

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2022.01.003

基于脱钩弹性的珠三角城市群碳达峰分析

张 旺^{1, 2}, 丁笔令¹, 韩家伟¹

(1. 湖南工业大学 城市与环境学院, 湖南 株洲 412007;

2. 湖南工业大学 湖南省绿色工业与城市低碳发展研究基地, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 基于《广东省市县(区)温室气体清单编制指南(试行)》中的碳排放核算方法, 在测度珠三角城市群9个城市2010—2019年能耗CO₂排放量的基础上, 采用GDP和CO₂排放增长的“脱钩”弹性, 得到各市2011—2019年的脱钩系数和状态, 并结合最近10a的CO₂排放和脱钩指数提出了珠三角城市群的碳达峰判别方法, 最后对这9个城市的碳达峰情况进行了判断。结果表明: CO₂排放总量方面, 广州、深圳、中山3市整体上呈现下降趋势, 而佛山、惠州、东莞、珠海、江门、肇庆6市却一直呈现上升之势; CO₂排放强度方面, 深圳基本上最低, 其次是珠海和广州, 中山、东莞和江门3市大致呈一直下降之势, 佛山、惠州、肇庆3市大致呈现先降后升的波动变化; 脱钩状态方面, 中山呈强脱钩状态, 惠州、珠海、肇庆3市均呈扩张性连接状态, 广州、深圳、佛山、东莞、江门5市却呈弱脱钩状态; 碳达峰情况方面, 在当前产业结构和经济环境协调发展的情况下, 中山、广州、深圳、东莞、江门5个城市已处于碳达峰状态, 而佛山、惠州、珠海、肇庆4市尚未达峰。

关键词: 脱钩弹性; 珠三角城市群; 碳排放强度; 碳达峰

中图分类号: F113.3; X321 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9833(2022)01-0020-06

引文格式: 张 旺, 丁笔令, 韩家伟. 基于脱钩弹性的珠三角城市群碳达峰分析[J]. 湖南工业大学学报, 2022, 36(1): 20-25.

Analysis of Carbon Emissions Peak in Pearl River Delta Urban Agglomeration Based on Decoupling Elasticity

ZHANG Wang^{1, 2}, DING Biling¹, HAN Jiawei¹

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. Research Base for Green Industry and Low Carbon Development of City in Hunan Province, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: By adopting the accounting method of CO₂ emissions in *Guidelines for the Preparation of Greenhouse Gas Inventories (Trial Version) in Cities and Counties (Districts) Issued by Guangdong Province*, and based on the measurement results of the energy consumption and CO₂ emissions in 9 cities in the Pearl River Delta Urban Agglomeration from 2010 to 2019, the decoupling coefficient and status of individual city from 2011 to 2019 can be obtained by using the “decoupling” elasticity of GDP and CO₂ emission growth. Combined with the CO₂ emissions and decoupling indices in recent 10 years, a discrimination method has been proposed of CO₂ emissions peak of Pearl River Delta Urban Agglomeration, followed by an ultimate evaluation of the emissions peak situation in the nine cities. The results show that, in terms of total CO₂ emissions, Guangzhou, Shenzhen, Zhongshan show a downward trend on

收稿日期: 2020-07-23

基金项目: 教育部哲学社会科学发展报告培育基金资助项目(13JBG004)

作者简介: 张 旺(1974-), 男, 湖南汨罗人, 湖南工业大学副教授, 博士, 硕士生导师, 主要研究方向为低碳绿色城市与可持续发展经济学, E-mail: zhangwang0902@163.com

a whole, while Foshan, Huizhou, Dongguan, Zhuhai, Jiangmen, Zhaoqing keep showing an upward trend; in terms of CO₂ emissions intensity, Shenzhen is basically the lowest, to be followed by Zhuhai and Guangzhou; Zhongshan, Dongguan and Jiangmen are generally in a declining trend, Foshan, Huizhou, Zhaoqing are characterized with a fluctuation of declining then rising volatility. In terms of decoupling situation, Zhongshan shows a strong decoupling trend; Huizhou, Zhuhai, Zhaoqing are expansively connected; while Guangzhou, Shenzhen, Foshan, Dongguan, Jiangmen are weakly decoupled. In terms of CO₂ emissions peak, accompanied by the current coordinated development of industrial structure and economic environment, Zhongshan, Guangzhou, Shenzhen, Dongguan, Jiangmen have been in the peak state, while Foshan, Huizhou, Zhuhai, Zhaoqing have not yet reached the peak.

Keywords: decoupling elasticity; Pearl River Delta urban agglomeration; CO₂ emissions intensity; CO₂ emissions peak

1 研究背景

2020年9月,中国国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论会上郑重宣布:“中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和。”^[1]而城市是碳排放的主要载体^[2],也是中国绿色低碳技术创新和能源革命的引领者和示范区。特别是具有空间近邻效应的典型城市群CO₂排放量达峰值的时空特征、路径举措以及经验教训等,对于中国其他城市群乃至整个国家的碳达峰都有着重要的标杆作用和示范意义。

珠三角城市群的经济社会发展水平处于全国领先水平,能源效率和结构也相对先进,绿色低碳科技创新具有明显优势;并实施了多项低碳综合试点建设,率先开展了碳交易试点,进行了专门领域的低碳发展探索;但也面临着经济社会快速发展加剧减排压力、能源资源禀赋短板较为明显、城际之间不平衡问题等瓶颈制约。《广东省“十三五”控制温室气体排放工作实施方案》指出:支持珠三角地区建设绿色低碳城市群;建设绿色低碳产业体系和低碳城市基础设施,力争珠三角城市群碳排放在全国、全省率先达峰,广州、深圳等发达城市争取在2020年左右达峰值。《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出:广州、深圳、中山3个低碳试点城市分别在2020年、2020—2022年、2023—2025年达到碳排放峰值的目标,该目标明显超前于国家部署。

研究层面,现有研究多集中在城市碳达峰方面。如,Wang H. K.等^[3]研究了2000—2016年中国50个城市的CO₂排放量,认为当人均GDP达到2.1万美元时,可达到人均排放量的峰值。K. Gomi等^[4]则

开发了一种城市规模低碳社会情景,并应用于日本京都,确定了其实现低碳目标的对策。C40全球城市气候领袖群中柏林、波士顿、芝加哥、哥本哈根等至少27个成员到2012年碳排放量就已达峰,其在2018年承诺3a内在低碳基础设施上投资3750亿美元,以确保其排放量在2020年全部达峰^[5]。郭芳等^[6]综合考虑影响城市碳达峰趋势的静态因素和动态因素,采用蒙特卡洛方法与K均值聚类算法,对中国286个样本城市的达峰趋势进行了分类分析。但关于城市群碳达峰的研究还不多见,落基山研究所发布了《中国城市群碳排放达峰之路:机遇与探索》,进一步对国际达峰案例进行了深入研究,并从产业、交通、建筑、土地这4个方面对包括英国大伦敦地区在内的城市群进行了碳达峰经验分析,也为中国城市群达峰提出建议^[7]。曹丽斌等^[8]基于历史和未来长江三角洲城市群CO₂排放情况,通过CO₂排放达峰判断方法,对长三角城市群41座城市碳达峰进行了判断。臧宏宽等^[9]结合历史CO₂排放和脱钩情况,提出了京津冀城市群的达峰判别方法,并对京津冀城市群地级以上城市的CO₂排放达峰情况进行了判断。

实践层面,目前国内提出“碳达峰”时间目标的主要为城市或城市以下级别地区,对于GDP和碳排放体量较大的省区或城市群中,“碳达峰”时间和总量目标较少有正式发布。因此,作为先行先试的重点区域,珠三角城市群作为首个提出领先、定量峰值目标的城市群,其达峰时间早于全国平均水平,且碳峰值保持总量相对较低水平。采取关键措施确保其碳排放量达峰后快速下降,具有重要的理论和应用价值。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 能耗碳排放测算方法

本研究采用《广东省市县(区)温室气体清单编

制指南(试行)》中的方法,测算珠三角城市群9大城市能源消费的CO₂排放量,表达式如下:

$$C = \sum_i F_i \times a_i, \quad (1)$$

式中: C 为能耗产生的CO₂排放总量, 10⁴t; i 为能耗类型; F_i 为 i 类能源的终端消费量, 10⁴t 标准煤; a_i 为 i 类能源的CO₂排放系数, 以每 t 计算。

2.2 脱钩弹性系数法

脱钩指标可以有效测评经济增长和CO₂的脱钩状态, 为定量分析低碳发展形势提供了可靠、适用的工具。在此采用 Tapio 构建的脱钩指标^[10], 其计算公式为

$$\varepsilon = \frac{\Delta C}{C} \cdot \left(\frac{\Delta G}{G} \right)^{-1}, \quad (2)$$

式中: ε 为CO₂和经济增长的脱钩弹性系数; ΔC 为报告期CO₂排放相对于基期的变化量; G 为基期GDP值; ΔG 为报告期GDP值相对于基期的变化量。

以 ε 值变化范围作为“脱钩”状况的界定, 把脱钩指标分成脱钩、负脱钩、连接共3种状态, 并依据不同 ε 值再进一步细分为如下8大类:

- 弱脱钩 ($\Delta C > 0, \Delta G > 0, 0 \leq \varepsilon < 0.8$);
- 强脱钩 ($\Delta C < 0, \Delta G > 0, \varepsilon < 0$);
- 弱负脱钩 ($\Delta C < 0, \Delta G < 0, 0 \leq \varepsilon < 0.8$);
- 强负脱钩 ($\Delta C > 0, \Delta G < 0, \varepsilon < 0$);
- 扩张负脱钩 ($\Delta C > 0, \Delta G > 0, \varepsilon > 1.2$);
- 扩张连接 ($\Delta C > 0, \Delta G > 0, 0.8 \leq \varepsilon \leq 1.2$);
- 衰退脱钩 ($\Delta C < 0, \Delta G < 0, \varepsilon > 1.2$);
- 衰退连接 ($\Delta C < 0, \Delta G < 0, 0 \leq \varepsilon < 0.8$)。

2.3 城市碳达峰判别方法

世界资源研究所(The World Resources Institute, WRI)提出, 通过某城市在最近5a或更长历史时期内CO₂的排放变化趋势, 判断该城市CO₂排放量是否已达峰值^[11]。在此基础上, 本文采用参考文献[8]的方法, 即若某城市在最近5~10a, 能耗CO₂排放量出现高峰并逐年下降, 同时该城市CO₂排放量与GDP之间的弹性系数处于强脱钩或者弱脱钩状态, 则可以认为该城碳排放已达峰; 或如果某城市历年CO₂排放量呈现波动, 但总量都不会超过最近5~10a的最高点, 而且该城市CO₂排放量与GDP之间的弹性系数处于强脱钩或弱脱钩状态, 则也认为该城市已碳达峰。

2.4 数据来源

2010—2019年珠三角城市群各城市的GDP数据来自于《广东统计年鉴2020》、各市历年的统计年鉴, 并以2010年为基准年, 按照年增长率换算为可比价。

碳排放数据来源于本课题组编著的《中国城市智慧低碳发展报告》(2011—2019)^[12-17]系列。

3 研究步骤与结果分析

3.1 研究步骤

首先根据式(1)测算珠三角城市群9个城市2010—2019年的能耗碳排放量的变化。然后以2010年为基准年, 分别计算近9a的能耗碳排放强度; 再根据式(2)计算这9个城市GDP与CO₂排放量的脱钩状况。即先分别计算2011—2019年9个城市CO₂排放的脱钩弹性系数, 后取这9a脱钩弹性系数的平均值作为该市脱钩状况的表征; 接下来按照2.3节中城市碳达峰判别方法, 判断珠三角城市群9个城市CO₂排放的达峰状态。

3.2 结果分析

3.2.1 珠三角城市群CO₂排放的变化特征

图1为珠三角城市群9个城市CO₂排放的时间变化曲线。

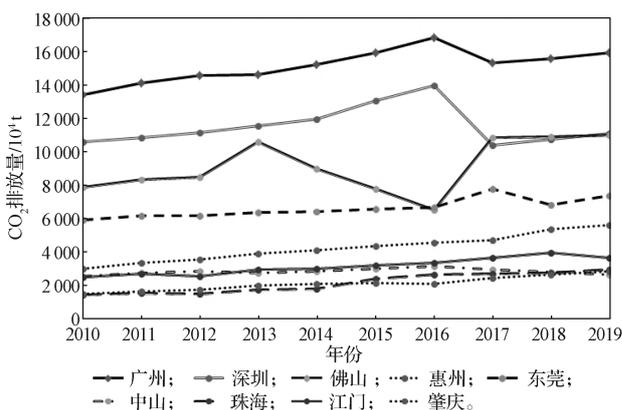


图1 珠三角城市群9个城市CO₂排放的时间变化曲线
Fig. 1 Time variation curve of CO₂ emissions in 9 cities in PRD urban agglomeration

由图1可知, 广州市的CO₂排放量先从2010年的13497万t小幅增加到2016年的16925万t, 随之下降到2017年的15426万t, 降幅超过8.86%, 2018、2019年又小幅反弹; 深圳的CO₂排放量先从2010年的10631万t小幅增加到2016年的14049万t, 随之急降到2017年的10463万t, 最大降幅超过34%, 2018、2019年也小幅反弹; 中山的CO₂排放量先从2010年的2515万t小幅增加到2016年的3127万t, 增幅为24.36%, 然后2017年掉头向下, 一直下降到2019年的2622万t, 又基本回到2010年的排放水平。而佛山、惠州、东莞、珠海、江门、肇庆6市的CO₂排放量在这10a间一直呈现上升之势, 佛山的CO₂排放量为7886~11052万t,

2017年急剧上升,比上一年增加了近40%;惠州CO₂排放量为2 979~5 612万t,其中2018年增幅最明显,比上年增加了14.00%;东莞的CO₂排放量为5 925~7 806万t,其中2017年增幅最明显,比上年增加了16.81%,2018年却急剧下降到6 843万t,降幅达12.33%,2019年又出现反弹;珠海的CO₂排放量为1 418~2 922万t,其中2015年的增幅最大,达31.99%;江门的CO₂排放量为2 469~3 619万t,其中2013年的增幅最大,达14.02%,2019年却掉头向下;肇庆的CO₂排放量为1 442~2 832万t,其中2017年的增幅最大,达17.64%。

3.2.2 珠三角城市群CO₂排放强度的变化特征

图2为珠三角城市群CO₂排放强度的时间变化曲线。

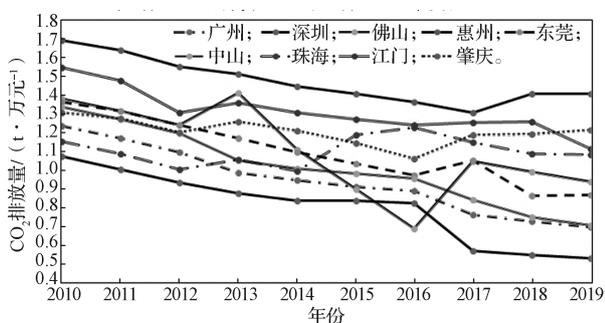


图2 珠三角城市群CO₂排放强度的时间变化曲线

Fig. 2 Time variation curve of CO₂ emission intensity in 9 cities in PRD urban agglomeration

由图2可知,除2016年稍高于佛山外,深圳

的CO₂排放强度基本上最低,近10a碳排放强度为0.53~1.09 t/万元;其次是珠海和广州,其中珠海前3a的CO₂排放强度高于广州,但后期却出现增加之势,处于1.01~1.25 t/万元之间;广州却从1.26 t/万元一直下降到0.70 t/万元;中山、东莞和江门3市的CO₂排放强度变化特征较相似,大致呈一直下降之势,中山为0.71~1.36 t/万元,东莞为0.87~1.38 t/万元,江门为1.13~1.57 t/万元,前二者降幅较为明显,低碳发展水平越来越高;佛山、惠州、肇庆3市的CO₂排放强度变化特征也颇为相似,大致呈现先降后升的波动变化,佛山从2010年的1.40 t/万元一直下降到2016年的0.69 t/万元,2017年却猛增到1.06 t/万元,到2018、2019年又缓慢下降;惠州从2010年的1.72 t/万元一直下降到2017年的1.33 t/万元,但2018、2019年又有抬头之势;肇庆从2010年的1.32 t/万元一直下降到2016年的1.08 t/万元,但从2017年起却又呈抬头之势。

3.2.3 珠三角城市群CO₂排放的脱钩弹性分析

中山呈现强脱钩状态,表明其GDP与CO₂排放量的增长是反向变动的,即经济不断增长,但CO₂排放量却逐年减少;惠州、珠海、肇庆3市呈扩张性连接状态,表明其GDP与CO₂排放量都是同步正向增长的;广州、深圳、佛山、东莞、江门5市均呈弱脱钩状态,表明他们的GDP与CO₂排放量都是正向增长,但GDP增速大于CO₂排放量的增速。

表1 珠三角城市群9个城市GDP与CO₂排放量的脱钩状况

Table 1 Decoupling results of the growth of GDP and CO₂ emissions in 9 cities in PRD urban agglomeration

城市名	脱钩弹性系数										脱钩状况
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	平均	
广州	0.45	0.33	0.01	0.51	0.55	0.73	-1.32	0.26	0.35	0.21	弱脱钩
深圳	0.27	0.25	0.35	0.40	1.02	0.75	-2.90	0.43	0.46	0.11	弱脱钩
佛山	0.52	0.22	2.56	-1.84	-1.68	-2.03	8.34	0.09	0.14	0.70	弱脱钩
惠州	0.75	0.51	0.79	0.53	0.60	0.65	0.38	2.39	1.03	0.85	扩张性连接
东莞	0.49	-0.01	0.35	0.12	0.22	0.23	1.91	-1.65	1.08	0.31	弱脱钩
中山	0.57	0.45	-0.36	0.46	0.64	1.15	-1.54	-2.03	-4.04	-0.52	强脱钩
珠海	0.39	-0.10	1.51	0.36	3.21	1.47	0.20	0.27	0.95	0.92	扩张性连接
江门	0.61	-0.53	1.46	0.46	0.65	0.70	1.11	1.06	-1.83	0.41	弱脱钩
肇庆	0.87	0.48	1.72	0.58	0.31	-0.53	3.46	1.08	1.31	1.03	扩张性连接

3.2.4 珠三角城市群CO₂排放的达峰状态判断

根据2.3节中城市碳达峰的判别方法,可得知珠三角城市群9个城市的CO₂排放达峰状况如表2所示。由表1~2可以得知,中山的GDP与CO₂排放已经呈现出强脱钩状态,并且其碳排放强度一直处于下降的变化趋势,因而中山已经处于碳达峰状态;广州、深圳、东莞、江门4个城市均呈弱脱钩状态,并且其

CO₂排放量呈现出波动变化状态,但是最近3年的最高值也不超过它们近几年的最大值,因而基本可以认定广州、深圳、东莞、江门已经处于碳达峰状态;佛山的脱钩弹性虽然也呈现出弱脱钩状态,但其CO₂排放量还处于上升的变化趋势,因此佛山还未实现碳达峰;惠州、珠海、肇庆3市呈扩张性连接状态,所以它们也暂时未实现碳达峰。

表2 珠三角城市群9个城市的CO₂排放达峰状况Table 2 CO₂ emissions peak situation in 9 cities in PRD urban agglomeration

城市	达峰状态	城市	达峰状态
广州	已	中山	已
深圳	已	珠海	未
佛山	未	江门	已
惠州	未	肇庆	未
东莞	已		

4 结论与讨论

4.1 结论

本文采用《广东省市县(区)温室气体清单编制指南(试行)》中的方法,首先测算和分析了2010—2019年珠三角城市群9个城市的CO₂排放总量变化趋势特征;然后运用脱钩弹性系数法,研究这些城市GDP与CO₂排放量增长之间的脱钩状态。得出以下结论:CO₂排放总量方面,广州、深圳、中山3市整体上呈现下降趋势,而佛山、惠州、东莞、珠海、江门、肇庆6市却一直呈现上升之势;CO₂排放强度方面,深圳基本上最低,其次是珠海和广州,中山、东莞和江门3市大致呈一直下降之势,佛山、惠州、肇庆3市大致呈现先降后升的波动变化;脱钩状态方面,中山呈强脱钩状态,惠州、珠海、肇庆3市均呈扩张性连接状态,广州、深圳、佛山、东莞、江门5市却呈弱脱钩状态;碳达峰情况方面,在当前产业结构和经济环境协调发展情况下,中山、广州、深圳、东莞、江门共5个城市已处于碳达峰状态,而佛山、惠州、珠海、肇庆这4市却尚未达到峰值。

为了使整个珠三角城市群在2030年前早日达峰,着手实施更为有力和精准的碳达峰关键举措,构建长期探索、不断完善的一揽子碳减排政策体系,加快推动珠三角城市群的碳达峰进程,为在全国率先实现“碳达峰”做好绿色低碳发展方面的准备工作。具体可从以下方面展开:

1) 突出珠三角城市群的全国引领性,把碳达峰时间确定在2025年左右甚至更早一些,并根据CO₂排放的时间变化趋势对峰值总量进行一定的限制。

2) 加快制定推动珠三角城市群CO₂排放达峰的各城差异化行动方案,对已处于达峰状态的中山、广州、深圳、东莞、江门5市,应进一步实施更为领先的减排机制,即以总量控制为主、强度和行业总量控制为辅;对尚未达峰的佛山、惠州、珠海、肇庆4市,则以控制强度和行业总量为主,合理调整能耗结构,提高非化石能源在一次能耗中的比例,更为优化产业

结构,加快推动制造业CO₂排放尽早达峰。

3) 将减排措施落到实处,围绕能源生产和消费、工业制造、建筑、交通等主要的CO₂排放领域,制定差异化的减排路径,推广一批适用减排技术;与区域协调发展相结合,明确各市低碳发展定位,制定差异化的减排目标和行动计划,指导各自制定相应政策,实现协同达峰。

4) 尽快建立一套完善、统一的CO₂排放信息统计制度,促进CO₂排放数据公开化、精细化管理;采取适当的总量调整机制,使各市在实际减排中能更为灵活应对,允许各市之间通过财政转移支付或其他形式的资金转移方式,来开展CO₂排放交易,由此影响当地政府和企业的经济发展和产业布局的决策,促进总量控制下产业和CO₂排放的空间优化配置,并有效监控CO₂的泄漏现象。

4.2 讨论

鉴于文章篇幅和基础数据可获得性等限制性因素,再考虑到城市碳排放因子对碳排放的阶段性影响,本文未对珠三角城市群的碳达峰时间进行模拟仿真预测,这也将是下一步研究的方向和内容。

参考文献:

- [1] 习近平. 在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话[EB/OL]. [2020-09-22]. http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-09/22/c_1126527652.htm.
XI Jinping. Statement at the General Debate of the 75th Session of the United Nations General Assembly[EB/OL]. [2020-09-22]. http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-09/22/c_1126527652.htm.
- [2] Eilperin Juliet. US Trying to Weaken G8 Climate Change Declaration[N]. The Boston Globe, (2007-05-14).
- [3] WANG H K, LU X, DENG Y, et al. China's CO₂ Peak Before 2030 Implied from Characteristics and Growth of Cities[J]. Nature Sustainability, 2019, 2(8): 748-754.
- [4] GOMI K, SHIMAD K, MATSUKA Y. A Low-Carbon Scenario Creation Method for a Local-Scale Economy and Its Application in Kyoto City[J]. Energy Policy, 2010, 38(9): 4783-4796.
- [5] C40. 27 Cities Have Reached Peak Greenhouse Gas Emissions Whilst Populations Increase and Economies Grow[EB/OL]. [2020-05-14]. https://www.c40.org/press_releases/27-cities-have-reached-peak-greenhouse-gas-emissions-while-populations-increase-and-economies-grow.
- [6] 郭芳,王灿,张诗卉. 中国城市碳达峰趋势的聚类分析[J]. 中国环境管理, 2021, 3(1): 40-48.

- GUO Fang, WANG Can, ZHANG Shihui. Cluster Analysis of Carbon Emissions Peaking Trends in Chinese Cities[J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2021, 13(1): 40-48.
- [7] 落基山研究所. 中国城市群碳排放达峰之路: 机遇与探索 [EB/OL]. [2019-08-04]. <https://www.efchina.org/Reports-zh/report-lccp-20190804-zh>.
Rocky Mountain Institute. The Road to Peak CO₂ Emissions in China's Urban Agglomeration: Opportunities and Exploration[EB/OL]. [2019-08-04]. <https://www.efchina.org/Reports-zh/report-lccp-20190804-zh>.
- [8] 曹丽斌, 李明煜, 张立, 等. 长三角城市群 CO₂ 排放达峰影响研究 [J]. 环境工程, 2020, 38(11): 33-38, 59.
CAO Libin, LI Mingyu, ZHANG Li, et al. Research on Carbon Dioxide Emission Peaking in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration[J]. Environmental Engineering, 2020, 38(11): 33-38, 59.
- [9] 臧宏宽, 杨威杉, 张静, 等. 京津冀城市群二氧化碳排放达峰研究 [J]. 环境工程, 2020, 38(11): 19-24, 77.
ZANG Hongkuan, YANG Weishan, ZHANG Jing, et al. Research on Carbon Dioxide Emissions Peaking in Beijing-Tianjin-Hebei City Agglomeration[J]. Environmental Engineering, 2020, 38(11): 19-24, 77.
- [10] TAPIO P. 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, 12(2): 137-151.
- [11] World Resources Institute (WRI). Mitigation Goal Standard[EB/OL]. [2019-08-04]. <https://www.wri.org/research/mitigation-goal-standard>.
- [12] 潘家华, 王汉青, 梁本凡, 等. 中国城市低碳发展 2011[M]. 经济日报出版社, 2011: 235-236.
PAN Jiahua, WANG Hanqing, LIANG Benfan, et al. Urban Low Carbon Development of China in 2011[M]. Economic Daily Press, 2011: 235-236.
- [13] 潘家华, 王汉青, 梁本凡, 等. 中国城市智慧低碳发展报告 2013[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2013: 456-457.
PAN Jiahua, WANG Hanqing, LIANG Benfan, et al. Smart Low-Carbon Development of Cities in China in 2013[M]. Beijing: China Social Science Press, 2013: 456-457.
- [14] 潘家华, 王汉青, 梁本凡, 等. 中国城市智慧低碳发展报告 2014[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2014: 468-469.
PAN Jiahua, WANG Hanqing, LIANG Benfan, et al. Smart Low-Carbon Development of Cities in China in 2014[M]. Beijing: China Social Science Press, 2014: 468-469.
- [15] 梁本凡, 周跃云, 张旺, 等. 中国城市智慧低碳发展报告 2015[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2015: 459-460.
LIANG Benfan, ZHOU Yueyun, ZHANG Wang, et al. Smart Low-Carbon Development of Cities in China in 2015[M]. Beijing: China Social Science Press, 2015: 459-460.
- [16] 梁本凡, 周跃云, 张旺, 等. 中国城市智慧低碳发展报告 2017[M]. 长沙: 湖南人民出版社, 2017: 413-414.
LIANG Benfan, ZHOU Yueyun, ZHANG Wang, et al. Smart Low-Carbon Development of Cities in China in 2017[M]. Changsha: Hunan People's Publishing House, 2017: 413-414.
- [17] 周跃云, 张旺. 中国城市绿色低碳发展报告 2019[M]. 长沙: 湖南人民出版社, 2019: 396-397.
ZHOU Yueyun, ZHANG Wang. Green Low-Carbon Development of Cities in China in 2019[M]. Changsha: Hunan People's Publishing House, 2019: 396-397.

(责任编辑: 申剑)