

基于低碳经济的节能 减排与能源结构优化

范德成 王韶华 许 珊/著



科学出版社

基于低碳经济的节能 减排与能源结构优化

范德成 王韶华 许 珊 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书在深刻阐述低碳经济内涵的基础上,研究了低碳经济的影响因素及其驱动机理,分析节能减排与低碳经济的关系,研究节能减排的低碳效应和低碳机制,对我国30个省(自治区、直辖市)的节能减排绩效进行综合评价,给出了我国基于低碳经济的节能减排实现路径;分析能源结构对低碳经济的作用关系,研究能源结构的低碳效应,对我国历年能源结构合理性进行综合测度评价,构建基于低碳经济的能源消耗结构优化模型对我国能源消耗结构进行优化,考虑能源消耗结构优化的结果,对我国能源供给结构进行优化;针对我国低碳经济发展的实际,提出了基于低碳经济的我国节能减排与能源结构优化的对策建议。发展低碳经济的手段可分为节能减排、能源结构优化、碳汇,本书结合我国实际,从低碳经济角度对前两种类型进行了全面系统研究。

本书可作为经济、管理领域研究者和实际工作者的参考资料,也可供高等院校相关专业的教师、研究生和本科生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

基于低碳经济的节能减排与能源结构优化 / 范德成, 王韶华, 许珊著. — 北京: 科学出版社, 2018.1

ISBN 978-7-03-055348-5

I. ①基… II. ①范… ②王… ③许… III. ①节能减排—研究—中国 ②能源结构—研究—中国 IV. ①F424.1 ②F426.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 279803 号

责任编辑: 李 莉 / 责任校对: 贾娜娜
责任印制: 吴兆东 / 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

*

2018年1月第 一 版 开本: 720×1000 1/5

2018年1月第一次印刷 印张: 15 1/2

字数: 310 000

定价: 102.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

随着社会经济的发展，人类活动排放的二氧化碳不断增加，由此形成的温室效应越来越明显，引起地球变暖、海平面上升、极端天气增加等严重问题，直接威胁到人类和其他地球生物的生存。“低碳经济”一词最早出现在2003年英国能源白皮书《我们能源的未来：创建低碳经济》中。作为第一次工业革命的先驱和资源并不丰富的岛国，英国充分意识到了能源安全和气候变化的威胁，并认为降低碳排放已经迫在眉睫。

低碳经济是指在可持续发展理念指导下，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”概念的核心是可持续发展，即在降低碳排放的前提下实现经济社会的发展，其有两个要点：一是要保持经济社会发展，满足人类的需要；二是要综合运用多种手段减少碳排放。我国作为世界第二大经济体，同时也作为最大的发展中国家，碳排放总量全球排名第一，单位GDP碳排放量在主要经济体中排名第一，人均碳排放量也排名靠前，发展低碳经济的责任重大，面临着极大挑战，节能减排任务十分艰巨。

发展低碳经济的手段很多，包括工业节能、建筑节能、交通节能、调整产业结构、发展新能源、生物碳汇、物理碳汇、低碳生活等，涉及经济、社会的各个方面，但不外乎三种类型：一是节能减排，通过提高经济发展中的能源效率达到减少碳排放的目的；二是能源结构优化，通过低碳能源对高碳能源的替代减少碳排放；三是碳汇，通过各种物理、化学和生物手段将排放出的二氧化碳回收以减少实际的碳排放量。本书针对前两种类型，结合我国的实际，从低碳经济的角度对节能减排与能源结构优化进行了系统研究。

本书在深刻阐述低碳经济内涵的基础上，研究低碳经济的影响因素及其驱动机理，分析我国发展低碳经济取得的成绩、面临的问题和存在的障碍；对节能减排进行概念界定，分析节能减排与低碳经济的关系，研究节能减排的低碳效应和低碳机制；在对我国节能减排的现状、面临的问题和发展趋势进行深入分析的基础上，应用解释结构模型（interpretative structural modeling, ISM）理论构建基于

ii 基于低碳经济的节能减排与能源结构优化

低碳经济的节能减排影响因素层级结构模型，揭示了我国基于低碳经济的节能减排影响因素的层次结构关系及其作用路径；构建基于低碳经济的节能减排绩效评价体系，运用基于参数的SFA（stochastic frontier approach，即随机前沿方法）测试环境约束下的我国区域全要素能源效率，利用脱钩方法分析我国低碳建设首批低碳试点省份的碳排放绩效，运用熵值法和模糊综合评价法对我国30个省（自治区、直辖市）的节能减排绩效进行综合评价；构建节能减排路径的理论模型与理论假设，运用结构方程模型（structural equation modeling，SEM）对理论路径进行实证检验，通过验证对理论模型进行修正，给出实现节能减排的三条路径，即产业结构调整路径、能源结构优化路径与技术创新路径，并对三条路径的实现进行定量与定性分析；对能源结构进行概念界定，分析能源结构对低碳经济的作用，构建分解模型揭示能源结构的低碳效应；在对我国能源结构的现状、战略和政策以及发展趋势进行深入分析的基础上，结合基于低碳经济的能源结构的影响因素分析，提出基于低碳经济的我国能源结构优化的目标、重点和任务；综合运用粗糙集理论和AHP（analytic hierarchy process，即层次分析法）构建基于低碳经济的能源结构评价指标体系，通过未确知测度评价模型对我国历年能源结构合理性进行综合测度评价；通过改进IPAT模型（即环境负荷模型，其中，I为human impact，P为population，A为affluence，T为technology）对我国基于低碳经济的能源消费进行了情景预测，利用数学规划方法构建基于低碳经济的能源消耗结构优化模型，对基于低碳经济的我国能源消耗结构优化进行实证分析；综合运用灰色预测法、趋势预测法和变权重组合预测法对我国能源供给进行预测，在分析我国低碳能源发展潜力的基础上，对低碳能源的发展规模进行情景预测，根据能源消耗结构优化的结果对我国能源供给结构进行优化；根据基于低碳经济的节能减排与能源结构优化的研究成果，针对我国低碳经济发展的实际，提出基于低碳经济的我国节能减排与能源结构优化的对策建议。

本书的一系列研究工作是在国家自然科学基金项目“基于自组织的产业结构演化机制与模型研究”（编号：71373059）、高等学校博士点基金项目“基于低碳经济的能源结构优化研究”（编号：20122304110018）、教育部人文社会科学基金项目“基于低碳经济的节能减排实现路径与绩效评价研究”（编号：13YJA630016）和河北省自然科学基金项目“灵敏度视角下河北省能源结构变动对碳排放的影响及其优化研究”（编号：G2016203011）的资助下完成的，特在此致谢！

本书的另两位作者王韶华和许珊都是我的博士研究生，他们从2010年开始参与此项研究，分别主攻基于低碳经济的能源结构优化和节能减排。本书中的成果是由我们的研究团队共同研究得出的，团队成员还包括贾立江、曹静、李冰、潘霞、张海峰、邓志茹、李昊等，他们也为本书做出了重要贡献。在整个研究过程中，我们密切合作，对相关问题进行了详细、深入的探讨，从而使最初的设想变

成了现实的研究成果，在此向他们表示感谢。此外，在本书写作过程中，也广泛参阅了国内外相关的文献资料，借鉴了许多中外同行的研究成果，在此一并表示感谢。

由于作者水平所限，难免有不妥之处，敬请有关专家和广大读者批评指正。

范德成

2017年9月20日于哈尔滨工程大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究的背景、目的和意义	1
1.2 国内外研究现状	3
1.3 研究思路、内容和方法	18
第 2 章 我国低碳经济发展概述	21
2.1 低碳经济的内涵	21
2.2 低碳经济的影响因素及其驱动机理	23
2.3 我国低碳经济的现状分析	32
第 3 章 节能减排的低碳效应与机制	37
3.1 节能减排的概念界定	37
3.2 节能减排与低碳经济的关系	38
3.3 节能减排的低碳效应	39
3.4 节能减排的低碳机制	42
第 4 章 我国节能减排的现状与趋势	46
4.1 我国节能减排的现状分析	46
4.2 我国节能减排的难点问题及战略步骤	52
第 5 章 基于低碳经济的我国节能减排影响因素及其层级结构与作用路径	55
5.1 基于低碳经济的我国节能减排影响因素	55
5.2 基于 ISM 模型的影响因素层级结构研究	56
5.3 影响因素的作用路径分析	62
第 6 章 基于低碳经济的我国节能减排绩效评价	64
6.1 基于低碳经济的节能减排绩效评价体系构建	64
6.2 我国能源效率评价	66
6.3 我国碳排放效率评价	72
6.4 基于低碳经济的节能减排模糊综合评价分析	75
第 7 章 基于低碳经济的我国节能减排路径	81
7.1 基于低碳经济的节能减排路径理论设计	81

7.2	实证研究——结构方程模型	86
7.3	基于低碳经济的我国节能减排路径实现	90
第8章	能源结构的内涵与低碳效应	109
8.1	能源结构的内涵	109
8.2	能源结构对低碳经济的作用	110
8.3	能源结构的低碳效应	111
第9章	我国能源结构的现状及趋势	116
9.1	我国能源结构的现状分析	116
9.2	我国能源发展战略和政策的回顾与评估	126
9.3	我国能源结构的趋势分析	130
第10章	基于低碳经济的我国能源结构影响因素与优化目标	134
10.1	基于低碳经济的我国能源结构影响因素	134
10.2	我国能源结构影响因素的路径分析	135
10.3	基于低碳经济的我国能源结构优化目标	139
10.4	我国能源结构优化的重点和任务	143
第11章	基于低碳经济的我国能源结构评价	146
11.1	初始指标体系的构建	146
11.2	评价模型的选择	148
11.3	实证分析	150
第12章	基于低碳经济的能源消耗结构优化模型及实证分析	162
12.1	我国低碳经济的情景分析	162
12.2	基于低碳经济的我国能源消耗结构优化模型构建	167
12.3	基于低碳经济的我国能源消耗结构优化实证分析	169
第13章	基于低碳经济的我国能源供给结构优化	175
13.1	我国能源供给预测	175
13.2	我国低碳能源发展规模预测与评估	197
13.3	能源供给结构优化	207
第14章	基于低碳经济的我国节能减排与能源结构优化对策	211
14.1	调整产业结构,完善交易机制和税收体系	211
14.2	加强节能减排技术的创新和系统应用	215
14.3	完善碳税和碳市场化模式	216
14.4	构建低碳城市倡导绿色消费模式	218
参考文献		221
附录		236

第1章 绪 论

1.1 研究的背景、目的和意义

1.1.1 研究的背景

1. 我国发展低碳经济的必然性和紧迫性

人类对资源的无序开采与不合理利用,导致生活环境的日益恶化。这一趋势在我国尤为严重,尤其是近年来全国各地频频出现雾霾天气。人们不禁会问,“我们生活的环境到底哪里出了问题?”,就连空气、水这些最基本的物质也受到不同程度的污染。其实这些问题的答案在于人们自身,由于人们以往忽视环境保护,对资源进行掠夺性的开采,且又不合理利用,污染物的排放量逐年上升。我国经济发展的速度的确创造了“世界奇迹”,但同时,我国的污染物排放量,尤其是温室气体的排放量,也位居世界第一。“低碳经济”(low-carbon economy)一词正是在这样的背景下被提出来,并越来越受全球关注。我国在哥本哈根世界气候会议上承诺,2020年碳强度在2005年基础上减少40%~45%。为兑现这一承诺,2009年3月中国科学院发布了《2009中国可持续发展战略报告》,报告中提出,在2005年基础上,2020年能耗强度和CO₂排放强度分别降低40%~60%和50%左右,并将其作为我国低碳经济发展的目标。低碳经济,是一种以低能耗、低排放、低污染为特征的可持续经济发展模式,其实质就是利用技术进步和制度创新转变能源利用方式,提高能源效率,优化能源结构^[1-2]。因此,实现低碳经济的关键在于节能减排和能源结构优化。

2. 我国节能减排压力不断增大、形势严峻

截至2015年底,我国的“十二五”节能减排目标已经基本实现,我国经济也经受住了全球性经济衰退的冲击,实现了平稳、快速增长。然而我国作为世界上人口最多的国家,同时也是世界上最大的煤炭消费国,工业化和城市化的加速发展,使我国的节能减排压力不断增大。目前节能减排各方面的工作仍存在认识不到位、责任不明确、措施不配套、政策不完善、投入不落实、协调不

2 基于低碳经济的节能减排与能源结构优化

得力等问题，我国节能减排任务的形势严峻。温家宝同志在讨论部署节能减排工作时提出，要从“节能减排是对政府执行力和公信力的考验”转变为“全社会动员、全民参与，使节能减排成为自觉行动”，使节能减排真正成为一场从政府到民众的“全民攻坚战”。

3. 以煤炭为主的能源结构阻碍了低碳经济的发展

我国以煤炭为主的能源结构极其不合理，历年来，煤炭一直在我国能源结构中占据主导地位。但是，煤炭的利用效率极其低下，与石油和天然气相比，分别低了约23%、30%，单位GDP的增长需要耗费更多的煤炭，直接导致了能源效率低下、经济效益差、环境污染严重等问题的出现，与“低能耗、低排放、低污染、高增长”背道而驰，严重阻碍了低碳经济的发展。但是，煤炭的廉价、丰裕满足了我国经济发展的需要，使国内生产总值（GDP）对煤炭的依赖度较高，降低煤炭消费比重势必会影响我国经济的发展。因此，本书在不影响社会经济发展目标的前提下基于低碳经济探讨节能减排与能源结构优化问题，具有重要的意义。

1.1.2 研究的目的是和意义

基于日益严峻的经济与社会形势，本书试图在总结低碳经济现状、驱动因素及其驱动机理的基础上，论证节能减排和能源结构优化对低碳经济的重要影响，并通过描述对比低碳经济未来的发展情景，分析节能减排和能源结构优化的必要性。在此基础上，从低碳经济的角度，围绕节能减排和能源结构优化分别展开研究：对我国节能减排现状和发展潜力进行评价，找出存在的问题，并结合节能减排的影响因素，提炼基于低碳经济的节能减排的实现路径；根据低碳经济对能源结构提出的要求，分析与评价我国能源结构的现状，找出我国能源结构存在的问题，针对问题确定我国低碳经济下能源结构优化的原则、重点和目标，进而对我国的能源结构进行优化设计。最后，依据以上分析结果提出基于低碳经济的我国节能减排与能源结构优化的对策。可见，本书以低碳经济为背景，探究节能减排与能源结构优化问题具有重要的理论意义和现实价值。

1. 理论意义

第一，针对如何测量节能减排影响因素这一问题，大多数研究文献主要使用指数分解分析方法。本书采用ISM理论，通过构建层级结构模型，详细表述哪些因素对低碳经济节能减排产生重要作用，并建立了各因素之间的层次体系。在这一点上，本书拓展了节能减排研究的理论宽度。并且本书通过影响矩阵乘法分类法（matrixed impacts croises multiplication applique and classment, MICMAC）分析因素之间的相互关系，同时也对效用研究方法论做了有益的尝试。

第二，本书从产业结构和技术创新两个层面对中国基于低碳经济的节能减排

实现路径进行分解分析,以求更加全面地探讨节能减排的实现路径,同时也便于在一个统一的模型框架中分析节能减排的实现路径。这将为节能减排的实现问题提供一个新的研究视角。

第三,目前的能源结构优化主要立足于能源-经济或能源-环境协调发展的某个方面,围绕能源结构不合理的表现、能源结构预测、能源结构优化的对策建议等核心问题展开定性研究,随着我国低碳经济发展模式不断地深入推行,在实现经济增长的同时,碳排放控制的目标逐步明确化和具体化,因此本书通过途径分析方法定量研究我国能源结构对低碳经济的影响机理,利用粗糙集理论与未确知模型量化其在满足社会经济发展需求、碳排放控制、能源发展规划等方面的欠缺,验证了现有能源结构优化及低碳经济实现路径的相关理论。

2. 现实价值

第一,对我国未来低碳经济发展的情景进行比较,通过情景对比能够进行客观与深入的分析,更能反映未来低碳经济发展的道路选择,对政策制定者而言更具可操作性。

第二,通过基于低碳经济的节能减排绩效和能源结构优化评价研究,可以完善节能减排和能源结构优化的评价标准,为国家建设“资源节约型、环境友好型、生态文明型”社会提供必要的支持。

第三,随着国际气候谈判制度逐渐走上正轨,我国减、限排承诺的压力也越来越大。我国承担减排义务必须以不影响国家的社会经济正常发展为前提,本书以实现低碳经济为目标的能源结构调整研究和基于低碳经济的节能减排实现路径以及能源结构优化的研究,将有助于政府部门确定节能减排和能源结构优化的努力方向,更好地落实减排目标,为我国减排承诺的兑现提供指导,避免我国处于不利的政治和经济局面。

第四,随着承担减、限排义务,各国对碳排放控制的重视程度逐渐提高,碳排放量成为衡量人类经济发展方式的新指标,碳排放指标将成为未来国际社会竞争的重要衡量指标。以碳排放控制为约束条件设计的节能减排和能源结构优化方案,为制定合理能源发展规划和产业政策指明了方向,有助于增强我国的国际竞争能力,有利于我国经济的可持续发展。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国内外关于低碳经济的研究

1. 低碳经济的内涵

2003年2月24日,英国贸工部发布了《我们能源的未来:创建低碳经济》能源

4 基于低碳经济的节能减排与能源结构优化

白皮书,“低碳经济”一词开始进入人们的视线。之后各国学者纷纷从不同的角度对低碳经济的概念和内涵进行阐述。

Dagoumas和Barker强调低碳经济的目的性,认为低碳经济的终极目标是经济发展的同时降低碳排放量,这个目标需要技术创新来实现^[3]。付允等将低碳经济的特点概括为“三低三高”,三低包括低排放、低能耗和低污染,三高包括高效益、高效能及高效率^[4]。方时姣从生态环境与经济发展的角度诠释低碳经济的内涵,即实现排放、生态环境代价和社会经济成本最低,并最终建立起生态系统与人类社会的动态平衡^[5]。上述学者对低碳经济的理解各不相同,但是其主要思想是一致的,那就是在人类生产、生活的各个领域,降低能源尤其是不可再生能源的利用量,减少碳排放,实现人类社会与自然环境的协调、可持续发展。

2. 低碳经济的影响因素研究

Wang等分析了1957~2000年影响我国二氧化碳排放的因素,并用对数平均迪氏分解法(logarithmic mean Divisia index, LMDI),将CO₂排放因素进行分解,研究结果显示,减少碳排放的主要因素是能源强度,同时经济发展也导致了碳排放量的增加^[6]。

Puliafito等在分析影响碳排放的因素的基础上,运用捕食者-猎物模型(Lotka-Volterra model)对人口数量、GDP发展速度和能源效率对碳排放的影响作用进行分析^[7]。Dalton等提出当人类社会步入老龄化阶段,人口因素会与技术进步一样直接使碳排放总量降低,并利用PEST(politics-economic-society-technology,即政治、经济、社会、技术)模型验证了这一设想,同时预计发达国家将会在2020年前后步入老龄化社会^[8]。Ramanathan利用数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)方法进行碳排放效率分析,数据表明碳排放效率指标在1980年前呈平稳上升趋势,于1980年达到最高值,在急剧下降之后在1987年以后进入反复震荡时期,并最终于1996年回升^[9]。Reid和Goldemberg的研究表明,在控制碳排放的问题上,广大发展中国家也是有所作为的,以中国为例,自从20世纪80年代进行能源价格调整,中国逐步降低煤炭和石油行业的价格补贴,并同时大力发展可再生能源,进而有效控制碳排放^[10]。

Grossman和Krueger在研究经济与环境关系时,发现自然资源消耗和污染物排放综合指标会随着国民经济收入的增长呈现“倒U形”波动^[11]。Selden和Song采用固定效应模型,将人口密度纳入对污染物和GDP的EKC(environmental Kuznets curve,即环境库兹涅茨曲线)估算体系中,得出人口密度低的国家,尤其是发达国家,对环境保护的高度重视和有效措施是形成EKC曲线的原因^[12]。

碳排放的影响因素研究是国内学者们关注的重点,王锋和冯根福分析和评价了经济发展、人口增长、城镇化、工业化、能源结构调整、居民消费模式变化、

能源技术进步和能源价格上涨8个影响因素对我国低碳经济发展的影响,研究结果显示,我国能够通过以下方式推动低碳经济发展:引导居民消费模式变化、调整能源结构、促进能源技术进步、提高能源价格等政策^[13]。王卉彤和王妙平测算了11个省区1997~2007年影响碳排放量的灰色关联强度,测算结果表明,与碳排放量关联强度最大的是人均消费,其次是人口数量,并且人均消费充分地诠释了碳排放量^[14]。雷厉等认为导致碳排放量上涨的关键要素是人均GDP,而能源强度下降则可以约束导致碳排放增长的主要因素,能源结构推动了碳排放的增长,但影响程度较小^[15]。唐建荣等研究发现能源强度、一次能源结构、经济发展规模和城市化发展水平四个因素对碳排放有较强并且稳健的影响力^[16]。

不少学者针对碳排放的区域影响因素问题,结合各自区域的不同特点开展研究。李鹤对1995~2009年东北地区工业部门CO₂排放演变及影响因素进行分析,认为工业产出规模的快速扩张及行业结构的变动是导致区域工业CO₂排放总量迅速上升的主要因素^[17]。苏方林等以广西为例,建立了碳排放量与影响因素的对比模型,并对碳排放量的影响系数与时间变化做了脉冲响应函数分析^[18]。李伟运用混合最小二乘估计、个体固定效应和随机效应三种静态面数据,通过研究发现经济增长状况是区域碳排放量最重要的影响因素,产业结构和出口对东中部地区碳排放量的影响比较显著,对西部地区影响不显著^[19]。

在低碳技术的影响因素研究方面,张宏武和尹嘉慧运用SPSS软件中的积差相关方法,对低碳技术影响因素进行相关性分析,进而运用逐步回归法对各指标对低碳技术的影响程度进行分析,认为非化石能源比重、能源强度、人口城镇化率和专利申请授权数对低碳技术影响显著^[20]。董锋和龙如银利用DEA方法设计区域低碳经济发展指数,对江苏区域低碳经济发展水平进行测度^[21]。赵贺春和刘丽娜认为低碳经济影响因素主要有经济增长方式、工业化水平、能源消费结构、环境约束程度、产业结构调整等;低碳经济发展的政策包括优化能源结构、利用清洁发展机制、加大低碳技术自主研发力度、推进生物固碳等^[22]。夏劲认为发展低碳经济的关键在于能源技术创新,科技管理制度创新是实现低碳技术创新的根本保障,提出发展中国低碳经济必须依靠技术创新、提升产业结构、优化能源结构、提高自主创新能力^[23]。

3. 低碳经济的评价体系研究

Jia等运用逼近理想解排序法(technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS)和模糊层次分析技术(fuzzy analytic hierarchy process, FAHP),探讨低碳经济评价中的模糊性和非线性问题^[24]。崔和瑞和武瑞梅引入了三螺旋理论体系,进行高校、企业、政府低碳技术创新合作机制研究^[25]。贺胜兵等采用AHP计算了低碳经济评价体系各项指标对总目标的权重,对湖南长沙市低

6 基于低碳经济的节能减排与能源结构优化

碳经济发展水平进行评价^[26]。潘文砚和王宗军构建了基于“驱动力-压力-状态-影响-响应”(driving forces-pressure-state-impact-responses, DPSIR)模型的低碳竞争力评价指标体系,并用主成分分析(principal component analysis, PCA)法对中国低碳竞争力进行评价,得出我国的低碳竞争力整体上呈现逐年递增态势的结论^[27]。

在低碳经济的区域评价方面,付加锋等利用层次分析的方法,从省际角度出发,建立了指标体系,对低碳经济的发展程度进行评价,并用对比法将部分关键指标与国外的相应指标进行比照剖析^[28]。周彬等运用多目标线性加权函数模型,对浙江省低碳经济发展潜力进行综合评价^[29]。纪志荣等运用模糊层次分析法和基尼系数对指标赋权,构建福州市低碳经济综合评价体系^[30]。陈跃等在梳理已有的区域低碳发展评价研究后,提出将区域节能减排效率、潜力评估纳入低碳发展综合评价研究框架,同时在建立低碳发展的综合评价模型时引入了变权理论^[31]。鲍超和罗奎构建了由低碳能源、低碳经济、低碳社会、低碳环境、低碳技术5个准则层和19个具体指标组成的综合评估指标体系,测算我国31个省会城市2010年低碳发展综合水平^[32]。王喜等借鉴DPSIR模型,选取碳排放强度、人均碳排放等25个指标,构建了基于DPSIR模型的低碳经济发展评价指标体系,对黄河中下游地区主要省份的低碳经济发展水平进行研究^[33]。

在低碳经济的绩效评价方面,Zhou等采用DPSIR模型评价了全球36个城市温室气体排放的社会经济动态及其对环境产生的压力;结果表明,绝大多数的城市体现了低碳经济,并且大部分的低碳经济都是基于压力导向动力^[34]。Xin和Wu通过运用低碳经济理论、财务会计理论和经济分析理论,对低碳经济审计工作进行了量化考核,重点分析了项目建设的社会效益与社会成本,并提出了低碳经济的定量评价方法^[35]。Wang和Sun利用因子分析法,构建了低碳经济的指标体系,评价了15个资源型城市的低碳经济发展程度^[36]。Perino和Leimer根据国家要求及规定的能效标准,建立二氧化碳节能潜力的检测基准线,计算了7种不同建筑形式的能量要求,并应用模型计算了潜在二氧化碳排放量^[37]。Long和Pan建立了一种基于经济效益的绩效评价体系,重点关注社会责任与低碳环保体系;利用此系统进行的实证研究表明,三废排放量的指标权重位列第二,环保投资率的指标权重位列第五;由此可知,企业愿意并已实现用一定的利润研发低碳技术、减少能源消费^[38]。

屈小娥和曹珂建立了低碳经济拓展进度评价指标体系,并对陕西省的发展程度进行了评价,陕西省低碳经济发展水平与全国平均水平相比较低^[39]。苏美蓉等从低碳城市建设的视角概括低碳城市评价指标,归纳了上海等城市的低碳规划路径,剖析了目前城市低碳发展程度的评价结果^[40]。卜华白在进行面向低碳经济的中国铅锌工业发展水平评价的基础上,构建了中国铅锌工业系统五个子系统的发

展动力基模,提出了低碳发展的策略与误区规避措施,并进行实证研究^[41]。金小琴和杜受祜在构建低碳竞争力评价指标体系的基础上,采用主成分分析法、熵值法和聚类分析法对西部12个省(自治区、直辖市)的低碳竞争力进行评价^[42]。

4. 低碳经济的实现路径研究

Nakata 和 Lamont 研究发现,发展低碳经济,提高可再生能源和清洁能源的利用率,就要同时改革能源税与碳排放税,这样才能够实现计划内的碳排放下降目标^[43]。Baranzini等认为能源税率是碳税税率制定的基础,而各国由于具体国情不同而产生的能源税差别是国际碳税税率协调的巨大阻碍;同时,尽管理论上碳减排最有效的方法是实施碳税机制,但在实践过程中,往往会由于其他原因而导致碳税税率的差别,只有在进行能源税改革的基础上才能将碳税的调控作用充分发挥出来^[44]。Cheng 等以灰色关联与投入产出为理论依据,以模糊目标规划为方法,建立了仿真模型,在三种碳税方案下对碳排放程度与经济发展进行仿真模拟,并根据仿真结果选取各国的碳税方案,从而使其能够更好地发挥效果^[45]。

低碳经济在全世界范围内广泛发展的同时,在我国也在不断发展。我国学者纷纷从自身的实际出发,丰富低碳经济理论的内涵,并探索适合中国国情的绿色发展模式。

在政策体系方面,彭博在介绍英国发展低碳经济的经验的同时,认为应加强顶层设计,建立有利于低碳经济发展的财税金融政策体系,加快低碳技术创新,提高能源效率,优化能源结构,加强低碳经济立法,充分发挥政府的主导作用^[46]。门丹在对美国低碳经济政策做了较为详细的考察后,认为国际国内两方面的激励与约束以及金融危机后美国国家发展战略的调整是美国低碳经济政策转向的原因^[47]。

在实现手段方面,包红梅认为低碳技术创新是实现低碳经济的重要手段,我国低碳技术创新的发展受经济结构、能源结构、技术创新基础及国际环境等诸多因素的制约^[48]。刘朝和赵涛根据主要影响因素从基础情景、低碳情景和受挫情景定量模拟了中国2020年低碳经济发展水平,并预测了低碳情景下2020年各类能源消耗总量及污染物排放量^[49]。范德成等认为低碳经济实现的重点在于能源结构的优化,能耗量约束和GDP增长对能源消费结构的优化起直接推动作用;但在碳强度和能耗强度保持不变的条件下,碳排放约束和能耗量约束总体上对能源消费结构的优化起抑制作用^[50]。王占刚等在提出中国低碳经济模型管理与应用框架结构的基础上,设计低碳经济能力评价算法,设定4种情景获得不同指标间的关系与变化趋势^[51]。肖海平采用数据包络法、投入产出法、因子分析法和地理加权回归模型等方法探讨了湖南省产业部门能源消费和碳排放强度的现状特征及其空间差

异,提出了湖南省各市州产业结构低碳转型的差异化策略^[52]。李少凤等认为在进行技术创新时,将低碳经济的思想作为基础纳入其中,就会使技术创新的价值取向以生态、社会、经济的整体利益为主,这必然产生新的评价标准^[53]。

在区域与产业研究方面,部分学者结合山东、四川、黑龙江、苏州、深圳等地区的自身特点,对其发展低碳经济提出相适应的路径选择^[54~58]。还有学者从汽车、建筑、新能源、旅游等产业角度,结合不同产业的发展特点,提出发展低碳经济的对策^[59~62]。

1.2.2 国内外关于节能减排的研究

1. 节能减排的影响因素与评价研究

环境污染问题逐渐受到人们的关注,节能减排也不断得到重视。节能减排会不可避免地产生一些成本,甚至会拉低企业的效益。因此,掌握企业节能减排的影响因素,评价企业节能减排绩效,使企业及时了解节能减排的重要作用,带动企业节能减排行动,针对节能减排所存在的问题及时调整减排过程,将对企业降低成本起到非常重要的作用。

在影响因素方面,Bosseboeuf等^[63]、Dyckhoff和Allen^[64]通过DEA法对欧洲各国的环境生态效率进行综合评价。van Berkel运用指数分解法,对欧盟15国1995~2004年的能源强度变化趋势进行分析,认为欧盟国家的能源强度经历了先升后降的过程^[65]。Price等综合运用定性和定量的方法,评价我国“十一五”规划期间的节能减排成果,研究认为能源效率的提高是成功实现“十一五”期间我国单位GDP能耗降低20%的目标的直接原因^[66]。

我国学者分别介绍了美国、德国、日本、荷兰和中国台湾等国家和地区节能减排的经验及对发展节能减排的启示,进而在节能减排的影响因素与评价问题上开展了广泛而深入的研究。郭英玲等推出一种新的评价方法,即以节能减排为基础的简式生命周期法;这种方法是以前节能减排为目标,建立新的评价体系,评价的对象是废物排放与能源消费的影响因素,按照评价结论探讨生产链中的薄弱环节,有针对性地提出解决方法,实现真正的节能减排^[67]。朱启贵构建我国节能减排统计指标体系,提出我国必须加强能源和环境统计工作,建立物质流核算、能源流核算和绿色国民经济核算体系^[68]。魏楚等在衡量全要素生产率(total factor productivity, TFP)过程中将废弃物纳入考量,以我国30个省(自治区、直辖市)3年的投入产出数据为基础进行实证研究,评价了各地的能源效率与节能减排潜力;并以此为前提,对中国“十一五”规划中的节能减排约束性目标的可行性、地区目标分解以及潜在经济损失进行了评价和模拟,并提出未来推进工作的关键是建立内驱机制,以政策为后盾实现节能减排^[69]。杨华峰和姜维军认为节能减排

效果是考核企业资源效率的重要依据,并建立了包括资源综合利用、废弃物排放、无害化、资源消费以及支持力几方面的评价减排效果指标体系^[70]。沈骋等^[71]、岳睿^[72]、蔡凌曦等^[73]学者对城市节能减排指标体系的设计和具体实践进行了研究。

在节能减排绩效评价方面。李宁等采用遗传算法的投影寻踪模型,以山东省10年工业数据为例,从能源消费、污染处理、固体物排放等方面评价节能减排绩效^[74]。Wen等以亚太一体化模型(Asian-Pacific integrated model, AIM)为基础,评价了2010~2020年中国水泥行业节能减排绩效,用三种情景模式描述水泥行业未来科技政策的发展状况^[75]。王世进以平衡计分卡思想为基础,设计了从节能减排视角出发的战略绩效评价体系,通过研究发现,经济效益与技术投入对节能减排起到了较大的作用^[76]。徐光华等总结了近20年国内外学者针对节能减排绩效评价的文献,从投入产出的视角出发,建立企业节能减排绩效评价指标体系,通过运用DEA模型,评价我国42个行业治理废水、废气减排的投资绩效^[77]。

2. 节能减排的实现途径研究

Geller等详细介绍了巴西、韩国、菲律宾等国家为鼓励提高能效、发展可再生能源等而制定的相关政策^[78]。Worrell和Price在总结归纳发达国家的节能政策和经验的基础上,认为在市场经济条件下的节能环保战略实施过程中,政府的引导作用未得到充分发挥^[79]。Smale等从气候发展的视角分析了CO₂排放模式的改变对企业利益和市场价格的影响^[80]。Kraft J 和Kraft A 认为国民生产总值(gross national product, GNP)与能源消费间存在单向因果关系^[81]。为实现节能减排,我国学者张通^[82]、张炜和樊瑛^[83]、肖志明和张华荣^[84]、曲建升等^[85]首先在借鉴英国、德国、日本等国外先进经验的基础上,对我国实施节能减排提出有效措施。随后不少学者纷纷对我国进行节能减排的区域开展研究:郑兴有等考察了东、中、西三大区域不同行业的能源消费与就业之间的关系,通过研究发现在全国范围内,节能减排政策对工业和建筑业的就业将起抑制作用,而对服务业的就业具有促进作用^[86]。于鹏飞等运用DEA法,宏观上对国内各地区开展节能减排成效评价,构建评价减排效果的指标模型,实证结果显示,我国的水资源利用率、废水废气治理、能源效率等都有显著提高,说明我国的节能减排存在巨大的潜力^[87];陈诗一构建了一个基于方向性距离函数的动态行为分析模型进行模拟分析,找寻最优节能减排路径,研究发现在此路径下,节能减排在生产初期会产生较大成本,造成一些损失,但是随着节能减排效果的提升,成本损失会逐渐降低,终会小于产出增长从而实现双赢^[88];刘小敏和付加锋运用情景分析方法,利用可计算的一般均衡(computable general equilibrium, CGE)模型估算我国未来10年内的节能减排目标实施力度障碍,根据估算结果可知,调整产业结构对节能减排效果影响不大,但产业能源强度的降低会对减排效果的提升做出巨大贡献,因此,调控高耗能企