

| 气候变化经济过程的复杂性丛书 |

# 气候变化经济学 集成评估模型

王 铮 吴 静 刘昌新 顾高翔 黄 蕊◎著

 科学出版社

气候变化经济过程的复杂性丛书

# 气候变化经济学集成评估模型

王 铮 吴 静 刘昌新 顾高翔 黄 蕊 著

国家重大研究计划(973)项目 2012CB955800 资助

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

气候变化经济学是为应对全球气候变化应运而生的一个新兴的学科和研究领域。它是自然科学和社会科学的结合,旨在评估气候变化的经济影响和人类应对气候变化行为的经济影响与经济效益,并且涉及经济伦理问题。本书聚焦气候变化经济学的集成评估模型研究,从量化的角度来衡量气候变化以及应对气候变化的相关政策可能产生的国际社会、经济及其对气候正义影响。

本书系统地介绍了气候变化经济学的集成评估模型内容涉及经典的DICE/RICE模型以及作者发展的MRICES模型、EMRICES模型、CIECIA模型细节,及其构建技术关键,同时报道了将这些模型应用于全球应对气候变化的政策模拟研究,内容包括针对内生技术进步与全球一般均衡下的全球经济变化、碳融资、全球征收碳税等全球治理问题。

本书有助于从事气候变化政策研究的组织和个人深入了解气候变化经济学的IAM构建,并为气候变化政策制定提供科学的支撑。同时也可以为研究环境经济建模、全球经济治理建模的学者和高年级研究生提供参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

气候变化经济学集成评估模型/王铮等著. —北京:科学出版社, 2015. 12

(气候变化经济过程的复杂性丛书)

ISBN 978-7-03-046270-1

I. ①气… II. ①王… III. ①气候变化-影响-经济发展-研究  
IV. ①F061.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第268331号

责任编辑:万峰/责任校对:李影

责任印制:肖兴/封面设计:北京图阅盛世文化传媒有限公司

**科学出版社**出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

**中国科学院印刷厂**印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2015年12月第一版 开本:787×1092 1/16

2015年12月第一次印刷 印张:19 1/2 插页:22

字数:440 000

定价:128.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# Integrated assessment model for climate change

WANG Zheng   WU Jing   LIU Changxin   et al.  
GU Gaoxiang   HUANG Rui

Science Press  
Beijing

## 《气候变化经济过程的复杂性丛书》序

气候变化经济学是新近 20 年才被认识的学科，它是自然科学与社会科学结合的产物，旨在评估气候变化和人类应对气候变化行为的经济影响与经济效益，并且涉及经济伦理问题。由于它是一个交叉科学，气候变化经济学面临很多复杂问题。这种复杂问题，许多可以追踪到气候问题、经济问题的复杂性。这是一个艰难的任务，是一个人类面临的科学挑战，鉴于这种情况，科技部启动了国家重大基础研究计划(973)项目：气候变化的经济过程复杂性机制、新型集成评估模型簇与政策模拟平台研发(No. 2012CB955800)，我们很幸运接受了这一任务。本丛书就是它的序列成果。

在这个项目研究中，我们围绕国际上应对气候变化和气候保护的政策问题，展开气候变化经济学的复杂性研究，气候保护的全球策略与比较研究，气候变化与适应的全球性经济地理演变研究，中国应对气候变化的政策需求与管治模式研究。项目在基础科学层次研究气候变化与保护评估的基础模型，气候变化与保护的基本经济理论、伦理学原则、经济地理学问题，在技术层面完成气候变化应对的管治问题以及气候变化与保护的集成评估平台研究与开发，试图解决从基础科学到技术开发的一系列气候变化经济学的科学问题。

由于是正在研究的前沿性课题，所以本序列丛书将连续发布，并且注重基础科学问题与中国实际问题的结合，作为本丛书主编，我希望本丛书对气候变化经济学的基础理论和研究方法有明显的科学贡献，而不是一些研究报告汇编。我也盼望着本书在政策模拟的方法论研究、人地关系协调的理论研究方面有所贡献。

我有信心完成这一任务的基础是，我们的项目组包含了第一流的有责任心的科学家，还包揽了大量勤奋的、有聪明才智的博士后和研究生。

王 铮

气候变化经济过程的复杂性机制、新型集成评估模型簇  
与政策模拟平台研发首席科学家

2014 年 9 月 18 日

## 前 言

气候变化经济学的集成评估，是研究应对和适应气候变化的重要工具，2012年我有幸受命主持“973”项目的“气候变化经济学过程的复杂性、集成评估模型与政策模拟平台研究”，本书就是这一工作的成果。

目前国际上各主要国家都发展了气候变化经济学的集成评估模型(Integrated Assessment Model, IAM)，作为一个负责任的大国，要参与全球治理我国也需要研究这方面的更为科学更为全面的模型。本书反映了我们发展的各IAM的研究成果。这些成果包括适应不同分析的模型系统，我们重点研发的面向国家治理的EMRICES和面向全球治理的CIECIA的详细阐述，将由独立的专著完成。

本书作者排名，按先后参加这项工作的顺序排名，故排名不分先后。虽然后期的工作由于借助前期的基础，研究更为详细，但是这不能否定前期的探索性工作。

本书主要作者为王铮、吴静、刘昌新、顾高翔、黄蕊，张帅、邵长江，分别参加了第5章和第8章的撰写。这里几个作者都在王铮指导下独立开发了模拟系统，由于系统开发的艰难性，除吴静、刘昌新、顾高翔、黄蕊外，崔丽丽、蒋轶红、黎华群、张焕波、李刚强、朱永彬、朱潜挺、孙翊、郑一萍也先后参加了程序编写工作，完成了系统开发。

在本项工作开展中，我们访问了耶鲁大学Nordhaus教授，并得到他的指点。国家气象局丁一汇院士、美国纽约州立大学杨自力教授、斯坦福大学Calcleria教授，特别是科技部徐冠华院士多次提出指导意见，在此一并致谢。

王 铮

2014年9月9日星期二于中关村

# 目 录

《气候变化经济过程的复杂性丛书》序

前言

## 第一篇 绪 论

第 1 章 气候变化与气候变化政策模拟	3
1.1 气候变化的现状	3
1.2 当前世界的碳排放形势及其经济表现	5
1.3 气候变化政策模拟的发展	7
参考文献	11
第 2 章 气候变化经济学的集成评估	14
2.1 IAM 定义	14
2.2 IAM 的发展	14
2.3 IAM 的分类	15
2.4 IAM 的不足及发展方向	19
参考文献	20
第 3 章 IAM 的建模原理	23
3.1 DICE/RICE 概说	23
3.2 DICE/RICE 模型的基本结构	24
3.3 全球碳循环模型	27
3.4 不足之处	29
参考文献	30

## 第二篇 MRICES

第 4 章 多因子作用模型	35
4.1 基于干中学机制的多因子模型	35
4.2 基于研发行为的内生技术进步的多因子模型	40
4.3 区域 GDP 溢出	46
参考文献	49
第 5 章 MRICES 的应用	50
5.1 国际气候融资的模型构建	50
5.2 融资对全球减排作用的模拟	53
5.3 国际气候保护方案分析	60
5.4 小结	69

参考文献 .....	70
<b>第 6 章 MRICES 的计算问题</b> .....	72
6.1 变量补充说明及初值确定 .....	72
6.2 参数补充说明和参数估计 .....	74
参考文献 .....	77

**第三篇 EMRICES**

<b>第 7 章 EMRICES 的体系</b> .....	81
7.1 气候变化问题对 IAM 发展的需求 .....	81
7.2 CGE 模型与气候变化评估 .....	81
7.3 EMRICES 模型 .....	83
参考文献 .....	84
<b>第 8 章 EMRICES 的结构</b> .....	85
8.1 动态 CGE 的基本模型 .....	85
8.2 MRICES 与动态 CGE 的结合 .....	89
8.3 海平面变化 .....	91
<b>第 9 章 模型的数据、参数及程序实现</b> .....	94
9.1 经济类数据 .....	94
9.2 碳循环模块相关参数 .....	100
参考文献 .....	102
<b>第 10 章 EMRICES 的模拟结果</b> .....	103
10.1 EMRICES 与 MRICES-2012 的基准情景比较 .....	103
10.2 考虑中国产业结构变动的模拟结果 .....	107
10.3 中国产业结构调整政策的减排效果评估 .....	119
参考文献 .....	126

**第四篇 CIECIA**

<b>第 11 章 全球经济的一般经济均衡</b> .....	131
11.1 生产行为 .....	131
11.2 技术进步 .....	133
11.3 市场出清与均衡条件 .....	135
11.4 储蓄行为 .....	137
11.5 投资模式 .....	139
11.6 数据来源与参数估计 .....	142
11.7 小结 .....	145
参考文献 .....	148
<b>第 12 章 碳核算与气候模型</b> .....	150
12.1 碳核算模块 .....	150



12.2	气候反馈与减排政策	151
12.3	全球碳循环系统	152
12.4	数据来源	154
12.5	小结	159
	参考文献	160
<b>第 13 章</b>	<b>无减排约束下各国经济增长和碳排放</b>	<b>163</b>
13.1	基准情景设置	163
13.2	模拟结果校验	163
13.3	基准情景模拟与结果分析	168
13.4	小结	206
	参考文献	207
<b>第 14 章</b>	<b>碳排放约束下各国经济增长和碳排放</b>	<b>209</b>
14.1	全球碳排放控制的三个原则	209
14.2	碳税政策方案模拟	212
14.3	全球气候保护合作方案评估	225
14.4	知识资本投资率提高下的全球气候保护方案分析	269
14.5	小结	276
	参考文献	278
<b>第五篇 模型的敏感性</b>		
<b>第 15 章</b>	<b>敏感性分析</b>	<b>283</b>
15.1	模型的敏感性问题	283
15.2	参数敏感性	283
15.3	碳税敏感性分析	291
15.4	小结	293
	参考文献	294
<b>索引</b>		<b>295</b>
<b>彩图</b>		

# Contents

## General Preface to Economics of Climate Change Series

### Preface

## Part 1 Introduction

<b>Chapter One Climate Change and Climate Change Policy Modeling</b> .....	3
1.1 The status quo of climate change .....	3
1.2 The current situation of the world's carbon emissions and economic performance .....	5
1.3 Development of climate policy modeling .....	7
References .....	11
<b>Chapter Two Integrated Assessment of the Economics of Climate Change</b> .....	14
2.1 IAM Definitions .....	14
2.2 IAM Development .....	14
2.3 IAM Classification .....	15
2.4 IAM Deficiency and the development trend .....	19
References .....	20
<b>Chapter Three IAM Modeling Principle</b> .....	23
3.1 DICE / RICE Overview .....	23
3.2 Basic structure of DICE / RICE .....	24
3.3 Global carbon cycle model .....	27
3.4 Deficiencies .....	29
References .....	30

## Part 2 MRICES Model

<b>Chapter Four Multi-factor Model</b> .....	35
4.1 Multi-factor Model based on Learning-by-Doing .....	35
4.2 Multi-factor Model based on R&D investment of endogenous technological progress .....	40
4.3 Regional GDPspillovers .....	46
References .....	49
<b>Chapter Five Applications of MRICES Model</b> .....	50
5.1 Modeling of international climate finance .....	50
5.2 Simulation on financing for global emissions reduction .....	53

5.3	Analysis of international climate protection schemes .....	60
5.4	Summary .....	69
	References .....	70
<b>Chapter Six</b>	<b>Computation Issues in MRICES Model .....</b>	<b>72</b>
6.1	Variables of climate response module .....	72
6.2	Parameter instruction and estimation .....	74
	References .....	77

### Part 3 EMRICES Model

<b>Chapter Seven</b>	<b>Framework of EMRICES .....</b>	<b>81</b>
7.1	Demand on IAM from the development of climate change .....	81
7.2	CGE model and climate change assessment .....	81
7.3	EMRICES Model .....	83
	References .....	84
<b>Chapter Eight</b>	<b>Structure of EMRICES .....</b>	<b>85</b>
8.1	Structure of dynamic CGE .....	85
8.2	Integration of MRICES and dynamic CGE .....	89
8.3	Sea-level change .....	91
<b>Chapter Nine</b>	<b>Data, Parameters and Programs .....</b>	<b>94</b>
9.1	Economy data .....	94
9.2	Parameters of carbon cycle module .....	100
	References .....	102
<b>Chapter Ten</b>	<b>Simulation Results of EMRICES .....</b>	<b>103</b>
10.1	Comparison of BAU in EMRICES and MRICES-2012 .....	103
10.2	Simulation results considering China's industrial structure change .....	107
10.3	Assessment on China's industrial structural adjustment policies for emission reduction .....	119
	References .....	126

### Part 4 CIECIA Model

<b>Chapter Eleven</b>	<b>General Equilibrium of Global Economy .....</b>	<b>131</b>
11.1	Production behavior .....	131
11.2	Technological progress .....	133
11.3	Market-clearing and equilibrium conditions .....	135
11.4	Saving behavior .....	137
11.5	Investment modes .....	139
11.6	Data sources and parameter estimation .....	142
11.7	Summary .....	145

References .....	148
<b>Chapter Twelve Carbon Accounting and Climate Models</b> .....	150
12.1 Carbon emission accounting module .....	150
12.2 Climate feedback and emission reduction policy .....	151
12.3 Global carbon cycle system .....	152
12.4 Data source .....	154
12.5 Summary .....	159
References .....	160
<b>Chapter Thirteen Economic Growth and Carbon Emissions without Carbon Emission Constraint</b> .....	163
13.1 Parameter setting .....	163
13.2 Calibration .....	163
13.3 Simulation and analysis of the baseline scenario .....	168
13.4 Summary .....	206
References .....	207
<b>Chapter Fourteen Economic Growth and Carbon Emissions with Carbon Emission Constraint</b> .....	209
14.1 Three principles of global carbon emission control .....	209
14.2 Assessment of Carbon tax policies .....	212
14.3 Assessment of global climate protection cooperation programs .....	225
14.4 Analysis of global climate protection scheme with technological progress strategies .....	269
14.5 Summary .....	276
References .....	278
<b>Part 5 Sensitivities of the Model</b>	
<b>Chapter Fifteen Sensitivity Analysis</b> .....	283
15.1 Sensitivity issues in model .....	283
15.2 Parameter sensitivity .....	283
15.3 Sensitivity analysis of carbon tax .....	291
15.4 Summary .....	293
References .....	294

# 第一篇 绪 论



# 第 1 章 气候变化与气候变化政策模拟

## 1.1 气候变化的现状

气候变化的原因可能是自然的内部进程或是外部强迫，或者是人为地持续对大气组成成分和土地利用的改变。既有自然因素，也有人为因素。IPCC 第四次评估报告指出气候变暖的主要原因很可能是人类的活动(IPCC, 2007)。而在人为因素中，主要是工业革命以来人类活动特别是发达国家工业化过程的经济活动。化石燃料燃烧和毁林、土地利用变化等人类活动所排放温室气体导致大气温室气体浓度大幅增加，温室效应增强，从而引起全球气候变暖。

全球气候变暖，将会导致海平面大幅升高，不仅给许多小的岛国带来灭顶之灾，也将威胁其他国家的沿海地区，北极熊等众多动植物将因为失去赖以生存的环境而灭绝；全球气候变暖还将导致高温、热浪、台风、强降水事件发生频率的增加；偏暖的天气对农作物的影响十分明显。例如，气候变暖会使农业需水量加大，供水的地区差异也会加大，为适应生产条件的变化，农业成本和投资需求将大幅度增加；气候变暖对候鸟习性的影响日渐明显，偏暖的天气正在改变人们的冬季活动，暖冬使得各种病菌、病毒活跃，病虫害滋生蔓延。总而言之，全球变暖深度触及了农业和粮食、水资源、能源、生态和公共卫生安全，威胁到人类的生存和发展(邢继俊和赵刚，2007)。

在环境经济学中，有三个主要的特点使得气候变化的研究表现出独特性：首先，气候变化是全球性的；其次，它的影响是长期性的；最后，无论是对气候变化本身性质的理解还是对缓解气候变化所采取的政策的理解都仍然存在不足(Owen and Hanley, 2004)。

气候变化的全球性表现在，无论温室气体是从地球上何处排放的，它们都将迅速融入大气中并在全球蔓延。由此产生全球气候变化的后果很难有一个统一的定位，因为一些国家将遭受比其他国家更大的不利影响；并且，任何一个国家的单方面的行动都不能显著地改变这种状况。因此，我们需要国际层面的合作协调行动去解决气候变化问题。但是《京都议定书》似乎在参与度和服从率方面都没有取得很好的效果(Barrett and Stavins, 2003)。

气候变化影响的长期性表现在，空气中有很多的温室气体的存量，并且这些温室气体的浓度会因为持续不断的排放量而得到保持或者增加。这些温室气体存量的自然分解周期少则几十年，如易分解气体甲烷，长则几百年，如二氧化碳，甚至到几千年，如全氟化碳类的气体。因此，这些排放物所诱发的影响，如全球温度升高和海平面上升，将会存在很长一段时间。

对气候变化所产生的最终影响的认识尚未达到一个现实的精确度。其他的污染物虽然也存在这种情况，但气候变化影响的不确定性包括在全球范围内有更大的规模和广度。因此，天气模式、农业模式以及其他影响等的不同，使衡量气候变化损害成本的大

小存在不确定性(Pizer, 1999)。这使得政策选择很难决定,因为人类已经很难用直觉的经验做出判断,也使得决策者不得不祈求科学的回应,幸运的是我们时代已经有了计算机技术,而计算机技术的应用首先需要模型,所以建模和计算机平台开发就构成了政策模拟基础,政策模拟已经成为评价气候变化影响的主要方法。

气候变化的危害性、全球性和长期性使得气候变化成为一个不容忽视的亟待应对的问题,许多研究表明,气候变暖将会大大增加世界各国在争夺稀缺资源上的冲突(Raleigh and Urdal, 2007)。目前对气候变化问题的主要解决方向有适应气候变化和减缓气候变化两个方面。然而适应变化的有效性如果在严峻的气候变化情况下将会受到限制(Howden et al., 2007);并且,目前对大气温室气体的浓度变化以及海洋对温室气体的吸收能力的衡量还存在很多不足(Stott, Kettleborough, 2002),因此最理想化的状态是先立即采取减缓气候变化的行动。应对气候变化需要国际层面的协调合作和行动。一个有效的气候保护方案能够帮助我们很好地衡量气候保护行动在气候和经济方面带来的正面效应,促使各个国家和地区在气候保护上达成共识而采取行动,从而更好地促进社会的进步和经济的发展。目前,国际上已经成立了专门的组织来应对气候变化,其中联合国气候保护公约、《京都议定书》以及《哥本哈根协议》都是国际气候保护组织在应对气候变化上所做努力得到的成果。

虽然国际上为应对气候变化做了大量的努力,但对于目前制订的减排方案而言,发达国家和发展中国家均持有自己的立场,因为各国发展水平不同,减排对各国的影响不同,会影响国家间综合国力的竞争(胡宗山, 2010),因而彼此很难达成共识。把温室气体减排作为核心问题的气候变化谈判现下已经成为国际环境外交斗争的热点问题,并演变为不同于传统安全观的政治话题。《京都议定书》虽然没有为发展中国家规定具体的减排目标,未对发展中国家带来切实压力,但对未来的影响巨大(庄贵阳, 2005)。另外,对于在《京都议定书》到期后在应对气候变化上的后续努力,虽然《哥本哈根协议》做了很好的描述和规划,但仍然存在三个不可忽略的问题:其一,美国没有承诺《京都议定书》上关于它为气候保护所设定的目标。其二,如果发展中国家不愿承担减排义务,即使不是在当下立即承担相应的义务而是在允许一定的发展时期后承担相应的减排义务,而只由发达国家单方面做出努力而想要达到缓解气候变化的努力将会是徒劳的。其三,快速发展的发展中国家也没有承诺完成相应的减排目标,原因在于出于发展中国家自身基本国情的考虑,发展中国家的首要任务是解除贫困和发展经济,而相对而言历史排放量大的发达国家则应该承担更多的减排义务。三个问题悬而未决,从而在气候保护的 efforts 上形成了这样一个死锁的状态,使得前期各种努力探讨得到的减排协议不能实现最大效用,气候保护方案未能得以全面实行。

目前,仍有许多学者继续在制订合理的气候保护方案上探讨,以期提出更为合理的气候减排方案,从而得到大家的认可并予以执行。气候保护的谈判仍在继续,但我们需要一个更为可靠和合理的方案来支撑谈判。我们需要通过科学计算和建模,开发一个气候保护政策模拟系统,并在此基础上以情景模拟的方式分析比较,提出一个新的全球减排方案。



## 1.2 当前世界的碳排放形势及其经济表现

自 IPCC 第四次评估报告(Assessment Report4, AR4)发布以来,从人均碳排放量来看,全世界的总碳排放量继续上升,其中 UNFCCC 附件 1 中的发达国家碳排放量接近于发展中国家的 4 倍,但是尽管发展中国家的总碳排放量已经超过了附件 1 中的发达国家(IPCC-AR5, 2013),全球碳排放仍然极不均衡,全世界碳排放量最大的 10 个国家(包括发达国家和发展中国家,其中欧盟 27 国看作一个国家)的碳排放量达到了世界碳排放量的 70%(IPCC-AR5, 2013)。

图 1.1 显示了 EIA 给出的 2000~2011 年全世界与各国的碳排放量统计数据。从中可以看到,全世界在这一时期,除 2008~2009 年金融危机外,其余年份都呈现碳排放量增长的趋势。其中,中国的增长速度最快,从 2000 年的 3272 Mt CO<sub>2</sub> 上升到 2011 年的 8715 Mt CO<sub>2</sub>, 翻了一倍多;印度也从 2000 年的 991Mt CO<sub>2</sub> 上升到 2011 年的 1726Mt CO<sub>2</sub>, 翻了将近一倍,而美国、欧盟和日本的碳排放量由于已是发达国家较为稳定,到 2005 年后均处于小幅下降的趋势。

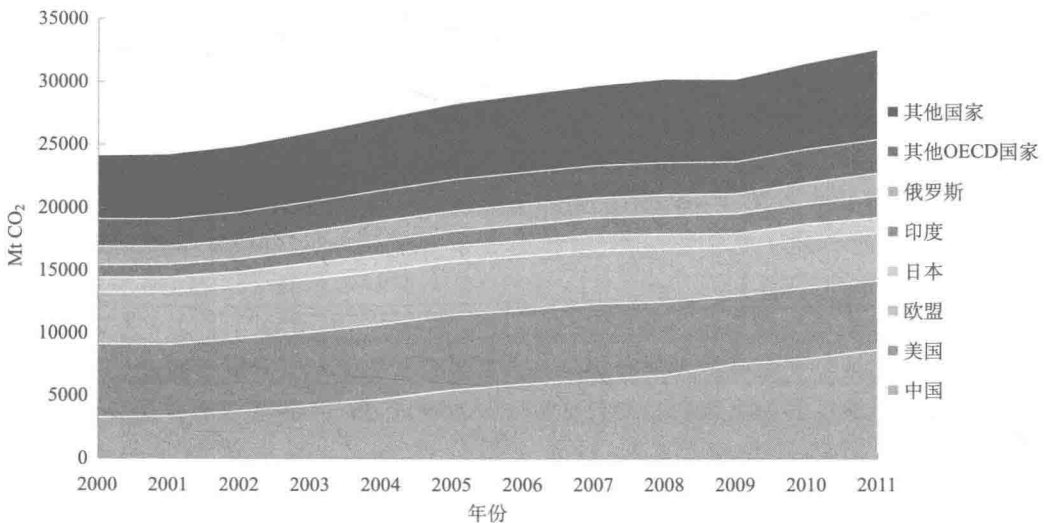


图 1.1 2000~2011 年全世界与各国碳排放量(资料来源: EIA)(见文后彩图)

而从 2005 年和 2010 年各国的碳排放量占比来看,占比上升幅度最大的国家为中国,其次是印度。2010 年发展中国家(中国、印度和其他国家)碳排放量的占比较 2005 年上升了 7 个百分点(图 1.2)。这表明以中国、印度为代表的新兴经济体的碳排放量正在快速上升,成为世界主要碳排放国。但是由于发展中国家较高的人口基数,因此折算到人均碳排放量,发达国家仍然远远高于发展中国家,减排面临伦理学难题。

从 2000~2011 年各国碳排放来看,各国家/地区间每单位 GDP 碳排放量的差距较大(图 1.3)。其中,发达国家的碳排放强度普遍较小,到 2011 年均低于 0.5 t CO<sub>2</sub>/千美元,而俄罗斯、中国和印度的碳排放强度要远高于发达国家,其中中国到 2011 年的