

2017年度宁波市社会科学学术著作出版资助项目

# 中国城市化与空气环境的 相互作用关系及EKC检验

Investigating the Environment Kuznets Curve and  
Interaction Relationship between China's Urbanization  
and Air Environment

丁 镭 董鸿安 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

2017年度宁波市社会科学学术著作出版资助项目

# 中国城市化与空气环境的 相互作用关系及EKC检验

Investigating the Environment Kuznets Curve and  
Interaction Relationship between China's Urbanization  
and Air Environment

丁 镭 董鸿安 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

中国城市化与空气环境的相互作用关系及 EKC 检验/丁镭,董鸿安著. —武汉:武汉大学出版社,2017.12

ISBN 978-7-307-19746-6

I. 中… II. ①丁… ②董… III. 城市化—关系—环境空气质量—研究—中国 IV. ①F299.21 ②X-651

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 247584 号

责任编辑:李 晶

责任校对:刘小娟

装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu\_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:虎彩印艺股份有限公司

开本:787×960 1/16 印张:17.75 字数:299千字

版次:2017年12月第1版 2017年12月第1次印刷

ISBN 978-7-307-19746-6 定价:98.00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

空气污染作为全球性的主要环境污染问题之一,日益受到学界、社会和各国政府的共同关注。改革开放以来,中国的经济快速发展,能源消耗和污染排放破坏了生态环境,导致雾霾等空气污染现象成为快速城市化过程中的“新常态”。同时,处在产业转型升级过程中的中国,伴随“京津冀协同发展”“一带一路建设”“长江经济带发展”三大战略的推进,新型工业化道路、区域协调发展、生态文明建设对城市空气环境质量改善提出了新的要求。因此,城市化与空气环境的相互作用关系研究,不仅是新背景下城市化与生态环境耦合作用关系研究的重要延伸,也是引导未来城市可持续发展和环境政策制定的重要依据。

面对一个经济高速增长、城市化快速提升但环境日趋恶化的“新常态”,在中国,空气环境污染和城市经济增长、城市发展之间究竟有什么样的关系?城市化的快速发展会导致空气环境污染日益恶化,还是最终有可能带来空气环境的改善,两者的相互作用机理如何?这些都值得我们深入探讨。

基于此,本书以中国地级及地级以上城市为主要研究对象(依据指标数据的连续性共筛选出 274 个城市),分析了 2004—2013 年共 10 年间的  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$  三种常规污染物的空间分布特征及演化趋势,并选取人口城镇化率、城市人口规模、建成区面积和第二产业比重 4 个表征城市社会经济发展水平的指标来判定其对空气质量的影响,进而以城市化率和人均 GDP(国内生产总值)为主解释变量,分别构建普遍面板回归模型和空间计量面板模型进行城市化对空气环境影响的 EKC 检验;最后,利用面板向量自回归模型(PVAR)和耦合协调模型(CCDM)探讨了城市化与空气环境两个系统之间的响应规律和耦合协调模式,并为我国新型城镇化的发展提出了相应建议。本书的主要内容如下。

(1)系统地揭示了三种主要空气污染物( $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ )在 274 个城市的 10 年时空演化格局。从时间演化序列来看,全国 274 个城市的空气环境质量恶化总体呈现先减缓后加重的时序演化趋势,不同污染物之间的演化特征有较大差异。从区域空间分布来看,城市空气环境质量分布呈现出显著的空间异质性,且城市空气污染空间格局未发生明显变化,华北地区(京津冀)及山东部分城市是我国空气污染相对严重的地区,也是当前大气污染协同防治的关键区域。

(2)比较分析了以人均 GDP 和以城市化率为主导的空气环境库兹涅茨曲线(EKC)演化规律。结果显示:不管是在 GEKC(以人均 GDP 为主解释变量)体系,还是 UEKC(以人口城镇化率为主解释变量)体系中,我国城市化发展与空气环境质量之间的关系并没有呈现经典的倒“U”形曲线,不同的污染物呈现的演化曲线特征不同。

(3)构建了基于空间计量经济(ESDA-Spatial Econometrics)的空气质量演化的环境库兹涅茨曲线新的分析框架。从空间自回归系数来看,不管是在 SGEKC 还是 SUEKC 体系中,均有  $\text{IAQI} > \text{PM}_{10} > \text{NO}_2 > \text{SO}_2$ ,且均通过了 1% 水平的显著性检验,表明城市空气环境质量的 IAQI 综合值受相邻城市的空气污染物扩散影响高于单一污染物的空间效应值,是一个受综合影响的结果。

(4)基于面板向量自回归模型(PVAR)阐述了城市化发展与空气环境质量的双向作用响应关系。结果表明,区域城市化发展与空气环境质量之间存在着双向互动关系,不仅城市化发展是空气质量变化的重要原因,空气质量的恶化对城市化发展的反向作用也非常显著。

(5)动态评价了省域尺度的城市化和空气环境系统间的耦合协调作用过程,并比较了不同省区的作用关系和模式差别。结果发现,省域城市化综合水平得分呈现一定的空间差异性和规律性。城市化与空气环境的耦合协调模式经历了从不协调期向转型期发展的过程,没有出现高级协调阶段,说明当前我国城市化过程中的空气环境问题依然比较突出。未来,推进新型城镇化建设,要控制适度规模的人口城镇化,不断完善城市的功能结构,并注重空气质量改善的区域协同。

董鸿安教授参与本书第一、二章的撰写,其余部分由丁镭撰写完成。同时在本书的撰写过程中得到了很多人的帮助,在此要衷心感谢我的导师曾克峰教授、程胜高教授的悉心指导;我的师兄刘超、陈昆仑博士,我的师姐卢炎秋博士的无私帮助和精神鼓励。同时,感谢黄亚林、陆媛媛、黄

克红师妹在城市化的相关基础工作中的研究铺垫,张冉、刁贝娣师妹在空间分析上的大力支持,师弟苏攀达、李小凡在计量经济上的大力帮助,以及卢丽雯、陈娟、王佳昕在大数据收集整理过程中的辛苦付出。最后要感谢我的爱人方雪娟在绘图处理、文字校稿中的艰辛付出。所有的这些工作作为本书的撰写和出版提供了重要基础,在此表示深深谢意!

由于笔者水平有限,本书可能存在一些不足之处,敬请各位读者批评指正。

丁 镭

2017 年 10 月

# 目 录

|                                                 |       |
|-------------------------------------------------|-------|
| 第一章 绪论 .....                                    | (1)   |
| 第一节 研究背景、目的及意义 .....                            | (1)   |
| 第二节 国内外研究进展 .....                               | (5)   |
| 第三节 研究目标、内容、方法和技术路线 .....                       | (28)  |
| 第二章 理论基础及数据来源 .....                             | (33)  |
| 第一节 相关理论基础 .....                                | (33)  |
| 第二节 理论框架构建 .....                                | (44)  |
| 第三节 变量选择和数据来源 .....                             | (46)  |
| 第三章 中国环境空气质量的时空分布特征及与城市关系比较 ..                  | (51)  |
| 第一节 数据处理和研究方法 .....                             | (52)  |
| 第二节 城市环境空气质量的时空格局演化 .....                       | (54)  |
| 第三节 城市环境空气质量的区域差异 .....                         | (67)  |
| 第四节 城市发展与空气质量的关系 .....                          | (71)  |
| 第五节 个案研究:湖北省城市环境空气质量时空演化 .....                  | (82)  |
| 第六节 本章讨论与小结 .....                               | (96)  |
| 第四章 中国城市化对空气环境影响的演化规律——基于<br>面板数据的 EKC 检验 ..... | (98)  |
| 第一节 变量选择和模型构建 .....                             | (99)  |
| 第二节 普通面板回归模型的 EKC 检验 .....                      | (108) |
| 第三节 空间计量回归模型的 EKC 检验 .....                      | (134) |
| 第四节 个案研究:空间计量视角的中国氮氧化物排放影响<br>因素 .....          | (158) |
| 第五节 本章讨论与小结 .....                               | (171) |

## 第五章 中国城市化与环境空气的双向作用关系——基于

PVAR 模型的检验..... (173)

第一节 研究方法和数据处理..... (174)

第二节 城市化与空气环境的冲击响应分析..... (177)

第三节 方差预测分解与政策启示..... (190)

第四节 个案研究:武汉市城市化与空气质量关系的双向作用..... (197)

第五节 本章讨论与小结..... (210)

## 第六章 中国城市化与环境空气的耦合协调作用机制——基于

CCDM 模型..... (212)

第一节 指标选取和模型构建..... (213)

第二节 城市化与空气环境综合指数时空演化分析..... (221)

第三节 城市化与空气环境系统的耦合协调作用测度..... (239)

第四节 本章讨论与小结..... (247)

## 第七章 结论与展望..... (249)

第一节 主要结论..... (249)

第二节 创新点..... (252)

第三节 研究展望..... (252)

参考文献..... (254)

附图..... (271)

后记..... (272)

# 第一章 绪 论

## 第一节 研究背景、目的及意义

空气污染作为全球性的主要环境污染问题之一,日益受到学界、社会和各国政府的共同关注(Jerrett, 2015; Lelieveld et al, 2015; Fan et al, 2015; 汪伟全, 2014)。作为世界上最大的发展中国家和第二大经济体,改革开放以来,中国的经济快速发展、能源消耗和污染排放严重加剧了包括空气污染在内的生态环境的改变,欧美发达国家经历了百余年的空气污染问题在我国近 20 年内集中爆发,导致雾霾等空气污染事件成了快速城市化过程中的“新常态”(Huang R J, 2014; Luo Y P et al, 2014; 马丽梅, 2014; Chen R J et al, 2013; Wang Q S et al, 2012)。据《2014 年中国环境状况公报》,在全国开展空气质量新标准监测的 161 个城市中,有 16 个城市的空气质量年均值达标,145 个城市空气质量年均值超标。因此,可以看出空气质量已经成为影响城市化发展质量、城市宜居程度的重要标准之一,中国的城市空气环境治理和改善迫在眉睫(Shi et al, 2016; Rohde, 2015; Zhang et al, 2012)。

### 一、研究背景

(1)“同呼吸、共命运”的区域性空气污染受到新关注。

随着中国城市化和工业化的快速发展与能源消耗、机动车尾气排放的迅速增加,城市的空气污染问题变得日益严重,并已表现出一定的以可吸入颗粒物( $PM_{10}$ )、细颗粒物( $PM_{2.5}$ )为特征污染物的区域性共同污染

局面(Han et al, 2014, 2015),大范围、持续性的雾霾天气屡见不鲜,特别是从2012年冬季开始出现的大范围、长时间雾霾现象,造成了巨额社会经济损失和居民健康危害(张纯, 2014; 黄德生, 2013; 穆泉, 2013; Chen Y Y et al, 2013; Xu J H et al, 2013; Kan H D et al, 2012),引起了环境学、气象学和城市相关研究领域学者对于空气污染区域性问题的广泛关注(Zhuang X L et al, 2014)。这种区域性污染主要表现在经济发达、大气污染物排放集中的长三角、珠三角和京津冀三大城市群以及辽宁中部城市群、湖南长株潭城市群、成渝经济区等城市密度大、能源消费集中的区域(Fan Q et al, 2014; Wang X S et al, 2011; Chan, Yao, 2008; Wei F et al, 1999; 谢雨竹等, 2015)。受气象条件污染扩散输送的影响,大都市圈周边的中小城市空气污染也会变得越来越严重(廖志恒等, 2015; 王淑兰等, 2005)。但是,城市空气污染的区域差异性也普遍存在。不同城市由于其所处的发展阶段、经济结构、地形气候背景等不同,其空气污染的特征也会有所不同,纵然是具体的某一个城市,在不同季节、不同月份、不同工作日也会有时间差异,即城市空气环境既面临普遍性的污染局面,也存在着一定的时空差异(雷瑜等, 2015; Li L et al, 2014)。因此,探寻中国城市化与空气污染的相互作用关系需要建立在大时空尺度空气污染特征的分析基础上。

(2)新型城镇化建设给城市空气环境质量改善提出了新要求。

2014年3月17日,我国发布的《国家新型城镇化规划(2014—2017年)》明确提出要建设新型城市,它包含绿色城市、智慧城市和人文城市三个内涵,其中绿色城市这一内涵格外引人注目,并对城市空气质量提出了新的更高要求。规划目标指出,到2020年中国地级以上城市空气质量达到国家标准的比例由2012年的40.9%提高到2020年的60%(找寻潜在的60%目标城市亦是本书主要研究的目标之一)。这也意味着“生态环境明显改善,空气质量逐步好转,饮用水安全得到保障”是使城市和谐宜人的重要方面,需加强空气环境质量的改善。与之对应,近来从中央政府到地方政府,颁布了众多促进空气质量改善的相关政策。例如,2013年国务院印发《大气污染防治行动计划》(国发[2013]37号),文件中指出要加大综合治理力度,减少空气污染物排放。北京从2014年开始以《京津冀协同发展规划纲要》为契机,尝试通过产业疏解途径来降低由于特定产业和交通工具使用带来的空气污染,从而改善大都市区的空气品质;2015年,更是出台了《京津冀区域大气污染控制中长期规划》,京津冀

将加快推动形成生态共同体,共同构建区域生态安全的体系,对其中的 $\text{PM}_{2.5}$ 年均浓度等主要污染物划定大气环境红线。处在中部地区的武汉市,则在2013年后相继出台了《武汉市改善空气质量行动计划(2013—2017年)》《武汉市城市环境空气质量达标规划(2013—2027年)》,计划从2014年起投资290亿元用来改善空气环境质量(丁镭等,2015)。因此,改善空气环境质量是我国各级政府、各个城市共同奋斗的目标(袁业飞,2013)。

### (3)生态文明建设给城市空气污染治理提出了新任务。

生态文明让理念变成现实。党的十八届四中全会把生态文明建设提升到与经济建设、政治建设、文化建设、社会建设并列的战略高度,也就是说生态文明建设是“五位一体”建设目标的重要组成部分。党的十八大以后,2015年中共中央、国务院相继印发了《中共中央 国务院关于进一步推进生态文明建设的意见》和《生态文明体制改革总体方案》。前者强调继续落实大气污染防治行动计划,逐渐消除重污染天气,切实改善大气环境质量。后者则强调树立“绿水青山就是金山银山”的理念,清新空气、清洁水源、美丽山川、肥沃土地、生物多样性是人类生存必需的生态环境,坚持发展是第一要务,必须保护森林、草原、河流、湖泊、湿地、海洋等自然生态;并强调建立污染防治区域联动机制,完善京津冀、长三角、珠三角等重点区域大气污染防治联防联控协作机制,其他地方要结合地理特征、污染程度、城市空间分布以及污染物输送规律,建立区域协作机制。因此,不管是政策制度,还是理念落实,生态文明建设都给空气污染的治理提出了新任务和方针导向(黄晗,2015)。

## 二、研究目的

(1)分析中国城市空气环境污染的时空分布特征。我国幅员辽阔,地区之间经济水平差异较大,不同省区、不同城市(城市群)的空气污染有着不同的特征。因此,本书将从主要空气污染物排放量以及主要污染物浓度指标出发,利用数理统计分析、探索性空间分析方法(ESDA)等方法模型,探究国家层面—省级层面—城市(群)层面等多个空间尺度的空气污染分布演化特征。

(2)探究快速城镇化背景下的中国空气污染的环境库兹涅茨曲线(EKC)规律。环境库兹涅茨曲线(EKC)是解释经济发展和环境污染的重要分析模型。但就城市发展和环境质量关系而论,不存在一成不变的

单一适用关系模式,甚至对同一污染物,在同一地区,采用的计量方法或选用的指标不同,都有可能得到不同的曲线形状。因此,在污染物时空分布特征分析的基础上,本书将建立一个以城市化率(城市化水平)为主要解释变量的空气污染(环境空气质量)EKC 面板数据检验综合分析框架,以寻找不同城市化水平作用下的空气污染规律,以期为新型城镇化建设的空气污染治理提供相关依据。

(3)诠释城市化与空气环境的交互作用机制和演化特征。在 EKC 解释的基础上,利用响应度模型和耦合协调度模型分析城市化与空气环境的相互作用关系,探究不同城市化综合水平下的城市空气污染作用特征。

### 三、研究意义

(1)现实意义:为制定有针对性的环境空气治理措施和区域联防联控策略提供依据,并提出新型城镇化和生态文明建设背景下的城市空气污染治理的总体框架。结合近几年来国家相继提出的长江经济带发展战略、一带一路发展战略、京津冀一体化战略、各个城市圈发展规划,本书将从空气环境视角出发,结合各个区域、不同尺度的城市空气污染特征以及城市化作用规律,有针对性地提出环境空气容量约束和环境功能目标保护背景下的城市空气污染治理的对策及建议。此外,探究城市的空气环境质量与城镇化发展质量的耦合协调关系,可以为不同省区、各主要城市实现空气质量和城镇化质量共同提升,新型城镇化建设提供参考数据。

(2)理论意义:发展并完善空气污染的环境库兹涅茨曲线理论,构建城市化与空气环境的耦合相互作用综合框架。环境库兹涅茨倒“U”形曲线是认识区域环境质量变化规律的重要途径。但在大量的实证研究中,不同学者关于 EKC 存在与否、EKC 的曲线特征、EKC 的拐点问题等展开了广泛而富有成效的论战,并得出相同、相似或截然不同的一些结论。因此,本书将以中国的空气污染(污染物排放指标和污染物浓度指标)为环境自变量指标,解释变量则在原有的经济总量、产业结构、技术水平基础上(Brock, Taylor, 2005)增加城市化作用指标,并在全国尺度、省级尺度和城市尺度进行 EKC 规律比较。此外,为突出城市化作用所带来的空气污染变化,本书将构建城市化与空气环境的耦合交互作用模型(CCDM)、脉冲响应模型(VAR),在 EKC 基础上分析中国城市化过程中的空气环境效应,最后从环境空气治理角度出发,为我国新型城镇化建设提出发展建议。

## 第二节 国内外研究进展

### 一、空气污染的时空特征研究进展

按照国际标准化组织(ISO)的定义,空气污染通常是指由于人类活动或自然过程引起某些物质进入大气中,呈现出足够的浓度,达到足够的时间,并因此危害了人类的舒适、健康和福利或环境的现象(邹滨等,2012)。区域空气污染的时空分布特征,是从整体上了解城市的大气污染状况、分析空气污染的影响范围、掌握城市大气污染来源和制定相对应的空气污染防治规划的重要依据(Li L et al,2014;车汶蔚等,2008)。从当前主要研究内容来看,集中在以下三个方向:① 城市主要空气污染物排放、浓度的时空分布特征研究,包括  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ (氮氧化物)、TSP、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{O}_3$ 等;② 城市空气污染指数或者质量指数(API、AQI、RAQI)的时空分布特征,反映城市空气环境质量的综合变化;③ 探讨城市空气质量变化背后的影响因素或成因分析,包括全球范围内的空气污染物跨界转移输送问题。

#### 1. 不同时空尺度下主要空气污染物浓度的分布特征

从全球范围来看,自20世纪70年代以来,许多老工业化的发达资本主义国家(如美国、德国)的空气污染物的排放量也开始明显下降或者趋于稳定,但同时新兴工业化国家的快速发展(如中国、印度)给全球空气污染控制提出了新的挑战(Lu Z et al,2010,2011)。与此同时,长程越界空气污染已经成为区域性跨国污染、全球空气污染的一种新形势,特别是空气中的持久性有机污染物、 $\text{PM}_{2.5}$ 污染(图1.1)已成为全球空气污染控制面临的新难题(Borrego C et al,2013;Donkelaar A et al,2010;Holoubek,2008;Huang P et al,2007;Kaldellis J K et al,2007;Akimoto H,2003;Holloway T et al,2002;Mayer M et al,2000)。此外,引起舆论界以及环保科学界较大争议的林金泰等(2014)在PNAS(《美国科学院院报》)发表的文章,通过全球大气化学运输模型(GEOS-Chem),分析了与中国出口相关的大气污染物对全球环境的影响,发现这些污染物及前体物在中国地区排放到大气中,通过大气传输和化学转化,一定程度上影响了美国的空气质量。虽然,该文章受到了不少学者的质疑,但是,不可否认的是

随着全球经济活动联系越来越紧密,空气污染是需要各个国家和地区一起努力克服的环境问题。

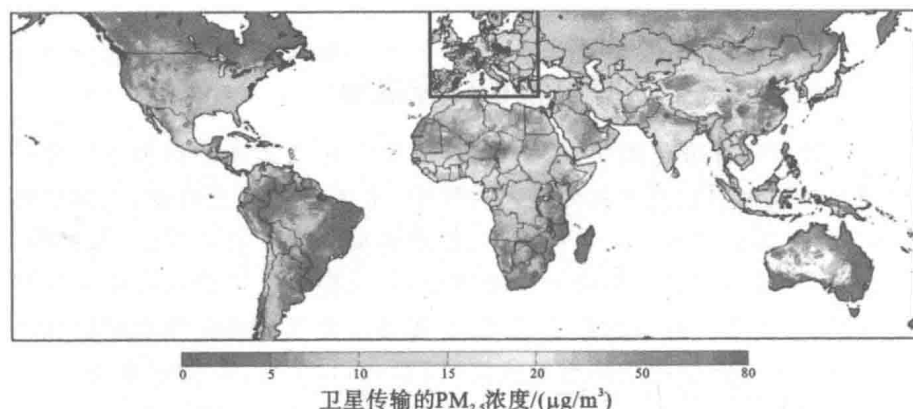


图 1.1 全球  $PM_{2.5}$  浓度分布示意图(据 Donkelaar A et al, 2010)

从中国全域范围来看,空气污染逐步由传统的  $TSP$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$  污染转向以  $PM_{2.5}$ 、 $SO_2$ 、 $O_3$ 、 $NO_x$  等形成的复合型大气污染,与之对应相关的研究工作也聚焦于以  $PM_{2.5}$  为核心的空气污染时空分布特征研究(Li Q et al, 2014; Lin G et al, 2014)。但不同的污染物类型有着较大的区域差异,比如,我国  $SO_2$  污染较为严重的地区集中在华北和南部偏西地区,而长江流域和珠三角地区空气质量较好(卢亚灵等, 2014; 李名升等, 2013a),而  $PM_{2.5}$  污染则普遍存在于我国华北、东北及西南地区,并在部分大城市表现得尤为严重(Li Q et al, 2014; Lin G et al, 2014; Li R K, et al, 2015; 王占山等, 2015)。2015 年 10 月,耶鲁-南京信息工程大学大气环境中心研究团队首次报道了中国 190 个城市  $PM_{2.5}$  污染物的时空分布特征,并揭示了有关影响因素,认为城市  $PM_{2.5}$  分布的时空异质性预示着我国  $PM_{2.5}$  治理工作将面临巨大挑战(Zhang, Cao, 2015)。

从区域尺度来看,大量的研究集中在京津冀、珠三角、长三角以及西安、兰州、重庆、成都等经济发达、空气污染严重地区。其中,曹军骥等系统调查了珠三角、西北地区、青藏高原和 14 个重要城市大气中碳气溶胶的浓度水平和季节变化特征,并定量解析其贡献来源,率先开展二次碳气溶胶研究,精确解析了重霾期间  $PM_{2.5}$  各主要来源的定量贡献,加深了对我国灰霾成因与来源的科学理解(Huang R J, 2014; Cao J J et al, 2012a, 2012b; Wang G H, et al, 2006)。

当然,还有大量学者利用遥感技术、监测数据对多种不同类型的空气污染物时空分布特征、垂直分布状况进行了细致研究,这里不再一一赘述。值得注意的是,时空分析理论、方法在大气环境科学中得到了充分的利用和体现。

## 2. 不同时空尺度下的空气污染指数的分布特征

为了反映区域空气污染的综合状态,不少学者在单一污染物的基础上对空气质量进行了评价,利用 API、AQI 等空气综合污染(质量)指数对变量进行空气污染时空分布特征的模拟分析。

从全国尺度来看,高会旺等(2014)、刘永伟等(2013)、李小飞等(2012)、王斌(2008)等分析了中国 API 指数的时空分布规律。任婉侠等(2013)探索了特大型城市空气污染指数的时空变化规律,段玉森等(2008)则对环保重点城市的 API 指数时空模态区域分异问题进行了研究。此外,还有学者对三大城市群(孙丹等,2012)、北方典型城市(李向阳等,2011)、沿海城市(王斌,高会旺,2008)的空气污染指数分布特征进行了比较研究。

从城市尺度来看,重污染城市或者经济发达城市的空气污染指数分布状况是研究重点,如西安(朱振亚等,2014)、广州(Li et al, 2014)、上海(范庆亚,2013)、武汉(刘传姚等,2013)。李文杰等(2012)和高庆先等(2012)重点分析了京津冀地区的 API 指数时空变化特征,余波等(2014)基于混沌理论对兰州市近十年的空气污染指数日报数据进行了时间序列分析,并解析了兰州空气污染变化的 4 个主因子,还有学者对这两个区域的空气污染特征进行了比较,以探究城市间的空气质量与城市间距离的关系(赵渊等,2014)。

总的来看,空气污染的时空分布特征问题是整体上了解城市的大气污染状况的必要分析途径,也是当前学术界的关注热点,并认识到大气污染的复杂性、区域差别、城市间相互作用影响以及混沌特征。但已有的研究也存在几个欠缺的方面:① 关注了主要空气污染物的质量浓度,但较少从污染物排放量角度解析空气污染的压力,两者的关系研究也较少;② 关注了重点城市的空气污染状况,但较少深入挖掘大尺度背景下的不同城市类型和特征,也即欠缺对不同城市化类型的空气污染状况进行比较分析。

## 二、空气污染的环境库兹涅茨检验研究进展

随着经济的快速发展,有限的环境资源面临着来自人类许多方面的需求压力,经济增长与资源利用之间的矛盾日益突出。世界范围内环境质量的退化使人们开始日益关注环境问题,随之,关于环境退化(压力)和经济发展(增长)之间关系的讨论也日益增多。从20世纪90年代的环境库兹涅茨曲线提出后的20年间,分别有大量的研究从理论和实证的角度对经济增长与环境污染之间的关系进行探讨,这里重点对库兹涅茨曲线(EKC)的发展演进历程以及空气污染的EKC研究进行总结和梳理。

### 1. EKC的起源和发展

有关经济增长和环境污染问题的研究文献最早可追溯到20世纪90年代初几项独立的实证研究——Grossman和Krueger(1991)、Shafik-Bandyopadhyay(1992)、Panayotou(1993)和《1992年世界发展报告》(World Bank,1992)。之后,Arrow(1995)提出了环境压力与经济增长之间呈倒“U”形关系的假说。其中,Grossman和Krueger(1991)研究了SO<sub>2</sub>、微尘和悬浮颗粒三种环境质量指标与收入之间的关系,发现三种污染物都与收入呈倒“U”形关系。1993年Panayotou借用Kuznets(1955)界定的人均收入水平与收入不均等之间的倒“U”形曲线,首次将这种环境质量与人均收入水平间的关系称为环境库兹涅茨曲线。1995年Grossman和Krueger对人均收入与环境退化之间的关系作了研究,与此同时,他们也最早提出了关于EKC的最重要的假设之一:EKC并非是无法避免的,发展中国家可以通过学习发达国家发展的历史以及使用新技术、新能源来避免伴随着经济发展而来的环境退化,这也成为进行EKC研究的重要原因之一。

EKC依然是国内外环境经济学、环境科学、经济地理学等相关研究的焦点问题,不论在指标选择的深度和广泛性,还是在模型估计方法上都有了很大的完善和提高,并在运用的广度上进行了不断拓展。从中国知网和Web of Science的数据库检索结果(1995—2015年)中可以显示(图1.2),EKC的提出在20多年以来,吸引了国内外学者的广泛关注,尤其在2010年以后,它依然是环境经济学的一个热点问题。

总的来看,关于环境污染的EKC理论,主要的研究焦点包括以下4个方面的内容。

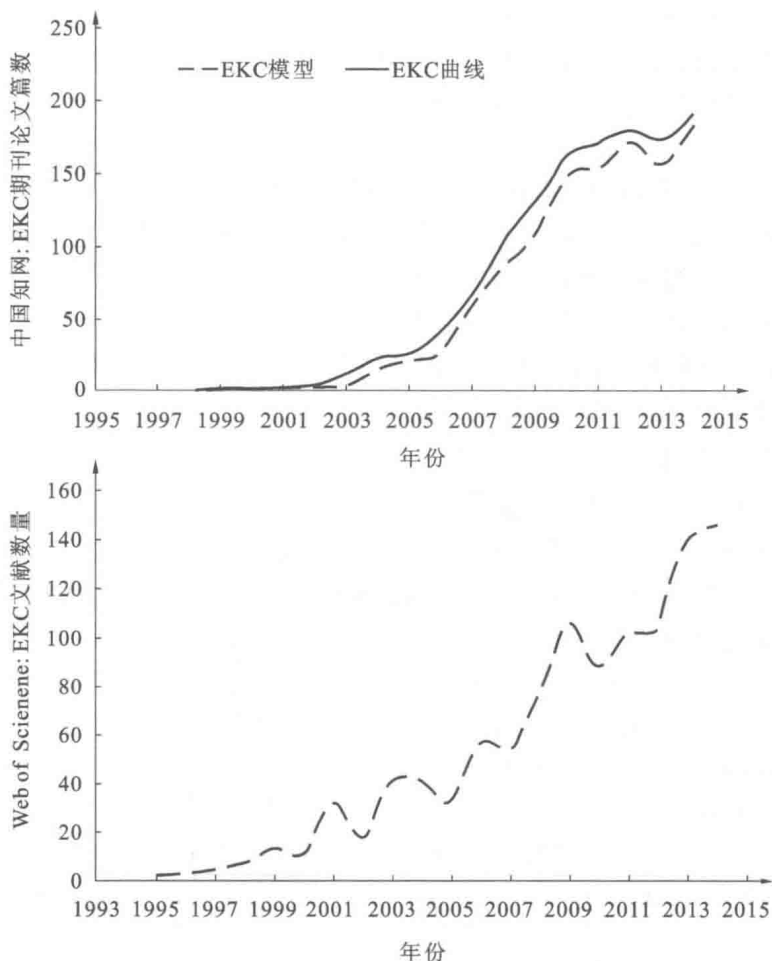


图 1.2 基于中国知网和 Web of science 数据库的  
EKC 模型的相关研究文献数量变化

(1)是否真的存在环境库兹涅茨倒“U”形曲线问题(Harris et al, 2009;包群等,2005;List,Gallet,1999)。不同的地区、国家曲线特征是什么样的?就空气污染而言,空气污染物排放和空气污染物浓度(质量)与经济、城市化之间存在什么样的曲线特征?

(2)环境库兹涅茨曲线的拐点究竟出现在什么时候(多少收入水平),不同地区又有什么差别?就空气污染而言,科学的厘定拐点转换问题可以为提前制订大气污染防治计划、城市环境空气质量改善规划及城市产业布局和经济结构调整提供参考。