

城市低碳发展指数的构建与应用[※]

——以江苏 13 城市为例

王 锋 刘传哲 吴从新 许士春

内容提要: 该文借鉴人类发展指数与空间距离法的思想,选用人均 GDP、单位 GDP 能耗、城市空气质量优良天数比率 3 个特征变量构建了城市低碳发展指数模型。运用江苏 13 个城市 2005-2011 年的面板数据进行纵向和横向的对比研究,结果表明:无锡的低碳发展水平平均最高,徐州最低;苏南、苏中、苏北的低碳发展水平具有“南高北低”的特征;从不平衡性角度来看,江苏各城市总体发展的不平衡性没有明显的变化趋势,苏南、苏中和苏北各城市间的不平衡性具有依次递减的特征,且这种不平衡性有逐步缩小的趋势。

关键词: 城市低碳发展指数 低碳城市 区域不平衡性 江苏

中图分类号: F299.23

文献标识码: A

文章编号: 1009-2382(2014)01-0079-05

城市是人口、建筑、交通、工业、物流的集中地,也是能源消耗的高强度地区。2008 年联合国《世界城市状况报告》指出:城市集中了全球 50%以上的人口,并可能在未来 20 年内达到 60%。城市占地球表面不到 1%的面积,却消耗了约 75%的能源。因此,城市是能源消耗和温室气体排放的重要来源。城市的低碳发展是“低碳”与“发展”的有机结合,是一种以低耗能、低污染、低排放为特征的可持续发展模式,对于提高城市经济、资源和环境效率和促进经济增长方式转变具有重要作用。

2011 年 3 月发布的我国《国民经济和社会发展的第十二个五年(2011-2015 年)规划纲要》,对我国“十二五”期间节能减排目标提出了约束性指标要求。为实现这些目标必然要求各城市转变经济增长方式、调整经济结构,向低碳经济转型。现实情况是,由于各城市在经济结构、低碳技术水平、发展阶段、能源结构等方面存在较大的差异,各城市的低碳发展水平具有明显的差异性。为了能够从总体上对各城市低碳发展水平进行综合评价、找出各城市之间的差距、分析各城市之间的差异性与不平衡性程度以及找出各城市低碳发展的规律和特征,需要构建一个综合的城市低碳发展指数(City Low Carbon Development Index, CLCDI)。

本文构建的 CLCDI 指数具有以下特点和功能:

一是能够从低碳经济、能源效率和低碳环境 3 个角度对城市的低碳发展水平进行综合测度;二是类似于人类发展指数(HDI),CLCDI 只包含有限数量的核心变量,且数据易获取,从而便于计算和管理;三是既可以对各城市进行横向对比,又能够进行纵向对比和分析。

一、低碳城市发展研究综述

目前对城市低碳发展指数的研究还处于起步阶段,理论与方法都亟待充实和完善。1999 年清洁技术指数有限责任公司推出了首个低碳指数“清洁技术指数”,之后世界和地区范围内产生近 20 个低碳指数,但这些指数侧重于低碳产业层面。2010 年 3 月中国社会科学院从低碳生产力、低碳消费、低碳资源、低碳政策 4 个方面构建了我国首个低碳城市评估体系。中国城市科学学会(2011)推出了城市生态宜居发展指数(UELDI),并运用向量结构评估方法,从软(行为过程)、硬(结果成效)两方面对城市的生态建设进行了评价。经济学人智库(EIU, 2011)运用能源供应和二氧化碳排放、土地使用和建筑物、交通、垃圾、水资源、卫生、空气质量和环境治理 8 个指标构建了“亚洲绿色城市指数”并分析了亚洲 22 个城市在环境和气候保护领域的目标和成就。朱守先(2010)借鉴 HDI 指数方法,从人均碳排放、碳经济强度和碳能源强度

[※] 本文是江苏省社会科学基金项目“江苏低碳城市标准体系及政策研究”(项目编号:12GLC009)、江苏高校国际问题研究中心立项项目“江苏高校国际能源政策研究中心”(项目编号:2013KYPT02)的阶段性研究成果。

构建了碳排放指数。龙惟定等(2010)从人均碳排放量、地均碳排放量、单位GDP碳排放量和人类发展指数4个方面构建了低碳城市的评价指标。李晓燕和邓玲(2010)以经济、科技、社会和环境4个系统构建了城市低碳经济发展综合评价指标体系,并以4个直辖市为例进行了应用。庄贵阳等(2011)从低碳产出、低碳消费、低碳资源和低碳政策4个维度构建了低碳经济综合评价指标体系。仇保兴(2012)从资源节约、环境友好、经济持续、社会和谐4个部分构建了低碳生态城市指标体系。张旺和赵先超(2012)运用DPSIR模型,从低碳化基础、能源低碳化、产业低碳化、建筑低碳化、交通低碳化、环境低碳化、碳汇能力和社会低碳化8个方面构建了城市低碳化发展指数的评价指标体系。宋婷和沈清基(2013)构建了碳排放价值指数。潘家华等(2013)从经济低碳、能源低碳、设施低碳、环境低碳与社会低碳5个维度构建了中国城市低碳发展综合水平评价指标体系,并对全国110个城市的低碳综合发展水平进行了测算与排位。中国环境科学研究院、河北大学(2013)联合完成的《低碳环保双重约束下的区域和城市发展评估报告》,构建了由低碳、环保和发展3大指数构成的地区(城市)低碳环保发展指数。

纵观上述指数和指标体系,侧重点各有不同,有的侧重于碳排放或低碳经济,有的侧重于环境保护或者生态城市的评价,且多数指数或指标体系包含的指标数量较多,这也直接提高了指数或指标体系的运营、维护和管理成本,也增加了使用的难度。因此,有必要构建一个既科学全面,又简明易用的城市低碳发展综合指数。

二、城市低碳发展指数(CLCDI)模型

印度经济学家Mazumdar(2003)提出了一种称之为“空间距离法”的计算HDI的新方法,此方法能够改进传统HDI方法的缺陷。本文借鉴“空间距离法”的基本思想构建城市低碳发展指数模型,并从两个方面对这一方法进行了完善,一是考虑了不同指标的方向性(正向和负向)问题,二是解决了评价过程中由于其他城市情况的变化对本城市排名的影响(即挫败感)问题。

设某城市的低碳发展水平向量为 X ,特征变量个数为 n ,时间长度为 T ,城市数量为 J 。 x_{ijt} 代表在 t 时刻, j 城市中变量 i 的值。 t 时刻变量的最大值和最小值为 $x_{i\max}$ 和 $x_{i\min}$,且 $x_{i\max} > x_{i\min}$ 。由于不同变量的量纲

和数量级不同,从而存在不可公度性问题,为了解决这一问题,需要对数据作无量纲化处理。本文选择极值处理法对数据进行标准化处理,得到0~1的标准值。另外,由于不同指标的方向性(正向和负向)可能存在差异,所以其标准化和运用方式亦有所不同。

定义 Y_{ijt} 为 x_{ijt} 的标准化值,则 Y_{ijt} 可表述为:

$$\text{当 } x \text{ 为正向指标时: } Y_{ijt} = \frac{x_{ijt} - x_{it\min}}{x_{it\max} - x_{it\min}} \quad (1)$$

$$\text{当为负向指标时: } Y_{ijt} = \frac{x_{it\max} - x_{ijt}}{x_{it\max} - x_{it\min}} \quad (2)$$

Y_{ijt} 有以下特征:(1)对于每个 i, j, t ,都有 $0 \leq Y_{ijt} \leq 1$ 。(2)当 x 为正向指标时,如果 $x_{ijt} = x_{it\min}$,则 $Y_{ijt} = 0$,如果 $x_{ijt} = x_{it\max}$,则 $Y_{ijt} = 1$;当 x 为负向指标时,如果 $x_{ijt} = x_{it\max}$,则 $Y_{ijt} = 0$,如果 $x_{ijt} = x_{it\min}$,则 $Y_{ijt} = 1$ 。

定义 x_i^* 为第 i 个变量的目标值(或样本期间最优值), Y_i^* 为第 i 个变量的标准化目标值。则 Y_i^* 可表述为:

$$\text{当 } x \text{ 为正向指标时: } Y_i^* = \frac{x_i^* - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (3)$$

$$\text{当为负向指标时: } Y_i^* = \frac{x_{i\max} - x_i^*}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (4)$$

其中, $x_{i\max}$ 和 $x_{i\min}$ 分别表示样本期间变量 i 的最大值和最小值。对变量 i 而言,如果在不同时刻 t 选择不同的目标值 x_i^* ,则不同时刻的标准化目标值之间就不能直接进行纵向的比较。比如对于某一城市而言,虽然第 t 期的低碳发展状况要好于 $t-1$ 期,但由于不同时刻选择了不同的目标值或者其他城市的发展状况改善更多,则有可能会出现 t 期的CLCDI指数和排名低于 $t-1$ 期情况,这样就不能对城市的纵向发展情况进行客观评价,也不能对不同年份不同城市间的发展情况进行客观对比。所以,在样本期间内对于每个变量宜选择固定的目标值。实际上,对于正向指标而言,只要选择的目标值 $x_i^* \geq x_{i\max}$ (当为负向指标时, $x_i^* \leq x_{i\min}$),则对后面要计算的 D_{jt} 以及最终的CLCDI指数排名就不会产生任何影响。故从简化计算的角度来看,对第 i 个指标而言,将 x_i^* 取为样本区间内的最优值即可(正向指标时,取最大值; $x_{ij\max}(j=1, 2, \dots, J; t=1, 2, \dots, T)$,负向指标时,取最小值 $x_{ij\min}(j=1, 2, \dots, J; t=1, 2, \dots, T)$)。

此时, Y_i^* 具有对于任意的 i, j, t ,都有 $Y_i^* = 1$ 的优良性质。

定义 D_{jt} 为第 j 个城市在第 t 年的实际值与最优值间的差距,可用 Y_i^* 与 Y_{ijt} 的距离表示:

$$D_{jt} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i^* - Y_{ijt})^2} \quad (5)$$

D_{jt} 为负向指标,具有以下性质:(1)对于任意的 i, j, t , 都有 $0 \leq D_{jt} \leq \infty$; (2)如果 $D_{jt}=0$, 说明城市在第 t 年最优; (3) D_{jt} 值越小, 城市 j 在第 t 年的低碳发展水平越高, 与最优地区的差距越小; 反之, 则说明水平越低, 差距越大。

由于 D_{jt} 的取值范围和方向特征不便于直接对比分析, 所以考虑再次对 D_{jt} 进行标准化(不影响排序), 最终构建的 CLCDI 指数, 具有与 HDI(HDI 指数越大表明人类发展水平越高)一样直观的表达形式。同时, 为了能够进行城市间的纵向和横向比较, 与 Y_i^* 的标准化原理一致, 将 CLCDI 表示为:

$$CLCDI_{jt} = \frac{D_{max} - D_{jt}}{D_{max} - D_{min}} \quad (6)$$

式(6)中, $CLCDI_{jt}$ 表示城市 j 在第 t 年的低碳发展指数; D_{jt} 表示第 j 个城市在第 t 年距离目标值的差距; D_{max} 和 D_{min} ($j=1, 2, \dots, J; t=1, 2, \dots, T$) 分别表示最大值和最小值。

$CLCDI_{jt}$ 具有以下性质:(1)对于任意的 j, t , 都有 $0 \leq CLCDI_{jt} \leq 1$; (2) $CLCDI_{jt}$ 值越大, 表明城市 j 在第 t 年的低碳发展水平越高; $CLCDI_{jt}$ 值越小, 表明城市 j 在第 t 年的低碳发展水平越低。

三、城市低碳发展指数的构成变量

本文从低碳城市经济、城市能源效率和低碳城市环境 3 个维度构建城市低碳发展指数, 并从指标的代表性和数据的可获得性角度分别选择人均 GDP、单位 GDP 能耗和空气质量优良率 (API<100 比率) 3 个变量。首先, 从碳排放量的计算公式: 二氧化碳排放量 (吨 CO_2) = 能源消耗量 (吨标准煤) \times 能源 CO_2 排放系数 (吨 CO_2 /吨标准煤) = 人均 GDP (元/人) \times 人口 (万人) \times 单位 GDP 能耗 (吨标准煤/万元) \times 能源 CO_2 排放系数 (吨 CO_2 /吨标准煤), 可以看出, 影响碳排放的主要因素是人均 GDP、人口数量、单位 GDP 能耗和能源碳排放系数。其中, 人口数量在短期内变化不大, 如根据《江苏统计年鉴》数据测算, 2005-2011 年江苏人口年均自然增长率只有 2.44‰。另外, 能源碳排放系数短期也可以认为是不变的 (IPCC)。所以, 主要因素是人均 GDP 和单位 GDP 能耗。据了解, 江苏各城市节能目标任务的分解依据是由单位 GDP 能耗、人均 GDP 和能源消费总量 3 项指标构成的一个综合指

数。所以, 本文在城市低碳发展指数构建过程中将包含这 2 个变量。其次, 在城市低碳指数中还应该包含城市低碳发展的后果 (或代价) 的最直观表征变量, 即城市环境质量。因为随着经济社会发展水平的提高, 人们对环境的要求也越来越高, 而城市发展不能以环境的破坏为代价, 否则就与城市低碳发展的初衷和目标相违背。

1. 城市能源效率

能源效率在国内多用单位 GDP 能耗 (吨标准煤/万元 GDP) 表示, 即一定时期内一个国家或地区生产 1 个单位的 GDP 所消耗的能源量, 是城市技术水平、发展阶段、产业结构、能源结构和节能潜力的综合体现。一般而言, 单位 GDP 能耗越低, 说明能源效率越高, 该国或地区的技术水平越高、经济阶段越高、产业结构和能源结构越优, 节能潜力越小。

2. 低碳城市经济

人均 GDP 体现一个地区经济社会发展水平, 也是碳排放量的重要影响指标。城市低碳发展并不是要走向贫困经济, 而是采用低碳化发展模式实现经济增长。人均 GDP 越高, 说明城市的经济发展水平越高, 同时碳排放量也可能越高。但碳排放量高则不符合城市低碳发展的要求, 这必然要求对产业结构进行调整, 相应提高服务经济的比重, 所以人均 GDP 指标具有倒逼机制的作用。综合来看, 碳排放量在合理范围内的情况下, 人均 GDP 越高说明城市低碳经济水平越高。

3. 低碳城市环境

人类活动导致了全球气候变化, 而低碳经济发展正是在气候变化背景下产生的。城市低碳发展不能仅仅以经济发展水平为唯一的衡量指标, 更应该考虑到经济发展对环境的影响。环境变化亦是对低碳发展后果的表征。我国《国民经济和社会发展第十二个五年 (2011-2015 年) 规划纲要》就包含了对环境的约束性指标要求, 即主要污染物排放总量显著减少, 化学需氧量、二氧化硫排放量分别减少 8%, 氨氮、氮氧化物排放量分别减少 10%, 这些指标可以通过空气质量好坏来表现。考虑到本文构建的低碳发展指数是城市层面的, 所以使用城市空气质量优良率 (API<100 天数比率) 来表示。空气质量越好, 则空气质量优良率越高, 说明城市低碳发展的环境代价越小, 相应的城市低碳发展水平越高。城市低碳发展指数的各构成变量及特征如表 1。

表1 城市低碳发展指数构成变量

维度	特征变量	计算公式	单位	指标方向
低碳城市经济	人均 GDP	GDP/人口数量	元/人	正向
城市能源效率	单位 GDP 能耗	能源消费总量/GDP	吨标准煤/万元	负向
低碳城市环境	空气质量优良率(API<100 比率)	空气质量优良天数/全年天数	%	正向

数据来源于历年的《中国城市统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国环境年鉴》《江苏统计年鉴》《江苏各市环境状况公报》《江苏各市节能目标完成情况通报》和《各市单位 GDP 能耗等指标的通报》等。数据包括江苏各省辖市 2005-2011 共 7 年的数据。

四、江苏城市低碳发展指数实证分析

1. 江苏各城市 CLCDI 指数计算与分析

根据 CLCDI 模型和各城市数据计算得到江苏各城市的 CLCDI 指数,结果见表 2。

从各城市历年的 CLCDI 指数排名情况来看,无锡和苏州两市的排名最高,低碳发展一直都处于相对较高的水平。除了单位 GDP 能耗还较高之外,环境质量和低碳经济发展水平都处于省内领先水平。2005-2011 年无锡和苏州的空气质量优良天数比率均值高达 0.925 和 0.902,高于全省平均水平 0.883,以及大部分省内其他城市。另外,人均 GDP 分别也达到了 75569 元和 77869 元,远高于其他城市。这一点与实际情况是相符的,比如 2011 年 2 月,无锡入选了江苏

省内唯一的低碳试点城市和交通部的低碳交通运输体系试点城市,2012 年苏州连同镇江和淮安一起被列入江苏省首批国家级低碳试点城市。

徐州和盐城的 CLCDI 指数较低,说明这两市的低碳发展水平相对省内其他城市要低。徐州和盐城的空气质量优良率均值分别只有 0.876 和 0.814,低于全省平均水平。人均 GDP 也只有 25412 元和 23732 元,远低于全省平均水平的 40911 元。另外,徐州的单位 GDP 能耗也比较高,样本期间达到了 1.238 吨标准煤/万元,高于全省平均水平 0.81 吨标准煤/万元和苏北地区平均水平 0.921 吨标准煤/万元。

从区域差异来看,苏南、苏中、苏北的低碳发展水平具有逐次递减的特征。样本期间,3 个区域的空气质量优良率均值分别是 0.894、0.887 和 0.874,绝对水

表2 江苏各城市 CLCDI 指数

区域	城市	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	平均值
苏南	无锡	0.94	0.97	0.98	0.98	0.99	1.00	0.89	0.96
	苏州	0.82	0.74	0.68	0.72	0.74	0.83	0.85	0.77
	镇江	0.64	0.38	0.63	0.65	0.60	0.75	0.67	0.62
	常州	0.59	0.56	0.55	0.58	0.63	0.71	0.67	0.61
	南京	0.34	0.11	0.18	0.33	0.21	0.30	0.34	0.26
苏中	南通	0.57	0.50	0.48	0.53	0.63	0.64	0.58	0.56
	扬州	0.58	0.47	0.50	0.53	0.65	0.61	0.58	0.56
	泰州	0.42	0.10	0.26	0.34	0.34	0.43	0.35	0.32
苏北	连云港	0.42	0.38	0.37	0.41	0.41	0.39	0.23	0.37
	淮安	0.35	0.34	0.22	0.36	0.35	0.35	0.37	0.33
	宿迁	0.11	0.33	0.24	0.37	0.33	0.38	0.26	0.29
	盐城	0.16	0.19	0.17	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17
	徐州	0.15	0.02	0.00	0.11	0.10	0.18	0.10	0.09
苏南		0.71	0.59	0.64	0.69	0.67	0.76	0.73	0.68
苏中		0.54	0.39	0.45	0.50	0.58	0.59	0.53	0.51
苏北		0.33	0.31	0.24	0.36	0.33	0.37	0.28	0.32
江苏全省平均		0.58	0.48	0.50	0.58	0.59	0.65	0.51	0.56

注:苏南、苏中、苏北和江苏 CLCDI 指数的计算依据是各自实际数据,不是各城市 CLCDI 的平均值;苏南、苏中、苏北和江苏的空气质量优良率和单位 GDP 能耗指标为各城市相应指标的平均值。

平相差不大。但低碳经济水平相差较大,苏南、苏中和苏北的人均 GDP 分别是 64542 元、35817 元和 22044 元,相差较大。但能源效率苏中表现最好,为 0.844 吨标准煤/万元,苏南表现最差,为 0.941 吨标准煤/万元,苏北居中,为 0.921 吨标准煤/万元。

苏南、苏中和苏北地区的历年 CLCDI 均值分别为 0.68、0.51 和 0.32。苏南地区中无锡最高、南京最低。苏中地区的扬州和南通 CLCDI 值较高,泰州较低。苏北地区中连云港 CLCDI 值最高,徐州最低。

2. 区域不平衡性分析

为了分析区域发展的不平衡性,本文分别计算了历年来苏南、苏中、苏北和全省的 CLCDI 指数的标准差,结果见图 1。

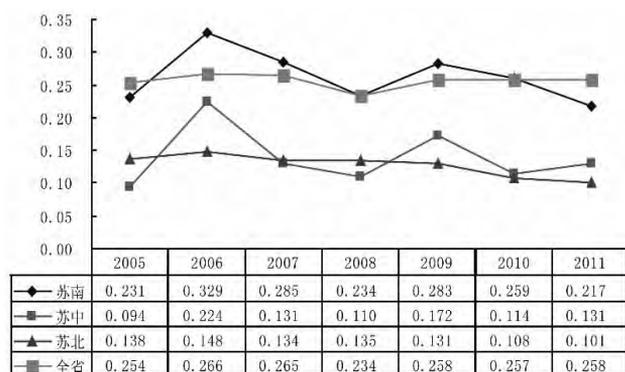


图 1 各区域 CLCDI 标准差图

江苏省内各地级市之间的低碳发展水平的不平衡性没有明显的扩张或缩减的趋势,样本期间各市间的差异性变化不大,标准差均值为 0.256。

苏南各市低碳发展水平的不平衡性具有 M 型变化特征,近年来有下降的趋势,但苏南城市间的不平衡性程度要略高于全省。

苏北各市低碳发展指数间的差异较小,均值为 0.128,低于苏中、苏南和全省,说明苏北各市低碳发展水平的差异性较小,不平衡性程度较低,而且近年来这种不平衡性表现出逐渐下降的趋势。

苏中各城市之间的差异性在样本期间变化较大,其中 2006 年最高,2005 年最低,但近年来的不平衡性也有逐步降低的趋势。

五、结 论

本文从城市能源效率(单位 GDP 能耗)、低碳城市经济(人均 GDP)和低碳城市环境(空气质量优良率)3 个维度构建了城市低碳发展综合指数。由于包含的变量少且数据易获得,所以 CLCDI 指数模型具

有简单、易于计算和管理的特点。另外,由于在建模过程中解决了其他城市低碳发展情况变化对本城市的影响(即挫败感),所以更加适合城市低碳发展水平的纵向比较,从而能更加准确地反映城市低碳发展的趋势和特点。同时 CLCDI 指数应用于横向分析,能够有助于发现不同城市间的差异和低碳发展的不平衡问题,所以更加适合于地区差异的分析。

根据江苏 13 个城市 2005-2011 年的面板数据,并运用 CLCDI 模型对各城市进行对比分析的结果发现:(1)样本期间低碳发展平均水平无锡最高,徐州最低。(2)从省内不同区域角度来看,苏南、苏中和苏北的平均低碳发展水平具有“南高北低”的特征。(3)样本期间江苏各城市间的低碳发展水平的不平衡性没有明显扩张或缩减的趋势;苏南各市间的不均衡性略高于全省平均水平,但近年来这种差异程度有下降的趋势;苏中、苏北各城市间的不平衡性也有缩小的趋势,且苏北各城市间的差异性相对更小。

参考文献:

1. Mazumdar, Krishna. A new approach to Human Development Index. *Review of Social Economy*, 2003, Vol.4, pp:535 - 549.
2. 仇保兴著:《兼顾理想与现实——中国低碳生态城市指标体系构建与实践示范初探》,中国建筑工业出版社 2012 年版。
3. 李晓燕、邓玲:《城市低碳经济综合评价探索:以直辖市为例》,《现代经济探讨》2010 年第 2 期。
4. 龙惟定等著:《低碳城市的城市形态和能源愿景》,《建筑科学》2010 年第 2 期。
5. 潘家华等:《中国城市智慧低碳发展报告》,中国社会科学出版社 2013 年版。
6. 宋婷、沈清基:《城市碳排放价值指数研究及规划应用》,《城市发展研究》2013 年第 3 期。
7. 张旺、赵先超:《中国主要城市低碳化发展指数的测度与分析》,《城市发展研究》2012 年第 4 期。
8. 朱守先:《世界各国低碳发展水平比较分析》,《开放导报》2010 年第 6 期。
9. 庄贵阳、潘家华、朱守先:《低碳经济的内涵及综合评价指标体系构建》,《经济学动态》2011 年第 1 期。

作者简介:王锋,中国矿业大学管理学院副教授、博士;刘传哲,中国矿业大学管理学院教授、博导;吴从新,中国矿业大学管理学院讲师、博士生;许士春,中国矿业大学管理学院副教授、博士(徐州 221116)。

[责任编辑:侯祥鹏]