

吴一丁 毛克贞 © 著

中国经济结构演进 与环境污染变动趋势研究



中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

国家社会科学基金项目（12BJL073）
江西理工大学优秀学术著作出版基金资助

中国经济结构演进 与环境污染变动趋势研究

吴一丁[✉] 毛克贞 © 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

中国经济结构演进与环境污染变动趋势研究/吴一丁, 毛克贞著. —北京: 经济科学出版社, 2017. 11

ISBN 978 - 7 - 5141 - 8665 - 9

I. ①中… II. ①吴…②毛… III. ①中国经济 - 经济结构 - 影响 - 环境污染 - 研究 IV. ①X508. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 280275 号

责任编辑: 侯晓霞 程辛宁

责任校对: 王肖楠

责任印制: 李 鹏

中国经济结构演进与环境污染变动趋势研究

吴一丁 毛克贞 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

教材分社电话: 010 - 88191345 发行部电话: 010 - 88191522

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

电子邮件: [houxiaoxia@ esp. com. cn](mailto:houxiaoxia@esp.com.cn)

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http: //jjkxcs. tmall. com](http://jjkxcs.tmall.com)

北京密兴印刷有限公司印装

710 × 1000 16 开 20 印张 300000 字

2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 8665 - 9 定价: 58.00 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 举报电话: 010 - 88191586)

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

序

系统科学的基本原理认为：系统的内在结构与外部环境决定着系统的功能。经济系统是一个国家或区域发展的命脉，其产业、行业和产品结构，以及与之相依的人口龄级、劳动力素质结构和技术、资源配置、能源利用、土地利用结构，生产力要素的空间格局和境内外消费需求结构乃至经营、社会收益分配等制度结构，既决定着经济发展的规模和质量水平亦深刻影响着外部自然生态环境的状态和演化，进而彰显着这个国家或区域可持续发展的状态及潜势。就经济发展与环境污染而言，一个国家或区域不同时空因人类经济活动能力、资源保障与境内外消费需求等所形成的产业、行业和产品结构决定了相应的资源、能源利用和技术支持的总量与结构，进而也决定着污染物排放的总量与构成。

鉴于以上所述，本书立足于从经济结构入手较系统地探讨了经济发展与环境污染间的相依关系和协同演化规律，则有助于政府决策者和/或经济组织主动、适时、合理地调整经济结构，在有序促进经济健康发展和有效减少环境污染压力的基础上，以保障国家或区域的可持续发展。长期以来，国内外关于经济发展与环境污染的理论和实证研究主要集中在经济增长速度、经济总量和万元 GDP 能耗等对环境污染的定量影响和作用机制方面，故绝大部分项目研究均是围绕着环境库茨涅茨曲线展开的，而有关经济结构变动对环境污染影响的研究目前依然关注的较少。尽管本序作者曾提出了从产业结构、能源利用结构、土地利用结构、人口和生产力要素的空间格局乃至经营等制度结构诸方面制定区域可持续发展及环境规划或开展经济与环境协同发展的分析框架，然未做更细致的结构分类和其间相依关系的系统性研究。因此，本书的上述认知视觉和立论研究无疑是英明和超前的，应予以充分肯定和赞

赏，亦期待学界能够汲取和发扬光大。

自改革开放近40年来，我国的经济的发展已取得举世瞩目的卓越成就，人民的物质生活发生了翻天覆地的变化，然而现时全国范围内的生态破坏、环境污染态势较为严峻，难以满足人们对生态美好、环境优良的追求和国家的可持续发展。与此同时，我国正处于全球化、工业化、城市化和现代化、信息化快速转换的进程之中，为实现全国和地区、城市的健康发展与生态环境的可持续支撑，迫切需要有序调整经济结构和探索与生态环境协同的实践路径及方略。因此，本书的出版对于其相关理论、方法的研究和实践路径或方略的制定无疑具有重要的参考价值。

本书作者吴一丁、毛克贞两位学者长期从事经济结构与环境相依关系的理论和应用研究，其专著《中国经济结构演进与环境污染变动趋势研究》以我国社会经济发展与环境变迁为背景，通过剖析我国主要环境污染物的排放特征、变动趋势及其与经济增长之间的相依关系，较系统地测算了不同类型经济结构总体形态变动对环境污染的影响路径、影响强度和影响轨迹，定量揭示了我国主要经济结构形态演变对环境污染的影响态势。进而，作者将我国的主要经济结构依次划分为三次产业结构、工业37个基本行业结构、工业企业规模结构、工业行业收益结构、技术结构、就业结构、利税贡献结构、出口能力结构、竞争力结构、生产效率结构以及能源消费种类结构、能源消费部门结构、居民消费结构、城乡结构、经济空间结构等，比较全面系统地探讨了不同主要经济结构形态的关联演变对各类环境污染物排放总量和综合污染的影响程度及演化态势，从而为我国不同类型经济结构的有序调整、减轻环境污染压力和保障经济健康有效增长的角度提出了相应的政策、方略及其选择依据。

由于不同类型或区域经济结构差异较大，数据资料的完整性和质量保障皆难满足系统性、科学化的定量分析要求，故本书在研究中注重了多种模型方法的组合运用；且通过转换而统一指标口径，以便定性定量分析和比较不同类型经济结构与环境污染间的相依关系，以及提出科学可行的调整方略，故在研究方法上亦具有一定的新颖性。

本序作者除讲授《系统科学与模型仿真》和《经济控制论》等课程外，长期主要从事区域可持续发展和环境与发展协同的理论、方法及应用研究，

深知从经济社会与生态环境内在结构角度研究区域可持续发展、研究人类经济活动对环境污染的影响机制和作用的至关重要性及其复杂和高难度。尽管书中仍存在一些研究缺陷和不足，然欣赏作者已取得的较为杰出成就，故愿作序和推荐给从事同类研究的学者及政府决策、管理者参考借鉴，以促进我国经济社会与生态环境的协同演化和区域的可持续发展。

毛志锋

2017年12月于燕园

前 言

人类经济活动对环境造成的破坏，不但在当前，而且未来相当长时期，都是人类社会过程中需要解决的最突出问题之一。人类经济活动受制于环境并影响着环境，环境问题是人类经济活动引起的，研究经济活动如何影响环境是人类可持续发展问题的核心内容。国内外学术界关于经济发展与环境关系的研究主要集中在经济增长、经济总量和经济发展水平与环境之间作用机制的研究上，而经济结构与环境之间的作用机制较少被关注，仅有的研究也大多停留在定性描述上，并且一般将经济结构狭义地确定为产业结构。事实上，人类经济活动可以从不同角度加以研究，而经济结构（不仅仅只包括产业结构）是研究人类经济活动的一个极好视角，一部人类社会经济发展史，其实质就是一部经济结构变动史。经济规模更多地表现了人类经济活动“量”的方面，而经济结构变化则反映了人类经济活动“质”的变化，因此透过经济结构演进对人类经济活动进行研究可以更深入、更本质，对人类经济活动的把握更准确。在对人类社会进程的研究中，通常按照经济结构的演进特征可以粗略地将人类社会划分为前工业化社会、工业化社会和后工业化社会三个依次递进的阶段，在不同的社会发展阶段形成了不同的经济结构，而不同的经济结构对环境所产生的影响不同。从全球特定区域经济发展的历史阶段来看，在工业化之前，经济结构的形成和演变主要表现为对环境的服从，没有对环境产生明显的负面影响；在工业化过程中，经济结构的演变对环境的负面影响越来越大；而进入到后工业化社会以后，随着经济结构调整得越来越合理、技术水平的不断提高，经济结构的演变对环境的破坏逐渐下降，有些国家和地区的环境质量处于不断改善之中。基于经济结构演进与环境破坏之间存在高度相关性这一事实，我们在认识环境问题，经济结

构变动对环境产生的影响应该更多地进入到研究视野之中。

环境破坏的内容极其广泛,既包括水土流失、土壤荒漠化和盐碱化、资源枯竭、气候变异、生态平衡失调等资源环境破坏,又包括人类活动产生的大量废气、废水、固体废物等排放所造成的环境污染。目前全球在环境保护中最为关注的是包括二氧化碳排放在内的环境污染问题,这不仅仅是因为环境污染直接导致了环境质量下降、威胁人类生存,还因为环境污染往往最终导致生态的破坏。同时,全球在通过减少排放保护人类共同家园的认识上形成了高度一致,为此各国都承担起了减排的义务。

对于人类经济活动与环境污染的关系研究,国内外学者更多的是围绕着环境库兹涅茨曲线(EKC)展开的。20世纪90年代初 Grossman - Krueger、Shafik 和 Panayotou 通过对经济增长(收入)与环境质量的长期影响关系,提出了著名的环境库兹涅茨曲线,揭示出环境质量开始随着收入增加而退化,收入水平上升到一定程度后随收入增加而改善,即环境质量与收入呈倒 U 形变动关系,EKC 理论的政策含义被普遍解读为:“先污染,后治理”的经济增长路径。EKC 提出后,国内外关于 EKC 的研究主要集中在两方面:一是对 EKC 倒 U 形关系是否存在的理论验证,如 Shafik (1992)、Panayotou (1993)、彭水军 (2006)、He and Richard (2009)、韩玉军 (2009)、曾五一 (2010)、宋德勇 (2011) 等众多学者的研究。在相关研究中,由于不同的研究所选取的表征经济增长与环境污染的指标类型与数据不同、采用的计量经济模型以及研究区域不同,致使各种研究所得到的 EKC 曲线呈现出了诸如倒 U 形、U 形、N 形、同步型、无关型等七种表现形式。普遍的研究结论认为,不存在适合所有地区、所有种类污染物的单一模式。二是对有关 EKC 形成机理的研究,如 Lopez (1994)、Panayotou (1997)、Hannes (2001)、林伯强 (2009)、朱述斌 (2009)、窦学诚 (2011) 等从经济规模、经济结构、技术水平、市场机制、国际贸易和政府政策、收入需求弹性等视角对 EKC 形成的动因进行相应研究。而 Stern (2002)、Dinda (2004)、李玉文 (2005)、余群芝 (2008)、钟茂初和张学刚 (2010) 等则对 EKC 的研究进行了高质量总结,使人类经济活动与环境污染关系研究有了比较清晰的分析脉络。另外,部分学者从存量污染、影响长期性、污染结构、环境规制、触底竞争、发达国家与发展中国家之间的差异、指标局限性、国家局限性等角度对 EKC 进行

了批评研究。

在经济结构对于环境污染影响的研究方面, Grossman、Krueger、Lopez 等在探讨 EKC 形成原因时提出经济增长通过规模效应、技术效应与结构效应三种途径影响环境质量, 研究认为规模效应恶化环境, 而技术效应和结构效应改善环境。其中结构效应是指随着收入水平提高, 产出结构和投入结构发生变化。在早期阶段, 经济结构从农业向能源密集型重工业转变, 增加了污染排放, 随后经济转向低污染的服务业和知识密集型产业, 投入结构变化, 单位产出的排放水平下降, 环境质量改善。在实证研究上采用的是分解分析方法, 即产业结构变动对环境污染的贡献份额, 此后的研究基本就停留在这一层面。学术界有关经济结构对于环境污染的影响研究相对较弱, 仅仅是作为 EKC 形成机理研究的一个考虑因素, 并未进行深入的单独研究; 研究的经济结构类型基本就是三次产业结构, 其他重要的经济结构并未涉及; 以定性研究为主, 定量研究的方法过于单一; 国内仅有个别学者利用 Grossman 分解模型在 EKC 形成动因研究中对经济结构有所涉及, 目前还处于对国外相关理论的介绍阶段。

从经济活动实践看, 由于提高生活水平必然要求经济规模不断扩大, 单纯的经济规模扩张必将对环境产生越来越大的污染压力。因此减轻由经济活动扩张引起的环境污染加剧, 除了通过技术不断进步外, 在经济手段方面人们越来越多的将目光投向了通过经济结构调整来达到减轻环境污染的目标。事实上, 环保技术的发展最终也会在经济层上体现为经济结构的变动, 因而经济结构变动对环境的影响涵盖了技术进步因素。从全球视角看, 以往人类经济结构的演进加重了环境污染, 未来的发展需要寻找到一条新的经济结构演进路径, 使经济活动与环境相协调。

目前世界各主要经济体出于环境保护和提升产业竞争力的考虑, 相继提出了经济结构调整策略, 比如美国提出了发展绿色能源产业以减少对石化能源依赖性的产业政策; 欧盟委员会公布了“清洁与节能车发展欧洲战略(欧洲战略)”以实现交通领域低碳化; 日本决定在七个领域通过 21 个项目推动经济成长, 并把环保节能、医疗保健和观光产业作为重点投资领域; 中国政府也提出了重点发展包括节能环保、新能源、新材料、新能源汽车产业在内的战略性新兴产业, 通过产业结构转型升级实现经济的可持续发展。总体来

看,在环境保护背景下的全球经济结构调整显得格外引人注目。

但是,以经济结构调整来减轻环境污染,往往被简单化的理解为发展环保产业或低污染产业、降低高污染产业比重就可实现环境质量的改善。事实上,经济结构调整对环境的影响路径和影响结果远比我们想象的复杂。比如太阳能发电被公认为无污染产业,但太阳能发电的关键材料多晶硅生产却是重污染产业,大力发展太阳能发电产业到底会减轻还是加重环境污染本身就引起了激烈的争论。发展环保和低污染产业需要有相关传统产业的支撑,而各产业发展对环境不仅有直接影响,还有间接影响,既有消极影响,也有积极影响,有可能为了发展环保产业致使相关支撑产业对环境的污染加重;另外,处于不同发展阶段,各产业对经济和环境的影响不同,如果不顾经济发展阶段,以牺牲经济发展而盲目追求环保和低污染产业的发展,有可能使经济在低水平上扩张,反而不利于环境质量的改善。再者,广义的经济结构包含了各种结构类型,不仅仅只是产业结构会对环境污染产生影响,消费结构、外贸结构、就业结构、能源结构、经济空间结构等的变动也都会对环境产生深刻的影响,通过调整经济结构来减轻环境污染,绝不应该只是调整产业结构。

经济结构的不同演进路径有可能减轻环境污染,也有可能加重环境污染。任何想当然的经济结构调整可能既会伤害经济发展,又无助于环境污染的减轻。只有科学的认识清楚经济结构演进对环境污染的作用方式和长期影响趋势,才能主动的、分阶段的和合理的调整经济结构,使经济结构的演进路径有利于环境质量的改善,达到经济发展和环境相协调。

毋庸讳言,我国的环境污染问题极其严峻,这不仅对我国经济发展直接造成了损失,而且也对我国国际形象造成了负面影响。同时,我国的经济结构正处于工业化、城市化和现代化过程之中,各类经济结构都在剧烈变化。因此,寻找符合环保要求的经济结构调整之路显得格外迫切。探讨哪些重要经济结构变化会对环境污染产生影响,量化研究不同类型经济结构的演进路径,以及结构演进对环境污染的影响程度、影响轨迹和影响趋势,找出环境污染变动趋势的结构影响规律等,这些都是从经济结构角度研究人类经济活动对环境污染的作用,这本身就是可持续发展理论在经济结构领域的延伸和发展,因此在理论上具有较大的研究价值和研究空间。将经济结构变动对

环境产生影响的一些基本问题给予较明确和定量化的揭示，更可以为环境保护政策的制定从经济结构角度提供决策依据。

本书以我国社会经济发展为背景，主要以定量方法揭示我国主要经济结构演变对环境污染的影响趋势。首先确定我国主要环境污染物的排放特征、变动趋势，以及与经济增长之间的关系，并用我国环境污染和经济变化的实际数据验证和反思环境经济理论。在此基础上分别对我国三次产业结构、各类工业结构、能源消费结构、居民消费结构、城乡结构、经济空间结构等主要经济结构的演变特征、演变趋势及对经济发展的影响进行刻画和分析，研究并测算各类经济结构变动对环境污染的影响路径、影响强度和影响轨迹，进而从减轻环境污染压力、保证经济快速增长的角度提出各类经济结构的调整策略。

目 录

第一章 中国环境污染变动趋势及相关理论解释	1
第一节 中国环境污染变动趋势	1
第二节 经济增长影响环境污染的理论解释	24
第三节 主要结论	39
第二章 产业结构演进与环境污染	43
第一节 产业结构演进特征及对经济的影响	44
第二节 产业结构变动对环境污染的影响	58
第三节 产业结构变动对二氧化碳排放的影响	76
第四节 主要结论及结构调整策略	92
第三章 工业行业结构变动与环境污染	96
第一节 工业行业结构和环境污染状况	97
第二节 工业各行业发展对环境污染的影响	113
第三节 工业行业结构变动的环境污染影响分析	124
第四节 主要结论及结构调整策略	127
第四章 工业其他类型结构变动与环境污染	130
第一节 工业企业规模结构与环境污染	132
第二节 工业行业收益结构与环境污染	137
第三节 工业行业出口能力结构与环境污染	143
第四节 工业行业竞争力结构与环境污染	149
第五节 工业行业技术结构与环境污染	155

第六节	工业行业利税贡献结构与环境污染	162
第七节	工业行业就业结构与环境污染	168
第八节	工业行业劳动效率结构与环境污染	174
第九节	主要结论及结构调整策略	180
第五章	能源消费结构变动与环境污染	184
第一节	能源消费结构特征及对经济的影响	186
第二节	能源消费结构变动对能源消费量的影响	196
第三节	能源消费结构变动对环境污染影响分析	202
第四节	主要结论及结构调整策略	212
第六章	居民消费结构变动与环境污染	216
第一节	居民消费结构特征及对经济的影响	217
第二节	居民消费结构变动对环境污染影响分析	224
第三节	主要结论及结构调整策略	228
第七章	城市化进程与环境污染	231
第一节	城市化与环境的关系	232
第二节	城市化特征	237
第三节	城市化进程对环境污染的影响	248
第四节	主要结论及城市化策略	256
第八章	经济空间结构变动与环境污染	259
第一节	经济空间结构状况及演变特征	261
第二节	经济空间集聚度测算及集聚特征	273
第三节	经济空间集聚变化对经济 and 环境污染的影响	279
第四节	主要结论及结构调整策略	287
参考文献		291

第一章

中国环境污染变动趋势及 相关理论解释

第一节 中国环境污染变动趋势

人为因素造成的环境污染主要是指由人类活动向自然环境中添加了某种物质而超过环境的自净能力，使自然环境的构成或状态发生变化，环境质量下降，从而扰乱、破坏了生态系统和人类的正常生产、生活条件的现象。环境污染的种类繁多，按环境要素划分，有大气污染、土壤污染、水体污染等；按环境污染的性质划分，有化学污染、生物污染、物理污染（噪声污染、放射性污染、电磁波污染等）、固体废物污染、液体废物污染、能源污染等。准确地说，环境污染程度应以某种有害物质在环境中的含量、浓度、强度等进行测量，但实际工作中要做到这一点很难。因此对环境污染程度的衡量，基本上是以人类活动所排放或产生的有害物质数量来表示。目前，人类最为关注并且能够较大范围、较长时间系统记录的环境污染主要是废气、废水、固体废物（又称为“三废”）的排放和产生量。

一、废气

废气是人类在生产和生活过程中排出的有毒或有害气体，其中各类生产企业排放的工业废气是大气污染物的主要来源。废气中既包含各种烃类、醇类、醛类、酸类、酮类和胺类等有机物，也包含硫氧化物、氮氧化物、碳氧

化物、卤素及其化合物等无机物，甚至还包含有重金属、盐类、放射性物质等有害成分，废气中的污染物目前已知的有 100 多种，各类污染物的物理和化学性质非常复杂，有害性也不尽相同。

废气排放造成的危害主要表现为：被污染了的空气通过人类呼吸导致疾病的产生，过高浓度的有害气体甚至直接导致人类死亡；废气中的二氧化硫、氟化物等会使植物叶片表面产生伤斑、叶片褪绿，或者直接使叶片枯萎脱落，影响植物生理机能，造成植物产量下降，品质变坏；废气中的大量烟尘微粒，使空气变得非常浑浊，遮挡了阳光，使得到达地面的太阳辐射量减少，导致人和动植物因缺乏阳光而生长发育不好；废气中的二氧化硫经过氧化随自然界降水下落形成硫酸雨，不但使大片森林和农作物毁坏，还能造成纸品、纺织品、皮革制品等腐蚀破碎、金属的防锈涂料变质而降低保护作用，还会腐蚀、污染建筑物；废气中的二氧化碳、一氧化二氮、氯氟碳化合物、甲烷等是地球大气中主要的温室气体，大量排放的温室气体会产生温室效应，引起严重的生态灾难，直接威胁到人类的生存。

废气排放会随着大气流动将污染物扩散，具有显著地跨区域特征。与其他环境污染类型相比，废气排放造成的损害涉及面更广、外部性更强、治理难度更高。也正因为此，废气排放对大气环境的污染被认为是全球最普遍、最严重的环境问题，需要全人类一致行动、共同应对。目前我国废气中的二氧化碳、二氧化硫、烟（粉）尘，氮氧化物等排放量有相对较完整的数据资料，我们也主要对这些废气排放进行分析。

（一）二氧化碳排放

在自然界中二氧化碳含量丰富，为大气组成的一部分。二氧化碳也包含在某些天然气或油田伴生气中以及碳酸盐形成的矿石中。大气中含二氧化碳为 0.03% ~ 0.04%（体积比），主要由含碳物质燃烧和动物的新陈代谢产生。工业革命后，由于能源消费的大量增加，二氧化碳的排放量剧增。从毒性角度看，二氧化碳本身对人体和环境基本无害，相反二氧化碳是植物光合作用合成碳水化合物的原料，它的增加可以增加光合产物。但是大气中二氧化碳浓度增加会导致温室效应加强，引发自然生态系统的改变。美国环境保护署认定二氧化碳等温室气体是空气污染物，危害公众健康与人类福祉，人类大

规模排放温室气体足以引发全球变暖等气候变化。在《京都议定书》中规定控制的 6 种温室气体为：二氧化碳、甲烷、氢氟碳化合物、氧化亚氮、全氟碳化合物、六氟化硫。对全球升温的贡献百分比来说，二氧化碳由于含量较多，所占的比例也最大，约为 55%。因此，在人类应对全球气候变暖的挑战中，控制二氧化碳排放量成为重中之重。

世界银行在《世界发展指标 (2015)》(World Development Indicators 2015) 中提供了 214 个国家和地区的二氧化碳排放量指标，时间跨度从 1960 ~ 2011 年，通过数据对比我们可以较为全面的了解中国的二氧化碳排放特征。图 1-1 反映了我国分年度二氧化碳排放情况。

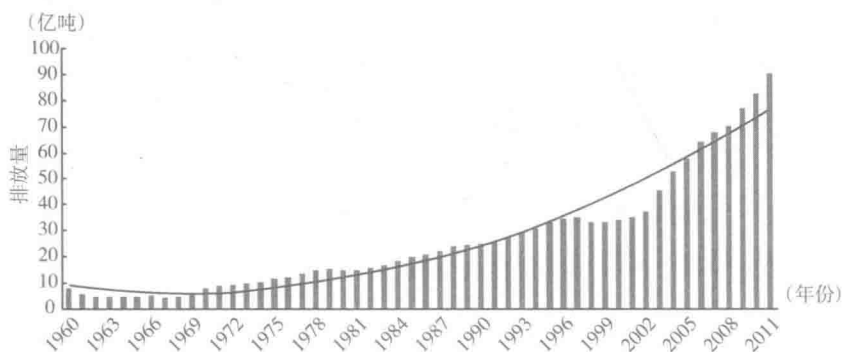


图 1-1 中国二氧化碳排放状况 (1960 ~ 2011 年)

从单个年份二氧化碳排放总量来看，我国在 2011 年排放二氧化碳 90.2 亿吨，占当年全球二氧化碳排放总量的 26.03%；2011 年我国二氧化碳排放量比 1960 年增长了 10.55 倍，51 年间的平均增长速度为 4.91%。其中，有 8 个年份二氧化碳的排放出现下降，其余年份均呈上升趋势。值得注意的是，进入 21 世纪后，我国的二氧化碳排放量呈加速增长趋势，1960 ~ 2000 年的平均增速为 3.75%，而 2000 ~ 2011 年的平均增速则高达 9.26%。

用趋势线拟合二氧化碳排放量可以更显著地反映其变动趋势，我们用二次曲线拟合。以 y 代表二氧化碳排放量， x 代表时间 (x 取值从 1 ~ 52)，拟合度 $R^2 = 0.9509$ ，拟合的二次曲线方程为： $y = 9.8007 + 0.0389x^2 - 0.7357x$ 。显然趋势线拟合程度较高，我国单个年份二氧化碳排放量呈 U 形曲线变化，并且目前正处于 U 形曲线的右侧。我国在快速工业化和城市化过程中，承受

着巨大的二氧化碳排放压力，二氧化碳排放的变动趋势极不乐观。

我国的二氧化碳排放趋势是否与全球趋势一致，是否有自己的变动特征。我们通过绘制全球、美国、欧盟、日本、印度的二氧化碳分年度排放状况图并配合趋势线进行对比。

图 1-2、图 1-3、图 1-4、图 1-5、图 1-6 分别为美国、欧盟、日本、印度及全球的二氧化碳分年度排放状况图。为便于对比，所有图中趋势线均用二次方程拟合，方程中的变量含义均与以上我国二氧化碳排放二次曲线方程中的设定相同。

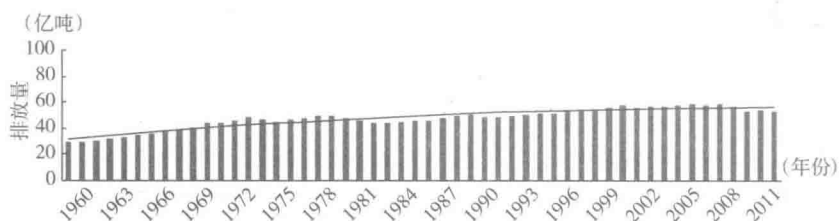


图 1-2 美国二氧化碳排放状况 (1960~2011 年)

注：二次曲线方程（美国）： $y = 29.905 - 0.0088x^2 + 0.9543x$ ；趋势线拟合度： $R^2 = 0.8867$ 。

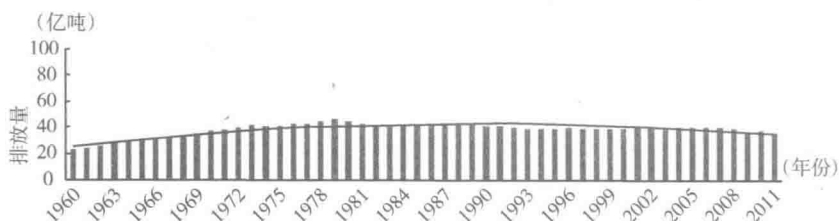


图 1-3 欧盟二氧化碳排放状况 (1960~2011 年)

注：二次曲线方程（欧盟）： $y = 24.756 - 0.0194x^2 + 1.1963x$ ；趋势线拟合度： $R^2 = 0.7973$ 。

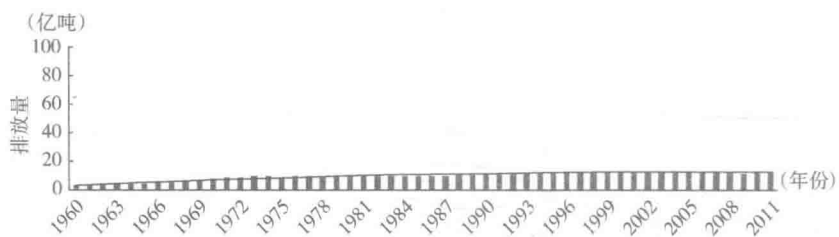


图 1-4 日本二氧化碳排放状况 (1960~2011 年)

注：二次曲线方程（日本）： $y = 2.2229 - 0.0049x^2 + 0.4363x$ ；趋势线拟合度： $R^2 = 0.9393$ 。