

沿海发达地区城市化与碳排放关系实证分析

—以浙江省为例

郑启伟

【摘要】文章基于城市化视角，运用协整和 Granger 因果检验方法，实证了 1995-2013 年浙江省碳排放与城市化、能源消耗、经济增长、出口贸易的现实关系。研究表明：城市化、能源消耗、经济增长和贸易开放对浙江省碳排放存在长期正向关系。因果关系上，城市化、能源消耗、经济增长和出口贸易是引起碳排放变化的 Granger 原因，但碳排放不是引起城市化、能源消耗、经济增长和出口贸易变化的 Granger 原因。文章对实证结果逐一进行了解释并提出了相应对策建议。

【关键词】浙江；碳排放；城市化；实证分析

1、引言

人类活动影响是造成 20 世纪中叶以来气候变暖的主要原因^①。城市是人类生产和消费活动重要场所，占世界面积 2% 的城市排出了世界 75% 的 CO₂^②。而城市化不仅是个世界性的现象，也是历史发展的必然趋势。据联合国人居署预测，2030 年世界城市化率将达到 60%，2050 年将达到 70%^③，届时城市化带来的碳排放比例将进一步增加。

关于城市化和碳排放之间关系，已有研究成果大致有城市化利于降低碳排放强度^④、城市化增加碳排放^⑤、城市化对碳排放影响不显著^⑥三种观点。城市化对碳排放的影响因素主要包括人口规模、经济水平、技术进步、对外贸易等，如 Zha 等研究认为人口的增加无论对城市或农村均导致碳排放的增加^⑦，Dong 等研究提出碳排放增长因 GDP 的增长而增长^⑧，Stern 认为以能源强度下降为代表的技术进步是推进碳排放降低的主要原因^⑨，张友国研究提出贸易规模的增长使我国成为碳净输出国^⑩。

浙江作为我国沿海发达省份，目前正处于全面提升工业化、信息化、市场化、城市化、国际化水平的关键时期，能源资源需求和碳排放仍将在一段时间内持续增加。根据 2014 年《中美气候变化联合声明》，我国要实现“在计划 2030 年左右二氧化碳碳排放达到峰值且将努力早日达峰”的控碳目标，采取更加严格的减碳措施势在必行。2013 年，浙江省万元 GDP 能耗为 0.53 吨标准煤居全国前列^⑪，进一步提高能源效率压力巨大。因此，在日趋严格的减碳形势下，开展城市化进程中碳排放驱动因素研究，不仅能为浙江转型发展探寻有效对策措施，也可沿海发达地区的可持续发展积累有益经验。

2、研究方法数据来源

2.1 模型设定

为探讨城市化、经济增长、能源消费、贸易开发水平对浙江省碳排放的影响，本文借鉴 Dietz 等在 IPAT 模型基础上建立

作者简介：郑启伟（1972-），男，河南信阳人，博士，高级工程师，浙江省发展规划研究院环境与生态经济研究室主任，研究方向为生态文明。

基金项目：2013CDM 赠款项目“基于碳排放总量控制目标约束下的浙江转型发展对策研究（2013058）”。

并得到广泛应用的 STIRPAT 模型^②，构建如下模型：

$$PCO_{2t} = A_t EC_t^{\alpha_1} UR_t^{\alpha_2} PGDP_t^{\alpha_3} EX_t^{\alpha_4} e^{\varepsilon_t}$$

为消除各变量的异方差对方程进行自然对数处理，得到如下线性回归方程：

$$\ln PCO_{2t} = \delta_t + \alpha_1 \ln EC_t + \alpha_2 \ln UR_t + \alpha_3 \ln PGDP_t + \alpha_4 \ln EX_t + \varepsilon_t$$

上式中，PCO₂ 为人均碳排放量，EC 为能源消费强度代表技术进步，PGDP 为人均 GDP 代表经济发展水平，EX 为进出口总额占 GDP 比例以表示贸易开放水平，UR 表示城市化水平； δ 为常数项， α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 为估计系数， ε 为随机误差项， t 为年份。

2.2 数据来源与处理方法

本文样本区间为 1995-2013 年。GDP、人口和进出口数据来源于历年《中国省统计年鉴》，其中，为消除价格因素带来的误差，本文把历年 GDP 数据折算成 1995 年价；为真实反映浙江作为我国吸纳外来人口大省的客观实际，在计算人均碳排放量、人均能源消耗、人均 GDP 时采用常住人口；进出口数据用同期的美元汇率进行折算，汇率数据来源于《中国统计年鉴》。

由于官方统计机构还没有碳排放的数据，本文采用《省级温室气体清单编制指南》所提供的参考方法和历年《中国能源统计年鉴》数据对浙江碳排放进行估算。具体方法为，先根据《中国能源统计年鉴》公布的八种化石能源(包括煤炭、柴油、汽油、煤油、原油、燃料油、焦炭、天然气)的折标煤系数将各种能源消费量折算成标准统计量，再乘以《省级温室气体清单编制指南》提供的碳排放系数，得到八种能源消费的碳排放量，加总后即为浙江碳排放总量。

本文所使用的计量分析软件为 Eviews6.0。

3、浙江省城市化和碳排放的特点分析

3.1 城市化发展特点

浙江城市化进程自 1995 年以来持续快速推进，城市化率从 1995 年的 32.6%增长到 2013 年的 64.0%，高于全国平均水平 53.73%的 10.27 个百分点，年均提高约 3.82 个百分点。城市建设日新月异，城市功能不断得到发挥，城市化发展已进入从中期加速阶段向城乡统筹协调发展的后期阶段，城市在浙江经济社会发展中的重要作用日益显著。

图 1 描述了 1995-2013 年浙江省城市化发展变化情况。从图中可以看出，1995-2005 年是浙江省城市化快速提升阶段，城市化率从 32.6%提升至 55.0%，年均提高 5.98%；2006-2010 年城市化持续快速提升，城市化率从 55.0%提升到 61.6%，年均提高 2.29%；2011 年后，仍以每年接近 1 个百分点的速度提升。

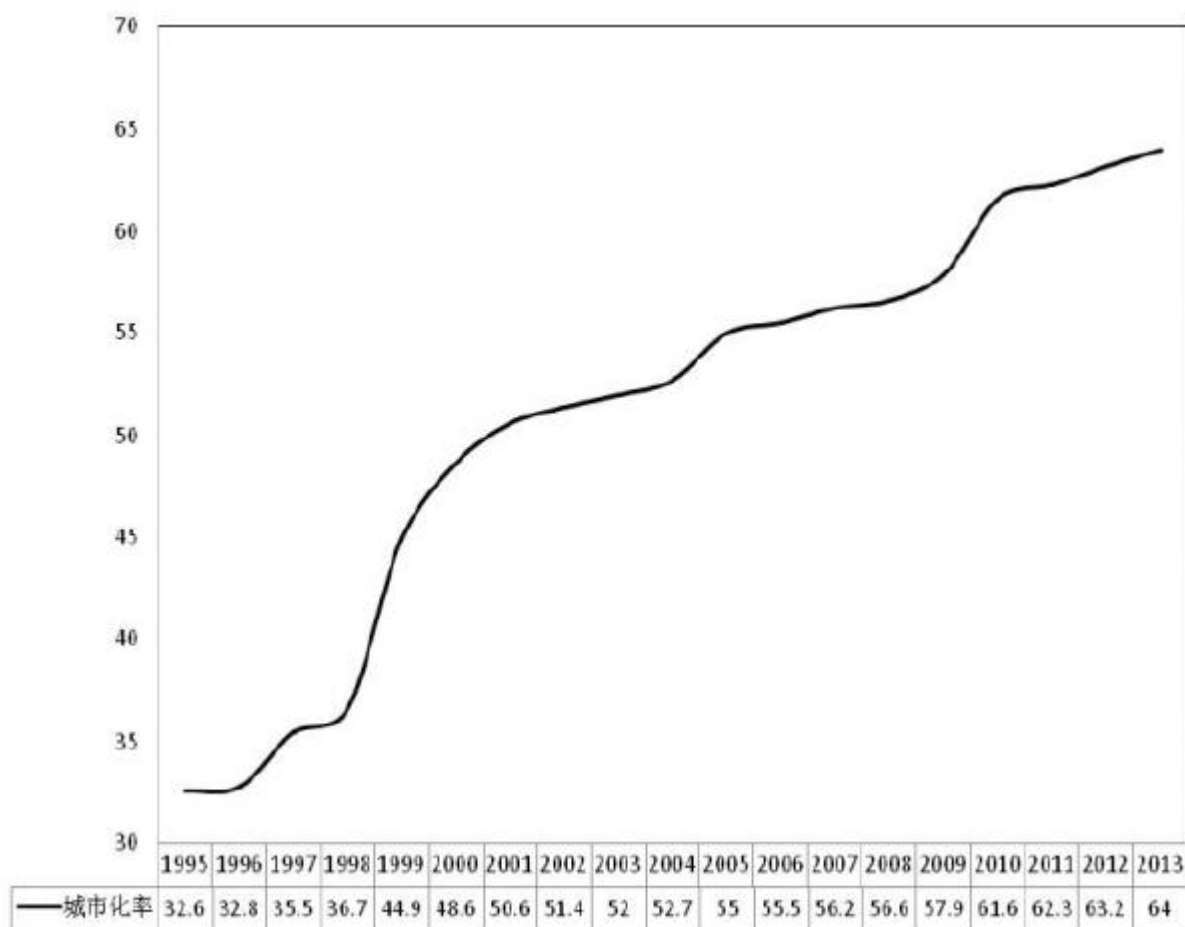


图1 浙江省 1995-2013 年城市化率变化（单位：%）

3.2 碳排放特点

图 2 描述了浙江省 1995-2013 年人均碳排放变化情况。从图中可以看出，浙江省人均碳排放总体呈现快速增长态势，年均增长 6.9%。从不同时间看，人均碳排放大致可分为 3 个阶段：第一个阶段为 1995-2003 年人均碳排放缓慢增长阶段，年均增长 5.6%；第二阶段 2004-2011 年人均碳排放快速增长阶段，年均增长 11.0%；第三阶段 2012-2013 年人均碳排放呈现下降趋势，这一现象是否说明浙江省的人均碳排放开始拐点性下降，仍需进一步分析探讨。

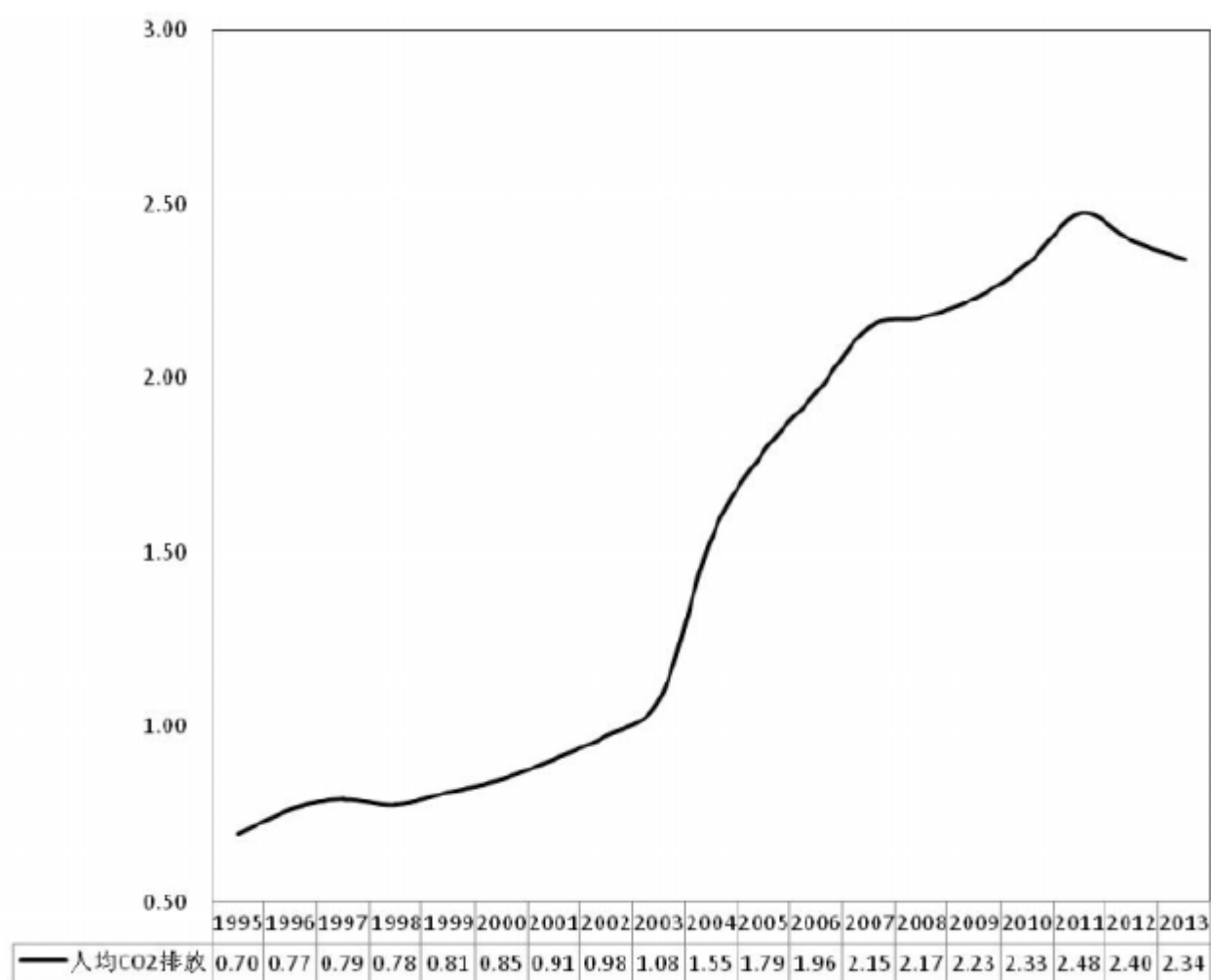


图2 浙江省1995-2013年人均碳排放变化（单位：吨/人）

4、实证研究

4.1 单位根检验

在实证研究过程中，一些非平稳的经济时间序列可能存在虚假回归或伪回归现象。本文构建的是面板数据模型，包含时间序列数据。为避免伪回归现象的发生，确保估计结果的有效性，必须对各面板序列的平稳性进行检验。为提高检验结果的稳健性，本文采用 ADF 检验方法对各时间序列进行单位根检验，以判断各序列的平稳性。根据变量序列的折线图，本文选择检测方程类型包括常数项和趋势项，得到单位根检验结果如表 1 所示。

表 1 时间序列数据的单位根检验结果

水平 序列	ADF	结果	结果	一阶 差分	ADF	结果
lnPCO ₂	-1.7286 (0.6932)	不平稳	不平稳	Δ lnCO ₂	-3.0235*** (0.0054)	平稳
lnEC	-0.842709 (0.7821)	不平稳	不平稳	Δ lnEN	-3.06982*** (0.0011)	平稳
lnPGDP	-0.66031 (0.8314)	不平稳	不平稳	Δ lnY	-1.871181** (0.0110)	平稳
lnUR	-1.2785 (0.8600)	不平稳	不平稳	Δ lnUR	-3.4159*** (0.0005)	平稳
lnEX	-0.32644 (0.9823)	不平稳	不平稳	Δ lnEX	-1.76004*** (0.0095)	平稳

注：（）数据为概率；Δ表示差分；
*、**、***分别表示 10%、5%和 1%的显著水平。

检验结果表明，浙江碳排放量、人均 GDP、能源强度、城市化和外贸开放的水平序列在 5%的显著水平下均存在单位根，不是稳定序列。进行一阶差分后的服从 I (1)过程，满足构建协整模型必要条件。

4.2 协整检验

本文涉及多个变量之间协整关系的检验，因此采用 Johansen 检验法。Johansen 协整检验是一种基于向量自回归模型的检验，检验之前必须确定 VAR 模型的结构，最为重要的是确定最优滞后期。本文就 ln PEC、ln PGDP、ln UR、ln EX 对 ln PCO₂ 检验并进行判断，并依据 AIC 最小值原则，最终确定 VAR 模型的最优滞后期为 2。在此基础上，得到协整检验结果见表 2。

表 2 Johansen 协整检验结果

零假设：协 整向量的个数	特征值	迹统计量	5%显著水 平临界值	概率
0 *	0.943627	48.88792	33.87687	0.0004
至多1个*	0.857678	33.14427	27.58434	0.0087
至多2个*	0.751747	23.68623	21.13162	0.0214
至多3个	0.569609	14.33204	14.26460	0.0488
至多4个	0.046490	0.809298	3.841466	0.3683

注：*表示在 5%显著水平拒绝零假设

由表 2 可知，采用迹统计量检验在 5%的显著性水平下，接受变量间存在 2 个协整关系的原假设，由此可判断各变量之间存在长期均衡关系，其中一个协整方程为：

$$\ln PCO_2 = 1.58956 \ln EC - 0.83376 \ln UR + 0.93364 \ln PGDP + 0.390417 \ln EX$$

从协整方程看，能源强度系数为正且最大，说明浙江省能源消费是刺激二氧化碳排放增长的重要因素。这一结论与周葵等

⑥、董美辰^⑦的研究结论一致。本文认为，这与浙江长期以来以化石能源为主的能源结构特点相吻合。根据中国能源统计年鉴，从 1995 年至 2013 年浙江省碳排放系数最大的煤炭长期占一次能源消费的 60%以上，其中 2003 年之前更是维持在 65%以上的高位。同时，浙江省能源效率虽然居我国前列，但能源强度却是同期德、日、韩、美等发达国家的 1.73~4.63 倍，能源效率仍需进一步提升。

表 3 浙江省能源强度与发达国家比较 (吨标油/万美元)

年份	浙江	与德国比	与日本比	与韩国比	与美国比
1995	4.40	4.63	5.57	2.33	2.99
2000	3.71	4.31	4.70	2.08	2.77
2005	3.41	4.11	4.55	2.19	2.87
2010	2.64	3.38	3.83	1.83	2.40
2012	2.48	3.44	3.76	1.73	2.48

注：数据根据《BP 世界能源统计年鉴（2013）》、《中国能源统计年鉴（2013）》和《国际统计年鉴（2013）》并折算到 2005 年价计算得到。

城市化水平系数为负，说明浙江省城市化水平与碳排放呈现均衡的负相关，赵红和陈雨蒙研究一致^⑨。这可能与城市化水平的提升形成了环境保护规模效应，有利于建立起对环境保护的激励与约束机制，使碳排放水平得到一定程度上的抑制有关。

人均 GDP 系数为正，说明浙江省经济增长与碳排放存在均衡的正向关系。根据统计年鉴计算，浙江省在研究期内的人均 GDP 年均增长率为 9.98%，而人均二氧化碳排放年均增长率为 6.95%，两者相差 3.03 个百分点，说明浙江省碳排放与经济增长在一定程度上呈现“弱脱钩”的发展特点，这与刘其涛^⑩、员开奇和董捷^⑪等的研究结论一致。

贸易开放水平的系数为正值，说明浙江省经济增长与碳排放存在均衡的正向关系，这与张友国研究结论一致^⑫，也与浙江出口以纺织、家具、服装、机电等劳动密集型商品为主和进口以原材料资源性商品为主，以及在国际分工体系中处于比较低端的加工环节的客观实际相符。

4.3 Granger 因果检验

在确定上述变量之间均衡关系的基础上，进一步用 Granger 因果检验确定各变量之间的因果关系，本文用“→”表示符号前面的变量，不是引起符号后面变量变化的 Granger 原因。检验结果见表 4。从表 4 可以看出，能源强度、贸易开放、城市化水平和经济发展是引起碳排放变化的 Granger 原因，但碳排放不是引起能源强度、城市化水平、经济增长和出口贸易变化的 Granger 原因。

表 4 Granger 因果关系检验结果

检验 原假设	滞后 长度	F-统 计量	概率	对原假 设的判断
$\ln EC \nrightarrow \ln PCO_2$	2	3.85065	0.0311	拒绝
$\ln PCO_2 \nrightarrow \ln EC$	2	2.73224	0.1052	不能拒绝
$\ln EX \nrightarrow \ln PCO_2$	2	4.17806	0.0420	拒绝
$\ln PCO_2 \nrightarrow \ln NE$	2	0.44047	0.6537	不能拒绝
$\ln UR \nrightarrow \ln PCO_2$	2	2.55299	0.0361	拒绝
$\ln PCO_2 \nrightarrow \ln UR$	2	0.41328	0.6705	不能拒绝
$\ln PGDP \nrightarrow \ln PCO_2$	2	3.64468	0.0380	拒绝
$\ln PCO_2 \nrightarrow \ln PGDP$	2	0.49815	0.6197	不能拒绝

5、结论与政策建议

本研究根据 1995-2013 年间的统计数据,通过协整分析与 Granger 因果检验,对浙江省城市化进程与碳排放之间的关系进行了定量观察。经研究发现,浙江省碳排放(被解释变量)与能源强度、人均 GDP、贸易开放等四个解释变量之间存在均衡的正向相关,而与城市化水平存在均衡的负相关。从 Granger 因果检验看,能源强度、城市化发展水平、经济增长和对外贸易是引起浙江省碳排放变化的 Granger 原因,且仅存在单向影响机制。

针对上述研究结论,本文提出以下对策建议:

在能源方面,针对浙江现阶段能源结构不尽合理和使用效率仍有较大提升空间的特点,要实施煤炭消费总量控制,推进煤炭的清洁高效利用,积极开发海洋能、太阳能等可再生能源,安全发展核电,推进一次能源结构、电力装机结构清洁化、低碳化。同时,加大低碳技术研发和推广,构建低碳技术评价认定体系,形成低碳技术遴选、示范和推广动态管理机制,提高能源使用效率,从源头上控制因能源结构不合理和能源效率不高引起的碳排放。

在经济发展方面,尽管浙江省经济增长与碳排放之间呈现一定程度的“弱脱钩”现象,但经济增长依然是推进碳排放增长的重要因素,尚未实现碳排放负增长和经济增长的“强脱钩”,因此,在保持经济稳定增长的条件下,要发展新能源、高端装备制造、节能环保、新能源汽车、物联网、新材料、海洋新兴以及核电关联产业等碳排放强度低、产业带动强的战略性新兴产业和现代服务业,同时严格控制高碳行业发展,加快淘汰落后产能,进一步调整和优化产业结构,减少生产过程碳排放。

在城市化发展方面,要实现《浙江省城镇体系规划(2011-2020)》提出的到 2020 年城市化水平为 72%左右目标,浙江在 2020

年前每年需提升城市化率 1.14 个百分点以上，继续推进城市化仍将是今后的重点任务。因此，尽管城市化水平是浙江省碳排放的负向驱动因素，但在今后推进城市化的进程中，要继续以新型城市化战略和主体功能区战略为指导，构筑以省域中心城市建成区为中心、县城和中心镇为节点、综合交通为骨架的城市空间形态，深入推进城镇结构的低碳化。同时，要在城市基础设施、公共服务设施等建设方面坚持绿色低碳理念，推广绿色建筑，优化交通组织，提高城市建设质量，进一步减少城市碳排放。

在贸易开放方面，尽管对外贸易是浙江碳排放增长的驱动因素，但这并不意味着盲目地控制出口规模的增长来减少出口含碳量。“两头”在外是浙江经济的先天基础，外贸在促进浙江快速发展和融入世界的过程中做出了巨大贡献。不管是当前和将来，强化对外贸易仍是浙江经济增长的重要驱动力和扩大国际影响的重要途径。因此，理性对策应是转变出口增长模式，优化出口产品结构，通过出口产品结构变化控制碳输出，其中，重点是要鼓励出口附加值率高而能源强度较低的产品或服务，并对能源强度高的产品通过适当的经济、法律和行政手段加以限制。

参考文献:

- ① IPCC. Climate change 2013: the physical science basis [M/OL]. Cambridge: Cambridge University Press. 2013.
- ② Muneer T, Celik A N, Caliskan N. Sustainable transport solution for a medium-sized town in Turkey: a case study [J]. Sustainable Cities and Society, 2011, 1(1): 29~37.
- ③ 秦耀辰等. 低碳城市研究的模型与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2013:.
- ④ 吴殿廷, 吴昊, 姜晔. 碳排放强度及其变化: 基于截面数据定量分析的初步推断[J]. 地理研究, 2011, 30(4): 579~589.
- ⑤ 周葵, 戴小文. 中国城市化进程与碳排放量关系的实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(4): 41~48.
- ⑥ 姬世东, 吴昊, 王铮. 贸易开放、城市化发展和二氧化碳排放: 基于中国城市面板数据的边限协整检验分析[J]. 经济问题, 2013, (12): 31~35.
- ⑦ Zha D L, Zhou D Q, Zhou P. Driving forces of residential CO2 emissions in urban and rural China: an index decomposition analysis [J]. Energy Policy, 2010, 38(7): 3378~3383.
- ⑧ Dong X Y, Yuan G Q. 2011. China's greenhouse gas emissions' dynamic effects in the process of its urbanization: a perspective from shocks decomposition under long-term constraints [J]. Energy Procedia, 2011, 5: 1660~1665.
- ⑨ Stern H. The accuracy of weather forecasts for Melbourne, Australia [J]. Meteorological Applications, 2008, 15(1): 65~71.
- ⑩ 张友国. 中国贸易含碳量及其影响因素-基于(进口)非竞争型投入产出表的分析[J]. 经济学(季刊), 2010, 9(4): 1287~1310.
- ⑪ 浙江省经济和信息化委员会, 浙江省统计局. 2013 年浙江省能源与利用状况(白皮书).
- ⑫ Dietz T, Rosa E A. Effects of population and affluence on CO2 emissions [J]. Proceedings of the National Academy

of Sciences of the United States of America, 1997, 94(1): 175~179.

⑬ 董美辰. 我国城市化对碳排放影响的实证分析[J]. 能源经济, 2014, 67~72.

⑭ 赵红, 陈雨蒙. 我国城市化进程与减少碳排放的关系研究 [J]. 中国软科学, 2013, 3: 184~192.

⑮ 刘其涛. 碳排放与经济增长脱钩关系的实证分析[J]. 经济经纬, 2014, 31(6): 132~136. [16] 员开奇, 董捷. 湖北省碳排放研究: 总量测算、结构特征及脱钩分析[J]. 农业现代化研究, 2014, 35(4): 397~402.