



中国碳排放 控制策略研究

王 铮 朱永彬 王丽娟 刘 晓 著



科学出版社

013028380

X511
37

中国碳排放控制策略研究

王 铮 朱永彬 王丽娟 刘 晓 著

国家重大基础研究计划 (973) “气候变化的经济过程复杂性研究项目”
中国科学院碳收支专项课题 “全球与中国气候变化情景分析与控制” 联合资助



科学出版社

北 京



北航

C1635110

X511
37

内 容 简 介

本书是一本气候变化经济学的理论和应用著作。它从应对气候变化角度对中国的碳排放控制策略进行了系统的研究,在思想层面上强调碳排放控制的出发点,包括碳排放需求以防范经济危机。在国家层面上的减排控制问题,采用将经济平稳增长理论和最优控制思想相结合的方法,对中国无排放约束、排放强度约束和排放配额约束下的最优减排路径与经济平稳增长路径进行了模拟研究。在部门层面上的减排控制问题,应用可计算一般均衡模型方法研究了碳税和碳关税的减排效果、对经济系统,尤其是部门层面的经济影响进行了分析,同时借助于动态可计算一般均衡模型对各部门未来能源需求以及部门减排的成本效益进行了研究。在区域尺度上研究了我国各省区未来的能源和碳排放需求、不同配额分配原则下获得的排放配额、碳排放缺口以及配额约束下的最优减排路径。

本书可供国家和各地区决策者及政策模拟和气候变化政策领域的研究人员参考。也可供经济学、管理学、地理学等学科高年级本科生和研究生参考或作为基础教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国碳排放控制策略研究/王铮等著. —北京:科学出版社, 2013. 3
ISBN 978-7-03-037108-9

I. ①中… II. ①王… III. ①二氧化碳-排气-控制-研究-中国 IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 049007 号

责任编辑:杨帅英 朱海燕 / 责任校对:张富志

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:高海英

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>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013年3月第一次印刷 印张:11 3/4

字数:270 000

定价:59.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《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成效与社会效益，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研究计划（973）项目：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（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，我们将围绕国际的气候变化应对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，展开气候保护的策略与比较研究，展开气候变化与适应的全球性经济地理演变研究，展开中国应对气候变化的政策需求与管治模式研究。项目将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，所以本系列丛书将连续发布，并且注重基础科学问题与中国实际问题的结合，作为丛书主编，我希望丛书对气候变化经济学的基础理论和研究方法有明显科学贡献，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。

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



2013 年 1 月

前言

尽管全球碳减排方案还在谈判之中，但是未雨绸缪，研究中国碳减排的路径问题是保障决策科学化的重要内容。本书就是适应气候变化的一项科学努力。它试图对碳减排模式、可行性政策分析路线和软件工具给出一个完整探索。

中国碳减排路径研究的第一个难点是必须保障碳减排政策实施后，经济运行锁定在平稳增长轨道上；经历了 2008~2009 年经济危机的世界，不能允许碳减排刺激经济危机。因此未来的碳减排路线不是任意的，必须选择减排下的经济过程运行是平稳增长，而且尽可能是最优的，这就意味着不能用某些流行的一些方法及其软件，任意假设一个技术进步率等来设定减排路线。这个要求，意味着需要一个理论创新。

第二个问题相对明朗，即中国碳减排政策的提出与其减排效果和经济影响的评价。中国碳减排的第三个核心问题是如何控制各区域未来的减排路线，文章选取了确定一个最优减排率的方法，这就要求我们进一步发展经典理论。幸运的是管理科学理论的发展已经足以支持人们引入相应的方法来完成这一工作。因此本书完成了一套可行性减排与控制方案。诚然，这样方案将来还可以改进，但是理论研究与技术路线毕竟在此取得了一定进展，这是可以令作者感到兴奋的原因。

“工欲善其事，必先利其器”，关于减排分析，国际上已经出现了很多流行软件。然而本书的理论是创新的，为了保障国家未来决策的及时性和充分性，本项研究开发了相应的软件系统，这不仅是作者作为计算地理学者、区域管理学者需要开展的工作，更是一种国家需求。软件开发，工作量大，可用于撰写文章的内容不多，这一直是计算科学专业研究生甚至是教授们的一种纠结。然而本书坚持了这种必要的工作。这里九位年轻作者完成了这样的系统开发，作为理论的检验，是令人可喜的。

本书共分为三篇十章，第 1 章介绍了气候变化经济学的由来及其所面临和拟解决的一系列问题，以及政策模拟工具平台在气候变化经济问题中的应用。第一篇是对碳减排过程中的控制问题进行研究，模拟社会福利最大化下的最优减排路径和经济增长路径，该篇分为 3 章：第 2 章预测了自由排放情景的经济增长趋势和碳排放趋势；第 3 章和第 4 章分别描述了排放强度目标和排放配额目标下的最优控制模型构建、参数估计与模拟结果。第二篇针对中国的产业减排政策展开分析，利用可计算一般均衡（CGE）技术模拟了减排政策对各产业部门的经济影响，该篇同样分为 3 章：第 5 章在 CGE 基础模型上引入碳税和碳关税模块，分析了征收碳税和碳关税对宏观经济以及各经济部门的影响；第 6 章从成本收益角度分析了减排目标下成本最优的减排方式，并且分别衡量了国家层面和部门层面的减排成本与收益；第 7 章是基于动态 CGE 模型对各部门和社会总能源需求的模拟预测分析。第三篇从区域角度对我国各省区的碳排放需求、配额分配和减排控制进行研究：第 8 章将前述自由排放情景最优增长模型用于各省区碳排放的预测，得到了各省市自治区未来的能源消费碳排放、水泥碳排放、碳汇量等，汇总为区域

净排放需求；第 9 章计算了各省市自治区基于不同原则下得到的排放配额，并结合第 8 章的排放需求分析了各省区的排放缺口和对不同原则的偏好；第 10 章进一步研究了各省区在所获得的配额约束下需要采取的减排控制路径及相应的经济增长和碳排放路径。本书由此构成了一个对中国碳排放策略的总体研究。

本书基本内容来自朱永彬、王丽娟和刘晓的毕业论文，容易看出，本身是一个系列研究的结果，朱永彬、王丽娟、刘晓是主要创新者，我作为导师，指导他们探讨，并首先提出问题与他们共同确定了研究构架，对相关模型作了一些关键探索。课题组的其他同志，也参与了研讨，本书涉及的模型，主体都是我们自己创立的。本书的第 2~5 章由朱永彬执笔，第 6~7 章由王丽娟执笔，第 8~10 章由刘晓执笔。一个系统的研究，需要一个科学的团队，王铮作为责任人，对每一章均作了修改。

本书的三个年轻作者不是按贡献排列的，而是按研究问题的逻辑顺序排列的，朱永彬最后协助我编辑了文字。是为序。

王铮

2013 年 1 月

目 录

《气候变化经济过程的复杂性》丛书序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 碳排放控制的经济学问题	1
1.2 碳排放控制策略研究的政策模拟问题	2
1.3 碳排放控制策略定量研究的一些误区	3

第一篇 中国碳减排的宏观经济控制策略研究

第 2 章 自由排放情景下中国最优经济增长路径及碳排放趋势	7
2.1 模型	7
2.1.1 Moon-Sonn 原始模型	7
2.1.2 模型改进	8
2.1.3 模型求解	9
2.2 数据来源及参数估计	11
2.2.1 生产函数参数	11
2.2.2 总人口及劳动力	11
2.2.3 效用函数参数	12
2.2.4 折旧与能源进口综合成本	12
2.3 模拟结果	12
2.3.1 能源强度预测	13
2.3.2 经济增长路径	14
2.3.3 碳排放趋势	15
2.4 敏感性分析	18
2.4.1 能源进口综合成本	18
2.4.2 能源强度下降速率	19
2.4.3 可再生能源替代政策	20
2.5 小结	21
第 3 章 排放强度控制下中国最优经济增长路径及碳排放趋势	22
3.1 模型	22
3.1.1 模型构建	22
3.1.2 模型求解	25
3.2 数据来源及参数估计	25
3.2.1 能源强度动态方程参数	25
3.2.2 能源知识资本积累方程参数	27

3.3	模拟结果	27
3.3.1	经济增长路径	29
3.3.2	研发投入路径	31
3.3.3	排放强度降低路径	32
3.3.4	能源消费及碳排放路径	33
3.4	敏感性分析	35
3.4.1	对经济增长路径与社会福利效用的影响	36
3.4.2	对研发投入路径的影响	37
3.4.3	对排放强度路径的影响	37
3.4.4	对碳排放路径的影响	38
3.5	小结	38
第4章	排放总量控制下中国最优经济增长路径及碳排放趋势	40
4.1	模型	41
4.1.1	生产模块	41
4.1.2	能源模块	41
4.1.3	技术进步模块	42
4.1.4	排放模块	42
4.1.5	预算约束及效用函数	42
4.2	数据来源及参数估计	43
4.2.1	生产函数参数	44
4.2.2	能源服务参数	44
4.3	模拟分析	44
4.3.1	经济增长路径	46
4.3.2	研发投入路径	47
4.3.3	知识资本积累路径	47
4.3.4	能源消费路径	48
4.3.5	碳排放及累积排放路径	49
4.3.6	能源强度与排放强度路径	50
4.4	敏感性分析	51
4.4.1	对最优研发路径的影响	52
4.4.2	对经济增长路径的影响	53
4.4.3	对能源消费路径的影响	53
4.4.4	对排放路径的影响	54
4.4.5	对排放强度路径的影响	55
4.5	不同控制目标下的最优路径	55
4.5.1	最优研发路径	56
4.5.2	最优经济平稳增长路径	57
4.5.3	能源消费路径	58
4.5.4	碳排放路径	58
4.5.5	排放强度路径	59

4.6 小结	60
--------	----

第二篇 中国产业碳减排策略研究

第5章 碳税、碳关税政策模拟	65
5.1 碳税、碳关税引论	65
5.1.1 碳税研究现状	65
5.1.2 碳关税由来	66
5.2 CGE 模型	67
5.2.1 基础模型	67
5.2.2 碳税模块	73
5.2.3 碳关税模块	74
5.3 数据及情景设置	75
5.3.1 碳税率确定	75
5.3.2 碳关税税率确定	76
5.4 模拟结果分析	77
5.4.1 碳税影响	77
5.4.2 碳关税影响	84
5.5 小结	87
第6章 基于最优化模型的中国减排成本效益分析	89
6.1 减排方案设计	89
6.2 最优化模型	90
6.2.1 模型构建	91
6.2.2 模型求解	92
6.3 成本效益分析模型	92
6.4 减排成本与效果分析	93
6.4.1 国家层面中减排成本与效益分析	93
6.4.2 部门层面中减排成本与效益分析	96
6.5 小结	101
第7章 基于动态 CGE 的中国能源使用量预测	102
7.1 动态 CGE 模型的发展	102
7.1.1 递推动态模型介绍	102
7.1.2 模型的改进	104
7.2 基于动态 CGE 的中国能源调控模拟分析	104
7.3 小结	110

第三篇 中国省区碳减排策略研究

第8章 各省份碳排放需求量预测	113
8.1 模型	113
8.1.1 能源消费碳排放核算模型	114
8.1.2 水泥生产过程碳排放核算模型	114

8.1.3 碳汇核算模型	115
8.2 数据来源及参数估计	115
8.2.1 数据来源	115
8.2.2 参数估计	116
8.3 能源消费碳排放	116
8.3.1 能源强度	116
8.3.2 经济增长	118
8.3.3 能源消费量	121
8.3.4 能源消费碳排放	122
8.4 水泥碳排放及碳汇	127
8.4.1 水泥生产碳排放	127
8.4.2 碳汇量	129
8.4.3 净碳排放量	129
8.5 排放强度目标可行性分析	131
8.6 小结	133
第 9 章 中国各省份碳排放配额分配	135
9.1 碳配额分配原则	135
9.1.1 碳配额分配原则综述	135
9.1.2 中国省份碳配额分配原则	137
9.2 配额分配模型及数据来源	139
9.2.1 配额分配模型	139
9.2.2 数据来源	139
9.3 中国各省份碳配额分配结果分析	140
9.3.1 基于历史现状的各省份配额量	140
9.3.2 基于未来需求的省份配额量	143
9.4 省份减排压力评价	145
9.4.1 各省份碳排放需求	145
9.4.2 各省份碳排放供需缺口	146
9.5 小结	151
第 10 章 各省份配额目标约束下的减排控制	152
10.1 减排控制模型	152
10.2 减排控制率及减排下降速率	154
10.3 减排控制下的经济增长路径	156
10.4 减排控制下的能源消费路径	160
10.5 减排控制下的碳排放路径	164
10.6 小结	169
参考文献	170
附录 马尔可夫预测模型及产业结构、能源结构预测结果	174

第1章 绪 论

1.1 碳排放控制的经济学问题

早在19世纪末, Arrhenius (1896) 推测, 大气中 CO_2 浓度的改变将通过温室效应改变地球表面的温度。他同时指出, 由于化石燃料及其他燃烧过程等人类活动产生的 CO_2 排放将会导致全球变暖。20 世纪下半叶以来, 越来越多的证据表明, 当前的全球变暖是由人类排放越来越多的碳引起的。控制向大气排放 CO_2 和其他温室气体, 成为人类可持续发展的重要任务。1988 年, 联合国环境规划署 (UNEP) 与世界气象组织 (WMO) 联合成立了政府间气候变化专门委员会 (IPCC), 旨在通过学术界关于气候变化的研究推进全球对气候问题的认识, 对气候变化给予科学的对策的关键是控制人类的碳排放和适应全球变化。其中控制人类碳排放成为最重要的策略。

我国是一个负责任的大国, 2008 年我国在联合国气候变化大会上郑重承诺, 减少碳排放。有了这个承诺, 我国就需要建立碳减排策略。制定该策略, 我国有 3 个经济学挑战, 第一, 我国刚刚进入工业化, 大量减少碳排放可能给我国经济发展带来严重困难, 经济增长是必要的。第二, 什么样的经济政策措施有助于我国减少碳排放而不导致经济衰退, 特别是不陷入经济危机。第三, 我国国土辽阔, 国内存在明显的经济水平差异, 我们不能通过中国的碳排放导致区域差距进一步变大。这些问题就给出了中国碳排放问题的复杂特性。

碳排放的这些经济问题, 不仅是我国面临的问题, 也是世界面临的问题。世界大量减少碳排放, 必然对当前的经济发展提出挑战, 无论是发达国家还是发展中国家。一个没有工业经济的世界是不可想象的, 一个工业规模不够的大国也是不可想象的。如何在增长目标下减排是一个科学的问题。这个问题的核心是一个社会规划者的控制问题。世界面临的另外一个问题是它刚刚经历了经济危机。这次危机提醒我们, 碳减排不能成为经济危机的刺激者。我们必须在刺激经济危机的条件下保护气候, 这就是一个运筹问题。这个问题在行动方面显得更棘手, 也不是一次性研究就可以解决的。本书尝试用运筹学方法探讨了这种解决途径, 显然探讨的还不够, 还很初步。探索还在继续。碳减排的第三个问题, 也是本书研究的第三个问题——减排的区域公平的问题, 这个问题需要从伦理学角度认识。这涉及什么叫公平? 公平应该在什么伦理基础上实现。进一步的才是如何保障公平。本书探讨的是如何实现的问题。对于伦理学问题的研究, 我们正在努力而且我相信会有越来越多的学者着手解决这个问题。

碳减排还有许多其他经济问题, 这其中包括技术经济问题、金融问题、国际贸易问题、税收问题。技术经济问题的研究, 在我国有大量成果, 但是金融问题的研究, 我国尚未展开。国际贸易问题, 已经引起了我国学者的注意。然而遗憾的是, 我国在技术经济问题上, 由于缺乏可靠的充分的统计数据和技术试验参数, 我国的研究停滞不前。金

融问题，由于金融数据的保密性、金融机制的复杂性，世界范围内的研究进展不明显，而我国一些人对碳金融的不理解，使得我国目前还缺少真正的进展。国际贸易问题，目前国内研究得到不少成果，这主要是可计算一般均衡（CGE）技术的应用。税收问题，在我国也得到 CGE 的支持而进展神速。本书的第二篇反映了我们研究内容，希望能够成为一种政府决策的参考。

1.2 碳排放控制策略研究的政策模拟问题

碳排放控制策略问题研究，是气候变化经济学的主要研究领域。气候变化经济学是最近几年兴起的学科，由于问题的重要性，它得以快速发展。我们在此不去探讨这个学科的结构问题，而是结合本书的研究讨论碳排放控制经济问题研究的政策问题。众所周知，政策模拟，涉及建模、算法与计算平台开发问题。

在本书中我们可以看到，建立在动力学方程上的最优控制论成为一个碳排放控制经济问题研究的主要方法。这个方法论的基础是把减排问题转化为社会规划者问题，寻求在最优化目标下的减排途径。这种控制问题方法学，意味着把系统控制在沿着动力学方程约束的轨道上，然而到目前为止，我没有看到相关模型包含了经济增长在平稳路线上的动力学方程组。如果这个问题不解决，本书提出的第一个问题——保障增长和第二个问题——保障平稳就不能同时在计算上解决。另外，我们看到涉及具体的减排过程，需要从产业结构角度考虑。如何把产业结构演化刻画出来，并结合到控制论的动力学方程组，是一类新的建模问题。

在本书的第二篇，我们涉及的方法论主要是运筹学方法。碳排放问题的复杂在于这个问题是动态的，而且涉及产业结构动态演化和技术进步。产业结构演化和技术进步的动态方程建立，是一个基本需求。由于这种演化的复杂性，目前我尚未见到成熟的模型。进一步地，动态的优化运筹问题，还需要人们更多的投入。近年在计算管理学领域，一些学者探讨了管理学意义上的动态运筹方法，不过考虑的内容还相对简单、模型简化。这方面的工作可能成为热点。

在区域平衡问题方面，提出了新的模型需求。区域之间经济相互作用，可能牵一发而动全身。在国际经济一体化下，这种区际的、国际的联系不可忽视。在本书中，对区域问题我们采用了两种方法：第一种是忽视区域间联系，把区域系统隔离起来，个别研究，然后合成结果。这显然有违事物本质。第二种是采用全球或全国统一的多区域 CGE 方法。这个方法可能涉及投入产出系数如何演变的问题。在计算局部事件时，我们可以把这些参数看做是不变的，但是在计算气候变化这种长期问题时，不变的 CGE 系统显然不合适。因此这种区域尺度的碳排放政策模拟模型将是未来建模研究的难点。

在碳排放问题研究中，目前大量的研究采用了统计方法。统计方法方便易学，受到欢迎是必然的。然而统计方法往往说不清机理，它涉及的统计假设对于气候变化中的长期演变问题，也可能不成立。例如，很难判断这些过程不是变分布过程。因此气候变化经济学的统计方法还需要结合变分布随机过程的研究，加以发展。在本书中，我们尽可能地回避了统计方法。

1.3 碳排放控制策略定量研究的一些误区

碳排放控制策略研究兴起以来,大量学者对此展开研究,而且都追求定量研究,这是一个正确的方向。然而,当前的定量研究存在一些误区需要克服。

第一个误区是用统计模型代替动力学模型。统计模型是对历史统计规律的总结,而碳排放控制是一个新的经济现象和地学现象。过去的的数据无法完整反映这一特征。依靠统计模型很可能导致局部经验规律抹杀事物发展的本来真相,这种误差严重起来也就带来了碳排放控制策略制订的错误。例如,人们对油价的预测,统计规律可能因为人们减排努力带来的技术革命完全改变。因此,统计模型预测的趋势很可能是不准确的。遗憾的是,国内外杂志上充斥了这类模型。对这些结果我们只能谨慎地运用。

第二个误区来自我们的技术处理。在政策分析中,研究者普遍采用了CGE模型,即可计算一般均衡模型。该模型要求保障经济过程是均衡的,由此带来了大量的计算过程。有些研究者做不到相应方程的均衡,就用最优化方法使误差达到最小,这违背了一般均衡原理。在有限时段内,这种方法是可行的,但长期外推可能导致经济系统远远偏离平衡态,这样得到的政策原则上会导致经济危机。

第三个误区是最近一两年出现的。在国际上,Nordhaus与其他学者发生了激烈争论。在一般的气候集成评估模型中,某些学派采用把部门划分得非常详细的做法,这种做法看似科学的进步,实际上是对科学的不负责任。每一个从事经济研究工作的学者都可能知道,要获取具体经济部门的参数是十分困难的,甚至是不可能的。由于经济过程的不确定性,这种参数也存在不确定性,将这些数据作为一个庞杂的经济系统的参数会带来大量的误差。特别是在大规模经济计算中,包含有很多非线性环节,这些非线性在某些情况下带来了计算的不稳定性。参数值差之毫厘,结果谬以千里,反而不如宏观经济模型可靠。这是人类长期经济研究的经验。我们不反对在模型细化方面和参数细化方面努力,但是我们要知道,计算问题的复杂性要求我们在计算模式方面“两条腿走路”:既需要技术经济层次的细化模型,也需要宏观经济层面的、能够表达非线性机制的和能够抗拒偶然性干扰的稳健模型。

在本书中,我们对上述计算误区问题尽可能做了克服。第一篇和第三篇基本上是宏观模型,这样的选择是为了保持总体策略方向性正确,以指导我国的减排路线。第二篇我们在产业层次而非企业层次进行了探讨,目的在于落实具体的可操作政策,同时尽可能避免技术经济模型带来的危害。希望广大读者注意这方面问题。总之,本书研究的碳排放控制策略在政策学上是探索性的,书中的结论可以争论;在方法学上也是探索性的,我们希望与更多的学者就碳排放控制问题的方法学进行探索。

最后,我要强调指出的是,碳排放控制策略研究最大的误区在于许多人仅仅用技术进步可能性预测未来碳排放趋势。其实碳排放趋势最大决定因素是经济增长需求。经济增长决定了碳排放的需要,人类在追求经济增长的行动中,最大的约束是保持经济增长

平稳，即不刺激经济危机，如果偏离经济增长的平稳性，人类实际上会自觉不自觉地调整自己的各种行为，包括碳排放行为，因此碳排放趋势动态预测，必须控制这一动态导致的经济增长围绕平稳增长轨道，实际上，如果发生了经济危机，人类一般不会致力于碳排放控制的。数据表明，2008~2010年的全球经济危机发生后，美国、中国的能源强度都有所上升。因此，我们在制定各种碳排放控制策略，必须考虑平稳增长的约束，我们对碳排放控制策略的研究，强调平稳增长是最高控制原则。包括 IPCC 的一些报告，仅仅从技术可能性考虑减排可能性，是不科学的。

第一篇 中国碳减排的宏观经济 控制策略研究

朱永彬 王 铮

第2章 自由排放情景下中国最优经济增长 路径及碳排放趋势

中国近几年的经济增长速度举世瞩目，2010年的经济总量超过日本成功晋级第二大经济体。在全球金融危机期间，中国经济仍然保持平稳较快增长势头，为拉动全球经济增长作出了重要贡献。相应地，2010年中国人均国民收入超过4000美元，首次被世界银行列入中高收入国家行列。尽管如此，中国仍然属于发展中国家，人均国民收入与发达国家相比还有相当大的差距，因此，发展经济和消除贫困仍然是首要任务。

与此同时，中国经济结构中高能耗产业比例较高、能源利用效率低下以及能源结构以煤为主等诸多因素都导致其碳排放量与经济发展水平严重不符。2007年，中国碳排放首次超过美国，成为世界第一排放大国。这不仅加剧了我国的能源安全和环境问题，而且也使我国在国际气候谈判中面临巨大的压力。明确我国未来的碳排放需求，对提出合理可行的减排目标、争取更多的发展空间和经济利益具有重要意义。因此，本章首先对自由排放情景下的经济增长和碳排放趋势进行研究。

2.1 模 型

20世纪70年代的石油危机使人们开始认识到能源在经济发展中不可或缺的重要地位以及能源供给不足给经济增长带来的制约作用。鉴于此，Rashe和Tatom（1977）首次将能源引入生产函数，揭示了能源投入在经济产出中的作用；Moon和Sonn（1996）在开放经济下，将资本与能源的投入内生化的，构建了一个跨期的内生经济增长模型，并借此来研究引入能源投入的最优投资行为和能源价格变化对最优经济增长率及储蓄率的影响。在此模型基础上，我们来研究中国未来的最优经济平稳增长路径和能源消费及碳排放路径，模型将进一步考虑劳动力、技术进步等的影响，以期对中国未来的碳排放趋势进行较为精准的预测。

2.1.1 Moon-Sonn 原始模型

沿袭最优经济增长理论假设，Moon-Sonn模型将一国经济体看做一个整体，社会仅生产一种产品，该产品既可用于消费，又可用于投资。为了研究能源与经济产出之间的关系，相应地将能源也视为一种必要的生产要素，与资本投入一起显式引入生产函数，生产函数采用Cobb-Douglas形式：

$$Y(t) = AK(t)^{\alpha}E(t)^{1-\alpha}, \quad 0 < \alpha < 1 \quad (2.1)$$

式中， Y 为经济总产出； E 为能源投入； K 为资本投入（包括物质资本和人力资本）； A 为全要素生产率； t 表示时间； α 为资本的产出弹性。定义能源强度 τ 为生产一单位