

# 中国的城市密度与碳排放

吴建新 吴延瑞 郭秀梅\*

## 引 言

作为全球第一大温室气体（GHG）排放国，中国面临着巨大的减排挑战。这些挑战主要来源于城市，因其占中国能源消费的份额最大。2006 年的一项研究表明，中国全部商业能耗的 84% 发生在城市地区（Dhakal, 2009）。

在经济学理论领域，新经济地理学的观点是，城市集聚会引起规模经济、技术进步和交易成本的降低，并因此降低能耗和二氧化碳排放量。此外，人口空间分布（包括人口在城市内部和城市群之间的分布）和经济活动是影响能耗和二氧化碳排放量的关键因素。

中国的城市作为世界上最大的碳排放国的能源消耗中心，是应对全球和国内能源相关挑战的关键。对二氧化碳排放量和城市人口空间分布以及相关经济活动之间关系的研究也因此对中国的城市化有重要的政策意义。

在过去的 10 年里，城市化政策使得每年有超过 2000 万的农村人口涌入城市。这一进程也得到了有利的区域发展政策和产业转移政策的支持。由于这些优惠政策会影响人口和相关经济活动的分布，故而也会对环境产生巨大

---

\* 本章的撰写得到了中国国家自然科学基金（1333007、71473105）、中国国家社会科学基金（15ZDA054）以及必和必拓集团访问学者项目（西澳大利亚大学）的支持。本章初稿完成于吴建新访问西澳大利亚大学商学院期间。在此对 Lauren Johnston 和宋立刚的点评表示感谢。

的影响。

一些国际机构和各国政府一直考虑通过建立紧凑型城市来降低能源消耗和减少温室气体的排放（Gaigné et al. , 2012）。一种假设是，紧凑型城市较其他类型的城市来说，较少地使用私家车，这会降低能耗和减少二氧化碳排放量。最近的一些理论和实证文献指出了一种影响机制，即城市密度通过通勤水平影响环境（Brownstone and Golob, 2009；Glaeser and Kahn, 2010；Gaigné et al. , 2012）。一些针对发达国家样本的家庭层面的研究发现了强有力的证据，表明城市人口密度与通勤产生的能源消耗负相关（Brownstone and Golob, 2009；Glaeser and Kahn, 2010；Cirilli and Veneri, 2014；S. Lee and B. Lee, 2014）。然而，许多研究人员认为城市密度对二氧化碳排放量的影响是一个复杂的问题（Gaigné et al. , 2012；Borck and Pflüger, 2013；Larson and Yezer, 2014）。城市密度对二氧化碳排放量的总体影响仍不能确定。因为研究人员仍在争论紧凑型城市在能源效率方面是否优于分散型城市，所以环境政策的制定者需要稳妥地采用一种全面的、适用于全市范围的政策，而不是只考虑通勤或运输因素的影响。

本章的目标是对城市密度和二氧化碳排放量之间的关系进行全面的实证检验。这对本章有三大贡献。首先，中国地级市及地级以上城市的完整的面板数据的使用，使得我们不但可以控制时间不变的遗漏变量（这些变量可能会扭曲横截面估计），而且避免了可能发生的样本选择偏差，即避免了大多数现有研究仅使用部分样本和以家庭为单位的调查样本的缺陷。其次，我们研究了城市密度对二氧化碳排放量的影响的三种体系，包括市内通勤、交通运输和整个城市体系。最后，我们的实证结果表明，紧凑型城市比分散型城市更环保。然而，我们也发现，中国紧凑型城市的居民更多地依靠公共交通运输方式，也因此通过市内通勤造成了更多的二氧化碳排放量。

本章的其余部分安排如下：第二部分是文献综述；第三部分是数据和变量；第四部分介绍有关中国城市密度的一些典型事实；第五部分进行实证分析；第六部分是结论。

## 文献综述

运输在能源消耗和温室气体排放中的贡献占据很大份额，并且这一份额

还在不断增大，因此，实证文献的很大一部分集中在城市密度对交通运输排放温室气体的影响方面，尤其是市内通勤方面。Holden 和 Norland（2005）对来自挪威大奥斯陆地区八个住宅区的住户调查数据进行研究，发现在住房和运输的能源使用方面，密集型城市比分散型城市更环保。同样地，Muñiz 和 Galindo（2005）对西班牙巴塞罗那的 163 个城市数据进行研究后发现，更密集的中心地区在通勤方面比周围地区具有更低的能耗。基于 2001 年美国家庭交通情况调查的加利福尼亚子样本，Brownstone 和 Golob（2009）发现每平方英里（2.6 平方公里）减少 1000 套住房（40%），会导致每户家庭每年使用的燃料增加 65 加仑（246 升）（5.5%）以及行驶路程增加 1200 英里（1930 公里）（4.8%）。关于住宅密度对燃料使用率的影响，增加的里程导致 45 加仑（170 升）的差异，其余 20 加仑（76 升）与车辆选择有关。S. Lee and B. Lee（2014）发现，翻倍的人口加权城市密度与家庭旅行和住宅能源消耗的二氧化碳排放量减少有关，相关系数分别为 48% 和 35%。Cirilli 和 Veneri（2014）对 2001 年 111 个来自意大利的较大城市的横截面数据分析后发现，更小、更紧凑的城市降低了通勤的二氧化碳排放量。以上研究大多数基于以家庭为单位的横截面数据。

鉴于城市二氧化碳排放量数据的可得性问题，还有一些文献集中在城市密度对其他污染物（如二氧化硫、二氧化氮和颗粒物）的影响。Hilber 和 Palmer（2014）对来自 45 个国家的 75 个城市面板数据的研究发现，汽车和人口密度的增加可以显著降低城市中心区的空气污染浓度。汽车密度与污染的负相关关系来自汽车密度对住宅和经济活动的分散化影响。研究结果显示，私家车对污染物排放的影响实质上比预期的复杂。Sarzynski（2012）研究了 2005 年全球范围内 8038 个城市的数据样本后发现，紧凑型城市能够产生较低的污染物排放总量。

交通运输在欧盟 15 个国家和美国的温室气体排放量中的贡献分别占 20% 和 30%（OECD，2008）。据估计，在中国地市级及地级以上城市中，运输排放的二氧化碳约占总排放量的 18%。交通运输在能量消耗和二氧化碳排放中起重要作用，但是其他因素也会引起二氧化碳排放的增加并且不容忽视。最近的研究还试图通过更一般的框架来探讨城市紧凑性对二氧化碳排放量的影响。Larson 和 Yezer（2014）创建了一个城市仿真模型，包括城市内源性人口、住房供求关系和通勤。模拟结果表明，城市规模和人口密度对

能耗的影响不显著。在更一般的均衡框架下，Gaigné 等（2012）创建了一个仅包括 2 个城市的城市系统模型，研究发现，理论上紧凑型城市的家庭不一定更环保。较高的人口密度可以减少通勤产生的二氧化碳，但由于价格、工资和地租的变化，经济活动的迁移可能增加二氧化碳排放量。换句话说，只有当城市间和城市内部的经济活动分布保持不变时，紧凑性的增强才是环境所需。因此，紧凑性增强可能不会减少二氧化碳的排放，当人们考虑到城市内部和城市之间的活动可能迁移，并采取相应措施以应对更高的人口密度及其相关的后果时。与 Larson 和 Yezer（2014）、Gaigné 等（2012）不同的是，Borck 和 Pflüger（2013）开发了一个新的经济地理模型，解释城市内通勤、城际物品运输、制造业、农产品生产及住宅能源使用所产生的综合污染物排放。他们发现城市规模对污染的影响不明显。这些结果基于理论分析或模拟得出，因此需要通过经验研究来验证这些假设。

还有一些文献试图调查城市布局 and 规划对发展中国家（尤其是中国）二氧化碳排放量的影响。Chen 等（2008）使用来自 45 个大城市的数据，从环境角度分析城市紧凑性的成本和收益，得出的结论是：许多中国城市的人口密度通常小于可以最大化城市环境质量的临界密度水平。Liu 等（2014）构建了二氧化碳经济效率（国内生产总值与总二氧化碳排放的比率）和二氧化碳社会效率（社会福利措施与总二氧化碳排放的比率）的指标。基于 30 个中国城市的面板数据研究发现，城市紧凑性与二氧化碳经济效率正相关，与二氧化碳社会效益负相关。Qin 和 Wu（2015）研究 1998 ~ 2008 年中国 25 个省份的数据后发现，二氧化碳排放强度与城市集中度之间存在非线性关系。更特别的是，他们发现随着城市集中度的提高，二氧化碳排放强度先增加后下降。他们将二氧化碳排放强度和城市集中度之间的钟形关系归因于规模经济、技术进步、制度改革和产业结构变化等的相互作用。Jenks 和 Burgess（2000）利用发展中国家的案例来突出紧凑型城市的可持续特性；然而，这一领域的实证研究总是受到样本量小的限制。

一般而言，由于数据限制，大多数现有研究针对发达国家，特别是美国和欧洲城市的横截面家庭调查数据。这种类型的研究有三个潜在的局限性。第一，横截面数据忽略了技术和结构随时间的变化，这可以从根本上减少某些类型的能源消耗产生的二氧化碳排放。城市能源消费的行业构成和结构也可能随时间变化。环境库兹涅茨曲线（EKC）模型的倡导者认为，随着收

入的增长，污染首先增加，然后由于产业结构的变化和清洁技术的采用而下降（Stern，2014）。这种下降也可能受到其他因素的驱动，例如环境规制、环保意识增强以及污染工业的迁移等。第二，使用家庭数据的研究只考虑由消费造成的二氧化碳排放，忽视生产方面的排放。然而，生产过程中产生的二氧化碳排放量占总排放量的比重很大。因此，忽略了生产性二氧化碳排放量可能会导致明显的结果偏差和不正确的政策影响。第三，在发达国家，私家车是主要的交通工具，而在发展中国家，公共交通如公共汽车和出租车是最常见的。根据 Zheng 等（2011）的观点，私家车在中国能源使用中占比很小。

由于大多数发达国家不收集城市层面的经济数据，因此大多数实证研究采用的是以家庭为单位的横截面数据（Au and Henderson，2006）。幸运的是，中国政府定期收集和报告城市水平的经济数据，为从城市层面分析提供了一个独特的数据库。本章的目的是分析城市密度对市内通勤、交通运输和整个城市系统二氧化碳排放的影响。

## 数据和变量

我们的数据取自中国国家统计局（NBS）的一系列官方出版物。三个主要来源是《中国城市统计年鉴》（NBS，2008 – 12a）、《中国城市建设统计年鉴》（NBS，2008 – 12e）、《中国统计年鉴》（NBS，2008 – 12c）。截至 2011 年，中国有 287 个城市是地级以上城市。由于拉萨市大部分数据不可用，我们的面板数据集包括 2007 ~ 2011 年 287 个城市中的 286 个城市。

### 能源消耗

因为对我国二氧化碳排放量进行估计基于能源消耗，我们首先需要估计能源消耗量。在本章中，我们考虑四种主要的能源消耗：煤炭、煤气和液化石油气、运输以及城市供暖。《中国城市统计年鉴》统计了每个城市电力、煤气和液化石油气的原始年度数据。

作为福利制度的一部分，集中供热是为中国北方城市（指淮河以北的城市）提供冬季供暖（从 11 月 15 日至下一年的 3 月 15 日）。中小型工业锅炉通过烧煤供热。城市集中供热的数据可以从《中国城市建设统计年鉴》

中获得。根据中国国家标准 GB/T 15317 – 2009 “燃煤工业锅炉节能检验和监测标准”，我们采用 70% 的热效率。根据热值、热效率和平均低热值 (20908 kJ / kg) 的数据，我们可以估计每个城市冬季供热的煤耗。

交通的能源消耗在城市能源消耗中占很大一部分。不幸的是，城市层面没有直接提供运输的能源消耗数据。然而，《中国城市统计年鉴》却提供了详细的陆路、铁路、水路和航空的货运量（吨/公里）和客运量（人/公里）信息。《中国统计年鉴》提供了运输部门所有类型能源消耗的数据。Li 等（2013）报告了不同运输方式的能源消耗类型。因此，我们可以计算每个运输模式的能量消耗强度。通过城市级货运量、客运量和每种交通模式的能源强度数据，我们还可以估计每个城市交通部门的能源消耗。最终，利用《中国能源统计年鉴》中的标准转换因子，四个运输方式的能源消耗量被转换为标准煤当量（TCE）。

## 二氧化碳排放量

### 二氧化碳排放总量和运输部门的二氧化碳排放量

基于前一节讨论的能耗数据估计二氧化碳排放量如下：

$$Emissions_{CO_2} = \delta_1 \times Transport + \delta_2 \times Electricity + \delta_3 \times Heating + \delta_4 \times Fuel \quad (1)$$

在公式（1）中， $\delta_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) 是转换系数。运输部门产生的二氧化碳排放量的计算方法与运输消耗的能源的计算方法是相似的。燃料燃烧和供暖产生的二氧化碳排放量可用煤气、液化石油气和取暖用煤量结合相关转换系数预估出来。本章的二氧化碳排放量换算系数来自政府间气候变化指导委员会的报告（IPCC，2006）。

由于不同的城市使用不同的自然资源发电，不同地区的电力转换系数显著不同。中国国家电网包括六个区域电网。幸运的是，近年来各区域电网的基准排放因子由国家气候协调委员会预估和报告。由于通过区域电网传输的电力可能重复计算，我们在各地区使用基准排放因子将电力消耗折算成二氧化碳排放量。

### 市内通勤所产生的二氧化碳排放量

中国城市内的通勤方式包括公交车、出租车、私家车和地铁。截至 2011 年，中国有 9 个城市开通了地铁（北京、上海、广州、深圳、天津、



南京、沈阳、成都、武汉)，但只有 3 个城市在本研究进行期间（2002 ~ 2011 年）有地铁运行：北京、上海和广州。其余 6 个城市在研究样本的后期建成地铁且只开通了一条线路。地级以上城市中的私家车数据缺失，Zheng 等（2011）估计，私家车只占公共交通的一小部分。因此，我们认为地铁和私家车对市内通勤的贡献相对较小。按照 Zheng 等（2011）方法，我们利用市内公共交通（即公共汽车和出租车）来表示市内通勤。每个城市的公共汽车和出租车的数量在《中国城市统计年鉴》中是可查询的。燃料消耗量（汽油和柴油）是根据国家标准 JT 711 - 2008 “营运客车燃料消耗量限值及测量方法” 计算得到的。通勤消耗的汽油和柴油产生的二氧化碳排放量可以通过 IPCC 指南（2006 年）里的转换系数计算得到。

## 因变量

本章的目的是研究城市密度对市内通勤、交通运输和整个城市系统二氧化碳排放量的影响。因此，我们使用以下因变量：通勤相关的人均二氧化碳排放量（*CPCCEs*）、交通运输相关的人均二氧化碳排放量（*TPCCEs*）、城市系统相关的人均二氧化碳排放量（*UPCCEs*）。

## 解释变量

### 城市密度

借鉴本研究领域的文献，我们使用每平方公里的城市人口数表示城市密度（记为 *density*）。由于人口密度高可以缩短平均通勤距离，城市密度对 *CPCCEs* 的影响预计是负面的。然而，正如一些研究人员（Gaigné et al., 2012; Borck and Pflüger, 2013; Larson and Yezer, 2014）认为的，城市密度对交通运输部门和整个城市系统所产生的二氧化碳排放量的影响是复杂的。因此，城市密度对 *UPCCEs* 和 *TPCCEs* 的影响是不明确的。

### 收入水平

我们使用城市人均市内生产总值（GCP）代表城市收入水平 [记为  $\ln(\text{income})$ ]。收入水平的提高会带来更多的产品和服务的生产与消费，预计收入水平将与二氧化碳排放量正相关。

### 能源强度

能源强度（GCP 的单位能耗，记为 *energyintensity*）始终是环境研究中

技术进步异质性和变异性的标准替代指标（如 Auffhammer and Carson, 2008; Du et al., 2012）。预计能源强度与二氧化碳排放量正相关。

### 产业结构变量

产业结构变量由第二、第三产业的收入份额衡量，分别记作 *Sec\_Share* 和 *Ter\_Share*。产业组成可能通过两种方式影响二氧化碳排放量。首先，不同的行业在直接能源来源和二氧化碳排放量方面有很大的不同。例如，第二产业通常比农业和第三产业产生更多的二氧化碳排放量。其次，第二产业是资本密集型产业，因此在货物运输过程中会产生更多的二氧化碳排放量。相反地，第三产业是劳动密集型产业，因此客运运输会产生更多的二氧化碳排放量。因此，为了全面掌握城市的产业组合随时间推移可能产生的变化，第二、第三产业的产出份额被纳入研究范围。

### 贸易开放度

我们使用一个城市的对外贸易额占 GCP 的比例作为贸易开放度的替代指标（记为 *openness*）。对外贸易与二氧化碳排放量的关系在文献中被广泛讨论（Halicioglu, 2009; Lin and Sun, 2010; Ren et al., 2014）。企业可以从对外贸易中获得清洁生产技术（从而减少二氧化碳排放量），然而能源密集型产品的出口可能会增加国内的二氧化碳排放量。因此，对外贸易对二氧化碳排放总量的总体影响仍不明确。

### 外国直接投资

考虑到中国是世界上外国直接投资最主要的东道国之一，我们将外国直接投资（记为 *FDIY*）作为一个控制变量。这一变量用一个城市实际利用的外商直接投资占市内生产总值的比例表示。外国直接投资与二氧化碳排放量之间的关系与“污染避难所”理论相关。“污染避难所”理论是说，来自环境法规严格的发达国家的高排放企业倾向于转移到环境法规薄弱的发展中国家（Kellenberg, 2009）。但是，这种效应的经验证据仍然不明确。

本章中，城市密度是按实际居住人口计算的，而不是通过户口（户籍制度）计算的。实际居住人口和外贸数据成交量是从《中国区域经济统计年鉴》（NBS 2008 - 12d）中得到的，而管辖权、名义 GCP 和外国直接投资数据是从《中国城市统计年鉴》（NBS 2008 - 12a）中直接获得的。以 2007 年为基准年，名义 GCP 是通过省级特定地区生产总值（GRP）平减指数排



除通胀因素得来的。具体的地区生产总值（GRP）平减指数是从《中国统计年鉴》（NBS 2008 – 12c）得到的。表 1 是对主要变量的描述性统计分析并揭示了不同城市之间巨大的异质性。

表 1 变量的描述性统计分析

变量	平均值	标准差	最小值	最大值
<i>UPCCEs</i> (吨/人)	2.640	4.156	0.067	48.137
<i>TPCCEs</i> (吨/人)	0.397	0.399	0.033	3.474
<i>CPCCEs</i> (吨/人)	0.047	0.074	0.001	1.228
城市密度(人/每平方公里)	413.3	311.800	4.700	2565.100
收入(万元/人)	1.869	2.314	0.163	32.066
能源强度(吨/千元)	0.306	0.257	0.059	2.871
第二产业份额	0.481	0.116	0.090	0.910
第三产业份额	0.358	0.081	0.086	0.853
贸易开放度	0.278	0.779	0.000	26.970
<i>FDIY</i> (FDI/GCP)	0.027	0.031	0.000	0.420

数据来源：笔者计算。

## 中国城市密度程式化事实

中国在过去数十年经历了快速的城市化进程。相较于其他国家，中国耕地短缺。例如，2011 年，中国人均耕地约为 1023 平方米，约占全球平均水平（2500 平方米）的 40.9%。中国政府在整个城市化过程中实施严格的土地调控政策，导致城市密度持续增加。

图 1 展现了平均城市密度从 2007 年到 2011 年的变化。在中国三大地区，东部地区城市的平均人口密度比中西部地区高出很多。根据《中国统计年鉴》（NBS 2008 – 12c）的分类标准，通过人口数量我们可以把城市分为五种类型：小城市（小于 50 万人）、中小城市（50 万 ~ 100 万人）、中等城市（100 万 ~ 200 万人）、大城市（200 万 ~ 400 万人）和特大城市（400 万人以上）。我们发现，城市密度与城市规模高度相关（见图 2）。特大城市平均人口密度是小城市的 6.11 倍。在中国，由于行政权力的分布不均，质

量最好的公共服务——如教育、医疗和公共设施——集中分布于大城市。这导致了大城市的人口进一步集中，因此接下来的数十年，城市密度增加的趋势更为明显。

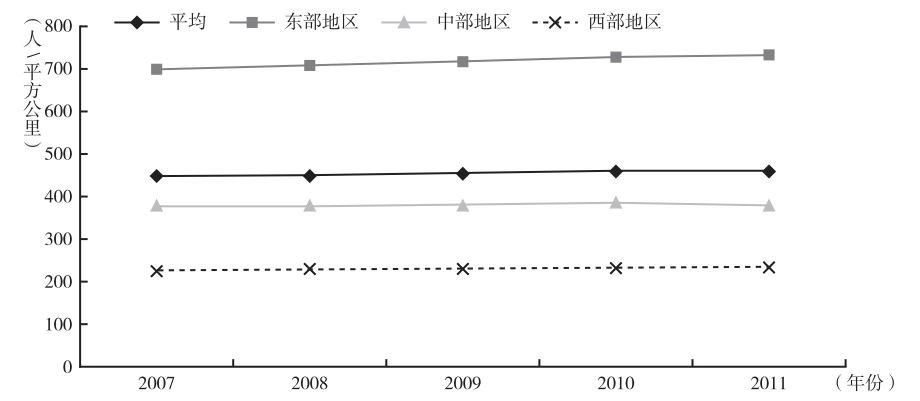


图1 2007~2011年城市密度演化

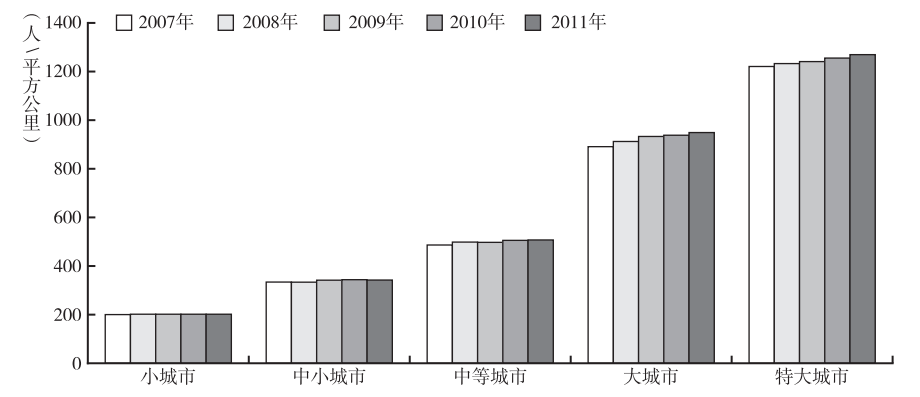


图2 2007~2011年城市规模和城市密度

## 实证分析

探讨城市密度对中国二氧化碳排放量的影响，建立公式（2）如下：

$$PCCEs_{i,t} = \varphi_0 + \varphi_1 density_{i,t} + Z_{i,t}\beta + \eta_i + T_t + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

在公式（2）中， $density_{i,t}$ 表示一个城市每平方公里人口数量的自然对

数。 $Z_{i,t}$ 记为控制变量的向量,包括收入水平、能耗强度、资本密度、产业结构、贸易开放度和 FDI。 $\varphi_0$  是常数, $\varphi_1$  是标量, $\beta$  是参数向量。变量  $\eta_i$  捕捉城市固定效应,用来表示不可观测的、时间不变的城市特色。 $T_t$  是年固定效应,用于控制不可观测的、随时间变化的外生冲击,对所有城市都是一样的。 $\varepsilon_{i,t}$ 是误差项。

我们对于市内通勤、交通运输和城市系统的每个人均二氧化碳排放量 (PCCE) 进行了不同的估计 (见表 2 ~ 表 4)。每张表的列 (1) 给出了普通最小二乘法 (OLS) 估计。然而,由于没有控制可能出现的时间不变的城市特性和时变的年度固定效应,OLS 估计可能会有偏差。因此,我们在列 (2) 列出了城市固定效应,列 (3) 是城市固定效应与年固定效应。引入豪斯曼检验来检查应该采用哪种回归方法。通过广义矩方法 (GMM) 来解决可能的内生性问题,列 (4) 是一个进一步的稳健性检查。

#### 城市密度和通勤相关的人均二氧化碳排放量 (CPCCEs)

对于市内通勤的回归结果列在表 2。由列 (1) 可知城市密度的系数显著为负。这一发现表明,市内通勤产生的二氧化碳排放量在人口较稠密的城市低。这个结果可能由于缺乏对城市特征的控制而出现偏误。如表 2 的列 (2) 和列 (3) 所示,在控制了城市固定效应后,结果彻底反转。列 (2) 的估计结果整体上与列 (3) 一致。城市密度的系数在 1% 的水平上显著为正,表明城市密度越高,通勤产生的人均二氧化碳排放量越大。考虑到市内通勤模式的差异,这一结果与以往根据发达国家的家用车辆的数据得到的研究结果不同。原因之一是,中国规模较大和人口较密集的城市居民更依赖于公共交通,而规模较小和人口分散的城市居民更多地依靠自行车和摩托车。通勤产生的固定效应的估计结果与理论上的结果一致,即增加人口密度可能会产生更高的市内通勤人均二氧化碳排放量 (Gaigné et al., 2012)。在 GMM 估计方法下,列 (4) 中城市密度系数在统计上并不显著,尽管仍然是正的。

$\ln(\text{income})$  的系数在所有估计中都是正的,在表 2 的第 2 列里在 1% 的水平上显著,表明通勤产生的人均二氧化碳排放量和收入水平之间具有正相关关系。 $\text{openness}$  的系数为正且在固定效应估计中显著。然而,其他控制变量 ( $\text{energyintensity}$ ,  $\text{Sec\_Share}$ ,  $\text{Ter\_Share}$ ,  $\text{FDIY}$ ) 的系数不显著。

城市密度和交通运输相关的人均二氧化碳排放量（*TPCCEs*）

对于 *TPCCEs* 的估计结果列于表 3。城市密度系数在四个回归中的交通运输相关的人均二氧化碳排放量显著为负，表明在整个运输网络中，较高的城市密度与较低的二氧化碳排放量有很强的相关性。换句话说，就运输部门而言，人口密集的城市比人口分散的城市更环保。这个结果与对通勤相关的人均二氧化碳排放量的估计结果是完全不同的。然而，考虑到交通运输相关的人均二氧化碳排放量包括同城和城际客运和货运，对于这一结果也就没有那么惊讶了。对 *CPCCEs* 和 *TPCCEs* 相反的评价结果突出了计算交通运输产生的二氧化碳排放量的复杂性。虽然一些理论研究试图将城际货物运输纳入他们的分析框架，但是交通运输产生的二氧化碳排放量与城市密度的关系仍然有许多问题有待解释。此外，实证证据表明，中国的地方保护主义阻碍了市场一体化（Bai et al.，2004；Poncet，2005；Lu and Tao，2009）。因此，中国大多数城市往往比发达国家城市的自给自足能力更强。中国区域市场的分割减少了城市间的交通运输，特别是较大的城市之间。这可以部分解释为什么更稠密的城市在运输方面产生的二氧化碳排放量更少。

与 *CPCCEs* 的结果对比，在对 *TPCCEs* 的估计中，许多控制变量变得显著。 $\ln(\text{income})$  系数为正且显著表明收入水平的提高是二氧化碳排放量快速增长的主要原因之一。能源强度系数在四个回归中在 1% 的水平上显著为正，说明能源强度对交通运输部门产生的二氧化碳排放量有着强烈而积极的影响。*Sec\_Share*、*Ter\_Share* 和 *FDIY* 的回归系数在城市固定效应的估计中是显著的，而开放程度的系数在表 3 中的全部回归中都不显著。

表 2 *CPCCEs* 的决定因素的估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>density</i>	-0.00900 *** (0.00269)	0.104 *** (0.0233)	0.105 *** (0.0231)	0.00758 (0.00908)
$\ln(\text{income})$	0.00824 *** (0.000728)	0.00202 *** (0.000767)	0.00147 (0.000919)	0.00176 (0.00110)
<i>energyintensity</i>	0.00722 *** (0.000341)	0.000133 (0.000355)	0.000171 (0.000356)	0.000727 * (0.000411)

续表

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Sec_Share</i>	0.0709 *** (0.0117)	-0.00681 (0.0125)	-0.0202 (0.0176)	0.00624 (0.0183)
<i>Ter_Share</i>	0.159 *** (0.0168)	0.00689 (0.0177)	-0.00779 (0.0217)	0.0235 (0.0320)
<i>openness</i>	-0.00856 *** (0.00276)	0.00648 ** (0.00316)	0.00702 * (0.00358)	0.00420 (0.00446)
<i>FDIY</i>	0.113 *** (0.0314)	-0.00796 (0.0189)	-0.00814 (0.0190)	-0.0195 (0.0275)
<i>CPCCEst - 1</i>				0.586 *** (0.215)
常数项	-0.0870 *** (0.00955)	-0.0112 (0.0142)	0.00107 (0.0172)	-0.00426 (0.0187)
样本数	1430	1430	1430	1144
调整后 R <sup>2</sup>	0.6558	0.2913	0.2961	
城市固定效应	No	Yes	Yes	
年度固定效应	No	No	Yes	
Hausman 检验		350(0.00) ***	353(0.00) ***	
Ar(1)				0.017
Ar(2)				0.072
Sargan 检验				23.18(0.109)

注：\*\*\* 表示 1% 的显著性水平，\*\* 表示 5% 的显著性水平，\* 表示 10% 的显著性水平。括号中为稳健标准误差。

表 3 *TPCCEs* 的决定因素的估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>density</i>	-0.144 *** (0.0311)	-0.534 *** (0.137)	-0.494 *** (0.134)	-0.176 *** (0.0553)
$\ln(\text{income})$	0.0420 *** (0.00920)	0.0897 *** (0.0118)	0.0450 *** (0.0153)	0.0331 *** (0.0125)
<i>energyintensity</i>	0.0378 *** (0.00615)	0.0603 *** (0.0173)	0.0617 *** (0.0170)	0.0357 ** (0.0142)

续表

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Sec_Share</i>	1.065 *** (0.0916)	1.054 *** (0.214)	0.143 (0.227)	0.107 (0.223)
<i>Ter_Share</i>	1.377 *** (0.153)	0.535 * (0.303)	-0.254 (0.312)	0.119 (0.287)
<i>openness</i>	-0.0171 (0.0368)	0.0756 (0.0684)	0.0575 (0.0736)	0.0314 (0.0695)
<i>FDIY</i>	1.761 *** (0.401)	0.952 ** (0.409)	0.886 ** (0.398)	0.324 (0.505)
<i>CPCCEst - 1</i>				0.984 *** (0.0799)
常数项	-0.774 *** (0.0751)	-0.474 ** (0.202)	0.313 (0.229)	-0.171 (0.195)
样本数	1430	1430	1430	1144
调整后 R <sup>2</sup>	0.3784	0.2589	0.3050	
城市固定效应	No	Yes	Yes	
年度固定效应	No	No	Yes	
Hausman 检验		53.71(0.00)	41.49(0.00)	
Sargan 检验				26.282(0.0695)
Ar(1)				P = 0.000
Ar(2)				P = 0.6115

注：\*\*\* 表示 1% 的显著性水平，\*\* 表示 5% 的显著性水平，\* 表示 10% 的显著性水平。括号中为稳健标准误差。

城市密度和城市系统相关的人均二氧化碳排放量（*UPCCEs*）

对 *UPCCEs* 的回归结果列于表 4。与 *TPCCEs* 的估计结果类似，城市密度系数在所有回归中为负且显著。然而该系数比对 *TPCCEs* 的估计系数大。这可能意味着城市密度对二氧化碳排放量的影响不限于交通运输部门，也可以通过其他渠道，如住宅采暖和空调、公共设施共享等。对比前述观察结果，本研究表明，人口更稠密的城市在市内通勤方面可能不如分散的城市更“绿色”，但他们的交通运输部门和整个城市系统更环保。这些研究结果不支持一些最近的理论研究里提出的有关二氧化碳排放量和城市密度之间的关系的争论（Gaigné et al.，2012；Borck and Pflüger，2013；Larson and Yezer，2014）。



正如预期的那样,收入水平和能源强度仍然是 *UPCCEs* 的关键因素。考虑到中国居民的收入水平还会持续提高,减少能源强度将是减少温室气体排放的主要途径之一。

与 *CPCCEs* 和 *TPCCEs* 回归结果相比, *UPCCEs* 回归结果中 *Sec\_Share* 的系数都为正且显著,表明在城市中第二产业的增长可能会产生更多的二氧化碳排放量。同样地, *FDIY* 的系数在所有回归中为正,且在列 (2) ~ 列 (3) 中显著。考虑到 FDI 的绝大部分流入了中国的制造产业,外商直接投资量的增加会使城市排放更多的二氧化碳。然而, *Ter\_Share* 和 *openness* 的系数在大多数情况下是不显著的,表明第三产业和贸易开放度对二氧化碳排放量的影响不太显著。

表 4 *UPCCEs* 的决定因素的估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>density</i>	-1.538 *** (0.230)	-2.249 *** (0.753)	-2.144 *** (0.813)	-1.562 *** (0.350)
$\ln(\text{income})$	0.650 *** (0.0637)	0.613 *** (0.0955)	0.542 *** (0.134)	0.463 *** (0.0790)
<i>energyintensity</i>	0.855 *** (0.0804)	0.529 *** (0.105)	0.528 *** (0.106)	0.678 *** (0.142)
<i>Sec_Share</i>	7.653 *** (0.829)	3.245 *** (1.234)	2.246 ** (1.110)	3.418 * (1.996)
<i>Ter_Share</i>	-0.527 (1.304)	1.659 (1.863)	1.283 (1.475)	1.716 (2.298)
<i>openness</i>	0.435 ** (0.221)	-0.195 (0.291)	-0.320 (0.313)	0.00835 (0.196)
<i>FDIY</i>	2.106 (1.898)	3.803 ** (1.766)	3.596 ** (1.783)	1.970 (1.649)
<i>CPCCEst - 1</i>				0.369 *** (0.105)
常数项	-4.363 *** (0.616)	-1.447 (1.285)	-0.715 (1.174)	-2.949 * (1.703)
样本数	1430	1430	1430	

续表				
变量	(1)	(2)	(3)	(4)
调整后的 R <sup>2</sup>	0.6623	0.6062	0.5796	
城市固定效应	No	Yes	Yes	
年固定效应	No	No	Yes	
Hausman 检验		59.72(0.000)	64.96(0.000)	
Sargan 检验				P = 0.0000
Ar(1)				P = 0.2899
Ar(2)				P = 0.4657

注：\*\*\* 表示 1% 的显著性水平，\*\* 表示 5% 的显著性水平，\* 表示 10% 的显著性水平。括号中为稳健标准误差。

## 结 论

本章采用 2007 ~ 2011 年 286 个中国城市的面板数据，研究了城市密度对市内通勤、交通运输和城市总体二氧化碳排放量的影响。

结果表明，城市密度与交通运输部门和城市总体产生的二氧化碳排放量显著负相关，但与市内公共交通产生的二氧化碳排放量正相关。这一结果不支持最近的一些理论研究中紧凑型城市比分散型城市更不环保的论证（Gaigné et al.，2012；Borck and Pflüger，2013；Larson and Yezer，2014）。本章的研究结果还突出了中国和发达国家之间通勤模式的一些显著差异。特别是，中国城市更多地依赖于公共通勤模式，而发达国家的城市更多地依赖私人汽车。

由于严格的土地规制，中国越来越多的公寓楼拔地而起，以适应农村人口涌入城市的快速城市化政策。由于这一趋势，中国城市比大多数发达国家的城市更加紧凑。然而，近几十年来，城市密度的增加主要原因是节约土地政策而不是环境问题。但本章的研究结果表明，这些紧凑型城市规划从减少二氧化碳排放量的角度是积极的。

然而，更广泛的环境政策应基于对城市系统产生的各种污染物（例如二氧化硫、颗粒物和二氧化氮）的综合评估。为此，迄今为止发表的研究应被视为构建环境友好型社会的城市系统理论的初探（Gaigné et al.，

2012)。本章的研究结果对此做出了贡献，并有利于鼓励学者、城市规划者和政策制定者更加关注城市密度增加的一系列后果。要知道，今天选择的城市化模式未来将对环境产生重大的影响，因此应该尽可能仔细、谨慎地考虑。

当然，本章的研究结果确实存在一定的局限性。首先，研究的数据来源不同，这意味着我们不能直接区分城内和城际交通。此外，城市公共通勤数据排除了私人车辆使用部分的数据。鉴于中国私人车辆使用率的快速增长，通勤方式在未来可能会发生重大变化，如果考虑上述变化，研究结果可能会有所变化。虽然城市层面的数据是不完美的，但它们是当前可用的最好的数据。其次，由于城市密度对二氧化碳排放量的影响机制比较复杂，因此研究也受到了限制。希望未来的研究能够揭示更多的影响机制和它们的作用原理。

## 参考文献

- Au, C. C. and Henderson, J. V. (2006), Are Chinese cities too small?, *The Review of Economic Studies*, 73(3): 549–576.
- Auffhammer, M. and Carson, R. T. (2008), Forecasting the path of China's CO<sub>2</sub> emissions using province level information, *Journal of Environmental Economics and Management*, 55(3): 229–247.
- Bai, C.-E., Du, Y., Tao, Z. and Tong, S. (2004), Local protectionism and regional specialization: Evidence from China's industries, *Journal of International Economics*, 63(2): 397–417.
- Borck, R. and Pflüger, M. (2013), Green cities? Urbanization, trade and the environment, *Annual conference 2013 (Duesseldorf): Competition policy and regulation in a global economic order*, No. 79763, Heidelberg: German Economic Association.

- Brownstone, D. and Golob, T. F. (2009), The impact of residential density on vehicle usage and energy consumption, *Journal of Urban Economics*, 65(1): 91–98.
- Chen, H., Jia, B. and Lau, S. S. Y. (2008), Sustainable urban form for Chinese compact cities: Challenges of a rapidly urbanized economy, *Habitat International*, 32(1): 28–40.
- Cirilli, A. and Veneri, P. (2014), Spatial structure and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions due to commuting: An analysis of Italian urban areas, *Regional Studies*, 48(12): 1993–2005.
- Dhakal, S. (2009), Urban energy use and carbon emissions from cities in China and policy implications, *Energy Policy*, 37(11): 4208–4219.
- Du, L., Wei, C. and Cai, S. (2012), Economic development and carbon dioxide emissions in China: Provincial panel data analysis, *China Economic Review*, 23(2): 371–384.
- Gagné, C., Riou, S. and Thisse, J. F. (2012), Are compact cities environmentally friendly?, *Journal of Urban Economics*, 72(2): 123–136.
- Glaeser, E. L. and Kahn, M. E. (2010), The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development, *Journal of Urban Economics*, 67(3): 404–418.
- Halicioglu, F. (2009), An econometric study of CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey, *Energy Policy*, 37(3): 1156–1164.
- Hilber, C. A. and Palmer, C. (2014), *Urban development and air pollution: Evidence from a global panel of cities*, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment Working Paper, London: London School of Economics and Political Science.
- Holden, E. and Norland, I. T. (2005), 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, *Urban Studies*, 42(12): 2145–2166.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006), *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*, Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. Available from: [ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/](http://ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/).

- Jenks, M. and Burgess, R. (eds) (2000), *Compact cities: Sustainable urban forms for developing countries*, Abingdon, UK: Taylor & Francis.
- Kellenberg, D. K. (2009), An empirical investigation of the pollution haven effect with strategic environment and trade policy, *Journal of International Economics*, 78(2): 242–255.
- Larson, W., Liu, F. and Yezer, A. (2012), Energy footprint of the city: Effects of urban land use and transportation policies, *Journal of Urban Economics*, 72(2): 147–159.
- Larson, W. D. and Yezer, A. M. (2014), The energy implications of city size and density, *Journal of Urban Economics*, 90(November): 35–49.
- Lee, S. and Lee, B. (2014), The influence of urban form on GHG emissions in the US household sector, *Energy Policy*, 68: 534–549.
- Li, H., Lu, Y., Zhang, J. and Wang, T. (2013), Trends in road freight transportation carbon dioxide emissions and policies in China, *Energy Policy*, 57: 99–106.
- Lin, B. and Sun, C. (2010), Evaluating carbon dioxide emissions in international trade of China, *Energy Policy*, 38(1): 613–621.
- Liu, Y., Song, Y. and Song, X. (2014), An empirical study on the relationship between urban compactness and CO<sub>2</sub> efficiency in China, *Habitat International*, 41: 92–98.
- Lu, J. and Tao, Z. (2009), Trends and determinants of China's industrial agglomeration, *Journal of Urban Economics*, 65(2): 167–180.
- Muñiz, I. and Galindo, A. (2005), Urban form and the ecological footprint of commuting: The case of Barcelona, *Ecological Economics*, 55(4): 499–514.
- National Bureau of Statistics (NBS) (2008–12a), *China city statistical yearbook*, Beijing: China Statistics Press.
- National Bureau of Statistics (NBS) (2008–12b), *China energy statistical yearbook*, Beijing: China Statistics Press.
- National Bureau of Statistics (NBS) (2008–12c), *China statistical yearbook*, Beijing: China Statistics Press.
- National Bureau of Statistics (NBS) (2008–12d), *China statistical yearbook for regional economy*, Beijing: China Statistics Press.

- National Bureau of Statistics (NBS) (2008–12c), *China urban construction statistical yearbook*, Beijing: China Statistics Press.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2008), *Highlights of the international transport forum 2008: Transport and energy*, Paris: OECD.
- Poncet, S. (2005), A fragmented China: Measure and determinants of Chinese domestic market disintegration, *Review of International Economics*, 13(3): 409–430.
- Qin, B. and Wu, J. (2015), Does urban concentration mitigate CO<sub>2</sub> emissions? Evidence from China 1998–2008, *China Economic Review*, 35: 220–231.
- Ren, S., Yuan, B., Ma, X. and Chen, X. (2014), International trade, FDI (foreign direct investment) and embodied CO<sub>2</sub> emissions: A case study of China's industrial sectors, *China Economic Review*, 28: 123–134.
- Sarzynski, A. (2012), Bigger is not always better: A comparative analysis of cities and their air pollution impact, *Urban Studies*, 49(14): 3121–3138.
- Stern, D. I. (2014), *The environmental Kuznets curve: A primer*, Canberra: Centre for Climate Economics & Policy, Crawford School of Public Policy, The Australian National University.
- Zheng, S., Wang, R., Glaeser, E. L. and Kahn, M. E. (2011), The greenness of China: Household carbon dioxide emissions and urban development, *Journal of Economic Geography*, 11(5): 761–792.

(李晓臣 译)