



| 光明社科文库 |

中国二氧化碳减排中的 技术偏向研究

周喜君◎著

光明日报出版社



| 光明社科文库 |

中国二氧化碳减排中的 技术偏向研究

周喜君◎著

光明日报出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国二氧化碳减排中的技术偏向研究 / 周喜君著.

--北京: 光明日报出版社, 2019. 4

(光明社科文库)

ISBN 978-7-5194-5274-2

I. ①中… II. ①周… III. ①二氧化碳—减量化—排气—研究—中国 IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 081599 号

中国二氧化碳减排中的技术偏向研究

ZHONGGUO ERYANGHUATAN JIANPAI ZHONG DE JISHU PIANXIANG YANJIU

著 者: 周喜君

责任编辑: 宋 悦

责任校对: 赵鸣鸣

封面设计: 中联华文

责任印制: 曹 净

出版发行: 光明日报出版社

地 址: 北京市西城区永安路 106 号, 100050

电 话: 010-67017249 (咨询) 63131930 (邮购)

传 真: 010-67078227, 67078255

网 址: <http://book.gmw.cn>

E-mail: songyue@gmw.cn

法律顾问: 北京德恒律师事务所龚柳方律师

印 刷: 三河市华东印刷有限公司

装 订: 三河市华东印刷有限公司

本书如有破损、缺页、装订错误, 请与本社联系调换, 电话: 010-67019571

开 本: 170mm × 240mm

字 数: 205 千字

印 张: 16.5

版 次: 2019 年 9 月第 1 版

印 次: 2019 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5194-5274-2

定 价: 85.00 元

版权所有 翻印必究

国家自然科学基金面上项目 (71874119)

山西省高等学校哲学社会科学研究项目2019W144

山西省哲学社会科学规划项目 (晋规办字 [2015] 3号)

山西省社科联重点课题 (SSKLZDKT2018133)

忻州师范学院优秀青年学术带头人资助计划

忻州师范学院区域发展研究协同创新中心资助计划

目 录

CONTENTS

第1章 导 言..... 1

- 1.1 研究背景 1
- 1.2 研究问题 9
- 1.3 内容结构 10
- 1.4 研究方法 12
- 1.5 本书贡献 16

第2章 二氧化碳减排中技术偏向的理论机理 20

- 2.1 二氧化碳排放影响因素的作用机制 21
 - 2.1.1 二氧化碳排放影响因素研究综述 21
 - 2.1.2 各影响因素的作用机制分析 31
- 2.2 技术进步对二氧化碳排放的影响 33
 - 2.2.1 技术进步的经济学回顾 33
 - 2.2.2 二氧化碳减排中技术进步的作用 35
- 2.3 二氧化碳减排中的技术偏向及其发生机制 38
 - 2.3.1 技术偏向的基本原理 39
 - 2.3.2 二氧化碳减排中技术偏向的发生机制 42

2.4 小结 46

第3章 中国二氧化碳减排中的技术偏向性检验 49

- 3.1 中国二氧化碳排放的来源及特征 50
 - 3.1.1 中国二氧化碳排放的主要来源 50
 - 3.1.2 全国层面的二氧化碳排放特征 51
 - 3.1.3 地区层面的二氧化碳排放特征 54
- 3.2 中国二氧化碳主要减排技术及其演化趋势 65
 - 3.2.1 中国二氧化碳的主要减排技术 65
 - 3.2.2 中国二氧化碳减排技术演化趋势 68
- 3.3 中国二氧化碳减排技术偏向测度 72
 - 3.3.1 初步判断 72
 - 3.3.2 模型、方法与数据 78
 - 3.3.3 测度结果 86
- 3.4 对结果的进一步分析 90
- 3.5 基本结论 97

第4章 偏向型技术演化下中国二氧化碳排放趋势动态模拟 99

- 4.1 分析思路与方法 100
- 4.2 排放情景设定 103
 - 4.2.1 基准情景 104
 - 4.2.2 能源生产类技术进步情景 107
 - 4.2.3 能源利用类技术进步情景 111
- 4.3 排放趋势分析 114
 - 4.3.1 数据分布特征 114

4.3.2	演变路径分析	118
4.3.3	达峰情景比较	124
4.4	结果讨论	127
4.5	基本结论	131
第5章	能源生产与能源利用类技术减排效率制约因素识别·····	134
5.1	研究设计	135
5.1.1	目标行业选择	135
5.1.2	评价方法选择	141
5.1.3	DEA 窗口模型	143
5.2	数据处理	145
5.2.1	变量选择	145
5.2.2	数据来源	147
5.3	评价结果	147
5.3.1	能源生产类技术	147
5.3.2	能源利用类技术	153
5.4	基本结论	158
第6章	国内外二氧化碳减排政策借鉴·····	163
6.1	中国二氧化碳减排政策回顾	164
6.1.1	减排政策的构成分析	165
6.1.2	减排政策的传导机制	174
6.1.3	减排政策存在的问题	175
6.2	典型国家（或地区）促进碳减排的管理政策	178
6.2.1	欧盟	178

6.2.2	日本	181
6.3	典型国家（或地区）促进碳减排的技术政策	185
6.3.1	欧盟	185
6.3.2	美国	189
6.3.3	日本	193
6.4	经验启示	198
6.4.1	制定低碳发展长期规划	198
6.4.2	健全的法律和政策体系	198
6.4.3	加强国际间的技术合作	199
6.4.4	加强低碳管理机制建设	199
第7章 促进中国二氧化碳减排的对策建议		200
7.1	推动社会技术范式和技术愿景转变，优化减排技术成长环境	202
7.1.1	研发阶段：强化对减排技术创新的研发补贴	204
7.1.2	渗透阶段：加大政策倒逼与示范项目建设力度	205
7.1.3	扩张阶段：完善与新技术适应的技术基础设施建设	205
7.1.4	成熟阶段：推动技术标准化、规范化和国际化	206
7.2	发挥经济与技术政策组合效应，抑制能源回弹影响	207
7.2.1	在重点领域率先实施碳排放权交易制度	209
7.2.2	加大可再生能源研发补贴，努力提高技术创新效率	210
7.2.3	强化政府对可再生能源补助力度，扩大可再生能源利用规模	211
7.3	加快社会消费理念和消费模式转变，拉动减排技术进步	212
7.3.1	加大环境教育力度，普及绿色理念	213

7.3.2 强化环境信息披露，倒逼企业转型	213
7.3.3 构建低碳产业体系，营造低碳氛围	214
7.4 小结	215
第8章 研究总结	217
参考文献	223
附录 能源生产与能源利用类技术效率评价目标行业分类	249
后 记	253

第1章

导 言

1.1 研究背景

(1) 气候变化带来的挑战、归因与应对

气候变化指的是一段时期（一般为30年或以上）内气候平均状态改变。根据IPCC第五次评估报告《气候变化2013：自然科学基础》内容显示，1880—2012年，全球海陆表面平均温度上升了 0.85°C ，且呈加快上升趋势，其中，仅2003—2012年的平均升温幅度就比1850—1900年高了 0.78°C 。

气候变暖给人类生产生活带来了严重影响。冰山消融、海平面上升、酸雨、洪涝、干旱，气候变暖正逐渐侵蚀着人类的生存基础。而关于全球气候变暖的原因，众说纷纭。主流观点认为，是由于人口快速增长，温室气体排放增加，进而加剧了全球气候变暖。比如在IPCC第五次报告中就认为，目前全球变暖有95%以上的可能是人类活动造成的（董思言，2014）。但也有学者对人类影响气候的观点提出了不同甚至相反的结论。Singer（2013）认为，从地球周期演化角度看，人类目前

已掌握的气候变化时间序列还太短，还无法证明是否存在气候变暖，进一步看，即使出现了气候变暖，也无法证明是由人类活动所致。俄罗斯著名天文学家阿卜杜萨马托夫认为，气候变化的主要原因是太阳活动，人类活动对气候变化的影响微不足道（张浩，2010）。丁仲礼院士也认为，人类活动排放对气候变暖影响非常小，之所以有很多人认为人类活动影响气候变化，可能是利益博弈的结果（丁仲礼，2010）。上海交通大学的江晓原教授（2013）甚至认为所谓气候变暖本身就是一个弥天大谎。

本书认为，虽然目前无法确认人类温室气体排放与全球变暖之间的直接因果关系，但近百年来全球变暖已是不争的事实。从理论层面看，人类温室气体排放确实会推动气温升高，人类活动至少是全球变暖的可能原因之一。因此，促进温室气体减排依然是人类应对气候变暖、促进资源可持续利用的重要举措。事实上，近年来，不论是1990年启动的国际气候公约谈判，还是此后陆续形成的《京都议定书》（2005）、《巴厘岛路线图》（2007）、《哥本哈根协议》（2009）、《巴黎协议》（2015）都致力于通过全球合作，抑制全球变暖。

（2）中国二氧化碳减排的行动与压力

根据世界银行公布的数据显示（见图1-1），1960—2001年期间，中国的二氧化碳排放尽管也在上升，但上升幅度不大，比同期美国的二氧化碳排放量增幅略大。但从2001年开始，中国的二氧化碳排放量剧烈增长，2005年首次超过美国，成为全球二氧化碳排放最多的国家，2014年达到102.9亿吨，比同期美国多排放了近50亿吨。作为全世界最大的二氧化碳排放国，近年来，中国积极推动自身的二氧化碳减排进程。2009年，在哥本哈根气候大会上，中国政府主动承诺，到2020年，单位产值二氧化碳排放量要在2005年的基础上下降40%~45%。

2015年,在巴黎气候大会上,中国政府进一步承诺,2030年争取使单位产值二氧化碳排放量在2005年的基础上下降60%~65%,并力争实现二氧化碳排放量在2030年左右达到峰值并争取尽早达峰。

为落实国际减排承诺,早在“十二五”期间,中国就将单位生产总值二氧化碳排放降低率作为约束性指标提出,并通过淘汰落后产能、强化重点行业节能减排改造等方式,系统推进减排工作。“十三五”期间,中国二氧化碳减排工作进一步加强,形成了以“强度控制为主、总量控制为辅”的双控思路,并从提高能源效率、优化能源结构、控制工业生产过程排放及增加森林碳汇等方面持续加大力度。特别是提高能源效率及优化终端能源消费结构,已成为当前中国二氧化碳减排的主要政策方向。然而,由于中国尚处于工业化阶段,城市化还在快速推进,全国还有近4000万贫困人口^①,地区不平衡,城乡二元结构明显,发展的任务还非常繁重,这决定了中国未来的二氧化碳减排还将承受巨大的压力。

首先是工业化进程带来的减排压力。工业是二氧化碳排放的主要来源,根据《中华人民共和国气候变化第一次两年更新报告》(2016)数据测算,2012年,中国能源工业(能源生产,包括煤炭采选、电力等)及制造业和建筑业共计排放了7283565千吨二氧化碳,占同期全国总排放量的78.2%。但从中国的工业化进程看,黄群慧(2017)根据钱纳里、库兹涅茨、赛尔奎因等人提出的工业化进程理论,分别从人均GDP、三次产业产值比例、制造业增加值占总增加值比例、人口城市化率、第一产业就业占总体就业比重五个指标对中国的工业化进程进行了

^① 贫困人口标准为现行国家标准,即人均收入低于2300元,价格水平为2010年不变价。

评价。结果显示，到 2015 年，中国总体的工业化进程已进入工业化后期的后半段，但由于区域发展不平衡，地区发展差距比较大，预计到 2020 年，广大中部和西部地区省份才能进入后工业化阶段。这就意味着未来一段时期，中国仍将处于工业化进程快速推进的阶段，而工业化进程的推进就意味着刚性能源需求还将继续增长，在中国以煤炭为主的高碳能源结构下，二氧化碳排放预期还将持续增长，中国的二氧化碳减排面临着绝大的刚性压力。

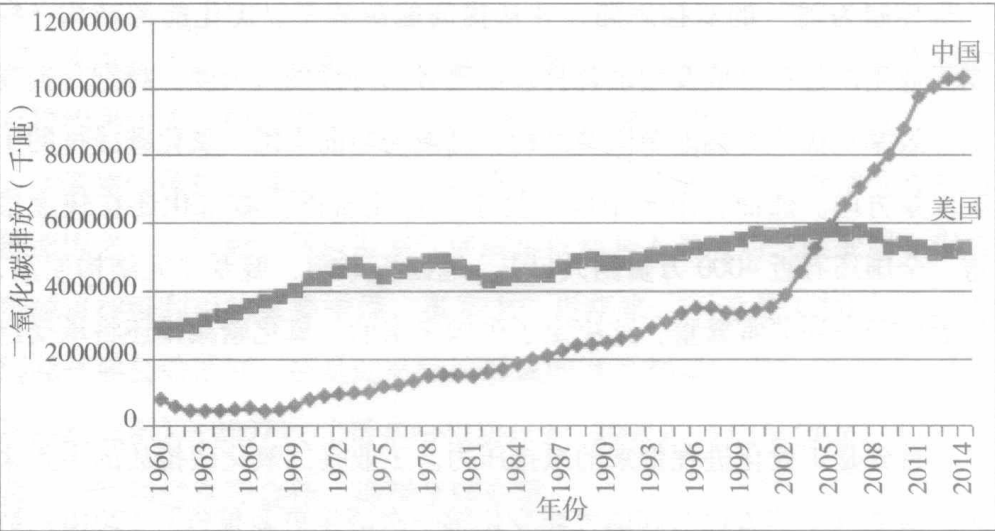


图 1-1 1960—2014 年中国与美国二氧化碳排放

其次是城市化进程带来的减排压力。城市化是人类社会演进的基本经济规律（Wang，2006；冯云廷，2008；马海龙，陈学琴，2016）。已有研究证实，城市化会因基础设施增加、人民生活水平提高等增加对能源的消耗，进而推动二氧化碳排放增长（孙慧宗，2010；臧良震，2015）。从中国实际情况看，根据《中国统计年鉴 2017》数据测算，2016 年，按照城乡户籍人口比重统计，中国的城市化率为 57.35%。而根据城市化阶段理论，城市化进程可分为起步阶段（城市化水平小于

30%)、中期阶段(城市化水平介于30%~60%)、后期阶段(城市化水平介于60%~80%)和终期阶段(城市化水平介于80%~100%)(方创琳,2008)。对照这一标准,中国目前还处于城市化中期阶段,城市化水平还有进一步提升的巨大潜力。从演进趋势上看,据李善同(2017)课题组预测,2020、2030、2040和2050年中国的城市化率分别为60.34%、68.38%、75.37%和81.63%。综上所述,在未来30年,中国的城市化进程还将继续推进,城市化水平还将继续提高,由此导致的刚性能源需求还将持续增长,从而推动二氧化碳排放持续增长。

此外,由于中国还是发展中国家,还有很多地区存在基础设施落后、发展水平低下等问题,还有大量人口生活在贫困线以下,每年还有大量新增劳动力需要就业,而解决这些问题从根本上还要靠发展,只有保持一定速度的发展才能解决这些问题。在当前的“技术—经济”范式下,发展就必然会带来能源消费增长,进而推动二氧化碳排放增长,而这就必然会进一步加大中国二氧化碳的减排压力。

(3) 技术进步对未来中国二氧化碳减排的关键作用

近年来,在国际舆论压力和自身发展需求的双重推动下,中国积极推动二氧化碳减排工作,不断加大政策倒逼力度,逐步形成了以优化能源结构和提高能源效率为主的减排路径,终端能源消费中,煤炭等传统高碳能源消费比重快速下降,有力地促进了中国的二氧化碳减排工作。但从中国能源禀赋出发,本书认为两种路径都存在的问题,还有必要进行一定的调整。

首先,从优化能源结构看,目前的主要方式通过减少煤炭等高碳能源消耗,增加天然气和可再生能源利用比重,从而降低二氧化碳排放。然而,由于中国的能源禀赋结构是“富煤、缺油、少气”,天然气自给能力较低,即使按照2016年13.3%的占比计算,依然有近40%依靠进

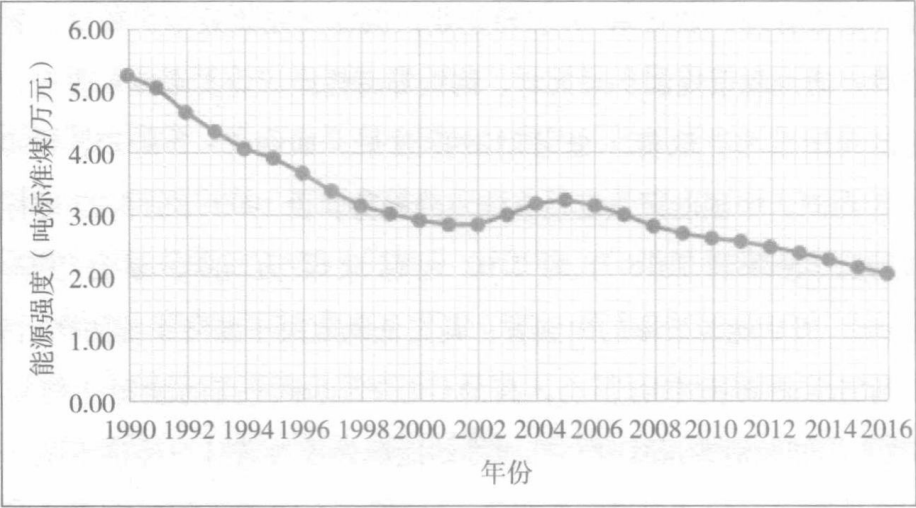
口解决（刘叶琳，2017），且进口部分折合标准煤后仅约 2.3 亿吨。如果进一步提高天然气利用比例的话，进口气源保障能力和能源成本将成为主要的制约因素，势必会推高中国经济发展的能源成本，削弱中国产品在国际市场的竞争力。按照中科院倪维斗院士的观点，未来中国天然气用量最多只能是煤的 $1/15$ （倪维斗，2017）。如果进一步考虑能源安全的话，提高天然气利用比例显然不是首选。核电方面，由于中国是贫铀国，2016 年的核电装机量是 3364 万千瓦，但铀进口依存度已超过 90%。如果提高核电装机的话，就必须进一步增加铀 235 和铀 238 等核原料的进口，作为战略性矿产资源，大量进口显然也不太容易实现，核电增长空间有限。再看风电和水电，按照倪维斗（2017）院士的计算，中国水电目前的开发度已达到 75%，余量空间不大，而未来风电和太阳能总量也只能占到能源消费总量的几个百分点。综上，当前依靠进口能源替代驱动的能源结构优化路径面临巨大的挑战。

本书认为，通过能源结构优化促进二氧化碳减排的方向是正确的，但实现方式上应改变目前的进口替代战略，而应立足自身能源禀赋结构，通过能源生产类技术进步提高终端能源消费中清洁和可再生能源比重，比如通过煤炭生产类技术进步实现煤炭能源清洁化，通过油气开采技术进步提高油气自给能力，通过可控核聚变技术进步提高核能的开发利用规模等，依靠能源生产类技术进步必将成为解决中国未来二氧化碳排放问题的关键选择。特别是煤炭清洁利用，目前技术上已基本成熟，在发电领域得到很好应用，其排放水平甚至优于天然气。事实上，从人类能源变迁史的角度看，从薪柴时代到煤炭、石油，再到电力、核能，尽管能源价格、政府政策等因素也是能源结构变迁的重要驱动因素，但从根本上无不是能源生产类技术进步的结果。

其次，从提高能源利用效率看，近年来，中国通过采取合同能源、

税收优惠等管理“软技术”，引导企业积极提高能源效率，减少二氧化碳排放；通过政策规制，对火电、钢铁等高耗能行业实施技术改造，提升能源利用效率，取得了显著的减排效果。如图 1-2 所示，1990—2016 年期间，中国能源强度呈直线下降趋势，由 1990 年的 5.23 吨标准煤/万元，下降到 2016 年的 2.02 吨标准煤/万元^①，累计下降了 61.44%。但从能源效率的内涵看，其高低既取决于经济系统的产出率，也受到能源热转换率的影响，高的经济产出率或高的能源热转换率（导致实物能源消费量减少）都能推动能源效率改善。对经济系统产出率而言，在一定的“技术—经济”范式下，变化幅度相对有限。而对能源转换率而言，会受到技术进步的剧烈影响。以煤炭为例，生产中投入的煤炭能源，其热转换率不仅会受到锅炉热传导效率、升温速度及蒸汽等燃烧环境的影响，还与煤炭能源本身的形态、质量规格等有密切关系，如有研究就发现，较小的粒径会显著提高煤的转化率、燃尽度和热解度（薛永强，2005；卫广运，2016）。从中国情况看，纵向比较，能源热转换水平已有很大进步，但与发达国家相比，还有不小的差距，还存在较大的潜在能源浪费（丁波，2011）（见图 1-3）。因此，强化能源利用阶段技术创新，综合通过燃烧技术、工程技术等手段提高能源热转换率，进而减少实物能源消费量是未来能源利用效率改善的重要途径。

① 该指标已换算为 1990 年价格。



注：GDP 为 1990 = 100

图 1-2 1990—2016 年能源强度变化

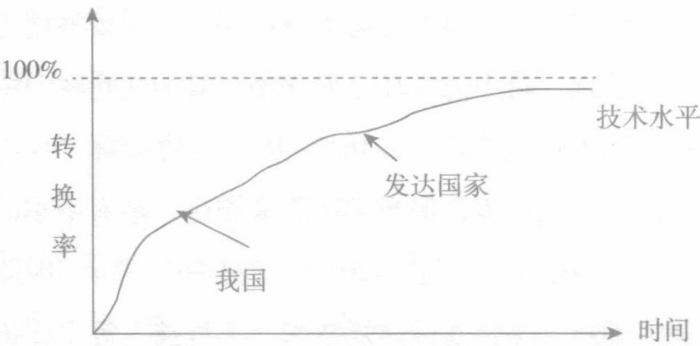


图 1-3 中国与发达国家能源转换技术发展水平示意图

综上所述，从中国实际出发，不论是优化能源结构，还是提高能源效率，从根本上看，最终还应转向依靠技术进步推动二氧化碳减排的轨道上来，能源生产类技术和能源利用类技术^①进步就成为未来中国二氧

① 这里的能源生产技术和能源利用技术不是特定的技术，而是技术类的概念，为了更准确地表达含义，以下分别称为能源生产类技术和能源利用类技术，详细的划分依据见本文第二章“二氧化碳减排中技术偏向的发生机制”部分。