

城市二氧化碳排放和经济增长的脱钩分析

——以武汉市为例

方齐云 吴光豪

摘要 利用武汉市 1995-2013 年间的相关数据,基于不同类型土地利用的碳源—碳汇方法,测算了武汉市的二氧化碳排放量。结果表明,二氧化碳排放量持续上升,二氧化碳排放强度则稳步下降。进一步使用对数平均迪氏指数法区分了二氧化碳排放各驱动因素的贡献,并对二氧化碳与经济成长的脱钩弹性进行了分解。结果显示,在大部分年份,脱钩弹性处于相对脱钩状态,人均二氧化碳排放弹性、人口集聚弹性、城市土地扩张弹性、工业能源强度弹性、工业占比弹性和经济规模弹性均有不同的变化趋势。基于实证研究的结果,提出了促使城市经济发展与二氧化碳排放长期内实现绝对脱钩的对策建议。

关键词 城市经济增长;二氧化碳排放;脱钩;武汉

中图分类号 X511; F290 **文献标识码** A

一 引言

城市作为基本的生产和生活单元,在其经济飞速发展的同时,对居民的生活水平也有很大改善。但经济发展过程中产生的资源和环境问题又对城市生活质量构成严重的挑战,近年来二氧化碳排放增加、空气污染加重显示了城市发展中不和谐的一面。长期以来,我国采取以要素投入驱动的粗放型经济增长方式,资源能源的大量消耗使二氧化碳的排放总量快速上升。如果不能转变城市发展的理念和手段,我国二氧化碳减排目标将很难实现^[1],城市环境改善和生活的质量提高将遭遇瓶颈。遗憾的是,在“政绩锦标赛”的驱使下,我国部分城市在过去很

长一段时间进行了摊大饼式的盲目扩张,大量工业园区扩建、重大项目开工使环境承载的压力越来越大。以武汉市为例,近年来大拆大建使武汉市区面积从 2005 年的 220 平方公里飞快增长到 2013 年的 534 平方公里,城市规模增长了一倍多。同时汽车、光电子等一批项目上马,使武汉的工业产值增加了两倍多。

如何在城市经济发展的同时,处理好城市扩张、工业增长和资源环境的关系一直是学术界关注的一个重点。国际经验表明,如果不能兼顾到环境和生态,经济发展会带来热岛效应、环境污染等一系列问题^[2-3]。半个世纪前的伦敦烟雾事件和日本水俣病事件对我国城市经济发展应起到警示作用。关于经济发展与环境的关系,比较有影响的研究是环境库

作者简介 方齐云(1963—),男,湖北孝感人,华中科技大学经济学院教授,博士研究生导师,研究方向为发展经济学;吴光豪(1989—),男,湖北黄冈人,华中科技大学经济学院博士研究生,研究方向为资源环境经济学。

基金项目 国家社会科学基金项目(14CJL037)。

收稿日期 2015-06-17

修回日期 2015-07-14

兹涅兹曲线假说^[4]。该假说认为,经济发展与环境水平呈倒U型关系,在经济发展初期环境会恶化,当人均收入达到一定水平,人们的环保意识会提高,环境会由于治理而得到改善。二氧化碳虽然不是污染物,但作为温室气体,在经济发展中排放过多会导致气候变暖等问题的出现^[5],因而逐渐引起了人们对它的关注。检验经济发展与二氧化碳排放关系的文献非常多^[6-8],但这些文献仅以国家或区域为研究对象,并没有细化到城市层面,因此不能反映城市经济增长与二氧化碳排放的关系。

城市经济增长主要表现在工业产值增长、人口集聚和建成区面积扩张等方面^[9-11],并可能通过这些途径影响二氧化碳的排放。国内外很多学者研究了城市经济增长对二氧化碳排放的影响,包括:工业发展会增加对化石能源的利用,从而增加二氧化碳的排放^[12];城市人口集聚使消费者的消费模式和消费水平发生变化^[13],并增加了对基础设施、住房和交通的需求^[14],进而促使二氧化碳排放增加;城市土地扩张一方面会增加交通二氧化碳排放^[15],另一方面会相应减少可以固碳的森林和草地的面积^[16],最终也会使二氧化碳排放增加。二氧化碳排放总量是学者们研究的一个方面,但二氧化碳排放强度和人均二氧化碳排放量则得到了更多的关注。以上分析表明,城市经济增长会增加二氧化碳排放的总量,但其对二氧化碳排放强度和人均二氧化碳排放量则不然。城市经济增长不仅使居民消费能力和消费水平提高,还会导致生产的规模经济,促进技术进步,减少能源的传递和分布损失,提高能源的利用效率^[17],这些因素会降低二氧化碳排放强度和人均二氧化碳排放量。

综合以上研究可以看出,城市经济增长对二氧化碳排放的影响可以通过经济规模提升、产业结构调整、人口集聚和建成区面积扩张等方式进行。但多数研究并没有将以上因素全部纳入一个分析框架,来分解出各因素对二氧化碳排放的影响。鉴于此,本文以武汉市为研究对象,借助塔皮奥脱钩模型,来分析城市经济增长与二氧化碳排放的动态关系,并进一步采用对数平均迪氏指数法对二氧化碳排放的各驱动要素和脱钩弹性进行分解,以期弥补该方面研究的不足。

二 研究方法和数据

1. 脱钩分析

脱钩最早应用于物理研究中,指原来有联系的

两个变量脱离相互影响。塔皮奥使用脱钩方法分析了交通量与二氧化碳排放的关系^[18],此后脱钩分析被广泛应用于经济发展对环境质量的影响。在塔皮奥脱钩模型的基础上,衡量二氧化碳排放与经济增长脱钩关系的脱钩弹性如下:

$$t_{CO_2, GRP} = \frac{(\Delta CO_2 / CO_2)}{(\Delta GRP / GRP)} \quad (1)$$

式(1)中, $t_{CO_2, GRP}$ 是二氧化碳排放量和区域生产总值的脱钩弹性指标, CO_2 是二氧化碳排放量, ΔCO_2 是当期相对于上期二氧化碳排放量的变化量, GRP 是以基期价格表示的真实区域生产总值, ΔGRP 是当期相对于上期区域生产总值的变化量。塔皮奥根据脱钩弹性值将脱钩状态分为连接、脱钩和负脱钩三类情况,并进一步划分为8种细分状态。但有学者指出,塔皮奥脱钩指数不能有效区分相对脱钩与绝对脱钩^[19],因此本文将脱钩状态划分为绝对脱钩、相对脱钩和复钩三种状态^[20]:若脱钩弹性值小于0为绝对脱钩,表明经济增长的同时二氧化碳排放减少;若脱钩弹性值大于0小于1为相对脱钩,表明经济增长使二氧化碳排放增多,但二氧化碳排放增加的速度更慢;若脱钩弹性值大于1为复钩,表明经济增长使得二氧化碳排放以更快的速度增长。其中0和1为脱钩弹性的两个临界点。

2. 二氧化碳排放驱动因素的对数平均迪氏指数法分解

基于卡亚(Kaya)恒等式构造的思想,并考虑到城市经济增长的特点,二氧化碳排放量可做如下分解:

$$CO_2 = \frac{CO_2}{POP} \times \frac{POP}{BA} \times \frac{BA}{E} \times \frac{E}{M} \times \frac{M}{GRP} \times GRP \\ = P \times A \times B \times T \times S \times Y \quad (2)$$

式(2)中, POP 表示城市人口, BA 表示城市建成区面积, E 表示能源总消耗量, M 表示工业产值。定义人均排放强度 $P = CO_2 / POP$, 人口集聚度 $A = POP / BA$, 城市土地扩张度 $B = BA / E$, 工业部门能源强度 $T = E / M$, 工业产值占区域生产总值比重 $S = M / GRP$, 城市经济规模 $Y = GRP$ 。式(2)说明城市二氧化碳排放的主要驱动因素包括人均排放强度、人口集聚度、城市土地扩张度、工业部门能源强度、工业占比和城市经济规模。其中工业部门能源强度变化主要是由技术进步引起的,因此 T 可以反映技术进步的贡献,工业占比则反映产业结构的影响。采用对数平均迪氏指数(LMDI)分

解方法^[21],可对二氧化碳排放各因素的贡献进行分解,结果如下:

$$\begin{aligned} \Delta CO_2 &= CO_2^t - CO_2^0 \\ &= P^t \times A^t \times B^t \times T^t \times S^t \times Y^t - P^0 \times A^0 \times B^0 \times T^0 \times S^0 \times Y^0 \\ &= \sum_i \Delta C_i \quad i = P, A, B, T, S, Y \end{aligned} \quad (3)$$

$$\Delta C_i = W \ln \frac{t_i^t}{t_i^0} \quad i = P, A, B, T, S, Y \quad (4)$$

$$W = \frac{CO_2^t - CO_2^0}{\ln(CO_2^t / CO_2^0)} \quad (5)$$

式(3)和式(4)中 t 表示变量第 t 期, $\Delta C_i (i = P, A, B, T, S, Y)$ 表示 i 因素对二氧化碳排放变化量的贡献。可以看出,对数平均迪氏指数法做分解的一大优点是没有余项,二氧化碳排放量的变化可以被各驱动因素的贡献完全分解。

3. 脱钩弹性值的分解

联立式(1)和式(3),可将二氧化碳排放与经济增长的脱钩弹性做如下分解:

$$\begin{aligned} t_{CO_2, GRP} &= \frac{GRP}{CO_2 \times \Delta GRP} \times \Delta CO_2 \\ &= \frac{GRP}{CO_2 \times \Delta GRP} \times \sum_i C_i \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \sum_i \frac{GRP}{CO_2 \times \Delta GRP} \times \Delta C_i \\ &= \sum_i t_i \quad i = P, A, B, T, S, Y \end{aligned} \quad (6)$$

$$t_i = \frac{GRP}{CO_2 \times \Delta GRP} \times \Delta C_i \quad i = P, A, B, T, S, Y \quad (7)$$

式(6)和式(7)中 $t_i (i = P, A, B, T, S, Y)$ 表示 i 因素对脱钩弹性值的贡献。根据式(6),二氧化碳排放和经济增长的脱钩弹性可将 $t_{CO_2, GRP}$ 分解为人均二氧化碳排放弹性 t_P 、人口集聚弹性 t_A 、城市土地扩张弹性 t_B 、工业能源强度弹性 t_T 、工业占比弹性 t_S 和经济规模弹性 t_Y 等各驱动因素之和。

4. 数据说明

本文采用碳源—碳汇方法,从不同类型土地利用角度来计算二氧化碳排放。不同类型的土地会有排放或吸收二氧化碳的净效应,因此有碳源和碳汇的区别。我国城市的土地利用类型一般划分为耕地、园地、林地、草地、水域用地、建设用地和未用地,其中耕地和建设用地为碳源,其他类型土地为碳汇。除建设用地外,其余类型土地采用直接碳排放系数计算,各类型土地碳排放系数运用了孙赫等的研究成果^[22],具体如表1所示。

表1 各种类型土地碳排放系数(千克/平方米·年)

土地类型	耕地	园地	林地	草地	水域及水利设施	未利用地
碳排放系数	0.0422	-0.073	-0.0578	-0.0021	-0.0252	-0.0005

城市建设用地集中了居民的消费活动和工厂的生产活动,可采用生产生活中能源消耗计算产生的二氧化碳排放量。首先要先用各种能源转换标准煤的系数换算出各种能源实物消耗量,再乘以各种能源的碳排放系数计算二氧化碳排放量。电力使用在城市生产生活中非常普遍,而电能会间接排放二氧化碳^[23],因此本文将电力的二氧化碳排放也考虑在

内。各种能源折标准煤系数来自《中国能源统计年鉴》,各种能源碳排放系数参考联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)和国家发改委能源研究所提出的方法,电力碳排放系数则参考《中国低碳技术化石燃料并网发电项目》,各种能源及电力的折标准煤系数和碳排放系数如表2所示。

表2 各种能源和电力折标准煤系数及碳排放系数

能源类型	煤炭	焦炭	原油	燃料油	汽油	柴油	煤油	电力
折标准煤系数(千克标准煤/千克,千克标准煤/千瓦·时)	0.7143	0.9714	1.4286	1.4286	1.4714	1.4571	1.4714	0.1229
碳排放系数(千克二氧化碳/千克,千克二氧化碳/千瓦·时)	1.6470	2.8480	2.7620	3.6040	3.0450	3.1500	3.1740	0.7935

1995-2013年,武汉市不同类型土地面积数据取自武汉市土地信息中心,并采用2001年土地利用分类体系对土地利用类型进行调整。城市建成区面积尽管不能完全包括土地的自然属性和经济属性,

却可以反映城市土地规模扩张的规模效应^[24]。武汉市土地建成区面积数据来自于历年《中国城市统计年鉴》及武汉市国民经济和社会发展统计公报,其余数据来源于《武汉统计年鉴》。工业产值和区

域生产总值数据已使用相应的价格指数进行平减。

三 实证分析结果

1. 二氧化碳排放量及能源强度

本文基于不同类型土地利用的碳源—碳汇方法计算出二氧化碳的排放量,并除以区域生产总值进一步计算出二氧化碳的排放强度,结果如表3所示。除1995—2001年二氧化碳排放量有小幅波动外,2001年后武汉市二氧化碳排放量一直都处于上升趋势,并且在2003—2006年有较快增加。二氧化碳排放强度则稳步下降,从1995年的2.6924吨/万元

表3 1995—2013年武汉市二氧化碳排放量和排放强度

	二氧化碳 排放量 (万吨)	二氧化碳 排放强度 (吨/万元)		二氧化碳 排放量 (万吨)	二氧化碳 排放强度 (吨/万元)
1995	1412.83	2.6924	2005	2284.03	1.3594
1996	1464.15	2.3105	2006	2500.87	1.3089
1997	1521.18	2.0510	2007	2507.76	1.1461
1998	1471.08	1.7786	2008	2579.24	0.9505
1999	1435.95	1.3850	2009	2637.91	0.9135
2000	1486.36	1.3104	2010	2870.99	0.8650
2001	1383.38	1.1237	2011	2940.49	0.7569
2002	1481.53	1.1515	2012	3085.38	0.6797
2003	1638.33	1.2293	2013	3164.27	0.6602
2004	1937.37	1.3180			

下降到2013年的0.6602吨/万元,说明能源和土地的利用效率在不断提高,该时期的经济发展使二氧化碳排放减少,有利于达成二氧化碳减排的目标。但二氧化碳排放强度并不能完全反映二氧化碳排放与经济增长的关系,我们更关心二氧化碳排放的边际效应而非平均效应,因此二氧化碳排放与经济增长的脱钩弹性是下文分析的重点。

2. 脱钩弹性分解结果

本文采用1995—2013年武汉市的相关数据,根据式(6)计算出二氧化碳排放与经济增长的脱钩弹性,并对其分解,结果如表4所示。可以看出,二氧化碳排放与经济增长的脱钩弹性值在2002—2005年大于1,说明在此期间武汉市二氧化碳排放与经济增长呈现复钩状态。其余时间除个别年份外,二氧化碳排放与经济增长的脱钩弹性值都处在0与1之间,并略有波动,说明大部分时间武汉市二氧化碳排放与经济增长之间是相对脱钩关系,经济增长会促使二氧化碳排放增加,但二氧化碳排放增加的速度比经济增长速度慢。值得注意的是,2007—2010年、2011—2013年二氧化碳排放和经济发展的脱钩弹性有提高的趋势,说明在这两个期间二氧化碳排放的增加速度相对于经济增长速度提高了。如果二氧化碳排放速度进一步提高,它和经济增长可能会出现复钩状态。因此,需要采取相应措施促使二氧化碳的排放拐点尽早到来,实现长期内二氧化碳排放与经济增长的绝对脱钩。

表4 1995—2013年武汉市二氧化碳排放与经济增长脱钩弹性及分解结果

年份	t_P	t_A	t_B	t_T	t_S	t_Y	$t_{CO_2, GRP}$
1996	0.0169	-1.9870	1.8392	0.1573	-0.7766	0.9250	0.1750
1997	0.1555	0.0135	-0.1382	-0.6694	-0.0742	0.9413	0.2286
1998	-0.3789	0.0424	0.2361	-1.3836	0.2672	0.9308	-0.2859
1999	-0.1240	-0.0046	0.2021	-0.6239	-0.4244	0.8806	-0.0942
2000	0.3216	-0.1056	-1.2135	0.3053	0.0930	0.9724	0.3731
2001	-0.4361	-0.4836	1.1563	-2.4104	0.4358	0.9260	-0.8120
2002	1.1701	0.3048	-0.8053	-1.7236	1.6135	1.0124	1.5718
2003	2.2669	-0.0143	-2.3670	0.7168	1.3218	1.0336	2.9579
2004	1.5573	0.1180	-2.2779	0.8262	0.5129	1.0362	1.7728
2005	1.1269	0.0548	0.1138	-0.8914	-0.1690	1.0160	1.2511
2006	0.5807	-1.0152	-0.1102	0.2675	-0.0116	0.9809	0.6921
2007	-0.2352	-1.9496	2.1039	-0.8742	0.0391	0.9350	0.0190
2008	-0.0787	-0.9518	1.1165	-0.7123	-0.1639	0.9090	0.1187
2009	-0.7880	0.6633	1.1875	-4.3661	2.6771	0.9802	0.3540
2010	0.3420	-0.1088	-0.2318	-0.1227	-0.2597	0.9726	0.5916
2011	-0.0996	0.1586	-0.3728	-0.6105	0.1318	0.9345	0.1420
2012	0.1800	-0.0445	0.3911	-1.2359	0.0551	0.9468	0.2926
2013	-0.5831	0.5602	-2.0768	0.0719	1.4999	0.9854	0.4574

从二氧化碳排放与经济增长的脱钩弹性分解结果看,人均二氧化碳排放弹性 t_p 有比较大的波动,其中2002-2006年人均二氧化碳排放弹性为正,2006年后大部分年份其符号为负,说明近年来武汉市居民消费习惯向低碳方向发展。特别是在2008年武汉城市圈资源节约型和环境友好型社会实验区开始全面实施后,低碳出行和低碳消费概念日渐深入人心,人均二氧化碳排放弹性呈现绝对脱钩状态。人口集聚弹性 t_A 也出现较大波动,并且符号也不确定,说明人口集聚导致的规模效应并未完全发挥。城市土地扩张弹性 t_B 在2007-2009年为正,并且都大于1,原因在于这一段时间城市建成区面积扩张较快,工业迅速增长,间接促进了二氧化碳排放,但2009年后城市土地扩张弹性为负值,城市土地扩张反而减少了二氧化碳排放,这可能是由于武汉土地扩张已经达到精明或集约增长的临界条件^[25]。工业能源强度弹性 t_T 基本都为负值,说明能源使用效率的提高可促使二氧化碳排放与经济增长脱钩。工业占比弹性 t_S 变动范围比较大,值得注意的是,2011-2013年工业占比弹性为正,并且增加较快,原因在于武汉市2010年实施工业倍增计划后,工业(特别是重工业)占比有提高的趋势,这增强了二氧化碳排放与经济增长的联系。经济规模弹性 t_Y 则一直维持在1左右,说明武汉经济规模的扩大几乎同比例增加了二氧化碳排放,这是由其发展阶段的特征所决定的。目前武汉仍在大力发展工业,能源消耗持续快速增长,二氧化碳排放持续增加,还未到达库兹涅兹曲线的拐点。

四 结论与建议

本文基于土地利用的碳源-碳汇方法测算了1995-2013年武汉市的二氧化碳排放,并采用对数平均迪氏指数法对二氧化碳排放的驱动因素进行了分解,在此基础上分析了武汉市二氧化碳排放与经济增长的脱钩关系。城市在经济发展过程中不同类型土地的利用会发生较大变化,本文在计算二氧化碳排放时考虑了不同类型土地的碳排放,并且在计算城市建设用地碳排放过程中,还加入了电力使用造成的碳排放,充分反映了城市经济发展过程中的碳排放特点。计算结果表明,1995-2013年武汉市二氧化碳排放基本上呈逐年上升趋势,但近年来上升的幅度有所放缓,二氧化碳排放强度则一直处于下降过程中,这是由于经济发展方式发生转变,能源

利用效率提高引起的。

脱钩弹性分析结果表明,1995-2013年武汉市大部分年份二氧化碳排放与经济增长呈相对脱钩关系,但自2011年开始二者的脱钩弹性值有上升的趋势,需要引起关注。进一步分解表明,近年来脱钩弹性值上升主要归因于经济规模的扩大和工业占比的提高:工业倍增计划使工业(尤其是重工业)占比提高,扩大了经济规模,增加了资源能源的消耗,给环境带来一定压力。工业能源强度弹性则基本上都为负值,表明能源利用效率提高有助于二氧化碳排放与经济增长的脱钩。人均二氧化碳排放弹性、人口集聚弹性、城市土地扩张弹性则有较大的波动,其中人均二氧化碳排放弹性在近年来负值比较多,原因是武汉城市圈两型社会建设改变了人们的消费观念和生活习惯,低碳生活方式更加深入人心。城市规模扩张弹性近年来为负值,表明目前武汉市城市土地扩张与碳排放的关系可能已到达库兹涅兹倒U型曲线的顶端,接近集约或精明增长的标准。但未来武汉市土地规模不宜继续快速扩张,工作重点应该放在提高城市的空间资源利用效率上,实现精明增长是未来减少碳排放的有效手段。

基于以上结论分析,本文提出以下政策建议。

第一,继续深入推进两型社会实验区建设,以低碳经济作为长期经济发展的突破口,在实践中探索具有武汉特色的低碳经济发展模式。进一步加强两型社区建设,重点培育社区居民低碳生活理念和生活习惯,推广建设节约、环保的各类公共设施和家庭服务设施。努力优化城市空间布局和产业结构,引导居民改变传统的生产方式和生活方式,将低碳理念融入到生活的方方面面。

第二,合理控制人口的增长,改变过去摊大饼式的扩张,由单中心城市逐步向多中心城市转变,重点创新促进土地集约利用的体制和机制。大城市的过度扩张加重了对生态环境的压力,很早就引起了广泛关注,但一直没有实质性的约束。2015年6月,相关部门颁发了《关于进一步做好永久基本农田划定工作的通知》,首次明确要求包括武汉在内的14个大城市划定边界,这标志着武汉土地快速扩张的增长模式走到尽头。在城市土地规模发展受限的基础上,未来武汉需要采取集约化的精明发展模式,不仅要促进工业用地集约利用,提高开发区招商引资的门槛,引导产业集约化发展,还要推动住宅用地的集约利用,进而促进交通、消费等的集约化发展。

第三,进一步优化产业结构,促进能源利用效率

的提高。近年来,武汉提出了工业倍增计划,重化工业发展较快,行业集中度上升,能源消耗量持续增加,这对二氧化碳排放与经济发展的脱钩不利。武汉目前处在工业化发展中后期,发展重化工业是其必经阶段,今后在发展工业的过程中,应着眼将科教优势转化为创新发展优势,由投资拉动向创新驱动转变,同时应注重加快发展服务业,全面提升服务业总体发展水平。此外,武汉能耗下降仍有很大空间,因而进一步抓好重点用能企业的节能降耗工作,推进煤炭清洁利用等是未来能源工作的重点,应通过关、停、转等一系列手段促进企业改造升级,凭借提高能源利用效率促进城市经济发展与二氧化碳排放长期内实现绝对脱钩。

【Abstract】 Using relevant data from 1995 to 2013 of Wuhan City, this essay calculates carbon dioxide emissions in Wuhan based on the method of carbon source and carbon sink by the different types of land use. Results indicate that carbon dioxide emissions continue to rise, while the intensity of carbon dioxide emissions tends to decline. Further, by using LMDI method to decompose the contribution of driving factors of carbon dioxide emissions and the decoupling elasticity of carbon dioxide emissions and economic growth, it concludes that the decoupling elasticity is at relative decoupling state most of the year. Per capita carbon dioxide emissions elasticity, resilient population agglomeration elasticity, urban land expansion elasticity, industrial energy intensity elasticity, industry share elasticity and economies of scale elasticity have different trends. Based on the results of empirical research, this essay proposes the corresponding countermeasures and suggestions to promote absolute decoupling between economic development and carbon dioxide emissions in the long-term.

【Key words】 city economic growth; carbon dioxide emissions; decoupling; Wuhan

参考文献

- [1] 林伯强,刘希颖. 中国城市化阶段的碳排放:影响因素和减排策略[J]. 经济研究, 2010(8):66-78
- [2] Ernesto Jauregui. Heat Island Development in Mexico City[J]. Atmospheric Environment, 1997(11):3821-3831
- [3] Leonard Greenburg, Franklyn Field, Joseph I. Reed, Carl L. Erhardt. Air Pollution and Morbidity in New York City[J]. The Journal of the American Medical Association, 1962(10):161-164
- [4] Gene M. Grossman, Alan B. Krueger. Economic Growth and the Environment[J]. The Quarterly Journal of Economics, 1995(5):353-377
- [5] William D. Nordhaus. Economic Growth and Climate: the Carbon Dioxide Problem[J]. The American Economic Review, 1977(2):341-346
- [6] 符森,黄灼明. 我国经济发展阶段和环境污染的库兹涅茨关系[J]. 中国工业经济, 2008(6):35-43
- [7] 林伯强,蒋竺均. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析[J]. 管理世界, 2009(4):27-36
- [8] Wei Ming Huang, Grace W. M. Lee, Chih Cheng Wu. GHG Emissions, GDP Growth and the Kyoto Protocol: A Revisit of Environmental Kuznets Curve Hypothesis[J]. Energy Policy, 2008(1):239-247
- [9] Edward L. Glaeser, Hedi D. Kallal, Jose A. Scheinkman and Andrei Shleifer. Growth in Cities[J]. Journal of Political Economy, 1992(12):1126-1152
- [10] Beverly Duncan, Georges Sabagh, Maurice D. Van Arsdol Jr. Patterns of City Growth[J]. American Journal of Sociology, 1962(1):418-429
- [11] Ralph J. Alig, Robert G. Healy. Urban and Built-up Land Area Changes in the United States: An Empirical Investigation of Determinants[J]. Land Economics, 1987(8):215-226
- [12] Jin Yang, Bin Chen. Using LMDI Method to Analyze the Change of Industrial CO₂ Emission from Energy Use in Chongqing[J]. Frontiers of Earth Science, 2011(3):103-109
- [13] 李国志,周明. 人口与消费对二氧化碳排放的动态影响——基于变参数模型的实证分析[J]. 人口研究, 2012(1):63-72
- [14] 杨磊,李贵才,林姚宇. 影响城市居民碳排放的空间形态要素[J]. 城市发展研究, 2012(2):26-31
- [15] Isvan L. Bart. Urban Sprawl and Climate Change: A Statistical Exploration of Cause and Effect, with Policy Options for the EU[J]. Land Use Policy, 2010(4):283-292
- [16] William B. Meyer, B. L. Turner II. Human Population Growth and Global Land-use/cover Change[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1992:39-61
- [17] Donald W. Jones. How Urbanization Affects Energy-use in Developing Countries[J]. Energy Policy, 1991(9):621-630
- [18] Petri Tapio. Towards A Theory of Decoupling: Degrees of Decoupling in the EU and the Case of Road Traffic in Finland between 1970 and 2001[J]. Transport Policy, 2005(3):137-151
- [19] 钟太洋,黄贤金,韩立. 资源环境领域脱钩分析研究进展[J]. 自然资源学报, 2010(8):1400-1412
- [20] 李斌,曹万林. 经济发展与环境污染的脱钩分析[J]. 经济动态, 2014(7):48-56
- [21] B. W. Ang. The LMDI Approach to Decomposition Analysis: A Practical Guide[J]. Energy Policy, 2005(5):867-871
- [22] 孙赫,梁红梅,常学礼. 中国土地利用碳排放及其空间关联[J]. 经济地理, 2015(3):154-162
- [23] 涂正革. 中国的碳减排路径与战略选择——基于八大行业部门碳排放量的指数分解分析[J]. 中国社会科学, 2012(3):78-94
- [24] 李菁,匡兵,张路. 城市土地扩张对城市居民非经济福利的影响——以武汉市为例[J]. 城市问题, 2015(2):50-56
- [25] 张润森,濮励杰,文继群. 建设用地扩张与碳排放效应的库兹涅茨曲线假说及验证[J]. 自然资源学报, 2012(5):723-733

(编辑:王明哲;责任编辑:赵勇)