

技术进步作用下中国 CO₂ 减排的可能性王 铮^{1,2}, 蒋轶红³, 吴 静¹, 郑一萍¹, 黎华群⁴

(1. 华东师范大学地理信息教育部重点实验室, 上海 200062; 2. 中国科学院政策与管理研究所, 北京 100080;

3. 香港中文大学, 香港沙田; 4. 乔治梅森大学, 弗吉尼亚 22030-4444)

摘要:建立了包含技术进步作用的 CO₂ 减排经济影响的宏观经济模型, 基于这个模型, 开展了中国减排 CO₂ 经济影响的政策模拟, 研究发现, 中国每年降低排放 0.2% 的排放量(少增 0.2%), 到 2050 年 GDP 会比不控制下降 5.12%, 但是最高还能保持 GDP 年增长率为 7.2% 左右, 如果中国承担年少排 0.5% 的减排任务, 从 2000 年到 2050 年相当于 50a 少排放 12.4%, GDP 的年增长率平均值为 6% 左右。如果中国加大教育科研投资 0.5% GDP, 则不仅减排的影响可以克服, 而且到 2050 年 GDP 提高 25% 左右。

关键词:技术进步; CO₂ 减排; 政策模拟

文章编号: 1000-0933(2006)02-0423-09 中图分类号: Q14, X171.1 文献标识码: A

The research on China's potential abatement of CO₂ by technological progress

WANG Zheng^{1,2}, JIANG Yi-Hong³, WU Jing¹, ZHENG Yi-Ping¹, LI Hua-Qun⁴ (1. East China Normal University, Key Laboratory of Geographical Information Science, Ministry of State Education of China, Shanghai 200062, China; 2. Institute of Politics And Management Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080, China; 3. The Chinese University of Hong Kong, Shatian, New territories, Hong Kong, China; 4. George Mason University, Virginia, 22030, USA). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 423 ~ 431.

Abstract: This study considers China's potential CO₂ abatement and its subsequent impacts on the aggregated GDP growth. Based on a specified macro-economic model, several alternative of Chinese CO₂ abatement were development, and their respective impacts on Chinese GDP growth performance were simulated. As revealed by the simulating results, a reduction of 0.2 percent in the growing Chinese CO₂ emission would bring about an annual average GDP growth rate of 7.2 percent, and by 2050 the aggregated GDP of China would shrink by 5.12 percentage if compared it to the scenario without abatement. Moreover, a reduction of 0.5 percent in the growing CO₂ emission would reduce 12.4 percent of China's total CO₂ emission over 2000 ~ 2050, which would also reduce the Chinese GDP growth rate to be 6 percent per annum. Finally, if the Chinese government increase its investments on education and R&D by 0.5 percent of GDP, not only would the negative effects of CO₂ abatement be absorbed, but an annual average GDP growth rate of 11.6 percent would created through 2050.

Key words: Chinese CO₂ abatement; policy simulation; GDP growth performance

气候变化及其对经济和社会发展影响的问题正成为当前世界各国政府和科学家们所关注的重大问题^[1]。中国是一个大国, 由于种种原因, 减排或者控制 CO₂ 排放, 是必然的选择, 特别是在《京都议定书》到期后, 中国将面临减排 CO₂ 的巨大压力。因此中国必须及早开展减排 CO₂ 的研究。

中国关于 CO₂ 减排政策的影响研究, 最近几年得到了发展^[2-6], 但是这些工作都是在一个平稳的经济环境中考虑的, 均未考虑技术进步的作用, 而在气候保护中, 技术进步强化了气候保护, 在制定减排对策时, 技术

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40371007); 中国科学院政策与管理研究所所长基金资助项目

收稿日期: 2005-05-14; **修订日期:** 2005-10-20

作者简介: 王铮(1954~), 男, 云南人, 博士, 研究员, 主要从事计算经济学, 计算地理学研究. E-mail: wangzheng@mail.casipm.ac.cn

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40371007), Director Found of Institute of Politics And Management Science

Received date: 2005-05-14; **Accepted date:** 2005-10-20

Biography: WANG Zheng, Ph.D., Professor, mainly engaged in computational economics, geocomputation. E-mail: wangzheng@mail.casipm.ac.cn

进步的作用是不可忽视的,技术进步对 CO₂ 减排的可行性,在最近几年内逐渐成为各国学者和政策制订者研究的热点^[7-9]。中国又是一个发展中国家,2000 年人均能耗约为 0.741t 标油,仅为当年世界平均水平的 47.5%,OECD 国家的 15%,美国的 8.8%^[10]。完全采用物理性方法减少 CO₂ 排放显然是不可行的,因此通过技术进步来实现 CO₂ 减排是可能选择的主要措施,问题是这种策略在实践上有效吗?经济影响如何?这就使得研究技术进步对 CO₂ 减排影响的研究成为当务之急。因此本文试图将技术进步嵌入到模拟模型中,分析中国的气候保护问题。

1 模型研究

1.1 模型结构

本文依据 Pizer 的状态连贯(State-contingent)模型^[11]和 van der Zwaan 等的 Demeter 模型^[8]构建了包含内生技术进步的 CO₂ 减排影响模型。状态连贯由 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。van der Zwaan 等在气候变化的宏观经济模型中,引入内生技术进步,把技术进步被看作为一个累积生产量的函数,研究气候保护问题。基于新经济增长理论^[12-17],对原有的气候保护模型作了以下 4 个改进:(1)将资本存量分为物质资本和人力资本两项,这样可以衡量作为生产要素之一的人力资本对经济增长的贡献。(2)将人力资本内生到模型中,构造人力资本内生化方程。(3)考虑能源系统中的干中学过程。(4)发现能源需求与其它社会经济变量之间的关系,并构造能源需求预测方程,从而建立起能源需求与国民产出之间的关系。最后将整个模型系统分为 3 个模块,宏观经济模块、气候变化模块和干中学模块。整个模型的结构如图 1 所示。

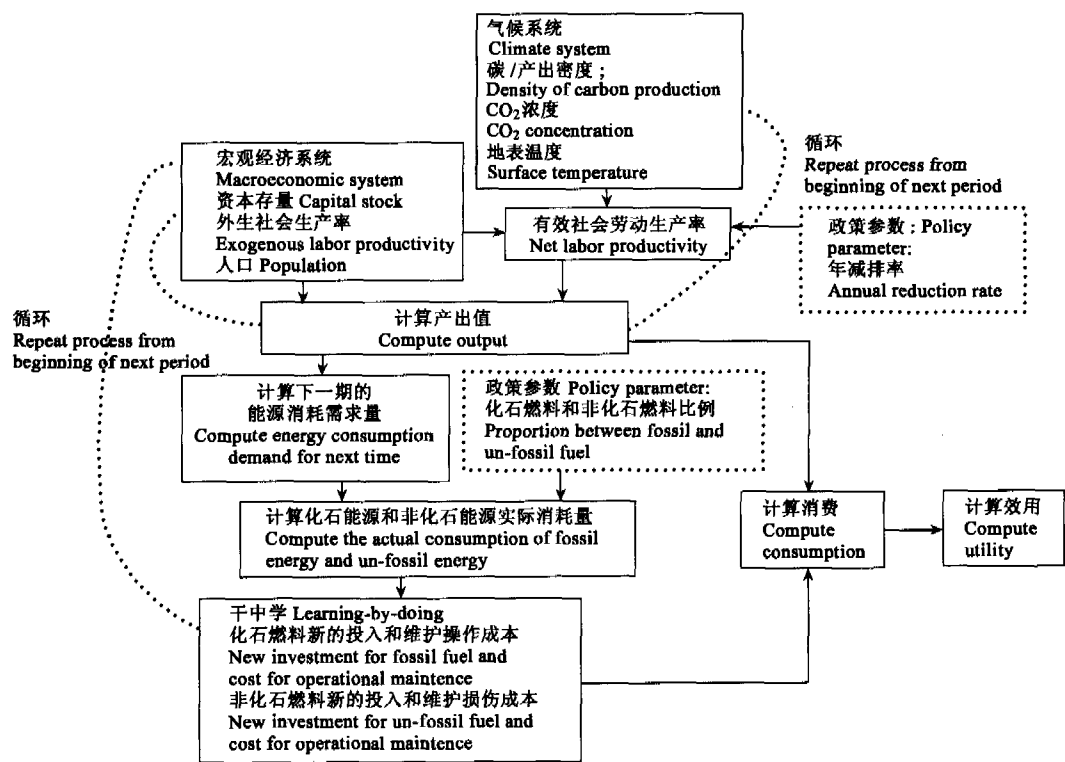


图-1 模型结构

Fig.1 The structure of the model

1.2 宏观经济模块

本文的生产函数采用 Barro 构建的包含人力资本的生产函数方程^[17]:

$$Y_t = A_t^{(s)} K_t^{(c)\alpha} L_t^{1-\alpha} H_t^\gamma \tag{1}$$

式中,这里 $A'K^{(c)}$ 为物质资本, H 为人力资本, L 为劳动力, α 为资本替代弹性, γ 为人力资本的替代弹性。资本存量逐年折旧,假设其折旧率为一固定常数,于是有:

$$K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + I_{t-1} \quad (2)$$

式中, δ 为资本折旧率, I 为国内总投资。该方程的含义即为,某一时段的资本总额等于上一时段资本总额经过折旧后的总量与上一时段投资额之和。其中国内总投资又可由它占 GDP 中的比重 η 求得:

$$I_t = \eta Y_t \quad (3)$$

本文将资本分为能源资本和其它物质资本两部分来考虑,借助数据统计分析,发现能源资本占总物质资本的比重约为 10% 左右,在保持均衡增长的条件下,假设这个比重为固定值 10%。模型中人力资本计算基于 Mulligan 等的人力资本投入测算方法^[18],人力资本的历史数据来源文献^[19]的研究结果。通过对历史数据分析发现:

$$H_t = 0.2164 \ln I_{t-1}^{(c)} - 0.21308 \quad (4)$$

其中教育投资视为政策变量,它占 GDP 的份额为 η_e 一般,于是有:

$$I_{t-1}^{(e)} = \eta_e Y_t \quad (5)$$

有效社会劳动生产率 $A_t^{(s)}$ 与外生的社会劳动生产率 $A_t^{(a)}$ 是不同的,有效社会劳动生产率 $A_t^{(s)}$ 描述了可用于消费和投资的产出量,即在产出因控制成本和气候破坏减少后的数量。所以,它可以表达 $A_t^{(a)}$ 为与控制成本和破坏成本之间的关系:

$$A_t^{(s)} = \left(\frac{1 - \mu_c}{1 + (D_0/9) T_t^2} \right) A_t^{(a)} \quad (6)$$

式中, μ_c 是 t 时刻排放控制率, T_t 为与工业化之前相比的平均地表温度($^{\circ}\text{C}$), D_0 为温度上升 3°C 后 GDP 的减少部分。政策因子 CO₂ 减排正是通过此等式对经济的运作产生影响。纯外生劳动生产率 $A_t^{(a)}$ 是一个具有指数性变化趋势的随机对数模型,即:

$$\ln(A_t) = \ln(A_{t-1}) + \gamma_a \exp(-\delta_a t) \quad (7)$$

式中, γ_a 是劳动生产率的初始增长率, δ_a 为劳动生产率增长率的年变化。

效用是评估经济影响的基本参数。本文采用 Ramsey 效用函数,假设代表性消费者所表现出的每消费一个单位货币的相对风险系数为 τ ,有:

$$U = \sum_{t=1}^{\infty} (1 + \rho)^{-t} N_t^{(p)} \frac{(C_t/N_t^{(p)})^{1-\tau}}{1-\tau} \quad (8)$$

式中, C_t 为 t 阶段的消费, $N_t^{(p)}$ 表示 t 阶段的总人口数,消费群体 $\{C_0, C \setminus -1, \dots\}$ 是受生产资源限制的。

1.3 气候变化模块

气候子系统是联系经济与地球系统的关键。常见的经济学的模拟分析中^[2-6,20-22],缺少关于气候系统的分析,仅仅从减排率计算经济影响,而这个问题在动态分析时是不可忽视的。实际上气候系统在减排中会响应减排过程^[23],改变经济产出,因此建立包括气候模块在内的模拟系统才可能真正反映减排的经济影响。

本文首先将排放量与总产出联系起来,可以得到我国 t 阶段 CO₂ 排放量 $E^{(c)}$ 的表达式:

$$E_t^{(c)} = \sigma_t (1 - \mu_c) Y_t \left(\frac{A_t^{(a)}}{A_t^{(s)}} \right) \quad (9)$$

式中, σ_t 表示 t 阶段排放量与总产出的比,它是外生变化的, μ_c 为政策决策者制订的 CO₂ 减排政策,表达式 $Y_t \left(\frac{A_t^{(a)}}{A_t^{(s)}} \right)$ 反映了不受气候破坏和控制成本影响的总产出^[11]。全球 CO₂ 排放量为我国排放量与世界其他地区(不含我国)CO₂ 排放量之和:

$$E_t = E_{c,t} + E_{f,t} \quad (10)$$

Pizer 假设排放量比总产出的外生趋势 σ_t 是基于指数变化模型的^[11]:

$$\ln(\sigma_t) = \ln(\sigma_{t-1}) + \gamma_\sigma \exp(-\delta_\sigma t) \quad (11)$$

式中, γ_σ 为排放量比总产出的初始增长率(负数), δ_σ 是排放量比总产出增长率的年际变化。关于气候系统的一系列状态转换方程见 Pizer 的工作^[11], 或者引用文献^[5]。

1.4 干中学模块

新经济增长理论发现经济系统中技术进步的内生增长和经济系统的干中学行为, 有力地改变经济发展, 干中学机制是通过技术进步影响减排的核心内容。

(1) 化石能源和非化石能源消耗量 干中学的重要内容是重新分配能耗, 因此需要估算每一计算阶段的能耗量。在模拟计算中, 根据能源-人力资本-产出关系式, 用上一年产出来推求当年的能源消费需求, 由于中国主要是以煤炭为主的能源消费结构, 认为排放的 CO_2 绝大部分都来自于化石燃料的燃烧, 因而根据排放公式(8)可以计算化石燃料消耗量:

$$F_t = F_{t-1} \cdot \frac{\sigma_t}{\sigma_{t-1}} \cdot \frac{Y_t}{Y_{t-1}} \cdot \frac{A_{t-1}^{(\epsilon)}}{A_t^{(\epsilon)}} \quad (12)$$

这个关系的意义是化石燃料消耗量的年递增率等于 CO_2 排放量的年递增率。在本研究中, 认为非化石燃料的消耗量受政策调控, 它由化石燃料和非化石燃料的比例这个政策参数决定。

$$N_t = F_t / \lambda_{FN} \quad (13)$$

能源资本又分为化石能源资本 K_F 和非化石能源资本 K_N , 维护和运作化石燃料和非化石燃料的资本分别为 M_F 和 M_N , 它们的关系可由以下方程表达^[8]:

$$K_F(t) = a_F F(t) \quad (14)$$

$$M_F(t) = b_F F(t) \quad (15)$$

$$K_N(t) = a_N N(t) \quad (16)$$

$$M_N(t) = b_N N(t) \quad (17)$$

式中, a_F, b_F 分别为化石能源使用的资本强度和所需的维护、运作强度; 相应的, a_N, b_N 分别为非化石能源使用的资本强度和所需的维护、运作强度。生产消费品的资本存量 K_C 、化石燃料资本 K_F 和非化石燃料资本 K_N 都以固定折旧率折旧, 因此有:

$$K_j(t+1) = (1-\delta)K_j(t) + I_j(t) \quad j = C, F, N \quad (18)$$

(2) 干中学过程 干中学通过累积生产量的比例函数嵌入到模型中, 这个比例函数意味着, 如果只有较少的累积生产量, 相对于较高水平的累积生产量, 需要更多的特定能源资本和维护、运作资本才能生产出一定水平的能源, 用方程可以表示为^[8]:

$$I_F(t-1) = g(X_F(t))a_F F(t) \quad (19)$$

$$I_N(t-1) = g(X_N(t))a_N N(t) \quad (20)$$

$$M_F(t) = g(X_F(t))b_F F(t) \quad (21)$$

$$M_N(t) = g(X_N(t))b_N N(t) \quad (22)$$

式中, $X_F(t), X_N(t)$ 分别为化石燃料和非化石燃料的累积生产量, 假设能源的生产完全用于消耗, 于是有:

$$X_F(t+1) = X_F(t) + F(t) \quad (23)$$

$$X_N(t+1) = X_N(t) + N(t) \quad (24)$$

函数 $g(\cdot)$ 通常是用来表示通过学习后生产成本下降, 指数 $\alpha-1$ 的值是干中学过程的基础, 它说明了学习所需技术的速率^[8]:

$$g(x) = g_0 x^{\alpha-1} \quad (25)$$

学习率为:

$$lr = 1 - a^{a-1} \quad (26)$$

然而,方程意味着生产成本的不断下降,从长期来看并不现实,在 Demeter 模型中,作者假定生产成本收敛到一个底价,这意味着对于一个成熟的技术,学习率就会下降。设定这个底价为 $g(\cdot) = 1$, 即有^[8]:

$$g(x) = g_0 x^{a-1} + 1 \quad (27)$$

$$(3) \text{非能源资本投资 } I^{(c)}(t) \text{ 及消费 } C(t) \quad I^{(c)}(t) = I(t) - (I_F(t) + I_N(t) + M_F(t) + M_N(t)) \quad (28)$$

总产出 $Y(t)$ 被用于消费 $C(t)$, 非能源资本的投资 $I_C(t)$, 化石、非化石能源的投资 $I_F(t)$ 和 $I_N(t)$, 以及维护和运作这两类能源生产的费用 $M_F(t)$ 和 $M_N(t)$ 。即有居民消费为:

$$C(t) = Y_t - [I_C(t) + I_F(t) + I_N(t) + M_F(t) + M_N(t)] \quad (29)$$

2 模型参数取值

2.1 宏观经济模块参数

人口的年增长率 γ_n 是重要的经济参数,取 Shen 对中国未来人口的估计^[24]。中国目前的劳动参与率为 56%,中国已进入老龄化社会,人口的抚养比呈上升趋势,因此在未来的 60a 中,中国的劳动参与率是会有下降的。假设我国人口的劳动参与率是按线性等差下降的,计算结果与有效劳动社会生产率的价值接近。根据对历史数据回归可得生产函数中替代弹性参数 α, γ , 它们取值分别为 0.818, 1.8001, 计算采用的物质资本是引用王琪延方法得到的^[25]。折扣率 ρ 是效用函数中的一个参数在 DICE 模型中,它为经济不确定性参数之一,其取值范围呈正态分布,峰值分布在 0.043 附近。在 DICE 模型中,货币的相对风险 τ 是经济不确定性参数之一。本文中采用多年人民币的贬值率作为它的值,取值为 0.198。劳动生产率的初始增长率 γ_a 和劳动生产率增长率的年变化 δ_a 用历史数据回归出来为 -0.00354 和 0.000218;其它参数包括:国内投资率 η 为国内投资占国民产出的比重。在计算中,假定这个比重是固定不变的,并取 1981 年至 1998 年国内投资率的平均值 0.301 作为它的值。教育投资率 η_e 为国内教育投资占国民产出的比重,其为人力调控的政策参数,一般取值范围在 3% ~ 5% 之间。资本折旧率 δ : 固定资产在使用过程中会发生折旧,根据对历史数据计算得到取值为 0.13。

2.2 气候变化模块参数

从全球范围来看,一些气候参数是恒定的,因而采用 DICE 模型^[25] 中的气候变化参数。在 DICE 模型中分为几种可能性进行计算。当不考虑气候变化的不确定性时,其取值为 2.9。这些参数也见文献^[26]。

温度上升 3℃ 所导致的 GDP 损失 D_0 是重要的控制成本参数,根据 OECD 的估计,CO₂ 排放量增长 2 倍,温度上升 2.5℃ 时,中国的 GDP 大约损失 4.7%^[27], Nordhaus, Pop 估计到 2090 年全球气温上升 3℃ 时,全球的平均 GDP 损失为 3.6%,损失范围在 0 ~ 21% 之间^[27],因此假设当气温上升到 3℃ 时,中国的 GDP 年损失为 5.5%。

2.3 干中学模块参数

当考虑到实际能耗和能源需求量不一致时,需要引入化石燃料与非化石燃料比例 $\lambda_{F,N}$ 这个政策参数,根据历史数据可知其取值范围为 $1 \leq \lambda_{F,N} \leq 15$ 。化石能源使用的资本强度 a_F 是相应的化石能源资本与化石能源消费量的比值,根据查阅《能源统计年鉴》进行估算,并参照 Demeter 模型的取值^[8],将其取为 0.008。同理,取非化石能源使用的资本强度 a_N 为 0.002,维护和运作化石能源的资本强度 b_F 的取值为 0.002。维护和运作非化石能源的资本强度 b_N 取值为 0.008,干中学参数 g_0 取值为 1。在本文中学习率 lr 被视作政策参数,它表征学习效率。初始学习率取值为 20%。

3 模型变量初值确定

本文的研究以 1995 年为基年,所需变量的初值都是 1995 年的数据。选择 1995 年是因为从 1995 年才有国家认真开始实行减排。其实减排问题关心的是相对量,初始年份的选择没有本质影响。变量说明和他们的初值选择如下。

纯外生社会劳动生产率 $A_i^{(a)}$ 1995 年的初值为 0.57。对产出 Y_i , 即 GDP 数据, 分改变能耗和不改变能耗两种情况, 分别有两个不同的表达式来求算其值, 其初值为 58478.1 亿元。资本存量 K_{ci} : 由于中国的统计年鉴上没有资本存量这项数据, 采用文献^[25]的计算固定资产的方法^[25], 以 1980 年的固定资产为初值, 并根据 1995 年的物价指数折算其初值为 50255.01 亿元。假设国内投资占国民产出的比重是固定不变的, 由参数投资率 η 可以得到各年份的总投资 I_i 值。研究中, 将总资本分为能源资本和非能源资本两部分来考虑, 于是将总投资中扣除对能源资本的投资即可得到非能源资本投资 I_{ci} 。教育投资 I_{ei} 是一个由政策制定者所决定的政策变量, 由政策参数教育投资率可确定它的值, 根据对历史数据的分析以及国家政策的要求, 一般它占国民产出的比重在 3% ~ 5% 之间。

t 阶段排放量比总产出的外生趋势 σ_i 是基于指数变化模型的。其初值来自于 DICE 模型^[26], 然后根据当年汇率将其折算成人民币, 并采用胡秀莲对中国 CO_2 排放量的研究数据^[9] 进行校正, 从而得到 0.0000152。

根据地表温度和深海温度都以在工业化之间的水平上的变化($^{\circ}\text{C}$)来表示^[26,27], 增加的辐射能力会导致温度发生变化, 1995 年的地表温度(增量) T_i 为 0.763°C 。1995 年的深海温度(增量) T_f^* 为 0.117°C , t 阶段的 CO_2 大气浓度 M_i 其初值为 $763.6 \times 10^9 \text{ t}$ 碳平衡。

中国 CO_2 排放量(万 t) E_{ci} : 有很多学者对中国 CO_2 排放量进行过估算, 基于胡秀莲的研究结果^[9] 进行估算, 1995 年的中国 CO_2 排放量为 6.9721 亿 t。世界 CO_2 总排放量 E_i 是包括中国的排放量和除中国以外世界其它国家的排放量, 当不考虑世界其它地区减排问题时, 可认为世界其它地区排放量保持在 1990 年的水平, 为 54.40503 亿 t, 所以加上中国的排放量可知其初值为 61.37713 亿 t。

化石能源的累积消费量 $X_f(t)$ 、非化石能源的累积消费量 $X_n(t)$: 以 1995 年化石能源和非化石能源的消费量作为初始数据, 以后每年值为各年的累积量。

4 模拟情景设定与结果

本文建立了“气候保护与经济安全模拟系统”考虑了多个政策参数, 以及气候、经济的不确定性, 可以根据研究的需要设置多个模拟情景, 这是气候保护分析中常用的方法。本文将系统的模拟分为以下四种情景。这种 4 种情景的选择是我们根据我国经济发展实际情况做出的:

- 情景 1 中国不实行减排, 世界其它地区保持 1990 年排放水平不增加, 教育投资份额保持为 3%。
- 情景 2 中国年少增排 0.2%, 世界其它地区到 2050 年减排 10%, 教育投资份额保持为 3%。
- 情景 3 中国年少增排 0.5%, 世界其它地区到 2050 年减排 10%, 教育投资份额保持为 3%。
- 情景 4 中国年少增排 0.2%, 世界其它地区到 2050 年减排 10%, 教育投资份额增至 3.2%, 主要研究增大教育投资对减排的影响。

通过对情景 1、2、3 的模拟可以比较不同减排率带来的影响。对情景 2 和 4 的模拟, 可以比较不同教育投资对减排带来的影响。这里, 世界其它地区到 2050 年减排 10%, 是指在 1990 年水平的基础上减排 10%, 相当于世界其它地区年减排 0.1%。每种情景的参数具体取值如表 1 所示:

表 1 各种情景参数取值
Table 1 The values of parameters in every scenarios

情景 Scenario	中国年减排率 Reduction rate in China(%)	世界减排水平 Reduction rate of world(%)	教育投资 Investment for education(%)	学习率 Learning rate(%)	不确定性气候变化 Uncertainty of climate change	纯时间偏好 Pure time preference	风险系数 Coefficient of riskaversion
1	0	0	3	20	可能性 3Probability 3	0.04	0.198
2	0.2	10	3	20	可能性 3Probability 3	0.04	0.198
3	0.5	10	3	20	可能性 3Probability 3	0.04	0.198
4	0.2	10	3.2	20	可能性 3Probability 3	0.04	0.198

通过对上述情景的模拟计算, 得到了大量的计算结果, 下面将分别从我国 CO_2 排放量、经济发展水平、总人口和就业人口、能源需求、效用这几个方面对计算结果进行分析。

4.1 中国经济发展预测

气候与经济系统之间的相互作用非常复杂,根据模拟得到的结果可以观察到以下事实:减排对中国宏观经济的影响是非常明显的,并且减排率越大,GDP的增长就越缓慢,也就是说,实施一定的减排政策对我国经济发展是有一定的损耗。在减排初期,经济的增长比较缓慢,但是随着时间的推移,经济的增长轨迹开始平稳上升,减排对经济的正面效应也开始得以体现。

如图2所示,当保持一致的教育投资时,情景1中各年的GDP是最高的,这是因为此时没有实施强硬的减排政策,与情景1相比,到2050年,情景2、情景3下的GDP值分别下降了5.12%和12.4%。

增大教育投资,能够显著改变GDP的增长趋势,原因是增大教育投资,能够增大人力资本的值,在方程中,充分考虑了人力资本的作用,人力资本对GDP的贡献率达到64%,因而增大教育投资能够促进经济的增长,从某种意义上讲,可以弥补减排给经济带来的损耗。表3列出了部分年份社会总消费数据。由表2可见,在不同的减排政策下,社会总消费也有不同的变化,消费的变化趋势与GDP的变化趋势一样,都是随着时间的推移而递增,随减排率的增大而递减,并且增大教育投资会导致消费的增大。由此可见,技术进步提高了消费,促进了经济发展。

4.2 效用分析

模拟发现,中国实施减排政策会带来消费者效用的递增,当增大教育投资时,效用递增会更加显著(如图3所示),由此可见,增大教育投资,提高人力资本,对消费者效用的作用与对GDP的作用是相似的,都可以在一定程度上弥补减排对经济带来的损耗。之所以出现这种情况,加大教育投资后有效地提高了人力资本,在我国由于人力资本贡献率已经达到64%,同时没有边际效益递减性,从而保证了在减排耗损的情况下,消费效用仍然稳定递增。

在进一步的研究中,还发现,影响消费者效用最显著的是纯时间偏好参数 ρ ,这个参数的不同取值带来的效用变化远远大于因减排带来的效用变化。根据对纯时间偏好参数取值的设置,发现 ρ 的大小甚至影响到效用变化的趋势,而减排并不改变效用变化的趋势,这也说明了,在我国实施一定的减排政策虽然对经济增长有一定的影响,但对消费者效用的影响并不显著。

4.3 CO₂ 排放量预测

应用本文系统,可以对我国未来50a内的能源需求量进行预测,能源的需求受社会生产率、人口、技术进步水平等多项因素制约,也主要受经济发展水平影响。值得注意的是这里假设能源被完全利用,从而能够计算碳排放量,在考虑到能源效率时这里的数据比实际数据来得小。

计算表明,随着经济的发展,能源的需求量在逐年递增,并且随着减排率的增大,需求量递增的幅度变小,但变小的幅度不大,这主要是因为我国是一个能源消费大国,人均消费小国,我国的经济发展依赖于能源的消费,控制CO₂排放,虽然在一定程度上影响到能源的使用,但是我国可以通过能源消费改进和能源替代等方式来满足能源的需求。按照煤与CO₂排放的关系,在技术进步条件下,各种方案的减排效果如表3所示。

根据中国的实际情况,本文中的减排率实际上是少增排率,即CO₂的排放量是在逐年递增的,但是通过

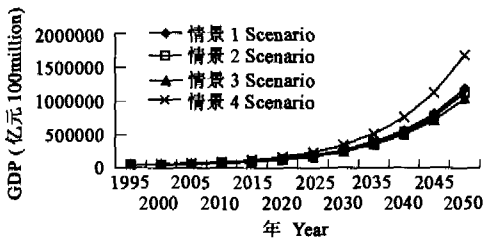


图2 不同情景下GDP变化趋势
Fig.2 The trendline of GDP change in different scenarios

表2 不同情景下的部分年消费数据(亿元)

年份 Year	情景 Scenario			
	情景 1	情景 2	情景 3	情景 4
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
2000	50529.2	50294.51	49943.39	52189
2005	83739.32	83121.33	82197.2	87976.35
2010	136793.5	135436.8	133405.9	145842.9
2015	218365.5	215705.1	211714.1	235674.4
2020	338143.9	333362	326163.4	368550.7
2025	504947.2	496975.5	484919.5	804927.9
2030	725051.1	712627.4	693730.4	1162517
2040	1316152	1291089	1252406	2125620
2045	1665669	1632910	1581910	2695493

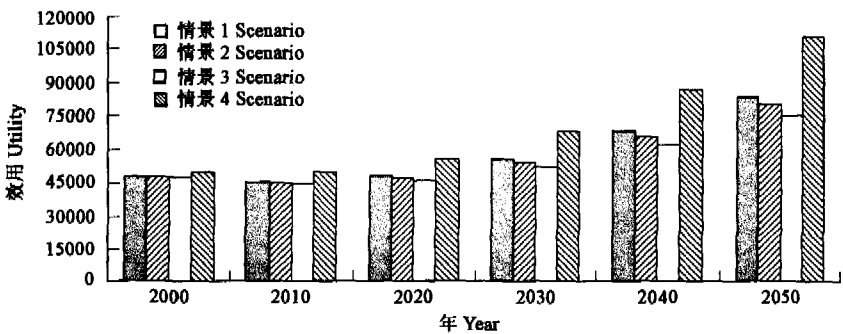


图 3 不同减排政策对消费者效用的影响

Fig. 3 The consumers' utility effected by different abatement policies

增大减排率,CO₂ 的排放量的递增幅度在减小。据预测,如果不实施减排政策,即按照现有的排放增长率,到 2020 年,我国 CO₂ 排放量约达到 96.11 亿 t,到 2050 年将达到 145.65 亿 t。如果按照每年减排 0.2% 来控制排放的话,到 2020 年,我国 CO₂ 排放量将达到 77.55 亿 t,到 2050 年达到 117.63 亿 t,相对于不控制的情况下,到 2020 年少排放 18.56 亿 t,到 2050 年约年少排放 28.02 亿 t CO₂。如果按 0.5% 控制少增排,到 2050 年,年少排量可以达到 62.54 亿 t,对人类是极大的贡献。

表 3 不同减排率下中国 CO₂ 排放量预测(10 亿 t)

Table 3 Forecast for CO₂ emission with different abatement rate(billion tons)

年份 Year	不减排 No reduction	减排率 0.2% 0.2% reduction	减排率 0.5% 0.5% reduction	年份 Year	不减排 No reduction	减排率 0.2% 0.2% reduction	减排率 0.5% 0.5% reduction
1996	3.208275	3.208275	3.208275	2025	13.2128	10.77311	7.667642
2000	3.259894	2.315518	0.898931	2030	14.57521	11.89759	8.522507
2005	4.267138	3.226876	1.724067	2035	15.32041	12.49519	8.961073
2010	5.846533	4.568227	2.794623	2040	15.60068	12.69631	9.085098
2015	7.690694	6.131598	4.035691	2045	15.16372	12.29481	8.746265
2020	9.610564	7.754824	5.318896	2050	14.56479	11.76335	8.311321

5 结论与讨论

通过模拟分析,不难发现,CO₂ 减排政策直接影响到中国的经济,并且减排政策越严格,对中国的经济影响越大,这种影响也随着时间的推移不断加深。通过对 4 种情景的分析比较,可以得到以下结论:

(1)在情景 1 中,不设置减排方案,任 CO₂ 的排放量随经济的发展而增长,虽然这种情景下的 GDP 和效用值相对是最高的,但是中国作为一个经济快速增长的大国,对世界气候变化的潜在影响也不容忽视。因而认为,中国只要是在保持经济能够稳定发展的同时,承担适当的减排任务也是义不容辞的。

(2)在情景 2 中,设置中国保持年少增排 0.2% 的减排率,这种情景下,到 2050 年 GDP 会比情景 1 下降 5.12%,但是在情景 2 中,从 2000 年到 2050 年 GDP 年增长率平均值为 7.2% 左右,经济能保持这种增长率持续发展是比较乐观的。而在情景 3 中,中国承担年少增排 0.5% 的减排任务,从 2000 年到 2050 年相当于 50 年少排放 23%,GDP 的年增长率的平均值只有 6% 左右,比情景 2 低 1%,中国的经济增长受到明显影响。

(3)针对 4 种不同的排放情景,情景 4 模拟出来的 GDP、居民消费和消费者效用均为最高,因此,这 4 种情景中,推荐情景 4 的方案,即适当增大教育投资,弥补减排对经济带来的损失。

综上所述,这 4 种方案推荐情景 4 中的政策决策。它的特点是,保持适当的减排率,并适当增大教育投资的份额来增大我国的人力资本值,充分发挥技术进步在经济发展、气候保护方面的作用,最终实现以技术进步促经济发展,以技术进步控制 CO₂ 排放。

References:

- [1] IPCC W G I. Summary for Policymakers Climate Change 2001: Impacts, Adoption and Vulnerability. <http://www.ipcc.ch/pub/spm/22-01.pdf>. , 2001.
- [2] Zhang Z X. Macroeconomic effects of: a computable general equilibrium analysis for China. Policy Modeling, 1998, 20(2): 213 ~ 250.
- [3] Ma G, Zheng Y X, Fan M T. Analyze of the influence of Carbon tax and CO₂ reduction on Chinese economy, In: Zheng Y X, Fan M T. The CGE model and policy analysis of China, Social Sciences Academic Press, 1999.
- [4] Wang Z, Hu Q L Zheng Y P. simulating the impact of the climate protection expenditure on China's economic security. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(12): 2238 ~ 2245.
- [5] Cui L L, Wang Z, Liu Y. Modeling the impact of CO₂ mitigation rate on China's national economy: a fuzzy equilibrium analysis over the uncertainty, Journal of Safety and Environment, 2002, 2(1): 39 ~ 43.
- [6] He J H, Shen K T, Xv S L. The impact of Carbon tax on Chinese economy: based on the analysis of CGE model, Work paper of Quantity economy & technique economy institute of Chinese social science academy, 2001.
- [7] Goulder L H, Schneider S H. Induced technological change and the attractiveness of CO₂ abatement policies, Resource and Energy Economics, 1999, 21: 211 ~ 253.
- [8] van der Zwaan B C C, et al. Endogenous Technological Change in Climate Change Modelling, Energy Economics, 2002, 24: 1 ~ 19.
- [9] Hu X L. Measures for greenhouse gas emission and related policy in China, Paper collection about policy for climate change, Institution of energy environment and climate change, 2002.
- [10] BP Statistical Review of World Energy. 2002.
- [11] Pizer W A. The Optimal Choice of Climate Change Policy in The Presence of Uncertainty. Resource and Energy Economics, 1999, 21: 255 ~ 287.
- [12] Arrow K J. The Economic Implications of Learning by Doing. Review of Economic Studies, 1962, 29: 155 ~ 173.
- [13] Lucas R E. Jr. On the Mechanics of Development Planning. Journal of Monetary Economics, 1988, 22: 3 ~ 42.
- [14] Romer P M. Increasing Returns and Long-Run Growth. Journal of Political Economy, 1986, 94: 1002 ~ 1.37.
- [15] Romer P M. Endogenous Technological Change. Journal of Political Economy, 1990, 98: 71 ~ 102.
- [16] Bretschger L. Growth Theory and Sustainable Development. Edward Elgar, Cheltenham, UK, Northampton, MA, USA, 1999.
- [17] Barro R J. Notes on Growth Accounting. Journal of Economic Growth, 1999, 4: 119 ~ 137.
- [18] Mulligan C, Sala-I-Martin X. A labor-income-based measure of the value of human capital: an application to the states of the United States. Japan and the World Economy, 1997, 9(2), 159 ~ 191.
- [19] Wu B, Wang Z. A study on measurement of human capital across provinces of China, Science Research Management, 2003, 25(4): 60 ~ 65.
- [20] Breuss F, Steininger K. Biomass energy use to reduce climate change: a general equilibrium analysis for Austria. Policy Modeling, 1998, 20(4): 513 ~ 535.
- [21] Gottinger H W. Greenhouse gas economics and computable general equilibrium. J. Policy Modeling, 1998, 20(5): 573 ~ 580.
- [22] Zhong X H, Li Z N. A macroeconomic model on climate change. Systems Engineering-theory and Practice, 3: 20 ~ 25.
- [23] Wang M X. Some problems about climate change induced by the change of Greenhouse gases' concentration. Climate and Environment Research, 2000, 5(3): 329 ~ 332.
- [24] Shen J. China's future population and development challenges. The Geographical Journal, 1998, 164: 32 ~ 40.
- [25] Wang Q Y. Estimate for Chinese fixed assets. Statistical Research, 2000, (3): 53 ~ 59.
- [26] Nordhaus, W D. Managing the global Commons: The Economics of Climate Change. MIT Press, 1994.
- [27] Nordhaus W D, Pop D. What is the value of scientific knowledge? An application to global warming using the PRICE model. Energy Journal, 1994, 18: 1 ~ 45.

参考文献:

- [3] 马纲, 郑玉歆, 樊明太. 征收碳税、实行 CO₂ 减排对中国经济影响的分析. 见郑玉歆, 樊明太, 等. 中国 CGE 模型及政策分析. 北京: 社会科学文献出版社, 1999.
- [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.
- [5] 崔丽丽, 王铮, 刘扬. 中国经济受 CO₂ 减排率影响的不确定性 CGE 模拟分析. 安全与环境学报, 2002, 2(1): 39 ~ 43.
- [6] 贺菊煌, 沈可挺, 徐嵩龄. 碳税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, 2001.
- [9] 胡秀莲. 我国温室气体排放状况及相关政策措施. 气候变化对策研究论文集. 能源研究所能源环境与气候变化研究中心, 2002.
- [19] 吴兵, 王铮. 中国各省区人力资本测算研究. 科研管理, 2003, 25(4): 60 ~ 65.
- [22] 钟笑寒, 李子奈. 全球变暖的宏观经济模型. 系统工程理论与实践, 2002, 3: 20 ~ 25.
- [23] 王明星. 关于温室气体浓度变化及其引起的气候变化的几个问题. 气候与环境研究, 2000, 5(3): 329 ~ 332.
- [25] 王琪延. 中国固定资产价值的推算. 统计研究, 2000, (3): 53 ~ 59.