

城市、城市群与居民碳排放

——基于紧凑空间形态的研究

郑金铃

(暨南大学 经济学院, 广东 广州 510632)

摘要 城市居民生活碳排放不仅受到城市内部人口密度、交通系统、土地利用方式、绿地体系等空间形态的影响,还会因城市外部空间结构的不同而进一步受到影响。为此,对我国14个已成型城市群中的110个大中城市2006—2012年的面板数据进行实证分析。结论显示:若不考虑城市外部空间结构的影响,只有混合土地用地类型能有效减少居民生活碳排放,其他要素对生活碳排放的减排作用甚微;若考虑城市外部空间结构的影响,即城市群体空间形态从“绝对集中”向“相对分散”的紧凑发展模式转变后,城市内部的人口密度、交通系统和绿地体系才释放出对生活碳排放的调节作用,这种作用随着城市发展低碳城市能力的差异而有所不同。

关键词 城市群 低碳 城市空间形态 生活碳排放

中图分类号 F291.1

文献标识码 A

文章编号 :1003-3890(2016)01-0089-08

一、引言

我国快速的城市化进程给城市群资源环境带来了较大的压力,城市群已经成为我国生态环境问题最为突出的地区。根据方创琳等人提出的城市群识别的七大标准^[1],我国已达标的城市群有15个^①。这些城市群已成为我国各省份加快经济发展、提高区域竞争力的主要地域单元,但同时也是我国能源消耗、二氧化碳等温室气体排放最为集中的地区。牛文元的研究报告显示,目前中国经济规模最大的前100座城市CO₂排放总量已占全国排放总量的一半以上,达到30亿吨,对于百万以上人口的城市,因交通拥堵每年多排放的二氧化碳量就有2800万吨^②。高碳式的城市建设模式已经成为制约我国城市可持续发展的瓶颈,发展低碳经济、建设低碳城市及城市群势在必行。

究竟何种城市形态最适宜降低城市碳排放,一直是学术界争论的热点话题。主流观点认为,城市紧凑发展有利于城市的可持续发展。所谓紧凑型城市(Compact City),其最初是与低密度蔓延的城市相对应,即希望通过高密度发展城市中心城区,减少对小汽车出行的依赖,减少能源消耗,提升公共设施的可达性和有效利用,遏止城市蔓延^[2]。然而密度反

映的仅是城市要素(人口、住宅等)的平均分布情况,无法反映这些要素在城市内部集聚与分布情况。随着发达国家城市中心城区的衰落以及城市居民的外移,紧凑城市开始强调对城市内城区的填充,鼓励城市土地的混合利用^[3],即通过提倡多样化的高密度,将居住用地与工作地、休闲娱乐、公共服务设施用地等混合布局,以在更短的通勤距离内提供更多的服务。随着人们对健康生活方式要求的不断提高,西方提出了大量的可持续城市发展理念。其中“新城市主义”(New Urbanism)最为流传,该理论认为紧凑城市应在高密度和土地混合利用的基础上,引入公共交通为导向的发展模式(Transit Oriented Development, TOD)和城市绿带(Greenbelt)作为城市空间形态优化的重要策略。至今,大多数学者认为可持续发展的低碳城市模式应具备的“紧凑”空间形态特征包括:相对较高密度、土地混合利用和高强度的开发利用^[4]。

然而也有学者认为紧凑型的城市发展模式并非放之四海而皆准的真理。学者们发现许多过高强度和密度对城市能耗的不利影响,特别是在发展中国家和东亚国家^[5]。一些研究甚至认为城市密度对城市碳排放具有U型影响,中等密度水平最有利于减少碳排放^[6],适当分散的城市布局更有利于交通的

收稿日期:2015-05-18

基金项目:国家自然科学基金项目(71173092)

作者简介:郑金铃(1991-),女,广东茂名,暨南大学经济学院硕士研究生,研究方向为区域经济、低碳城市。

疏导和降低城市热岛效应^[7]。因此,对于人口众多、城市间差异巨大的中国,究竟是紧凑式还是分散式的城市空间形态更有利于可持续发展,是一个需要慎重考虑的问题^[8]。即便是走紧凑型城市的模式,其在发展中国家的内涵与侧重点也应有所不同。

近年来,不少学者认为通过城市群策略,形成走廊城市(Corridor city)或边缘城市(Edge city)等城市群布局,也可获得与紧凑城市类似甚至更好的效果^[9]。紧凑城市理论开始从单核的集中模式逐步向高密度、高强度的“分散化集中”模式拓展,更多地强调功能紧凑而不是形态紧凑^[4,10]。这恰恰与当前国内的普遍共识——“中国都市区低碳发展”的模式不谋而合,即城市间依赖绿楔间隔的公共交通进行走廊式空间扩张,将新的开发集中于公共交通枢纽^[11],并逐渐意识到构建“街区—城市—都市圈—城市群”多层次的低碳城市研究框架的必要性^[12]。但现有研究主要集中在阐述规划的相关理念和原则上,缺少细致的实证分析,针对单个或多个城市空间形态(城市密度、土地、交通等)的研究较多,或仅关注城市空间形态对某一类型居民碳排放的影响(建筑碳排放或交通碳排放等),全面梳理城市空间形态对居民碳排放影响的研究并不多见。其中 Ewing et al^[13]系统性地总结了此问题,但模型中并未考虑最为重要的交通碳排放,而杨磊等^[14]和郭韬^[15]分别系统地梳理了影响居民碳排放的空间形态因素,却没有考虑到城市外部空间以及城市群空间对居民碳排放的影响。

由于空间结构具有一定的锁定效应,城市的物质环境一旦建立就很难改变,并会对人们的社会生活和经济活动产生深远的影响。尽管通过经济发展、结构调整和技术革新可以优化居民的消费结构,增强居民的节能意识,促使城市的低碳发展,但却无法改变由城市空间形态不合理引致的能耗与温室气体排放。如何调整城市内部以及城市之间的空间形态,以提升能源使用效率,降低碳排放,是当前城市化进程中急需解决的重要问题。城市群作为城市空间的一种紧凑发展形式,与分散性城市结构相比,应是一种资源节约型、高密度高效型城市群,但并不一定是环境友好型和生态型城市群^[16]。城市群的建设对居民生活碳排放是否有影响?如果有影响又是通过哪些途径或因素产生影响?城市群到底是有助于缓解城市的环境困境、优化城市空间形态、引导居民低碳消费,还是会使环境问题进一步恶化?本研究尝试梳理城市内部、外部的空间形态对居民生活碳排放的影响机制,并借助实证分析回答上述问题。

二、城市空间形态对居民生活碳排放的影响机制

本研究所指的居民生活碳排放与工业碳排放相对应,包括居住建筑碳排放和交通碳排放两部分。城市空间形态并不直接影响居民的生活碳排放,而是通过一系列中间因素的共同作用与之产生关联^[14],其中城市人口密度、土地利用方式、交通系统、绿地体系等都是城市空间形态影响城市居民碳排放的重要因素。

(一)人口密度对居民碳排放的影响

城市建筑的碳排放主要受居民的消费习惯和生活方式的影响,但也有研究认为,城市密度对居民的住宅选择有决定作用,进而影响城市建筑的碳排放。随着城市人口密度的增加,居民必然会增加选择复合式住宅的概率,这往往比蔓延式城市或城郊地区典型的低密度独立住宅更能节省单位能耗。当然,人口密度的抬升、城市建筑容积率提高,也会造成城市热岛效应,通风状况恶化,反而增加整体能耗和碳排放^[13]。此外,根据 Mills-Muth 模型的城市土地竞租曲线,住宅面积与交通费用是互为替代的,即选择郊区较大的居住空间必然会损失交通的便利程度;选择交通便利的市中心居住必然会降低居住空间面积。这表明,较高的城市密度导致居民分布更为集中,更有利于发展公共交通工具,居民也会减少私家车的使用,降低能耗。因此人口密度对城市建筑碳排放与交通碳排放的影响方向并不明确。

(二)土地利用方式对居民碳排放的影响

根据紧凑型城市和新城市主义的基本观点,混合功能的城市用地意味着居民居住地与就业地及公共服务设施之间具有较高的空间匹配程度。这使得居民的日常生活需求可以在较小的空间范围内得到满足,缩短了居民通勤距离,降低交通使用强度;另一方面,城市空间匹配程度越高,对公共交通体系的要求也更高,随着城市通达性的提高,居民的出行结构也会得到改善。反观中国“职住分离”日益严重的现象,无疑增加了居民的通勤距离,巨大的交通需求加剧了城市的交通能耗^[17]。此外,城市中心的混合土地利用还能均衡整个城市的交通流分布,缓解城市交通拥挤。因此,土地的混合利用通过缩短居民的出行距离,改变居民出行方式,进而减少居民的交通需求(包括降低私家车拥有率和使用强度)。

(三)交通系统对居民碳排放的影响

城市的交通系统决定了城市的通达性,进而影响了居民的出行方式。与以小汽车为主导的交通系

统相比,新城市主义理论认为通过 TOD 模式,建立起通达的城市公共交通网络(地铁、轻轨、公交线路)同时沿轨道交通走廊进行高强度且多样化的土地开发利用。这无疑与“鼓励非机动出行,在此基础上倡导以低碳公共交通为主导的机动出行,并控制高碳小汽车发展”^[18]的低碳出行方式相契合。学界已普遍认可了这种以公共交通为主导的城市交通系统,丹麦哥本哈根通过轨道交通引导城市发展的“手指形态规划”,更成为了城市实现低碳发展的典范。因此,公共交通系统发达的城市,通过影响居民的出行结构,降低城市的交通碳排放。

(四)绿地体系对居民碳排放的影响

城郊边缘地带是城市和郊区的气候过渡带,良好的城乡边缘结构有利于将郊区的自然风导入市区。增加城郊边缘地带的相交程度,如哥本哈根指状交错状的城市边缘形态,通过缩短郊区至城市内部的通风道距离,不仅改善了城市的通风状况,缓解城市热岛效应,也控制了城市的无序蔓延。当然,实际应用中尺度不当的绿地空间也会在一定程度上阻碍了步行穿越的可能性,增加通勤距离。

(五)城市群尺度下城市空间形态对居民碳排放的影响

作为更高层次的一种城市集聚形式,城市群的空间形态取决于各城市集聚与扩散力的均衡结果。城市群形成初期,核心城市的集聚与扩散力占主导地位,人口的高度集中往往导致城市地域范围无限的蔓延,外围中小城市的发展陷入被动,相较于周围城市的低效,区域内核心城市的膨胀呈现出高能耗高碳排的特征。随着核心城市空间的蔓延,同心圆膨胀的边际效益下降,城市群沿交通线的扩展成为这一时期的主导^[19],牵引着经济活动与人口的扩展、转移,城市群由“单中心”向“多中心”的转变。城市群发育成熟后,城市的集聚效应不仅来自于城市内部高密度、高强度的开发,还来自外部不同城市间经济要素(人口、资金、土地等)的频繁流动以及协同发展。

交通,尤其是城际交通,作为城市空间发展的骨架,决定了城市群内各经济要素的流动方向、速度与效率,从而也会从根本上改变经济活动的空间运行方式。现代交通工具的飞速发展,缩小了空间运输成本与时间成本。城际轨道交通不仅转变了微观个体的出行方式,替代高碳耗能的交通工具,而且其大运量的特征也满足了更多的出行需求,减低了区域整体的单位交通碳排,具有明显的节能效应。与普通汽车相比,快速轨道交通因其载客量、行车自由度等方面的差距,会带来两种截然不同的城市空间模

式^[20]:日本引导大都市卫星城建设时采用的是沿轨道交通步行合理区点状、高密度发展,美国则采用小汽车的引导形成分散、低密度的郊区化城市布局。因此,作为共生的城市发展模式,城市群城际快捷交通的发展不仅促进城市间的融合,也会引导城市扩展的方向,优化城市内部的空间结构,进而影响城市的碳排放。

三、计量模型与变量说明

(一)计量模型

根据前文的理论梳理与分析,我们先考察城市内部人口密度、交通系统、土地利用方式、绿地体系以及城市间空间结构等五个要素对城市居民碳排放的影响效应。为此,本研究将基础模型设定如下:

$$CEP_{jt} = \alpha + \beta_1 \cdot PD_{jt} + \beta_2 \cdot Tr_{jt} + \beta_3 \cdot H_{jt} + \beta_4 \cdot GP_{jt} + \beta_5 \cdot D_{jt} + \sum_k \gamma_{kt} \cdot Z_{jt} + \varepsilon_{jt} \quad ()$$

其中, CEP_{jt} 表示 j 城市在 t 年的人均居民生活碳排放量, PD 表示城市人口密度, Tr 表示公共通勤度, H 表示城市用地类型混合程度, GP 表示城市绿地比重, D 表示城市群内各城市间的空间结构, 本文用城市群紧凑程度来测度, Z 表示一组控制变量。一些经验研究显示, 国家或地区的经济发展状况与环境质量密切相关, 而要想实现经济增长与环境的协调发展, 政府的主导地位不容忽视。因此本研究引入人均 GDP(GDP) 和城市维护建设财政性资金支出(GOV)作为模型的控制变量, 以描述经济发展水平与政府的调控作用。模型()中的回归系数 β_1 、 β_2 、 β_3 和 β_4 分别刻画了城市内部人口密度、通勤交通、土地利用和绿地体系等要素对城市居民碳排放的单一影响, β_5 则刻画了城市间的联系程度对城市居民碳排放的影响。若 β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 和 β_5 系数均为负并显著, 说明高密度、高强度的紧凑型城市空间有利于降低城市居民的人均碳排放, 符合理论预期。

鉴于中国各城市群之间发育程度的巨大差异, 我们将城市群根据紧凑程度 D 的高低进行分类, 并通过引入人口密度 PD^2 探讨不同紧凑度的城市群内是否呈现出库兹涅茨环境曲线的特征, 基础模型扩展为模型():

$$CEP_{jt} = \alpha + \beta_1 \cdot PD_{jt} + \beta_{11} \cdot PD_{jt}^2 + \beta_2 \cdot Tr_{jt} + \beta_3 \cdot H_{jt} + \beta_4 \cdot GP_{jt} + \sum_k \gamma_{kt} \cdot Z_{jt} + \varepsilon_{jt} \quad ()$$

更进一步地, 根据前文分析, 城市群作为一种组合城市的空间形态, 通过城市与城市之间的相互作用影响城市内部空间形态要素, 最终作用于居民生活碳排放。因此, 为验证城市群紧凑程度对居民碳排

放量的影响,本研究在模型()的基础上引入城市群紧凑度 D 与城市人口密度、公共通勤度、用地混合程度以及绿地比重的交叉项,从而设定模型():

$$CEP_{jt} = \alpha + \beta_1 \cdot PD_{jt} + \beta_{11} \cdot PD_{jt}^2 + \beta_2 \cdot Tr_{jt} + \beta_3 \cdot H_{jt} + \beta_4 \cdot GP_{jt} + \lambda_1 \cdot PD_{jt} \cdot D_{jt} + \lambda_2 \cdot Tr_{jt} \cdot D_{jt} + \lambda_3 \cdot H_{jt} \cdot D_{jt} + \lambda_4 \cdot GP_{jt} \cdot D_{jt} + \sum_k \gamma_{kt} \cdot Z_{jt} + \varepsilon_{jt} \quad ()$$

模型()中的 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 和 λ_4 分别刻画了城市外部空间紧凑通过城市内部的人口密度、交通系统、土地利用方式、绿地体系等要素影响城市居民碳排放的作用。如果 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 和 λ_4 为负,则表明城市群的空间紧凑有助于降低城市内部的居民碳排放,符合理论预期。

(二)数据来源及变量说明

我国已达标的 15 个城市群,由于天山北坡城市群数据不完整,本研究选取其他 14 个城市群内的 110 个地级以上大中城市作为研究对象,考察时期选定为 2006—2012 年,数据来源于《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》,全部数据的统计口径均为市辖区。

1. 被解释变量为城市居民人均生活碳排放量 Cep ,用城市居民碳排放总量除以常住人口数得到。城市居民的生活碳排放理论上包括直接碳排与间接碳排,由于间接碳排受居民消费习惯和生活方式影响较大,而与城市空间形态的联系并不十分紧密,因此本研究将居民生活碳排放界定为居民直接生活碳排放(包括居住建筑碳排放和交通碳排放),简称居民碳排放。本研究采用现今国际上通用 IPCC 碳排放系数法测算居民碳排放 $C = \sum (E_i \times K_i)$,式中 C 表示城市的碳排放总量, E_i 表示城市范围内能源 i 以标准煤计的消费总量, K_i 表示能源 i 的碳排放系数,单位为碳/标准煤。对于建筑碳排放,只关注建筑日常运行(家庭电力和燃气能耗)的碳排放。从《城市统计年鉴》中,可获取有关城市(市辖区)电力、煤气(人工、天然气)、液化石油气的消费数据,并按万吨标准煤的折算系数折算成能源消耗标准量^③。对于交通碳排放,鉴于居民出行的交通碳排放主要来源于小汽车,采用郭韬^[17]的方法估算,通过城市居民私人汽车拥有量以及 IPCC 汽油碳排放系数折算成交通碳排放,具体公式为: $C_{traffic} = PCV \times AAM \times AFC$,式中 PCV 表示私人汽车保有量, AAM 为年平均行驶里程, AFC 为平均油耗^④。

各城市居民的碳排放总量为建筑碳排放和交通碳排放之和 Cep ,通过比较 2006 年 2012 年的 Cep ,可以发现 2006 年居民碳排放的均值为 7 吨/人,碳

排放较高的城市集中在东部沿海地区,尤其是京津冀和山东半岛城市群,中部地区的城市居民生活碳排放量相对较少,大部分低于 6 吨/人。2012 年,我国各城市的居民碳排放量有了较大幅度的增加,大于 20 吨/人的城市由 4 个增加到 27 个;从区域角度看,高碳排放城市开始向中部和东北地区的城市群蔓延,这些城市群的人均碳排放大致以核心城市为中心呈梯度递减,而沿海地区的区域核心城市却往往不是碳排放最多的区域。

2. 解释变量。(1)人口密度 PD ,用市辖区人口密度衡量。(2)公共通勤度 Tr ,采用每万人拥有的城市年末公共汽车和出租车数的总量衡量。(3)城市用地类型混合程度 H ,采用香农多样性指数作为城市用地的测度方法,公式为: $C = \sum (U_i \cdot \ln U_i)$,其中 U_i 为第 i 种用地类型所占比例, H 值越大,表明用地类型混合程度越高。(4)城市绿地比重 GP ,用市辖区绿地面积比重作为衡量城市绿地体系的指标。(5)城市群紧凑度 D ,方创琳等(2005)^[21]通过构建城市群丰度指数反映了城市群内部各城市的集聚水平,本研究也采用该指标来衡量城市群紧凑度。令 p 为市辖区常住人口, P 为城市群常住人口, s 为建成区面积, S 为城市群总面积, e 为市辖区经济总量, E 为城市群经济总量, D_{in} 为城市群内部城镇数与城市总面积的比值,则城市群丰度指数为 $D = \sqrt[4]{(p/P)(s/S)(e/E)D_{in}}$ 。珠三角及长三角城市群的紧凑度显著高于其他城市群,其他城市群整体上也呈逐年增加的趋势,但武汉、长株潭、闽南金城市群的紧凑度增加幅度要大于珠三角和长三角城市群,表明这些城市群处在迅速集聚成长的阶段。

为更直观准确地考察各城市群间的特征,本研究在城市群紧凑度 D 的基础上,结合方创琳^[1]测度的城市群发育度,将已选取的 14 个城市群分为三类。一是高度紧凑城市群,包括珠江三角洲城市群、长江三角洲城市群和京津冀城市群;二是中度紧凑城市群,包括山东半岛城市群、辽宁半岛城市群、皖中城市群、武汉城市群、长株潭城市群、关中城市群和中原城市群;三是低度紧凑城市群,包括闽南金城市群、成渝城市群、哈大长城市群和赣北鄱阳湖城市群。

四、估计结果与分析

首先,本研究对 110 个城市进行了模型()的固定效应模型与随机效应模型的估计,由于 Hausman 检验拒绝了零假设,因此采用固定效应回归,并对误差项进行了 cluster 聚类修正,结果见表 1。总体来

表 1 模型() ()的面板估计结果

解释变量	所有城市模型()	高度紧凑城市群模型()	中度紧凑城市群模型()	低度紧凑城市群模型()
PD	0.001(1.38)	0.008**(2.06)	-0.006*(-1.96)	-0.003(-0.84)
PD ²		-0.010*(-1.71)	0.0830*(1.63)	0.034(0.55)
Tr	0.030(1.38)	0.051**(2.23)	0.048*(1.58)	0.079(1.06)
H	-4.893*(-1.69)	-10.600*(-1.86)	-4.570(-0.97)	14.855*(2.49)
GP	11.873(0.81)	25.517(0.99)	62.076**(2.14)	-1.699(-0.15)
D	160.821*** (9.59)			
PGDP	0.005*** (5.43)	0.005*** (3.48)	0.005*** (5.67)	0.007** (2.65)
GOV	0.056(1.31)	0.043(0.86)	0.547*** (3.34)	0.315** (2.17)
Constant	-18.668*** (-3.70)	19.316** (2.05)	20.543** (2.31)	-18.309* (-1.78)
样本数	770	238	350	238

注:表中估计系数后面括号内为 t 统计值,***、**、* 分别表示在 1%、5%和 10%的水平上显著。

看,城市内的空间形态要素中只有用地类型混合程度 H 的系数显著为负,其他要素均不显著,但城市群的紧凑度 D 对城市内居民的碳排放却有显著的正向影响,控制变量人均 GDP 的系数亦为正,表明随着城市群紧凑度的增加,经济越发达的城市,居民的人均碳排放也相应增加。鉴于我国各城市群发育程度与紧凑程度的差异,我们根据前文的分类对不同紧凑度(高度紧凑、中度紧凑和低度紧凑)的城市群进行模型()的估计。

对于紧凑度较高的城市群,城市人口密度 PD²的系数为负,说明这些城市的人口密度与人均碳排放之间存在“倒 U”型的曲线关系,拐点在人口密度约 4 000 人/平方公里处,2012 年常住人口密度超过 4 000 人/平方公里的城市只有深圳、上海和石家庄,其余城市的人口密度仍处在拐点的左侧,即随着人口密度的不断提升,人均碳排放会增加。这些城市化水平较高的城市,经济发达,城镇数量大,市中心人口密集,密度将近饱和,热岛效应明显,居民建筑能耗增加。此外,公共通勤度 T 对人均碳排放的影响为正,也表明城市群内人口的集聚尽管有利于城市公共交通的完善,但这些城市拥堵现象严重,反而会刺激注重舒适与便捷的居民增加高碳私人汽车的出行次数,无法发挥出改善居民出行方式的作用。因此,可以预测这些城市如果继续依靠抬升人口密度来实现集聚经济效益,只会适得其反。城市用地类型混合程度 H 符合预期,这些城市用地类型混合程度较高,基础设施的空间配置也较为合理,居民日常需求在较小的空间范围内得到满足。

对于中度紧凑的城市群,人口密度 PD 的系数为负,PD²的系数为正,说明这些城市的人口密度与人均碳排放之间存在“U”型的曲线关系。但除部分城市如合肥、郑州、洛阳和许昌的人口密度超过了 3 500 人/平方公里的拐点外,其余城市的均处在拐

点的左侧,说明这些城市人口密度的增加和人口集聚有利于降低人均生活碳排放。其中武汉城市群的黄石和鄂州,皖中城市群的铜陵、淮南、滁州、池州和马鞍山,关中城市群的咸阳、铜川、宝鸡和渭南,山东半岛城市群的东营和淄博,辽宁半岛城市群的鞍山、抚顺、本溪、阜新、盘锦、葫芦岛,中原城市群的焦作、平顶山和漯河等均属于资源型城市^⑤,这些城市需要的劳动力虽多,但由于就业和人口的分布依赖于特殊资源的分布,居民的工作与居住并不需要全部集中在城市中心,因此这类城市建成区的面积往往不会太大,居民日常生活空间范围较小,出行距离短,生活碳排放也相对减少。公共通勤度 T 对人均碳排放的影响为正,不符合前文的理论预期,与高度紧凑城市群内的城市不同,这一层次的城市经济发展水平虽然较高,但并未构建起发达的城市交通体系,随着居民生活水平的提升,反而形成对私人汽车购买和使用的刚性需求,更不用说其对个人身份地位的象征,使环境与经济问题再次陷入“杰文斯悖论”。

对于低度紧凑的城市群,只有城市用地类型混合程度 H 的系数显著,但对居民碳排放的影响为正,城市用地多样性降低城市碳排放的作用受到了抑制。当前我国很多城市的“混合”用地并非“有效混合”,即不能保证土地混合使用的目标是增加短路径出行。城市建设用地类型虽然多了,但分布却并不合理^[11]。因此,我们认为低度紧凑城市群内的城市并未形成高密度、高强度的紧凑空间特征,并不具备低碳城市的空间形态特征。

模型()中控制变量人均 GDP(GDP)对人均碳排放有正向的影响,这可以解释为城市经济发展能够改善居民的生活水平,由此引发了更多的消费需求,增加建筑方面和交通方面的能耗。城市维护建设财政性资金支出(GOV)系数均为正,这可能是因

政府用于城市建设的财政支出并未以“低碳化”为目标,财政支出对改善居民的低碳生活环境作用极为有限。但在经济实力较好、政府财政实力较雄厚的高度紧凑城市群内,城市的政府作用有所提高但不显著,这可能得益于发达地区本身较为完备的基础设施以及投资回报率较高的经济环境,一定程度上填补了低碳财政支出的“缺口”。

接着,为考察城市群内城市间的集聚程度对城市内居民碳排放的影响,我们引入城市群紧凑度D与城市人口密度、公共通勤度、用地混合程度以及绿地比重的交叉项进行模型()的固定效应模型估计(表2)。城市群紧凑度与城市人口密度交叉项D×PD的系数在高度、中度紧凑的城市群中为负,而低度紧凑城市群的系数为正,基本符合理论预期。我国大部分城市群仍处在发育的初期,区域的经济效益来源于单个(或多个)孤立城市极核的规模扩张、人口集聚,中小城市经济集聚能力有限,无法发挥出区域整体的协同效益,部分城市群内中小城市的主要功能仅是人口供给和污染产业承接,区域内部的不均衡严重制约了城市群的可持续发展,能源浪费现象严重。随着城市群集聚向心力的加强,城市间的吸引范围会不断蚕食、削弱或加强,区域的空间结构由“单中心”向“多中心”转变,空间形态由“绝对集中”向“相对分散”演变。因此,随着城市群紧凑度的提高、大中小城市结构有序,人口流向的多样化有助于缓解交通堵塞、居住环境的低劣、环境污染的高度集中和热岛效应等现象。

表2 模型()估计结果

解释变量	高度紧凑城市群	中度紧凑城市群	低度紧凑城市群
PD	0.006(0.71)	0.000(0.02)	-0.012***(-3.86)
PD ²	-0.049*(-1.81)	0.051(1.17)	0.047(0.90)
Tr	-0.494(-0.83)	-1.143***(-3.47)	-0.169(-0.89)
H	-67.133***(-6.56)	-8.641*(-1.64)	0.336(0.05)
GP	35.687*(1.86)	12.531(0.95)	32.609**(2.11)
PGDP	0.003**(2.25)	0.005***(-6.01)	0.006**(2.72)
GOV	-0.048(-1.15)	0.183*(1.63)	0.239*(1.82)
D×PD	-0.007(-0.30)	-0.017(-0.52)	0.058*(1.83)
D×Tr	0.309*(1.83)	6.192***(-3.66)	1.309(0.97)
D×H	161.737***(-7.09)	25.847(1.29)	73.250***(-2.75)
D×GP	-103.892*(-1.90)	-51.888(-0.73)	-236.402**(-2.13)
Constant	37.107***(-5.24)	15.133**(-2.22)	-9.319(-1.00)
样本数	238	350	238

注:表中估计系数后面括号内为t统计值,***、**、*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著。

引入城市群紧凑度与城市公共通勤度的交叉项D×Tr后,Tr系数均由模型()的“正”转为“负”,D×Tr的系数均为正。说明城市群内紧凑度的提高,尽管

增加城市间要素流动的频率,但城际高速铁路、高速公路、快速轨道交通等交通网络架构的搭建,会增强城际交通的可达性,为居民出行提供更多快捷低碳的选择,因而降低了私人轿车的购买和使用需求,促进居民交通出行结构的优化。联合D×Tr和T,我们发现,在城际交通运行频率与效率提高的情况下,只有高度紧凑城市群内较为完备的城际交通网络才大致实现了对居民出行结构的优化。

城市群紧凑度与用地类型混合程度的交叉项D×H系数均为正,表明城市群内各城市在空间扩散的过程中,并未发挥出土地多功能混合利用对碳排放的调节作用。我们认为在城市群发育的过程中,尽管部分城市空间结构出现“相对分散”的趋势,并逐步形成围绕着中心城市的新城(新区),但主要是单一的工业开发区,缺少配套的市政设施和服务设施,居民宁愿拉长通勤距离也不愿意居住在工业区,新城并没有得到真正的发展,城市交通量大大增加抵消了土地混合利用对碳排放的改善作用。在我国城市群发育、发展过程中,各级政府在城市建设中盲目建立新城、新区引致空间结构分散,这也是高度紧凑与中度紧凑城市群D×PD系数不显著,以及D×Tr并未如理论预期为负的原因。

最后,城市群紧凑度与城市绿地比重的交叉项D×G的系数只在高度紧凑城市群中显著为负,根据伦敦城市绿带、东京都市圈绿带的经验,低碳城市群的“碳汇”构建需要区域内各城市的共同整合和规划,然而目前我国不少城市群是通过行政区划地域的调整而形成,原本处于不同行政级别的城市,划分城市群后仍保留着建立于原本行政区划之上的各种政策壁垒,多中心结构尚未形成。大部分城市群区域内外、城际之间、城乡之间、城市规划部门与交通规划部门之间缺乏顺畅的衔接,且传统的城市规划仅将绿地生态系统作为空间布局的后续支撑体系,因此难以真正发挥绿地系统对于低碳城市乃至城市群的调节作用。

五、结论与政策建议

我国城市居民生活碳排放不仅受到城市内部人口密度、交通系统、土地利用方式、绿地体系等空间形态的影响,还会因外部城市与城市之间紧凑度或集聚度的不同而进一步受到影响^[21]。本研究通过理论梳理并实证检验城市空间形态对居民生活碳排放的影响机制,发现:(1)适度的人口密度、发达的公共交通网络、混合的土地用地类型以及间隔的绿地体系是低碳城市应具有的空间形态特征。(2)若不考

虑城市外部空间结构的影响,只有混合土地用地类型能有效减少居民生活碳排放,人口密度、交通系统和绿地体系等均未完全发挥出对生活碳排放的减排作用。(3)若考虑了城市外部空间结构的影响,即城市群空间形态从“绝对集中”向“相对分散”的紧凑发展模式转变后,城市内部的人口密度、交通系统和绿地体系才释放出对生活碳排放的调节作用,这种作用随着城市发展低碳城市能力的差异而有所不同。

为此,我们提出以下政策建议:各级政府尤其是省级政府在推动城市群空间格局的良性发展时,应根据城市群发育、发展程度,制定“集团式”的低碳发展战略,不能搞“一刀切”。(1)对于正在起步的城市群,最有实力的核心城市不仅要继续引领城市群的经济增长,还要成为引领城市群低碳发展的“新引擎”。中小城市应借助核心城市的辐射与示范效应,加快城市化步伐、完善城市基础服务设施、提高公共交通通达性,通过高密度、高强度的城市空间形态来实现城市低碳集约式的发展。(2)处于快速成长的城市群,应避免盲目“摊大饼式”地扩张城市面积,而是通过完善城内、城际交通引导城市沿交通走廊扩张,建设区域一体化、同城化的交通网络,实现“分散化集中”的城市低碳发展战略。(3)对于较为成熟的城市群,在倡导城市外部交通走廊式扩张的同时,应发挥城市绿地系统对资源、环境的调节作用,通过构建政府合作机制实现城乡之间、城际之间绿化建设的协调规划。

注释:

①这15个城市群分别是长三角城市群、珠三角城市群、京津冀城市群、山东半岛城市群、辽东半岛城市群、海峡西岸城市群、长株潭城市群、武汉城市群、成渝城市群、环鄱阳湖城市群、中原城市群、哈大长城市群、江淮城市群、关中城市群和天山北坡城市群。

②数据来源:经济100强城市二氧化碳排放量占51%,<http://news.hexun.com/2011-03-10/127832878.html>。

③电力的折标准煤系数0.1229按当年火电标准煤耗计算,碳排系数近似采用煤炭的碳排放系数。煤气消费数据包括人工及天然气,因无法测算人工及天然气消费比例,标煤系数和碳排系数平均值为1.0221。液化石油气的折标准煤系数和碳排系数为1.7143、0.5042,汽油折标准煤系数和碳排系数为1.4714、0.5538。

④根据估算,中国私人汽车年均行驶里程为1.5万公里,每公里平均油耗为8.6升。

⑤具体见《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》。

参考文献:

- [1]方创琳.中国城市群形成发育的新格局及新趋向[J].地理科学,2011(9):1025-1034.
- [2]Dantzig G B,Satty T L.Compact City:A Plan for a Liveable Urban Environment[M].San Francisco:Freeman and Company,1973.
- [3]Ewing R.Is Los Angeles-style Sprawl Desirable?[J].Journal of the American Planning Association,1997,63(1):107-126.
- [4]吕斌,孙婷.低碳视角下城市空间形态紧凑度研究[J].地理研究,2013(6):1057-1067.
- [5]Barton H.Sustainable Communities:The Potential for Eco-neighbourhoods[M].London:Earthscan,2000.
- [6]柴志贤.密度效应、发展水平与中国城市碳排放[J].经济问题,2013(3):25-31.
- [7]Holden E,Norland T.Three Challenges for the Compact City as a Sustainable Urban Form:Household Consumption of Energy and Transport in Eight Residential Areas in the Greater Oslo Regions[J].Urban Studies,2005,42(12):2145-2166.
- [8]Chen H,Jia B,Lau S S Y.Sustainable Urban Form for Chinese Compact Cities:Challenges of A Rapid Urbanized Economy[J].Habitat International,2008,32(1):28-40.
- [9]黄斌,吕斌.低碳视角的城市空间形态优化路径研究[J].中国市场,2013(4):51-56.
- [10]韩笋生,秦波.借鉴“紧凑城市”理念,实现我国城市的可持续发展[J].国外城市规划,2004,19(6):23-27.
- [11]潘海啸,汤汤,吴锦瑜.中国“低碳城市”的空间规划策略[J].城市规划学刊,2008(6):57-64.
- [12]柴彦威,刘天宝,塔娜.基于个体行为的多尺度城市空间重构及规划应用研究框架[J].地域研究与开发,2013(4):1-7.
- [13]Ewing R,Fang R.The Impact of Urban Form on U.S. Residential Energy Use[J].Housing Policy Debate,2008,19(1):1-30.
- [14]杨磊,李贵才,林姚宇.影响城市居民碳排放的空间形态要素[J].城市发展研究,2012(2):26-31.
- [15]郭韬.中国城市空间形态对居民生活碳排放影响的实证研究[D].合肥:中国科技大学,2013.
- [16]方创琳,祁巍锋,宋吉涛.中国城市群紧凑度的综合测度分析[J].地理学报,2008,63(10):1011-1021.
- [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[J].世界经济文汇,2010(6):50-65.
- [18]殷凤军,过秀成,孙华灿,等.“慢城”型低碳新城交通发展策略探讨[J].现代城市研究,2014(4):104-108.
- [19]薛东前,王传胜.城市群演化的空间过程及土地利用优化配置[J].地理科学进展,2002(2):95-102.
- [20]刘天东.城际交通引导下的城市群空间组织研究[D].长沙:中南大学,2007.

- [21]方创琳,宋吉涛,张蕾,等.中国城市群结构体系的组成与空间分异格局[J].地理学报,2005,(5):827-840.
 [22]张璇.城镇化、工业化对区域碳排放影响的实证研究——

以湖北省为例[J].哈尔滨商业大学学报:社会科学版,2014,(6):88-95.

责任编辑:曹华青

Urban, Urban Morphology and Residents' Carbon Emission ——A Study Based on Compact Cities Form

Zheng Jinling

(School of Economics, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: The residents' life carbon emission is not only affected by the internal spatial factors, like population density, public transport, land use structures and green system, but also further affected by the external spatial structure of urban systems. Therefore, we test the theories by an empirical study using panel data of 110 prefecture cities among 14 compliant urban agglomerations in China from 2006 to 2012. We find that, without considering the external spatial structure, most of the spatial factors fail to lower the carbon emissions completely as expected, except the fixed land use. If we take the external spatial structure into account, namely, the structure of city groups develops from "absolutely concentrated" to "relatively decentralized", urban population density, public transport and green system start to release regulation effect on residents' life carbon emission, which varies from the different capacity of developing "Low-carbon City".

Key words: Urban agglomerations; Low-carbon; Urban spatial morphology; Life carbon emission

(上接第 53 页)

参考文献:

- [1]陈耀,陈钰.我国工业布局调整与产业转移分析[J].当代经济管理,2011,(10):38-47.
 [2]中国社会科学院工业经济研究所.中国工业发展报告(2014)[M].北京:经济管理出版社,2014.
 [3]杜传忠,刘英基.区际产业分工与产业转移研究[M].北京:

经济科学出版社,2013.

- [4]徐根兴.地区战略的科学定位与有效执行[N].学习时报,2014-09-29.
 [5]马晓钰,郭莹莹,李强谊.我国经济结构变动对环境污染的影响[J].商业研究,2013,(4):57-62.

责任编辑:曹华青

On the Evolution of the Spatial Patterns of Industrial Pollution in China in the Background of Industrial Transfer

Li Dunrui

(Teaching and Research Department of Economics, Shanghai Administration Institute, Shanghai 200233,China)

Abstract: The industrial production in China is increasingly moving from the eastern regions to the central and western regions. From the evolution of the spatial patterns of the major industrial pollutants and the pollution of the heavy pollution industry, there is also a trend of industrial pollution transfer from the eastern to the western regions, which coincides the changes of distribution in industrial production. Compared to the developed regions, the industry development in the undeveloped regions is often at the expense of more pollution. Moreover, the economic development gradient in China is high in east and low in west, whereas the natural geographical gradient is just the opposite. The industrial transfer is from the east to the west, but the densely populated and resource-rich eastern region locates in the down streams of major rivers. If the pollution caused by industrial transfer is not properly dealt with, the effect of destruction to the ecological environment is likely to be magnified. In the background of balanced development between regions, to realize the unification of economic development and ecological protection, it is required to consider the ways of governance at least from the national strategies, regional development, status quo of industry and public participation.

Key words: Industrial pollution; Industrial transfer; Spatial patterns; Ecological civilization