

“十三五”国家重点图书

★ 转型时代的中国财经战略论丛 ▲

碳排放约束下我国能源效率的 区域差异及节能指标分解研究

杨 骞 著



中国财经出版传媒集团

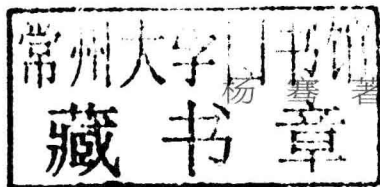


经济科学出版社
Economic Science Press

“十三五”国家重点图书

★ 转型时代的中国财经战略论丛 ▲

碳排放约束下我国能源效率的 区域差异及节能指标分解研究



中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

碳排放约束下我国能源效率的区域差异及节能指标分解研究/杨骞著. —北京: 经济科学出版社, 2016. 5
(转型时代的中国财经战略论丛)
ISBN 978 - 7 - 5141 - 6924 - 9

I. ①碳… II. ①杨… III. ①能源效率 - 研究 - 中国 IV. ①F206

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 102187 号

责任编辑: 柳 敏 李晓杰
责任校对: 徐领柱
版式设计: 齐 杰
责任印制: 李 鹏

碳排放约束下我国能源效率的区域差异及节能指标分解研究

杨 骞 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 010 - 88191217 发行部电话: 010 - 88191522

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http://jjkxchs. tmall. com](http://jjkxchs.tmall.com)

北京季蜂印刷有限公司印装

710 × 1000 16 开 13.25 印张 220000 字

2016 年 6 月第 1 版 2016 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 6924 - 9 定价: 39.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010 - 88191502)

(版权所有 侵权必究 举报电话: 010 - 88191586)

电子邮箱: [dbts@ esp. com. cn](mailto:dbts@esp.com.cn))

总序

转型时代的中国财经战略论丛

《转型时代的中国财经战略论丛》(以下简称《论丛》)是山东财经大学“特色名校工程”建设的特色项目和重要成果,也是经济科学出版社与山东财经大学合作推出的系列学术专著出版计划的一部分,更是山东财经大学近年来致力于学术兴校战略一批青年学者在经济和管理研究方面的部分成果汇报。

山东财经大学是一所办学历史悠久、财经特色鲜明、综合实力突出,在国内外有一定影响的普通高等财经院校。学校于2011年由原山东经济学院和原山东财政学院合并组建而成。2012年成功实现财政部、教育部、山东省人民政府三方共建。2013年获得博士学位授予权,并入选山东省“省部共建人才培养特色名校立项建设单位”。山东财经大学还是中俄经济类大学联盟创始高校之一、中国财政发展2011协同创新中心和会计改革与发展2011协同创新理事单位。学校的发展为教师从事科学研究创造了良好环境和宽广平台。近年来,学校以建设全国一流财经特色名校为目标,深入实施“特色名校工程”,大力推进改革创新,学校发展平台拓宽,办学层次提高,综合实力增强,社会声誉提升,学校进入了内涵发展的新阶段。为推进“特色名校工程”建设,学校修订了科研成果认定和奖励制度,完善了科研评价与激励机制,同时实行“优秀青年人才特殊支持计划”和“青年教师境外研修计划”等,为青年教师脱颖而出和学术成长提供了政策保障。

随着经济全球化、区域一体化、文化多样化深入发展,新一轮科技革命和产业变革蓄势待发,我国经济发展进入新常态,但发展方式粗放、创新能力不强、资源环境约束加大等不平衡、不协调、不可持续问题依然突出,迫切需要更多依靠创新驱动谋求转型发展的出路。为了应

对当今世界的深刻变革，我国启动了“双一流”建设，对财经学科发展提出了严峻挑战，同时又面临难得的机遇。作为以经管学科为主的财经类大学，如何坚持科研服务社会、服务人才培养的方向，主动适应实施创新驱动战略的要求，自觉对接国家和区域重大战略需求，充分发挥在经济和管理研究领域的优势，为国家和区域经济社会发展提供更大智力支持、培养更多高质量人才，一直是财经类大学更好履行使命的重要职责。《论丛》的出版，从某种程度上应和了这种趋势和需求，同时，展现了山东财经大学“特色名校工程”的建设成效和进展，对激励学者潜心研究、促进学术繁荣发展、加强对外学术交流和扩大学校社会影响具有重要推动作用。

作为山东财经大学从事财经教育和人文社科研究的青年学者，都要积极应对和研究时代赋予的重大命题，以求是创新的精神风貌，遵循科研规律，坚持教研相长，长于独立思考，善于团结协作，耐得住寂寞，放得下功利，才能不断推进学术创新，勇攀科学高峰，孕育无愧于时代的精品力作，努力成为社会科学创新的新生力量。

《论丛》的出版凝结了山东财经大学青年学者的心血和汗水，尽管可能存在一些不足，但是正如哲人所言“良好的开端就成功了一半”。相信只要青年学者们持之以恒，不辍耕耘，必能结出更加丰硕的成果。伴随着中国经济发展、改革和转型步伐的加快，我们期待着有更多更好的学术成果问世！真诚欢迎专家、同行和广大读者批评指正。

山东财经大学校长



2016年5月17日

前 言

转型时代的中国财经战略论丛

能源是人类生存与发展的重要物质基础，攸关国计民生和国家安全。面对能源消费需求的持续刚性增长，以及能源消费中二氧化碳(CO₂)排放的日趋增多，如何在碳排放约束下提升能源效率已成为亟待解决的问题之一。我国地域广阔，不同地区经济发展水平、资源禀赋、能源结构等方面的差异性，导致了能源效率在地区间存在一定差异。尽管“十二五”规划已经制定了明确的节能减排目标，但从现实的实施情况来看，目前节能减排目标实现的困境，重点在于缺乏对节能指标进行合理分解的依据。而合理的节能指标区域分解，必须建立在对我国能源效率分布特征的精确掌握之上。基于上述背景，本书将碳排放约束纳入到能源效率的测度框架中，在测度我国分省及地区能源效率的基础上，对我国能源效率的区域差异特征及节能指标分解进行实证研究。研究内容及主要结论如下：

第一，碳排放约束下全要素能源效率的测度。基于非期望产出SBM-DEA模型，将“全要素能源效率”纳入到“碳排放”约束之下进行测算。选择地区生产总值作为期望产出，CO₂排放作为非期望产出，资本、劳动和能源消费作为投入要素，较为精确地度量了我国分省能源消费松弛量。采用“目标值/实际值”的全要素能源效率测度思想，测算了1995~2011年我国分省及地区全要素能源效率。根据测度结果，上海、福建、广东、海南、江苏、浙江等省份的能源效率较高；宁夏、山西、贵州、青海、甘肃、内蒙古等省份的能源效率较低。两大地区中，沿海地区优于内陆地区。四大地区中，东部地区能源效率最高，其次是中部和东北地区，西部地区能源效率最低。八大地区中，南部沿海地区能源效率最高，其次依次是东部沿海、长江中游、北部沿

海、东北地区、西南地区、黄河中游，西北地区能源效率最低。

第二，能源效率的区域差异分析。运用 GIS 可视化方法、Dagum 基尼系数、Kernel 密度估计以及 Markov 链方法等全面考察了我国能源效率的区域差异特征及分布动态演进趋势。研究发现，我国能源效率分布存在显著的空间非均衡特征，呈现从东南沿海到内陆递减的分布态势。区域间差异对我国能源效率总体差异贡献最大，且存在上升态势；超变密度和区域内差异的贡献率呈现不同程度下降。从能源效率的区域内差异看，中部地区能源效率差异最大，东北能源效率差异最小。从能源效率的区域间差异来看，东部与西部能源效率的差异最大，西部与东北地区能源效率的差异最小。Kernel 密度估计研究表明，我国能源效率的区域差异呈现缩小态势。Markov 链分析表明，不同能源效率状态的组间流动性较低，我国能源效率总体上向着中高和高水平的趋势发展。

第三，能源效率的收敛性检验。运用多种收敛检验方法对我国能源效率的 σ -收敛、 β -收敛和随机收敛进行实证检验。研究发现，全国层面能源效率在样本期间呈现 σ -收敛、 β -绝对收敛、 β -条件收敛及随机发散。由此表明，我国能源效率差异在不断缩小，然而一旦面临较大的外在冲击，能源效率差异可能被扩大。东部地区能源效率收敛情况与全国层面相同。中部地区能源效率呈现 β -条件收敛，但未呈现 σ -收敛、 β -绝对收敛及随机收敛。西部地区能源效率呈现 β -绝对收敛和 β -条件收敛，但未呈现 σ -收敛及随机收敛。因此，对于中部和西部地区，政府应根据其发展阶段及特征实施相关政策手段，加快中部和西部地区能源效率的收敛，同时谨防外在冲击对收敛的负面影响。

第四，区域能源效率的影响因素研究。考虑影响能源效率的经济发展因素、结构因素、技术进步因素、制度因素以及其他因素（城市化、贸易开放、政府控制力），构建经典计量模型和空间计量模型，对我国区域能源效率影响因素进行实证检验。研究发现，产业结构是影响能源效率的最重要因素，因此进一步调整及优化产业结构是提升能源效率的关键所在。经济发展水平对于能源效率具有显著的促进作用。加大优化能源结构的力度，降低煤炭消费比重，提高优质能源消费比重，是提升能源效率的有效选择。技术进步对能源效率提升具有一定促进作用，但要注意避免“回弹效应”。此外，对外开放对我国及三大地区能源效率均具有正向影响“污染天堂”假说在我国并不成立。

第五，区域节能潜力评估及节能指标分解。分别以全国最优能源利用和区域最优能源利用作为标准，评估我国分省及三大地区能源效率提升潜力和能源消费节约潜力；结合以上两种潜力，从理论和现实角度对各个省份进行分类，并对不同类别的省份制定了差别化的节能指标。研究发现，以全国最优能源利用作为标准时，全国能源效率的提升潜力为25.77%；西部地区能源效率提升潜力最大，能源消费节约潜力居中；中部地区能源效率提升潜力居中，能源消费节约潜力最大；东部地区能源效率提升潜力最小，能源消费节约潜力最小。以区域最优能源利用水平作为标准时，全国能源效率提升潜力为16.07%；西部地区能源效率提升潜力最大，能源消费节约潜力最小；东部地区能源效率提升潜力居中，能源消费节约潜力最大；中部地区能源效率提升潜力最小，能源消费节约潜力居中。从理论角度，应制定最高强度节能政策目标的省份包括：辽宁、河南、四川、内蒙古、山西、河北。从现实角度，可以制定最高强度节能政策目标的省份包括：东部的河北、中部的山西、西部的贵州、云南和甘肃。

最后，本书在研究结论基础上，针对缩减能源效率区域差异、提升我国能源效率、实现节能减排目标、节能减排激励机制设计等问题提供了相应政策启示。我们认为，（1）缩减我国能源效率区域差异，仅凭借能源效率的自动收敛是无法实现的，政府需采取相应举措促进与加快能源效率的收敛，特别是要不断减小东部与西部能源效率之间的差异，此外还需防范不利的外在冲击对能源效率收敛的破坏影响。（2）加快优化与升级产业结构，特别是工业内部结构，发挥产业结构调整对我国能源效率促进作用；继续加强能源领域技术交流，加大对能源领域研发支持；加快推进我国市场化、城市化进程，提升我国能源效率。（3）节能指标的分解，首先应建立在对地方节能潜力科学评估的基础上，其次应充分考虑区域发展水平及特征的差异，此外还应重视节能量目标的分配。（4）建立有效的节能减排激励机制，需改变传统的地方政府政绩观念，取消GDP考核指标；理顺能源价格信号，引导企业有效配置能源；尽快修订与完善相关法律法规，切实做到有法可依。

杨 骞

2016年5月3日

目 录

转型时代的中国财经战略论丛

第1章 导论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 能源效率相关问题述评	5
1.3 研究方法	9
1.4 研究内容及框架	10
1.5 创新点	13
第2章 碳排放约束下我国能源效率的测度	15
2.1 能源效率的评价指标	15
2.2 全要素能源效率的测算思路	17
2.3 全要素能源效率的 DEA 测算方法	19
2.4 能源效率的测算结果及分析	25
2.5 不同测算方法下的结果比较	44
2.6 本章结论	47
第3章 我国能源效率的区域差异与动态演进	48
3.1 相关研究综述	48
3.2 我国能源效率空间分布的基本特征	49
3.3 我国能源效率区域差异的测度及分解	54
3.4 我国能源效率的分布动态演进	62
3.5 本章结论及启示	71

第4章	我国区域能源效率的收敛性检验	73
4.1	相关研究综述	73
4.2	测度结果的初步描述	75
4.3	我国区域能源效率的 σ -收敛检验	76
4.4	我国区域能源效率的 β -收敛检验	80
4.5	我国区域能源效率的随机收敛检验	86
4.6	本章结论及启示	97
第5章	我国区域能源效率的影响因素研究	100
5.1	文献梳理及分析	100
5.2	影响因素的数据来源及处理	108
5.3	能源效率影响因素的实证检验I: 基于经典计量模型	110
5.4	能源效率影响因素的实证检验II: 基于空间计量模型	119
5.5	本章结论及启示	132
2 第6章	我国地区节能潜力评估及节能指标分解	136
6.1	引言	136
6.2	相关研究综述	138
6.3	地区节能潜力测算	140
6.4	根据节能潜力和节能规模的省份分类	153
6.5	本章结论及启示	160
第7章	研究结论与政策启示	163
7.1	主要研究结论	163
7.2	对我国区域节能政策的若干启示	166
7.3	未来进一步研究的问题	172
参考文献		174
附表1	分省市单要素能源效率测度结果	185
附表2	区域单要素能源效率测算结果	187

附表 3	分省市区全要素能源效率测算结果： 基于 CRS - DEA 模型	188
附表 4	区域全要素能源效率测算结果：基于 CRS - DEA 模型	190
附表 5	分省市区全要素能源效率测算结果：基于方向性 距离函数模型	191
附表 6	区域全要素能源效率测算结果：基于方向性 距离函数模型	193
附表 7	分省市区全要素能源效率测算结果：基于非期望 产出 SBM - DEA 模型	194
附表 8	区域全要素能源效率测算结果：基于非期望 产出 SBM - DEA 模型	196
后记		197

第 1 章 导 论

1.1 研究背景及意义

作为现代经济增长的重要投入要素之一，能源对经济增长起着决定性作用。随着工业化、城镇化进程的持续加快，我国能源需求呈现刚性增长态势（如图 1-1 所示）。据《BP 世界能源统计年鉴 2012》数据显示，2011 年我国一次能源消费量占全球一次能源消费总量的 21.3%，位居全球首位。尽管能源生产也相应增长（如图 1-2 所示），但能源生产愈发不能满足能源需求，能源供求缺口日益加大（如图 1-3 所示），供求矛盾日益加剧。为了节约能源，实现国民经济长远可持续性发展，我国政府将“提升能源效率”作为国民经济和社会发展的约束性指标纳入国家经济和社会发展的战略规划。“十一五”时期，我国政府首次提出单位国内生产总值能耗下降 20% 左右的约束性节能目标，并按照地方进行了节能指标分解。“十二五”时期，我国政府进一步明确 2015 年全国单位国内生产总值（GDP）能耗要比 2010 年下降 16%，并将各地区节能目标分为五类标准。此外，还首次提出“能源消费总量和能源消耗强度双控制”的实施目标，将能源消费总量 40 亿吨标煤作为上限。

能源资源的消耗往往伴随着污染物的排放。长期以来，我国的能源消费过分依赖煤炭、石油和天然气等传统化石能源，其中煤炭占能源消费总量的比重持续维持在 75% 左右。尽管近年来新能源开发已取得一定进展，但现行的能源消费仍带来了日益严重的环境污染。作为全球性环境污染物，以二氧化碳（CO₂）为主要代表的温室气体排放得到了国

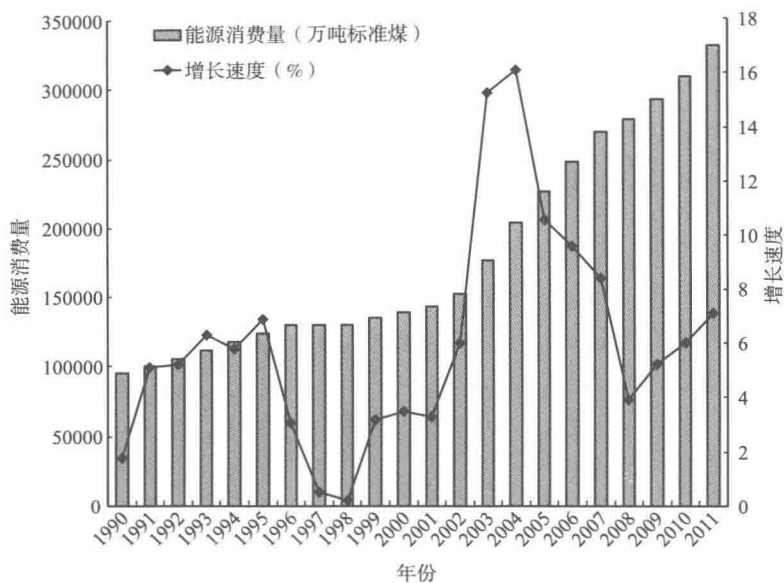


图 1-1 我国能源消费需求状况及趋势

资料来源：根据《2012 年中国能源统计年鉴》绘制。

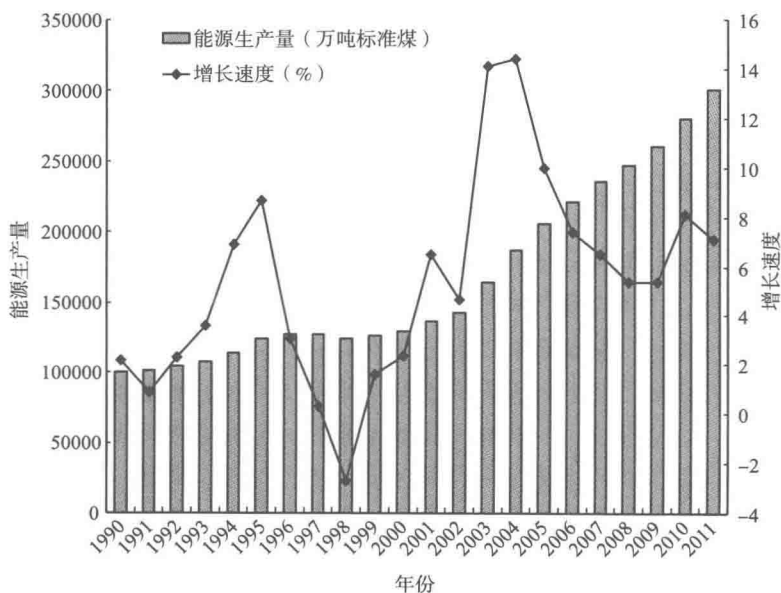


图 1-2 我国能源生产状况及趋势

资料来源：根据《2012 年中国能源统计年鉴》绘制。

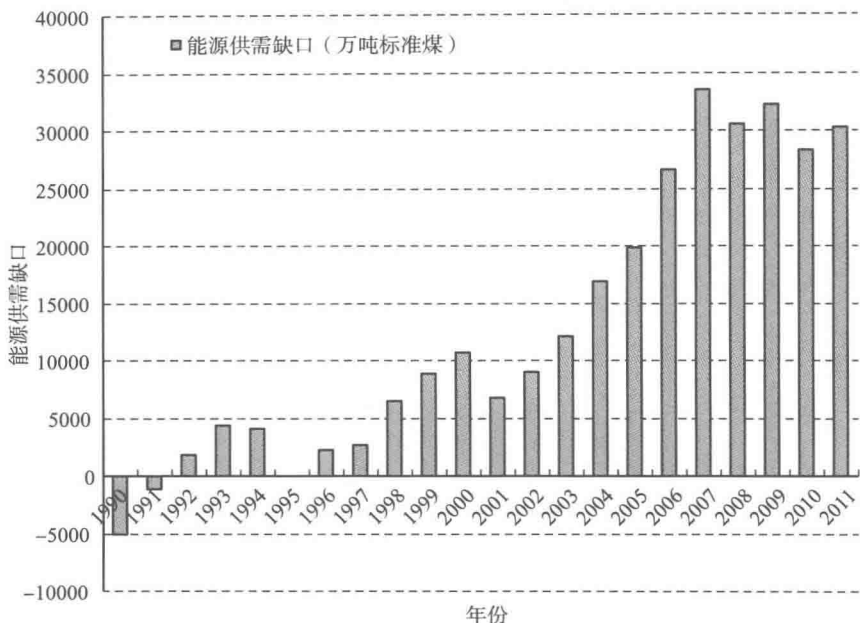
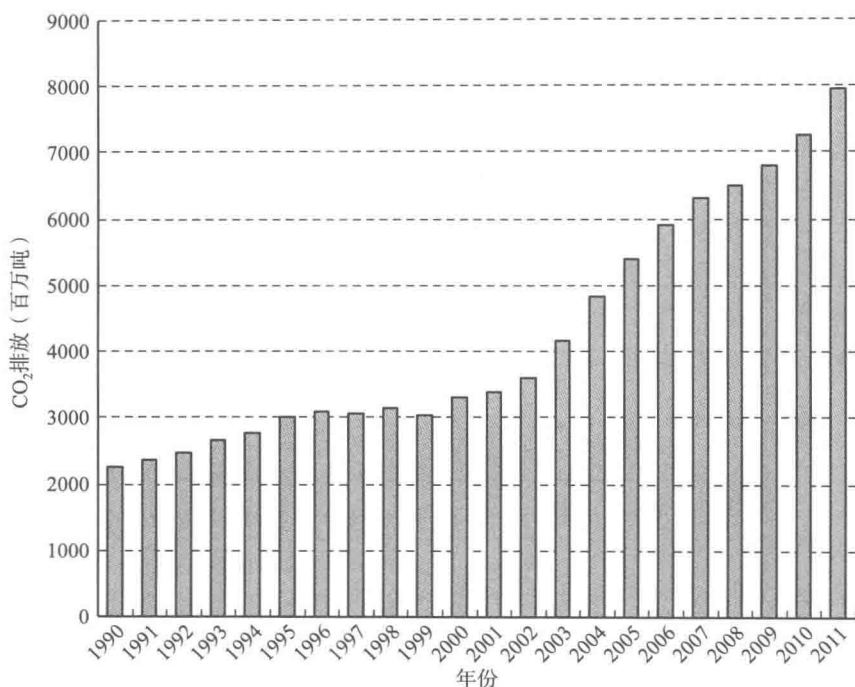


图 1-3 我国能源供求缺口

资料来源：根据《2012 年中国能源统计年鉴》绘制。

际社会的广泛关注。根据 IEA (2009) 的统计, 2007 年我国 CO_2 排放量已超过美国, 成为全球 CO_2 排放量最多的国家。截至 2011 年, 我国 CO_2 排放总量已经接近 80 亿吨 (如图 1-4 所示)。作为一个负责任的发展中国家, 早在 2009 年哥本哈根世界气候大会上, 我国政府就已向全世界郑重承诺, 2020 年中国单位 GDP 二氧化碳排放要比 2005 年下降 40% ~ 45%。“十二五”时期, 我国政府进一步制定了“全国单位 GDP 二氧化碳排放要比 2010 年下降 17%”的减排目标。

面对能源消费需求的持续刚性增长, 以及能源消耗中 CO_2 排放的日趋增多, 如何在 CO_2 排放约束下提升能源效率已成为亟待解决的问题之一。我国地域广阔, 不同地区经济发展水平、能源结构、资源禀赋等方面的差异性, 导致了能源效率在地区间也存在一定差异。尽管“十二五”规划已制定明确的节能减排目标, 但从现实情况来看, 目前节能减排目标实现的困境, 重点在于缺乏对节能指标进行合理分解的依据。而合理的节能指标区域分解依据, 必须建立在对我国能源效率区域分布特征的精确掌握之上。基于以上背景, 本书将碳排放约束纳入到能源效率

图 1-4 我国 CO₂ 排放总量的演变趋势

资料来源：国际能源署（IEA）。

的测度框架中，将 CO₂ 排放作为非期望产出，将地区生产总值作为期望产出，将资本、劳动和能源消费作为投入要素，采用基于非期望产出的 SBM-DEA 模型测度 1995~2011 年我国省际全要素能源效率；运用多种区域差异分析工具和收敛检验方法，实证考察我国能源效率的区域差异特征及其演变规律；在此基础上，构建面板数据计量模型对区域能源效率的影响因素进行实证检验；并对地区节能潜力进行评估以及对节能指标进行地区分解。本研究的理论价值：一是揭示碳排放约束下我国能源效率的区域分布特征及其动态演变规律；二是揭示碳排放约束下我国区域能源效率的影响因素及其影响效应。本研究的应用价值：一是为碳减排背景下科学分解节能指标、制定差别化的区域能源策略提供决策依据；二是为碳减排背景下区域能源效率的提升以及区域经济的协调与可持续发展提供政策建议。

1.2 能源效率相关问题述评^①

1.2.1 能源效率的指标及测算

根据考察要素的多寡,能源效率可分为单要素能源效率(Partial Factor Energy Efficiency, PFEE)和全要素能源效率(Total Factor Energy Efficiency, TFEE)两类指标。其中,单要素能源效率指标(如能耗强度)使用较多。但是由于单要素能源效率将能源作为产出的单一投入要素,从而忽视了其他关键投入要素(如资本和劳动),因此在实际研究中存在较大局限(Wilson et al., 1994; Patterson, 1996; 杨红亮和史丹, 2008)。而全要素能源效率指标则考虑了能源、资本、劳动等投入要素的相互替代性以及它们对产出要素的共同影响,在揭示一个地区资源禀赋对能源效率的影响方面更具优势。

自胡和王(Hu & Wang, 2006)开创性地提出全要素能源效率指标以来,借助数据包络分析(DEA)工具和方法,越来越多的文献转向了全要素能源效率。在Hu和Wang(2006)之后,全要素能源效率的测度出现了两个方面的改进:其一是将生产过程中的污染排放物作为非期望产出(undesirable output)纳入到DEA模型中,从而使得测度方法更加符合现实生产过程(Zhou & Ang, 2008)。其二是测度方法从径向转向非径向。与径向方法不同,非径向方法允许投入要素和产出变量按不同的比例缩减。目前,2001年由托恩(Tone, 2001)提出的SBM(slacks-based measure)方法是应用最广泛的非径向方法,此后托恩(Tone, 2003)、周等(Zhou et al., 2006)将非期望产出纳入到SBM模型中从而对托恩(2001)的基础模型进行了拓展。目前基于非期望产出SBM-DEA模型测度全要素能源效率的研究相对较少,部分的原因是SBM-DEA的基准模型是非线性规划模型,因此在应用中必须将其转化为等价的线性规划模型,这在一定程度上限制了SBM模型的应用。从研究进展

^① 关于文献研究进展,在后面相应章节将更加详细地进行综述。

看,目前学术界多采用传统的DEA方法对全要素能源效率进行测算(Hu & Wang, 2006; 魏楚和沈满洪, 2007、2008; 李国璋等, 2009),大多数在测算时仅考虑到合意产出,而忽略了能源消耗过程中的CO₂排放。

1.2.2 能源效率的区域差异

在对我国能源效率区域差异的研究中,大多数采用的是单要素能源效率指标(史丹等, 2006、2008; 齐绍州等, 2007),一般认为我国能源效率呈现明显的“东高西低”现象(屈小娥, 2009)。然而,这些研究多是停留在描述层面(胡宗义等, 2011),在考虑碳排放约束条件下,对全要素能源效率的区域差异进行测度、分解及收敛性检验等方面的定量研究还较少。

在关于我国能源效率区域差异程度的文献中,史丹等(2008)利用Theil指数(泰尔指数)测算了我国能源效率的区域差异并进行了地区分解。然而,她们所使用的能源效率指标属于单要素指标,且Theil指数仅仅考虑了子样本的不同,而没有考虑到子样本的分布状况(Dagum, 1997a, b),因此,Theil指数无法刻画地区之间能源效率存在交叉重叠的情况。戴格姆(Dagum, 1997a)提出的基尼系数及其分解方法,不仅可以衡量能源效率的总体区域差异,而且可以将总体区域差异分解为区域内差异、区域间差异和超变密度三个部分,其中超变密度就是用来测度地区能源效率交叉重叠的重要分解项。因此,相比Theil指数,Dagum基尼系数及其分解方法在研究我国能源效率区域差异时更具有优势。

关于我国能源效率的收敛性问题,大量学者进行了有益的探索(师博和张良悦, 2008; 李国璋和霍宗杰, 2009; 史丹等, 2008; 汪克亮等, 2012; 王维国和范丹, 2012; 魏楚和沈满洪, 2007; 徐盈之和管建伟, 2011; 袁晓玲等, 2009; 赵金楼等, 2013)。从收敛类型上看,已有研究所考察的能源效率收敛类型仍不完整,收敛检验方法仍较为单一。例如,魏楚和沈满洪(2007)、汪克亮等(2012)以及袁晓玲等(2009)仅进行了 σ -收敛检验; 王维国和范丹(2012)、徐盈之和管建伟(2011)仅进行了 β -收敛检验。在已有研究中,仅有史丹等(2008)采用了核密度方法刻画了中国能源效率的分布及演进趋势,同时仅有赵金楼等(2013)进行了随机收敛检验。此外,由于在能源效率指