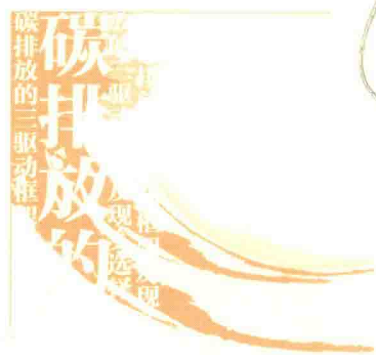


“十三五”国家重点出版物出版规划项目

★ 转型时代的中国财经战略论丛 ▲

碳排放的三驱动框架及现实选择

张明志 著



中国财经出版传媒集团

经济科学出版社
Economic Science Press

X51

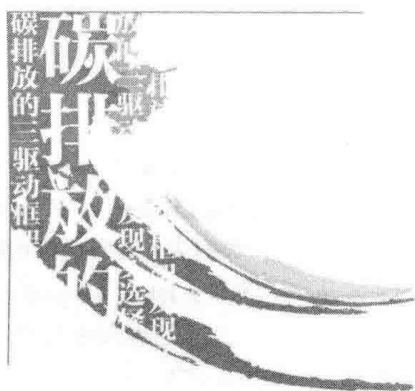
7

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

★ 转型时代的中国财经战略论丛 ▲

碳排放的三驱动框架及现实选择

张明志 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

碳排放的三驱动框架及现实选择/张明志著. —北京:
经济科学出版社, 2019. 6

(转型时代的中国财经战略论丛)

ISBN 978 - 7 - 5218 - 0536 - 9

I. ①碳… II. ①张… III. ①二氧化碳 - 排污交易 -
研究 - 中国 IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 088088 号

责任编辑: 于海汛 陈 晨

责任校对: 王苗苗

责任印制: 李 鹏

碳排放的三驱动框架及现实选择

张明志 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: 010 - 88191217 发行部电话: 010 - 88191522

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

电子邮件: [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://jjkxchs. tmall. com](http://jjkxchs.tmall.com)

北京季蜂印刷有限公司印装

710 × 1000 16 开 10 印张 160000 字

2019 年 6 月第 1 版 2019 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5218 - 0536 - 9 定价: 36.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010 - 88191510)

(版权所有 侵权必究 打击盗版 举报热线: 010 - 88191661)

QQ: 2242791300 营销中心电话: 010 - 88191537

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

序

转型时代的中国财经战略论丛

一直以来，人类对工业革命是“既爱又恨”：爱它，是因为工业革命带来的工业化将人类带入了真正意义上的现代社会，人类财富和人口数量在工业化的推动下急剧增长，人类享受了工业革命带来的极其丰裕的物质生活；恨它，是因为工业革命带来了一系列负面效应，环境污染、气候变化、物种消亡让地球家园“伤痕累累”，物欲横流、贫富分化、丛林法则使人类的人性退化。在工业革命带来的负面效应中，碳排放效应最为引人关注。这是因为碳排放及其引起的温室效应直接关系到人类的生死存亡。如果不及时遏制碳排放引起全球气候变暖趋势，人类的未来生存之路只能是“流浪远方”。然而，人类之所以能够生生不息，就是因为他们知道如何趋利避害和及时纠错，知道如何用好工业革命这柄“双刃剑”。第一次工业革命和第二次工业革命，主导国家走的是“先污染后治理”的路子，遗祸仍在；第三次工业革命，主导国家走的是“边污染边治理”的路子，效果不佳；第四次工业革命，主导国家开始探索“不污染仍治理”的路子，前景可期。新工业革命及其倡导的绿色发展模式给人类带来了希望。

中国错失了前两次工业革命的契机，未能凭借主导工业革命而成为现代意义上的经济强国，留下了“李约瑟遗憾”。然而，中国赶上了第三次工业革命的末班车，并有望成为第四次工业革命的主导者。中国的经济发展方式和在新工业革命中的导向作用将对人类进步产生方向性影响。全人类都应该感到庆幸的是，中国经济经过长达40年的快速增长后进入了“新常态”，中国人正在主动变革经济增长方式。党的十九大报告明确提出，“中国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段，正处在转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻关期，必须坚持质

量第一、效益优先，以供给侧结构性改革为主线，推动经济发展质量变革、效率变革、动力变革，提高全要素生产率，着力加快建设实体经济、科技创新、现代金融、人力资源协同发展的产业体系。中国人正用自己的智慧给全人类做出经济发展和产业转型方面的榜样和表率。

新工业革命时期，绿色发展成为人类自我救赎的唯一路径，也是中国经济实现高质量发展的题中之义。降低能源消耗、减少碳排放、控制温室效应，是人类的共同责任，也是中国作为负责任大国公开做出的庄严承诺。中国是发展中大国，正处于加快推进新型工业化进程中，制造业是立国之本、兴国之器、强国之基，是实体经济的主体、国民经济的基础、服务经济的支撑，是构建现代产业体系的重要基础。制造业是中国经济的命脉，也是能源消耗和污染排放的大户，占国民生产总值（GDP）比重28%的制造业占了中国碳排放总量的70%。因此，控制碳排放，制造业是重点，需要加快推进制造业转型升级和高质量发展。

20世纪70年代以来，学术界开始关注碳排放及其驱动因素，逐渐形成了以经济增长、技术进步和人口变动为主要驱动力的研究思路。围绕碳排放的理论研究，主要是将碳排放纳入经济增长理论分析框架，寻求新的经济均衡，进而对碳排放的变动规律提出理论层面的推论与假设。围绕碳排放的经验研究，主要是基于Kaya恒等式和IPAT模型等检验经济增长与碳排放的关系，探究碳排放效应及其影响因素。无论是经验研究，还是理论研究，对经济增长和技术进步的碳排放效应研究较为充分，而对产业结构变动的碳排放效应研究相对不足。张明志博士的新著《碳排放的三驱动框架及现实选择》就是要结合中国转型经济的结构特征，在碳排放驱动因素中加入产业结构变动因素，拓展碳排放分析框架。这一大胆创新和尝试是值得肯定和嘉许的。

总体来看，张明志博士的专著具有以下几个方面的特色和创新：

一是通过构建碳排放三驱动内生增长模型，分析了经济增长、产业结构变动和技术进步的碳排放效应，预测了我国的碳排放双约束目标实现情况。专著从理论层面分析了经济增长、产业结构变动的碳排放效应，在阿西莫格鲁等（Acemoglu et al., 2009）基于环境约束的内生增长模型的基础上，进一步加入产业结构变动，丰富模型分析维度。在保留清洁部门、污染部门两部门生产的基础上，引入部门发展水平比重，增强清洁、污染部门比例发展的碳排放效应的理论内涵。从实证层面分析

了经济增长、产业结构变动、技术进步三驱动的效应，内生互动效应。以三驱动内生增长模型为基础，采用情景分析方法预测了我国 2025 年和 2030 年两个关键时间节点碳排放双约束目标的实现情况。

二是以“发展水平”和“发展结构”两大维度为划分依据，引入贸易开放程度，采用门限回归理论方法，化解碳排放 EKC “异质性难题”，重新检验经济增长的碳排放效应。通过“发展水平”和“发展结构”两个维度分析“异质性难题”的主要因素，提出区分与不加区分两种情况下的结论偏差理论假设。通过门限分组及固定效应分析等主要计量方法，将样本国家进行最大程度的“异质性”弱化，并得到“异质性难题”化解后的主要结论。通过得到的主要结论，对发达国家与发展中国家，工业化国家与非工业化国家的碳减排工作进行“对症下药”，使经济增长的碳排放效应达到最优。

三是运用改进的失衡度法分析产业结构变动的碳排放效应，提出实现结构优化、资源优化配置、低碳发展三者共赢发展导向的减排路径和政策建议。专著以中国制造业为例，对产业结构失衡水平进行评价，得到中国制造业低碳化导向的产业结构变动情况，并对行业间分配情况进行测算。改进的失衡度法是在既有的劳动、资本两种要素的基础上加入了技术要素，使得产业结构的合理性评价更加科学。产业结构的合理性与制造业低碳化发展之间的关联分析也表明，低碳化与合理化发展是可以共存的。

张明志博士的专著是在其博士论文《经济增长与产业结构变动的碳排放效应研究》的基础上修改而成的。作为他的博士论文指导老师，我对他读博期间的成长过程和博士论文研究过程记忆深刻，很多事情仍历历在目。在他读博期间，我对他的要求近乎严苛；在他博士毕业后，我们由师生关系演变成了好友关系。对于任何一名攻读博士学位的学者而言，读博的过程都是一次“炼狱”的过程、一次脱胎换骨的过程、一次浴火重生的过程，张明志博士也不例外。从入校到离校，四年中他付出了多于常人的努力，克服了难以想象的艰辛，也收获了令人骄傲的成绩。正是由于研究工作十分扎实，他的博士论文获得匿名评阅人和答辩委员会的高度评价。我相信，经过两年的反复修改，脱胎于博士论文的专著也定是学术上品。看到自己的学生能够青出于蓝而胜于蓝，心中甚是欣慰，喜悦之情难以言表。

学术之路，艰辛劳累但多姿多彩。专著出版，既是对前几年科研工作的简要小结，也是未来科研的新起点。希望张明志博士在后续研究中能将制造业转型升级与碳排放效应更好地结合起来，积极探索新工业革命背景下中国制造业绿色化发展的路径，为推动中国制造业高质量发展献计献策。

是为序，也为祝贺。



2019年3月于泉城济南

前 言

转型时代的中国财经战略论丛

长期以来，作为非常重要的一种环境污染物，碳排放受到人类广泛关注。这主要缘于碳排放不仅能够带来全球气候变化，同时也能引发诸多自然灾害的连锁反应。碳减排工作对于维护人类根本利益、保证长远发展具有十分重要的意义。经济总体的碳减排工作的顺利进行需要依赖经济各行业的整体配合、合理分配。本书紧紧围绕碳减排这一核心议题，在已有研究较为成熟的经济增长、技术进步的两驱动碳排放效应分析框架下，进一步加入产业结构变动，形成碳排放效应分析的三驱动框架。这不仅充实了碳排放的理论研究，而且为碳排放效应的准确分解、碳减排目标的合理分配提供了更加完善、系统的理论支持。在三驱动框架的理论分析基础上，本书就碳排放测算、经济增长的碳排放效应、产业结构变动的碳排放效应、我国碳排放预测及减排目标的实现、经济增长与产业结构变动视角下的碳减排路径及产业选择进行了系统、翔实的分析阐述，使本书达到理论与现实相结合、实证与应用相统一。

总体来讲，本书具体解决五个问题，主要内容分别如下：

第一，碳排放三驱动框架的构建。通过改进阿西莫格鲁等（Acemoglu et al.，2009）的环境约束的内生增长模型，构建了包含经济增长、产业结构变动、技术进步的内生增长模型。保留了原有的清洁品投入和污染品投入的两部门划分，将碳排放引入模型中。通过企业的最优行为决策分析发现，产业结构变动效应成为资源在企业间流动的重要驱动力。通过设定技术内生的路径，将原有的碳排放公式中的技术进步效应进行更新，从整体上分解为经济增长、产业结构变动和技术进步三大效应。

第二，碳排放测算与分析。采用联合国政府间气候变化专门委员会

(IPCC) 的参考方法, 本书从生产者和消费者两个角度对中国工业的碳排放进行整体和细分行业测算。生产者角度测算时间段为 1991~2013 年, 消费者角度测算时间段为 1995~2010 年的 6 个年份。通过测算分析发现, 制造业生产者角度碳排放长期占据工业总体碳排放 80% 以上, 一度超过 90%。黑色金属冶炼及压延加工业、非金属矿物制品业、化学原料及化学制品业排放最多。在消费者角度的碳排放测算方面, 发现制造业细分行业一半以上属于净出口隐含碳行业。制造业隐含碳排放绩效出现全面持续上升局面, 进出口隐含碳排放密集度呈现两极分化趋势。为推动净出口隐含碳绩效提高, 应适度鼓励发展化学纤维制造业, 服装及其他纤维制品业, 皮革、毛皮、羽绒及其制品业。

第三, 经济增长的碳排放效应。通过认识和利用碳排放规律, 可以明显提高碳减排的投入产出, 起到“四两拨千斤”的作用。通过划分“发展水平”和“发展结构”两个维度, 引入贸易开放因素, 利用门限回归方法, 对 82 个有效样本国家进行碳排放 EKC 的再检验, 化解原有碳排放 EKC 检验中的“异质性难题”, 为不同发展层次国家的碳减排提供了更具针对性的政策建议。在碳排放 EKC 再检验的同时, 进一步验证了“污染天堂假说”的存在, 提出了碳排放核算新体系的实现路径。另外, 在行业内部检验碳排放 EKC 的存在性。通过采用方程检测、模型检验, 发现制造业内部 EKC 并不存在。

第四, 产业结构变动的碳排放效应。通过利用改进的失衡度法, 衡量了我国制造业的产业结构合理化。借助产业失衡测算结果, 提出产业过度发展优于不足发展的研究假说。借用 Kaya 恒等式的分析框架, 利用固定效应模型, 证明了研究假说。在制造业低碳化产业结构调整方面, 应该重点扶持发展单纯劳动型产业, 尤其以木材加工及竹、藤、棕、草制品业和家具制造业为重。另外, 通过灰色关联分析方法, 从产业产值比重的角度分析了产业结构变动与碳排放之间的关系。研究发现, 印刷业、记录媒介的复制, 家具制造业, 黑色金属冶炼及压延加工业, 橡胶和塑料制品业与碳排放关联性最强。

第五, 中国碳排放预测及减排目标实现。在三驱动模型的基础上, 构建三驱动模型下的碳排放三大效应检验方程。进一步通过协整检验发现经济增长的碳排放效应具备长期稳定性和预测性。通过考虑进“新常态”经济发展速度和“单独二胎”全面放开等最新政策环境因

素，设定了三种不同情景下的经济增速，并预测了我国 2030 年碳排放的变动情况。预测发现，我国碳排放峰值目标的实现在缺乏碳管制配合的条件下存在一定的难度；碳强度的约束目标则在三种情景下均可实现。碳排放目标约束的实现压力要大于碳强度。在碳排放权交易体系日益成熟、碳排放管制政策体系更趋完善的背景下，碳排放峰值的目标实现将更趋乐观。

就在不久前，2018 年诺贝尔经济学奖揭晓，耶鲁大学威廉·诺德豪斯教授与保罗·罗默教授荣膺这一殊荣。诺德豪斯教授长期致力于气候变化与经济增长之间的关联性研究，荣誉的取得也证实了碳排放与经济增长之间关联性研究的重要性与价值性。希望通过本书的研究，可以将全球气候变化这一问题的解决进一步通过三驱动框架纳入经济学分析系统，为决策者提供一定参考，为生产者带来一点启示，为消费者带来一些警示。另外，需要说明的是，本书的主要内容来自笔者的博士论文。特别感谢笔者恩师余东华教授的关怀、帮助、指导。因笔者水平能力有限，书中难免会有遗漏、错误、不足，恳请读者朋友指正，笔者将进一步修订。

目 录

转型时代的中国财经战略论丛

第1章 碳减排的时代要求	1
1.1 国际背景	1
1.2 研究进展	4
1.3 研究方法	11
第2章 碳排放效应的三驱动理论分析框架	13
2.1 引言	13
2.2 碳排放引起的“适宜环境”的消费跨期选择	15
2.3 三驱动内生增长模型	18
2.4 最优碳管制政策	24
2.5 小结	25
第3章 碳排放测算与分析	27
3.1 引言	27
3.2 测算视角	28
3.3 参考方法	29
3.4 我国工业整体与细分行业碳排放测算与分析	31
3.5 隐含碳测算与分析	35
3.6 小结	48
第4章 经济增长的碳排放效应	52
4.1 引言	52

4.2	碳排放 EKC 检验——国别层面	54
4.3	碳排放 EKC 检验——行业层面	84
4.4	小结	87
第 5 章	产业结构变动的碳排放效应	90
5.1	引言	90
5.2	产业结构变动衡量、数据来源与处理	91
5.3	制造业产业结构合理化变动情况	96
5.4	制造业产业结构失衡度与碳排放的关系	98
5.5	产业结构变动与碳排放的灰色关联分析	105
5.6	小结	111
第 6 章	中国碳排放预测及减排目标实现	113
6.1	引言	113
6.2	数据与模型构建	114
6.3	实证结果	118
6.4	小结	128
第 7 章	经济增长与产业结构变动视角下的碳减排路径与产业选择	130
7.1	新时期碳减排内涵	131
7.2	碳减排路径	132
7.3	低碳导向的产业选择	134
7.4	环境规制失灵及其纠正	136
7.5	小结	137
参考文献	138

第1章 碳减排的时代要求

1.1 国际背景

近百年来，全球气候变暖问题日益成为全世界关注的焦点。已有资料表明：1906~2005年，全球平均地表温度上升了 0.74°C 。温度上升不仅令一些诸如水涝、干旱、飓风、酷热等极端天气时有发生，更会引起海平面的上升，造成一些居民居无定所。据IPCC的报告^①，按照目前的全球变暖趋势，到2100年，全球海平面上升将超过一米，这一水平足以令亚洲超过一亿人口被迫离开家园。所以，控制温室气体排放，关乎人类的生存，势在必行。根据《京都议定书》，温室气体包含二氧化碳（ CO_2 ）、甲烷（ CH_4 ）、氧化亚氮（ N_2O ）、氢氟碳化合物（ HFC_s ）、全氟碳化合物（ PFC_s ）、六氟化硫（ SF_6 ），共6种。其中，二氧化碳排放的温室气体效应最大，所以温室气体排放也一般用碳排放来代替^②。

控制碳排放应该建立在对碳排放主要驱动力的全面正确认识上。自20世纪70年代以来，围绕碳排放驱动力的研究日益增多，主要形成了以经济增长、技术进步为主要驱动力的研究思路。而在经济增长的视角

① 联合国政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel of Climate Change, IPCC）始建于1988年，旨在提供有关气候变化的科学技术和社会经济认知状况、气候变化原因、潜在影响和应对策略的综合评估。自1988年成立以来，IPCC已编写了五套多卷评估报告。IPCC和美国前副总统阿尔·戈尔荣获了2007年诺贝尔和平奖，以表彰他们在气候变化方面所做的工作。IPCC官方网站为 <http://www.ipcc.ch/>。

② 本书的碳排放研究中仅对二氧化碳进行考察，不涉及其他温室气体。在本书中，碳排放与二氧化碳排放等价。

下，碳排放环境库兹涅茨曲线（Environmental Kuznets Curve, EKC）的研究更是达到了十分广泛的程度。比如碳排放 EKC 的研究结论是，经济增长与碳排放之间很可能存在一种倒 U 形关系的曲线。在经济增长过程中，环境质量存在一种自我恢复机制。该结论对于碳减排工作而言是十分有利的，即，碳管制对于长期的可持续发展而言不是必要的（不包括碳减排的阶段性目标）。另外一种必要驱动力是技术进步。技术进步对碳排放的驱动方向较为一致，即显著减少了碳排放。这些认识的进一步准确化都对碳排放的良好控制起到了非常重要的指导作用。

经过改革开放以来的快速发展，中国制造业产值占世界制造业产值的比重达到 19.8%，超过美国成为世界头号制造业大国。然而，我国仍非制造业强国，制造业高投入、低产出和高污染、低附加值的矛盾十分突出，产能过剩现象十分严重。我国制造业之所以能够迅速崛起，一个重要原因就是依赖比其他国家更低的工人工资、更廉价的土地等自然资源以及更高的环境污染容忍度形成的综合比较成本优势。然而，进入 21 世纪以来，中国制造业发展环境发生了深刻变化，面临着双重约束：一是要素价格上涨势头较快，制造业成本上升的压力越来越大。随着人口红利的逐渐消失、世界原材料价格的持续上涨、土地使用价格的上升，以及人民币汇率持续攀升，中国制造业要素成本上升的速度越来越快，“中国制造”的低成本优势逐步丧失。二是低碳经济条件下的环境规制趋紧，制造业节能降耗减排的压力越来越大。一方面，由于低碳经济在全球的兴起，世界各国环境保护力度加大，绿色制造、绿色贸易和碳关税逐渐兴起，使得中国制造业面临的节能减排压力增大；另一方面，多年粗放式发展所带来的高污染使得中国生态环境变得空前脆弱，生态系统濒临崩溃，这也将倒逼中国制造业增加节能减排的投入。同时，全球金融危机使得欧美国家从虚拟经济的美梦中觉醒，开始回归实体经济，实施制造业“再工业化”战略；新一轮工业革命已经初露端倪，新技术革命方兴未艾，大数据应用、三维（3D）打印、智能制造等先进制造技术和制造方式层出不穷。显然，低碳经济与经济增长、产业结构变动、技术进步的关系处理对于新时期的我国经济发展而言显得异常重要。

党的十八大以来，面对国内外形势的风云变幻，国民经济下行压力

逐渐增加，我国经济发展逐步步入新常态。面对保增长的艰巨任务和碳减排的目标约束，制造业转型升级是否成功将决定着这两项任务能否顺利实现。在经济的总体碳排放中，工业的碳排放占到2/3左右。而在工业的碳排放中，制造业碳排放又占到最大比例^①。所以要控制经济的总体碳排放，首先要控制制造业的碳排放水平。我国于2009年以来相继提出一些碳减排承诺性目标，如图1-1所示。这些郑重承诺能否实现也与制造业的碳减排成功与否息息相关。另一方面，制造业是国民经济的基石。碳减排一方面可以起到保护环境的作用，另一方面也可以降低未来制造业的生产成本。随着碳减排兑现期的逐步临近，环境规制程度将持续趋紧，制造业为碳排放所付出的成本将不断提高，这对制造业国际竞争力的提高将构成严峻挑战。所以，高竞争力导向下的碳减排路径便成为一个很有价值的研究问题。实际上，除削减生产这一最直接的碳减排方案外，提高技术水平、优化产业结构、采用新能源等都可以间接降低产业碳排放水平，而且可以促进制造业转型升级。所以，通过研究经济增长、技术进步、产业结构变动与碳排放的关系，可以为我国的碳减排尤其是制造业碳减排目标的实现提供重要支撑。

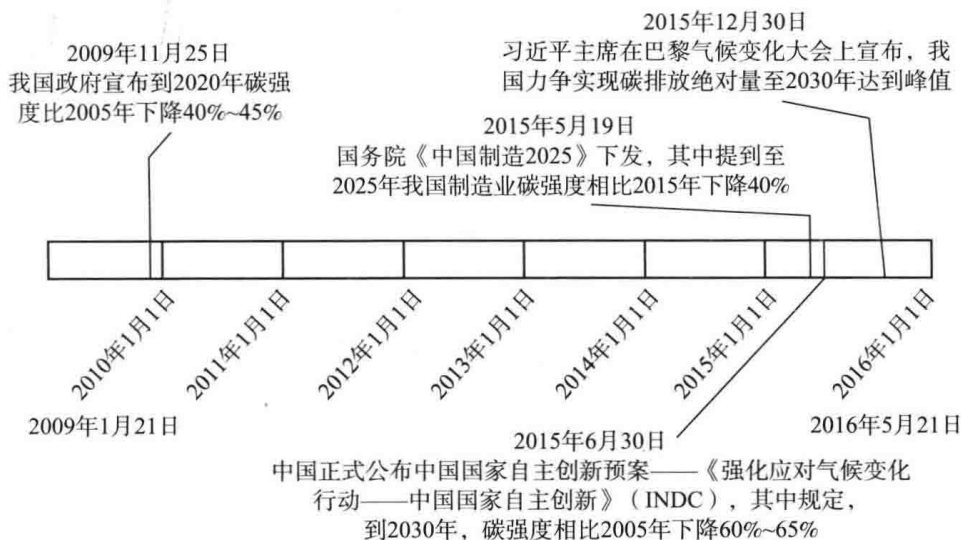


图 1-1 中国政府碳减排目标承诺时间路线

^① 根据涂正革（2012）的研究，制造业的碳排放占到工业总碳排放的2/3以上。

目前的碳减排原则是基于生产国原则的责任分配，即“谁生产、谁负责”。这一原则对我国的碳减排进程形成了严峻挑战。这主要存在两点原因：一是我国仍然属于发展中国家，工业化起步较晚，错过了碳排放约束不强的发展阶段。目前，碳排放的环境规制程度越来越强，惩罚越来越严厉，发达国家的工业化开始较早，并且顺利地完成了工业化发展，因而碳减排的代价很小。发展中国家工业化发展较为滞后，却需承担高强度的减排责任，这并不公平，但却是现状。二是我国目前的产业结构对碳减排目标实现构成严峻挑战。我国工业内部，尤其是制造业内部，劳动力密集型产业仍然占据较大比例，发达国家的跨国企业仍然在中国进行加工贸易，利用中国的廉价劳动力资源赚取了高额收益，然而由此产生的碳排放却要由中国承担。这显失公平，但却也是现状。因此，严峻的现实迫切要求中国的产业发展找到一条符合自身情况的碳减排路径。

4 | 综上所述可以看出，碳减排既是当前国际大背景下顺应时代发展的必然要求，又是我国经济发展过程中必须考虑的一大约束。本书围绕碳排放的三驱动要素展开讨论研究，丰富了我国经济发展与碳排放之间存在的规律内容，阐释了产业结构优化与碳减排的共赢实现路径，深化了技术进步对碳减排的传导机制研究。同时，三驱动的内生互动性，更是能在把握碳排放的各驱动力分效应情况下明晰碳排放的净效应，为政策制定者提供更加丰富的中观机制，进而保证碳减排投入成本更小，产出收益更大。无疑，本书的研究无论从理论层面还是从现实层面，都具有非常重要的研究意义与价值。

1.2 研究进展

碳排放属于环境经济学的重要范畴。埃利希，霍尔德伦（Ehrlich & Holdren, 1971）最先对环境质量的影响因素进行研究，提出了IPAT模型，即环境质量的变动主要受到人口、财富、技术三大因素的影响。而诺德豪斯（Nordhaus, 1974）进一步地将环境质量的研究引申至二氧化碳排放。对于碳排放研究最为集中的时间段为20世纪90年代以来的时间段，本书从经验研究、理论研究及碳排放影响因素三个方面来进行梳理。

1.2.1 经验研究

经验研究即实证研究，是基于经济体中已经出现的大量事实而提出研究对象的一系列假设，并利用已有数据进行检验。碳排放的经验研究主要包括 IPAT 模型系列、Kaya 恒等式、经济发展阶段假说三块研究内容。

IPAT 模型的由来最为悠久。埃利希、霍尔德里奇（1971）首次提出对环境的影响可以分成人口（population）、财富（affluence）、技术（technology）三种，也就是 IPAT 模型，这一模型是线性估计模型。该模型提出后的较长时间并没有延伸到碳排放的影响因素研究上来。直到 20 世纪 90 年代，开始有学者来考虑运用 IMPAT 模型对碳排放影响因素进行研究。迪茨、罗绍（Dietz & Rosa, 1994）先是对 IPAT 模型进行重新思考。后来，迪茨、罗绍（1997）建立了一个 IMPAT 模型的随机版本，将其由线性模型调整为非线性回归模型，即 STIRPAT 模型（Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology）。同时，文章利用 1989 年 111 个国家的数据，实证发现人口对二氧化碳排放的影响因素并不大，而人均国民生产总值与二氧化碳排放之间存在倒“U”形关系，且拐点为 10000 美元左右。该研究是对 IMPAT 模型研究的成功检验与突破性拓展。这表明经济增长对碳排放的影响不可忽视，是一个主要驱动力。瓦格纳等（Waggoner et al., 2002）对 IMPAT 模型进行了解释变量的拆分，将技术进步拆分为能源强度和单位能源碳排放两个变量，从而令 IMPAT 模型变为 IMPACT 模型。至此，IMPAT 已经逐渐延伸出其他两类模型，即 STIRPAT 模型和 IMPACT 模型。而关于这三个研究模型比较，约克等（York et al., 2003）做了比较系统的研究工作。比较工作是从实际分析的效果角度进行的，通过加入环境弹性（Environmental Elasticity, EE）的概念，延展了 STIRPAT 模型的实证分析效用，并通过实证分析印证了这一点。后来，应用研究基本围绕 STIRPAT 模型展开。比如我国的林伯强和蒋竺均（2009），李国志和李宗植（2010），何小钢和张耀辉（2012）都应用 STIRPAT 模型分别对我国的总体经济、省域及工业行业的二氧化碳排放影响因素进行了实证研究。由此，经济增长与技术进步成为 IMPAT 模型系列中最有解释力