



中国二氧化碳排放特征与 减排战略研究： 基于产业结构视角

Emission Characteristics and Abatement Strategy of
China's CO₂: an Industry Structure Perspective

魏 楚◎著



人 民 大 学 出 版 社

中国二氧化碳排放特征与 减排战略研究： 基于产业结构视角

Emission Characteristics and Abatement Strategy of
China's CO₂: an Industry Structure Perspective

魏 楚◎著

责任编辑:宰艳红

封面设计:林芝玉

责任校对:白 玥

图书在版编目(CIP)数据

中国二氧化碳排放特征与减排战略研究:基于产业结构视角/魏楚 著.

—北京:人民出版社,2015.10

ISBN 978-7-01-015143-4

I. ①中… II. ①魏… III. ①二氧化碳-排气-研究-中国 IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 188964 号

中国二氧化碳排放特征与减排战略研究

ZHONGGUO ERYANGHUATAN PAIFANG TEZHENG YU JIANPAI ZHANLÜE YANJIU

——基于产业结构视角

魏 楚 著

人民出版社 出版发行

(100706 北京市东城区隆福寺街 99 号)

北京汇林印务有限公司印刷 新华书店经销

2015 年 10 月第 1 版 2015 年 10 月北京第 1 次印刷

开本:710 毫米×1000 毫米 1/16 印张:22.5

字数:310 千字

ISBN 978-7-01-015143-4 定价:55.00 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

目 录

一 理论与实践篇

第一章 气候变化的影响及我国的应对举措·····	3
第一节 气候变化的影响与温室气体排放状况·····	3
第二节 我国温室气体排放状况与应对举措·····	12
第三节 我国产业结构变化的主要特征·····	24
第四节 本书的研究内容、方法与创新·····	29
第二章 产业结构与气候变化的内在关联·····	33
第一节 产业发展与气候变化的关系研究·····	33
第二节 相关模型及实证研究综述·····	40
第三节 各种方法评述·····	51
第四节 小结·····	54
第三章 国内外应对气候变化的实践启示·····	55
第一节 发达国家的低碳发展路径·····	55
第二节 国内地区的产业发展实践·····	70
第三节 国内外的经验与启示·····	77

二 排放特征篇

第四章 我国省际间产业结构、收入水平与 CO ₂ 排放关系研究	85
第一节 研究综述	87
第二节 分省 CO ₂ 排放量估计	94
第三节 模型、变量与数据	99
第四节 计量结果与模型选择	102
第五节 预测	107
第六节 结论及政策建议	111
第五章 我国生产性部门 CO ₂ 排放的定量评价分析	114
第一节 模型与方法	115
第二节 变量构造与数据	116
第三节 对加总温室气体排放影响因素的分析	121
第四节 对不同产业的进一步考察	126
第五节 结论	133
第六章 我国工业部门 CO ₂ 排放的定量评价分析	141
第一节 变量构造与数据	141
第二节 我国工业部门主要特征	143
第三节 我国工业 CO ₂ 排放分解	148
第四节 结论	153
第七章 工业 CO ₂ 排放及影响因素分析（以浙江省为例）	161
第一节 主要概念、计算方法及数据来源	162
第二节 浙江省工业温室气体排放状况	163
第三节 浙江省工业温室气体排放的因素分解	173

第四节 主要结论及对策建议	176
 三 减排分析篇	
第八章 生产率框架下污染物处置建模文献综述	193
第一节 研究思路与理论发展	194
第二节 模型的求解方法	199
第三节 现有实证研究评述	206
第四节 结论	211
 第九章 基于参数化模型的省际 CO₂ 影子价格研究	218
第一节 影子价格概念与文献回顾	219
第二节 方向性距离函数及影子价格的推导	221
第三节 变量说明与估计结果	224
第四节 问题探讨与研究结论	229
 第十章 CO₂ 减排潜力与减排目标地区分解研究	231
第一节 减排背景与配额分配	231
第二节 模型、方法与数据	234
第三节 实证研究	240
第四节 省际减排公平与减排效率	247
第五节 对减排潜力与减排边际成本的进一步讨论	254
第六节 结论	257
 第十一章 中国城市 CO₂ 边际减排成本研究	260
第一节 城市温室气体排放	260
第二节 前期文献综述	262
第三节 边际减排成本模型	269

第四节	城市层面的投入产出数据	276
第五节	实证结果	282
第六节	城市 CO ₂ 边际减排成本影响因素识别	288
第七节	主要结论与启示	297

四 战略对策篇

第十二章	减缓和控制 CO ₂ 排放的产业结构调整战略	315
第一节	主要研究发现	315
第二节	产业结构调整的基本思路	318
第三节	产业结构调整的战略构想	324
第四节	产业结构调整的重点领域和环节	329
第五节	产业结构调整战略实施的保障措施	334
参考文献		336
后 记		353

一 理论与实践篇

第一章 气候变化的影响及我国的应对举措

气候变化问题是国际社会普遍关心的重大全球性问题，近年来引发了越来越多的关注与探讨。气候变化所指的是在气候系统内，包括温度、降水及气流等方面在一段时间内所发生的持续明显的变化，其时间跨度基本在十年以上。近百年来，尤其是在最近的三十多年间，地球经历了以逐步变暖为基本特征的气候变化。全球变暖虽然是气候变化中温度持续上升现象的表述，其概念范畴要小于气候变化，但就因果关系来看，正是全球气候变暖引发了一系列其他气候变化的现象，而这些气候变化的结果，对绝大多数地区而言均是不利的。

第一节 气候变化的影响与温室气体排放状况

一、气候变化对全球的影响

2007 年，政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）发布的第四次评估报告称，过去的 100 年（1906—2005）间，地表平均温度上升了 0.74°C ，20 世纪可能是过去 1000 年中最暖的 100 年，20 世纪后半叶可能是过去 1300 年中最暖的 50 年（Solomon, 2007）。引起气候变化的原因有自然的因素，也有人为的因素。但根据 IPCC 的研究报告，工业革命以来的人类活动，尤其是发达国家在工业化过程中大量消耗化石能源所排放的温室气体，是造成全球气候变化的最主要原因。

全球变暖现象具有复杂性、长期性和不确定性等特点，具体表现为起因广泛，影响深远，短期内无法避免，无法量化变化规模与程度，为人类减缓气候变化活动带来阻碍。如不采取必要措施，预计到 21 世纪末，地表温度可能升高 1.1°C — 6.4°C ，冰川消融速度加速，海平面上升 0.2—0.6 米，生态系统发生明显变化，岛国和沿海地区将遭受严重的自然灾害，IPCC 的报告进一步以更多、更强的最新证据表明，全球气候系统的变暖已经是不争的事实，其原因很大可能就是工业革命以来的人类活动，是这些活动使得大气中 CO_2 浓度、 CH_4 浓度等明显增加，远远超过工业化以前几千年的浓度水平。

随着国际社会对人为来源温室气体排放量的增长及其对全球变暖贡献的日益关注，在 1990 年发布的 IPCC 第一次评估报告的推动下，1992 年的联合国环境与发展大会上通过了以气候变化和温室气体减排合作为主要内容的《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）。为了明确各国减排义务，1997 年的《联合国气候变化框架公约》第三次缔约方大会通过了以量化减排为核心的《京都议定书》。

以全球气候变暖为主要特征的气候变化已经演变成为一个典型的全球性环境问题，为物理和社会经济层面带来双重效应，对全球自然生态系统、水资源和海岸带及农牧业产生一系列显著影响，并对人类社会的生存和发展带来了严重挑战。根据我国科学家预测，未来我国年平均降水量将呈增加趋势，境内的极端天气与气候事件发生的频率可能性增大，干旱区范围可能扩大，荒漠化程度可能性加重，沿海海平面将继续上升，青藏高原和天山冰川将加速退缩（国家发展和改革委员会，2007）。

首先，气候变化将破坏地球生态系统。温度的持续升高将对自然生态系统产生巨大影响，破坏生态系统的自我稳定状态，使适宜动植物生存的生态环境恶化，造成生物多样性锐减。同时，水资源问题突出，一些由冰川积雪融水补给的河流，受气温上升的影响，河流径流量增大，春季洪峰提前到来。预计未来的二三十年间，喜马拉雅山地区的冰川融化加速，使洪水和泥石流发生的概率增加，对水资源造成严重影响，江河径流量将逐

步减少，为将来的水资源短缺埋下诱因。

其次，气候变化将抬高海平面。气候变暖使得海平面逐步上升。由于海水会吸收气候系统 80% 以上的新增热量，海水水温的增加会导致海水的膨胀。再者，气温升高会加速冰川消融，这两方面的因素为抬高海平面提供了动力。1978 年以来，北极海冰的范围平均每 10 年减少 2.7%，而夏季减少达 7.4% 之多。海平面上升会加剧洪水、海水侵蚀等灾害，危及岛屿城市的基础建设，威胁沿海地区经济发展，甚至会淹没地势较低的沿海城市。受海平面上升影响最大的地区为印度次大陆以及东南亚，其中就包括中国的上海和长三角洲地区。

再次，气候变化会使得极端天气增加。气候变化加剧引发干旱、洪涝等自然灾害发生，增加了极端天气出现的概率。美国学者研究发现，低强度的飓风在过去的三四十年间的发生频率变化并不大，但高强度飓风的发生频率却上升了一倍。仅在 2005 年全球就发生了两次严重的气象灾难，一个是美国的“卡特里娜”飓风，另一个是发生在中国的台风“麦莎”。而非洲大部分地区 and 亚洲大陆地区，将遭受到更多的干旱、洪涝天气。此外，在全球整体变暖的过程中，一些地区还出现了气候异常寒冷的反常天气。

最后，气候变化将对人类生存造成很大的影响。气候异常增加了生产活动中的不稳定性因素，引发投资成本上升等问题；作物播种时间及种植结构的变动，会对农业生产造成减产的影响。到 2050 年，东亚和东南亚地区的农作物增产预计可达 20%，而中亚和南亚将减产 30%。海岸地区成为洪涝灾害、极端天气的高发地区，对人类生活和生存活动带来危险。而在英国，一旦全球平均气温上升 3℃—4℃，每年仅因洪水造成的损失将由 GDP 的 0.1% 增加到 GDP 的 0.2%—0.4%。

二、全球温室气体的构成

气候变暖现象的发生，暂且不论自然因素，人类活动中的化石燃料燃烧是其绝对的诱发因素，而燃料燃烧后排放的能够引起气候变暖的气体统

称为温室气体。19 世纪 20 年代,法国科学家发现了自然界的温室效应,即夜间大气层中有一些气体能够将红外线吸收并反射回地面,减缓夜间地球表面温度的下降速度,温室效应有效地减少了地球的昼夜温差,使得地球更加适宜生命体的生存和发展。但工业革命以来,越来越多化石能源的燃烧,使得大气中温室气体的浓度不断增加,自然的地球温室效应的平衡被打破,全球气候发生过暖化现象。

温室气体有许多种,其中气候变化国际公约中所指的主要是 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、PFC、HFC、 SF_6 六种气体,主要产生于能源活动、工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业及城市废弃物处理五种主要途径。其中,能源活动中的矿物燃料燃烧所排放的 CO_2 和 N_2O ,煤炭开采和采矿后活动的 CH_4 排放,石油和天然气系统的 CH_4 逃逸排放和生物质燃料的 CH_4 排放,以及工业生产过程中的水泥、石灰、钢铁、电石生产过程中的 CO_2 排放,己二酸生产过程中的 N_2O 排放是温室气体排放的最主要来源。从温室气体的角度看, CO_2 浓度的增加主要是由化石能源的使用及土地利用变化所引起的,而 CH_4 和 N_2O 浓度的增加主要是由农业引起的。

表 1-1 显示了 2011 年世界主要地区的温室气体排放比例,可以看出,在世界范围内, CO_2 占据温室气体排放比例的 74%,其次为 CH_4 与 N_2O 气体。就具体的国家地区来看,比较特殊的是日本和巴西。日本的 CO_2 排放占温室气体排放总量的 93%,远高于世界平均水平;而巴西的 CO_2 排放占比相对而言较少,仅占该国温室气体排放的 39%,倒是占比位列第二的 CH_4 比重较其他国家都要高,达到 35%,在减少温室气体排放的过程中需引起额外的重视。中国的温室气体排放类型与美国、欧盟和南非类似,其中 CO_2 占比为 86%,其他依次为 CH_4 和 N_2O 以及含氟气体。

据有关资料显示,全球 CO_2 浓度从工业革命前的 280ppm ($1\text{ppm} = 10^{-6}$) 上升到 2005 年的 379ppm, CH_4 浓度从工业革命前的 715ppb ($1\text{ppb} = 10^{-9}$) 增加到了 2005 年的 1774ppb, N_2O 浓度则从工业革命前的 270ppb 增加到了 2005 年的 319ppb。《斯特恩报告》中提到,即使每年的

表 1-1 世界主要地区温室气体排放比例（2011 年）

经济体		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	PFC+HFC+SF ₆
世界		74%	17%	8%	2%
发达经济体	美国	81%	10%	5%	3%
	欧盟	81%	9%	8%	2%
	日本	93%	2%	2%	4%
金砖国家	巴西	39%	35%	24%	1%
	俄罗斯	72%	21%	5%	1%
	印度	75%	20%	4%	2%
	中国	86%	9%	4%	2%
	南非	82%	12%	4%	2%

注：欧盟包括 28 个成员国，后面如无特殊备注，均是同样定义。

数据来源：世界资源研究所，CAIT 2.0。

排放速度保持不变，到 2050 年，大气中温室气体的浓度会比工业革命前增加一倍，达到 550ppm 的 CO₂ 当量；但是随着各个国家投资建设高碳型基础设施，不断增加对能源和交通的需求，温室气体的排放速度将无法保持不变，而是继续增加，预计到 2035 年可能会达到 550ppmCO₂ 当量的水平；按照这个发展与气体排放水平来推断，全球平均温度上升超过 2℃ 的概率至少为 75%，还可能将高达 99%。

综上所述，CO₂ 作为温室气体中的最主要代表，它的排放数量应该并已经成为各国政府、相关学者及社会公众重点关注的对象与定期公示的指标之一。鉴于清除大气中 CO₂ 所需的时间尺度，过去和未来的人为排放 CO₂ 将使地球变暖和海平面上升延续达千年以上（秦大河，2008）。因此，需以 CO₂ 的排放量为首要控制标的，进行强而有力减排政策的制定与减排措施的实施。如不尽快采取必要的防治手段与减排措施，持续性的气候变暖将对社会生产与人类生活造成难以估量的损失。

三、世界主要国家碳排放情况

根据世界资源研究所的测算，从 1850 年工业革命开始到 2011 年，当

前大气中的温室气体大部分是由发达国家所排放。表 1-2 给出了世界主要国家温室气体排放的对比。美国和欧盟分别在 1850—2011 年的累计排放量中排名第一和第二。回顾以美国和欧盟为代表的西方发达国家的发展历史,可以清晰地看到在工业革命开始的初期,发达国家利用其先发优势,率先步入城市化和现代化的高速发展时期,实现了国内基础设施的建设、社会财富的集聚和社会经济的高度现代化,进而跨入后工业化时代,但同时也消耗了大量的化石能源,排放了大量的温室气体。

根据表 1-2 所示,中国在 1850—2011 年间累积 CO₂排放量排名第三,约为全球累计排放量的 10.8%,远远小于美国和欧盟的 27.7% 和 25%。我国的现代化建设始于 20 世纪 80 年代末,鉴于我国依然处于社会经济高速发展的阶段,因此能源消耗和温室气体的排放速率递增,2011 年中国温室气体排放总量已高达 90 公吨,成为全球排放总量最大国,占世界排放总量的 28%,中国的人均排放量也达到 6.7 公吨/人,已超过了世界平均水平(4.6 公吨/人),预计在 2012—2020 年间,我国温室气体排放将以 3% 的高速增长,在以减缓气候变化、控制温室气体排放的时代责任的要求下,我国在减少温室气体排放的任务上依然繁重。

表 1-2 世界主要国家温室气体排放对比

	1850—2011 年累计			2011 年				
	排放量 (百万公吨)	排序	比重	排放量 (百万公吨)	排序	比重	人均排放 (公吨/人)	人均排 放排序
中国	140860.3	3	10.8%	9035.0	1	28.0%	6.7	48
美国	361300.0	1	27.7%	5333.1	2	16.5%	17.1	11
欧盟	325545.1	2	25.0%	3667.4	3	11.4%	7.3	39
日本	49858.1	8	3.8%	1211.6	7	3.8%	9.5	25
印度	35581.3	9	2.7%	1860.9	5	5.8%	1.5	114
世界	1304687.3		100.0%	32273.7		100.0%	4.6	

数据来源:世界资源研究所,CAIT 2.0。

由于化石能源燃烧是温室气体产生的主要来源,能源消耗部门便是各

个国家与地区碳排放的集中源头。因此,深入能源消耗部门层面来考察温室气体的排放情况,是较为直观且有效的手段,能够便于明确高能耗和高排放部门的集聚方向,有利于在控制温室气体排放过程中把握重点,有的放矢。表1-3显示了2011年世界主要国家不同部门排放CO₂的水平及其占比,特别将能源部门内部,包括电力热力部门、制造与建筑业及交通部门在内的主要部门的碳排放情况做了详细的分解。

表1-3 世界主要国家温室气体分部门排放对比(2011年)

排放部门	中国		美国		欧盟		日本		印度	
	百万吨 CO ₂ 当量	%	百万吨 CO ₂ 当量	%	百万吨 CO ₂ 当量	%	百万吨 CO ₂ 当量	%	百万吨 CO ₂ 当量	%
能源部门	8392.0	81.4	5670.8	90.3	3688.2	81.2	1196.8	99.6	1913.3	80.7
#电力热力部门	4266.0	41.4	2478.0	39.4	1494.3	32.9	561.2	46.7	963.5	40.6
#制造与建筑业	2487.5	24.1	597.9	9.5	550.6	12.1	244.8	20.4	471.6	19.9
#交通部门	623.3	6.0	1638.1	26.1	897.3	19.7	219.7	18.3	169.9	7.2
#其他燃料燃烧	710.3	6.9	627.2	10.0	676.4	14.9	168.4	14.0	269.5	11.4
#逃逸排放	304.8	3.0	329.6	5.2	69.5	1.5	2.7	0.2	38.8	1.6
工业生产过程	1255.7	12.2	243.9	3.9	214.1	4.7	79.2	6.6	161.2	6.8
农业部门	708.2	6.9	472.3	7.5	494.4	10.9	26.8	2.2	353.0	14.9
废弃物	196.7	1.9	163.1	2.6	141.2	3.1	4.6	0.4	58.7	2.5
土地利用变化与林业	-292.3	-2.8	-415.1	-6.6	-277.8	-6.1	-137.1	-11.4	-128.1	-5.4
船用燃料	47.6	0.5	148.2	2.4	284.5	6.3	31.4	2.6	12.6	0.5
总计	10307.9	100	6283.2	100	4544.7	100	1201.7	100	2370.6	100

数据来源:世界资源研究所,CAIT 2.0。

从总量上看,2011年中国温室气体排放远高于其他主要经济体,分别是美国、欧盟、日本及印度当年碳排放量的1.7倍、2.5倍、7.5倍和4.9倍。从温室气体排放的部门结构来看,各国由于化石能源燃烧所致的温室气体排放是主要来源,其占比基本在80%以上。其中,中国81.4%的温室气体是能源燃烧所致,日本的比重最高,达到了99.6%;此外,美国90.3%的温室气体来源于能源利用,欧盟和印度的这一比例分别为81.2%和80.7%。在其他部门排放源中,中国、日本的工业生产过程也对