

碳减排政策：碳税、碳交易还是两者兼之？^①

石敏俊^{1 2 3}，袁永娜^{2 3}，周晟吕⁴，李娜^{2 3}

(1. 贵州财经大学资源与环境管理学院，贵阳 550025；2. 中国科学院大学管理学院，北京 100049；
3. 中国科学院虚拟经济与数据科学研究中心，北京 100190；4. 上海市环境科学研究院，上海 200233)

摘要：基于动态 CGE 模型构建了中国能源-经济-环境政策模型，根据碳税和碳排放交易的政策属性，设计了单一碳税、单一碳排放交易以及碳税与碳交易相结合的复合政策等不同情景，模拟分析了不同政策的减排效果、经济影响与减排成本。结果显示：1) 碳税的 GDP 损失率最小，减排成本较低，但不能确保 2020 减排目标的实现；2) 碳排放交易情景下机制覆盖行业承受的减排压力较大，受到的冲击过大，减排成本较高；3) 碳排放交易与适度碳税相结合的复合政策，一方面可以确保减排目标的实现，另一方面可以使较为分散的排放源承担一定的减排义务，降低机制覆盖行业的减排压力，减排成本适中，是较优的减排政策。

关键词：碳减排政策；碳税；碳排放交易；碳税与碳交易相结合；动态 CGE 模型；中国能源-经济-环境政策模型

中图分类号：F205 文献标识码：A 文章编号：1007-9807(2013)09-0009-11

0 引言

为了实现 2020 年的碳减排目标，中国政府将积极利用基于市场机制的减排政策。国家发改委表示正在推进省级碳交易试点，希望在 2015 年建立全国性的碳交易市场，与此同时财政部多次表示要研究开征碳税的相关问题。中国的减排政策究竟是选择碳税还是碳交易，抑或两者兼之，已经成为管理科学和政策研究急需回答的科学问题。

相对于行政命令而言，基于市场机制的减排政策减排效率较高，已经被越来越多的政府所采用。基于市场机制的减排政策主要有两类：以价格控制为特征的碳税政策和以数量控制为特征的碳排放交易机制。在完全竞争、完全信息和零交易费用的条件下，碳税和碳排放交易机制可以达到相同的政策效果，两者可以相互替代，只要将价格或者排放上限确定在边际减排成本与边际减排收益

相等处即可^[1]。但现实世界里完全竞争、完全信息、零交易成本的假设很难满足，碳税和碳排放交易机制的政策效果并不相同。因此，究竟是应该选择碳税还是碳排放交易，学术界还存在着分歧。部分学者主张采用碳税政策来控制温室气体排放^[2-5]，他们认为：1) 政府征税的经验丰富，新增税种的难度较小，即使征收碳税可能会遇到一些阻力，随着对气候变化问题认识的深化，征收碳税的阻力将会逐渐降低。2) 碳税税率可以根据减排需要进行动态调整，因而碳税可以提供相对稳定的价格信号，驱使企业调整生产、减少排放。3) 碳交易价格取决于排放上限的设定，排放上限设定容易受到政治谈判、利益集团等影响而发生变化，从而导致碳交易的价格信号不稳定。4) 碳税收入如果用来减少其他扭曲性税收，可以同时产生“环境红利”和“经济红利”。另一些学者认为碳排放交易更有优势^[6-8]，他们认为：1) 碳排放交易更

① 收稿日期：2012-02-27；修订日期：2012-07-06。

基金项目：国家自然科学基金资助项目(71173212)；国家自然科学基金青年基金资助项目(71203215；41101556)；国家自然科学基金应急资助项目(70941034)。

作者简介：石敏俊(1964—)，男，浙江新昌人，教授。Email: mjshi1964@gmail.com

容易得到利益集团的支持和决策者的青睐。2) 碳排放交易可以达到特定数量的减排目标,适用于较为严格的减排形势。3) 虽然碳排放许可的短期交易价格信号不稳定,但长期交易价格相对稳定。4) 碳排放许可按照拍卖方式进行分配时可以带来拍卖收入,如果拍卖收入被用于降低其他扭曲性税收,也会产生经济红利。也有部分学者认为,可以根据两种政策的适用性和减排目标需要,在不同时间和地区设计不同的减排政策。Marshall^[9]认为应该让大公司或大的排放源参与碳排放交易机制,小公司和居民为燃料消费支付碳税。Mandell^[10]认为当边际减排成本曲线变得陡峭时,应扩大实施碳税的范围。Ian 和 Markus^[11]则认为基于市场机制的政策选择主要依赖于政策潜在的收入循环效应以及预设租金水平 (pre-assigned rents)。

从国际碳减排的实践看,既存在着实施碳税的,也存在着实施碳排放交易机制的国家和地区,近年来还出现了将二者结合起来实施复合政策的国家和地区^[12],如丹麦、芬兰、荷兰、挪威等国在开征碳税之后又加入了欧盟排放交易计划 (EU ETS)。由于欧盟排放交易计划只覆盖了碳排放最突出的工业部门,瑞典对于没有参加欧盟排放交易计划的部门征收碳税。当前,碳税与碳交易相结合的复合政策大有成为潮流之势。由于碳交易以及碳税与碳交易相结合的复合政策仍是新生事物,对于欧美国家的经验是否适用于中国和其他国家,还需要进一步地研究。

在我国,节能减排政策究竟应该选择碳税还是碳排放交易机制,政策研究部门和业界人士也存在着分歧,但是学术研究相对滞后。不少学者分别对碳税和碳交易的经济影响、减排效果和减排成本进行了实证分析^[13-17],但是鲜有将两者联系起来、置于统一的框架下进行比较研究。即使少数学者曾探讨过碳税和碳交易的政策选择问题,但局限于概念和定性的探讨^[18-20],缺乏基于模型的实证研究和定量分析,远不能满足为我国减排政策制定提供理论支撑的需要。

本文拟基于动态 CGE 模型构建中国能源-经济-环境政策模型,通过设计单一碳税、单一碳排放交易、以及两者相结合的复合政策情景,模拟分析选择不同减排政策的减排效果、经济影

响及减排成本。本文将碳税和碳排放交易结合起来进行考察,采用政策模拟手段,从减排效率、经济影响和减排成本等角度,比较分析碳税和碳排放交易以及复合政策的优劣,为我国减排政策制定提供理论依据和科学参考。

1 模型设计

基于 2007 年我国投入产出数据,构建了基于动态 CGE 模型的中国能源-经济-环境政策模型。该模型包括能源模块、经济模块和环境模块。这 3 个模块通过经济生产的过程紧密联系在一起,能源模块主要是在生产技术模块中加入能源部分,环境模块中的碳排放模块又通过碳排放因子与能源模块联系在一起,同时碳排放模块又通过碳排放成本反向影响生产模块中产品的生产成本。

1.1 能源模块与生产技术模块

模型的能源模块主要是在生产技术模块中加入能源部分。其中,能源、资本和劳动力之间用 CES (constant elasticity of substitution) 函数来描述它们之间的替代关系。不同的中间投入品之间比较难替代,故采用 Leontief 函数。此外,原材料的投入比较难以被资本、能源或劳动力所替代,故也用 Leontief 函数来衡量能源-资本-劳动力复合品与中间投入品之间的关系。由于在 CES 函数中,任意两个投入品之间的替代弹性都相同,为了能够反映不同的投入品之间复杂的替代关系,模型中采用了多层嵌套的 CES 结构。模型的生产结构图见图 1。此外,能源作为产品其供给与需求需要平衡,这一平衡条件也体现在经济模块的商品和要素的供需平衡模块中。

1.2 经济模块

经济模块与普通一般可计算均衡模型所包含的模块相同,主要包括生产模块、收入支出模块、投资模块、对外贸易模块、宏观闭合模块、商品市场均衡和要素市场均衡模块等。

1.3 环境模块

环境模块主要包括 CO₂ 排放量模块、碳税模块和碳排放许可交易模块。

1) CO₂ 排放量模块 化石能源燃烧、农业、林

业、土地利用变化等会引起 CO₂ 排放,其中化石能源燃烧引起的 CO₂ 排放占排放总量的 90% 以上.化石能源燃烧产生的 CO₂ 排放与经济行为紧密相连,且在检测技术上可行,是减排政策的主要

控制对象.本文主要分析化石能源燃烧引起的 CO₂ 排放, j 行业的 CO₂ 排放量等于生产过程中燃烧的不同类型化石能源量乘以对应的 CO₂ 排放因子求和得到.

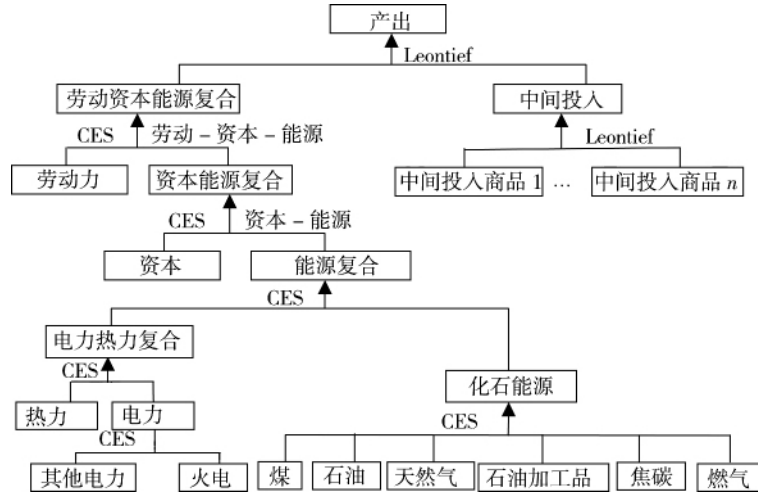


图 1 基于 CGE 的能源-环境-经济模型生产模块结构图

Fig. 1 Structure of production module in dynamic CGE model

2) 碳税模块 碳税从化石能源生产部门征收,能源产品价格等于其他投入成本再加上 CO₂ 税率后乘以该化石能源产品燃烧引起的 CO₂ 排放量.

3) 碳排放许可交易模块 碳排放许可的供给由减排目标以及据此设定的排放上限决定.排放上限使得碳排放许可成为稀缺资源,受管制的企业或者部门在生产过程中排放 CO₂ 必须冲销等量的碳排放许可,构成碳排放许可的需求.碳排放许可在供需相等时形成均衡交易价格.在模型中,碳排放许可作为生产要素纳入生产函数,直接影响到机制覆盖行业的生产成本,并通过供需关联、产业关联等经济联系对整个经济系统产生影响.

CGE 模型假设完全信息和完全竞争、均衡状态下碳排放许可的交易价格等于拍卖价格.假定 CP 为碳排放许可的拍卖价格, CIN 为全国碳排放强度控制目标. j 表示行业,共有 K 个行业, ei 代表机制覆盖行业. E_j 为 j 行业实际排放量, P_j 为 j 行业产品的生产者价格, Q_j 为 j 行业的产出, VAD_j 为 j 行业的增加值. OC_{ei} 代表生产 Q_{ei} 单位产品的非碳排放成本, CB_{ei} 为 ei 行业单位增加值可以免费获得的碳排放许可数量, $CB_{ei} \times VAD_{r_{ei}}$ 表示 ei 行业获得免费发放许可总量,则有

$$P_{ei} Q_{ei} = OC_{ei} + CP(E_{ei} - CB_{ei} VAD_{ei}) \quad (1)$$

$$\sum_{r=1}^N \sum_{j=1}^K E_j = CIN \sum_{i=1}^N VAD_i \quad (2)$$

式(1)为碳排放许可的需求方程,机制覆盖行业 ei 需要冲销的碳排放许可数量为 E_{ei} ,免费获得的碳排放许可数量为 $CB_{ei} VAD_{ei}$,需要购买($E_{ei} - CB_{ei} VAD_{ei} \geq 0$)或可以卖出($E_{ei} - CB_{ei} VAD_{ei} < 0$)碳排放许可数量为 $|E_{ei} - CB_{ei} VAD_{ei}|$.这一方程也为机制覆盖行业的生产函数,表示机制覆盖行业的生产者价格会随着碳排放许可的成本上涨而上涨.式(2)用来控制全国碳排放强度目标,为碳排放交易机制设定了排放上限,也即碳排放许可的供给方程.完全拍卖时 $CB_{ei} = 0$.

2 基准情景

2.1 情景设计

基准情景(baseline)的设计主要包括未来经济增长趋势的展望、消费价格指数、能源价格以及能源技术进步带来的能源效率提高等.

经济增长趋势:2007 - 2011 年 GDP 增长率为实际值,2012 - 2020 年 GDP 年均增长率参考国家“十二五”规划目标,国务院发展研究中心^[21]以及 EIA^[22]等设定(见表 1).政府和居民消费价格指数 2007 - 2011 年参考 CPI 的实际值设定,2012 - 2020 年根据近 20 年的历史数据设定(见表 1).

表1 不同年份 GDP 增长率和 CPI 设定

Table 1 GDP growth rate and CPI in different years

年份	2012 - 2013	2014 - 2015	2016 - 2017	2018 - 2020
GDP 增长率(%)	7.5	7	6.5	6
CPI	102	102	101	101

能源价格 随着政府放宽煤炭价格管制,煤炭价格逐渐市场化,在模型中煤炭价格为内生。成品油和天然气价格由政府定价,由于石油的对外依存度达到 50%,石油和天然气价格与国际市场的差距将逐渐缩小。假设国内油气价格变化趋势与国际市场趋势相似,参考能源产品国际市场价格的研究^[23-24] 外生给出石油和天然气价格的变化趋势。

能源利用效率提高率 作者与国家发改委能源研究所合作,以 AIM 模型得出的分部门自动能效提高系数(AEEI)为基础,参考国家发改委发布的《节能中长期专项规划》目标,假设 2020 年中国主要高耗能产品能耗水平接近或达到当前世界先进水平,设定各部门的能源利用效率年均提高率 a 见表 2。

表2 各部门能源利用效率年均提高率

Table 2 Annual increase rate of energy efficiency in different sectors

行业	a	行业	a	行业	a
农业	0.025	印刷文教体育用品制造业	0.015	普通机械、专用设备制造业	0.002
煤炭开采和洗选业	0.006	石油及核燃料加工业	0.006	交通运输设备制造业	0.002
石油开采业	0.006	炼焦业	0.013	电机、电子通信设备制造业	0.002
天然气开采业	0.006	化学原料及制品制造业	0.019	仪器仪表文化办公用机械	0.002
黑色金属矿采选业	0.006	医药制造业	0.015	其他工业	0.013
有色金属矿采选业	0.006	化学纤维制造业	0.015	火电生产供应业	0.025
其他矿采选业	0.006	橡胶塑料制品业	0.015	其他电力生产供应业	0.025
食品饮料加工制造业	0.015	水泥、石灰和石膏制造业	0.015	热力生产供应业	0.025
烟草制品业	0.015	玻璃及玻璃制品制造业	0.015	燃气生产和供应业	0.016
纺织业	0.032	其他非金属矿物制品业	0.015	水的生产和供应业	0.015

资料来源:石敏俊,周晟吕. 低碳技术发展对中国实现减排目标的作用. 管理评论 2010 年,第 6 期,48 - 53 页.

2.2 基准情景的模拟结果

模拟结果显示 2020 年全国 GDP(2007 年价格)将达到 68.77 万亿元,第 1 产业、第 2 产业和第 3 产业所占比例将分别为 7.62%、49.34% 和 43.04%。随着时间的推移,消费占 GDP 的比例从 2007 年的 48.5% 增加到 2020 年的 60.6%。净出口比例逐渐下降,2020 年净出口为 1.32 万亿元,占 GDP 的比例为 1.9%。2020 年全国能源消费量预期达到 47.61 亿吨标煤,GDP 消耗的能源为 0.6923 吨标煤/万元,相对 2005 年下降 30.47%。

2020 年全国 CO₂ 排放总量将达到 103.93 亿吨,GDP 的 CO₂ 排放强度为 1.51 吨/万元,与 2005 年碳排放强度相比,降低了 30.85%。可见,基准情景不能达到我国 2020 年的减排目标,需要考虑进一步的减排政策,以确保减排目标的实现。

3 政策情景设计

3.1 单一碳税情景(TS)

碳税情景主要涉及到碳税的征收范围和征收方式、碳税的开征时间、碳税税率以及碳税收入应该如何使用等问题。

碳税的征税范围 《京都议定书》涉及到的温室气体有 6 种。由于我国 CO₂ 排放占温室气体排放的比重接近 80%,而化石燃料燃烧产生的 CO₂ 排放占到了 CO₂ 排放总量的 90%,化石燃料燃烧产生的 CO₂ 的排放相对集中和易于计量,因此在碳税开征之初主要是针对化石燃料燃烧产生的 CO₂ 排放征收碳税。

碳税的征收方式 从生产环节征税则利于税收的征管和从源头控制,本文采用对生产环节征税的方式,针对煤炭、石油天然气的开采及加工精炼行业征收碳税,采取从量计税的方式。由于实际的CO₂排放很难直接监测,通常采取估算的方式,以化石燃料的CO₂排放系数作为排放量估算依据。

碳税的开征时间 根据“巴厘岛路线图”达成的协议,2012年后要求发展中国家采取可测量、可报告、可核实的适当减排行动。从国内情况来看,开征碳税存在着和其它相关化石能源税种相协调的问题,应该抓住我国费改税和资源税改革的契机。因此,2013年是较为合适的开征时间,每年保持相同税率。

碳税税率与收入使用 考虑到实施碳税可能对中国企业造成的负担以及对中国产品国际竞争力等影响,碳税实施之初税率水平不宜过高。参考国际市场上CDM平均价格从2004年的3.1欧元到14.8欧元,本文设置40元/吨CO₂的税率水平进行模拟。

碳税收入使用 保持税收中性,并将碳税用于降低企业间接税。

3.2 单一碳排放交易机制情景(CS)

碳排放交易机制情景主要涉及碳交易机制开始实施的时间、全国的减排目标与路径、机制覆盖范围、碳排放许可的初始分配方式以及碳排放许可拍卖收入的使用等问题。

碳排放交易机制的实施时间 2010年10月《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》提出要建立和完善主要污染物和碳排放交易制度。“十二五规划”也表示提出“逐步建立碳排放交易市场”,并首次以政策文件形式为“碳排放交易”给出明确的实施时间。2011年4月国家发改委官员表示,将在北京、重庆、上海、天津、湖北和广东展开碳交易试点,希望能在2013年前开展碳交易试点,2015年扩大到全国范围。本文设定的碳交易开始实施时间为2013年。

减排目标与路径 我国提出的减排目标为2020年碳排放强度比2005年降低40%—45%。根据十二五规划,未来5年内单位GDP能耗需降低

16%,单位GDP的CO₂排放量需降低17%。本文设定的减排目标为2015年碳排放强度比2010年降低17%,2020年碳排放强度比2005年降低40%。考虑到减排难度将会越来越大,本文设定的减排路径为碳排放强度逐年降低率相同,也即:2013—2015年间碳排放强度降低率相同,以达到2015年减排目标;2016—2020年间碳排放强度降低率相同,以达到2020年减排目标。

机制覆盖范围 主要包括参与交易的温室气体、行业和区域3个方面。本文设定的碳排放交易机制主要覆盖化石燃料燃烧产生的CO₂排放。与征收碳税相比,碳排放交易机制覆盖到排放源,碳排放量MRV的要求较高。考虑到MRV成本问题,碳排放交易机制的覆盖范围通常是排放量大而集中、MRV成本较低的行业。本文设定的机制覆盖行业为:火力发电供应业、热力生产供应业、黑色金属冶炼压延加工业、非金属制造业(主要为水泥、石灰和石膏制造业)、化学原料及制品制造业等5个行业,这5个行业的排放量占排放总量的72.4%。覆盖区域为全国。

碳排放许可的初始分配方式 碳排放许可的初始分配方式主要有3种:拍卖、免费发放和收费制。免费发放的分配方式需要确定免费发放的标准,目前主要有祖父制、产出为基础的分配方式、基准等。有学者^[25-27]认为拍卖并将收入用于再循环方式的效率较高。本文采取拍卖方式并将拍卖收入用于再循环。

碳排放许可拍卖收入用途 考虑到碳排放交易机制只是覆盖部分行业,这些行业受到的冲击较大,从公平角度考虑,将碳排放许可拍卖收入用于降低机制覆盖行业的间接税,以减小机制覆盖行业受到的负面影响。

3.3 复合政策情景(CTS)

复合政策情景为碳排放交易机制与适度碳税相结合。碳税从源头征收,也即化石能源的生产端征收,税率为20元/吨CO₂,开始征收时间为2013年。由于税率相对较低,对居民、企业的影响相对较小,碳税税收作为政府收入使用。

碳排放交易机制的实施时间、覆盖范围、减排目标的设定与前述的单一碳排放交易机制情

景相同. 由于在实施排放交易机制的同时征收碳税, 在减排任务目标设置较低的某些年份, 单一碳税可能就可以完成减排任务, 此时碳排放许可的稀缺性就难以保证. 如果不设定碳排放许可价格的下限, 模型内生得出的碳排放许可价格可能为负值, 与现实不符. 因此, 本文设定碳排放许可价格的下限为零, 此时碳税的作用可能会超额完成减排任务, 使得原先设定的减排路径发生一定的偏离.

4 政策模拟结果

4.1 不同减排政策情景的减排效果

从 2020 年的碳排放强度看: TS 情景相对 2005 年下降 35.33%, 未能实现我国 2020 年的减排目标; 而 CS 和 CTS 情景均实现了相对 2005 年下降 40% 的目标(表 3). 从时间发展看, 3 种政策

情景下 CO₂ 减排率均逐步上升(图 2). 2013 - 2020 年, TS、CS、CTS 的累计减排量分别为 47.5 亿吨、65.5 亿吨和 66.4 亿吨. 2015 年前, TS 情景下相对于基准情景的 CO₂ 减排量较大; 2015 年后, TS 情景下相对于基准情景的 CO₂ 减排率低于 CS 和 CTS 情景. CS 和 CTS 情景下碳强度减排路径基本相同, 但 CTS 情景下由于征收 20 元 / 吨 CO₂ 的碳税, 2013 年的碳排放强度比预先设定的目标值低 1%, 此时内生的碳排放许可交易价格下限为零(表 6), 导致 CTS 情景下累计减排量略高于 CS 情景. 2014 年后, CTS 和 CS 情景下碳排放强度相同, 相对于基准情景的 CO₂ 减排率也非常接近.

2020 年, TS 情景下 CO₂ 排放量最高, CS 与 CTS 情景基本持平(表 3). CTS 情景下能源消费总量和能源消费强度最低, 其次为 CS 情景, TS 情景最高. CS 情景下非化石能源发电比例最高, 其次为 CTS 情景, TS 情景最低.

表 3 不同情景下 2020 年 CO₂ 排放和能源消费

Table 3 Carbon emission and energy consumption in different scenarios in 2020

情景	CO ₂ 排放量 /Gt	CO ₂ 排放强度相对 2005 年下降率(%)	能源消费总量 /Gtce	能源消费强度相对 2005 年下降率(%)	非化石能源发电比例(%)
baseline	10.39	30.85	4.76	30.47	23.18
TS	9.70	35.33	4.48	34.41	24.33
CS	8.96	40.00	4.30	36.80	39.22
CTS	8.97	40.00	4.29	36.94	37.61

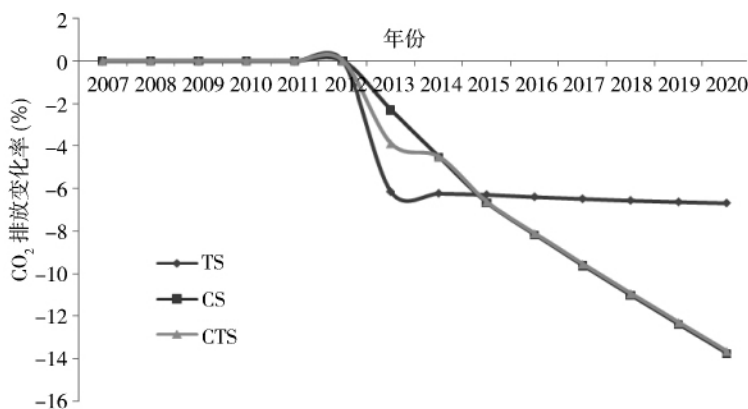


图 2 不同减排政策情景下相对于基准情景的 CO₂ 排放变化率

Fig.2 CO₂ change rate compared to baseline

从行业减排贡献看, 单一碳排放交易机制情景(CS) 下机制覆盖行业的减排贡献率均大

于 100%, 主要是由火力发电部门贡献的; 非机制覆盖行业的减排贡献为负值, 出现了不减反

增的情形,居民的减排贡献率也不到1%(表4)。这主要是由于碳排放交易机制只覆盖部分行业,如果仅靠碳排放交易机制达到特定的减排目标,将使得机制覆盖行业承担的减排压力过大。相对而言,在碳排放交易机制的基础上增

加小额碳税的复合政策情景(CTS)下,机制覆盖行业的减排压力大大减低,非机制覆盖行业的CO₂排放不减反增的情形也得以改观,在初始期承担一定的减排责任,居民的减排贡献也比CS情景有所提高。

表4 不同减排政策情景下主要产业部门和居民的减排贡献率

Table 4 CO₂ reduction contribution of major industries and households in different scenarios

减排主体		减排贡献率(%)							
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
机制覆盖行业	TS	67.1	50.0	66.1	64.6	69.1	76.1	75.8	75.4
	CS	107.9	107.7	107.5	107.1	106.7	106.2	105.8	105.3
	CTS	73.3	83.9	91.4	93.9	95.5	96.5	97.2	97.6
非机制覆盖行业	TS	16.1	16.0	16.0	16.1	16.1	16.2	16.3	16.5
	CS	-8.3	-8.3	-8.1	-7.7	-7.4	-7.0	-6.6	-6.2
	CTS	18.8	9.9	4.1	2.1	0.9	0.1	-0.4	-0.7
火力发电	TS	47.6	47.9	48.0	48.3	48.5	48.5	48.4	48.1
	CS	96.6	101.5	104.9	106.8	108.0	108.9	109.4	109.7
	CTS	46.6	60.7	75.0	81.6	86.3	89.8	92.4	94.5
居民	TS	7.9	8.2	8.6	8.9	9.2	9.6	9.9	10.3
	CS	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9
	CTS	8.0	6.2	4.6	4.0	3.6	3.4	3.2	3.1

4.2 不同减排政策情景的经济影响

图3为3种情景下相对于基准情景的GDP变化率。2013-2014年间,TS情景下实现的减排量最大,GDP损失率也最高。2015年后,TS情景下GDP损失率较低,但其减排效果最弱,并且不能实现2020年减排目标。CTS情景下GDP损失率低

于CS情景。这是因为,CTS情景在CS情景的基础上征收20元/吨CO₂的碳税,使得居民和非机制覆盖行业也承担一定的减排义务,减排成本有所降低。可见,相对于单一的碳排放交易机制情景,碳交易与碳税相结合的复合政策情景可以以较低的减排成本收到相同的减排效果。

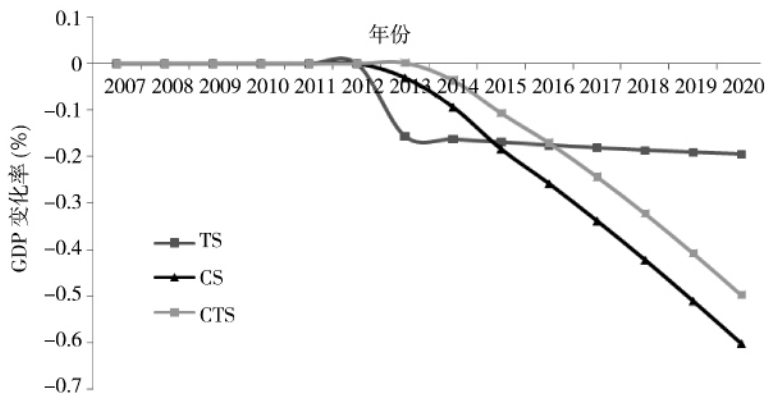


图3 不同减排政策情景下相对基准情景的GDP变化率

Fig. 3 GDP change rate in different scenarios compared to baseline

实施减排政策会推动企业和居民使用低碳能源或低碳商品替代高碳能源或高碳产品,使用

非管制行业的产品替代管制行业的产品,并通过复杂的供需关联对整个经济系统产生影响. TS 情景下,能源开采部门尤其是煤炭开采和洗选业、炼焦业受到的冲击较大,此外,高排放行业(主要是火力发电)受到的冲击也较大(表 5). 相对于 TS 情景,CS 情景下碳排放交易机制覆盖行业受到的冲击过大,煤电和热力供应的产出将分别下降 44.15% 和 39.30%. 在机制覆盖行业内部,碳排放交易机制会促使能源结构转换,低碳能源替代煤电. 相对于 CS 情景,CTS 情景下碳排放交易机制覆盖行业受到的冲击程度减缓,但能源开采部门受到的冲击有所增加,这是因为碳税从化石能源生产部门征收,使得一些分散的排放源也承担了一定的减排义务.

4.3 减排成本

碳减排成本的测算方法主要有两种:一是根据既定的外生目标内生出碳排放许可的影子价格,该影子价格即为达到特定减排目标的单位 CO₂ 减排成本;二是用减排带来 GDP 损失除以 CO₂ 减排量,也即单位 CO₂ 减排引起的 GDP 损失量作为单位 CO₂ 减排成本.

按碳排放许可影子价格计算,CS 情景下的减排成本整体上高于 CTS,成本至少高 60 元 / 吨 CO₂. 即使考虑到 CTS 情景下征收了 20 元 / 吨 CO₂ 的碳税,CS 情景的减排成本仍高于 CTS 情景. TS 情景的减排成本最低,为 40 元 / 吨 CO₂,但累计减排量最小,且不能实现 2020 减排目标.

从单位 CO₂ 减排引起的 GDP 损失来看,2013 - 2017 年间,CTS 情景下的减排成本最低,尤其是 2013 年的减排成本为负,也就是说可以获得一定的减排收益. 这是因为征收适度碳税(20 元 / 吨 CO₂) 的税收收入用于经济系统再循环,产生了双重红利. 2018 - 2020 年间,TS 情景下的减排成本最低,但累计减排量也低. CTS 情景下的减排成本均低于 TS 情景,两者的差距以 2020 年最小,为 48.63 元 / 吨 CO₂,2013 年最大,为 75.58 元 / 吨 CO₂. 值得注意的是,CS 和 CTS 情景下,按照单位 CO₂ 减排引起的 GDP 损失测算的减排成本和碳排放许可的影子价格非常接近(见表 6).

表 5 2020 年不同减排政策情景下主要产业部门产量相对于基准情景的变化率(%)

Table 5 Output change rate in different scenarios compared to baseline in 2020 (%)

产业部门	相对于基准情景的变化率(%)			
	TS	CS	CTS	
煤炭开采和洗选业	-11.74	-9.20	-12.52	
石油开采业	0.43	0.71	0.68	
天然气开采业	-1.86	-2.19	-2.71	
黑色金属矿采选业	-0.76	-1.89	-1.68	
有色金属矿采选业	-0.26	-2.69	-2.30	
其他矿采选业	-0.31	0.12	0.02	
食品饮料加工制造业	-0.04	-0.27	-0.25	
烟草制品业	0.57	-0.50	-0.47	
石油及核燃料加工业	0.44	2.16	1.70	
炼焦业	-7.20	1.45	-2.42	
化学原料及制品制造业	-0.74	2.45	1.87	
橡胶制品业、塑料制品业	-0.07	-0.48	-0.44	
水泥、石灰和石膏制造业	-0.09	-0.10	-0.11	
玻璃及玻璃制品制造业	-0.22	-1.06	-1.05	
其他非金属矿物制品业	-0.50	-0.64	-0.73	
黑色金属冶炼压延加工业	-0.67	-0.23	-0.37	
有色金属冶炼压延加工业	-0.06	-2.34	-2.00	
金属制品业	-0.31	-1.32	-1.21	
普通机械、专用设备制造业	-0.44	-0.84	-0.84	
交通运输设备制造业	-0.12	-0.62	-0.57	
电气机械及器材与电子及通信设备制造业	0.49	-2.16	-1.82	
仪器仪表文化办公用机械制造业	0.65	-1.02	-0.90	
电力	-0.15	-12.22	-9.73	
其中	煤炭	-2.59	-44.15	-35.83
	石油	23.07	193.64	159.00
	天然气	4.34	19.35	15.67
	水力	2.56	32.20	26.58
	核能	1.66	20.91	17.27
	风能	1.42	17.86	14.75
	生物质	1.51	19.06	15.74
	太阳能	0.52	6.61	5.45
热力生产供应业	-0.19	-39.30	-33.29	
燃气生产和供应业	-1.06	1.87	0.81	

表6 不同政策情景的减排成本
Table 6 Carbon reduction cost in different scenarios

年份		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
碳排放许可影子价格 / $\text{¥} \cdot \text{tCO}_2^{-1}$	CS	61.31	120.85	177.4	209.65	237.57	261.36	282.09	300.12
	CTS	0.00	32.56	92.09	128.91	161.76	190.65	216.47	239.52
CO ₂ 减排引起的 GDP 损失 / $\text{¥} \cdot \text{tCO}_2^{-1}$	TS	140.77	148.45	156.3	163.62	171.06	178.47	185.77	192.94
	CS	73.6	117.67	160.14	188.29	215.08	240.71	265.63	289.61
	CTS	-1.98	45.48	93.29	125.36	155.96	185.19	213.6	240.98

5 结束语

本文基于动态 CGE 模型构建了中国能源 - 经济 - 环境政策模型, 分析比较了碳税和碳排放交易机制的减排效果、经济影响和减排成本。本文发现, 基准情景下 2020 年我国碳排放强度可比 2005 年下降 30.85%, 难以实现预定的减排目标, 需要采取进一步的减排措施。然而, 单一的碳税或碳排放交易机制均难以收到预期的效果。征收碳税虽然简单易行, GDP 损失也相对较小, 但减排效果最小, 且不确定性较大, 依靠单一的碳税政策难以确保减排目标的实现。碳排放交易机制可以确保特定减排目标的实现, 但对于碳减排量的 MRV 要求较高, 监测、核查等实施成本较高, 适用于排放量较大、排放源较为集中的行业, 以及分散的排放源。另一方面如果依靠单一的碳排放交易机制来达到减排目标, 机制覆盖行业承担的减排压力过大, 对经济增长的负面影响较大。碳税与碳排放交易相结合, 在实施碳排放交易的同时征收适度碳税的复合政策, 可以确保特定减排目标的实现, 同时使分散的排放源也承担一定的减排义务, 降低机制覆盖行业的减排压力和减排成本, 是较优的政策选择。

本文的研究结果表明, 碳税和碳排放交易机制各有千秋, 可以相互补充。为确保 2020 年减排目标的实现, 我国应采用碳税与碳排放交易机制

相结合的节能减排政策, 碳排放交易机制采取“抓大放小”的方针, 对于钢铁、有色、建材、石油加工、化工和火力发电等排放源集中的行业, 实施碳排放交易机制, 控制其排放总量, 与此同时对于排放源分散的行业征收适度碳税, 使其承担一定的减排义务。

由于依赖行政手段推进节能减排难以调动经济主体的减排积极性, 我国需要充分发挥基于市场机制的节能减排政策的作用, 本文的研究结果可以为我国的减排政策制定提供一定的理论支撑。但是减排政策制定是个系统工程, 需要考虑多方面的影响, 包括政策制定与执行成本、可行性与可操作性、实施时机选择、利益相关方的博弈等, 本文的研究工作仅是宏观尺度上的政策模拟, 减排政策制定还需要各方面的研究相互补充。本文的政策模拟研究也需要进一步加以完善和改进。一是如何考虑区域差异的影响。我国经济发展的区域差异巨大, 减排政策需要兼顾区域经济协调的目标, 政策模拟需要考虑基于区域差异的碳排放许可分配等问题。二是如何考虑实施时机的选择。减排政策的完善需要经历一个过程, 我国也有可能先实施单一的碳税或单一的碳排放交易, 积累经验之后再根据减排形势需要, 逐步引入碳税与碳排放交易相结合的复合减排政策, 政策模拟需要考虑究竟是先实施碳排放交易, 还是先征收碳税, 什么条件下可以引入复合政策等问题。

参考文献:

- [1] Weitzman M L. Prices vs. Quantities [J]. Review of Economic Studies, 1974, 41(4): 477-491.
[2] Metcalf E G. Designing a carbon tax to reduce U. S. greenhouse gas emissions [J]. Review of Environmental Economics and Policy, 2009, 3(1): 63-83.

- [3] Avi-Yonah S R, Uhlmann D M. Combating global climate change: Why a carbon tax is a better response to global warming than cap and trade [J]. *Stanford Environmental Law Journal*, 2009, 28(3): 3-50.
- [4] Wittneben B F. Exxon is right: Let us re-examine our choice for a cap-and-trade system over a carbon tax [J]. *Energy Policy*, 2009, 37(6): 2462-2464.
- [5] Mann F R. The case for the carbon tax: How to overcome politics and find our green destiny [J]. *Environmental Law Reporter*, 2009, 39(2): 10118-10126.
- [6] Stavins R N. Addressing climate change with a comprehensive US cap-and-trade system [J]. *Oxford Review of Economic Policy*, 2008, 24(2): 298-321.
- [7] Murray B C, Richard G N, William A P. Balancing cost and emissions certainty: An allowance reserve for cap-and-trade [J]. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2009, 3(1): 84-103.
- [8] Keohane N O. Cap-and-trade, rehabilitated: Using tradable permits to control U. S. greenhouse gases [J]. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2009, 3(1): 42-62.
- [9] Marshall C. Economic Instruments and the Business Use of Energy [R]. Report to Chancellor of the Exchequer, Nov. 1998. H. M. Treasury, London.
- [10] Mandell S. Optimal mix of emissions taxes and cap-and-trade [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2008, 56(2): 131-140.
- [11] MacKenzie I A, Ohndorf M. Cap and trade, taxes and distributional conflict [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2012, 63(1): 51-65.
- [12] 袁永娜, 周晟吕, 李娜, 等. 欧盟配额交易计划解析与启示 [J]. *环境经济与政策*, 2011, (2): 131-145.
Yuan Yongna, Zhou Shenglü, Li Na, et al. Analysis on and revelations from the design of european emission trading scheme [J]. *Environmental Economics and Policy*, 2011, (2): 131-145. (in Chinese)
- [13] Zhang Z. Macroeconomic effects of CO₂ emission limits: A computable general equilibrium analysis for China [J]. *Journal of Policy Modeling*, 1998, 20(2): 213-250.
- [14] 苏明, 傅志华, 王志刚, 等. 中国开征碳税的政策后果预测 [J]. *环境经济*, 2011, (4): 24-33.
Su Ming, Fu Zhihua, Wang Zhigang, et al. Consequence forecast of carbon tax in China [J]. *Environmental Economy*, 2011, (4): 24-33. (in Chinese)
- [15] 曹静. 走低碳发展之路: 中国碳税政策的设计及 CGE 模型分析 [J]. *金融研究*, 2009, (12): 19-29.
Cao Jing. Low carbon development road: Policy design and CGE analysis of carbon tax [J]. *Finance Research*, 2009, (12): 19-29. (in Chinese)
- [16] 周晟吕, 石敏俊, 李娜, 等. 碳税政策的减排效果与经济影响 [J]. *气候变化研究进展*, 2011, 7(3): 210-216.
Zhou Shenglü, Shi Minjun, Li Na, et al. Impacts of carbon tax policy on CO₂ mitigation and economic growth in China [J]. *Advances in Climate Change*, 2011, 7(3): 210-216. (in Chinese)
- [17] 袁永娜, 石敏俊, 李娜, 等. 碳排放许可的强度分配标准与中国区域经济协调发展: 基于 30 省区 CGE 模型的分析 [J]. *气候变化研究进展*, 2012, 8(1): 60-67.
Yuan Yongna, Shi Minjun, Li Na, et al. Intensity allocation criteria of carbon emission permits and China's regional development: Based on a 30-province/autonomous region computable general equilibrium model analysis [J]. *Advances in Climate Change*, 2012, 8(1): 60-67. (in Chinese)
- [18] 曾鸣, 杨玲玲, 马向春, 等. 碳税与碳交易在中国电力行业的适用性分析 [J]. *陕西电力*, 2010, (09): 10-13.
Zeng Ming, Yang Lingling, Ma Xiangchun, et al. Adaptability analysis of carbon tax and carbon trading in China's power industry [J]. *Shanxi Electric Power*, 2010, (09): 10-13. (in Chinese)
- [19] 付强, 黄毅. 应对气候变化的政策选择: 碳税还是碳排放交易? [J]. *金融教学与研究*, 2010, (6): 22-25.
Fu Qing, Huang Yi. Emission reduction policy choices: Carbon tax or carbon trading? [J]. *Finance Education and Research*, 2010, (6): 22-25. (in Chinese)
- [20] 许光. 碳税与碳交易在中国环境规制中的比较及运用 [J]. *北方经济*, 2011, (06): 3-4.
Xu Guang. Regulation comparative analysis and application of carbon tax and carbon trading in China [J]. *Northern Economy*, 2011, (06): 3-4. (in Chinese)

- [21] 国务院发展研究中心课题组. 中国经济增长的前景分析[J]. 决策与信息, 2005, (8): 4-4.
A research group of development research center of the state council. Analysis of China's economic growth prospects [J]. Decision and Information, 2005, (8): 4-4. (in Chinese)
- [22] EIA. International Energy Outlook 2009 [R/OL]. [2009-5] [2009-12-10], <http://www.eia.gov/forecasts/archive/ieo09/index.html>.
- [23] IEA. World Energy Outlook 2009 [R/OL]. [2009-10] [2010-2-2] <http://www.worldenergyoutlook.org/media/weo-website/2009/WEO2009.pdf>.
- [24] Kitous A, Criqui P, Belleprat E, et al. Transformation patterns of the worldwide energy system—scenarios for the century with the POLES model [J]. Energy Journal, 2010, 31(S1): 49-82.
- [25] Jensen J, Rasmussen T N. Allocation of CO₂ emissions permits: A general equilibrium analysis of policy instruments [J]. Journal of Environmental Economics and Management, Elsevier, 2000, 40(2): 111-136.
- [26] Edwards T H, Hutton J P. Allocation of carbon permits within a country: A general equilibrium analysis of the United Kingdom [J]. Energy Economics, 2001, 23(4): 371-386.
- [27] Fischer C, Alan K F. Output-based allocation of emissions permits for mitigating tax and trade interactions [J]. Land Economics, 2007, 83(4): 575-599.

Carbon tax, cap-and-trade or mixed policy: Which is better for carbon mitigation?

SHI Min-jun^{1 2 3}, YUAN Yong-na^{2 3}, ZHOU Sheng-lü⁴, LI Na^{2 3}

1. School of Resources and Environmental Management, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China;
2. School of Management, University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China;
3. Research Centre on Fictitious Economy and Data Science, Chinese Academy of Science, Beijing 100190, China;
4. Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China

Abstract: This paper developed a China energy-economic-environmental policy model based on a dynamic CGE model, designed a carbon tax scenario, a cap-and-trade scenario and a policy mix scenario, and simulated the economic and mitigation effects under different scenarios. The results show that only carbon tax policy cannot realize the 2020 mitigation target. Only cap-and-trade will cause high mitigation costs and tremendous mitigation pressure to regulated sectors. Combination of cap-and-trade with a low carbon tax can realize the 2020 mitigation target with modest mitigation costs and mitigation pressures for regulated sectors. Meanwhile, the dispersed emitter will also bear mitigation commitments at a certain extent. The results of this paper suggest a mixed policy combining cap-and-trade with a low carbon tax as the first choice for carbon mitigation policy in China.

Key words: carbon mitigation policy; carbon tax; cap-and-trade; mixed policy of carbon tax and cap-and-trade; dynamic CGE model; China energy-economic-environmental policy model