

中国工业部门 碳生产率研究

高文静 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

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”（项目批准号：71173141）、山西财经大学青年科研基金项目“基于碳生产率的工业转型升级路径与政策研究”（项目编号：QN-2014002）研究成果

中国工业部门 碳生产率研究

高文静 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国工业部门碳生产率研究/高文静著. —武汉: 武汉大学出版社, 2015. 4

ISBN 978-7-307-15272-4

I. 中… II. 高… III. 工业企业—节能—研究—中国 IV. TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 037394 号



责任编辑:陈 红

责任校对:汪欣怡

版式设计:马 佳

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.whu.edu.cn)

印刷: 武汉中远印务有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 13 字数: 183 千字 插页: 1

版次: 2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-15272-4 定价: 30.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

随着气候变化问题谈判进程的加快，发展中国家面临的减减排的潜在压力与日俱增。中国政府对于应对全球气候变化、控制温室气体排放等国际事务历来高度重视，已经把应对气候变化、控制温室气体排放作为经济社会发展的一项重大战略。基于这一背景，对碳生产率的研究成为当前低碳经济领域关注的热点问题之一。

碳生产率概念的提出时间较晚，尚没有完整的理论体系和测算方法。为了使研究具有较好的理论传承性，本书在全要素生产率的分析框架下对碳生产率进行了系统研究。同时，充分考虑到工业部门在低碳经济研究领域中的重要性，本书的研究范围限定在了中国工业部门。

全书共分为7章。第1章主要对研究背景、研究意义、研究方法等进行了说明。第2章对生产率相关研究进行了回顾，主要从不同发展阶段稀缺性对象会不断改变的角度，对劳动生产率、资本生产率、资源生产率和碳生产率的相关研究进行了系统的回顾和评述，以期为后续研究提供坚实的理论基础。第3章在全要素生产率的分析框架下，对中国工业部门的碳生产率进行了测算，并对其收敛性进行了检验，为后续实证研究提供数据支持的同时，引出了中国工业部门碳生产率变化过程中存在的问题。第4章将碳生产率纳入经济增长的分析框架，推导出资源配置对碳生产率影响的理论模型，在此基础上，对劳动力、资本和二氧化碳排放空间等投入要素的配置与碳生产率之间的关系进行了实证研究，以此来考察资源配置对碳生产率的影响。第5章对中国工业部门的规模经济性进行了测度，并对规模经济与碳生产率之间的关系进行了实证研究，深层次挖掘了规模经济效应对碳生产率的影响机理。第6章首先对技术

进步的内涵及其分类进行了回顾，然后分析了中国工业部门技术进步的特点，在此基础上对中国工业部门技术进步与碳生产率的关系进行了实证研究，以此来判断技术进步对碳生产率的影响。第7章根据研究结论提出了一系列提高中国工业部门碳生产率的政策建议。第8章是本书结语及展望。

本书的主要观点如下：(1)在全要素生产率的研究框架下，基于方向性距离函数的数据包络分析方法所测度的碳生产率指数值相比传统意义下的单要素的碳生产率指数值要低，这意味着单要素的碳生产率指数确实高估了二氧化碳排放空间投入要素的效率，全要素生产率框架下的碳生产率指数更能真实反映中国工业部门碳生产率的增长情况。经过进一步的分析发现，中国工业部门各两位数行业的碳生产率指数同时呈现出 δ -收敛和绝对 β -收敛。(2)二氧化碳排放空间要素配置比例的变化对全要素生产率框架下碳生产率的变化具有显著的负向影响；煤炭资源配置比例的变动对全要素生产率框架下的碳生产率的变动具有显著的负向影响。这意味着中国工业部门二氧化碳排放空间要素向碳生产率相对较高行业的再配置是形成中国工业部门碳生产率指数 δ -收敛和绝对 β -收敛的重要原因；降低煤炭资源消费比例是提高中国工业部门各两位数行业碳生产率的一条重要途径。(3)中国工业部门整体上表现出规模不经济性，行政垄断造成的外部规模不经济对全要素生产率框架下碳生产率具有负向影响，而行业内规模效益的提高所反映的内部规模经济对全要素生产率框架下的碳生产率具有正向影响。(4)中国工业部门整体上存在技术进步，且技术进步是非体现的中性技术进步和资本体现型技术进步共同作用的结果，资本体现型技术进步对中国工业部门碳生产率具有正向的显著影响。

针对上述结论，本书提出了优化能源消费结构，优化部门产权结构，加大技术引进力度、提高装备制造水平等提高中国工业部门碳生产率的相应政策建议。

本书继承已有的国内外研究，紧密结合中国工业部门的特点，充分汲取了前人的研究成果，主要在以下方面做了一些创新性的探讨：(1)从一个新的视角出发，将碳生产率看做要素生产率的一种

(即将二氧化碳排放空间作为一种投入要素),以经济增长因素分解理论为基础,对中国工业部门碳生产率进行了比较系统的分析;(2)在全要素生产率的分析框架下,对中国工业部门碳生产率进行了测度,与传统的单要素的碳生产率相比,本书的测度结果更能真实反映中国工业部门碳生产率的增长情况;(3)在碳生产率测度过程中,基于方向性距离函数的数据包络分析方法的应用,更能突出碳生产率的特点;(4)分别从资源配置、规模经济、技术进步三个方面,系统地研究了中国工业部门碳生产率的影响机制。(5)提出了一系列具有针对性和可操作性的提高中国工业部门碳生产率的相应政策建议。

由于作者水平有限,且关于碳生产率的研究发展迅速,创新不断,书中不妥之处在所难免,恳请广大同仁不吝赐教。

高文静

2015年3月于太原

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	4
1.2 研究思路、技术路线及研究方法	5
1.2.1 研究思路及技术路线	5
1.2.2 研究方法	5
1.3 研究内容及创新点	7
1.3.1 研究内容	7
1.3.2 主要创新点	8
1.4 关键概念解释	9
2 理论回顾与文献综述	12
2.1 新古典经济增长理论下的全要素生产率研究	13
2.1.1 国外关于全要素生产率的研究	13
2.1.2 国内关于全要素生产率的研究	21
2.2 循环经济背景下的资源生产率研究	26
2.3 低碳经济背景下的碳生产率研究	29
3 中国工业部门碳生产率测算及其收敛性分析	32
3.1 中国工业部门二氧化碳排放量估算	32
3.1.1 二氧化碳排放量测算方法	33
3.1.2 工业部门二氧化碳排放长期趋势	34
3.1.3 工业部门内部二氧化碳排放格局	36

3.2 中国工业部门碳生产率测算	37
3.2.1 传统意义的中国工业部门碳生产率分析	37
3.2.2 全要素生产率框架下中国工业部门碳生产率的 测算	40
3.3 中国工业部门碳生产率收敛性分析	48
3.3.1 碳生产率的 δ -收敛性检验	49
3.3.2 碳生产率的 β -收敛性检验	50
3.3.3 结果分析	53
3.4 本章小结	54
4 资源配置与中国工业部门碳生产率关系研究	56
4.1 资源配置对碳生产率影响的理论模型	56
4.2 中国工业部门资源配置现状	59
4.3 资源配置与中国工业部门碳生产率关系实证研究	64
4.3.1 中国工业部门碳生产率变化内部机制识别	64
4.3.2 二氧化碳排放空间配置与煤炭资源配置关系 分析	71
4.3.3 中国工业部门煤炭资源配置对碳生产率的影响	75
4.4 本章小结	77
5 规模经济与中国工业部门碳生产率关系研究	79
5.1 规模经济对碳生产率影响的理论分析	79
5.2 中国工业部门规模经济效应测度	82
5.2.1 规模经济效应测度方法比较分析	82
5.2.2 基于柯布-道格拉斯生产函数的规模经济效应 测度	88
5.2.3 基于数据包络分析方法的规模经济效应测度	90
5.3 内部规模效应与碳生产率	93
5.4 外部规模效应与碳生产率	96
5.4.1 中国工业部门的外部规模经济性衡量	96
5.4.2 行业行政垄断对中国工业部门碳生产率的影响	97

5.5 本章小结	99
6 技术进步与中国工业部门碳生产率关系研究	101
6.1 技术进步理论	101
6.1.1 技术进步的内涵	101
6.1.2 技术进步的类型	102
6.1.3 技术进步的源泉	104
6.2 中国工业部门技术进步路径选择	107
6.2.1 中国工业部门技术进步存在性的总体判断	108
6.2.2 中国工业部门技术进步路径选择的实证分析	110
6.3 技术进步对碳生产率影响的实证研究	113
6.4 本章小结	116
7 提高我国工业部门碳生产率的相关政策建议	117
7.1 优化能源消费结构	117
7.2 优化部门产权结构	121
7.3 加大技术引进力度	122
7.4 提高装备制造水平	123
7.5 其他相关政策建议	124
8 结语及展望	126
8.1 结语	126
8.2 有待进一步探讨的问题	127
参考文献	128
附录	141

1 绪 论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

全球气候变化是当前国际经济、政治、外交、法律和环境等领域的热点和焦点问题之一。从哥本哈根到坎昆再到德班，显而易见，应对气候变化在全球事务中已处于比较靠前的位置。全球气候变化的主要驱动因素之一是温室气体的排放，温室气体排放所导致的全球气候变暖使得极端气候的频率和强度显著加强，如海平面上升、陆地面积减少、农业减产、疾病流行等，已经威胁到人类的经济活动和生活。这些影响具有全球性和长期性特征，并且与经济发展、能源利用之间存在着非常密切的关系，所以温室气体排放问题不单纯是一般的科学问题和环境问题，而是国际性的经济问题、能源问题、政治问题和历史问题。

2005年2月《京都议定书》正式生效，这对于全球应对气候变化问题来说，是具有标志性意义的重大事件。随着《京都议定书》的实施以及气候变化问题谈判进程的加快，发展中国家面临的减限排的潜在压力与日俱增。虽然中国刚刚进入工业化的中期，应对气候变化的能力还相对薄弱，但作为一个负责任的大国，中国政府已经将积极应对气候变化作为经济社会发展的重大战略，作为加快转变经济发展方式、调整经济结构和推进新的产业革命的重大机遇^①。本书的研究正是在

^① 国务院《“十二五”控制温室气体排放工作方案》，2011年12月1日。

《中国国民经济和社会发展“十二五”规划纲要》提出“积极应对全球气候变化,把大幅降低能源消耗强度和二氧化碳排放强度作为约束性指标,有效控制温室气体排放”的背景下产生的^①。

对于中国而言,提高碳生产率是坚持在可持续发展框架下应对全球气候变化的关键。自亚当·斯密的著作《国民财富的性质与原因的研究》诞生以来,经济学就有两个基本假设:一是资源的稀缺性;二是有效配置稀缺资源。在全球气候变化的大背景下,人类面临的稀缺资源已经发生了重大的变化,“二氧化碳排放空间”已经成为比资本、劳动更为稀缺的资源,主要矛盾已由不断提高劳动生产率变为需要大幅提高碳生产率。2011年2月14日,日本公布的经济数据表明,中国正式超过日本成为全球第二大经济体,与此同时,中国也成为二氧化碳排放量最多的发展中国家。根据荷兰环境评估署(Netherlands Environmental Assessment Agency, MNP)报告的评估结果,中国二氧化碳排放量占全球总量的24%,美国占21%,欧盟十五国占12%,印度占8%,俄罗斯占6%^②。虽然在《京都议定书》框架下中国不必承担强制性减排责任,但作为一个二氧化碳排放大国,中国必然要面临温室气体排放控制这个压力。中国政府于2009年12月18日在丹麦哥本哈根气候变化会议领导人会议上提出了到2020年单位GDP(即国内生产总值)二氧化碳排放量比2005年下降40%~45%的目标,并将该目标作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划。这个目标的实现有赖于两个方面的努力:一是经济的增长,二是二氧化碳排放量的减少。

中国是煤炭资源生产和消费大国,煤的生产和消费长期以来徘徊在能源结构的70%左右,并且随着中国经济的增长、工业化和城镇化进程的快速推进,在今后一段很长的时间内,这种局面不会发生根本性改变,尤其是世界油气价格波动的冲击可能进一步推升

① 《中国国民经济和社会发展“十二五”规划纲要》。

② MNP. China now no. 1 in CO₂ emissions; USA in second position, [http://www.mnp.nl/en/dossiers/Climate-echange/moreinfo/Chinanowno1inCO₂emissionsUSAinsecondposition.html](http://www.mnp.nl/en/dossiers/Climate-echange/moreinfo/Chinanowno1inCO2emissionsUSAinsecondposition.html).

我国煤炭的需求。因此,要想实现单位 GDP 二氧化碳排放强度的下降目标,关键是保持经济的增长。在保持经济增长的前提下,将二氧化碳排放量控制在容许的范围内,实现相对意义的减排,是中国作为发展中国家应对全球气候变化的根本途径和现实选择。

控制二氧化碳排放量和促进经济增长是当今发展低碳经济的两大目标,缺一不可。而能将低碳经济的两大目标——控制二氧化碳排放(低碳)、促进经济增长(经济)融为一体的则是碳排放领域中的效率概念,即碳生产率^[1]。狭义的碳生产率是指单位二氧化碳排放量的 GDP 产出水平,反映了单位二氧化碳排放所产生的经济效益^[2]。在低碳经济的背景下,“碳排放空间”同劳动力和资本投入要素一样,也作为一种投入要素对经济增长产生影响,因而当前绿色革命的低碳经济模式下的碳生产率与工业革命中的核心指标劳动生产率相互对应,是反映经济增长质量的重要指标之一。所以,提高碳生产率,是我国在当前低碳经济背景下的必然选择,同时碳生产率的提高对于中国实现可持续发展的经济增长模式也具有举足轻重的作用。

由于现有能源的主体是化石能源(即碳基能源,包括煤炭、石油和天然气),大量消费必然造成二氧化碳排放量的快速增加。而工业部门又是一个能源密集型部门,其能源消费约占全球能源利用的 40%^[3]。中国正处于工业化的中期,工业的“重化”趋势明显,高耗能和高排放的重化工业仍在经济发展中发挥着不可替代的作用。统计数据显示,中国工业部门的终端能源消费占全国终端能源消费的比例长期维持在 70%以上^①,因而中国工业部门是二氧化碳排放的主体,其碳生产率如果提高,将会从很大程度上降低中国整体经济的单位 GDP 二氧化碳排放强度。所以,中国工业部门碳生产率的提高是中国实现相对意义减排的重点和应有之义,如何提高中国工业部门碳生产率水平,成为目前急需探讨的重要课题。

① 结果根据《中国能源统计年鉴》数据整理计算而得。

1.1.2 研究意义

本研究是基于问题导向的实证研究。以如何提高中国工业部门碳生产率这一现实问题为出发点,在经济增长理论的基础上,运用数据包络分析方法(Data Envelopment Analysis, DEA)和方向性距离函数(Directional Distance Function, DDF)构建出全要素生产率框架下的碳生产率评价模型,利用面板数据对中国工业部门整体及各两位数行业的碳生产率进行了测算,并对其收敛性进行了实证检验;以生产率增长因素分解现有理论为基础,运用各种计量模型对中国工业部门碳生产率变化的原因进行解释,以寻求碳生产率背后诸多影响因素的影响机理和路径,以期为中国二氧化碳减排实践提供一定的科学依据和理论支持。

在理论上,经济增长的源泉一是要素投入数量的增加,二是要素生产率的提高。以往对要素生产率的研究主要侧重于对劳动生产率的考量,随着20世纪70年代西方能源危机的爆发,学者们开始关注能源效率问题。近年来,全球气候变化问题成为世界各国关注的热点和焦点,温室气体排放空间成为更加稀缺的要素,学者们对碳生产率问题的研究初见端倪。如麦肯锡全球研究所(MGI)在2007年发布了《碳生产率挑战:遏制全球变化、保持经济增长》的研究报告,其中一个重要结论就是认为可以将碳生产率与劳动生产率、资本生产率同等看待,并提出了10倍计划,即在未来近50年的时间里,为实现全球气温的增幅不高出2℃的目标,世界碳生产率必须提高10倍^[1]。目前,学界的研究均以Kaya和Yokobori(1993)提出的碳生产率概念(即GDP与二氧化碳排放量的比值)作为衡量标准,理论上一直缺乏较为完善的理论方法和指标体系。因此,本书研究的理论意义在于:一是采用全要素生产率理论分析的框架,将传统的经济增长模型的投入端结构进行扩展,即由K-L结构(即投入端只包括劳动和资本要素的投入)扩展为K-L-C(即投入端包括劳动、资本和二氧化碳排放空间要素的投入)结构,并借助基于方向性距离函数的数据包络分析方法,测算中国工业部门的碳生产率,以期更加真实地反映中国工业部门的碳生产率变化情

况；二是在全要素生产率分析框架下，从资源配置、规模经济和技术进步等方面研究中国工业部门碳生产率变化背后的影响机理和影响机制，使得本书的碳生产率研究具有很好的理论传承性。

此外，本研究对当前温室气体减排实践具有一定的参考价值和指导意义。中国作为发展中国家，在国际温室气体减排体系中负有“共同但有差别”的责任，实现相对意义的减排是这种“差别”责任的具体体现。碳生产率，正是这种相对意义减排绩效的一个很好的衡量标准。中国工业部门的产值最大，能耗最高，因此研究其碳生产率的变动趋势、影响因素及作用机理，无疑对提高中国经济社会整体碳生产率，建设“资源节约型、环境友好型”社会具有重要的实践指导意义。

1.2 研究思路、技术路线及研究方法

1.2.1 研究思路及技术路线

研究思路是：首先对生产率相关研究的发展及研究成果进行回顾与评述，并以此为基础，在全要素生产率的分析框架下，借助基于方向性距离函数的数据包络分析方法，测算中国工业部门的碳生产率，为后续研究提供更加坚实的数据支持；其次，以经济增长因素分解理论为基础，分别建立资源配置、规模经济、技术进步与碳生产率关系的理论模型，以理论模型为指导，选择合适的变量及计量方法，利用中国工业部门各两位数行业的面板数据对中国工业部门碳生产率变化的内外部影响机理和机制进行系统分析；最后根据研究结论提出提高中国工业部门碳生产率的相应政策建议（见图1-1）。

1.2.2 研究方法

科学方法的采用有利于得出客观正确的结论。本研究主要采用理论和实证分析相结合、定性分析与定量分析相结合、归纳与演绎相结合的研究方法。具体来讲，包括如下几个方面：

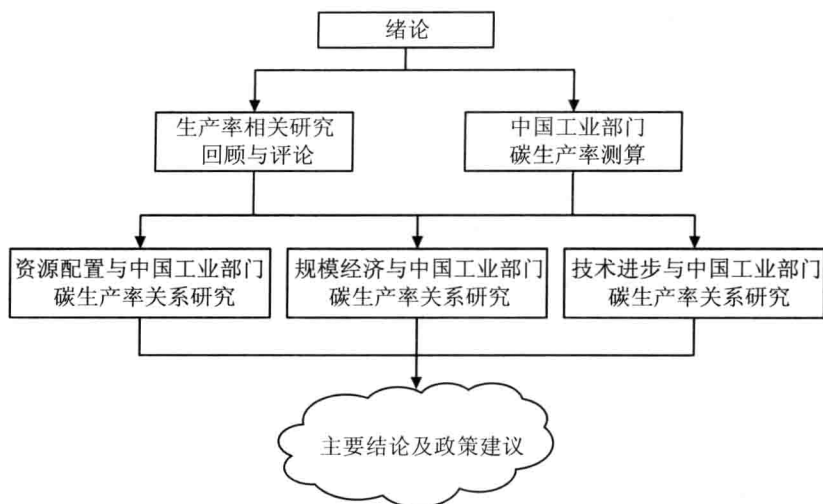


图 1.1 研究技术路线图

(1) 理论方面

一是归纳现有生产率相关研究的成果，以经济增长理论为基础，在全要素生产率的分析框架下，提出将投入端由 K-L 扩展为 K-L-C 的碳生产率的测度能更加真实地反映碳生产率的变化情况；二是以现有生产率增长影响因素分解理论为基础，着力建立适合中国工业部门碳生产率分析的理论模型，具体来讲就是：主要以丹尼森生产率增长因素分解理论为基础，从资源配置、规模经济、技术进步三个方面，分别建立了一系列计量经济模型，以考察中国工业部门碳生产率变化的影响机制。

(2) 数据方面

由于中国工业部门时间序列数据跨度较短，数据主要采用面板数据 (Panel Data)。面板数据除了可以解决样本容量不足的问题外，面板数据模型还可以控制不可观测经济变量所引致的普通最小二乘估计方法 (OLS) 的偏差，使得模型设定更合理、模型参数的样本估计量更准确；由于其含有横截面、时间和指标三维信息，可以构造和检验更为复杂的行为方程^[4]。因而采用面板数据模型可以更有效地描述中国工业部门碳生产率的变化特征。

(3) 实证研究方法方面

主要使用非参数的前沿面分析方法和经济计量学方法。在碳生产率的测度过程中,将方向性距离函数与非参数的前沿面分析方法(数据包络分析方法)结合,可以使测算结果更能突出碳生产率的特征;在使用经济计量学方法的分析过程中,充分考虑数据形式、模型特征及变量的内生性、随机误差项与解释变量相关等问题的基础上,选择合适且具有前沿性的计量经济方法,尽可能提高估计的可靠性,这些方法具体包括:面板单位根检验(Unit Root Test)、差分广义矩估计(Difference-GMM)、系统广义矩估计(System-GMM)、广义最小二乘估计(GLS)等。

1.3 研究内容及创新点

1.3.1 研究内容

在全要素生产率的研究框架下,测算了中国工业部门的碳生产率,并对其变化趋势、形成机理进行了系统研究。从本研究的研究思路和技术路线出发,研究内容具体安排如下:

第1章是绪论,主要介绍研究背景、意义,研究思路、技术路线及研究方法,研究内容及主要创新点。

第2章是对生产率相关研究的回顾。主要从不同经济发展阶段稀缺性对象会不断改变的角度出发,对劳动生产率、全要素生产率、资源生产率和碳生产率的相关研究进行了系统的回顾和评述。本章为后续研究提供了坚实的理论基础。

第3章是中国工业部门碳生产率的测算及收敛性分析。在全要素生产率的研究框架下,利用历史数据,对中国工业部门的碳生产率进行测算,并对其收敛性进行检验。为后续实证研究提供数据支持的同时,引出了中国工业部门碳生产率变化过程中存在的问题。

第4章是资源配置与中国工业部门碳生产率关系研究。本章将碳生产率纳入经济增长的分析框架,推导出资源配置对碳生产率影响的理论模型。在此基础上,利用面板数据模型对劳动力、资本和

二氧化碳排放空间等要素的配置与碳生产率之间的关系进行了实证研究，以此来考察资源配置对碳生产率的影响。

第5章是规模经济与中国工业部门碳生产率关系研究。本章对中国工业部门的规模经济效应进行了测度，得出了中国工业部门整体存在规模不经济性的结论。进而从内部规模经济和外部规模经济两个方面出发，利用面板数据模型，对规模经济与碳生产率之间的关系进行了实证研究，深层次挖掘了规模经济对碳生产率的影响机理。

第6章是技术进步与中国工业部门碳生产率关系研究。本章首先对技术进步的内涵、技术进步的分类及技术进步的源泉等内容进行了梳理，然后运用计量分析方法分析了中国工业部门技术进步的特点。在此基础上构建了中国工业部门技术进步与碳生产率研究的计量模型，并利用面板数据进行了实证研究，以此来分析技术进步对碳生产率的影响。

第7章是提高中国工业部门碳生产率的相应政策建议。本章在上述第3章到第6章研究结论的基础上，结合中国工业部门的特点，提出了一系列具有针对性的政策建议，对我国提高碳生产率具有一定的实践参考价值。

第8章是本书的结语及展望。

1.3.2 主要创新点

与以往的研究相比，本书主要在以下方面做了一些具有创新性的探索研究：

(1) 新颖的研究视角。以往关于碳生产率的研究，主要集中于碳生产率与碳排放总量关系的定量研究以及在不同情景下碳生产率的增长速度的研究。本书从一个新的视角出发，将碳生产率看做要素生产率的一种（即将二氧化碳排放空间作为一种投入要素），以生产率增长因素分解理论为基础，对中国工业部门碳生产率进行了较系统的分析。

(2) 全要素生产率框架下，碳生产率的测度。在全要素生产率的分析框架下，将传统全要素生产率的投入端由 K-L 结构，拓展为 K-L-C 结构，对中国工业部门碳生产率进行了测度，与传统的单