

政策协同对中国国家自主 贡献目标的影响评估

段宏波 杨建龙*

摘要:中国国家自主贡献方案中设定了到 2030 年碳排放达峰和非化石能源消费比重达到 20% 的目标,而政策组合对实现这些目标至关重要。本文通过发展我国能源-经济-环境系统集成模型,分析了国家提出的 2030 年碳排放达峰和非化石能源发展目标两者间的潜在交互关系,重点研究碳定价和能源补贴政策的组合优化对两个目标如期达成的影响机制,并考察政策选择对相应政策成本的影响。研究发现,对不同的目标而言,碳定价和非化石能源补贴政策的作用效果存在显著差异;非化石能源比例和碳排放达峰两大目标的实现过程可能是冲突或协同的,依赖于政策组合的优化和选择;政策选择显著影响达成既定 INDC 目标的政策成本,引入适度补贴的组合政策可以大幅降低由碳税政策实施所引起的经济损失。基于此,政策制定者应尽量避免决策的短视化;在实行政策时尽量多打“组合拳”,以碳定价政策为主,补贴政策为辅;此外,还应把握好全国统一碳排放权交易市场带来的排放控制机遇,充分发挥其与可再生能源补贴政策体系的协同效应,服务于 INDC 目标的顺利达成。

关键词:系统集成建模;碳排放达峰;非化石能源发展;政策目标关系;政策优化

一、引言及文献综述

早在《巴黎协定》正式生效之前,中国就已形成了应对全球气候变化挑战的“国家自主贡献(INDC)”方案,设定了具体的能源与气候政策目标,即:承诺到 2030 年实现二氧化碳排放达峰,同时非化石能源占一次能源消费的比重达到 20%。事实上,当前距离目标年份尚有较长时期,而具体政策目标能否顺利实现将受到诸多不确定因素的影响,这里的不确定性除了宏观经济发展、技术内在演变规律等客观因素外,更多地体现在能源与气候应对策略等主观

*段宏波,中国科学院大学经济与管理学院,邮政编码:100190,电子信箱:duanhong320@163.com;杨建龙,国务院发展研究中心产业经济研究部,邮政编码:100010。

本文系国家自然科学基金项目“能源经济环境集成系统中的多重内生技术演化建模与政策优化设计”(71503242)的阶段性成果。感谢匿名审稿专家的修改意见,文责自负。

政策方面(刘笑萍等,2009)。具体地,在较为严格排放控制政策的作用之下,这一减排目标实现的可能性将显著提高,总的碳排放达峰的年份甚至可以提前到2020-2025年(姜克隽等,2016;Green & Stern,2017);而当采取常规的控排努力时,我国的CO₂排放在2030年如期达峰的难度将明显增加(何建坤,2013;清华大学,2014),即使引入一定的气候政策,中国碳排放达峰的时间仍可能晚于既定的目标节点(Tavoni et al., 2014)。由此可见,讨论我国具体INDC目标达成可能性,实际很大程度上就是讨论未来可能的政策选项和潜在应对策略。除此之外,对多重政策目标而言,政策体系的合理设计和优化选择事关政策协同效应的发挥,而后者可以大幅节约总的政策成本(McCollum et al., 2011; Jewell et al., 2016)。

政策之于具体能源和减排目标的重要性已引起了国内外学者的广泛兴趣,特别是基于政策选择的情景分析以及相应的政策成本评估(Duan et al., 2013; 张小锋、张斌,2016)。何建坤(2013)建立了我国CO₂排放如期达峰的低碳情景指标体系,给出了实现碳排放达峰目标的两个必要条件,即单位GDP的CO₂排放强度的年递减率要高于GDP的年增长率,且单位能源消耗的CO₂排放强度的年下降率要大于能源消费的年增长率。事实上,具体的政策情景包括诸多关键因素的设置,包括经济转型、能效改进、核电和可再生能源等非化石能源技术发展、碳捕获与封存(CCS)技术扩散,以及低碳生活方式的转变等,而在积极的组合政策作用下,我国能源活动相关的碳排放可以在2025年之前,甚至更早达到峰值(姜克隽等,2016)。总体上看,当前的减排努力程度不足以保证2030年碳排放达峰和非化石能源20%的发展目标的实现,未来进一步引入能效改进、可再生能源激励以及减碳等强化政策十分必要(Green & Stern, 2017)。同时,Elzen等(2016)研究发现:只有当碳排放的峰值水平为131~137亿吨CO₂当量时,才有可能实现我国2030年总碳排放达峰的目标,而达到不同的排放峰值水平也与具体强化政策的选择紧密相关。马丁和陈文颖(2016)指出我国总体碳排放量的达峰可能依赖于电力、工业和高耗能部门的分阶段排放达峰,因此,制定战略和政策以促进这些行业和部门的供给及需求侧转型非常重要。根据清华大学的测算,对应2030年排放达峰目标的碳定价水平为10~25元/吨,且该碳价将以年均8%的速度递增;此外,政策设计还与减排活动产生的对经济的负面冲击显著相关,实现排放达峰目标的总的GDP损失预估在1%以内(清华大学,2014)。林伯强和李江龙(2015)认为从政策层面看,我国的低碳转型战略应以基于能效改进的节能为主,辅之以清洁技术发展;而在能源结构成功转变之下,碳排放提早达峰将成为自然过程,不会显著抑制宏观经济发展,对应的GDP损失约为0.93%。

政策选择与成本评估研究中讨论的政策多指碳定价政策和非化石能源补贴政策,其也被广泛认为是实现经济脱碳和能源转型的关键依托手段(Duan et al., 2013; Tol, 2014; 鄢哲明等,2017)。就减排而言,碳定价和补贴政策的成本有效性存在显著差异。很多情况下,研发补贴是比碳税更为昂贵的减排手段,尤其在研发的负外部性问题没有被很好解决的情况下;

此时,碳定价政策相对更为成本有效(Goulder & Schneider, 1999)。当然,在政策机制足够灵活时,同等减排约束下,碳定价与补贴组合政策的成本节约效果最为显著(Gerlagh & van der Zwaan, 2006; Duan et al., 2013)。朱永彬等(2010)从行业层面考察了碳税政策对经济的影响,指出碳税实施可以增加政府的收入,并有效降低高碳能源产品的供给和需求,同时对非能源部门也将造成一定的影响。石敏俊等(2013)基于可计算一般均衡模型比较了碳税和碳交易机制在减排效果和政策成本方面的差异,认为两者相结合的手段既能缓解行业减排压力,也能使减排成本适中可控,因而是较优的政策选择。吴力波等(2014)从动态边际减排成本的分析角度肯定了当前阶段采用总量控制和排放交易机制进行减排的合理性,并指出未来有必要将碳税政策引入到政策体系中。此外,碳定价和补贴的实施对技术演变的影响,包括对能效技术、非化石能源技术和 CCS 技术的影响,也是相关政策分析的重要方面(Grimaud et al., 2011; Duan et al., 2013; 段宏波等, 2016)。

从以上文献分析可以看出,总体上,涉及我国 INDC 目标及政策量化设计的国内外相关研究的数量并不多,但各种政策因素与我国能源和碳减排目标的紧密关系已引起了充分的重视。然而,具体政策,例如碳定价和新能源补贴,对不同 INDC 目标的差异化作用,政策组合的选择在既定目标实现过程中所扮演的角色,以及政策协同效应下碳排放达峰和非化石能源比例目标两者间的潜在交互关系等关键问题鲜有研究涉猎和深入讨论。本文的研究正是基于这些关键问题而展开。

二、模型与方法

本文研究主要基于气候变化综合评估方法论展开,依托的具体模型是单区域尺度的能源-经济-环境(3E)系统集成模型 CE3METL。该模型是全球 3E 系统集成模型 E3METL 的中国化版本,而后者是 Duan 等(2013)开发的以政策 Logistic 曲线为技术扩散内核的综合评估模型。E3METL/CE3METL 的特点是创造性地将价格因子融入到描述技术扩散的经典模型 Logistic 曲线中,并将其耦合到传统气候变化综合评估模型(IAM)架构中,用以替换传统刻画能源替代演变的常弹性替代函数方法(CES);同时,还内生考虑了双因素技术学习曲线模型,以更好地描绘多重非化石能源技术的成本下降和技术进步过程。

政策驱动的 Logistic 技术扩散机制是 CE3METL 模型的最大创新,其优势主要体现在两大方面:首先,Logistic 曲线比 CES 方法更加贴合能源技术扩散的内在规律(Romeo, 1977),且融入价格变量的改良使得模拟的技术扩散路径更能体现技术成本的影响,而后者往往是决定技术创新竞争力和市场选择的关键(Mahajan & Peterson, 1978);其次,较之 CES 方法,Logistic 曲线大大简化了 IAM 对多重能源技术的融合机制,任何两种低碳技术间的竞争演变关系均可转化为各自与标杆技术间的替代关系,这种处理一方面可以一定程度降低由 CES 替代弹性估

计所引起的结果不确定性,同时也极大地丰富了 IAM 的能源技术细节 (Duan et al., 2015)。具体而言,记 $C_{coal}(t)$ 和 $C_k(t)$ 分别为煤炭和任一能源技术 k 的单位使用成本,则技术 k 与煤炭间的技术扩散关系可表示为:

$$\frac{d S_k(t)}{d P_k(t)} = \varpi_k S_k(t) \left[\bar{S}_k \left(1 - \sum_{\tau \neq k} S_\tau(t) \right) - S_k(t) \right] \quad (1)$$

这里 ϖ_k 为两种技术间的替代能力参数, \bar{S}_k 为技术 k 的最大市场份额潜力, 一般有, $0 \leq \bar{S}_k < 1$, 而 $P_k(t)$ 表示煤炭与能源技术 k 间的相对成本比率, 即:

$$P_k(t) = \begin{cases} \frac{C_{coal}(t) [1 + ctax_{coal}(t)]}{C_k(t) [1 + ctax_{k \neq coal}(t)]}, k \in I \\ \frac{C_{coal}(t) [1 + ctax_{coal}(t)]}{C_k(t) [1 - rsub_k(t)]}, k \in J \end{cases} \quad (2)$$

其中, I 和 J 分别表示化石能源和非化石能源技术的集合, $rsub_k(t)$ 为非化石能源从价补贴, $ctax_{coal}(t)$ 为对煤炭征收的碳税税率。由此可见, 技术 k 的成本越低, 或煤炭成本越高, 或碳税政策力度越大, 相对成本比率 $P_k(t)$ 越大, 技术 k 越具市场竞争力。事实上, 各种化石燃料所含的碳是同质的, 我们可以根据煤炭的从价税率以及煤炭与石油和天然气含碳量的差异来得到后两种化石燃料的从价碳税税率。具体地, 给定煤炭、石油和天然气的碳排放因子分别为 EMF_{coal} 、 EMF_{oil} 和 EMF_{gas} , 则石油和天然气的碳税税率分别为:

$$ctax_{oil}(t) = \frac{ctax_{coal}(t) C_{coal}(t) EMF_{oil}}{C_{oil}(t) EMF_{coal}} \quad (3)$$

$$ctax_{gas}(t) = \frac{ctax_{coal}(t) C_{coal}(t) EMF_{gas}}{C_{gas}(t) EMF_{coal}} \quad (4)$$

据此, 可以计算得到每吨碳的价格 $Lcarb(t)$ 为:

$$Lcarb(t) = \frac{ctax_k(t) C_k(t)}{EMF_k}, k \in I \quad (5)$$

CE3METL 的第二大特色是全面刻画能源成本动态演变和技术进步的内生双因素学习曲线, 这里的双因素主要指所谓的“干中学”因素 (Learning-by-Doing, LBD) 和“研中学”因素 (Learning-by-Searching, LBS)。前者描述技术生产或消费规模扩大带来经验和知识积累, 继而引起技术成本下降的过程, 后者则度量技术研发 (R&D) 投入所激发的成本下降和技术进步的效果, 这一效果还可以在很大程度上弥补单纯的“干中学”过程中累积的知识“不做便会遗忘”的缺陷 (Barreto & Kypreos, 2004; Duan et al., 2015)。对选择的能源技术 k , 记 $KnowD_k(t)$ 和 $KnowS_k(t)$ 分别为 LBD 和 LBS 过程所累积的知识存量, 则该技术的动态成本演化路径可用下式表示:

$$C_k(t) = \vartheta_k [KnowD_k(t)]^{-rLD_k} [KnowS_k(t)]^{-rLS_k} \quad (6)$$

其中, rLD_k 和 rLS_k 分别表示“干中学”和“研中学”过程的学习率, 参数 ϑ_k 由初始 LBD 和 LBS 知识存量 $KnowD_k(0)$ 和 $KnowS_k(0)$ 共同确定。

基于 E3METL 和 CE3METL 模型, 其他研究主题涉及最优减排政策选择、多重能源技术扩散路径演变、国家尺度的减排政策目标达成可能性的系统评估、碳交易市场的控排效率与宏观成本分析、我国中长期的减排贡献结构等(段宏波、范英, 2017)。关于模型的更多方程和细节表达, 参见附录部分。

三、政策体系设计与基本假设

碳定价机制是国际上广为应用的应对碳减排挑战的政策手段, 也是当前我国实现 2030 年排放达峰目标将重点依托的政策选项。一般而言, 碳定价机制包括碳排放权交易和碳税两种, 前者通过总量控制来实现, 而后者则以价格调整为特征; 而从理论上来看, 均衡的碳交易市场价格与最优碳税水平是等同的, 这意味着在一定的条件下碳税与碳排放交易在减排方面可以达到同等的政策效果(Weitzman, 1973)。基于此, 在本文的模型模拟过程中, 碳排放的控制主要是通过内生碳税的引入来实现的。单纯的减碳政策对新能源技术发展的激励效果十分有限, 尤其在中短期, 此时, 针对性补贴是促进新能源技术市场扩散必不可少的政策选择(Kalkuhl et al., 2012; Duan et al., 2013)。因此, 我们将非化石能源补贴作为继碳税之后的第二类内生变量考虑到模型的优化过程中, 以充分分析政策协调和优化对我国 INDC 目标达成的影响。

内生碳税路径的优化要求设定外生的排放总量限额, 本文选择的排放限额主要以全球 2°C 温控目标下中国可能的排放空间分配方案为参考。具体来看, Raupach 等(2014)给出了 2°C 温控目标下基于公平性、历史排放惯性以及混合原则的世界各主要国家和地区的排放空间分配方案; 就代表性的祖父制原则而言, 中国 2050 年前累积的排放空间约为 1055.5 亿吨碳, 这一结果与丁仲礼等(2009)的估算结果基本一致。为此, 本文将该估算值设定为外生的排放总量限额。

模型优化过程中我们假设碳税收入总是足以补偿补贴成本, 而不同的政策组合选择则通过调整全模拟期(2010–2050 年)累计碳税与补贴的比值来实现。在计算碳税和补贴的累计数值时, 我们根据国际估算惯例, 取贴现率为 5%, 同时也与本文模型的资本折旧率取值保持一致(Duan et al., 2013; Tavoni et al., 2014)。这里的累计碳税是对煤炭、石油和天然气三种化石能源征收的碳税的累计值之和, 而累计补贴则通过加总 CE3METL 所考虑的七种非化石能源技术各自的补贴累计值得来。

四、模拟实施与结果

本节结果分析的主体内容由两部分构成,即基准情景(Business-as-Usual, BAU)下的基本结果与政策情景下的优化结果。这里的基准情景仅延续了“十二五”期间的历史能效改进路径,而不考虑任何碳定价和针对性新能源补贴等政策,该情景下各关键指标结果的合理性是政策优化结果可靠性的保证;政策优化结果主要涉及政策优化选择对2030年碳排放达峰目标和非化石能源发展目标的影响,政策影响下两个目标达成过程中的协调关系,以及政策组合优化对宏观经济政策成本的影响等。

(一) 基准情景下的基本结果

中长期宏观经济、能源消费和碳排放等动态演化情况是对比考察模型合理性的重要方面。模拟结果显示,“十三五”期间我国的宏观经济增速将由“十二五”的8%降至6.5%左右,这使得2010-2020年间的平均经济增速将稳定在7.3%;随着时间的推移,经济增速将逐步下滑,到2020-2030年,年均增速将降到约5.3%,而到本世纪中期,预期的年均经济增长率进一步降至3.4%左右。整体上看,这里给出的经济增长路径略低于国家发改委能源研究所给出的未来我国的经济增长预期(国家发展与改革委员会能源研究所,2009),而高于清华大学的研究结果(清华大学,2014)。从经济总量来看,我国的GDP将由2010年的5.94万亿美元增长至2030年的20.06万亿美元,到2050年,经济总量将增长到2010年的7.2倍多,超过43万亿美元。

表1 基准情景下各关键系统指标数值的动态演变

指标	2010年	2020年	2030年	2040年	2050年
GDP(万亿美元)	5.94	11.95	20.06	30.97	43.27
GDP增速(%)		7.25	5.31	4.44	3.40
能源消费(亿吨标煤)	32.51	44.09	52.98	59.62	62.69
碳排放(亿吨CO ₂)	74.20	98.97	116.18	126.384	126.34

注:经济增速一栏对应2020年、2030年、2040年和2050年各列的数值分别表示2010-2020年、2020-2030年、2030-2040年和2040-2050年各期的年均经济增速。

从表1中的结果可以看出,尽管整个考察期内我国的能源消费总量并未达峰,到2030年和2050年,能源消费总量将分别增至53亿吨和62.7亿吨标准煤,但能源消费增长的速度显著放缓,从“十二五”期间的3.6%降至“十三五”的2.67%,到2030年,这一数值将进一步降至不足1%。此外,基准情景下我国的碳排放路径将呈现出先增后减的态势,排放总量于2040年前后达到峰值,对应的峰值水平约为126亿吨CO₂,这一结果与马丁和陈文颖(2016)、姜克隽等(2016)的研究相一致。

(二) 最优政策选择与排放达峰目标

围绕碳排放达峰和非化石能源发展目标进行政策优化时,实施碳定价政策带来的税收收

入远大于补贴非化石能源技术发展所需的支出,图 1 的结果显示,要实现碳排放于 2030 年达峰的目标,累计碳税与补贴的比值将大于 4。一方面,模型对应现实的设置直接导致了碳定价政策收入大于补贴成本的结果,这意味着系统不需要调用碳定价收入以外的其他资金来填补补贴支出缺口;另一方面,累计碳定价收入与累计补贴支出的比值与 2030 年碳排放达峰目标紧密相关。总体上看,碳定价政策较补贴政策力度越大,碳排放提早达峰的可能性也越大,例如:要使碳排放于 2025 年前后达峰,累积碳定价收入较累计补贴的比值将大于 5.5。从图 1 和图 2 还可以看出,高、低不同的政策组合力度下,碳排放 2030 年达峰的目标均可能实现,而其中的差异主要体现在不同的峰值水平上;一般而言,碳定价政策作用越强,相应的达峰峰值越小。例如:在碳税补贴比值为 4.5 和 5.4 时,碳排放均可在 2030 年左右达到峰值,但对应前者的峰值水平为 103 亿吨 CO₂,而后者则不足 100 亿吨。因此,在实际讨论排放达峰目标的实现情况时,不仅要充分重视政策的优化和选择,还需关注具体峰值水平的差异。

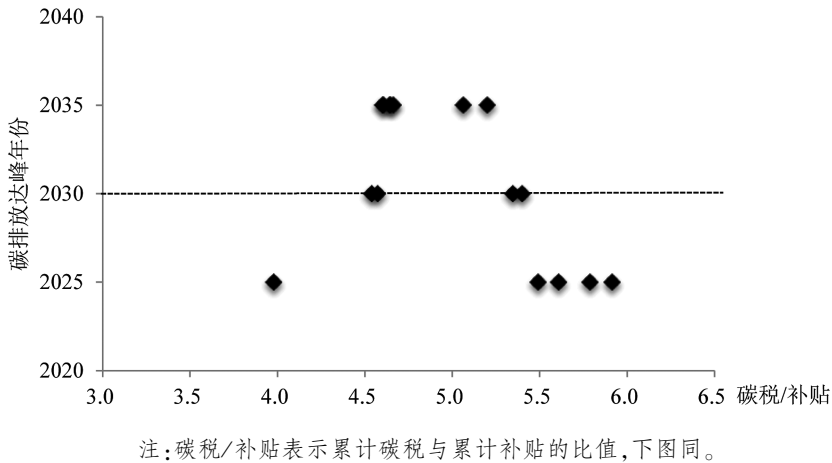


图 1 政策优化选择与碳排放达峰目标间的关系

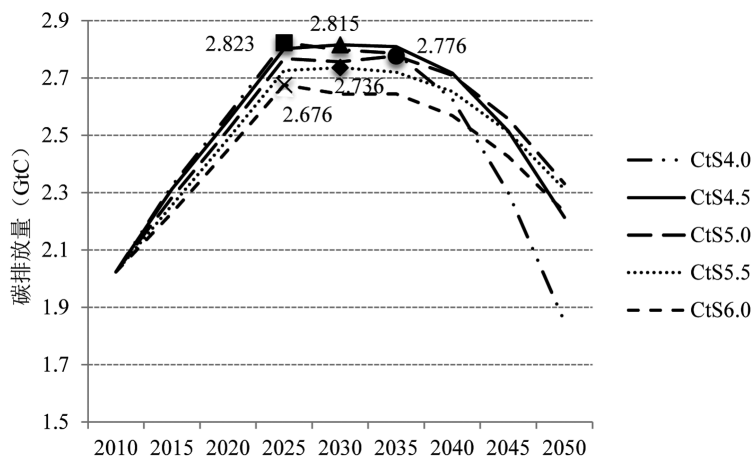


图 2 政策选择对碳排放路径的影响

为了更加系统地考察政策选择对未来碳排放轨迹的动态影响,这里选择了累积碳税与补贴比率分别为 4.0、4.5、5.0、5.5 和 6.0 的排放轨迹进行比较,其分别对应 CtS4.0、CtS4.5、CtS5.0、CtS5.5 和 CtS6.0 情景,如图 2 所示。显然,图 2 展示的结果很大程度上证实了图 1 分析中得到的结论。首先,政策选择对碳排放动态轨迹的演变产生显著的影响,而这种影响很可能是非线性的。整体上看,随着组合政策中碳税力度的增强,排放轨迹被显著压低,且碳排放达峰的时间点也有不同程度地前移,这验证了碳定价政策在控制碳排放水平、促进排放达峰方面的显著效果,例如:从情景 CtS5.0 到 CtS5.5,再到 CtS6.0,碳排放达峰的时间点将从 2035 年左右提前至 2025 年左右。值得注意的是,在低的碳税补贴比率下,碳排放轨迹也有可能较早实现达峰,例如:在 CtS4.0 情景下,碳排放也可以于 2025 年左右达到峰值,这正好体现了政策选择对排放轨迹影响的非线性。其次,尽管在低碳税力度政策组合和高碳税力度政策组合的作用下,我国的碳排放达峰目标都有可能如期达成,但政策效果呈现明显的差异,这种差异主要体现在达峰的峰值水平上。如 CtS4.0 情景和 CtS6.0 情景下,碳排放均可与 2025 年左右达到峰值,但相应的排放水平前者为 2.823 GtC,而后者为 2.676 GtC,两者相差 1.47 亿吨碳;类似地,在情景 CtS4.5 和情景 CtS5.5 下,我国提出的 2030 年碳排放达峰目标均可如期实现,但两种情景下的碳峰值水平相差近 8000 万吨。

(三) 最优政策选择与非化石能源技术发展

相比较而言,非化石能源发展受补贴政策的影响更为显著。研究表明,政策组合中补贴的作用力度越大,非化石能源技术发展速度越快。具体表现为,随着碳税/补贴比值的下降,非化石能源消费份额稳步提高(图 3)。结果显示,当碳税/补贴比值高于 5.5 时,2030 年我国的非化石能源占比普遍低于 17%;而当该比值接近 4.5 时,可实现非化石能源占一次能源消费份额的比重大于或等于 20% 的目标。特别地,当补贴政策的作用进一步强化,累计碳税与补贴的比值低于 4 时,非化石能源的消费比例将高于 22%。由此可见,要同时实现 2030 年碳

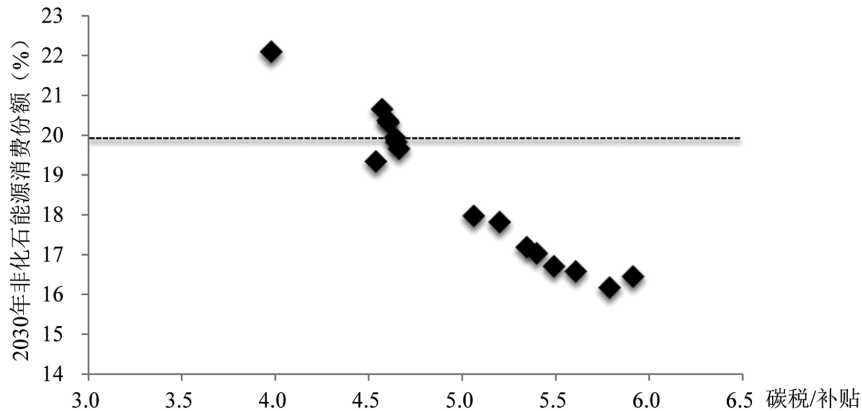


图 3 政策优化选择与非化石能源发展目标间的关系

排放达峰和非化石能源发展目标,我们应充分考虑碳定价和补贴政策的差异化作用,同时协调两个目标达成难度间的关系。

图4描述了不同政策力度搭配的组合政策对非化石能源技术发展的动态影响,结果进一步证实了图3的分析结论,即:针对性补贴政策可显著促进非化石能源技术的发展,尤其从中长期来看。从单一情景看,当累积碳税与补贴的比值为4.5时,我国承诺的2030年非化石能源消费份额达到20%的目标可以按期达成,此时非化石能源份额为20.65%;随着时间的推移,政策的效果将不断增强,到2040年,相应的能源消费份额接近30%,到2050年,这一数值将进一步增至46.5%。从跨情景比较来看,政策组合中补贴的力度愈大,其促进非化石能源技术发展的效果愈好,对比CtS6.0和CtS4.0情景,2050年的非化石能源消费份额分别为25.2%和59%,后者比前者高出33.8%;此外,在CtS6.0情景下,我国提出的2030年20%的非化石能源发展目标至少要等到2040年才能完成,而在CtS4.0情景下,该目标完全可以提前实现。这意味着补贴政策效果的充分发挥可以大幅缩短非化石能源技术从利基市场向市场化、规模化转变的时间。特别地,与碳税对排放轨迹的动态非线性影响不同,针对性补贴对非化石能源技术扩散的影响很大程度上是线性的,从图中表现为随着政策组合中补贴力度的循序增强,各年的非化石能源消费份额稳定地渐次提高。

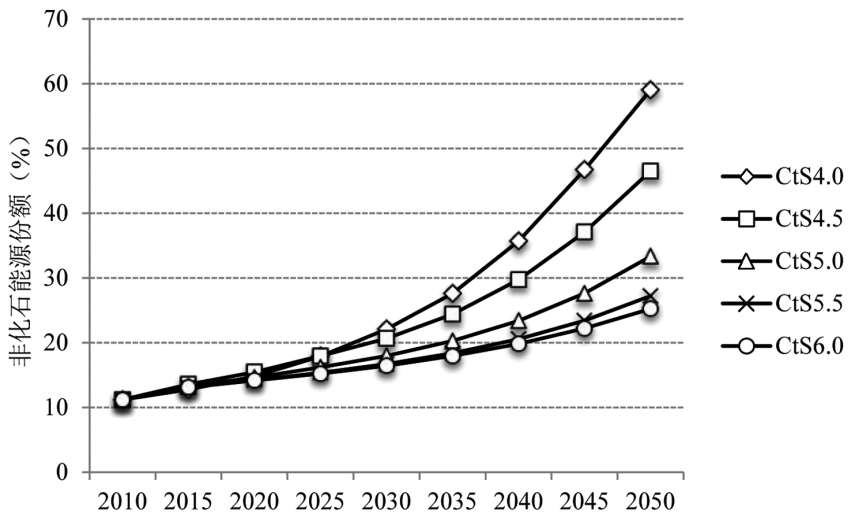


图4 政策选择对非化石能源技术发展的动态影响

(四) 关键 INDC 目标的潜在关系分析

政策优化组合与选择的背景下,碳排放达峰目标与非化石能源发展目标间可能的关系如图5所示。具体而言,这种潜在关系可以从两个维度来分析:一方面,多数情况下这两个目标的实现过程是冲突的,即控排或达峰目标越宽松,非化石能源发展目标的达成可能性越大,反之亦然。这是由于宽松的控排目标降低了系统优化过程对碳定价的依赖,继而提高了政策组

合中补贴政策的作用效果,而补贴对非化石能源发展的激励效果更为显著。另一方面,碳排放达峰和非化石能源发展目标间也存在潜在的协同关系,这表现为在一定的政策组合作用下,两个目标可同时实现。特别地,当补贴政策的作用力度足够大时,其不仅可以促进非化石能源技术的显著发展,进而保证非化石能源比例目标的顺利达成,还可以在很大程度上替代碳定价政策的减排效力,促进碳排放路径尽早达峰。结合图 1、图 3 和图 5 的结果可以看出,当累计定价与补贴的比值低至 3.9 时,可使我国的 CO₂ 排放达峰时间点提前至 2025 年前后,同时非化石能源消费比例超过 22%。

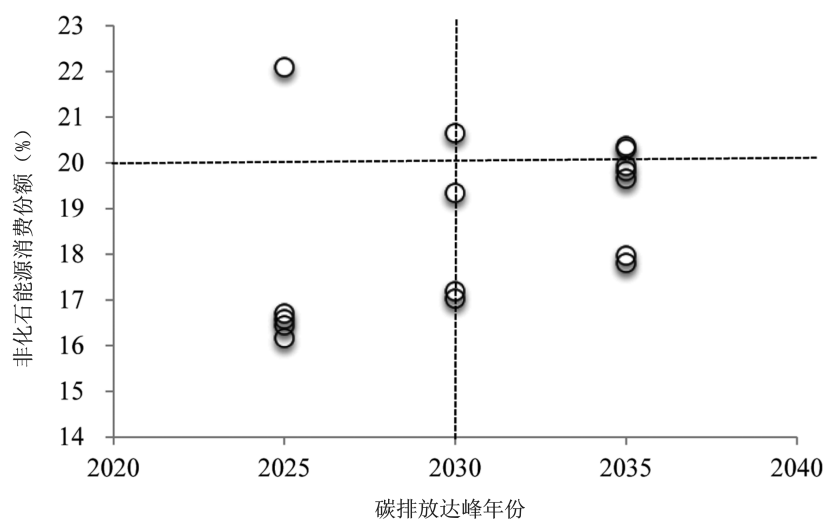


图 5 碳排放达峰与非化石能源发展目标间的关系

由此可见,我们在探讨如何实现 INDC 目标时,不能将目光局限在任意单一政策目标上,而应重点关注不同目标间可能存在的潜在关系,这种关系既可能是冲突性的,也可能是协同性的,而如何基于不同的认识来实现既定的政策目标则依赖于政策工具的选择和优化。

(五) 政策选择对达成 INDC 目标成本的影响

能源和气候政策的宏观经济成本与政策组合中碳定价政策的作用强度显著相关。如图 6 的结果所示,取贴现率为 5%,随着碳税/补贴比值的增加,累计政策成本显著提高。例如:当累计碳税与补贴的比值在 5 左右时,组合政策成本仅为 GDP 的 0.19%,而当该比值接近 6 时,对应的累计政策成本升至 0.8%。反过来,当政策组合中补贴的作用效果不断提升,也即碳税与补贴的比值不断缩减时,政策成本呈显著下降态势;特别地,当该比值低于某一门槛数值,比如 4.7 时,碳定价与补贴的组合政策的实施不仅不会损害我国的宏观经济增长,还可能带来正的政策效益。图 6 的研究结果显示,当累计碳税与补贴的比值低至 4.66 时,组合政策的实施带来的相关正效益占到累计 GDP 的 0.27%;而当该比值进一步降至 4 以下时,相应的政策收益高达 0.75%。基于碳定价政策的 CO₂ 减排主要是通过缩减化石能源消费量来实现的,而

这势必会对能源驱动型经济增长产生负面影响,尤其是在当前化石能源严格主导总能源消费的背景下;而随着补贴政策的持续施行和相应激励效果的日趋显著,以风能、光伏太阳能为代表的可再生能源技术得以成熟和规模化发展,继而逐步替代传统化石能源技术支撑并驱动宏观经济的后续增长。

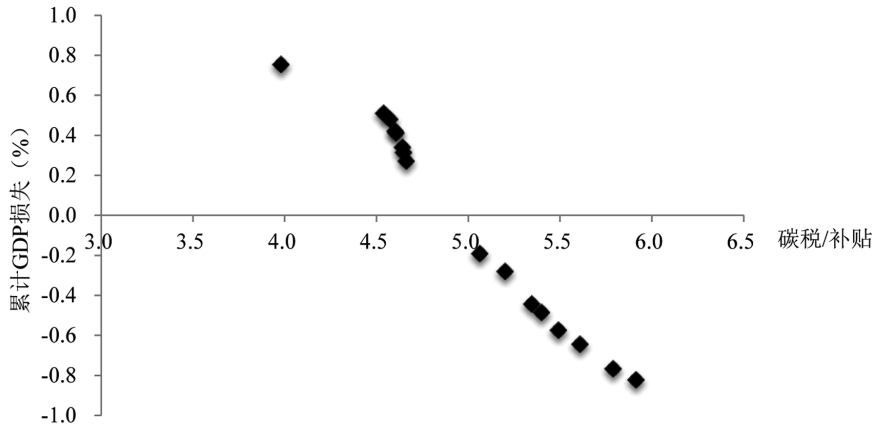


图6 能源与气候政策目标下政策选择对我国宏观经济的影响

五、结论及政策建议

本文基于中国能源-经济-环境系统集成模型(CE3METL),围绕国家提出的2030年能源发展和气候政策目标,系统考察了基于碳定价和补贴的政策组合选择对2030年碳排放达峰和非化石能源发展目标的差异化影响,特别讨论了两个目标间的潜在交互关系,以及政策选择和优化对实现既定INDC目标的政策成本的影响。通过研究,得到以下主要结论:

第一,就排放控制和非化石能源发展而言,碳定价和补贴政策的作用效果呈现出显著的差异化:碳定价政策控制碳排放的效果较好,而针对性补贴政策则对非化石能源技术发展的激励效果更为显著。事实上,研究还发现,在政策优化的背景下,针对性补贴对非化石能源技术发展的影响是线性的,即组合政策中补贴的作用力度愈大,既定时间节点的非化石能源市场份额愈高。而碳税对碳排放轨迹的动态影响则呈现出一定的非线性特征,尤其对于碳排放达峰的时间点而言,具体表现为:当政策组合中碳税政策的力度达到某一门槛值后,增加或减小碳税作用的强度均可能促使碳排放轨迹提前达峰,而此时不同政策组合的差异主要体现在达峰的峰值水平上。

第二,基于内生政策的优化结果表明,要实现我国INDC方案中的碳排放达峰和非化石能源发展目标,政策组合的效果显著优于任意单一政策,而整体上看,组合政策中碳定价的政策力度需数倍于补贴政策,尤其对于碳排放达峰目标而言。对碳排放达峰目标,具体的达峰时

间取决于政策组合方式和预期的峰值水平两大因素,低峰值水平的目标达成要求政策组合中较高的碳定价政策力度;对非化石能源发展目标,政策组合中补贴的作用效力越强,实现 2030 年非化石能源比例目标的可能性越大。

第三,非化石能源发展和碳排放达峰两大目标的实现过程既存在冲突性,同时也体现出显著的协同性,取决于政策的优化和组合选择。排放控制目标越严格,碳排放路径如期达峰的可能性越大,同时组合政策中碳定价的作用越占优,而相应的非化石能源发展目标越难达成;当政策组合中补贴政策的作用效果足够显著时,非化石能源比例目标和碳排放达峰目标均可如期实现。因此,认识到不同 INDC 目标间可能存在的潜在关系,同时利用好其中的政策协同关系是完成既定政策任务的关键。

最后,政策选择显著影响达成给定 INDC 目标的宏观政策成本,而这往往构成了评判该政策或政策组合是否有效的标准。基于单独的碳定价政策的排放控制行动将带来较大的宏观经济成本,这点已在诸多国内外研究中得以证实(朱永彬等, 2010; Duan et al., 2013; 吴力波等, 2014),引入适度补贴的组合政策可以大幅降低由碳税政策实施所引起的经济损失。特别地,当减排政策设计得足够适宜时,从长时间尺度下来看,经济完全可能在近零成本下实现既定的脱碳目标,这一结论也与 Tol(2014)的研究相符。故此,合理的政策优化和选择有助于在保证政策目标达成的条件下将政策成本最小化,最终实现政策有效与成本节约的双赢。

基于上述研究结论,我们可以延伸出以下对实现我国关键 INDC 目标有实际指导意义的政策建议:

第一,为保证国家承诺的 2030 年 INDC 关键目标的顺利达成,政府在制定具体战略和政策时,一方面要充分考虑两个目标在实现过程中的潜在交互关系,另一方面还应重点研究组合政策的优化和选择,尤其是碳定价和针对性补贴政策所构成的多重组合。对目标间交互关系的认识有利于引导出最优的政策策略,而政策组合的优化和选择反过来又可以促进政策目标的顺利达成。实际操作中,政策制定者应尽量避免决策的短视化,尤其不能被某个单一政策目标的急迫性所左右,导致“头痛医头,脚痛医脚”,而应该更加注重多重目标的全局和长远考虑;此外,决策支持机构和相关研究者也应当更多地通过系统性研究提供有力的科学证据,助力决策者形成协同思维。

第二,对具体的碳排放达峰和非化石能源发展的双重目标,我们希望两者在达成过程中尽量减少或避免冲突性,而更多地体现出协同性,这实际上要求政府在制定配套政策时需朝两个具体的方向去努力:其一,在实施政策时尽量多打政策“组合拳”,而组合过程中以碳定价政策为主,补贴政策为辅;其二,不断优化政策的组合和选择,找到碳定价和补贴政策潜在最优的结合点,即保持两种政策主辅关系不变的情况下适时加大补贴政策的作用力度。因此,在风能、光伏太阳能等可再生能源技术远未实现大规模市场化发展之时,过早削减甚至取消

技术补贴,而仅依靠碳定价政策来实现我国的能源和气候政策目标的做法显然是不合时宜的。事实上,只有合理优化碳定价和补贴的政策组合,充分发挥政策目标的协同性,才能一方面保证双重目标的如期达成,同时实现政策成本的最小化,甚至获得组合策略实施带来的可能的政策红利。

第三,把握好已经建成的全国统一碳排放权交易市场带来的排放控制机遇,充分发挥其与可再生能源补贴政策体系的协同效应,服务于 INDC 目标的顺利达成。排放权交易机制也是极具代表性的碳定价手段之一,理论层面,在控制碳排放量和激励新能源技术发展上,碳交易市场完全可以通过价格机制达到与最优碳税同等的政策效果。此时,组合政策的力度调整和协同效应的发挥主要通过控制总的碳排放预算来实现,例如:在补贴水平相对稳定的情况下,紧缩排放预算将显著增加碳定价政策的强度,反之,配额的宽松化将使价格信号走弱,继而引起组合政策中碳定价政策的力度随之下降。当然,除了战略层面的碳预算调整,加快应对气候变化挑战的立法进程,制定化石燃料补贴的逐步削减计划,完善除补贴以外的旨在提高效率和促进可再生能源技术发展的金融财税体系等其他相关配套措施对发挥政策协同效应,推进 INDC 目标的最终实现也至关重要。

附录:CE3METL 模型简介

$$U = \text{Max} \sum_t (L_t \log(c_t) \prod_{\tau=0}^t (1 + \sigma_\tau)^{-\Delta t}) \tag{1}$$

$$\sigma_t = \sigma_0 e^{-d\sigma t} \tag{2}$$

$$c_t = CM_t / L_t \tag{3}$$

$$\text{Output}_t = [\alpha_t (K_t^\eta L_t^{1-\eta})^\rho + \beta_t E_t^\rho]^{1/\rho} \tag{4}$$

$$K_t = (1 - \delta_1) K_{t-1} + I_t \tag{5}$$

$$GDP_t = \text{Output}_t - EC_t - AC_t \tag{6}$$

$$CM_t = GDP_t - I_t - X_t + M_t \tag{7}$$

$$EC_t + AC_t = E_t (PF_t + PNF_t) \tag{8}$$

$$X_t \geq \theta_x GDP_t \tag{9}$$

$$M_t \leq \theta_m GDP_t \tag{10}$$

$$\frac{d S_{k,t}}{d P_{k,t}} = \varpi_k S_{k,t} [\bar{S}_k (1 - \sum_{\tau \neq k} S_{\tau,t}) - S_{k,t}] \tag{11}$$

$$P_{k,t} = \begin{cases} \frac{C_{coal,t} (1 + ctax_{coal,t})}{C_{k,t} (1 + ctax_{k \neq coal,t})}, k \in I \\ \frac{C_{coal,t} (1 + ctax_{coal,t})}{C_{k,t} (1 - rsub_{k,t})}, k \in J \end{cases} \tag{12}$$

$$ctax_{oil,t} = \frac{ctax_{coal,t} C_{coal}(t) EMF_{oil}}{C_{oil,t} EMF_{coal}} \quad (13)$$

$$ctax_{gas,t} = \frac{ctax_{coal,t} C_{coal,t} EMF_{gas}}{C_{gas,t} EMF_{coal}} \quad (14)$$

$$C_{k,t} = \vartheta_k (KnowD_{k,t})^{-rLD_k} (KnowS_{k,t})^{-rLS_k} \quad (15)$$

$$KnowD_{k,t} = (1 - \delta_2) KnowD_{k,t-1} + S_{k,t} E_t \quad (16)$$

$$KnowS_{k,t} = (1 - \delta_2) KnowS_{k,t-1} + IPF_{k,t} \quad (17)$$

$$IPF_{k,t} = \varphi_1 KnowS_{k,t}^{\varphi_2} RD_{k,t}^{\varphi_3} \quad (18)$$

$$PF_t = \sum_f C_{f,t} S_{f,t} (1 + ctax_{f,t}), f \in \{Coal, Oil, Gas\} \quad (19)$$

$$PNF_t = \sum_k C_{k,t} S_{k,t} (1 - rsub_{k,t}) \quad (20)$$

$$Emis_t = \sum_f (EMF_f S_f E_{f,t}) + Emis_0 \quad (21)$$

$$CumE_t = (1 - sr) CumE_{t-1} + Emis_t \quad (22)$$

上式中, t 表示时期, k 表示替代能源技术(相对于参考技术煤炭而言), I 和 J 分别代表除煤炭之外的化石能源技术和非化石能源技术的集合, f 为化石能源技术。(1)-(22)式中的关键变量和参数见附表 1。

附表 1 模型关键变量和参数

变量		变量		参数	
CM_t	消费	$P_{k,t}$	参考技术与替代技术 k 的成本比值	σ_t	纯时间偏好率(每年)
K_t	资本存量	$C_{f,t}$	化石能源单位成本	d_σ	时间偏好率的年下降率
E_t	能源投入	$C_{k,t}$	非化石能源技术单位成本	η	资本值份额
I_t	投资	$ctax_{f,t}$	化石能源碳税(从价税率)	ρ	替代弹性
L_t	劳动力	$rsub_{k,t}$	非化石能源补贴率(从价税率)	α, β_t	规模参数
c_t	人均消费	$KnowD_{k,t}$	LBD 学习知识存量	δ_1, δ_2	传统资本与知识资本折旧率
GDP_t	国内生产总值	$KnowS_{k,t}$	LBS 学习知识存量	θ_x, θ_m	出口和进口边界
$Output_t$	总产出	$RD_{k,t}$	技术研发投入	ϖ_k	能源技术与参考技术间的替代弹性
X_t	出口	$IPF_{k,t}$	创新可能性前沿函数	rLD_k	LBD 技术学习指数
M_t	进口	$Emis_t$	碳排放总量	rLS_k	LBS 技术学习指数
EC_t	能源成本	$CumE_t$	累计碳排放量	ϑ_k	学习曲线规模参数
AC_t	减排成本			φ_1, φ_2	知识生产过程规模参数
PF_t	化石能源复合价格			φ_3	研发回报率参数
PNF_t	非化石能源复合价格			sr	碳排放的自然沉降率
$S_{k,t}$	技术 k 的消费份额			EMF_f	碳排放因子
\bar{S}_k	技术 k 的市场潜力			$Emis_0$	初始碳排放

参考文献:

- [1] 丁仲礼,段晓男,葛全胜,张志强. 国际温室气体减排方案评估及中长期排放权讨论[J]. 中国科学 D 辑:地球科学,2009,39(12):1659-1671.
- [2] 段宏波,张古鹏,范英,汪寿阳. 基于内生能源效率改进的宏观减排结构分析[J]. 管理科学学报,2016,19(7):10-23.
- [3] 段宏波,范英. 能源系统集成建模:政策驱动下的低碳转型[M]. 北京:科学出版社,2017.
- [4] 国家发展与改革委员会能源研究所. 中国 2050 年的低碳发展之路[R]. 2009.
- [5] 何建坤. CO₂排放峰值分析:中国的减排目标与对策[J]. 中国人口·资源与环境,2013,23(12):1-9.
- [6] 姜宏隽,贺晨旻,庄幸,刘嘉,高霁,徐向阳,陈莎. 我国能源活动 CO₂ 排在 2020-2022 年达到峰值情景和可行性研究[J]. 气候变化研究进展,2016,12(3):167-171.
- [7] 林伯强,李江龙. 环境治理约束下的中国能源结构转变—基于煤炭和二氧化碳峰值的分析[J]. 中国社会科学,2015,(9):84-107.
- [8] 刘笑萍,张永正,长青. 基于 EKC 模型的中国实现减排目标分析与减排对策[J]. 管理世界,2009,(4):75-82.
- [9] 马丁,陈文颖. 中国 2030 年的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(5):1-4.
- [10] 清华大学. 中国与新气候经济报告[R]. 2014.
- [11] 石敏俊,袁永娜,周晟吕,李娜. 碳减排政策:碳税、碳交易还是两者兼之[J]. 管理科学学报,2013,16(9):9-19.
- [12] 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.
- [13] 鄢哲明,杜克锐,杨志明. 碳价格政策的减排机理—对技术创新传导渠道的再检验[J]. 环境经济研究,2017,2(3):6-21.
- [14] 张小锋,张斌. 我国中长期能源碳排放情景展望[J]. 中国能源,2016,(02):38-42.
- [15] 朱永彬,刘晓,王铮. 碳税政策的减排效果及其对我国经济的影响分析[J]. 中国软科学,2010,(4):78-87.
- [16] Barreto, L. and S. Kypreos. Endogenizing R&D Market Experience in the “Bottom-up” Energy-systems E-RIS Model[J]. Technovation, 2004, 24: 615-629.
- [17] Duan, H. B., L. Zhu, and Y. Fan. What is the Most Cost-effective Policy of CO₂ Targeted Reduction: An Application of Aggregated Economic Technological Model with CCS[J]. Applied Energy, 2013, 112: 866-875.
- [18] Duan, H. B., L. Zhu, and Y. Fan. Modelling the Evolutionary Paths of Multiple Carbon-free Energy Technologies with Policy Incentives[J]. Environmental Modeling & Assessment, 2015, 20(1): 55-69.
- [19] Elzen, M. D., H. Fekete, N. Höhne, A. Admiraal, N. Forsell, A. F. Hof, J. G. J. Olivier, M. Roelfsema, and H. Van Soest. Greenhouse Gas Emissions from Current and Enhanced Policies of China until 2030: Can Emissions Peak before 2030[J]. Energy Policy, 2016, 89: 224-236.
- [20] Gerlagh, R. and B. C. C. van der Zwaan. Options and Instruments for a Deep Cut in CO₂ Emissions: Carbon Capture or Renewable, Taxes or Subsidies [J]. The Energy Journal, 2006, 27: 25-48.
- [21] Goulder, L. H. and S. H. Schneider. Induced Technological Change and the Attractiveness of CO₂ Abatement Policies[J]. Resource and Energy Economics, 1999, 21: 211-253.
- [22] Green, F. and N. Stern. China's Changing Economy: Implications for Its Carbon Dioxide Emissions[J]. Climate Policy, 2017, 17(4): 423-442.

- [23] Grimaud, A., G. Lafforgue, and B. Magné. Climate Change Mitigation Options and Directed Technical Change: A Decentralized Equilibrium Analysis[J]. *Resource and Energy Economics*, 2011, 33: 938–962.
- [24] Jewell, J., V. Vinichenko, D. McCollum, N. Bauer, K. Riahi, T. Aboumahboub, O. Fricko, J. H. M. Harmsen, T. Kober, V. Krey, G. Marangoni, M. Tavoni, D. P. van Vuuren B. van der Zwaan, and A. Cherp. Comparison and Interactions between the Long-term Pursuit of Energy Independence and Climate Policies[J/OL]. (2016-06-06) [2018-03-02]. https://www.researchgate.net/publication/303825654_Comparison_and_interactions_between_the_long-term_pursuit_of_energy_independence_and_climate_policies.
- [25] Kalkuhl, M., O. Edenhofer, and K. Lessmann. Learning or Lock-in: Optimal Technology Policies to Support mitigation[J]. *Resource and Energy Economics*, 2012, 34: 1–23.
- [26] Mahajan, V. and R. A. Peterson. Innovation Diffusion in a Dynamic Potential Adopter Population[J]. *Management Science*, 1978, 15: 1589–1597.
- [27] McCollum, D. L., V. Krey, and K. Riahi. An Integrated Approach to Energy Sustainability[J]. *Nature Climate Change*, 2011, 1: 428–429.
- [28] Raupach, M. R., S. J. Davis, G. P. Peters, R. M. Andrew, J. G. Canadell, P. Ciais, P. Friedlingstein, F. Jotzo, D. P. Van Vuuren, and C. Le Quere. Sharing a Quota on Cumulative Carbon Emissions[J]. *Nature Climate Change*, 2014, 4: 873–879.
- [29] Romeo, A. The Rate of Imitation of a Capital-embodied Process Innovation[J]. *Economica*, 1977, 173: 63–69.
- [30] Tavoni, M., E. Kriegler, K. Riahi, D. P. van Vuuren, T. Aboumahboub, A. Bowen, K. V. Calvin, E. Campiglio, T. Kober, J. Jewell, G. Luderer, G. Marangoni, D. L. Mccollum, M. A. E. Van Sluiseveld, A. Zimmer, and B. Van Der Zwaan. Post-2020 Climate Agreements in the Major Economies Assessed in the Light of Global Models[J]. *Nature Climate Change*, 2014, (2): 119–126.
- [31] Tol, R. S. J. *Climate Economics: Economic Analysis of Climate, Climate Change and Climate Policy*[M]. UK: Edward Elgar Publishing, 2014.
- [32] Weitzman, M. L. Prices vs. Quantities[J]. *The Review of Economics Studies*, 1973, (4): 477–491.

The Evaluation of Role of Policy Synergies in Achieving China's INDC Targets

Duan Hongbo^a and Yang Jianlong^b

(a: School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences;

b: Department of Industrial Economics, Development Research Center of the State Council)

Abstract: China's INDC targets has proposed to achieve a carbon dioxide emissions peak and let the proportion of non fossil energy consumption account for 20% in 2030. Thus the policy combinations are essential for achieving the targets. By developing a Chinese integrated assessment model, we systematically examine the potential relationships between the attainment of China's energy and climate targets, particularly explore the roles of carbon pricing and subsidy portfolios in achieving the committed INDC targets and the related policy costs. Results reveal that carbon pricing policy and subsidy play different roles in reaching different policy targets. The achievements of China's energy and carbon-peaking targets may be both conflicted and synergetic, depending on the specific trade-offs between carbon pricing and subsidy policies. In fact, the increase of policy strength of subsidies in the portfolios is beneficial to improve the synergetic effect and largely

(下转第 65 页)