

# 中国城镇化进程中的空气污染研究回顾与展望<sup>\*</sup>

袁晓玲 李朝鹏 方 恺

**摘要:**改革开放以来,中国城镇化在取得巨大成就的同时也引发了较为严重的空气污染,深入探究城镇化与空气污染的互动机理对促进经济高质量发展具有重要意义。本文在对城镇化与空气污染概念解析的基础上,分别从空气污染时空分布及其驱动因素、城镇化对空气污染的影响、空气污染对城镇化的影响和空气污染治理四个方面对相关成果进行了回顾;并就 EKC 曲线研判、城镇化对空气污染的作用路径等极具争议的问题进行了讨论,剖析了不同研究出现差异甚至相互矛盾的根源所在;指出应从夯实理论分析框架、构建城市发展系统、加强案例对比分析等方向入手,系统揭示城镇化与空气污染交互胁迫的耦合关系,探寻空气污染约束下的新型城镇化建设最优路径,以促进其高质量发展。

**关键词:**城镇化 空气污染 治理

## 一、引言

改革开放 40 年来,中国城镇化建设取得了巨大成就,城市规模不断扩大,城市数量不断增多,城镇化水平得到显著提升。但在巨大成就的背后,中国也成为全球温室气体排放量最大的国家,空气污染无论是从影响范围还是从强度来看都十分严重。2013 年亚洲开发银行和清华大学联合发布的《迈向环境可持续的未来中华人民共和国国家环境分析》报告指出,世界上空气污染最严重的 10 个城市中有 7 个在中国,中国只有不到 1% 的大城市达到世界卫生组织(WHO)的空气质量标准。2016 年美国耶鲁大学发布的《环境绩效指数报告》再次指出中国已是全球 PM<sub>2.5</sub> 重灾区,空气质量在 180 个参评国家中排倒数第 2。经过中央与地方政府高强度的环保治理投入,中国空气质量得到显著提升,2018 年全球空气污染最严重的 20 个城市已无中国城市。

城镇化是世界各国社会经济发展所必然经历的阶段,发达国家在城镇化进程中也曾遭遇严重的空气污染,如 1952 年英国伦敦烟雾事件,20 世纪 50 年代美国洛杉矶光化学烟雾事件和 60 年代日本石化工厂附近的烟雾污染等。因此,自 20 世纪 70 年代国外学者就开始针对城镇化与空气污染的关系进行研究,相关成果为发达国家空气污染治理起到了重要启示。中国有关城镇化与空气污染关系的研究,特别是与雾霾污染关系的研究则是在 2013 年后,相关研究起步晚但受关注程度极高。近年来相关研究成果大量涌现,但在一定程度上缺乏系统性,相关研究结论存在一定出入甚至相互矛盾,因而亟须对当前中国城镇化进程中空气污染的研究进行梳理与总结,为深化相关研究、推动高质量发展提供参考。

<sup>\*</sup> 袁晓玲、李朝鹏,西安交通大学经济与金融学院、陕西省经济高质量发展软科学研究基地、中国环境质量综合评价中心,邮政编码:710061,电子邮箱:xiaoling@xjtu.edu.cn,zhaopengli0201@foxmail.com;方恺,浙江大学公共管理学院、民生保障与公共治理研究中心,邮政编码:310058,电子邮箱:fangk@zju.edu.cn。本文受教育部哲学社会科学重大项目“新常态下中国经济运行机制的变革与中国宏观调控模式重构研究”(15JZD012)、国家自然科学基金项目“强可持续视角下中国生态全要素生产率的时空演化与提升路径研究”(17BJL043)、中国科学院战略性先导科技专项“泛第三极环境变化与绿色丝绸之路建设”课题(XDA20040400)资助。感谢陕西师范大学国际商学院博士研究生杨历在论文撰写中提供的帮助。感谢匿名审稿专家的宝贵建议,文责自负。

## 二、城镇化与空气污染概念界定

城镇化进程中的空气污染研究属于一个跨学科前沿热点问题,不同学科对这一问题的定义均有所不同,因而有必要梳理城镇化与空气污染概念界定、指标选取的研究成果,来为厘清城镇化进程中的空气污染相关议题奠定基础。

### (一)城镇化

由于人口向城市集聚是城镇化最突出的表现,且考虑到数据可获得性、统计口径、概念理解偏差等原因,以往学者通常都是以人口居住地、从业状态和户籍来界定城镇化水平,但也有学者使用人口密度、人口规模表征了城镇化。然而,以人口向城市转移来衡量城镇化是具有局限性的,在以往城镇化表现形式主要是城乡人口转化时期还具有一定意义,但在当前新型城镇化建设时期却已不具备代表意义。

随着发达国家城镇化已基本进入成熟阶段,中国整体人口城镇化率也已接近 60%,学术界对城镇化的定义已不局限于人口要素角度,开始从经济、空间、社会发展、政府治理能力等更加系统的视角来挖掘城镇化内涵。如王耀中等(2014)在系统总结了 2012—2013 年城镇化研究的国际动态后认为,除人口集聚外,城镇化还应包括经济发展(经济城镇化)、空间扩张(空间城镇化)和社会现代化(社会城镇化)。其中,经济城镇化反映了地区经济状况,空间城镇化反映了城市用地的改变,社会城镇化是指农村生活方式转变为城市生活方式的过程。国务院发展研究中心、世界银行联合课题组(2014)指出新型城镇化建设应包含改革土地管理制度、改革户籍制度、城市融资更加可持续和有效约束地方政府财政纪律、改革城市规划和设计、应对环境压力和改善地方政府治理能力等六大领域。方创琳(2019)认为相较于传统城镇化只注重城市发展规模而忽略城市内部各要素间的系统性,新型城镇化应是高质量的城市建设、基础设施、公共服务、人居环境、城市管理和市民化的有机统一。

综合来看,随着城镇化推进和社会经济发展环境变化,单纯从人口城镇化视角已不足以反映城镇化综合状态。新时代下的城镇化,更倾向于一种以人为核心,将人口、经济、空间和社会等城市发展要素以更加科学、系统、全面的视角整合在一起的城市发展动力学系统。

### (二)空气污染

由于官方统计口径、数据可获得性和监测数据来源等原因,空气污染指标的选取共分为三类。(1)浓度类,如  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $NO_2$ 、 $SO_2$  浓度等;(2)排放量类,如工业  $SO_2$ 、工业废气、工业粉尘和  $CO_2$  排放量等(严格意义上来说  $CO_2$  不属于污染物,但为简便起见,本文不作区分);(3)综合类,如空气质量指数(AQI)、空气质量二级及以上天数和利用数理方法合成的综合指标等。其中,浓度类指标是对主城区内空气污染浓度值监测所得,数据相对客观,但反映的区域范围较狭隘,使用中强调解释变量选取的适应性;排放类指标是对行政区内企业排放数据统计所得,统计数据误差可能较大;由于空气污染是多种污染物复合作用结果,部分学者认为任何单一污染物都难以全面反映空气污染综合状态,因而选取了 AQI 等综合类指标来反映空气污染程度。

在应用范围方面,浓度类指标是对城区监测所得,以往学者们多采用加权方法来合成省域层面数据进行研究,但近年来城市层面的研究逐渐增多,这包括 30 个省会城市、74 个环境重点监测城市、113~337 个地级城市和长三角、珠三角、京津冀等城市群;排放量类指标多应用于行业层面,除  $CO_2$  外极少有学者将其应用在区域层面。 $CO_2$  数据虽得到了广泛应用,但由于尚未有权威机构对其进行披露,相关数据都是学者们根据能耗数据计算所得,多数研究也就停留在国家与省域层面;综合类指标多是对浓度类指标的合成,因而其应用受限于浓度类指标的监测。然而,无论是哪种类型的空气污染物指标,当前研究重心都在从省域向城市再向城市群层面转移。如表 1 所示为空气污染物指标介绍、优缺点和适用范围。

三类指标中,浓度类中的  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$  和排放量类中的  $CO_2$  应用最广泛,综合类中的

AQI 也有一定应用,CO 与 O<sub>3</sub> 等其他污染物也是常见空气污染物,且在部分地区空气污染所占比重较高,但由于排放量较小、官方统计数据不全面、时间较短等原因,相关研究极少。

表1 空气污染物指标介绍、优缺点和适用范围

	指标	介绍	优点	缺点	适用范围	典型案例
浓度类	PM <sub>2.5</sub> 、PM <sub>10</sub> 、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub>	对城区污染物的浓度监测数据,日/年数据。	实时、客观反映污染物浓度变化。	城区监测数据,受限于监测范围。	城市(群)	Lin & Zhu(2018)
排放量类	工业废气、SO <sub>2</sub> 、粉尘	行政区企业统计数据,年数据。	连续性与可获取性强。	覆盖范围不齐全,存在统计误差。	行业	Wang et al(2017)
	CO <sub>2</sub>	参考权威机构发布的碳排放系数和能耗计算,年数据。	基本能够反映碳排放总体情况。	碳排放系数与实际情况存在差异。	全国、省域	Fang et al(2015)
综合类	AQI	根据空气质量标准和污染物影响合成的指标,日数据。	将空气污染程度以指数展现,综合反映空气污染状况。	监测结果受空气质量标准影响。	城市(群)	Liu et al(2017)
	空气质量二级及以上天数	年度空气质量总体判断,年数据。	反映全年空气质量情况。	数据口径宽泛,区域标准不统一。	城市	杨浩、张灵(2018)
	空气污染综合指标	数理方法合成的综合指标,年数据。	方法改进可提升指标客观、科学程度。	方法权威性、适用性有待商榷。	全国、省市	Wang et al(2014)

### 三、中国城镇化进程中的空气污染时空分布和驱动因素

由于中国城镇化的阶段性与区域不平衡性,不同城镇化阶段的主要空气污染物均有所不同,同一污染物在不同区域的分布特征差异也较大。而识别城镇化进程中的主要空气污染物、掌握其时空演变规律和驱动因素,是探究城镇化与空气污染交互耦合作用机理的基础。

#### (一)主要空气污染物

按照城镇化发展 S 型曲线理论,1949—1990 年城镇化率低于 30% 且以工业化为主,空气污染物主要是由工业生产和不清洁燃煤所产生的粉尘和 SO<sub>2</sub> 为主,空气污染程度和频率都极低;1990—2000 年城镇化增速明显提升并在 1996 年达到 30% 以上,开始进入城镇化第二阶段,乡镇中小企业快速发展导致 NO<sub>x</sub> 新增成为这一时期的空气污染物,城市建设导致大量悬浮物(TSP)和 PM<sub>10</sub> 排放,空气污染程度和频率有所增多;2000—2009 年城镇化进入快速提升时期,城镇化率从 36.2% 提升至 46.6%。大量人口涌入城市、机动车普及和城市无序建设导致光化学污染、灰霾天气、煤烟尘等空气污染问题频率明显增多,机动车尾气排放成为重要污染源之一,挥发性有机化合物和氨气成为新的主要污染物;2010 年城镇化率达到 50% 这一临界点,增速开始有所下降,城镇化进入由量到质转变时期,长期不科学的城镇化模式导致以雾霾为代表的空气污染问题高频率、大范围爆发,PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>、CO、NO<sub>2</sub> 均被列为主要污染物(王冰、贺璇,2014)。如图 1 所示为中国城镇化进程中的主要空气污染物。

综合来看,中国城镇化在取得巨大成就的同时,由于不科学的建设方式,空气污染有着种类复杂化、方式轻型化与范围扩大化的特点。

#### (二)时空分布特征

中国幅员辽阔,人口流动政策的放开除导致城乡人口转换外,也引发了地区间人口流动,并导致了区域城镇化不平衡与不协调。这种不平衡、不协调特征又作用于空气污染,导致其时空分布不均匀。

研究发现,城市是空气污染重灾区,城市空气污染平均影响半径为 600 公里~800 公里,中国 289 个城市大约 12.55 亿人暴露于空气污染,只有中国西部 41 个城市 PM<sub>2.5</sub> 浓度符合 WHO 要求,

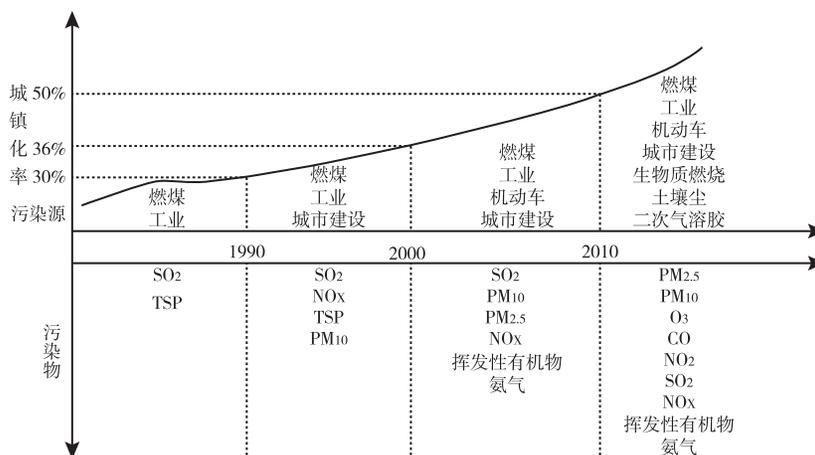


图1 城镇化进程中的主要空气污染物

空气污染主要集中在城镇化水平高、人口密集的京津冀、长三角、珠三角、华北平原、长江流域经济带和汾渭平原等地区(Han et al, 2014; Liu et al, 2017)。如 van Donkelaar et al(2010)最早发布的全球PM<sub>2.5</sub>浓度地图可以看到,中国雾霾污染最严重的地区主要集中在中东部城镇化水平高、人口密集地区,并形成了以京津冀、长三角、珠三角三大城市群为主,向北延伸至辽中南城市群的空间格局;近年来,随着珠三角空气污染治理成效显著,汾渭平原空气污染却愈发严重,汾渭平原替代珠三角成为大气污染防治三大重点区域之一。杨乐超等(2018)研究发现 2006—2009 年汾渭平原空气污染呈下降趋势,但在 2009—2015 年却大幅上升,三省毗邻的渭南、运城 PM<sub>2.5</sub> 浓度呈现高一高聚集区,晋中、吕梁呈现低—低聚集区。此外,还有学者指出中国空气污染具有明显的季节效应特征,秋冬季高、春夏季低,污染浓度从 1 月份开始下降,9 月份出现拐点,10 月份上升(Wang & Fang, 2016)。

CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> 等污染物的时空分布规律与 PM<sub>2.5</sub> 较为类似,主要集中在人口密度高、规模大的高城镇化地区。如杨青林等(2017)发现中国城市碳排放主要集中在京津冀、成一渝经济圈和长三角等高城镇化聚集区;姚尧等(2017)发现中国城市 NO<sub>2</sub> 浓度随城镇化水平的提高在 2004—2013 年呈现先下降后上升趋势,京津冀、山东半岛、长三角等东部高城镇化地区是 NO<sub>2</sub> 重污染区。但也有学者针对不同污染物得出了具有一定差异的结论,如 Yang et al(2017)指出中国 SO<sub>2</sub> 污染最为严重的城市主要集中在北方,南方城市 SO<sub>2</sub> 浓度普遍相对较轻;臧星华等(2015)也发现各类空气污染物总体趋势是北方高于南方且呈现明显的季节变化特征,采暖期和非采暖期浓度变化显著。

虽然城镇化进程中的空气污染时空分布已有一定研究,但大多研究都是全国和静态层面的分析,只指出了空气污染集中在高城镇化地区,随着城镇化水平提升空气污染程度提升、影响范围扩大,城镇化与空气污染存在明显相关性。但少有学者基于中国城镇化在区域层面的不平衡性和时间层面的阶段性来对全国、区域、城市群和省域内部空气污染的时空演变进行动态挖掘。

### (三) 驱动因素

中国城镇化进程中的空气污染呈现出强度上升、范围扩大与种类增多的趋势,那就有必要探究导致这种趋势的原因。研究发现,城镇化进程中的空气污染主要取决于不科学的城市发展要素、空间溢出效应和自然环境要素。

1. 城市发展要素。现有研究多是在 STIRPAT 模型基础上进行拓展来选取表征城市发展要素布局的变量,纳入变量一般包括经济发展水平、产业结构、人口集聚、能源消耗、交通模式等要素,多数研究认为人均 GDP、煤炭消费量、第二产业发展、机动车保有量和建筑施工是造成空气污染的根本原因(Hao & Liu, 2016; Xu et al, 2016; Wang & Fang, 2016),但由于研究对象、样本量和研究方法的不同,就不同城市发展要素对空气污染影响的正负和大小尚未形成一致看法。

2. 空间溢出效应。研究发现城市发展要素并不能完全解释空气污染成因,以往研究都忽略了

空气污染的溢出效应。根据“地理学第一定律”，大多数空间数据都存在空间依赖性，需要将空间因素纳入以判断空气污染的空间相关性和溢出效应，因而空间计量、地理加权回归和空间联立方程组等空间效应模型得到了广泛应用。如 Liu et al(2017)对中国 2014 年 289 个地级市 AQI 的空间溢出效应研究发现，邻近城市 AQI 每增加 1% 会导致本城市 AQI 增加 0.45%。除空气污染物本身的溢出效应外，邻近城市发展对本城空气污染也存在溢出效应。为此，李欣等(2017)基于空间杜宾模型研究了长三角地区 42 个城市 2003—2010 年城镇化对雾霾污染的影响发现，周边城市社会经济发展会加剧本城市雾霾污染程度，而且这一影响(1.867%)远大于雾霾本身溢出效应(0.35%)。然而，不同空间效应模型在空间权重取值、解决问题侧重点和适用范围方面都各有不同，空间权重取值又直接影响空间效应测算的准确性，以往研究在模型选取和空间权重取值问题上却都具有一定主观性。如表 2 所示为各空间效应模型特点和适用范围的对比。

表 2 空间效应模型对比分析

介绍	特点	局限性	适用范围	典型案例	
空间计量回归模型	研究具有空间依赖性问题的方法，在时间和个体效应基础上加入了空间交互效应，包括空间滞后 (SLM)、空间误差 (SEM) 和空间杜宾模型 (SDM)，似然值自然对数最大为最优模型，是应用最广的空间效应模型。	需要对数据进行空间自相关检验；空间权重取值包含邻接、地理距离和经济距离三种方法，需选择合适的权重取值方法；可通过求导来研究变量的直接和间接效应影响。	模型最大似然估计的大样本理论有待完善；空间权重矩阵无法完全反映地区相互关系。	适用于面板数据，多用于分析变量的直接与间接效应。	Du(2018)
地理加权回归模型 (GWR)	英国地理学家提出的将空间相关性纳入回归模型的方法，运用邻近区域相关信息对局部回归参数进行估计，实现不同区域回归模型系数随空间变化而变化。	截面数据模型；空间权重取值包括距离阈值法、距离反比法、高斯函数法和 bi-square 函数法；通过对各区域逐个回归得到所有区域待估参数矩阵。	局部回归模型，但全局内权函数的距离衰减参数设定却不变。	样本数据时间序列短且截面差异较大。	Wang & Fang(2016)
空间联立方程模型	将多个回归方程进行联立以探究各因素对研究对象的影响大小和空间效应，通常以两阶段或三阶段最小二乘法估计。	可反映各变量间的交互影响和空间效应，空间权重取值方法与空间计量模型类似。	模型设定极易产生内生性问题。	研究空间效应与变量间的交互影响机理。	梁伟等(2017)

然而，也有学者对上述空间效应模型的科学性持怀疑态度，认为将空气污染复杂的空间关系简化为变量间的统计关系难以科学展现城际空气污染的流动模式(Hu et al, 2014)。同时，当前研究也只关注到空气污染的空间溢出效应却忽视了时间累积效应，未能从动态视角来研究空气污染物在存量上是否存在历史累积。

3. 自然环境要素。除却城市发展要素和空间因素外，自然环境要素对空气污染也有着重要影响。研究发现气温、降水、湿度、气压、风速、风向等自然环境要素对空气污染有着重要影响，甚至是部分地区空气污染物集聚和扩散的决定性因素。如周景坤(2017)发现降雨强度高的城市无论城镇化水平如何，空气质量都好；降雨强度低的城市，城镇化过快将导致雾霾污染加剧；降雨强度适中，雾霾污染主要取决于产业密集度、煤炭使用和汽车拥有量等城市发展要素。此外，气候变化、植被覆盖、地形条件、海拔高度等自然环境要素对空气污染也有重要影响，但由于很难被纳入模型，相关研究还较少。

综合来看，当前学者们已从城市发展要素布局、空间因素和自然环境要素三方面探究了城镇化进程中空气污染的驱动因素，这为研究城镇化与空气污染的关系奠定了基础。但由于不同空气污染物存在不同驱动机制，目前还缺乏在同一样本和研究方法下的对比分析；同时，也未有学者对不同城镇化阶段下，不同城市空气污染的驱动因素对比分析；由于缺乏理论基础支撑，在城市发展要素和控制变量选取时也显得较为随意。

#### 四、城镇化对空气污染的影响

由于空气污染与城镇化存在多种表征指标,在对城镇化与空气污染的关系、城镇化对空气污染的作用路径研究时,相关研究结论差异也就相对较大。即便使用了同样的表征指标,由于城市发展动力学系统复杂性、研究对象和控制变量的不同,相关研究结论仍存在诸多争议之处。

##### (一)关系检验

随着 EKC 曲线假说在诸多领域的验证,学者们就将城镇化构建出了一次项、二次项、三次项和高次耦合形式,希望藉此厘清各类空气污染物与城镇化的 EKC 曲线关系。然而相关结论却存在较大争议,有学者认为两者呈现“倒 U”型曲线关系,也有学者认为呈现“U”型曲线关系,还有学者认为呈现“N”型或波浪型关系,但也有学者认为城镇化与空气污染只存在线性关系,只有少数学者认为两者并不存在相关性。如表 3 所示为当前城镇化与空气污染关系研判结果。

表 3 城镇化与空气污染关系研判结果

空气污染	研究区域	时间跨度	城镇化	相关关系	典型案例
CO <sub>2</sub>	中国整体	1978—2010	户籍人口城镇化	负向	赵红、陈雨蒙(2013)
		1979—2009		“倒 U”型	Dong & Yuan(2011)
		1996—2012		正向	Li et al(2015)
	29 省	1990—2012	户籍人口城镇化	正向	Wang et al(2016)
		1995—2013	非农人口城镇化	“倒 U”型	He et al(2017)
PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub>	中国整体	2001—2006	户籍人口城镇化	正向	Han et al(2014)
	29 省	2000—2014	人口密度	正向	Han et al(2018)
	30 省	2001—2010	户籍人口城镇化	“倒 U”型	Xu et al(2016)
	337 个地级市	1999—2011	常住人口城镇化	负向	Luo et al(2018)
	66 个城市	2001—2006	人口规模	“倒 U”型	Han et al(2016)
	190 个地级市	2014	人口规模	正向影响	Zhang et al(2016)
	3 大城市群	2000—2010	GDP 密度	正向影响	Du et al(2018)
AQI	159 个地级市	2014	常住人口城镇化	负向	梁伟等(2017)
	289 个地级市	2014	建成区比例	无影响	Liu et al(2017)
	289 个地级市	2014	户籍人口、人口规模、人口密度	正向	Liu et al(2017)
SO <sub>2</sub>	237 个地级市	2001—2010	建成区面积	正向	李茜等(2013)
	113 个地级市	2014	户籍人口城镇化	负向	李静萍、周景博(2017)
	282 个地级市	2013	户籍人口城镇化	“倒 U”型	Lin & Zhu(2018)
NO <sub>2</sub>	282 个地级市	2014	户籍人口城镇化	负向	Lin & Zhu(2018)
	113 个地级市	2014	人口密度	“倒 U”型	李静萍、周景博(2017)
	237 个地级市	2001—2010	建成区面积	正向	李茜等(2013)
空气污染综合指标	237 个地级市	2001—2010	建成区面积	正向	李茜等(2013)
	京津冀	1995—2015	城镇化综合水平	正向	杨浩、张灵(2018)
二级天数	190 个城市	2014	常住人口城镇化,建成区面积	“倒 U”型	王琰(2017)

上述研究存在争议的原因在于研究对象、指标、时间跨度、方法、区域、理论模型等方面的差异,因而尚未有一般性结论出现。(1)研究对象。不同空气污染物与城镇化可能并不具有相同的 EKC 曲线规律,将不同类型空气污染物的 EKC 曲线关系进行对比并不具有意义;(2)研究指标。检验城镇化与空气污染关系时,空气污染物和城镇化都存在多种表征指标,指标的不统一导致研究结论缺乏可比性;(3)时间跨度。CO<sub>2</sub> 数据最早可追溯到 1978 年,而 PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 数据则是从 2003 年才开始统计,PM<sub>2.5</sub> 和 AQI 数据更是从 2013 年才开始,空气污染物的时间跨度不同且普遍较短,这可

能也导致相关规律性特征尚未显现；(4)研究方法。空气污染物统计时间普遍相对较短，但部分学者却将短面板数据应用到了长面板模型中，存在错误统计推断的可能；(5)研究区域。正如不同空气污染物可能存在不同作用规律，不同地区城镇化与空气污染关系也可能表现出不同特征；(6)理论模型。即使保证上述条件相同，相关结论仍可能存在差异，这主要是由于理论模型构建时，虽然有EKC曲线模型、KAYA恒等式、IPAT模型和STIRPAT模型等经典理论支撑，但由于对城镇化系统理解的差异，控制变量选取大相径庭，并导致了研究结论间的差异。如表4所示为4个经典模型的特点与适用范围：

表4 环境污染驱动模型异同点

	公式及其含义	指标选取	特点	适用范围	典型案例
EKC曲线模型	$\ln E_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln Y_{it} + \beta_2 (\ln Y_{it})^2 + X_{it} + \mu_{it}$	$E_{it}$ 为环境质量(可为任何环境变量), $Y_{it}$ 为人均收入(可为任何其他社会发展变量)。 $X_{it}$ 为其他社会发展变量。	检验社会经济发展变量与环境质量的一次、二次和高次关系。	检验社会经济发展与环境质量关系的拐点。	Wang et al (2018)
	分析收入水平与分配公平程度间的关系,广泛应用于环境质量和收入水平“倒U”型关系研究。				
KAYA恒等式	$GHG = \frac{GHG}{TOE} \cdot \frac{TOE}{GDP} \cdot \frac{GDP}{POP} \cdot POP = f \cdot e \cdot g \cdot P$	$GHG$ 为温室气体排放量, $TOE$ 为一次能源消耗总量, $GDP$ 为国内生产总值, $POP$ 为人口规模。 $f$ 为能源碳强度, $e$ 为单位GDP能源强度, $g$ 为人均GDP。	以GDP为核心对碳排放驱动因素分解, 检验结果为等比例。	解释经济对环境的动态影响。	林伯强、刘希颖 (2010)
	考察国家层面温室气体排放总量与社会、经济、能源间的关系。				
IPAT模型	$I = P \cdot A \cdot T$	$I$ 为环境压力, $P$ 为人口规模, $A$ 为人均GDP, $T$ 为单位生产或消费的环境影响。	以人口为核心对环境驱动因素分解, 检验结果为等比例。	解释人口对环境的动态影响。	Li et al (2017)
	将环境影响视为人口、技术和富裕程度的函数, 模型假定各变量影响等比例。				
STIRPAT模型	$\ln I = \ln a + b(\ln P) + c(\ln A) + d(\ln T) + \ln e$	$I$ 为环境压力, $P$ 为人口因素, $A$ 为经济发展, $T$ 为技术因素。	可在模型中按需提供增加解释变量, 检验结果为非等比例。	环境质量驱动因素求解。	Luo et al (2018)
	可拓展的随机环境影响评估模型, 用于研究人口、富裕程度和技术对环境的非等比例影响。				

除关心二者关系所呈现形状外, 还有学者分析了非线性关系到达拐点的时间。如Wu et al (2018)通过情景预测研究了雾霾污染到达拐点的时间后发现, 中国东部大部分地区已进入“倒N”型曲线第二拐点, 中部地区还需要10~15年时间才能到达“倒U”型曲线拐点。

综上所述, 城镇化与空气污染的关系并非只是简单的线性或非线性关系, 不同空气污染物在不同区域可能有着不同演化规律, 相关研究还缺乏系统对比、整理和归纳。为解决上述研究争议, 除统一指标、时间跨度、方法等非技术性问题外, 关键在于奠定城市发展系统动力学理论和模型, 进行深入的案例挖掘与对比分析, 从而科学展现城镇化与空气污染的关系。

## (二)作用路径

STIRPAT模型是环境影响评估最基本的理论框架, 模型假定人口、经济与技术是环境最重要的影响变量, 模型允许各变量系数作为参数进行估计, 也允许各变量进行适当分解与改进, 由于其优良特性, 当前城镇化对空气污染作用路径的研究基本是在这一理论框架下展开的。通常, 学者们通过建立联立方程组模型或面板模型引入交互项或中介变量方法来研究, 研究视角包括能源消耗、人口集聚和产业发展。

1. 能源消耗。当前, 就城镇化影响能源消耗的作用路径和能源消耗对空气污染的影响, 相关研究还存在争议。Lin & Ouyang(2014)发现城镇化导致碳排放快速上升, 并认为这是由于城镇化进

程中的工业发展和基础设施建设消耗了大量化石能源所致;李静萍、周景博(2017)虽然也发现空气污染加剧是由能源消耗造成,但却认为这是城市人口比重和密度变化加剧煤炭消耗所致。但也有学者提出相反观点,Shen et al(2017)发现农村人口向城市迁移过程会明显增加住宅和交通能耗,但总体减少PM<sub>2.5</sub>净排放,这是因为城市居民增多加大清洁能源使用减少了污染物排放。然而,上述研究主要集中在了能源消耗量方面,未能从能源消耗结构和新能源利用视角进行研究。

2. 人口集聚。研究发现,人口集聚主要通过生活污染排放增加和对城市土地利用的改变影响了空气污染。冷艳丽、杜思正(2015)认为城镇化导致的城市人口增长除通过生活燃煤和汽车需求加剧生活污染排放外,还通过加大住房市场需求增加了建筑扬尘和钢铁水泥行业污染排放;Xu & Lin(2016)、Xu et al(2016)虽然也认为城镇化带来的人口剧增导致了空气污染加剧,但其结论侧重于从住房需求增加导致的房地产业快速发展来解释;于冠一、修春亮(2018)则发现城市人口集聚在不同时期存在不同影响,初期人口集聚在提高城市土地产出收益同时也加剧了污染,随后居民环保诉求提高、政府环境规制增加,高排污成本企业迁出缓解了空气污染。但就人口城际流动、老龄化与二孩政策等人口城镇化最新动向对空气污染影响的研究还尚未发现。

3. 产业发展。产业发展视角下的研究主要集中在第二产业发展对空气污染的影响。东童童等(2015)认为工业集聚虽然提升了工业效率,但效率的提升却不足以抵消集聚对雾霾的正向影响,因而工业集聚会加剧雾霾污染。工业劳动产出和资本利用效率则分别作用于工业劳动和资本集聚,降低了其对雾霾的影响;王兴杰等(2015)研究发现投资拉动冶金能源化工产业发展,促使了污染物在城市局部范围大量集中排放;蔡海亚、徐盈之(2018)则发现产业协同水平提高制约了集聚负外部性对雾霾的影响,而贸易开放与产业协同、集聚的消化吸收过程随时间推移对雾霾的抑制作用逐渐显著。但上述产业发展视角的研究只是笼统从工业发展视角进行研究,缺少具体行业与产业转移视角的研究。

总体来看,就城镇化对空气污染作用路径的研究还相对较少,相关研究还未形成系统且结论缺乏可比性;此外,由于缺乏理论支撑,针对城镇化对空气污染作用路径的理论推导还较少;在空间视角上,也只是将城市群发展的影响归结为空间溢出效应,未能关注到城市群间产业、人口、交通的流动和关联性对空气污染的系统性影响。

### (三)异质性影响

以往研究认为城镇化的影响是同质的,但有学者却发现城镇化的影响会随城市发展阶段而异。就这种异质性影响,学者们的关注焦点集中在了空间异质性与调节效应两方面。

1. 空间异质性影响。研究发现区域城镇化的不平衡性是导致空间异质性影响的根本原因。Xu & Lin(2015)发现城镇化对碳排放的影响在东部呈“倒U”型,中部呈正U型,西部的非线性影响并不显著。城镇化初期,中部居民向东部迁移导致城市人口激增,规模效应增加了排放总量,但当技术效应超过规模效应时其影响变为负向。移民造成的人口损失和低收入降低了中部排放,但中部崛起战略促使城镇化的影响快速由负转正。西部地区城镇化对碳排放的解释力相对较小;针对雾霾污染,刘晨跃、徐盈之(2017)认为城镇化总体呈现正向影响但作用路径却有所不同。其中,全国层面和南部地区通过交通压力提升加剧了污染,中部和北部地区由于城镇人口增加和就业结构转变扩大了房地产投资规模和交通压力加剧了污染,西部地区通过扩大房地产投资加剧了污染,东部地区的影响则并不显著。然而上述研究缺乏对这种空间异质性原因的案例深挖,同一模型对不同地区分别回归存在遗漏变量的可能。

2. 调节效应。相关研究通常是以门槛效应模型来实现,但也有学者通过对样本主观划分来研究。Cao et al(2016)以城镇化、居民收入和工业化为门槛变量研究了其对城镇化和碳排放关系的影响发现,城镇化通过人口和制造业聚集对碳排放呈正向影响,当城镇化越过阈值(43%)时其影响明显增强,居民收入的影响与城镇化类似,而工业化在达到第二个阈值(61.3%)时影响明显下降;梁伟等(2017)则将样本分为高、低城镇化研究发现,全国层面城镇化对雾霾污染呈现负向影响。当城镇

化率小于 60.8% 时,每提升 1% 会引起雾霾下降 0.0143%;而当城镇化大于 60.8%,每提升 1% 会引起雾霾下降 0.0178%。然而,以主观方式划分样本来研究的科学性仍有待商榷。此外,无论是门槛模型或是主观划分,相关研究也都未就阈值本身蕴含的经济学意义进行深挖。

总体来看,无论是空间异质性影响还是调节效应的研究,都只是指出了统计学意义上城镇化对空气污染的异质性影响,缺乏分析这种异质性影响的原因与意义;也未能从诸多城市发展要素出发,来分析不同城市发展特征如何影响城镇化与空气污染的互动机理。

#### (四)多维城镇化影响

除从人口城镇化视角来研究外,还有部分学者从经济、空间、社会城镇化和城镇化综合水平等角度研究了对空气污染的影响,这为新时代下从更加系统的视角看待城镇化与空气污染间的耦合机理奠定了基础。

1. 经济城镇化。大部分学者都是从经济发展水平出发,利用人均 GDP 来表征经济城镇化,但也有学者使用了二三产业产值占比、城市单位面积产值等变量。如 Du(2018)以城市单位面积 GDP 产出研究发现,城镇化率提高 1% 会使  $PM_{2.5}$  浓度上升 0.138%,邻近城市城镇化率提高 1% 会使本城  $PM_{2.5}$  浓度上升 0.34%;许珊等(2019)利用二三产业产值比重研究发现,经济城镇化对雾霾的影响在全国层面呈增强趋势,对东北地区的影响大于东部地区,但对中西部地区的影响却并不显著,并认为武断遏制经济发展和城镇化水平提升并不一定能达到降低  $PM_{2.5}$  浓度的目的。然而,相较于经济发展水平,城市经济体系现代化更能反映经济城镇化水平,但还尚未发现相关研究。

2. 空间城镇化。研究发现城市形态、结构和功能分区对空气污染存在重要影响,但以往研究大多局限于城市建成区面积。随着中国城镇化步入成熟期,有关城市形态对空气污染影响的研究开始增多。She et al(2017)研究发现长三角地区的城市板块大小和形状影响了空气污染。城市板块数量和面积减少、邻近距离和道路缓冲区增加,可缩短通勤距离、降低交通拥堵、减少尾气排放。但也有学者提出相反观点,Fang et al(2015)发现“城市连续性”增加可以减少碳排放,但“城市形状复杂性”增加却会促进碳排放,紧凑的城市形态能有效减少碳排放;Fan et al(2018)也认为城市密集度和连续度提高能有效减少空气污染,这是由于紧凑的城市形态减少了通勤距离和交通污染。当前,城市形态、结构和功能分区对空气污染的影响也是国际研究热点,这对城镇化进入成熟期下的中国城市空间科学布局有着重要启示意义。

3. 社会城镇化。由于社会城镇化尚未有明确定义,因而社会城镇化对空气污染影响的研究主要是从城市基础设施现代化视角进行。梁若冰、席鹏辉(2016)研究了 14 个开通轨道交通的城市能否缓解空气污染后发现,城市轨道交通的减排效应是通过出租车出行替代来实现,减排效应随人口规模、密度和污染程度提升而增强;但也有学者提出不同意见,Chen & Whalley(2012)发现轨道交通开通虽然降低了机动车尾气排放中的 CO,但却并未降低  $O_3$  排放,也未显著改变拥有私家车居民的出行方式。随着近年来共享汽车、共享单车等新型公共交通方式的普及,也有学者就其对空气污染的影响进行了研究。同时,还有学者就北方冬季燃煤供暖和“煤改气”政策等城市清洁能源替代问题对空气质量的影响进行了研究。总体来看,当前有关社会城镇化对空气污染影响的研究还较少,重要原因在于社会城镇化概念界定尚未清晰。

4. 城镇化综合水平。此外,还有学者通过合成法将多个指标进行综合,从而构建出城镇化综合水平或城镇化质量指标来研究其对空气污染的影响。如杨浩、张灵(2018)从人口、经济、居民生活、社会发展、生态环境五个方面构建了城镇化综合水平指标,并利用 VAR 模型研究了其对空气污染的影响。此外,也有学者认为构建综合指标难以展现城镇化对空气污染的系统影响,如高明、郭峰(2018)就分别从人口、空间、土地城镇化三个角度分别研究了其对空气污染的影响。然而,无论是构建城镇化综合指标还是从不同维度来探究其对空气污染的影响,这都只是一种不够系统视角下的研究。

城镇化是一个复杂的系统动力学过程,无论是人口、经济、空间还是社会角度都不足以全面反映

城镇化；综合性指标虽在一定程度上反映了城镇化综合水平，但却无法凸显城镇化对空气污染的动态影响。因此，构建城市发展动力学系统，从更加系统的视角来研究城镇化对空气污染的影响将是未来研究的重点与难点。

## 五、空气污染对城镇化的影响

已有研究证明城镇化对空气污染存在重要影响，那么空气污染对城镇化是否也存在反馈机制？以往学者关注焦点都是空气污染而将城镇化作为解释变量，几乎未能发现有学者就空气污染对城镇化的影响机理进行研究，只有部分学者讨论了空气污染对城市发展要素的影响。虽然这些研究并未明确提出“空气污染对城镇化的影响”这一主题，但从新型城镇化概念出发，空气污染对城市经济发展（经济城镇化）、人口流动（城镇化）、空间形态（空间城镇化）和政府治理能力、居民幸福感（社会城镇化）的影响也可视为是对城镇化的影响。

### （一）空气污染对经济城镇化的影响

在经济城镇化方面，相关研究主要集中在空气污染对城市经济、劳动力供给损失两方面。如Chen et al(2013)发现供暖政策使得淮河以北的TSP比淮河以南高了55%，这使得淮河以北劳动力寿命缩减了5.5年；朱志胜(2015)研究发现空气污染加剧对就业流动人口劳动供给时间产生了显著抑制作用，空气污染程度每上升1%将减少劳动供给时间0.011~0.019天/周；谢杨等(2016)利用CGE模型研究了PM<sub>2.5</sub>对京津冀地区人群健康和经济发展的影响后发现，若对PM<sub>2.5</sub>没有强有力的控制手段，2020年空气污染将对京津冀分别造成44.2亿元、27.5亿元、97.5亿元的健康成本损失，81.3小时、89.6小时、73.1小时的人均劳动供给损失和2.79%、2.46%、2.15%的GDP损失。但还尚未发现有关空气污染对城市产业布局、产业结构升级和人均收入水平影响的研究，更未发现有关空气污染是否已引起城市经济发展要素转移的研究。

### （二）空气污染对人口城镇化的影响

在人口城镇化方面，相关研究主要集中在空气污染对区域人口转移的影响。如肖挺(2016)发现空气污染会造成人口流失，但这种驱赶效应主要表现在经济发达的沿海和内地中心城市；席鹏辉、梁若冰(2015a)也认为空气污染已造成了地区间环境移民，但这种环境移民效应具有时间滞后性；孙中伟、孙承琳(2018)发现雾霾与流动人口的长期居留意愿负相关，年龄越大受雾霾冲击越大。地区层面，南方地区和东部沿海省份流动人口城市居留意愿受雾霾冲击更大。与省内流动者相比，跨省流动者城市居留意愿受雾霾的负面影响更大。虽然，已有学者就空气污染对人口流动的影响进行了研究，但还尚未发现有空气污染对逆城镇化现象和城市群形成影响的研究，即空气污染是否会引起城乡人口的二次转移和二次转移是否可能会改变城市形态的研究。

### （三）空气污染对社会城镇化的影响

在社会城镇化方面，学者们关注了空气污染下的政府治理能力、行为和居民幸福感。如席鹏辉、梁若冰(2015b)发现低空气污染时，污染加剧会降低政府环保支出比重，但高空气污染时污染加剧却未促使环保支出上升，地方政府在环保投资中存在延期机制；黎文靖、郑曼妮(2016)发现低空气质量，政府迫于环境压力会减少固定资产投资而加大环保投资。当经济发展压力大，空气污染不会带来显著的投资决策影响，只有在经济发展压力小时才会增加环保投资以改善空气质量。在居民幸福感方面，黄永明、何凌云(2013)发现空气污染显著降低了居民主观幸福感，居住在SO<sub>2</sub>、烟尘和建筑、拆迁扬尘排放量高地区的居民更不幸福，我国东部地区居民主观幸福感受空气污染影响较大，而中西部地区居民幸福感影响尚不显著。然而，虽有学者从城市基础设施现代化角度研究了社会城镇化对空气污染的影响，但却未能基于这一视角来研究社会城镇化对空气污染的反馈机制。

### （四）空气污染对空间城镇化的影响

在空间城镇化方面，目前尚未发现空气污染对城市空间形态、结构影响的研究，只有张可(2016)研究了空气污染对城市网络结构的影响。研究发现空气污染对单个城市在城市网络结构中的控制

力和地位产生了显著抑制作用,促进了城市网络结构的非对称性,邻近城市空气污染会对本城市在城市网络结构中的控制力和地位产生负面影响。

总体来看,就空气污染对城镇化反馈作用的研究较少,学者们尚未关注到空气污染对城镇化的负向影响。因此,无论是研究的广度和深度都有待加强,这将为空气污染约束下的新型城镇化建设起到重要参考价值。

分析可知,以往学者将城镇化各个维度、各个要素割裂开来研究其对空气污染的影响,缺乏系统、整合性视角,未来如何将人口、经济、空间、社会城镇化整合成为系统整体来研究城镇化进程中城市发展各要素与空气污染间的互动机理,并将这一复杂互动机理利用经济学语言展示将是未来研究的重点和难点。如图2所示为本文根据以往研究构建的城镇化与空气污染交互影响机理框架。

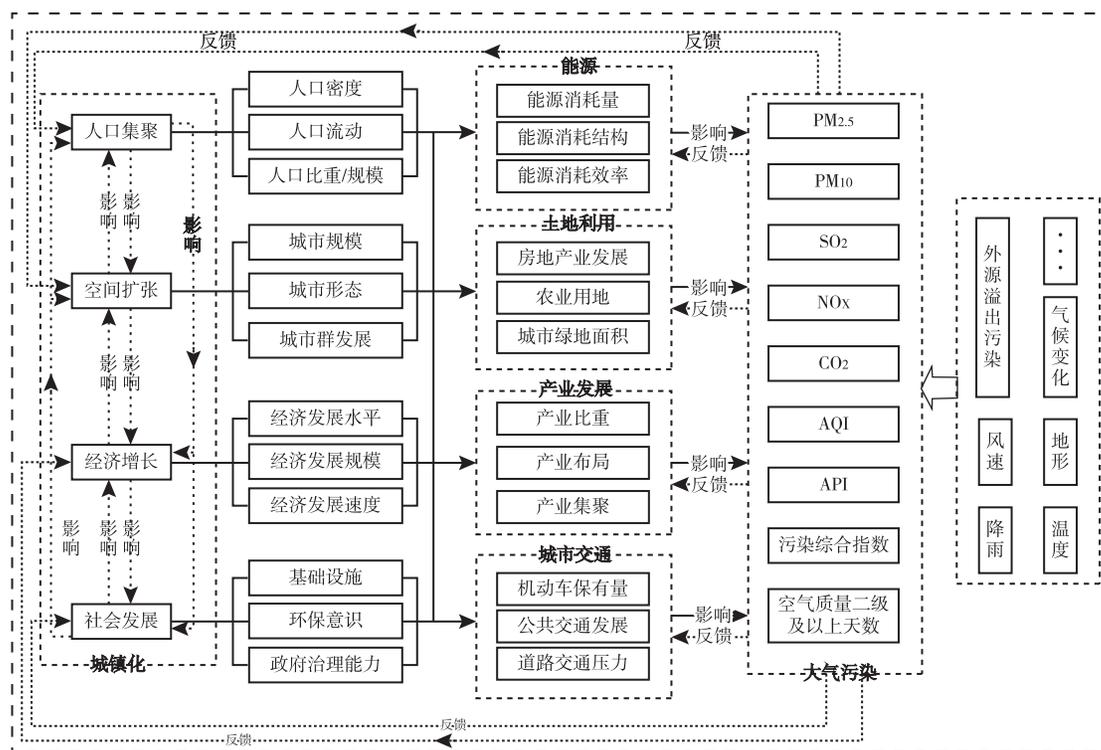


图2 城镇化与空气污染交互影响机理框架

注：——已有研究，-----有待加强研究。

## 六、城镇化进程中的空气污染治理政策

城镇化进程中的空气污染治理政策研究主要分为三类,一类是对政府空气污染短期治理措施效果的评价,另一类则是根据城镇化与空气污染互动机理提出的中长期治理建议,而空气污染区域联防联控机制(协同治理)是当前学者们的研究重点。

### (一)短期治理措施评价

在政府空气污染短期治理措施效果评价中,相关研究主要集中在城市机动车限行和“煤改气”政策效果评价,研究方法以断点回归、合成控制法和差分法等政策模拟类方法为主。

在机动车限行政策方面,由于北京依靠限行政策治理空气污染取得了一定效果,因而许多城市也期望通过该项政策来改善空气质量,但大量研究表明限行政策在一定程度上能缓解交通拥堵但对空气污染的治理效果却极其有限(Sun et al,2014;袁晓玲等,2018),且会因城镇化、产业和能源结构等原因而使效果大打折扣(易兰等,2018),并可能通过刺激购买第二辆车、延缓旧车使用等渠道来减少社会整体福利、加剧空气污染(Viard & Fu,2015)。此外,还有学者比较分析了北京和上海新车上牌

摇号政策对空气污染的影响。然而,上述研究所用的政策模拟类方法在判别政府短期治理措施有效性时,会因无法彻底厘清不同城市间政策实施的差异性而导致评价可信性大打折扣。在“煤改气”政策效果评价方面,罗知、李浩然(2018)研究发现“大气十条”中的“煤改气”政策虽有助于改善北方冬季空气质量,但其成本远高于燃煤供热,并认为未来空气污染治理的重点应在清洁用煤上。

总体来看,当前相关研究结论均认为政府短期治理措施效果极其有限,即使部分政策能够起到空气污染治理目的,但往往也需要付出高昂的社会成本和福利损失,未来在空气污染治理政策制定时需要因地制宜。

### (二)中长期宏观治理建议

根据城镇化对空气污染影响所提出的治理政策大都是中长期宏观战略,需要漫长周期来实现,较少有涉及微观操作层面的建议,且大多数学者都认为应优化能源、产业结构和完善交通基础设施来治理空气污染。如 Lin & Zhu(2018)认为空气污染治理的关键在于加强新型城镇化建设、完善公共交通和优化产业结构;Luo et al(2018)认为空气污染治理的根本在于经济发展结构优化和产业发展结构调整;Zhao et al(2018)认为空气污染治理的关键在于合理分配固定资产投资和减少高能耗产品出口,中西部和环渤海地区应优先发展公共交通、优化道路网络和清洁煤炭技术,长三角和泛珠三角应重点发展新能源、推广清洁能源汽车。

虽然学者们的治理建议都具有一定科学性,但却缺乏系统组合性,也未能评价政策建议所可能带来的经济—能源—环境(3E)影响,这不利于政策制定者根据相应的目标来选取适宜的治理建议。

### (三)空气污染协同治理

由于空气污染的流动性,建立区域空气污染联防联控(协同治理)机制成为学者们的研究共识。如 Han et al(2014)认为京津冀的廊坊、长三角的嘉兴和珠三角的珠海,空气污染都是周围特大城市空气污染扩散所致,因而建立联防联控机制是空气污染治理的关键;Hao & Liu(2016)认为任何地区单独的产业结构调整都是无效的,只有区域间相互协调进行产业结构调整才能起到空气污染协同治理的目的。然而,虽然区域空气污染协同治理是研究共识,但就如何进行协同治理的研究却很少,只有部分学者就协同治理的责任划分、财政政策、补偿机制和制度逻辑进行了分析,但仍缺乏整体性与系统性的研究。

同时,还有学者从气候变化角度分析了中国雾霾污染的成因,并指出全球气候变暖是加剧雾霾污染的主要原因,未来空气污染治理不能只考虑区域空气污染的协同治理,还应考虑多种空气污染物间的协同治理。研究发现各类空气污染物排放有着明显趋同性,可以通过各类措施实现协同减排。如 Morgenstern et al(2004)指出太原的硫减排政策会带来 50%~90%的碳减排效益,Chen et al(2006)发现上海的能源政策不仅可以明显减少 SO<sub>2</sub> 和 PM<sub>10</sub> 排放,对减缓碳排放上升也有着重要作用。但上述研究都只是相关政策的模拟结果,缺乏对政策实际效果的科学检验。也有学者从行业角度研究了空气污染物协同治理,如电力、钢铁和水泥等高污染行业硫氮碳协同减排效果的评价,但从区域层面来研究空气污染物协同治理关系的研究却很少,特别是空气污染物协同治理关系的方向、大小和影响因素等基础性问题的回答。

总体来看,相关治理建议通常是中长期战略层面的,既未能给出 3E 影响评估又缺乏具体操作层面的建议,难以在短期起到空气污染治理的效果;政府短期空气污染治理措施又通常会陷入“一刀切”的困境,缺乏区域差异化设计和政策强度把控;虽然空气污染协同治理是当前共识,但就如何进行协同治理的研究还较少,特别是多种空气污染物协同治理的研究还尚未发现。

## 七、结论与展望

通过对相关文献的梳理和分析发现,学者们就中国城镇化与空气污染互动机理已进行了一定研究,主要集中在城镇化进程中空气污染物时空分布和驱动因素、城镇化对空气污染的影响、空气污染对城镇化的影响和空气污染治理政策四个方面。(1)中国空气污染主要集中在以京津冀、长三角、珠

三角和汾渭平原为代表的城市群,高城镇化水平和发达的城市群地区是空气污染重灾区,不合理的城市发展要素布局、空间溢出效应和自然环境要素是空气污染的根本原因。(2)大量学者检验了城镇化与空气污染的关系,并根据 EKC 曲线假说探究了二者的关系形状,但由于研究对象、指标、时间跨度、方法、区域和理论模型差异,相关结论差异较大。城镇化对空气污染的作用路径主要是从能源消耗、人口集聚和产业发展等角度来研究,作用路径会随城市发展特征的改变而改变,经济、空间、社会城镇化和城镇化综合水平对空气污染也存在重要影响。(3)空气污染对城镇化影响的研究还很罕见,相关研究仍停留在空气污染对经济发展、人口流动、政府治理能力和居民幸福感影响等方面,检验两者是否存在双向因果关系的研究就更为稀缺。(4)基于相关结论,学者们在从中长期宏观战略层面给出治理建议外还对政府短期治理措施效果进行了评价,并认为协同治理是当前的基本原则。

虽然城镇化与空气污染关系的研究已取得较多成果,但也存在诸多不足:(1)指标选取争议大与数据质量低。空气污染与城镇化均有多种表征指标,特别是城镇化表征指标,即使是人口城镇化也存在多种计算方法,这是造成研究结论差异大的重要原因。此外,城市层面无论是空气污染还是社会经济发展数据都存在时间跨度短、数据缺失严重和获取难的问题,这是制约研究科学性与可信性的重要因素。(2)理论基础和模型尚存争议。有关城镇化与空气污染互动机理的研究大多以 EKC 曲线假说和 STIRPAT 模型为理论框架,但就模型的适用性并未过多讨论,存在遗漏变量可能。相关研究多是从实证层面开展,缺乏理论推导,因而未得到一般性结论。同时,以往学者都是从城镇化的一个或几个维度来研究其与空气污染的关系,未能形成系统性框架来研究城镇化、城市群发展与空气污染间的互动机理。(3)缺乏空气污染对城镇化负向反馈机制的研究。城镇化与空气污染存在双向胁迫的交互耦合影响机理,针对城镇化对空气污染影响的研究虽不全面但已较为丰富,然而极为罕见空气污染对城镇影响的研究,因而无法展现两者间的互动关系。(4)政策建议缺乏针对性和可操作性。针对空气污染治理的政策建议都是中长期宏观战略层面,缺乏短期内的可操作性建议。虽然空气污染协同治理是研究共识,但就如何进行协同治理的研究还较少,区域层面多种空气污染物协同治理关系的研究也未得到关注。

基于中国新型城镇化建设与以往文献的梳理,本文认为未来研究可从四个方面拓展:(1)完善城镇化与空气污染理论框架。在研究城镇化与空气污染理论模型时,构建城市(群)发展系统与空气污染互动理论框架,通过理论推导和实证检验来完善研究框架,为空气污染约束下的新型城镇化建设研究奠定理论基础。(2)完善空气污染对城镇化影响的机理研究。在城镇化与空气污染互动理论框架基础上,依据中国实践来进一步检验、修正理论框架。(3)探究空气污染物协同减排机理。中国空气污染有着污染物多元化、程度严重化、区域广泛化的特点,除区域联防联控外,还需要探究多种空气污染物间的协同治理关系以降低治理成本。(4)探索空气污染约束下新型城镇化建设路径。当前中国城镇化建设已到了由量到质转变的关键时期,城市群则是城镇化的高级形式,未来中国城镇化建设的主要方向是新型城镇化和以国家中心城市为核心的城市群建设,因此探索空气污染约束下的新型城镇化和城市群建设模式以促进经济高质量增长是未来的研究重点。为达到上述目标,需要环境科学、生态学、地理学、经济学、管理学、公共管理等领域研究者通力合作,真正实现跨学科交叉研究与深度融合。

#### 参考文献:

- 蔡海亚 徐盈之,2018:《产业协同集聚、贸易开放与雾霾污染》,《中国人口·资源与环境》第6期。  
 东童童 李欣 刘乃全,2015:《空间视角下工业集聚对雾霾污染的影响——理论与经验研究》,《经济管理》第9期。  
 方创琳,2019:《中国新型城镇化高质量发展的规律性与重点方向》,《地理研究》第1期。  
 高明 郭峰,2018:《城市化对空气质量的影响研究——以京津冀城市群为例》,《环境经济研究》第3期。  
 国务院发展研究中心 世界银行联合课题组,2014:《中国:推进高效、包容、可持续的城镇化》,《管理世界》第4期。  
 黄永明 何凌云,2013:《城市化、环境污染与居民主观幸福感——来自中国的经验证据》,《中国软科学》第12期。  
 冷艳丽 杜思正,2015:《产业结构、城市化与雾霾污染》,《中国科技论坛》第9期。  
 黎文靖 郑曼妮,2016:《空气污染的治理机制及其作用效果——来自地级市的经验数据》,《中国工业经济》第4期。

- 李静萍 周景博,2017:《工业化与城市化对中国城市空气质量影响路径差异的研究》,《统计研究》第4期。
- 李茜 宋金平 张建辉,2013:《中国城市化对环境空气质量影响的演化规律研究》,《环境科学学报》第9期。
- 李欣 曹建华 孙星,2017:《空间视角下城市化对雾霾污染的影响分析——以长三角区域为例》,《环境经济研究》第2期。
- 林伯强 刘希颖,2010:《中国城市化阶段的碳排放:影响因素和减排策略》,《经济研究》第8期。
- 梁若冰 席鹏辉,2016:《轨道交通对空气污染的异质性影响——基于RDID方法的经验研究》,《中国工业经济》第3期。
- 梁伟 杨明 张延伟,2017:《城镇化率的提升必然加剧雾霾污染吗——兼论城镇化与雾霾污染的空间溢出效应》,《地理研究》第10期。
- 刘晨跃 徐盈之,2017:《城镇化如何影响雾霾污染治理?——基于中介效应的实证研究》,《经济管理》第8期。
- 罗知 李浩然,2018:《“大气十条”政策的实施对空气质量的影响》,《中国工业经济》第9期。
- 孙中伟 孙承琳,2018:《警惕空气污染诱发“逆城市化”:基于流动人口城市居留意愿的经验分析》,《华南师范大学学报(社会科学版)》第5期。
- 王冰 贺璇,2014:《中国城市大气污染治理概论》,《城市问题》第12期。
- 王兴杰 谢高地 岳书平,2015:《经济增长和人口集聚对城市环境空气质量的影响及区域分异——以第一阶段实施新空气质量标准的74个城市为例》,《经济地理》第2期。
- 王琰,2017:《多维度城市化对空气质量的影响:基于中国城市数据的实证检验》,《东南大学学报(哲学社会科学版)》第4期。
- 王耀中 陈洁 彭新宇,2014:《2012—2013年城市化学术研究的国际动态》,《经济学动态》第2期。
- 席鹏辉 梁若冰,2015a:《城市空气质量与环境移民——基于模糊断点模型的经验研究》,《经济科学》第4期。
- 席鹏辉 梁若冰,2015b:《空气污染对地方环保投入的影响——基于多断点回归设计》,《统计研究》第9期。
- 肖挺,2016:《环境质量是劳动人口流动的主导因素吗?——“逃离北上广”现象的一种解读》,《经济评论》第2期。
- 谢杨 等,2016:《PM<sub>2.5</sub>污染对京津冀地区人群健康影响和经济影响》,《中国人口·资源与环境》第11期。
- 许珊 邹滨 宫俊霞,2019:《2001~2015年中国城镇化与PM<sub>2.5</sub>浓度时空关联特征》,《中国环境科学》第2期。
- 杨浩 张灵,2018:《京津冀地区产业结构演进及城市化进程对空气质量影响的实证研究》,《中国人口·资源与环境》第6期。
- 杨乐超 董雪丽 徐波,2018:《汾渭平原雾霾时空变化特征及其溢出效应》,《环境经济研究》第3期。
- 杨青林 赵荣钦 邢月,2017:《中国城市碳排放的空间分布特征研究》,《环境经济研究》第1期。
- 姚尧 等,2017:《中国城市NO<sub>2</sub>浓度的时空分布及社会经济驱动力》,《资源科学》第7期。
- 易兰 周忆南 李朝鹏,2018:《城市机动车限行政策对雾霾污染治理的成效分析》,《中国人口·资源与环境》第10期。
- 于冠一 修春亮,2018:《辽宁省城市化进程对雾霾污染的影响和溢出效应》,《经济地理》第4期。
- 袁晓玲 李浩 杨万平,2018:《机动车限行政策能否有效改善西安市的空气质量》,《统计与信息论坛》第6期。
- 臧星华 鲁琅涛 姚宏,2015:《中国主要大气污染物的时空分布特征研究》,《生态环境学报》第8期。
- 赵红 陈雨蒙,2013:《我国城市化进程与减少碳排放的关系研究》,《中国软科学》第3期。
- 周景坤,2017:《从城市发展水平与年均降雨量的关系探究我国雾霾污染问题研究——基于2013年73个主要城市截面数据的分析》,《干旱区资源与环境》第8期。
- 朱志胜,2015:《劳动供给对城市空气污染敏感吗?——基于2012年全国流动人口动态监测数据的实证检验》,《经济与管理研究》第11期。
- 张可,2016:《环境污染对城市网络结构的影响研究》,《社会科学》第12期。
- Cao, Z. et al(2016), “CO<sub>2</sub> emissions and urbanization correlation in China based on threshold analysis”, *Ecological Indicators* 61:193—201.
- Chen, Y. Y. et al(2013), “Evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China’s Huai River policy”, *PNAS* 110(32):12936—12941.
- Chen, C. H. et al(2006), “Reductions in emissions of local air pollutants and co-benefits of Chinese energy policy: A Shanghai case study”, *Energy Policy* 34(6):754—762.
- Chen, Y. & A. Whalley(2012), “Green infrastructure: The effects of urban rail transit on air quality”, *American Economic Journal: Economic Policy* 4(1):58—97.
- Dong, X. & G. Yuan(2011), “China’s greenhouse gas emissions’ dynamic effects in the process of its urbanization: A

- perspective from shocks decomposition under long-term constraints”, *Energy Procedia* 5:1660–1665.
- Du, Y. et al(2018), “Direct and spillover effects of urbanization on  $PM_{2.5}$  concentrations in China’s top three urban agglomerations”, *Journal of Cleaner Production* 190:72–83.
- Fan, C. et al(2018), “Examining the impacts of urban form on air pollutant emissions: Evidence from China”, *Journal of Environmental Management* 212:405–414.
- Fang, C. et al(2015), “Changing urban forms and carbon dioxide emissions in China: A case study of 30 provincial capital cities”, *Applied Energy* 158:519–531.
- Han, L. et al(2014), “Impact of urbanization level on urban air quality: A case of fine particles ( $PM_{2.5}$ ) in Chinese cities”, *Environmental Pollution* 194:163–170.
- Han, L. et al(2016), “An optimum city size? The scaling relationship for urban population and fine particulate ( $PM_{2.5}$ ) concentration”, *Environmental Pollution* 208:96–101.
- Han, L. et al(2018), “Urbanization strategy and environmental changes: An insight with relationship between population change and fine particulate pollution”, *Science of the Total Environment* 642:789–799.
- Hao, Y. & Y. Liu(2016), “The influential factors of urban  $PM_{2.5}$  concentrations in China: A spatial econometric analysis”, *Journal of Cleaner Production* 112:1443–1453.
- He, Z. et al(2017), “Impact of urbanization on energy related  $CO_2$  emission at different development levels: Regional difference in China based on panel estimation”, *Journal of Cleaner Production* 140:1719–1730.
- Hu, J. et al(2014), “Spatial and temporal variability of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  over the North China Plain and the Yangtze River Delta, China”, *Atmospheric Environment* 95(1):598–609.
- Li, Y. et al(2015), “Does urbanization lead to more direct and indirect household carbon dioxide emissions? Evidence from China during 1996–2012”, *Journal of Cleaner Production* 102:103–114.
- Li, S. et al(2017), “Identifying the main contributors of air pollution in Beijing”, *Journal of Cleaner Production* 163:S359–S365.
- Lin, B. & X. Ouyang(2014), “Energy demand in China: Comparison of characteristics between the US and China in rapid urbanization stage”, *Energy Conversion & Management* 79:128–139.
- Lin, B. & J. Zhu(2018), “Changes in urban air quality during urbanization in China”, *Journal of Cleaner Production* 188:312–321.
- Liu, H. et al(2017), “The effect of natural and anthropogenic factors on haze pollution in Chinese cities: A spatial econometrics approach”, *Journal of Cleaner Production* 165:323–333.
- Luo, K. et al(2018), “ $PM_{2.5}$  mitigation in China: Socioeconomic determinants of concentrations and differential control policies”, *Journal of Environmental Management* 213:47–55.
- Morgenstern, R. et al(2004), “The ancillary carbon benefits of  $SO_2$  reductions from a small-boiler policy in Taiyuan, PRC”, *Journal of Environment & Development* 13(2):140–155.
- She, Q. N. et al(2017), “Air quality and its response to satellite-derived urban form in the Yangtze River Delta, China”, *Ecological Indicators* 75:297–306.
- Shen, H. et al(2017), “Urbanization-induced population migration has reduced ambient  $PM_{2.5}$  concentrations in China”, *Science Advances* 3(7):e1700300.
- Sun, C. et al(2014), “Restricting driving for better traffic and clearer skies: Did it work in Beijing?”, *Transport Policy* 32(1):34–41.
- van Donkelaar, A. et al(2010), “Global estimates of ambient fine particulate matter concentrations from satellite-based aerosol optical depth: Development and application”, *Environmental Health Perspectives* 118(6):847–855.
- Viard, V. B. & S. Fu(2015), “The effect of Beijing’s driving restrictions on pollution and economic activity”, *Journal of Public Economics* 125(8):98–115.
- Wang, Q. et al(2016), “Exploring the relationship between urbanization, energy consumption, and  $CO_2$  emissions in different provinces of China”, *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 54:1563–1579.
- Wang, S. et al(2014), “Exploring the relationship between urbanization and the eco-environment—A case study of Beijing-Tianjin-Hebei region”, *Ecological Indicators* 45:171–183.
- Wang, X. et al(2018), “Responses of  $PM_{2.5}$  pollution to urbanization in China”, *Energy Policy* 123:602–610.

- Wang, Y. et al(2017), “Inter-regional and sectoral linkage analysis of air pollution in Beijing-Tianjin-Hebei (Jing-Jin-Ji) urban agglomeration of China”, *Journal of Cleaner Production* 165:1436–1444.
- Wang, Z. & C. Fang(2016), “Spatial-temporal characteristics and determinants of PM<sub>2.5</sub> in the Bohai Rim Urban Agglomeration”, *Chemosphere* 148:148–162.
- Wu, J. et al(2014), “Study on the relationship between urbanization and fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) concentration and its implication in China”, *Journal of Cleaner Production* 182:872–882.
- Xu, B. & B. Lin(2015), “How industrialization and urbanization process impacts on CO<sub>2</sub> emissions in China: Evidence from nonparametric additive regression models”, *Energy Economics* 48:188–202.
- Xu, B. & B. Lin(2016), “Regional differences of pollution emissions in China: Contributing factors and mitigation strategies”, *Journal of Cleaner Production* 112(4):1454–1463.
- Xu, B. et al(2016), “A dynamic analysis of air pollution emissions in China: Evidence from nonparametric additive regression models”, *Ecological Indicators* 63:346–358.
- Yang, X. et al(2017), “The impact of anthropogenic emissions and meteorological conditions on the spatial variation of ambient SO<sub>2</sub> concentrations: A panel study of 113 Chinese cities”, *Science of the Total Environment* 584–585: 318–328.
- Zhang, H. et al(2016), “Exploring spatiotemporal patterns of PM<sub>2.5</sub> in China based on ground-level observations for 190 cities”, *Environmental Pollution* 216:559–567.
- Zhao, D. et al(2018), “Air pollution and its influential factors in China’s hot spots”, *Journal of Cleaner Production* 185:619–627.

### Retrospect and Prospect of Research on Air Pollution in the Context of China’s Urbanization

YUAN Xiaoling<sup>1</sup> LI Zhaopeng<sup>1</sup> FANG Kai<sup>2</sup>

(Xi’an Jiaotong University, Xi’an, China; 2. Zhejiang University, Hangzhou, China)

**Abstract:** Since the reform and opening-up, China’s urbanization has made great progress. However, air pollution has been a serious problem at the same time. To promote high-quality economic development, it is of vital importance to explore the interactive mechanism between urbanization and air pollution. After clarifying the concepts of urbanization and air pollution, this paper reviews the related fields of research in four aspects: (1) the spatial-temporal distribution of air pollution and its driving forces; (2) the impact of urbanization on air pollution; (3) the impact of air pollution on urbanization; and (4) the control of air pollution. In terms of the controversies surrounding the existence of the EKC curve and how urbanization affects air pollution, this paper discusses in depth the root causes of the differences and even contradictions in existing literature, and argues that the coupling relationship between urbanization and air pollution should be investigated by consolidating the theoretical framework, constructing integrated urbanization development system and strengthening comparative case studies. Finally, this paper concludes that finding the optimal path for new-type urbanization under the constraint of air pollution is the key to promoting high-quality socio-economic development.

**Keywords:** Urbanization; Air Pollution; Control

(责任编辑:谭易)

(校对:孙志超)