subsidies and green finance, this study analyzes the implementation effects and synergistic roles of various policies. The results show that, compared to a single carbon pricing policy, the multi-tool policy mix significantly reduces emission reduction costs and further improves welfare, which demonstrates the strong synergy in China's "carbon peaking and carbon neutrality" policy system. This advantage stems from the complementarity of different policy tools: carbon pricing mechanisms provide basic incentives for emission reduction, renewable energy subsidies promote the transformation of the energy structure, green finance policies optimize resource allocation, and industrial policies drive structural adjustments, which can jointly address multiple market failures in the emission reduction process. However, the current carbon price is below the theoretical optimal level, disadvantageous to the formation of a long-term emission reduction mechanism. Further research indicates that China's carbon policies should transcend a purely domestic perspective and be comprehensively considered within the broader context of global climate governance. By strengthening international coordination, introducing cross-border carbon adjustment mechanisms, and promoting the interconnection of carbon markets, policy effectiveness can be enhanced and emission reduction costs reduced.

**Key words** "Dual carbon" goal; synergistic effects; dual control over the amount and intensity of carbon emission; renewable energy subsidies; green finance

---

■ 作者简介 李 鹏,中国社会科学院工业经济研究所副编审,北京 100006。

■ 责任编辑 杨 敏