

广州市科学技术协会、广州市南山自然科学学术交流基金会、广州市合力科普基金会资助出版

广东省能源碳排放 时空格局演变及低碳转型

王文秀 赵黛青 王文军◎著



中山大學出版社
SUN YAT-SEN UNIVERSITY PRESS



广州市科学技术协会、广州市南山自然科学学术交流基金会、广州市合力科普基金会资助出版

广东省能源碳排放 时空格局演变及低碳转型

王文秀 赵黛青 王文军◎著



中山大学出版社
SUN YAT-SEN UNIVERSITY PRESS

· 广州 ·

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

广东省能源碳排放时空格局演变及低碳转型/王文秀, 赵黛青, 王文军著. —广州: 中山大学出版社, 2019. 11

ISBN 978 - 7 - 306 - 06551 - 3

I. ①广… II. ①王… ②赵… ③王… III. ①二氧化碳—排气—研究—广东
IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 300600 号

出 版 人: 王天琪

策划编辑: 曾育林

责任编辑: 曾育林

封面设计: 曾 斌

责任校对: 马霄行

责任技编: 何雅涛

出版发行: 中山大学出版社

电 话: 编辑部 020 - 84111996, 84113349, 84111997, 84110779

发行部 020 - 84111998, 84111981, 84111160

地 址: 广州市新港西路 135 号

邮 编: 510275 传 真: 020 - 84036565

网 址: <http://www.zsup.com.cn> E-mail: zdcbs@mail.sysu.edu.cn

印 刷 者: 广州市友盛彩印有限公司

规 格: 787mm × 1092mm 1/16 10.875 印张 260 千字

版次印次: 2019 年 11 月第 1 版 2019 年 11 月第 1 次印刷

定 价: 40.00 元

如发现本书因印装质量影响阅读, 请与出版社发行部联系调换

前 言

碳排放核算、碳排放时空演变规律、影响因素及影响机制研究是应对气候变化的重要课题之一。随着应对气候变化问题日趋国际化和政治化,如何协调发展和减排的关系是作为快速发展且对能源需求量巨大的发展中国家必须面临的重大难题。中国继2009年主动提出到2020年二氧化碳排放强度比2005年下降40%~45%之后,2015年再次承诺到2030年将下降60%~65%。国家将碳强度指标分解到各个省,各省再将指标分解到各个地级市,全国各地掀起了低碳转型、发展低碳经济的热潮。然而,各地在具体实施碳减排的过程中,碳减排整体效率不高、完成度不好的被动局面逐渐显现。造成这种局面的一个很重要的原因在于目前对碳减排指标的分解还不够精细,对各地碳排放客观事实的描述不够精确。我国经济、人文地理、自然资源空间分布均存在显著差异,各地经济发展需要的能源碳排放空间和可以实现的碳减排能力也存在差异。高效碳减排方案和政策制定的关键在于找到碳排放的关键行业、关键影响因素以及高碳排放关键地区的精确位置。因此,需要我们回归到理论指导实践的第一步,即对地区能源消费及其碳排放核算,碳排放时空格局演变及其影响因素、影响机制进行全方位的深入分析和探讨。

广东省作为我国经济、人口和能源消费大省,同时也是地区差异最显著的省份之一,身负各方压力:一是能源消费量大,能源自给率低。1995—2016年,能源消费总量占全国总量的比例逐年提高,2016年达到7.17%;二是能源自给率总体呈下降趋势,2005年以来,自给率一度下降到20%以下,存在极大的能源安全隐患;三是地处中国东南部,距离能源供给地远,能源运输成本高,致使能源价格偏高,产业和生活用能成本也偏高;四是肩负最重碳减排任务和低碳省建设“先行先试”的重任。对广东省来说,节能减排不仅是国家的要求,更是自身的需求。因此,对广东省能源碳排放时空格局演变特征及形成机制进行深入研究,为低碳转型提供理论参考依据成为广东省的重要任务之一。

广东省低碳转型要从“高度、角度、尺度、力度”四个维度高效协调统一。高度是指站在全省的高度设定合理的节能减排总体目标;角度是指

找到节能减排的关键因素、关键行业 and 关键区域，才能开展针对性的节能减排，实现区域低碳发展；尺度是指从宏观、中观和微观开展不同尺度的研究，才能了解全局和局域特征；力度是指根据前面三种维度的综合研究结果对各地区节能减排的政策措施进行不同力度的实施操作，各地三维不同，低碳发展的着力点也不同。其中，高度这一维度全省已经给出明确定位，即实现能源消费总量和消费强度“双控”目标，从不同角度和不同尺度开展碳排放研究是本书的主要内容，政策实施力度是本书在理论研究的基础上提出的低碳转型的差异化节能减排政策建议。

鉴于此，本书基于 KAYA 恒等式和 Tapio 脱钩模型的构建原理，扩展构建了能源碳排放影响因素量化分解模型、经济增长与碳排放脱钩的量化分解模型；集成构建了经济增长与碳排放脱钩的影响因素量化分解模型、人均 GDP 与碳生产率追赶脱钩模型等适应不同空间尺度、不同数据需求的碳排放时空演变及其形成机制的一系列分析模型。通过这些模型，分别对广东省能源碳排放时空差异的影响因素、经济增长与碳排放脱钩的影响因素、人均 GDP 与碳生产率追赶脱钩、碳排放的空间集聚与异质性等进行了深入详细的分析，得到了较系统的研究结论。

本书希望通过系统梳理 1995 年以来广东省能源消费及其碳排放时空演变过程及趋势，从多尺度、多维度探明碳排放时空差异的影响因素及影响机制，为广东省节能减排、低碳转型的路径选择、区域协调发展等提供理论依据，为国家和其他高耗能省市的低碳经济发展提供经验借鉴。本书适用于环境科学、地球科学、能源战略与低碳发展等学科领域的科研工作者、战略研究者和政策制定者。

本书是在著者博士报告和博士后出站报告基础上延伸和深入而形成的完整体系。特别感谢能源战略与低碳发展研究室主任赵黛青研究员（著者的博士后导师）在研究内容总体框架构建和技术路线方面的指导。感谢中国科学院广州地球化学研究所的黄宁生研究员、匡耀求研究员和朱照宇研究员在科研总体思维、严谨科研态度的形成等方面的授惑与启迪。本书在研究过程中得到中国科学院广州能源研究所能源战略与低碳发展研究室、中国科学院广州地球化学研究所广东省可持续发展研究中心各位同事、老师和兄弟姐妹的热情帮助和支持，在此一并感谢！感谢家人的体谅与支持，特别是我两岁多儿子的支持。多少个加班的周末，他希望妈妈可以陪陪他，但每次我说要加班写稿子，他就不舍但乖乖地跟我说拜拜了。都说科研的道路不好走，但有这么多良师益友的帮助和支持，我觉得我的科研道路虽然辛苦但很温馨。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 研究背景	1
一、国际背景	1
二、国内背景	5
第二节 研究意义	7
第三节 国内外研究进展	8
一、文献综述	8
二、国内外研究综述	10
第四节 研究目标、内容及整体框架	19
一、研究目标	19
二、研究内容及整体构架	20
第二章 广东省能源消费时空演变过程研究	22
第一节 广东省能源自给率现状分析	22
第二节 广东省能源进出口格局变化分析	23
第三节 广东省能源消费结构变化分析	24
第四节 广东省能源消费的产业结构变化分析	29
第五节 广东省单位 GDP 能耗变化分析	32
第六节 广东省能源消费空间分布格局演变分析	33
一、基于 21 个地级市的空间分布	33
二、基于主体功能区的空间分布	34
第三章 广东省产业能源碳排放时序演变趋势	36
第一节 广东省分产业能源碳排放核算	36
一、分产业、分能源品种的能源碳排放核算方法	36
二、数据来源与处理	38
第二节 广东省产业能源碳排放时序演变趋势研究	38
一、产业能源碳排放总量变化	38
二、产业能源碳排放结构变化	41
三、火电生产能源碳排放变化	44



第四章 广东省产业能源碳排放影响因素分解实证研究	47
第一节 方法简介	47
一、Kaya 恒等式	47
二、对数平均迪氏指数法 (LMDI)	47
第二节 产业能源碳排放因素分解模型构建	49
一、生产部门能源碳排放分解模型的构建	49
二、生活部门能源碳排放分解模型	51
三、数据来源与处理	52
第三节 结果与讨论	53
一、生产部门能源碳排放影响因素分解结果与讨论	53
二、生活部门能源碳排放影响因素分解结果与讨论	64
第四节 本章小结	71
第五章 广东省产业能源碳排放与经济增长的脱钩关系实证研究	73
第一节 能源碳排放与经济增长脱钩简介	73
第二节 能源碳排放与经济增长脱钩的影响因素分解量化模型建立	74
第三节 能源碳排放与经济增长的脱钩关系分析	76
第四节 碳排放与经济增长脱钩的影响因素分解分析	78
第五节 本章小结	82
第六章 广东省能源碳排放空间格局演变趋势研究	84
第一节 不同尺度能源碳排放核算	84
一、21 个地级市能源碳排放核算	84
二、县域能源碳排放核算	85
三、基于主体功能区的能源碳排放核算	85
第二节 广东省能源碳排放空间分布格局及演变趋势研究	85
一、全省平均碳排放系数	86
二、能源碳排放总量空间分布格局及演变趋势	86
三、人均碳排放量空间分布格局及演变趋势	89
四、碳排放强度空间分布格局及演变趋势	91
五、小结	93
第三节 三类指标的空间匹配关系研究	94
一、21 个地级市的碳排放指标空间匹配关系	94
二、区县的碳排放指标空间匹配关系	96
第七章 能源碳排放与经济增长脱钩的空间差异性研究	98
第一节 能源碳排放与经济增长脱钩核算方法	98
第二节 碳排放与经济增长脱钩的空间差异性研究	98



一、碳排放与经济增长逐年脱钩空间差异性研究	98
二、碳排放与经济增长累积脱钩空间差异性研究	102
第三节 本章小结	107
第八章 人均 GDP 与碳生产率的空间追赶脱钩研究	108
第一节 方法与数据来源	109
一、碳生产率核算方法	109
二、碳生产率与人均 GDP 的脱钩模型	109
三、碳生产率与人均 GDP 脱钩追赶模型的建立	110
第二节 碳生产率与人均 GDP 的时空演变特征研究	111
一、时序演变特征	111
二、碳生产率和人均 GDP 空间格局演变特征	113
第三节 人均 GDP 和碳生产率追赶脱钩结果分析	115
第九章 能源碳排放的空间计量经济学实证研究	118
第一节 空间计量经济学理论与方法简介	118
一、空间计量经济学的产生与发展	118
二、空间计量经济学重要理论	119
第二节 能源碳排放空间计量实证研究思路与数据处理	122
一、研究思路	122
二、数据来源与处理	123
第三节 21 个地级市碳排放的空间自相关分析	125
一、全局空间自相关分析	125
二、局域空间自相关分析	125
第四节 区县能源碳排放空间自相关分析	134
一、全域空间自相关分析	134
二、局域空间自相关分析	135
第十章 广东省低碳转型的三大关键抓手	142
第一节 关键行业、关键因素的碳减排	142
一、碳排放时序演变规律及影响因素研究重点研究结论	142
二、关键行业、关键因素的碳减排政策建议	143
第二节 关键地区差异化碳减排	147
一、能源碳排放空间差异化重点研究结论	147
二、关键地区差异化碳减排政策建议	150
第三节 地区间低碳经济追赶发展模式的形成	152
一、人均 GDP 与碳生产率的空间追赶脱钩研究结果	152
二、形成健康的地区间低碳经济追赶发展模式、促进区域协调发展	153
参考文献	154

第一章 绪 论

第一节 研究背景

一、国际背景

1. 气候变化与人类活动有密切关系

全球变暖是国际社会公认的全球性环境问题，是人类面临的十大生态问题之首。工业革命以来，人类活动特别是化石燃料的燃烧使大气中 CO_2 为主的温室气体浓度不断上升，引发了以变暖为主要特征的全球气候变化，不仅严重影响了经济社会的可持续发展，而且日趋国际化和政治化，因而成为世界各国当今面临的最重大挑战之一。如何通过各方的共同努力，减缓和适应气候变化、保护环境成为国际社会关注的焦点问题。为应对全球气候变化，国际社会先后制定了《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 和《京都议定书》，以及其他一系列气候变化相关的政治协议，采取各种措施应对气候变化。

联合国政府间气候变化专门委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 是世界气象组织 (World Meteorological Organization, WMO) 及联合国环境规划署 (United Nations Environment Programme, UNEP) 于 1988 年联合建立的政府间机构。其主要任务是对气候变化现状，气候变化对社会、经济的潜在影响以及如何适应和减缓气候变化的可能对策进行评估。这些评估吸收了全球数百位专家的工作成果，比较全面、客观地反映了人类对全球气候变化的现有认识，成为全球应对气候变化决策最重要的科学基础。自成立以来，IPCC 于 1990 年、1995 年、2001 年、2007 年和 2013 年依次完成了 5 次评估报告，这些报告已成为国际社会认识和了解气候变化问题的主要科学依据。而第六次评估报告将于 2019 年完成发布。

IPCC 最近一次发布的第五次评估报告 (2013)，再一次全面回顾了全球气候变化的事实，指出全球气候变化是气候系统的变化，气候系统正在变暖是毋庸置疑的事实。自 1950 年以来，气候系统观测到的许多变化是过去几十年甚至千年以来史无前例的，1880—2012 年，全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势，升高了 $0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；2003—2012 年平均温度比 1850—1900 年平均温度上升了 $0.78\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。过去 30 年极有可能是近 800 ~ 1400 年间最热的 30 年。

1961 年以来的观测结果表明，全球海洋温度的增加已延伸到海面以下至少 3000 m 的深度，海洋已经并且正在吸收 90% 以上增加到气候系统的热量，这一增暖



趋势引起海水膨胀,并造成海平面上升,自1950年以来,地球海平面的上升速度高于过去2000年。1901—2010年,全球平均海平面上升了0.19 m,而过去10年间,冰川融化的速度已比20世纪90年代加快了数倍。综合多模式多排放情景的预估结果表明,到21世纪末,全球地表平均将增温 $1.1 \sim 6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,全球平均海平面上升幅度为 $0.18 \sim 0.59\text{ m}$ 。在未来20年中,气温将以每10年上升大约 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的速度升高。

全球变暖已成为世界关注热点,气候变化带来的极端性天气和灾难给人类发展带来一系列严重的影响和威胁。据统计,2000—2004年,全球每年约有2.62亿人遭受气候灾难影响,发展中国家人们遭受灾难影响的风险是发达国家的79倍。如果温度上升和气候变化不受控制,到2100年,每年约有 $2/3$ 的欧洲人口(3.5亿)面临灾害性的气候极端事件,而这一比例在1981—2010年只有5%(0.25亿人);每年气候极端事件造成的死亡人数(15.2万)比1981—2010年(3000人)增加50倍。欧洲南部遭受的影响最为严重,极端天气可能会成为该地区面临的最大的环境风险。到2100年,欧洲南部每年每百万居民中将有700人死于极端天气事件,而这一数字在1981—2010年只有11人。

IPCC(2013)第四次评估报告中进一步提高了最近60年气候变化主要是由人类活动引起的可信度(由原来的66%的最低限提高到目前的95%),其统计数据表明,工业革命以来大量化石能源的利用,使得人类生产、生活活动导致的温室气体排放约占全球温室气体排放总量的90%以上。2004年,能源供应业、工业、林业(包括毁林)、农业和交通运输业五个主要温室气体排放部门的温室气体排放量分别占全球总排放量的25.9%、19.4%、17.4%、13.5%和13.1%,总计89.3%。世界银行《2009世界发展报告:重塑世界经济地理》指出,人类活动造成的温室气体主要来自交通、建筑、工业及森林减少这四大领域,在所有 CO_2 排放中,森林减少占据18.2%,工业(44.5%)、交通(17.5%)及建筑(19.8%)碳排放量约占城市总的碳排放量的81.8%。人类活动对大气温室气体浓度的影响主要表现为两个方面:一是直接向大气排放温室气体,例如,化石燃料燃烧和生物质燃料燃烧以及工业生产过程中直接向大气排放大量的 CO_2 、甲烷(CH_4)和氧化亚氮(N_2O);二是人类活动改变了大气温室气体的源和汇,例如,森林砍伐直接减少了 CO_2 的汇。未来由于人类经济活动造成的大气中温室气体的增加所引起的气候变暖将继续长期地显露出来。

大气中温室气体类型主要包括二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、氧化亚氮(N_2O)、氢氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)、六氟化硫(SF_6)、含氯氟烃(CFCs)、氢代氯氟烃类化合物(HCFCs)、臭氧(O_3)以及水汽(H_2O)等。在不同的时间跨度上,各种温室气体对全球温度升高的贡献(温升潜能, global warming potential, GWP)是不同的。1750年以来,造成全球变暖的气候变化辐射强迫中, CO_2 的贡献最大(约占50%),是最重要的温室气体。研究表明,地球表面温度与大气中 CO_2 浓度呈现显著的相关性。其在大气中的浓度已经从工业化革命前的 550 mg/m^3 上升到2013年的 785.7 mg/m^3 ,远远超过了过去65万年以来自然因素引起的变化范围($180 \sim 300\text{ mg/m}^3$)。EDGAR(Electronic Data Gathering, Analysis, and Retrieval)(2007)的统计数据表明,2004年二氧化碳排放量占全球温室气体排放总量



的 76.7%。1975—2003 年,全球、高收入国家、较高的中等收入国家、较低的中等收入国家、低收入国家以及我国的 CO₂ 排放量整体上都呈上升趋势,CO₂ 排放量分别增加了 58.24%、37.92%、39.71% (1975—1988 年)后下降了 17.94% (1988—2003 年)、141.78%、190.85% 和 163%;但能源强度都呈现下降的趋势,分别下降了 25.47%、29.39%、29.12%、50.30%、29.73% 和 75.57%。

尽管如此,科学界对全球气候变暖是否是一种大尺度的长期趋势、气候变暖是否主要由温室气体浓度增高引起、温室气体浓度增高是否应归咎于人类活动等问题还存在很大质疑。因为他们认为,气候系统具有高度的复杂性,人类社会系统观察气候变化的历史还非常短,目前科学界尚缺乏评估过去气候变化原因、预测将来变化趋势的可靠手段。但在近年来,世界各地极端气候灾害频发,生态环境日益脆弱,能源资源供应紧张以及金融危机冲击世界经济的背景下,应对气候变化已经不仅仅是科学问题,而是成为国际社会多种政治、经济力量进行利益博弈的焦点之一。

2. 《联合国气候变化框架公约》缔约方大会成为各国应对气候变化、进行利益博弈的平台

1992 年 5 月,《联合国气候变化框架公约》(以下简称《公约》)在联合国纽约总部通过,同年 6 月在巴西里约热内卢举行的联合国环境与发展大会期间正式开放签署。《公约》的最终目标是“将大气中温室气体的浓度稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平上”。《公约》由序言及 26 条正文组成。它指出,历史上和目前全球温室气体排放的最大部分源自发达国家,发展中国家的人均排放仍相对较低,因此,应对气候变化应遵循“共同但有区别的责任”原则。根据这个原则,发达国家应率先采取措施限制温室气体的排放,并向发展中国家提供有关资金和技术;而发展中国家在得到发达国家技术和资金的支持下,采取措施减缓或适应气候变化。1994 年 3 月 21 日,该公约正式生效。此《公约》是世界上第一个为全面控制 CO₂ 等温室气体排放,以应对全球气候变暖给人类经济和社会带来不利影响的国际公约,也是国际社会在对付全球气候变化问题上进行国际合作的一个基本框架;同时,也拉开了全球环境气候谈判的序幕。

1995 年以来,《公约》缔约方大会每年召开一次。1997 年 12 月,第三次缔约方大会在日本京都举行,会议通过了《京都议定书》(以下简称《议定书》),对 2012 年前主要发达国家减排温室气体的种类、减排时间表和额度等做出了具体规定。《议定书》于 2005 年开始生效。鉴于发达国家在工业化进程中已排放大量温室气体的历史事实,遵照“共同但有区别的责任”原则,《议定书》要求签约的发达国家和经济转轨国家(即附件 1 国家)在 2008—2012 年的第一个承诺期内,将温室气体排放总量在 1990 年的基础上平均减少 5.2%。其中,欧盟将 6 种温室气体的排放量削减 8%、美国削减 7%、日本削减 6%。为帮助附件 1 国家实现温室气体减排目标,《议定书》制定了 3 种灵活机制,即联合履约(Joint Implementation,JI)、排放贸易(Emission Trading,ET)和清洁发展机制(Clean Development Mechanism,CDM)。其中,联合履约是指发达国家之间可以通过共同实施温室气体减排项目,将获得的减排额度相互转让;排放贸易是指已经达到减排目标的发达国家把温室气体排放权卖给其他发



达国家；清洁发展机制是指发达国家与发展中国家通过开展项目合作向发展中国家提供资金和技术，将项目所实现的温室气体减排量用于完成发达国家的减排指标。CDM是唯一与发展中国家有关的机制。这个机制既能使发达国家以低于其国内成本的方式获得减排量，又为发展中国家带来先进技术和资金，有利于促进发展中国家经济、社会的可持续发展，被认为是一种“双赢”机制。

2001年是气候变化领域形势起伏跌宕的一年。2000年11月在海牙召开的《公约》第六次缔约方大会期间，世界最大的温室气体排放国美国坚持要大幅度打折它的减排指标，因而使会议陷入僵局，大会主办者不得不宣布休会，将会议延期到2001年7月在德国波恩继续举行。2001年3月，美国政府公开宣布拒绝批准《京都议定书》，气候变化谈判的前景倍受世人关注。2001年7月，在德国波恩举行的《公约》第六次缔约方会议续会上达成了《波恩政治协议》，该协议维护了《议定书》的框架，防止了气候变化谈判进程的破裂，从而成为继1997年京都会议以来气候变化领域最重要的一次会议。但是，在关于落实该协议的具体技术谈判中，由于“伞型集团”国家（美国、加拿大、澳大利亚和日本等）在碳汇和履约程序问题上提出过高要价，致使会议就相关问题达成一揽子决定的计划落空，有关问题被迫留待第七次缔约方会议解决。

2001年10月，第七次缔约方大会在摩洛哥马拉喀什举行。经过艰苦的工作和谈判，与会各方终于就《波恩政治协议》所涉各方面问题及其他相关问题达成一揽子协议，即《马拉喀什协定》，使得《波恩政治协议》得以具体落实，也使得《议定书》早日生效成为可能。《波恩政治协议》和《马拉喀什协定》同意将造林、再造林作为第一个承诺期（2008—2012年）合格的清洁发展机制（CDM）项目，为国际社会共同减排温室气体提供了一种行之有效的合作机制。

中国于1998年5月29日签署了该议定书，并于2002年8月30日递交核准书。欧盟及其成员方于2002年5月31日正式批准《京都议定书》。2004年11月5日，俄罗斯总统普京在《京都议定书》上签字，使其正式成为俄罗斯的法律文本。2005年2月16日，《京都议定书》正式生效。这是人类历史上首次以法规的形式限制温室气体排放。2006—2012年的缔约方大会着重讨论《京都议定书》第一承诺期在2012年到期后如何进一步降低温室气体的排放，国际气候步入“后京都”谈判时代。

后京都时代的谈判一波三折，矛盾重重，主要矛盾在于发达国家与发展中国家在碳减排的责任承担上难以达成共识。特别是2009年哥本哈根第15次缔约方大会形成的各国之间不和谐、互相不信任的气氛对之后几次的谈判造成了无法磨灭的影响，也致使原本致力于在2009年哥本哈根会议上能够达成“《京都议定书》第一承诺期2012年到期后全球应对气候变化新安排的谈判并签署有关协议”这一被喻为“拯救人类的最后一次机会”的会议最终以达成无约束力的协议《哥本哈根协议》而不欢而散。

之后，经过多次缔约方大会的不懈努力，2012年卡塔尔多哈第18次缔约方大会对《京都议定书》第二承诺期做出决定：《议定书》第二承诺期将按预期于2013年开始实施，发达国家须为发展中国家应对气候变化提供资金支持，在2010—2012年



提供“快速启动”资金后,要继续增加出资规模,到2020年之前每年出资须达1000亿美元规模。会议还讨论了2020年后德班平台谈判的原则、要素和框架,对谈判的工作安排进行了总体规划。这次会议从法律上确定了《议定书》第二承诺期,达成了为推进《联合国气候变化框架公约》实施的长期合作行动全面成果,坚持了“共同但有区别的责任”原则,维护了《公约》和《议定书》的基本制度框架,这是多哈会议最重要的成果。

综上所述,IPCC对气候变化科学知识的现状,气候变化对社会、经济的潜在影响以及如何适应和减缓气候变化的可能对策进行评估。《联合国气候变化框架公约》缔约方大会从宏观层面通过法律手段对各国碳排放承担的责任和减排方式进行整体规划和监督。在这两者的影响和推动下,国内外对应对气候变化进行了积极响应,各国政府、科研结构、学术团体等的各方人员从各个方面和角度对减缓温室气体排放进行了广泛的研究。

3. 低碳经济作为一种全新的经济理念应运而生

低碳经济是指在可持续发展理念的指导下,通过技术创新、制度创新、产业转型、新能源开发等多种手段,尽可能地减少煤炭、石油等高碳能源消耗,减少温室气体排放,达到经济社会发展与生态环境保护双赢的一种经济发展形态。低碳经济(low-carbon economy)是一种全新的经济理念。低碳经济的提法最早源于英国在2003年发布的《能源白皮书》——“我们未来的能源:创建低碳经济”。《能源白皮书》指出,英国将在2050年将其温室气体排放量在1990年的水平上减排60%,从根本上把英国变成一个低碳经济的国家。2006年10月,由英国政府推出、世界银行前首席经济学家尼古拉斯·斯特恩(Nicholas Stern)牵头的《斯特恩报告》(Stern Review)指出,全球以每年GDP的1%的投入,可以避免将来每年GDP 5%~20%的损失,呼吁全球向低碳经济转型,减少温室气体排放。

二、国内背景

在这样的国际背景下,我国的应对形势比较严峻。改革开放以后,我国的经济发展突飞猛进。国内生产总值(GDP)从1978年的3678.7亿元增加到2016年的744127.2亿元,提高了201.3倍,年均增速15%。人均GDP从381元增加到38420元,提高了139倍,年均增速13.9%。经济飞速发展的同时,也带来了能源的大量消耗和碳排放的大量增加。能源消费总量从1978年的57144万吨标准煤增加到2016年的436000万吨标准煤,年均增速为5.49%。能源消费增加带来的能源碳排放也逐年增加。国际能源署(International Energy Agency, IEA)(2014)的统计数据显示,2007年,中国能源CO₂排放量为60.37亿吨,首次超过美国的58.52亿吨,成为世界头号能源碳排放大国。之后,中国能源碳排放呈强劲增长态势,CO₂排放量稳居世界第一。

我国温室气体排放清单在2011年编制完成,而以往的能源消费CO₂排放并无权威的官方数据可以参考,国外机构发布的数据的科学性和准确性有待进一步验证。但



在世界碳排放问题上，我国已经具有举足轻重的影响。我国虽然是发展中国家，不需要承担减排任务，但世界碳排放头号大国的头衔使我们在国际气候谈判的“后京都”谈判时代备受攻击，承受着巨大的减排压力已是不争的事实。

2009年年底在丹麦哥本哈根召开的联合国气候变化大会，引起了全球对地球气温升高和环保的高度关注。中国政府本着对世界人民和本国人民高度负责的态度，向世界做出了到2020年单位国内生产总值CO₂排放比2005年下降40%~45%的郑重承诺，并作为约束性指标纳入了国民经济和社会发展中长期规划。2015年，我国再次承诺碳减排目标为到2030年CO₂排放比2005年下降60%~65%。这一系列举措对于减缓全球气候变化压力、缓和气候谈判紧张气氛、提升我国的国际影响力无疑具有重要的现实意义。另外，节能减排作为我国建设资源节约型、环境友好型社会的一项重大举措，也是我国经济、社会、资源与环境可持续发展的自身要求。我国长期高能耗、高排放的粗放型经济增长方式使我国部分地区生态环境遭受严重破坏，极端天气频发的恶果已经显现。我国以煤为主的能源资源禀赋先天不足，化石能源储量日益减少，国家能源安全遭受威胁。为此，我国明确提出能源发展的“四个革命、一个合作”战略思想，标志着我国进入了能源生产和消费革命的新时代。能源发展的“四个革命”分别为：推动能源消费革命，抑制不合理能源消费；推动能源供给革命，建立多元供应体系；推动能源技术革命，带动产业升级；推动能源体制革命，打通能源发展快车道。

国家能源管理正逐渐向精细化方向发展，主要体现在：将同时实施能源消费总量控制、能源消费强度控制、碳排放强度控制等约束性措施，从能源需求源头控制、能源利用整个过程的优化、终端排放控制的倒逼机制三方面提高能源利用整体效率；探索市场化的节能减排机制，探索纵向、横向补偿机制并重的生态发展机制，已经在七省市试点建立碳排放权交易市场，将逐步建立节能指标、能源消费总量控制指标交易市场。2013年9月国务院发布《大气污染防治行动计划》，正倒逼能源结构调整，加速可再生能源的应用，京津冀鲁、长三角、珠三角等地区煤炭消费受到限制，将更多地选择使用优质能源，如核电、天然气、可再生能源等。

我国已经步入第一期承诺碳减排的最后一个五年，即我国的“第十三个五年计划”，总体来看，“十三五”中国能源规划目标约束日益严格，主要聚焦以下九大方面：大力推进能源节约、增强国内油气供应能力、清洁高效开发利用煤炭、大幅提高可再生能源比重、安全发展核电、大力拓展能源国际合作、加强石油替代和储备应急能力建设、深化能源体制改革、增强能源科技创新能力。

《2015年政府工作报告》提出“互联网+”计划，把能源等传统行业与互联网联系起来，清洁、多能技术组合、信息化将成为能源产业未来的发展方向，跨地域、跨行业、跨时间联通，以大数据的重要支撑的多因素优化和调控、供给与需求在不同时间和空间上的精准匹配将成为未来能源发展的重要特征。能源互联网技术是第三次工业革命的支柱性基础，实现能源绿色化和用能高效化，将从根本上改变对传统能源利用方式的依赖，推动传统产业向以可再生能源和信息网络为基础的新兴产业调整，必将催生和推动创新经济的发展并创造大量新的就业机会。



由此可见,为了应对全球气候变化,我国做出了很多努力,推动能源革命、提出能源互联网计划、推进节能减排、走低碳发展道路是我国实现可持续发展的正确选择。

第二节 研究意义

能源是经济发展必需的生产要素和先决条件,经济发展具有较强的“能源依赖”特征。随着世界各国经济发展带来的能源消费及其碳排放的不断增加,节能减碳、应对全球气候变化成为国际行动。我国已经成为能源碳排放大国且面临严峻的国际社会的碳减排压力已经是不争的事实。中国继 2009 年主动提出到 2020 年二氧化碳排放强度比 2005 年下降 40%~45% 之后,2015 年再次承诺到 2030 年将下降 60%~65%,并作为约束性指标纳入国民经济和社会发展的中长期规划。在此严峻的碳减排压力下,为有效完成承诺的碳减排目标,国家制定了分阶段目标,将碳强度指标分解到各省,各省再将指标分解到各个地级市。全国上下掀起了发展低碳经济的浪潮。

广东省集经济、人口、能源消费、碳排放大省和地区发展存在显著差异的特点于一身,发展和环境保护的矛盾异常突出,减排压力空前严峻。2010 年 7 月 19 日,国家发展和改革委员会下发了《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》,将包括广东省在内的五省八市列入国家低碳试点范围。国务院发布的《“十二五”控制温室气体排放工作方案》下达给广东的节能减排任务为到 2015 年单位 GDP 能耗在 2010 年的基础上下降 18%,高出全国平均 16% 的目标;而单位 GDP 二氧化碳排放下降 19.5%,为全国各省(区、市)中最高。广东碳减排的压力尤为迫切,急需行之有效的低碳发展路径和碳减排对策。

广东省低碳转型要把握好“高度、角度、尺度、力度”四个维度,使之高效协调统一,高度是指站在全省的高度设定合理的节能减排总体目标;角度是指找到节能减排的关键因素、关键行业 and 关键区域,才能开展针对性的节能减排分目标;尺度是指从宏观、中观和微观开展不同尺度的研究,才能更深入了解全局和局域特征;力度是指根据前面三种维度的综合结果对节能减排的政策措施进行不同力度的实施操作,而不能一视同仁。其中,高度这一维度全省已经给出明确定位,即实现能源消费总量和消费强度“双控”目标,不同角度和不同尺度碳排放研究是本书需要开展研究的主要内容,政策实施力度是本书在理论研究的基础上提出的低碳转型的差异化节能减排政策建议。

鉴于此,本书在对广东省能源及其产生的碳排放进行核算的基础上,以 KAYA 恒等式和 Tapio 脱钩模型为基本原型,经过层层扩展、嵌入和整合,构建了能源碳排放影响因素分解模型、能源碳排放脱钩弹性分解量化模型、碳生产率与人均 GDP 的空间追赶脱钩模型等一系列时空模型,从不同角度、不同尺度系统分析了广东省能源碳排放的时空变化趋势,能源碳排放的影响因素,能源碳排放与经济脱钩的空间格局



及影响因素,碳生产率与人均 GDP 的空间追赶脱钩,21 个地级市、区县能源碳排放空间集聚与异质性等的基礎上,提出了针对关键影响因素、关键行业、关键地区的差异化节能减排政策建议。

本书研究成果具有重要的理论意义和实践意义。

从理论意义上讲,本书在运用 KAYA 恒等式和 Tapio 脱钩模型的同时,对两个模型进行了扩展、嵌入和整合,构建了一系列新的模型组合方式,为从不同角度、不同尺度的研究提供了针对性的研究方法,得出了比较全面的研究成果。

从实践意义上讲,本书研究结论将对广东省制定针对性、高效、差异化碳减排政策,发展低碳经济,实现低碳省建设具有重要意义;对实现广东经济又好又快发展,协调广东经济与环境发展的良性循环有着重要的现实意义和深远的历史意义;同时,研究结果对我国及其他省市低碳经济发展也具有一定的实证借鉴意义。

第三节 国内外研究进展

一、文献综述

1. 期刊论文

在中国知网(China National Knowledge Infrastructure, CNKI)上以检索条件“[题名=碳排放或者 Title=中英文扩展(碳排放,中英文对照)]或者[题名=温室气体排放或者 Title=中英文扩展(温室气体排放,中英文对照)](模糊匹配),专辑导航:全部;数据库:文献跨库检索”进行检索,检索时间 1900—2018 年,检索到核心期刊文献总数 19942 篇。从碳排放论文发表量年度变化趋势(见图 1-1)可以看出,2006 年(“十一五”)开始,学术界对碳排放开展研究的相关论文逐渐增多,特别是从 2010 年开始,相关研究论文如“井喷式”快速发展。其中,中文文献 11652 条,外文文献 8293 条。这一时期,是我国节能减排的关键时期,大量开展碳排放相关主题的研究(见图 1-2),可以为我国节能减排、完成向国际承诺的碳减排目标提供理论支持和政策依据。

2. SCI (SCIE) 期刊论文

以主题=energy carbon emission or CO₂ emission 在“web of sciences”进行检索,检索出 7876 条记录(1900—2018 年)。图 1-3 展示了最近 25 年来的变化趋势,可以看出,1993 年以来,开展相关研究的文献呈逐年上升趋势,其中,从 2009 年开始,碳排放相关的论文有明显的增多趋势。由此可见,国外对碳排放和温室气体排放的关注要稍微早于中国。从其研究方向来看,重点关注的五个研究领域分别为生态环境科学、工程学、能源燃料、商业经济学和气象学大气科学。(见图 1-4)



总体趋势分析

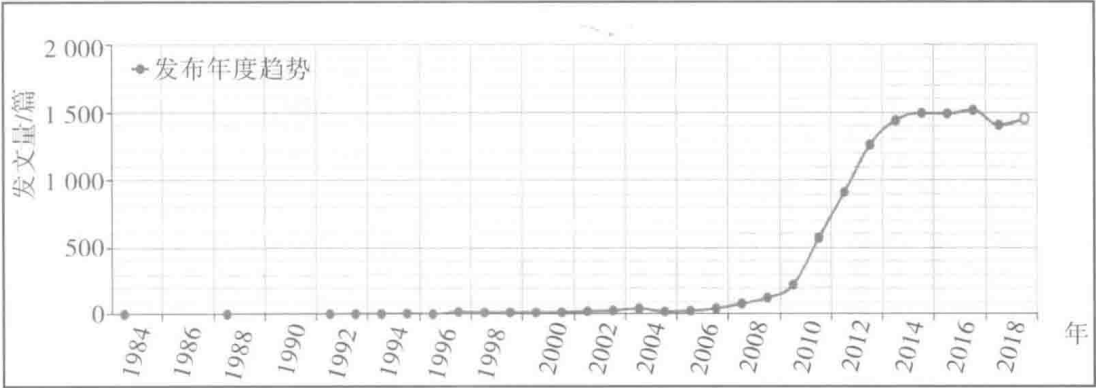


图 1-1 1900—2018 年碳排放论文发表量年度变化趋势

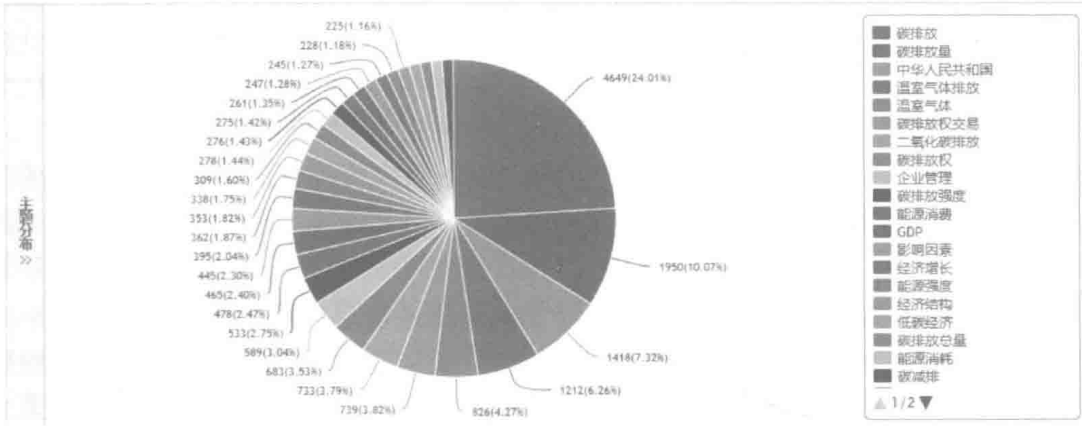


图 1-2 碳排放相关主题分布情况

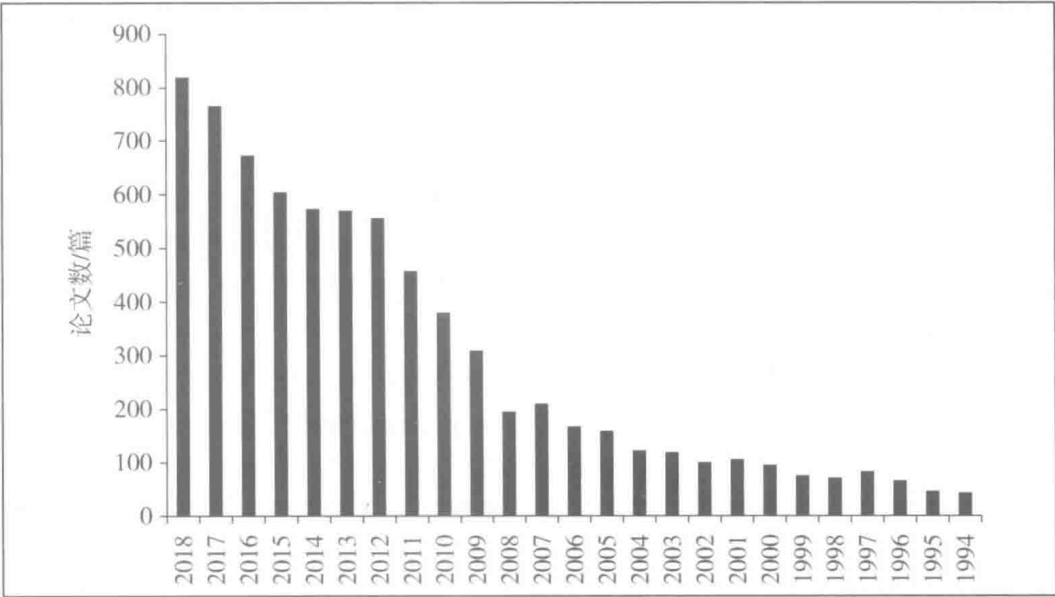


图 1-3 最近 25 年碳排放相关 SCI (SCIE) 期刊论文篇数年度变化趋势