



# 寻求合理的全球碳减排方案

## 气候变化经济学集成评估： 建模、开发与系统应用\*

文/王 铮<sup>1,2</sup> 吴 静<sup>1</sup> 张 帅<sup>1</sup> 朱潜挺<sup>3</sup> 刘昌新<sup>1</sup>

1 中国科学院科技政策与管理科学研究所 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

3 中国石油大学 北京 102249

**【摘 要】** 全球碳减排方案是全球合作应对气候变化的关键问题。气候保护方案各有不同,为寻求合理的减排方案,需要不断地探索和计算全球经济气候变化情况,因而形成了大量的数据处理和计算工作。基于相同的理论模型再构建减排方案,则不可避免地存在重复计算。本文在气候保护理论模型基础上,构建了一个具有方案评价普适功能的气候保护政策评价系统,从而很好地避免了冗余计算这一问题,另外,该系统具有较强的平台可扩展性和适应性,在深化研究中可以基于本系统扩展其他功能模块,避免了重复性的系统开发工作。

**【关键词】** 气候保护,方案模拟,决策支持,方案评价

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2012.05.009

### 1 引言

在2011年12月的德班会议上,世界主要排放国家已经达成了2020年后合作减排的共识,从2012年开始,全球合作减排研究将成为一股强劲的潮流。

要实行合作减排,就要研究合作减排方案及集成评估模型IAM(Integrated As-

essment Modeling)。IPCC<sup>[1]</sup>报告采用的SRES模型侧重的是未来气候情景的预测,没有提出减排方案,这样就不能把气候保护推进到实质阶段。我们认为IPCC的第五次评估报告,应该提出一系列减排方案建议,为此,未来气候变化特别是气候变化经济学的研究重点应该放在IAM的建模与软件实现方面。

到目前为止,国际上已有著名的Stern方案<sup>[2]</sup>、Sørensen方案<sup>[3]</sup>、UNDP方案<sup>[4]</sup>和布莱尔在2008年八国集团首脑会议上提出的方

\* 本研究得到国家 973 项目(2012CB955800)、中科院战略性先导科技专项(XDA05150500)的资助  
修改稿收到日期 2012年8月31日

案等,在国内,王铮、吴静等<sup>[5]</sup>,丁仲礼等<sup>[6]</sup>提出人均累积碳排放均等原则,何建坤等<sup>[7]</sup>提出人均碳排放均等观点。所有这些都归结为应用IAM。目前的IAM大致分为两种类型,第一种是基于Nordhaus等<sup>[8]</sup>的动力经济学模型,根据RICE模型,发展起各种各样的动力学模型,可以评估各种减排方案。由于动力学过程的复杂性,这一类模型涉及众多的气候、生态、经济和社会行为环境。目前自然科学家们热衷于对其中碳循环环节的研究,社会科学家热衷于内生经济过程的研究,而海洋机制、伦理环节的研究也不可忽视。第二种类型是以技术经济学为基础,Tol的模型是这方面的代表<sup>[5]</sup>。这类模型侧重从技术经济角度评价不减排以及各种减排措施可能引起的社会经济风险。这类模型包含了大量的产业部门和碳消费环节,技术上非常清楚,减排策略可以制定得非常细腻。他们通过改变技术经济政策来分析未来气候情景,同时考虑采用CGE技术分析产业部门的相互影响。可是这类模型既不能反映经济过程的内生影响,又不能刻画碳循环影响,使得它推出的方案不能确定未来的动态控制策略,不具有政策调控作用,而且部门划分过多,带来了大量的参数估计问题,而参数的失误可能失之分毫则差之千里。我们分别称这两类方法为动力学方法和技术经济方法。显然今后的发展方向是结合这两种方法,但是分别从动力学角度和技术经济角度深入研究减排的集成评估模型,仍然是必要的。另外这些模型的共同特点是未能反映世界经济一体化的特征,而该特征则可能改变各国的排放格局。另一方面,正在蔓延的世界经济危机提醒我们,不能因为应对气候变化而加剧世界经济危机,我们需要保障平稳增长的减排政策。

## 2 MRICES: 一个新的动力学模型

针对这种情况,在中国,姜克隽等展开了技术经济类模型的研究\*,为了更方便灵活地制定减排

方案,王铮、吴静等<sup>[5]</sup>改进了Nordhaus等的RICE模型,提出MRICES(Multi-Regional Integrated Climate Economic assessment model with regional Spillover)模型,并以此为基础建立了中国版的气候保护政策模拟系统,用于支持碳减排方案评估。通过这个系统,用户不需要编写程序或计算流程,只需要提出模型的设计就能进行方案模拟;软件平台具有封装性和适应性,不会因为小的操作失误而导致结果错误,系统封装后,可以通过参数录入来实施各种减排方案评价工作。

MRICES沿用RICE的做法,把世界划分为8+1个国家集团,其中包括8个基础的国家(地区),分别为中国、美国、欧盟、日本、其他发达国家、高度发展中国家、中度发展中国家、低度发展中国家,同时为了分析发展中国家利益,可根据用户需求生成单独的一个发展中国家。系统命名为MRICES-2012,本文以该系统为核心来讨论IAM问题。

MRICES-2012借鉴了RICE模型,但RICE模型未考虑到技术进步的作用,也忽略了各个不同经济体间的GDP溢出的相互影响。在气候保护中,技术进步强化了碳减排,其作用是不可忽视的。一些学者对此做了大量研究并构建了包含内生技术进步的CO<sub>2</sub>减排模型<sup>[9-11]</sup>,但是他们普遍忽视了在世界经济一体化中各国经济的相互作用

GDP溢出。关于GDP溢出,从最初的Mundell-Fleming模型<sup>[12,13]</sup>到Douven、Peeters给出了标准的多国GDP溢出模拟体系<sup>[14]</sup>,适合与RICE配合。

由于篇幅有限,MRICES-2012技术细节可见王铮等<sup>[15]</sup>。概要讲它由4个子模块组成,分别是宏观经济模块、气候变化模块、人地关系协调决策选择模块和区域之间的GDP溢出模块。相互之间的关系如图1所示。

考虑到气候保护模拟分析系统的最终用户主要分为两类:一类是气候保护政策制定者,另一类

\* 姜克隽在 973 项目会议上的汇报,气候变化经济学建模与政策模拟 973 项目汇报会,天津,2012.06



图1 MRICE-2012框架(图中:K,资本;Y,GDP;T,气温;A,全要素生产率;I,技术投资; $\delta$ ,减排率;N,非碳能源;E,能源使用; $\delta Y$ ,GDP溢出量)

是气候保护研究人员。因此,MRICES-2012应具备很好的人机交互性,在系统中要提供多个模拟情景、政策方案,以备用户选择进行情景分析,或让用户自行制订模拟情景。因此系统除了含有几种基本的方案情景外,还需要有各类系统参数的灵活设置。另外,为了直观地得到分析结果,提供决策支持,需要提供对模拟结果以及经济、社会效用值进行处理与分析的功能,如统计分析和图表分析等。系统功能设计包括如下内容:方案管理设计、数据设计、气候模型的闭合计算、可视化操作和显示、政策模拟。系统的核心目的是进行全球减排政策模拟,即在参数和变量值确定的情况下,通过外生变量作用而产生一个具体方案的模拟结果。系统的逻辑结构如图2所示。

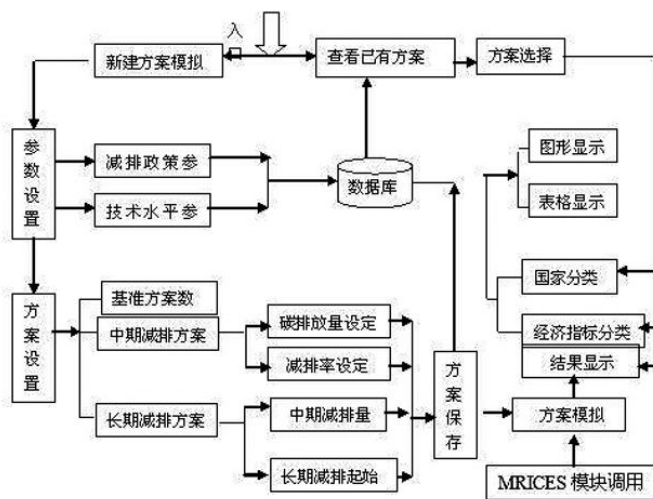


图2 系统流程图

政策模拟是系统的核心功能,图3为中期方案模拟的输入界面示意图,图4、图5为模拟结果显示示意图。基于这些界面用户可以清楚地了解政策模拟的结果。

通过图4、图5可以看出,MRICES得到的不是一个详细的各部门的经济变化情况,这是它的弱点也是它的优点。它的优点是整体上把握气候保护政策的宏观经济影响,明确地比较各国对策,同时能够动态分析减排导致的经济变化,它与技术经济的计算方式可以互相补充。

### 3 减排方案探讨

在完成系统开发的基础上,我们利用该系统对全球气候减排方案进行了各种探讨,并提出了可行的全球减排方案。另外,由于系统开发的通用性,我们亦可对现有气候保护方案进行相关模拟和评价。Stern方案是目前最流行的试图打破气候变化僵局的全球减排方案报告。Stern方案的特点是

完全回避二氧化碳排放的配额问题,也不谈发达国家的历史责任和补偿问题,只谈目标。显然他试图避开目前明显争执的配额问题,为未来进一步的气候谈判奠定基础。这些目标看似与中国关系不大,其实对中国未来的经济影响不可小视。对Stern的方法与理念,Nordhaus提出了伦理学和科学的批评,爆发了激烈的争论<sup>[16]</sup>。后来,Nordhaus建议到2050年全球总量减排25%<sup>[17]</sup>。这些方案



**Mitigation Target at 2020**

Regions	Target Year	Mitigation Scheme	Base Year	Target Value
China	2020	C-int 45% lower than 2005	7.99 (t/10000\$)	4.39 (t/10000\$)
USA	2020	C-int 17% lower than 2005	1.5939GtC	1.32 GtC
Japan	2020	C 25% lower than 1990	0.3146GtC	0.256 GtC
EU	2020	C 30% lower than 1990	1.20GtC	0.84 GtC
DR	2020	C 30% lower than 1990	0.49GtC	0.28 GtC
MDR	2020	C 25% lower than 1990	1.21GtC	0.907 GtC
MDR	2020	C-int 30% lower than 2005	5.46 (t/10000\$)	3.82 (t/10000\$)
LDR	2020	No mitigation	2.05 (t/10000\$)	2.05 (t/10000\$)
India	2020	C-int 30% lower than 2005	0.384818GtC	0.2693726GtC

Annotate: 1. Mitigate at even pace for every year; 2. C-int represents for Carbon emission intensity 3. C represents for the amount of Carbon Emission

**Mitigation Scheme after 2020**

☒ Maintain the mitigation rate at 2020 ☐ Maintain the Carbon Emission at 2020

☐ set annual mitigation rate ☐ set annual Carbon Emission (GtC)

Regions	China	USA	Japan	EU	MDR	MDR	LDR	DR	India
China	0.067								
USA	0.282								
Japan	0.405								
EU	0.255								
MDR	0.114								
MDR	0.067								
LDR	0.04								
DR	0.255								
India	0.557								

Run

图3 方案模拟设置

**Global Data**

Global Temperature rise till 2050 (°C) :	1.665	Global carbon dioxide concentration in 2050 (ppm) :	1431.747
Global Temperature rise till 2100 (°C) :	2.606	Global carbon dioxide concentration in 2100 (ppm) :	1540.064
Global Carbon Emission in 2050 (GtC) :	9.544	Global per capita carbon emission in 2050 (tC/P) :	10.909
Global Carbon Emission in 2100 (GtC) :	16.157	Global per capita carbon emission in 2100 (tC/P) :	11.373

**Regional Data**

	China	USA	Japan	EU	MDR	MDR	LDR	DR	India
Carbon Emission in 2050 (GtC) :	2.433	1.670	0.294	1.053	1.505	0.713	0.249	0.347	1.280
Carbon Emission in 2100 (GtC) :	4.229	2.137	0.308	1.377	2.608	1.627	0.446	0.459	2.886
C-intensity in 2050 (tC/10000\$) :	1.966	0.593	0.245	0.450	0.801	0.860	0.846	0.522	1.490
C-intensity in 2100 (tC/10000\$) :	0.699	0.345	0.143	0.263	0.292	0.306	0.429	0.304	0.530
Per Capital C-Emission in 2050 (GtC/P) :	1.565	4.577	1.827	1.698	1.173	0.399	0.130	1.915	1.174
Per Capital C-Emission in 2100 (GtC/P) :	2.563	5.591	2.234	2.058	1.940	0.662	0.183	2.339	1.174
Cumulative Change of GDP till 2050 (K) :	-0.011	-0.006	-0.006	-0.006	-0.016	-0.542	0.005	-0.003	正无穷大
Cumulative Change of GDP till 2100 (K) :	0.026	0.014	0.015	0.016	0.016	-0.527	0.034	0.018	正无穷大
Cumulative Per Capital Carbon Emission till 2050 (GtC/P) :	57.736	200.029	85.433	77.485	49.831	15.951	4.809	85.920	26.211
Cumulative Per Capital Carbon Emission till 2100 (GtC/P) :	160.823	455.270	187.324	171.702	127.413	42.445	12.686	192.599	73.412

Data View

图4 详细数据查看显示

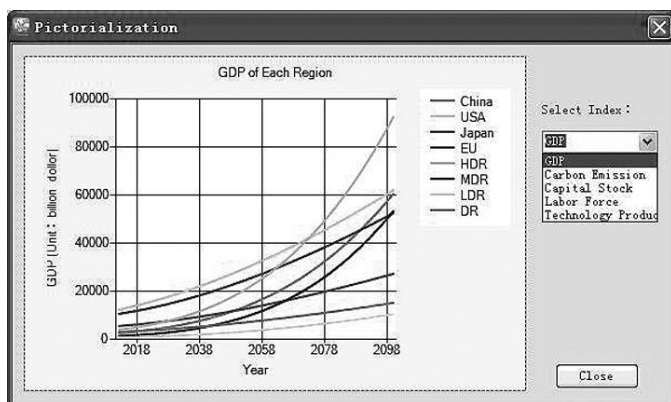


图5 图表显示

需要第三方评价。

根据世界银行数据显示,1990年全球碳排放

总量为5.941GtC。按照Stern方案的设定,至2050年全球碳排放量削减到1990年的50%,到2050年,以1990年排放量为标准,发达国家的碳排放量减少80%,高发展水平国家的碳排放量减少50%。为达到2050年减排目标,中国和中发展水平国家需要在2005年碳排放总量的基础上分别减少44%和30%。低发展水平国家因为经济过度欠发达而不要求其承担相应的总量减排任务。此后,各国保持2050年的减排力度。在此方案下,2050年碳浓度约为406ppm(446ppm二氧化碳当量)。至2100年增温控制在1.88°C。各国(地区)碳排放量结果如表1所示。

由表1可知,Stern方案的做法会给发展中国家经济发展带来明显损失,人均碳排放量方差大,达0.0667,而度过经济高速发展时期的发达国家不但没有承担相应的历史重任,反而其减排任务较发展中国家更为轻松。这显然是不公平和不合理的。

对于Nordhaus提出的至2050年全球总量减排25%的方案,我们也做了模拟,模拟显示,到2050年,以1990年排放量为标准,发达国家的碳排放量减少80%,高发展水平国家的碳排放量减少50%。如果达到2050年减排目标,需要中国在2020-2050年间维持2020年的排放水平1.504GtC,至2100年的排放量比2005年减少15%。中发展水平国家则维持2020年的碳排放水平。在此方案下,2050年碳浓度约为413.6ppm,折合455ppm二氧化碳当量,至2100年增温控制在1.97°C。各国(地区)碳排放量结果见表2。

相比于Stern方案,Nordhaus方案对发达国家的减排没有变化,而主要是发展中国家的减排压力有所下降,人均碳排放量的方差为0.0583,较前者小。因此,在温度和浓度均能

表1 Stern 方案下各国碳排放情况

	碳排放(GtC)		人均碳排放量(tC/P)	
	2050	2100	2050	2100
中国	0.857	1.51	0.552	0.915
美国	0.262	0.341	0.718	0.891
日本	0.058	0.077	0.36	0.446
欧盟	0.24	0.321	0.387	0.479
高度发展	0.605	1.064	0.471	0.791
中度发展	0.613	1.419	0.16	0.268
低度发展	0.25	0.452	0.13	0.186
其他发达	0.08	0.107	0.442	0.546

表2 Nordhaus 方案下各国碳排放情况

	碳排放(GtC)		人均碳排放量(tC/P)	
	2050	2100	2050	2100
中国	1.609	1.301	1.035	0.798
美国	0.262	0.340	0.718	0.890
日本	0.058	0.077	0.360	0.446
欧盟	0.24	0.321	0.387	0.479
高度发展	0.605	1.064	0.471	0.791
中度发展	1.558	1.387	0.406	0.262
低度发展	0.25	0.452	0.13	0.186
其他发达	0.08	0.107	0.442	0.546

控制的情况下,Nordhaus 方案是更为合理的选择,差不多既能完成气候目标,又使得发展中国家有一定的发展空间。但从碳排放量情况来看,该方案需要加大减排力度。

为此,我们基于 MRICES-2012 探讨了一个新的方案,命名为平衡增长方案。方案设定各个国家按照两阶段的方式参与总量减排。设定具体方案为:中国至 2050 年的碳排放量比 2005 年总量减少 15%,并且至 2100 年总量减少 25%。美国至 2050 的排放量比 1990 年降低 80%,至 2100 年仍保持这个总量水平。欧盟和其他发达国家 2050 年的碳排放总量比 1990 年减少 80%,至 2100 年欧盟比 1990 年减少 70%,其他发达国家 2100 年比 1990 减少 75%。日本至 2050 的碳排放量为 1990 年的 70%,2100 年也保持

2050 年的总量水平。高度发展国家至 2050 的碳排放量为 1990 年的 50%,2100 年保持 2050 年的总量水平。中度发展国家按照强度减排在 2020 年达到总量高峰值 1.387GtC 后,至 2100 年仍保持这个碳排放总量。低度发展国家既不参加强度减排也不参与总量减排。这里日本和其他发达国家减排率指标减少,是考虑了日本和其他发展中国家不适合再大规模扩大核电规模。

模拟得到在平衡增长方案下,至 2050 年全球二氧化碳浓度为 409.306ppm,折合 449ppm 二氧化碳当量。至 2100 年全球升温为 1.94℃,较好地将全球二氧化碳浓度和温度控制在了理想的范围内。在该方案下,各国(地区)至 2050 年的人均碳排放量如表 3 所示,此时各国(地区)人均碳排放量的方

表3 平衡增长方案下各国(地区)人均碳排放量(tC/P)

	中国	美国	日本	欧盟	高发展	中发展	低发展	其他发达
2050年	0.837	0.718	0.541	0.387	0.471	0.361	0.13	0.442
2100年	0.696	0.685	0.501	0.359	0.45	0.262	0.185	0.407

差0.0333 ,比Stern方案和Nordhaus方案下的方差都有所下降 ,表明了该方案在人均碳排放量上的公平性 ,有利于发展中国家的经济增长。

为进一步了解3个方案所产生的经济影响 ,我们基于MRICES-2012模拟得到了3个方案下的拉姆齐量变化情况 ,如图6所示。可以看出 ,Stern方案对中国、美国和中度发展中国家的带来的经济损失最大 ,而这3个国家(集团)是拉动经济发展的火车头 ,抑制这3个国家(集团)的发展 ,不利于世界经济发展。相比于Nordhaus而言 ,Stern方案更利于发达国家的经济发展 ,而忽略了发展中国家的利益 ,这是不公平和不合理的。Nordhaus相比之下照顾到了发展中国家的利益 ,是一个较为合理的方案。而平衡增长方案下 ,各国的拉姆齐量变化与Nordhaus方案类似 ,其中发展中国家的拉姆齐量变化基本与Nordhaus方案基本持平 ,而发达国家的损失略有下降 ,达到世界的平衡发展。

4 总结与讨论

全球碳减排方案是全球合作应对气候变化的关键问题。气候保护方案各有不同 ,为了寻求

合理的全球减排方案 ,需要不断地探索和计算全球经济气候情况 ,这需要大量的数据处理和计算工作。若是基于相同的理论模型构建方案则不可避免地存在重复计算。基于气候保护理论模型构建气候保护平台则能很好地避免冗余计算这一问题。不但在计算效率上有所提高 ,平台的易移动性还使其能够有很好的推广使用 ,带来资源和时间上的节约。

作为系统的应用案例 ,文章评价了Stern的减排方案、Nordhaus的减排方案 ,发现他们或者对发展中国家极度不公平 ,或者不能达到减排目标。因此 ,本文提出了一个新的减排方案以控制2100年全球温度升温不超过2℃ ,2050年大气二氧化碳当量浓度不超过450ppm。

为了更好地将MRICES-2012应用于全球气候保护政策模拟 ,模型系统还在不断的完善和修正中。目前 ,我们已经在模型中引入研发投入诱导的内生技术进步、碳排放权交易等机制 ,并基于MRICES系统逐步扩展开发了MRICES-RD系统和MRICES-CT系统 ,以期得到更加全面的模拟。

主要参考文献

1 IPCC. Climate change 2007: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 2007.

2 Stern N. Stern Review on the Economics of Climate Change. Report to the Prime Minister and the Chancellor of the Exchequer On the Economics of Climate Change. London, United Kingdom, 2006.

3 Sørensen B. Pathways to Climate Stabilisation. Energy Policy, 2008, 36: 3 505-3 509.

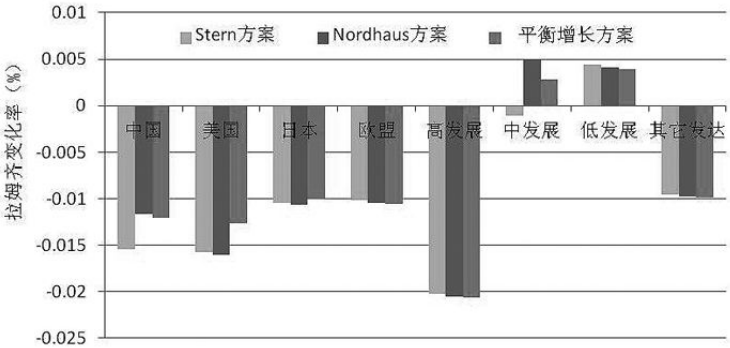


图6 各方案下拉姆齐量变化率

- 4 UNDP. Fighting climate change: Human solidarity in a divided world. Human Development Report 2007/2008. <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2007-2008/>
- 5 王铮, 吴静, 李刚强等. 国际参与下的全球气候保护策略可行性. 生态学报, 2009, 29(5): 2 407-2 417.
- 6 丁仲礼, 付博杰, 韩国兴等. 中国科学院 应对气候变化国际谈判的关键科学问题 项目群简介. 中国科学院院刊, 2009, 24(1): 8-17.
- 7 陈文颖, 吴宗鑫, 何建坤. 全球未来碳排放权 两个趋同 的分配方法. 清华大学学报(自然科学版), 2005, 45(6): 850-853.
- 8 Nordhuas W D, Yang Z. Regional dynamic general-equilibrium model of alternative climate-change strategies. The American Economic Review, 1996, 86: 741-746.
- 9 Goulder L H, Schneider S H. Induced technological change and the attractiveness of CO<sub>2</sub> abatement policies, Resource and Energy Economics, 1999, 21: 211-253.
- 10 Van der Zwaan B C C et al. Endogenous Technological Change in Climate Change Modelling, Energy Economics, 2002, 24: 1-19.
- 11 吴静, 朱潜挺, 王铮. 研发投入对全球气候保护影响的模拟分析. 科学学研究, 2012, 30(4): 517-525.
- 12 Mundell R. Capital Mobility and Stabilization Policy under Fixed and Flexible Exchange Rate. Canadian Journal of Economics and Political Science, 1963, (20): 475-485.
- 13 Fleming M. Domestic Financial Policies under Fixed and under Floating Exchange Rate. International Monetary Fund Staff Papers, 1969, 369-379.
- 14 Douven R, Peeters M. GDP-Spillovers in Multi-Country Models. Economic Modelling, 1998, 15: 163-195.
- 15 王铮, 张帅, 吴静. 一个新的RICE簇模型及其对全球减排方案的分析. 科学通报, 2012, 57: 39-48.
- 16 Nordhuas W D. Critical Assumptions in the Stern Review on Climate Change, Science, 2007a, 317: 201-202.
- 17 Nordhuas W D. A review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. Journal of Economic Literature, 2007b, 45, 3: 686-702.



中国科学院

## Integrated Assessment of the Economics of Climate Change: Modeling, Implementation and Applications

Wang Zheng<sup>1,2</sup> Wu Jing<sup>1</sup> Zhang Shuai<sup>1</sup> Zhu Qianting<sup>3</sup> Liu Changxin<sup>1</sup>

(1 Institute of Policy and Management, CAS 100190 Beijing

2 Key Laboratory of Geographic Information Science, Ministry of Education, East China Normal University

200062 Shanghai 3 China University Petroleum 102249 Beijing)

**Abstract** This paper developed a computational system based on the climate change theories to avoid redundant computation. With the extensibility and flexibility, other modules related with climate change can be integrated into the current system, so that duplicate programming can be avoided.

**Keywords** climate protection, strategies modeling, decision support, strategies assessment

王 铮 中科院科技政策与管理科学所研究员。1954 年出生, 云南人。主要从事政策模拟、区域科学与管理研究。E-mail: wangzhang@casipm.ac.cn