

中国超大特大城市低碳发展多维与综合测度研究

秦悦¹, 张学儒^{2,3,*}

(1. 重庆交通大学建筑与城市规划学院, 重庆 050047; 2. 河北经贸大学公共管理学院, 石家庄 050061;
3. 河北省城乡融合发展协同创新中心, 石家庄 050061)

摘要: 本文以中国超大特大城市为研究单元, 从低碳经济、低碳开发、低碳生活、低碳环境、低碳能耗 5 个维度选择 18 个指标, 构建了低碳发展评价体系, 并结合数据包络分析, 对我国超大特大城市低碳发展水平进行多维度综合测度评价。研究结果表明: (1) 我国 16 个超大特大城市 2005 年、2010 年、2015 年平均综合得分分别为 0.0892、0.0854、0.863, 低碳发展水平总体呈现出先减小后回升的趋势; (2) 在空间上, 东部城市低碳发展水平总体较高, 但其内部差异较大, 京津冀地区发展不平衡, 北京发展水平较高、而天津发展水平较低。西部地区发展指数总体较低, 重庆、成都、西安得分均为低水平和较低水平; (3) 2005—2015 年低碳经济发展平稳提升, 其中东部地区发展水平明显提升, 低碳开发发展下降, 低碳生活呈明显下降趋势, 低碳环境发展有所改善, 低碳能耗的发展基本稳定, 但格局略有变化; (4) 2005—2015 年全国低碳发展综合绩效整体水平不高, 发挥到最优水平的 75.3%, 存在投入-产出效率不高的问题。低碳发展纯技术效率仅发挥到最优水平的 88.3%, 具有较大发展潜力。低碳发展规模效率发挥到最优水平的 90%, 存在提升空间。

关键词: 低碳发展; 综合测度; 测度方法; 超大特大城市

DOI: 10.48014/fdg.20221220002

引用格式: 秦悦, 张学儒. 中国超大特大城市低碳发展多维与综合测度研究[J]. 发展地理学前沿, 2022, 1(2): 41-49.

低碳发展的概念脱胎于低碳经济, 源自于 2003 年英国白皮书提出的“低碳经济”, 旨在利用更少的碳排放量取得更多的经济和社会福利^[1]。日本学者 Kaya Yoichi 认为碳排放量的推动力为人口、人均 GDP、单位 GDP 能耗、单位能耗碳排放量 4 大因素^[2,3]。Lenzen^[4] 认为澳大利亚人均碳排放量的增加主要是由于居民收入的提高。Diakoulaki^[5] 认为希腊 1990—2002 年碳排放量影响因素为人类活动、能源强度和混合燃料。随着可持续发展的理念的不断深化, 低碳发展的内涵也更加多元化, 不仅仅关注于低碳排放的量^[6-9], 更关注社会经济发

展的质^[10,11]。韩增林等^[12] 认为产业结构、能源利用、生态环境、发展支撑在反映低碳发展绩效时意义重大。吴建生等^[13] 认为低碳城市发展中综合开发建设、经济发展、环境保护与能源消耗是至关重要的。至此, 尽管不同学者研究的侧重点不同, 低碳发展的测度研究都是保障城市经济社会协调发展, 同时降低碳排放量, 提高环境质量, 其测度具有多维和综合性。

近年来全球大城市的温室气体排放量占全球总量的 80%, 中国地级以上城市的温室气体排放量占全国总量的 55% 以上^[14]。城市已成为 CO₂ 等温室气体排放的主体单元, 因此如何定量测度评价大城市的碳排放量和低碳发展水平, 是应对气候变化、降低污染物排放以及实现绿色发展的前提^[15]。与此同时, 城市低碳发展研究成果日益丰富。

* 通讯作者 Corresponding author: 张学儒, zhangxu5@126.com

收稿日期: 2022-12-20; 录用日期: 2022-12-27; 发表日期: 2022-12-28

(1)从研究尺度来看,学者们在全国尺度和较大区域上开展了多方位研究^[16,17],一些经济区域也有所涉及。王锋等^[18]对中国30个省份人口城镇化、土地城镇化、经济城镇化三个维度的碳排放影响进行了实证分析。论证了各省份的碳排放存在正向空间相关性,进而提出发挥地区协同效应,提高城镇化质量和技术水平的建议。张金萍等^[19,20]以中国301个地级行政区为基本研究单元,将中国低碳发展水平分量化为不同类型,扩展断裂点模型的中国经济区划分方案,分析低碳发展类型的宏观和局域分异特征。(2)从研究指标来看,胡林林等^[21]针对低碳发展构建了一套低碳发展指标体系,研究了我国省域低碳发展水平评价,分析了2003年到2008年我国低碳发展特点。周泽炯等^[22]从能源、研发、产业结构、城镇化水平等角度对低碳经济的发展现状进行了实证研究,并对经济发展绩效的动态变化做了相关分析。

综上所述,可以发现:(1)从研究尺度来看,超大特大城市的碳排放量和低碳综合发展测度,是研究城市低碳发展的重点。而我国综合开展针对特大超大城市的低碳发展水平的测度研究却并不多见。(2)从研究指标来看,开展多维度的测度是低碳发展研究的主要趋势。因此,本次研究的对象为,城区常住人口500万以上1000万以下的特大城市和城区常住人口1000万以上的超大城市^[23]。截至2014年我国特大城市包括:天津、重庆、武汉、南京、成都、沈阳、哈尔滨、杭州、西安、苏州、佛山、东莞,超大城市包括:北京、上海、广州、深圳共16个城市。本次研究在对城市碳排放进行测算的基础上,通过多维测度确定中国超大特大城市低碳发展水平,进而评估我国超大特大城市低碳发展水平和时空差异,并尝试运用数据包络分析(DEA)模型评价低碳经济发展效率,进而为我国低碳城市建设和评估提供科学依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区域与数据来源

本文采用的统计数据来自《中国城市统计年鉴2016》^[24]、《中国城市统计年鉴2011》^[25]、《中国城市

统计年鉴2006》^[26],共搜集全国地级及以上16个城市的数据。综合相关研究,基于低碳经济、低碳开发、低碳生活、低碳环境、低碳能耗角度选取相关指标,见表1。

表1 综合测度指标表

Table 1 Comprehensive measurement index table

维度层	指标
低碳经济	地区生产总值
	人均地区生产总值
	第二产业占GDP比重
	第三产业占GDP比重
低碳开发	建成区面积
	人均建成区面积
	地均GDP
低碳生活	市辖区人口密度
	人均居民生活用电
	人均生活燃气用量
低碳环境	建成区绿化覆盖面积
	人均绿地面积
	工业烟尘排放量
	工业二氧化硫排放量
	一般工业固体废物综合利用率
低碳能耗	液化石油气供气总量用气
	单位GDP工业用电量
	人均二氧化碳排放量

1.2 研究方法

1.2.1 城市碳排放量测算

国内学者论证不同能源使用与CO₂排放量之间的关系,并且利用城市碳排放计算公式将城市碳排放量表达为^[27]:

$$\text{CO}_2 \text{ 排放量} = P \times \frac{\text{GDP}}{P} \times \frac{E}{\text{GDP}} \times \frac{\text{CO}_2}{E} \quad (1)$$

式中: P 为人口总量; GDP/P 为人均GDP, E/GDP 为单位GDP产出的能耗量, CO_2/E 为碳排放与能源消耗的换算比。由于煤的含碳量在60%~90%,国家发改委根据中国的煤炭利用比例,认为燃烧1t标煤排放的CO₂为2.45t。相对于标准煤使用的CO₂/E系数应取值为2.45。基于公式(1)以及相关研究成果,可以计算出各城市的二氧化碳排放量。

1.2.2 多边形法

对评价指标有正作用的效益性指标和负作用的成本型指标,进行标准化处理。本次研究采用序排列多边形法,以某固定点为原点,以线段长度为指标值,由原点出发延伸多条线线段,形成一个多边形。通过计算该多边形面积,计算各维度指标的得分值 a_j ^[28]。当 $j=1$ 时,利用低碳经济多维层的四个指标,以 a 为原点,以 a_E 为地区生产总值、 a_D 为人均地区生产总值、 a_L 为第二产业占GDP比重、 a_S 为第三产业占GDP比重, α 为它们之间的夹角,为 $360^\circ/4=90^\circ$ 。这个四边形的面积 S_{EDLSP} 即为所求区域综合发展的测度值 a_1 。

$$S_{EDLSP} = \frac{1}{2} \sin \alpha (a_E \times a_D + a_D \times a_L + a_L \times a_S + a_S \times a_P + a_P \times a_E) \quad (2)$$

同理计算其他多维层的得分 $a_j (j=1,2,\dots,5)$ 。

1.2.3 多面体法

利用多边形法计算出的各维度得分数据 a_j ,以某固定点 O 为原点,以线段长度为指标值,由原点出发 OE 和 OD 沿着 Z 轴的不同方向延伸, OL 和 OS 沿着 X 轴的不同方向延伸, OS 和 OP 沿着 Y 轴的不同方向延伸,形成一个六面体。通过计算该六面体体积,计算各维度指标的得分值^[29]。以 O 为原点,以 OE 低碳经济、 OD 低碳开发、 OL 低碳生活、 OS 低碳环境、 OP 低碳能耗,构成六角形, α 为它们之间的夹角,为 $360^\circ/3=120^\circ$ 。这个六面体的面积 S_{EDLSP} 即为所求区域综合发展的测度值。

1.2.4 DEA模型

数据包络分析是对同类型的部门进行相对效率评价的一种系统分析方法,可以在投入产出结构不明确的情况下,度量多组投入产出的单元技术效率^[30]。

评价 K 个城市的低碳发展效率问题,并且低碳发展评价体系中有 L 种投入指标, M 种产出指标。设 x_{jl} 代表第 j 个城市低碳发展的第 l 种资源投入量, y_{jm} 代表第 j 个城市低碳发展的第 m 种产出量。对于第 $n (n=1,2,\dots,K)$ 个地区,有下列形式的DEA应用模型^[31-32]:

$$s.t. \begin{cases} \min[\theta - \epsilon(e^T \bar{s} + e^T s^+)] \\ \sum_{j=1}^k x_{jl} \lambda_j + s^- = \theta x_{ln} \\ \sum_{j=1}^k y_{jm} \lambda_j - s^+ = y_{mn} \\ \lambda_j, s^-, s^+ \geq 0, n=1,2,\dots,K \end{cases} \quad (3)$$

式中, θ 为综合效率指数, λ_j 为权重变量, s^- 为松弛变量, s^+ 为剩余变量, ϵ 为阿基米德无穷小变量, e^T , e^T 为单位向量空间, $\sum \lambda_j$ 为规模效率。

2 结果与分析

2.1 综合测度分析

利用多边形法以及多面体法计算,得出2015年、2010年、2005年低碳发展综合得分见图1和表2。并且依据自然段法可将城市划分为低碳城市、相对低碳城市、相对高碳城市和高碳城市。

结果表明,在2005—2015年间,低碳发展水平下降3%,平均得分下降0.02,我国16个超大特大城市低碳发展呈下降的趋势。依据得分变动,可以将城市低碳综合发展水平变化概括为2005—2010年的低碳发展水平下降阶段和2010—2015年的发展水平回升阶段。在2005—2010年的低碳发展下降阶段,城市平均得分下降8%,得分减少0.04,2005年低碳发展整体水平高于2010年。但2005年低碳城市发展水平得分标准差为0.36高于2010年的0.29,说明2005—2010年低碳城市得分趋同,各个城市低碳发展水平差异缩小。2005年城市集中分布于高碳城市,2015年集中分布在相对高碳城市。2005年高碳城市为重庆市、佛山市、天津市、成都市、苏州市、东莞市6个城市,2010年高碳城市为重庆市、东莞市、苏州市、佛山市,数量减少了2个,成都市和天津市转化为相对高碳城市。2005年相对高碳城市为南京市、杭州市、西安市、武汉市、上海市,2010年相对高碳城市为沈阳市、天津市、南京市、杭州市、成都市、西安市,数量上增加了1个,沈阳市由相对低碳城市转化为相对高碳城市,其低碳发展水平得分下降39%,其得分排名由第3名下降至第12名,低碳发展水平明显降低。

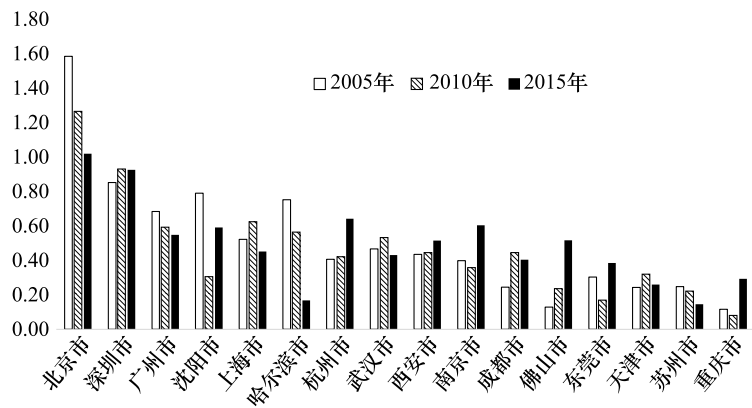


图 1 低碳发展综合测度综合得分

Fig. 1 Comprehensive score map of comprehensive measure of low-carbon development

表 2 低碳发展综合测度综合得分表
Table 2 Comprehensive score table of comprehensive measures of low-carbon development

	2005 年	2010 年	2015 年	平均值	排名
北京市	1.58	1.26	1.02	1.29	1
深圳市	0.85	0.93	0.93	0.90	2
广州市	0.68	0.59	0.55	0.61	3
沈阳市	0.79	0.31	0.59	0.56	4
上海市	0.52	0.62	0.45	0.53	5
哈尔滨市	0.75	0.56	0.17	0.49	6
杭州市	0.41	0.43	0.64	0.49	7
武汉市	0.47	0.53	0.43	0.48	8
西安市	0.44	0.45	0.51	0.47	9
南京市	0.40	0.36	0.60	0.45	10
成都市	0.24	0.44	0.40	0.36	11
佛山市	0.13	0.24	0.52	0.29	12
东莞市	0.30	0.17	0.38	0.29	13
天津市	0.24	0.32	0.26	0.27	14
苏州市	0.25	0.22	0.15	0.20	15
重庆市	0.12	0.08	0.29	0.16	16
平均值	0.51	0.47	0.49	0.49	

在 2010—2015 年的发展水平回升阶段,城市平均得分上升 6%,得分增加 0.02,同时 2015 年城市低碳发展水平得分标准差进一步下降至 0.23。2015 年低碳发展整体水平得到提升,同时城市间低碳发展水平差异进一步缩小,城市发展水平集中在相对低碳城市。2015 年有西安市、佛山市、广州市、沈阳市、南京市、杭州市 6 个城市处于相对低碳发展

水平。相比于 2010 年数量上增加了 2 个城市,其中沈阳市、南京市、杭州市、西安市由相对高碳转为相对低碳,其中沈阳市、南京市、杭州市城市得分排名分别提升了 7 名、6 名、6 名,其低碳发展综合水平有显著发展。而 2015 年的相对高碳城市则由 2010 年的 6 个减小为 2 个,在 2010—2015 年间城市发展水平向相对低碳城市进一步靠拢。

从空间分布来看,2005—2015 年间东部城市低碳发展水平总体较高,但其内部差异较大。北京市和深圳市始终位于排名的 1、2 名,其低碳发展综合水平位于我国超大特大城市前列。而苏州市、东莞市、佛山市、天津市则排名总体靠后。中部地区和西部地区低碳发展指数总体较低,低碳发展排名靠后,亟待发展。重庆、西安、成都三个城市整体水平不仅低于东部城市且远低于平均值。重庆市在 2005、2015、2010 年得分为 0.12、0.08、0.29,始终为高碳城市,在中西部地区得分最低。东北地区低碳发展指数呈现下降趋势。哈尔滨 2005 年是相对低碳城市,得分为 0.75,2010 年为相对高碳城市得分为 0.56,2015 年为相对高碳城市得分为 0.16,与 2005 年相比得分下降 78%,其发展态势消极。沈阳市得分先下降后回升。前期哈尔滨、沈阳存在较大的低碳发展优势,随着时间推移,其得分逐渐被其他城市所赶超。因此对东北地区而言,整合优势,调整策略是挽回发展优势的必要条件。

2.2 低碳发展多维测度分析

将低碳经济、低碳开发、低碳生活、低碳环境、低碳能耗五个维度进行单项测度,按照自然断裂法

可以将我国超大特大城市低碳发展划分为高水平、较高水平、较低水平、低水平4个等级类型。

(1)低碳经济测度评价。对比可知,16个特大超大城市整体发展平稳提升,平均分由0.40提升至0.44,增幅达9%。2005年仅有北京市达到高水平,而2015年苏州市、东莞市、重庆市、成都市4个城市达到高水平。东部地区发展较好,苏州市发展水平明显提升由低水平转化为相对较高水平,得分由0.13提升至0.41,增幅达211%。中部地区的成都市、重庆市、西安市发展水平滞后,处于低水平和较低水平。

(2)低碳开发测度评价。2005—2015年间,超大特大城市开发得分均值略有降低,得分较为稳定。佛山市、东莞市得分提升明显,由低水平提升至较高水平和高水平。北京市、天津市、上海市、南京市、苏州市、杭州市、武汉市、广州市、深圳市,得分均有下降,平均值下降9%。而同时西部地区的重庆市、成都市、西安市得分有小幅提升,重庆市由低水平转化为较低水平,得分排名上升6位。

(3)低碳生活测度评价。2005—2015年低碳生活发展下降趋势明显,平均值由0.41降至0.31。西部地区整体得分由水平下降。重庆市、西安市,得分由高水平变为较低水平,成都市变为较高水平。东部地区发展变化复杂。东莞市水平下降由0.82下降至0.14,下降至低水平。而北部地区的沈阳、哈尔滨得分提升明显均达到较高水平,增幅达6%。

(4)低碳环境测度评价。2005—2015年低碳环境发展有明显提升,平均值提升了63%,低水平城市数量减少了两个。东北地区出的反向转化,哈尔滨和沈阳,由较高水平转化为低水平和较低水平。西部地区发展水平略有提升,成都、重庆、由低水平转化为较低水平。东莞市提升显著,得分由0.50提升至1.59。

(5)低碳能耗测度评价。2005—2015年低碳能耗发展的水平基本稳定,但空间格局略有变化,2005年低水平城市为上海市、南京市、广州市、深圳市、佛山市、东莞市6个,较低水平城市为北京市、天津市、苏州市、杭州市、西安市5个,低碳发展集中于低水平,而2015年低水平城市为苏州市、广州市、东莞市3个,较低水平城市为北京市、上海市、南京市、深圳市、佛山市、武汉市、哈尔滨市7个,城市发展向

较低水平靠拢。东北地区得分较高,其低碳能耗发展水平较好。西安得分提升由0.83达1.05,得分提升了27%。

2.3 低碳绩效评价

使用Deap2.1软件对收集到的2005、2010和2015年中国超大特大城市的低碳经济发展数据进行计算,求出低碳发展的综合技术效率得分、纯技术效率得分和规模效率得分(表3)。根据得分可以发现其特征如下。

(1)低碳发展综合绩效整体水平不高,仅少数城市的低碳发展综合绩效达到最优。2005、2010和2015年低碳发展综合技术效率得分值分别为0.69、0.88、0.70,低碳发展仅达到最优水平的69%、88%、70%,超大特大城市三个年份的低碳发展的技术效率得分平均值为0.75,表明低碳发展绩效仅发挥到最优水平的75%,存在投入-产出效率不高的问题。分地区来看,2015、2010和2005年,哈尔滨市、杭州市、佛山市、西安市4个城市的技术效率得分始终没有达到最优水平。其余的12个城市中,深圳、上海、广州得分始终为1,其发展绩效较且不存在投入冗余与产出不足的状况,北京市、天津市、沈阳市、南京市、武汉市、东莞市、重庆市、成都市、苏州市的三年间有达到最优水平,但其得分出现了上下波动,这些地区的发展绩效不够稳定,需要进一步提升。

(2)纯技术效率是影响低碳发展绩效的主要因素。2005、2010和2015年中国低碳经济发展的纯技术效率得分值分别为0.79、0.95、0.76,低碳发展的纯技术效率得分仅达到最优水平的88%、73%、88%,技术效率得分平均值为0.83,表明低碳经济发展绩效仅发挥到最优水平的83%,具有较大发展潜力。分城市看,北京市、上海市、广州市、深圳市的纯技术效率得分始终为1,达到最优水平。而天津、苏州、武汉这3个城市的得分在2005年得分分别为0.70、0.83、0.50,技术效率得分较低,但在2010年和2015年得分达到1,其纯技术效率得到充分发挥,实现了高效运作。

(3)规模效率是提升低碳发展绩效的重要方法。2005、2010和2015年中国低碳经济发展的纯技术效率得分值分别为0.86、0.92、0.92,低碳发展

的纯技术效率得分仅达到最优水平的 86%、92%、92%，平均值为 0.90，表明低碳经济发展绩效仅发挥到最优水平的 90%，存在提升空间。2005 年北京市、天津市、沈阳市、哈尔滨市、南京市、苏州市、杭州市、武汉市、佛山市、西安市 10 个城市的规模报酬为递减状态，2010 年哈尔滨市、杭州市、武汉市、佛山市、成都市、西安市 6 个城市的规模报酬为递减，

2015 年北京市、沈阳市、南京市、杭州市、佛山市、东莞市、重庆市、成都市、西安市 9 个城市的规模报酬为递减，说明这些城市的规模效益已经饱和过剩，适当调整资源配置，其规模优势仍可以达到最优。值得注意的是 2015 年哈尔滨市出现了规模报酬递增，说明哈尔滨市规模优势未达到最优，通过扩大发展规模可以提高规模效益。

表 3 低碳发展绩效得分
Table 3 Low-carbon development performance scores

	2015 年			2010 年			2005 年		
	crste	vrste	scale	crste	vrste	scale	crste	vrste	scale
北京市	0.89	1.00	0.89	1.00	1.00	1.00	0.63	1.00	0.63
天津市	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.66	0.68	0.97
沈阳市	0.39	0.58	0.68	1.00	1.00	1.00	0.35	0.70	0.51
哈尔滨市	0.75	0.95	0.79	0.55	0.83	0.66	0.31	0.60	0.52
上海市	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
南京市	0.42	0.51	0.83	1.00	1.00	1.00	0.61	0.68	0.90
苏州市	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.81	0.83	0.98
杭州市	0.30	0.49	0.61	0.95	0.99	0.96	0.61	0.74	0.83
武汉市	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00	0.94	0.34	0.50	0.68
广州市	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
深圳市	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
佛山市	0.71	0.75	0.95	0.55	0.55	1.00	0.10	0.11	0.97
东莞市	0.82	0.88	0.94	0.41	1.00	0.41	1.00	1.00	1.00
重庆市	0.37	0.42	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
成都市	0.32	0.39	0.82	0.71	0.84	0.85	1.00	1.00	1.00
西安市	0.14	0.20	0.67	0.91	1.00	0.91	0.61	0.81	0.75
平均值	0.70	0.76	0.88	0.88	0.95	0.92	0.69	0.79	0.86

3 结论

本文以我国 16 个超大特大城市为研究单元，从低碳经济、低碳开发、低碳生活、低碳环境、低碳能耗 5 个维度选择 19 个指标，构建了低碳发展测度体系，并对城市低碳发展进行综合与多维测度，在此基础上基于数据包络分析开展 16 个城市的碳排放绩效评价。主要结论如下。

(1)我国 16 个超大特大城市，2005 年综合得分为 0.09，2010 年综合得分 0.09，2015 年综合得分为 0.87，可以划分为 2005 到 2010 年的低碳发展水平下降阶段和 2010—2015 年的发展水平回升阶段。

(2)从空间分布来看，东部城市低碳发展水平总体较高，但其内部差异较大。北京市和深圳市始终位于排名前列。苏州市、东莞市、佛山市、天津市则排名总体靠后。中部地区和西部地区低碳发展指数总体较低，低碳发展排名靠后，亟待发展。重庆市在 2005、2015、2010 年得分为 0.11、0.17、0.29，在中西部地区得分最低。东北地区低碳发展指数呈现下降趋势。哈尔滨 2005 年是相对低碳城市，得分为 0.75，2010 年为相对高碳城市得分为 0.56，2015 年为相对高碳城市得分为 0.16，与 2005 年相比得分下降 78%，其发展态势消极。

(3)就各个维度而言，16 个城市低碳经济发展

维度总体呈现平稳提升态势。低碳生活发展下降趋势明显。东部地区发展趋势较为乐观,京津城市群和珠三角城市群发展水平明显提升。低碳开发发展水平有下降趋势。低碳生活得分下降,西部地区整体得分水平下降,东部地区发展变化复杂,长江中游的武汉市的低碳生活得分提升。低碳环境发展略有提升。低碳能耗发展的基本稳定,但空间格局略有变化,部分城市有小幅提升和降低。

(4)低碳发展综合绩效整体水平不高,仅上海、广州的低碳发展综合绩效始终达到最优。技术效率发挥到最优水平的75%,存在投入-产出效率不高的问题。低碳经济发展绩效仅发挥到最优水平的88%,具有较大发展潜力。低碳经济发展规模效率发挥到最优水平的90%,仍存在提升空间。

利益冲突:作者声明无利益冲突。

参考文献(References)

- [1] Papers H O C. Our Energy Future; Creating a Low Carbon Economy[R]. 2003.
- [2] Mahony T O. Decomposition of Ireland's carbon emissions from 1990 to 2010: An extended Kaya identity[J]. Energy Policy, 2013, 59(4-5): 573-581.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.013>
- [3] Schenk N J, Lensink S M. Communicating uncertainty in the IPCC's greenhouse gas emissions scenarios[J]. Climatic Change, 2007, 82(3-4): 293-308.
<https://doi.org/10.1007/S10584-006-9194-3>
- [4] Lenzen M. Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis[J]. Energy Policy, 1998, 26(6): 495-506.
[https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(98\)00012-3](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(98)00012-3)
- [5] Diakoulaki D, Mandaraka M. Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling industrial growth from CO₂ emissions in the EU manufacturing sector[J]. Energy Economics, 2007, 29(4): 636-664.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.01.005>
- [6] 王喜, 张艳, 秦耀辰, 等. 我国碳排放变化影响因素的时空分异与调控[J]. 经济地理, 2016, 36(8): 158-165.
<https://doi.org/10.15957/j.cnki.jjdl.2016.08.023>
- [7] 谢守红, 蔡海亚, 夏刚祥. 中国交通运输业碳排放的测算及影响因素[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(5): 13-18.
<https://doi.org/10.13448/j.cnki.jalre.2016.140>
- [8] 黄国华, 刘传江, 赵晓梦. 长江经济带碳排放现状及未来碳减排[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(4): 638-644.
<https://doi.org/10.11870/cjlyzyyhj201604014>
- [9] 胡欢, 章锦河, 熊杰, 等. 河北省碳源碳汇测算及碳减排压力分析[J]. 地理与地理信息科学, 2016, 32(3): 61-67.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-0504.2016.03.012>
- [10] 王新玉. 低碳发展与循环发展、绿色发展的关系研究[J]. 生态经济, 2014, 30(9).
- [11] 原娜, 席强敏, 孙铁山, 等. 产业结构对区域碳排放的影响——基于多国数据的实证分析[J]. 地理研究, 2016, 35(1): 82-94.
<https://doi.org/10.11821/dlyj201601008>
- [12] 韩增林, 郭媛媛, 王泽宇, 等. 环渤海沿海地市低碳转型绩效评价与影响因素分析[J]. 人文地理, 2017(3): 108-116.
<https://doi.org/10.13959/j.issn.1003-2398.2017.03.014>
- [13] 吴健生, 许娜, 张曦文. 中国低碳城市评价与空间格局分析[J]. 地理科学进展, 2016, 35(2): 204-213.
- [14] 鲍超, 罗奎. 中国省会城市低碳发展水平的综合测度及分析[J]. 中国科学院大学学报, 2013, 30(4): 497-503.
- [15] 陈飞, 诸大建. 低碳城市研究的内涵、模型与目标策略确定[J]. 城市规划学刊, 2009(4): 7-13.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-3363.2009.04.002>
- [16] 王喜, 秦耀辰, 鲁丰先, 等. 黄河中下游地区主要省份低碳经济发展水平的时空差异研究[J]. 地理科学进展, 2013, 32(4): 505-513.
- [17] 谢志祥, 秦耀辰, 沈威, 等. 中国低碳经济发展绩效评价及影响因素[J]. 经济地理, 2017, 37(3): 1-9.
<https://doi.org/10.15957/j.cnki.jjdl.2017.03.001>
- [18] 王锋, 秦豫徽, 刘娟, 等. 多维度城镇化视角下的碳排放影响因素研究——基于中国省域数据的空间杜宾面板模型[J]. 中国人口资源与环境, 2017, 27(9): 151-161.
<https://doi.org/10.12062/cpre.20170434>
- [19] 张丽君, 秦耀辰. 城市碳基能源代谢分析框架及核算体系[J]. 地理学报, 2013, 68(8): 1048-1058.
- [20] 张金萍, 秦耀辰, 张艳, 等. 城市 CO₂ 排放结构与低碳水平测度——以京津沪渝为例[J]. 地理科学, 2010, 17(6): 874-879.
- [21] 胡林林, 贾俊松, 毛端谦, 等. 基于 FAHP-TOPSIS 法的我国省域低碳发展水平评价[J]. 生态学报, 2013, 33(20): 6652-6661.
<https://doi.org/10.5846/stxb201305121027>

- [22] 周泽炯,胡建辉. 基于 Super—SBM 模型的低碳经济发展绩效评价研究[J]. 资源科学, 2013, 35(12): 2457-2466.
- [23] 机构金融. 国务院印发《关于调整城市规模划分标准的通知》[J]. 上海城市规划, 2014(6):159.
- [24] 国家统计局. 中国城市统计年鉴-2016[R]. 2016.
- [25] 国家统计局. 中国城市统计年鉴-2011[R]. 2011.
- [26] 国家统计局. 中国城市统计年鉴-2006[R]. 2006.
- [27] 李治,李国平,胡振. 西部特大城市低碳发展的现状问题及目标策略研究——以西安市为例[J]. 干旱区地理(汉文版), 2017, 40(2):434-440.
<https://doi.org/10.13826/j.cnki.cn65-1103/x.2017.02.023>
- [28] 徐小任,徐勇. 中国居民住房内生活设施配置及区域差异[J]. 地理科学进展, 2016, 35(2):173-183.
- [29] 徐勇,段健,徐小任. 区域多维发展综合测度方法及应用[J]. 地理学报, 2016, 71(12):2129-2140.
- [30] Cooka W D. Data envelopment analysis (DEA)-Thirty years on[J]. Eur J Oper Res, 2009, 192(1):1-17.
- [31] 周平. 基于超效率 DEA 模型的区域低碳效率空间分异——以湖南省各市州为例[J]. 经济地理, 2017, 37(3):188-192.
<https://doi.org/10.15957/j.cnki.jjdl.2017.03.025>
- [32] 邓洪波,陆林. 基于 DEA 模型的安徽省城市旅游效率研究[J]. 自然资源学报, 2014, 29(2):313-323.

Multi-dimensional and Comprehensive Measurement Study on Low-carbon Development of China's Megacities

QIN Yue¹, ZHANG Xueru^{2,3,*}

(1. College of Architecture and Urban Planning of Chongqing Jiaotong University, Chongqing 050047, China; 2. School of Public Management of Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang 050061, China; 3. Hebei Collaborative Innovation Center for Urban-Rural Integration Development, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: Taking China's megacities as the research unit, this paper selected 18 indexes from five dimensions: low-carbon economy, low-carbon development, low-carbon life, low-carbon environment and low-carbon energy consumption, and constructed a low-carbon development evaluation system. Combined with data envelopment analysis, a multi-dimensional and comprehensive measurement evaluation of the low-carbon development level of China's megacities was also conducted. The results showed that: (1) The average comprehensive scores of 16 Chinese megacities in 2005, 2010 and 2015 were 0.0892, 0.0854 and 0.863, respectively. The low carbon development level showed a trend of first decreasing and then rising. (2) Spatially, the low-carbon development level of eastern cities was generally high, but the internal differences were large, and the development of the Beijing-Tianjin-Hebei region was uneven, with Beijing having a higher level of development and Tianjin having a lower level of development. The development index of the western region was generally low, and the scores of Chongqing, Chengdu and Xi'an were all at low and lower levels. (3) From 2005 to 2015, the development of low-carbon economy increased steadily, of which the development level of the eastern region was significantly improved. The level of low-carbon development had declined. The level of low-carbon living was showing a significant downward trend. The development of a low-carbon environment had improved. The development of low-carbon energy consumption was basically stable, but the pattern had changed slightly. (4) From 2005 to 2015, the overall level of the comprehensive performance of national low-carbon development was not high, which reached 75.3% of the optimal level, and there was a problem of low input-output efficiency. The pure technical efficiency of low-carbon development had only reached 88.3% of the optimal level, which had great development potential. The scale efficiency of low-carbon development had reached 90% of the optimal level, and there was room for improvement.

Keywords: Low-carbon development; comprehensive measurement; measurement method; Megacities

DOI: 10.48014/fdg.20221220002

Citation: QIN Yue, ZHANG Xueru. Multi-dimensional and comprehensive measurement study on low-carbon development of China's megacities[J]. *Frontiers of Development Geography*, 2022, 1(2): 41-49.

Copyright © 2022 by author(s) and Science Footprint Press Co., Limited. This article is open accessed under the CC-BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

