CO_2 排放控制的动态宏观经济模拟分析

王 铮[1,2],郑一萍[1],蒋轶红[1],刘 扬[1],孔祥德[3]

(1. 华东师范大学地理信息教育部实验室,上海 200062,2. 中国科学院政策与管理科学研究所,北京 100080,3. 美国孟菲斯大学,TN38152)

摘要:以 Nordhaus-Pizer 模型和 Leimbach 模型为基础,在新经济增长理论框架下,发展了一个气候保护分析的宏观经济动态模型,模拟分析了不同削减水平下我国温室气体排放的对我国 GDP 增长和社会福利的影响,数值模拟发现:如果不推动减排,我国经济增长到 2025 年左右将失去优势。如果中国适当参加减排,采用每年控制少排放 0.2%的水平,到 2050 年相对不控制将少排放 10%,对中国经济发展最为有利,对全球气候保护也是一个贡献。

关键词:CO_2 减排;气候保护;宏观经济模拟;中国

Dynamic macroeconomic modeling and analysis of CO_2 abatement

WANG Zheng[1,2], ZHENG Yi-Ping[1], JIANG Yi-Hong[1], LIU Yang[1], KUNG Hsiang-Te (1. *Laboratory of Geographic Information Science, East China Normal University, Ministry of Education, Shanghai* 200062, *China*; 2. *Institutes of Policy and Management, Chinese Academy of Science, Beijing* 100080, *China*; 3. *The University of Memphis, USA, TN*, 38152). ***Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1508～1513.**

Abstract: Based on the Nordhaus-Pizer Model and Leimbach Model and within the theoretic framework of new economic growth, this paper presents a dynamic macroeconomic model to analyze the impact of greenhouse gases (GHG) emission in China at different reduction levels upon its GDP growth and social welfare.

The discussions regarding the China's CO_2 emission reduction focus on cost and benefit or whether the economic loss will be recovered by the economic gains from the reduction of CO_2. There is no reason why China should abandon those reduction measures that do little or no harm to the economy. Through the simulation analysis of the influence of CO_2 emission reduction upon the national economy, the authors of the paper summarize the following:

(1) According to the simulation, the Chinese national economic growth will decline around 2025 without the improvement of the GHG emission reduction。

(2) The simulation have indicated that the national economic growth rate will remain at a high level when the growth rate of CO_2 emission drops by 0.2% per year or by 10% at the year after 50 years. It is feasible for China to take a proper participation in the emission reduction in certain circumstances.

(3) To implement the emission reduction policy, the higher the CO_2 emission reduction rate is, the greater the Chinese economy will be occurs. This impact will be more profound with the passage of time. The CO_2 emission is controlled at the expense of GDP growth and decline of the consumption utilities. As a developing country, China dose not have adequate capital investment in emission reduction and production. If the growth rate of CO_2 emission drops by 0.5% annually instead 0.2% or 23% or not 10% in 50 years, Chinese economy will certainly be affected.

Key words: CO_2 abatement; climate protection; macroeconomic simulation; China

文章编号:1000-0933(2004)07-1508-06 **中图分类号**:Q143 **文献标识码**:A

基金项目:国家自然科学基金资助项目(401990013);教育部博士点基础资助项目(20010269010)

收稿日期:2003-06-19;**修订日期**:2004-04-13

作者简介:王 铮(1954～),男,云南人,研究员,主要从事经济政策,全球变化研究。

Foundation item: the National Natural Science Foundation of China (No. 401990013), and Doctor Station Fund of Ministry of Education (No. 20010269010)

Received date: 2003-06-19; **Accepted date**: 2004-04-13

Biography: WANG Zheng, Ph. D., Professor, mainly engaged in economic policy and global change.

万方数据

我国学者开展 CO_2 排放控制的研究,就公开报道的文献而言,1998 年 Zhang 利用 CGE 模型考察了中国征收碳税以达到减排目的的影响[1]。郑玉歆、樊明太等基于 PRCGEM,分析了在不同情景下通过征收碳税减排 CO_2 的成本[2],是国内最早公开报道的成果;贺菊煌、徐嵩龄也开展了基于 CGE 的模型开展碳税与就业等研究,提出了有影响的结论①;崔丽丽、王铮、刘扬就多情景下的减排影响开展初步研究,该项研究没有考虑减排成本[3];王铮、胡倩立、郑一萍就气候保护产生减排的社会风险的作用问题开展了初步模拟[4],但是为静态的②。总之,这些工作或者是静态的,或者没有地球系统的反馈,并且均没有考虑人力资本的作用,在长程发展的情况下,需要考虑资本特别是人力资本的增长作用和减排过程引起的地球系统的反馈本文试图弥补这些研究的不足,即考虑长程条件下减排成本。由于目前流行的 CGE 分析方法限制了它的动态分析功能,同时难于反应地球系统的反馈,采用宏观经济增长模型来认识问题。作为一般宏观经济分析框架的发展,在分析中考虑了人力资本的作用。

1　建模

1.1　Nordhaus-Pizer 模型

Pizer 基于 Nordhaus[5]的结果发展的减排控制影响模型,建立了他所谓的状态连贯模型(State-contingent 模型)[6],因为这个模型考虑了经济状态与气候状态的相互关联,被人们称为 Nordhaus-Pizer 模型。NP 该模型由 3 个主要模块组成:(1)经济子模型;(2)气候子模型;(3)趋势子模型。其中经济子模块刻画经济系统内生机制,趋势子模型反映外生变量的变化,气候子模块描述 CO_2 减排对气候的平均影响。3 个模块结合,构成一个自然-经济系统。NP 模型结构见图 1。图中小括号中的数字代表相应的等式编号。

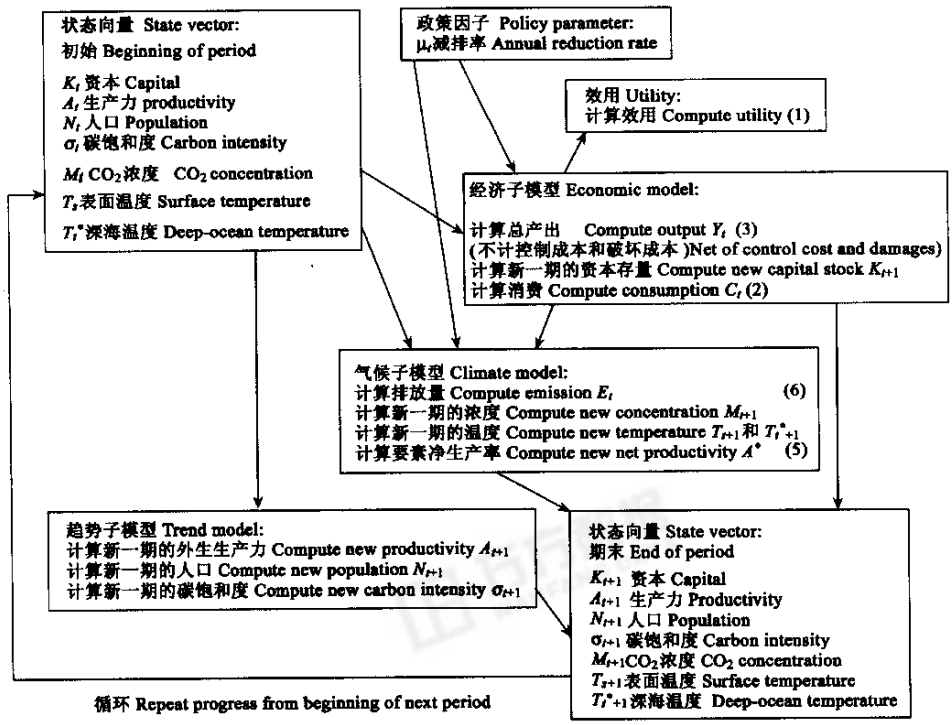

图 1　NP 模型流程图(据 Pizer[6],1999,有修改)

Fig. 1　NP model(by,Plzer[6],1999,with modify)

NP 模型的详细结构可以参见 Pizer,几个关键等式如下[6]:

效用函数

$$u(t)=(1+\rho)^{-1}\times N_t\frac{(C_t/N_t)^{1-\tau}}{1-\tau} \tag{1}$$

① 贺菊煌,沈可挺,徐嵩龄. 碳锐对中国国民经济的影响:基于 CGE 模型的实证分析,中国社会科学院数量经济与技术经济研究所工作论文,2001

② 据有关消息,国家发展委能源研究所和清华大学开展了相关研究,未见成果的公开报告。这些研究已经见到的基本上为统计分析,可参见,胡秀莲,姜克隽. 我国温室气体排放状况及相关政策措施. 能源研究所能源环境与气候变化研究中心,2002

万方数据

这里，$u(t)$，C_t 分别为 t 时刻的效用和消费，消费存在时间偏好 ρ，τ 代表性消费者每消费一个单位货币的相对风险系数，N_t 为 t 时刻的消费者(人口)数，其中 C_t 满足：

$$C_t = K_t(1 - \delta_K) + Y_t - K_{t+1} \tag{2}$$

式中，Y_t，K_t 分别为 t 时刻的国民产出和物资资本投入，δ_K 为资本折旧率。NP 模型使用典型的 Cobb-Douglas 形式的生产函数来描述国民产出：

$$Y = A_t^* L_t^{1-a} K_t^a \quad 0 < \alpha < 1 \tag{3}$$

式中，L_t 为 t 时刻的劳动力，A_t^* 则可看成是除去由于气候变化破坏导致的损失后的净要素生产率。它联系了气候变化与经济产出。为了计算劳动力，NP 模型假定：

$$L_t = \omega \cdot N_t \tag{4}$$

描述气候影响的模型为：

$$A^* = \left(\frac{1}{1 + (D_0/9)T_t^2} \right) A_t \tag{5}$$

式中，T_t 为与工业化之前相比的地球系统平均表面温度(℃)变化，D_0 为全球温度上升 3 ℃后的总 GDP 的部分损失。这实质上就是一个平方破坏函数。模型中人口变化、技术进步是外生的。经济系统的排放为：

$$E_t = \sigma_t Y_{t-1} \frac{A_{t-1}}{A_{t-1}^*} \tag{6}$$

式中，E_t，CO_2 排放量；σ_t，排放/产出的趋势，外生的；表达式 $Y_{t-1}\frac{A_{t-1}}{A_{t-1}^*}$ 反映了不受气候破坏影响下的原产出。

1.2 模型的改进

为了研究中国的排放控制问题，需要改进 NP 模型，以更适合反映经济系统和中国的情况。

首先，新经济增长理论已经发现，经济增长过程与人力资本密切相关。中国政府确定科教兴国为基本发展战略，人力资本的投入不可忽视，为此应用的生产函数为：

$$Y_t = A_t^* L_t^{1-a} K_t^a H^\gamma \tag{7}$$

式中，H 为人力资本因素，人力资本的度量方式取 Jeong 的模型[7]。这个因素需要内生化，取：

$$H_t = a\ln(\eta_e Y_{t-1}) + b \tag{8}$$

式中，η_e 是每年的教育投资占 GDP 的比例，教育的投入对产出的影响有滞后性，因此用前一年的 GDP 来计算，a 和 b 是相关的系数。选取这个模型是采用多种模型拟合中国实际数据的结果。相应的物资资本的资本积累如下：

$$K_{t+1} = K_t(1 - \delta_K) + \eta Y_t(1 - CP(t)/Y_t) \tag{9}$$

式中，η 是我国平均年固定资本投资占 GDP 的比率。

本文的模型不是着眼于碳税控制，而是考虑一部分国民产出用于保护气候，为此，采用了 Leimbach 模型中的一个重要函数——气候保护函数[8]，通过该函数可以得出在不同的削减水平下用于保护气候的支出占国民产出的比重，如等式(6)所示。

$$CP(t)/Y_t = \begin{cases} a_1 ERP^{a_2} + a_0 & ERP > 0 \\ a_0(ERP/0.5 + 1) & -0.5 \leqslant ERP \leqslant 0 \end{cases} \tag{10}$$

式中，ERP 为 CO_2 年排放量的削减百分比。在政府不对 CO_2 排放采取控制的情况下(即气候保护支出为 0 的情况下)，Nordhaus[5]认为全球 CO_2 的排放量是逐年上升的，但一般不会超过基准年的 50%，因此 Leimbach[8]假设 ERP 的最小值为 −0.5，即排放量上升 50%时，政府没有任何投入。参数 a_0 是一个正值，表明即使保持与基年相同的削减水平仍有一部分支出用于气候保护，可以称作基年减排效应。a_1 为比例系数，是减排影响作用系数，a_2 可以看成是气候保护支出对 CO_2 削减水平的弹性系数，是减排影响弹性系数。若假设削减过程是连续的，则 CO_2 的削减水平 ERP 和 CO_2 的年削减百分比 RP_t 之间的关系可以通过下式求出：

$$ERP = 1 - (1 - RP_t)^t \tag{11}$$

在技术进步的条件下，排放/产出比在下降，NP 模型采用

$$\ln(\sigma_t) = \ln(\sigma_{t-1}) + \gamma_\sigma \exp(-\delta_\delta t) \tag{12}$$

式中，γ_σ 为排放/产出的初始增长率(负数)，δ_δ 为增长率的年衰减率。

模型的第二项改进是将全球一体的模型分解中国和中国以外国家，分别计算两个地区的 CO_2 排放，用总的排放量计算大气的碳密度，估计气候影响。关于碳密度对气候影响的模型体系，请参见 Pizer[6]。

1.3 模型参数概述

万方数据

修正的状态连贯模型共包括 18 个不同的参数，其中的 10 个参数是描述经济活动的，有关参数中的所有初始参数均以

1995 年作为基准年份计算。

关于纯时间偏好 ρ,其计算多少带有任意性,根据 OECD 对发展中国家的评估[9],对中国来说它在 4%～8%之间,基于中国人比较倾向储蓄这一事实,取 4%。对于经济活动的参数的估计采用了《中国统计年鉴 1999》与《中国投入产出表 1997》的统计数据,经过回归分析后所得参数见表 1。

表 1　经济活动参数

Table 1　Economic parameters

ρ	τ	δ_k	α	γ	η_e	a	b	η	a_0	a_1	a_2
0.04	0.518	0.13	0.818	1.845	0.032	0.216	−0.21	0.31	0.01	0.15	1.4

由于 CO_2 的排放绝大多数都是由燃烧化石燃料、水泥生产引起的,因此对于排放参数,采用中国燃烧化石燃料以及水泥生产所产生的 CO_2 排放量(CDIAC,2001)代替中国总的 CO_2 排放量,结合总产出数据计算得 1995 年为基准年的 $\gamma_\sigma=-0.012$。从全球范围来看,一些气候变化参数是恒定的,因此采用 DICE 模型[5]中所采用的气候变化参数。对于控制成本参数 D_0,许多学者都做过相应的研究,一般普遍认为全球变暖的破坏在发展中国家更为严重。根据 OECD 的估计,CO_2 排放增长 2 倍,即温度上升 2.5 C时中国的 GDP 大约损失 4.7%[9],Nordhaus[5]估计到 2090 年全球气温上升 3 C时,全球的平均 GDP 损失约为 3.6%,损失范围在 0～21%之间。当气温上升到 3 C时,中国的 GDP 年损失约为 5.5%。

2.4　模型初始值的获得

本文的模型是动态模型,其中,后一期的数据是根据前一期数据计算得到的,因此需要设置模型开始运算时的初始值。以 1995 年作为模型开始的初始年份,通过查阅有关资料、计算获得各初始值。

表 2　模型初始值

Table 2　Initial value for the model

参数 Parameter	符号 Symbol	单位 Unit	值 Value
资本存量 Capital stock	K_0	亿元￥100 mill.	50411.25759
劳动人口 Labor force	L_0	万人 10 thousand persons	67947
净要素生产率 The net labor productivity	A_0	无量纲 No dimension	0.48
总人口 Gross population	N_0	万人 10 thousand persons	121121

数据来源:a《中国统计年鉴 1999》;b《中国劳动统计年鉴 1999》;c《1998～1999 世界资源报告》;d Pizer,1999[6]

对于中国资本存量的初值,本文采用王琪延的计算结果[10],他将各产业部门的固定资产分别算出,然后求总和。人力资本的取值是采用 Jeong[7]的模型估算。对于总人口数本文采用沈建法的 1999 年到 2050 年的全国总人口数[11]。所得数据与《中国国民经济和社会发展"九五"计划和 2010 年远景目标纲要》及《中国 21 世纪人口、环境与发展白皮书》中的人口控制目标相近。

2　模拟结果

根据本文这里发展的模型,将我国到本世纪中叶的 CO_2 减排量分成 4 种情景:情景 1,控制我国的 CO_2 排放量年少增 0.2%,这样到 50a 后当年累计少排 10%;情景 2,控制 CO_2 年排放量少增 0.5%,相当于 50a 后当年少排放 23%的理想情景[8];情景 3,我国将减排率定为 0%,即不进行控制,让排放量随着经济增长而增加,世界其它地区减排。对于这里的 3 种情况,均假设世界其它地区的排放量保持在 1990 年的水平不增加,即为 5440.5 百万 t。第 4 种情形为中国不参与减排,世界不积极控制,中国按目前增长率增长每年衰减 0.1%。情形 4 已经不涉及本文的模型,是一般经济工作者的分析思路,实际上如果中国不积极推动减排,中国的经济增长率将会低于这个数字。所以,它是不控制气候的最好结果。

应用模型,计算了 4 种减排情况,其中前 3 种未来 50a 的 GDP 与效用情况如表所示。可以发现减排率与收入、效用之间的关系不能用简单的正比和反比来表示。减排率对收入、效用的影响都是通过社会有效生产率发生作用的。

由表 3 可见,历年 GDP 收入和历年效用的变化趋势大致是相同的。从不同减排情景之间比较来看,各减排率下的历年收入趋势基本相近,通常高减排率情景下的收入与效用均低于低减排率下的相应收入和效用,并且随着时间的推移,这种趋势变的越来越明显。如在 2010 年年少增 0.2%和 0.5%时的年收入分别比不减排的情况低了约 2.02%和 7%,表内所有年份的年少增 0.2%和 0.5%时的年收入分别比不减排的情况下平均下降了 2.4%、10.63%。从整个过程来看,减排率越高,效用越低。这是可以理解的,毕竟减排率的设置在一定程度上抑制了生产活动。仔细分析,发现在 15a 内(图中 2010 年之前),效用的上升趋势较陡,而此后上升较为缓慢(图 2)。

在图 3 中给出了 4 种情形在未来 50a 中的 GDP 变化情况。

从图 3 中可以看出,如果中国不推动 CO_2 减排,中国按照预计的经济增长率发展(情景 4),在 2025 年前经济增长会处在较

万方数据

高的水平上，但是约从 2025 年开始后，不减排将付出代价，减排的效果则更好。在所有情景中，中国不控制排放，世界到 2050 年减排 10%，对中国经济增长最为有利；但是这是一厢情愿的。西方国家特别是美国已经表示如果中国、印度不参与减排，他们也不参与，所以这种情景仅仅是上限。在这种形势下，中国适当参与减排是不可避免的。模拟计算发现，如果中国每年少增加排放 0.2%，相当于经过 50 年，相对不减排，当年少排放 10%，那么中国经济增长率能够保持在一个高的水平上，但是每年少排放 0.5%，相当于 50 年后的当年少排放 23%，虽然控制量大，中国的经济增长将受到明显影响。因此，中国承诺 50 年后少排放 10%是合适的。即采用年少增 0.2%的政策方案。这样，既保证了我国经济的持续发展，又可对世界气候环境的改善作出积极的贡献。

表 3 各情景下中国未来的年 GDP 和效用

Table 3 Yearly income & utility under the each scene

情景 Scenario	不减排 Free of emission reduction		排放量年少增 0.2% A drop of 0.2% in the growth rate of the CO_2 emission		排放量年少增 0.5% A drop of 0.5% in the growth rate of the CO_2 emission	
年份 Year	GDP(亿元)(¥100 mill.)	效用 Utility	GDP(亿元)(¥100 mill.)	效用 Utility	GDP(亿元)(¥100 mill.)	效用 Utility
1996	48040.47	47995.36	47982.61	48053.65	47853.48	48182.66
2000	72724.42	67482.42	72195.01	67232.93	71006	66661.75
2005	109082.6	94335.01	107519.2	93447.7	103864.5	91321.12
2010	154305.1	125788.8	151187.5	124007	143502	119479
2015	210946	162371.6	205690.4	159451.1	191934	151532.2
2020	284646.2	208131	276531	203779.8	253838.6	191115.8
2030	489223.8	323452.9	473349.5	315655.6	421628.6	288947
2050	1101696	615124.7	1069350	601840.1	913439.9	532630.6

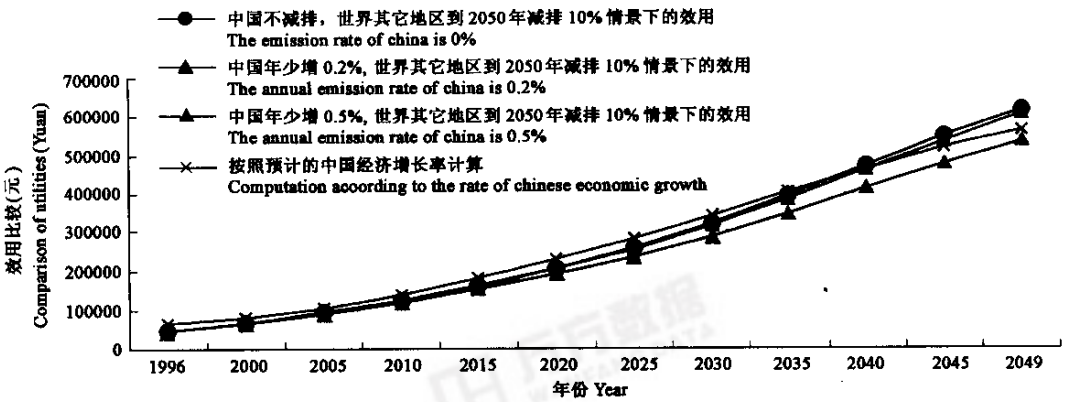

图 2 各情景下的中国到本世纪中叶的效用比较

Fig. 2 Utility varies under each scene with each scenario

3 结论与讨论

作为一个 CO_2 减排量随着经济快速增长而迅速增加的大国，中国对世界气候变化的潜在影响不能忽视，正确制定环境经济政策对于控制这种影响是相当关键的。本文模拟研究分析认为：

(1) 如果世界不开展气候保护的减排活动，相对减排而言，从 2025 年中国的经济发展可能受到损失。

(2) 如果中国每年少增加排放 0.2%，相当于 50a 后的当年少排放 10%，那么中国经济增长率能够保持在一个高的水平上。换言之，在一定条件下，中国适当参与减排是有利的。

(3) 在减排政策开始执行后，CO_2 减排率越高，对于中国经济的影响就越大，而且这种影响随着时间的推移将不断加深，我国对温室气体排放的控制是以 GDP 增长减慢和消费者的效用下降为代价的。同时，可以推断，当减排水平过高时，作为发展中国家，在保证经济生产投资的同时，我国是没有足够的资金或者能力来承受的，否则经济发展将遭受很大的制约和影响，正如本文中假设的每年少排放 0.5%，相当于 50a 的当年少排放 23%，但中国的经济增长将受到明显影响。

另外，本文从成本收益的角度模拟分析了 CO_2 排放控制对中国经济发展的影响，从某种角度而言，还有很多局限性：

万方数据

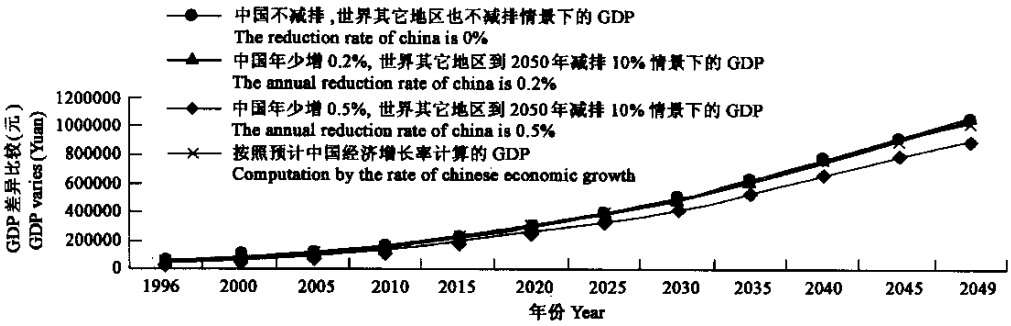

图 3　4 种情景下中国到本世纪中叶的 GDP 预测值比较

Fig. 3　GDP varies with each scenario

(1) 随着我国能源利用结构的逐步改善和能源利用率的不断提高,CO_2 排放总量会慢慢得到控制,因此需要在模拟的过程中进行逐年调整减排率,做到既达到减排目的,又减少对经济的影响。而目前在模型中使用的是固定的 CO_2 减排率,因此本文只能提供一种固定年 CO_2 减排率下的效用变动趋势;

(2) 环境普遍存在于经济系统这一特性使得环境问题中存在着不确定性,需要把不确定因素考虑到环境政策模拟分析中,运用模型及最佳不确定性参数得出的结果可有助于决策者制订出更加严密的政策,但是本文采用的是固定的参数选择。

(3) 本文中的一些参数和模型使用的初始值,例如气候变化参数,鉴于现有研究结果的准确性和统计口径的差异,因此这些参数和模型初始值不可避免的带有一定的主观性,这些就使模型的结果具有一定的局限性,如若出现大的随机扰动就会改变模型模拟结果的趋势。

(4) 正如一些研究者提出的,中国需要开展参与世界减排的对策论研究。本文的工作为这种研究提供了一个基础。

References:

[1] Zhang Z X. Macroeconomic effects of: a computable general equilibrium analysis for China. *Policy Modeling*, 1998, **20** (2): 213～250.

[2] Zheng Y X, Fan M T, *et al*. *A Chinese CGE Model and Policy Analysis*. Beijing: Social Sciences Publishing House, 1999.

[3] Cui L L, Wang Z, Liu Y. Modeling the impact of CO_2 mitigation rate on China's National economy: A fuzzy equilibrim analysis over the uncertainly. *Journal of safety and Evvironment*, 2002, (1): 39～43.

[4] Wang Z, Hu Q L, Zheng Y P, *et al*. A Simulation of the Influence of the Climate Protection Cost on the Chinese Economic Safety. *Ecology*, 2002(12)

[5] Nordhaus W D. Managing the Global Commons. MIT Press, Cambridge, 1994.

[6] Pizer W A. The optimal choice of climate change policy in the presence of uncertainty. *Resource and Energy Economics* 1999, **21**: 255～287.

[7] Jeong B. Measurement of human capital input across countries: a method based on the laborer's in come. *Journal of evelopment economics*, 2002, **67**: 333～349.

[8] Leimbach M. Modeling climate protection expenditure, *Global Environmental change*, 1998, **8**(2): 125～139.

[9] OECD. The Economic Appraisal of Environmental Projects and Policies: A Practical Guide, Paris, 1995.

[10] Wang Q Y. An Evaluation of the China's Fixed Capital Values. *Statistic Analysis*, 2000 (3).

[11] Shen J. China's future population and development challenges. *The Geographical Journal*, 1998, **164**: 32～40.

参考文献:

[2] 郑玉歆、樊明太,等. 中国 CGE 模型及政策分析. 北京:社会科学出版社,1999.

[3] 崔丽丽,王铮,刘扬. 中国经济受 CO_2 减排率影响的不确定性 CGE 模型分析. 安全与环境学报,2002,**2**(1):39～43.

[4] 王铮,胡倩立,郑一萍,等,气候保护支出对中国经济安全的影响模拟. 生态学报, 2002, **22**(12):2238～2245.

[9] 经济合作与发展组织. 施涵,陈松译. 环境项目和政策的经济评价指南. 北京:中国环境科学出版社,1996.

[10] 王琪延,中国固定资产价值的推算,统计研究,2000(3):53～59.

万方数据