

# 城市 CO<sub>2</sub> 排放驱动力和影响因素研究

蔡博峰<sup>1</sup> 赵楠<sup>2</sup> 冯恺<sup>1</sup>

(1. 环境保护部环境规划院, 北京 100012; 2. 天津交通职业学院, 天津 300110)

**摘要** 研究和分析了城市 CO<sub>2</sub> 排放的核心驱动力和主要影响因素。城市化水平和城市 CO<sub>2</sub> 排放具有非常显著的相关性。城市居民生活水平的提高和消费能力的上升是城市 CO<sub>2</sub> 排放的主体驱动力, 而城市地理位置、空间形态和城市所采取的低碳政策是城市 CO<sub>2</sub> 排放的主要影响因素。城市化发展阶段的不同导致驱动力的差异, 是发达国家城市人均 CO<sub>2</sub> 排放往往低于全国水平, 而发展中国家城市人均 CO<sub>2</sub> 排放往往高于全国平均水平这一现象的主要原因。地理位置对城市 CO<sub>2</sub> 排放的影响是长期和不易改变的, 主要通过影响城市的采暖和制冷来影响城市 CO<sub>2</sub> 排放; 而城市空间形态的影响则是中长期的, 密集程度高, 空间布局紧凑的城市其人均 CO<sub>2</sub> 排放水平往往较低; 城市低碳政策包括可再生能源政策、交通政策、建筑政策、土地规划政策和金融政策等, 其所产生的影响往往能在短期内见效。城市发展过程中, 当驱动力趋于稳定时, 影响因素的作用便会凸显出来, 甚至有些影响因素如低碳政策会对驱动力产生影响。同时, 影响因素之间也并非孤立存在, 而是彼此相互作用。

**关键词** 城市 CO<sub>2</sub> 排放; 驱动力; 影响因素

中图分类号 X321 文献标识码 A 文章编号 1002-2104(2013)05-0014-07 doi: 10.3969/j.issn.1002-2104.2013.05.003

城市是人口、建筑、交通、物流的集中地, 也是能源消耗的高强度地区, 因此必然成为全球 CO<sub>2</sub> 排放的热点和重点地区。国际能源署(IEA)估算结果认为 2006 年城市消费了全球 67% 的能源, 城市能源利用 CO<sub>2</sub> 排放占全球能源利用 CO<sub>2</sub> 排放的 71%<sup>[1]</sup>。UN-HABITAT(联合国人居署)在《全球人类居住报告 2011》中指出, 基于生产端计算的城市温室气体排放(直接排放)占全球总排放比例在 40% - 70% 之间, 基于消费端计算的城市温室气体排放(直接排放 + 间接排放)其比例为 60% - 70%<sup>[2]</sup>。

尽管当前对于城市 CO<sub>2</sub> 排放及其占总排放比例的研究仍处于初级阶段, 研究结果存在一定的不确定性, 但可以肯定的是, 城市 CO<sub>2</sub> 直接排放和受城市地区消费引发的间接排放总量无疑是非常巨大的, 并占全球总排放的绝对主体。城市 CO<sub>2</sub> 排放的快速增长已经成为全球 CO<sub>2</sub> 排放上升的重要原因。因而城市 CO<sub>2</sub> 及温室气体减排效果和成败直接决定全球 CO<sub>2</sub> 排放总量控制的成效和全球应对气候变化的成败。深入分析和研究城市 CO<sub>2</sub> 排放的驱动力和影响因素是制定和出台城市 CO<sub>2</sub> 减排措施的根本, 也是当前城市可持续发展的必然需求。

## 1 城市 CO<sub>2</sub> 排放特征

随着人口和经济向城市聚集, 能源利用也向城市不断聚集, 城市 CO<sub>2</sub> 排放及其占总排放的比例也会不断上升。然而, 基于人均排放水平评价, 发达国家和发展中国家城市 CO<sub>2</sub> 排放特征却存在较大差异。

发达国家城市人均 CO<sub>2</sub> 排放往往低于郊区、农村及全国平均水平, 而发展中国家的城市情况往往正好相反, 即发展中国家城市人均 CO<sub>2</sub> 排放往往高于郊区、农村及全国平均水平。

在发达国家城市 CO<sub>2</sub> 排放研究中, Brown 等人发现美国城市地区的人均 CO<sub>2</sub> 排放低于全国水平, 他认为原因是城市地区相比农村地区人口密集, 交通和能源利用效率高<sup>[3]</sup>。Bertaud 等人在世界银行的研究报告中对比了国际上 5 个典型城市(高收入国家)与其所在国家的人均温室气体排放水平, 结果都一致表明, 城市人均排放水平都低于国家人均排放水平<sup>[4]</sup>。东京市人口占全日本的 10%, 但其温室气体排放量仅占全日本的 4%, 其化石燃料相关的温室气体排放仅占全国的 4.7%<sup>[5]</sup>。加拿大多伦多市

收稿日期: 2012-12-08

作者简介: 蔡博峰, 博士, 副研究员, 主要研究方向为温室气体排放清单和低碳城市。

基金项目: 国家自然科学基金项目“中国城市碳排放清单核心问题研究”(编号: 41101500)。

的人均 CO<sub>2</sub> 排放也是从市区到郊区逐渐升高<sup>[6-7]</sup>。Glaeser 等核算了美国 66 个大城市温室气体排放,也发现城市排放水平明显低于城市郊区。城市-郊区之间的碳排放差异在老城市例如纽约更加明显<sup>[8]</sup>。Andrews 的研究也认为农村和郊区由于更长的交通和电力传输距离,难以采取集中供热和热电联产等,导致能效低,人均 CO<sub>2</sub> 排放水平高<sup>[9]</sup>。Ewing 和 Rong 同样发现农村、郊区分散发展的社会更容易出现单身家庭建筑,并且房屋面积大,这都导致了人均高能耗和高 CO<sub>2</sub> 排放<sup>[10]</sup>。

在发展中国家,泰国曼谷的人口占全国人口的 9%,但能源利用 CO<sub>2</sub> 排放占全国能源利用 CO<sub>2</sub> 排放的 26%<sup>[5]</sup>。Pachauri 等人比较了中国和印度家庭能源消费水平,发现发展中国家城市地区的能源消费要高于非城市地区<sup>[11]</sup>。Lebel 等人研究马尼拉、雅加达、胡志明市、德里、清迈 1980-2000 年的 CO<sub>2</sub> 排放,发现城市地区人均 CO<sub>2</sub> 排放水平高于农村地区,因为城市地区购买力和消费水平、生活质量、饮食中的蛋白质和能源含量及机动车等都要高于农村地区,并且城市地区的家庭结构趋于变小<sup>[12]</sup>。UNFPA(联合国人口活动基金会)发现低收入和中低收入国家的城市居民要比其城市周边居民富裕,因此人均温室气体排放量要高于周边区域,而高收入国家城市地区的人均排放量要低于其周边地区<sup>[13]</sup>。

从典型城市和其所在国家的对比中(见表 1),也可以明显看到发达国家城市的人均 CO<sub>2</sub> 排放水平要明显低于其所在国家的人均排放水平,而发展中国家的人均 CO<sub>2</sub> 排放则要明显高于其所在国家的排放水平。

发达国家和发展中国家城市人均 CO<sub>2</sub> 排放与全国/郊区、农村排放差异的重要原因是城市 CO<sub>2</sub> 排放的驱动力和影响因素的差异。欧美国家城市和农村地区的人均收入和能源消费水平基本相当,因而影响 CO<sub>2</sub> 排放水平高低的主要是能效水平、采暖规模及人口及建筑密度。城市地区由于人口密度高,其能源供给的规模优势便凸显出来,同时城市地区的公共交通相比农村要完善,各种因素综合作用下来,导致城市地区人均 CO<sub>2</sub> 排放低于郊区和农村。

发展中国家的工业能源消耗往往是城市能源消耗的的主体,而发达国家城市的工业能源消耗往往处于次要地位,例如 Bertaud 等人研究的 5 个城市中,工业排放占比不到 10%<sup>[4]</sup>。同时,发展中国家的城市尚处于快速城市化和经济发展过程中,城市通常都是经济、消费和财富中心,因此城市地区人均收入要高于农村地区,城市居民和农村居民的经济水平和生活水平往往差距较大,所以城市地区人均化石能源消费量要明显高于农村地区,导致城市地区人均 CO<sub>2</sub> 排放高于农村地区。

表 1 典型城市 CO<sub>2</sub>/温室气体排放比较  
Tab. 1 CO<sub>2</sub>/greenhouse gases emissions comparison between selected cities

城市 Cities	国家 Countries	人均排放 Emissions per capita(t)		年份 Year	温室气体类型 Greenhouse gases types
		城市 Cities	国家 Countries		
伦敦	英国	6	11.3	2005	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
纽约	美国	7.2	23.3	2005	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
东京	日本	4.9	10.8	2005	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
斯德哥尔摩	瑞典	4	8.7	2005	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
罗马	意大利	5.3	9.8	2005	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
悉尼	澳大利亚	20.3	25.75	2007	CO <sub>2</sub>
上海	中国	11.7	4.3	2006	CO <sub>2</sub>
新德里	印度	1.5	0.96	2000	CO <sub>2</sub>
曼谷	泰国	10.7	3.3	2005	CO <sub>2</sub>
里约热内卢	巴西	2.1	1.7	1998	CO <sub>2</sub>
墨西哥城	墨西哥	4.3	3.9	2007	CO <sub>2</sub>
开普敦	南非	11.6	7	2005	CO <sub>2</sub>

注:一些城市计算了三种温室气体排放,但其中 CO<sub>2</sub> 都占绝对主体,因而不影响相互对比分析。

数据来源 [4, 7, 14-15]

## 2 城市 CO<sub>2</sub> 排放驱动力研究

随着人口增长、经济发展和城市化进程,城市 CO<sub>2</sub> 排放呈现上升趋势。城市化是城市人口增长和经济发展的结果,其与城市 CO<sub>2</sub> 排放有着较为紧密的关系。图 1 显示了全球城市化进程与全球 CO<sub>2</sub> 排放呈强相关性。UN-HABITAT 认为全球 CO<sub>2</sub> 排放增长和城市化快速进程的一致并非耦合,而是有着深刻的联系,城市化对全球 CO<sub>2</sub> 排放有着强劲的驱动作用<sup>[16]</sup>。

O' Neill 等人研究认为城市化在未来会更加显著地影响全球 CO<sub>2</sub> 排放。这在很大程度上是由于城市劳动力的高生产力和高消耗偏好导致了高的 CO<sub>2</sub> 排放<sup>[17]</sup>。Lebel 等人认为城市化使得妇女的教育和工作机会增加,所以单位家庭人口逐渐变少,从而导致人均能耗和排放量的增加<sup>[12]</sup>。

一些研究表明,城市化也是中国 CO<sub>2</sub> 排放快速增长的重要驱动<sup>[18-19]</sup>。根据 Minx 等人关于中国 CO<sub>2</sub> 排放驱动因素分解研究,中国城市化对 CO<sub>2</sub> 排放增长的贡献已经超过了人口增长和家庭结构变化的贡献<sup>[19]</sup>。Pachauri 等人认为中国家庭的能源消费是印度的 2 倍,而中国高速城市

化进度是其重要原因,因为城市居民人均收入高,从而可以支付起更高的能源消费<sup>[11]</sup>。薛冰等人研究了1970-2007年112个国家(地区)的人均碳排放量和城市化率的关系,结果表明,随着城市化水平的上升,人均碳排放量逐步增加<sup>[20]</sup>。

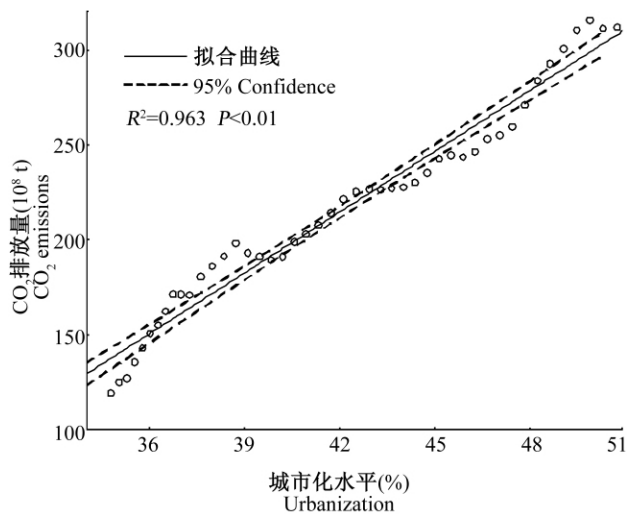


图1 世界CO<sub>2</sub>排放和城市化(1965-2010年)

Fig. 1 Global CO<sub>2</sub> emissions and urbanization (1965-2010)

数据来源:文献[21]和[22]。

而城市人口增长并不必然导致城市人均CO<sub>2</sub>排放的升高。全球人口增长和CO<sub>2</sub>排放增长在区域分布上并不完全一致。全球人口增长最快的地区目前的人均排放量也很低。与人口增长非常缓慢的发达国家相比,发展中国家人口增长虽然很快,但人均CO<sub>2</sub>排放增长速度却非常有限。在考虑家庭结构的影响情况下,城市人口增长速度减缓也可能对应CO<sub>2</sub>排放的增加,因为人口增长较慢和家庭规模变小可能会造成单个家庭数量上涨,用于消费的可支配收入也会增加,从而导致人均CO<sub>2</sub>排放的上升。

联合国人口基金会(UNFPA)的研究报告认为,只有当人口增长和经济增长及生活水平提高相一致时,人口增长才会明显驱动温室气体的排放水平。从全球1980-2005年趋势看,低收入国家的人口增长了52.1%,但CO<sub>2</sub>排放仅增长了12.8%;而中低收入国家的人口增长了35.7%,CO<sub>2</sub>排放却增长了53.2%;高收入国家的人口仅增长了7.2%,而CO<sub>2</sub>排放却增加了29.1%<sup>[13]</sup>。甚至Larsen等人认为随着城市人口规模的增加,公共交通、教育等的利用效率会得到提高,所以人均CO<sub>2</sub>排放水平会随之下降,但城市规模达到一定程度时,会出现许多社会问题,因而需要更多的能源去解决,所以人均CO<sub>2</sub>排放水平又会有所上升<sup>[23]</sup>。因而,人口增长不是城市CO<sub>2</sub>排放的主要驱动力。

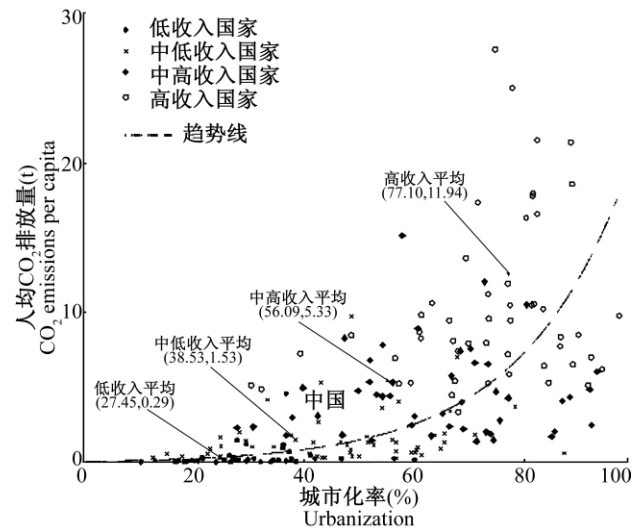


图2 世界主要国家城市化率和人均CO<sub>2</sub>排放(2008年)

Fig. 2 CO<sub>2</sub> emissions per capita and urbanization in major countries (2008)

数据来源:文献[15]和[21]。

从图2中可以看出,世界主要国家中,城市化率高的国家,其收入水平也相对较高,同时其人均CO<sub>2</sub>排放水平也较高。许多国家在城市化过程中,随着城市居民能源购买能力的增强,能源消费一般会从CO<sub>2</sub>中性能源(生物质和废弃物)转为更加便捷、能量密度更高的化石能源,从而推动城市CO<sub>2</sub>排放增加。

研究全球人类发展指数(基于预期寿命、教育程度和生活水平加权计算)和人均CO<sub>2</sub>排放的关系也可以发现(见图3),人均CO<sub>2</sub>排放和人的物质和精神消费有着非常重要的关联。这进一步说明人的生活水平和消费水平是人均CO<sub>2</sub>排放的主要驱动力。这和IEA的结论非常相似。IEA提出能源发展指数,该指数是根据人均商品能源消耗、人均家庭用电消费、家庭能源中的现代能源(指非传统生物质能源)消费和用电人口比例4个指标进行归一化处理后的平均值。IEA发现人类发展指数和能源发展指数有较强的正相关性,随着经济发展和人居生活水平的提高,人均能源消费会逐渐增加<sup>[15]</sup>。

综上所述,城市CO<sub>2</sub>排放的核心驱动力是城市化进程中城市人均消费水平的提高。由于发达国家和发展中国家处于不同的城市化阶段,从而导致两者城市和非城市地区CO<sub>2</sub>排放水平差异的不同。由于发展中国家城市尚处于快速城市化阶段,城市基础设施及工业的快速发展和人均收入的快速提高,导致城市地区人均收入要高于非城市地区,从而城市人均化石能源消费水平高于非城市地区,导致城市人均CO<sub>2</sub>排放高于非城市地区;而发达国家城市

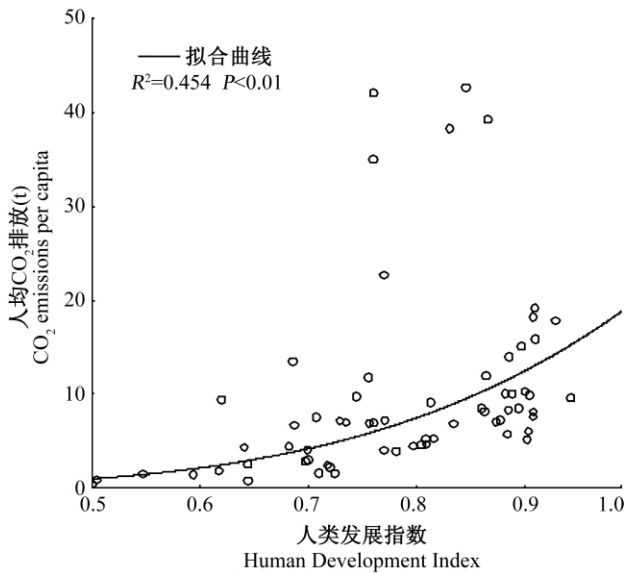


图3 世界主要国家人类发展指数和人均 CO<sub>2</sub> 排放 (2011年)

Fig. 3 Human development index and CO<sub>2</sub> emissions per capita in major countries (2011)

数据来源: 参考文献 [24 - 25]。

化进程趋于稳定, 城市和非城市地区人均化石能源消费能力和水平非常接近, 这时城市人口和建筑的聚集效应导致的能效提高就充分体现出来了, 同时城市工业生产逐渐外迁, 基础设施建设趋于稳定, 所以形成城市人均 CO<sub>2</sub> 排放低于非城市地区。

### 3 城市 CO<sub>2</sub> 排放的主要影响因素

影响城市 CO<sub>2</sub> 排放的主要因素包括城市地理位置 (影响城市气候、交通及对非化石能源的获取能力等)、城市形态 (空间布局、人口密度等) 和城市低碳政策措施等。

#### 3.1 城市地理位置

城市的地理位置对城市 CO<sub>2</sub> 排放有着至关重要的影响, 因为城市的气候 (采暖天数) 和区域交通 (航海和航空) 都直接和城市地理位置相关, 而这两者对城市 CO<sub>2</sub> 排放贡献很大, 并且城市位置也影响了城市对于水电等可再生能源的利用程度, 间接影响了其排放水平。但城市的地理位置属于城市的自然禀赋, 城市几乎无法对其进行改变, 因而城市地理位置对城市 CO<sub>2</sub> 排放的影响是长期和很难改变的。

Croci 等人的研究发现不同城市由于所处气候区不同, 采暖能耗差异很大, 从而导致 CO<sub>2</sub> 排放产生较大差异。其所研究的 7 个城市中, 采暖期天数和家庭能耗具有很强的相关性<sup>[26]</sup>。Glaeser 等发现城市家庭天然气消费量 (采

暖为主) 和 1 月份温度有较显著的线性相关性; 家庭用电量和 7 月份温度有较显著的线性相关性<sup>[8]</sup>。

#### 3.2 城市空间形态

城市空间形态通过影响城市交通布局和人口密度空间分布, 对城市 CO<sub>2</sub> 排放产生影响。城市空间形态是城市发展演化和城市规划的结果, 而其对城市 CO<sub>2</sub> 排放的影响是中长期的, 但城市空间形态并非一成不变, 通过科学合理的城市规划和政策导向, 在一定长的时期内可以改变城市空间形态对城市 CO<sub>2</sub> 排放的不利影响。

欧洲城市相对北美和大洋洲地区城市的人均 CO<sub>2</sub> 排放量低的一个重要原因是欧洲城市相对更加紧凑。奥地利的城市人口密度是澳大利亚城市的 4 倍以上, 而其人均 CO<sub>2</sub> 排放量只是澳大利亚的 60%。日本的城市密度大致是加拿大的 5 倍, 日本的人均能源消耗量为加拿大的 40% 左右。如果以丹麦和芬兰这两个地理条件相同且采暖需求相似的国家为例, 两者间的联系依然十分清晰可见: 丹麦的城市密度为芬兰的 4 倍, 丹麦人的能源消耗量是芬兰人的 40%<sup>[27]</sup>。密集布局的城市如墨西哥城, 其家庭人均能耗仅为松散扩张型城市如芝加哥的 15%<sup>[26]</sup>。

即使同一国家内的城市, 其空间形态也会有很大差异。以美国为例, 美国是人均 CO<sub>2</sub> 排放水平最高的 OECD 成员国, 其国内各城市的 CO<sub>2</sub> 排放水平也相差甚大, 部分原因是城市人口密度的差异。纽约是美国人口密度最大的城市 (其人口密度比洛杉矶高 60%), 而洛杉矶人均 CO<sub>2</sub> 排放要高于纽约<sup>[27]</sup>。Brown 等提出如果将美国城市居民密度从 0.2/英亩提高到 6.7/英亩, 则城市居民交通和居住能耗将降低一半<sup>[3]</sup>。

城市形态 (密集布局和稀疏布局) 对城市交通 CO<sub>2</sub> 排放有较大影响。发达国家城市中的交通 CO<sub>2</sub> 排放往往占城市总排放的较高比例, 而城市空间形态是影响交通排放的重要因素<sup>[4]</sup>。欧美国家之所以城市郊区人均 CO<sub>2</sub> 排放高于城市市区, 一个重要原因是郊区稀疏布局从而对于私家机动车的依赖要高于城区, 并且人均行驶里程也高于城市, 而交通排在欧美城市中往往占很大比例, 因而很大程度上影响了城区和郊区的人均 CO<sub>2</sub> 排放水平。Lindsey 等人研究了美国芝加哥市交通 CO<sub>2</sub> 排放, 发现机动车行驶里程、能源消耗和 CO<sub>2</sub> 排放随着居住区离市中心距离的上升和居民区密度的降低而提高<sup>[28]</sup>。Norman 等人研究发现加拿大多伦多的低人口密度社区的人均温室气体排放是高密度社区的 2.5 倍, 其中交通在高、低密度社区中温室气体排放中起到主要作用<sup>[29]</sup>。

Ewing 和 Rong 认为城市形态不仅影响交通能耗和 CO<sub>2</sub> 排放, 而且影响居民生活能耗和 CO<sub>2</sub> 排放, 如果不考虑电力输送损失情况 (城市形态的直接影响), 城市形态

会通过房屋数量和城市热岛效应导致的供冷供热变化(城市形态的间接影响)影响居民的能源消费和CO<sub>2</sub>排放<sup>[10]</sup>。由于房屋量(包括房屋密度、类型和大小等)的因素,单位居民的能源消费在紧凑型城市要比在蔓延型城市低20%<sup>[4]</sup>。

此外,城市形态往往影响城市建筑布局,而不同布局形式的建筑能耗会有较大差异,从而产生CO<sub>2</sub>排放水平的差异。更加紧凑的住宅布局所需要的供热更少。美国居住在独栋建筑的家庭,其供热和供冷能耗比其它形式的房间分别高出35%和21%<sup>[30]</sup>。Myors等人研究悉尼大都市区的居民建筑发现家庭人口规模小的社区人均CO<sub>2</sub>排放要比家庭人口规模大的社区高<sup>[31]</sup>。

很多情况下,城市人口密度提高的确在很大程度上会降低城市人均CO<sub>2</sub>排放水平<sup>[4,32]</sup>。密集程度高,空间布局紧凑并且有效防止无序扩张的城市空间形态,能有效降低城市交通能源需求进而降低CO<sub>2</sub>排放,并使地区一体化能源供应系统成为可能,从而进一步提高了能源利用效率,降低了CO<sub>2</sub>排放。但人口密度高的城市空间形态也并不必然导致低排放,Heinonen和Junnila利用混合全生命周期方法研究了芬兰的赫尔辛基大都市区(包括4个城市)和坦佩雷大都市区(包括7个城市)的CO<sub>2</sub>排放,发现城市人口密度和人均CO<sub>2</sub>排放并没有显著的相关关系,原因有两个,首先全生命周期方法包括了建筑等上游排放,增加了市区中心高人口密度的排放水平;其次,人均收入水平对人均CO<sub>2</sub>排放的影响更大,这种影响掩盖了人口密度对人均CO<sub>2</sub>排放的影响<sup>[33]</sup>。Heinonen等的发现正和前述的分析一致,在很多情况下,城市CO<sub>2</sub>排放的驱动力如果表现强劲,则影响因素的作用就会被掩盖。

### 3.3 城市低碳政策

城市的低碳政策包括城市对于节约能源、提高能效、限制化石能源利用、鼓励非化石能源利用以及公共交通和公众消费的各类措施。城市低碳政策所产生的影响往往能在短期内见效。

可再生能源政策。城市通过政策鼓励可再生能源使用,降低城市CO<sub>2</sub>排放。例如巴塞罗那市的《太阳能法规》明确了太阳能利用要求和程度。美国洛杉矶市的绿色LA气候行动计划为洛杉矶水电局(LADWP)设定的目标是到2020年将可再生能源供应量分别增至35%。韩国首尔新出台的气候变化总体规划则计划将可再生能源份额从2007年的1.5%提高至2030年的20%。此外,城市还可利用其自治权,采购可再生能源,满足城市能源需求。

交通政策。交通政策主要通过如下几个方面影响城市CO<sub>2</sub>排放:提高公交系统使用率;减少私家车使用量和行驶里程;鼓励非机动车出行;提高车辆燃油效率和替代

燃料使用率等。欧洲许多城市在政策引导下,城市居民上班使用公共交通、自行车和步行占总上班出行的比例有了很大提高,例如斯德哥尔摩超过85%,华沙超过了65%,哥本哈根达到了62%等<sup>[34]</sup>。此外,欧洲城市还大力倡导生态驾驶,号召人们改善日常驾驶技巧和一些不良习惯,以减少汽车燃油消耗。欧洲城市比北美城市人均CO<sub>2</sub>排放低的原因除了上述城市紧凑外,另一个重要原因是欧洲城市政策促使汽车保有量和平均使用率降低,鼓励小排量汽车份额增加(例如采用机动车碳税等),因此,私人交通产生的排放量较少。

建筑政策。建筑政策主要通过建筑设计标准、建筑材料选择和建筑运行能效等方面影响建筑CO<sub>2</sub>排放,但城市建筑除采暖和炊事外,CO<sub>2</sub>排放大部分都是间接排放(通过电力消费)。巴塞罗那市的《太阳能法规》规定,所有新建建筑和大型改造项目必须采用太阳集热器满足热水加热所需能量的至少60%。我国深圳于2006年成为中国首个出台建筑能效法规的城市,并设定现有建筑改造和新建建筑20%和50%的节能目标。

土地规划政策。城市土地规划政策决定着不同土地用途之间的分隔程度以及居住、工作、购物和其他活动场所之间出行所需要的能源,因此对交通CO<sub>2</sub>排放具有显著影响。允许进行公交导向型开发的用地功能区有利于提高公共交通使用率。日本的富山市正在将居住、商业、企业和文化设施等城市功能集中在一条新建成的轻轨沿线,以此实现交通导向型增长。为了推动轻轨系统周边的公交导向型开发,美国弗吉尼亚州的阿林顿市则出台政策措施,允许加大建筑密度,增加停车设施和改善公交站周边基础设施。此外,土地规划政策对建筑节能增效政策也具有支撑作用。比如,限制单户住宅居民区,推广多户或紧凑型住宅区的用地政策有利于扩大城市集中供暖的应用范围。

金融政策。城市低碳金融政策主要包括税收政策和CO<sub>2</sub>排放总量控制-碳交易政策等。美国玻尔得市是为数不多的征收碳税的城市,其针对电力消费造成的CO<sub>2</sub>排放征收碳税,从而控制城市CO<sub>2</sub>排放。城市层面上的真正实施碳排放总量控制-交易的仅有东京市。东京市碳排放总量控制和交易机制自2010年4月正式启动实施,是主要以CO<sub>2</sub>间接排放(电力和供暖)为控制和交易对象的碳排放交易体系,其主要排放源和交易主体为建筑。东京市总量控制-交易政策体系的第一阶段目标是相比基准年平均减排6%,可见其对城市CO<sub>2</sub>排放的影响。

## 4 结论与讨论

随着城市经济和人口规模的不断扩大,城市在全球人

为活动 CO<sub>2</sub> 排放中的贡献也会不断上升。城市必然成为了全球温室气体/CO<sub>2</sub> 排放和低碳发展的核心与主体。因而,分析和研究城市 CO<sub>2</sub> 排放的驱动力和影响因素有利于明确减排措施方向并为之提供技术支持,具有非常积极的现实意义。在能源结构不发生较大变化的情况下,城市居民生活水平的提高和消费能力的上升是城市 CO<sub>2</sub> 排放的主体驱动力,而城市地理位置、空间形态和城市所采取的低碳政策都会对城市 CO<sub>2</sub> 排放产生显著影响。在城市发展过程中,尽管驱动力主导城市 CO<sub>2</sub> 排放水平,但当驱动力趋于稳定时,影响因素的作用有时便会凸显出来,甚至有些影响因素会对驱动力产生影响,例如低碳消费政策和可再生能源政策等会对城市能源消费结构和水平产生明显作用。同时,影响因素之间也并非孤立存在,而是彼此相互作用,因而纯粹剥离单个因素对 CO<sub>2</sub> 排放的贡献非常困难。例如城市低碳政策中的土地规划政策会影响城市空间形态,而城市空间形态又会影响城市建筑布局 and 交通方面的低碳政策。

(编辑:刘照胜)

#### 参考文献(References)

- [1] IEA. World Energy Outlook 2008 [M]. Paris: IEA Publication 2008.
- [2] UN-Habitat. Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements, 2011 [M]. London: Earthscan 2011.
- [3] Brown M A, Southworth F, Sarzynski A. The Geography of Metropolitan Carbon Footprints [J]. Policy and Society 2009 27(4): 285-304.
- [4] Hoorweg D, Freire M, Lee M J, et al. Cities and Climate Change Responding to An Urgent Agenda [M]. Washington DC: The World Bank 2011.
- [5] Dhakal S. GHG Emissions from Urbanization and Opportunities for Urban Carbon Mitigation [J]. Current Opinion in Environmental Sustainability 2010 2(4): 277-283.
- [6] Vande Weghe J R, Kennedy C. A Spatial Analysis of Residential Greenhouse Gas Emissions in The Toronto Census Metropolitan Area [J]. Journal of Industrial Ecology 2007 11(2): 133-144.
- [7] Hoorweg D, Sugar L, Gómez C L T. Cities and Greenhouse Gas Emissions: Moving Forward [J]. Environment and Urbanization, 2011 23(1): 207-227.
- [8] Glaeser E L, Kahn M E. The Greenness of Cities: Carbon Dioxide Emissions and Urban Development [J]. Journal of Urban Economics, 2010 67: 404-418.
- [9] Andrews C J. Greenhouse Gas Emissions along the Rural-urban Gradient [J]. Journal of Environmental Planning and Management, 2008 51(6): 847-870.
- [10] Ewing R, Rong F. The Impact of Urban Form on US Residential Energy Use [J]. Housing Policy Debate 2008 19(1): 1-30.
- [11] Pachauri S, Jiang L. The Household Energy Transition in India and China [J]. Energy Policy 2008 36(11): 4022-4035.
- [12] Lebel L, Garden P, Banaticla M, et al. Integrating Carbon Management into The Development Strategies of Urbanizing Regions in Asia [J]. Journal of Industrial Ecology 2007 11(2): 61-81.
- [13] Guzmán J M, Martine G, McGranahan G, et al. Population Dynamics and Climate Change [M]. New York: UNFPA & IIED, 2009.
- [14] Croci E, Melandri S, Molteni T. A Comparative Analysis of Global City Policies in Climate Change Mitigation: London, New York, Milan, Mexico City and Bangkok [R] 2010.
- [15] IEA. CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion 2010 [R] 2010.
- [16] UN-Habitat. State of The World's Cities 2008/2009 [R] 2008.
- [17] O'Neill B C, Dalton M, Fuchs R, et al. Global Demographic Trends and Future Carbon Emissions [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences 2010 107(41): 17521-17526.
- [18] Peters G P, Weber C L, Guan D, et al. China's Growing CO<sub>2</sub> Emissions: A Race between Increasing Consumption and Efficiency Gains [J]. Environmental Science & Technology, 2007 41(17): 5939-5944.
- [19] Minx J C, Baiocchi G, Peters G P, et al. A Carbonizing Dragon: China's Fast Growing CO<sub>2</sub> Emissions Revisited [J]. Environmental Science & Technology 2011 45: 9144-9153.
- [20] 薛冰, 李春荣, 刘竹, 等. 全球 1970-2007 年碳排放与城市化关联机理分析 [J]. 气候变化研究进展 2011 7(6): 423-427. [Xue Bing, Li Chunrong, Liu Zhu, et al. Analysis on CO<sub>2</sub> Emission and Urbanization at Global Level During 1970-2007 [J]. Advances in Climate Change Research, 2011 7(6): 423-427.]
- [21] The World Bank. World Databank [E]. 2010.
- [22] British Petroleum. BP Statistical Review of World Energy [R]. 2010.
- [23] Larsen H N, Hertwich E G. Identifying Important Characteristics of Municipal Carbon Footprints [J]. Ecological Economics, 2010 70(1): 60-66.
- [24] BP. BP Statistical Review of World Energy [R] 2012.
- [25] UNDP. Human Development Report 2011 [M]. New York: Palgrave Macmillan 2011.
- [26] Croci E, Melandri S, Molteni T. Determinants of Cities' GHG Emissions: A Comparison of Seven Global Cities [J]. International Journal of Climate Change Strategies and Management 2011 3(3): 275-300.
- [27] OECD. Cities and Climate Change [M]. Paris: OECD Publishing, 2010.
- [28] Lindsey M, Schofer J L, Durango-Cohen P, et al. The Effect of Residential Location on Vehicle Miles of Travel, Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions: Chicago Case Study [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2011 16(1): 1-9.
- [29] Norman J, MacLean H L, Kennedy C A. Comparing High and Low Residential Density: Life-cycle Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions [J]. Journal of Urban Planning and

- Development 2006 ,132: 10 - 21.
- [30]Dodman D. Forces Driving Urban Greenhouse Gas Emissions [J]. Current Opinion in Environmental Sustainability 2011 ,3:1 - 5.
- [31]Myors P , O' Leary R , Helstrom R. Multi Unit Residential Buildings Energy & Peak Demand Study [M]. Energy Australia & NSW Department of Infrastructure , Planning and Natural Resources , 2005.
- [32]The World Bank. World Development Report: 2010 Development and Climate Change [M]. Washington , DC: The World Bank 2010.
- [33]Heinonen J. Junnila S. Implications of Urban Structure on Carbon Consumption in Metropolitan Areas [J]. Environmental Research Letters 2011 ,6: 014018.
- [34]Economist Intelligence Unit. European Green City Index: Assessing The Environmental Impact of Europe's Major Cities [R] 2009.
- [35]蔡博峰. 城市温室气体清单研究 [J]. 气候变化研究进展 2011 , 7( 1) : 23 - 28. [Cai Bofeng. A Study on City Greenhouse Gas Emissions Inventory [J]. Advances in Climate Change Research , 2011 , 7( 1) : 23 - 28. ]
- [36]蔡博峰. 中国城市温室气体清单研究 [J]. 中国人口·资源与环境 2012 , 22( 1) : 21 - 27. [Cai Bofeng. Research on Greenhouse Gas Emissions Inventory in the Cities of China [J]. China Population Resources and Environment , 2012 , 22( 1) : 21 - 27. ]
- [37]Carney S , Green N , Wood R , et al. Greenhouse Gas Emissions Inventories for Eighteen European Regions-EU CO<sub>2</sub> 80/50 Project Stage 1: Inventory Formation. The Greenhouse Gas Regional Inventory Protocol( GRIP) [R]. 2009.
- [38]Chun M , Mdting J , Xiaochun Z , et al. Energy Consumption and Carbon Emissions in a Coastal City in China [J]. Procedia Environmental Sciences , 2010 ( 4) : 1 - 9.
- [39]Dhakal S. Urban Energy Use and Carbon Emissions from Cities in China and Policy Implications [J]. Energy Policy , 2009 , 37( 11) : 4208 - 4219.
- [40]Doll C N H , Muller J P , Elvidge C D. Night-time Imagery as a Tool for Global Mapping of Socioeconomic Parameters and Greenhouse Gas Emissions [J]. AMBIO: A Journal of the Human Environment , 2000 , 29( 3) : 157 - 162.
- [41]Montgomery M R. The Urban Transformation of the Developing World [J]. Science , 2008 , 319( 5864) : 761 - 764.
- [42]Oda T , Maksyutov S. A Very High-resolution Global Fossil Fuel CO<sub>2</sub> Emission Inventory Derived Using a Point Source Database and Satellite Observations of Nighttime Lights , 1980 - 2007 [J]. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions , 2010 , ( 10) : 16307 - 16344.

## Study on Driving forces and Underlying Factors of Urban Carbon Dioxide Emissions

CAI Bo-feng<sup>1</sup> ZHAO Nan<sup>2</sup> FENG Kai<sup>1</sup>

( 1. Chinese Academy for Environmental Planning , Beijing 100012 , China;

2. Tianjin Traffic Vocational College , Tianjin 300110 , China)

**Abstract** The driving forces and underlying factors of urban CO<sub>2</sub> emissions were analyzed. There is a significant relationship between urban CO<sub>2</sub> emissions and urbanization , which means that the living standard and consumption capability are the dominant driving forces of the CO<sub>2</sub> emissions in urban. Meanwhile , geographical characteristics , spatial pattern and low carbon policies are the main affecting factors of the urban CO<sub>2</sub> emissions. The main reason for the common phenomena that urban CO<sub>2</sub> emissions per capita are higher than that of whole nation in developed countries and are lower than that of whole nation in developing countries is the differences in driving forces induced by different urbanization stage. The influences of geographical position are long-term and difficult to change. These influences are generated through heating and cooling processes. The influences of spatial pattern are medium-term. The compact city with high population density mostly has lower CO<sub>2</sub> emissions per capita than others. Low-carbon policies for cities include renewable energy policies , transport policies , building policies , land planning policies and financial policies , which will affect in a relatively short time. The impact of underlying factors will be significant where the driving forces are stable and further more influence the driving forces. The affecting factors are interacting with each other rather than functioning separately.

**Key words** urban CO<sub>2</sub> emission; driving forces; underlying factors