

引用格式:王勇,王恩东,毕莹.不同情景下碳排放达峰对中国经济的影响——基于CGE模型的分析[J].资源科学,2017,39(10):1896-1908. [Wang Y, Wang E D, Bi Y. Impact of a peak in carbon emissions on China's economy in different situations: analysis based on CGE model[J]. *Resources Science*, 2017, 39(10): 1896-1908.] DOI: 10.18402/resci.2017.10.09

不同情景下碳排放达峰对中国经济的影响 ——基于CGE模型的分析

王 勇^{1,2}, 王恩东¹, 毕 莹¹

(1. 东北财经大学统计学院, 大连 116025; 2. 东北财经大学博士后科研流动站, 大连 116025)

摘 要:实现碳排放达到峰值既是中国在全球气候谈判中的国际承诺,也是中国实现经济结构转型和可持续发展的必要选择。政策约束下的碳排放达峰会对中国经济发展产生一定程度影响。本文通过构建包含气候保护函数的七部门CGE模型,模拟评估中国在2025年、2030年和2035年实现碳排放达峰的经济影响,包括对综合经济的影响和对各部门进出口及产出的影响。结果表明,碳排放达峰时间越早,对中国造成的经济影响越大;三种碳排放达峰情景下,政府收入及储蓄均有明显下降,对其余经济指标基本不会造成太大影响;碳排放达峰对建筑业产出影响较小,其他部门产出略有增长。综合来看,2030年是中国碳排放达峰的最佳时间点。文章最后提出了应对碳排放达峰的政策建议。

关键词:碳排放达峰;经济影响;CGE模型;情景分析;中国

DOI: 10.18402/resci.2017.10.09

1 前言

自2006年起,中国CO₂排放量已居世界首位,排放总量比美国高一倍。国际碳排放研究机构Global Carbon Project¹⁾的研究数据表明:2015年,中国CO₂排放量占世界CO₂排放总量的28.65%,已远超排在第二位的美国(14.93%)和第三位的欧盟(9.68%);中国的人均CO₂排放量(7.5t)也已超过欧盟(6.9t)。近年来,随着中国在全球经济体系中的地位愈加重要,能源消耗量和温室气体排放量更是迅速增长。为了积极应对全球气候变化,推动世界各国切实采取措施降低CO₂排放,2014年11月12日,中国政府与美国政府在北京联合发表了《气候变化联合声明》,声明提出:“中国计划2030年左右CO₂排放达到峰值且将努力早日达峰,并计划到2030年非化石能源占一次能源消费比重提高到

20%左右。”这个目标在2015年中国向联合国提交的“国家自主决定贡献”以及气候变化巴黎大会中都得到了重申。中国做出碳排放达峰的承诺展现了中国在应对气候变化领域的行动力,彰显出了中国负责任的大国形象,为全球应对气候变化做出了积极表率,得到国际社会的广泛关注和赞赏。同时,实现以CO₂为主的温室气体排放达到峰值是中国应对气候变化和可持续发展所回避不了的问题,这不仅仅是当前气候谈判的进程要求中国考虑这样的国家自主决定贡献,还是中国当前发展所引起的环境和社会问题以及国家发展转型的内在要求。当前,中国资源依赖型、以重化工业产能扩张为驱动的粗放发展方式已难以为继,必须向创新驱动型、内涵提高的绿色低碳发展方式转变。

基于中国设定2030年达到碳排放峰值的宏观

收稿日期:2017-04-05;修订日期:2017-09-12

基金项目:国家社会科学基金重大项目(2015YZD08);中国博士后科学基金特别资助项目(2017T100180);东北财经大学博士后科研项目(BSH201708)。

作者简介:王勇,男,山东临沂人,博士,副教授,硕士生导师,从事资源环境统计分析。E-mail: ywang@dufe.edu.cn

通讯作者:王恩东, E-mail: wed300034@163.com

1) Global Carbon Project. <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>

2017年10月

目标,中国碳排放达峰也得到了学术界的广泛关注,目前很多学者利用各种模型对于中国碳排放峰值出现的时间和峰值进行测算,多数学者认为中国碳排放峰值会出现在2030年前后,峰值为110亿t~120亿t。如周伟等利用MARKAL-MACRO模型对中国2010-2050年能源消费产生的CO₂进行了预测,结果表明基准方案下,碳排放总量将在2036年达到峰值,峰值为107.53亿t;优化方案下,将在2029年达到峰值,峰值为95.27亿t^[1]。王志轩以能源消费碳排放量代表中国未来碳排放峰水平进行碳排放峰值预测^[2],认为在不考虑LULUCF、忽略钢筋和水泥等生产过程对碳排放的影响以及其他影响小的因素的情况下,当GDP增速平均为6%,能源消费弹性系数为0.35时,中国CO₂将在2030年排放达峰,峰值为113亿t。柴麒敏等通过IAMC模型对中国实现排放总量控制和峰值进行深入分析,分析得出中国在2030年实现碳排放达峰的峰值为109.2亿t,并最终提出在中国“十五五”末期是实现碳达峰的重要机会,此时峰值为120亿t,人均碳排放量为8.5t左右^[3]。渠慎宁等利用STIRPAT模型对中国碳排放峰值进行预测,研究结果表明,若按照当前现状,保持合理碳排放治理,碳排放总量将会在2020-2040年间达到峰值,当峰值出现在2025年、2028年、2035年和2042年时,峰值分别为73.0亿t、89.5亿t、115.4亿t和116.2亿t^[4]。何建坤根据Kaya模型计算得出中国将在2030年前后碳排放达到峰值,峰值将会控制在110亿t,人均碳排放量在8t左右^[5]。刘长松通过Kaya模型分解和世界各国之间的比较,预计中国将在2030年CO₂排放达到峰值,峰值为115亿t~120亿t,人均碳排放量为8t左右^[6]。目前大部分对碳排放峰值的预测研究主要基于传统计量模型,而二氧化碳排放的影响是一个复杂多变的非线性系统,传统计量模型在预测二氧化碳排放峰值时受到模型选择、变量选取、参数估计等影响,造成预测精确性较差,而不同研究的预测结果也存在较大差异。

部分学者对碳排放的影响因素进行了研究,多数学者研究显示产业结构、技术进步和经济增长是影响碳排放增加的因素,这表明经济增长的同时必然伴随着碳排放总量的增加。张兵兵等基于DEA

模型测算了中国30个省市的技术进步,实证检验了技术进步对碳排放强度的影响,通过分析得出技术进步对降低碳排放强度有重要效果,同时指出2001年后技术进步会增强中国除西部地区外地区的碳排放强度^[7]。许士春等运用LMDI加和分解法的研究结果表明,中国碳排放的驱动因子为经济产出效应、人口规模效应和能源结构效应,其中贡献率最大的是经济产出效应148.49%;碳排放的抑制因子为能源结构效应和产业结构效应,其中贡献率最大的是能源结构效应-53.43%^[8]。刘朝等利用ISM模型找出了阻碍中国经济低碳发展的关键因素——经济发展粗放、没有系统完善的低碳政策框架、低碳专业人才稀少和民众缺乏低碳意识^[9]。蒋金荷利用LMDI法定量研究了1995-2007年中国碳排放的影响因素和贡献率,指出影响因素为经济规模效应、结构效应、能源强度效应和碳强度效应,其中经济发展是影响碳排放增加最大的影响因素^[10]。顾阿伦等通过LMDI法将中国碳排放量和碳排放强度分解,并探究了不同影响因素对碳排放强度下降速度的贡献率,结果表明技术进步对碳排放强度的下降贡献最大,产业结构对碳排放强度下降的贡献最小^[11]。李艳梅等构建了碳排放的因素分解模型,分析结果证明,只有碳排放强度下降会产生碳排放量下降,除此之外经济增长和产业结构变化都会引起碳排放量的增加^[12]。

总体来看,目前关于中国实现CO₂排放达峰的研究绝大部分围绕碳排放的达峰预测以及碳排放的影响因素分析,对碳排放达峰带来的经济影响研究较少。事实上,政策约束及人为干预下的CO₂排放达峰会对经济发展会产生一定程度的冲击,节能减排将不可避免消耗本来用于产出的有限资源,对经济增长和复苏带来负面影响。碳排放越早到达峰值,意味着商业、企业和消费者用于调整的时间就越少,更多的基础设施将被过早更换,对产业结构、能源结构及技术改进等因素的要求越高,相应的减排压力越大。从产业产出的角度来看,二氧化碳排放达峰会对有些产业的产出起到促进作用,对有些产业的产出起到抑制作用。不同情景下碳排放会达到怎样的水平、经济和能源系统要相应做出怎样的调整及产生怎样的相互影响等问题值得深

入研究。

本文以中国实现2030年碳排放达峰的宏观目标为背景,在可计算一般均衡(CGE)模型的基础上,加入耦合气候保护函数,编制2012年七部门的社会核算矩阵(SAM表),构建包含气候保护函数的CGE模型,模拟评估中国在2025年、2030年和2035年三种达峰情景下的经济影响,为应对由于碳排放达峰带来的各种影响提供前瞻性信息参考。本文的主要工作体现在:

(1)构建了包含气候保护支出模型的静态CGE模型,并对现有气候保护CGE模型进行改进。目前研究使用的气候保护CGE模型中对于产品供给使用的是CD函数,隐含条件是资本和劳动的边际替代率相等,而实际两者的边际替代率大多是不相等的。本文选用嵌套的固定替代弹性(CES)生产函数,能够反映资本和劳动边际替代率的差异,模拟结果更接近实际。

(2)以最新的中国2012年139部门的投入产出表为基础,编制了包含七部门的2012年中国宏观及微观SAM表。

(3)首次探究“增汇”方式下,减排CO₂使碳排放达到峰值对中国宏观经济、部门进出口以及部门总产出的影响,这一点与此前许多学者主要通过碳税政策探究减排政策的经济影响有所不同。

2 模型构建

本部分依据投入产出理论、SAM理论、Walras一般均衡理论、气候保护支出理论,以传统的CGE模型为基础,选用凯恩斯宏观闭合以及固定汇率体制闭合,构建了包含七部门的气候保护CGE模型,利用GAMS软件(The General Algebraic Modeling System)对模型进行编程、求解。

2.1 CGE模型构建

本文构建的CGE模型包含商品市场和要素市场:商品市场包括林业、农牧渔业、采矿业、制造业、电水气业、建筑业和服务业七个部门,要素市场包括劳动力要素和资本要素;还包括居民、企业、政府和国外部门四个经济主体。由于系统方程较多,这里主要介绍核心方程。模型中,内生变量用大写字母表示,外生变量用大写字母加头顶横线表示,参数用小写字母表示。

2.1.1 生产模块

生产模块中每个部门的生产活动采用两层嵌套的生产函数进行描述。嵌套最上面一层的总产出用CES函数描述,共有中间投入和增值部分两个投入。嵌套的第二层,中间投入部分用列昂惕夫函数描述;增值部分用CES函数描述,有劳动力要素和资本要素两个投入,具体嵌套层次见图1。

商品流通方面,国内生产活动产出、出口和国内生产国内销售商品的关系用CET函数描述,国内市场销售商品、进口和国内生产国内销售商品的关系用Arminton函数描述,具体的商品流通过程见图2。

2.1.2 经济主体

(1)居民。居民收入等于要素报酬加转移支付。居民的效用函数用CD函数描述,居民对商品的消费需求由效用函数导出。居民的收入和消费



图1 生产函数嵌套层次

Figure 1 Production function nesting level

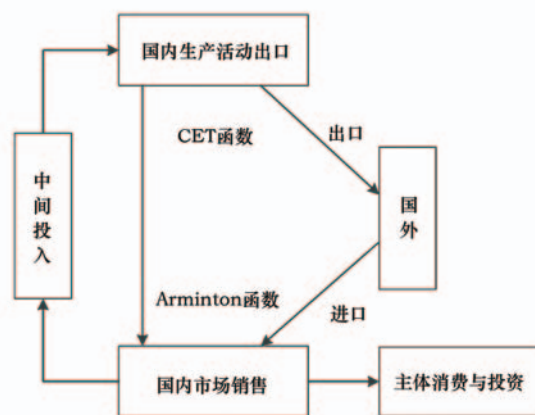


图2 商品流通过程

Figure 2 Flow chart of commodity circulation

2017年10月

需求分别为公式(1)和公式(2):

$$YH = WL \times QLS + WK \times shif_{hk} \times QKS + transfr_{hh,ent} + transfr_{hh,gov} + transfr_{hh,row} \times EXR \quad (1)$$

$$PQ_c \times QH_c = shrh_c \times mpc_c (1 - ti_h) \times YH, \quad c \in C \quad (2)$$

公式(1)中 YH 为居民收入; WL 为劳动力要素价格; QLS 为劳动力要素供应; WK 为资本要素价格; QKS 为资本要素供应; $shif_{hk}$ 为资本收入分配给居民的份额; $transfr_{hh,ent}$ 为企业对居民的转移支付; $transfr_{hh,gov}$ 为政府对居民的转移支付; $transfr_{hh,row}$ 为国外对居民的转移支付; EXR 为汇率。公式(2)中 PQ_c 为国内市场商品 c 的数量; QH_c 为居民对商品的需求; ti_h 为居民的所得税税率; $shrh_c$ 为居民收入对商品的消费支出份额; mpc 为居民的边际消费倾向; 集合 $c \in C$ 为商品。

(2)企业。企业收入等于资本投入收入加转移支付。企业储蓄等于企业收入减去所得税部分,再减去企业对居民的转移支付。投资总额等于各部门的投资总合,加存货增加。企业收入、储蓄和总投资分别为公式(3)-公式(5):

$$YENT = WK \times shif_{cntk} \times QKS \quad (3)$$

$$ENTSAV = (1 - ti_{ent}) \times YENT - transfr_{hh,ent} \quad (4)$$

$$EINV = \sum_c PQ_c \times \overline{QINV}_c + ST \quad c \in C \quad (5)$$

公式(3)中 $YENT$ 为企业收入; $shif_{cntk}$ 为资本收入分配给企业的份额。公式(4)中 $ENTSAV$ 为企业储蓄; ti_{ent} 为企业的所得税税率。公式(5)中 $EINV$ 为投资总额; \overline{QINV}_c 为对商品的投资的最终需求; ST 为存货变动。

(3)政府。政府收入等于包括生产活动征收的增值税,居民和企业的所得税以及关税的总合。政府支出等于政府对商品的需求加对居民的转移支付,模型假设政府对商品的需求为外生变量。政府储蓄等于收入减支出。政府的收入、支出和储蓄分别为公式(6)-公式(8):

$$YG = \sum_a (tr_a \times WL \times QLD_a + tr_a \times WK \times QKD_a) + tr_h \times YH + ti_{ent} \times YENT + \sum_c tm_c \times pwm_c \times QM_c \times EXR + transfr_{gov,row} \times EXR \quad (6)$$

$$EG = \sum_a PQ_a \times \overline{QG}_a + transfr_{hh,gov} \quad (7)$$

$$GSAV = YG - EG \quad (8)$$

公式(6)中 YG 为政府收入; tr_a 为要素投入的增值税; QLD_a 为生产商品的劳动力需求; QKD_a 为生产商品的资本需求; $transfr_{gov,row}$ 为政府对国外的转移; tm_c 为进口税率; pwm_c 为进口商品 c 的国际价格; QM_c 为进口商品 c 的数量; 集合 $a \in A$ 为生产活动。公式(7)中 \overline{QG}_a 为政府支出, 为政府对商品的需求。公式(8)中 $GSAV$ 为政府储蓄。

(4)国外。国外市场的供应量(进口)和需求量(出口)在生产模块中已经设定。本模型假定中国满足“小国假定”,即中国是价格的接受国。在给定汇率和贸易价格的条件下,中国的进口和出口都不受限制,进口和出口变量内生。

2.1.3 均衡模块

市场均衡,即市场出清,要求国内市场和要素市场的供给等于需求,国外市场的外汇收支平衡和投资储蓄平衡。国内市场、劳动要素市场、资本要素市场的均衡分别为公式(9)-公式(11)。本文采用固定汇率体制闭合,国外储蓄内生决定,汇率外生决定,国外市场的外汇收支平衡为公式(12)和公式(13)。投资储蓄平衡用公式(14)表示。

$$QQ_c = \sum_a QINT_{ca} + QH_c + \overline{QINV}_c + \overline{QG}_c \quad c \in C \quad (9)$$

$$\sum_a QLD_a = QLS \quad (10)$$

$$\sum_a QKD_a = QKS \quad (11)$$

$$\sum_c pwm_c \times QM_c + transfr_{row,cap} = \sum_a pwe_a \times QE_a + transfr_{hh,row} + transfr_{gov,row} + FSAV \quad (12)$$

$$EXR = \overline{EXR} \quad (13)$$

$$EINV = (1 - mpc) \times (1 - ti_h) \times YH + EN TSAV + GSAV + ST + FSAV \times EXR + VBIS \quad (14)$$

公式(9)中 QQ_c 为国内市场商品 c 的数量; $QINT_{ca}$ 为中间投入个量; $transfr_{row,cap}$ 为国外的财产性收入。公式(12)中 pwe_a 为出口生产活动 a 商品的国际价格; QE_n 为出口生产活动 a 商品的数量; $FSAV$ 为国外储蓄。公式(14)中 $VBIS$ 为检查储蓄投资的虚变量。

2.1.4 闭合规则

模型采用凯恩斯宏观闭合规则,即假定宏观的经济状况下,劳动力大量失业,资本闲置,劳动和资本要素内生,由需求单方面决定。考虑到凯恩斯理论的刚性价格条件,且在生产模块劳动要素和资本要素价格是所有其他价格的基础,因此设置公式(15)和公式(16)使模型契合凯恩斯闭合:

$$WL = \overline{WL} = 1 \quad (15)$$

$$WK = \overline{WK} = 1 \quad (16)$$

因要研究碳达峰对宏观经济的影响,求GDP和GDP价格指数(PGDP),见公式(17)和公式(18):

$$GDP = \sum_c (QH_c + \overline{QINV}_c + \overline{QG}_c + QM_c) - \sum_a QE_a \quad (17)$$

$$\begin{aligned} PGDP \times GDP = & \sum_{c \in C} PQ_c \times (QH_c + \overline{QINV}_c + \overline{QG}_c) \\ & + \sum_a PE_a \times QE_a - \sum_c PM_c \times QM_c \\ & + \sum_c ptm_c \times pwm_c \\ & \times \sum_c PM_c \times QM_c \times EXR \end{aligned} \quad (18)$$

2.2 气候保护支出模型

为了将温室气体减排与宏观经济相联系,Leimbach^[13]提出了“气候保护支出”的概念,指出气候保护支出主要代表投资成本,在宏观经济角度看,气候保护支出就是国内生产总值(GDP)的一部分,这部分产出不能用于“生产性”投资和消费。因此可把这部分支出看做是GDP的“损失”。Leimbach提出的气候保护支出函数如公式(19):

$$\frac{CP(t)}{GDP(t)} = \begin{cases} \alpha_1 \times ERP^{\alpha_2} + \alpha_0 & (ERP > 0) \\ \alpha_0 \times \left(\frac{ERP}{0.5} + 1 \right) & (-0.5 \leq ERP \leq 0) \end{cases} \quad (19)$$

式中 α_0 、 α_1 、 α_2 为气候保护模型的参数; ERP 为削减水平; $CP(t)$ 为气候保护支出。

正参数 α_0 的存在,保证了Leimbach对于气候保护支出的定义,即使削减水平为0,仍然存在GDP的“损失”,这些损失全部表现为气候保护支出。由于本文构建的是静态CGE模型,与时间无关,所以具体的气候保护支出函数参照吴静等^[14]研究结果:

$$\frac{CP}{GDP} = \begin{cases} \alpha_1 \times ERP^{\alpha_2} + \alpha_0 & (ERP > 0) \\ \alpha_0 \times \left(\frac{ERP}{0.5} + 1 \right) & (-0.5 \leq ERP \leq 0) \end{cases} \quad (20)$$

2.3 模型的耦合

吴静等指出,气候保护支出应纳入政府总支出中,因此这部分的支出应该是在政府支出之内^[14]。因此把公式(6)改写为公式(21):

$$\begin{aligned} YG = & \sum_a (tr_a \times WL \times QLD_a + tr_a \times WK \times QKD_a) \\ & + ti_h \times YH + ti_{ent} \times YENT + \sum_c tm_c \times pwm_c \\ & \times QM_c \times EXR + transfr_{gov,row} \times EXR - CP \end{aligned} \quad (21)$$

本文定义气候保护支出用于增加“碳汇”,根据《国家应对气候变化规划(2014-2020)》^[15]以及《中国应对气候变化的政策与行动2016年度报告》^[16]等相关政策,定义气候保护支出全部投入林业。因此对于林业部门的资本投入进行改写见公式(22):

$$QKD' = QKD + CP \quad (22)$$

式中 QKD' 为实施气候保护后农业部门的资本投入; QKD 为未获得气候保护资金时投入。将CGE模型中林业资金要素用上式改写,并把各部门原资本存量加上气候保护支出。如此就将气候保护支出模型和CGE模型建立耦合,完成了气候保护CGE模型的构建。

3 数据来源、参数设定及情景设计

3.1 社会核算矩阵(SAM)的编制

CGE模型是以社会核算矩阵(SAM)为数据来源进行实证模拟的,SAM矩阵又是根据投入产出表进行编制的。本文将国家统计局最新的2012年139部门投入产出表合并成林业、农牧渔业、采矿业、制造业、电水气业、建筑业和服务业七个部门投入产出表。根据《2012年投入产出表(139部门)》^[17]、《中国统计年鉴(2012)》^[18]等统计数据,采用自上而下的方法编制出未平衡的2012年宏、微观SAM表。通过直接交叉熵方法对矩阵进行平衡,最终得到2012年中国宏观SAM表以及微观SAM表。

3.2 参数设定

CGE模型需要大量的参数参与运算,这些参数大体上可以分为两类:一类是份额参数,另一类是弹性参数。

3.2.1 份额参数的确定

在解决CGE模型问题的过程中一般通过校准的方法对份额参数进行估计,如:投入产出系数、各种税率、居民和企业要素收入上的份额、各种函

2017年10月

数的份额项等。校准对于数值经济模型来说,就是要使其计算的参数可以“复制”基期均衡的数据作为模型的一个解,具体到CGE模型来说,就是通过基期SAM表的计算得到参数,使基期SAM表是CGE模型一般均衡的解。

3.2.2 弹性参数的确定

外生设定生产要素的替代弹性、阿明顿弹性和CET弹性等各种弹性参数,对于CGE模型来说是必不可少的一步,本文对于这些弹性的选取主要参考贺菊煌^[19]、赵永^[20]、willenbockel^[21]和Zhai^[22]的数据。具体数据见表1,其中 δ^A 是中间投入与总要素的替代弹性; δ^{VA} 是各部门CES生产函数要素替代弹性; δ^M 阿明顿弹性; δ^E 为CET弹性。

表1 CGE模型主要弹性数据

Table 1 The main elastic data of the CGE model

| | δ^A | δ^{VA} | δ^M | δ^E |
|------|------------|---------------|------------|------------|
| 林业 | 0.3 | 0.427 | 2.2 | 3.6 |
| 农牧渔业 | 0.3 | 0.427 | 2.2 | 3.6 |
| 采矿业 | 0.3 | 2.182 | 2.8 | 4.6 |
| 制造业 | 0.3 | 0.435 | 2.8 | 4.6 |
| 电水气业 | 0.3 | 2.541 | 2.8 | 4.6 |
| 建筑业 | 0.3 | 0.262 | 1.9 | 3.8 |
| 服务业 | 0.3 | 0.727 | 1.9 | 2.8 |

对于表1中的替代弹性,根据替代弹性和函数参数的转换公式(23)计算得到各生产函数的函数参数:

$$\delta = \frac{1}{1-\rho} \quad (23)$$

3.3 碳排放达峰的情景设置与气候保护支出模型参数的选择

3.3.1 碳排放达峰的情景设置

对中国碳排放达峰时间和达峰水平的设置是本文研究的基础。中国碳排放达峰时间和峰值水平取决于中国未来经济发展速度、产业结构转型、

节能减排技术应用等诸多因素,因此存在较大的不确定性。本文对中国碳排放达峰时间设置基于两点依据:第一,根据中国在《中美气候变化联合声明》^[23]承诺的“2030年左右实现碳排放峰值”,可以理解中国将在2030年前后,一般不超过5年时间,即在2025-2035年之间实现碳排放达峰;第二,考虑到学术界对中国碳排放达峰的不同预测结果,选择中国最早可能(2025年)、最可能(2030年)和最晚可能(2035年)的三个排放达峰的时间点。同时,由于中国官方并未明确说明中国碳排放峰值水平是多少,三种情景下的峰值设定主要综合已有研究成果。三种情景下的碳排放峰值、峰值计算依据及削减水平如表2所示。

表2中的碳排放削减水平(ERP)表示三种达峰情景下的碳排放峰值与2012年基期对比情景下碳排放量的相对变化值,用公式(24)计算得到:

$$ERP = \frac{\text{基期排放总量} - \text{峰值}}{\text{基期排放总量}} \quad (24)$$

由表2可知,三种情景下的碳排放削减水平ERP均为负数,显示了三种达峰情景下的碳排放量均高于2012年的基期碳排放量。

3.3.2 气候保护支出模型参数的选择

Leimbach^[13]在提出气候保护支出模型时,对模型中的参数的取值进行了标定,见表3。根据气候保护支出模型的方程(20),当ERP为负数时,模型方程采用第二种表达形式,此时气候保护函数只与

表3 气候保护支出模型参数的可能取值^[13]

Table 3 Possible values of climate protection expenditure

| model parameters | | | |
|------------------|------------|------------|------------|
| 序号 | α_0 | α_1 | α_2 |
| 1 | 0.010 | 0.150 | 1.400 |
| 2 | 0.015 | 0.060 | 1.000 |
| 3 | 0.010 | 0.060 | 1.000 |

注:表3中的2个序号为Leimbach对参数标定的三种组合情况,不与本文三种情景相对应。

表2 不同情景下中国的碳排放峰值、计算依据及削减水平

Table 2 Carbon emission peak, calculated basis and reduction levels in each scenario in China

| 各情景时间 | 碳排放峰值/亿t | 峰值计算依据 | 削减水平/% |
|--------------|----------|--|--------|
| 达峰情景一:2025年 | 105.3 | 已有研究 ^[3] 的结果 | -17.8 |
| 达峰情景二:2030年 | 110 | 研究结果 ^[24,25] 的平均值 | -23.1 |
| 达峰情景三:2035年 | 115 | 已有研究 ^[1,4,26] 的平均值 | -28.7 |
| 基期对比情景:2012年 | 89.36 | 2012年中国人均碳排放量(6.6t) ^[27] ×2012年中国人口数(13.54亿人) ^[27] | — |

α_0 的取值有关,因此对于气候保护函数的参数取值,本文只考虑 α_0 的不同取值(表3显示, α_0 有0.010和0.015两种不同取值)。

4 结果及分析

4.1 碳排放达峰对中国宏观经济的综合影响

本部分对不同情景下的碳排放达峰对中国宏观经济的综合影响进行分析,研究碳排放达峰对GDP、居民消费、总投资、居民储蓄、企业储蓄、政府储蓄、存货变动、居民劳动报酬、居民资本收入、居民可支配、居民总收入、企业总收入、政府收入等经济指标的具体影响。

三种情景在 α_0 两种取值下,碳排放达峰对中国GDP等宏观经济影响的模拟分析结果,见表4。

4.1.1 2025年碳排放达峰对宏观经济的影响

情景一中,中国在2025年实现碳排放达到峰值,此时碳排放达峰对总投资基本无影响,政府储蓄和政府收入在 α_0 两种取值下全部下降,其他大部分经济指标均有增长,个别指标在不同 α_0 取值的情况下表现出较大差异。

对于四大经济主体模块具体来说,居民经济主体模块,居民的劳动报酬在 $\alpha_0=0.01$ 时下降了0.09%,在 $\alpha_0=0.015$ 时增加了0.10%,居民的资本收入增加了1.79%~2.65%,居民的消费、储蓄、可支配

收入和总收入都增加了0.06%~0.25%,这种同增同降且增减相同的情况是由模型中居民经济主体模块的方程以及相关的经济学定义决定的。对于企业经济主体模块而言,企业的储蓄增长了3.30%~4.90%,企业总收入增加了1.79%~2.65%。对于政府和国外两个经济主体模块,政府的收入减少了3.14%~4.61%,同时政府的储蓄减少了11.1%~16.24%,这种情况也满足本文对于气候保护支出模型的假设,即气候保护支出归为政府支出,这部分支出由政府总收入支出,这样必然会导致政府储蓄及政府收入的下降。总出口在 $\alpha_0=0.01$ 时减少了0.16%,在 $\alpha_0=0.015$ 时增加了0.1%。总进口在两种取值时分别增加了0.06%和0.1%。总投资在 $\alpha_0=0.01$ 下增加了0.02%,在 $\alpha_0=0.015$ 时没有变化。存货变动在 $\alpha_0=0.01$ 下减少了0.01%,在 $\alpha_0=0.015$ 下增加了0.09%。对于GDP,在 α_0 两种取值下GDP分别减少0.03%和增加0.10%,可以认为GDP的减少是气候保护支出造成GDP的“损失”,Leimbach^[13]在提出气候保护函数时也指出气候保护支出可以看成是GDP的“损失”。

4.1.2 2030年碳排放达峰对宏观经济的影响

情景二中,中国碳排放在2030年达到峰值,除了对总投资基本无影响,政府储蓄和政府收入分别

表4 不同情景下中国碳排放达峰对经济的影响

Table 4 Impact of carbon emissions on economies in different scenarios in China (%)

| 宏观指标 | 情景一:2025年达峰 | | 情景二:2030年达峰 | | 情景三:2035年达峰 | |
|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | $\alpha_0=0.010$ | $\alpha_0=0.015$ | $\alpha_0=0.010$ | $\alpha_0=0.015$ | $\alpha_0=0.010$ | $\alpha_0=0.015$ |
| GDP | -0.03 | 0.10 | 0.06 | 0.08 | 0.04 | -0.03 |
| 居民消费 | 0.06 | 0.25 | 0.14 | 0.21 | 0.11 | 0.06 |
| 总出口 | -0.16 | 0.10 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | -0.16 |
| 总进口 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | 0.06 |
| 总投资 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 |
| 居民储蓄 | 0.06 | 0.25 | 0.14 | 0.21 | 0.11 | 0.06 |
| 企业储蓄 | 3.30 | 4.90 | 2.73 | 4.09 | 2.16 | 3.28 |
| 政府储蓄 | -11.10 | -16.24 | -9.04 | -13.56 | -7.16 | -11.01 |
| 存货变动 | -0.01 | 0.09 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | -0.01 |
| 居民劳动报酬 | -0.09 | 0.10 | 0.06 | 0.08 | 0.04 | -0.09 |
| 居民资本收入 | 1.79 | 2.65 | 1.47 | 2.21 | 1.17 | 1.77 |
| 居民可支配 | 0.06 | 0.25 | 0.14 | 0.21 | 0.11 | 0.06 |
| 居民总收入 | 0.06 | 0.25 | 0.14 | 0.21 | 0.11 | 0.06 |
| 企业总收入 | 1.79 | 2.65 | 1.47 | 2.21 | 1.17 | 1.77 |
| 政府收入 | -3.14 | -4.61 | -2.56 | -3.85 | -2.03 | -3.12 |

注:表中数据为不同达峰情景下的各经济指标相对2012年基准情景的变化。

2017年10月

下降9.04%~13.56%和2.56%~3.85%外,其他经济指标均不同程度增长。这种现象既符合本文对于气候保护支出来源的假设,也符合Leimbach^[13]对于气候保护函数的说明,虽然气候保护支出不能用于再生产和满足消费,但是投入到部门中会创造更多的就业和产出。

具体来说,中国碳排放在2030年达到峰值对中国居民、企业、政府和国外四大经济主体模块都造成了相应的影响。对于居民经济主体模块,居民的劳动报酬增加了0.06%~0.08%,资本收入增加了1.47%~2.21%,居民的消费、储蓄、可支配收入和总收入都增长了0.14%~0.21%。对于企业经济主体模块,企业的储蓄增加了2.73%~4.09%,企业总收入增加了1.47%~2.21%。对于政府和国外两个经济主体模块,政府储蓄和政府收入分别下降-9.04%~-13.56%和-2.56%~-3.85%。存货增加0.05%~0.08%,总出口和总进口都增加了0.05%~0.08%,GDP增加了0.06%~0.08%。

4.1.3 2035年碳排放达峰对宏观经济的影响

情景三中,中国在2035年左右完成了碳排放达峰,影响趋势和情景一相同,即总投资基本无影响,政府储蓄和政府收入下降,其他经济指标大部分增长,但也有个别指标在 α_0 两种取值下表现出较大差异。

对于四大经济主体模块具体来说,居民经济主体模块,居民的劳动报酬在 $\alpha_0=0.010$ 时增加了0.04%,但是在 $\alpha_0=0.015$ 时减小了0.09%。对于这种情况认为在第二种取值时,气候保护支出份额更

大,而且全部以资本的形式投入到部门里,部门对劳动要素需求减少,导致居民的劳动报酬减少,但是因为大量的资本投入,居民的资本收入会增加,居民的资本收入分别增加了1.17%和1.77%也证明了上述原因。居民的消费、储蓄、可支配收入和总收入都增长了0.06%~0.11%。对于企业经济主体模块,企业总收入增长了1.17%~1.77%,同时企业储蓄增长2.16%~3.28%。对于政府和国外两个经济主体模块,政府储蓄下降7.16%~11.01%,政府收入下降2.03%~3.12%,总出口增加了-0.16%~0.04%,总进口增加了0.04%~0.06%,总投资在 $\alpha_0=0.01$ 时没有变化,在 $\alpha_0=0.015$ 时增加0.02%,存货分别增加0.04%和下降0.01%。GDP在 $\alpha_0=0.010$ 时增加了0.04%,而在 $\alpha_0=0.015$ 时减少了0.03%。

此前有研究表明碳排放达峰会对经济造成明显的负增长,对于本研究中大多达峰情景下GDP不降反增,原因在于本文模型假定气候保护支出的使用全部用于“增汇”,一方面并没有对燃煤和石油下游的汽油、航空燃油、天然气等化石燃料产品征收碳税,各部门在气候保护政策下,发展环境没有被破坏;另一方面,气候保护支出的投入,创造了更多的就业条件和部门产出,使得GDP得到继续增长。

4.2 碳排放达峰对部门进出口的影响

本节对各情景下碳排放达峰对于林业、农牧渔业、采矿业、制造业、电水气业、建筑业和服务业等七部门进出口量的影响进行分析,计算结果见表5。

4.2.1 2025年碳排放达峰对部门进出口的影响

情景一中,中国在2025年实现碳排放达峰。此

表5 不同情景下中国碳排放达峰对部门进口、出口变动的影响

Table 5 Impact of carbon emission peak on import and export changes in different scenarios in China

(%)

| 部门 | 进口 | | | | | | 出口 | | | | | |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 情景一:2025年达峰 | | 情景二:2030年达峰 | | 情景三:2035年达峰 | | 情景一:2025年达峰 | | 情景二:2030年达峰 | | 情景三:2035年达峰 | |
| | $\alpha_0=0.010$ | $\alpha_0=0.015$ | $\alpha_0=0.010$ | $\alpha_0=0.015$ | $\alpha_0=0.010$ | $\alpha_0=0.015$ | $\alpha_0=0.010$ | $\alpha_0=0.015$ | $\alpha_0=0.010$ | $\alpha_0=0.015$ | $\alpha_0=0.010$ | $\alpha_0=0.015$ |
| 林业 | 4.94 | 0.08 | 0.05 | 0.07 | 0.04 | 4.88 | -100 | 0.08 | 0.05 | 0.07 | 0.04 | -100 |
| 农牧渔业 | -0.01 | 0.13 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | -0.01 | -0.06 | 0.13 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | -0.06 |
| 采矿业 | -0.04 | 0.10 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | -0.04 | -0.11 | 0.10 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | -0.11 |
| 制造业 | 0.04 | 0.09 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | 0.04 | -0.19 | 0.09 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | -0.19 |
| 电水气业 | -0.02 | 0.11 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | -0.02 | -0.08 | 0.11 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | -0.08 |
| 建筑业 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | -0.16 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.11 |
| 服务业 | 0.01 | 0.11 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | 0.01 | -0.03 | 0.11 | 0.06 | 0.10 | 0.05 | -0.03 |

注:表中的数据为不同达峰情景下的各部门进口数量相对2012年基准情景下各部门进口数量的变化。

时,各部门进口在 α_0 两种取值下大部分表现为进口数量增加。具体表现为:在 $\alpha_0=0.010$ 时,农牧渔业、采矿业和电水气业三个部门的进口数量下降,其中采矿业部门进口数量下降最多,下降了0.04%,农牧渔业和电水气业分别下降0.01%和0.02%;林业、制造业、建筑业和服务业四个部门的进口数量增加,其中林业部门的进口数量增加最多,增加了4.944%,制造业、建筑业和服务业三部门分别增加0.04%、0.06%和0.01%。在 $\alpha_0=0.015$ 时,各部门的进口数量均增加,其中农牧渔业的进口量增加最多,达0.13%;建筑业部门增加最少,为0;其余五部门增加由大到小分别是服务业、电水气业、采矿业、制造业和林业,分别为0.11%、0.11%、0.10%、0.09%和0.08%。

各部门的出口量在 α_0 的两种取值下表现为一种为增加,一种为减少。具体为: $\alpha_0=0.010$ 时,各部门的出口数量全部下降,其中林业部门的出口数量下降最多,达到100%;服务业出口下降最少,为0.03%;其余5部门出口数量减少的变化由高到低依次为制造业、建筑业、采矿业、电水气业和农牧渔业,分别为0.19%、0.16%、0.11%、0.08%和0.06%。在 $\alpha_0=0.015$ 时,各部门的出口量全部表现为增加,其中农牧渔业的出口量增加最多,为0.13%;建筑业部门增加最少,为0.00%;其余五部门出口增加由高到低分别为服务业0.11%、电水气业0.11%、采矿业0.10%、制造业0.09%和林业0.08%。

对于 $\alpha_0=0.010$ 时林业部门进口数量明显大于其他部门的进口增加变化,以及出口量接近100%下降的现象,笔者认为原因在于:本文主要探讨中国通过增汇的方式达到碳排放峰值,面对中国2025年碳排放达峰这一实现比较困难的目标,中国要正视林业部门对增汇方式的重要性,一方面要加大对林业部门投入的力度,同时增加部门进口量,另一方面要减少部门资本的流出,减少部门出口量。

4.2.2 2030年碳排放达峰对部门进出口的影响

情景二中,中国在2030年碳排放达到峰值。各部门进出口额在 α_0 两种取值下全部表现为增加,其中达峰对农牧渔业的进出口数量影响最大,对建筑业的影响最小。且在同一 α_0 取值下,相同部门进口数量和出口数量的增加率相同。

具体来说,中国在2030年实现碳排放达峰,对建筑业进出口数量的影响非常小,仅为0.002%~0.003%,对农牧渔业进出口的影响比较明显,为0.07%~0.11%。其次,电水气业和服务业进出口数量增加相同,都是0.06%~0.10%,采矿业进出口增加0.05%~0.08%,制造业进出口增加0.05%~0.08%。碳排放达峰对林业的影响相对来说较小,林业部门的进出口增加0.05%~0.07%。

4.2.3 2035年碳排放达峰对部门进出口的影响

情景三中,中国在2035年碳排放达峰。此时,各部门在 $\alpha_0=0.01$ 时,相同部门进口数量和出口数量的增加率相同,碳达峰对农牧渔业进口和出口影响最大,为0.06%,对建筑业的影响最小,为0.00%;其余五部门进口和出口数量增加分别为:电水气业和服务业增加相同,0.05%,采矿业增加0.04%,制造业增加0.04%,林业部门增加0.04%。

在 $\alpha_0=0.015$ 时,各部门的进口数量有增有减,其中农牧渔业、采矿业和电水气业三部门的进口数量下降,采矿业进口数量下降最多,下降了0.04%,电水气业和农牧渔业部门分别下降0.02%和0.01%;而林业、制造业、建筑业和服务业部门进口数量全部增加,林业部门增加最多,增加了4.88%,制造业、建筑业和服务业分别增加了0.04%、0.06%和0.01%。在此参数取值下,各部门的出口数量全部下降,其中林业部门的出口下降最多,达100%,服务业部门的出口下降最少,为0.03;其余五部门下降由多到少分别为制造业下降0.19%、建筑业下降0.11%、采矿业下降0.11%、电水气业下降0.08和农牧渔业下降0.06%。

4.3 碳排放达峰对部门产出的影响

本节对情景下碳排放达峰对于林业、农牧渔业、采矿业、制造业、电水气业、建筑业和服务业等七部门产出的影响进行分析,计算结果见表6。

4.3.1 2025年碳排放达峰对部门产出的影响

情景一中,中国在2025年实现碳排放达峰,各部门的总产出变化趋势在 α_0 两种取值下建筑业没有明显变化,其余部门在两种取值下一种为增加,一种为减少。具体表现为:在 $\alpha_0=0.01$ 下,除建筑业的所有部门的总产出均下降,林业部门的总产出减幅最多,达1.78%;服务业减幅最小为0.01%;采矿

2017年10月

表6 不同情景下中国碳排放达峰对部门总产出变动的影响

Table 6 Impact of carbon emissions on the total output of the sector in different scenarios in China (%)

| 部门名称 | 情景一:2025年达峰 | | 情景二:2030年达峰 | | 情景三:2035年达峰 | |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | $\alpha_0=0.010$ | $\alpha_0=0.015$ | $\alpha_0=0.010$ | $\alpha_0=0.015$ | $\alpha_0=0.010$ | $\alpha_0=0.015$ |
| 林业 | -1.78 | 0.08 | 0.04 | 0.07 | 0.04 | -1.76 |
| 农牧渔业 | -0.03 | 0.13 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | -0.03 |
| 采矿业 | -0.07 | 0.09 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | -0.07 |
| 制造业 | -0.05 | 0.09 | 0.05 | 0.08 | 0.04 | -0.05 |
| 电水气业 | -0.04 | 0.11 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | -0.04 |
| 建筑业 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 服务业 | -0.01 | 0.11 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | -0.01 |

注:表中的数据为不同达峰情景下的各部门产出相对2012年基准情景下各部门产出的变化。

业的总产出减少0.07%;制造业的总产出减少0.05%;电水气业减少0.04%;农牧渔业减少0.03%。在 $\alpha_0=0.015$ 下,各部门的总产出为增加,其中农牧渔业总产出增加的幅度最大为0.13%;林业部门总产出增加的幅度最小为0.08%;电水气业和服务业两个部门总产出的增幅为0.11%;采矿业和制造业的增幅为0.09%。

4.3.2 2030年碳排放达峰对部门产出的影响

情景二中,中国在2030年实现碳排放达峰,除建筑业的总产出无明显变化,其余部门在 α_0 两种取值下均有增加。其中,农牧渔业的总产出增幅最大,为0.07%~0.11%;林业的总产出增幅最小,为0.04%~0.07%;采矿业和制造业两个部门的总产出增幅相同,均为0.05%~0.08%;电水气行业和服务业两部门的总产出增幅相同,都是0.06%~0.09%。

4.3.3 2035年碳排放达峰对部门产出的影响

情景三中,中国将在2035年实现碳排放达到峰值,建筑业的总产出在两种参数取值下无明显变化,其余部门在 $\alpha_0=0.01$ 时总产出均增加,在 $\alpha_0=0.015$ 时,所有部门的总产出均下降。具体表现为 $\alpha_0=0.01$ 时,农牧渔产业的总产出增幅最大为0.06%林业、采矿业和制造业三个部门的总产出增幅相同且最小为0.04%;电水气业和服务业两个部门的总产出增加相同为0.05%。 $\alpha_0=0.015$ 时,林业部门的总产出减幅最多达1.76%;服务业减幅最小为0.01%;其余部门减幅由大到小依次为采矿业0.07%、制造业0.05%、电水气业0.04%和农牧渔业0.03%。

5 研究结论与政策建议

5.1 结论

本文通过构建七部门气候保护支出CGE模型,

以编制的2012年SAM表为数据基础,模拟分析了中国在气候保护政策下,不同情景下碳排放达峰对宏观经济的影响。主要研究结论为:

(1)相比此前大多数学者研究的碳税政策而言,基于气候保护政策进行碳达峰目标的实施,对经济的负影响较小,在大多数情景下,碳排放达峰会对中国GDP及其他宏观经济指标造成正向影响。

(2)对于部门进出口来说,气候保护政策进行碳达峰目标的实施,在大多数情境下对林业部门的影响较大,对建筑业影响相对较小,因此政府应该加大对林业部门在增汇方式下的重视程度,一方面要加大对林业部门投入的力度,另一方面要减少部门资本的流出。

(3)对于部门产出来说,气候保护政策进行碳达峰目标的实施,对建筑业的总产出无显著影响,大多数情境下会促进中国其他六部门总产出的增长,农牧渔业普遍增长最多,林业普遍增长最少;部分情景下对部门产出造成负影响,此时对林业部门的影响最大。

(4)综合所有情景分析,考虑到气候保护函数参数的不同取值情况,中国在2030年碳排放达峰最利于中国经济发展,此时中国GDP相比2012年增长0.06%~0.08%,约为540 691.62亿元~540 799.69亿元;总出口相比2012年增长了0.05%~0.08%,约为129 423.98亿元~129 462.79亿元;总进口相比2012年增长了0.05%~0.08%,具体为113 217.97亿元~130 394.17亿元。

5.2 讨论

结论(3)与结论(4)显示,中国在2030年碳排放达峰情景下,各项经济指标与2012年相比变化较小,有违常理和现实情况,这主要是由两方面原因

造成的。首先,本文计算得到的2030年经济情况并非完整意义上的经济预期,而是模拟中国经济在2012年均衡状态下,仅受到气候保护政策影响,达到另一个均衡状态时宏观经济指标以及各部门的变化,强调仅考虑碳排放达峰时的经济变化。同时,经济系统本身是一个非常复杂的系统,GDP等经济指标的变化是受到多方面因素共同影响后的结果。本文虽然详细分析了中国在气候保护政策下达到碳排放达峰的经济影响,但要对2030年经济变动进行透彻的分析,仅仅研究气候保护政策是远远不够的,也超出了本文的研究范畴。其次,结果的产生在一定程度上也受到CGE模型本身局限性的影响^[28]:①CGE模型的动态处理机制有待完善。目前大多采用递推动态处理,尽管在短期模型中具有合理性,但对于长期模型而言,技术变迁、要素变动等无法得到及时反映,本文采用的也是静态CGE模型;②由于需要大量数据,为了降低数据需求,大多数CGE模型都采用单一年度的基准数据进行校准,从而导致模型精度对基准数据非常敏感,若基础年份的数据存在问题,将通过参数校调不同程度影响到模型精度。

此外,CGE模型应用于碳排放领域时也存在一定改进空间^[28]:①建模中碳排放与经济系统的关系还不够成熟,对于如何在CGE模型中纳入碳排放,没有非常可靠的经验,中国目前的碳排放定价机制并不完善,绝大多数情况下碳排放都不完全具有商品属性,因此CGE模型在实现价值均衡时常常面临困难;②将碳排放作为一种基本要素时,CGE模型要求碳排放市场必须达到均衡,但实际上这对碳排放来说是不太可能的,因此在设计模型时必须进行一定修改,增加相应限制条件;③缺少对不完全市场、市场失灵和不确定性等问题的考虑,这对基于完全竞争市场和代表性经济参与人假设的CGE模型来说是个重要问题。尽管如此,本文通过构建碳排放达峰的CGE模型定量测算了不同情景下碳排放达峰对中国经济的影响,并进行了比较,相关结果对碳排放政策的制定具有一定的启示。

5.3 政策建议

根据本文的研究结论,提出以下政策建议:

(1)实现碳排放达峰需考虑采用更多的气候保

护政策。增汇型的气候保护支出政策,一方面可以扩大森林面积,提高森林的质量,达到碳排放达峰的目的;另一方面气候保护政策不仅不会影响中国宏观经济的发展和产业产出的增长,还会增加居民收入,促进居民消费的增长。

(2)提高对碳增汇的重视。随着全球气候变化,世界上更多的国家都把减排作为应对气候变化的首要工作。碳增汇同样是控制全球气候变化的重要手段,要提高对碳增汇的重视,保护森林对碳的吸收能力,使碳减排和碳增汇达到双赢。

(3)控制碳排放达峰时间。研究发现,2030年是中国碳排放达峰的最佳时机,过早实现二氧化碳排放达峰目标会对经济增长造成负面影响,各部门产出全部下降。过晚实现碳排放达峰则违背中国2030年碳排放达峰的国际承诺。

参考文献(References):

- [1] 周伟,米红. 中国碳排放:国际比较与减排战略[J]. 资源科学, 2010, 32(8): 1570-1577. [Zhou W, Mi H. China's carbon emissions: international comparison and mitigation strategies[J]. *Resources Science*, 2010, 32(8): 1570-1577.]
- [2] 王志轩. 我国能源消费碳排放峰值水平估计及影响分析[J]. 中国电力企业管理, 2014(12): 28-29. [Wang Z X. Estimation of peak level of energy consumption in china's energy consumption and its impact analysis[J]. *China Power Enterprise Management*, 2014(12): 28-29.]
- [3] 柴麒麟,徐华清. 基于IAMC模型的中国碳排放峰值目标实现路径研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(6): 37-46. [Chai Q M, Xu H Q. Modeling carbon emission peaking pathways in China based on integrated assessment model IAMC [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(6): 37-46.]
- [4] 渠慎宁,郭朝先. 基于STIRPAT模型的中国碳排放峰值预测研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(12): 10-15. [Qu S N, Guo C X. Forecast of China's carbon emissions based on STIRPAT model[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(12): 10-15.]
- [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. [He J C. Analysis of CO₂ emission peak: China's objective and strategy[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(12): 1-9.]
- [6] 刘长松. 我国实现碳排放峰值目标的挑战与对策[J]. 宏观经济管理, 2015, (9): 46-50. [Liu C S. Challenges and counter-

2017年10月

- measures of realizing the peak target of carbon emission in China [J]. *Macroeconomic Management*, 2015, (9): 46-50.]
- [7] 张兵兵, 徐康宁, 陈庭强. 技术进步对二氧化碳排放强度的影响研究[J]. *资源科学*, 2014, 36(3): 567-576. [Zhang B B, Xu K N, Chen T Q. The influence of technical progress on carbon dioxide emission intensity[J]. *Resources Science*, 2014, 36(3): 567-576.]
- [8] 许士春, 习蓉, 何正霞. 中国能源消耗碳排放的影响因素分析及政策启示[J]. *资源科学*, 2012, 34(1): 2-12. [Xu S C, Xi R, He Z X. Influential factors and policy implications of carbon emissions for energy consumption in China[J]. *Resources Science*, 34(1): 2-12.]
- [9] 刘朝, 赵涛. 中国低碳经济影响因素分析与情景预测[J]. *资源科学*, 2011, 35(5): 844-850. [Liu C, Zhao T. Influencing factors and scenario forecasting of China's low- carbon economy[J]. *Resources Science*, 2011, 35(5): 844-850.]
- [10] 蒋金荷. 中国碳排放量测算及影响因素分析[J]. *资源科学*, 2011, 33(4): 597-604. [Jiang J H. An evaluation and decomposition analysis of carbon emissions in China[J]. *Resources Science*, 2011, 33(4): 597-604.]
- [11] 顾阿伦, 何崇恺, 吕志强. 基于 LMDI 方法分析中国产业结构变动对碳排放的影响[J]. *资源科学*, 2016, 38(10): 1861-1870. [Gu A L, He C K, Lv Z Q. Industrial structure changes impacts on carbon emissions in China based on LMDI method[J]. *Resources Science*, 2016, 38(10): 1861-1870.]
- [12] 李艳梅, 张雷, 程晓凌. 中国碳排放变化的因素分解与减排途径分析[J]. *资源科学*, 2010, 32(2): 218-222. [Li Y M, Zhang L, Cheng X L. A decomposition model and reduction approaches for carbon dioxide emissions in China[J]. *Resources Science*, 2010, 32(2): 218-222.]
- [13] Leimbach M. Modeling climate protection expenditure[J]. *Global Environmental Change*, 1998, 8(2): 125-139.
- [14] 吴静, 王铮, 吴兵, 等. 中国增汇型气候保护政策实施对经济的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(11): 4815-4823. [Wu J, Wang Z, Wu B, et al. Effects of the implementation of climate policy by increasing carbon sinks on China's economy[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4815-4823.]
- [15] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 国家应对气候变化规划(2014-2020年)[EB/OL]. (2014-09-19)[2017-03-05]. <http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201411/020141104584717807138.pdf> [National Development and Reform Commission. National Response to Climate Change Planning (2014- 2020) [EB/OL]. (2014-09-19)[2017-03-05]. <http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201411/W020141104584717807138.pdf>]
- [16] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 中国应对气候变化的政策与行动 2016 年度报告[EB/OL]. (2016-11-02)[2017-03-05]. <http://qhs.ndrc.gov.cn/zcfg/201611/W020161102607989331759.pdf> [National Development and Reform Commission. China's Policies and Actions for Addressing Climate Change (2016)[EB/OL]. (2016-11-02)[2017-03-05]. <http://qhs.ndrc.gov.cn/zcfg/201611/W020161108342237594465.pdf>]
- [17] 国家统计局国民经济核算司. 2012 年中国投入产出表[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015. [Department of National Accounts of National Bureau of Statistics . 2012 China Input-Output Table [M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.]
- [18] 国家统计局. 中国统计年鉴 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012. [National Bureau of Statistics. China Statistical Yearbook 2012[M]. Beijing: China Statistics Press, 2012.]
- [19] 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, 19(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, 19(10): 39-47.]
- [20] 赵永, 王劲峰. 经济分析 CGE 模型与应用[M]. 北京: 中国经济出版社, 2008. [Zhao Y, Wang J F. Economic Analysis CGE Model and Its Application[M]. Beijing: China Economic Press, 2008.]
- [21] Willenbockel D. Structural Effects of a Real Exchange Rate Revaluation in China: A CGE Assessment[EB/OL]. (2006- 12- 25) [2017- 04- 05]. https://mpr.ub.uni-muenchen.de/920/1/MPRA_paper_920.pdf.
- [22] Zhai F, Herter T. Impacts of the Doha Development Agenda on China: The Role of Labor Markets and Complementary Education Reforms[R]. World Bank Policy Research Working Paper 3702, 2005.
- [23] 人民网. 中美气候变化联合声明[EB/OL]. (2014-11-15)[2017-04-05]. <http://politics.people.com.cn/n/2014/1115/c70731-26030589.html>. [People's Network. Sino- US Joint Declaration on Climate Change [EB/OL]. (2014- 11- 15) [2017- 04- 05]. <http://politics.people.com.cn/n/2014/1115/c70731-26030589.html>.]
- [24] 中国工程院项目组. 中国能源中长期(2030、2050)发展战略研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2011. [Chinese Academy of Engineering Project Team. Research on China's Medium and Long Term (2030, 2050) Development Strategy[M]. Beijing: Science Press, 2011.]
- [25] 何建坤. 中国的能源发展与应对气候变化[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(10): 40-48. [He J K. Energy development and addressing climate change in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(10): 40-48.]
- [26] 崔民选, 王军生. 中国能源发展报告(2014)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2014. [Cui M X, Wang J S. China Energy Outlook 2014[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press(China), 2014.]
- [27] 中国国家统计局. 中国总人口[EB/OL]. (2017-03-08) [2017-04-

05]. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Population of China[EB/OL]. (2017-03-08)[2017-04-05]. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>.]

[28] 于浩伟,沈大军. CGE模型在水资源研究中的应用与展望[J]. 自然资源学报, 2014, 29(09): 1626-1636. [Yu H W, Shen D J. Application and outlook of CGE Model in water resources[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(09): 1626-1636.]

Impact of a peak in carbon emissions on China's economy in different situations : analysis based on CGE model

WANG Yong^{1,2}, WANG Endong¹, BI Ying¹

(1. School of Statistics, Dongbei University of Finance and Economics, Dalian 116025, China;

2. Postdoctoral Research Station of Dongbei University of Finance and Economics, Dalian 116025, China)

Abstract: In order to actively respond to global climate change and reduce carbon dioxide emissions, China has proposed to achieve a carbon dioxide emissions peak in 2030. Achieving peak carbon emissions is both an international commitment in China's global climate negotiations and a necessary choice for China to achieve economic restructuring and sustainable development. A carbon emissions peak under policy constraints have a certain degree of impact on China's economic development. Based on the 7-sector CGE model, which includes climate protection expenditure, we simulated the economic impact of China achieving peak carbon emissions in 2025, 2030 and 2035. The results show that the earlier the time of achieving the peak of carbon emissions, the greater the economic impact. Three kinds of carbon emission peak scenarios, government revenue and savings have decreased significantly, while the rest of the economic indicators have not caused much impact. The impact of the peak of carbon emissions on the construction industry is small, while the output of other sectors may increase slightly. On the whole, 2030 is the best time for China to achieve a peak in carbon emissions. We suggest that China adopt more climate protection policies to achieve the peak of carbon emissions in China. The country should increase its emphasis on carbon sequestration, protect the absorption capacity of forests to carbon and achieve a win-win situation for carbon reduction and carbon enrichment. Carbon emission peak time of 2030 is the best time for China's carbon emissions peak and to prematurely achieve this target in carbon dioxide emissions will have a negative impact on economic growth and output decline in all sectors.

Key words: carbon emissions peak; economic impact; CGE model; scenario analysis; China