

国际参与下的全球气候保护策略可行性模拟

王 铮^{1,2,*}, 吴 静¹, 李刚强¹, 张焕波¹, 王丽娟¹

(1. 中国科学院政策与管理研究所, 北京 100190; 2. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

摘要: 控制全球二氧化碳含量在 2050 年前不超过 500ml/m³ 和在 2100 年全球平均升温不超过 2℃ 是当前国际气候保护的热点问题。建立了一个全球性的包含 GDP 溢出机制和技术进步作用的 RICE 类型模型, 以分析全球合作减排的配额公平性和方案有效性。研究表明, 为了将 2050 年全球二氧化碳浓度控制在 500ml/m³, 以“人均排放权均等”的原则进行国际碳排放配额分配时, 以 1861 年为历史排放起点会导致发达国家与发展中国家在可使用配额上产生极大悬殊, 不易在国际谈判中被接受。Stern 的减排方案虽能较显著地将 2100 年升温幅度控制在 2℃ 以内, 但是, 该方案的实施使发展中国家将损失相对较多的经济收益用于支付减排的成本。相比之下较优的国际减排方案为: 至 2050 年, 发达国家的排放水平比 1990 年降低 80%, 中国、俄罗斯和世界其他国家从 2020 年之后开始减排, 至 2050 年, 中国比 2005 年排放水平降低 25%, 俄罗斯比 2005 年排放水平降低 30%, 世界其他地区比 2005 年排放水平增加量不超出 30%。

关键词: CO₂ 减排; 碳排放配额; 气候保护; GDP 溢出

文章编号: 1000-0933(2009)05-2407-11 中图分类号: Q14; X171.1 文献标识码: A

Using simulation to assess climate-change strategies for global participation

WANG Zheng^{1,2,*}, WU Jing¹, LI Gang-Qiang¹, ZHANG Huan-Bo¹, WANG Li-Juan¹

1 Institute of Policy And Management, Chinese Academy Of Sciences, Beijing 100190, China

2 East China Normal University, Key Laboratory of Geographical Information Science, Ministry of State Education of China, Shanghai 200062, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2407 ~ 2417.

Abstract: It is a focus of climate protection to stabilize CO₂ concentration within 500ml/m³ by 2050 and to lower the global temperature 2℃ by 2100. This paper expands the RICE model for global climate-change strategies to include GDP spillover mechanism and technological progress, assessing the equity and effectiveness of the global emission quota allocation among countries. The emission target of our model is stabilizing CO₂ concentration within 500ml/m³ by 2050. The results show the disparity of remaining emission quotas between developed and developing countries will be too great to be accepted in global quota allocation negotiation while historical emissions are counted from 1861 with the concept of equal emission right per capita. Reaching the 2℃ target for EU countries, the Stern climate strategy would make developing countries afford relatively more to reduce emission. A comparatively equitable and efficient strategy is that developed countries should take immediate action and commit to cutting emission by 80% of 1990 levels by 2050; China and Russia start to reduce emission from 2020, and cut emission by 25%, 30% of 2005 levels respectively by 2050; and the rest of the world start to reduce from 2020 and the increased emission should be no more than 30% of 2005 levels.

Key Words: carbon mitigation; emission quota; climate change; GDP spillover

气候变化已经成为继 WTO 谈判后国与国之间矛盾冲突最多、协调难度最大的多边国际问题。针对这种

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40771076); 中国科学院知识创新工程资助项目 (KZCX2-YW-325); 国家 863 资助项目 (2008AA-12Z204); 中国科学院科技政策与管理科学研究所青年科研基金资助项目 (0801041Q01)

收稿日期: 2008-12-08; 修订日期: 2009-02-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangzheng@mail.casipm.ac.cn

情况, Stern 提出为了将全球温室气体浓度控制在 $450 \sim 550 \text{ ml/m}^3 \text{ CO}_2\text{e}$, 将目前实行的基线-额度 (baseline-and-credit, B&C) 机制给各国分配配额, 实现配额-交易 (cap-and-trade, C&T) 的机制^[1]。然而什么样的配额有效, 需要科学计算。

自 20 世纪 90 年代以来, 关于气候保护的科学计算在 IAM 模型和 CGE 模型^[2~4] 两条主线上得到了广泛的研究, 本文将从 IAM 模型着手进行建模研究。国内外相关的 IAM 模型包括: 美国耶鲁大学的 DICE, RICE 模型^[5~7], 德国汉堡大学的 FOUNT 模型^[8], 美国斯坦福大学的 MERGE 模型^[9,10], 加拿大 McGill 大学的 TIAM 模型、ETSAP-TIAM 模型^[11,12], 姜克隽, 胡秀莲^[13], 陈文颖, 高鹏飞等^[14], 王铮, 胡倩丽等^[15,16] 等等。

在 IAM 模型中典型的是美国经济学家 Nordhaus 的 DICE (dynamic integrated model of climate and the economy), 他将不同国家合并成一个全球尺度的模型, 从而具有相同水平的产出、资本、技术下的排放量和气温变化^[5]。然而事实上减排政策是在国家层面上制订的, 而非全球层面上。因此, 为克服这一不足, Nordhaus 与 Yang 开发了一套多区域 DICE 模型, 即 RICE (regional integrated model for climate and the economy) 模型^[6]。与 DICE 模型方程体系类似, RICE 模型仍由经济系统和气候系统构成。通过对 RICE 模型的构建, Nordhaus 与 Yang 通过设定不同的减排控制率以及碳税对全球合作与非合作的情景进行模拟发现, 合作情景下能够非常有效地减少温室气体排放, 而且不同的控制水平将导致各国排放量的巨大的差异, 而且认为合作总会给高收入国家带来一定的损失^[6]。这一成果成为了一些西方国家强调他们的排放损失的基础。

然而, Nordhaus 的模型有两个弱点, 第一没有考虑技术进步, 第二没有考虑各国的 GDP 溢出。对于技术进步问题, Zwaan 等的 Demeter 模型构建了包含内生技术进步的 CO_2 减排影响模型^[17]。其中, 技术进步被看作为一个累积生产量的函数。模型主要分为两个部分来展开的, 首先考察不包含干中学的部分, 其次再考察包含干中学的部分。王铮, 蒋轶红, 王铮, 张焕波等基于新经济增长理论对原有的气候保护模型作改进, 以发现技术进步下排放量的变化, 包括引入了增汇作用和技术进步速度^[18,19]。对于各国 GDP 溢出问题, Grubb 将由于工业化国家的二氧化碳减排行动对于发展中国家的国际溢出 (international spillover) 分解成 3 个部分: 其一是经济替代效应所产生的溢出, 其二是技术进步的扩散所传递的溢出, 其三是工业化国家的减排行动对于发展中国家的政策和政治方面的影响, 作者的情景模拟发现发达国家的减排的国际溢出对于全球的减排具有重大影响, 模拟所设定的溢出程度大小对于气候影响具有很大的敏感性^[20]。王铮, 黎华群, 张焕波结合 Mundell-Fleming 修正模型与王铮, 蒋轶红, 吴静结合起来构建了包含内生技术进步的 CO_2 减排影响模型^[18], 就对中美气候保护的 GDP 溢出建立了两国模型^[19]。模拟发现, 无论两个国家中的任何一个加大生产性减排, 对对方均有负面影响, 但是均不减排又面临对长期发展的威胁。

本文的工作是结合上面工作, 建立一个全球性的包含 GDP 溢出机制和技术进步作用的 RICE 类型模型, 模拟全球合作减排的配额公平性和方案有效性, 特别是寻求 2050 年控制全球大气 CO_2 含量不超过 500 ml/m^3 的可行性和 2100 年控制全球温度上升在 2°C 以内的可行的气候保护模式。

1 模型

本文基于王铮, 蒋轶红, 吴静等开发的技术进步条件下气候保护模型^[18], 进一步发展为多国气候保护模型。按照王铮, 蒋轶红, 吴静等每个国家的气候-经济系统包括 4 个模块: 宏观经济模块、气候变化模块、人地关系协调的决策选择模块^[18], 最后由多国 GDP 溢出模块进行合成。

多国 GDP 溢出模块考虑了各国 GDP 溢出机制, 本文采用了 Douven, Peeters 在 McKibbin, Sachs 基础上发展的 M-F 模型修正动态版^[21,22], 它是可计算的, 利用多国 GDP 溢出模型将多国的经济系统联系起来, 使得多国的减排政策建立在多国 GDP 溢出的基础上, 更加符合实际情况。由于多国溢出建模的困难以及数据参数的难以获得, 本文主要考虑了中国, 美国, 日本和欧盟相互之间的 GDP 溢出, 俄罗斯地区和世界其他地区的溢出关系在本系统中未能考虑。现实世界中俄罗斯地区和世界其他地区也存在着溢出关系, 体现在下面溢出方程的残差项中。

基于 M-F 方程, 本文进一步将各国 GDP 的变化, 分解为财政政策冲击、货币政策冲击和他国 GDP 变化所

带来冲击,分解结果如下方程:

$$\Delta q^c = v_1^c \Delta \lambda^{ca} - v_2^c \Delta(i^c - p_{+1}^c + p^c) + v_3^c \Delta q^a + v_4^c \Delta q^j + v_5^c \Delta q^e \quad (1)$$

$$\Delta q^a = v_1^a \Delta \lambda^{ea} - v_2^a \Delta(i^a - p_{+1}^a + p^a) + v_3^a \Delta q^c + v_4^a \Delta q^j + v_5^a \Delta q^e \quad (2)$$

$$\Delta q^j = v_1^j \Delta \lambda^{ja} - v_2^j \Delta(i^j - p_{+1}^j + p^j) + v_3^j \Delta q^c + v_4^j \Delta q^a + v_5^j \Delta q^e \quad (3)$$

$$\Delta q^e = v_1^e \Delta \lambda^{ae} - v_2^e \Delta(i^e - p_{+1}^e + p^e) + v_3^e \Delta q^c + v_4^e \Delta q^a + v_5^e \Delta q^j \quad (4)$$

ΔQ 表示 GDP 对基点模拟的偏移, $\Delta \lambda$ 代表实际汇率对基点的偏移, Δi 代表利率对基点的偏移。

不考虑实际汇率和利率对基点的偏移,由方程(1)~(4)可得多国 GDP 溢出的关系:

$$\ln Y^c - \ln Y_{-1}^c = v_3^c (\ln Y^a - \ln Y_{-1}^a) + v_4^c (\ln Y^j - \ln Y_{-1}^j) + v_5^c (\ln Y^e - \ln Y_{-1}^e) \quad (5)$$

$$\ln Y^a - \ln Y_{-1}^a = v_3^a (\ln Y^c - \ln Y_{-1}^c) + v_4^a (\ln Y^j - \ln Y_{-1}^j) + v_5^a (\ln Y^e - \ln Y_{-1}^e) \quad (6)$$

$$\ln Y^j - \ln Y_{-1}^j = v_3^j (\ln Y^c - \ln Y_{-1}^c) + v_4^j (\ln Y^a - \ln Y_{-1}^a) + v_5^j (\ln Y^e - \ln Y_{-1}^e) \quad (7)$$

$$\ln Y^e - \ln Y_{-1}^e = v_3^e (\ln Y^c - \ln Y_{-1}^c) + v_4^e (\ln Y^a - \ln Y_{-1}^a) + v_5^e (\ln Y^j - \ln Y_{-1}^j) \quad (8)$$

其中 Y^c, Y^a, Y^j 和 Y^e 分别代表中国、美国、日本和欧盟的 GDP,将宏观系统模块中所模拟出来的各国的 GDP 值代入方程(5)~(8),就实现了多国 GDP 溢出背景下的气候保护政策模型中宏观经济的动态联系。将这里的模型与王铮,蒋轶红,等的模型^[18]相结合就可以模拟多国参与减排情况下的气候变化的经济影响并开展评价。图 1 是开发完成的模拟系统。如图 1 所示,这个多区域 GDP 溢出下气候保护模拟模型(multi-region dynamic integrated model of climate and the economy with GDP spillover, MICES),实现了多国(区域)GDP 溢出背景下的气候保护政策的模拟,通过各国的碳排放量得到整个碳排放量,系统将全球(6 个国家和地区)的气候系统和经济系统联系起来,达到两个系统的相互反馈,从而使得整个系统可计算。系统具有选择多种情景参数模拟气候保护影响的功能。



图 1 多区域 GDP 溢出下气候保护模拟系统

Fig. 1 The interface of MICES

需要说明的是,由于 Nordhaus^[23]、Pizer^[24]等模型对排放强度的估计是基于 1990's 的历史数据,故排放强度下降较当前缓慢,如图 2 所示。实际上,当前各国在技术进步的作用下,排放强度处于较快下降趋势。为了弥补这一不足,本研究基于投入产出表,估计了当前技术进步下排放强度的变化趋势,得到发展中国家排放强度年下降率为 5.4%,发达国家排放强度年变化率为 4.7%。下文将基于 Nordhaus^[23]、Pizer^[24]的排放强度以及本研究所估计的排放强度分别模拟各种减排情景,为了便于表述,下文统一将前者记为“缓慢技术进步水平”,后者记为“改进的技术进步水平”。后者意味着通过提高能源技术改进来减少排放,或者称技术性减排。

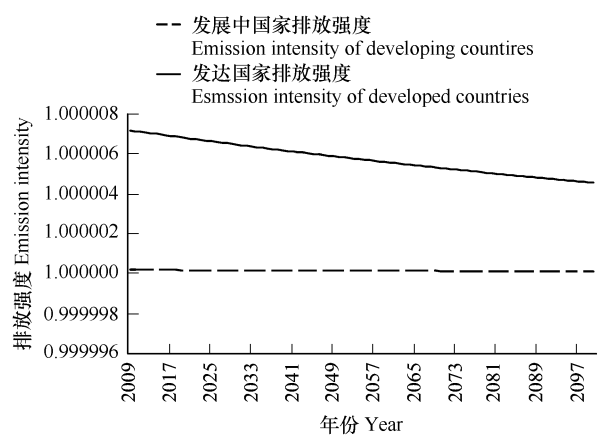


图2 Nordhaus^[23]、Pizer^[24]估计的排放强度变化趋势
Fig. 2 Emission intensity tendency in Nordhaus^[23]、Pizer^[24]

2 参数估计

对于宏观经济模块、气候变化模块、人地关系协调的决策选择模块的参数可参考王铮,蒋轶红等,多国 GDP 溢出模块的参数值如表 1 ~ 表 4 所示。

表 1 对方程(1)的参数估计
Table 1 Values of parameters in equation (1)

参数 Parameters	v_0^c	v_1^c	v_2^c	v_3^c	v_4^c	v_5^c
估值 Values	0.004	0.067	-0.005	0.432	0.229	-1.533
Sig.	0.002	0.334	0.357	0.105	0.104	0.001

表 2 对方程(2)的参数估计
Table 2 Values of parameters in equation (2)

参数 Parameters	v_0^a	v_1^a	v_2^a	v_3^a	v_4^a	v_5^a
估值 Values	-0.01	-0.174	-0.271	-0.016	0.399	-0.027
Sig.	0.396	0.060	0.001	0.152	0.065	0.165

表 3 对方程(3)的参数估计
Table 3 Values of parameters in equation (3)

参数 Parameters	v_0^j	v_1^j	v_2^j	v_3^j	v_4^j	v_5^j
估值 Values	0.042	-0.038	0.127	0.032	-0.082	1.011
Sig.	0.479	0.239	0.057	0.112	0.185	0.001

表 4 对方程(4)的参数估计
Table 4 Values of parameters in equation (4)

参数 Parameters	v_0^e	v_1^e	v_2^e	v_3^e	v_4^e	v_5^e
估值 Values	-0.004	0.015	-0.194	0.00006	0.515	0.167
Sig.	0.102	0.436	0.000	0.746	0.000	0.053

3 方案模拟评价

为了将 2050 年全球二氧化碳浓度控制在 500ml/m³,及 2100 年全球温度上升控制在 2℃ 以内,在今后配额-交易机制下各国应该如何分配配额才是有利于全球有效、经济、公平地实现减排,为此本文基于所建立的多国气候保护模型展开减排方案设置及模拟评估。

3.1 方案 I :以 1861 年为历史排放起点,以人均排放权均等为原则分配碳排放配额

工业革命之前全球二氧化碳浓度为 280ml/m³,因此,若至 2050 年将全球二氧化碳浓度控制在 500ml/m³,

在综合考虑海洋对二氧化碳的吸收作用之后,至 2050 年全球总共还可排放的碳量为 777.3GtC。以 2007 年为各国未来碳排放量分配的基年,2007 年全球人口为 66.7 亿,则人均可拥有的碳排放量为 116.2t,结合世界各主要国家 2007 年的人口规模,按照“人人排放权平等”原则,得到至 2050 年各国可拥有的碳排放量配额如表 5 第 1 列所示;根据 CDIAC 统计数据,各国自 1861 年至 2007 年间历史已经排放的碳总量分别如表 5 第 2 列所示;由此得到各主要国家在 2008 至 2050 年间可使用的碳排放配额分别如表 5 第 3 列所示。

表 5 世界主要国家碳排放配额(I)(GtC)
Table 5 Carbon emission quotas for major countries I

	碳排放配额 Carbon emission quota	历史碳排放总量 Historical emission	剩余碳排放配额 Remainder quota
中国 China	153.40	29.19	124.21
美国 United States	35.05	91.65	-56.60
日本 Japan	14.85	13.24	1.61
欧盟 European Union	57.41	76.13	-18.72
俄罗斯 Russia	16.46	6.70	9.76
印度 India	130.55	8.63	121.92
加拿大 Canada	3.83	6.78	-2.95
澳大利亚 Australia	2.44	3.62	-1.18
巴西 Brazil	22.27	2.59	19.67
墨西哥 Mexico	12.24	3.65	8.59

分析表 5,至 2007 年各主要发达国家的碳排放已超出各自可拥有的碳排放配额。也就是说,各主要发达国家目前已处于“碳排放赤字”状态,其中以美国的情况最为严重,其历史碳排放量为其配额的 261%，“碳排放赤字”为 -56.60GtC。同时,欧盟的历史碳排放量为其配额数的 132%，“碳排放赤字”为 -18.72 GtC;而加拿大、澳大利亚虽然尽排放量不大,但是由于这两个国家的碳排放配额较小,他们的历史碳排放也已经分别达到各自碳排放配额的 177%,148%,都属于超额排放之列;另外,日本的历史碳排放量也已非常接近其配额数,剩余碳排放配额仅为总配额的 10.8%,减排形势也已非常严峻。然而,发展中国家的排放情况则与发达国家完全不同,中国、印度、巴西、俄罗斯等历史排放量均还处于碳排放配额之下,其中以中国和印度的剩余碳排放配额最大,分别为 124.21GtC 和 121.92GtC,占各自总配额的 80% 和 93%。因此,从碳排放配额的消耗现状出发,发达国家也必须承担更多的减排任务才能真正实现全球排放权人人均等的原则;而发展中国家由于历史排放较小,剩余碳排放仍拥有较大的空间。

3.2 方案 II:以 1990 年为历史排放起点,以人均排放权均等为原则分配碳排放配额

在方案 I 中大多数发达国家都属于排放赤字国,面临零排放的压力,这在碳排放的国际谈判中很难得到发达国家的认可。考虑到 1990 年 IPCC 发表了第一份气候变化评估报告,为气候变化提供了科学依据,同年,联合国大会建立了政府间谈判委员会,气候变化框架公约的谈判正式开始,因此本文提出第二个配额分配方案,即在以 1990 年为历史排放起点,再以“人均排放权相等”的原则分配碳排放配额。

采用类似于方案 I 中配额计算方法,得到各主要国家的碳排放配额、历史排放总量以及剩余的排放配额分别如表 6 所示。

从表 6 分析得到,与方案 I 不同,在本研究所考察的 10 个国家中,仅有美国是“排放赤字国”,这起因于美国政府对《京都议定书》的抵制。图 3 显示了美国自 1860 年至 2007 年间的排放趋势,可以看到美国的排放呈现持续上升的状态,这就导致了即使本文将历史排放的起点从 1861 年后推到 1990 年,但对于美国来说历史碳排放量都耗损了其大量的碳排放配额,未来的减排任务为全球最艰巨的国家。而在方案 II 中,日本、欧盟、加拿大、澳大利亚均为“碳排放盈余国”,但这 4 个发达国家虽同为盈余国,实际减排压力仍存在巨大差距:欧盟、日本的剩余排放配额较大,分别占其总配额的 57% 和 47%,减排压力较小;但加拿大和澳大利亚虽然为“碳排放盈余国”,分别盈余 0.45GtC 和 0.16GtC,但是考虑到加拿大和澳大利亚目前的年排放水平分别

约为 0.14GtC 和 0.14GtC, 因此, 剩余的排放配额不过是“杯水车薪”, 必须立即控制碳排放。

表 6 世界主要国家碳排放配额(II)(GtC)
Table 6 Carbon emission quotas for major countries II

	碳排放配额 Carbon emission quota	历史碳排放总量 Historical emission	剩余碳排放配额 Remainder quota
中国 China	111.80	18.42	93.39
美国 United States	25.55	26.51	-0.96
日本 Japan	10.82	5.74	5.08
欧盟 European Union	41.84	17.74	24.11
俄罗斯 Russia	12.00	6.70	5.30
印度 India	95.15	5.35	89.80
加拿大 Canada	2.79	2.34	0.45
澳大利亚 Australia	1.78	1.62	0.16
巴西 Brazil	16.23	1.38	14.84
墨西哥 Mexico	8.92	1.92	7.00

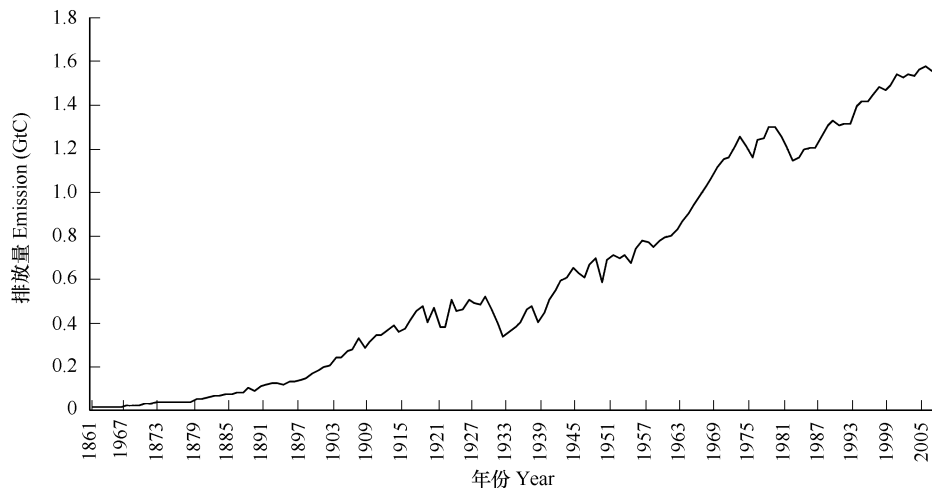


图 3 美国历史碳排放(数据来源:CDIAC^①)

Fig. 3 Carbon emission of United States (Data source: CDIAC^①)

在表 6 中可以看到随着历史碳排放起始年的后推, 发展中国家及俄罗斯的碳排放配额也随之下降, 这主要是全球人均排放权也下降了。历史排放起点自 1861 年后推至 1990 年, 其实是不追究发达国家在主要工业化阶段所进行的大量排放, 但即使在这种更有利于发达国家的方案设计下, 发展中国家所拥有的剩余排放权仍大大超出发达国家, 印度为剩余排放配额最大的国家, 其剩余配额数为其总配额的 94%, 巴西剩余 91%, 中国剩余 83%, 墨西哥剩余 78%。因此, 与方案 I、方案 II 类似, 发展中国家的减排压力仍远远小于发达国家。

为了将至 2050 年各国碳排放控制在方案 II 设定的配额之内, 通过本文模型模拟计算, 得到各国的年排放控制率^②分别为: 在缓慢技术进步水平之下, 中国的年排放控制率为 3%, 日本的年排放控制率为 78.5%, 欧盟的年排放控制率为 61%, 俄罗斯的年排放控制率为 96.5%, 美国由于没有配额实行年排放控制率为 100%。在此方案下, 2050 年全球升温 1.47℃, 2100 年全球升温 2.3℃, 全球人均温室气体排放量为 3.23tCO₂。如果采用技术性减排模式, 中国在 BAU(business as usual)情景下的排放量为 50.64GtC, 小于方案 II 中中国剩余的碳排放配额, 也就是说中国通过技术进步就可以达目标而必须通过压缩生产规模、增汇等进行减排, 同时, 模拟计算得到美国、日本、欧盟、俄罗斯的年排放控制率分别为 100%、45%、4%、91%, 2050 年温度上升 1.42℃,

①CDIAC: Carbon Dioxide Information Analysis Center.

②排放控制率: 各国每年相对 BAU(business as usual)情景下自由排放时的排放量所减少的排放量占自由排放量的比率。

2100 年全球温度上升 2.02℃,全球人均温室气体排放量为 2.34tCO₂。因此,与方案 I 相同,在缓慢技术进步水平之下,各国需要执行较高的年排放控制率,且至 2100 年仍不能将全球升温控制在 2℃。

总之,通过方案 II 的方案设计及可行性分析,可以得到,虽然随着历史排放起点年份的后推,使得发达国家可使用的排放配额有所提高,但对于发达国家目前高强度排放来说形势仍非常严峻,须立即进行减排,而发展中国家仍具有一定的排放配额,减排压力较小;与方案 I 相同,只有提高技术进步速度才能真正实现全球温度控制。

3.3 方案 III:Stern 方案

2008 年 Stern 提出至 2050 年,发达国家的碳排放水平比 1990 年降低 80%,而发展中国家比 1990 年降低 50%^[25]。考虑到世界其他地区实际上包含了发达国家和发展中国家,而一些发达国家如加拿大、澳大利亚的排放形势也较严峻,因此,本研究将世界其他地区的减排目标设定为 2050 年排放水平比 1990 年水平降低 50%,那么,根据统计数据,世界主要国家 1990 年的排放水平及其 2050 年的减排目标如表 7 所示。

表 7 Stern 方案下各国减排目标(GtC)
Table7 Reduction target in Stern Strategy

	中国 China	美国 United States	日本 Japan	欧盟 EU	俄罗斯 Russia	其他地区 Rest of the world
1990 年排放水平 Emission in 1990	0.65	1.3	0.29	1.2	0.4	2.26
2050 年排放目标 Emission target in 2050	0.33	0.26	0.058	0.24	0.2	1.13

基于多国气候保护模型,若保持缓慢技术进步水平,则模拟计算得到,在表 7 的排放控制目标下,各国的年排放控制率分别为:中国 89%;美国 88%;日本 87%,欧盟 83%,俄罗斯 85%,世界其他地区 77%,2050 年全球温度上升 1.22℃,2100 年全球温度上升幅度为 1.58℃。可以看到,各国共同实行高幅度减排的推动下,全球的温度上升得到了明显的控制,但是在该减排方案下,至 2050 年中国、美国、日本、欧盟、俄罗斯及世界其他地区的 GDP 损失分别为 2%,0.67%,0.36%,0.47%,2.5%,0.68%,相比较可以发现,中国、俄罗斯的 GDP 损失程度将远远超出其他国家,也就是说,在高强度的减排额度下,发展中国家的利益受到了严重损害,不利于发展中国家的经济发展。若采用改进的技术进步水平,研究得到,中国、美国、日本、欧盟、俄罗斯以及世界其他地区的年排放控制率需分别达到 63%,44%,41%,24%,50%,77%,且 GDP 损失分别为 1%,0.2%,0.1%,0.07%,1%,0.7%,2050 年全球温度上升 1.26℃,2100 年全球温度上升 1.56℃。虽然技术进步速度提高之后对各国的 GDP 损失有所减小,但是相同技术水平下比较,发展中国家仍为减排支付了较发达国家更多的 GDP 损失,这显然是不公平的。从科学上看,Stern 方案达到的全球增温效果明显小于 2℃,这应该是他的分析没有考虑技术进步的结果,在存在技术进步的条件下,并不需要 Stern 的提出的减排强度就可以达到 2℃目标,所以 Stern 方案中的减排要求可以适当降低。

另外,研究发现,到 2050 年,全球各主要国家的人均碳排放量分别如图 4 所示,届时全球人均排放水平为 0.84tCO₂,而各发达国家的人均排放水平则均超出全球人均水平,其中以美国的人均排放量最高,为 2.68 tCO₂,为全球人均水平的 3 倍多,而中国基本在全球人均水平线上,世界其他地区的人均排放水平则更低,为 0.65 tCO₂。因此,虽然从表面上看发达国家至 2050 年排放水平降低到 1990 年的 80%是为全球温室气体减排作出了很大的贡献,但是探其根本,不论从经济发展的角度还是从人均排放的角度来看,该方案更多的是牺牲发展中国家的利益以达到全球减排的目标,发达国家仍持续在高强度的排放上。

总之,Stern 的方案有合理性,但是它较显著地将 2100 年升温幅度控制在 2℃以内,仅 1.6℃,以发展中国家 GDP 明显损失为代价,在世界上制造了新的不公平。

3.4 方案 IV:一个互惠国际减排方案

基于发展权公平的原则,本文提出:考虑历史排放,至 2050 年,发达国家的排放水平采用 Stern 方案,即发

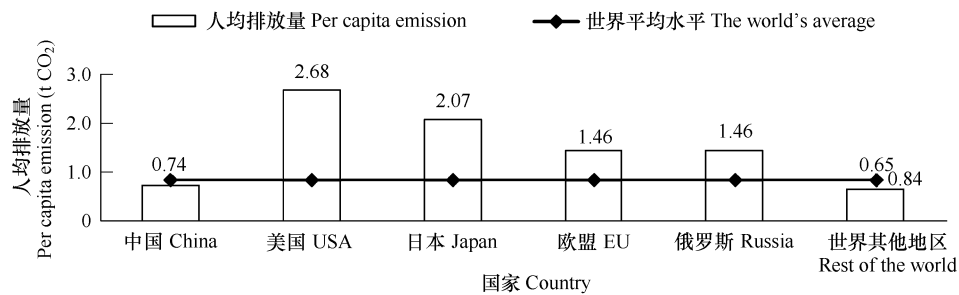


图4 Stern 方案下 2050 年各国人均排放水平

Fig. 4 Per capita emission in 2050 in Stern strategy

达国家排放量比 1990 年降低 80%, 中国、俄罗斯以及世界其他地区, 从 2020 年开始减排, 至 2050 年, 中国的排放量比 2005 年降低 25%, 俄罗斯的排放量比 2005 年降低 30%, 世界其他地区的排放量比 2005 年增加量不超过 30%。考虑在 2020 年之前, 发展中国家不必承担减排任务, 用 10a 左右的快速发展和技术改造机会, 以使这些国家的经济水平得到发展, 技术改造得以实现。

对于这个方案, 基于多国气候保护模型, 在缓慢技术进步水平之下, 模拟得到, 2050 年全球温度上升 1.38℃, 2100 年温度上升 1.99℃。与 BAU 情景比较, 当执行该减排方案, 各国至 2050 年累积 GDP 损失分别为: 中国下降 0.9%, 美国下降 0.63%, 日本下降 0.4%, 欧盟下降 0.46%, 俄罗斯下降 1.3%, 世界其他地区 0.2%, 与 Stern 方案相比, 世界各国累积 GDP 损失均有减少, 特别是中国、俄罗斯以及世界其他地区在减排中所受的经济影响有显著减小, 损失幅度分别从 2%, 2.5%, 0.68% 下降至 0.85%, 1.3%, 0.2%, 同时, 全球温度上升也有效地控制在欧盟提出的 2℃ 目标之内。这个方案的细节是, 美国、日本、欧盟从 2013 年开始每年分别比 BAU 情景下的排放量减少, 排放控制率分别为 88%, 87%, 83%, 中国、俄罗斯从 2020 年实行的排放控制率为 63%, 64%, 而世界其他地区也从 2020 年开始减排, 并每年比 BAU 情景下的排放量少排 35%, 根据上述减排细节, 各国 2050 年的排放量如表 8 所示。

表 8 方案 IV 下 2050 年各国排放量 (GtC)

Table 8 Emission in 2050 with strategy IV

年份 Year	中国 China	美国 United States	日本 Japan	欧盟 EU	俄罗斯 Russia	其他地区 Rest of the world
1990 年排放水平 Emission in 1990	0.65	1.3	0.29	1.2	0.4	2.26
2005 年排放水平 Emission in 2000	1.51	1.57	0.33	1.3	0.7	2.49
2050 年排放量 Emission in 2050	1.13	0.26	0.058	0.24	0.49	3.23

进一步看, 如果采用改进的技术进步水平, 要实现方案 IV 的减排目标, 各国的实施细节分别为: 美国、日本、欧盟均从 2013 年开始每年的排放控制率分别为 (比 BAU 情景下的排放量少排) 44%, 41%, 24%, 俄罗斯的排放控制率为 14%, 世界其他地区最多保持原技术进步水平下的减排强度, 即每年比 BAU 排放量减少 35%, 而中国在技术进步速度得到提高后, 2050 年在 BAU 情景下的排放量为 0.91GtC, 小于本方案中 2050 年的排放目标 1.2 GtC, 也就是说, 中国在技术进步速度提高后, 依靠技术性减排完成减排任务。基于上述减排细节, 模拟得到, 2050 年全球温度上升 1.41℃, 2100 年全球温度上升 1.92℃, 温度上升幅度比缓慢技术进步水平下的模拟结果有所下降。与 BAU 相比, 各国累积 GDP 损失分别为: 中国下降 0.01%, 美国下降 0.28%, 日本下降 0.11%, 欧盟下降 0.08%, 俄罗斯下降 0.2%, 世界其他地区下降 0.22%, 降幅均较缓慢技术进步水平下减排所导致的累积 GDP 损失有所减小。比较技术进步速度改进前后的全球温度上升结果可以发现, 2050 年的温度上升幅度从 1.38℃ 上升为 1.41℃, 略有上升, 但 2100 年的升温幅度从 1.99℃ 下降为 1.92℃,

这主要是由于各个国家在实现 2050 年排放目标的过程中,当技术进步速度得以提高,每年相对于 BAU 情景排放量的排放控制率减小了,同时 GDP 也较技术进步改进前有所提高,故每年排放有所增加,但这不会影响各国达到 2050 年排放目标。图 5 为中国和美国在技术进步水平改进前后的年排放量比较(图 5 中排放量 1 和排放量 2 分别为技术进步水平改进前后的年排放量)。因此,若技术进步速度得以改进,不仅可以使各国的年排放控制率大幅下降,且各国在减排中所损失的累积 GDP 也有所减少,有利于在全球范围内实施减排。

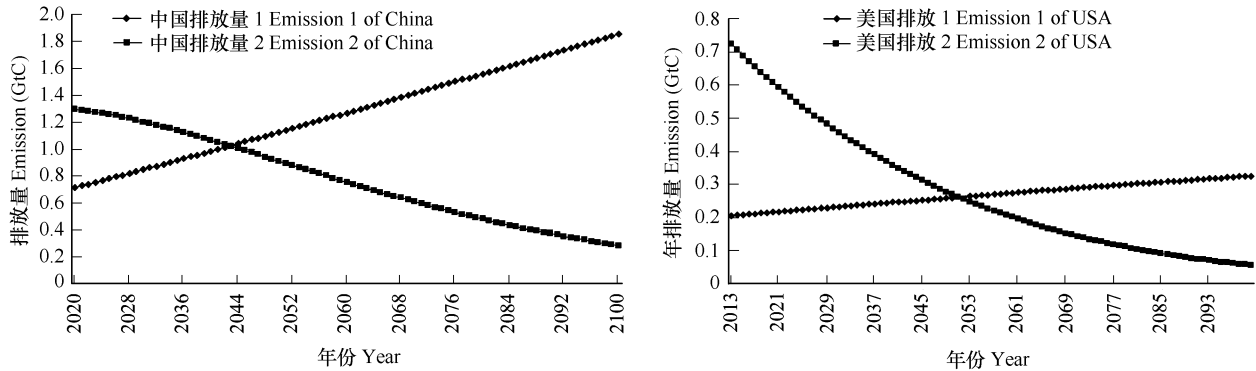


图 5 中国、美国在不同技术进步水平下的年排放量比较

Fig. 5 Emission comparison in different technology change

另外,从人均的角度看,基于方案Ⅳ,模拟得到 2050 年全球的人均排放量为 2.03 tCO₂,全球各国(地区)的人均排放量如图 6 所示,可以发现:高于世界人均排放水平的国家依次为俄罗斯、美国、中国,其中,中国与美国的人均排放水平较为接近,而人均排放水平最高的为俄罗斯 3.60 tCO₂,这一方面是由于俄罗斯人均排放水平基数较大,2007 年人均排放为 11.01 tCO₂,远远高于全球人均排放水平 4.57 tCO₂,另一方面俄罗斯地处高纬度地区,气候严寒,冬半年能源需求较低纬度地区大;另外,日本的人均排放水平与世界人均排放水平基本持平为 2.08 tCO₂;而欧盟和世界其他地区的人均排放水平则低于全球平均水平,分别为 1.46 tCO₂和 1.83 tCO₂,其中,人均排放水平最低的为欧盟。这可以实为这些发达国家因为其历史排放需要完成的任务。

总体来说,这里的国际互惠减排方案,实现将 2100 年全球升温控制在 2℃ 以内,并且控制 2050 年大气 CO₂ 含量不超过 500ml/m³。不仅能有效缓解全球气候变化,而且案减轻了发展中国家的减排负担,从经济效益角度来说相对公平,能为发展中国家提供更多发展空间,有利于尽快减少贫困。

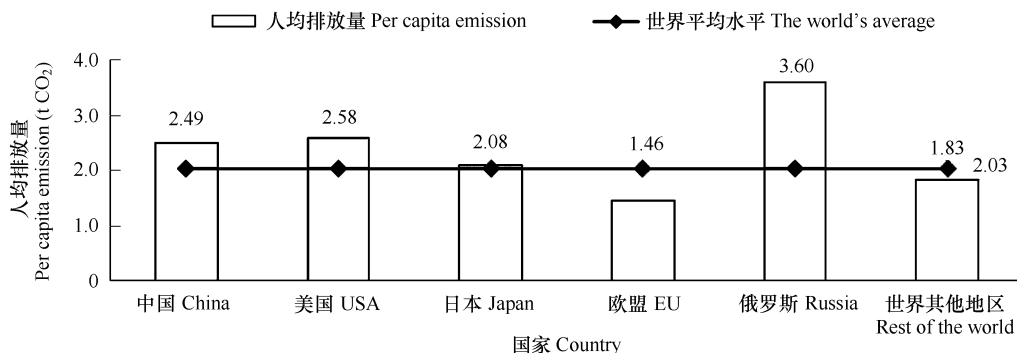


图 6 方案Ⅳ下 2050 年各国人均排放水平

Fig.6 Per capita emission in 2050 in strategy IV

4 结论与讨论

将国家间 GDP 溢出纳入多国气候保护模型,并基于该模型展开了国际气候保护配额方案设定与评价,主要得到以下结论:

在以“人均排放权均等”的原则进行配额方案制定时,可以以不同原则制定减排配额。这些配额有不同的影响。发达国家的减排存在一定困难。

Stern 的方案虽能较显著地将 2100 年升温幅度控制在 2℃ 以内,但是,该方案的实施将使发展中国家将损失相对较多的经济收益用于支付减排的成本。

相比之下互惠的减排方案为:发达国家从 2013 年开始减排,至 2050 年,它们的排放水平比 1990 年降低 80%。同时发展中国家从 2020 年开始减排,中国至 2050 年排放水平比 2005 年降低 25%,俄罗斯至 2050 年比 2005 年排放水平降低 30%,世界其他地区至 2050 年排放量比 2005 年增加不超过 30%。

无论哪种方案,维持现有能源强度利用的技术进步速度,将大大改善世界各国的减排困境。

References:

- [1] Stern N. Key elements of a global deal on climate change. http://www.lse.ac.uk/collections/granthamInstitute/publications/KeyElementsOfAGlobalDeal_30Apr08.pdf. 2008,5.
- [2] OECD. GREEN: The User Manual, mimeo, Development Centre. OECD, Paris, 1994.
- [3] OECD. The OECD Green Model: An Updated Overview. Development Centre Working Papers, 1997.
- [4] Yu W S, Thomas W H, Paul V P, James S E. Projecting World Food Demand Using Alternative Demand Systems. Global Trade Analysis Project (GTAP) Working Paper, 2002, Number 21.
- [5] Nordhaus W D. The slow or not slow: the economics of the Greenhouse Effect. The Economic Journal, 1991, 101: 920—937.
- [6] Nordhaus W D, Yang Z. A regional dynamic general-equilibrium model of alternative climate-change strategies. The American Economic Review, 1996, 86: 741—746.
- [7] Nordhaus W D, Yang Z. Warming the World: Economic Models of Global Warming, 1999. <http://nordhaus.econ.yale.edu/dicemodels.htm>
- [8] Link P M, Tol R S J. Possible Economic Impacts of a Shutdown of the Thermohaline Circulation: an Application of FUND, Portuguese Economic Journal, 2004, 3 (2): 99—114.
- [9] Manne A S, Mendelsohn R, Richels R. MERGE — A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction Policies. Energy Policy, 1995, 23(1): 17—34.
- [10] Manne A S, Richels R. MERGE: A model for evaluating the regional and global effects of GHG reduction policies, 2004. <http://www.stanford.edu/group/MERGE>.
- [11] Loulou R, Labriet M. ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model part I: Model structure. Computational Management Science, 2007, 5: 7—40.
- [12] Loulou R. ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model part II: mathematical formulation. Computational Management Science, 2008, 5: 41—66.
- [13] Jiang K J, Hu X L, Zhuang X, et al. China's energy demand and greenhouse gas emission scenarios in 2050. Advances in climate change research, 2008, 4(5): 296—302.
- [14] Chen W Y, Gao P F, He J K. Impact of carbon mitigation on China's energy system using China MARKAL-MACRO model. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 44(3): 342—346.
- [15] 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.
- [16] Wang Z, Zheng Y P, Jiang Y H. Dynamic macroeconomic modeling and analysis of CO₂ abatement. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(7): 1508—1513.
- [17] Zwaan B C C. van der, Gerlagh R, Klaassen G, Schrattenholzer L. Endogenous Technological Change in Climate Change Modelling, Energy Economics, 2002, 24: 1—19.
- [18] Wang Z, Jiang Y H, Wu J, et al. The research on China's potential abatement of CO₂ by technological progress. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(2): 523—431.
- [19] Wang Z, Li H Q, Zhang H B, et al. An analysis of the GDP spillover effects of carbon abatement between China and the United States. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(9): 3718—3726.
- [20] Grubb M, Hope C, Fouquet R. Climatic Implications of the Kyoto Protocol: the Contribution of International Spillover, Climatic Change, 2002, 54: 11—28.
- [21] Douven R. Peeters M. GDP-spillovers in multi-country models. Economic Modelling, 1998, 15, 163—195.

- [22] McKibbin W J, Sachs J D. Global Linkages. The Brookings Institution, 1991. Washington.
- [23] Nordhaus W D. Rolling the 'DICE': An optimal transition path for controlling greenhouse gases. *Resource and Energy Economics*, 1993, 15: 27—50.
- [24] Pizer W A. The optimal choice of climate change policy in the presence of uncertainty. *Resource and Energy Economics*, 1999, 21: 255—287.
- [25] Stern N. China in the World. Speech in Tsinghua, 2008, 23rd Oct.

参考文献:

- [13] 姜克隽,胡秀莲,庄幸,等. 中国 2050 年的能源需求与 CO₂ 排放情景. *气候变化研究进展*, 2008, 4(5): 296~302.
- [14] 陈文颖, 高鹏飞, 何建坤. 用 MARKAL-MACRO 模型研究碳减排对中国能源系统的影响. *清华大学学报(自然科学版)*, 2004, 44(3): 342~346.
- [15] 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.
- [16] 王铮,郑一萍,蒋轶红,等. CO₂ 排放控制的动态宏观经济模拟分析. *生态学报*, 2004, 24(7): 1508~1513.
- [18] 王铮,蒋轶红,吴静,郑一萍,黎华群. 技术进步下中国 CO₂ 减排的可能性. *生态学报*, 2006, 26(2): 423~431.
- [19] 王铮,黎华群,张焕波,龚轶. 中美减排二氧化碳的 GDP 溢出模拟. *生态学报*, 2007, 27(9): 3718~3726.