



西安交通大学经济学人丛书

# 中国的能源转型： 环境治理约束视角

China's Energy Transformation under  
Environmental Governance Constraints

李江龙 / 著

中国财经出版传媒集团



经济科学出版社  
Economic Science Press



西安交通大学经济学人丛书

# 中国的能源转型： 环境治理约束视角

China's Energy Transformation under  
Environmental Governance Constraints

李江龙 / 著

中国财经出版传媒集团



经济科学出版社  
Economic Science Press

## 图书在版编目 (CIP) 数据

中国的能源转型：环境治理约束视角 / 李江龙著.  
—北京：经济科学出版社，2017.9  
(西安交通大学经济学人丛书)  
ISBN 978-7-5141-8309-2

I. ①中… II. ①李… III. ①能源经济-研究-中国  
IV. ①F426.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 187823 号

责任编辑：刘明晖 李 军  
责任校对：杨 海  
版式设计：齐 杰  
责任印制：王世伟

## 中国的能源转型：环境治理约束视角

李江龙 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销  
社址：北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编：100142  
总编部电话：88191217 发行部电话：88191540

网址：[www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮箱：[esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

天猫网店：经济科学出版社旗舰店

网址：[http://jjkxcbs. tmall. com](http://jjkxcbs.tmall.com)

北京中科印刷有限公司印装

710×1000 16 开 14.25 印张 200000 字

2017 年 10 月第 1 版 2017 年 10 月第 1 次印刷

印数：0001-2000 册

ISBN 978-7-5141-8309-2 定价：38.00 元

(图书出现印装问题，本社负责调换。电话：010-88191502)

(版权所有 翻印必究 举报电话：010-88191586)

电子邮箱：[dbts@ esp. com. cn](mailto:dbts@esp.com.cn))

# 西安交通大学经济学人丛书

---

## 编委会

主任：孙 早

副主任：魏 玮

成 员：（按姓氏笔画排序）

冯根福 冯宗宪 严明义 李 倩 李 琪

李国平 李香菊 李富有 宋丽颖 张 丛

张成虎 贾宜华 崔建军

# 总序

千年历史古都，华夏精神故乡。从周礼秦治到汉风唐韵，西安浓缩了中华民族历史。跟随改革开放的步伐，华夏古都西安向着具有历史文化特色的国际化大都市奋起飞跃。正是被这种浓厚的历史文化氛围所吸引，一批志同道合的经济学人汇聚于西安交通大学，数十年来，不闻丝竹，醉心学术，期冀为中国经济学发展贡献绵薄之力。

本套“经济学人”文库旨在集中展示西安交通大学经济学人多年来的研究成果。近年来，在国家“985”工程和“211”工程的大力支持下，经过西安交通大学经济与金融学院全体教职工的不懈努力，西安交通大学经济学学科有了长足发展。经济与金融学院现拥有应用经济学和理论经济学两个一级学科，应用经济学学科已成为全国具有重要影响力的学科。学院在西部地区建立了首家应用经济学博士后流动站，产业经济学被评为国家重点学科。学院先后获批建设国家级精品课程、省部级重点实验室、省部级经济研究中心与陕西省名牌专业。我们出版西安交通大学“经济学人”文库的初衷就是集中体现近年来西安交通大学经济与金融学院在学科建设与科学研究上取得的成绩，激励青年学子继续努力，攀登经济科学的高峰。

文库的作者均是西安交通大学经济与金融学院相关学科

的学术带头人与青年骨干教师。几十年来，西安交通大学经济学学科带头人在各自领域刻苦钻研，笔耕不辍，在国际知名 SSCI (SCI) 期刊及《经济研究》、《中国社会科学》以及《管理世界》等国内权威期刊发表了一批高水平论文，主持了多项国家哲学社会科学与教育部哲学社会科学重大项目，荣获近百项教育部优秀哲学社会科学成果奖和省级哲学社会科学优秀成果奖。西安交通大学经济与金融学院继往开来，海纳百川，吸引了大批海内外优秀青年学子加盟。这些青年学子志存高远，勤奋好学，成绩出众，均在国内外知名经济学期刊上发表过高水平学术论文，主持过国家级科研项目。丛书的出版既是对西安交通大学经济学人辛勤付出的肯定，同时也是西安交通大学近年来经济学学科建设成就的一次展示。

中国经济的改革和开放进行了三十多个春秋。中国的经济学研究逐渐成了社会科学中的“显学”。我们希望西安交通大学“经济学人”文库的出版不仅能从侧面反映中国经济学的进步，同时更期待着文库的出版能进一步加深我们与全国经济学人的互动交流，共同携手为建设“中国特色，中国气派”的中国现代经济学努力。

孙小年  
二〇一七年六月

# 前言

资源耗竭和环境污染已经成为中国可持续发展的严重制约，特别是雾霾等环境问题的大面积集中爆发，更是将这一问题摆在了公众和政府的面前。但是，对于中国这样的发展中大国“发展是第一要务”，因为解决 13 亿人口的吃饭和就业问题都离不开经济较快增长。如何在稳增长、资源节约、环境友好这三者之间的权衡取舍是政府面临的难题。因此，对于中国社会经济的可持续发展，关键是在兼顾经济增长的同时尽可能实现资源节约和环境改善。另外，气候目标成为中国经济发展的约束条件。在 2014 年 11 月的中美联合声明中，中国首次提出“计划 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰”，这是中国政府第一次对二氧化碳绝对量减排做出承诺。

无论是环境治理还是气候控制目标，本质上都是能源问题，因为能源使用过程中的污染物和二氧化碳排放占总排放量相当大的比重。环境治理对二氧化碳排放控制实际上也是一个促进的过程，上述两个约束最终可以归结为环境治理约束。

正是在上述背景下，本书以中国的环境治理作为研究切入点，以中国大陆地区 30 个省（自治区、直辖市）为样本（由于数据有限，香港特别行政区、澳门特别行政区、台湾地区、西藏自治区不在本书实证研究范围），从环境治理约束下的能源结构转变、清洁能源发展、传统能源市场的波动特征、能源政策量化评估、电力系统优化调度、特高压建设等能源经济和政策领域重大问题层层剖析如何推动能源转型，并以此促进中国环境质量改善和可持续发展。与以往研究相比，本书主要做了以下六个方面的工作：

第一，将雾霾背景下的环境治理约束引入对能源结构的预测，基于两阶段的优化过程，构建一个包含环境治理约束的中国能源综合预测框架，研究环境治理约束下的能源结构转变以及伴随而来的煤炭消费和二氧化碳排放峰值。

第二，要实现能源转型，除了技术上的制约，更大的问题可能来自成本竞争力。本书详细测算了中国可再生能源发展各个环节的成本，以及成本在不同利益主体之间的分摊。

第三，虽然现阶段化石能源成本相对可再生能源较低，但是其价格水平受市场波动的影响较大。从这个角度而言，可再生能源可以有效避免化石能源市场波动造成的价格风险，因为可再生能源的利用方式主要是发电，其初始投资成本高，发电利用过程基本不涉及随市场波动的燃料成本，可变成本小。本书研究了传统化石能源的市场价格波动及其受国际市场的影响。

第四，由于成本缺乏市场竞争力，政策是中国清洁能源发展的一个重要推动力，本书结合中国的现实情况，从政策评价的角度提出了新的分析框架对中国清洁能源政策进行量



化评价。

第五，由于清洁能源利用过程中的随机性和间歇性，能源转型过程中清洁能源的快速发展必然对电力系统的供需实时平衡造成冲击，本书从整个电力系统效率的角度出发，提出了在能源转型的过程中如何实现整体电力供应效率的优化。

第六，由于风电等清洁能源主要分布在西部地区，而电力负荷中心主要位于东部，在能源转型的过程中建设特高压电力输送通道就成为解决这一“逆向分布”难题的重要手段。利用特高压在中国迅速发展给电力跨区调配提供的自然实验机会，本书对特高压对环境治理的影响进行了量化研究。

本书的研究对推动中国实现以环境治理为约束的能源转型具有重要的借鉴意义，并提供了未来进一步转型的政策建议。环境治理约束下的能源转型是一个系统性问题，包含能源结构合理优化、保障能源安全、能源电力的区域间协调发展等方方面面，应采取多方面的改革措施。首先，是能源价格的市场化改革，这既有利于减少能源需求，也有利于推动能源结构清洁化。其次，政府在兼顾整体的平衡性和区域协调的基础上，更多采用经济激励、财税补贴等市场机制政策，对能源产业的有序发展加以引导。最后，健全能源监管，维护公平公正的市场秩序，为能源产业健康发展创造良好环境，这有利于推动民营资本参与能源转型，特别是进入可再生能源、非常规油气资源开发领域。本书不仅仅是几个学科之间的交叉研究，其结论还对中国下一轮可持续发展转型有着重要的应用价值。

书中多处涉及英文人名，为方便读者查阅追踪文献，对文中提到的外国学者的英文名不做翻译，统一采用英文形式。

本书主要内容是作者攻读博士学位期间的研究成果，其中大部分内容已正式发表于国内外权威学术期刊。研究从选题、设计、建模到写作都得到我的导师林伯强教授的悉心指导，是我与林老师共同合作的成果。林老师让我更深切地懂得，认真、勤勉、自信和专业对自己的职业生涯和人格塑造多么重要。与他的一次次交谈、研讨会、课题汇报给了我向林老师学习的机会，并帮助我成长。

还有很重要的一点，因为他，我遇到了我的同窗和挚爱刘泓汎博士。刘博士是个有趣的人。有时候不太爱学习，但是能够靠毅力克服；有时候爆点粗口，但跟她长期接触的人就会知道她是个有教养的人。我一直认为，所谓“教养”，重点不在于多么温文尔雅，而在于“己所不欲，勿施于人”。认识她的这六年来，感谢她用三年历练了我，后三年用她的教养接纳和包容我及我的家人。借用钱钟书老先生的说法，她是我“最贤的妻”。

最后，本书得以顺利出版问世，离不开西安交通大学经济与金融学院诸位领导和老师的关怀，特别是孙早院长和“西安交通大学经济与金融学院学科建设后配给经费”为本书的出版提供的大力支持。本书的研究受到国家自然科学基金项目（项目编号：71703120）、教育部人文社会科学研究项目（项目编号：17YJC790068）、中国博士后科学基金面上项目（项目编号：2016M602784）的资助。另外要特别感谢经济科学出版社李军编辑热心、专业的帮助。

李江龙

2017年9月13日于西安

# 目 录

|          |                                          |             |
|----------|------------------------------------------|-------------|
| <b>1</b> | <b>绪论：环境治理约束下的中国能源转型问题</b>               | <b>/ 1</b>  |
| 1.1      | 选题背景和问题提出 .....                          | 1           |
| 1.2      | 可持续发展与能源转型的关系 .....                      | 9           |
| 1.3      | 本书的结构安排 .....                            | 10          |
| <b>2</b> | <b>环境治理约束下的中国能源结构转变：煤炭和<br/>二氧化碳峰值分析</b> | <b>/ 14</b> |
| 2.1      | 引言和问题提出 .....                            | 14          |
| 2.2      | 环境治理约束下的中国能源综合预测框架 .....                 | 19          |
| 2.3      | 环境治理约束下中国能源需求和结构预测 .....                 | 27          |
| 2.4      | 进一步讨论：分区域环境治理和煤化工的<br>影响 .....           | 49          |
| 2.5      | 本章小节 .....                               | 54          |
| <b>3</b> | <b>中国可再生能源并网发展的成本分析</b>                  | <b>/ 58</b> |
| 3.1      | 引言和背景 .....                              | 58          |

|          |                                         |            |
|----------|-----------------------------------------|------------|
| 3.2      | 文献综述 .....                              | 62         |
| 3.3      | 可再生能源上网电价和降低成本的途径 .....                 | 64         |
| 3.4      | 接入电网的可再生能源的成本分析 .....                   | 73         |
| 3.5      | 清洁能源的成本分摊 .....                         | 80         |
| 3.6      | 本章小节 .....                              | 83         |
| <b>4</b> | <b>原油价格波动性及国内外传染效应 /</b>                | <b>86</b>  |
| 4.1      | 引言 .....                                | 86         |
| 4.2      | 数据描述与传统波动性建模的缺陷 .....                   | 89         |
| 4.3      | 考虑区制转换的原油价格波动性建模 .....                  | 95         |
| 4.4      | 国内外原油价格“波动性传染” .....                    | 101        |
| 4.5      | 本章小节 .....                              | 108        |
| <b>5</b> | <b>中国可再生能源政策量化评价：以风电标杆电价<br/>政策为例 /</b> | <b>110</b> |
| 5.1      | 引言 .....                                | 110        |
| 5.2      | 构建可再生能源政策评价的基准模型 .....                  | 116        |
| 5.3      | 现行标杆电价政策能够促进风电发展吗 .....                 | 126        |
| 5.4      | 现行标杆电价处于最优水平吗 .....                     | 133        |
| 5.5      | 本章小节 .....                              | 139        |
| <b>6</b> | <b>特高压对中国雾霾治理的影响：基于跨区输电的<br/>证据 /</b>   | <b>142</b> |
| 6.1      | 引言和研究背景 .....                           | 142        |
| 6.2      | 研究设计 .....                              | 145        |
| 6.3      | 实证结果 .....                              | 153        |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 6.4 稳健性检验及进一步讨论 ..... | 163 |
| 6.5 本章小节 .....        | 168 |

## **7 能源转型对电力系统效率的影响 / 171**

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 7.1 问题的提出 .....      | 171 |
| 7.2 变量说明和数据处理 .....  | 175 |
| 7.3 回归结果与稳健性分析 ..... | 176 |
| 7.4 内生性问题处理 .....    | 179 |
| 7.5 结果的讨论 .....      | 183 |
| 7.6 本章小节 .....       | 191 |

## **8 主要结论 / 195**

## **参考文献 / 201**

# 绪论：环境治理约束下的 中国能源转型问题

## 1.1

### 选题背景和问题提出

随着资源耗竭和环境恶化问题日益突出，实现可持续发展无疑成为中国经济转型的重要议题。虽然中国一直将保护环境作为基本国策，但是维持经济增长和保障就业的压力，使得资源和环境问题往往无法得到战略上的考虑和保护。长期以来“唯 GDP”的政绩考核体系更是使这一问题雪上加霜。改革开放近 40 年来，中国经济增长年均增速高达 9.8%，但中国以往的高速经济增长带有明显的高投资、高能耗和高污染排放的粗放型特征（陈诗一，2011）。快速的经济增长帮助成千上万中国人改善了生活，但是也消耗了大量的资源。以能源为例，根据 BP（2015）的数据，2000 ~ 2013 年中国一次

能源消费年均增速高达 8.5%，在 2010 年中国已经超过美国成为世界上能源第一消耗大国。到 2014 年，中国煤炭消费占全球 50.6%；石油的这一比例虽然只有 12.4%，但是增长非常迅速，2014 年中国石油消费增量占全球总增量的 52.3%。伴随资源消耗的是巨量的污染排放。2012 年，中国二氧化硫排放总量 2118 万吨，氮氧化物排放 2338 万吨，烟尘排放 1234 万吨。中国的氮氧化物排放量是美国和欧盟的两倍到三倍；二氧化硫排放接近欧盟 28 个国家总和的五倍。

这种高能耗和高污染的粗放型增长方式，不可避免地给资源和环境带来压力。根据美国耶鲁大学和哥伦比亚大学的科学家联合发布的世界环境绩效指数 EPI (Environmental Performance Index)，中国在 2008 年的 EPI 得分为 65.1 分，在 149 个国家和地区中排名第 105 位。而 2014 年中国的 EPI 得分进一步将至 43.0 分，在 179 个国家和地区中处于第 118 位。发达国家上百年工业化过程中分阶段出现的环境问题在中国已经集中出现（张红凤等，2009）。近年来频频发生的雾霾天气和采矿造成的地表塌陷等事件就是粗放经济模式下资源和环境问题的爆发。可以预见，如果不改变经济增长方式，随着城市化工业化进程的继续推进，中国资源消耗和污染排放仍将以较快的速度增长，并将严重制约中国未来社会经济的可持续发展。在这样的背景下，中国亟须从传统的粗放增长模式向可持续发展的方向转型。

从可持续发展的角度看，中国的转型主要面临两个方面的约束。第一，环境保护成为经济发展必须面对的问题。随着雾霾成为当前举国困扰的难题，如何反思中国过去 30 年“先经济发展后环境保护”的发展模式，进而相应的从整体战

略、政策措施和体制机制保障等各个方面进行改进，促使经济发展和环境改善的协同，无疑是当前中国政府面临的重要问题。第二，气候目标成为中国经济发展的约束条件。在2014年11月的中美联合声明中，中国首次提出“计划2030年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰”。实现这一目标的过程会对国内经济结构、用能方式等造成很大的影响。

中国经济转型中的上述两个约束在很大程度上都落脚于能源转型，因为无论是雾霾治理还是实现二氧化碳目标，本质上都是能源问题。中国大面积雾霾的主要原因是巨大煤炭消耗并长期积累的集中爆发，煤炭替代是雾霾治理的关键。与此一致，控制二氧化碳排放增长的手段也是要在经济可承受的范围内减少对煤炭这种高碳能源的使用。因此，环境治理对二氧化碳排放控制实际上也是一个促进的过程，上述两个约束最终可以归结为环境治理约束。

在环境治理约束下，能源消费和供给需要朝高效、清洁和安全方向转型。“十二五”期间，能源转型主要体现在两个方面。第一，能源利用效率不断提高。截至2014年，单位国内生产总值的能耗比2010年下降12%。这使得我国一次能源消费在“十二五”期间只增长7亿多吨标准煤，相较于“十五”和“十一五”期间近10亿吨的增量明显回落。第二，结构优化上，数据清楚地表明了这一点：截至2015年6月底，核电在运行规模2214万千瓦，比2010年翻了一倍，在建装机容量2850万千瓦，在建规模保持世界第一位，占全球核电在建装机容量的35.5%；风电装机容量10491万千瓦，比2010年增长了238%，占世界风电装机总量的近1/3；太阳能发电装机从2010年的24万千瓦增长到2015年6月份3578万千



瓦，已经成为全球太阳能新增装机最大的国家；水电装机已经突破3亿千瓦，也是世界第一位，约占全球水电装机总量的1/4。清洁能源的快速发展正在逐步替代煤炭。2010~2014年煤炭占一次能源消费的比重下降了3.7%，煤炭消费累计减少3.9亿吨，相当于墨西哥2014年全国的能源消费总量。

从“十三五”乃至更长远的发展来看，继续贯彻落实“节能减排”政策，并推动能源供给向清洁多元化方向转型的方向是基本确定的。但在转型过程中我们可能遇到的一些重大问题，通过何种途径来解决这些困难，迄今尚未在理论和实践两个方面同时讨论清楚。因此，环境治理约束下，中国的能源转型依然是理论和实践两个方面的重大课题。

为了有一个明确的出发点，需要先搞清楚中国环境问题和能源发展的现状，厘清其中存在的问题，并简要评价政府相关政策。

### 1.1.1 “绿色”滞后于经济增长，能源消费总量增速需要减缓

长期粗放型、高能耗的经济增长方式使能源消费量大幅增长，近10年能源消费增长率超过7%。2014年，我国GDP（国内生产总值）占世界总量的13%，能源消费在全球能源消费总量中所占的比例却超过23%。中国经济实现可持续发展需要控制能源消费总量的过快增长。

能源需求增速取决于两个方面，一是经济增速，二是能源需求与经济增速的关系，即能源需求弹性。第一，中国经济增长趋于放缓已成为转型期的基本事实，这将带来能源消费增长