



中国经济文库·应用经济学精品系列(二) ▶▶▶▶▶▶

迟远英◎著

低碳经济下电力行业 节能减排关键问题研究

Research on Key Issues of Energy Saving
and Emission Reduction in Power Industry
for Low-Carbon Economy

 中国经济出版社
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE



中国经济文库·应用经济学精品系列（二）

迟远英◎著

低碳经济下电力行业 节能减排关键问题研究

Research on Key Issues of Energy Saving
and Emission Reduction in Power Industry
for Low-Carbon Economy

 中国经济出版社
CHINA ECONOMIC PUBLISHING HOUSE

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

低碳经济下电力行业节能减排关键问题研究 / 迟远英著.

北京: 中国经济出版社, 2015. 10

ISBN 978 - 7 - 5136 - 3538 - 7

I. 低… II. ①迟… III. ①电力工业—节能—研究—中国 IV. ①F426. 61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 249257 号

责任编辑 赵静宜

责任审读 贺 静

责任印制 巢新强

封面设计 华子图文

出版发行 中国经济出版社

印刷者 北京艾普海德印刷有限公司

经销者 各地新华书店

开 本 16

印 张 12

字 数 183 千字

版 次 2015 年 10 月第 1 版

印 次 2015 年 10 月第 1 次

定 价 48.00 元

广告经营许可证 京西工商广字第 8179 号

中国经济出版社 网址 www.economyph.com 社址 北京市西城区百万庄北街 3 号 邮编 100037

本版图书如存在印装质量问题, 请与本社发行中心联系调换(联系电话: 010 - 68330607)

版权所有 盗版必究(举报电话: 010 - 68355416 010 - 68319282)

国家版权局反盗版举报中心(举报电话: 12390)

服务热线: 010 - 88386794

序 言

目前，国际碳交易市场持续遭挫，极端气候事件频发，温室气体排放、全球变暖日益威胁人类生存乃至经济可持续发展，成为国际性焦点问题。气候变化使发展“低碳经济”成为各国共识。

以“高碳”为主要特征的“发展排放”严重阻碍我国能源的可持续发展和低碳经济的实现。当前，我国政府已向全世界承诺：争取到2020年非化石能源占一次能源消费比重达到15%左右，中国单位GDP的碳排放比2005年下降40%~45%。我国要实现2020年预定的清洁能源比重目标和减排目标，快速、合理地调整能源结构，促进节能减排工作显得尤为重要。

“十二五”规划也明确提出“把大幅降低能源消耗强度和碳排放强度作为约束性指标，逐步建立碳交易市场”。作为碳排放大户，电力行业是我国碳排放约束的重要对象，据专家统计，2009年我国电力行业温室气体排放占据总排放的42%左右，可见，电力行业的发展对低碳经济的实现起着关键作用。

因此，要实现低碳经济，探讨电力行业低碳结构演化机理，分析电力行业的减排特征和影响低碳减排的关键因素，发现并解决实现电力低碳减排中的关键问题是当前尤为重要的课题之一。

本著作的研究将对我国低碳能源结构转变、实现“高碳”能源经济向“低碳”能源经济转轨，健全电力碳交易体系，促进电力行业发展，最终实现低碳经济有积极的理论意义和现实意义。



2014年6月于北京

序 言

第1章 绪论	1
1.1 国内外研究背景	1
1.2 研究目的和意义	4
1.3 国内外研究综述	5
1.4 相关理论简述	15
第2章 发展低碳经济对电力行业的影响和挑战	17
2.1 国内外电力行业低碳经济发展模式比较分析	17
2.2 发展低碳经济对我国电力行业的影响和挑战	22
2.3 我国电力行业应对低碳经济节能减排的措施	26
2.4 小结	29
第3章 我国电力行业发展概况及技术特征	31
3.1 我国电力行业发展概况	31
3.2 我国电力行业发电效率指标和单位发电碳排放指标分析	35
3.3 我国电力行业低碳技术发展现状	36
3.4 小结	40
第4章 电力行业温室气体排放源的特征及核算方法	42
4.1 温室气体排放发展概况及对电力能源行业的影响	42
4.2 电力行业温室气体排放源识别及特征	45
4.3 电力主要煤电技术分类及其排放特性	48

4.4	我国电力行业的碳排放量 (CE) 的核算方法及汇总	52
4.5	小结	54
第5章	影响我国电力行业碳排放的关键因素分析	55
5.1	基于协整模型的影响我国碳排放主要因素分析	55
5.2	影响我国电力行业碳排放关键因素的定性分析	60
5.3	影响我国电力碳排放关键因素的定量分析	65
5.4	小结	69
第6章	碳交易机制对电力节能减排作用及贡献	71
6.1	碳交易市场及碳交易三大机制 (JI、ET、CDM)	71
6.2	CDM 对我国电力行业的贡献及开发流程	76
6.3	电力行业 CDM 项目常用方法学类型及原理	82
6.4	电力行业常用方法学 ACM0002 的原理	85
6.5	小结	87
第7章	电力新能源 CDM 项目经济分析流程及实证	89
7.1	电力新能源 CDM 项目的经济分析流程	89
7.2	电力 CDM 实证项目的方法学及额外性判定	92
7.3	电力 CDM 实证项目财务指标计算及敏感性分析	94
7.4	电力 CDM 实证项目的减排量计算	97
7.5	小结	101
第8章	北京市电力碳交易现状及问题	102
8.1	北京市碳盘查工作和碳交易现状	102
8.2	北京市电力 CDM 项目发展现状	104
8.3	北京市 CDM 项目存在的问题与对策	109
8.4	小结	111

第9章 节能量交易机制及 EMC 合同能源管理机制	112
9.1 节能量交易机制与碳减排关系	112
9.2 国内外节能量交易发展概况及启示	113
9.3 合同能源管理机制与碳减排关系	115
9.4 国外合同能源管理发展现状及对中国的启示	117
9.5 小结	122
第10章 我国电力行业 EMC 产业布局及效益分析	123
10.1 电力行业 EMC 产业布局及发展概况	123
10.2 主要发电集团 EMC 产业发展现状及效益分析	126
10.3 电力行业 EMC 产业的 SWOT 分析	133
10.4 小结	137
第11章 基于 DEA 模型电力 EMC 产业关键影响因素及效率评价	138
11.1 基于 DEA 的电力 EMC 产业模型指标选取及建立	138
11.2 基于 DEA 模型的电力 EMC 产业节能服务效率评价	141
11.3 影响电力 EMC 产业发展的关键因素和对策	144
11.4 小结	146
第12章 电力行业部门减排方法运用优势及案例分析	148
12.1 行业部门减排方法在中国电力行业运用的可行性	148
12.2 中国电力行业实施行业部门减排方法的优势	150
12.3 基于 IPAC 模型的电力行业减排方法的案例分析	151
12.4 小结	154
第13章 我国电力行业温室气体核算体系初设	156
13.1 电力温室气体排放常用核算方法	156
13.2 电力行业温室气体核算方法选择和体系设计	159

13.3	我国电力行业温室气体核算体系的实施流程	163
13.4	我国电力行业碳排放的估算案例分析	165
13.5	小结	167
第 14 章	结论与展望	169
14.1	结论	169
14.2	展望	170
致 谢		171
参考文献		172

第1章 绪论

1.1 国内外研究背景

1.1.1 国外背景

目前，国际碳交易市场持续遭挫，极端气候事件频发，温室气体排放、全球变暖日益威胁人类生存乃至经济可持续发展，气候变化已从“环境问题”迅速上升到“政治问题”，发展“低碳经济”成为各国共识。

“低碳经济”概念是2003年2月英国在《我们未来的能源——创建低碳经济》一书首先次提出的。所谓的低碳经济是以“低排放、低能耗、低污染”为特征的新经济发展模式，其目标是减缓气候变化和促进人类的可持续发展，实质是通过技术创新和制度创新，来降低能耗和减少污染物排放，建立新的能源结构。

1992年，《联合国气候变化框架公约》首次提出全面控制CO₂等温室气体，1997年在日本京都达成了《京都议定书》（以下称《议定书》），对温室气体排放量进行管制。《议定书》引入了三种灵活机制：联合履行（Joint Implementation, JI）、排放交易（Emission Trading, ET）和清洁发展机制（Clean Development Mechanism, CDM），其中，CDM是唯一涉及发展

中国家的“灵活机制”，是发达国家与发展中国家的合作双赢机制，是发达国家通过该机制，提供资金和技术的方式与发展中国家开展项目合作的机制，将项目实现的核证减排量（Certified Emission Reductions, CERs）用于履行其在《议定书》中的承诺。

2011 年底，《京都议定书》的第一承诺期就到期，但各国几乎都没有将温室气体排放水平减少到安全水平。美国政府通过了《低碳经济法案》，强调发展新能源、减少温室气体的排放和减少对海外石油的依赖；欧盟大幅削减温室气体排放量和化石能源消费量，提出以发展低碳经济与数字经济来“构建英国未来”；日本则将低碳产业作为新增长策略的重要组成部分，加快开发可再生能源和清洁技术。低碳经济的争夺战已在全球悄然打响。

2011 年 11 月，《联合国气候变化框架公约》第 17 次缔约方会议暨《京都议定书》第 7 次缔约方会议在南非海滨城市德班开幕。德班会议主要有两个方面的议程：一是落实 2010 年墨西哥《坎昆协议》的成果，启动“绿色气候基金”，加强应对气候变化的国际合作；二是关于续签《京都议定书》第二承诺期的谈判，这是各国要面对的复杂的政治任务。谈判结果是日本、加拿大和俄罗斯都拒绝签署第二阶段的约束性协议，而美国在第一阶段就拒绝加入。中方一是坚持了双轨谈判机制，坚持了“共同但有区别的责任”原则；二是对《京都议定书》第二承诺期问题作出了安排；三是在资金问题上启动了绿色气候基金，并深入讨论了 2020 年后进一步加强公约实施的安排、明确了相关进程，向国际社会发出积极信号。

那么，在《京都议定书》第二期承诺实施中，各国应该怎样应对气候变化，快速实现低碳经济进而取得实质性的进展是当前关注的焦点问题。

1.1.2 国内背景

当前以“高碳”为主要特征的“发展排放”制约着我国的可持续发展，严重阻碍能源的可持续发展和我国低碳经济的实现。2013 年“美丽中国”概念提出后不久，全国多地都遭受了持续数日的雾霾侵袭，使得“环保”“节能减排”又成为了人们关注的热点，发展低碳经济也是我国的必然选择。

发展低碳经济的内涵与建设资源节约型、环境友好型社会和走新型工业化道路等内涵是基本一致的。为了实现我国低碳经济,我国已采取有力措施发展低碳经济,2008年发表的《中国应对气候变化的政策与行动》指出,我国减缓气候变化的总体思路是优化能源结构,保护生态环境等措施,走“低碳经济”的发展道路。2009年4月,国家已着手制定“推进低碳经济发展的指导意见”,并有可能在2014年出台“低碳经济振兴规划”。中科院发布的《2009中国可持续发展战略报告》提出了我国发展低碳经济的战略目标,即到2020年,单位GDP的二氧化碳排放降低50%左右,且应把能源“低碳化”作为国家社会经济发 展的战略。

“十二五”规划也明确提出,“把大幅降低能源消耗强度和碳排放强度作为约束性指标,逐步建立碳排放交易市场”。规划中还提出“提高可再生能源在能源结构中的比重”“建立比较完善的节能服务体系”,试点推行“节能量交易和碳交易,推进区域间、重点用能单位之间开展节能量交易”等政策。2013年的两会上,国家发改委也将“全面推进低碳发展试点示范工作,开展节能量交易示范工作”提入工作日程。由此可见,节约能源、降低碳排放对于环境保护具有重要的意义。

电力行业是国民经济的基础产业,近几年,我国电力行业保持着较快的发展速度,也取得了很大的成绩。另外,电力行业既是优质清洁能源的创造者,又是能源消耗大户和污染排放大户,是国家实施节能减排的重点领域。根据2013年9月发布的《中国上市公司碳约束报告》,我国电力、钢铁和化工行业已经成为前三大高耗能行业。电力行业温室气体排放约占全国温室气体排放的50%,是我国碳排放主要来源,据专家预测,我国供电消耗煤炭数量到2020年将达到19.34亿吨标准煤,由此产生的CO₂排放量也将达到50.67亿吨左右。由此可见,为实现低碳经济,需要通过合理手段对电力行业采取控制措施并减缓温室气体的排放。

碳交易机制、清洁发展机制、节能量交易机制和合同能源管理机制都是低碳经济和节能减排进程中的新型市场化的节能新机制,不仅达到节约能源控制污染的目的,同时可促进成熟低碳节能技术的推广,提高整个社会福利。它们实施的主体大都在电力等能源行业相关新技术。因此,在我国目前积极应对气候变化和发展低碳经济的背景下,加快推行碳交易和节

能量交易机制,积极发展 EMC、CDM、CCER 等新型产业,是促进节能减排、减缓温室气体排放、培育战略性新兴产业、形成新的经济增长点的迫切要求,同时也是建设资源节约型和环境友好型社会的客观需要。

综上所述,为了大力发展低碳经济,实现我国具有挑战性的节能减排目标,统筹节能量交易与碳排放交易关系,推进节能市场化,发展低碳清洁能源是我国未来经济发展的客观要求和战略选择,是当前低碳经济发展的重中之重。

1.2 研究目的和意义

本书将对我国能源实现“高碳”向“低碳”转轨、健全碳交易体系、促进电力行业低碳发展,实现“十二五”规划的“绿色发展、低碳发展”有积极意义。

第一,作为碳排放大户,电力行业对实现低碳经济起着关键作用,分析低碳经济对电力行业的影响,探讨电力行业低碳结构演化机理,发现并解决实现电力低碳减排中的关键问题是当前尤为重要的课题之一。

第二,碳交易和 CDM 机制仍然是当前各国实现低碳经济的重要途径,CDM 机制给我国实现低碳经济带来了难得的机遇,但由于受国际金融危机影响,全球碳交易市场需求萎靡,我国 CDM 项目发展尤其是电力行业的发展面临巨大风险,这一系列连锁反应势必会削弱我国电力行业发展 CDM 项目的积极性,进而可能影响我国节能减排目标的实现和新能源产业的发展。本文将研究碳减排相关机制的运行机理,对电力行业的碳排放进行评估核算,为电力节能减排提供一定的数据参考和理论基础。

第三,搞好节能减排是实现节约发展、清洁发展、可持续发展的迫切要求;更是建设资源节约型、环境友好型社会的重要任务。为了实现我国节能减排总目标,统筹节能量交易与碳排放交易关系,推进节能市场化,完善交易市场建设也迫在眉睫,因此,本文将对节能量交易机制和合同能源管理机制进行理论分析,并进行 EMC 在电力行业的实证研究。

第四,目前各国关注焦点是:2012 年协议书到期后的后京都时代,发达国家如何进行具体的减排目标承诺,以及发展中国家如何进行“可测量

的、可报告的、可核实的国家减排行动”。当前最为热点研究的相关问题之一是日本最早提出的颇有争议的行业部门减排方法 (Sector Based Approach), 目前, 学者对于部门减排承诺方法的研究也进行了很多, 但是目前研究文献仅为概念性讨论为多, 还缺乏具体针对部门的适用性研究, 特别是针对电力行业。因此, 本文将对行业部门减排目标方法在中国电力行业的应用的适用性进行探讨。

第五, 根据电力特点, 考虑到实操性实践, 本章拟以排放系数法为主、以燃料分析法 (物质平衡法) 和直接测量为辅, 构建我国电力行业温室气体核算方法体系, 并阐述了基于该方法体系进行电力行业温室气体排放核算的基本流程并实证。

本书将对我国能源实现“高碳”向“低碳”转轨、健全碳交易体系、促进电力行业低碳发展, 实现“十二五”规划的“绿色发展、低碳发展”有积极的意义。

1.3 国内外研究综述

1.3.1 研究现状

1. 关于低碳经济内涵及发展必要性的研究

(1) 从低碳经济内涵的角度来看, 2003年, 英国能源白皮书《我们能源的未来——创建低碳经济》首次以政府文件的形式提出“低碳经济”这一概念后, 许多学者对低碳经济展开了研究。

牛文元 (2009)^[1]、贺庆棠 (2009)^[2]、方时姣 (2009)^[3]等认为, 低碳经济是绿色生态经济, 是低碳产业、低碳技术、低碳生活和低碳发展等经济形态的总称。庄贵阳 (2005)^[4]、付允 (2008)^[5]、何建坤 (2009)^[6]等分析了低碳经济的核心是能源技术创新和制度创新, 通过技术创新和制度创新实现经济和社会的清洁发展与可持续发展。贾晶晶 (2010)^[7]、周剑玮 (2010)^[8]等认为, 通过低碳技术实现的经济发展可以称为“低碳经济”, 它以“低能耗、低污染、低排放”为基础, 是人类社会的又一次重大进步。

(2) 从中国发展低碳经济必要性和条件分析, 付允 (2008)^[5] 等指出, 中国发展低碳经济非常紧迫。国务院发展研究中心应对气候变化课题组 (2009)^[9] 认为, 我国应尽快提出发展低碳经济问题。周剑玮 (2010)^[8] 等认为, 低碳经济是在全球气候变暖对人类生存和发展产生严峻挑战的形势下提出来的。王毅 (2009)^[10]、姜克隽 (2009)^[11] 认为, 中国发展低碳经济的一个非常有利的条件就是成本优势。庄贵阳 (2008)^[12] 认为, 中国向低碳经济转型, 面临着许多市场和制度障碍, 人口基数庞大, 减少贫困、发展经济、满足就业、提高全体人民的生活水平、实现国家的现代化仍然是中国面临的重大任务。

2. 关于电力行业温室气体及碳排放问题的研究

(1) 关于温室气体的估算和预测方面研究: 杨谨 (2012)^[13] 通过清单方法分析主要温室气体排放源和碳源, 核算排放总量和强度, 剖析重庆温室气体排放结构和现状。师华定等 (2010)^[14] 调研了主要发达国家的温室气体清单编制方法和国内相关经验, 结合我国电力行业特点和温室气体清单编制目标、尺度、方法等, 提出以 IPCC 推荐的详细技术为基础的第二类 (T2) 方法为主, 更精确的第三类 (T3) 方法为辅的我国电力行业温室气体清单编制方法的基本原则。

(2) 张丽欣、段志浩 (2013)^[15] 详细阐述了美国联邦政府强制性温室气体报告制度和欧盟排放交易体系对电力企业温室气体排放的核查方法, 通过对这两种机制在管制对象、温室气体种类、温室气体检测、报告和核查等方面存在的差异, 探讨了美国 and 欧盟温室气体管理机制对我国电力行业碳排放管理的启示。

(3) 蔡宇、李保卫 (2013)^[16] 在考虑我国燃煤电厂数据的可获得性的基础上, 提出基于物料平衡的燃煤机组碳排放指标计算方法。该方法兼顾宏观统计的易操作性和技术应用的准确性, 将宏观温室气体清单编制与微观规划运行指标相统一, 可提高部门温室气体清单编制的精度, 并为低碳电力系统在规划运行中落实减排指标提供基础数据。

(4) 金燕鸣 (2011)^[17] 利用联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 温室气体清单指南中提供的方法, 测算分析了 2006—2008 年各省份火电行业的碳排放量和碳排放强度, 同时基于我国未来煤电装机规模以

及空间布局方案,预测了2015年和2020年各地区火电行业碳排放量,并依据测算结果为各地区碳排放指标分配提出政策建议。

(5) 夏德建(2010)^[18]基于情景分析理论,对煤电链主要碳源发电环节的新兴煤电技术的发展趋势进行了分析,并设定了超(超)临界发电、整体煤气化联合循环发电、碳捕捉与封存等新兴煤电技术在2010—2050年的应用情景,进而估算得出了2010—2050年的煤发电碳排放及煤电链碳排放贡献情景。

(6) 李存斌、张晓毅(2010)^[19]根据碳排放量的基本计算公式,引进关键的指标参数,运用云模型的基本原理,建立关于碳排放量的预测模型。通过该模型从不同角度对碳排放量进行比较,得出安全系数以及技术系数对排碳量的影响程度,帮助决策者形成技术系数与安全系数的直观印象,清楚了解降低排碳量应更关注哪方面的改进,为火电企业进行技术革新提供数据支持。

3. 关于电力碳配额分配机制方面的研究

(1) 首先在碳排放权分配的研究中,何楠(2013)^[20]重点研究了碳排放权的初始分配和定价对我国发电权置换的影响。在碳排放权初始分配对发电权置换的影响方面,作者基于机组利用效率相当、发电煤耗最少、碳排放量最少、发电成本最小、综合成本最小分别建立了优化模型,对发电机组间发电权置换整体经济效益进行了评估。在碳排放权定价对发电权置换的影响方面,作者首先进行了碳排放交易市场的市场力实证研究,对市场力产生条件进行了分析。在此基础上,基于综合成本最小建立优化模型,对不同碳价格下的发电权置换的置换量和置换效益进行了分析,认为高碳排放价格将促进高效机组与低效机组结成联盟,通过联盟内部的发电置换更充分地使用联盟内部的发电权以及碳排放权,可以在既定的资源条件下创造更大的经济效益。

(2) 陈强、蒋传文(2013)^[21]在分析电力系统碳排放分配方式及分配机制的基础上,得到了不同拍卖分配比例下的火电机组的初始碳排放配额,并从机组的角度分析了机组的碳排放权交易经济性。同时,作者提出了基于碳排放分配的系统碳排放交易最优经济性评估模型,实现了不同拍卖分配比例下的系统碳排放交易经济性最优,为未来电力行业开展碳排放

权交易及实施碳排放管理提供了一定的参考。

(3) 宋旭东、莫娟 (2013)^[22]在传统碳排放分配模式的基础上, 结合我国电力行业发展现状以及发电资源分布的特点, 提出基于区域比较的两级分配机制, 并建立了相应的分配模型, 即在一级区域内保证分配的公平性、在二级区域内保证分配的高效性。

(4) 何深 (2012)^[23]在研究与碳排放交易密切相关的碳排放权分配机制问题、三种碳排放交易方案的建模求解问题、碳排放对电力系统经济的影响问题的基础上, 将碳排放交易体系建设与我国电力工业的可持续发展相结合, 运用可持续发展理论观点, 对电力行业碳排放交易的理论体系进行了深入研究, 得出了应构建碳排放交易市场体系建设的设想, 并从碳排放权分配机制、定价机制和交易平台建设三个方面进行了论述, 最后给出了完善我国碳排放交易市场的政策建议, 认为我国应从加快建设完善碳排放交易的法律法规和管理体制、加强政府宏观调控与引导作用、积极推进碳排放交易市场建设入手, 建立完善碳交易市场。

4. 关于电力碳交易体系及交易成本方面的研究

(1) 在碳交易市场体系建立方面, 田艳秀 (2012)^[24]提出了建立电力碳排放权交易体系, 通过建立电力碳排放权交易体系以协调好用电负荷增长和节能减排之间的矛盾。作者通过建立中国电力碳排放权交易体系目标模式, 分析中国电力碳排放权初始建设及其存在的问题, 提出了加快中国电力碳排放权交易体系的建立应遵循先自愿减排后强制减排、先政府引导后市场主导和先区域减排后全国减排的指导思想。并希望通过建立中国碳排放权相关法律、制定科学合理的碳排放分配标准、加强节能减排技术扶持等方面的建议措施, 加快中国电力碳排放权交易体系建设, 实现电力碳排放权交易体系的目标模式。

(2) 郭郢 (2012)^[25]将发电权交易与电力行业碳排放权交易进行对比分析, 发现二者存在着一定的关联。作者以电力行业为试点, 从发电权交易着手, 尝试研究将一定形式的碳排放权交易融入到发电权交易中, 建立基于发电权交易的碳排放权交易利润最优模型。同时, 作者通过实际算例分析得出, 与单纯的发电权交易相比, 基于发电权交易的碳排放权交易可以同时实现发电厂商利润的增长以及更多的碳减排, 说明此种碳排放权交

易方式可以调动厂商进行发电权交易的积极性,从而达到进一步减排的目的。

(3) 李保卫、胡泽春 (2012)^[26] 针对电力跨区输送的碳排放产权界定问题,考虑电力供应的社会贡献和环境代价,提出了以公平性为基础的分摊原则。基于电力市场下潮流追踪思想,建立了碳流追踪数学模型。该模型通过追溯受电区域的电力来源进行碳排放产权的合理分配,有利于促成区域减排合作、促进能源结构和区域经济的协调发展。同时,作者认为上述碳排放分摊原则和模型同样适用于电力碳交易市场,有利于从用户侧激励电力节能减排的实施,并通过算例验证了上述方法的正确性和可行性。

(4) 在电力碳交易成本方面,卢斯煜、娄素华、吴耀武 (2011)^[27] 首先通过研究低碳经济相关要素及其对电源规划的影响,并结合基于总额度约束的 CO_2 排放轨迹,建立了低碳经济下基于排放轨迹约束的电力系统电源扩展规划模型。该模型在传统模型的基础上将低碳电力技术成本、碳交易费用以及碳排放超过排放轨迹额度的惩罚费用加入目标函数,将 CO_2 减排目标引入约束条件,从而更全面地反映低碳经济以及国家不同减排模式下的电源规划费用。最后,文章利用该模型对某省级电网的电源扩展规划进行了研究,结果验证了所提出模型的正确性和有效性。

(5) 孙德栋 (2013)^[28] 基于成本效益法,以火电机组的固定成本、可变成本等发电成本作为低碳电力技术改造的支出,以减少的碳排放作为收益,综合技术改造的成本量化公式及碳交易市场的碳排放价格,在碳交易市场下量化了碳减排的经济效益。并通过案例分析,得出低碳效益大于技术改造成本的结论,证明了该分析方法的可行性。

(6) 叶斌、唐杰 (2012)^[29] 构建了以系统发电总成本最小化为目标的电力系统数学规划模型,利用对偶原理求解 GHG 排放权的影子价格。作者以深圳电网为案例,计算了电力系统 GHG 排放权的影子价格并对其主要影响因素进行分析。研究表明,碳排放总量对 GHG 排放权影子价格的影响较大,同时各种能源资源的丰富程度也会对其产生影响;核能发电可以降低发电系统平均成本,也有助于减少发电系统对碳排放权的需求,因此可以有效抑制碳排放权资源影子价格的上升;化石能源发电碳捕集和封存改造也可以减少发电系统对碳排放权资源的需求,也会起到降低