

基于动态 CGE 模型的碳税政策促进江苏省低碳发展研究

陆春华 李晨光 李虹

摘要：科学设置碳税政策是发展低碳经济、实现我国“碳达峰，碳中和”目标的重要手段。本文以江苏省为例，利用 2017 年江苏省投入产出表数据编制社会核算矩阵，构建包含 16 个部门的动态 CGE 模型，对碳税政策、不同碳税返还方式对江苏省碳减排和宏观经济社会发展的影响进行了模拟分析。研究发现：①按固定税率征收碳税，税率过低时江苏省无法按期实现“碳达峰、碳中和”目标，税率过高时则会对经济社会发展造成较大的负面冲击，且碳税的碳减排政策效力随着时间推移不断衰减。②在合适的税率水平下，江苏省按递增税率征收碳税可按期实现“碳达峰、碳中和”目标，且碳税的碳减排政策效力随时间推移不断加强。在政策的经济成本方面，从长期看，江苏省按递增税率征税的政策经济成本高于按固定税率征税；但从中短期看，江苏省按递增税率征税并配以碳税返还，其政策经济成本小于按固定税率征税，能够以更小的经济代价实现 2030 年碳达峰目标。在政策的社会成本方面，如果将碳税以一定比例返还给居民，可缓解碳税政策对居民福利的负面冲击，当返还比例足够高时，碳税政策可以实现改善环境绩效和提升社会福利的“双重红利”。可以改善环境绩效和提升社会福利的“双重红利”。

关键词：碳税政策；动态 CGE 模型；碳减排；双重红利

DOI: 10.3773/j.issn.1006-4885.2022.06.054

中图分类号：DF792.6 文献标识码：A 文章编码：1002-9753 (2022) 06-0054-19

1 引言

我国自改革开放以来经济快速增长，年平均增速超过 9%，远超同期世界经济不到 3% 的年均增长水平，从一个经济基础极为薄弱的国家成长为世界第二大经济体。经济发展伴随着能源的大量消耗，自 2005 年起我国超过美国成为世界上最大碳排放国，2020 年我国碳排放量达到全球碳排放量的 30.7%，在碳排放问题上背负着来自国际舆论以及自身实现可持续发展的内外压力。作为负责任大国，我国积极履行《巴黎协定》，带头承诺减排，习近平总书记于 2020 年 9 月 22 日在联合国大会上宣布“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”。实现“碳达峰、碳中和”是我国的庄严承诺，但实现起来并不轻松，长期以来我国能源结构以煤为主，单位 GDP 能耗一直较高，2021 年我国煤炭消费量占能源消费总量的 56.0%，单位 GDP 能耗则是世界平均水平的 1.5 倍，经济发展中的资源环境约束问题愈发突出，必须综合

作者简介：陆春华（1992-），江苏盐城人，北京大学经济学院博士研究生，研究方向：产业经济与能源经济。

李晨光（1995-），吉林吉林人，北京大学经济学院博士研究生，研究方向：能源经济和环境经济，本文通讯作者。

李虹（1964-），黑龙江哈尔滨人，北京大学经济学院教授，博士生导师，研究方向：产业经济与能源经济。

运用多样化的政策工具,才能以最优路径、最优效率和最优成本实现减排目标。

“碳达峰、碳中和”目标提出后我国加快了减排政策工具的运用,自2021年7月起全国碳排放权交易市场开始启动,运行近一年来对促进减排、缓解环境压力起到明显的作用。但针对中国国情,许多研究者认为中国仅凭借碳交易一种手段不能有效解决碳减排的所有问题(中国财政科学研究院课题组等2018^[1];沈小燕2021^[2];贾晓薇和王志强2021^[3];鲁书伶和白彦锋2021^[4];李建军和刘紫桐2021^[5];王茹2021^[6]),面对任务紧、幅度广、困难多的“碳达峰、碳中和”目标,有必要考虑碳排放权交易和碳税两种政策手段并行和综合运用,在完善碳交易机制的同时择机开征碳税,合理设计好二者的协同发展机制。从国际经验来看,截至2020年末已有超过30个国家和地区实施了碳税政策,其中有15个国家和地区同时实施了碳税与碳交易两种政策手段,取得了良好效果。当前,我国碳税政策已进入加速研究制定阶段,2021年8月,财政部在回复全国人大代表相关建议时称“我部正牵头起草《关于财政支持做好碳达峰碳中和工作的指导意见》,拟充实完善一系列财税支持政策,积极构建有力促进绿色低碳发展的财税政策体系”。2022年1月,国家发改委等七部门联合印发《促进绿色消费实施方案》,也提到“更好发挥税收对市场主体绿色低碳发展的促进作用”,再一次明确了国家通过财税工具促进绿色低碳发展的工作思路。

从长期看,我国出台碳税政策必要且可行,有必要在继续推进碳排放权交易市场建设的同时,适时开征碳税。但目前有两方面问题比较突出。一是如何确定碳税征收方式及税率。当前发达国家的碳税已经达到一个很高的水平,如瑞典在2021年末碳税已经超过800元/吨,但我国目前零碳税,在开启碳税征收后,税率过低难以起到促进减排的效果,但税率过高势必会对经济社会发展造成较大冲击,如何选择合理的碳税征收方式及税率,使得在实现减排目标时减少对经济社会的负面影响乃至提升社会福利,成为我国碳税领域的重要议题。二是根据《碳排放权交易管理暂行条例》(草案修改稿),目前我国碳排放控制的管理权归属于各级地方政府。可以推断,如果未来建设与碳交易市场相辅相成的碳税市场,碳税市场的减排任务将同碳交易市场一样落实分解到各省区层面,未来各地区如何因地制宜的制定包含碳税在内的减排政策体系,是出台碳税政策前需要解决的重要问题。

我国不同地区之间经济和能源禀赋差异较大,碳排放情况差别显著。2019年,我国碳排放总量最大的山东、河北、江苏、内蒙古和广东五省贡献了全国超过三分之一(36.65%)的碳排放总量,其中排放最多的山东省碳排放总量约占全国的10%,而碳排放总量最小的五省仅占全国的不到5%。在全国若干省份中,本文考虑以下因素选择江苏省作为研究对象:①江苏省作为能源消耗和碳排放大省,其碳排放量自1997年以来始终位于全国前五,2021年则居于全国第三,是全国碳减排的重点区域。②江苏省能源消费长期以煤为主,2020年江苏省煤炭占全部能源消费的55%,与全国57%的水平基本持平,其能源消费结构在全国具有代表性。③江苏省经济发达,具有全国先进的财税体系,目前天然气消费量、海上风电规模位居全国第一,在低碳实践上有领先于其他省市的良好基础。④作为全国唯一的生态环境治理体系和治理能力现代化试点省,江苏省提出了“打造碳达峰先行区”的发展目标,具有率先开征碳税、促进低碳发展的现实动力和基础条件。因此,本文构建动态CGE模型研究碳税政策对江苏省碳排放以及宏观经济社会的影响,相关结论不仅可以为江苏省低碳转型发展提供依据,而且对其他地区以及全国在未来科学制定碳税政策、促进减排目标实现具有重要借鉴作用。

2 文献综述

本文对已有的文献进行了归纳汇总,发现现有文献主要通过分析碳税政策对碳减排和宏观经济社会发展的影响,进而探讨碳税政策选择,大致可以分为以下3类:

第一类是关于碳税政策与其它减排政策的比较与选择。如Zhang等(2022)^[7]基于动态CGE模型,发现相较于单一政策,碳税和碳交易同时使用的混合减排政策更有助于中国在2030年之前以更低的经济成本达到碳排放峰值,实现能源强度和碳强度的下降。Lin和Jia(2020)^[8]基于动态CGE模型发现,在中国的碳交易市场环境下,征收碳税可以降低减排成本,缓解碳交易政策对GDP的冲击。Li和Jia(2017)^[9]基于动态CGE模型,发现相较于单一碳税政策或碳交易政策,在中国实施混合减排政策对一次能源消耗削减

更大,减排效果最为显著。Jia 和 Lin (2020)^[10]以中国为研究对象,构建了 CEEEA 模型分析了碳税和碳交易之间的差异,发现在同样的经济成本下,碳交易和碳税都具有较强的减排能力,但碳税的相对减排效率高于碳交易,且这种优势随着时间的推移而增加。胡艺等(2020)^[11]运用面板回归模型,实证分析了碳税和碳排放交易制度在发达国家和发展中国家的有效性和适应性,发现碳税促进减排的政策效力在发展中国家高于发达国家,碳排放交易在两类国家间的效果无差异。董梅和李存芳(2020)^[12]通过构建动态 CGE 模型,发现相较于碳交易,碳税政策的效力相对温和,且两种政策配合实施才有可能实现碳减排目标。吴力波等(2014)^[13]基于动态 CGE 模型,分析了中国碳排放权交易与碳税政策的选择问题,发现在现阶段碳排放权总量控制与交易机制在中国更为适用,但随着未来减排力度加强则需同时采用碳税政策。程敏(2015)^[14]对比分析了碳税和碳关税两种政策,发现碳税会提高产品的世界市场价格,碳关税则相反,征收碳关税加剧了本国产品出口量的减少,碳税则加剧了本国产品生产量的减少。蒋丹等(2020)^[15]通过基于 GTAP-E 模型的模拟分析,发现在目前碳关税并非有效的低碳经济发展政策,当中美采取差异化碳税政策时,中国主动减排可应对美国碳关税威胁。

第二类是关于碳税政策对环境和经济的影响。如 Sheng 等(2011)^[16]基于动态 CGE 模型研究了碳税政策对中国二氧化碳减排效应和经济增长的影响,发现政府征收碳税后,税率越高减排效果越显著,但对 GDP 的负面冲击也越大。Cai(2014)^[17]引入生产函数扩展模型分析了碳税征收对中国省市的经济影响,发现征收碳税对区域经济增长、能源消费和收入分配的影响有显著差异。翁智雄等(2021)^[18]基于静态 CGE 模型,研究了征收差异化行业碳税对经济与环境的影响,发现征收行业差异化碳税有利于推动碳减排,但会对宏观经济产生一定的负向冲击,且征收差异化行业碳税短期内能增加我国的贸易顺差,长期则会引起出口下降、进口减少。肖谦等(2020)^[19]基于传统静态 CGE 模型和电力部门细分的 CGE 模型,比较了我国引入可再生能源发电技术前后征收碳税对宏观经济的影响,发现引入可再生能源发电技术后可降低碳税政策对宏观经济的负面影响,且碳税能促进可再生能源发电技术的发展。魏朗和郑巧精(2016)^[20]构建面板数据回归模型,研究了碳税政策对全国以及东中西三个区域的影响,发现开征碳税会提高能源要素的产出效率,减少能源消耗和碳排放,但也会抑制区域经济增长,影响程度由西至东逐渐增强。张兴平等(2015)^[21]基于静态 CGE 模型分析了碳税政策对北京市社会经济的影响,发现碳税政策具有显著的减排效果,但会导致产品价格上升,降低消费需求,对国内生产总值具有一定的负面影响。吴乐英等(2016)^[22]基于静态 CGE 模型,考察了征收不同价格的碳税后,河南省碳排放和经济社会发展的变化情况,发现开征碳税可以有效减少碳排放,且税率越高碳减排量越大,但开征碳税会导致河南省的增加值下降,且税率越高这种负面影响越大。

第三类是关于碳税政策对社会福利的影响。如李雪慧等(2019)^[23]基于采用 QUAIDS 模型模拟测算了中国开征碳税对家庭福利效应,发现征收碳税会不同程度地增加居民家庭的消费支出,影响居民福利,且整体来看对城市家庭的影响大于农村家庭。李虹和熊振兴(2017)^[24]运用 CGE 模型模拟了中国开征环境税的效应,发现征收环境税在短期内可以获得就业双重红利,但可能导致经济增长率下降,长期内可同时获得“增长双重红利”且在西部欠发达地区比较明显。张晓娣(2014)^[25]利用投入产出和线性需求模型,分析了碳税的价格影响、福利成本以及再分配效应,发现征收碳税后社会贫富差距有所扩大,碳税具有一定累退性,但政府可采用转移支付等手段降低负面影响。何平林等(2019)^[26]通过建立 Panel ARDL 模型,发现征收能源税可在短期内促进经济增长,对个人所得税起到显著的税负平移影响,长期内显著降低失业人数。朱雅珣和邓晓飞(2013)^[27]利用 VAR 模型的脉冲响应函数,分析了征收碳税并补贴低碳行业的“中性”税收政策对广东省产出和就业的影响,发现碳税政策存在实现减排和促进就业的“双重红利”,且就业效应在低碳行业表现得尤为明显。张景华(2013)^[28]采用 CGE 模型,研究了碳税政策对劳动就业的短期和长期影响效应,发现征收碳税后中国就业需求总体趋于下降,但若选择合适的碳税循环方式,仍有可能实现就业的“双重红利”。Zhang 等(2016)^[29]使用静态 CGE 模型,分析了碳税对河南、福建、重庆三个省份的影响,发现以减少间接税的方式返还碳税无法产生“双重红利”。王锋等(2017)^[30]使用静态 CGE 模型分析了碳税对江苏省的影响,发现征收碳税将导致江苏社会福利下降。LI 和 LIN(2013)^[31]运用静态 CGE 模型,探究了中

国碳税和能源税用于增值税减税的经济影响，发现征税后无论是否返还收入都无法实现“双重红利”。

综上所述，现有文献主要通过构建 CGE 模型及回归分析等方法分析碳税政策与其它减排政策的协同效应，以及碳税政策对碳减排、宏观经济发展和社会福利的影响。现有文献存在以下三个方面不足：一是现有文献大多从国家和行业层面对碳税的政策效应开展研究，相对缺乏对中国省区层面的针对性研究；二是目前为数不多的研究中国省区层面的文章，以使用静态 CGE 模型为主，缺乏基于动态模型的考察；三是现有文献在碳税的征收方式上，以征收固定税率为主，考察按递增税率征税政策效应的文章较少。基于上述分析，本文主要的研究贡献在于：①在国内首次以江苏省为研究对象且使用动态 CGE 模型，研究碳税征收对江苏省展碳减排和宏观经济社会发展的影响，丰富了中国省区层面的经验证据，相关结论可为江苏省以及其它地区制定地区碳税政策提供重要参考；②碳税征收对经济社会的影响是持久的，相较于现有的以静态 CFE 模型研究碳税对区域影响的文章，本文使用的动态模型更能模拟政策的长期效应与动态影响；③本文同时考察了征收固定税率碳税和征收递增税率碳税的政策影响，且递增税率设置区间覆盖 100 元 / 吨 -2000 元 / 吨，碳税情景设计相对更为丰富。

3 模型方法与数据

3.1 模型构建

本文构建了动态 CGE 模型用于模拟分析实施不同碳税政策对江苏省宏观经济发展及碳排放的影响。本文所构建的动态 CGE 模型主要包含如下模块。

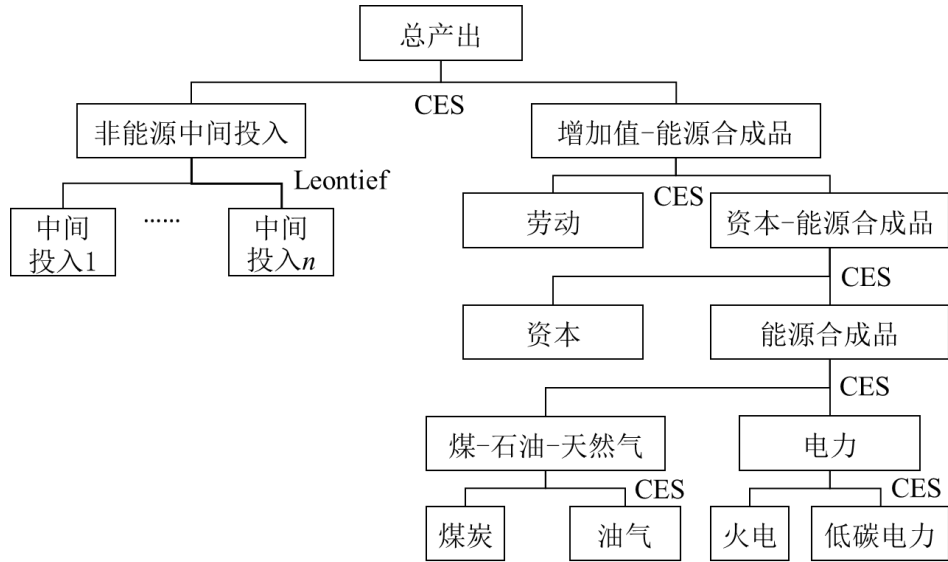


图 1 CGE 模型生产结构

①生产模块：各产业部门生产函数结构如图 1 所示，生产函数“增加值 - 能源合成品”部分由 4 层 CES 函数嵌套而成，中间投入部分有 Leontief 函数合成，生产部门根据成本最小化原则确定生产决策。②贸易模块：省内生产的商品一部分用于调出省外及出口，另一部分用于内销，采用 CET 函数刻画；省内供应的商品一部分源于省内生产，另一部分源于省外调入及进口，本文采用阿明顿假设，假定两部分商品之间具有不完全的替代性，使用 CES 函数刻画。③主体模块：居民子模块中，居民的收入来源于资本、劳动收入及政府的转移支付，居民的效用函数采用 C-D 函数刻画，居民支出包括居民消费，缴纳个人所得税及储蓄；政府子模块中，政府的收入来源于向各部门征收的生产税、进口税、个人所得税及企业所得税，政府支出包含政府购买、转移支付及储蓄；企业子模块中，企业收入来源为资本收入，企业支出包含企业所得税、向居民的转移支付和储蓄；省外子模块中，省外收入源于省外调入、进口，省外支出包括省内调出、出口及储蓄。④均衡闭合模块：均衡闭合模块包括省内商品市场均衡、要素市场均衡及投资储蓄均衡，本模型假定劳动和资本

充分就业，即劳动和资本的总供给等于总需求。⑤递归动态模块：模型的动态化源于资本积累、劳动增长、能源利用效率改进及技术进步。模型假定劳动增长率等于人口增长率，人口增长率参考联合国发布的《世界人口展望》外生给定；当期资本存量等于上期资本折旧剩余加新增投资，技术进步源于全要素生产率的稳步提升。⑥碳排放模块：本文假定经济活动中产生的碳排放全部源于化石能源的使用，如式 (1) 所示各部门的直接碳排放量等于各部门消耗的各类化石燃料乘以相应的碳排放系数。其中碳排放系数参考陈诗一 (2009)^[32] 的做法估算得到。⑦碳税模块：本文设定仅在化石能源的中间投入环节征收碳税，具体计算方法如式 (2) 所示，随后将从量税转化为从价税，碳税的征收最终体现为各产业部门化石能源用能成本的增加。

$$Carbon_a = coeff_{coal} \cdot QCOAL_a + coeff_{og} \cdot QOG_a \tag{1}$$

$$Ctax_a = ctaxrate \cdot Carbon_a \tag{2}$$

3.2 部门划分

2017 年江苏投入产出表中有 42 个部门，本文借鉴许士春和张文文 (2016)^[33] 的做法将 42 个部门拆分合并为 16 个部门。具体做法如下：①将石油、炼焦产品和核燃料加工品按照 2017 年江苏省石油和煤炭产量比例拆分为石油加工品部门和煤炭加工品部门，随后将煤炭采选产品部门、和煤炭加工品部门合并为煤炭部门，将石油和天然气开采产品部门、石油加工品部门、燃气生产和供应部门合并为油气部门。②假设只有火电部门消耗煤炭和油气，将煤炭和油气部门与电力、热力的生产和供应部门的交叉项全部归并至火电部门，随后根据 2017 年江苏省火电和其他电力的发电量及上网电价相乘所得的电力部门收入比例将电力、热力的生产和供应部门其余行列进行拆分。③按照表 1 中的部门划分对其余本门进行合并。

表 1 CGE 模型部分划分

序号	部门名称	2017I/O表编号	序号	部门名称	2017I/O表编号
S1	农业	1	S9	金属冶炼及制品业	14,15
S2	煤炭	2,11	S10	设备制造业	16-23
S3	油气	3,11,25	S11	火电	24
S4	采矿业	4,5	S12	低碳电力	24
S5	轻工业	6-9	S13	水的生产和供应	26
S6	造纸业	10	S14	建筑业	27
S7	化学产品	12	S15	交通运输、仓储和邮政	29
S8	非金属矿物制品	13	S16	服务业	28,30-42

3.3 构建社会核算矩阵

本文参考张欣 (2010)^[34] 的做法根据社会核算矩阵基本原理及宏观账户之间关系分别构建了宏观社会核算矩阵及微观社会核算矩阵。社会核算矩阵中活动账户、商品账户部分的数据来源于 2017 年江苏省投入产出表，其他数据来源于江苏省统计年鉴、中国统计年鉴及中国财政年鉴等，最后使用交叉熵法对社会核算矩阵进行调平处理，调平后的宏观社会核算矩阵如表 2 所示。

表 2 宏观社会核算矩阵 (单位：亿元)

	活动	商品	劳动	资本	居民	企业	政府	储蓄 投资	存货	国外	汇总
活动		184872								74333	259205
商品	173336				31892		11128	37947	725		255028
劳动	37325										37325
资本	37452										37452

续表

居民			37325	2724		-2803	5280				42525
企业				34728							34728
政府	11093	1827			967	2787					16674
储蓄 投资					9666	34744	266			-6004	38672
存货								725			725
国外		68329									68329
汇总	259205	255028	37325	37452	42525	34728	16674	38672	725	68329	790663

3.4 参数赋值与校准

本文借鉴贺菊煌等 (2002)^[35]、郭正权 (2011)^[36]、Lin 和 Jia(2017)^[37] 研究成果对模型中涉及到的弹性参数赋值, 设定中间投入品与增加值 - 能源合成品替代弹性为 0.3; 设定劳动和资本 - 能源合成品替代弹性为 0.9; 设定资本与能源合成品替代弹性为 0.3; 设定电力与煤 - 石油 - 天然气合成品的替代弹性为 0.7; 煤炭和油气的替代弹性为 1.25; 火电和低碳电力的替代弹性为 3; S11-S12 部门 CET 函数替代弹性为 0.5, S15-S16 部门 CET 函数替代弹性为 3, 其余部门 CET 函数替代弹性为 4; S11-S12 部门阿明顿函数替代弹性为 1.1, S14-S15 部门阿明顿函数替代弹性为 2, 其余部门阿明顿函数替代弹性为 3。CGE 模型中的规模参数和份额参数根据生产函数及前述构建的微观 SAM 表数据校准得到。

本文借鉴陈诗一 (2009)^[31] 的做法估算二氧化碳排放系数, 具体计算公式如下:

$$coeff_i = NCV_i \times CEF_i \times COF_i \times \frac{44}{12} \quad i = coal, oil, gas \quad (3)$$

式中 NCV_i 为三种能源的平均低位发热量^①, CEF_i 三种能源的碳排放系数^②, COF_i 为碳氧化因子, 二氧化碳排放系数的计算结果如表 3 所示。

表 3 二氧化碳排放系数估算 单位: 吨 / 亿元

能源	平均低位发热量	碳排放系数	碳氧化因子	消耗量(实物)	消耗量(价值)	CO2排放系数
煤	20908 KJ/Kg	26 Kg/tJ	0.99	397452万吨	31754亿元	246987
石油	41816 KJ/Kg	20 Kg/tJ	1	63004万吨	60918亿元	31715
天然气	38931 KJ/m ³	15.3 Kg/tJ	1	2817 亿m ³	14941亿元	37640

3.5 情景设定

据国际碳定价高级别委员会估计, 若以高成本效益的方式实现《巴黎协定》的减排目标, 到 2020 年碳价格至少为 40 ~ 80 美元 / 吨, 到 2030 年前至少达到 50 ~ 100 美元 / 吨。从各国实践来看, 截止 2021 年末, 部分欧洲发达国家的碳税税率已超过 50 美元 / 吨, 其中最高的瑞典在碳税税率超过 137 美元 / 吨, 合人民币 800 元 / 吨以上。对标发达国家, 我国未来碳价需要达到一个较高的水平, 才能较好的实现减排目标, 但我国目前零碳税, 突然征收税率过高的碳税势必对经济社会造成巨大负面冲击, 必须因地制宜

① 数据来源: 《中国能源统计年鉴 2019》附录 4

② 数据来源: Paustian K, Ravindranath N H, Amstel A V. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [M]. International Panel on Climate Change, 2006.

宜的选择碳税征收方式和税率水平，才能以较少的经济社会成本实现减排目标。目前，各国尤其是欧洲发达国家实行固定税率的较多。也有部分国家如日本实施递增税率，即在碳税实施的初期，为了避免税负急剧增加，制定较低的税率水平，以减少对本国产品竞争力的不利影响，然后分阶段逐步提高税率，以保证减排效果。

为了更全面地分析不同类型碳税政策对江苏省碳排放及宏观经济发展的影响，本文设计了固定税率情景和递增税率情景。我国《环境保护税法（送审稿）》中曾将碳税税率设定为 10-100 元 / 吨的区间，吴乐英等（2016）^[22]、周丹和赵子健（2015）^[38]、周迪等（2020）^[39]也都在研究中将固定税率设置为 10-100 元 / 吨的区间。本文借鉴上述研究，且考虑到江苏省经济较为发达，可适当考察更高税率的政策效应，故本文在固定税率情景下将碳税设为 10 元 / 吨 -200 元 / 吨。在递增税率情景下，本文则采用 DEA 方法评估不同碳税税率的政策效率，以此确定初始税率及税率区间。

4 结果与分析

4.1 固定税率下碳税调整对江苏省碳排放及宏观经济发展的影响

本文考察了江苏省在 2023 年开征固定税率碳税的政策效应。受到篇幅限制，本文仅汇报碳税税率为 40 元 / 吨、80 元 / 吨、120 元 / 吨、160 元 / 吨和 200 元 / 吨政策情景的模拟结果。

4.1.1 政策的减排效应

征收固定税率碳税政策情景下江苏省碳排放模拟结果如图 2、图 3 所示。可以看出，征收固定税率碳税后，①政策冲击发生后，各政策情景中江苏省碳排放量的变化趋势与基准情景相同，变化曲线均为倒 U 型，都经历了一个增长—达峰—下降的过程。各政策情景下，江苏省碳排放量均在 2035 左右年达到峰值，未能实现 2030 年碳达峰目标，且 2060 年江苏省的碳排放仍然较大，在减排效果最好的 200 元 / 吨税率的政策情景下，江苏省在 2060 年的碳排放量仍高达 9.11 亿吨，与不征收碳税基准情景比较仅下降 13.28%。②各政策情景下，江苏省碳排放量均相对于基准情景有不同程度的下降，且碳税的税率越高，下降的幅度越大，如 2025 年在 40 元 / 吨、80 元 / 吨、120 元 / 吨、160 元 / 吨和 200 元 / 吨固定碳税政策情景下，碳排放量相对于基准情景分别减少 3.19%、6.09%、8.76%、11.22% 和 13.49%。③随着时间推移，碳排放量下降幅度曲线趋于平缓，碳税促进减排的政策效力逐渐削弱。

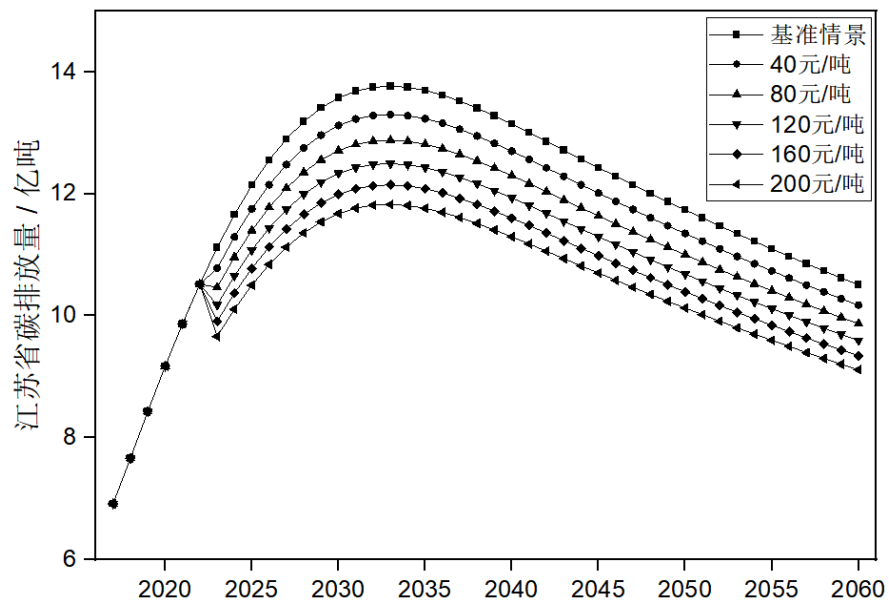


图 2 固定碳税政策对江苏省碳排放量的影响

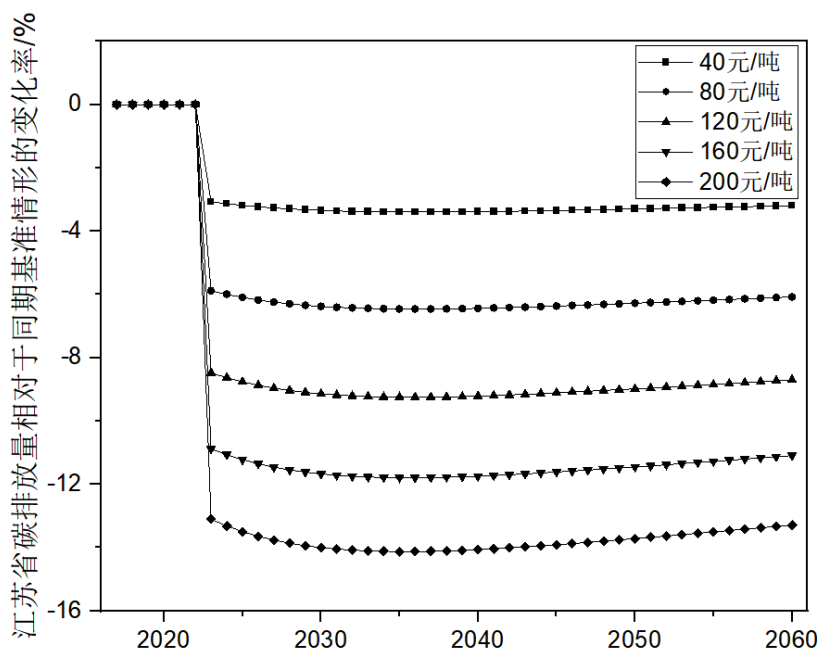


图3 固定碳税政策对江苏省碳排放量变动情况的影响

4.1.2 政策的经济成本

征收固定税率碳税政策情景下，江苏省 GDP 的变化率（相较于同期基准情景）模拟结果见图 4。可以看出，开征碳税对江苏省经济发展有明显的负面影响。由图 4 可知，①随着碳税税率的不断上升，江苏省 GDP 的损失越大。如相较于基准情景，2025 年征收 40 元 / 吨、80 元 / 吨、120 元 / 吨、160 元 / 吨和 200 元 / 吨碳税时，江苏省 GDP 的下降率分别为 0.10%，0.19%，0.29%，0.39%，0.48%。②碳税税率差异性在长期内对 GDP 的影响更明显。受累积效应影响，不同碳税对 GDP 负面影响的差异性随时间而变大。如 2050 年，征收 160 元 / 吨碳税比 120 元 / 吨碳税对 GDP 的负面冲击高 0.27%，而在 2030 年仅多损失 0.17%。③征收碳税后，短期内给 GDP 带来的损失过大，随着时间的推移，对 GDP 的负面影响逐渐降低。如在采取 120 元 / 吨碳税时，2035 年比 2030 年对 GDP 的负面冲击高 0.17%，但 2040 年比 2035 年对 GDP 的负面冲击高 0.10%，2045 年比 2040 年对 GDP 的负面冲击高 0.05%，碳税对 GDP 的负面影响逐渐削弱。

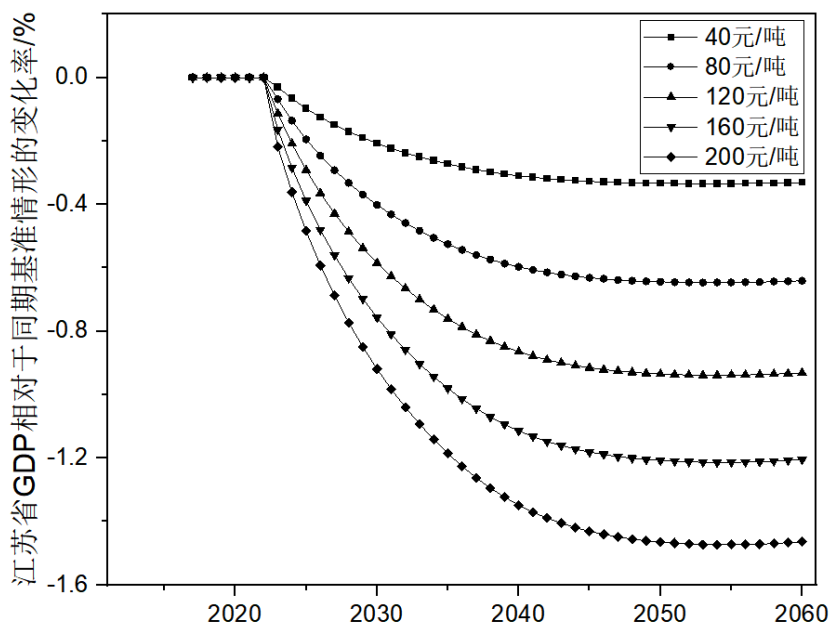


图4 固定碳税政策对江苏省 GDP 变动情况的影响

4.1.3 政策的社会成本

征收固定税率碳税政策情景下，江苏省居民福利的变化率（相较于同期基准情景）模拟结果见图 5。由于征收碳税推高了各行业产出的价格，均衡时居民部门对各商品的需求也会相应的减少，因此开征碳税后居民福利相对于基准情景会有不同程度的恶化，具体而言，①碳税税率越高，居民福利的损失越大，如相较于基准情景，2025 年征收 40 元 / 吨、80 元 / 吨、120 元 / 吨、160 元 / 吨和 200 元 / 吨碳税时，居民福利的下降率分别为 0.44%、0.84%、1.22%、1.57%、1.91%。②征收碳税后，短期内给居民福利带来的损失过大，但随着时间的推移，政策冲击效力逐渐衰减。

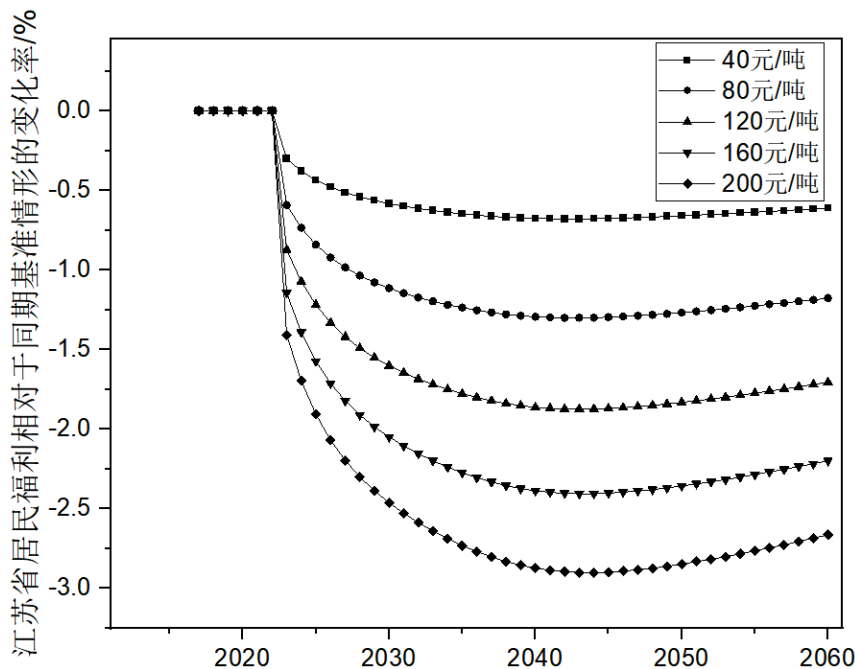


图 5 固定碳税政策对江苏省居民福利变动情况的影响

4.1.4 政策效应总体评价

总体上，征收固定税率碳税可以促进江苏省减排，但减排效果有限，且碳减排政策效力随时间推移不断衰减。在本文考察的 10-200 元 / 吨碳税税率情景下，江苏省二氧化碳排放都在 2035 年左右达到峰值，未能实现 2030 碳达峰目标，且各情景下 2060 年江苏省的碳排放仍然较大，在减排效果最优的 200 元 / 吨固定碳税税率政策情景下，江苏省在 2060 年的碳排放量仍高达 9.11 亿吨，与不征收碳税基准情景比较仅下降 13.28%。此外，固定税率碳税政策在促进减排的同时，对江苏省经济发展和居民福利也都造成了不同程度的负面冲击。

为实现 2030 年碳达峰、2060 年碳中和目标，在固定税率政策情景下，可考虑进一步提高碳税税率。从理论上，相较于欧洲发达国家目前超过 50 美元 / 吨的碳税水平，本文设置的 200 元 / 吨碳税税率仍有很大提升空间。但是欧洲国家早在 90 年代及 21 世纪初就开始征收碳税，长期以来经济体已在各个层面适应并吸纳了碳税对经济社会的影响。对于未征收过碳税的国家，突然执行过高的碳税税率，会对经济体造成很大负面冲击乃至使经济偏离正常增长路径。事实上，亚洲发达国家如新加坡和日本，因为碳税开征较晚，目前的碳税水平都处于较低水平，均不足 5 美元 / 吨。故在只考虑减排效果的理论层面，本文可尝试继续提升固定税率，以实现江苏省 2030 年碳达峰、2060 年碳中和目标。但在实践层面，考虑到过高碳税对国民经济和人们生活的负面影响，继续提升固定税率并无现实意义。

4.2 递增税率下碳税调整对江苏省碳排放及宏观经济发展的影响

由上文可知，按固定税率征收碳税，税率过低无法实现 2030 年碳达峰、2060 年碳中和目标，税率过高

对经济社会发展会造成较大的负面冲击。且在开征固定碳税后的前几年，GDP 和居民福利均会受到较大幅度的负面影响，征收碳税的碳减排政策效力也会随着时间推移不断衰减。因此，更为合理的碳税设计应为，在开征碳税的初期，碳税税率设置一个相对较低的水平，减少对经济的负面冲击，此后根据碳排放目标及经济社会发展状况，适度提高碳税进一步激励各行业减排，并通过碳税返还的方式增加社会福利。

4.2.1 最优递增税率的确定

为了确定碳税的初始值，本文首先采用 DEA 方法评估了 2023 年不同碳税税率的政策效率，其中 DEA 模型为规模报酬不变的 CCR 模型，之所以采用规模报酬不变的假定，是因为开征碳税的第一期，各行业来不及调整投资，并且技术进步有限，各行业基于成本最小化的最优决策是，削减产量进而减少化石能源的使用，实现碳减排，从固定碳税政策的模拟结果也可以看出，随着碳税税率提高，江苏省 GDP 减少量及居民福利的减少量按比例减少，基于上述考虑采用了规模报酬不变的假定。政策效率 DEA 模型所使用的投入产出指标如表 4 所示，所有指标均为开征碳税后第一期各政策情景相对于同期基准情景的变化量。

表 4 评估不同初始碳税政策效率 DEA 模型投入产出指标

指标		说明
投入指标	政策经济成本	2023 年江苏省 GDP 相对于基准情景减少量
	政策社会成本	2023 年居民福利相对于基准情景减少量
产出指标	碳减排量	2023 年江苏省相对于基准情景的减排量

2023 年不同碳税税率的政策效率计算结果如图 6 所示，纵坐标即为各政策的 DEA 效率值，从结果中可以看出，在所有的 DMU 中，只有 10 元 / 吨的政策情景是 DEA 有效的，并且政策效率随着碳税税率的增加而不断降低，这说明在开征碳税的初期，碳税的税率不宜设置过高。因此本文将初始碳税税率设置为 10 元 / 吨。这也与中国财政科学研究院课题组^[1]“短期内会选择 10 元 / 吨二氧化碳的最低税率，之后逐步提高税率。”的研究结论一致。

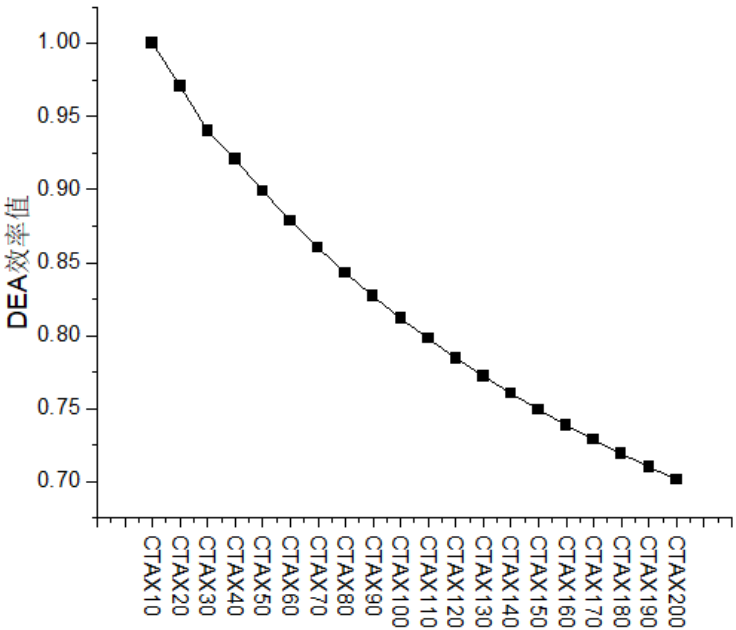


图 6 不同初始碳税税率政策情景 DEA 效率值计算结果

在设定 2023 年初始碳税税率为 10 元 / 吨后，本文构建了 SBM 模型测算了碳税税率递增至 100 元 / 吨 -2000 元 / 吨的政策效率，SBM 模型如式 (4) 所示。政策效率 SBM 模型所使用的投入产出指标如表 5 所示。

$$efficiency_k = min \frac{1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{s_i^x}{x_{ik}}}{1 + \frac{1}{m} (\sum_{r=1}^m \frac{s_r^y}{y_{mk}})}$$
$$s.t. X\lambda + S^x = x_k, Y\lambda - S^y = y_k$$
$$e\lambda = 1, \lambda, S^x, S^y, S^b \geq 0$$

(4)

其中 $efficiency_k \in [0, 1]$ 为政策的效率值, x_k 和 y_k 分别表示投入和期望产出向量, s^x 和 s^y 表示投入和期望产出的松弛向量, λ 为权重向量, $e\lambda=1$ 表示规模报酬可变。模型的投入、产出指标详见表。

表 5 SBM 模型投入指标与产出指标

指标		单位	说明
投入指标	政策经济成本	亿元	江苏省GDP相对于基准情景减少量的折现累计值
	政策社会成本	亿元	江苏省居民福利相对于基准情景减少量的折现累计值
产出指标	累积碳减排量	亿吨CO ₂	政策冲击发生后, 江苏省二氧化碳排放量相对于基准情景的累积减排量

不同递增碳税税率的政策效率计算结果如图 7 所示, 从结果中可以看出, 在所有的 DMU 中, 当递增税率达到 10-1700 元 / 吨时, 政策效率达到最高。故本文将递增税率设定为 10-1700 元 / 吨, 并考察在此情景下不同碳税返还机制对碳减排及经济社会发展的影响。

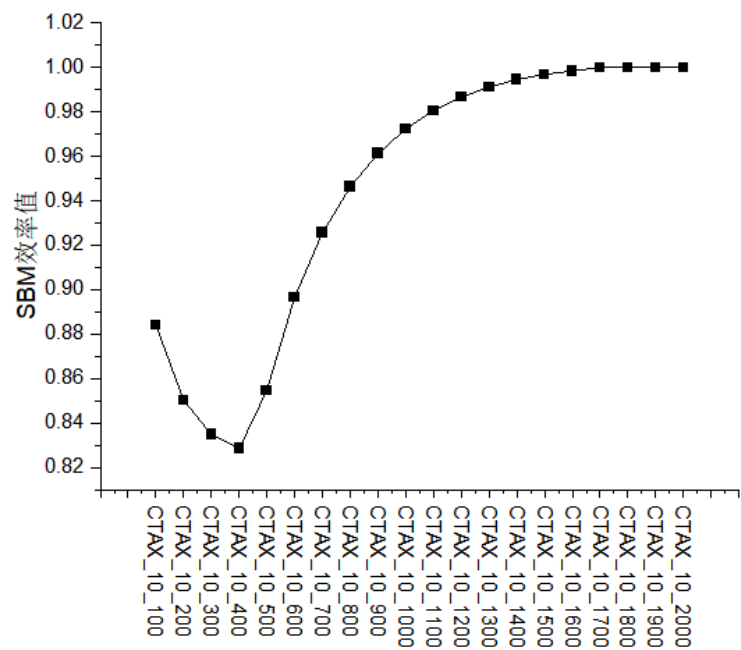


图 7 不同递增税率政策情景 SBM 效率值计算结果

4.2.2 情景设定

碳税政策有效降低了碳排放, 但是也对社会宏观经济发展带来了负面影响, 突出的表现是造成 GDP 和居民福利的显著下降。对此, 可以考虑把碳税返还给居民或企业, 以降低征收碳税对经济社会的负面冲击。本文设置了不征收碳税基准情景和征收递增碳税且按不同比例返还碳税情景, 在碳税返还方式上, 本文依据“税收中性”原则, 借鉴娄峰 (2014) [40]、王健 (2011) [41] 等人做法, 以降低个人所得税和行业生产税的方式将碳税返还居民和企业。具体见表 6。

表 6 不同碳税返还情景

指标	说明
基准情景	不征收碳税
递增税率情景COMP1	按10-1700元/吨递增税率征收碳税，但不予返还碳税
递增税率情景COMP2	按10-1700元/吨递增税率征收碳税，碳税收入100%返还给企业用于降低各行业生产税
递增税率情景COMP3	按10-1700元/吨递增税率征收碳税，碳税收入30%返还给企业用于降低各行业生产税，70%返还给企业用于降低各行业生产税
递增税率情景COMP4	按10-1700元/吨递增税率征收碳税，碳税收入50%返还给企业用于降低各行业生产税，50%返还给企业用于降低各行业生产税
递增税率情景COMP5	按10-1700元/吨递增税率征收碳税，碳税收入70%返还给企业用于降低各行业生产税，30%返还给企业用于降低各行业生产税
递增税率情景COMP6	按10-1700元/吨递增税率征收碳税，碳税收入100%返还给企业用于降低各行业生产税

4.2.3 政策的减排效应

按 10-1700 元 / 吨递增税率征收碳税且按不同比例返还给企业和居民的政策情景下，江苏省碳排放模拟结果如图 8、图 9 所示。可以看出按 10-1700 元 / 吨递增税率征收碳税后，①江苏省加快了碳达峰时间。在各种碳税返还情景下，江苏省碳排放量均可在不超 2030 年达到峰值，顺利实现了 2030 年碳达峰目标。②中长期减排效果更为明显。按递增税率征收碳税后，从短期看由于税率水平较低，减排效果弱于上文汇报的按 200 元 / 吨固定税率征收碳税情景，但在 2030 年后，各种碳税返还情景下，江苏省碳排放量均远低于 200 元 / 吨固定碳税情景。从长期来看，即使在减排效果最弱的碳税 100% 返还企业情景下，江苏省在 2060 年的碳排放量为 6.81 亿吨，远低于 200 元 / 吨固定碳税情景下 9.11 亿吨的排放量，有力促进了江苏省 2060 年碳中和目标的实现。③碳税促进碳减排的政策效力持续加强。从图 9 可以看出，按递增税率征收碳税后，无论按何种情景返还碳税，江苏省碳排放量变动曲线呈持续下降趋势，不存在固定碳税情景中碳减排政策效力随时间推移不断衰减的情况。

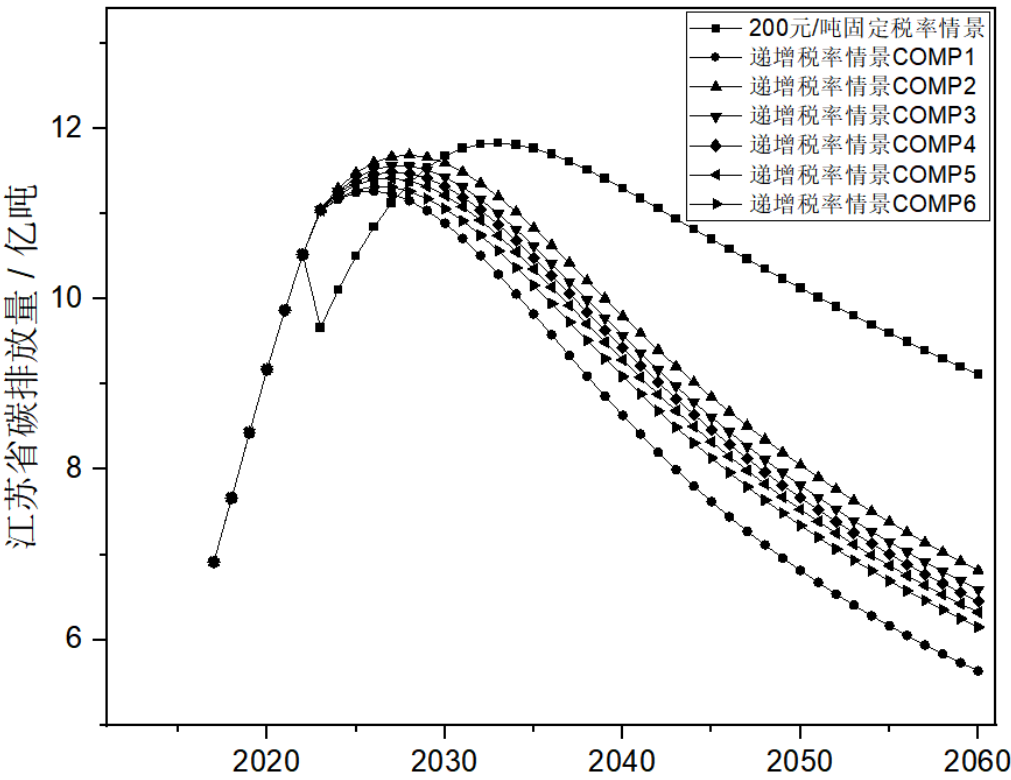


图 8 递增碳税政策对江苏省碳排放量的影响

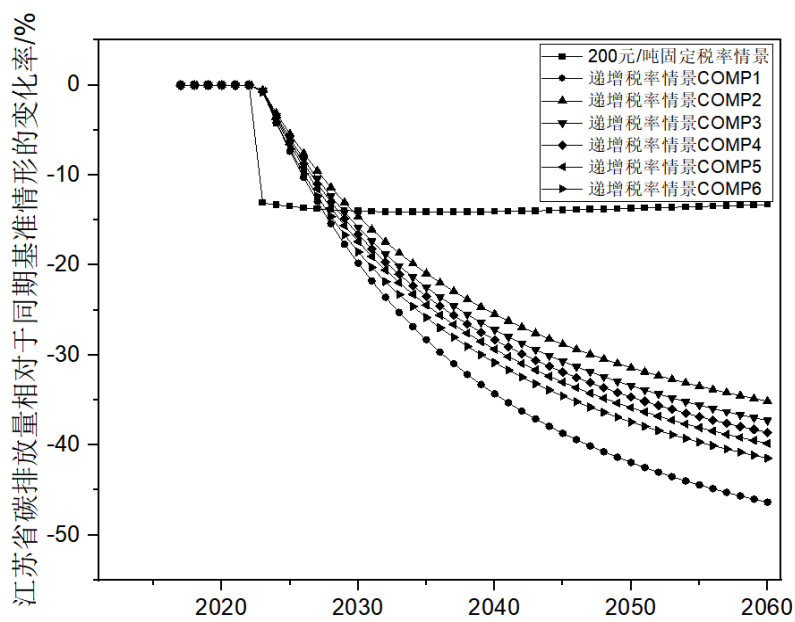


图9 递增碳税政策对江苏省碳排放量变动情况的影响

4.2.4 政策的经济成本

按 10-1700 元 / 吨递增税率征收碳税且按不同比例返还给企业和居民的政策情景下，江苏省 GDP 的变化率（相较于同期基准情景）模拟结果见图 10。可以看出，在碳税返还政策情景下（COMP2-COMP6 情景），从长期来看（2045 年 -2060 年），按 10-1700 元 / 吨递增税率征收碳税对江苏省经济发展的负面影响大于按 200 元 / 吨固定税率征收碳税情形，且碳税返还居民的比例越高，对 GDP 的负面冲击越大。但在 2045 年之前，按 10-1700 元 / 吨递增税率征收碳税对江苏省经济发展的负面影响小于按 200 元 / 吨固定税率征收碳税情形，如在 200 元 / 吨固定税率情景下，2030 年 GDP 相对于基准情景下降 0.92%，但若采用 10-1700 元 / 吨递增税率，无论按何种情景返还碳税，在 2030 年实现碳达峰时，GDP 相对于基准情景下降均小于 0.45%，低于 200 元 / 吨固定税率政策情景下 GDP 下降水平。故从长期看，按递增税率征税并配以碳税返还，其政策经济成本高于按固定税率征税；但从中短期看，按递增税率征税并配以碳税返还，其政策经济成本小于按固定税率征税。

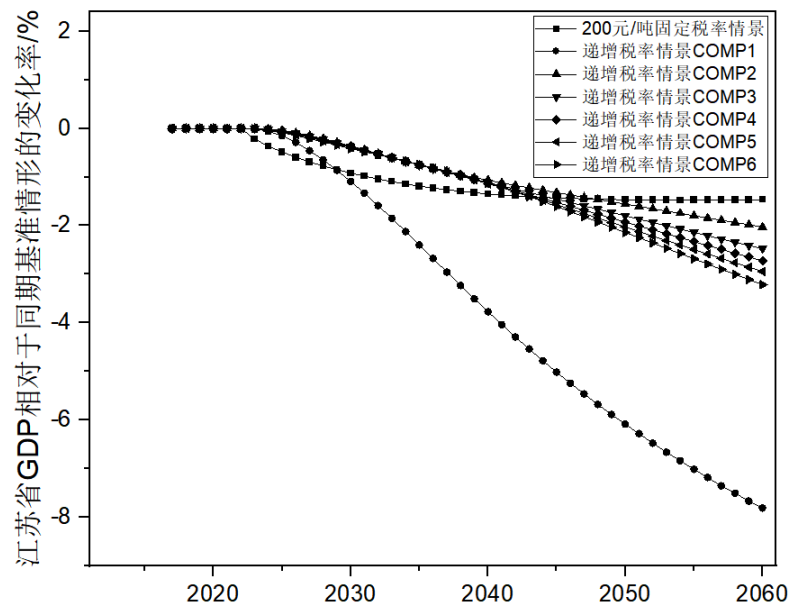


图10 递增碳税政策对江苏省 GDP 变动情况的影响

4.2.5 政策的社会成本

按 10-1700 元 / 吨递增税率征收碳税且按不同比例返还给企业和居民的政策情景下, 江苏省居民福利的变化率 (相较于同期基准情景) 模拟结果见图 11。在之前固定碳税政策情景下, 居民福利均较同期基准情景有不同的下降, 如当采取 200 元 / 吨固定碳税政策时, 居民福利相较于基准情景在 2025 年、2030 年、2050 年的下降率分别为 1.91%、2.46% 和 2.85%。从图 11 可以看出, 在按 10-1700 元 / 吨递增税率征收碳税时, 如果将碳税以较大比例返还给居民, 居民福利的下降幅度会减少乃至优于基准情景。如当碳税以 50%、70% 和 100% 的比例返还居民时, 居民福利在 2025 年相较于基准情景分别提高 0.66%、1.03% 和 1.39%, 在 2030 年相较于基准情景分别提高 1.13%、1.99% 和 2.83%, 在 2050 年相较于基准情景分别提高 0.09%、1.21% 和 2.32%, 相较于基准情景均实现了居民福利的增加, 且在碳税 50%、70% 和 100% 的比例返还居民情景下, 居民福利变动曲线呈现倒 U 型, 都在 2030 年以后才到达峰值, 政策效力在 2030 年实现碳达峰之前不断增强。可以看出, 通过较高的碳税返还居民比例, 碳税政策在促进碳减排的同时, 增加了居民福利, 实现了改善环境绩效和提升社会福利的“双重红利”。

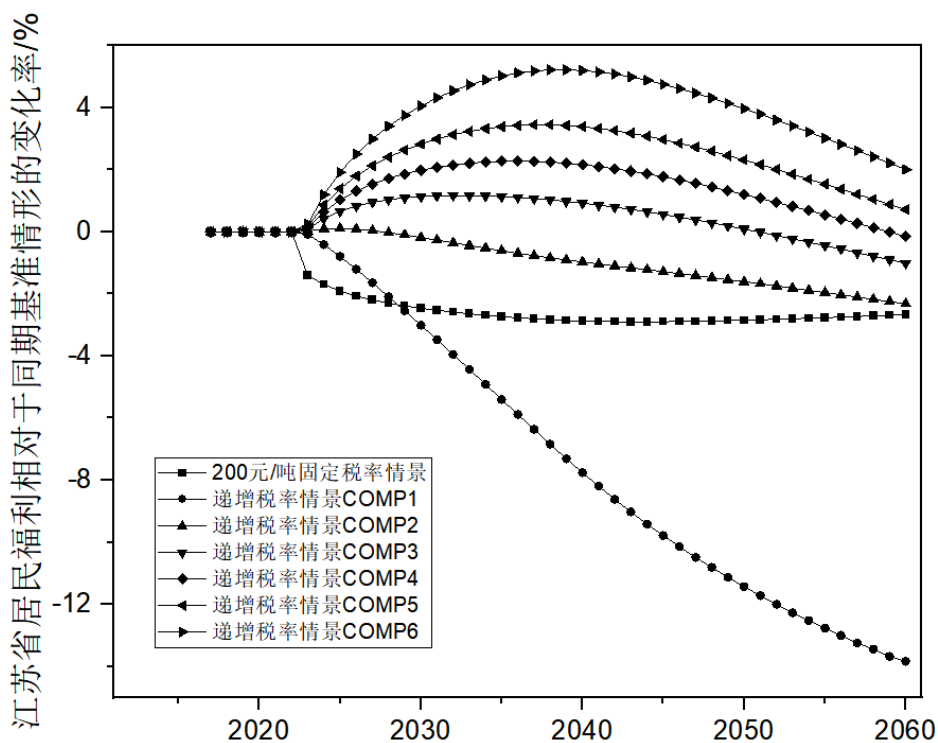


图 11 递增碳税政策对江苏省居民福利变动情况的影响

4.2.6 政策效应总体评价

在按递增税率征收碳税时, 碳税刚开始可以设置为一个较低的值(本文经 DEA 方法测算后设为 10 元 / 吨), 在我国尚未征收过碳税且碳交易价格比较低的现实情况下, 可有效减少开征碳税对经济社会的负面冲击, 此后根据碳排放目标及经济社会发展状况, 到 2060 年逐年适度提高碳税至一个很高的水平 (本文经 DEA 方法测算后为 1700 元 / 吨)。相较于目前发达国家的碳税水平, 本文所设的碳价区间也是合理的。

总体上, 按递增税率征收碳税的减排效果优于按固定税率征收碳税。具体而言, 按 10-1700 元 / 吨递增税率征收碳税后, 在各种碳税返还情景下, 江苏省均可顺利实现 2030 年碳达峰目标, 且 2060 年江苏省碳排放量远低于固定税率碳税下的各种情景, 有力促进了 2060 年碳中和目标的实现。此外, 无论按何种情景返还碳税, 碳税政策促进碳减排的政策效力持续加强, 不存在固定碳税情景中碳减排政策效力随时间推移不断衰减的情况。

在政策的经济成本方面,从长期看,按递增税率征税并配以碳税返还,其政策经济成本高于按固定税率征税;但从中短期看,按递增税率征税并配以碳税返还,其政策经济成本小于按固定税率征税,江苏省按递增税率征税可以更小的经济成本实现 2030 年碳达峰目标。在政策的社会成本方面,如果将碳税以较高比例返还给居民,居民福利的下降幅度会减少乃至优于基准情景,且居民福利变动曲线都在 2030 年以后才到达峰值,碳税改善居民福利的政策效力在 2030 年实现碳达峰之前不断增强,碳税政策实现了改善环境绩效和提升社会福利的“双重红利”。

5 结论与政策建议

5.1 结论

本文使用动态 CGE 模型,分别研究了按固定税率和按递增税率征收碳税情景下,碳税政策对江苏省碳减排和宏观经济社会发展的影响,并探讨了按递增税率征收碳税情景下碳税政策的双重红利效应。主要结论如下:

第一,按固定税率征收碳税时,税率过低时江苏省无法实现 2030 年碳达峰、2060 年碳中和目标,税率过高时则会对江苏省经济社会发展会造成较大的负面冲击。且在开征固定碳税后的前几年,江苏省 GDP 和居民福利均会受到较大程度的负面影响,碳税的碳减排政策效力也会随着时间推移不断衰减。

第二,在合适的税率水平下,按递增税率征收碳税江苏省可实现 2030 年碳达峰、2060 年碳中和目标。在政策的经济成本方面,从长期看,按递增税率征税时碳税在后期递增到一个很高的水平,对 GDP 冲击更大,其政策经济成本高于按固定税率征税;但从中短期看,按递增税率征税并配以碳税返还,其政策经济成本小于按固定税率征税。在政策的社会成本方面,如果将碳税以一定比例返还给居民,会缓解碳税政策对居民福利的负面冲击,当碳税返还居民比例足够高时,碳税政策则可改善居民福利,且这种政策效力在 2030 年实现碳达峰之前不断增强,碳税政策实现了改善环境绩效和提升社会福利的“双重红利”。

5.2 建议

基于上述研究结论,本文提出以下政策建议:

首先,在江苏省以及我国其它地区适时开征碳税。本文结论表明,无论按固定税率还是按递增税率征收碳税,均可不同程度促进江苏省实现碳排放量降低,加快碳达峰时间。在全国层面,与发达国家比,我国实现“碳达峰、碳中和”目标紧、幅度广、困难多,仅依靠碳交易市场单一政策工具难以实现既定目标,有必要考虑碳排放权交易和碳税两种政策手段并行和综合运用,在完善碳交易机制的同时择机开征碳税。

其次,在不同区域因地制宜选择合理碳税征收方式和税率。本文结论表明,对江苏省而言合理的碳税设计应为,在开征碳税的初期,碳税税率设置一个相对较低的水平,减少对经济的负面冲击,此后根据碳排放目标及经济社会发展状况,适度提高碳税进一步激励各行业减排,并通过碳税返还的方式增加社会福利。在全国层面,我国各区域的经济禀赋和碳排放情况不尽相同,需要根据各地实际情况确定碳税征收方式和税率水平,并制定相应的碳税返还政策,以减缓开征碳税对经济发展的冲击,并最大程度促进居民福利的增加,争取实现改善环境绩效和提升社会福利的“双重红利”。

本文构建了动态 CGE 模型分析了碳税政策江苏省碳减排和宏观经济社会发展的影响,与已有的静态 CGE 模型相比,能够反映碳税政策的长期效应和动态影响。但模型也存在一定的不足之处:如在考察社会福利时,未将居民按收入细化为低收入、中等收入和高收入等,以分析碳税政策对不同收入群体的影响;在对碳税返还的研究方面,未讨论能源产业税赋是否转嫁到非能源产业的问题;此外,对劳动力就业、政府收入等问题也未进行专门讨论。针对这些议题,我们将在日后研究中进一步探索,以得出更加细致的结论。

参考文献:

References:

- [1] 中国财政科学研究院课题组.在积极推进碳交易的同时择机开征碳税[J].财政研究,2018,4: 2-19.

CAFS Research Group. Selecting Appropriate Opportunities to Levy Carbon Tax While Actively Promoting Carbon

- Emissions Trading [J]. Public Finance Research, 2018, 4: 2-19.
- [2] 沈小燕. “双碳”目标下择时开征碳税 [J]. 探索与争鸣, 2021, 9: 20-22.
Shen X Y. Levying Carbon Tax at the Right Time under the “Double Carbon” Goal [J]. Exploration and Free Views, 2021, 9: 20-22.
- [3] 贾晓薇, 王志强. 以开征碳税为契机构建我国碳减排复合机制 [J]. 税务研究, 2021, 8: 18-21.
Jia X W, Wang Z Q. A Composite Mechanism for Carbon Reduction in China: Taking the Levy of Carbon Taxation as an Opportunity [J]. Taxation Research, 2021, 8: 18-21.
- [4] 鲁书伶, 白彦锋. 碳税国际实践及其对我国 2030 年前实现“碳达峰”目标的启示 [J]. 国际税收, 2021, 12: 21-28.
Lu S L, Bai Y F. International Practices of Carbon Taxation and Its Enlightenment to Achievement of Carbon Peak in 2030 [J]. International Taxation in China, 2021, 12: 21-28.
- [5] 李建军, 刘紫桐. 中国碳税制度设计: 征收依据、国外借鉴与总体构想 [J]. 地方财政研究, 2021, 7: 29-34.
Li J J, Liu Z T. Design of China's Carbon Tax System: Collection Basis, Foreign Reference and Overall Conception [J]. Sub National Fiscal Research, 2021, 7: 29-34.
- [6] 王茹. 碳税与碳交易政策有效协同研究——基于要素嵌入修正的多源流理论分析 [J]. 财政研究, 2021, 7: 25-37.
Wang R. Research on Effective Synergy Between Carbon Tax and Carbon Trading Policy: Analysis Based on Multi-Source Theory with Element Embedding Correction [J]. Public Finance Research, 2021, 7: 25-37.
- [7] Zhang. Y. Q., Qi Lin, L. L., Pan, X. Y., Basil S. Synergistic Effect of Carbon ETS and Carbon Tax Under China's Peak Emission Target: A Dynamic CGE Analysis. [J]. The Science of the Total Environment, 2022, 825.
- [8] Lin, B., Jia, Z. Can Carbon Tax Complement Emission Trading Scheme? The Impact of Carbon Tax on Economy, Energy and Environment in China [J]. Climate Change Economics, 2020: 2041002.
- [9] Li, W., Jia, Z. Carbon Tax, Emission Trading, or the Mixed Policy: Which Is the Most Effective Strategy for Climate Change Mitigation in China? [J]. Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change, 2017.
- [10] Jia, Z., Lin, B. Rethinking the Choice of Carbon Tax and Carbon Trading in China [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2020, 159: 120187.
- [11] 胡艺, 魏小燕, 沈铭辉. 碳税比碳交易更适合发展中国家吗? [J]. 亚太经济, 2020, 4: 29-38+148.
Hu Y, Wei X Y, Shen M H. Is Carbon Tax More Suitable for Developing Countries than Carbon Trading? [J]. Asia-Pacific Economic Review, 2020, 4: 29-38+148.
- [12] 董梅, 李存芳. 碳减排目标的实现机制比较与选择——基于数量型与价格型减排工具的模拟 [J]. 中国环境管理, 2020, 4: 120-128.
Dong M, Li C F. The Comparison and Selection of Realization Mechanism for Carbon Emission Reduction Goals: Based on Quantity-Based and Price-Based Emission Reduction Policy Tools Simulation [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2020, 4: 120-128.
- [13] 吴力波, 钱浩祺, 汤维祺. 基于动态边际减排成本模拟的碳排放权交易与碳税选择机制 [J]. 经济研究, 2014, 9: 48-61+148.
Wu L B, Qian H Q, Tang W Q. Selection Mechanism between Emission Trading and Carbon Tax Based on Simulation of Dynamic Marginal Abatement Cost [J]. Economic Research Journal, 2014, 9: 48-61+148.
- [14] 程敏. 美国征收碳关税的应对政策——碳税与碳关税经济效应比较研究 [J]. 技术经济与管理研究, 2015, 10: 90-94.
Cheng M. Proposal for US Carbon Tariff: A Study on Economic Effects of Carbon Tax and Carbon Tariff [J]. Journal of Technical Economics & Management, 2015, 10: 90-94.
- [15] 蒋丹, 张林荣, 孙华平, 方恺. 中国征收碳税应对碳关税的经济分析——以美国为例 [J]. 生态学报, 2020, 2: 440-446.

- Jiang D, Zhang L R, Sun H P, Fang K. An Economic Analysis of China's Imposing Carbon Tax to Respond to Future Carbon Tariffs: Case Study of USA [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 2: 440-446.
- [16] Sheng, et al. Impacts of Carbon Tax Policy on CO₂ Mitigation and Economic Growth in China [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2011.
- [17] Cai, Y. B. Carbon Tax Design and Its Impact on Chinese Regional Economy Based on Empirical Analysis [J]. *Environmental Engineering & Management Journal*, 2014, 13(5): 1181-1187.
- [18] 翁智雄, 吴玉峰, 李伯含, 顾一帆. 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, 3: 75-86.
- Weng Z X, Wu Y F, Li B H, Gu Y F. Impact of Differentiated Industrial Carbon Taxes on China's Economy and Environment [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 3: 75-86.
- [19] 肖谦, 陈晖, 张宇宁, 庞军, 金嘉瑞. 碳税对我国宏观经济及可再生能源发电技术的影响——基于电力部门细分的 CGE 模型 [J]. *中国环境科学*, 2020, 8: 3672-3682.
- Xiao Q, Chen H, Zhang N Y, Pang J, Jin J R. The Impacts of Carbon Tax on China's Macro-economy and the Development of Renewable Energy Power Generation Technology: Based on CGE Model with Disaggregation in the Electric Power Sector [J]. *China Environmental Science*, 2020, 8: 3672-3682.
- [20] 魏朗, 郑巧精. 开征碳税对我国区域经济的影响 [J]. *税务与经济*, 2016, 6: 88-93.
- Wei L, Zheng Q J. Impact of Imposing Carbon Tax on Regional Economy in China [J]. *Taxation and Economy*, 2016, 6: 88-93.
- [21] 张兴平, 朱锦晨, 徐岸柳, 郭正权, 刘珊珊. 基于 CGE 碳税政策对北京社会经济系统的影响分析 [J]. *生态学报*, 2015, 20: 6798-6805.
- Zhang X P, Zhu J C, Xu A L, Guo Z Q, Liu S S. Estimation of the Impact of a Carbon Tax on the Beijing Socio-economic System Based on a Computable General Equilibrium Model [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 20: 6798-6805.
- [22] 吴乐英, 王铮, 徐程瑾, 颜艳梅. 省区碳经济分析的 CGE 模型及其应用——以河南省为例 [J]. *地理研究*, 2016, 5: 941-952.
- Wu L Y, Wang Z, Xu C J, Yan Y M. A CGE Model for Provincial Carbon Economy: A Case Study of Henan Province [J]. *Geographical Research*, 2016, 5: 941-952.
- [23] 李雪慧, 李智, 王正新. 中国征收碳税的福利效应分析——基于 2013 年中国家庭收入调查数据的研究 [J]. *城市与环境研究*, 2019, 4: 63-79.
- Li X H, Li Z, Wang Z X. The Effect of Carbon Tax on the Household Welfare: A Study Based on the 2013 CHIP Survey Data [J]. *Urban and Environmental Studies*, 2019, 4: 63-79.
- [24] 李虹, 熊振兴. 生态占用、绿色发展与环境税改革 [J]. *经济研究*, 2017, 7: 124-138.
- Li H, Xiong Z X. The Impact of Ecological Deficit Tax and Income Tax Cuts on Economic Growth: A CGE Analysis in China [J]. *Economic Research Journal*, 2017, 7: 124-138.
- [25] 张晓娣. 中国开征碳税对价格、福利及公平影响的测度 [J]. *南方经济*, 2014, 7: 58-72.
- Zhang X D. Measuring the Price, Welfare and Inequality Effects of Carbon Taxation in China [J]. *South China Journal of Economics*, 2014, 7: 58-72.
- [26] 何平林, 乔雅, 宁静, 沈华玉, 龙成凤. 环境税双重红利效应研究——基于 OECD 国家能源和交通税的实证分析 [J]. *中国软科学*, 2019, 4: 33-49.
- He P L, Qiao Y, Ning J, Shen H Y. An Empirical Study on the Double Dividend Effect of Environmental Tax: Based on

- the Energy Tax and Vehicle Traffic Tax in OECD Countries [J] .China Soft Science,2019,4:33-49.
- [27] 朱雅珣,邓晓飞.碳税政策的经济效应:“双重红利假设”在广东的实证检验 [J] .贵州财经大学学报,2013,6:34-41.
Zhu Y X, Deng X F. The Economic Effects of Carbon Tax Policy: An Empirical Study on “Double Dividend Hypothesis” in Guangdong [J] .Journal of Guizhou University of Finance and Economics,2013,6:34-41.
- [28] 张景华.碳税的就业“双重红利”效应研究 [J] .生态经济,2013,7:47-50.
Zhang J H. Research on Employment Double Dividend Effects of Carbon Tax [J] .Ecological Economy,2013,7:47-50.
- [29] Zhang, X., Guo, Z., Zheng, Y., et al. A CGE Analysis of the Impacts of a Carbon Tax on Provincial Economy in China [J] . Emerging Markets Finance and Trade, 2016, 52(4-6):1372-1384.
- [30] 王锋,陈进国,刘娟,林翔燕,陈赛.碳税对江苏省宏观经济与碳减排的影响——基于 CGE 模型的模拟分析 [J] .生态经济,2017,9:31-36.
Wang F, Chen J G, Liu J, Lin X Y, Chen S. Effect of Carbon Tax on Macro-Economy and Carbon Emission Reduction in Jiangsu Province: Simulation Analysis Based on CGE Model [J] .Ecological Economy,2017,9:31-36.
- [31] Li, A., Lin, B. Comparing Climate Policies to Reduce Carbon Emissions in China [J] . Energy Policy, 2013, 60(9.):667-674.
- [32] 陈诗一.能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展 [J] .经济研究,2009,4:41-55.
Chen S Y. Energy Consumption , CO2 Emission and Sustainable Development in Chinese Industry [J] .Economic Research Journal,2009,4:41-55.
- [33] 许士春,张文文.不同返还情景下碳税对中国经济影响及减排效果——基于动态 CGE 的模拟分析 [J] .中国人口·资源与环境,2016,12:46-54.
Xu S C, Zhang W W. Analysis of Impacts of Carbon Taxes on China’ s Economy and Emissions Reduction under Different Refunds: Based on Dynamic CGE Model [J] .China Population, Resources and Environment,2016,12:46-54.
- [34] 张欣.可计算一般均衡模型的基本原理与编程 [M] .格致出版社,2010.
Zhang X. Basic Principle and Programming of Computable General Equilibrium Model [M] .Gezhi Publishing House,2010.
- [35] 贺菊煌,沈可挺,徐嵩龄.碳税与二氧化碳减排的 CGE 模型 [J] .数量经济技术经济研究,2002,10:39-47.
He J H, Shen K T, Xu S L. CGE Model of Carbon Tax and Carbon Dioxide Emission Reduction [J] .The Journal of Quantitative & Technical Economics,2002,10:39-47.
- [36] 郭正权.基于 CGE 模型的我国低碳经济发展政策模拟分析 [D] .中国矿业大学(北京),2011.
Guo Z Q. The Low-carbon Economic Development Policy Analysis Based on CGE Model in China [D] .China University of Mining & Technology,Beijing,2011.
- [37] Lin, B., Jia, Z. The Impact of Emission Trading Scheme (ETS) and the Choice of Coverage Industry in ETS: A Case Study in China [J] . Applied Energy, 2017, 205: 1512-1527.
- [38] 周丹,赵子健.基于地区 CGE 模型的碳税效应研究——以上海为例 [J] .生态经济,2015,4:24-28.
Zhou D, Zhao Z J. The Effects Analysis of Carbon Tax Based on CGE Model: Taking Shanghai as an Example [J] . Ecological Economy,2015,4:24-28.
- [39] 周迪,蔡晓婷,张达泉,张雨帆.基于 CGE 模型的碳税政策模拟——以广东省为例 [J] .气候变化研究进展,2020,4:516-525.
Zhou D, Cai X T, Zhang D Q, Zhang Y F. Carbon Tax Policy Simulation Based on CGE Model: A Case Study of

Guangdong Province [J]. Climate Change Research, 2020, 4: 516-525.

[40] 娄峰. 碳税征收对我国宏观经济及碳减排影响的模拟研究 [J]. 数量经济技术经济研究, 2014, 10: 84-96+109.

Lou F. Simulation Study on the Carbon Tax Impact on China's Macro Economy and Carbon Emission Reduction [J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2014, 10: 84-96+109.

[41] 王健. 基于可计算的一般均衡模型的我国碳税政策“双重红利”研究 [J]. 生态经济, 2011, 10: 34-36+41.

Wang J. Research on “Double Dividend” of the Carbon Tax Policy Based on CGE Model [J]. Ecological Economy, 2011, 10: 34-36+41.

(本文责编: 宁 远)

Research on Carbon Tax Policy to Promote Low-carbon Transformation and Development of Jiangsu Province: Based on Dynamic CGE Model

LU Chun-hua, LI Chen-guang, LI Hong

Abstract: Setting carbon tax policy scientifically is an important means to develop low-carbon economy and achieve the goal of “carbon peaking and carbon neutralization”. Taking Jiangsu Province as an example, this paper uses the input-output table data of Jiangsu Province in 2017 to compile the social accounting matrix, constructs a Dynamic CGE model including 16 departments, and simulates and analyzes the impact of carbon tax policies and different carbon tax return methods on carbon emission reduction and macroeconomic and social development in Jiangsu Province. The study found that: ① When the carbon tax is levied according to the fixed tax rate, if the tax rate is too low, Jiangsu Province is unable to achieve the goal of “carbon peaking and carbon neutralization” on schedule. When the tax rate is too high, it will have a great negative impact on the economic and social development of Jiangsu Province, and the effectiveness of the carbon emission reduction policy of the carbon tax will decline over time. ② Under the appropriate tax rate level, Jiangsu Province can achieve the goal of “carbon peaking and carbon neutralization” on schedule by levying carbon tax at an increasing tax rate, and the effectiveness of carbon emission reduction policy of carbon tax will continue to strengthen over time. In terms of the economic cost of the policy, in the long run, when the tax is levied at the increasing tax rate, the economic cost of the policy is higher than that of the tax at the fixed tax rate; However, in the medium and short term, the policy economic cost of levying tax at an incremental tax rate with carbon tax return is less than that of levying tax at a fixed tax rate. Levying tax at an incremental tax rate in Jiangsu Province can achieve the carbon peak goal in 2030 at a lower economic cost. In terms of the social cost of the policy, if the carbon tax is returned to residents in a certain proportion, it will alleviate the negative impact of the carbon tax policy on residents' welfare. When the proportion of carbon tax returned to residents is high enough, the carbon tax policy can improve residents' welfare, and the effectiveness of this policy will continue to increase before the carbon peak in 2030, at this time, the carbon tax policy has realized the “double dividend” of improving environmental performance and social welfare.

Key words: carbon tax policy; dynamic CGE model; carbon emission reduction; double dividend