

中国低碳发展宏观研究项目系列丛书



A Study on Efficient
Utilization of Clean Coal in China

中国煤炭清洁高效 智慧利用研究

——以煤炭清洁发电为例

韩建国 / 著

中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

中国低碳发展宏观

本书由“中国低碳发展宏观战略研究项目课题资金”资助



A Study on Efficient
Utilization of Clean Coal in China

中国煤炭清洁高效 智慧利用研究

——以煤炭清洁发电为例

韩建国 / 著

图书在版编目 (CIP) 数据

中国煤炭清洁高效智慧利用研究：以煤炭清洁发电为例 /
韩建国著. —北京：经济科学出版社，2016. 12

(中国低碳发展宏观研究项目系列丛书)

ISBN 978 - 7 - 5141 - 7581 - 3

I. ①中… II. ①韩… III. ①煤炭工业 - 无污染技术 -
研究 - 中国 IV. ①X752

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 306546 号

责任编辑：赵 蕾
责任校对：刘 昕
责任印制：李 鹏

中国煤炭清洁高效智慧利用研究

——以煤炭清洁发电为例

韩建国 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://jjkxpbs. tmall. com](http://jjkxpbs.tmall.com)

北京季蜂印刷有限公司印装

710 × 1000 16 开 15.5 印张 220000 字

2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 7581 - 3 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))

序

能源是人类社会发展的重要物质基础，能源技术创新在低碳发展过程中发挥着基础性作用，这就是低碳发展的主要途径和内容。人类发展史上已经发生过的三次技术革命，主要都是从能源利用形式和技术开始的。

近年来，中国能源发展取得巨大的成绩，能源供应保障能力不断加强，保障体系也在逐步完善。与此同时，作为一个能源生产和消费大国，中国能源需求仍在快速上升，能源结构仍长期以煤炭等高碳能源为主，能源生产和利用效率不高，由此不仅带来了严重的生态环境问题和大量的温室气体排放，而且正在演变成为影响中国经济社会可持续发展的重要桎梏。

根本解决能源问题，必须转变经济发展方式，发展以低能耗、低污染、低排放为特征的低碳经济，这是世界经济和能源发展不得不选择的道路，而煤炭的清洁高效利用正是其中极为重要的一环，它是中国实现“清洁、低碳、有序”的能源结构优化与调整，构建现代能源体系的一个决定性因素，也将成为推动中国能源生产与消费革命的主要驱动力。

韩建国博士长期从事能源经济，能源信息工程的技术、管理与建设研究，并拥有丰富的工作实践经验，本书立足于笔者的工作实践，对以清洁煤电为核心的煤炭清洁高效利用的发展路径进行了积极的探索与尝试。其中，以神华清洁能源综合供应“富平模式”为例，探讨了以煤电为核心的“电、汽、冷、热”为一体的清洁能源供应模式，为践行

能源革命和电力体制改革提供新的视角与思路。

随着我国工业化、信息化、城镇化的深入推进，能源消费总量控制和环境保护约束日趋增强，加快推进煤炭清洁高效利用，对于促进工业绿色发展，减少大气污染物的产生和排放，改善大气环境质量具有重要意义。我希望韩建国博士能通过煤、油、气以及新能源的对比，继续深化能源发展对中国经济的影响研究，在能源经济理论与实践的研究上取得新的成果。

陈以亨

2016年11月18日

目 录

第一章

绪论	1
第一节 研究的背景与意义 / 1	
一、研究背景 / 1	
二、研究意义 / 5	
第二节 国内外相关研究综述 / 7	
一、国外相关研究综述 / 8	
二、国内相关研究综述 / 16	
第三节 理论基础与相关概念界定 / 24	
一、理论基础 / 24	
二、相关概念界定 / 30	
第四节 研究思路、内容与研究方法 / 35	
一、研究思路 / 35	
二、研究内容 / 36	
三、研究方法 / 37	
第五节 创新点与需要进一步解决的问题 / 38	
一、创新点 / 38	
二、需要进一步解决的问题 / 40	

第二章

中国能源结构的变革 42

第一节 中国能源结构的演变 / 42

一、能源生产结构 / 43

二、能源消费结构 / 46

第二节 中国主要能源消费的基本状况 / 50

一、煤炭消费 / 50

二、石油消费 / 52

三、天然气消费 / 54

四、电力消费 / 57

第三节 中国能源结构的典型特征 / 58

一、能源消费总量巨大，人均消费水平较低 / 59

二、能源供需结构失衡，过剩与进口并存 / 61

三、能源终端消费结构不合理，区域间差异较大 / 63

四、能源消费弹性系数的波动幅度比较大 / 66

五、能源利用方式粗放，传统发展难以为继 / 68

第三章

中国煤炭清洁高效利用的现状、问题与发展方向 70

第一节 中国煤炭清洁化发展概况 / 70

一、“去煤化”思潮的审视与反思 / 70

二、“去煤化”思潮下能源资源赋存现状及所面临的挑战 / 73

三、中国煤炭清洁高效利用的发展历程与基本现状 / 78

第二节 煤炭清洁高效利用方式的对比分析 / 108

一、综合能效对比 / 109

二、不同车辆运营成本对比 / 110

三、投资成本、耗水及环保排放对比 / 111

四、安全性的对比 /	113
第三节 中国煤炭清洁高效利用发展的障碍与原因 /	113
一、煤炭开发采选 /	114
二、煤炭提质利用 /	123
三、煤炭清洁发电 /	126
第四节 中国煤炭清洁高效利用的发展趋势：清洁煤电为核心 /	128
一、“清洁、低碳、有序”是煤炭开发利用的必然选择 /	128
二、以煤电为核心的终端消费电气化是煤炭高效利用的最优途径 /	136

第四章

中国煤炭清洁高效利用的创新与探索：“富平模式” 139

第一节 “富平模式”的核心理念：基于对能源革命的理解和认识 /	139
一、能源革命的提出背景 /	139
二、能源革命的理论辨析 /	140
三、传统能源清洁高效利用 /	141
第二节 全面践行能源革命的“富平模式”：以煤电为基础 /	142
一、能源供给革命具体体现：一站式智能化集中供应 /	143
二、能源消费革命的具体体现：终端消费变革 /	145
三、能源技术革命的具体体现：技术创新的应用 /	146
四、能源体制革命的具体体现：企业的主体作用 /	148
第三节 综合能源供应“富平模式”的节能减排效果分析 /	149
一、能源需求的基本预测 /	149
二、传统园区能源供应模式与“富平模式”主要特点对比 /	149
三、传统园区能源供应模式与“富平模式”能耗及排放的对比 /	150
第四节 综合能源供应“富平模式”的示范作用与战略意义 /	152

- 一、煤炭清洁高效利用革命的又一次成功尝试 / 152
- 二、对中国区域能源供应模式创新具有重要借鉴意义 / 152
- 三、全面践行能源“四个革命”的具体体现 / 153
- 四、央企支持地方经济发展方式的创新 / 154
- 五、能源企业商业模式创新 / 154

第五章

中国面向煤炭清洁高效利用的体系构建与市场化改革..... 156

- 第一节 宏观层面的顶层设计与宏观调控：政府视角 / 156
 - 一、明确煤炭清洁高效利用的发展战略与整体思路 / 157
 - 二、发挥有效的政策工具作用 / 160
 - 三、健全完善调控监管体系 / 161
- 第二节 电煤的市场化改革：市场视角 / 162
 - 一、发挥市场对煤炭资源配置的决定性作用 / 162
 - 二、确立完全的市场主体 / 164
 - 三、促进形成市场化价格机制 / 164
- 第三节 企业的管理运营与科技创新：企业视角 / 166
 - 一、确立以可持续发展为核心的企业社会责任理念 / 166
 - 二、社会责任理念与企业管理运营的融合 / 167
 - 三、以技术创新提升核心竞争力 / 168

第六章

煤炭清洁高效利用的国际经验 172

- 第一节 第三次工业革命所带来的变革：破解能源困境的探索 / 172
 - 一、国外煤炭清洁化发展概况 / 175
 - 二、世界主要产煤国家的煤炭利用方式 / 177
- 第二节 美国的煤炭清洁高效利用 / 179
 - 一、美国煤炭清洁高效利用的基本概况 / 179

二、美国煤炭清洁高效利用的经验 /	180
第三节 德国的煤炭清洁高效利用 /	186
一、德国煤炭清洁高效利用的基本概况 /	186
二、德国煤炭清洁高效利用的经验 /	187
第四节 日本的煤炭清洁高效利用 /	189
一、日本煤炭清洁高效利用的基本概况 /	189
二、日本煤炭清洁高效利用的经验 /	189
第五节 国外煤炭清洁高效利用的启示与借鉴 /	192
一、制定明确的发展战略，引导和促进煤炭行业的发展 /	192
二、严格立法并增强可操作性，为煤炭清洁高效开发利用提供保障 /	193
三、积极开发先进的洁净煤技术，推动煤炭清洁高效开发利用 /	194
四、政府大力扶持煤制油等新产业发展 /	196
五、综合运用相关政策措施减少污染物排放，有效改善环境质量 /	196

第七章

推动煤炭清洁高效发展的对策建议 200

第一节 政府层面 /	200
一、健全完善相关法律法规及标准规范 /	200
二、强化煤炭清洁化的财税政策支持 /	202
三、调整优化煤炭行业产业政策 /	203
四、推动调控监管方式的转变 /	206
五、加快推动电力体制改革 /	207
六、推动能源体制机制改革 /	208
七、推动电能终端应用技术研发 /	208
第二节 产业层面 /	209



- 一、加快提高煤炭安全高效开发水平 / 209
 - 二、加快提高煤炭资源利用效率和洁净化水平 / 210
 - 三、推动煤炭由单一燃料向燃料与原料综合利用转变 / 213
 - 四、加大科技创新力度，提高煤炭清洁高效开发利用水平 / 214
- 第三节 企业层面 / 215
- 一、加大企业研发和成果转化力度 / 215
 - 二、健全完善产学研合作创新机制 / 217
 - 三、加快推动行业人才培养 / 217

第八章

研究结论	218
参考文献	225
后记	238

第一章 /

绪 论

在当今经济社会发展的过程中，能源作为支撑社会发展和经济增长的重要物质基础和生产要素，发挥着极其重要的作用。一方面，作为经济发展的源动力，推动了生产的发展和规模的扩张；另一方面，作为生活的主要物质基础，推动了人民生活水平的提高。人类社会的历次重大历史进程均与能源的开发利用密不可分。煤炭的开发利用催生了早期的工业革命，石油、天然气等化石能源的利用推动了工业化的进一步深化。此外，交通、航天、基础工业等的发展也依赖于能源利用水平的提升。对于一个国家而言，充足、稳定的能源供给是维持经济增长、保证社会发展的重要基石，它通常在一个国家的经济崛起中充当了重要的角色。例如，工业革命后的欧洲，通过使用大量的煤炭而走在世界的前列；“二战”后的美国和苏联，同样因为拥有充足的能源供给而维持了强大的国力。进入 21 世纪以来，世界各国对能源的需求量大幅增加，随之而来的污染和温室气体排放问题引起广泛的关注。此外，气候的变化正逐步迫使全球经济向低碳化的方向转变。在此形势下，世界能源格局面临着重大变革。

第一节 研究的背景与意义

一、研究背景

自改革开放以来，中国的经济增长取得了令人瞩目的成绩。但是，以

往粗放式的高速增长造成了严重的环境污染问题。同时，能源、资源所带来的约束，也严重制约了中国的可持续发展。目前，正处于双重转型期的中国，其体制与发展方式的转变迫在眉睫。究其原因，传统的能源生产和消费方式所带来的约束不容忽视。中国作为世界上主要的能源生产与消费大国，由于长期以来的粗放式开发与利用，导致能源效率较低，且能源结构不合理，不仅造成了能源的浪费，同时也加剧了环境污染。其中，煤炭能源的问题尤为突出。近年来，煤炭行业发展成效显著，为经济社会整体发展提供了有力的能源保障，同时，其自身缺乏科学合理的开发布局和安全保障能力，发展方式粗放，以及低效率、高污染等问题日益凸显，且一直未能得到有效改善。

特别是在全球经济的低碳化背景下，煤炭行业的下行压力较大，其开发、利用以及发展饱受争议。一方面，煤炭开采破坏了区域生态环境，导致地形地貌发生变化，具体表现为地表水流失，地表的挖损、沉陷、压占现象，在一定程度上破坏了地表、地下水资源，植被以及地面建筑，并使地表植被和土地出现退化；另一方面，粗放式燃煤，尤其是分散燃煤引起的污染物排放问题更为近来饱受“雾霾”侵扰的人们所诟病。此外，燃煤的二氧化碳排放，以及煤化工的水资源消耗和污水排放也是不可避免的问题。

但这里需要指出的是，目前对于煤炭利用普遍存在一个认识的误区，即煤炭利用等同于高排放、高污染。不可否认，既往煤炭行业的粗放式增长所带来的高投入、高消耗、高污染和低效率的“三高一低”是影响中国生态、环境问题的关键要因，但两者之间并非存在必然的对立关系。换言之，煤炭的利用方式才是结症所在。

一方面，中国“富煤、贫油、少气”的能源赋存特点，使以煤炭为主体的能源结构在“十三五”及今后相当长的一段时期内无法得以改变。目前，煤炭在中国化石能源资源储量中占比超过94%，作为最可靠、最经济的能源资源，同时也是确保中国能源安全的坚实基础。改革开放以来，在中国一次能源生产和消费结构中，煤炭能源一直平均保持着70%左右的比

重,有力支撑了中国经济社会的发展。随着工业化、信息化、城镇化、农业现代化“四化”协调发展的深入推进,以及人民生活水平的不断提升,在“十三五”及未来一段时期内,能源需求仍将保持一定程度的增长。由于能源结构的调整与优化需要一个漫长的演变过程,不可能一蹴而就,单纯的“去煤化”并不符合中国能源经济的发展现状,并极有可能危及能源安全、经济供应等方面。另一方面,从石油、天然气以及可再生能源的视角来看。首先,中国石油产量的增产空间具有较大的局限性,仅能维持在平均2亿吨左右的水平^①,但根据统计数据显示,2015年中国原油的表观消费量为5.43亿吨,对外依存度已高达60.4%,远高于50%的警戒线。其次,随着中国各地“煤改气”进程的加快,使天然气需求量得以迅猛增长。2015年中国天然气的表观消费量已达1932亿立方米,其中天然气进口量为614亿立方米,同比增长25%,对外依存度高达31.78%^②。天然气供应的不足导致“气荒”时有发生,给区域能源安全和社会稳定造成了严重影响。最后,随着近年来中国政府不断加大对风电等可再生能源的扶持力度,可再生能源产业得到快速发展,在一次能源消费结构中,非化石能源占比已超过10%。但是,与煤电相比,可再生能源产业的高成本问题较为突出,截至2016年3月,风电及太阳能光伏的发电成本分别为煤电的1.5倍和2倍。此外,由于来自安全措施等方面的制约,核能的经济性也在逐步减弱。由此可见,石油与天然气对外的高依存度,以及可再生能源的高成本与沉重的财政负担,同样使得中国的能源产业面临安全保障、经济性降低等诸多挑战。

综上所述,目前中国正处于一个能源困局之中,煤炭的资源赋存量较大,但既往的粗放式发展使其“三高一低”的问题较为突出,而石油、天然气及可再生能源存在对外依存度大、成本高以及财政负担重等问题,同样面临诸多严峻的挑战。因此,基于中国发展实际,如何坚守煤炭发展的

^① 参见国家统计局:《中国统计年鉴(2015)》,中国统计出版社2015年版。根据数据显示,2011~2015年原油年平均产量为2.09亿吨,年均增长率仅为1.4%。

^② 国家统计局:《中国统计年鉴(2015)》,中国统计出版社2015年版,第289页。

“底线思维”，探索一条资源节约和生态环境友好的发展道路，对适应中国经济发展新常态，确保经济的平稳增长至关重要。

近年来，中国政府已经对煤炭的利用问题进行了重新审视。2014年6月13日，习近平总书记在中央财经领导小组第六次会议上强调指出，要推动中国能源消费、能源供给、能源技术、能源体制改革“四个革命”和加强全方位国际合作，同时提出要大力推进煤炭清洁高效利用。^①以会议精神为导向，2015年1月12日，国家能源局、环保部、工信部等联合发布了关于煤炭开发利用的指导性意见，^②并强调要贯彻落实“节约、清洁、安全”的能源发展战略方针，推动促进能源革命进程。煤炭清洁高效利用业已成为中国能源发展的重要战略课题。

尽管在“十二五”期间，煤炭的清洁高效开发利用方面已取得了较为显著的成效，但与国际先进水平以及实际发展要求相比仍存在很大的差距。例如，煤炭开采过程中环境破坏和资源浪费较严重；焦化、煤化工、燃煤工业锅炉及窑炉等主要用煤领域装备技术水平偏低，且量多、分布散，能效低、污染重；煤化工结构不合理，传统煤化工产能过剩，新型煤化工发展缺乏总体规划，部分煤化工项目仍存在资源生态环境约束和废液排放处理困难的问题；煤炭利用产业融合度不够，大部分企业相对比较独立，未能与相关产业有效地衔接起来，导致煤炭整体利用水平较低；煤炭清洁高效发展的相关法律法规仍不完善，政策措施不到位等。

在“十三五”期间，随着能源生产和消费革命的不断深入推进，中国能源发展将面临前所未有的机遇与挑战。煤炭作为重要的主体能源，如何实现其清洁高效的开发与利用，不仅是“十三五”能源规划的核心问题，同时也成为中国政府、煤炭企业乃至全社会所必须共同面对和解决的重要命题。

① 新华网：《习近平：积极推动我国能源生产和消费革命》，2014年6月13日。

② 国家能源局、环保部、工信部：《关于促进煤炭安全绿色开发和清洁高效利用的意见》。

二、研究意义

1. 理论意义

从一般意义来理解,推动煤炭的绿色安全开采、清洁高效利用,对于推动工业绿色低碳发展,有效改善生态环境质量,进而实现资源节约和生态环境友好的发展具有重要意义;同时,也对提高一个国家的能源利用效率、能源结构的优化与调整,提升煤炭工业科学发展水平,转变发展方式,推进煤炭产业的调整具有积极的作用。

煤炭清洁高效利用对于推动中国能源生产与消费革命具有极其重要的战略意义。在中央财经小组第六次会议上,习近平总书记全面系统地论述了新形势下中国能源发展战略和一些重大政策,提出了要推动能源消费、能源供给、能源技术和能源体制“四个革命”与加强全方位国际合作。

能源革命是“第三次工业革命”中一个非常重要的领域。在中国经济双重转型的进程中,能源行业的转型是关键一环,同时也是社会进步的重要标志之一。改革开放以来,政府对能源生产经营、价格、投融资、外贸、管理体制等进行了一系列的改革,如放开煤炭价格,促进了能源发展和经济的增长,但同时也凸显出诸多问题。目前,中国的能源发展是以“清洁、低碳、有序”的能源结构优化调整为目标定位,进而构建多元、均衡的能源体系,这既是能源发展转型的必由之路,也是经济社会实现可持续发展的时代选择。

本书立足于中国能源结构的优化与调整,从能源生产与消费革命这一新的时代背景出发来探讨煤炭清洁高效开发与利用、转型升级问题,对能源发展以及经济社会整体的可持续发展均具有重要的理论意义。

2. 现实意义

在中国“富煤、贫油、少气”的资源赋存条件下,煤炭资源作为中国

主体能源，其重要地位与作用在今后相当长的一段时期内无法改变。根据中国国家煤炭资源潜力评价结果显示，截至2013年年底，全国2000米以内浅煤炭资源总量5.9万亿吨，其中，预测资源量3.88万亿吨，探明煤炭资源储量2.02万亿吨。煤炭占中国已探明化石能源资源总量的94%，而石油和天然气分别仅占2.5%和3.1%。由此可见，随着经济的快速发展，以及人民生活水平的不断提升，为了应对日益增长的能源需求，赋存丰富的煤炭资源不可或缺。但是，传统的粗放式利用不仅效率低、技术水平落后，同时也带来了资源浪费和生态环境恶化等问题，严重制约了煤炭产业的可持续发展。而解决问题的关键在于煤炭的清洁高效智慧利用。因此，煤炭清洁高效利用是中国实现“清洁、低碳、高效”的能源结构优化与调整，构建现代能源体系的一个决定性因素，也将成为推动中国能源生产与消费革命的主要驱动力。

首先，煤炭清洁高效利用是中国能源发展的第一要务。随着中国经济发展迈入新常态，煤炭需求仍将保持一定增长，能源供给面临着巨大的压力。因此，通过发展煤炭清洁高效利用，提高利用能效，就显得尤为关键。

其次，煤炭清洁高效利用是解决能源安全问题的重要途径。目前，对于风电和太阳能光伏等可再生能源利用技术而言，其成本高、技术不成熟等问题较为突出，在今后的一段时期内仍无法成为主体能源。相比之下，廉价、丰富的煤炭，通过使用清洁高效利用技术，不仅可以提高能效、降低能耗、减少污染，同时在推动经济发展和能源安全保障等方面也将起到重要的积极作用。因此，充分利用中国丰富的煤炭资源，推动与发展煤炭清洁高效利用，将是当前乃至今后一段时期内确保中国能源安全的最重要、最有效的途径。

最后，煤炭清洁高效利用是解决环境问题的必要手段。改革开放以来，中国以煤炭为主体的能源消费以及粗放式发展，带来了碳排放增长、生态环境恶化等诸多问题。在全球低碳化及可持续发展的背景下，煤炭的开发利用面临着严峻的挑战。特别是在碳排放方面，承受着巨大的压力。因此，推进煤炭的清洁高效开发利用，实现煤炭开采、洗选、加工、利