

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2025.05.011

协同碳减排与非化石能源发展目标的政策效应： 征税与补贴^①

宋 鹏¹, 黄婉婷¹, 毛显强^{2*}, 黎梓言¹

(1. 重庆大学公共管理学院, 重庆 400044; 2. 北京师范大学环境学院, 北京 100875)

摘要:从解决两类“外部性”问题出发,本研究构建一般均衡分析框架,考察碳税和非化石能源补贴双向驱动下,碳排放控制与非化石能源发展目标协同实现路径,及其对经济发展和能源结构等的影响。研究发现:第一,对不同部门征收差异化碳税相较于对所有部门征收统一碳税,具有较低的单位减排成本。第二,碳税主要对传统化石能源部门的产出和消费产生直接抑制作用,能够显著抑制能源密集型行业的产出增长,对产业结构的改善作用显著;而非化石能源补贴则对促进非化石能源的生产和消费更为有效。第三,对碳排放源征收统一税率碳税和差异化碳税,均能实现2030年碳达峰目标;而要兼顾碳排放强度和非化石能源占比目标,则需要将碳税收入用于非化石能源补贴。第四,碳税会给GDP带来损失,非化石能源补贴则会提升GDP,将碳税收入用于非化石能源补贴能够抵消单一碳税政策对经济的负面影响,甚或产生显著的正向效应。中国未来应针对现有碳市场之外的碳源实施差异化碳税,并可将碳税收入用于非化石能源补贴,约束与激励并举,充分发挥政策组合优势,协同实现碳排放控制和非化石能源发展目标。

关键词: 碳排放双控; 碳税; 非化石能源补贴; CGE; 碳达峰

中图分类号: X196; F124 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2025)05-0174-17

0 引 言

中国与各国共同采取行动应对气候变化是历史趋势。当前在“共同但有区别的责任”原则下,世界各国在更新国家自主贡献(NDC)目标的同时纷纷提出碳中和目标,开启迈向全球碳中和的新征程。2020年9月,习近平主席在第75届联合国大会上宣布中国二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和(以下简称“双碳目标”);在随后的气候雄心峰会上进一步宣布提高NDC力度:到2030年,中国单位

国内生产总值二氧化碳排放将比2005年下降65%以上(以下简称“碳排放强度目标”),非化石能源占一次能源消费比重将达到25%左右(以下简称“非化石能源占比目标”)。随后,《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》和《2030年前碳达峰行动方案》,均强调要加强政策的系统性、协同性,更好发挥政府作用的同时充分发挥市场机制作用,形成有效激励约束机制。

然而,现阶段中国无论是碳市场还是其他命令控制型政策手段,实际推行中都存在着或“目

① 收稿日期: 2022-07-07; 修订日期: 2024-06-02.

基金项目: 国家社会科学基金资助项目(21BJY115); 国家社会科学基金资助重大专项项目(24ZDA093); 中央高校基本科研业务费资助项目(2022CDJSKPT02; 2020CDSKXYGG006); 重庆市技术预见与制度创新资助项目(CSTB2023TFII-OIX0029); 国家社会科学基金资助重点项目(23AZD064)。

通讯作者: 毛显强(1970—), 男, 重庆人, 博士, 教授, 博士生导师。Email: maoxq@bnu.edu.cn

标简单层层分解”,或“执行刚性不足”,或“对企业减排约束乏力”等问题^[1],甚至出现了“拉闸限电”等激进的运动式节能减排的事例,对中国能源供应安全和正常生产生活造成影响。对此,2021年中央经济工作会议提出“要科学考核,新增可再生能源和原料用能不纳入能源消费总量控制,创造条件尽早实现能耗‘双控’向碳排放总量和强度‘双控’转变,加快形成减污降碳的激励约束机制”。这在客观上为本研究针对碳排放控制和非化石能源发展探索更为科学、合理和有效的政策调控手段指明了方向。

国家在推进“双碳目标”进程中的政策导向愈发明确,政策实践在“运动式”纠偏和高质量发展平衡中指向要构建协同推进碳排放控制与非化石能源发展目标的政策体系。事实上,二者协同共进至关重要,因为协同碳排放控制和非化石能源发展意味着可以同时解决两类外部性内化问题:一是市场未能充分内部化碳排放所造成的外部成本;二是市场未能充分内部化非化石能源发展所带来的外部效益^[2]。前者是学界关注和讨论的焦点,也是目前中国多数碳减排政策的缘起和标的;后者则一般表现为发展非化石能源带来的低碳技术创新、碳减排和环境改善等外部效益,产生社会边际效益大于私人边际效益的“溢出效应”,若在市场经济体制下无视其存在就会内生性地阻碍非化石能源发展。

目前中国经济增长与能源消耗尚未“脱钩”,尽管化石能源占一次能源消费比重已下降至2022年的82.5%,煤炭占一次能源消费的比重也已下降至56.2%,但距离“双碳目标”的要求还存在较大差距。有学者提出,化石能源的减量化替代化是中国实现碳减排目标的重要路径^[3]。然而,不加区分地将非化石能源纳入能源消费总量控制的能耗“双控”政策,不利于第二类外部性内化问题的有效解决,不利于非化石能源发展。在此背景下,探索约束激励并举的政策组合:一方面通过征收碳税内化碳排放的外部成本,发挥碳排放成本的约束作用,另一方面利用补贴内化非化石能源发展的外部效益,提升非化石能源价格竞争力,有望成为重要政策选项。如此,同时复位化石与非化石能源的真实社会成本与效益,充分发挥市场机制引导产业和能源结构调整的重要作用,方能更

好地保障碳排放“双控”与非化石能源发展目标的协同实现。

梳理文献发现,政策之于实现“双碳目标”的重要性已引起国内外学者的广泛关注^[4, 5],尤其针对碳排放的负外部性内化型政策手段,学者们开展了系列情景分析及效果评估研究,认为建立基于市场的经济政策手段是实现“双碳”目标的重要保障。如邵帅等^[6]认为推进能源定价机制市场化改革,将能源消费的环境外部性成本在其价格中予以反映,才是促进碳减排的长效之策;曹蒲菊和刘朝^[7]的研究表明市场化的排放权交易能够协同促进减排与经济高质量发展;王梅和周鹏^[8]建议采用市场化的碳排放权分配,以提高碳市场成本的有效性。部分学者使用结构化模型开展政策模拟取得的结果肯定了碳税的减排效应,强调碳税是重要且有效的市场化减排工具^[9, 10],Ding等^[11]考虑了内生技术的学习效应,发现碳税能够促使过渡技术和新技术更早出现并替代老旧技术,有助于尽早实现达峰目标。聚焦“双碳目标”的实现,健全碳市场和碳税协同机制被认为是实现新突破的重要抓手^[12]。谢家平等^[13]提出碳税和碳配额的组合能够有效抑制碳排放,适当调整配额和税率可以实现最优政策组合;张宁等^[14]认为在全国碳市场基础上引入配额拍卖机制并实施碳税配套措施有助于实现碳达峰。

事实上,虽然碳税等政策通过纠正碳排放的负外部性,在控制碳排放水平促进碳达峰方面能够取得显著成效,但存在经济代价^[15],更重要的是难以保证2030年非化石能源占比目标的实现^[16]。若实现碳达峰时的非化石能源占比不足,则可能意味着其时的“峰值”过高。因此,越来越多的学者强调实现非化石能源发展目标的重要性^[17-20]。一方面,非化石能源能通过能源结构脱碳,促进强度降低并加速碳达峰,且中国NDC中碳排放强度、碳达峰和非化石能源占比目标具有一致性^[21]。另一方面,提高非化石能源占比是实现低碳转型的关键路径^[22],其不仅能够降低碳减排成本^[23],还能在一定程度上保障经济发展和就业稳定^[24]。

已有文献表明,非化石能源补贴有利于促进非化石能源的发展^[25],究其原因,补贴能够激励更多使用非化石能源,且持续补贴会使得激励效

果日趋显著,推动非化石能源逐步替代传统化石能源^[26],并将非化石能源发展的外部效益内部化^[27].在实践中,补贴也已成为多数国家用以激励非化石能源发展的重要措施^[28].为了协同实现碳排放控制与非化石能源发展目标,中国亦需发挥补贴激励,以提高企业开发和使用非化石能源的增益,将非化石能源产量和消费量提高至社会边际效益等于社会边际成本的最佳水平,从而提高非化石能源占一次能源消费比重.

综上所述,围绕中国“双碳”进程,目前文献或侧重研究碳排放的负外部性内化型政策,或探索分析可再生能源发展政策,部分文献开始关注碳排放权交易对可再生能源发展的影响^[29]以及这两类政策的协同效应^[30].作为协同实现碳排放控制与非化石能源发展目标的另一政策组合,碳税与非化石能源补贴政策的协同效应亦需进一步验证.相较已有研究,本研究可能的边际贡献如下:1)充分认识正负外部性“双内化”问题,探寻约束与激励并举的政策手段,具体考察碳税和非化石能源补贴政策组合对协同实现中国碳排放控制和非化石能源发展目标的影响及贡献.2)构建细分能源部门的递归动态可计算一般均衡(CGE)模型,将碳排放控制与非化石能源发展目标纳入同一框架开展模拟分析,以综合考察不同政策组合实现单一和多重目标的可行性和必要性.3)考

虑到中国是在未完成工业化进程条件下的非自然达峰^[31],需要兼顾平衡经济与环境利益,本研究基于不同政策情景下经济指标的变动情况,评估实施不同政策在实现相应目标时所付出的成本代价,从经济、能源与环境利益综合平衡的角度,比较分析不同政策效果并做出优劣判断,为协同推进碳排放“双控”与非化石能源发展提供决策参考.

1 研究方法与数据来源

为研究以双重外部性内化策略协同实现中国碳排放控制与非化石能源发展目标,本研究构建并使用 CGE 模型开展模拟分析并综合评估政策效应.

1.1 一般均衡模型

本研究建立了一个中国的递归动态 CGE 模型,模型由细分能源部门的生产、收入支出、对外贸易、均衡与闭合、动态以及碳排放扩展六个模块构成.

1)生产模块.在生产模块中,本研究将生产函数分为 6 层嵌套,嵌套结构见图 1.其中顶层采用 Leontief 函数形式描述非能源中间投入与劳动-资本-能源合成品的互补关系,其他层级的嵌套则均采用 CES 函数形式.模型中非化石能源电力具体包括:水电、风电、核电以及太阳能发电.

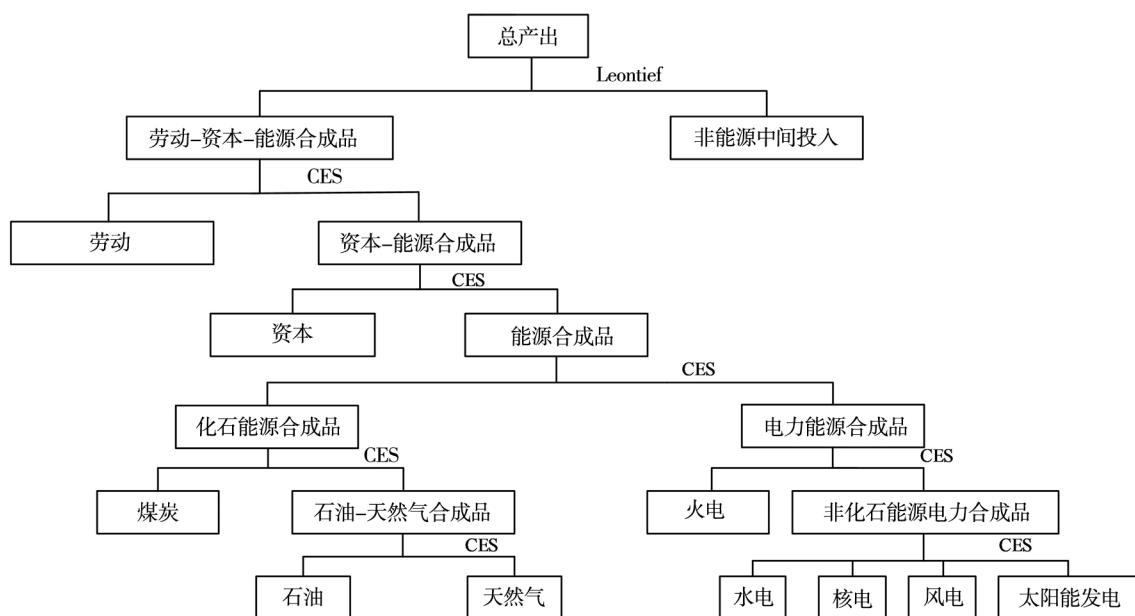


图 1 生产模块嵌套结构

Fig. 1 Production module nested structure

2) 收入支出模块. 收入支出模块包含居民、企业和政府三类主体的收入与支出函数. 其中, 居民的收入来源包括要素回报即劳动和资本收入, 以及政府、企业和国外其他地区对其的转移支付; 支出为对政府缴纳的税费和对商品的最终消费. 企业收入来自资本报酬和政府对企业的转移支付; 支出包括对居民的转移支付和对政府缴纳的税费, 二者的差值作为企业储蓄. 政府的经常性收入来自生产部门间接税费、关税和居民所缴纳税费、企业所缴纳税费以及国外其他地区对政府的转移支付; 政府的经常性支出则包括政府对居民和企业的转移支付, 对各类商品的最终消费, 政府储蓄为两者的差值.

3) 对外贸易模块. 对外贸易模块包括进口与出口两部分. 国内销售的产品来源于国内生产和进口, 假设国际市场上的价格不受中国进口需求的影响, 中国只是价格接受者. 同时采用“Armington 假设”函数形式, 国内的消费者在一定的相对价格和可替代性的条件下对进口品和国内产品进行优化组合. 国内产品的流向分为出口和国内销售, 具体分配采用不变转换弹性(CET)函数形式, 国内生产者确定国内供给和出口的最优销售比例以最大化其收入.

4) 均衡与闭合模块. 均衡模块包括商品市场的均衡、劳动力市场的均衡、资本市场的均衡. 闭合模块采用新古典闭合法则, 包括政府收支平衡、国际收支平衡以及储蓄 - 投资平衡. 政府收支平衡采用政府征收的各种税率和转移支付参数给定不变, 使政府的储蓄内生决定; 国际收支平衡表现为外汇收支平衡; 储蓄 - 投资平衡表现为经济中所有的储蓄都将转化为投资.

5) 动态模块. 模型的动态递归属性主要由劳动力增长和资本积累两个因素驱动, 前者的比率是外生设定的, 而后者则取决于上一期的资本折旧和本期新增投资(储蓄), 如式(1)~式(3)所示

$$TotLs_{t+1} = TotLs_t \times (1 + lgh_t) \quad (1)$$

$$K_{t+1,i} = K_{t,i} \times (1 - rder_i) + PQ_{t,i} \times Inv_{t,i} \quad (2)$$

$$TotKs_{t+1} = \sum_i K_{t+1,i} \quad (3)$$

其中 $TotLs_t$ 为 t 期的劳动力供给总量, lgh_t 为 t 期

全社会劳动力供给增长率; $K_{t,i}$ 为 t 期 i 生产部门资本要素投入量, $rder_i$ 为第 i 生产部门的固定资产折旧率, $PQ_{t,i}$ 为 t 期第 i 类商品的价格, $Inv_{t,i}$ 为 t 期 i 生产部门的投资, $TotKs_t$ 为 t 期的资本供给总量.

6) 碳排放模块. 本研究通过化石能源消费量和碳排放系数计算碳排放量, 且总的碳排放量等于各生产部门和居民所产生的碳排放量的加总, 具体计算公式如下

$$TEM = \sum_e \theta_e \times \left(\sum_i E_{i,e} + CD_e \right) \quad (4)$$

其中 TEM 为总的碳排放量, i 指代生产部门, e 是由煤炭、石油、天然气组成的传统化石能源部门, θ_e 为能源 e 的 CO_2 排放系数; $E_{i,e}$ 为 i 部门对能源 e 的消费量; CD_e 为居民对能源 e 的消费量.

1.2 宏微观 SAM 表编制

本研究以 2017 年中国投入产出表为基础, 考虑到产业结构特点及研究需要, 将 149 个部门的投入产出表调整为 31 个部门并对接 CGE 模型进一步编制成 SAM 表. 调整前后的部门对应关系如表 1 所示, 其中能源部门包括: 煤炭、石油、天然气、火电、水电、核电、风电以及太阳能发电.“石油”和“天然气”两个部门的拆分参考 Song 等^[26] 的做法, 电力生产与供应业部门则根据《2017 年电力统计基本数据一览表》中的发电量数据和各类电力平均上网电价拆分为火电、水电、核电、风电、太阳能发电生产与供应部门. 基础数据主要来源于国家统计局 2017 年中国投入产出表, 以及《中国财政年鉴 2018》、《中国税收年鉴 2018》、《中国海关统计年鉴 2018》和《中国统计年鉴 2018》等.

1.3 参数设定

模型中的生产税、个人所得税、企业所得税和进口关税等税率, 以及资本收入分配系数、消费份额参数、投资份额参数、转移支付参数、居民储蓄率等参数通过基准数据进行校调得到. 替代弹性和价格弹性参数主要来自 GTAP 9 数据库和相关研究^[32, 33]. 资本折旧率等非弹性类参数参考莫建雷等^[16] 进行设定. 劳动力供给增长率根据国务院《国家人口发展规划(2016 年—2030 年)》^② 中的数值进行设定. 碳排放系数是利用 CEADs 提供的

^② http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-01/25/content_5163309.htm

中国 2017 年三种化石能源的 CO₂ 排放量数据除

以能源的实际消费量数据得到(表 2).

表 1 CGE 模型部门划分

Table 1 Department division of CGE model

序号	SAM 表 部门分类	英文 缩写	IO 表中 对应编号	序号	SAM 表 部门分类	英文 缩写	IO 表中 对应编号
1	农业	AGR	1~5	17	其他制造业	OMP	9597
2	煤炭采选业	COL	6	18	火电生产与供应业	TPS	98
3	石油采选业	OEI	7	19	水电生产与供应业	HPS	
4	天然气采选业	NGE		20	核电生产与供应业	NPS	
5	金属及非金属采选业	MNN	8~11	21	风电生产与供应业	WPS	
6	食品及烟草加工业	FPT	12~26	22	太阳能发电生产与供应业	OPS	
7	纺织和服装业	TWL	27~34	23	燃气生产与供应业	GDT	99
8	木材及家具加工业	LUM	35~36	24	供水生产与供应业	WTR	100
9	印刷和出版业	PAS	37~40	25	建筑业	CNS	101~104
10	石油和煤炭加工业	RAC	41~42	26	批发和零售业	RET	105~106
11	化学工业	CHE	43~56	27	邮政及运输业	PAT	107~118
12	非金属制造加工业	CGO	57~60	28	住宿及餐饮业	HRS	119~120
13	金属制造加工业	IMN	61~66	29	信息及计算机相关服务业	ICS	121~125
14	通用、专用设备制造业	GME	67~76	30	金融和商务服务业	FBS	126~131
15	运输设备制造业	MAO	77~81	31	公共服务业	OSI	132~149
16	电机、计算机设备制造业	EAC	82~94				

表 2 CO₂ 排放系数^③

Table 2 CO₂ emission coefficient^③

化石能源	排放量/ (Mt)	最终需求/ (亿元)	排放系数/ (t/万元)
煤炭	7 700.82	23 426.48	32.87
石油	1 280.51	19 932.45	6.42
天然气	357.68	4 277.25	8.36

1.4 基准情景设定

基准情景是在不执行额外减排措施时,经济和碳排放自然发展的状态,是比较模拟政策情景的重要参照.本研究的基准情景设定主要参考了张文静和马喜立^[34]的研究,引入了能源利用效率.此外,为了贴合实际考察发电结构的变化,结合全球能源互联网发展合作组织对“十四五”电力规划^④的电源装机规划,即到 2035 年水电装机容量约为 6.2 亿 kW,风能和太阳能分别约为 11 亿 kW 和 13.1 亿 kW,到 2050 年水电装机容量约为 7.4 亿 kW,风能和太阳能分别约为 19.7 亿 kW 和 23.6 亿 kW.而截至 2020 年底全国全口径水电装机容量就已达到 3.7 亿 kW,这说明水电的发展

速度趋于平缓,且在一定时期内装机容量上升的空间有限,基于此在模拟中为水电行业设置了装机容量上限.基准情景主要指标的设定如表 3 所示.

表 3 基准情景中主要指标的设定

Table 3 Setting of main indicators in baseline scenarios

指标名称	具体设定
劳动力供给 增长率	2020 年及以前:0.65%;2021 年—2030 年: 0.21%;2031 年—2040 年:0.10%
能源利用效率 提高率	2020 年及以前:2.50%;2021 年—2030 年: 2.00%;2031 年—2040 年:1.50%
水电装机 容量上限	2030 年及以前:6 亿 kW; 2040 年及以前: 7 亿 kW

2 政策情景设计及依据

为了实现碳排放控制协同非化石能源发展目标,需要同时解决正负外部性“双内化”问题.本研究利用碳税和非化石能源补贴这两类政策工具,设计了不同的政策情景,深入探究约束与激励并举的政策手段对碳排放、经济发展、能源结构等

^③ CO₂ 排放量来自中国碳排放数据库 2017 年中国表观碳排放清单;最终需求量来源于微观社会核算矩阵中煤炭、石油和天然气三部门的需求量.

^④ <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1679171557616255113&wfr=spider&for=pc>

的影响及作用机制.

2.1 碳税情景

本研究从充分发挥碳税政策效应的角度考虑, 在煤炭、石油、天然气等化石能源的消费环节征税. 理论上, 最优碳税水平与均衡的碳交易市场价格是等同的^[26], 因此参考北京等碳排放交易所的交易价格以及截至目前的全国碳市场价格(波动范围约为 10 元~100 元), 本研究设置 10 元/t、40 元/t、70 元/t 以及 100 元/t 四种碳税税率, 默认碳税全部归政府所有^[35]. 为了量定不同部门的减排责任, 优化产业结构, 除了设置统一碳税税率外, 还参考翁智雄等^[36]以基年 CO₂ 排放量为标准将非化石能源部门以外的其余产业部门进行分类并实行“差异化碳税税率”, 具体见表 4.

表 4 按碳排放量划分的部门差异化碳税税率

Table 4 Sectoral differentiated carbon tax rates by carbon emissions

碳税税率	部门	英文缩写	基年碳排放量/(Mt)
第 I 类 (100 元/t)	火电生产与供应业	TPS	2 613.668 3
	石油和煤炭加工业	RAC	1 914.527 7
	化学工业	CHE	1 705.792 4
	煤炭采选业	COL	1 128.048 3
第 II 类 (70 元/t)	金属制造加工业	IMN	822.513 2
	非金属制造加工业	CGO	277.694 9
	燃气生产与供应业	GDT	204.561 8
	印刷和出版业	PAS	112.711 4
第 III 类 (40 元/t)	食品及烟草加工业	FPT	93.894 0
	公共服务业	OSI	66.328 8
	纺织和服装业	TWL	65.283 4
	金属及非金属采选业	MNN	63.003 6
	石油采选业	OEI	58.273 7
	通用、专用设备制造业	GME	26.270 5
	建筑业	CNS	21.845 9
	农业	AGR	20.269 1
第 IV 类 (10 元/t)	木材及家具加工业	LUM	9.730 1
	运输设备制造业	MAO	7.228 2
	电机、计算机设备制造业	EAC	6.890 6
	其他制造业	OMP	4.492 5
	邮政及运输业	PAT	2.953 9
	天然气采选业	NGE	2.803 6
	金融和商务服务业	FBS	2.472 0
	住宿及餐饮业	HRS	1.888 9
	批发和零售业	RET	1.136 2
	供水生产与供应业	WTR	0.020 0
	信息及计算机相关服务业	ICS	0.010 0

结合日本等国家的碳税经验, 为了有效激励高生产率的企业发挥竞争优势, 同时设定合理的时限来引导低效的粗放型企业退出, 避免碳税在短期内对经济和行业竞争力造成过大冲击, 碳税税率的设定采取渐进递增的方式^[37], 即以 5% 的年均增长率逐年提高. 另外, CGE 模型中的投入量是价值量, 依照式(5)~式(6)将从量税税率转化为从价税税率并引入模型.

$$YT_{i,e} = t \times \theta_e \times \sum_e E_{i,e} \quad (5)$$

$$TC_{i,e} = \frac{YT_{i,e}}{PQ_e \times Q_{i,e}} \quad (6)$$

其中 $YT_{i,e}$ 为生产部门 i 消费化石能源 e 所需要缴纳的碳税总额, t 为碳税从量税, 即每吨 CO₂ 排放所征收的碳税税额, $TC_{i,e}$ 为生产部门 i 消费能源 e 的从价税率, PQ_e 和 $Q_{i,e}$ 分别为能源 e 的国内价格和生产部门 i 对能源 e 的消费总量.

2.2 非化石能源补贴情景

实施非化石能源补贴可以为企业提供资金支持, 弥补发展非化石能源的外部收益, 增强技术研发和升级的动机, 有效解决第二类外部性内化问题. 近年来国家和地方政府都给予可再生能源发电企业一定比例的研发投资补贴, 以减轻企业在开发新技术时的财务压力, 如《可再生能源发展中长期发展规划》等. 因此, 将非化石能源补贴作为内化第二类外部性的市场激励型政策引入到模型中, 政策情景参考宋鹏等^[30]的设置, 由政府对非化石能源部门进行价格补贴, 分别设定了补贴率为 5% 和 10% 的补贴情景. 此外, 为了比较政策组合与单一政策的效果差异, 还设定了将碳税收入按照各类非化石能源发电规划装机量为分配标准应用于非化石能源价格补贴的政策情景, 并进一步设定了将碳税收入用于非化石能源补贴比例“梯次递减”的政策情景, 综合所有设置一共得到了包括基准情景在内的 28 种政策情景(见表 5).

表 5 政策情景设置

Table 5 Policy scenario setting

情景类别	情景名称	具体描述
基准情景	BAU	无碳税;无非化石能源补贴
单一政策情景	E5	无碳税;非化石能源补贴率为 5%
	E10	无碳税;非化石能源补贴率为 10%
	CTD	碳税税率为差异化税率,税收归政府所有;无非化石能源补贴
	CT10	碳税税率为 10 元/t,税收归政府所有;无非化石能源补贴
	CT40	碳税税率为 40 元/t,税收归政府所有;无非化石能源补贴
	CT70	碳税税率为 70 元/t,税收归政府所有;无非化石能源补贴
	CT100	碳税税率为 100 元/t,税收归政府所有;无非化石能源补贴
组合政策情景 1 (碳税收入全部用于非化石能源补贴)	CTDE	碳税税率为差异化税率,税收全部用于非化石能源补贴
	CT10E	碳税税率为 10 元/t,税收全部用于非化石能源补贴
	CT40E	碳税税率为 40 元/t,税收全部用于非化石能源补贴
	CT70E	碳税税率为 70 元/t,税收全部用于非化石能源补贴
	CT100E	碳税税率为 100 元/t,税收全部用于非化石能源补贴
组合政策情景 2 (碳税收入的 75% 用于非化石能源补贴)	CTDE75	碳税税率为差异化税率,税收的 25% 归政府所有,75% 用于非化石能源补贴
	CTD10E75	碳税税率为 10 元/t,税收的 25% 归政府所有,75% 用于非化石能源补贴
	CTD40E75	碳税税率为 40 元/t,税收的 25% 归政府所有,75% 用于非化石能源补贴
	CTD70E75	碳税税率为 70 元/t,税收的 25% 归政府所有,75% 用于非化石能源补贴
	CTD100E75	碳税税率为 100 元/t,税收的 25% 归政府所有,75% 用于非化石能源补贴
组合政策情景 3 (碳税收入的 50% 用于非化石能源补贴)	CTDE50	碳税税率为差异化税率,税收的 50% 归政府所有,50% 用于非化石能源补贴
	CTD10E50	碳税税率为 10 元/t,税收的 50% 归政府所有,50% 用于非化石能源补贴
	CTD40E50	碳税税率为 40 元/t,税收的 50% 归政府所有,50% 用于非化石能源补贴
	CTD70E50	碳税税率为 70 元/t,税收的 50% 归政府所有,50% 用于非化石能源补贴
	CTD100E50	碳税税率为 100 元/t,税收的 50% 归政府所有,50% 用于非化石能源补贴
组合政策情景 4 (碳税收入的 25% 用于非化石能源补贴)	CTDE25	碳税税率为差异化税率,税收的 75% 归政府所有,25% 用于非化石能源补贴
	CTD10E25	碳税税率为 10 元/t,税收的 75% 归政府所有,25% 用于非化石能源补贴
	CTD40E25	碳税税率为 40 元/t,税收的 75% 归政府所有,25% 用于非化石能源补贴
	CTD70E25	碳税税率为 70 元/t,税收的 75% 归政府所有,25% 用于非化石能源补贴
	CTD100E25	碳税税率为 100 元/t,税收的 75% 归政府所有,25% 用于非化石能源补贴

3 结果分析

3.1 碳排放

1) 碳达峰路径. 为考察 2030 年碳排放达峰目标的实现情况,本研究模拟了在不同政策情景下未来的碳排放总量演化趋势. 如图 2(a),在没有引入任何额外政策的基准情景(BAU)下,碳排放的上升态势将持续到 2036 年,排放总量从 2017 年的 92.79 亿 t 增长到 114.47 亿 t,无法实现达峰目标. 引入非化石能源补贴后,虽然随着补贴力度的提高碳排放路径曲线下移,但是碳排放总量仍将持续增长到 2036 年,亦无法实现达峰目

标. 在对所有部门征收统一碳税的情景下,随着碳税征收水平的提高,碳排放路径曲线逐步下移;且在 40 元/t、70 元/t 和 100 元/t 的碳税水平下,碳排放均能在 2030 年或之前达峰,峰值水平分别为 104.96 亿 t、99.70 亿 t 和 95.43 亿 t;而在 10 元/t 的碳税水平下,碳排放量增长将持续到 2035 年,无法实现达峰目标. 这说明碳税政策对实现碳达峰目标的贡献存在着“门槛效应”,税率过低时,碳税难以发挥有效作用. 在对不同部门征收差异化碳税的情景下,碳排放峰值在 2029 年取得,为 98.04 亿 t,峰值水平仅高于统一碳税税率为 100 元/t 时的模拟值,碳排放路径曲线也位于除 100 元/t 以外的所有统一碳税碳排放路径曲线

下方。

所有的碳税政策情景在不同的碳税循环方式下所产生的相对变化较为相似,限于篇幅,仅展示在差异化碳税下不同政策组合情景的碳排放变化,其他政策情景的碳排放变化不再逐一列出。如图2(b)所示,相较于CTD情景,将碳税收入全部

或部分用于非化石能源补贴的政策组合,能够实现更大程度的碳减排;且随着用于补贴非化石能源的税收比例递增(25%、50%、75%和100%),碳排放路径曲线下移幅度逐渐扩大,均为2029年实现提前达峰,峰值分别为94.57亿t、92.75亿t、91.20亿t和89.84亿t。

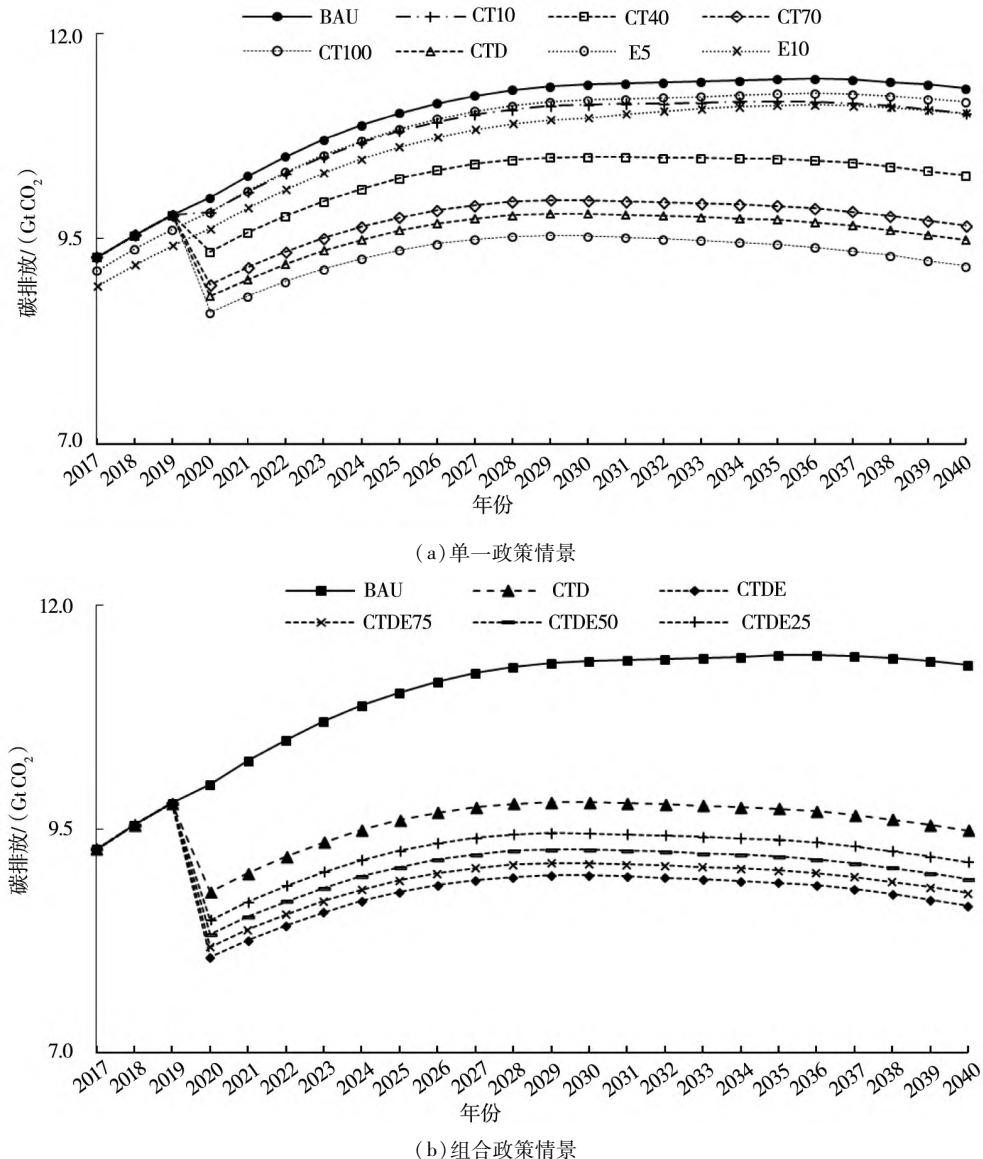


图2 不同政策情景下的碳排放的变化路径

Fig. 2 The change paths of carbon emissions under different policy scenarios

比较不同政策情景下的碳排放路径可以发现,单一的碳税政策通过内化第一类外部性是可以完成碳排放达峰目标的,且税率的提高会带来峰值水平和累计碳排放量的下降,在此基础上将税收用于非化石能源补贴可以更进一步削减达峰时的碳排放量,亦即,相较于单纯“征收碳税”的

减排效果,将税收用于非化石能源补贴会进一步“额外减排”。

2) 碳排放强度。为考察2030年碳强度相对于2005年下降65%以上的目标完成情况,本研究计算了不同政策情景下2030年中国的碳排放强度(基于2005年可比价),如表6所示。2005年中国

碳排放强度为 2.70t/万元。在 BAU 情景下,碳排放强度到 2030 年下降为 1.19t/万元,相对于 2005 年的碳强度下降 55.84%,无法实现碳强度目标。分别引入碳税和非化石能源补贴后,碳强度相较于 BAU 情景都有所下降,且降幅随税率的提高和补贴力度的加强逐渐扩大;由表 6 可知,差异化税率取得的 61.64% 的碳强度下降幅度仅次于统一税率为 100 元/t 的情景,所有单一政策情景都无法实现碳强度下降 65% 的目标;而在将税收

全部用于非化石能源补贴的政策组合情景下,碳税税率为统一的 100 元/t 和差异化税率时的碳强度下降幅度均能够超过 65%;将税收部分用于非化石能源补贴的政策组合情景下,随碳税收入用于非化石能源补贴比例递减,2030 年碳强度下降幅度递减。由此可见,仅内化第一类外部性难以实现碳强度下降目标,而在征收碳税的同时将税收作为非化石能源补贴进而内化第二类外部性则有利于推动实现碳排放强度目标。

表 6 2030 年各政策情景下的碳强度变化(单位:%)

Table 6 Carbon intensity changes under different policy scenarios in 2030 (unit: %)

政策情景	碳强度 (t/万元)	碳强度下降率 (较 2005 年)	政策情景	碳强度 (t/万元)	碳强度下降率 (较 2005 年)
BAU	1.192 4	55.835 8%	E5	1.172 2	56.584 7%
CT10	1.168 3	56.728 7%	E10	1.149 4	57.428 8%
CT40	1.105 3	59.062 6%	CT70E	0.972 2	63.992 3%
CT70	1.053 2	60.993 9%	CT70E75	0.987 4	63.428 7%
CT100	1.010 5	62.575 7%	CT70E50	1.004 7	62.787 5%
CTD	1.035 7	61.641 5%	CT70E25	1.025 3	62.024 4%
CT10E	1.146 7	57.529 4%	CT100E	0.915 0	66.112 5%
CT10E75	1.151 5	57.353 2%	CT100E75	0.932 4	65.468 2%
CT10E50	1.156 6	57.164 4%	CT100E50	0.952 4	64.726 8%
CT10E25	1.162 1	56.958 8%	CT100E25	0.976 6	63.830 4%
CT40E	1.046 4	61.245 0%	CTDE	0.935 8	65.340 4%
CT40E75	1.058 0	60.814 4%	CTDE75	0.952 4	64.725 2%
CT40E50	1.071 0	60.333 0%	CTDE50	0.971 5	64.019 2%
CT40E25	1.086 1	59.774 3%	CTDE25	0.994 4	63.169 1%

3) 行业部门减排。碳税和非化石能源补贴都能够降低产业部门对化石能源的消耗,带来碳排放的下降,如表 7 所示,其中煤炭采选业(COL)、石油和煤炭加工业(RAC)、化学工业(CHE)、金属制造加工业(IMN)及火电生产与供应业(TPS)等高排放高能耗部门贡献了较大的减排量,不同情景下减排范围分别为 20.51Mt ~ 336.18Mt、4.03Mt ~ 334.41Mt、8.64Mt ~ 382.34Mt、6.73Mt ~ 194.51Mt 及 56.60Mt ~ 1030.54Mt。各行业部门的减排量随着税率和补贴力度的提高而增大,但碳税和非化石能源补贴对不同产业部门的作用效果存在差异:非化石能源补贴情形下煤炭采选业(COL)和火电生产与供应业(TPS)部门的减排幅度明显高于其他行业,碳税情形下化石能源部门的减排幅度虽仍位居前列,但与其他行业之间的差异明显缩小。这表明碳税与非化石能源补贴在

促进减排的作用机制上存在差异,碳税主要通过提高成本来遏制产业部门对化石能源的使用,作用机制的覆盖范围更大;而非化石能源补贴则主要对能源部门发挥结构改善作用,促进非化石能源对化石能源的替代。从不同税率设置的模拟结果看,在差异化税率下,第二产业和第三产业部门的减排幅度差异要大于统一征收相同税率下的减排幅度差异,且总的减排量下降幅度为 13.90%,仅低于统一税率为 100 元/t 的 16.24%,更合理地分配了不同产业部门需要承担的减排责任,并取得较好减排效果。从政策协同角度看,将税收用于非化石能源补贴的组合政策下多数部门的减排量相较单一情景进一步提高,且用于补贴非化石能源的税收收入比例越高,减排量越大,全部补贴的 CTDE 情景取得了所有政策情景中最佳的减排效果。

表7 2030年不同政策情景下的各产业部门CO₂减排量(单位: Mt)Table 7 CO₂ emission reduction of various industrial sectors under different policy scenarios in 2030 (unit: Mt)

情景 部门	E5	E10	CT10	CT40	CT70	CT100	CTD	CTDE	CTDE75	CTDE50	CTDE25
AGR	0.213 1	0.481 3	0.548 8	1.991 5	3.192 3	4.178 7	3.272 4	2.342 7	2.146 9	1.940 4	1.718 4
第一产业部门合计	0.213 1	0.481 3	0.548 8	1.991 5	3.192 3	4.178 7	3.272 4	2.342 7	2.146 9	1.940 4	1.718 4
COL	20.510 7	43.904 5	38.791 6	137.659 9	216.574 5	279.152 4	205.870 8	336.180 6	322.853 7	307.644 4	289.481 5
OEI	0.330 4	0.740 8	0.468 4	1.847 4	3.186 4	4.442 6	2.225 7	3.931 7	3.650 4	3.349 3	3.020 3
NGE	0.028 1	0.062 1	0.012 3	0.053 3	0.098 9	0.145 8	-0.021 5	0.109 8	0.083 2	0.054 4	0.022 1
MNM	0.081 2	0.293 6	2.674 6	9.703 0	15.550 0	20.351 2	10.607 6	8.658 9	8.643 8	8.695 5	8.862 9
FPT	1.483 4	3.437 1	3.458 0	12.571 9	20.184 2	26.456 4	11.513 4	14.035 1	12.733 8	11.410 2	10.073 4
TWL	0.901 7	2.096 4	2.334 4	8.488 9	13.632 5	17.873 8	7.736 4	9.209 0	8.422 5	7.627 9	6.834 0
LUM	0.151 9	0.350 9	0.347 2	1.261 0	2.022 8	2.649 6	0.029 9	0.413 8	0.267 1	0.117 9	-0.032 9
PAS	0.827 1	2.013 3	4.260 6	15.498 3	24.894 9	32.645 2	15.078 0	25.268 4	24.642 8	24.064 7	23.580 6
RAC	4.033 1	9.902 1	44.384 6	158.915 1	252.324 4	328.158 3	255.795 4	334.405 2	332.123 7	330.202 6	328.983 4
CHE	8.641 3	20.511 7	47.493 9	171.633 2	274.136 1	357.766 3	281.336 1	382.343 5	375.755 9	369.392 2	363.538 4
CGO	0.772 4	2.131 2	10.719 7	38.836 5	62.161 1	81.264 0	64.528 9	59.915 5	59.405 8	59.089 9	59.123 2
IMN	6.728 3	15.780 1	23.089 8	83.871 9	134.548 6	176.233 2	194.512 4	145.213 4	139.527 8	133.895 1	128.459 6
GME	0.440 1	1.019 9	1.144 1	4.097 1	6.498 7	8.438 1	3.711 7	5.139 5	4.746 2	4.348 3	3.950 5
MAO	0.133 6	0.307 0	0.202 7	0.734 3	1.178 5	1.548 0	0.599 8	0.523 3	0.393 2	0.259 4	0.121 9
EAC	0.128 1	0.292 2	0.288 8	1.042 4	1.663 2	2.168 6	-0.119 2	0.297 4	0.172 2	0.041 3	-0.097 0
OMP	0.107 7	0.246 6	0.184 8	0.672 1	1.079 4	1.415 1	-0.007 3	0.266 0	0.163 8	0.057 8	-0.052 2
TPS	140.385 8	297.286 2	56.598 2	208.255 0	338.014 4	447.347 7	502.767 4	1 030.540 3	927.663 8	808.006 8	661.815 5
GDT	0.573 0	1.398 0	3.544 7	12.860 0	20.670 9	27.181 9	5.349 0	22.194 3	21.836 1	21.518 3	21.281 7
WTR	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
CNS	0.187 0	0.431 3	0.546 4	1.988 4	3.194 5	4.189 2	1.760 9	2.144 0	1.956 9	1.766 2	1.572 6
第二产业部门合计	186.445 0	402.205 0	240.545 1	869.989 5	1 391.614 1	1 819.427 4	1 563.275 5	2 380.789 7	2 245.042 7	2 091.542 3	1 910.539 8
RET	0.014 4	0.032 4	0.030 5	0.110 5	0.177 2	0.231 9	0.096 6	0.045 7	0.031 3	0.016 0	-0.000 7
PAT	0.034 7	0.077 8	0.078 2	0.283 7	0.454 5	0.594 8	0.464 9	0.118 8	0.084 2	0.047 3	0.007 0
HRS	0.023 3	0.052 2	0.052 3	0.189 9	0.304 2	0.398 1	0.168 7	0.076 5	0.053 5	0.029 1	0.002 5
ICS	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0
FBS	0.032 2	0.072 1	0.068 4	0.248 1	0.397 5	0.520 2	0.217 8	0.104 5	0.072 7	0.038 6	0.001 2
OSI	0.717 7	1.577 9	1.609 7	5.798 0	9.235 3	12.025 0	5.013 2	7.747 5	7.078 4	6.347 0	5.518 6
第三产业部门合计	0.822 3	1.812 4	1.839 1	6.630 2	10.568 8	13.770 0	5.961 3	8.093 0	7.320 2	6.478 1	5.528 7
总计	1 837.376 2	1 572.509 2	187.480 5	404.498 7	242.933 0	878.611 3	1 405.375 2	2 391.225 4	2 254.509 8	2 099.960 8	1 917.786 9

3.2 经济影响

1) GDP 变动. 中国当前处于经济发展转型关键阶段, 现实的政策制定不仅要注重减排的有效性还应考虑政策实施带来的成本. 由图3可知, 碳税会对GDP造成损失, 且随着碳税税率的提高, 负面影响也越来越大: 10元/t、40元/t、70元/t和100元/t的碳税分别使得GDP下降约0.12%、0.46%、0.79%和1.09%, 差异化税率下GDP损失约为0.80%. 而非化石能源补贴则会对GDP产生积极影响, 表现为5%和10%的补贴使GDP分别上升0.05%和0.07%. 相较于单一政策, 将税收用于非化石能源补贴的政策组合不但能够对冲碳税带来的化石能源成本上升对经济的负面冲击, 还有望带来新的经济增长点: 将差异化碳税收

入全部用于补贴非化石能源的情景会使GDP增长. 具体可解释为: 差异化碳税税率是依据行业碳排放量来设定的, 即对碳排放量较多的行业设置了较高的碳税税率. 这样, 碳税除了起到增加化石能源使用成本、降低化石能源消耗的作用外, 在一般均衡模型中生产要素充分流动条件下, 行业间差异化的碳税税率也会引致“化石能源消费在行业间的转移”以及“碳转移”. “化石能源”和“碳排放”在一定程度上会从碳税税率较高的行业转移至碳税税率较低的行业部门, 而碳税税率较高的行业部门并不总是增加值较高的行业, 反而像建筑业、电机计算机设备制造业等行业部门, 碳税税率较低但其增加值却高于火电生产与供应业、石油煤炭加工业等行业部门. 加之模型进一步将

碳税用于非化石能源补贴,会产生非化石能源替代化石能源,这样在“先征后补,且征补对象不同”的情况下,伴随着一定程度的“碳转移”和“增加值转移”,碳排放在总体上是下降的,但却能促进增加值及 GDP 增长。这是一般均衡模型下行业

差异化碳税率的作用结果。换言之,对高碳行业实施较高碳税率,进而对使用非化石能源的低碳友好型、高附加值行业进行补贴,能够促使生产要素向这些低碳友好型、高附加值行业流动,从而促进经济增长。

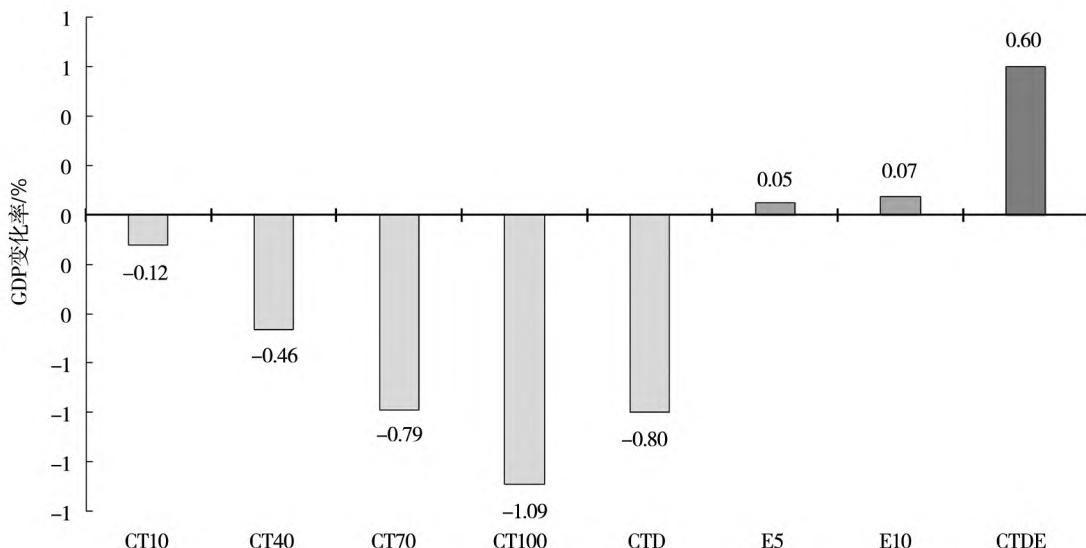


图 3 2030 年不同政策情景下的 GDP 变化率

Fig. 3 The change rates of GDP under different policy scenarios in 2030

2) 减排成本。参考张文静和马喜立^[34]的设计,以 GDP 变化绝对量与 CO₂减排量的比值,来衡量不同政策情景的单位减排成本。由图 4 可知,采取不同碳税征收方式的单位减排成本存在差异,对不同部门征收差异化碳税的平均单位减排成本为 759.76 元/t,与对所有部门征收统一碳税相比,仅高于税率为 10 元/t 的单位减排成本。进一步地,将税收用于非化石能源补贴

时,减排成本降低,甚至带来减排增益,且用于补贴非化石能源的税收收入比例越高,减排增益越大,如将差异化碳税收入全部用于补贴非化石能源则会带来 376.34 元/t 的增益。因此从兼顾减排有效性和政策实施成本的角度,对不同部门征收差异化碳税要优于对所有部门征收统一碳税,将税收用于非化石能源补贴要优于单一政策情景。

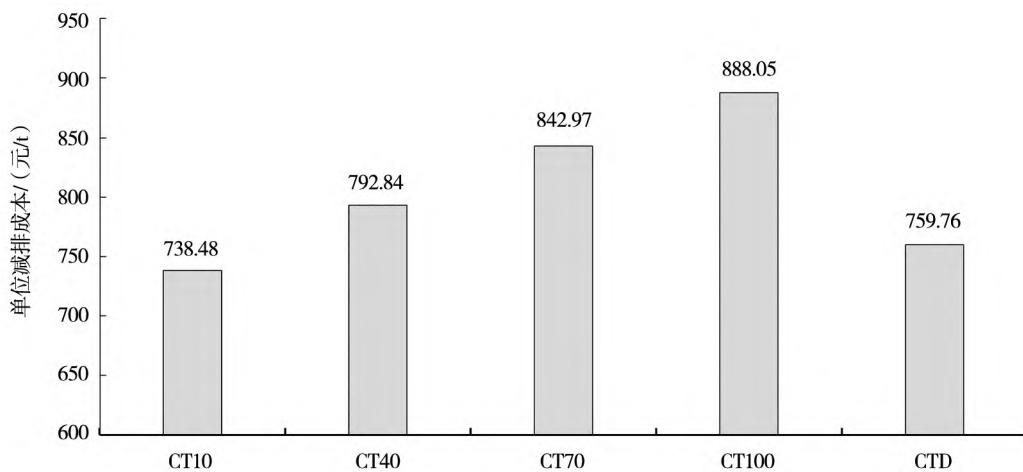


图 4 2030 年不同政策情景下的单位减排成本

Fig. 4 Unit emission reduction costs under different policy scenarios in 2030

3) 部门产值。表8给出了除主要能源部门以外的其他产业部门在不同政策情景下的产值变动情况。征收碳税对大部分行业的规模扩张有一定抑制作用, 碳税税率越高, 产值降幅越大, 特别是非金属采选业(MNN)、石油和煤炭加工业(RAC)、化学工业(CHE)、非金属制造加工业(CGO)、金属制造加工业(IMN)、电机和计算机设备制造业(EAC)以及燃气生产与供应业(GDT)等能源密集型部门, 产值下降的幅度显著高于其他行业, 且第三产业部门的产值都有所上升, 促进了产业结构的优化调整。在非化石能源补

贴的作用下, 化石能源的相对价格受到影响, 能源密集型行业的产值也会下降, 但所受冲击较小, 下降幅度与其他行业的差异也较小, 且第二产业和第三产业总产值变动方向一致, 不能发挥调整产业结构的作用。在将税收用于非化石能源补贴的政策组合下, 除了石油与煤炭加工业(RAC)和燃气生产与供应业(GDT)等对传统化石能源依赖性较大的部门以外其他能源密集型部门产值的下降幅度均有所缩减, 导致第二产业部门总产值下降幅度整体缩小, 同时第三产业部门总产值上升幅度也有所减弱。

表8 2030年不同政策情景下的各产业部门产值变化率(单位: %)

Table 8 Change rates of output value of various industrial sectors under different policy scenarios in 2030 (unit: %)

情景 部门	E5	E10	CT10	CT40	CT70	CT100	CTD	CTDE	CTDE75	CTDE50	CTDE25
AGR	-0.028 9	-0.082 4	-0.022 1	-0.092 5	-0.166 9	-0.241 0	-0.139 6	-0.082 2	-0.067 1	-0.062 2	-0.075 7
第一产业部门合计	-0.028 9	-0.082 4	-0.022 1	-0.092 5	-0.166 9	-0.241 0	-0.139 6	-0.082 2	-0.067 1	-0.062 2	-0.075 7
MNM	0.331 3	0.670 2	-0.380 9	-1.480 1	-2.518 9	-3.470 8	-2.720 0	-0.296 5	-0.702 5	-1.183 7	-1.791 7
FPT	-0.090 8	-0.263 8	-0.055 2	-0.225 2	-0.398 7	-0.567 1	-0.374 5	-0.167 5	-0.124 9	-0.115 3	-0.164 7
TWL	-0.053 9	-0.169 4	-0.077 0	-0.309 8	-0.543 1	-0.767 1	-0.341 0	-0.054 2	-0.043 8	-0.062 6	-0.132 7
LUM	-0.109 4	-0.308 5	-0.008 0	-0.044 1	-0.093 8	-0.151 2	0.023 6	0.139 8	0.221 4	0.264 5	0.238 6
PAS	0.003 9	-0.027 5	-0.136 0	-0.532 8	-0.912 6	-1.264 2	-1.013 8	-0.623 9	-0.653 4	-0.707 3	-0.803 9
RAC	-0.178 9	-0.438 7	-0.877 1	-3.334 0	-5.568 2	-7.551 8	-7.454 6	-7.676 4	-7.569 9	-7.479 2	-7.419 6
CHE	0.024 3	-0.013 8	-0.335 9	-1.300 5	-2.205 9	-3.031 5	-3.058 6	-2.274 0	-2.339 3	-2.452 0	-2.647 1
CGO	0.046 0	0.060 5	-0.189 8	-0.741 5	-1.266 4	-1.749 5	-1.381 3	-0.826 0	-0.875 7	-0.957 6	-1.095 8
IMN	0.028 0	-0.025 6	-0.188 6	-0.744 8	-1.284 2	-1.788 2	-1.407 0	-0.436 4	-0.510 1	-0.645 0	-0.886 5
GME	-0.151 0	-0.413 4	0.057 1	0.191 3	0.282 1	0.339 6	0.390 5	0.368 4	0.497 6	0.584 4	0.594 0
MAO	-0.212 7	-0.556 7	0.088 7	0.309 0	0.476 2	0.600 1	0.613 7	0.341 7	0.530 9	0.679 6	0.752 9
EAC	-0.094 6	-0.263 9	0.272 1	1.020 6	1.686 3	2.267 9	1.992 6	2.011 1	2.078 3	2.120 7	2.118 2
OMP	-0.380 0	-0.949 4	0.058 2	0.193 2	0.282 3	0.336 3	0.532 3	-0.174 3	0.128 6	0.393 0	0.580 0
GDT	-0.232 9	-0.554 6	-0.460 4	-1.786 7	-3.038 3	-4.185 0	-3.219 0	-3.672 3	-3.523 3	-3.383 7	-3.265 1
WTR	0.198 1	0.402 7	-0.065 6	-0.261 9	-0.455 2	-0.637 6	-0.618 2	0.722 5	0.485 6	0.210 7	-0.127 1
CNS	-0.095 4	-0.257 4	0.130 0	0.465 4	0.736 5	0.952 9	0.904 2	0.725 2	0.849 2	0.946 5	0.994 6
第二产业部门合计	-0.067 5	-0.213 9	-0.064 2	-0.265 9	-0.475 2	-0.680 2	-0.591 8	-0.310 7	-0.273 0	-0.273 1	-0.340 9
RET	-0.119 1	-0.303 5	0.038 8	0.134 5	0.206 4	0.259 1	0.244 3	0.043 2	0.142 6	0.225 9	0.278 9
PAT	-0.101 3	-0.263 3	0.008 4	0.020 3	0.017 1	0.003 8	0.002 1	-0.102 5	-0.025 3	0.034 8	0.063 3
HRS	-0.076 8	-0.207 1	0.006 6	0.015 8	0.013 0	0.002 3	0.011 8	0.013 2	0.064 3	0.097 9	0.099 3
ICS	-0.252 6	-0.625 7	0.144 3	0.525 8	0.846 0	1.110 9	1.034 8	0.380 0	0.619 1	0.834 8	1.004 3
FBS	-0.135 2	-0.339 7	0.030 6	0.106 8	0.164 6	0.207 5	0.194 2	-0.052 1	0.054 7	0.147 1	0.211 5
OSI	-0.029 9	-0.068 2	0.041 9	0.155 2	0.253 4	0.337 1	0.310 9	0.168 3	0.203 8	0.239 7	0.276 0
第三产业部门合计	-0.115 0	-0.289 4	0.040 1	0.141 9	0.222 0	0.284 0	0.265 0	0.041 5	0.138 3	0.221 8	0.280 3

3.3 能源结构

1) 能源生产结构。碳税和非化石能源补贴的

引入都能够改善能源生产结构(见表9): 其中碳税主要发挥对传统化石能源产出的抑制作用, 尤

其是煤炭受到的负面影响最大,当税率由 10 元/t 上升到 100 元/t,煤炭产出下降率由 3.37% 变动到 25.15%,差异化税率下煤炭产出下降 19.05%,仅次于统一税率为 70 元/t 和 100 元/t 的产出下降率;非化石能源补贴则主要影响非化石能源部门的产出,促进非化石能源电力对火电的替代,表现为在 5% 和 10% 的补贴下,水电、核电、风电及太阳能发电的产出上升幅度分别为 21.16% 和 47.09%、21.07% 和 46.76%、20.83% 和 46.11%、以及 20.87% 和 46.12%,火电部门产出分别下降了 4.52% 和 9.56%,而煤炭、石油和天然气的产出下降幅度仅为

0.45%~3.99%. 通过比较单一政策下非化石能源产出的变化趋势可以发现,虽然碳税政策能够显著抑制化石能源的生产,但如果非化石能源补贴降低非化石能源的直接使用成本,非化石能源要实现快速和大规模的发展仍然比较困难,能源生产结构的调整也相对缓慢. 另外需要强调的是,将税收作为非化石能源补贴能够进一步促进非化石能源对传统化石能源的替代,强化对非化石能源部门产出的积极影响,用于补贴非化石能源的税收比例越高,这种积极作用越强,利于有效改善能源生产结构.

表 9 2030 年不同政策情景下的各类能源生产和消费变化率(单位: %)

Table 9 Change rates of energy production and consumption under different policy scenarios by 2030 (unit: %)

生产	E5	E10	CT10	CT40	CT70	CT100	CTD	CTDE	CTDE75	CTDE50	CTDE25
煤炭	-1.8715	-3.9893	-3.3674	-12.1254	-19.3142	-25.1536	-19.0452	-30.5897	-29.3275	-27.8793	-26.1373
石油	-0.4470	-1.0149	-0.3460	-1.4545	-2.6357	-3.8185	-2.0602	-4.3244	-3.9480	-3.5516	-3.1293
天然气	-0.4724	-1.0891	0.1264	0.3028	0.2355	-0.0056	0.4681	-1.4370	-1.0140	-0.5792	-0.1334
火电	-4.5220	-9.5593	-0.9877	-3.8166	-6.4628	-8.8668	-8.6198	-28.9610	-25.4417	-21.3390	-16.3103
水电	21.1568	47.0919	1.5832	6.1861	10.5971	14.7049	13.2337	39.8640	33.3187	26.6239	19.9782
核电	21.0739	46.7570	1.6589	6.4818	11.1032	15.4065	13.8701	38.9424	32.6833	26.3220	20.0875
风电	20.8277	46.1081	1.6750	6.5446	11.2107	15.5556	14.0075	239.5702	192.3971	141.3499	84.3393
太阳能发电	20.8741	46.1168	1.7458	6.8209	11.6834	16.2107	14.6035	519.4380	413.7842	300.2687	174.1108
消费	E5	E10	CT10	CT40	CT70	CT100	CTD	CTDE	CTDE75	CTDE50	CTDE25
煤炭	-1.9040	-4.0701	-3.1337	-11.2896	-17.9907	-23.4389	-18.3664	-29.0091	-27.6943	-26.1906	-24.3898
石油	-0.3431	-0.7943	-0.2898	-1.2152	-2.1967	-3.1752	-2.0949	-3.9110	-3.6398	-3.3638	-3.0867
天然气	-0.4501	-1.0421	0.0917	0.1727	0.0212	-0.2920	0.1996	-1.6161	-1.2199	-0.8162	-0.4083
火电	-4.9310	-10.4239	-0.5985	-2.3581	-4.0615	-5.6545	-5.6132	-28.2994	-24.3229	-19.6875	-14.0064
水电	20.4905	45.3672	1.6545	6.4625	11.0666	15.3513	13.8536	38.6510	32.5477	26.2957	20.1065
核电	20.1389	44.4209	1.6978	6.6310	11.3544	15.7493	14.2184	37.0536	31.3387	25.5235	19.8453
风电	19.8442	43.6676	1.7086	6.6729	11.4259	15.8484	14.3111	226.1138	182.7323	135.3358	81.7393
太阳能发电	19.5283	42.8597	1.7271	6.7445	11.5476	16.0161	14.4702	469.6159	376.8184	276.0392	162.3380

2) 能源消费结构. 碳税和非化石能源补贴对能源消费端的影响与对能源生产端的影响类似: 即碳税主要发挥对传统化石能源消费的抑制作用,对非化石能源消费的促进作用较小;而非化石能源补贴能够明显促进非化石能源消费和降减火电消费,对传统化石能源消费影响则较小;碳税和非化石能源补贴的政策组合取得更优的能源消费结构调整效果,且碳税收入用于非化石能源补贴的比例越高,这种调整效果越好. 要想实现“非化石能源占比目标”,不仅要降减传统化石能源消

费,更要致力于提高非化石能源的市场份额. 如图 5 所示,所有政策情景中,只有在碳税税率为统一的 70 元/t、100 元/t 和差异化税率的税收收入全部(或部分)以及统一税率为 40 元/t 的税收收入的 75% 及以上用于非化石能源补贴的政策组合情景下,才能够完成 2030 年非化石能源消费占比达到 25% 及以上的目标. 上述结果分析也证实了采取政策组合以综合解决两类外部性问题对于实现中国“非化石能源占比目标”的必要性,以及推动中国中长期能源系统转型的有效性.

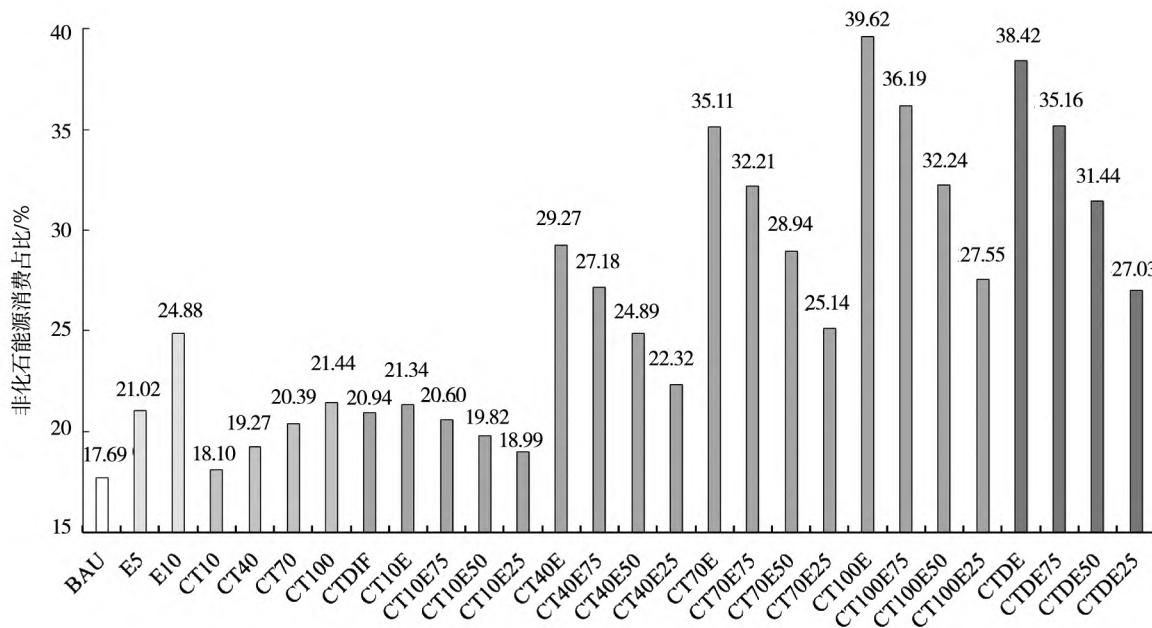


图 5 2030 年不同政策情景下的非化石能源消费占比

Fig. 5 Share of non-fossil energy consumption under different policy scenarios in 2030

4 结束语

本研究以解决与碳排放和非化石能源发展相关的两类外部性内化问题为理论出发点, 基于 CGE 模型模拟了多种政策情景下多重目标的实现情况, 探究了协同推进碳排放控制与非化石能源发展目标的约束激励政策选项及其效应, 核心结论如下: 第一, 单一碳税政策能够通过内化碳排放的负外部性助力中国实现碳达峰目标, 但要协同实现碳排放“双控”与非化石能源发展目标, 则需要同时引入非化石能源补贴以内化正外部效益, 依靠政策组合形成有效的约束与激励机制。第二, 碳税会造成 GDP 损失, 非化石能源补贴则对 GDP 具有提升效应, 将碳税收入用于非化石能源补贴不但能够抵消碳税政策单独实施时对经济的负面影响, 还会创造额外的正向经济效应。第三, 实施分行业差异化碳税的单位减排成本相对较低, 对不同部门征收差异化碳税的单位减排成本低于对所有部门征收 10 元/t 以上的统一碳税的单位减排成本; 相较于非化石能源补贴, 碳税能够显著抑制能源密集型行业的产出增长, 是转型发展模式的强有力手段。第四, 碳税主要对传统化石能源部门的产出和消费产生直接抑制作用, 而非化石能源补贴则对促进非化石能源的生产和消

费更为有效。将碳税收入用于非化石能源补贴的政策组合会进一步增强非化石能源对化石能源的替代, 能够确保非化石能源占比目标的实现, 其政策有效性显著优于单一政策。

基于以上结论, 本研究提出以下政策建议。第一, 改变“运动式”减排和能耗“双控”不加区分地将非化石能源纳入能源消费总量控制等做法, 推动能耗“双控”向碳排放总量和强度“双控”转变, 创新运用市场化政策手段在内化碳排放外部成本的同时, 重视内化发展非化石能源的外部效益, 协同实现碳排放控制与非化石能源发展目标。第二, 约束与激励并举, 通过碳税和非化石能源补贴搭建双向复合型政策以更好地发挥市场机制在“双内化”正负外部性方面的作用, 将碳税收入综合应用于增加非化石能源补贴、推进低碳技术进步等方面, 同步实现能源结构调整和绿色低碳转型。第三, 针对当前碳市场涵盖范围之外的碳排放源开征碳税, 并制定差异化和梯次碳税征收方案以更具成本有效性的方式实现碳减排目标。开征碳税时应重点考虑不同部门的碳排放体量和强度差异, 按碳排放量或强度异质性等分行业设置差异化税率, 以非化石能源为主要能源或减排技术水平较高的排放源的税率应低于减排技术水平较低的高耗能高碳排放行业企业的税率, 合理分配减排

任务,提升减排效率,刺激企业技术进步,推动产业转型升级。第四,分阶段灵活施策以重视和扶持非化石能源行业稳步发展。短期内可维持“存量补贴”或结合“以征促补”等政策予以支

持,中长期应逐步调整补贴政策,合理削减直接补贴力度,转而通过建立更完善的市场机制和法规环境,确保非化石能源行业的健康和可持续发展,以助力“双碳目标”的实现。

参 考 文 献:

- [1] 宋国君,王语苓,姜艺婧. 基于“双碳”目标的碳排放控制政策设计[J]. 中国人口·资源与环境,2021,31(9):55–63.
Song Guojun, Wang Yuling, Jiang Yijing. Carbon emission control policy design based on the targets of carbon peak and carbon neutrality[J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(9): 55 – 63. (in Chinese)
- [2] Rezai A, Ploeg F. Second-best renewable subsidies to de-carbonize the economy: Commitment and the green paradox[J]. Environmental and Resource Economics, 2017, 66(3): 409 – 434.
- [3] 许文. 碳达峰、碳中和目标下征收碳税的研究[J]. 税务研究, 2021, (8): 22 – 27.
Xu Wen. Research on carbon tax under carbon peak and carbon neutral target[J]. Taxation Research, 2021, (8): 22 – 27. (in Chinese)
- [4] 王灿,张雅欣. 碳中和愿景的实现路径与政策体系[J]. 中国环境管理, 2020, 12(6): 58 – 64.
Wang Can, Zhang Yaxin. Implementation pathway and policy system of carbon neutrality vision[J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2020, 12(6): 58 – 64. (in Chinese)
- [5] Wang M X, Hu Y, Wang S Y, et al. The optimal carbon tax mechanism for managing carbon emissions[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2023, (87): 101564.
- [6] 邵帅,张曦,赵兴荣. 中国制造业碳排放的经验分解与达峰路径——广义迪氏指数分解和动态情景分析[J]. 中国工业经济, 2017, (3): 44 – 63.
Shao Shuai, Zhang Xi, Zhao Xingrong. Empirical decomposition and peaking pathway of carbon dioxide emissions of China's manufacturing sector: Generalized Divisia index method and dynamic scenario analysis[J]. China Industrial Economics, 2017, (3): 44 – 63. (in Chinese)
- [7] 曹蒲菊,刘朝. 排污权交易是否驱动了经济高质量发展?——基于中国地级及以上城市层面的研究[J]. 管理科学学报, 2023, 26(6): 39 – 56.
Cao Puju, Liu Zhao. Does emission trading promote high-quality economic development? Evidence from prefecture-level and above cities in China[J]. Journal of Management Sciences in China, 2023, 26(6): 39 – 56. (in Chinese)
- [8] 王梅,周鹏. 碳排放权分配对碳市场成本有效性的影响研究[J]. 管理科学学报, 2020, 23(12): 1 – 11.
Wang Mei, Zhou Peng. Assessing the impact of emission permit allocation on the cost effectiveness of carbon market[J]. Journal of Management Sciences in China, 2020, 23(12): 1 – 11. (in Chinese)
- [9] Ren Y S, Jiang Y, Ma C Q, et al. Will tax burden be a stumbling block to carbon-emission reduction? Evidence from OECD countries[J]. Journal of Management Science and Engineering, 2021, 9(4): 335 – 355.
- [10] Li S J, Jia N, Chen Z N, et al. Multi-objective optimization of environmental tax for mitigating air pollution and greenhouse gas[J]. Journal of Management Science and Engineering, 2022, 7(3): 473 – 488.
- [11] Ding S, Zhang M, Song Y. Exploring China's carbon emissions peak for different carbon tax scenarios[J]. Energy Policy, 2019, 129(6): 1245 – 1252.
- [12] 孙博文. 加快发展方式绿色转型: 内在逻辑、任务要求与政策取向[J]. 改革, 2023, (10): 60 – 73.
Sun Bowen. Accelerating the green transformation of development model internal logic, task requirements, and policy orientation[J]. Reform, 2023, (10): 60 – 73. (in Chinese)
- [13] 谢家平,魏礼红,张为四,等. 风电与火电的竞争性上网定价优化——碳约束政策的影响研究[J]. 管理科学学报, 2022, 25(6): 100 – 126.
Xie Jiaping, Wei Lihong, Zhang Weisi, et al. Optimization of pricing strategies for competitive grid-connected wind power and thermal power: The impact of carbon constraint policies[J]. Journal of Management Sciences in China, 2022, 25(6): 100 – 126. (in Chinese)
- [14] 张宁,庞军,冯相昭. 全国碳市场引入配额拍卖机制的经济影响——基于 CGE 模型的分析[J]. 中国环境科学, 2022, 42(4): 1901 – 1911.
Zhang Ning, Pang Jun, Feng Xiangzhao. The economic impacts of introducing auction into carbon allowance allocation

- mechanism in the national carbon market: Simulation based on CGE model [J]. *China Environmental Science*, 2022, 42(4): 1901–1911. (in Chinese)
- [15] Chai J, Zhang X J, Zhang X K, et al. Effects of scenario-based carbon pricing policies on China's dual climate change mitigation goals: Does policy design matter? [J]. *Journal of Management Science and Engineering*, 2021, 8(2): 167–175.
- [16] 莫建雷, 段宏波, 范 英, 等. 《巴黎协定》中我国能源和气候政策目标: 综合评估与政策选择[J]. *经济研究*, 2018, 53(9): 168–181.
- Mo Jianlei, Duan Hongbo, Fan Ying, et al. China's energy and climate targets in The Paris Agreement [J]. *Economic Research Journal*, 2018, 53(9): 168–181. (in Chinese)
- [17] 张增凯, 彭彬彬, 解 伟, 等. 能源转型与管理领域的科学问题[J]. *管理科学学报*, 2021, 24(8): 147–153.
Zhang Zengkai, Peng Binbin, Xie Wei, et al. Scientific research issues in the field of energy transition and management [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2021, 24(8): 147–153. (in Chinese)
- [18] 张希良, 黄晓丹, 张 达, 等. 碳中和目标下的能源经济转型路径与政策研究[J]. *管理世界*, 2022, 38(1): 35–66.
Zhang Xiliang, Huang Xiaodan, Zhang Da, et al. Research on the pathway and policies for China's energy and economy transformation toward carbon neutrality [J]. *Journal of Management World*, 2022, 38(1): 35–66. (in Chinese)
- [19] Wang Z, Zhu Y S, Zhu Y B, et al. Energy structure change and carbon emission trends in China [J]. *Energy*, 2016, 115(11): 369–377.
- [20] 马 丁, 陈文颖. 中国 2030 年碳排放峰值水平及达峰路径研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(S1): 1–4.
Ma Ding, Chen Wenying. Analysis of China's 2030 carbon emission peak level and peak path [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(S1): 1–4. (in Chinese)
- [21] Mu Y, Wang C, Cai W. The economic impact of China's INDC: Distinguishing the roles of the renewable energy quota and the carbon market [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 81(1): 2955–2966.
- [22] Liu J, Zhang Y. Has carbon emissions trading system promoted non-fossil energy development in China? [J]. *Applied Energy*, 2021, 302(11): 117613.
- [23] Dai H, Xie Y, Liu J, et al. Aligning renewable energy targets with carbon emissions trading to achieve China's INDCs: A general equilibrium assessment [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 82(2): 4121–4131.
- [24] Blazejczak J, Braun F G, Edler D, et al. Economic effects of renewable energy expansion: A model-based analysis for Germany [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, 40(12): 1070–1080.
- [25] Nicolini M, Tavoni M. Are renewable energy subsidies effective? Evidence from Europe [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 74(7): 412–423.
- [26] Song P, Mao X Q, Li Z Y, et al. Study on the optimal policy options for improving energy efficiency and co-controlling carbon emission and local air pollutants in China [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2023, 175(4): 113167.
- [27] 林伯强. 能源革命促进中国清洁低碳发展的“攻关期”和“窗口期”[J]. *中国工业经济*, 2018, (6): 15–23.
Lin Boqiang. The period of carrying out energy revolution to promote low carbon clean development in China [J]. *China Industrial Economics*, 2018, (6): 15–23. (in Chinese)
- [28] Washburn C, Pablo R M. Measures to promote renewable energies for electricity generation in Latin American countries [J]. *Energy Policy*, 2019, 128(5): 212–222.
- [29] Lin B Q, Jia Z J. Is emission trading scheme an opportunity for renewable energy in China? A perspective of ETS revenue redistributions [J]. *Applied Energy*, 2020, 263(4): 114605.
- [30] 宋 鹏, 陈光明, 尹梦蕾, 等. 电力行业可再生能源补贴与全国碳市场协同减排效应[J]. *中国人口·资源与环境*, 2023, 33(7): 81–93.
Song Peng, Chen Guangming, Yin Menglei, et al. Synergistic emission reduction effects of China's national carbon market and renewable energy subsidies in the power industry [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2023, 33(7): 81–93. (in Chinese)
- [31] 胡鞍钢. 中国实现 2030 年前碳达峰目标及主要途径[J]. *北京工业大学学报(社会科学版)*, 2021, 21(3): 1–15.
Hu Angang. China's goal of achieving carbon peak by 2030 and its main approaches [J]. *Journal of Beijing University of Technology (Social Sciences Edition)*, 2021, 21(3): 1–15. (in Chinese)
- [32] Burniaux J, Oliveira M J. Carbon leakages: A general equilibrium view [J]. *Economic Theory*, 2017, 49(2): 341–363.
- [33] Tang L, Shi J, Yu L, et al. Economic and environmental influences of coal resource tax in China: A dynamic computable

- general equilibrium approach[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2017, 117(2): 34–44.
- [34] 张文静, 马喜立. 以环境税治理雾霾的减排效果及减排成本——基于动态多区域 CGE 模型[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2020, 22(3): 36–47.
- Zhang Wenjing, Ma Xili. Emission reduction effect and emission reduction cost of haze by environmental tax: A dynamic multi-region CGE analysis[J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2020, 22(3): 36–47. (in Chinese)
- [35] Lin B Q, Jia Z J. The energy, environmental and economic impacts of carbon tax rate and taxation industry: A CGE based study in China[J]. Energy, 2018, 159(9): 558–568.
- [36] 翁智雄, 吴玉峰, 李伯含, 等. 征收差异化行业碳税对中国经济与环境的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(3): 75–86.
- Weng Zhixiong, Wu Yufeng, Li Bohan, et al. Impact of differentiated industrial carbon taxes on China's economy and environment[J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(3): 75–86. (in Chinese)
- [37] 涂强, 莫建雷, 范英. 中国可再生能源政策演化、效果评估与未来展望[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(3): 29–36.
- Tu Qiang, Mo Jianlei, Fan Ying. The evolution and evaluation of China's renewable energy policies and their implications for the future[J]. China Population, Resources and Environment, 2020, 30(3): 29–36. (in Chinese)

Policy effect evaluation of coordinated carbon reduction and non-fossil energy development goals: Tax and subsidy

SONG Peng¹, HUANG Wan-ting¹, MAO Xian-qiang^{2*}, LI Zi-yan¹

1. School of Public Policy and Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
2. School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Starting from addressing two types of externality problems, this paper establishes a general equilibrium analysis framework to examine the coordinated realization of carbon reduction and non-fossil energy development goals under the two policies of carbon tax and non-fossil energy subsidy. Additionally, it comprehensively evaluates the impacts of these two policies on economic development and energy structure. The results show that: First, levying differentiated carbon tax rates on various sectors results in a lower unit emission reduction cost compared to levying a uniform carbon tax rate all sectors. Second, the carbon tax mainly exerts a direct inhibitory effect on the output and consumption of traditional fossil energy sectors. This can significantly inhibit the growth of energy-intensive industries, thereby having a significant effect on the optimization of industrial structure. In contrast, non-fossil energy subsidy is more effective in promoting the production and consumption of non-fossil energy sources. Third, both a uniform carbon tax rate and differentiated carbon tax rates on carbon emission sources can achieve the goal of carbon peak by 2030. However, to simultaneously achieve the goals of reducing carbon intensity and increasing the share of non-fossil energy, carbon tax revenues should be further used to subsidize non-fossil energy consumptions. Fourth, a carbon tax is likely to bring losses to GDP, whereas non-fossil energy subsidy can increase GDP. Using carbon tax revenues to further subsidize non-fossil energy consumptions can offset the negative impact of a single carbon tax policy on the economy, and may even generate a significant positive effect. In the future, China should levy differentiated carbon tax rates on carbon sources not covered by the existing carbon market, and allocate the carbon tax revenues to subsidize non-fossil energy consumption. By adopting this combination of constraints and incentives, China can fully leverage the advantages of policy integration to achieve both carbon reduction and non-fossil energy development goals.

Key words: dual control of the total quantity and intensity of carbon; carbon tax; non-fossil energy subsidy; CGE; carbon peak