

交通拥堵与雾霾污染: 基于职住平衡的新视角^{*}

王卉彤 刘传明 赵浚竹

内容提要: 本文引入职住平衡概念, 将交通拥堵作为调节变量, 对职住平衡影响雾霾污染的理论机制进行深入分析, 提出研究假说; 并以中国 45 个城市为研究样本, 运用基于海量交通出行数据的高德拥堵延时指数和综合污染指数, 采用空间截面模型对研究假说进行验证。研究发现: (1) 45 个城市的雾霾污染呈现出典型的空间集聚和空间依赖特征。(2) 交通拥堵在职住平衡与雾霾污染之间起到调节作用, 职住平衡对雾霾污染的偏回归系数为负值, 说明职住平衡有助于减少雾霾污染; 交通拥堵对雾霾污染的偏回归系数为正值, 说明交通拥堵加剧了城市雾霾污染; 随着交通拥堵程度的增加, 职住平衡的减霾效应逐渐减小。(3) 第二产业占比显著地增加了雾霾污染, 而经济发展、公共汽车拥有量、外商直接投资有助于减缓雾霾污染。本文结论对职住平衡减少城市雾霾污染提供了有益的政策启示。

关键词: 职住平衡 高德拥堵延时指数 综合污染指数 空间计量 调节效应

作者简介: 王卉彤, 中央财经大学财经研究院研究员、教授, 100081;

刘传明, 中央财经大学经济学院博士研究生, 100081;

赵浚竹, 中央财经大学财经研究院助理研究员, 100081。

中图分类号: F124.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-8102(2018)01-0147-14

一、引言与文献综述

近年来, 大范围的雾霾多次笼罩我国中部和东部地区, 几乎涵盖了所有发达经济区, 并且正呈持续扩张态势(马丽梅等, 2016)。张庆丰、克鲁克斯(2012)列举的一个关键事实是中国最大的 500 个城市中, 只有不到 1% 达到世界卫生组织推荐的空气质量标准; 世界上污染最严重的 10 个城市之中有 7 个在中国。2016 年 12 月, 中国经历了 2016 年范围最广、持续时间最长、强度最高的雾霾天气, 其影响范围高达 17 个省市, 面积为 142 万平方公里。河北石家庄一些监测点的 $PM_{2.5}$ 指数

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金青年项目“省以下地方政府竞争模式研究: 性质特征与经济影响”(71503289); 教育部哲学社会科学重大课题“中国经济发展新常态的内涵、特征及其演变逻辑研究”(15JZD011)。作者感谢匿名审稿人提出的宝贵意见。文责自负。

一度突破 1000。^① 雾霾污染爆发的频次日益增多以及对社会危害的广度和深度不断加强,给人们身体健康和经济社会发展带来极为严重的危害。张庆丰、克鲁克斯(2012)称中国空气污染每年造成的经济损失,以疾病成本估算约为 GDP 的 1.2%,以支付意愿估算则高达 GDP 的 3.8%,以 2011 年中国 GDP 的 471564 亿元计,每年损失分别为 5658.8 亿元和 17919 亿元。随着雾霾污染造成的经济社会损失不断增加,揭示雾霾污染的形成原因成为学术界普遍关注的热点问题。

已有文献从经济社会视角揭示雾霾污染的形成原因,主要包括:(1)将经济发展、产业结构、能源结构作为雾霾污染的重要影响因素。马丽梅、张晓(2014b)利用 2001–2010 年中国 31 个省份的 $PM_{2.5}$ 数据,利用 SLM 模型和 SEM 模型对雾霾污染的影响因素进行研究,发现随着经济的发展,雾霾污染水平不断加剧;产业转移加重了雾霾污染的空间溢出和空间联动效应;煤炭消耗占总能源消耗比重的增多是 $PM_{2.5}$ 上升的重要因素。严雅雪、齐绍洲(2017)将中国 241 个城市作为研究样本,对中国城市雾霾污染和 FDI 的空间溢出效应进行实证考察,研究发现 FDI 显著加剧了城市雾霾污染状况,并且这种影响在区域之间存在差异。(2)将交通运输作为雾霾污染的主要影响因素。邵帅等(2016)基于 1998–2012 年中国省际 $PM_{2.5}$ 数据,采用动态面板数据模型及其系统的广义矩估计方法对雾霾污染的影响因素进行研究,发现交通运输是雾霾污染加剧的重要驱动因素。马丽梅等(2016)利用卫星搭载设备,通过对气溶胶光学厚度(AOD)的测算得出 2001–2010 年中国 31 个省市的 $PM_{2.5}$ 人口加权浓度值,并采用 SDM 模型对交通拥堵与雾霾污染之间的关系进行研究,发现交通拥堵是雾霾污染最直接的影响因素且区域之间存在显著差异,东部地区交通拥堵对雾霾的影响尤为显著,而中南和西南地区影响系数远远低于东部地区。梁若冰、席鹏辉(2016)基于 RDID 方法研究轨道交通对空气污染的影响,发现城市轨道交通的开通对空气污染具有显著的减排效应;轨道交通降低了与机动车相关的 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 和 NO 排放,交通高峰期轨道交通的减排效应要高于非交通高峰期。(3)将城市蔓延和人口规模作为雾霾污染的主要影响因素。秦蒙等(2016)采用 2001–2013 年中国 264 个地级市的 $PM_{2.5}$ 数据,从城市空间视角考察城市蔓延对雾霾污染的成因,发现城市蔓延和人口规模的提高会加剧城市雾霾污染。

已有文献为后续研究提供了理论基础,但遗憾的是,现有研究仍存在以下四方面的问题:(1)在已有文献中,学者们从经济发展、产业结构、能源结构等方面对雾霾污染成因的探讨相对较多,较少从职住平衡的角度来考虑雾霾污染的形成原因,而随着中国城市空间结构的调整,城市职住分离问题越来越突出,职住分离成为影响雾霾污染不可忽视的因素。(2)已有文献仅将交通拥堵作为雾霾污染的影响因素纳入计量模型,仅实证分析了交通拥堵对雾霾污染的回归关系(马丽梅等 2016),并没有进行相关的理论机制分析;此外,已有研究所采用的交通拥堵指标实际上只是衡量交通运输状况并不能反映真实交通拥堵水平。(3)衡量雾霾污染的指标较为单一。现有研究以 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 与雾霾污染呈极高相关性为由,在选取指标时仅将 $PM_{2.5}$ 或 PM_{10} 作为雾霾污染的衡量指标,而事实上,雾霾污染的构成除了 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 之外,还有二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2)、臭氧(O_3)、一氧化碳(CO)等污染物(马丽梅等 2016;秦蒙等 2016;马丽梅、张晓 2014a;王书斌、徐盈之 2015;王敏、黄滢 2015;Donkelaar 等 2010),采用单一的指标表征雾霾污染水平,实证结果可能存在偏误。(4)研究的空间尺度过大。现有研究采用的多是省级数据,但事实上各省下属地级市由于在产业结构、能源结构、人口密度等因素上表现出显著的空间异质性,雾霾污染也存在显著的空间差异性。

^① 参见《2016 年最强雾霾来袭 全国 17 省份已“沦陷”》(<http://mt.sohu.com/20161220/n476421036.shtml>)。

为了弥补已有研究的空白,本文有以下四点创新:(1)本文引入地理学界及城市规划领域受到关注的职住平衡概念,将交通拥堵作为调节变量,对职住平衡影响雾霾污染的理论机制进行深入分析,并提出研究假说,采用空间计量模型对研究假说进行验证。(2)本文采用高德拥堵延时指数作为城市交通拥堵的衡量指标。高德拥堵延时指数是基于高德积累的海量交通出行数据,通过大数据挖掘计算所得,通用算法与理论保证了数据的合理性与科学性。(3)本文采用空气质量指数(Air Quality Index, AQI)作为综合污染指数衡量城市雾霾污染,相比于单一的 $PM_{2.5}$ 或 PM_{10} 指标,综合污染指数 AQI 能更全面地反映城市雾霾污染的真实状况。(4)本文采用城市样本进行研究,避免因省际尺度较大忽略各城市经济发展水平、产业结构等方面的差异而造成的实证结果偏误。

二、理论机制与研究假说

职住平衡和职住分离概念的提出最早见于城市规划领域,是治理城市病过程中提出的较为理想的理论模型。雾霾污染作为最典型的城市病,揭示其产生的原因一直是学术界广泛关注的重要课题,然而,目前尚缺乏从职住平衡视角来考察雾霾污染的研究。本文从职住平衡视角来考察交通拥堵对职住平衡与雾霾污染之间关系的影响,我们面临的问题是,职住平衡与雾霾污染的关系是什么?交通拥堵在职住平衡与雾霾污染之间究竟起到什么作用?为了对上述问题进行回答,本文构建如下理论机制(见图1)。职住平衡是指在一定的范围内,居民中劳动者的数量和就业岗位的数量大致相等的状态。当城市处于职住平衡状态时,大部分居民可以就近工作;通勤交通可采用步行、自行车或者其他非机动车方式,即使使用机动车,出行距离和时间也比较短,限定在一个合理的范围内(Cervero, 1991; Giuliano 和 Small, 1991)。当居民中劳动者的数量和就业岗位的数量不相等时,便出现了职住分离现象。职住分离状态下居民通常采用机动车作为交通工具,使得通勤距离加大、通勤时间延长,进而导致大气污染物排放量增加,加剧雾霾污染程度。此外,职住分离会导致长距离、大规模、潮汐式的交通需求增加,在交通供给不充分、城市管理效率偏低的情况下,交通的供需矛盾日益突出,导致日益严重的交通拥堵。与交通顺畅条件下相比,交通拥堵状态下机动车产生的污染物会更多,因此,日益严重的交通拥堵会加剧雾霾污染,交通拥堵越严重,职住分离对雾霾污染的影响程度就越大。

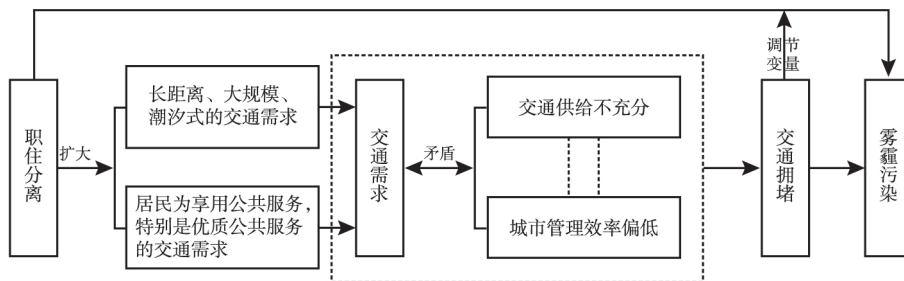


图1 理论关系示意图

(一) 职住平衡与雾霾污染的关系

城市规划界普遍认为当城市处于职住平衡状态时,能够有效地缓解城市的大气污染问题(Cervero, 1991; Giuliano 和 Small, 1991; 周伟林, 2013; 孟晓晨等, 2009)。雾霾污染的产生除了受到

社会经济因素、自然因素的影响之外,还受到城市空间结构的影响(秦蒙等 2014)。城市居民的就业地和居住地之间距离较远时,城市便处于职住分离状态,雾霾污染就越严重。职住分离对雾霾污染的影响主要通过两个传导机制来实现。一方面,当城市处于职住分离状态时,居民在就业地和居住地之间的通勤交通工具将更多地采用私家车等机动车(Glaser 和 Kahn 2010),与职住平衡状态下所采用的步行、自行车等交通方式相比,采用私家车等机动车将大大增加污染物的排放量(郑思齐、霍焱 2010)。另一方面,当城市处于职住分离状态时,城市就业地和居住地之间的距离较远,城市居民的通勤距离加大、通勤时间延长。由此导致机动车在较远的距离、较长的时间内排放的大气污染物增多,从而加剧了雾霾污染的程度(马丽梅等 2016)。根据以上两方面机制,我们认为当城市处于职住平衡状态时能够减少雾霾污染,而职住分离则会加剧城市雾霾污染程度。

目前,职住平衡对雾霾污染影响的研究主要集中在地理学领域,认为职住平衡通过缩短通勤距离和通勤时间减少雾霾污染。郭文伯等(2015)利用北京市(天通苑、亦庄)居民出行的 GPS 数据和活动日志调查数据对不同交通方式下居民出行的空气污染暴露度进行研究,发现职住分离程度越高则空气污染暴露度越高。肖琛等(2014)指出,20 世纪 80 年代美国的卫星城运动导致的职住分离造成了严重的交通拥堵和大气污染。Cervero(1991)以及和 Giuliano 和 Small(1991)研究表明,当一个地区职住平衡时,大部分居民可以就近工作,通勤交通可采用步行、自行车或其他非机动车方式,即使是使用机动车,出行距离和时间也比较短,限定在一个合理的范围内,这样有利于减少机动车尤其是小汽车的使用,从而减少交通拥堵和雾霾污染。根据上述理论机制和相关文献,本文提出以下研究假说:

H1:职住平衡对雾霾污染具有显著的负向影响。

(二) 交通拥堵与雾霾污染的关系

交通拥堵对雾霾污染的影响主要通过两方面的传导机制来实现:一方面,交通拥堵延长了机动车在不熄火状态下的行驶时间,行驶时间越长排放的雾霾污染物就越多,从而加剧雾霾污染。另一方面,交通拥堵会导致机动车发动机中的燃料不充分燃烧,从而产生更多汽车尾气,加剧雾霾污染程度。2013 年北京交通大学完成的一项关于汽车启停对燃油消耗和汽车尾气排放影响的实验结果表明,汽车在怠速状态下,PM_{2.5}的排放是顺畅行驶时的 5 倍以上。2014 年北京市 PM_{2.5}污染源调查结果显示,机动车尾气占到本地污染排放总量的 31.1%,而拥堵状态下机动车的尾气排放要比正常行驶时高出 50%。因此,交通拥堵会加剧雾霾污染程度。

现有文献中交通拥堵对雾霾污染的研究主要是将交通拥堵作为雾霾污染的一个影响因素。邵帅等(2016)肯定了交通运输的机动车尾气是雾霾污染的主要来源,选取单位面积公路里程作为交通运输强度的衡量指标,并采用系统的广义矩估计对其进行经验检验,发现交通运输是雾霾污染的重要驱动因素。马丽梅等(2016)从雾霾污染的成因出发,认为汽车尾气是导致雾霾污染的重要因素,并将交通因素分为交通压力和交通拥堵程度两个方面纳入计量模型。回归结果显示交通压力指标并未通过显著性水平检验,而东部地区交通拥堵指标的系数为正值且通过显著性检验,这意味着交通拥堵已经成为加剧东部地区雾霾污染的一大诱因。根据交通拥堵导致雾霾污染的机制和相关研究文献,本文提出以下研究假说:

H2:交通拥堵显著加剧雾霾污染水平,对雾霾污染具有正向影响。

(三) 交通拥堵在职住平衡与雾霾污染之间起调节作用

城市交通拥堵问题并不只是交通系统单方面的问题,交通拥堵还与不合理的土地利用格局有关,土地利用的空间格局不合理所带来的巨大交通需求与交通供给不充分、城市管理效率偏低之

间的矛盾(郑思齐等 2015)是导致交通拥堵的重要原因。本文从供给和需求两个方面对职住分离影响交通拥堵的理论机制进行分析。

在需求方面:(1)职住分离导致城市居民就业地与居住地之间的通勤距离和通勤时间逐渐延长,增加了城市的交通需求。然而这种交通需求在不同的时间段具有不同的特征,潮汐式的交通需求与居民的上下班时间有密切关联,具体表现为早高峰和晚高峰交通流量较大,由此导致的长距离、大规模、潮汐式的交通需求逐渐增大。(2)职住分离导致公共服务的规划配置出现空间错配,居民为享用公共服务(特别是优质公共服务)出现长距离、大规模的交通需求(郑思齐等, 2016)。公共服务设施的建设直接影响到人们的生活质量,因此公共服务设施主要围绕着生活区进行布局。然而,市中心优质的公共服务在职住分离过程中并没有随着人口的迁出而迁出,同时新建人口居住地优质公共服务设施的修建存在一定的滞后性,导致学校、医院等优质的公共服务依然集中在市中心。人们为了追求优质的生活品质,仍需到市中心享受优质的公共服务,在此过程中产生了较大的交通需求。城市外围居住社区附近的公共服务设施及服务的完善需要相对较长的发展过程,以北京为例,《北京城市总体规划(2004-2020 年)》提出在昌平、通州、顺义、亦庄等地规划新城,用以疏散主城区的产业和人口,在新城实现新的职住平衡格局。然而从目前情况来看,这些居住区的居住功能仍然过于单一,公共服务资源(特别是优质的公共服务,如重点小学和三甲医院等)过度集中于中心城区,许多居民不得不为享用公共服务而承担长距离、大规模的交通需求。

在供给方面:(1)交通设施供给不充分。一方面,我国城市机动车保有量的增长速度远远大于城市交通基础设施增长的速度,目前的交通供给难以满足日益增长的交通需求。另一方面,交通的供给主要集中在高速路、立交桥、地铁、轻轨等高投资的交通设施上,而城市支路网建设和常规公共汽车的建设往往在城市规划中被忽略,导致城市交通支路网密度较低。随着大量人口涌入城市以及私家车的普及,单位交通占有量正在不断的减小。(2)城市交通管理效率偏低。我国机动车的管理体制中存在较多问题,如道路的安全保养和维护、机动车的审查和检验、驾驶人员的培训教育等具体管理存在着交叉重复、标准不一、政出多门等现象,这大大降低了交通的管理效率。郑思齐等(2013)的研究显示,北京市工作日早晚高峰时段家长机动车接送小学生上下学的交通负荷约占该时段全部交通流的 10%,而这部分机动车出行将该时段的道路交通拥堵程度提高了约 15%~20%,职住分离加剧了交通拥堵程度,进而加剧了雾霾污染程度。根据 H1 和 H2 以及上述理论分析,本文推断,当交通拥堵越严重时,职住分离的增霾效应越强,据此本文提出以下研究假说:

H3:交通拥堵在职住平衡(分离)和雾霾污染之间起到调节作用。交通拥堵越严重,职住分离的增霾效应越大,职住平衡的减霾效应越小。

三、模型构建与数据处理

本文将中国 45 个城市作为研究样本,^①采用空间计量模型对上述研究假说进行验证,考察交

① 由于《2015 年度中国主要城市交通分析报告》中仅报告了 45 个城市的交通拥堵延时指数,为了确保指标选择的科学性 & 合理性,本文选取 45 个城市作为研究样本,虽然从样本量上来说相对较少,但仍具有代表性。从城市的分布来看,45 个城市基本覆盖了东部、中部、西部、东北四大区域;从经济发展水平来看,45 个城市分布在发达地区和欠发达地区;从数据的方法论角度来看,空间计量模型可以对 45 个城市的截面数据进行稳健的估计。为了确保计量回归的稳健性,本文通过替换变量的方式对回归结果进行了稳健性检验。45 个城市包括:北京、天津、石家庄、太原、大连、沈阳、长春、哈尔滨、上海、南京、苏州、扬州、徐州、常州、南通、无锡、杭州、金华、绍兴、温州、宁波、泉州、台州、嘉兴、合肥、厦门、济南、青岛、福州、潍坊、郑州、武汉、长沙、广州、深圳、佛山、珠海、惠州、东莞、中山、南宁、重庆、成都、昆明、西安。

通拥堵作为调节变量时,职住平衡对雾霾污染的影响。

(一) 模型选择依据

空间集聚和空间依赖是空间计量建模的前提和基础,为了对中国 45 个城市雾霾污染的空间集聚特征和空间依赖特征进行检验,本文在 ArcGIS 平台的支持下,测算了全局 Moran 指数和 Moran 散点图。从 45 个城市雾霾污染的空间分布来看,随着区域协同发展战略的实施以及城镇化的逐步推进,45 个城市雾霾污染呈现出典型的空间集聚特征。即雾霾污染的空间分布具有四个明显的特征:雾霾污染较严重的区域主要集中在京津冀、环渤海、长三角地区;京津冀地区的雾霾污染最严重,且呈连片蔓延发展趋势;雾霾污染呈空间集聚特征,经济发达、人口稠密的地区雾霾污染较为严重;南方地区空气质量要优于北方地区,这与北方地区的能源消费结构、产业结构等经济因素密切相关。

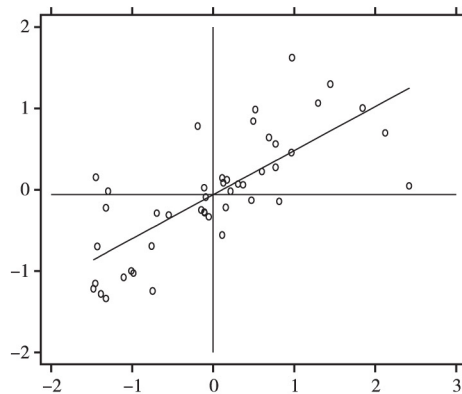


图2 雾霾污染的 Moran 散点图

本文通过测算 Moran's I 指数来进行空间相关性检验。本文采用 Moran's I 指数 (Anselin, 1988) 对中国 45 个城市雾霾污染的空间相关性进行实证考察,具体测算公式如(1)式:

$$Moran's I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (1)$$

其中, $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, n 为城市个数, w_{ij} 为空间权重矩阵元素, $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$ 则表示所有空间权重之和。本文以地理距离平方的倒数作为空间权重矩阵; x_i 表示第 i 城市雾霾污染的观测值。Moran's I 指数的取值范围为 $[-1, 1]$, 大于 0 时表示存在空间正相关; 小于 0 时表示空间负相关; 接近于 0 则表示空间分布是随机的; 若等于 0 则表示空间独立分布。Moran's I 指数绝对值表征空间相关程度的大小, 绝对值越大表明空间相关程度越大; 反之则越小。Moran's I 指数揭示了全局空间自相关, 而通过绘制 Moran 散点图可以直观地描绘局域的空间集聚特征。其中空间权重矩阵的设计原则采用的是地理距离平方的倒数, 表示随着地理距离的拉大, 雾霾污染的影响程度逐渐减小, 具体公式如(2)式:

$$\text{地理距离矩阵 } w_{ij} = \begin{cases} 1/d^2, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (2)$$

表 1 报告了中国 45 个城市雾霾污染分项污染物以及综合评价指标的 *Moran's I* 估计值及其显著性, 根据表 1 我们发现无论是分项污染物 (PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、CO、NO₂) 还是雾霾污染的综合评价指标, 雾霾污染的 *Moran's I* 的估计值全部为正, 且通过 1% 的显著性水平检验, 表明 45 个城市雾霾污染存在显著的空间集聚和依赖特征。 *Moran's I* 的大小反映了雾霾污染空间集聚的程度, 从表 1 我们可以看出 AQI 的 *Moran's I* 指数最高, 为 0.541。这说明中国城市雾霾污染水平相似的城市在空间上集中分布, 空间集聚特征明显。此外, 本文绘制了 2015 年城市雾霾污染的 *Moran* 散点图 (如图 2), 可以发现, 在地理距离权重下, 大多数城市位于第一 (高-高)、第三 (低-低) 象限, 进一步表明城市雾霾污染在空间上存在高度的集聚特征, 换言之, 雾霾污染的空间地理近邻效应对雾霾污染具有显著影响, 这与刘华军等 (2015) 的研究相一致。位于 HH 位置的城市有北京、天津、石家庄等, 这些城市大部分位于中国的北部, 以京津冀地区较为典型; 位于 LL 位置的城市有广州、深圳、珠海、佛山等, 这些城市主要位于中国的南部或沿海地区, 空气质量相对较好。

表 1 雾霾污染的 *Moran's I* 指数

变量	I	E(I)	sd(I)	Z	P-value
PM _{2.5}	0.501	-0.023	0.098	5.340	0.000
PM ₁₀	0.486	-0.023	0.098	5.209	0.000
SO ₂	0.338	-0.023	0.096	3.774	0.000
CO	0.328	-0.023	0.097	3.637	0.000
NO ₂	0.275	-0.023	0.099	3.017	0.000
O ₃	0.100	-0.023	0.098	1.248	0.106
AQI	0.541	-0.023	0.098	4.595	0.000

(二) 空间计量模型

通过对中国 45 个主要城市雾霾污染空间自相关指数的检验, 我们发现 45 个城市的雾霾污染呈典型的空間集聚和空間依赖特征。因此, 采用标准计量回归就违背了高斯-马尔科夫定理的假设条件, 回归结果将不具有良好的性质。因此, 本文将交通拥堵作为调节变量, 采用空间计量回归模型来分析职住平衡对中国雾霾污染的影响, 根据 Lesage 和 Pace (2008) 提出的空间计量模型的思想, 本文构建空间截面滞后模型 (SLM) 和空间截面误差模型 (SEM)。

1. 空间滞后模型 (Spatial Lag Model, SLM)。空间滞后模型主要用于研究相邻地区的行为, 对整个系统内其他地区存在的影响, 模型包含了解释变量的空间滞后性, 将解释变量的空间溢出引入模型中。空间滞后模型的表达式如 (3) 式所示:

$$AQI = \rho WAQI + \beta_1 job + \beta_2 traff + \beta_3 job \times traff + \beta_4 others + \varepsilon \quad (3)$$

其中, ρ 是空间自回归系数, 反映了解释变量在地理距离邻近区域的观测值对本地区观测值的影响。若 ρ 通过显著性检验, 即 $\rho \neq 0$, 表示地区之间确实存在着相互影响关系, 说明存在空间集聚和空间依赖特征。 W 为 $n \times n$ 的空间权重矩阵, $WAQI$ 为空间滞后因变量, ε 为随机误差项。空间滞后模型表示当所关注的雾霾污染变量存在空间相关性时, 如果仅考虑其自身的解释变量, 则不足

以很好地估计和预测该变量的变化趋势。 AQI 为雾霾污染水平 job 为职住平衡变量 $traff$ 为高德交通拥堵延时指数 $job \times traff$ 为职住平衡与交通拥堵的交互项 $others$ 为其他控制变量。

2. 空间误差模型 (Spatial Error Model, SEM)。该模型包括随机误差项的滞后项,侧重于关注因遗漏变量所导致的空间依赖性,即使自变量出现空间相关的因素并未被包含在现有揭示变量中,而被误差项吸收。空间误差模型可表示为公式(4):

$$\begin{aligned} AQI &= \beta_1 job + \beta_2 traff + \beta_3 job \times traff + \beta_4 others + \varepsilon \\ \varepsilon &= \lambda W\varepsilon + \mu \end{aligned} \quad (4)$$

其中 $W\varepsilon$ 为误差滞后项 λ 为误差项的空间自回归系数 λ 显著则说明误差项之间存在空间自相关 μ 为随机误差项。空间误差模型表示在截面个体发生的冲击会随着这一特殊的协方差结构形式而传递到相邻个体,而这一传递形式具有很长的时间延续性且是衰减的。

(三) 数据说明

1. 被解释变量。本文采用空气质量指数 (AQI) 作为衡量城市雾霾污染的综合指标。根据环保部 2012 年 2 月 29 日发布的《环境空气质量指数 (AQI) 技术规定 (试行)》(HJ633-2012), AQI 是定量描述空气质量状况的无量纲指数,是衡量空气质量的综合指标, AQI 越大则空气污染程度越严重,反之则空气质量越好。雾霾污染数据来源于国家环境保护部数据中心发布的空气质量指数日报数据 (<http://datacenter.mep.gov.cn/>)。为了描述 2015 年中国 45 个城市的雾霾污染情况,我们对每个城市全年 AQI 数据取均值。已有研究往往采用 $PM_{2.5}$ 浓度和 PM_{10} 浓度作为雾霾污染的衡量指标 (马丽梅等 2016; 秦蒙等 2016; 王书斌、徐盈之 2015; 王敏、黄滢 2015; Donkelaar 等 2010) 然而,现有研究已经证明了雾霾污染主要由二氧化硫 (SO_2)、二氧化氮 (NO_2)、粒径小于 $10\mu m$ 的颗粒物 (PM_{10})、粒径小于 $2.5\mu m$ 的颗粒物 ($PM_{2.5}$)、一氧化碳 (CO)、臭氧 (O_3) 等多种污染物构成,缺少将多种污染物拟合成一种污染指数的研究。若采用了单一污染物作为雾霾污染的衡量指标,则实证结果不能反映现实的要求。

2. 核心解释变量。本文采用就业-居住偏离指数来衡量城市的职住平衡状况,我们采用就业-居住偏离指数来判断不同城市的就业、居住功能是否吻合及以何种功能主导。就业-居住偏离指数的公式为式(5)所示:

$$R = (Y_i/Y)/(P_i/P) \quad (5)$$

上式中 R 为第 i 城市的就业居住偏离指数, Y 为第 i 城市的就业人口, Y_i 为市辖区的就业人口, P 为第 i 城市的居住人口, P_i 为市辖区的居住人口。 $R=1$ 时表明该城市就业与居住人口功能相配; $R>1$ 时是指就业人口比重高于居住人口比重,即就业功能强于居住功能; $R<1$ 时意味着就业人口比重低于居住人口比重,即居住功能占主导。我们设定职住平衡虚拟变量,当城市处于职住平衡状态时 $R=1$, 职住不平衡时 $R=0$ 。

交通拥堵指标:已有研究所选择的交通拥堵指标 (私人汽车拥有量与地区公路总长度之比、城市居民油品的生活消耗量与城市道路面积之比、路网密度等) 只能衡量城市的交通运输状况,并不能准确衡量交通拥堵程度。交通拥堵本质上是指由车辆较多所导致的车辆拥挤、行驶缓慢,与交通顺畅状态下相比出现延时的现象,因此,交通拥堵的衡量应该从延时的视角出发。本文采用的交通拥堵延时指数是基于高德积累的海量交通出行数据,通过大数据挖掘计算所得,该指数从交通拥堵给出行者带来时间成本的角度出发,客观描述了交通拥堵状况,是目前最准确衡量交通拥堵的指标。该指数是指城市居民平均一次出行实际旅行时间与自由流状态下旅行时间的比值。

拥堵延时指数越高,表示出行延时占出行时间的比例越大,表示交通越拥堵。本文采用的高德交通拥堵延时指数来源于高德地图发布的《2015 年度中国主要城市交通分析报告》。

3. 控制变量。(1) 产业结构(*indus*):我国现在处于工业化发展的高速阶段,工业是整个国民经济体系中消耗化石能源最多的行业,而构成雾霾污染的主要污染物大多来源于化石燃料的燃烧,因此,本文采用第二产业占地区生产总值的比值来反映产业结构状况。(2) 经济发展指标(*rgdp*):经济发展水平与雾霾污染之间的关系历来是学术界广泛关注的问题,本文采用人均 GDP 作为经济发展的衡量指标,来验证经济增长与雾霾污染之间的关系。(3) 公共交通发展水平(*bus*):公共交通发展水平能够有效地降低城市交通拥堵状况,一个城市的公共交通体系越发达,交通拥堵越轻;反之,公共交通体系不健全则交通拥堵越严重。公共交通发展水平越发达,越能有效地保持较为充足的交通供给,进而减少交通拥堵状况。本文采用城市公共汽车量来衡量公共交通发展状况。(4) 外商直接投资(FDI):现有研究将外商直接投资作为对外开放水平的代理指标(邵帅等 2016),考察其对省际雾霾污染的影响,多数文献采用外商直接投资作为环境污染的主要影响因素,围绕着“污染避难所假说”和“污染晕轮假说”进行研究(许和连、邓玉萍 2012),本文采用城市外商直接投资水平对城市雾霾污染进行考察。

四、实证分析

(一) 模型的诊断性检验

在进行分析之前需要对回归模型进行诊断和选择,对于空间截面回归模型的选择机制,Anselin(2005)给出了以下选择步骤:第一步,判断是否适合将空间因素引入模型,为此我们通过测算 Moran's I 指数,根据 Moran's I 指数以及显著性水平来判断是否引入空间因素。第二步,通过测算 LM-lag 和 LM-error 来选择 SLM 模型和 SEM 模型,如果 LM-lag 和 LM-error 中有一个通过了显著性水平检验,可以直接在 SLM 模型和 SEM 模型中进行选择。第三步,如果 LM-lag 和 LM-error 均通过了显著性水平检验,我们通过测算 Robust LM-lag 和 Robust LM-error 对模型继续诊断并选择,同理 Robust LM-Lag 和 Robust LM-error 分别对应 SLM 模型和 SEM 模型。

表 2 报告了模型选择诊断结果。我们发现 Moran's I 指数为 2.428 且通过了 1% 的显著性水平检验,说明城市雾霾污染存在显著的空间相关和空间集聚特征,普通的计量模型可能不再适用,需要引入空间因素。LM-lag 和 LM-error 通过了 10% 的显著性水平检验,我们需要进一步考察 Robust LM-lag 和 Robust LM-error 的诊断结果,表 2 的诊断结果显示 Robust LM-lag 和 Robust LM-error 均未通过显著性检验。由于地理距离邻近地区的雾霾污染对本地区存在空间溢出和空间依赖,且 LM-lag 通过了 10% 的显著性水平检验。因此,本文选择空间滞后模型(SLM)进行空间计量分析。

表 2 空间诊断性检验

检验方法	检验统计量	P-value
<i>Moran's I</i>	2.428	0.015
<i>LM-lag</i>	2.904	0.088
<i>Robust LM-lag</i>	0.001	0.973
<i>LM-error</i>	3.223	0.073
<i>Robust LM-error</i>	0.321	0.571

(二) 实证分析

表3中第(1)~(2)列分别表示未加控制变量的SLM模型、SEM模型,第(3)~(5)列分别表示加入控制变量的OLS模型、SLM模型、SEM模型。从空间视角来看,空间滞后系数 ρ 在地理距离权重下为正值,且通过了1%的显著性检验。这再次证明了中国45个城市雾霾污染存在显著的空间集聚特征,在自然因素和经济社会因素的共同作用下,一个城市的雾霾污染水平与地理距离邻近城市的雾霾污染存在高度的相关性。

表3 AQI的空间截面回归估计结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	SLM	SEM	OLS	SLM	SEM
常数项	104.604*** (20.401)	1.897** (0.952)	-31.548 (86.529)	22.271 (67.997)	-618.733 (1492.49)
<i>job</i>	-178.625* (103.39)	-194.798* (104.97)	-167.32 (103.96)	-258.29*** (82.969)	-166.616* (94.060)
<i>traff</i>	-48.423 (49.996)	-50.680 (47.406)	52.897 (68.217)	66.389 (52.827)	52.789 (61.797)
<i>job × traff</i>	120.296* (69.470)	131.886* (70.832)	109.318 (69.756)	180.341*** (56.269)	108.849* (63.115)
<i>lnrgdp</i>	—	—	-29.582** (12.289)	-37.224*** (9.657)	-29.493*** (11.14)
<i>indu</i>	—	—	43.955*** (13.177)	46.854*** (10.162)	44.563*** (12.035)
<i>bus</i>	—	—	-0.469 (0.288)	-0.661*** (0.227)	-0.476* (0.261)
<i>lnfdi</i>	—	—	-10.381** (4.534)	-8.572*** (3.529)	-10.589** (4.182)
ρ	60.851	—	—	81.586***	—
λ	—	-54.745**	—	—	0.935***
<i>Sigma</i>	20.165	20.104***	—	15.871***	18.576***
<i>Log-L</i>	-199.430	-199.208	—	-189.108	-195.335
<i>F-Test</i>	1.557***	0.1998	2.16***	3.261***	2.163***
<i>R-Adjust</i>	0.059	0.0144	0.156	0.284	0.1783
<i>obs</i>	45	45	45	45	45

注:***、**和*分别表示1%、5%和10%的显著性水平,括号内为统计量的标准误。

为了考察交通拥堵对职住平衡与雾霾污染关系的调节效应,本文在空间计量模型中引入职住平衡与交通拥堵的交互项。由于职住平衡和交通拥堵交互项的引入,采用空间计量模型进行参数估计时,交互变量对雾霾污染的影响效应就不仅仅是其本身的参数。本文根据伍德里奇(2003)提出的在含有交互项的计量模型中,对交互项中各变量的偏效应进行估计并检验偏效应系数显著性的方法,对职住平衡与交通拥堵的偏效应系数及其显著性进行估计。

具体而言,首先对空间计量模型中职住平衡、职住平衡与交通拥堵的交互项进行估计。模型

中在控制变量保持不变的条件下, 职住平衡对雾霾污染的偏效应为 $\partial_{AQI}/\partial_{job} = \beta_1 + \beta_3 \text{traff}$ 。我们将交通拥堵指数 traff 的实际平均值 0.3996、职住平衡的回归系数 β_1 、职住平衡与交通拥堵的交互项系数 β_3 代入上式, 可以计算职住平衡偏效应的估计值: $-258.29 + (180.341 \times 0.3996) = -186.226$ 。那么, 我们面临的问题是职住平衡偏效应的估计值 -186.226 是否在统计上通过了显著性水平检验? 我们根据伍德里奇 (2003) 提出的偏效应显著性检验的方法, 将 $(\text{traff} - 0.3996) \times \text{job}$ 代替职住平衡与交通拥堵的交互项 $\text{job} \times \text{traff}$ 进行重新回归, 即得到了职住平衡 job 的新系数 -186.226 在 $\text{traff} = 0.3996$ 时, 职住平衡对雾霾污染的偏效应系数的标准误、t 值以及 P 值, 在进行重新回归时模型中其他控制变量保持不变。新的回归中职住平衡对雾霾污染的偏效应 $\beta_1 + \beta_3 \times 0.3996 = -186.226$ 的 z 值为 96.655、标准差为 1.76、显著性水平为 0.078。在交通拥堵 traff 的均值水平上, 职住平衡对雾霾污染的偏效应通过了 10% 的显著性检验。换言之, 在空间计量模型中, 控制了职住平衡与交通拥堵的交互效应以后, 职住平衡缓解交通拥堵的减霾效应抵消掉了由于其他原因导致交通拥堵的增霾效应, 这两种效应的综合作用效果显著降低了城市雾霾污染水平, 假说 1 得到了验证。根据职住平衡的偏回归效应 $\partial_{AQI}/\partial_{job} = \beta_1 + \beta_3 \text{traff}$, 我们发现随着交通拥堵变量 traff 的增加, 职住平衡的减霾效应在不断减小, 因此交通拥堵作为调节变量时, 随着交通拥堵程度的增加, 职住平衡的减霾效应逐渐减小, 假说 3 得到了验证。

同样, 在其他控制变量保持不变的情况下, 交通拥堵对雾霾污染的偏效应为 $\partial_{AQI}/\partial_{traff} = \beta_2 + \beta_3 \text{job}$, 由于方程中职住平衡变量为虚拟变量, 当城市就业和居住处于平衡时, 职住平衡变量取 1, 将职住平衡变量以及交通拥堵的回归系数 β_2 代入上式, 我们就可以得到交通拥堵的偏回归系数的估计值: $66.389 + (180.341 \times 1) = 246.73$ 。同样, 我们根据伍德里奇 (2003) 的方法对估计值的显著性进行检验, 将 $(\text{job} - 1) \times \text{traff}$ 代替职住平衡与交通拥堵的交互项 $\text{job} \times \text{traff}$ 进行重新回归, 即得到了交通拥堵 traff 的新系数 246.73 在 $\text{job} = 1$ 时的标准差为 85.364, Z 值为 3.23, 显著性水平为 0.001。这说明, 职住平衡状态下交通拥堵对雾霾污染的偏效应通过了 1% 的显著性水平检验, 由此我们推断交通拥堵对雾霾污染存在显著的正向作用, 交通越拥堵, 雾霾污染越严重, 假说 2 得到了验证。当职住平衡变量取 0 时, 交通拥堵对雾霾污染的偏回归系数为 $66.389 + (180.341 \times 0) = 66.389$, 我们根据同样的方法得到了系数的标准差为 480.963, Z 值为 0.12, p 值为 0.901, 没有通过显著性水平检验。因此以职住平衡作为调节变量时得到的结论与现实并不符合, 进一步证明了交通拥堵作为职住平衡与雾霾污染的调节变量更加符合现实。

经济发展水平对雾霾污染的回归系数为 -37.224 , 通过了 1% 的显著性水平检验。随着经济发展水平的提高, 清洁技术逐步被开发并不断取代污染技术, 降低了单位产出的污染排放。第二产业占比对雾霾污染的回归系数为 46.854, 且通过了 1% 的显著性水平检验, 表明以高能耗、高污染为特征的第二产业占比的增加对雾霾污染具有显著的正向影响。第二产业中以煤炭占主导的能源消费结构, 导致了雾霾污染程度提高。公共交通发展水平对雾霾污染的回归系数为 -0.661 , 通过了 1% 的显著性水平检验, 说明发展公共交通有利于减少雾霾污染。外商直接投资对雾霾污染的回归系数为 -8.572 , 且通过了 1% 的显著性水平检验, 这意味着外商直接投资每提高 1%, 城市雾霾污染平均减少 8.572%。换言之, 外商直接投资显著减少了雾霾污染状况, 支持了“污染晕轮假说”, 这与邵帅等 (2016) 的研究相一致。

(三) 稳健性检验

为了检验回归结果是否具有较强的稳健性, 本文通过替换变量的方式对模型进行稳健性分析。在前文中我们采用高德全天拥堵延时指数衡量城市交通拥堵程度, 而在进行稳健性分析时,

我们采用高德高峰拥堵延时指数^①代替高德全天拥堵延时指数来衡量城市交通拥堵程度,采用职住平衡与高德高峰拥堵延时指数的交互项作为核心解释变量,在此基础上,仍然采用 SLM 模型和 SEM 模型进行空间计量回归。^②

同样,根据伍德里奇(2003)在含有交互项的模型中偏效应的估计方法,对稳健性检验中职住平衡和交通拥堵的偏效应系数进行经验估计。职住平衡的偏效应系数为 $\partial_{AQI}/\partial_{job} = \beta_1 + \beta_3 \text{traff}$,将回归系数代入上式中,则 $\partial_{AQI}/\partial_{job} = -217.689 + 130.619 \times 0.5332 = -148.04$,且将 $(\text{traff} - 0.5332) \times \text{job}$ 代替 $\text{job} \times \text{traff}$ 进行重新回归时,回归结果显示偏效应系数通过了 1% 的显著性水平检验。这说明当交通拥堵变量作为调节变量引入到模型中时,职住平衡对雾霾污染的影响依然显著为负,这与采用高德全天拥堵延时指数衡量交通拥堵的回归结果一致;同样,交通拥堵的偏回归效应均为正值,说明交通拥堵加剧了雾霾污染水平。因此稳健性分析的回归结果与前文的主要研究结论一致,说明无论是采用高德全天拥堵延时指数还是高德高峰拥堵延时指数来衡量交通拥堵状况,回归结果均具有稳健性。

五、结论与建议

(一) 研究结论

本文引入职住平衡概念,将交通拥堵作为调节变量构建职住平衡影响雾霾污染的理论框架,并提出研究假说。以 2015 年中国 45 个城市作为研究样本,运用空间计量模型对研究假说进行实证验证,研究发现:

1. 借助地理信息系统 ArcGIS 软件绘制的雾霾污染的空间分布图显示,中国 45 个城市雾霾污染呈现出典型的空间相关和空间集聚特征。*Moran's I* 的测算结果显示无论是分项污染物还是综合评价指标,雾霾污染的 *Moran's I* 的估计值全部为正且通过 1% 的显著性检验,说明中国城市雾霾污染存在显著的空间集聚和依赖特征。

2. 空间滞后模型的结果显示无论是否考虑控制变量,核心解释变量职住平衡对雾霾污染的偏回归系数均为负值,且均通过了 1% 的显著性检验,当城市处于职住平衡状态时能够显著地减少雾霾污染。交通拥堵指数的偏回归系数均为正值,说明交通拥堵加剧了雾霾污染程度。随着交通拥堵变量的增加,职住平衡的减霾效应在不断减小,因此交通拥堵作为调节变量时,随着交通拥堵程度的增加,职住平衡的减霾效应逐渐减小。

3. 控制变量中经济发展对雾霾污染的回归系数为负,说明伴随着城市经济的高速增长,雾霾污染得到了有效抑制。第二产业占比对雾霾污染的回归系数为正,表明以高能耗、高污染为特征的第二产业比重的增加对雾霾污染具有显著的正向影响。公共汽车拥有量对雾霾污染的回归结果为负,意味着公共交通越发达,越有利于降低雾霾污染程度。外商直接投资对雾霾污染的回归结果为负,说明外商直接投资对降低雾霾污染起到了显著作用。

(二) 政策建议

1. 从职住平衡与雾霾污染之间的关系来看,职住平衡通过减少通勤距离和通勤时间,从而有

① 由职住分离导致的大规模、潮汐式的交通需求主要集中于居民上下班时间,高峰拥堵延时指数能够反映城市交通拥堵情况。

② 稳健性分析的回归结果由于篇幅限制没有报告,如需要请向作者索取。

助于减少城市雾霾污染。在充分发挥市场作用的同时一定要注重政府在城市规划中促进城市职住平衡的作用。政府在进行城市规划时,要减少对生产要素向郊区转移的人为引导,更多发挥市场在城市空间配置中的作用,倡导紧凑、集约的城市空间格局,避免采取城市空间“一刀切”“摊大饼”的城市布局规划,促进城市职住平衡。

2. 着力扩大交通供给,提高交通管理效率。合理规划城市交通网络,提高道路和交通路线的通行能力,采用科学有效的手段提高运输和通行效率,加强交通管理解决秩序问题。大力推进公共交通建设,提高服务效率。采取严格的交通管控措施,通过减少或分散需求使供需平衡,以保证交通系统有效运行。合理的交通管控措施能够有效地减少交通拥堵,提高道路通行能力,提高道路附属设施的利用率,提供良好的道路运营环境。

3. 推动产业结构的优化升级,逐步推进转方式、调结构,重视新能源产业发展,创新发展可再生能源技术、节能减排技术、清洁煤技术及核能技术,大力推进节能环保和资源循环利用,加快构建以降低能耗为特征的工业、建筑、交通体系。要努力走在全球新能源汽车发展的前列,尽快确定新能源汽车的技术路线和市场推进措施。

参考文献:

1. 郭文伯、张艳、柴彦威《城市居民出行的空气污染暴露测度及其影响机制——北京市郊区社区的案例分析》,《地理研究》2015 年第 7 期。
2. 梁若冰、席鹏辉《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》2016 年第 3 期。
3. 刘华军、刘传明、杨霖《环境污染的空间溢出及其来源——基于网络分析视角的实证研究》,《经济学家》2015 年第 10 期。
4. 马丽梅、刘生龙、张晓《能源结构、交通模式与雾霾污染——基于空间计量模型的研究》,《财贸经济》2016 年第 1 期。
5. 马丽梅、张晓《区域大气污染空间效应及产业结构影响》,《中国人口·资源与环境》2014a 年第 7 期。
6. 马丽梅、张晓《中国雾霾污染的空间效应及经济、能源结构影响》,《中国工业经济》2014b 年第 4 期。
7. 孟斌、于慧丽、郑丽敏《北京大型居住区居民通勤行为的对比研究》,《地理研究》2012 年第 11 期。
8. 孟晓晨、吴静、沈凡卜《职住平衡的研究回顾及观点综述》,《城市发展研究》2009 年第 6 期。
9. 秦蒙、刘修岩、全怡婷《蔓延的城市空间是否加重了雾霾污染》,《财贸经济》2016 年第 11 期。
10. 邵帅、李欣、曹建华、杨莉莉《中国雾霾污染治理的经济政策选择——基于空间溢出效应的视角》,《经济研究》2016 年第 9 期。
11. 王书斌、徐盈之《环境规制与雾霾脱钩效应——基于企业投资偏好的视角》,《中国工业经济》2015 年第 4 期。
12. 王敏、黄滢《中国的环境污染与经济增长》,《经济学(季刊)》2015 年第 2 期。
13. [美]伍德里奇《计量经济学导论:现代观点》张成思译,中国人民大学出版社 2003 年版。
14. 许和连、邓玉萍《外商直接投资导致了中国的环境污染吗》,《管理世界》2012 年第 2 期。
15. 肖琛、陈雯、袁丰、李平星《2000—2010 年无锡市职住空间关系变化及影响因素分析》,《地理科学》2014 年第 2 期。
16. 严雅雪、齐绍洲《外商直接投资与中国雾霾污染》,《统计研究》2017 年第 5 期。
17. 郑思齐、霍焱《低碳城市空间结构:从私家车出行角度的研究》,《世界经济文汇》2010 年第 6 期。
18. 郑思齐、孙聪、陆铭《教育、拥堵与污染——跨学区就学影响交通与环境的证据》,工作论文 2013 年。
19. 郑思齐、徐杨菲、张晓楠、于都《“职住平衡指数”的构建与空间差异性研究:以北京市为例》,《清华大学学报(自然科学版)》2015 年第 4 期。
20. 郑思齐、张晓楠、徐杨菲、许俊彦《城市空间失配与交通拥堵——对北京市“职住失衡”和公共服务过度集中的实证研究》,《经济体制改革》2016 年第 5 期。
21. 张庆丰、[美]克鲁克斯《迈向环境可持续的未来:中华人民共和国国家环境分析》,中国财政经济出版社 2012 年版。
22. 周伟林《大都市职住分离的演化机理与改善对策》,《上海城市管理》2013 年第 3 期。
23. Anselin, L., Lagrange Multiplier Test Diagnostics for Spatial Dependence and Spatial Heterogeneity. *Geographical Analysis*, Vol. 20, No. 1, 1988, pp. 1—17.

24. Cervero , R. , Jobs Housing Balance as Public Policy. *Urban Land* , Vol. 50 , No. 10 ,1991 , pp. 1 – 10.
25. Glaser , E. L. , & Kahn , M. E. , The Greenness of City: Carbon Dioxide Emission and Urban Development. *Journal of Urban Economics* , Vol. 67 , No3 2010 , pp. 404 – 418.
26. Giuliano , G. , & Small , K. A. , Subcenters in the Los Angeles Region. *Regional Science and Urban Economics* , Vol. 21 , No. 2 , 1991 , pp. 163 – 182.
27. Lesage , J. P. , & Pace , R. K. , Spatial Econometric Modeling of Origin–Destination Flows. *Journal of Regional Science* , Vol. 48 , No. 5 2008 , pp. 941 – 967.
28. Donkelaar , A. V. , Martin , R. V. , Brauer , M. , Kahn , R. , Levy , R. , VerduzCo , C. , & Villeneuve , R. J. , Global Estimates of Ambient Fine Particulate Matter Concentrations from Satellite–Based Aerosol Optical Depth: Development and Application. *Environmental Health Perspectives* , Vol. 118 , No. 6 2010 , pp. 847 – 855.

Traffic Jam and Haze Pollution : A New Perspective Based on Jobs-housing Balance

WANG Huitong , LIU Chuanming & ZHAO Junzhu

(Central University of Finance and Economics , 100081)

Abstract: This paper introduces the concept of jobs-housing balance , treats the traffic congestion as a moderating variable , analyses in depth the economic mechanism of jobs-housing balance effecting haze pollution and puts forward the research hypothesis. Based on Gould congestion delay index and comprehensive pollution index AQI which include massive amounts of traffic data , this research uses a sample of 45 cities in China and spatial cross-section model to validate the research hypothesis. The results are as follows. (1) The spatial distribution map about haze-pollution shows that haze pollution shows typical characteristics of spatial agglomeration in 45 cities. Moran’ s I index shows that the haze pollution presents typical characteristics of spatial agglomeration and spatial dependence in 45 cities. (2) The traffic congestion plays a regulatory role between jobs-housing balance and haze pollution. The partial regression coefficient of jobs-housing balance to haze pollution is negative , which indicates that jobs-housing balance helps to reduce haze pollution. The partial regression coefficient of traffic congestion to the haze pollution is positive , indicating that traffic congestion of the city increases haze pollution. With the increase of traffic congestion , the haze effect of jobs-housing balance gradually decreases. (3) Proportion of second industry accounts for significantly increased haze pollution , and economic development , the ownership of the public bus , the foreign direct investment can help to slow the haze pollution. The paper provides policy enlightenment to reduce haze pollution in city.

Keywords: Jobs-housing Balance , Gould Congestion Delay Index , Comprehensive Pollution Index AQI , Spatial Econometric , Regulatory Effect

JEL: C21 , O13 , O53

责任编辑: 康 邑