



# 中国区域 碳排放效率及其影响因素的 空间计量研究

ZHONGGUO QUYU TANPAIFANG XIAOLV  
JIQI YINGXIANG YINSU DE  
KONGJIAN JILIANG YANJIU

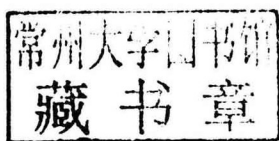
马大来 杨光明◎著



电子科技大学出版社

# 中国区域碳排放效率及其影响因素的空间计量研究

马大来 杨光明◎著



电子科技大学出版社

## 图书在版编目 ( C I P ) 数据

中国区域碳排放效率及其影响因素的空间计量研究 /  
马大来, 杨光明著. -- 成都: 电子科技大学出版社,  
2017.8

ISBN 978-7-5647-5030-5

I. ①中… II. ①马… ②杨… III. ①二氧化碳—排  
气—研究—中国 IV. ①X511

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第213178号

## 中国区域碳排放效率及其影响因素的空间计量研究

马大来 杨光明 著

策划编辑 唐祖琴

责任编辑 唐祖琴

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段159号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn)

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 北京富泰印刷有限责任公司

成品尺寸 185mm × 260mm

印 张 11.5

字 数 210千字

版 次 2017年8月第一版

印 次 2017年8月第一次印刷

书 号 ISBN 978-7-5647-5030-5

定 价 35.00元

版权所有, 侵权必究

# 前 言

改革开放以来，伴随着我国经济高速增长的同时，能源枯竭和环境污染等问题日益严重，特别是二氧化碳排放所带来温室效应问题愈发明显，已经对我国经济发展和居民日常生活带来了严重的负面影响，因而关于区域排放效率问题以及相关影响因素的研究已经成为学术界关注的重要热点问题，特别是近年来在国家大力倡导节能减排的背景下，这些问题的关注度日益上升。对此，不少学者从不同的视角进行了相关性的研究，但是尚未完全形成统一的结论。与已有研究不同的是，在借鉴相关理论基础上，本书分别在单要素和全要素框架下，采用比较前沿的效率测度方法对我国区域碳排放效率进行了测度，并将其与传统的测度方法进行了比较分析，在此基础上，将空间计量经济学的方法引用到区域碳排放效率收敛性和影响因素的实证研究之中。同时，基于中国区域差别对碳排放效率的影响因素进行分类考察，并结合国家区域发展战略，探寻提升我国区域碳排放效率的主要政策启示，这对于政府制定相关环境政策，加快开展节能减排工作，促进发展低碳经济具有非常重要的意义。本书主要研究工作如下。

首先，在已有碳排放效率定义的基础上，分别从单要素视角和全要素视角定义了碳排放效率。其中单要素碳排放效率的定义为两个变量的比值，而全要素碳排放效率的概念是在资本、劳动和能源投入不增加的前提下，所能得到的最大的经济产出和最少的 $\text{CO}_2$ 排放。同时，在系统回顾碳排放效率理论的基础上，分析了研究碳排放效率的经济意义。提升区域碳排放效率不仅是中国提倡可持续发展的客观要求，也是实现经济发展低碳转型所要关注的重要问题。此外，本研究还对空间计量经济学的相关理论进行简单阐述，从而为本书的实证分析提供方法的支撑。

其次，分别对区域碳排放效率的测度、空间分布格局与空间相关性、收敛性和相关影响因素等方面进行实证考察。其中，区域全要素碳排放效率的测度采用非参数方法（DEA），并与单要素碳排放效率进行对比分析；区域碳排放效率的空间分布格局与空间相关性的研究采用描述统计分析法和空间计量经济学分析法；区域碳排放效率收敛性研究采用空间计量经济学分析法；而区域碳排放效率相关影响因素

的研究则采用空间计量模型和面板门槛模型分析法。实证研究结论如下。

①根据碳排放估算公式测算的区域碳排放量可知，碳排放量较高的省份主要分布在经济发达的东部沿海地区，而中西部内陆地区则主要是碳排放量较低省份的分布地区；分三大地区看，我国碳排放量最多的为东部地区，中部次之，西部最少，这表明我国碳排放量的区域差异性特征表现明显。基于碳生产率表征的单要素碳排放效率的测算结果表明，上海、北京、福建、广东和海南是我国碳生产率排名前五位的省份，而内蒙古、新疆、宁夏、贵州和山西则是排名后五位的省份；基于DEA方法测算的区域全要素碳排放效率的结果表明，辽宁、上海、云南三个省份的效率值为1，达到了最优的生产前沿面，而宁夏、内蒙古、新疆、山西和贵州则是碳排放效率最低的五个省份，距离前沿面较远。分地区看，单要素碳排放效率（碳生产率）和全要素碳排放效率的测算结果的排序一致，均是东部最高，中部次之，西部最低。两类指标对于区域碳排放效率的测算结果既有显著的差异性，又有排序的一致性，但就优劣而言，全要素指标明显要优于单要素指标。

②区域碳排放效率的聚类结果表明，碳排放“高效区”的省份主要分布在东部沿海地区，而位于中西部欠发达省份则是碳排放“中效区”和“低效区”的主要来源，并且碳排放效率分布地区和碳排放量分布地区在空间上呈现出一定的非对应关系。空间四分图则直观地反映出，碳排放效率较高水平的东部沿海省份主要分布在高层次的三、四级上，而较低水平的中西部内陆省份则位于低层次的一、二级上。同时空间自相关指标则表明了区域碳排放效率在空间上表现出显著的空间自相关性，具有明显空间集聚的趋势；而局部空间散点图则直观地反映出我国区域碳排放效率不仅主要存在着空间依赖性的特征，也有少量空间异质性的表现。

③空间绝对收敛和空间条件收敛模型的实证结果表明，我国区域碳排放效率不仅存在着绝对收敛的趋势，同时也有条件收敛的特征。加入空间效应后，碳排放效率的绝对收敛速度较之普通面板模型给出的速度有所提升。在控制了产业结构、工业结构、外商直接投资、技术进步和能源消费结构等变量的影响后，碳排放效率的条件收敛速度较之绝对收敛速度再一次得到提升。同时，空间俱乐部收敛模型的检验结果还表明，我国区域碳排放效率还存在着HH组和LL组两个“空间趋同俱乐部”。

④基于线性视角，通过构建空间计量模型分地区综合考察了中国区域碳排放效率的相关影响因素，实证结果表明：全国层面上，在所有碳排放效率的影响因



素中，产业结构、工业结构、能源消费结构、城镇化水平和金融发展对碳排放效率具有显著的负向影响，企业所有制结构、政府干预、外商直接投资和技术进步对碳排放效率具有显著的正向影响，而对外贸易的影响则是不显著的。分地区看，在东部、中部和西部地区的碳排放效率的影响因素中，产业结构、能源消费结构、技术进步、城镇化水平等因素对碳排放效率的影响具有同方向性，而工业结构、企业所有制结构、政府干预、对外贸易、外商直接投资、金融发展等因素的影响则存在一定的差异性。

⑤基于非线性视角，通过构建空间计量模型和门槛模型分别从经济增长和环境规制两个角度考察了对碳排放效率的非线性影响。经济增长对碳排放效率非线性影响的空间计量模型表明，全国范围内的长期经济增长与碳排放效率呈现出明显倒“N”型的曲线关系，碳排放效率随着经济的不断增长呈现出先下降后上升再下降的三阶段发展趋势；而分地区看，这种非线性关系在中部地区表现最为显著，西部次之，而在东部却是不显著的。同时，将非线性特征纳入环境规制对碳排放效率的影响时，门槛模型的结果表明，当以环境规制本身为门槛变量时，除了中部地区的环境规制对碳排放效率影响存在着双门槛效应外，其余地区均存在三门槛效应的特征，全国和东部地区的环境规制与碳排放效率呈现出明显的“U”型关系，而这种关系在中部地区和西部地区则表现为正“J”型；当以经济增长为门槛变量时，全国、东部、中部和西部地区均存在着显著的三门槛效应的特征，并且各地区的环境规制与碳排放效率均呈现出明显的“U”型关系。

最后，基于以上结论，本文提出了提升区域碳排放效率的相关政策启示：坚持经济的可持续发展战略，逐步实现经济发展的转型；大力实施产业结构优化策略，逐步降低产业能源消耗量；着重实施重工业的更新换代，走新型的工业化道路；提升外资引进水平，优化出口贸易结构；积极实施清洁能源消费策略，大力优化能源消费结构；实施差别化的政府干预策略，加大环境治理资金的投入力度；加大清洁技术的开发力度，提升区域能源的利用效率；加强金融发展的方向引导，加大对低碳企业的支持力度；提升区域经济发展水平，实施差别化的环境规制政策。

# 目录

## contents

|                                       |            |
|---------------------------------------|------------|
| <b>1 绪 论 .....</b>                    | <b>001</b> |
| 1.1 研究背景 .....                        | 001        |
| 1.2 研究的目的和意义 .....                    | 004        |
| 1.3 相关文献综述 .....                      | 006        |
| 1.4 本书的思路与方法 .....                    | 014        |
| 1.5 本书的主要贡献 .....                     | 016        |
| <b>2 主要理论借鉴 .....</b>                 | <b>019</b> |
| 2.1 碳排放效率概念界定 .....                   | 019        |
| 2.2 碳排放效率的理论基础 .....                  | 021        |
| 2.3 空间计量经济学理论 .....                   | 029        |
| <b>3 中国区域素碳排放效率测度与比较分析 .....</b>      | <b>036</b> |
| 3.1 区域碳排放量估算与区域差异分析 .....             | 036        |
| 3.2 单要素视角下的中国区域碳排放效率 .....            | 039        |
| 3.3 全要素视角下的中国区域碳排放效率 .....            | 045        |
| 3.4 单要素碳排放效率与全要素碳排放效率测度结果的对比分析 .....  | 058        |
| 3.5 本章小结 .....                        | 061        |
| <b>4 区域碳排放效率的空间分布格局与空间相关性诊断 .....</b> | <b>063</b> |
| 4.1 区域碳排放效率的空间分布格局 .....              | 063        |
| 4.2 区域碳排放效率的空间相关性诊断 .....             | 066        |
| 4.3 本章小结 .....                        | 073        |

|                                         |            |
|-----------------------------------------|------------|
| <b>5 基于空间效应的中国区域碳排放效率的收敛性分析 .....</b>   | <b>075</b> |
| 5.1 基于空间效应的区域碳排放效率的 $\beta$ 收敛分析 .....  | 075        |
| 5.2 基于空间效应的区域碳排放效率的空间俱乐部收敛分析 .....      | 084        |
| 5.3 本章小结 .....                          | 092        |
| <b>6 线性视角下的区域碳排放效率影响因素的空间计量研究 .....</b> | <b>094</b> |
| 6.1 影响区域碳排放效率的相关决定因素 .....              | 094        |
| 6.2 空间模型构建及数据来源 .....                   | 100        |
| 6.3 实证检验与结果分析 .....                     | 101        |
| 6.4 本章小结 .....                          | 116        |
| <b>7 非线性视角下的区域碳排放效率影响因素的实证检验 .....</b>  | <b>118</b> |
| 7.1 经济增长对碳排放效率非线性影响的空间计量研究 .....        | 119        |
| 7.2 环境规制对碳排放效率影响的门槛特征分析 .....           | 132        |
| 7.3 本章小结 .....                          | 151        |
| <b>8 结论与研究展望 .....</b>                  | <b>154</b> |
| 8.1 主要结论 .....                          | 154        |
| 8.2 政策启示 .....                          | 157        |
| 8.3 研究展望 .....                          | 161        |
| <b>参考文献 .....</b>                       | <b>163</b> |
| <b>附录 .....</b>                         | <b>172</b> |



# 1 绪 论

## 1.1 研究背景

进入 20 世纪后，能源枯竭、环境污染和全球变暖等全球性的问题愈发严重，特别是随着倡导节能减排和发展低碳经济已经成为各国追求的重要目标，为此各国陆续召开了全球性的大会以保证有效加强全球合作，共同完成二氧化碳的减排工作。1992 年，国际社会制定了《联合国气候变化框架公约》，该公约为促进国际合作，就解决全球关注的气候问题达成了初步协议，同时还制定了相应的法律体系和规定了各国的基本权利及义务。1997 年在日本召开的全球气候大会上，《京都议定书》的通过进一步表明了全球各国共同合作完成节能减排的决心，大会上各国达成了各自二氧化碳的减排任务和时间。之后《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》成为全球各国召开气候大会商讨合作减排的基准框架，包括后续碳减排机制建设、减排数量、减排责任分担等相关问题都是围绕该框架展开的。2007 年在印度尼西亚巴厘岛召开的气候大会成为全球碳减排的“里程碑”事件，大会上制定并通过的“巴厘路线图”，进一步解决了当下全球关于气候变化的若干关键性问题。可以看出，包括温室效应在内的全球性的气候问题已经成为各国关注的重要焦点问题。在全球合作应对气候变化的潮流下，中国也积极投身于国际合作框架之中。2009 年在哥本哈根召开的世界气候大会上，中国就自己的碳减排任务提出了明确性的目标，到 2020 年中国单位 GDP 的  $\text{CO}_2$  排放强度将在原有的基础上削减 40% ~ 45%。但是作

为世界最大的发展中国家，经济发展的主题不可能改变，如何在保持经济增长的前提下，有效开展二氧化碳的减排工作成为中国社会各界关注的重要问题。

与此同时，为了更好地确保二氧化碳减排工作的顺利开展，目前世界上很多国家倡导实现经济发展的转型，特别是英国提出的“低碳经济”理念已经被各国所接受。目前世界上很多国家也相继开始尝试发展低碳经济，并且不少国家取得了卓有成效的减排成绩。单就中国而言，由于中国面临着严峻的能源和环境问题，二氧化碳减排的压力巨大，因而发展低碳经济面临着较大挑战。统计数据表明，2012年中国总共消费了全球20%的化石能源，折合成以标准煤为单位的一次能源达到了36.2亿吨，并且其单位GDP能耗在全球也处于较低水平的行列，不仅是全球平均水平的2.5倍，而且是同期美国的3.3倍，甚至是日本的7倍。因此，较高的能耗强度进一步表明了中国能源利用效率低下。同时，基于埃森哲咨询管理公司发布的能源架构绩效指数来看，在所比较的150个国家中，中国的能源架构绩效指数在所有国家中排名第74位，仅仅处于中游的水平。而从全球环境绩效指数（EPI）来看，2012年中国的排名中仅为116位<sup>[1]</sup>，相对于2006年的94位，下降了22位。这充分说明，近几年中国能源和环境污染问题并没有得到有效的改善。此外，从世界主要国家的碳排放强度的排名看，目前世界GDP排名前8国家的碳排放强度中，2012年中国的碳排放强度位列第一，其次是俄罗斯，而日本、英国和法国的碳排放强度一直处于较低的水平，特别是法国的碳排放强度不足0.3，在所比较的国家中处于最低水平。可以说，碳排放强度综合反映了一个国家的经济发展、科技进步和能源利用效率的高低，因而是衡量一个国家环境质量的重要体现。较高的碳排放强度不仅反映出我国能源利用水平低下，而且从经济层面上则意味着我国碳排放的经济效率较低，与发达国家相比较，同等条件下的碳排放量所增加的经济财富远低于发达国家。因此，降低能源消耗，提高碳排放的经济效率，是中国当前实现经济增长和环境保护协调发展所需要解决的关键性问题。

在国内，近几年我国的空气质量未能得到有效改善，特别是东部地区频繁出现

的“雾霾”天气，给人们的日常生活带来了较大的危害，因而人们对于改善空气质量的呼声逐渐高涨。为此，国家大力倡导开展节能减排工作，各地区也相继制定各自的减排任务。但是受经济、社会、资源和文化差异性的影响，各地区间的节能减排工作表现出较大的差异性，并且从整体上讲，中国目前的二氧化碳减排工作相对滞后，前景不容乐观。以 2010 年为例，海南、甘肃、青海、宁夏等省、自治区距离自己的减排目标有较大的差距，贵州、广西、新疆等省、自治区的减排进度也相对缓慢，这些省份均是全国节能减排的重点省份，由此可见，未能如期完成减排目标的省份主要分布中西部内陆地区。2011 年从三大地区完成的碳减排进度看，基于国家发展改革委公布的关于区域节能减排的统计数据表明，东部地区完成预期减排的 54.5%，中部地区完成的预期为 50%，而西部地区仅为 36.4%。尽管东部地区明显要快于中西部地区，但是三大地区均未能达到相应的减排目标。综上所述，我国整体减排工作的完成力度较差，面临着较大的压力。因此，开展碳减排的相关性研究，探讨有效实现碳减排的路径和政策，提高区域碳排放效率，对于促进我国节能减排工作的顺利开展具有重要的意义。

随着碳减排逐渐成为全国性和跨区域的重要问题，各地区逐渐认识到跨区域合作的重要性。实现跨区域合作碳减排，不仅能充分发挥各自的优势，而且能最大限度地实现资源的优化配置。目前以区域合作为中心而构建的碳排放交易体制就是开展区域合作碳减排的典型代表。2014 年国家发展和改革委员会也重点强调，实现区域合作碳减排是发展低碳经济的有效道路。基于此，目前经济联系密切和交通发达的北京、天津、上海、重庆、广东、湖北和深圳率先开展了碳排放交易试点的实践。以上充分表明，加强区域的相互联系，发挥相邻地区在碳减排问题上的合作优势，逐渐成为当下中国推行节能减排的重要发展方向。特别是随着经济发展地逐渐深化，交通设施进一步完善，相邻区域之间的联系度日益密切，各个省份之间不再是作为独立个体而存在的，邻近省份之间的空间作用会更加明显。因此，随着当前碳减排问题逐渐成为环境领域内的热点问题，已不再是单独和孤立的地区性问题，其跨区



域特征表现尤为显著。总之，基于跨区域合作碳减排的背景下，在进行碳排放效率的研究时，相邻区域之间存在的空间作用是不能忽略的重要因素。

## 1.2 研究的目的是和意义

### 1.2.1 研究目的

随着绿色经济、低碳经济、循环经济以及经济可持续发展等理念深入人心，人们对于环境质量的需求逐渐提高，对碳排放效率的研究也逐渐成为学术界的热点问题。目前对于碳排放效率的测度，不仅仅只包括地区碳排放的绝对数量，而且还涉及地区经济发展水平、能源利用以及地区技术进步水平等诸多内容。同时由于碳排放效率测度的方法较多，且各个方法之间又有一定的差异性，因此，碳排放效率是一个涉及多个层面的复杂问题。基于不同的视角和研究角度，不同学者对于碳排放效率的测度以及相关因素的研究得出的结论是不一样的，但是大多数相关的研究均未能将空间因素考察在内，这也是目前存在的缺陷之一。

本研究尝试从新的视角研究中国区域碳排放效率问题。不同要素视角下的碳排放效率是否具有差异性？哪种方法的前沿性较强，具有较大的比较优势？区域之间的碳排放效率空间分布格局是否具有一定的规律性？相邻区域之间的碳排放效率是否具有空间效应的发生？这种空间效应对于区域碳排放效率的收敛性是否具有影响？经济增长对碳排放效率的影响是否具有非线性特征？科学回答上述问题正是本研究的主要目的。

### 1.2.2 研究意义

伴随着经济增长带来能源消耗和环境污染的不断加剧，人们逐渐认识到发展低碳经济的重要性，而发展低碳经济的首要环节要开展区域节能减排工作，提高区域碳排放效率。同时，关于碳排放效率研究也逐渐成为学术界的热点问题。因此，本书在已有研究的基础上，重点考察区域排放效率的空间效应以及收敛性问题，并且

基于线性视角和非线性视角等两个角度分别考察了碳排放效率的相关影响因素,具有重要的理论和现实意义。

在理论方面,在目前国内外研究中,比较注重采用单要素指标来表征碳排放效率,比如单位 GDP 碳排放强度、碳生产率以及碳化指数等等。与以上不同的是,本书比较注重采用全要素指标来表征碳排放效率。在借鉴国内外相关研究的基础上,从生产和投入的综合角度出发,本书将能源、资本和劳动力等作为投入要素,并将碳排放作为一种“坏”的产出,最终得出碳排放的综合排放效率。在碳排放效率测度指标和方法的选取方面,本书对考虑非期望产出的碳排放静态效率测度的非参数方法展开深入研究,最先采用比较前沿的 mSBM 法测算了区域全要素碳排放效率,有利于推动碳排放静态效率测度的非参数理论的进一步发展。同时在与单要素碳排放效率进行比较分析后,进一步完善了碳排放效率的测度指标和方法。最后本书基于空间经济学的角度,建立面板数据模型分别研究了碳排放效率的收敛性及其影响因素,这不但为改进我国区域碳排放效率的研究方法提供了新的选择,同时也丰富了相关的空间经济学的理论内容。

在现实方面,通过改善了碳排放效率的测算方法,进一步提高了碳排放效率测度的精确度和准确度,从而为区域节能减排提供了良好的依据,进而有利于减少诸如劳动力、资本和能源投入等相关要素的变动成本,以最少的成本变动取得最大化的效率改进,最终能够较大幅度地提高区域资源的利用效率。在政策层面上,不仅为公共政策制定者或相关行业的决策者提供用于政策分析和绩效评估的量化信息,而且为中国环境的改善提供一个更客观合理的参考标准。特别是在中国,不同区域的经济发展、能源消费结构、资源禀赋、产业结构和外商投资存在较大的差异性,本研究将空间角度引进到碳排放效率的研究之中,不仅为进一步开展区域合作节能减排以及相关政策的制定提供全新的理论支撑,而且对缩小区域碳排放效率差异,提高区域节能减排的研究深度,最终为经济和社会的可持续发展提供重要的参考依据。



总之,随着空间经济学应用的逐渐普遍,该方法逐渐被应用到经济、贸易和环境领域的研究之中。基于此,将空间效应和碳排放效率的研究相结合,有利于进一步提高研究碳排放效率的深度,从而为区域节能减排提供更为恰当和合理的政策建议。所以,本文的研究具有重要的学术意义和实际意义:不但进一步丰富了碳排放效率的相关测度方法,扩展了其研究深度,而且对于碳排放效率的空间效应以及所起的作用能够准确地予以把握,从而更好地应用于实践的指导之中。

## 1.3 相关文献综述

### 1.3.1 碳排放效率定义与衡量指标的文献综述

近几年,碳排放效率已经成为学术界的重要议题,受到国内外学者的普遍关注。目前关于碳排放效率的定义,国内外学者存在着较强的争议,但是从经济视角定义碳排放效率主要有单要素碳排放效率和全要素碳排放效率两个概念。Kaya and Yokobori (1993) 首先从单要素的视角定义了碳排放效率,他把碳排放效率称为碳生产率,定义为一段时期内国内生产总值 (GDP) 与同期碳排放量之比。Sun (2005) 也认为,以单位  $\text{CO}_2$  的 GDP 产出作为衡量碳排放效率的指标也是评价一个国家节能减排的重要标准。衡量碳排放效率,以上两位学者均以 GDP 为基础,然而也有学者持有不同的观点。Mielnik and Goldember (1999) 提出了碳指数概念,具体定义为单位能源消耗的碳排放量,以此来衡量发展中国家为节能减排和应对气候变化所做出的贡献。Ang (1999) 也同意这一观点,同样把能源消费强度作为碳指数指标来衡量一个国家的碳排放绩效。可以看出,无论以 GDP 为基础还是以能源消费为基础,其出发点均立足于  $\text{CO}_2$  排放量,但是以 GDP 为基础的碳排放效率指数是有益于发达国家的,因为发达国家的 GDP 总量普遍较高,而以能源消费为基础的碳排放效率指数对发展中国家更有利。此外,与上述两种观点不同的是,Zhang et al.(2008) 更倾向将碳排放效率定义为人均单位 GDP 的排放量,他认为该指标综合反映了人口、

经济和碳排放三者的关系,具有更强的科学性、合理性和公正性。

上述学者均从单要素的视角出发定义了碳排放效率。可以看出,单要素碳排放效率指标易于理解和测量,但也存在由于衡量指标的多样化而容易引发不同争议等问题(Zhou et al., 2010)。基于此,不少学者从全要素的角度对碳排放效率展开研究。Ramanathan(2002)认为碳排放效率定义应该综合纳入能源消费、经济发展与碳排放三个框架之内,这样的评价结果才具有全面性和合理性。Zaim and Taskin(2000)首先将碳排放定义为非意合产出变量,据此提出了碳排放综合绩效指数概念,并且将该指数应用于 OECD 国家的研究之中。Zofio and Prieto(2001)也同样对该观点持支持态度,在构建包含非合意性产出 DEA 模型的基础上,对 OECD 的制造业碳排放绩效进行了综合评价。Zhou et al.(2006)则将松弛变量纳入全要素碳排放效率的研究框架之中,并且据此测量了 1998—2002 年期间 30 个 OECD 国家的碳排放综合绩效。

### 1.3.2 碳排放效率测算方法的文献综述

目前,全要素碳排放效率的方法主要有 DEA 和 SFA 两种方法,可以说这两种方法各有优劣。特别是近年来不少国内外学者在全要素框架下,大多数通过采用 DEA 方法对碳排放效率进行了研究。Zhou et al.(2010)采用 MCPI 指数测度了碳排放排名前 18 位国家的排放效率,并对于其变动趋势进行了比较研究。Marklund and Samakovlis(2007)在使用 DEA 方法的基础上,通过构建距离方向函数估算了欧盟各个国家之间的碳减排成本。魏梅等(2010)以 1986—2008 年期间的省级样本数据作为考察对象,采用 DEA 方法估算了其碳排放效率,发现技术创新对于碳减排具有明显的提升作用。王群伟等(2010)搜集了 1996—2007 年的省际样本,采用 DEA 方法测算了其碳排放绩效,结果表明中国的碳排放绩效具有较大地区差异性的特征。李涛和傅强(2011)通过采用 Ruggiero 三阶段模型测度了我国 1986—2008 年期间 29 个省份的碳排放效率,发现技术进步显著提升了碳排放效率。周五七和聂鸣(2012)采用非期望产出的 SBM 模型,对中国 15 年 30 个省的工业碳排放效率进行了测度,发现工业碳排放效率随着时间推移呈现出不断提升的趋势。程云鹤等(2013)采用 DEA 方法测度了

1998—2010 年中国 30 个省份的工业碳排放效率, 结果表明中国工业碳排放效率具有较强的区域差异性。

与非参数的数据包络分析 (DEA) 方法相对应的是另一种参数方法——随机前沿分析方法 (SFA)。Risto et al. (2012) 基于省际面板数据, 采用 SFA 方法对其碳排放效率进行了测度。王思斯 (2012) 搜集了中国的省际面板数据, 采用 SFA 方法进行了测度并进一步计算出其影子价格, 结果表明中国碳排放无效率的部分较低。杜克锐和邹楚玩 (2011) 在构建超越对数生产函数的基础上, 采用 SFA 方法测算了我国省际碳排放效率, 并进一步分析了其收敛性的问题。赵国浩等 (2012) 以山西省 1995—2010 年的面板数据作为考察样本, 采用随机前沿模型测算了其碳排放效率, 结果表明效率值随着时间推移而不断变小。陈黎明和黄伟 (2013) 在构建生产函数的基础上, 使用 SFA 方法测算了 1995—2010 年期间我国各省的碳排放效率, 实证结果表明, 我国整体的碳排放效率处于一个较低水平上, 并且区域间的差距表现明显。孙慧等 (2013) 使用 SFA 方法测度了 2003—2011 年期间西部地区的碳排放效率, 结果表明西部地区的碳排放效率不仅整体水平较低, 而且提升较为缓慢。

### 1.3.3 碳排放效率影响因素的文献综述

研究碳排放效率的影响因素, 首先必须要理清碳排放的相关影响因素。目前对于碳排放影响因素的研究较多, 基于不同的研究方法可以分为三类。第一类是指数分解法, 绝大多数学者通过此种方法发现能源强度降低是中国碳排放量减少的主要原因, 而经济规模效应则是导致中国碳排放增加的首要原因 (Wang et al., 2005; Fan et al., 2007; Zhang et al., 2009; 查冬兰和周德群, 2007)。第二类是投入产出法, 通过构建不同的投入产出模型来分析造成中国碳排放的主要影响因素, 其主要内容包括碳税征收的“双重红利” (Garbaccio et al., 1999)、国际贸易的碳排放效应 (Lin and Sun, 2012; Dong et al., 2010)、经济能源的碳排放效应 (郭朝先, 2010) 以及产业结构产生的变动效应 (张友国和郑玉歆, 2014) 等等。第三类是基于建立模型的实证研究法。目前此类的研究重点是分析经济增长和碳排放是否存在倒“U”型



的环境库兹涅茨曲线关系。大部分学者持支持性的观点,譬如 Selden and Song(1994)、Holtz-Eakin and Selden(1995)、Cole et al.(1997)和 Jalli and Mahmud(2009)等学者的研究均证实了环境库兹涅茨曲线的存在。但是也有少量学者持否定态度,如我国的陆虹(2000)的研究则否认了此理论存在的合理性。同时,也有不少学者对碳排放影响因素的研究从单纯的经济领域扩展到贸易领域,结果表明对外贸易对碳排放有着重要的影响(Halicioglu, 2009; 李艳梅等, 2010)。

与排放影响因素相比较,学术界针对碳排放效率影响因素的研究较少,且研究对象主要集中于国内学者。Wang(2007)采用 Shephard 距离函数测度了 23 个 OECD 国家的碳排放绩效并进行了比较分析,结果表明技术进步对其提升作用是显而易见的。Ramakrishnan Ramanathan(2006)采用 DEA 方法测度了全球的碳排放效率,并且分析了能源消费对其变动的影响。Cason(2003)和 Buckley(2004)则从排放权交易角度分析了碳排放效率的相关影响因素。Gorg and Strobl(2004)、Albornoz et al.(2009)通过对企业的微观数据进行实证研究,结果表明 FDI 技术溢出对于提升碳排放效率产生了积极影响。朱德金(2013)从技术差距的视角测算了中国的省际碳排放效率并且分析了其影响因素,实证结果表明,对外贸易对碳排放效率具有显著的正向影响,而产业结构、企业所有制和能源消费结构则对其有显著的负向影响。查建平(2012)构建了不同的 DEA 模型测算了中国工业碳排放绩效,进而对其影响因素进行了实证研究,发现企业规模、外商投资和技术创新能显著提升工业碳排放绩效,而产权结构、资本深化、工业结构和能源结构则对工业碳排放绩效具有明显的抑制作用。屈小娥(2012)在测算出我国省际碳排放效率的基础上分析了其影响因素,认为政府干预、产业结构、产权结构和对外贸易对碳排放效率均起到了重要影响。

#### 1.3.4 碳排放效率收敛性的文献综述

收敛性研究是考察区域碳排放效率动态变动趋势的重要方法,因而受到了国内外学者的青睐,这也是目前节能减排领域内的重要研究环节。开展碳排放效率的收