

中国  
区域  
碳排放  
的系统  
分析

董  
锋  
著



科学出版社

# 中国区域碳排放的系统分析

董 锋 著

国家自然科学基金项目（编号：71573254，41101569）

2014年度江苏省“青蓝工程”中青年学术带头人人才项目

资助出版

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

我国在哥本哈根和巴黎联合国气候大会上提出2020年和2030年碳强度相较2005年分别下降40%~45%和60%~65%的减排目标,同时我国在2014年11月的亚太经合组织(APEC)峰会上发表《中美气候变化联合声明》首次承诺2030年左右CO<sub>2</sub>排放达到峰值。本书基于我国所确定的减排目标,从碳排放强度和碳排放绩效两条线索对我国区域碳排放进行系统分析,碳排放绩效这条线索主要运用三阶段DEA方法和随机前沿模型方法构建区域碳排放绩效指数并对我国各省份碳排放绩效进行测评,碳强度这条线索主要运用分解方法和计量经济学方法对我国各区域碳强度进行分析。

本书对于从事低碳经济研究和绩效测评的相关工作人员和高校科研人员具有一定的借鉴价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国区域碳排放的系统分析 / 董锋著. —北京: 科学出版社, 2016.9

ISBN 978-7-03-049977-6

I. ①中… II. ①董… III. ①二氧化碳-排污交易-系统分析-研究-中国 IV. ①X511

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第225128号

责任编辑: 魏如萍 王景坤 / 责任校对: 张凤琴

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 无极书装

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

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016年9月第一版 开本: 720×1000 B5

2016年9月第一次印刷 印张: 8 3/4

字数: 164 000

定价: 48.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 序

从 2009 年哥本哈根第 15 次联合国气候大会到去年的巴黎第 21 次联合国气候大会，我国政府的承诺从 2020 年碳排放强度相较 2005 年下降 40%~45% 升格为 2030 年碳排放总量达峰值、碳强度相较 2005 年下降 60%~65%。中国承诺 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日实现，这是我国首次就碳排放总量提出减排时间表，是对 2009 年哥本哈根联合国气候大会我国所承诺的 40%~45% 碳强度减排目标的进一步升级，表现出我国对国际责任的一种勇于担当的精神，标志着我国将在 2030 年从碳强度减排发展到碳总量减排的新阶段。

董锋同志的这部专著是在其主持完成的国家自然科学基金项目基础上经过整理和系统思考完成的，该书着重从区域碳排放绩效的测度、碳排放强度的影响因素以及减排目标和实现路径、对策建议等方面进行研究。碳排放绩效主要运用三阶段 DEA 和随机前沿方法，碳强度影响因素主要运用空间计量经济学、面板协整和投入产出结构分解方法。其研究思想和方法具有一定的前沿性，很多研究内容已经发表在国内外知名期刊上，有些还被 SCI 和 SSCI 检索。相信该书的出版能为实现我国 2030 年碳总量和碳强度双控目标提供一些有益的帮助，可能个人的作用很微小，但这正是社会科学工作者的责任和担当。

气候变化谈判与治理已经上升为一种国家战略，也是目前研究的热点和难点，希望有更多的青年人投入到相关研究当中，涌现更多的

高水平成果和真知灼见，为我国的温室气体减排献计献策。国家的希望在青年，这也是国家对青年科技工作者的期望。

南京财经大学副校长

乔均

2016年7月

## 前 言

在《联合国气候变化框架公约》第 15 次缔约方大会暨《京都议定书》第 5 次缔约方大会上，中国政府庄严承诺 2020 年碳排放强度相较 2005 年下降 40%~45%。2014 年 11 月的 APEC 峰会上，中国和美国签署《中美气候变化联合声明》，我国承诺碳排放将在 2030 年左右达到峰值，这是我国首次就碳排放总量减排作出国际承诺。当前发展低碳经济、节能减排已成为我国履行国际承诺、实践科学发展观、实现可持续发展的必然选择。

区域减排政策的制定建立在对当前碳排放状况的正确评估基础之上，本书从区域碳排放绩效、碳排放强度两条线索展开相关研究，主要研究成果如下：①以我国 29 个省份、三大经济区域为研究对象，根据测算出的 2010 年 29 个省份碳排放总量、人均碳排放量、碳排放强度，运用 Theil 系数、变异系数、基尼系数、聚类分析等方法综合分析我国碳排放区域差异性；②在 DEA 模型（非参数方法）和随机前沿模型（参数方法）基础上加以改进，分别构建三阶段 DEA 碳排放绩效测算模型、随机前沿碳排放绩效测算模型，并用这两个模型测算我国各省份碳排放绩效，测评结果就区域来看，始终是东部最高、中部其次、西部最低；③运用投入产出结构分解方法对 1991~2011 年的我国碳排放强度进行因素分解并对比分析，运用空间计量经济学和动态面板协整的方法建立我国区域碳排放强度影响因素模型，研究碳排放强度与城镇化、能源结构等变量之间的动态关系与衍化趋势；④应用 LMDI 分解模型将终端能源利用碳排放增量变化分解为经济规模、产业

结构等四个效应，根据分解结果运用协整方法建立碳排放量与经济发展等四个变量的长期均衡协整关系模型，基于协整方程采用蒙特卡罗动态模拟方法模拟了我国 2020 年碳排放情况，并与哥本哈根年会所承诺的减排目标进行了比较；⑤在实证分析的基础上，从提高能源效率、优化能源消费结构、调整产业结构、推进城镇化建设等方面提出本书的减排政策建议。

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 问题的提出	1
1.2 国内外研究现状	2
1.3 本书章节和结构体系安排	15
第 2 章 我国碳排放现状及区域差异性分析	19
2.1 碳排放区域差异性相关研究	19
2.2 我国碳排放现状	21
2.3 碳排放区域差异性分析	24
2.4 本章小结	30
第 3 章 区域二氧化碳排放绩效测评	32
3.1 碳排放绩效相关研究	32
3.2 基于三阶段 DEA 模型的我国区域碳排放绩效测评	35
3.3 基于随机前沿模型的我国区域碳排放绩效测评	47
3.4 本章小结	53
第 4 章 碳排放强度的 I-O SDA 分解	55
4.1 碳强度的相关研究	55
4.2 研究方法	57
4.3 数据来源与预处理	62
4.4 分解结果	62
4.5 本章小结	70



第5章 碳排放强度的计量经济分析	71
5.1 碳强度影响因素的静态空间计量经济学分析	72
5.2 碳强度影响因素的动态面板协整分析	79
5.3 本章小结	89
第6章 我国碳排放分解与动态模拟	90
6.1 数据来源	90
6.2 我国终端能源利用碳排放情况	91
6.3 我国终端碳排放的LMDI因素分解	92
6.4 协整检验	97
6.5 碳排放蒙特卡罗动态模拟	99
6.6 本章小结	102
第7章 实现我国减排目标的相关政策建议	103
7.1 加大技术投入,提高能源利用效率	104
7.2 开发新型能源,优化能源消费结构	105
7.3 发展第三产业,调整优化产业结构	107
7.4 实施科学规划,推进低碳城镇化	108
7.5 本章小结	109
第8章 结论与展望	110
8.1 研究结论	110
8.2 创新之处	112
8.3 研究展望	113
参考文献	115
致谢	128

# 第1章 绪 论

## 1.1 问题的提出

自从1992年联合国气候变化专门委员会(IPCC)达成《联合国气候变化框架公约》(简称UNFCCC)以来,世界各国对于控制和减少温室气体排放、延缓全球气候变暖趋势问题越来越重视。1997年12月在日本京都召开的《联合国气候变化框架公约》第三次缔约方大会通过《京都议定书》(*Kyoto Protocol*)。《京都议定书》在2005年强制生效,规定在2008~2012年全球主要工业化国家工业二氧化碳排放量要比1990年平均降低5.2%,在《京都议定书》中没有规定我国的具体减排义务。在《京都议定书》一期承诺到期之后,《联合国气候变化框架公约》第15次缔约方大会暨《京都议定书》第5次缔约方大会2009年12月在丹麦哥本哈根举行,商讨2012~2020年的全球减排协议,中国政府在本次大会上庄严承诺,2020年碳排放强度相较2005年下降40%~45%。2014年12月1日,《联合国气候变化框架公约》第20次缔约方会议暨《京都议定书》第10次缔约方会议在秘鲁首都利马开幕,在会上各国纷纷承诺在2015年召开的巴黎气候大会上签订一份新的气候协议,以确保2020年后继续进行减排。在2014年11月的APEC峰会上,中美两国共同发表《中美气候变化联合声明》,达成“中美温室气体减排协议”。美国承诺于2025年实现在2005年CO<sub>2</sub>排放基础上减排26%~28%的全经济范围减排目标并努力减排28%,中国承诺2030年左右CO<sub>2</sub>排放达到峰值。2015年6月,我国向《联合国气候变化框架公约》秘书处提交的文件描述了我国2030年行动目标,即到2030年实现单位GDP的CO<sub>2</sub>排放比2005年下降60%~65%。在刚刚结束的2015

年巴黎联合国世界气候大会上中国重申了碳排放达峰和碳强度下降60%~65%两个重要减排承诺。

当前发展低碳经济、节能减排已成为我国履行国际承诺、实践科学发展观、实现可持续发展的必然选择。低碳经济是一种以能源的清洁开发和高效利用为基础，以低耗能、低污染、低排放为基础的经济发展方式，改革开放以来我国经济快速发展，取得了巨大的成就，但快速发展使资源、环境等问题成为我国经济发展的刚性约束，发展低碳经济能在一定程度上解决能源、环境等问题。从《京都议定书》到哥本哈根巴黎气候会议的落幕，降低温室气体排放、将大气温度控制在合理水平已经成为共识，我国是世界第一大碳排放国，改变现状势在必行，我国有必要通过技术创新、制度创新改变我国经济发展方式，提高能源利用效率，引导合理化生活方式和消费方式，从根本上摒弃传统的经济发展模式，走节能减排、低碳经济的发展道路。

本书的现实意义就在于对我国各区域二氧化碳排放的历史和现状进行精确评估，对于碳排放强度的显性影响因素和潜在影响因素进行分析，同时根据定量分析结果和各区域减排目标的情景分析设计一整套促进碳排放强度降低的政策措施，给出中国各区域发展低碳经济的对策和实现路径。

## 1.2 国内外研究现状

考察各区域碳排放现状并比较其差异是进行碳排放相关研究的前提，对二氧化碳等温室气体排放历史和现状的正确评估是制定正确减排措施的基础，本书对于我国碳排放问题的定量研究主要从碳排放绩效和碳排放强度两个角度，应用数据包络分析方法对碳排放绩效定量研究的文献较少，多集中于能源效率方面；本书对于碳排放强度的分析主要应用计量经济学方法，因此有必要归纳总结影响碳排放强度的主要因素；碳排放的分解是目前研究的热点，在作出对于我国区域减排对策建议之前很有必要了解国内外学者对于减排目标和减排途径、

对策建议的研究。综上所述,本章从以下几个方面进行碳排放国内外研究现状的综述和述评。

### 1.2.1 碳排放的区域差异

查冬兰和周德群(2007)引入 Theil 指数和 Kaya 因子,深入研究能源消耗导致的地区间人均 CO<sub>2</sub> 排放的差别。张雷等(2010)通过产业-能源关联和能源-碳排放关联两个基本评价模型,解析了中国碳排放区域格局变化的原因,研究发现缓慢的一次能源消费结构调整是难以降低地区碳排放增长的关键所在。马蓓蓓等(2010)利用 SPSS 软件从经济总量、产业结构、消费特征、能源结构和利用效率等方面对新中国成立以来陕西省碳排放的数量和结构变化进行分析,认为未来陕西省应从碳源和碳汇两个角度,以及三次产业、低碳生活和碳汇五个层面走低碳化的发展道路。刘春兰等(2010)通过分析认为北京市碳排放增长速度快于全国与上海,能耗强度对控制碳排放的效应呈现逐渐增加的趋势,而产业结构对碳排放的控制效应有降低的趋势。李国志和李宗植(2010)基于 STIRPAT 模型和面板数据方法分析了中国 30 个省份的人口、经济和技术对不同区域二氧化碳排放的影响,结果表明三个区域碳排放存在明显差异,且差异不断扩大。宋帮英和苏方林(2010)采用地理加权回归研究了省域碳排放量与经济发展之间的关系,认为省域碳排放量与经济发展水平、产业结构、人口、外商直接投资和能源价格之间存在内生经济关系。刘继森和颜雯晶(2010)分析了 1994~2008 年广东省碳排放与经济增长的时间序列,认为两者呈现明显的 N 形曲线特点,随着广东省经济的增长,广东省碳污染会有恶化的趋势。Zhang 等(2011)把碳排放分解成四个因素,估计四个因素的方向和大小,并基于这些因素对碳排放的影响把中国 30 个省份分类,讨论中国碳减排政策。王磊(2014)针对天津市历史碳排放情况建立了“经济-能源”投入产出模型,并充分考虑中间产品使用导致的隐形 CO<sub>2</sub> 排放,对未来区域碳排放作出了多情景科学预测。杨骞和刘华军(2012)

分别以碳排放强度和人均碳排放作为碳排放指标,对我国碳排放区域差异进行结构分解,并实证研究不同碳排放水平的影响因素,结果发现,碳强度的区域差异要大于人均碳排放的区域差异,并建议按照“八区域”地域划分标准制定碳减排政策,政策实施会更加具有针对性。王铮等(2012)预测了京津冀地区 2009~2050 年的总碳排放量和净碳排放量,通过分析区域碳排放空间格局得到碳排放量与经济发展之间的关系。郑立群和张宇(2013)以环境污染与经济发展脱钩理论为基础,设计出低碳发展弹性系数和能源碳排放结构弹性系数,将这两种反映“增量”碳排放的特征与反映“存量”碳排放特征的碳排放强度指标相结合,采用聚类分析,明确各省份在减少碳排放目标上的共同但有区别的责任。李丹丹等(2013)选取 30 个省份行政单位作为基本空间单元,采用探索性空间分析(ESDA)方法和地理加权回归模型(GWR),分析八年间碳排放影响因素及其影响程度的时空分布,揭示了我国碳排放的区域差异及其驱动因子的时空异质性。闫云凤(2014)构建消费碳排放核算体系,建立多区域投入产出(MRIO)模型,测算和比较中国 8 个区域的消费碳排放和生产碳排放,发现碳排放可以通过地区间商品的流入流出进行转移,我国形成了“西部→中部→东部沿海”输出隐含碳的空间格局。雷玉桃和杨娟(2014)采用 SFA 模型对我国 28 个省份进行碳效率测算,从时间和空间角度分析了碳排放效率的变化趋势。研究表明,碳排放效率在整体上处于上升阶段,在地区上存在趋异现象,并尝试提出碳排放协调系统模型。

国内外学者从经济发展、能源发展、碳源、碳汇等方面对我国各区域碳排放的差异进行了研究,学者们研究方法各异,研究结论也不尽相同。研究结论的不同很可能是由于对碳排放总量计算方法的不一致。

### 1.2.2 基于数据包络分析方法的资源环境生产效率

对碳排放绩效的研究发端于用 DEA 方法研究全要素能源效率, Hu

和 Wang (2006) 首次提出全要素能源效率的概念并将其定义为目标能源投入与实际能源投入之比, 投入指标为能源消费量、农作物播种面积、资本存量、人力资本投入等, 产出指标为 GDP。Hu 和 Kao(2007) 在全要素能源效率基础上提出能源可节约率的计算方法, 并用此方法测算了 APEC 国家 1991~2000 年的能源可节约率。徐国泉和刘则源(2007) 测算出 1998~2005 年中国 30 个省份全要素能源效率值, 发现中国各省份全要素能源效率值与经济发展水平呈 U 形关系。Mukherjee (2008a) 用 Hu 和 Wang 的方法测算了印度 18 个州的制造业能源效率, 同时用回归方法对各个州能源效率的差异原因进行分析。Mukherjee (2008b) 用同样的方法测算了美国制造业和 6 个耗能最高产业部门的能源效率。

孙立成等(2009) 利用 DEA-Malmquist 指数方法测算了 1997~2006 年世界 12 个国家能源利用效率和变动指数。师博和沈坤荣(2008) 将知识存量纳入生产函数, 运用超效率 DEA 模型测算出中国省级全要素能源效率, 并从市场分割角度讨论了全要素能源效率的影响因素。李世祥和成金华(2008) 基于生产理论的非参数法, 运用不同情景目标的能源效率评价模型对省级、工业行业能源效率进行了评价。袁晓玲等(2009) 根据测算出的包含非合意产出的全要素能源效率分析了区域能源效率收敛性并通过 Torbit 模型研究了全要素能源效率值与其影响因素的关系。董锋等(2010) 利用包含能源投入和环境污染产出的全要素生产率指数(Malmquist 指数) 将中国各省份技术进步分解为代表“硬”技术进步的科技进步指数和代表“软”技术进步的纯技术效率指数和规模效率指数, 然后以能源生产率指数表征能源效率, 用面板数据计量分析方法分四大经济区域研究了技术进步各组成部分对能源效率的影响。汪克亮等(2011) 基于全要素能源效率框架, 利用数据包络分析和方向性距离函数建立两类能源效率测度新模型, 分析比较了 2004~2008 年中国 29 个省份、全国整体及三大区域的全要素能源效率和节能

潜力；同时，在新模型基础上，结合单要素能源效率和全要素能源效率，引入“目标能源强度”指标并测算了 2004~2008 年我国各省份的能源强度效率。屈小娥(2011)以中国省际工业为研究对象，运用 DEA 效率评价方法，实证测算并分析了全国 30 个省份的工业全要素能源效率、可节能量和节能潜力，研究了影响工业能源效率的因素，认为中西部省份工业节能潜力和节能规模较大，工业 R&D 投入增加、资本深化，提高行业集中度有利于提高工业能源效率，企业平均规模对工业能源效率产生显著的负效应。

Wang 等(2013a)运用 DEA 窗口分析法研究了中国 29 个省份能源与环境效率，与以往不同的是，在联合生产框架内同时考虑了期望产出和非期望产出、能源投入和非能源投入。Zhang 和 Chen(2011)对 23 个处于发展中的国家能源效率进行了分析。Hernández-Sancho 等(2011)运用非径向 DEA 方法计算西班牙污水处理厂的能源效率，并检验操作变量对能源效率差异的贡献率。Hu 等(2011)应用四阶段 DEA 估算 1998~2007 年中国台湾 23 个地区的能源效率，发现只有 3 个地区达到能源有效，同时台湾能源效率有恶化趋势，建议淘汰低效的旧汽车，鼓励生产能源节约型汽车并提供方便的公共交通系统，同时学校、社区、雇员应该提高节约能源意识。

胡根华和秦嗣毅(2012)首先在规模报酬不变的条件下运用投入导向的超效率 DEA 模型测算“金砖国家”全要素能源效率，并比较分析各国能源效率之间的差异，然后采用 Tobit 模型分析了技术进步、产业结构、消费结构对“金砖国家”全要素能源效率的影响。朱帮助等(2013)基于全要素投资效率框架，构建能源效率评价体系；基于超效率 DEA 方法建立了能源效率评价模型，并对我国 29 个省份进行实证研究。结果显示：东部能源效率最高，西部最低。中国能源效率变异系数先降后升，省际能源效率差距逐渐拉大。魏新强和张宝生(2013)采用反向思维、加入偏好约束，逆求 DEA 原始模型中不同时期能源

效率值的权重,将 DEA 能源效率分析理论与最初的投入产出经济意义相结合,给出统一评价体系下的能源效率 DEA 模型分析方法。

用 DEA 方法研究碳排放绩效的文献主要有以下几篇。Zhou 等 (2010) 用 MCPI 衡量了世界 CO<sub>2</sub> 排放量最高的 18 个国家的碳排放效率,并对可能影响 MCPI 的影响因素进行研究。王群伟等 (2010a) 利用含有非期望产出的 DEA 模型构建了可用于研究二氧化碳排放绩效动态变化的 Malmquist 指数,以此为基础测度了 1996~2007 年我国 28 个省份二氧化碳的排放绩效。魏梅等 (2010) 在利用 DEA 方法对我国各地区 1986~2008 年的碳排放效率进行测算的基础上,通过动态面板协整方法和误差修正模型分析了二氧化碳排放效率提高的长期影响因素。王群伟等 (2010b) 在全要素框架下利用环境生产技术构建了二氧化碳排放绩效指标,并基于拓展的共同前沿函数提出了一种描述区域二氧化碳排放差异的测算方法。任力和黄崇杰 (2011) 运用数据包络分析方法对我国 29 个省份在二氧化碳排放方面的环境绩效进行了评价,发现若将环境因素考虑进经济增长指标,这种增长的效率在降低。进而利用 Malmquist 指数法对这种效率进行分解,发现这种效率的下降主要由技术变化指数的下降引起。Guo 等 (2011) 通过计算碳减排潜力运用 DEA 效率评价方法评估中国 29 个省份的碳排放绩效,结果表明在技术效率低下的地区,区域间节能技术差异显著,大部分地区能源结构不合理且对煤炭消费依赖过强。Zhou 等 (2012) 提出采用非径向方向距离函数方法从生产效率视角模拟 126 个国家发电的能源和二氧化碳排放绩效,研究发现,经合组织 (OECD) 国家的发电碳排放绩效和综合“能源-碳”绩效要强于非 OECD 国家,而能源绩效差异不明显。Wang 等 (2013c) 提出获取给定单元最近目标和最小距离投影的一般方法,这种方法考虑了非期望产出。研究结果证明,发展中国家的碳排放综合绩效指数比发达国家低,123 个国家间碳排放综合绩效指数的差距正在变小。杜慧滨等 (2013) 利用空间自相关 Moran 指数与面板



数据空间计量模型,对1997~2009年我国29个省份的碳排放绩效的空间分布特征及影响因素进行了空间计量经济分析,结果发现:我国区域碳排放绩效在空间上存在较强的正相关性,提高某一地区的碳排放绩效水平将有助于带动其相邻地区碳排放绩效水平的提高,并且技术落后和市场化程度偏低是制约我国碳排放绩效水平提高的主要因素。

数据包络分析方法主要有基于规模报酬不变的CCR模型和基于规模报酬可变的BCC模型,自从2006年Hu和Wang用DEA模型测算全要素能源效率以来,这方面的研究成果越来越多,大多数研究还是沿袭Hu和Wang的思路,产出指标为GDP,投入指标为能源消费量、资本、劳动力等,值得注意的是最近有些学者将源于数据包络分析方法的Malmquist生产率指数研究方法应用到碳排放绩效的研究之中,这种研究目前还比较少见,是一个值得深入下去的研究方向。

### 1.2.3 碳排放的影响因素

Cole等(2005)认为由于具有较高生产率的国家能够更加有效地利用资源,因此相比较生产率低的国家来说,对环境的污染就会偏小,所以全要素生产率增长率是抑制碳排放的一个重要的影响因素。Cole等(2008)采用计量方法分析了1997~2003年中国企业层面的数据,发现提高生产率和增加研发投入有利于降低碳排放。朱勤等(2009)基于Kaya恒等式对1980~2007年中国碳排放进行分解,得出中国碳排放增加的主要动力来自经济扩张的结论,宋德勇等(2009)分解分析了1990~2005年的碳排放时间序列,得出同样的结论。Ferda(2009)和Abdul等(2009)对碳排放的影响因素研究集中在经济总产出及能源消费方向。岳超等(2010)分析了1995~2007年我国各省份的碳排放量、人均碳排放和碳排放强度,认为能源资源禀赋、产业结构和能源消费结构是省份碳排放强度的决定因素。陈劲锋等(2010)通过IPAT方程理论和实证分析表明,在技术进步驱动下,二氧化碳排放随着时间的