

中国城市居住碳排放的弹性估计与城市间差异性研究^{*}

郑思齐, 霍 焱, 曹 静

(清华大学, 北京 100084)

摘 要: 本文估算了中国 1999–2006 年间 254 个地级及地级以上城市的居住碳排放及其子项 (生活用电、冬季供暖和日常炊事)。以 2006 年为例, 南北方城市人均居住碳排放量分别为 0.39 和 0.64 吨/人, 仅为美国最“绿色”城市的 1/7 和 1/4。在此基础上, 本文首次估算了中国城市居住碳排放的收入弹性与价格弹性, 用电碳排放的收入弹性和价格弹性分别为 1.447 和 -0.681; 供暖碳排放的收入弹性为 1.379, 价格弹性系数不显著。显著大于 1 的收入弹性意味着居住碳排放的增长速度将快于经济增长速度, 价格杠杆对于居民用电有较好的调控作用, 这些均值得政策制定者的重视。本文还发现在具有适宜的气候条件、紧凑型的城市空间发展模式的城市以及保温隔热性能较好的住房所占比重较高的城市, 人均居住碳排放水平显著较低。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; 收入弹性; 价格弹性; 城市空间发展模式

一、引言

中国的二氧化碳 (CO₂) 排放已经成为世界关注的焦点。最新数据统计显示^①, 2008 年, 中国化石燃料排放产生的二氧化碳^②达到 75.46 亿吨, 约占全世界碳排放的 24%, 已经超过美国成为全球第一。与此同时, 人均碳排放已在 2008 年超过世界平均水平的不争事实, 也使中国承受着来自国际社会的巨大减排压力。

城市作为能源消耗与碳排放的集中地, 承担着重要的节能减排责任^③。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^④, 并会通过影响产业界的产品与服务供给行为, 决定整个城市的碳排放水平。因此, 降低居民生活碳排放水平, 对于正处在快速城市化发

展阶段的中国社会来说, 尤其具有重要意义。

从学术角度看, 目前中国关于碳排放的经济学研究仍相对主要集中在产业领域, 探讨了经济增长、产业结构、产业政策激励、能源使用效率等因素与产业碳排放的关系, 但是针对居民生活碳排放的相关研究尚少。从实践角度看, 以碳排放为代表的温室气体仍然缺乏有效的末端治理手段, 即使是碳捕捉和碳掩埋等工程手段, 也因成本过高而尚不足以实现有效减排。因此, 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, 才是实现社会可持续发展的关键做法。

鉴于此, 本文从这个角度切入, 首次估算了我国 254 个地级及地级以上城市居住碳排放的总量、人均量及各分项构成 (生活用电、冬季供暖与日常炊

作者简介: 郑思齐 (1977–), 女, 满族, 天津市人, 清华大学建设管理系恒隆房地产研究中心, 副系主任, 副教授, 博士生导师, 研究方向为城市经济学和住房经济学。

^{*} 基金项目: 本文感谢国家自然科学基金 (项目编号 70973065 和 70803026), 清华大学公共管理学院产业发展与环境治理研究中心 (CIDE) 以及清华财政税收研究所对本文的项目支持。感谢清华大学建筑学院建筑节能研究中心朱颖心、张声远, 清华大学经济管理学院白重恩、王晓霞, 清华大学建设管理系房地产研究所张博、师展、张英杰对本文提出的建议。

① 中国政府目前尚未公布 2008 年的二氧化碳排放量数据, 但已经有许多国际机构对此进行了估算。从历史数据来看, 其估算结果与中国政府公布的结果相差不大, 因此本文引用了 BP (英国石油公司)、USGS (美国地质勘探局) 和 WTA (世界钢铁协会) 的二氧化碳估算数据。

② 除化石燃料燃烧直接排放二氧化碳外, 水泥工业、钢铁工业等生产工艺过程还会排放额外的 10% 左右的二氧化碳。

③ 2007 年 5 月 14 日, 第二届全球大城市气候峰会在美国纽约举行, 并公布了全球 46 个大城市的能源消耗与温室气体排放量分别占全球总量的 75% 和 80%。

④ Glaeser 和 Kahn (2008)^[1] 的研究显示, 美国城市居民生活的碳排放已经占城市碳排放的 40%; Zheng, Wang, Kahn 和 Glaeser (2009) 的 NBER 工作论文 “The Greenness of China: Household Carbon Dioxide Emissions and Urban Development” (<http://www.nber.org/papers/w15621>) 中谈到, 中国城市居民生活碳排放占城市碳排放总量的 20% 左右, 较美国的发展水平仍有较大上升空间。

事), 这为相关研究提供了重要的数据支撑。此外, 本文以上述碳排放估算结果为基础, 通过建立计量经济模型, 首次估算得到居住碳排放的收入弹性与价格弹性系数, 并对城市气候特征、城市空间发展模式、住房质量等因素对居住碳排放的影响效果进行了实证分析。上述两点均为本文的主要贡献。同时, 本文的实证结果能够为城市发展和管理政策 (例如城市空间规划、能源供给和定价) 提供支撑, 这些政策应致力于提供足够的激励, 影响城市居民的生活模式和城市发展模式, 逐步实现“低碳城市”和“低碳生活”的目标。

二、相关文献述评

城市发展的阶段和模式与碳排放有密切的关系。Pfaff, Chaudhuri 和 Nye (2004)^[2] 认为城市发展对环境会产生两种相反的效应, 即规模效应 (size effect) 和质量效应 (quality effect)。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。当质量效应占主导时, 城市会变得更加“绿色”。

在国际上, 城市经济学者和环境经济学者通过建立经济行为模型, 分析城市特征是如何通过影响居民行为模式, 从而决定居民生活碳排放水平。例如, Glaeser 和 Kahn (2008) 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 (这些地区往往碳排放水平较高), 产生区域间的碳泄漏问题, 导致整体的碳排放量增加。城市内部空间结构 (特别是土地利用强度、人口密度所决定的城市内部空间的紧凑型程度) 也会对碳排放产生影响, 同样收入水平的家庭, 居住在城市郊区会比居住在城市中心产生更多的碳排放, 这是因为郊区住房密度低、面积大以及郊区居民由于通勤距离长且更多地使用私家车。此外, 很多学者都认为紧凑型的城市发展模式, 有利于减少生活碳排放, 例如 Glaeser 和 Kahn (2003)^[3] 认为, 处于紧凑型区域内的城市土地, 其稀缺性越强, 并往往反映在更高的土地与住房价格, 因此居民会拥有更少的住房面积, 并由此产生更少的居住能源消耗。Reid Ewing 和 Fang Rong (2008)^[4] 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。Erling 和 Ingrid (2005)^[5] 在研究城市空间规划与家庭生活能耗的关系时, 选择了城市规划形态、土地使用特征 (密度、区位、住房类型等) 等方面因素, 并认为家庭居住地处于人口密度较高的地区, 其家庭日常出行及其能耗量也往往较少。2009 年美国林肯土地政策研究院发布的 < Urban Planning Tools for Climate Change Mitigation >^[6] 中首先阐述了城市规划对气候变化的重要影响, 并提出了应在充分考虑城市各部门空间协调的基础上, 综合运用各种城市规划工具来引导城市的低碳发展。在中国, 低碳城市研究刚刚开始, 但主要以低碳技术研究为主 (丁丁等, 2007^[7]; 于娟等, 2007^[8]; 辛章平等, 2008^[9]), 低碳导向的生活模式研究还比较少。

在公共政策的实践方面, 英国作为最早提出低碳经济概念的国家, 已经在低碳城市和低碳社区发展模式的研究方面进行了很多探索。2007 年英国发表 < Planning Policy Statement: Planning and Climate Change – Supplement to Planning Policy Statement 1 >^[10], 将气候变化因素纳入区域空间战略, 从区域规划层面考虑减少二氧化碳排放; 2008 年, 英国城乡规划协会 (TCPA) 出版 < Community Energy: Urban Planning for a Low Carbon Future >^[11], 提出应根据社区规模及社区在城市内部的空间差异等特征, 采用不同的技术和政策实现节能减排。此外, 世界自然基金会和英国生态区域发展集团共同发起了“一个地球生活”计划, 以“零碳、可持续性交通”等十项原则为指导, 通过建设具有示范性作用的住宅社区, 来推动可持续的居住生活方式在世界范围内广泛传播^[12]。而中国正在以重点城市试点的方式对低碳城市发展模式进行探索。上海市和保定市通过与世界自然基金会 (WWF) 合作, 于 2008 年 1 月启动中国低碳城市发展项目。上海的低碳城市发展主要集中在低碳城市规划、低碳技术应用以及提高建筑能源使用等方面, 保定市将新能源产业 (特别是太阳能光伏发电产业) 作为地区经济发展的支撑产业。

三、中国城市居住碳排放估算方法与结果

城市居民生活碳排放又可大致分为居住与居民交通两大部分。受数据可得性的限制, 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、冬季供暖^⑤和日常炊事三部分构成。对于每个

^⑤ 本文主要考虑的是冬季北方城市的集中供暖, 这是由于城市分散供暖一般以燃气和生活用电作为主要能源, 已经被包含在生活用电和燃气消耗的类别中, 为避免重复计算, 这里不纳入供暖项。

城市，我们首先计算三个分项各自的人均碳排放量，然后加总得到城市人均居住碳排放总量^⑥。

本文的研究对象为我国 254 个地级及以上城市的市辖区，时间跨度为 1999 – 2006 年。这里以 2006 年为例，给出估算结果的若干统计量（表 1）。

从居住碳排放总量的构成来看，我国北方城市和南方城市差异较大（按照惯例，以“秦岭 – 淮河”作为南北方的分界线）。北方城市居住碳排放主要由生活用电与冬季供暖两个部分组成，分别占居住碳排放总量的 46.0% 和 47.2%，而日常炊事产生的碳排放仅占 14.5%，比重较小；南方城市由于夏季温度偏高，因此居民往往更多使用空调进行制冷，故生活用电产生的碳排放量较大，占居住碳排放总量的 84.9%，而南方城市不存在冬季集中供暖，因此该项数值为零，此外，与北方城市的情况类似，南方城市日常炊事产生的碳排放仅占 15.1%，比重较小。

由于北方城市冬季供暖，其人均居住碳排放要明显高于南方城市（表 1 的数据显示，北方城市人均居住碳排放为 0.642 吨/人，是南方城市人均居住碳排放的 1.7 倍）。有趣的是，“秦岭—淮河”作为中国冬季集中供暖的重要分界线，两侧城市的人均居住碳排放存在明显的不连续性特征（Discontinuity）。为

了展现这个有趣的现象，我们分别选择了中国东部、中部地区经济发展水平相近（即人均可支配收入相差均在 10% 以内），且距离“秦岭—淮河”分界线距离较近（气温相差较小）的典型城市，来比较其人均居住碳排放的差异，见表 2。东中部地区为临沂（北）和铜陵（南），前者人均居住碳排放是后者的 1.6 倍；中部地区为濮阳（北）和咸宁（南），前者是后者的 2.8 倍。

通过与美国的相关研究结果比较，我们发现中国城市的居住碳排放水平要比美国低很多。在这 254 个城市中，人均居住碳排放最高的城市 2006 年的数值是 2.6 吨/人（深圳），也不足美国人均居住碳排放最低的城市圣地亚哥（5.34 吨）的 1/2（美国的数据来自 Glaeser 和 Kahn 的一篇类似论文^[1]）。这与工程师的发现是一致的。在中国的城市里，绝大多数居民住在高层或多层的单元房中，人均住房面积在 26 平方米左右。而在美国，大部分人住在郊区的独立式住宅中，面积远远大于我们的单元房，城市密度远低于中国城市。另外，许多西方人所追求的“过度”舒适的生活（例如夏天市内空调设定很低的温度），也造成了高企的碳排放水平。

表 1 2006 年中国 254 个城市居住碳排放估算结果统计

分项名称	样本数	城市居住碳排放量总量均值 (万吨) 及所占比重			城市人均居住碳排放量均值 (吨/人)			
		全部城市	北方城市	南方城市	均值	标准差	最大值	最小值
生活用电	254	50.57	46.0%	84.9%	0.309	0.206	2.065	0.030
冬季供暖 (仅北方城市)	102	46.27	47.2%	—	0.317	0.258	1.341	0.003
日常炊事	254	8.5	14.5%	15.1%	0.057	0.053	0.497	0.002
总计	北方城市	104	98.01	—	0.642	0.359	1.826	0.085
	南方城市	151	64.06	—	0.388	0.289	2.562	0.041

表 2 2006 年中国“秦岭—淮河”冬季供暖分界线两侧相似城市的人均居住碳排放比较

城市名称	人均居住碳排放 (吨/人)	人均可支配收入 (元/人)	一月平均气温 (℃)	七月平均气温 (℃)	南北方城市 (1: 北方; 0: 南方)
临沂	0.507	12355	0.0	27.4	1
铜陵	0.316	11280	3.4	28.8	0
濮阳	0.450	8963	0.3	27.1	1
咸宁	0.162	8807	4.2	30.2	0

四、人均居住碳排放影响因素的计量模型分析

(一) 变量选择与描述性统计

为了更深入地探讨居住碳排放的影响因素，我们利用 254 个城市 1999 – 2006 年的平板数据，运用计量

⑥ 由于篇幅限制，居住碳排放的详细估算方法请详见《低碳生活的特征探索——基于 2009 年北京市“家庭能源消耗与居住环境”调查数据的分析》，该篇文章刊登于《城市与区域规划研究》2009 年。

经济学的方法分别估计人均生活用电碳排放和人均冬季供暖碳排放的多元线性回归方程。自变量中，我们选择了城市特征和居民特征等两个方面的变量，并控制年度哑元变量（见表3），这些变量都很具有代表性。首先，城市的气候条件对居住碳排放有重要的影响。我们选择城市一月及七月平均气温作为反映上述影响的自变量。这是因为冬季和夏季的气温通过影响城市居民的能源消耗行为来影响居住能耗水平。除了上述人为不可控的自然因素外，城市社会经济特征及城市空间结构等因素对人均居住碳排放所产生的影响是我们更为感兴趣的。首先，城市人均可支配收入的对数值被加入方程以估计碳排放的收入弹性，这是很

重要的经济参数，用以反映能源消耗和碳排放水平与经济增长速度之间的相对关系。之后，我们又加入了人均收入对数值的二次项和三次项，以考察碳排放与人均收入之间是否存在经典的环境库兹涅茨曲线关系；以及人均收入对数值与后四年哑元变量的交叉变量，观察收入弹性在后半期是否发生了显著的升高或降低。在城市和住房特征方面，我们主要考虑了城市人口密度和城市平均房龄，用以反映城市空间结构和住房质量。此外，能源价格也是非常重要的因素，我们在方程中控制了城市生活用电、冬季供暖等能源价格，观察是否存在负的价格弹性。年度哑元变量以1999年为基年，以考察人均居住碳排放随时间的变化。

表3 计量模型中的变量

变量名称	变量含义	单位	样本量	平均值	标准差
LELEPCPC	人均生活用电碳排放量对数值	吨/人	254 城市 × 8 年	-1.696	0.703
LHTCPC	人均冬季供暖碳排放量对数值		254 城市 × 8 年	-1.980	1.263
LDENSITY	人口密度对数值	万人/平方公里	254 城市 × 8 年	0.51	0.52
JAN	一月平均温度	摄氏度	254 城市 × 1 年	1.9	8.6
JULY	七月平均温度	摄氏度	254 城市 × 1 年	27.0	2.7
LINCPC	人均可支配收入对数值	元/人	254 城市 × 8 年	8.90	0.34
LINCPC2	人均可支配收入对数值的二次方		254 城市 × 8 年	79.31	6.06
LINCPC3			254 城市 × 8 年	707.81	81.79
LINCPC × Y ₀₃₋₀₆	人均可支配收入与时间虚变量的交叉变量（对于2003-2006年，Y ₀₃₋₀₆ = 1）		254 城市 × 8 年	4.78	4.53
HAGE	平均房龄	年	93 城市 × 1 年	14.79	2.73
LPELECT	城市用电价格对数值	元/百千瓦时	93 城市 × 8 年	3.85	0.17
LPHEAT	城市供暖价格对数值	元/平方米/月	93 城市 × 8 年	1.54	0.48
Y ₀₀ - Y ₀₆	年度虚变量，1999 年为基年				

注：城市房龄只有93个城市1年的数据，但城市房龄在短期内不会有很大变化，因此对结果不会产生很大影响。用电价格和供暖价格也只有93个城市的数据。一月和七月平均气温只有1年数据，同样，气温在短期内也不会发生很大变化。

（二）人均生活用电碳排放的方程估计

处理面板数据（Panel data）常用的模型有三种：固定截距固定斜率模型、变截距模型（又分为固定影响和随机影响两类）、变斜率（变系数）模型。经Hausman检验，本文中的人均生活用电与冬季供暖碳排放方程都适合采用固定影响变截距模型形式，截距随时间变化。在人均生活用电碳排放方程中，我们均控制了城市气候条件的相关变量，即一月和七月平均气温。结果表明：气候适宜的城市（表现为一月平均气温较高，七月平均气温较低），其居民往往会在冬季使用较少的用电设备（电暖器等）进行采暖，或在夏季较短时间采用空调制冷，故人均生活用电碳排放量也会较低（见表4方程（1）-（3））。

在控制城市气候条件后，我们考察用电碳排放与居民收入水平之间的关系。方程（1）中得到人均生活用电碳排放的收入弹性是1.447，即人均收入增加10%，人均用电碳排放会增加14.5%，这表明生活用电碳排放要比收入增长的更快。此外，为考察这一收入弹性是否随时间发生变化，我们进一步引入了收入与时间段的交叉变量（方程（2）），并发现用电碳排放的收入弹性在2003-2006年这个四年的时间段，比前一个四年的时间段发生了较为显著的上升。这表明人均用电碳排放对于收入的敏感性在前后八年内显著提高，不同收入家庭之间的用电能源消耗差异性在增大，高收入群体改善生活质量的需求更大，也有条件使用更多和更先进的家用电器，导致收入弹性上

升。为了进一步考察随着城市居民收入水平的增长，人均居住碳排放的变化特点，我们加入了人均可支配收入对数值的二次项和三次项，发现一次项和三次项显著为负，而二次项显著为正，存在着一定的 S 型曲线关系，即当居民生活水平较低时，用电碳排放增长缓慢，当居民生活水平得到一定程度提高后，用电碳排放迅速增长直至人均收入达到较高水平时，用电碳排放随之下降。这与著名的环境库兹涅茨曲线（EKC）不一致，但验证了李稻葵等（2009）^[13]的研究结果，可能的原因是二氧化碳排放具有较强的全球负外部性，因此不遵循传统的环境库兹涅茨曲线规律。根据我们对拐点数值的测定，目前中国 254 个主要城市几乎全部处于用电碳排放随收入水平提高而快速增长的发展阶段（公式（1））。

$$\begin{aligned} \text{LELEPC} = & 201.36 - 67.92 * \text{LINCPC} + 7.405 \\ & * \text{LINCPC}^2 - 2.603 * \text{LINCPC}^3 - 0.015 * \text{JAN} + \\ & 0.009 * \text{JULY} \quad (1) \\ & (3.97^{***}) (-3.97^{***}) (3.84^*) (-3.63^{***}) \\ & (-8.40^{***}) (1.62^*) \end{aligned}$$

注：括号中为 t 统计量，*** 表示在 1% 的置信度

下显著；* 表示在 5% 的置信度下显著。

在控制了收入后，我们进一步考察城市空间结构特征、住房质量以及用电价格对人均生活用电碳排放的影响效果（方程（4）），需要说明的是，由于我们仅有 90 余个城市的房龄和价格数据，因此方程（4）中的样本较少。我们发现：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用效率，并意味着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，从而降低居民用电与碳排放水平。住宅质量对于居住碳排放也有显著影响，年代较为久远的住宅，其保温隔热性能差，电器设备的节能技术含量也会较低，并导致更高的碳排放。除此以外，用电成本的增加会有效减少居民的用电量，并由此降低碳排放水平，价格弹性显著为负。具体而言，人均生活用电碳排放的能源价格弹性为 -0.681，即能源价格每提高 10%，人均居住碳排放量减少 6.8%。这表明，通过电价水平的弹性调整，可以有效改变居民用电动机和用电消耗，鼓励居民节约电能。

表 4 模型回归结果（1）

因变量	人均生活用电碳排放		
自变量	(1)	(2)	(3)
LINCPC	1.447 ^{***} (28.33)	1.364 ^{***} (19.17)	1.045 ^{***} (17.24)
LINCPC × Y ₀₃₋₀₆		0.163 [*] (1.68)	
LDENSITY			-0.448 ^{***} (-12.38)
HAGE			0.043 ^{***} (7.04)
LPELEC			-0.681 ^{***} (-5.00)
JAN	-0.016 ^{***} (-9.03)	-0.016 ^{***} (-8.57)	0.001 (0.43)
JULY	0.014 ^{**} (2.39)	0.012 ^{**} (2.04)	0.020 ^{***} (2.83)
Constant	-14.59 ^{***} (-32.78)	-13.83 ^{***} (-21.71)	-9.039 ^{***} (-14.49)
Obs.	1898	1898	679
R ²	0.34	0.34	0.53

注：括号中为 t 统计量。* p < 0.10，** p < 0.05，*** p < 0.01

（三）人均冬季供暖碳排放

在人均冬季供暖碳排放方程中（表 5），我们仅控制了一月平均气温这一反映城市气候条件的变量，这是因为供暖碳排放仅与冬季气温有关（方程（4）-（6））。另外，由于我国仅有北方城市存在集中供暖，因此方程（4）中仅包含北方城市的样本。结果发现，冬季气温越低（表现为一月平均气温越低）的城市，其居民供暖需求往往越大，因此城市集中供暖强度也往往越高，故人均冬季供暖碳排放量也会较高。

在控制城市气候条件后，我们考察供暖碳排放与居民收入水平之间的关系。我们发现，年度哑元变量的系数在不同年份之间的变化呈现波动态势，并没有明显下降趋势，方程（4）-（6）中基本都验证了这一分析结果。此外，方程（4）中得到人均冬季供暖碳排放与居民收入具有显著的正相关性。但正如前文所述，本文中的冬季供暖碳排放仅考虑集中供暖，分散供暖的能耗已在居民用电和其他能源里予以考虑；而这种集中供暖是非常刚性的，绝大多数居民无法实现户内温度调节，因此人均冬季供暖碳排放的大

小并不能真实反映居民的供暖偏好和支付意愿。之所以收入变量如此显著，是因为收入与住房面积呈高度正相关（相关系数为 40%），而集中供暖的热量消耗也与住房面积高度正相关。此外，刚性的供暖方式也使其收入弹性在我们所研究的期间内并未发生明显变化（方程（5））。经验证，人均冬季供暖碳排放也不存在与人均收入之间的 S 型曲线关系（公式（2））。

$$\begin{aligned} \text{LHTCPC} = & 110.90 - 41.01 * \text{LINCPC} + 4.790 * \\ & \text{LINCPC}^2 - 0.180 * \text{LINCPC}^3 - 0.085 * \text{JAN} \quad (2) \\ & (0.24) \quad (-0.26) \quad (0.27) \quad (- \end{aligned}$$

$$0.27) \quad (-15.37^{***})$$

注：括号中为 t 统计量，*** 表示在 1% 的置信度下显著。

如方程（6）所示，城市空间结构特征与住宅质量对供暖碳排放的影响效果，类似于用电碳排放，即紧凑型的城市发展模式（表现为较高的城市人口密度），以及较高的住宅质量（表现为房龄较小），均可以通过提高能源使用效率和减少热量损失，有效降低供暖碳排放水平。此外，同样由于刚性的供暖方式，供暖的价格弹性很小且不显著。

表 5 模型回归结果（2）

因变量	人均冬季供暖碳排放		
自变量	(4)	(5)	(6)
LINCPC	1.379*** (7.97)	1.314*** (5.46)	1.384*** (5.22)
LINCPC × Y ₀₃₋₀₆		0.133 (0.39)	
LDENSITY			-0.795*** (-5.38)
HAGE			0.034 (1.53)
LPELEC			0.024 (0.23)
JAN	-0.085*** (-15.57)	-0.085*** (-15.52)	-0.065*** (-7.40)
Constant	-14.51*** (-9.76)	-13.95*** (-6.77)	-14.76*** (-6.44)
Obs.	758	758	287
R ²	0.28	0.29	0.36

注：括号中为 t 统计量。* p < 0.10, ** p < 0.05, *** p < 0.01

五、结论和政策含义

目前对中国各行业和各地区产业碳排放的经济学分析已经较多，但对居住碳排放的研究还很缺乏。伴随着中国快速的城市化，以及城市居民收入上升和居住、出行及社会活动的日益多元化，居住碳排放量在碳排放总量中的比重预计会逐渐上升。本文从这个角度切入，收集了中国 1999 – 2006 年间 254 个地级及以上城市居住能源消耗的数据与碳排放的各项转化因子，计算得出各城市居住碳排放及其子项（生活用电、冬季供暖和日常炊事）的人均量。以 2006 年为例，北方城市人均居住碳排放量为 0.64 吨/人，南方城市为 0.39 吨/人，两者的差距主要在于南方城市没有冬季集中供暖。这些信息和数据能够为本领域的后续研究提供很好的基础。我们发现，中国城市的居住碳排放水平要比美国低很多。中国人均居住碳排放最高的城市的碳排放水平（2.6 吨/人）也不足美国人均居住碳排放最低的城市圣地亚哥（5.34 吨）的 1/2。本文的实证研究表明，城市气候条件对居住碳排放有较大的影响。温度适宜程度越高的城市（冬季气温高或夏季气温低），居住碳排放量越小。当然我们无法改变城市的气候条件，但这一发现有助于帮助

我们更好地理解城市间的差异性，这是各城市制定符合其自身特点的低碳战略时所需要了解的。

为了能够进一步考察城市居民能源消费与碳排放，对收入水平变化与能源价格变化的敏感程度，我们估算了人均居住碳排放的收入弹性与价格弹性系数，并发现：目前人均居住碳排放的收入弹性已经超过 1，尤其是生活用电碳排放的弹性几乎达到 1.5，且在本文研究区间的后半段有显著上升，表明城市居住碳排放的增长速度会超过经济增长和居民收入增长的速度，且对收入的敏感性在增强，这一点尤其值得政策制定者注意。我们目前的研究还没有包括居民交通碳排放，而目前中国城市中的机动车拥有率正在呈指数上升趋势，因此可以预见未来城市居民生活碳排放的增速会超过经济增长速度。相反，由于技术进步等原因，目前中国产业的能源强度是在下降。这意味着居民生活方式的转变对于“低碳社会”的建设会起到越来越关键的作用。同时，我们还发现生活用电碳排放并不遵循环境库兹涅茨曲线（EKC）规律，而是存在 S 型曲线关系，可能的原因在于二氧化碳排放的全球公共物品的特征。根据我们对拐点的测点，目前中国城市几乎全部处于居住碳排放随着收入水平

的提高而快速增长的发展阶段。对于居民可以弹性调节的能源消费（如本文中的居民用电），能源价格的市场调节力量已很显著，抬高电价可以有效鼓励居民节约电能。但北方冬季的集中供暖由于其刚性供给的特征，价格的作用非常不显著。这表明我们有必要增加居民能源消费的自由度，并探索能够有效反映能源稀缺性的合理能源价格体系，通过市场之手改变人们的能源消费动机和行为，降低能源消费和碳排放。

城市空间发展模式和住房质量与居住碳排放水平密切相关。紧凑型的城市空间发展模式，可以有效提高土地使用效率，并意味着更高的容积率水平和居住密度，会减少住宅与外界的直接接触面积，并提高能源基础设施的利用效率，减少能量损失，从而降低居住碳排放水平。住房年代越久远，其保温隔热性能越差，电器设备的节能技术含量也较低，这都导致了更高的居住碳排放。这表明，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，并降低能耗和碳排放；加快改造城市危旧住房、推广建筑节能技术应用也都能显著提高能源使用效率，并有效降低人均居住碳排放水平。

快速城市化下的中国目前正处在转型期的十字路口，城市增长模式需要从高污染、高能耗向节能环保的可持续方式转变，这种转变不仅包括产业结构转型和技术革新，也包括生活方式的转型，而后者在许多政策制定过程中则往往被忽视。随着中国经济的发展，能源需求也急剧增加，虽然看起来短期很难改变人们的生活方式，能源需求似乎是刚性的，在长期却有很大的弹性（Cooper, 2003^[14]；Stern, 2003^[15]）。如果政府给予一定的经济刺激政策，例如能源成本的改变（通过价格或税收方式），就可以在长期改变人们的习惯，例如用更加节能的电器，或者选择更为弹性的冬季供暖方式，这反过来又会激励企业对节能技术进行技术创新，制造出更为节能的建筑与家用电器等。本文的研究成果有助于我们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，以及公共政策能够以怎样的方式来改变城市空间发展模式和居民的能源消费行为，从而为城市规划和城市管理者提供信息支持，辅助“低碳城市”相关政策的制定。

参考文献:

- [1] Glaeser, Edward L., and Matthew E. Kahn. The Greenness of Cities. *Journal of Urban Economics*, Forthcoming. (NBER Working Paper #14238, 2008.)
- [2] Pfaff, Alexander S. P., Shubham Chaudhuri, and H. Nye. Household Production and Environmental Cuznets Curve: Examining the Desirability and Feasibility

of Substitution [J]. *Environmental & Resource Economics*, 2004, 27 (2): 187 - 200.

[3] Glaeser, Edward L., and Matthew E. Kahn. 2003. *Sprawl and Urban Growth*. Discussion Paper No. 2004. Harvard Institute of Economic Research.

[4] Ewing, Reid and Fang Rong. The Impact of Urban Form on U. S. Residential Energy Use [J]. *Housing Policy Debate*, 2008, 19 (1): 1 - 29.

[5] Erling, H. and Ingrid, T. N. 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 Region [J]. *Urban Studies*, 2005, 42 (12): 2145 - 2166.

[6] Patrick M. Condon, Duncan Cavens, and Nicole Miller. *Urban Planning Tools for Climate Change Mitigation (Policy Focus Report)*. Lincoln Institute of Land Policy.

[7] 丁丁, 周 罔. 我国低碳经济发展模式的实现途径和政策建议 [J]. *环境保护与循环经济*, 2008, 2008 (03): 4 - 5.

[8] 于 娟, 彭希哲. 碳税循环政策对中国农村能源结构调整的作用——基于 CGE 模型的政策讨论. *世界经济文汇*, 2007, (06): 87 - 98.

[9] 辛章平, 张银太. 低碳经济与低碳城市 [J]. *城市发展研究*, 2008, (04): 98 - 102.

[10] Planning Policy Statement: Planning and Climate Change - Supplement to Planning Policy Statement 1. <http://www.communities.gov.uk/publications/planningandbuilding/ppscclimatechange>.

[11] Community Energy: Urban Planning for a Low Carbon Future. http://www.tcpa.org.uk/press_files/pressreleases_2008/20080331_Energy_Guide

[12] 辛章平, 张银太. 低碳社区及其实践 [J]. *城市问题*, 2008, (10): 92 - 93.

[13] 李稻葵, 汪进. 中国的二氧化碳排放的经济学分析与预测 [R]. 清华大学中国与世界经济研究中心研究报告, 2008 (03)

[14] Cooper, John. Price Elasticity of Demand for Crude Oil: Estimates for 23 Countries [J]. *OPEC Review*, 2003, 27 (1): 1 - 8.

[15] Stern, Thomas. 2003. Policy Instruments for Road Transportation. *Policy Instruments for Environmental and Natural Resource Management. Resources for the Future Press*, Washington, D. C.

(编辑校对: 段钢 陈利)