

Affecting Factors of Carbon Emissions in China's Cities and its Policy Implications: Evidence of Wuhan City

Peng Wuyuan, Fan Yingxia

Economic management school, China University of Geosciences (Wuhan campus)

Abstract: China is in the accelerating development stage of urbanization. In this paper, the author advances the affecting factors of carbon emissions in China's cities, and tests it using data from Wuhan city, then provides suggestions for low-carbon city construction. The basic arguments are: first, urbanization creates the opportunities for infrastructure construction, and results in high energy consumption; second, urbanization changes the life style of urban residents and also their energy consumption pattern; third, high energy consumption leads to high carbon emission. Time series data from Wuhan city support these claims. Urban is the major energy consumption area in China and low-carbon city is the orientation of China's city development. The pattern selection of low-carbon city construction in China should be 'low-carbon urbanization', and urbanization process should be taken as the opportunity of energy saving and emission reduction.

Key words: urbanization; carbon emission; low-carbon city; affecting factors; energy saving and emission reduction

我国城市碳排放的影响因素及其政策含义： 以武汉市为例¹

彭武元，范莹霞

中国地质大学（武汉）经济管理学院

摘 要：我国正处于城镇化加速发展阶段。本文以武汉市为例，探讨影响我国城市碳排放的主要因素，在此基础上提出打造低碳城市的建议。本文的基本理论观点是：第一，城市化进程为基础设施行业的投资提供了机会，拉动了经济增长，基础设施行业主要是高能耗行业，其发展导致较高的能耗；第二，城市化导致了居民生活方式的变化，能源消费特征也发生改变；第三，较高的能耗又导致较高的碳排放。武汉市的时间序列的计量经济模型的检验结果支持了这一观点。城市用能是我国能耗的主要地区。低碳城市是指在城市寻求低碳发展。低碳城市是低碳经济的重要载体，是我国城市发展的方向。本文认为我国打造低碳城市的模式选择应该是“低碳城市化道路”，即将城市化进程和城市群（或城市圈）建设作为节能减排的机会。

关键词：城市化；碳排放；低碳城市；影响因素；节能减排

1 引言

我国正处于城镇化加速发展阶段。城市是我国能源消费的主要地区，能源消费增长较快。以武汉市这一中部地区的中心城市为例，进入 21 世纪以来，武汉市的碳排放量有了显著增加。

¹ **基金项目：**本文受中央高校基本科研业务费专项资金优秀青年教师基金项目“低碳经济政策体系优化研究（CUGW090223）”资助。

² 本文中的碳排放指的是因能源活动而产生的那部分。它构成碳排放的主体。具体数据由作者根据《武汉市统计年鉴》各年中的资料计算得出。各种能源的碳排放参数见庄贵阳（2007）

CO₂排放量从 2001 年的 4672 万吨增加到 2006 年的 8658 万吨²，5 年间几乎翻了一番。武汉市的人均碳排放量也呈现出与总排放量相类似的趋势。从 2001 年到 2006 年，人均 CO₂ 排放量从 6.16 吨增加到 9.83 吨，增加了约 60%。从万元生产总值碳排放量来看，碳排放下降较快。从 1994 年的 9.2 吨下降到 2001 年的 3.5 吨；但高于国内同类型城市。

国内外对低碳城市和碳排放影响因素的研究

主要有以下几个方面。第一，对环境变量与经济变量关系的研究。美国经济学家提出了环境库兹涅茨曲线概念，认为环境质量同经济增长一样也呈倒“U”型曲线关系，即在经济发展的初期阶段，随着人均收入水平的提高，环境污染由低趋高，到达某个临界点（拐点）后，随着人均收入水平的进一步提高，环境污染又由高趋低，环境质量不断得到改善（Grossman, 1995）。一般认为，向低碳经济转型就是经济增长与温室气体排放之间的关系不断“脱钩”（decoupling）的过程。脱钩就是指用少于以往的物质消耗生产出多于以往的物质财富，可以分为绝对脱钩和相对脱钩，强脱钩和弱脱钩等（Sturluson, 2002; Tapio, 2005）。王中英等（2006）通过相关分析探讨了中国 GDP 增长与碳排放量的关系，结果表明二者有明显的相关性，中国正处在环境库兹涅茨曲线的爬坡阶段；杜婷婷等（2007）对中国 CO₂ 排放量和人均收入增长的关系进行时间系列分析，认为二者之间呈现似“N”型而非倒“U”型的演化特征。赵一平等（2006）指出我国经济发展与能源消费存在着相对“脱钩”与“复钩”的模式。

第二、低碳城市规划。由于城市空间结构的锁定（lock-in）效应，西方国家城市交通所需要消耗的能源及排放的 CO₂ 和其它温室气体总量增长迅速且难以控制。城市规模与碳排放存在一定的正相关关系，而土地开发密度与碳排放量之间存在较为明显的负相关关系。城市规划系统对新技术的适应度和准备度是实现低碳未来的关键（Crawford and French, 2008）。我国城市的基础设施建设还没有完成，因此城市规划的可塑性较强。潘海啸等（2008）认为我国城镇体系的规划要与区域性公共交通体系结合，建立区域性公共交通发展走廊，能够在未来有效地控制无序出行，降低交通的能耗。

第三、低碳城市的理念和模式。国外发达国家推行低碳城市是为了削减 CO₂ 的排放量，并主要集中在建筑和交通等消费领域。英国确定减排数量的量化指标（Energy Saving Trust and Carbon Trust, 2007）。日本确定低碳社会行动计划（Shimada 等, 2007）等。与国外发达国家强调减少 CO₂ 的绝对排放量有所不同，中国学者更强调低碳发展，在模式选择上既强调低碳消费

也强调低碳生产（夏堃堡, 2008）。

第四、低碳城市的发展策略。英国主张通过经济激励的手段来促进低碳发展（Department of Trade and Industry, 2003）。日本强调政府在低碳社会建设中的主导性（Shimada 等, 2007）。美国倾向于通过技术途径来实现低碳发展（Huntington, 2005）。付允等（2008）从能源低碳、经济低碳、社会低碳和技术低碳的角度探讨了建立低碳城市的发展路径。气候组织（2009）认为，在城市发展实现低碳经济转型的过程中，中国城市急需构建领导能力，主要体现在政策激励与制度安排、技术创新与应用、投融资机制和多方合作。刘传江和冯碧梅（2009）从体制机制角度提出了武汉城市圈建设低碳社会的建议，包括产业、农业、节能减排、基础设施共享和碳汇五个方面。朱守先（2009）在比较不同城市低碳发展指标的基础上，提出从优化产业结构、能源消费结构和政策管理等方面推动低碳发展。

国外对低碳经济的研究目标是削减温室气体排放的绝对数量，主要领域是建筑和交通等消费领域。这与国外发达国家经济发展水平较高，基础设施建设已经基本完成，生活消费用能所占比例较大有关。目前中国正处于城市化进程之中，生产用能所占比例较大，同时建筑和交通用能所占比例会逐步提高。在这种情形下，国内对低碳城市的研究侧重于低碳发展，主要领域既包括生产也包括生活消费。

本文的结构如下：第二部分提出本文的理论分析框架；在此基础上，第三部分构建影响我国城市碳排放的经验模型，并以武汉市为例，并模型进行检验；最后，提出我国打造低碳城市的政策建议。

2 本文的主要观点

本文认为，影响我国城市碳排放的主要因素是城市化、经济增长和能源消费。第一，城市化进程为基础设施行业的投资提供了机会，拉动了经济增长，同时，基础设施行业主要是高能耗行业，其发展导致较高的能耗；第二，城市化导致了居民生活方式的变化，能源消费特征也发生改变；第三，较高的能耗又导致较高的碳排放（见图 1）。

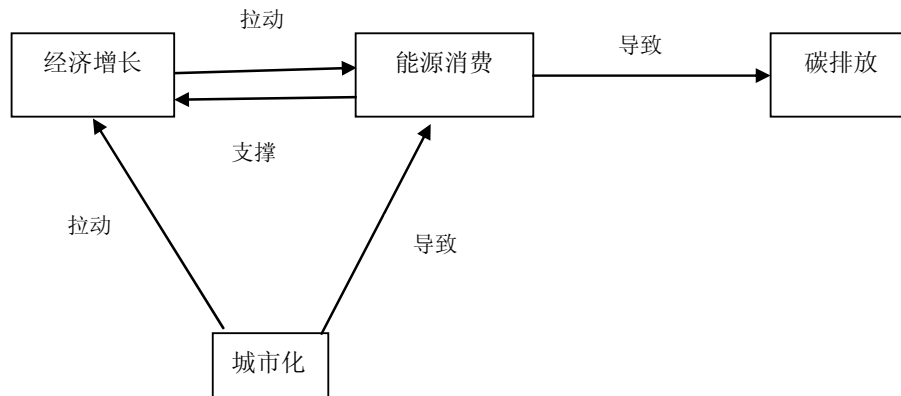


图1 影响我国城市碳排放的因素

城市化拉动经济增长；经济增长拉动能源消费，而能源是经济增长的支撑。经济增长和能源消费两者之间的关系可以用单位生产总值能耗强度来衡量。能耗强度也受到第二产业在总产值中的比重的影响；能源消耗与碳排放之间的关系也受到能源结构的影响。因此，本文采用分步回归的方法，先分析能源消耗对碳排放的影响，再分析城市化和经济增长对能源消耗的影响。

3 模型

根据前文提出的理论观点，本文的研究采用时间序列数据。我国的城市化进程、经济增长、产业结构和能源结构都随时间而变化。

3.1 模型的设定

根据影响碳排放的因素模型和选取的数据性质，碳排放总量、人均碳排放量和万元生产总值碳排放量的模型设定分别如下。

碳排放总量模型设定为：

$$\text{Log(碳排放总量)} = C_0 + C_1 \log(\text{能源消费总量}) + C_2 \log(\text{能源消费结构}) + \varepsilon \quad (1)$$

$$\text{Log(能源消费总量)} = C_0 + C_1 \log(\text{人口总数}) + C_2 \log(\text{城市化率}) + \varepsilon \quad (2)$$

$$\text{Log(能源消费总量)} = C_0 + C_1 \log(\text{生产总值}) + C_2 \log(\text{产业结构}) + \varepsilon \quad (3)$$

因为城市化和工业化是同步发生的，两者之间有很强多重共线性，因此将城市化和工业化对能耗的影响分别回归。人均碳排放量和万元生产总值碳排放量的模型设定也与此类似。能源消费结构使用煤炭在总能源消费中的比重来测量；产业结构用第二产业在总产值中的比重来测量，下面的模型与此相同。生产总值使用实际变量，剔除通货膨胀因素的影响。C0 到 C2 表示模型的

参数。两边取对数是为了方便计算弹性。

人均碳排放量的模型设定为：

$$\text{Log(人均碳排放量)} = C_0 + C_1 \log(\text{人均能耗}) + C_2 \log(\text{能源消费结构}) + \varepsilon \quad (4)$$

$$\text{Log(人均能耗)} = C_0 + C_1 \log(\text{人口总数}) + C_2 \log(\text{城市化率}) + \varepsilon \quad (5)$$

$$\text{Log(人均能耗)} = C_0 + C_1 \log(\text{人均生产总值}) + C_2 \log(\text{产业结构}) + \varepsilon \quad (6)$$

每万元生产总值碳排放量的模型设定为：

$$\text{Log(万元产值碳排放量)} = C_0 + C_1 \log(\text{万元产值能耗}) + C_2 \log(\text{能源消费结构}) + \varepsilon \quad (7)$$

$$\text{Log(万元产值能耗)} = C_0 + C_1 \log(\text{人口总数}) + C_2 \log(\text{城市化率}) + \varepsilon \quad (8)$$

$$\text{Log(万元产值能耗)} = C_0 + C_1 \log(\text{产业结构}) + C_2 \log(\text{能源利用效率}) + \varepsilon \quad (9)$$

3.2 数据的来源

由于我国正处于城市化加速发展阶段，城市的统计口径在不断发生变化。因此，本文以武汉市这个单个城市为例。武汉市是我国中部地区中心城市，同时也是武汉城市圈中心城市。用来估计上述模型的数据全部来自《武汉市统计年鉴》。根据数据的可获得性，初步选取 1994—2007 年的时间序列数据。除城镇化水平以外，其它数据都可以直接查到。城镇化水平中的缺失数据将采用平滑方法得到。通货膨胀因素的剔除参照工业品出厂价格指数，并将 1994 年设为基年。

3.3 模型的估计结果

由于上述 9 个方程都是多元回归，因此模型的估计分为以下几步：（1）对所有时间序列变量的平稳性进行检验，结果是所有变量都不是平

稳的，但是却都是一阶差分平稳的，即一阶单整 I(1)，满足构造协整方程组的必要条件；（2）使用普通最小二乘法对上述方程进行估计，模型的估计结果见表 1；（3）使用 Johansen 协整检

验判断上述 9 个方程的变量之间是否存在一致协整的向量或长期的均衡关系，检验结果支持长期均衡关系。

表 1 模型的估计结果

	方程 1	方程 2	方程 3	方程 4	方程 5	方程 6	方程 7	方程 8	方程 9
常数项	-2.46***	-21.03***	-3.95	-3.68***	-21.03***	-11.01***	-5.09**	59.75***	-1.71
能耗	0.78***								
能源结构	0.91***			0.86***			1.24**		
人均能耗				0.74***					
单位产值能耗							0.71***		
城市人口		5.96*			4.96			-6.42	
城市化率		-2.60			-2.60			-4.10	
生产总值			0.51***						
产业结构			2.14***			2.00***			0.79
人均产值						0.48***			
能源利用率									-
R ²	0.98	0.86	0.91	0.97	0.78	0.86	0.86	0.92	0.12***

注：1)***表示在 1%的水平上显著，**在 5%的水平上显著，*10%的水平上显著；
2) White 异方差一致性估计量。

从表 1 模型的估计结果可以得出：第一，碳排放量受能耗和用能结构的显著影响。随着能耗量的增加，碳排放量也增加。随着煤炭在用能结构中的比重的上升，碳排放量也上升，因为煤炭的碳强度高于其它能源品种。人均碳排放量受人均能耗和用能结构的显著影响，单位产值碳排放量受单位产值能耗和用能结构的影响，而且用能结构的弹性系数要大于能耗的弹性系数。

第二，人口的增加对能耗总量有正的影响，说明人口的增加拉动了能耗量的增加。但是人口数量对人均能耗和单位产值能耗的影响不显著，说明人口规模效益不显著。城市化率对能耗都有负的影响，但是并不显著，支持了城市开发密度与能耗之间存在负相关的观点。

第三，生产总值和产业结构对能耗有显著的影响。生产总值的增加拉动了能耗的增加，产业结构趋于重工业化也会导致能耗的增加。人均生产总值和产业结构对人均能耗也有显著的影响，能源利用效率的提高对单位产值能耗有显著的影响，说明依靠技术进步能显著地降低单位产值用能量。但是产业结构对单位产值能耗的影响不显著。

4 我国打造低碳城市的建议

4.1 我国打造低碳城市的模式选择

基于上述研究结论，本报告认为我国打造低碳城市的模式选择应该是“低碳城市化道路”，即将城市化进程和城市群（或城市圈）建设作为节能减排的机会。

以武汉市为例。首先，武汉城市圈建设需要大量的能源作为支撑。在 2007 年武汉城市圈获得全国资源节约型和环境友好型社会建设综合配套改革实验区以后，武汉的城镇化进程必将加快。城市圈建设需要大量的能源作为支撑。首先，需要为新增城市人口提供足够的住房，对交通运输、医疗卫生、城市绿化等公共设施都提出了更高要求。这些城市基础设施的建设、运行和维护都需要消耗更多能源。其次，城市化进程中的工业化特征导致能耗的迅速增加；最后，农村人口移居城市后，将以电力替代煤炭、木材等传统能源，收入水平提高使人们更倾向于消费清洁、方便的电力。最为显著的是城市交通发展会导致更多化石燃料及电力消费。其次，走低碳城市化道路是武汉城市圈建设的必然选择。武汉市乃至湖北省能源资源较为缺乏。如果不能在城市

化和城市圈的建设过程之中实现节能减排，武汉城市圈的建设将面临巨大的能源供应和减排 CO₂ 的压力。

4.2 我国打造低碳城市的发展策略

我国打造低碳城市的发展战略包括：第一，改变目前外延式的城市建设模式。在城市化进程中以低排放、高能效、高效率为特征来进行低碳城市的规划设计和建设。在未来一定时期，我国城市的人口数量还会有较大幅度的增加。城市基础实施建设一旦投入，就较难改变，即具有锁定效应。因此，抓住目前城市建设的有利机会，进行低碳城市设计和规划将有效地减少碳排放。

第二，调整产业结构和转变发展模式。目前我国重工业所占比重较高而附加值不高，导致单位生产总值碳排放强度较大。因此，要改变“高能耗、高排放、低附加值”的工业化模式，走新型工业化道路。

第三，政府要加强对碳排放的管理。这包括碳核算、碳交易、碳审计、建立低碳评价指标体系等，实现对低碳的数字化管理。国家发展和改革委员会计划在“十二五”期间将碳排放也作为一个约束性指标。这对地方政府管理碳排放提出了要求。国家财政部建议五年内开征碳税，并提出了开征碳税的实施机制。此外，国外发达国家正在将碳排放产品质量标准作为进口产品的技术标准，对不达标产品征收碳关税。

第四，政府要建立低碳经济政策体系。低碳经济政策体系要为低碳经济发展提供资金支持，并推广能有效节能减排的低碳技术。

References (参考文献)

- [1] Du Tingting, Mao Feng, Luo Rui, 2007. Evolutionary analysis between economic growth and CO₂ emission in China. *China's population, resources and environment*, Issue 6(in Chinese).
杜婷婷、毛锋、罗锐，2007.中国经济增长与 CO₂ 排放演化分析.中国人口、资源与环境，第 6 期
- [2] Fu Yun, Wang Yunlin, Li Ding, 2008. Research on development path of low-carbon city. *Impact of science on society*, Issue 2 (in Chinese).
付允、汪云林、李丁，2008.低碳城市的发展路径研究.科学对社会的影响，第 2 期
- [3] Liu Chuanjiang, Feng Bimei, 2009.low-carbon economy and two-type society construction of Wuhan urban circle. *Learning and practice*, Issue 1.
刘传江、冯碧梅，2009.低碳经济与武汉城市圈两型社会建设.学习与实践，第 1 期
- [4] Pan Haixiao, Tang Yang, Wu Jingyu, 2008. Space program strategy of Low-carbon city in China. *Urban program journal*, Issue 6.
潘海啸、汤葐、吴锦瑜等，2008.中国“低碳城市”的空间规划策略.城市规划学刊，第 6 期
- [5] Climate organization, 2009. China's leadership of low-carbon, city. Shanghai and Hongkong Bank Climate Partnership Relationship.
气候组织，2009.中国低碳领导力：城市.汇丰银行气候伙伴关系
- [6] Wang Zhongying, Wang Limao, 2006. Impact of economic growth on carbon emission in China. *Security and environment journal*, Issue 5.
王中英、王礼茂，2006.中国经济增长对碳排放的影响分析.安全与环境学报，第 5 期
- [7] Xia Kunbao, 2008. Developing low-carbon economy, and realizing urban sustainable development. *Environmental protection*. Issue 2A.
夏堃堡，2008.发展低碳经济，实现城市可持续发展.环境保护，第 2A 期
- [8] Zhao Yiping, Sun Qihong, Duan Nin, 2006. Relationship between economic development and energy consumption response. *Management of science research*, Issue 3.
赵一平、孙启宏、段宁，2006.中国经济发展与能源消费响应关系研究.科研管理，第 3 期
- [9] Research Center for Sustainable Development in China Academy of Social Science, 2003.Impact of climate change on China and China's adaptation. The first Sina-UK round table conference proceedings, Beijing.
中国社会科学院可持续发展研究中心，2003.气候变化对中国的影响及中国的适应.第一届中英圆桌会议论文，北京
- [10] Zhu Shouxian, 2009. Comparative analysis of low-carbon development levels and potentials among cities. *Guide paper of opening*, Issue 4.
朱守先，2009.城市低碳发展水平及潜力比较分析.开放导报，第 4 期
- [11] Zhuang Guiyang, 2007. Low-carbon economy, China's development path on the background of climate change. Meteorological Press.
庄贵阳，2007.低碳经济：气候变化背景下中国的发展之路.气象出版社
- [12] Crawford, J. and French, W., 2008. A Low-carbon Future: Spatial Planning's Role in Enhancing Technological Innovation in the Built Environment. *Energy Policy*, 36(12):4575-4579
- [13] Department of Trade and Industry, 2003. Energy White Paper: Our Energy Future-Create a Low Carbon Economy. London
- [14] Energy Saving Trust and the Carbon Trust, 2007. Low Carbon Cities Program. <http://www.frdata.co.uk/Ccs-Pres2007>
- [15] Grossman G.M. 1995. Economic Growth and the Environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110(2):353-378
- [16] Huntington H.G. 2005. US Carbon Emissions, Technological Progress and Economic Growth Since 1870. *International Journal of Global Energy Issues*, 23(4):292-306

- [17] IPCC 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis—Summary for Policymakers. <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>
- [18] Shimada, Koji, Yoshitaka Tanaka, Kei Gomi et al, 2007. Developing a Long-term Local Society Design Methodology towards a Low-carbon Economy: An Application to Shiga Prefecture in Japan. *Energy Policy*, 35:4688-4703
- [19] Sturluson, J. 2002. Economic Instruments for Decoupling Environmental Pressure from Economic Growth. Project Description, August 13
- [20] Tapio, P. 2005. Towards a Theory of Decoupling: Degree of Decoupling in the EU and the Case of Road Traffic in Finland Between 1970 and 2001. *Journal of Transport Policy*, 12:137-151