

◎北京市高创计划教学名师项目资助

中国碳排放 影响因素研究

——基于能源消费的视角

王永哲 马立平 ◎ 著

一、引言
随着全球气候变暖问题的日益严峻，碳排放已成为国际社会关注的焦点。中国作为世界上最大的发展中国家，其碳排放总量位居全球第二。深入研究中国碳排放的影响因素，对于制定科学的减排政策、实现碳达峰和碳中和目标具有重要意义。本文从能源消费的视角出发，探讨中国碳排放的影响因素，旨在为政策制定提供理论支持和数据参考。

二、文献综述
国内外学者对中国碳排放的影响因素进行了广泛的研究。国内学者主要从产业结构、能源结构、技术进步等方面进行了探讨。国外学者则更多地从经济全球化、贸易开放等角度进行了分析。本文在综合前人研究的基础上，结合中国实际情况，从能源消费的视角进行深入研究。

三、研究方法与数据来源
本文采用定量研究方法，通过构建碳排放影响因素模型，分析能源消费对中国碳排放的影响。数据来源于国家统计局、生态环境部等相关机构发布的公开数据。模型构建采用多元回归分析方法，通过控制其他变量，单独考察能源消费对碳排放的影响。

四、实证分析
通过实证分析发现，能源消费对中国碳排放具有显著的正向影响。随着能源消费量的增加，碳排放总量也随之增加。此外，能源结构的优化、能源效率的提高等因素也会对碳排放产生影响。本文进一步分析了不同能源消费结构下的碳排放变化，为优化能源消费结构提供了依据。

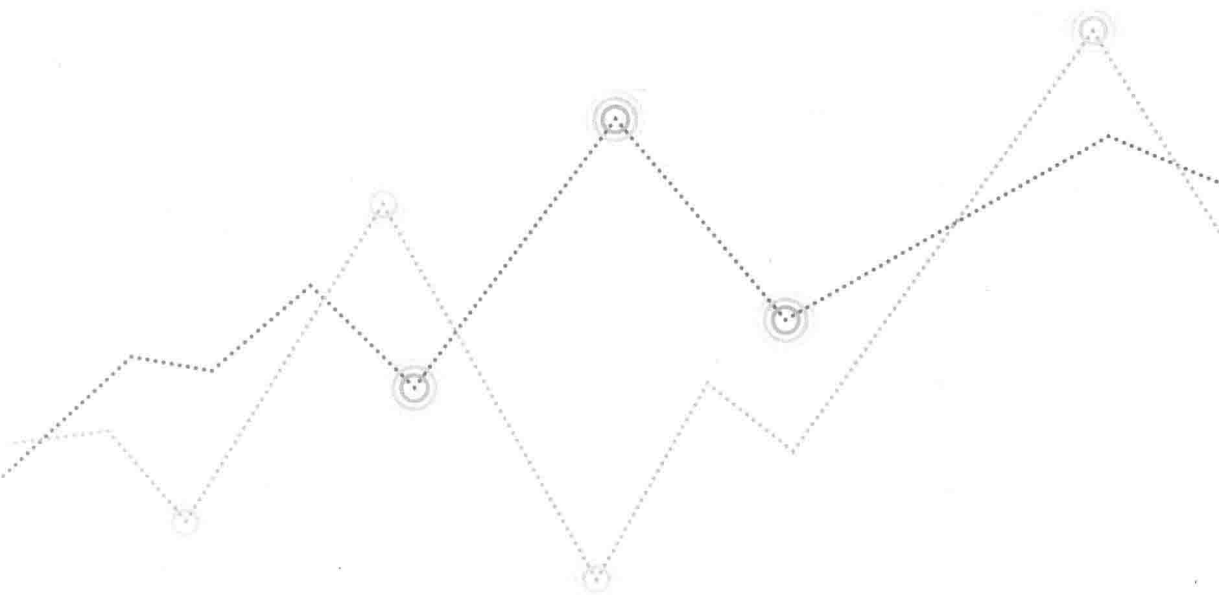
五、结论与政策建议
本文的研究结果表明，能源消费是影响中国碳排放的关键因素。为了实现碳达峰和碳中和目标，必须从能源消费入手，采取有效措施减少碳排放。政策建议包括：优化能源结构，提高清洁能源比重；加强能源管理，提高能源利用效率；推动产业结构调整，降低高耗能产业比重；加大科技研发投入，提高能源技术水平。

◎北京市高创计划教学名师项目资助

中国碳排放 影响因素研究

——基于能源消费的视角

王永哲 马立平 ◎ 著



 首都经济贸易大学出版社
Capital University of Economics and Business Press

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

中国碳排放影响因素研究: 基于能源消费的视角/王永哲, 马立平著. -- 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2018. 4

ISBN 978 - 7 - 5638 - 2748 - 0

I. ①中… II. ①王…②马… III. ①二氧化碳—排气—影响因素—研究—中国 IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 000704 号

中国碳排放影响因素研究——基于能源消费的视角

王永哲 马立平 著

责任编辑 洪 敏

封面设计



砚祥志远·激光照排

TEL: 010-65976003

出版发行 首都经济贸易大学出版社

地 址 北京市朝阳区红庙 (邮编 100026)

电 话 (010) 65976483 65065761 65071505 (传真)

网 址 <http://www.sjmcb.com>

E-mail publish@cueb.edu.cn

经 销 全国新华书店

照 排 北京砚祥志远激光照排技术有限公司

印 刷 北京九州迅驰传媒文化有限公司

开 本 710 毫米×1000 毫米 1/16

字 数 173 千字

印 张 10.25

版 次 2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5638 - 2748 - 0/X · 19

定 价 35.00 元

图书印装若有质量问题, 本社负责调换

版权所有 侵权必究

前 言

自 19 世纪工业革命以来,二氧化碳等温室气体排放量的急剧增加所引起的温室效应造成全球气候恶化问题,且这一问题已成为严重威胁自然生态环境,以及人类生活环境和经济发展的重大的全球性问题之一。二氧化碳等温室气体的排放主要来自于能源的消费与利用,而能源是一国社会经济发展的要素之一,因此,节能减排以减缓全球气候恶化不仅是环境问题,同时也是重要的经济问题。这个问题已经得到世界各国的重视和研究,成为全球共同关注的焦点之一。中国经过 40 年的改革开放,其经济发展取得了令全世界瞩目的成就,然而,高能源投入和低利用效率导致中国在高速工业化发展的同时,也带来了一系列日益突出的能源问题和环境问题。作为能源消费和碳排放大国,中国已开始高度重视全球气候变暖问题。中国政府在 2009 年哥本哈根世界气候大会上提出明确的减排目标,承诺到 2020 年实现单位 GDP 碳排放比 2005 年下降 40% ~ 50%,并将其作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划中。2014 年将“应对全球气候变化及绿色低碳发展”作为中国“十三五”规划前期的重大研究课题之一。因此,系统地研究中国能源消费碳排放的影响因素,进而提出有针对性的碳减排政策和措施,具有十分重要的理论和现实意义。

本书在对国内外众多学者研究成果进行梳理和总结的基础上,综合运用环境经济学、能源经济学、宏观经济学和区域经济学等理论与各种统计研究方法,分别从总体水平、产业层次、区域层次的角度,对中国能源消费碳排放影响因素进行了深入分析和较为系统的研究。本书开展的主要工作包括四部分。

第一,分析中国能源消费的特征与变化趋势,指出中国 20 年来各项节能政策措施的有效实施,带来了科学技术水平和能源利用效率一定程度的提高,但仍存在进一步提高的空间;采用《2006 年 IPCC 国家温室气体指南》提供的方法,测算中国能源消费碳排放量并对其进行特征和变化趋势分析,然后对中国碳排放水平进行国际比较;采用灰色系统预测模型中的 GM (1, 1) 模型,对中国能源消费人均碳排放量和碳排放强度进行了预测,并围绕人均碳排放展开影响因素研究。

第二,引入非线性格兰杰 (Granger) 因果检验方法,并建立中国能源消费

人均碳排放影响因素分析的二次项具体 STIRPAT 模型。在国内外众多学者研究的基础上,将人口城市化作为重要的人口因素纳入传统的可拓展随机环境影响评估(STIRPAT)模型并对其进行了改进,从作用机理理论角度详细分析了改进的 STIRPAT 模型所包括的碳排放影响因素,即能源消费强度、能源消费结构、产业结构、经济发展水平、人口规模和人口城乡结构因素,是如何对碳排放产生影响的。使用目前在国内研究,尤其是能源和碳排放研究领域应用较少的非线性格兰杰因果检验中的 D-P 检验,构建“线性格兰杰因果检验—非线性动态变化趋势检验—非线性格兰杰因果检验”的检验框架,对中国能源消费人均碳排放与相关影响因素间的具体关系进行检验,并根据检验结果和判定结论,建立经典线性模型、二次项模型和三次项模型进行估计与比较,得出只有二次项模型与实际情况基本相符,能够反映出各相关因素对中国能源消费人均碳排放产生影响的基本实情。同时,使用邓氏灰色关联度分析方法实证验证分析结论,证明本书的理论分析、实证检验与分析结果符合中国能源消费碳排放的实际情况,从而为后文分别从产业层次和区域层次角度构建具体模型,对中国能源消费人均碳排放影响因素进行研究提供必要的理论基础和模型构建基础。

第三,广义费雪指数模型扩展。人口城市化作为碳排放影响因素已得到众多学者研究的认可,但尚未纳入广义费雪指数(GFI)分析。本研究在从总体水平角度对碳排放影响因素进行统计分析和实证检验得出结论的基础上,对约翰(Johan)恒等式所涵盖的影响因素进行扩展,将昂等(Ang et al., 2004)提出的广义费雪指数法由四因素分析扩展为五因素分析,即将人口城市化作为一个重要影响因素纳入广义费雪指数分析。同时,对约翰恒等式在产业层次分析方面进行扩展,与广义费雪指数方法相结合,建立中国能源消费人均碳排放因素分解模型,并利用相关数据定量分析了产业能源消费结构、产业能源消费强度、产业结构、经济发展和人口城市化五因素对中国能源消费人均碳排放变化的影响。该模型可以更加细化碳排放的相关影响因素,从产业能源消费结构和产业结构的调整与优化、产业能源效率的提高、人口结构影响等方面为碳减排提供科学决策依据。灰色关联度的实证分析验证了广义费雪指数因素分解分析的实证分析结论,从而说明由四因素扩展为五因素分析的广义费雪指数因素分解方法,从产业层次角度分析各影响因素对中国能源消费人均碳排放的贡献率。

第四,在能源消费碳排放研究领域将具体空间面板模型向非线性形式进行扩展应用研究。基于面板数据展关于中国省域能源消费碳排放的空间回归研究,以改进的 STIRPAT 模型——二次项模型为基础,设定空间面板数据模型。利用

中国能源消费人均碳排放及其影响因素指标的相关数据，进行各类相关检验，并根据各类检验结果选择具体模型进行估计和溢出效应分析，证实了中国省域能源消费人均碳排放之间存在的空间相关性，通过直接效应与间接效应分析，实证考察了各影响因素对人均碳排放的影响。然后通过地理加权回归模型分析，进行了中国省域能源消费碳排放的空间异质性研究。研究结论表明，能源消费人均碳排放在中国各区域间存在着显著的差异性，且各影响因素对人均碳排放的影响亦均表现出显著的区域差异性。

目 录

1 绪论	1
1.1 问题的提出与研究意义	1
1.1.1 问题的提出	1
1.1.2 研究意义	3
1.2 国内外研究综述	4
1.2.1 能源消费与碳排放问题研究综述	4
1.2.2 方法论综述	6
1.3 研究内容与主要方法	12
1.3.1 研究内容及结构安排	12
1.3.2 研究方法	13
1.3.3 技术路线图	13
1.4 主要创新点	14
2 中国能源消费及其碳排放特征与趋势分析	16
2.1 中国能源消费特征分析	16
2.1.1 中国能源消费结构特征与趋势分析	16
2.1.2 中国能源消费强度分析	22
2.1.3 中国能源消费弹性系数分析	24
2.2 中国能源消费碳排放测算与分析	26
2.2.1 碳排放的相关概念	26
2.2.2 中国能源消费碳排放的测算分析	29
2.2.3 中国碳排放水平国际比较	38
2.2.4 中国能源消费碳排放 GM (1, 1) 模型预测	43
2.3 本章小结	49
3 中国能源消费碳排放影响因素研究	50
3.1 碳排放影响因素分析的理论基础	50
3.1.1 改进的可拓展随机环境影响评估模型	50
3.1.2 碳排放影响因素的作用机理分析	51
3.2 碳排放与其影响因素间的关系研究	53

3.2.1	线性格兰杰因果检验	53
3.2.2	非线性动态变化趋势检验	54
3.2.3	非线性格兰杰因果检验	56
3.2.4	实证研究结果及分析	58
3.3	基于二次项模型的碳排放影响因素实证分析	64
3.3.1	模型建立	64
3.3.2	实证分析结果	65
3.4	碳排放影响因素的灰色关联分析验证	71
3.4.1	邓氏灰色关联分析	72
3.4.2	数据指标的选取与实证比较分析	72
3.5	本章小结	73
4	中国能源消费碳排放因素分解分析	75
4.1	因素分解分析方法	75
4.1.1	结构分解分析方法	75
4.1.2	指数分解分析方法	76
4.1.3	广义费雪指数分解方法	76
4.2	中国能源消费碳排放影响因素分解分析	76
4.2.1	广义费雪指数模型分解	76
4.2.2	扩展的约翰恒等式	77
4.2.3	能源消费碳排放影响因素的广义费雪指数 (GFI) 分解	78
4.2.4	实证分析	79
4.3	碳排放因素分解分析的灰色关联验证	87
4.3.1	数据指标的选取	87
4.3.2	邓氏灰色关联分析	87
4.4	本章小结	89
5	中国能源消费碳排放省域间影响研究	90
5.1	基于面板数据的能源消费碳排放空间回归研究	90
5.1.1	空间计量模型设定——空间面板数据模型	90
5.1.2	空间权重矩阵构建与选择	95
5.1.3	空间面板数据模型选择	102
5.1.4	空间效应选择	104
5.1.5	直接效应和间接效应分析	107
5.2	能源消费碳排放的空间异质性研究	111

5.2.1 地理加权回归模型	111
5.2.2 省域能源消费人均碳排放空间差异分析	112
5.2.3 省域能源消费人均碳排放地理加权回归模型分析	114
5.3 本章小结	119
6 结论与政策建议	121
6.1 研究结论	121
6.2 政策建议	123
6.2.1 完善能源价格机制, 提高低质能源消费成本	124
6.2.2 调整能源消费结构, 推进清洁能源开发与利用	124
6.2.3 大力发展第三产业, 推动产业结构优化升级	125
6.2.4 积极推进技术进步, 提高能源利用效率	125
6.2.5 提高节能环保意识, 合理规划城镇布局	126
参考文献	127
附录1 非线性格兰杰因果检验 (H-J 检验和 D-P 检验) 的 R 语言程序	141
附录2 产业能源消费结构因素广义费雪指数模型分解具体计算 结果算式	149
后 记	151

1 绪论

1.1 问题的提出与研究意义

1.1.1 问题的提出

人类社会经济的发展与进步离不开能源，而对能源的消费和使用又不可避免地带来了污染、温室气体排放等诸多环境问题。受温室效应的影响，气候恶化已成为严重威胁自然生态环境，以及人类生活环境和经济发展的重大的全球性问题之一。自 19 世纪工业革命以来，二氧化碳等温室气体排放量的急剧增加被视为引起全球气候恶化的主要原因。二氧化碳等温室气体的排放主要来自于能源的消费与利用，而能源是一国社会经济发展的要素之一，因此，节能减排以减缓全球气候恶化不仅是环境问题，同时也是重要的经济问题。这个问题已经得到世界各国的重视和研究，成为全球共同关注的焦点之一。1992 年，联合国环境与发展会议通过了旨在全面控制温室气体排放的《联合国气候变化框架公约》，规定发达国家缔约方应采取措施，争取到 2000 年二氧化碳等温室气体排放量维持在 1990 年的水平。缔约国经过谈判，又于 1997 年在日本京都签署《京都议定书》，确定了发达国家缔约方在 2008—2012 年的减排指标，要求其二氧化碳等温室气体排放量在 1990 年的基础上减排 5%，同时确立了联合履约、排放贸易和清洁发展三种实现减排的灵活机制。

2007 年 2 月 2 日，联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）在法国巴黎发布的第四次气候变化评估报告指出，从全球平均温度和海洋温度升高、大范围积雪和冰融化、全球平均海平面上升的观测中可以看出，全球气候系统变暖是毋庸置疑的；许多自然系统正在受到区域气候变化特别是温度升高的影响，区域气候变化对自然环境和人类环境的其他影响正在出现；从 1750 年开始，由于人类活动，大气中的二氧化碳、甲烷、氧化亚氮气体浓度已明显增加，其中占温室气体主要成分的二氧化碳浓度，从工业化前时代的约 280ppm 增加到 2005 年的 379ppm，二氧化碳浓度的增加主要是由于化石燃料的使用；大部分已观测到的全球平均温度升高很可能是由于人为温室气体浓度增加所导致的，可辨别的人类活动影响超出了平均温度的范畴，这些影响已扩展到气候的其他方面；若沿用当前的气候变化减缓政策和相关的可持续发展做法，未来几十年全球温室气体排放

量将继续增长；在一系列《IPCC 排放情景特别报告（SRES）》中的排放情景下，预估未来 20 年地球将以每十年约增加 0.2°C 的速率变暖；气候变化将会对生态系统、粮食生产、海岸带、工业、人居环境、社会、人类健康和淡水系统产生不利影响。

2014 年 11 月 2 日，联合国政府间气候变化专门委员会在丹麦哥本哈根发布《第五次气候变化评估报告》（以下简称《评估报告》）指出，世界各大洲和各个海域均已观测到，人类对气候的影响在不断增强且已显现出气候变化的影响，破坏气候的人类活动越多，其产生的风险也就越大，如果任其发展，持续排放温室气体将会导致气候系统进一步变暖并发生持久的变化，还会增强对人类社会各阶层和自然界造成普遍严重不可逆转影响的可能性。当前有适应气候变化的办法，而实施严格的减缓活动可确保将气候变化的影响保持在可管理的范围内，从而可创造更美好、更可持续的未来。《评估报告》同时提到，当前有多种减缓途径可促使在未来几十年实现大幅减排，大幅减排是将升温限制至 2°C 所必需的，现在实现这一目标的机会大于 66%。然而，如果将额外的减缓拖延至 2030 年，到 21 世纪末要限制升温相对于工业化前水平低于 2°C ，将大幅增加与其相关的技术、经济、社会和体制的挑战。

中国作为世界上最大的发展中国家，经过 40 年的改革开放，其经济发展取得了令全世界瞩目的成就，城市化和工业化进程的速度位居世界首位。1979—2012 年，经济年均增速达到 9.8%，而世界同期年均增速仅为 2.8%；经济总量所占世界份额在 1978 年仅为 1.8%，而到 2012 年提高到 11.5%；人均总收入 1978 年只有 190 美元，到 2012 年达到 5 680 美元。根据世界银行的划分标准，中国收入水平已经达到中上等收入国家水平。然而，在迅速工业化进程中，与之相伴的是能源消耗过快增长、能源效率总体偏低等能源问题，以及由此带来的诸如大气污染、温室效应等环境问题日益突出。根据国际能源署（IEA）的统计，2007 年，中国二氧化碳排放量为 60.71 亿吨，占世界 21%，已经超过美国位居世界首位，并且受经济增长持续性和产业结构调整长期性的影响，中国二氧化碳排放总量还会继续增长。随着后《京都议定书》时代的到来，出于国际社会对中国减排要求的压力，同时更是由于自身可持续发展的需要，中国已开始高度重视全球气候变暖问题，并在近些年为碳减排做了大量工作，取得了一定成效。2009 年，中国政府在哥本哈根世界气候大会上提出明确的减排目标，承诺到 2020 年实现单位 GDP 碳排放比 2005 年下降 40%~50%，并将其作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划中。中国在“十二五”规划中还明确提出了到 2015 年单位 GDP 碳排放比 2010 年下降 17% 的战略目标。2014 年将“应对全球气候变化及绿色低碳发展”，作为中国“十三五”规划前期的重大研究课题之一。2015 年 11 月 3 日，党的十八届五中全会通过的《中共中央关于制定国民

经济和社会发展第十三个五年规划的建议》中指出,推进能源革命,加快能源技术创新,建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系;提高非化石能源比重,加快发展风能、太阳能、生物质能、水能和地热能,安全高效发展核电。2015年11月19日,国家发展和改革委员会发布的《中国应对气候变化的政策与行动2015年度报告》中指出,截至2014年,中国单位GDP二氧化碳排放同比下降了6.2%,与2010年相比累计下降15.8%。

碳减排是实现可持续发展的前提,降低碳排放、遏制全球气候变暖是全球社会经济发展的必然要求,需要世界各国共同做出努力。中国作为能源消费和碳排放大国,应进一步积极主动地研究和有效实施节能减排政策措施,实现经济增长方式的根本变革,在促进经济稳定发展的同时有效实现碳减排和低碳经济。因此,全方位地系统研究和分析中国能源消费碳排放的影响因素,从而制定有针对性的政策和措施,尽快实现节能减排目标,走上低碳经济发展之路是当今的一个重要课题。

1.1.2 研究意义

从目前的社会经济发展看,碳排放问题已经成为我们必须面对的现实问题:一方面,全球气候恶化问题已经成为不断困扰我们的重要课题之一。另一方面,环境可持续发展问题令人担忧。一直以来,以高能源消耗和高碳排放为主的经济模式,导致人类的生存和发展环境不断恶化。中国作为世界上最大的发展中国家,随着城市化和工业化的不断推进,能源消费总量在不断持续上升,且能源消费主要以煤炭为主。根据国际能源署的统计,2007年,中国二氧化碳排放量已经超过美国位居世界首位。无论是出于国际上的压力,还是自身可持续发展的需要,开展节能减排工作、大力发展低碳经济已经成为中国社会经济发展的必然选择。

在社会经济发展过程中,大量消耗化石能源是造成碳排放的最主要原因,并且全球经济的发展在未来的较长时间内,依然会建立在消耗化石能源的基础之上。同时,碳减排在整个社会目前的经济技术条件下是有一定成本的,有可能会影响到国家的经济增长。对于发展中国家来说,发展经济是首要的目标。但已有的实践证明,“先污染、后治理”的模式会对环境和社会发展产生各种不可逆的破坏性影响,因此在当前中国经济快速发展的时期,研究中国碳排放的影响因素,探索有效的节能减排路径,无疑具有极为重要的现实意义。

发达国家在有效实现碳减排和探索低碳经济发展路径方面取得了许多成功经验,并积累了很多理论研究成果。借鉴已有的科学理论和成功实践经验是实现既定目标的有效手段。然而,鉴于中国的经济发展实际以及能源分布和能源消费特

征,不能完全照搬国外的理论与实践经验,需要与中国具体国情相结合,探寻符合中国经济发展实际的切实可行的低碳发展路径。据此采用科学的统计方法和计量方法,全方位地系统研究中国能源消费碳排放的影响因素,进而提出有针对性的碳减排政策和措施,具有重要的理论意义。

1.2 国内外研究综述

1.2.1 能源消费与碳排放问题研究综述

1.2.1.1 碳排放与经济增长关系研究

国外学者关于碳排放与经济增长关系的研究主要围绕二者是否存在环境库兹涅茨曲线(EKC)方面。有些学者的结论是二者间确实存在环境库兹涅茨曲线。比如,格罗斯曼等(Grossman et al., 1991)^[1]通过对42个国家或地区的研究,首次提出了环境库兹涅茨曲线,指出环境质量与经济增长呈“倒U”形关系。纳约特(Panayotou, 1993)^[2]和施马兰西等(Schmalensee et al., 1998)^[3]证实了经济增长与环境质量存在环境库兹涅茨曲线。科尔(Cole, 2003)^[4]分析得出人均收入与碳排放存在环境库兹涅茨曲线,然而人均收入最高的国家尚未达到环境库兹涅茨曲线转折点的收入水平。黄等(Huang et al., 2008)^[5]通过研究发现,21个经济发达国家中有7个国家的温室气体排放与其GDP之间存在“倒U”形关系的环境库兹涅茨曲线。有些学者则认为碳排放与经济增长之间并不呈环境库兹涅茨曲线。比如,沙菲克等(Shafik et al., 1992)^[6]通过对149个国家1960—1990年的数据进行研究,得出这些国家的碳排放量与人均收入呈正向线性关系。理查德·约克等(Richard York et al., 2003)^[7]在对1991年的137个国家相关数据进行研究时发现环境库兹涅茨曲线并不成立。阿佐玛豪等(Theophile Azomahou, 2006)^[8]对100个国家1960—1996年的相关数据进行了实证分析,认为人均碳排放与人均GDP在较大程度上具有结构性稳定,并且进一步证明二者间存在正相关关系。格拉布(Michael Grubb, 2004)^[9]等通过实证分析不同国家的人均GDP与人均碳排放,发现二者之间是一种不可一般化的复杂关系,其具体关系因年份和国别而不同。昂(James B. Ang, 2008)^[10]根据马来西亚的相关数据研究了污染、能源消费和经济增长间的关系,通过协整分析和格兰杰因果分析发现,污染和能源消费对经济增长具有正向关系,而经济增长是能源消费的格兰杰原因。

近些年来,国内学者对碳排放与经济增长关系的研究逐渐增多。比如,徐玉高等(1999)^[11]通过实证分析发现,中国人均碳排放与人均GDP之间并不存在环境库兹涅茨曲线关系。王中英等(2006)^[12]分析得出中国碳排放与GDP增长之间具有较为明显的正相关性。杜婷婷等(2007)^[13]、胡初枝等(2008)^[14]、王

琛 (2009)^[15] 等通过研究认为, 收入水平与碳排放之间存在“N”形(立方)关系。郑长德等 (2011)^[16] 使用空间计量方法进行实证分析发现, 经济增长与碳排放之间呈正相关关系。陈文颖等 (2004)^[17] 的模拟分析结果表明减排约束以 GDP 损失为代价, 且减排对 GDP 的影响会逐渐增强并持续延续至实行减排多年以后。马晶梅等 (2015)^[18] 使用投入产出数据研究得出中国能源碳排放与经济增长在 1995—2011 年(除个别年份外)均呈弱脱钩关系。林柠檬等 (2016)^[19] 使用引导滚动窗口 (Bootstrap rolling window) 检验法研究发现, 碳排放与经济增长在 1969—2013 年存在多样因果关系, 且二者在存在因果关系的年份中的相互影响是动态的。

1.2.1.2 碳排放影响因素研究

国外学者对碳排放影响因素已进行了相当广泛的研究并取得了许多成果。如: 伯兹奥尔 (Birdsall, 1992)^[20]; 纳普等 (Knapp et al., 1996)^[21] 提出人口增长一方面增加能源需求, 另一方面会破坏森林和改变土地利用方式, 两方面均会导致温室气体排放的增加。什 (Shi, 2003)^[22] 利用 STIRPAT 模型对人口与碳排放的关系进行研究, 约克等 (York et al., 2003)^[23] 得出人口因素对碳排放的弹性系数接近于 1, 而什等得出的结果为弹性系数在 1.41 ~ 1.65。韦伯 (Weber, 2000)^[24] 通过建立评估模型实证分析了生活方式和消费行为对能源消费及温室气体排放的影响。钟等 (Chung et al., 2004)^[25]; 约克 (York, 2007)^[26] 指出, 城市化作为影响因素会导致碳排放的增加。利德尔 (Liddle, 2004)^[27]; 陈等 (Chen H et al., 2008)^[28] 则认为, 由于城市化会提高公共交通和公共设施的使用效率, 故而会相应带来能源消费及碳排放的减少。范等 (Fan et al., 2006)^[29] 通过研究不同发展水平国家的人口、经济和技术水平对碳排放的影响, 得出的结论是各因素对碳排放的影响因国家所处的不同发展阶段而不同。道尔顿等 (Dalton et al., 2008)^[30] 提出城市化、年龄结构、家庭规模等人口相关因素将会影响到未来的碳排放量。

国内学者主要是针对中国的碳排放对其影响因素进行较为深入地研究。王等 (Wang et al., 2005)^[31] 对中国 1957—2000 年的碳排放影响因素进行分析, 得出减少碳排放的重要因素是代表技术因素的能源强度, 能源结构也起到了一定作用, 而经济增长带来了碳排放的增加。徐国泉等 (2006)^[32] 采用对数平均权重迪氏 (Divisia) 分解法 (LMD) 定量分析了经济发展、能源效率和能源结构, 对 1995—2004 年中国人均碳排放的影响, 得出经济发展(拉动因素)对中国人均碳排放贡献率呈指数增长, 而能源效率和能源结构(两个抑制因素)的贡献率呈“倒 U”形趋势。刘 (Liu, 2008)^[33] 分析出由于技术进步和经济结构优化, 使得城市化因素对碳排放的正影响效应有减弱的趋势。张等 (Zhang et al., 2009)^[34] 使用指数分解法从能源效率、产业结构变化等方面, 分析了各因

素对碳排放的影响。林伯强等(2009)^[35]基于对数均值迪氏分解法(LMDI)和可拓展随机环境影响评估模型(STIRPAT)分析得出的结论是,人均GDP、能耗强度、能源结构对中国人均碳排放具有重要影响。朱勤等(2009)^[36]基于扩展的Kaya恒等式并结合对数均值迪氏指数分解法分析得到的结果是,经济产出规模、人口规模、产业结构,对中国现阶段碳排放具有显著正效应,而能源强度具有显著负效应,能源结构变化则表现为微弱的负效应。邹秀萍等(2009)^[37]根据中国1995—2005年30个省域的面板数据分析得出,经济发展水平与地区碳排放呈“倒U”形趋势,能源消耗强度与地区碳排放呈“U”形关系,第二产业产值比重与地区碳排放间呈“N”形曲线关系。朱勤等(2010)^[38]使用改进的STIRPAT模型实证分析得出,人口城市化率、居民消费水平和人口规模对中国碳排放量变化的影响较为明显。蒋金荷(2011)^[39]利用对数均值迪氏指数分解方法,对中国1995—2007年碳排放相关数据的研究结果表明,经济规模是碳排放量变化的最大影响因素,其次是能源强度,再次是产业结构,而能源结构对碳排放的影响不明显。唐建荣等(2011)^[40]运用贝叶斯平均法对中国1995—2009年的面板数据进行实证分析,得出的结论是能源结构、能源强度、经济规模 and 城市化等因素对碳排放强度的影响效果较强。田立新等(2011)^[41]利用广义费雪指数法对中国2000—2008年的人均碳排放变动进行因素分解,分析了经济发展、能源结构和能源效率等因素对碳排放变动的影响。张传平等(2012)^[42]使用协整模型和状态空间模型分析得出,人口、城镇化水平均与碳排放存在长期的均衡关系。黄蕊等(2016)^[43]基于STIRPAT模型对江苏省能源消费碳排放与人口、富裕程度、技术进步和城镇化水平之间的关系进行了定量分析,并对江苏省未来能源消费碳排放量发展趋势进行了分析。赵选民等(2016)^[44]通过构造STIRPAT随机模型研究得出陕西省的经济发展水平、人口、能源强度、城市化水平和能源消费结构均与其碳排放呈正相关关系。

1.2.2 方法论综述

1.2.2.1 非线性格兰杰因果检验方法

格兰杰(Granger, 1969)^[45]提出了线性格兰杰因果检验的概念和方法,用于研究经济变量之间是否存在因果关系,该方法在经济和金融研究领域得到了广泛应用。贝克和布洛克(Baek & Brock, 1992)^[46]提出当时间序列存在非线性变化趋势时,仅使用线性因果检验方法考察变量间的因果关系可能会导致研究结果的不准确。他们基于空间概率测度中的关联积分概念,提出了非参数统计方法用于考察变量间的非线性因果关系。希姆斯特拉和琼斯(Hiemstra & Jones, 1994)^[47]对贝克—布洛克方法进行了改进,放松了其中的独立同分布假定,而允许变量间

存在弱相关关系,形成了修正的贝克—布洛克方法,被迪克斯和潘钦科 (Diks & Panchenko, 2006)^[48]称为希姆斯特拉—琼斯检验 (H-J 检验)。采用非线性因果检验 H-J 检验方法,布鲁克斯 (Brooks, 1998)^[49]考察股票指数波动与市场交易量的跨期关系,得出的结论是二者之间存在双向因果关系,但从股票指数波动到市场交易量的因果关系要强于从市场交易量到股票指数波动的因果关系;斯瓦比拉等 (Silvapulla et al., 1999)^[50]分析了西德克萨斯中级原油的现货价格与期货价格之间的关系,分析结果显示二者之间存在双向影响;阿伯汉卡 (Abhyankar, 1998)^[51]研究了指数期货市场与现货市场的关系;辛纳 (Ciner, 2001)^[52]考察了石油价格与股票市场的动态关系,考察结果表明,石油价格波动会影响股票指数收益,并且石油价格与股票市场的非线性因果关系在 20 世纪 90 年代表现得更强;奥库涅夫等 (Okunev et al., 2002)^[53]研究澳大利亚 1980—1999 年房地产市场与股票市场的关系得出,两者之间存在很强的从股票市场到房地产市场的单向因果关系;刘华军等 (2016)^[54]对经济增长对中国各省的空间溢出关系做出了识别分析。

迪克斯、潘钦科 (Diks & Panchenko, 2006) 指出,由于 H-J 检验存在过度拒绝问题,即可能会把“不存在非线性格兰杰原因”的变量间关系检验得出的结果为“存在非线性格兰杰原因”,在保持 H-J 检验的各项假定、定义和原假设的基础上,提出非线性格兰杰因果检验迪克斯—潘钦科检验 (D-P 检验)。D-P 检验目前在国内外经济与金融研究领域已得到了广泛地应用,通过使用该方法,内恩等 (Z Nain et al., 2014)^[55]检验印度 1991 年 1 月至 2013 年 8 月期间原油价格变化与股票市场收益之间的关系,得出的结论是二者之间存在双向非线性因果关系;内恩等 (M. Z. Nain et al., 2014)^[56]对印度 1990—2010 年金融发展与经济增长的关系进行分析,得出的结论是两者之间并不存在因果关系,该结论与几个已有的在格兰杰因果检验框架下得出的结论正好相反;巴亚特等 (Bayat et al., 2014)^[57]对土耳其 2003 年 1 月至 2014 年 1 月汇率与外汇储备间关系进行了检验,结果是存在从外汇储备到名义汇率和实际汇率的因果影响;拉西米等 (Azadeh Rahimi et al., 2016)^[58]使用线性格兰杰因果检验和非线性格兰杰因果检验 D-P 检验方法研究美国联邦基金利率和 10 年期政府债券利率的关系,得出二者之间的线性和非线性因果关系是随时间而变化的;涂 (Tu, 2016)^[59]对中国 1961—2010 年二氧化碳排放与经济增长的关系研究显示,存在从 GDP 到二氧化碳排放的长期单向因果影响;杨子晖 (2010)^[60]对多个发展中国家的二氧化碳排放与经济增长的关系研究发现,中国、南非、印度等国存在二氧化碳排放对经济增长的非线性因果影响;梁经纬等 (2013)^[61]对中国 1953—2008 年各类能源消费与经济增长关系的研究结果表明,电力、煤炭和总能源消费可以作为经济增长的影响因素;王远林 (2014)^[62]对中国 1994—2010 年股票市场股利与

股价之间关系进行研究,结果是不存在股利对股价的非线性因果影响,而存在股价对股利的非线性影响;欧阳强等(2016)^[63]研究了中国收入不平等、碳排放与经济增长间的因果关系。

1.2.2.2 碳排放影响因素分解方法

国内外学者研究能源消费或碳排放问题的常用因素分解分析法主要分为两类:一类称为结构分解分析方法(Structure Decomposition Analysis, SDA),另一种称为指数分解分析方法(Index Decomposition Analysis, IDA)。其中,在能源消费和碳排放研究领域应用较多的结构分解分析方法主要是投入产出方法,该方法由列昂惕夫(Leontief, 1971)^[64]首先提出。林等(Lin et al., 1995)^[65];加尔巴乔等(Garbaccio et al., 1999)^[66]采用结构分解分析方法分别对中国的能源消费和能源强度变化进行了研究。莫克豪帕亚等(Mukhopahayay et al., 1999)^[67]对印度的能源消费变化进行了结构分解研究。米歇尔等(Michiel et al., 2003)^[68]对不同国家的能源消费变化进行了结构分解分析。常等(Chang et al., 1998)^[69]使用结构分解分析方法对中国台湾地区工业活动的碳排放变化进行了研究。部分学者分别运用结构分解方法对中国碳排放的变化进行了研究^[70-73]。

与结构分解分析方法相比,指数分解分析方法仅需使用各部门加总数据,尤其适合包含时间序列数据且影响因素较少的因素分解分析。而且,指数分解分析方法更易于操作且运用起来更为简单,因此,指数分解分析方法在能源消费和碳排放相关研究领域应用更为广泛。从昂等(Ang et al., 2000)^[74]对有关指数分解分析的124篇研究论文的综述情况看,其中有109篇使用了指数分解方法,只有15篇使用结构分解方法,并且所使用的指数分解分析方法中多是采用拉氏指数分解法及其改进方法和迪氏指数分解法及其改进方法。近年来,国内外学者多采用以上两类指数分解的改进方法对能源和碳排放相关问题进行研究。如张(Zhang, 2003)^[75]利用拉氏指数分解法对影响中国工业部门能源消费量变化的效应进行了分析。徐盈之等(2011)^[76]运用改进的拉氏指数分解法对中国制造业碳排放影响因素进行了分析。贺红兵(2012)^[77]以拉氏指数分解法为基础,引入Shapley值方法对碳排放影响因素进行了研究。马等(Ma et al., 2008)^[78]利用迪氏指数分解法对引起中国能源强度变化的因素进行了分解分析。吴等(Wu, 2005)^[79]采用对数均值迪氏指数分解法,从供给和需求两方面对中国的碳排放量变化进行了分析。吴等(Wu et al., 2006)^[80]采用“三层次完全分解”对数均值迪氏指数分解方法对中国碳排放量变化进行了分解分析。从方法运用的数量上,对数均值迪氏指数分解方法在碳排放影响因素分解分析中实际使用得最为广泛。

然而,以上两类指数分解分析方法自身均存在一定缺陷。昂等(Ang et al.,