

气候变化
QIHOU BIANHUA YU 与 ZHUANJINGYANJIUCONGBU
能源经济研究丛书

偏向型技术进步对 中国工业碳强度的影响研究

王班班◎著



 人民教育出版社

责任编辑:陈 登

图书在版编目(CIP)数据

偏向型技术进步对中国工业碳强度的影响研究/王班班 著. —北京:
人民出版社,2017.2

ISBN 978-7-01-017285-9

I. ①偏… II. ①王… III. ①工业技术-技术进步-影响-二氧化碳-排气-节能
减排-中国 IV. ①F424.3②X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 014158 号

偏向型技术进步对中国工业碳强度的影响研究

PIANXIANGXING JISHU JINBU DUI ZHONGGUO GONGYE TANQIANGDU DE YINGXIANG YANJIU

王班班 著

人民出版社 出版发行
(100706 北京市东城区隆福寺街 99 号)

环球东方(北京)印务有限公司印刷 新华书店经销

2017 年 2 月第 1 版 2017 年 2 月北京第 1 次印刷

开本:710 毫米×1000 毫米 1/16 印张:14.25

字数:216 千字

ISBN 978-7-01-017285-9 定价:36.00 元

邮购地址 100706 北京市东城区隆福寺街 99 号

人民东方图书销售中心 电话 (010)65250042 65289539

版权所有·侵权必究

凡购买本社图书,如有印制质量问题,我社负责调换。

服务电话:(010)65250042

总 序

全球气候变暖对全人类构成严峻挑战,而且应对气候变化的行动越迟缓社会成本就越大。因此,当前各国必须密切合作,减缓和适应气候变化,并探索低碳经济发展的新模式。为此,国际社会历经 20 余载的反复磋商,先后达成《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》,并于 2015 年 12 月在《联合国气候变化框架公约》第 21 次缔约方大会上达成《巴黎协定》。《巴黎协定》是历史上首个关于气候变化的全球性协定,为 2020 年后全球应对气候变化的目标和行动作出了安排。

气候变化与大气污染同根同源,其治理也具有协同效应。当前,中国正面临日益严重的环境污染,大面积持续雾霾天气的治理刻不容缓,以环境为代价的粗放型发展模式已难以为继。中国自“十二五”以来就将能源强度和碳强度作为约束性目标写入五年规划,并层层分解至各省、直辖市、自治区乃至行业和企业,党的十八大更是明确提出要发展绿色低碳经济、实现发展模式根本转变;我国向联合国提交的自主减排贡献(NDRC)承诺在 2030 年碳排放达到峰值。与此同时,中国在应对气候变化的国际气候治理中逐渐开始扮演领导者的角色,为推动达成《巴黎协议》作出了建设性的贡献。因此,无论是中国国内自身日益迫切的需要,还是在全球气候治理中发挥领导作用,树立负责任大国形象,我国都需要加强应对气候变化和大气污染治理,通过绿色低碳转型,实现可持续发展。

应对气候变化首要是改变当前的高碳能源体系,并推动经济社会发展方式的变革。自工业革命以来,人类活动所需要的能源主要来自化石能源消费,化石

能源无节制的消费产生的碳排放,是引起全球气候问题的根源,还造成了环境污染严重、资源约束趋紧、生态系统退化的后果。因此,变革能源体系尤为关键。这一方面需要节能减排和提高能源效率,另一方面则要大力发展新能源和可再生能源,从而推动能源结构的低碳化。能源体系的变革,涉及到能源生产、能源消费、能源技术和能源管理体制的变革以及能源国际合作。在能源体系低碳化的基础上,经济社会发展方式的变革是更根本、更彻底、更长远任务,这将推动人类社会从工业文明过渡到生态文明。中国迫切需要改变经济社会发展方式,全面协调经济发展、社会发展和资源节约、环境保护之间的关系,实现节能减排和经济社会持续发展的双赢。

应对气候变化需要能源体系和发展方式的深刻变革,也需要增强社会公众的低碳意识与行为,这给经济学提出了新的研究任务和方向:其一,能源体系变革的路径及影响,包括节能减排及能效提升、新能源技术创新和产业化、行政措施和市场化手段等方面的研究。其二,低碳经济及其发展模式,包括碳效率及其影响因素、碳脱钩相关理论和机制、减排路径及创新激励机制等方面的研究。其三,应对气候变化的相关国际制度,包括国家间减排责任的分担、气候政策与国际经济的合作以及全球气候治理等方面的研究。其四,政府在引领整个社会向低碳社会发展过程中,要发挥主导作用,通过有效传播,提高公众对气候变化问题的认知,增进公众对低碳社会和低碳理念的认同感,优化公众行为,自觉采取节能减排行动。发达国家已对这些问题进行了大量的研究,初步形成了相关的理论体系和研究方法,对发达国家经济社会的低碳转型产生了重要影响,并为气候谈判和相关国际合作提供了理论支撑。相比发达国家,中国在积极应对气候变化的同时还肩负着工业化、城镇化、绿色化等经济社会发展的重任,因而更加迫切需要对中国的气候变化和能源经济问题进行深入研究。

基于上述考虑,我们组织编写了这套“气候变化与能源经济研究丛书”,包括《FDI 对中国工业能源效率的影响研究》《不确定性条件下油价宏观经济影响的动态一般均衡模拟研究》《偏向型技术进步对中国工业碳强度的影响研究》《碳减排路径与绿色创新激励机制》《气候壁垒对人民币实际有效汇率的影响》

《全球主要碳市场制度研究》《气候政策与国际贸易：经济、法律、制度视角》和《政府低碳理念传播的理论与实践》。上述研究立足于绿色低碳经济发展与低碳社会建构，关注国际气候谈判趋势，瞄准能源经济研究领域的前沿，主要是一批青年博士最新的研究成果，体现出青年学者对环境、气候变化和低碳经济转型的关注、思考和探索，希望能为全球应对气候变化和我国低碳经济转型与可持续发展作出自己的贡献。

齐绍洲 吴力波 张继宏

2017 年 2 月

前 言

从哥本哈根气候大会到《巴黎协定》，中国在应对气候变化的国际合作中逐渐开始扮演领导者的角色。中国承诺到 2020 年单位 GDP 二氧化碳排放量（碳强度）比 2005 年下降 40%—45%，到 2030 年碳强度下降 60%—65%，同时实现碳排放量达峰。这既是中国作为负责任的大国在应对气候变化国际合作中所采取的强有力的行动，也与治理雾霾、改善环境的国内需求相适应。为此，自“十二五”以来中国将碳强度目标写入五年规划，并将目标层层分解至各省、直辖市、自治区乃至行业和企业。与此同时，市场化的减排政策工具也被提到了重要的位置。2013—2014 年间，中国在北京、天津、上海、深圳、重庆、广东、湖北启动了“五市两省”的碳交易试点，尝试通过市场手段对企业等主体的二氧化碳排放权制定价格，从而使其为碳排放所带来的社会损失支付成本，并通过交易机制实现社会减排成本的最小化。

在中国降低碳强度目标的实现路径和政策选择中，有两点因素需要着重考虑。第一，对于政策实施对象来说，工业是中国二氧化碳排放大户，也是中国实现节能减排目标的关键部门。第二，政策效果的关键在于有效促进节能减排的技术进步和经济发展方式的低碳转型，这不仅有助于实现中长期减排，更有助于经济增长和节能减排的双赢。

中国工业能源消耗碳排放规模依然呈现增长趋势，并集中在排放量 1 亿吨以上的高排放行业，其碳强度和能源消耗份额也明显高于中、低排放行业。同时，在不同来源的技术进步中，除 R&D 之外，FDI 的水平溢出和前向溢出、贸易的技术溢出均值在中、低碳强度和能源消耗份额分组都明显高于高碳强度分组。

这体现了技术进步改变要素使用比例的偏向型技术进步特征。然而在现有相关研究中,较少研究关注技术进步降低碳强度的微观机制。工业碳排放主要来源于能源消耗,而能源首先是一种生产投入要素,技术进步降低工业碳强度的作用机制也与技术进步对能源这一生产要素的使用偏向有关。偏向型技术进步指的是技术进步通过不同比例地改变要素之间的相对边际生产率,从而对要素产生不同程度的节约作用。因此,厘清技术进步对中国工业碳强度的作用机制,考察中国工业偏向型技术进步对碳强度的影响对于提高中国碳生产率、降低碳强度具有重要意义。

为此,本书分别就中国工业技术进步的偏向判断、偏向型技术进步对碳强度的影响估计、偏向型技术进步的不同来源、促进节能减排偏向型技术进步的政策评估和选择几个方面,对如下问题展开了研究:

第一,判别了中国工业技术进步的要素偏向。在包含能源要素投入的框架下,采用 DEA 方法测算了中国工业 36 个行业 1999—2011 年的偏向型技术进步 IBTECH 指数。结果显示,偏向型技术进步在大多数行业均能带来生产率的增进;中国工业技术进步在能源和资本之间偏向节约能源,在能源和劳动力之间偏向节约劳动力,在能源和中间品之间偏向节约能源。节约能源的技术进步随着时间得到了增强。

第二,计算了偏向型技术进步对中国工业碳强度下降的贡献程度和影响效应。对 1999—2011 年期间中国工业碳强度的变化进行 DEA 分解,发现偏向型技术进步每年贡献的碳强度下降为 2% 左右,且贡献程度 2008 年以后存在明显提高,已超过中性技术进步,成为促使碳强度下降的重要驱动因素。在控制内生性的基础上,采用处理效应模型和动态面板模型对偏向型技术进步影响中国工业碳强度的净效应进行了测算。结果发现,如果技术进步在能源和资本、劳动力、中间品之间节约能源,则可以分别促使碳强度下降 2.05%、2.01% 和 4.56%。如果偏向型技术进步的总效应可以提高生产率,那么它有助于促进碳强度降低:偏向型技术进步指数 IBTECH 每上升 1%,碳强度将下降 0.107%。

第三,甄别中国工业技术进步的来源,计算出不同来源技术进步的偏向及其对碳强度的影响。通过构建一个包含中性技术进步和偏向型技术进步的超越对

数成本函数模型,利用中国 36 个工业行业 1999—2011 年的数据进行 SUR 回归,结果发现:R&D、FDI 的水平溢出是能源节约型的,进口、出口、FDI 前向溢出和后向溢出是能源使用型的。偏向型技术进步对碳强度的影响非常明显:如果一种技术进步表现出较强的能源节约型特征,那么它可以降低碳强度。R&D、FDI 的水平溢出和前向溢出可以显著降低碳强度,而出口、进口、FDI 的后向溢出将导致碳强度的上升。

第四,对比研究了市场型和命令型政策工具对中国工业节能减排偏向型技术进步的诱发效果。利用中国工业能源价格指数、节能减排专利和政策执行措施数据,采用双重差分、动态和静态面板数据模型进行实证分析,结果发现:其一,市场型和命令型政策工具均有助于诱发节能减排技术创新,但其诱发效应各有特点:市场型工具存在外溢性,除了有助于节能减排技术创新之外,还有助于其他类别技术创新的共同增长,为企业提供更灵活的选择;命令型工具则对创新含量更高的发明专利有更强的诱发效应,并且有赖于政策的有效执行。其二,市场型工具在电煤价格长期受到政策干预的电力行业作用受限,而命令型工具在国有化程度高的行业效果更强。其三,两种政策工具的效果存在行业异质性:对电力、石化等国有化程度高的上游行业命令型工具更为有效,而对钢铁、有色金属等产能过剩行业市场型工具效果更明显。

第五,针对日趋重要的市场型“碳定价”政策,考察了其能源价格加价效应对节约能源技术进步的诱发机制及其对中国工业碳强度的影响。分别建立 IV-Probit 模型和动态面板模型进行回归,发现中国工业行业技术进步的方向存在明显的价格诱发效应,能源相对价格的提高有助于诱发节约能源的技术进步。在资本、劳动力和中间品价格保持不变的情况下,能源价格每提高 1%,将通过诱发节约能源技术进步促使碳强度下降 0.461%。由于工业二氧化碳排放绝大部分来自于能源消费,碳价格在工业行业可以通过诱发节约能源技术进步来促使碳强度下降。碳价格每提高 1 元/吨时,可以通过诱发节约能源技术进步使工业碳强度降低 0.055%。

最后,在实证研究结果的基础之上,为充分引导技术进步节约能源的偏向,并促进其对碳强度降低的积极贡献,笔者提出了有关节能减排、科技、贸易和外

资方面的相关政策建议,如合理搭配市场型和命令型的减排政策工具,区别引导不同来源技术进步节约能源的偏向,促进高排放行业的减排技术研发、引进和吸收的相关政策等。

合理设计政策组合从而促进中国节能减排技术创新,达成减排目标并最终实现中国经济的低碳转型,这有赖于多学科的研究成果为政策选择提供参考。本书从技术进步改变要素使用这一微观机制着手,研究技术进步对碳强度的影响效应,甄别技术进步的来源,并评估和对比不同减排政策对中国工业节能减排偏向型技术进步的诱发效果,以期在已有文献的基础上有所贡献,并为政策制定提供实证支撑和定量依据。尽管作者力求完善,但书中难免存在疏漏和不足,望读者批评指正。

王班班

2016年6月于武汉

目 录

总 序	1
前 言	1
导 论	1
第一章 偏向型技术进步与工业碳强度的相关理论基础	20
第一节 偏向型技术进步的基本概念	20
第二节 偏向型技术进步的理论演进	22
第三节 偏向型技术进步对碳强度影响的相关理论	34
第二章 中国工业的碳排放、技术进步和要素使用	44
第一节 中国工业的碳排放和碳强度	44
第二节 中国工业技术进步现状	49
第三节 中国工业的要素使用现状	53
第四节 中国工业碳强度、技术进步与能源要素份额之间的关系	55
第三章 中国工业技术进步的要害偏向	58
第一节 偏向型技术进步指数的测度方法	59
第二节 技术进步偏向的判别方法	63
第三节 中国工业技术进步要素偏向的实证判断	65

第四章 偏向型技术进步对中国工业碳强度的影响效应	80
第一节 偏向型技术进步对工业碳强度变化的贡献程度	81
第二节 偏向型技术进步对中国工业碳强度影响的净效应	89
第五章 不同来源的偏向型技术进步对中国工业碳强度的影响	108
第一节 不同来源的技术进步	109
第二节 不同来源的偏向型技术进步对碳强度的影响机制	117
第三节 不同来源的偏向型技术进步对碳强度的影响估计	125
第六章 促进节能偏向技术创新的政策工具	136
第一节 市场型和命令型政策工具的节能偏向技术创新效应	138
第二节 政策工具诱发节能偏向技术创新效应的研究设计	144
第三节 市场型和命令型政策工具的节能偏向技术创新效应比较	152
第七章 碳定价政策的节能偏向技术进步效应和减排效果	166
第一节 碳定价政策概述及中国的实践	167
第二节 识别碳定价政策的节能偏向技术进步效应和减排效果	170
第三节 节能偏向技术进步对碳定价政策减排效果的贡献	177
第八章 结论和政策建议	189
第一节 主要结论	189
第二节 政策建议	192
参考文献	196
附 录	209

导 论

从《京都议定书》到《巴黎协定》，中国作为负责任的大国，已在国际气候治理中扮演着日益重要的角色。尽管如此，中国的经济发展阶段决定着在一定时期以内，其温室气体排放将依然呈现增长态势。为了实现经济发展和节能减排的双赢，提高碳生产率，降低碳强度（单位 GDP 二氧化碳排放量）是中国减排政策的重点。

工业部门的减排对中国具有重要的意义。然而进入“十三五”以后，一些工业行业面临着去产能、调结构等多重压力，减排工作的经济环境日趋复杂。以行政命令和牺牲经济为代价的减排不可持续。在这一背景下，技术进步成为降低碳强度的重要长效机制。因此，有必要就技术进步对工业碳强度的影响机理进行深入分析。由于工业碳排放主要来自于化石能源消耗，因此可以将能源视为一种生产投入要素，以偏向型技术进步为理论出发点展开研究。本书将在此理论框架下，采用中国工业行业数据，实证研究偏向型技术进步对降低工业碳强度的贡献程度和影响效应，并对节能减排偏向型技术进步的不同来源和诱发政策展开评估。

一、研究的背景和意义

应对气候变化已经成为全球共同关注的重要议题之一。国际间第一次达成大规模的气候合作协议始于 1998 年签署的《京都议定书》。在其中，主要发达国家制定了到 2020 年的温室气体减排计划，并通过碳税、碳市场等手段促进减

排。2015年12月的巴黎气候大会见证了应对气候变化领域的又一个国际合作里程碑——近两百个缔约方在大会上一致同意通过《巴黎协定》。从《京都议定书》到《巴黎协定》，中国在全球气候治理中也开始扮演领导者角色，于2014年到2015年间连续发布了《中美气候变化联合声明》《中法气候变化联合声明》《中欧气候变化联合声明》，积极推动《巴黎协定》的签署。尽管如此，中国的经济发展阶段和碳排放特征仍然有别于发达国家。在未来一段时期，中国经济还将处于中速到中高速增长区间。与此同时，经济发展中的区域不平衡问题依然存在。因此，短期内中国还难以在保证经济增长的同时实现绝对量的碳减排，碳排放将保持增长态势，从而争取进一步的经济发展空间。尽管如此，提高碳生产率，降低碳强度是中国提高经济发展质量，实现低碳发展的必然要求。

中国在2009年11月的哥本哈根气候大会前夕第一次提出碳减排强度目标，即到2020年，中国单位GDP二氧化碳排放量将比2005年下降40%—45%。在随后的“十二五”规划中，中国落实国际承诺，明确提出了“十二五”期间碳强度下降17%，能源强度下降16%的国内目标。不仅如此，2011年12月1日国务院印发《“十二五”控制温室气体排放工作方案》（国发〔2011〕41号），将碳强度下降目标分解至全国31个省、直辖市、自治区。重点行业也相应提出各自的减排目标。及至2015年巴黎气候大会前夕，中国相继在《中美元首气候变化联合声明》和向联合国提交的自主减排贡献（INDC）中进一步提出了2030年减排路线，即到2030年单位GDP碳排放在2005年的基础上下降60%—65%，并在2030年左右实现碳排放量达峰，在有条件的地区提前达峰。因此，2030年以前强度目标依然是中国应对气候变化的主要约束目标，并覆盖至区域、行业甚至企业。

工业既是中国经济增长的重要贡献者，也是中国最主要的碳排放部门，其碳排放常年占到中国全社会总排放的百分之七十以上。因此，工业部门历来是中国节能减排工作的重点。与此同时，工业碳强度近十年来也呈现出递减态势，并且减少的幅度要大于全社会碳强度。降低工业行业的碳强度是中国实现碳强度下降目标的关键。特别是进入“十三五”以后，部分工业行业产能过剩严重，结构性矛盾突出，节能减排和去产能、调结构、促增长交织。这一方面使减排工作面

临更加复杂的经济环境,另一方面,减排目标又和工业部门的产能优化、结构调整等需求高度融合。

在这一背景下,技术进步成为降低碳强度,实现工业减排和发展双赢的重要途径和长效机制。技术进步有助于提高要素使用效率,从而在保证经济增长的前提下减缓温室气体排放,这在研究中有时也被称为“脱钩”现象。此外,有效促进节能减排技术进步,还可以带来工业生产方式的绿色升级,并形成经济低碳发展的新驱动力。现有研究大都表明,碳强度变化的绝大部分都由技术效应引起。李国志等(2010)、申萌等(2012)也发现技术进步能够减缓碳排放增长,暗含技术进步对碳强度的降低存在促进作用。^①

技术进步对中国工业碳强度影响的传统研究一般关注技术进步对碳排放或碳强度影响的方向和程度,而在作用机制,尤其是微观机制方面鲜有探讨。偏向型技术进步可以为此提供一个理论的视角。由于工业碳排放主要来源于能源消耗,因此,技术进步降低工业碳强度的作用机制也与技术进步对能源这一生产要素的使用偏向有关。并不是所有的技术进步都具有积极的环境能源效应。希克斯(Hicks,1932)指出,技术进步既可以是中性的,即同比例改变生产要素的边际产出,也可以是有偏的,即不同比例地改变要素的边际产出。^②卡米恩和施瓦茨(Kamien & Schwartz,1968)进一步认为,技术进步是企业在不同的要素价格比和要素比的技术组合之间的选择。因此,技术进步将改变生产投入要素之间的整合方式,对不同的要素具有不同的效应,可以称之为“偏向型技术进步”(Biased Technological Progress)。^③中国工业碳排放与能源消耗有着密切的关系,而能源首先是一种生产投入要素。这样,研究中国技术进步的要害偏向(the Factor-bias/Direction of Technological Progress,或简称技术进步的偏向/方向)对工业碳强度的影响至关重要。

① 李国志、李宗植:《人口、经济和技术对二氧化碳排放的影响分析——基于动态面板模型》,《人口研究》2010年第5期,第32—39页;申萌、李凯杰、曲如晓:《技术进步、经济增长与二氧化碳排放:理论和经验研究》,《世界经济》2012年第7期,第83—100页。

② Hicks, J., *The Theory of Wages*, McMillan, 1932.

③ Kamien, M.I. and N.L. Schwartz, "Optimal 'Induced' Technical Change", *Econometrica*, Vol. 36, No. 1 (1968), pp. 1—17.

围绕偏向型技术进步的碳强度效应,本书将对四个层面的问题展开研究。第一个问题是中国工业技术进步的偏向是否是节能的。由于工业二氧化碳的排放主要来源于化石能源消耗,偏向型技术进步的节能效应与工业碳减排之间存在直接的关联。那么,在经历了“十一五”能源强度约束目标、“十二五”能源强度和碳强度双控目标之后,中国工业行业的技术进步是否呈现出节约能源的偏向?技术进步偏向又存在哪些行业特征和演进趋势?这是本书关注的第一个问题。

第二个问题是偏向型技术进步对工业碳强度存在何种影响效应。理论研究表明,技术进步偏向对要素的节约程度还与要素间的替代/互补关系有关。因此,偏向型技术进步是否可以促使碳强度下降还需要进一步检验。此外,在影响碳强度的主要因素中,偏向型技术进步和中性技术进步、要素替代、效率改善等传统研究关注的影响因素相比贡献程度是否更大,也是本书关注的第二个问题。

在此基础之上,为了更好地促进偏向型技术进步的减排效应,本书将对其不同来源和促进政策展开研究。第三个问题聚焦于偏向型技术进步的不同来源。一般认为,研究与开发、外商投资、进出口贸易等都是技术进步的主要来源,但这些来源的技术进步的碳强度效应不尽相同。本书将从其产生的技术进步偏向差异进行解释。

第四个问题则从政策制定的角度出发,关注促进偏向型技术进步的政策工具。环境经济领域将减排政策工具分为两大类,一是以市场导向为特征的定价政策,二是以政府管制为特征的管控政策。那么,这两类政策对节能减排偏向型的技术进步是否具有明显的诱发效应?对中国工业行业来说,两种类型的工具各具有何种特征,是否能产生积极的减排效果?本书将对上述问题一一进行评估,这对中国工业行业节能减排政策工具的选择具有重要的启示。

综上,本书将考察中国工业的偏向型技术进步,特别是节能偏向技术进步对降低碳强度的贡献。在此基础之上,研究哪些因素和政策可以诱发节约能源的技术进步,并厘清中国工业技术进步的不同来源及对碳强度的影响。上述研究对于中国节能减排政策以及科技、贸易和外资政策的环境能源效应均能提供一定的定量参考,这对中国实现降低碳强度目标具有重要意义。