

城市家庭碳排放影响因素与跨城市差异分析

李治^{1,2} 李培³ 郭菊娥¹ 曾先峰⁴

(1. 西安交通大学管理学院, 陕西 西安 710049; 2. 西安建筑科技大学管理学院, 陕西 西安 710055;

3. 新加坡国立大学房地产系, 新加坡 100655; 4. 西安外国语大学经济金融学院, 陕西 西安 710128)

摘要 我国城市化发展既提高了城市居民收入水平同时又增加了碳排放。本文使用56个城市的微观家庭数据,在各个城市层面上建立不同类型能源消耗的行为方程,对包含固定收入、家庭规模和户主年龄的标准家庭居住碳排放进行有效的估算,同时对跨城市差异进行分析解释。结果表明,在以标准家庭居住碳排放为唯一衡量标准时,东川市和蚌埠市是碳排放最少的城市,而新乡市与郑州市则是碳排放最多的城市,很多低排放城市位于秦岭-淮河南北分界线的南侧,大城市排放要高于中小城市。通过对城市收入弹性的估算,发现相对富裕的家庭会增加消耗清洁能源。一个家庭从低排放城市移动到高排放城市造成的环境成本占家庭年均收入的6.6%,同时低密度城市发展模式以及具有严寒气候的城市都会增加居住碳排放。这些实证研究结果可以辅助城市规划和城市管理者进行“低碳城市”或“低碳生活模式”等相关政策的制定。

关键词 居住碳排放; 标准家庭; 收入弹性; 环境成本

中图分类号 X22; F062.2 文献标识码 A 文章编号 1002-2104(2013)10-0087-08 doi: 10.3969/j.issn.1002-2104.2013.10.013

目前我国正在经历着快速城市化过程,而城市能源需求和城市化进程密切相关,特别是随着第三产业比重和人均收入水平的上升,城市碳排放中居民生活部分的比重无疑将快速增加,同时会通过影响其他产业提供的产品与服务供给,决定整个城市的碳排放水平。目前在美国,城市家庭碳排放量占国内碳排放总量的40%,而在中国这一比例不足20%^[1],但到2025年中国城市人口将增加3.5亿,这不仅对城市能源可持续供给带来严峻考验,同时也造成污染并增大了温室气体排放。另外,仅仅了解一个国家人均收入和总人口规模还不足以判断家庭碳排放的大小,不同城市间的人口空间分布成为家庭碳排放的重要影响因素^[2]。城市间碳排放水平差异越大,则城市政策对家庭碳排放的影响也会越大,比如在美国适宜气候、紧凑型发展的城市就要比极端气候、蔓延型城市有更少碳排放,如果在中国也是如此,则在适宜气候条件下密集式发展的城市会带来低碳排放。一般来说,生态环境恶化会通过排斥居住人口而影响城市化,为了排除人口分布在城市间的

系统性差异,Glaser and Kahn^[3]引出“标准家庭”概念,即具有固定家庭规模、收入水平和户主年龄的家庭。我们对考察城市的标准家庭碳排放进行计算,计算结果可以成为一个移动到目的城市的相似家庭很好的测度指标。

今天中国正从以制造业为主向以服务业为主转型,碳排放量中家庭的比例肯定将会增加。通过转变人们的能源消费动机和行为,从源头上减少能源消耗与碳排放,是实现社会可持续发展的关键做法。基于对以上问题的思考,本文将使用《中国家庭收入调查》数据进行实证分析,实证结果不仅能观察我国在城市化进程中碳排放的变化趋势,还能为碳减排机制提供证据,并为理解当代中国城市发展对环境影响提供一个新的视角。

1 文献回顾

目前关于城市家庭能源消耗对碳排放影响的研究基本都是在考虑城市家庭能源消耗的方式、城市空间分布与碳排放关系的基础上进行分析的。大多采用投入产出模

收稿日期: 2013-05-02

作者简介: 李治, 博士后, 讲师, 主要研究方向为公共管理与低碳经济。

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“西部民生诉求下的碳减排实现途径及扶持政策研究”(编号: 71173169); 国家社会科学基金重大项目“完善生态补偿机制研究”(编号: 12&ZD072); 中国博士后科学基金资助项目“西部城市群碳减排约束条件及减排机理研究”(编号: 2013M532067); 陕西省教育厅专项科研计划项目“陕西省低碳城市发展模式研究”(编号: 12JK0141); 陕西省重点学科建设专项资金资助项目(编号: E08001)。

型,分析人的行为方式对能源消费及碳排放的直接影响和间接影响,比如 Weber^[4]、Lenzen^[5]、Kerkhof A C et al^[6]等分别建立评估模型,实证分析了澳大利亚、德国、法国、荷兰等国的消费者行为与生活方式因素对能源消费和温室气体排放量的影响。Liu H T et al 研究了 1985 - 1995 年中国居民消费模式的变化对 CO₂ 与 SO₂ 排放的影响,研究结果显示,居民生活的直接能源消费及对强排放消费品的需求,是影响温室气体排放的最主要因素^[7]。人口在不同城市的空间分布是碳排放的一个决定性因素,比如 Kahn^[8]通过使用 1993 年美国居住能源消费调查数据,研究发现居住郊区化对能源消费的显著影响以及其环境后果。Pfaff et al 认为城市发展对环境会产生两种相反的效应,即规模效应和质量效应。伴随着经济增长,消费和生产的规模会扩大,能源消耗和碳排放也随之增加;同时,人们对环境的偏好也逐渐上升,加上公共政策的激励,生产者和消费者都会更偏好更“绿色”的技术、设备和产品,这又会减少碳排放量^[9]。当质量效应占主导时,城市会变得更加“绿色”。Auffhammer M, Carson R T 通过对 1985 - 2004 年我国 30 个省份面板数据的实证研究,研究了国家和地区碳排放量作为人口规模与收入的函数如何变化^[10]。Reid Ewing, Fang Rong 也认为城市不进行紧凑型发展而实行盲目扩张是导致生活能源消耗过高,碳排放量增加的重要原因^[11]。Glaeser and Kahn 对美国 66 个大都市区的研究发现,随着城市规模(城市人口)的增大,新增人口的人均碳排放量要高于存量人口,因此城市增长会导致更高的碳排放水平。如果某区域城市规划对土地利用的管制越严格,该区域的人均碳排放量水平越低,但可能会导致城市开发被挤到管制偏松的区域,产生区域间的碳泄漏问题,导致整体的碳排放量增加^[3]。不同地域气候条件也会对居住碳排放产生显著影响, Mansur E et al 研究发现在温暖地区的能源消费更多倾向于使用电而不是天然气等其他燃料,同时他们也倾向于使用更多的能源。气候变化极有可能增加用于制冷的电消费,但是减少了供热所用的其他燃料消费,随着气候变化带来的碳排放会导致整体福利受到损害^[12]。Almond et al 研究发现,在中国,秦岭 - 淮河以北地区由于需要家庭集中供暖,碳排放量特别高,例如北京(有集中供暖)比上海(没有集中供暖)碳排放量显著增多。集中供暖的决定性作用表明,如果政府利用更清洁的能源来供暖,城市碳排放就会显著下降^[13]。

国内对城市家庭碳排放方式及政策评价的相关研究多数以定性分析为主,少数定量分析文献选择使用全国或各省市宏观层面数据为基础的研究^[14-16],在缺乏住房普查数据或微观调查数据,不清楚家庭行为特征对碳排放的影响,相关结论可能会与现实存在偏差。近年出现了不少

家庭用能及碳排放情况的问卷调查分析^[17-20],相关研究有助于我们进一步理解住房结构、使用偏好以及人口特征和其他与能源消费相关的驱动因素,但相关结果也受限于样本获取难度和成本,被调查者的主观判断、调查期间季节气温因素以及所选择的样本代表性等问题。

目前受制于大样本微观数据的可获性,国内学者对我国城市家庭碳排放估算与城市发展相关的内部机理研究相对不足。本文将在以前理论和实证研究的基础上,在各个城市层面上建立行为方程,研究家庭居住消耗与家庭特征之间的关系;利用能源消耗的碳排放转换系数将能源消耗转换成碳排放量,通过各个城市的一个标准家庭的碳排放总量对城市进行排名,并解释城市间的差异。

2 数据和测量

根据数据的可获得性,本文使用了 2002 年的《中国家庭收入调查》(CHIP 2002)(城市部分),该数据由中国社会科学院经济研究所与国家统计局共同收集完成。该套数据不仅提供了家庭用电、管道煤气、天然气、家庭用煤消费量,同时也提供了每个家庭的人口特征及经济特征变量,比如人均家庭收入、家庭规模以及户主年龄等。由于仅包括 12 个省级行政单位的 70 个市和县,为了保证不同类型能源消费有足够的样本观测量,这里仅选取了其中 56 个主要城市(包括直辖市、主要省会城市、地级市和部分县级市)的 5 858 个样本家庭作为样本,这些家庭居住在所在城市至少超过一年。

2.1 中国城市居住碳排放估算方法

城市居民生活碳排放可大致分为家庭居住与交通两大部分,本文的实证研究主要集中在居住碳排放(主要是指居住活动的直接能源消耗及其碳排放)。城市居住碳排放主要由生活用电、日常炊事和住宅取暖三部分构成,这些能源提供了最终用户每年在室内制冷和制热、做饭、烧水、电器等其他用途。所以城市家庭居住碳排放有 3 个主要来源:住宅耗电、住宅取暖和家庭燃料。

本文实证研究的方程如下:

$$CM = \gamma_1 CM_1 + \gamma_2 CM_2 + \gamma_3 CM_3 \quad (1)$$

其中: CM 表示家庭居住碳排放总量, CM_1 , CM_2 和 CM_3 分别表示住宅耗电、家庭燃料和集中供暖消耗量,每一种耗能乘以相应的碳排放因子 γ ,最后得到总碳排放量,具体计算见表 1。

各种能源的发热值来自于《中国能源统计年鉴》,天然气、液化石油气的碳排放系数来自《城市温室气体清单研究》^[21],家庭用煤的碳排放系数来自于《IPCC 国家温室气体排放清单指南 2006》,各单位供暖面积的耗煤量参照《中国民用建筑节能设计标准(采暖居住建筑部分)》公



表 1 城市家庭居住能耗的碳排放量计算方法
Tab. 1 Calculation methods of CO₂ emissions due to residential energy consumption of the urban households

CO ₂ 排放项目 Item	计算公式 Formula	说明 Directions
家庭用电碳排放	$CM_1 = E_1 \times \gamma_1$	CM_1 为家庭用电碳排放量; E_1 为城市家庭用电量; γ_1 为所在电网的碳排放因子
家庭燃料碳排放	$CM_2 = E_2 \times CV_1 \times \gamma_2 + E_3 \times CV_2 \times \gamma_3 + E_4 \times CV_3 \times \gamma_4$	CM_2 为家庭燃料碳排放量, E_2, E_3, E_4 分别液化气、煤气和煤消耗量; CV_1, CV_2, CV_3 分别为液化气、煤气和煤炭发热值; γ_2, γ_3 和 γ_4 为液化气、煤气和煤炭碳排放因子
集中供暖碳排放	$CM_3 = H \times N \times \gamma_5$	CM_3 为集中供暖碳排放; H 为供暖面积; N 为单位面积供暖耗煤量; γ_5 为标准煤的碳排放因子, 其值为 2.46kg 碳排放/kg 标准煤
家庭居住碳排放总量	$CM = CM_1 + CM_2 + CM_3$	CM 为家庭居住碳排放总量

布数据, 家庭用电碳排放系数来自中国区域电网基准线排放因子的公告, 这里采用和 2002 年邻近 3 年公告排放因子的平均值。

需要说明的是, 不同城市(或城市所在地区)的发电厂所使用的能源类型以及发电技术存在差异, 因此单位发电量所产生的碳排放系数也随之会有较大差异。目前国家发改委气候变化协调委员会已经公布我国七大电网的单位发电所产生的碳排放系数, 因此只要将每个城市与七大电网的覆盖区域进行对应(即假定七大电网各自所辖区内城市的单位发电量排放转化系数无差异), 并忽略电网间电力输送所造成的影响(电网间的电力输送占该电网总发电量的比重很小), 就可以得到每个城市单位发电量所产生的碳排放系数, 再利用我们的城市居民生活用电量估算得到生活用电碳排放量。

2.2 关键变量的选取

表 2 提供了变量名称、定义以及相关的描述统计, 相关城市级数据来源于《中国城市统计年鉴》。本文引入标准家庭是为了剔除城市间人口分布的差异对碳排放的影响后, 城市特征对于居住碳排放的“纯”影响, 单独考察城市因素对家庭碳排放的影响。这里的“标准家庭”是指一个有 12 700 元年收入、3 名家庭成员和户主年龄为 48 岁的城市家庭, 这三项指标取值由全部样本求均值得到。同时, 考虑到家庭使用集中供暖时自己不能控制室内温度, 本文认为家庭取暖的能源消耗量和家庭住宅面积呈正比关系。目前我国集中供暖的燃料主要为煤炭, 所以会产生大量的碳排放。

3 家庭能源消费模型选择和实证结果

本文将对 56 个城市能源消耗分别做回归估计, 从而测算各个城市中一个标准家庭的能源消耗, 这里首先使用家庭微观数据来对用电消耗做回归估计。本文做如下模

型设定:

$$\ln(EL E_{ij}) = a_1 \ln(Inc_{ij}) + a_2 Age_{ij} + a_3 Hsize_{ij} + \mu \quad (2)$$

这里的 i, j 分别指的是第 i 个家庭和第 j 个城市。 ELE 为居住用电消费量, Inc 为家庭年收入, Age 为户主年龄, $Hsize$ 为家庭规模, a_1, a_2, a_3 为系数, μ 为随机扰动项。其中不同城市间的家庭人口结构对用电消耗具有不同的边际效应, 同时我们认为同样的家庭可以在不同的城

表 2 主要变量定义和描述性统计
Tab. 2 The statistics and definitions of main variables

变量名称 Variables	变量含义 Definition	变量单位 Units	样本均值 Mean	标准差 Std. Deviation
ELE	家庭用电消费量	kW · h	1 083	768
LPG	二元变量: 1 = 使用液化石油气, 0 = 其他	1	0.39	0.49
LPGQ	家庭液化石油气消费量	kg	148.34	242.47
Coalgas	二元变量: 1 = 使用管道煤气, 0 = 其他	1	0.47	0.49
CoalgasQ	家庭管道煤气消费量	m ³	167.53	235.43
Coal	二元变量: 1 = 使用煤炭, 0 = 其他	1	0.098	0.297
CoalQ	家庭用煤消费量	kg	32.01	123.36
Hsize	每户人口规模	人	2.99	0.86
Age	户主年龄	a	48.01	11.18
Inc	家庭年收入	元	12 689.4	9 071.9
Uarea	住房面积	m ²	51.98	25.26
Cinc	城市每户收入	元	10 593.3	6 320.9
Cpop	城市人口水平	1 000 人	1 339	1 467
Den	城市人口密度	1 000 人 / km ²	13.1	8.1
Temjan	一月平均气温	°C	0.33	7.51
Temjuly	七月平均气温	°C	23.58	4.26

市获得不同的收入,这是由于在不同的城市工人的技能价格因素不同或者由于工人工作更长的时间可以获得更高的工资。

本文的样本城市中许多家庭对某一特定燃料消耗量为零,例如本文估计北京液化石油气拥有率是38%,因此在这个城市中62%的家庭液化石油气消耗为零。家庭对煤气、煤炭的消费方面也存在同样的问题。因此,为了修正回归估计中因样本的选择而导致的偏差,除了电力消耗和集中供暖消耗以外,本文使用赫克曼两步法估计对其他形式的能源消耗进行修正。

第一步 建立 probit 模型计算概率:

$$\text{Prob}(\text{燃料消费}) = f(a_1 \ln(\text{Inc}) + a_2 \text{Age} + a_3 \text{Hsize}) \quad (3)$$

$$\text{第二步 } \ln(\text{燃料消费} | \text{是否使用燃料消费} > 0) = a_1 \ln(\text{Inc}) + e \quad (4)$$

在考察各项能源消耗时本文的样本比较小,年龄和家庭人数的影响不能准确估计,所以在第二步的回归中剔除年龄和家庭人数变量。

由于许多北方的城市家庭仍然享受集中供暖服务,而且《中国家庭收入调查》中缺少对住宅取暖的上述3种燃料的消费开支记录,对这类家庭中的燃料使用情况的估计就需要使用住宅面积,然后用家庭收入和人口统计数据对一个标准家庭住宅面积进行回归估计(类似于方程2)。

我们对56个城市中的观察值采用混合回归(pooled regressions),在等式2中加入了城市固定效应,这可以控

制不同城市间能源消费的家庭人口边际效应差异,回归结果见表3。可以看到,随着收入水平提高会消耗更多的能源,家庭规模和户主年龄对用电消耗也产生了显著正向影响。在我国,随着城市土地价格越来越昂贵,将会刺激更多小规模家庭的产生。由于家庭规模在近些年来的持续缩小与总户数的持续增多,家庭规模与总户数对居住消费的影响具有同向的叠加效应。同时可以看到电力消耗的收入弹性达到0.199,根据能源阶梯中的替代效应,相对富有的城市家庭有可能离开污染较重的城市而进入到使用清洁能源的城市,同时相对富裕的家庭会增加消耗清洁能源,尽管消费量不断上升,但也相应减少了对煤和液化石油气等“劣质商品”的消费,这可以减少当地空气污染,该结果和家庭库兹涅兹曲线的结果相一致^[9]。

4 城市标准家庭碳排放排名及差异解释

4.1 城市标准家庭的碳排放估算

为了进一步观察一个家庭从所在城市移动到目标城市是否会增加碳排放,本文使用方程(2)近似地对一个标准家庭进行回归分析。使用该微观数据去估计不同城市间的家庭能源消费的回归结果,每一个回归结果都具有相同的方程形式。

(1) 家庭用电

根据方程(2),对56个城市的一个标准家庭的具体用电碳排放量进行了回归估计。比如,根据北京484户家庭

表3 城市家庭用能回归结果
Tab. 3 Energy consumption regressions using 2002 micro data

因变量模型 Dependent Variable	ln(ele) OLS	ln(uarea) OLS ^c	LPG Probit ^b	LPGQ a	Coalgas Probit ^b	CoalgasQ a	Coal Probit ^b	CoalQ a
lninc	0.199 *** (13.35)	0.153 *** (15.43)	-0.203 *** (-10.11)	-0.035 *** (-6.60)	0.223 *** (8.70)	-0.06* (-1.79)	-0.429 *** (-12.97)	0.144 *** (3.84)
age	0.006 *** (7.50)	0.004 *** (8.77)	-0.011 *** (-7.06)		0.009 *** (6.02)		0.006 *** (2.79)	
Hsize	0.112 *** (10.04)	0.066 *** (10.47)	0.121 *** (6.12)		-0.001 (-0.06)		0.103 *** (3.94)	
常数	5.705 *** (62.54)	3.536 *** (75.46)	-0.123 (-1.27)		-0.503 *** (-5.26)		-1.912 *** (-14.62)	
城市固定效应	是	是	-	-	-	-	-	-
样本数	5 858	5 858	5 858	5 858	5 858	5 858	5 858	5 858
显著性	R ² : 0.28	R ² : 0.282	rho: -0.183 sigma: 252.118 lambda: -46.08		rho: -0.321 sigma: 0.906 lambda: -0.331		rho: -0.308 sigma: 0.887 lambda: -0.587	

注: a: 括弧中为 t 值; b: 括弧中为 z 值; c: 用于估计集中供暖; *, **, *** 分别为 10%、5%、1% 上显著



样本数据进行回归估计,得到以下方程:

$$\ln(C) = 6.3 + 0.185\ln(INC) + 0.153Fsize + 0.013Age + \mu \quad (5)$$

此回归方程的 R^2 为 0.161。使用该回归系数去估计北京一个标准家庭的年耗电碳排放量,结果为 $1.603Kw \cdot h$,再乘上北京的用电碳排放转换系数($0.9928 kg$ 碳排放/ $Kw \cdot h$),就得到了北京一个标准家庭一年会带来 $1.592 t$ 的碳排放量。按照同样的方法可以得到其他各个城市一个标准家庭的年住宅用电碳排放的估计值。

(2) 家庭燃料

使用赫克曼两阶段法(见方程(3)和(4))来估计各个城市一个标准家庭使用燃料的碳排放量。对于液化气、煤气和煤炭三种类型的燃料,首先估计一个标准家庭使用其中一种燃料的概率,然后以使用某种燃料为条件对消耗量进行估计。估算出每种燃料的消耗量,再乘以转换系数得到碳排放量。比如,在回归的第一步,估计得到北京一个标准家庭 37% 的概率会使用液化气;第二步,得到一个标准家庭的液化气年消耗量估计是 $152 kg$ 。

(3) 居住取暖

由于集中供暖是由政府集中提供,而又缺乏采用其他三种燃料采暖的信息,这里将继续使用住宅面积来衡量家庭住宅取暖情况,然后用家庭收入和人口统计数据对一个标准家庭住宅面积进行回归估计,最后利用平均住宅面积乘以碳排放转换系数,就得到各个城市一个标准家庭住宅取暖燃料消耗的碳排放量。

4.2 城市排名

根据公式(1)估算每个城市一个标准家庭年居住碳排放量,然后根据该结果对 56 个城市进行排名,见表 4。碳排放量最低的城市为东川市、蚌埠市、淮南市、宜昌市、亳州市、大丰市、洪湖市、长治市、宣威市和南充市。碳排放量最大 10 个城市为:新乡市、郑州市、北京市、平凉市、武威市、沈阳市、开封市、徐州市、广州市和武汉市。碳排放量较高的城市多位于北方,这反映了冬天的严寒气温和政府的供暖政策的影响。我国的集中供暖以煤炭为主要燃料,供热能源价格仍由政府调控和补贴。由于集中供暖在燃料燃烧效率方面要低于采用电力、天然气取暖,所以如果对集中供暖系统进行改造,比如使用低碳燃料,则可能改变这些城市的排名。

除了大城市碳排放明显要高于中小城市,沿海城市也有较高的排放量,这源于这些城市较高的收入和消费水平。另一个有趣的现象是,许多碳排放量较低的城市大多位于秦岭-淮河这条我国集中供暖分界线的南侧,这些城市没有集中供暖,而夏天空调耗电也没有南方城市那么高。

表 4 2002 年城市居住碳排放量排名
Tab. 4 Overall 2002 resident carbon emissions city ranking

排名 Rank	城市 City	用电 Electricity	液化气 LPG	煤气 Coalgas	煤炭 Coal	集中 供暖 Heating	总排 放量 Total
1	东川市	0.811	0.082				0.893
2	蚌埠市	0.889	0.011		0.002		0.900
3	淮南市	0.867	0.005	0.049	0.005		0.925
4	宜昌市	0.980	0.011				0.991
5	亳州市	0.937	0.011		0.055		1.003
6	大丰市	0.995	0.011				1.006
7	洪湖市	0.979	0.031				1.010
8	长治市	0.603	0.093	0.013	0.078	0.258	1.044
9	宣威市	1.005	0.061		0.001		1.068
10	南充市	1.019	0.017	0.032			1.068
11	广元市	0.963	0.041	0.019	0.064		1.087
12	辉县市	1.030		0.005	0.029	0.028	1.091
13	襄樊市	1.085	0.020		0.010		1.115
14	南通市	1.013	0.021	0.088			1.123
15	昆明市	1.101	0.001	0.021			1.123
16	内江市	1.107		0.026			1.133
17	咸宁市	1.157	0.014				1.170
18	芜湖市	1.156	0.012	0.005	0.004		1.178
19	湛江市	1.202	0.010				1.202
20	宿迁市	0.671	0.348		0.188		1.207
21	泸州市	1.218		0.023			1.241
22	峨眉山市	1.280			0.000		1.280
23	扬州市	1.183	0.070	0.004	0.026		1.283
24	汾阳市	0.590	0.196		0.068	0.432	1.286
25	上海市	1.090	0.005	0.214			1.309
26	普宁市	1.307		0.012			1.318
27	宜兴市	1.261	0.089	0.009			1.358
28	大同市	0.707		0.077		0.642	1.426
29	肇庆市	1.450	0.001				1.452
30	合肥市	1.376	0.046	0.027	0.022		1.471
31	荆州市	1.262	0.120	0.090	0.010		1.483
32	运城市	0.903	0.019	0.021	0.022	0.523	1.488
33	平顶山市	1.207		0.060		0.232	1.498
34	韶关市	1.445	0.037		0.020		1.502
35	无锡市	1.480	0.040	0.022			1.542
36	成都市	1.495	0.039	0.021	0.001		1.556
37	瓦房店市	1.287	0.028	0.016		0.272	1.604
38	大连市	1.362	0.011	0.054		0.217	1.644
39	兰州市	0.814	0.165	0.010	0.030	0.672	1.692
40	太原市	1.043	0.015	0.100	0.010	0.543	1.711
41	南京市	1.689	0.008	0.041	0.003		1.741
42	佛山市	1.782	0.055	0.013			1.850
43	泰兴市	0.954	0.027		0.876		1.857
44	重庆市	1.549	0.123	0.212	0.005		1.884
45	锦州市	1.142	0.156	0.043	0.030	0.693	2.064
46	天津市	1.431	0.011	0.050	0.052	0.580	2.124
47	武汉市	1.775	0.317	0.028	0.016		2.136
48	广州市	2.050	0.147	0.004	0.040		2.241
49	徐州市	0.911	0.035	0.064	0.060	1.186	2.257
50	开封市	1.173	0.023	0.050	0.006	1.138	2.390
51	沈阳市	1.477	0.169	0.046		1.074	2.767
52	武威市	0.639	0.028		0.425	1.725	2.817
53	平凉市	0.491	0.016		0.013	2.414	2.933
54	北京市	1.592	0.016	0.035		1.315	2.957
55	郑州市	1.857	0.013	0.053	0.009	1.210	3.141
56	新乡市	1.275	0.011	0.011	0.001	2.463	3.761
	均值	1.196	0.060	0.038	0.066	0.897	1.613

位于 A 地而不是 B 地的家庭碳排放的外部成本等于 A 地增加的碳排放减去 B 地减少的碳排放,再乘以社会成本减去当前的碳税水平^[3]。由于每吨碳排放的边际社会成本为 35 美元^[22]。结合对城市间居住碳排放的差异估计结果,我们发现平均一个家庭从低排放城市移动到高排放城市将会造成 101.5 美元 $[35 \times (3.8 - 0.9)]$,即 839 元人民币(根据 2002 年汇率换算)的环境成本,这大约占到一年家庭收入的 6.6%。所以目前城市化发展中的大规模人口迁移,除了存在经济和社会意义外,也会改变能源消费及碳排放的空间存在。假如北方城市减少用煤取暖或者假如高收入城市投资更多清洁能源,这个差距将会缩小。

4.3 城市碳排放差异分析

表 5 给出了标准碳排放量与城市人口规模、城市密度、城市收入与平均气温之间的关系。我们发现,家庭用电和集中供暖碳排放与城市人口规模正相关,即使保持个人收入水平固定,城市经济状况和碳排放之间也存在正相关,即高收入城市在居住消耗产生较高的碳排放量。而城市收入和微观家庭收入回归结果存在的差异,主要是由于不可观察到的家庭其他收入引起的。在控制收入和人口规模后,进一步考察发现,城市人口密度对家庭用电碳排放具有显著负向影响,该结果表明紧凑型的城市发展模式(表现为较高的城市人口密度),可以有效提高土地的使

表 5 标准家庭居住碳排放回归结果
Tab. 5 Explaining cross-city variation in the standardized household's carbon production

	家庭用电 Electricity	集中供暖 Heating	总量 Total
lnCinc	0.438 *** (3.84)	1.289* (2.10)	0.424 *** (3.56)
lnCpop	0.086* (1.75)	0.292 ** (2.26)	0.095 ** (2.26)
Temjan		-0.15 *** (-4.68)	-0.022 *** (-7.28)
Temjul	0.034 ** (2.21)		
Den	-0.317* (-1.78)		
常数	-0.913 ** (-2.30)	1.631 (1.10)	-4.044 *** (-3.10)
样本数	56	20	56
R ²	0.389	0.218	0.498

注: 括号里的数为 t 统计量。上标 ***、** 和 * 分别表示估计系数在 1%、5% 和 10% 水平上显著。

用效率,并意味着家庭居住的社区具有较高的容积率水平。容积率较高的社区,其住宅直接暴露于外界的表面积

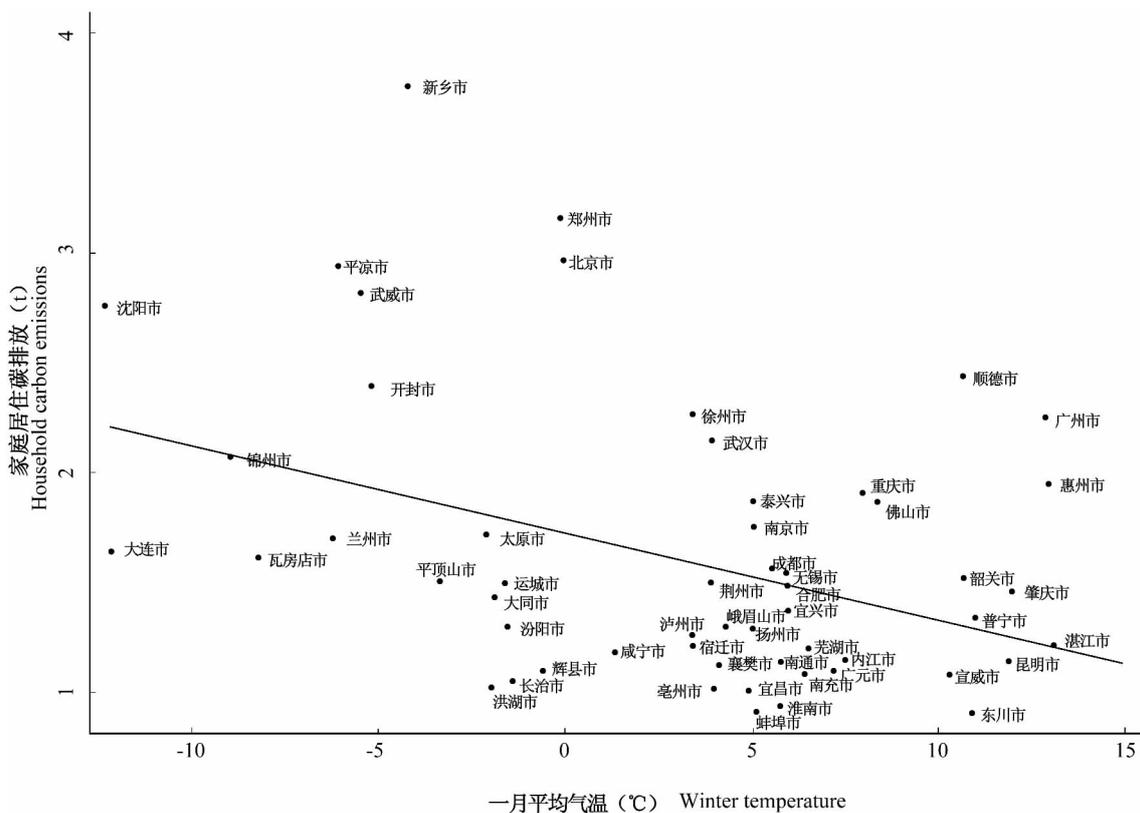


图 1 2002 年 56 个城市一月平均气温和标准家庭碳排放量
Fig. 1 The cross-city relationship between winter temperature and household carbon emissions

往往较小,这就可以减少室内外的热量交换,保持室内温度的适宜性,从而降低家庭用电碳排放。

图 1 显示了 2002 年中国各样本城市 1 月份平均气温和标准家庭居住碳排放量之间的显著相关性,这反映出越寒冷的地区越需要取暖服务需求。1 月份平均气温每增加 1 个标准差(7.51℃)会减少一个标准家庭 0.17 t 碳排放量。1 月份平均气温对碳排放的影响主要来自其对住宅取暖的碳排放作用,1 月份气温每增加 1℃则一个标准家庭减少 0.15 t 住宅取暖碳排放量。

5 结论及政策建议

本文利用 2002 年中国家庭收入调查的微观数据,剔除人口分布在城市间的差异对碳排放的影响,考察了城市化发展对不同城市一个标准家庭的碳排放的影响。从上面分析中显示了一幅如同美国的大城市逐渐由“制造城市”向“消费城市”转型一样的情景。总的来说,各个城市家庭居住碳排放存在较大差异,北方城市的家庭碳排放明显高于南方城市,而大城市家庭碳排放又高于中小城市。相对来说,在以标准家庭居住碳排放为唯一衡量指标时,东川市和蚌埠市是家庭居住碳排放最少的城市,新乡市与郑州市则是碳排放最多的城市。城市人口规模、收入、气温等等因素对碳排放均有影响,家庭居住碳排放量与一月份平均气温显著正相关。从城市空间结构来看,适度控制城市蔓延速度,促进城市空间的紧凑型发展可以提高城市基础设施利用效率,从而降低能耗和碳排放。

本文结果为城市政府评估区域发展战略的环境影响和制定相应的城市化发展政策提供了经验证据。随着中国经济的发展,如果政府给予一定的经济刺激政策,就可以改变人们高能耗的消费习惯,比如选择更为弹性的冬季取暖方式,这反过来又会激励企业进行节能技术创新,制造出更为节能的建筑与家用电器等。中国的城市要想在未来减少碳排放,气候适宜的城市朝高密集化发展可能会带来碳排放的减少。本文的研究成果有助于更好地理解怎样的城市发展特征和居住特征具有更强的低碳性。如果可以更新为较新年份的数据进行实证估算,可以更进一步支持公共政策能够以怎样的方式来改变城市空间发展模式 and 居民的能源消费行为,这恰好是另一个值得研究的课题。

(编辑:刘照胜)

参考文献(References)

[1] Zheng S, Wang R, Glaeser E L, Kahn M E. The Greenness of China: Household Carbon Dioxide Emissions and Urban Development [J]. *Journal of Economic Geography*, 2010, (5): 761-792.
[2] Kahn M E. Urban Growth and Climate Change [J]. *Annual Review of Resource Economics*, 2009, (1): 333-350.

[3] Glaeser E L, Kahn M E. The Greenness of Cities: Carbon Dioxide Emissions and Urban Development [J]. *Journal of Urban Economics*, 2010, (3): 404-418.
[4] Weber C, Perrels A. Modelling Lifestyle Effects on Energy Demand and Related Emissions [J]. *Energy Policy*, 2000, (8): 549-566.
[5] Lenzen M, Wier M, Cohen C, et al. A Comparative Multivariate Analysis of Household Energy Requirements in Australia, Brazil, Denmark, India and Japan [J]. *Energy*, 2006, (2-3): 181-207.
[6] Kerkhof A C, Benders R M J, Moll H C. Determinants of Variation in Household CO₂ Emissions between and within Countries [J]. *Energy Policy*, 2009, (4): 1509-1517.
[7] Liu H T, Guo J E, Qian D, Xi Y M. Comprehensive Evaluation of Household Indirect Energy Consumption and Impacts of Alternative Energy Policies in China by Input-output Analysis [J]. *Energy Policy*, 2009, (8): 3194-3204.
[8] Kahn M. The Environmental Impact of Suburbanization [J]. *Journal of Policy Analysis and Management*, 2000, (4): 569-586.
[9] Pfaff A S P, Chaudhuri S, Nye H L M. Household Production and Environmental Kuznets Curves-examining the Desirability and Feasibility of Substitution [J]. *Environmental and Resource Economics*, 2004, (2): 187-200.
[10] Auffhammer M, Carson R T. Forecasting the Path of China's CO₂ Emissions Using Province-level Information [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2008, (3): 229-247.
[11] Reid Ewing, Rong F. The Impact of Urban Form on U. S. Residential Energy Use [J]. *Housing Policy Debate*, 2008, (1): 1-30.
[12] Mansur E T, Mendelsohn R, Morrison W. Climate Change Adaptation: A study of Fuel Choice and Consumption in the U S Energy Sector [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2007, (2): 175-193.
[13] Almond D, Chen Y, Greenstone M, Li H. Winter Heating or Clean Air? Unintended Impacts of China's Huai River Policy [J]. *The American Economic Review*, 2009, 99(2): 184-190.
[14] 赵晓丽, 李娜. 中国居民能源消费结构变化分析 [J]. *中国软科学*, 2011, (11): 40-51. [Zhao Xiaoli, Li Na. Analysis of Structure Change in Chinese Civilian Energy Consumption [J]. *China Soft Science*, 2012, (11): 40-51.]
[15] 张馨, 牛叔文, 赵春升, 等. 中国城市化进程中的居民家庭能源消费及碳排放研究 [J]. *中国软科学*, 2011, (9): 65-75. [Zhang Xin, Niu Shuwen, Zhao Chunsheng, et al. The Study on Household Energy Consumption and Carbon Emissions in China's Urbanization [J]. *China Soft Science*, 2011, (9): 65-75.]
[16] 张艳, 秦耀辰, 闫卫阳, 等. 我国城市居民直接能耗的碳排放类型及影响因素 [J]. *地理研究*, 2012, (2): 345-356. [Zhang Yan, Qing Yaochen, Yan Weiyang, et al. Urban Types and Impact Factors on Carbon Emissions from Direct Energy Consumption of Residents in China [J]. *Geographical Research*, 2012, (2):

- 345 - 356.]
- [17] 郭琪, 樊丽明. 城市家庭节能措施选择偏好的联合分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2007, 17(3): 149 - 153. [Guo Qi, Fan Liming. A Conjoint Analysis in City Household Preferences for Choosing Energy Conservation Measure [J]. China Population, Resource and Environment 2007, 17(3): 149 - 153.]
- [18] 陈利顺, 孙岩, 戴大双, 等. 城市居民能源消费行为的评价方法研究[J]. 软科学, 2008, (12): 29 - 33 [Chen Lishun, Sun Yan, Dai Dashuang, et al. Study on Evaluation Method of Urban Resident Energy Consumption Behavior[J]. Soft Science, 2008, (12): 29 - 33.]
- [19] 杨选梅, 葛幼松, 曾红鹰. 基于个体消费行为的家庭碳排放研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(5): 35 - 40. [Yang Xuanmei, Ge Yousong, Zeng Hongying. The Household Carbon Emission Analysis under Individual Consumer Behavior [J]. China Population, Resource and Environment, 2010, 20(5): 35 - 40.]
- [20] 曾贤刚. 我国城镇居民对 CO₂ 减排的支付意愿调查研究[J]. 中国环境科学, 2011, (2): 346 - 352. [Zeng Xiangang. China Urban Resident's Willingness to Pay for Carbon Dioxide Emission Reductions [J]. China Environmental Science, 2011, (2): 346 - 352.]
- [21] 蔡博峰, 刘春兰, 陈操操. 城市温室气体清单研究[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009. [Cai Bofeng, Liu Chunlan, Chen Caocao. Research on Greenhouse Gas Emissions Inventory [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.]
- [22] Metcalf G E. Designing A Carbon Tax to Reduce US Greenhouse Gas Emissions [J]. Review of Environmental Economics and Policy, 2009, (1): 63 - 83.

Impact Factors Estimation and Research on the Differences Across Cities of Residential CO₂ Emissions in Chinese Major Cities

LI Zhi^{1, 2} LI Pei³ GUO Ju-e¹ ZENG Xian-feng⁴

(1. School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi 710049, China;

2. School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an Shaanxi 710055, China;

3. Department of Real Estate, National University of Singapore, Singapore 100655;

4. School of Economics and Finance, Xi'an International Studies University, Xi'an Shaanxi 710128, China)

Abstract China urbanization increases both urban capital income and greenhouse gas emissions. This paper uses micro data, builds a behavior model to measure carbon emissions from standardized household with fixed income, family size and the age of the household head, and also interprets cross-city differences. The paper ranks 56 major Chinese cities with respect to their household carbon footprints and finds that low-emissions cities based on this criterion are Dongchuan and Bengbu while the high-emissions cities are Xinxiang and Zhengzhou. Many low-emission cities are located on the south side of the Qinling-Huai River. Emissions from large cities are higher than small and medium-sized cities. With income elasticity estimates, we found that richer cities will increase the use of clean energy. We find that moving the average household from the greenest city to the brownest would cause the environmental costs, which is roughly 6.6% of average year's income. While low-density urban development patterns and the city with cold climate will increase residential carbon emissions. These findings can help urban planning and city managers formulate policies about "low-carbon city" or "low-carbon lifestyle".

Key words residential carbon emissions; standardized household; elasticity of income; environmental costs