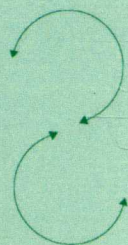


柳亚琴◎著



The Research of Optimizing the Primary Energy Consumption Structure in China  
based on the Low-carbon Economy Constraints

# 低碳经济约束下 中国一次能源消费结构优化研究

The Research  
based on the Low



经济管理出版社  
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

本书得到国家自然科学基金项目 (71L73141)、国家自然科学基金项目 (71373170)、山西省国际科技合作项目 (2013081070)、山西省软科学研究项目 (2013041015-04) 资助

The Research of Optimizing the Primary Energy Consumption Structure in China  
based on the Low-carbon Economy Constraints

# 低碳经济约束下 中国一次能源消费结构优化研究

柳亚琴◎著



经济管理出版社  
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE



图书在版编目 (CIP) 数据

低碳经济约束下中国一次能源消费结构优化研究/柳亚琴著. —北京: 经济管理出版社, 2015.4

ISBN 978 - 7 - 5096 - 3665 - 7

I. ①低… II. ①柳… III. ①能源消费—消费结构—研究—中国 IV. ①F426.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 050061 号



组稿编辑: 杜菲  
责任编辑: 杜菲  
责任印制: 司东翔  
责任校对: 车立佳

出版发行: 经济管理出版社

(北京市海淀区北蜂窝8号中雅大厦A座11层 100038)

网 址: [www.E-mp.com.cn](http://www.E-mp.com.cn)

电 话: (010) 51915602

印 刷: 北京京华虎彩印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 720mm × 1000mm/16

印 张: 12.25

字 数: 236 千字

版 次: 2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 5096 - 3665 - 7

定 价: 48.00 元

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街2号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

# 前 言

以“低能耗、低污染、低排放”为基础的低碳经济是应对气候变化的根本途径。低碳经济的实质是在确保经济平稳发展的前提下减少二氧化碳排放量，建立合理的能源消费结构，从而达到社会经济发展与生态环境保护双赢的一种经济发展形态，它已成为世界各国共同研究和探讨的焦点。与此同时，在发达国家应对气候变化的行动进行得如火如荼之际，作为世界上最大的发展中国家，中国提出到 2020 年二氧化碳排放强度比 2005 年降低 40% ~ 45%。要实现 2020 年二氧化碳排放强度目标，中国必须走低碳经济发展道路，其不仅是经济增长和能源消费总量问题，还是能源消费结构问题。目前，中国正处于经济高速发展和工业化、城市化进程加快的阶段，能源需求持续快速增长，能源消费结构以煤炭为主，但以煤炭为主的能源消费结构会带来较高的二氧化碳排放，导致中国 2020 年二氧化碳排放强度目标的实现面临严峻挑战。另外，由于中国地域辽阔，资源禀赋各异，各地区的经济发展很不平衡，导致了各地区的能源消费结构和二氧化碳排放水平存在着显著差异，而且随着社会经济的发展，减排难度会越来越大，成本也会越来越高。因此，从全国和区域层面系统研究低碳经济约束下中国一次能源消费结构优化问题具有重要的意义。

基于此，本书围绕分析低碳经济约束条件下一次能源消费结构优化的各种问题，主要采用比较分析方法、定量与定性分析方法相结合、理论分析与实证研究方法相结合、归纳和演绎相结合等研究方法从全国和区域两个层面对一次能源消费结构优化展开了剖析与研究。

概括起来，研究的主要工作和创新之处包括以下几个方面：

(1) 在理论研究方面，本书对低碳经济约束下一次能源消费结构优化的理论基础：低碳经济理论、能源消费结构优化相关理论（可持续发展理论和能源优化配置理论）以及区域协调可持续发展理论进行了研究；并以经济增长、能源消费和二氧化碳排放为比较对象，广泛收集相关资料，从全国、三大地带和八大经济区域三个视角，分别采用横向比较、纵向比较和定量分析方法对中国各地区以





及全国的 GDP、能源消费、二氧化碳排放现状以及特征进行了分析,结果发现中国和世界主要发达国家之间、中国各地区之间存在着显著差异,从而剖析产生这些差异的内在原因;基于此,使用归纳和演绎相结合方法论述了低碳经济约束下中国一次能源消费结构优化调整的五大原则,提出了低碳经济约束下一次能源消费结构优化的目标。

(2) 对一次能源消费结构优化的低碳经济约束条件进行了分析。利用能源经济学和经济增长理论构建二氧化碳减排约束下的经济增长理论模型,根据动态最优控制理论推导得到二氧化碳减排与不减排两种经济平稳增长路径下的最优经济增长率,进一步采用偏最小二乘回归方法分别计算两种经济平稳增长路径下 2020 年的最优经济增长率,得到以下结论:二氧化碳不减排情况下 2020 年最优经济增长率为 8.30%;2020 年二氧化碳排放强度降低 40%~45% 的减排目标下最优经济增长率分别为 7.67% 和 7.52%。基于此,设定 2012~2020 年期间两种不同的最优经济发展情景:基准情景和低碳经济发展情景,其年均最优经济增长率分别为 9% 和 8%,由此预测得到两种不同经济发展情景下 2020 年经济产出、能源消费需求量和二氧化碳排放量,研究结果表明在实现经济平稳增长的同时,落实中国政府公布的 2020 年二氧化碳排放强度目标,不仅可以加快粗放经济增长方式的转变,促进低碳经济发展模式的形成,同时还能推动能源、经济与环境的协调可持续发展。

(3) 从全国整体角度对低碳经济约束下一次能源消费结构优化问题进行了研究。采用 Markov 链模型研究 1995~2012 年一次能源消费结构的变动规律和预测 2020 年无能源规划约束以及能源规划约束情景下中国的一次能源消费结构;运用多目标决策方法对基于低碳经济发展情景下的 2020 年中国一次能源消费结构优化进行了研究。研究结果表明:在无能源规划约束情景下基本可以实现 2020 年单位 GDP 二氧化碳排放较 2005 年降低 40% 的目标,但要实现 45% 的目标则存在较大的难度;在有能源规划约束情景下,由于煤炭占一次能源消费比重的显著下降和非化石能源消费比重的大幅提升,一次能源消费结构得到一定优化,可以实现 2020 年单位 GDP 二氧化碳排放较 2005 年降低 40%~45% 的目标。Markov 链模型计算得到的一次能源消费结构和低碳情景下的一次能源消费结构相比,一次能源消费结构在低碳情景中三种不同优化方案下均得到优化调整,煤炭消费比重大幅降低,水电、核电等非化石能源作为重要替代能源在一次能源消费结构中所占比重有很大增幅,能源消费种类将逐渐多元化。

(4) 从区域角度对低碳经济约束下一次能源消费结构优化问题进行了研究。在区域层面,运用考虑投入产出松弛的 SBM 模型和传统 CCR 模型分别对中国 30 个省、市、自治区二氧化碳排放效率值进行了测算和对比,定量分析了中国省际

二氧化碳排放效率状况及差异,利用地理信息系统(GIS)技术研究了各省、市、自治区二氧化碳排放效率演进规律和能源消费结构特征,并基于K-Means聚类分析方法对这两个指标进行了聚类分析和空间区划,将中国划分为五大类群。另外,对一次能源消费结构优化中省际二氧化碳排放约束条件进行了研究,定性分析了二氧化碳排放权配额分配方式、分配原则和分配标准,归纳得到中国省际二氧化碳排放权配额分配原则,从而计算得出未来两种不同经济发展情景下各省、市、自治区相应的二氧化碳排放总配额与年均二氧化碳排放配额;在此基础上,运用多目标决策方法对五大类群中具有代表性的省份或城市进行了一次能源消费结构优化研究,并对比分析了它们在两种经济发展情景中2020年不同二氧化碳排放权配额下的一次能源消费结构情况。研究结果表明:在中国实现2020年二氧化碳排放强度目标前提下,未来两种不同经济发展情景中2020年这五个代表性省、市的一次能源消费结构均呈现出显著的差异,但中国总体的能源消费结构在未来的能源消费结构优化调整中将逐步趋向多元化。

(5)最后提出了中国一次能源消费结构优化调整的对策,本书的主旨是通过全方位的研究低碳经济约束下中国一次能源消费结构优化问题,厘清当前中国一次能源消费结构优化存在的问题并提出相应对策建议。因此,本书从管理制度建设、技术、政策三个层面提出切实可行的中国一次能源消费结构优化调整的低碳发展对策,对中国低碳经济约束下一次能源消费结构的优化调整具有一定的实践参考价值。

# ABSTRACT

Take the low energy consumption, the low pollution, the low emissions as the foundation of the low – carbon economy are the fundamental way to tackle climate change. It has become a common focus of research and discussion in countries around the world about how to reduce carbon dioxide emissions and establish a rational energy consumption structure while ensuring steady economic development to achieve a win – win economic development pattern of social economic development and ecological protection. Meanwhile, when the developed country takes more and more action to tackle climate change, the biggest developing country, China, will commit to reducing carbon dioxide emission intensity by 40 to 45 percent of 2005 levels by 2020. China must follow the path of low – carbon economic development to realize the carbon dioxide emission intensity target, which relates not only to economic growth and the total amount of energy consumption, but also the energy consumption structure. China is still in the process of urbanization and industrialization, and the key features are fast economic growth, rapid growth of energy demand, rigid growth, and the consumption structure of energy relying mainly on coal. Coal is the main fuel in the energy consumption structure which causes higher carbon dioxide emissions and leads to severe challenges in the realization of the carbon dioxide emission intensity target. Moreover, China covers a large territory, has different resource endowments and regional economic developments, and hence a variety of regional energy consumption structures and the carbon dioxide emissions levels are significantly different. With the development of the social economy, the difficulty of emission reduction will get larger and larger, and the cost will become increasingly higher. Therefore, it has important significance in the research of optimizing the primary energy consumption structure in China based on the low – carbon economy constraints at the national and regional levels.

Based on this consideration that the primary energy consumption structures were





comprehensively analyzed and studied at the national and regional levels, focusing on the analysis of various issues about the primary energy consumption structure was based on the low-carbon economy constraints. Comparative analysis, combining quantitative and qualitative analysis, both theoretical analysis and empirical research, and the combination of induction and deductive research methods were adopted.

In general, the main work and innovation of this study includes the following aspects:

(1) The related theories of optimizing the primary energy consumption structure in China based on the low-carbon economy constraints were studied, which cover low-carbon economic theory, the energy consumption structure optimization theory and the regional coordinated sustainable development theory and so on. Moreover, economic growth, energy consumption and carbon dioxide emissions were used as the objects to be compared, and widely relevant information was collected. The situation of GDP, energy consumption and carbon dioxide emissions were analyzed in both various regions of China and the whole country from the levels of the nation, the three major zones and the eight economic regions by using horizontal comparison, vertical comparison and quantitative analysis. The results showed that there were significant differences not only between China and the main developed country but also the various regions of China. Accordingly, the underlying reasons for these differences were analyzed. By use of a combination of inductive and deductive methods the five principles of primary energy consumption structure optimization and adjustment in China based on the low-carbon economy constraints were discussed, and the three goals of primary energy consumption structure optimization in China based on the low-carbon economy constraints were conducted.

(2) Firstly, the low-carbon economy constraints of primary energy consumption structure optimization were analyzed. Built the model of optimal economic growth based on energy economics and the economic growth theory, calculated the optimal economic growth rate by 2020 on the two steady economic growth paths of both CO<sub>2</sub> control and no CO<sub>2</sub> control, and made use of Partial Least-Squares Regression to calculate the optimal economic growth rate in 2020. The results are as follows: on having no CO<sub>2</sub> control scenario, the optimal economic growth rate is 8.30%; and on the CO<sub>2</sub> control scenario, the optimal economic growth rate is separately 7.67% and 7.52% under the two different controls of reducing carbon dioxide emission intensity by 40 percent and 45 percent by 2020. On this basis, two different optimal economic development scenarios were set

during the period from 2012 to 2020: regarding the baseline scenario and low carbon economy development scenario, the two optimal economic growth rates are respectively 9% and 8%, so forecasted economic output, energy consumption and carbon dioxide emissions refer to two different economic development scenarios. Furthermore, realizing the carbon dioxide emission intensity target under the premise of steady economic growth cannot only accelerate the transformation of the traditional extensive economic growth pattern, boost the formation of low – carbon economic development mode, but meanwhile also promote the comprehensive, harmonious and sustainable development of energy, economy and the environment.

(3) Additionally, the optimization of the primary energy consumption structure in China based on the low – carbon economy constraints from the national angle was studied. The Markov chains model was used to study the fluctuation patterns of the primary energy consumption structure during the period from 2004 to 2011 and predicted the trend of China's energy consumption structure in 2020 on both the no energy planning constraint scenario and on an energy planning constraint scenario. A study of the multi – objective optimization model of the energy consumption structure on the low carbon scenario by the multi – objective decision method was used. The experiment results indicated lowering carbon dioxide emissions per unit of GDP by 40% by 2020 from the 2005 level can be realized on the no energy planning constraint scenario, and there is great difficulty while cutting carbon dioxide emissions per unit of GDP by 45% by 2020 from the 2005 level on the no energy planning constraint scenario. Whereas, the reduction carbon dioxide emissions per unit of GDP by 40% ~ 45% by 2020 from the 2005 level can be realized on an energy planning constraint scenario because the consumption proportion of coal was further lowered and non – fossil energy share increased significantly so the primary energy consumption structure was optimized. Therefore, by comparing the results of the primary energy consumption structure based on the Markov chains model and the low carbon scenario, the primary energy consumption structure achieved optimization and adjustment under the three different optimization schemes based on the low carbon scenario. The proportion of the consumption of coal is significantly reduced. Meanwhile hydro, nuclear and other non – fossil energy is an important alternative energy in which the share of the primary energy consumption structure has a great increase, so China's energy multiple will be gradually realized.

(4) Moreover, the optimization of the primary energy consumption structure in China based on the low – carbon economy constraints from the regional angle was stud-



ied. First, the carbon dioxide emissions efficiencies were respectively calculated and compared according to 30 provinces, municipalities and autonomous regions in China by use of both the SBM model considering relaxation of the input – output problem and the traditional CCR model. The situation of provincial carbon dioxide emissions efficiency and differences were quantitatively analyzed. The evolution rule of carbon dioxide emissions efficiency studied in the provinces and the characteristics of the energy consumption structure by GIS technology was also studied. China was divided into five groups based on the K – means clustering analysis and the partition of feature space. In addition, the provincial carbon dioxide emissions constraints of primary energy consumption structure optimization were analyzed. A qualitative analysis of allocation methods, and principles of distribution and assignment criteria for carbon dioxide emissions allowance in China were made, summarizing the allocation the principle of provincial carbon dioxide emissions allowance in China. The total and average annual carbon dioxide emissions quotas in their regions based on different economic development scenarios were separately calculated. On this basis, a study was conducted of the primary energy consumption structure for the five representative provinces or cities among their groups by use of the multi – objective decision method, and compared their primary energy consumption structure based on different carbon dioxide emissions allowance by 2020 under the two economic development scenarios. The results showed that the primary energy consumption structure of five representative provinces or cities all presented significant differences by 2020 on the two different economic development scenarios while realizing carbon dioxide emission intensity target by 2020; however, the overall energy consumption structure in China gradually diversifies in the future energy consumption structure optimization and adjustment.

(5) Finally, some useful countermeasures about China's primary energy consumption structure optimization and adjustment were put forward. A comprehensive study of optimizing the primary energy consumption structure in China based on the low – carbon economy constraints to clarify the problems of China's current primary energy consumption structure was made, and the corresponding countermeasures and suggestions were proposed. Therefore, some operable low carbon countermeasures about the primary energy consumption structure in China were put forward at the management, technology and policy levels. It has a certain practical reference value for optimizing and adjusting China's primary energy consumption structure based on the low – carbon economy constraints.



# 目 录

第一章 绪论 .....	1
一、研究背景和意义 .....	1
二、研究内容和方法 .....	4
三、研究工作和创新 .....	5
四、基本结构 .....	6
第二章 国内外研究现状 .....	9
一、能源消费、环境污染与经济增长关系研究 .....	9
二、减排目标与经济增长关系的研究 .....	14
三、能源消费结构问题研究 .....	18
第三章 低碳经济约束下一次能源消费结构优化的理论基础 .....	22
一、能源的概念及其分类 .....	22
二、低碳经济理论 .....	23
三、能源消费结构优化的相关理论 .....	25
四、区域协调可持续发展理论 .....	27
五、本章小结 .....	29
第四章 低碳经济约束下一次能源消费结构优化原则和目标 .....	30
一、中国经济增长、能源消费与二氧化碳排放现状 .....	30
二、低碳经济约束下一次能源消费结构优化的原则 .....	62
三、低碳经济约束下一次能源消费结构优化的目标 .....	64
四、本章小结 .....	66
第五章 一次能源消费结构优化的约束条件分析 .....	68
一、资源环境约束下的经济增长理论模型 .....	68



二、二氧化碳减排约束下的经济增长模型构建 .....	72
三、二氧化碳减排约束下的经济增长模型求解 .....	74
四、中国未来经济发展情景模拟分析 .....	75
五、本章小结 .....	82
<b>第六章 低碳经济约束下中国一次能源消费结构优化分析 .....</b>	<b>83</b>
一、一次能源消费结构的预测 .....	83
二、一次能源消费结构的影响因素及路径分析 .....	92
三、低碳情景下一次能源消费结构优化模型构建 .....	101
四、低碳情景下一次能源消费结构优化模型求解 .....	103
五、低碳情景下一次能源消费结构优化实证结果与分析 .....	104
六、本章小结 .....	105
<b>第七章 低碳经济约束下区域一次能源消费结构优化分析 .....</b>	<b>107</b>
一、二氧化碳排放约束下的省际效率分析 .....	108
二、基于省际排放效率和能源消费结构的类群划分 .....	118
三、省际二氧化碳排放权配额分配 .....	123
四、不同经济发展情景下地区一次能源消费结构优化分析 .....	130
五、本章小结 .....	133
<b>第八章 中国一次能源消费结构优化的对策建议 .....</b>	<b>135</b>
一、中国一次能源消费结构优化的管理制度建设建议 .....	135
二、中国一次能源消费结构优化的技术建议 .....	139
三、中国一次能源消费结构优化的政策建议 .....	144
四、本章小结 .....	151
<b>第九章 结论与展望 .....</b>	<b>152</b>
一、结论 .....	152
二、展望 .....	154
<b>附录 .....</b>	<b>156</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>169</b>
<b>后记 .....</b>	<b>184</b>

# 第一章 绪 论

## 一、研究背景和意义

### (一) 研究背景

全球气候变暖问题日益成为 21 世纪国际社会关注的焦点。然而早在 19 世纪末瑞典科学家 Arrhenius 就第一次提出温室效应问题,他指出大气中二氧化碳( $\text{CO}_2$ )浓度升高将会导致气候变暖,主要是由于人类大量燃烧煤炭等化石能源造成的。随后,1985 年国际科学联盟理事会(International Council of Scientific Unions, ICSU)、世界气象组织(World Meteorological Organization, WMO)和联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)在 Villach 共同召开了国际会议,这次会议标志着气候变暖问题成为一个国际性问题。1988 年政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)由 WMO 和 UNEP 共同建立,开始探索研究全球气候变化问题,这标志着气候变化问题被提上了国际政治议程。

IPCC 第四份气候变化评估报告的研究已表明,人类在经济社会活动过程中大量使用煤炭、石油和天然气等化石能源,所排放的以二氧化碳为主的温室气体导致了全球变暖这一气候变化特征的出现,该气候变化会给人类社会带来不可估量的后果。

应对气候变化的根本出路就是发展低碳经济。在此背景下,随着 1992 年《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)、1997 年《京都议定书》(Kyoto Protocol)、2007 年巴厘路线图(Bali Road Map)和 2009 年《哥本哈根协议》(Copenhagen Accord)等的签





署和缔结,发达国家纷纷开展温室气体减排行动,向低碳经济转型。

随着中国工业化和城市化进程的不断推进,中国能源需求持续快速增长且能源消费结构以煤炭为主,在一次能源消费总量中所占比重高达 70% 左右。与此同时,以煤炭为主的能源消费结构带来了高额的二氧化碳排放,导致极端天气频发,给中国带来了严重的生态环境问题。据荷兰环境评估署(Netherlands Environmental Assessment Agency, MNP)报告显示,中国已超过美国成为世界第一大二氧化碳排放国<sup>①</sup>。国际能源机构(International Energy Agency, IEA)报告显示,2007 年中国超过美国成为世界上由能源所导致的二氧化碳排放量最多的国家,排放量为 60 亿吨碳,在世界排放总量中的比重达到 21%。并且在 1990~2007 年间,中国二氧化碳排放量增长逼近 3 倍,特别是近几年来增长非常迅速,2003 年增速为 16%、2004 年增速为 19%、2005 年和 2006 年均为 11%、2007 年相对较小,但也达到 8%。另外,由于中国地域辽阔,资源禀赋各异,各地区的经济发展很不平衡,导致了各地区的能源消费结构和二氧化碳排放水平存在着较大的差异,而且随着社会经济的发展,减排难度会越来越大,成本也会越来越高。中国作为全球最大的发展中国家、能源消费和二氧化碳排放增量最多的国家,面临国际上全球低碳博弈与竞争以及国内资源短缺和环境污染严重的多重压力。

为此,中国作为最大的发展中国家和负责任大国,为了应对全球气候变化,2009 年 11 月 25 日在哥本哈根会议上庄重承诺到 2020 年二氧化碳排放强度比 2005 年降低 40%~45%。“十一五”期间,中国政府将能源强度第一次作为经济社会发展中的重要约束指标,当前这一约束指标转变成以能源强度和二氧化碳排放强度为主,该变化充分表明中国的能源政策将在提高能源利用效率的基础上,更加注重能源消费结构对气候变化的影响。

二氧化碳排放强度指标是指一国或地区在一定时期内单位国内生产总值的二氧化碳排放量,通过增加国内生产总值、降低二氧化碳排放量或两者同时进行可实现该目标。另外,通过强制性地降低高耗能产业比重减少二氧化碳排放量可以实现二氧化碳排放强度目标,但这可能导致经济增长不平稳,引发经济危机。可见,实现二氧化碳排放强度目标不仅是经济增长和能源消费总量问题,还是能源消费结构问题。

现阶段中国一次能源消费结构中,过度依赖煤炭、石油和天然气,非化石能源消费比重相当低,如 2012 年中国一次能源消费总量中煤炭占比为 66.60%,石油占比为 18.80%,天然气占比为 5.20%,非化石能源占比为 9.40%<sup>②</sup>。但中国

<sup>①</sup> MNP. China Now No. 1 in CO<sub>2</sub> Emissions; USA in Second Position [EB/OL]. <http://www.mnp.nl/en/dossiers/Climatechan-ge/moreinfo/Chinanowno1inCO2emissionsUSAinsecondposition>.

<sup>②</sup> 中国统计年鉴 2013 [M]. 中国统计出版社, 2013.



可再生能源和核能却有着丰富的资源禀赋条件，能源研发投入水平也远远低于发达国家，开发使用核能和可再生能源潜力巨大。因此，在各地环境污染严重而亟须改善和面对日益紧迫的全球减排温室气体形势下，中国以煤炭为主的能源消费结构必然面临改革，跨越式的更新传统高碳能源消费模式是确保国家可持续发展的必由之路。

低碳经济发展模式是以“低能耗、低污染、低排放”为基础的，其实质是通过降低高碳能源消耗和减少二氧化碳排放，建立合理的能源消费结构，从而达到社会经济发展与生态环境保护双赢的一种经济发展形态。因此，如何在确保经济平稳发展的前提下减少二氧化碳排放量和优化调整能源消费结构已成为世界各国共同研究和探讨的焦点。在此背景下，本书对低碳经济约束下中国一次能源消费结构优化问题进行了探索性研究。

## （二）研究意义

在低碳经济发展模式运行的背景下，能源消费结构优化涉及社会经济生活的方方面面，不仅受到经济系统的影响（包括经济产出总量），还受到能源消费总量和二氧化碳排放量的约束。随着中国进入深化改革开放、加快转变经济发展方式的攻坚时期，中国一次能源消费结构优化研究还有待不断深入和拓展。如何在保障经济平稳发展的前提下减少二氧化碳排放量和优化调整一次能源消费结构，是一个需要深入全面分析和研究的大问题。

在理论意义方面，新古典经济增长理论认为物质资本  $K$  和劳动力  $L$  是经济增长的基本投入要素，而技术进步  $A$  则是经济增长的源泉和动力。随着科学的进步和社会的发展，能源已经成为关乎国民经济命脉和国家经济安全的重要战略资源，学者们也认为能源成为生产过程中不可缺少的要素。本书在保证经济平稳增长的前提下，以新古典经济增长理论为基础，基于 Solow 经济增长模型，将能源、资本、劳动力要素一起引入柯布-道格拉斯生产函数，同时根据二氧化碳排放强度目标，尝试性地将  $\text{CO}_2$  减排控制率引入生产函数对其进行拓展，构建得到二氧化碳减排约束下的经济增长模型，该模型的本质就是在二氧化碳减排目标下保证最优经济增长。

在现实意义方面，在全球应对气候变化和低碳转型的大背景下，中国仍然处在经济社会快速发展进程中，但能源资源匮乏、生态环境承载能力压力大，需要转变经济发展模式，破解原有粗放的经济发展模式，构建资源节约型和环境友好型的低碳经济社会发展模式。同时由于中国幅员辽阔，各省、市、自治区的社会经济发展和资源禀赋存在较大的不平衡，各地区的经济结构、人口发展、技术水平有着显著性差异，导致其能源消费结构也呈现出巨大的差异，能源消费结构模



式千差万别。因此,在经济转型时期,综合考虑社会经济、能源、环境系统之间的协调发展,从全国和区域层面分别对低碳经济约束条件下一次能源消费结构优化问题进行研究,对全国以及中国各地区经济可持续发展问题和能源消费结构的改善具有重大的战略意义。

此外,能源资源是一种典型的重要战略资源,优化能源消费结构又是实现二氧化碳排放强度目标的有效途径之一,研究低碳经济约束条件下的一次能源消费结构优化问题,对于形成国家能源资源的合理配置与社会经济的稳定发展具有重要的实践指导意义;同时,在参与国家自然科学基金项目(应对气候变化的煤炭资源低碳化利用理论与政策研究 71L73141)和山西省国际科技合作项目(煤炭资源低碳化利用技术路径选择研究 2013081070)研究过程中,提出本书的研究内容,其研究方法、思路和政策建议对其他的国家战略性资源都有借鉴和应用价值。

## 二、研究内容和方法

本书围绕低碳经济约束下一次能源消费结构优化的各种问题,主要采用比较分析方法、定量与定性分析方法相结合、理论分析与实证研究方法相结合、归纳和演绎相结合等研究方法从全国和区域两个层面对一次能源消费结构优化问题展开了剖析与研究。具体如下:

首先,在理论研究方面,对低碳经济约束下一次能源消费结构优化的理论基础:低碳经济理论、能源消费结构相关理论(可持续发展理论和能源优化配置理论)以及区域协调可持续发展理论进行了研究;并以经济增长、能源消费和二氧化碳排放为比较对象,广泛收集大量的相关资料,从全国、三大地带和八大经济区域三个视角,分别采用横向比较、纵向比较和定量分析方法对中国各地区以及全国的 GDP、能源消费、二氧化碳排放现状以及特征进行分析,从中发现中国和世界主要发达国家之间、中国各地区之间存在的差异,剖析产生这些差异的内在原因;基于此使用归纳和演绎相结合方法阐述了低碳经济约束下中国一次能源消费结构优化调整的五大原则,提出了低碳经济约束下一次能源消费结构优化的目标。

其次,利用能源经济学和经济增长理论构建得到二氧化碳减排约束下的经济增长理论模型,根据动态最优控制理论推导得到经济平稳增长路径下有/无 CO<sub>2</sub> 减排控制率的最优经济增长率。进一步利用偏最小二乘回归方法实证研究得到



2020 年不同经济增长路径下的最优经济增长率,并设定了未来两种不同的经济发展情景。在此基础上,采用 Markov 链模型研究了 1995 ~ 2012 年一次能源消费结构的变动规律和预测 2020 年无能源规划约束和能源规划约束情景下中国的一次能源消费结构,通过路径分析方法对节能减排约束下能源消费结构的外部影响因素进行了剖析,明确其影响效应;并运用多目标决策方法对基于低碳经济的 2020 年中国一次能源消费结构优化进行了研究。

再次,从区域角度对一次能源消费结构优化进行了研究。在区域层面,运用考虑投入产出松弛的 SBM 模型和传统 CCR 模型分别对中国 30 个省、市、自治区二氧化碳排放效率值进行了测算和对比,定量分析了中国省际二氧化碳排放效率状况及差异,并基于地理信息系统 (GIS) 分析方法研究了各省、市、自治区二氧化碳排放效率演进规律和能源消费结构特征,利用 K - Means 聚类分析方法对这两个特征进行了聚类分析和空间区划。定性分析了二氧化碳排放权配额分配方式、分配原则、分配标准,归纳得到中国省际二氧化碳排放权配额分配原则,从而计算得出未来两种不同经济发展情景下各地区相应的二氧化碳排放总配额和年均二氧化碳排放配额;在此基础上,运用多目标决策方法对 5 个具有代表性的省、市进行了一次能源消费结构优化研究,对比分析了它们在未来两种不同经济发展情景中 2020 年不同二氧化碳排放权配额下的一次能源消费结构情况。

最后,提出了中国一次能源消费结构优化调整的对策,本书的主旨是通过全方位的系统研究低碳经济约束条件下中国一次能源消费结构优化问题,厘清当前中国一次能源消费结构存在的问题并提出相应的对策建议。因此,本书从管理制度建设、技术、政策 3 个层面提出了切实可行的中国一次能源消费结构优化调整的低碳发展对策。

### 三、研究工作和创新

低碳经济约束条件下的一次能源消费结构优化问题是一个极其复杂但很重要的课题。本书在进行调研、资料收集、出国研修、参加学术会议等大量工作的基础上对其进行了系统研究,根据对国内外相关文献的整理总结,将在以下方面有一定程度的创新:

(1) 在研究视角方面,如何在确保经济平稳发展的前提下减少二氧化碳排放量,建立合理的能源消费结构是低碳经济的实质,本书在低碳经济约束条件下从全国和区域两个角度对中国一次能源消费结构优化问题进行了系统研究,这是