

基于发展阶段的低碳生态城市质量评价

——以山东省为例

雷 刚 吴先华

(山东省建设发展研究院城市化研究所,山东 济南 250001)

[摘 要] 针对当前低碳生态城市评价存在的问题,在全面阐释低碳生态城市发展科学规律的基础上,区分了路径性指标和评价性指标,依据评价性指标构建了低碳生态城市评价指标体系,采用象限法,建立了一套基于发展规律和发展阶段的低碳生态城市评价技术方法,并以山东省为例进行了实证分析。结果显示,山东已跨越了碳排放强度的倒 U 型曲线高峰,但仍处于人均碳排放与碳排放总量左侧的上升期;从各市情况看,属于高碳发展类型的城市达 10 个,多数城市进入低碳生态转型发展的关键期,部分城市低碳指数较高与其经济发展水平低有很大关系,处于低碳低经的初级发展阶段。

[关键词] 低碳生态城市;指标体系;质量评价;山东省
[中图分类号]F127 **[文献标识码]**A **[文章编号]**2095 - 3410(2014)01 - 0155 - 07

一、引言

加快城市向低碳生态转型是应对全球气候变化的重要途径。在国内外低碳生态城市建设实践经验中,以指标体系引领低碳生态城市建设逐渐成为共识。目前,国内外关于低碳生态城市指标体系的研究,主要集中在生态城市指标体系、低碳城市指标体系、低碳经济指标体系、低碳竞争力指标体系等方面。联合国就生态城市提出了六项评价标准。原国家环保总局制定的《生态省、生态市、生态县建设指标》,分经济发展、生态环境保护和社会进步三大项共 22 项指标。中新天津生态城指标体系有 22 项控制指标(定量)和 4 项引导性指标(定性)构成,唐山曹妃甸国际生态城指标体系由 141 项指标构成,分为管理指标体系和规划指标体系两个子系统^[1]。张坤民、温宗国等从经济学、生态学和社会政治学三个学科角度出发,设计了中国生态城市可持续发展的指标体系^[2];吴琼、王如松等在对生态城市的理

论和内涵深入分析的基础上,采用专家咨询的定性和定量信息构建了扬州生态城市评价指标体系^[3];常克艺等从活力、组织、恢复力三方面构建了生态型城市指标体系,并提出各项指标因子的标准值和评价方法^[4]。低碳城市指标体系研究方面,2010 年,中国社会科学院公布了评估低碳城市的首个标准体系,包括低碳生产力、低碳消费、低碳资源、低碳政策等四大类 12 项相对指标。谈琦将低碳城市评价指标体系分为三个层次、13 个指标,从碳排放的产生、处理到最终结果给予综合评价^[5]。张文旭^[6]、邵超峰^[7]基于“驱动力—压力—状态—影响—响应”模型原理,构建了低碳城市建设与评价指标体系。低碳经济指标体系研究方面,梁日忠^[8]提出了“支持—投入—响应—产出”模式的区域低碳经济发展指标体系。唐笑飞^[9]运用层次分析法和 K 均值聚类方法,构建了一套对中国省域尺度的低碳经济发展水平评价指标体系。谢传胜^[10]基于

[基金项目] 本文是山东省软科学研究计划项目“绿色低碳城镇评价体系构建及能力建设”(项目编号:2010RKB07006)和“低碳生态小城镇发展模式研究”(项目编号:2012RKB07003)的阶段成果。

[作者简介] 雷刚(1977 -),男,河南信阳人,山东省建设发展研究院院长助理、高级经济师。主要研究方向:低碳生态城市、城镇化。

模糊粗糙集理论,构建了包含经济系统、技术系统、社会系统、能耗排放系统、环境系统5个方面的低碳经济发展评价指标体系及模型。低碳竞争力指标体系研究方面,李军军^[11]在探索低碳经济竞争力内涵的基础上,构建了省际低碳经济竞争力评价指标体系,包含低碳基础竞争力、低碳效率竞争力、低碳潜力竞争力三个方面20项具体指标。张小军^[12]基于低碳竞争力的概念,从低碳能源、低碳产业、低碳产出、低碳环境4个方面构建了低碳竞争力评价体系。

总体来看,低碳生态城市指标体系研究取得重要进展,为指导和引领低碳生态城市建设做出了重要贡献。然而,大多数研究在指标选取上混淆了路径指标与水平指标,影响了评价的公平性和科学性。在绝大多数的指标体系构建中,均将第三产业增加值比重、万人拥有公交车辆等作为衡量城市间“低碳”程度的评价指标,其数值越高表明低碳程度越高。然而,这些指标多是低碳生态城市建设的路径性指标,而非水平性指标。以第三产业增加值比重为例,从单个城市来看,提高服务业比重,减少工业或第二产业比重无疑是减碳的有效措施。然而,从横向对比来看,用第三产业增加值比重衡量低碳发展水平显然有失公允。例如,2010年上海市和东营市万元GDP能耗分别为0.712吨标准煤和0.742吨标准煤,两者相差不大,但同期第三产业增加值比重分别为57.3%和23.7%,差距悬殊。以2010年山东省17设区市为样本,万元GDP能耗与第三产业增加值比重的相关系数仅为-0.169,相关性不大。因此,第三产业增加值比重与低碳水平之间并不存在显著的线性关系,用其评价城市低碳水平既不公平也不科学,调整产业结构、提高服务业比重是低碳生态城市建设的重要路径,而非横向衡量多个城市低碳生态发展水平的科学性指标。其次,在评价方法上,忽视了低碳生态城市的阶段性。低碳是经济社会发展到一定阶段的产物,在城市发展的初期,由于工业基础薄弱,碳排放强度较低,处于低水平的低碳发展阶段;随着工业的不断发展,城市粗放发展模式逐步显现,碳排放强度将显著提高;当城市发展到一定阶段之后,特别是技术和管理创新会使城市碳排放强度逐步下降。因此,低碳生态城市评价必须要考虑低碳的这一阶段性特征。然而,目前

的多数研究忽视了这一问题,仅简单地以碳排放的高低来衡量低碳发展水平。

为弥补以上研究的缺陷,本文试图在区别路径性指标和水平性指标的基础上,构建科学合理的水平性指标,创新相关评价方法,结合城市发展阶段,对低碳生态城市发展水平进行科学评价。

二、低碳生态城市评价的科学基础

(一)碳排放与经济发展阶段关系实证

如前所述,一个国家或地区经济发展与碳排放关系的演化存在三个“倒U型”曲线高峰规律,即该演化过程需要先后经历碳排放强度倒U型曲线高峰、人均碳排放量倒U型曲线高峰和碳排放总量倒U型曲线高峰。根据碳排放的三个“倒U型”曲线规律,可以将碳排放的演化过程划分为四个阶段,即碳排放强度高峰前阶段、碳排放强度高峰到人均碳排放量高峰阶段、人均碳排放量高峰到碳排放总量高峰阶段以及碳排放总量稳定下降阶段。研究表明,碳排放强度高峰相对容易跨越,而人均碳排放量高峰和碳排放总量高峰跨越起来则比较困难^[13]。为此,利用山东省的相关数据对此进行实证分析,具体如图1和图2所示。总体来看,山东省已跨越了碳排放强度的倒U型曲线高峰,但仍处于人均碳排放与碳排放总量左侧的上升期,这是开展山东省绿色低碳城镇评价的最基本的科学基础。

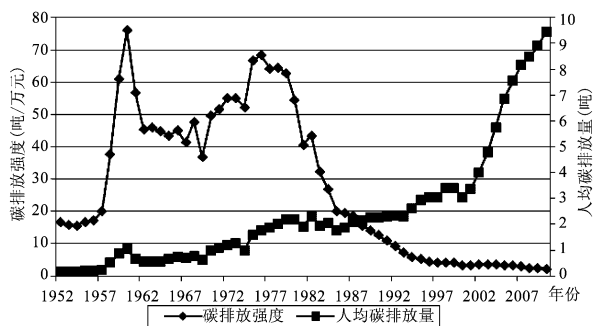


图1 1952年以来山东省碳排放强度与人均碳排放量演变示意图

(二)产业结构与绿色低碳实证分析

产业结构调整是实现城市绿色低碳转型的有效途径,多数学者已经证实了产业结构调整对降低碳排放强度^{[14][15]}和碳排放总量^[16]均有显著的影响。特别是从单个城市来看,调整产业结构,增加第三产业比重显然是降低碳排放的有效途径和手段。以山东省为例,1952年以来,随着产业结构的不断升级

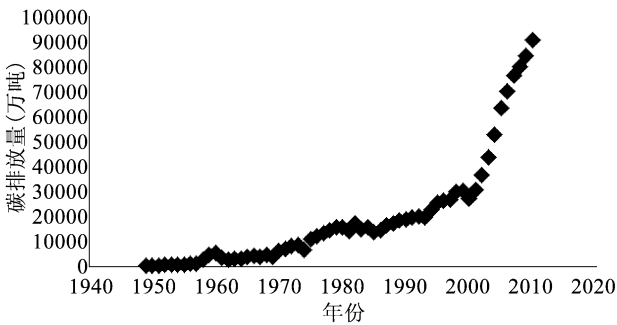


图2 1952年以来山东省碳排放总量演变示意图

和完美,碳排放强度不断下降。利用1952-2010年第三产业增加值比重和万元GDP碳排放强度指标,构建两指标的散点图,结果显示,两者存在显著的负相关关系,即随着第三产业的不断发展,碳排放强度呈逐步下降趋势,如图3所示。

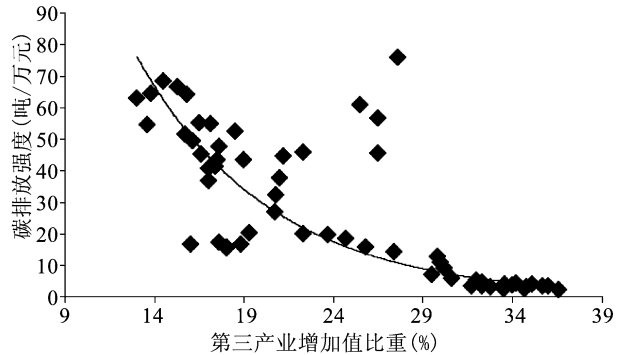


图3 1952-2010年山东省第三产业比重与碳排放强度关系图

但是,产业结构指标属于衡量绿色低碳城镇发展水平的间接性指标,需要与绿色低碳发展水平存在着显著的线性相关关系。然而,从截面数据来看,事实并非如此,山东省17市第三产业增加值比重和碳排放强度指标散点图(图4)显示,二者并不存在显著的相关关系,二者相关系数仅为-0.169。

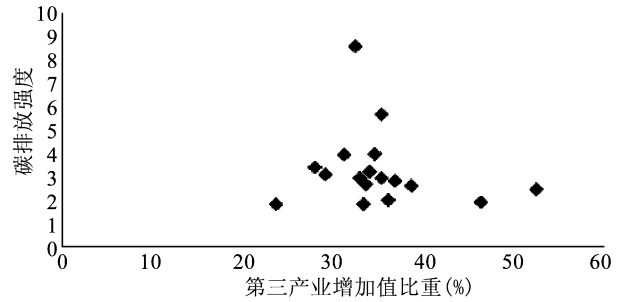


图4 2010年山东省17设区市第三产业比重与碳排放强度散点图

总体来看,产业结构调整是降低碳排放的有效途径,但不是衡量城市绿色低碳发展水平的科学性

指标。城市个体之间的差异导致产业结构层次不同,而碳排放水平可能趋同,产业结构层次与碳排放水平并不存在显著的线性关系。

(三)能源消费的技术反弹效应

Khazzoom(1980)首次指出能源效率提高不一定会导致能源需求下降,能源效率提高可能会导致能源服务的增加,从而使能源消费的实际减少与单位能源服务所消耗能源的减少并不是同比例变化^[17]。Brookes(1978,2000)认为能源效率提高会导致经济增长,经济增长反过来使能源消费增加^[18],即当真实的能源价格不变时,技术进步引起的能源效率提升会增加而不是减少能源消费。这就是能源消费的反弹效应(rebound effect),即技术进步引起能源效率提升,但技术进步带来的收益会引起经济体中个体的行为反应,使得技术进步产生的潜在能源节约并不能全部兑现^[19]。技术的反弹效应不得不使我们重新审视和反思技术进步对绿色低碳城镇的影响,提醒我们不能仅仅把技术进步提高能源效率作为实现城市低碳生态发展的唯一途径,特别是在评价绿色低碳城镇发展水平时,更要慎重选择技术进步方面的相关指标,而对绿色低碳城镇发展水平的评价也不能仅仅局限于碳排放强度等相对低碳层面上,必须同时关注碳排放总量等绝对低碳指标。

三、低碳生态城市评价指标体系的构建

(一)低碳生态指标库构建

参考国内外生态城市、低碳城市、绿色城市等指标体系相关研究成果,将已有指标体系成果中出现的指标分类罗列,并将其中重复、相近的指标进行排除,构建现有绿色低碳指标集。该指标集共包含137个指标,涵盖国内外15个地区和城市低碳生态相关指标体系研究成果。结合山东实际,课题组就137项具体指标进行反复讨论,并征求相关专家的意见,从中选出出现频率较高的67项指标,舍弃相似度较大,存在一定重复性的指标。保留较为先进和代表未来发展趋势的指标。通过课题组内部讨论、专家座谈、发送电子信件等多种形式征询各领域相关专家的意见和建议,并经统计和讨论,最终建立了低碳生态城市指标库。

(二)评价指标的筛选与优化

1. 评价指标的初选

根据上述研究,首先区分路径性指标与评价性指标,确定备选的评价指标与评价目标之间存在确定性的线性关系,确保评价的科学性和准确性。其次,根据低碳生态城市的本质内涵,深入研究低碳生态城市各系统的基本要求,按照质量评价指标体系构建原则,筛选出最能反映低碳生态城市本质内涵和发展趋势的指标,使选取的指标能代表某一领域的综合发展水平,从根本上减少指标数量。第三,进行专家咨询。低碳生态城市评价指标初选完成后,就指标的科学性、完整性、可操作性等,广泛征求各方面专家的意见,并根据专家意见,对初步建立的指标体系作进一步调整优化。经过以上三个步骤,低碳生态城市评价指标体系的筛选工作基本完成。

2. 评价指标的优化

在指标初选的基础上,利用定量方法对低碳生态城市评价指标体系进行优化。首先,检验指标区分度。低碳生态城市质量评价体系要求每个指标都要有较高的区分度,如果该指标值在评价对象之间无差异,那么它对评价结果将不会起到任何作用,据此判定各评价对象的优劣也就无从谈起。利用变异系数法,检验指标的区分度,对于变异系数较小,区分度不大的指标可直接删除。研究中,利用 2010 年山东省部分数据,计算各初选指标的变异系数,对变异系数小于 0.4,区分度明显不够的指标予以删除。其次,检验指标的“冗余度”。为消除指标之间的重复,确保指标的独立性和指标体系的精简性,计算各指标间的相关系数,定义相关系数大于 0.95 以上的为真相关,从真相关指标中择优列为评价指标。通过以上步骤和方法,对低碳生态城市指标体系进行了初选与优化,形成了低碳生态城市评价指标体系,详见表 1。

四、低碳生态城市质量评价方法

根据低碳生态城市评价的基本科学基础,合理确定评价指标权重,选择合适的标准方法,依据低碳与经济发展之间的关系,将经济发展阶段纳入低碳生态城市评价中,进行基于经济发展阶段与水平的低碳生态城市评价,更加科学、客观地评价低碳生态城市,增强实践指导力。

(一)评价指标权重确定

表 1 低碳生态城市评价指标体系

一级指标	二级指标	序号	三级指标	单位	权重 (%)
低碳生态城市	碳排放	1	碳排放量增长弹性系数	%	10.18
		2	万元 GDP 碳排放量	吨/万元	18.35
		3	人均碳排放量	吨二氧化碳	12.52
	碳汇	4	森林覆盖率	%	9.01
		5	人均公园绿地面积	平方米	5.20
	资源环境	6	万元 GDP 取水量	立方米	8.26
		7	万元 GDP 主要污染物排放量	千克/万元	8.78
		8	空气质量良好率	%	8.81
		9	生活垃圾无害化处理率	%	9.47
		10	污水处理厂集中处理率	%	9.42

指标赋权的方法主要有主观赋权、客观赋权以及建立在两者基础之上的组合赋权三类方法。综合考虑主观、客观及组合赋权法的优缺点,课题组认为层次分析法比较适合确定低碳生态城市质量评价指标权重。层次分析法具有以下优势:①定性与定量相结合;②能将复杂系统的评价思维过程数字化;③具有较强的逻辑性、实用性和系统性,采用该方法确定各指标权重,既能充分吸收和借鉴低碳生态领域相关专家、决策者的意见,又能最大限度地避免其他主观赋权法的主观随意性,确保了权重确定的科学性,对低碳生态城市建设起到正确的导向作用。根据低碳生态城市评价指标体系,构建判断矩阵,邀请省内外专家利用 5/5—9/1 比率标度法(如表 2 所示)对各指标的相对重要性进行判断。对判断矩阵进行一致性检验,并最终计算出各指标的权重,如表 1 所示。

表 2 判断矩阵中两元素重要性两两比较的比例标度

取值含义	5/5 - 9/1 标度
两个元素相比,具有同等重要性	5/5 = 1
两个元素相比,前者比后者略微重要	6/4 = 1.5
两个元素相比,前者比后者明显重要	7/3 = 2.333
两个元素相比,前者比后者强烈重要	8/2 = 4
两个元素相比,前者比后者极端重要	9/1 = 9
表示上述相邻判断的中间值	6.5/3.5, 5.5/4.5, 7.5/2.5, 8.5/1.5
若元素 i 与元素 j 的重要性之比为 m, 那么元素 j 与元素 i 的重要性之比为	1/m

(二)评价模型确定

1. 低碳生态城市综合评价模型

鉴于低碳生态是城市发展到一定阶段的产物,同时,低碳发展水平与经济发展之间符合倒 U 曲线的规律,仅用低碳生态城市指数进行评价的科学性和准确性受到影响,必须利用低碳生态指数与经济

发展阶段双指标进行综合性评价。为此,采用象限法进行综合评价,即横轴代表经济发展水平或阶段,用人均 GDP 表示,纵轴代表低碳发展水平,用城市低碳生态指数表示。发达国家碳排放与人均 GDP 之间存在明显的倒 U 型曲线关系,并且倒 U 型曲线拐点所对应的收入水平基本上在人均 GDP3000 - 5000 美元(1990 年价格)左右,考虑到价格因素,我们把坐标轴原点选择在人均 GDP5000 美元和低碳生态指数零点。由此,可形成四个象限,并对应不同的低碳生态发展层次,第一象限为高经低碳,第二象限高经高碳,第三象限为低经高碳,第四象限为低经低碳,具体如图 5 所示。总体来看,低碳城市发展一般经历低经低碳、低经高碳、高经高碳、高经低碳四个发展阶段。为此,在同一象限内,按低碳发展水平进行排序。

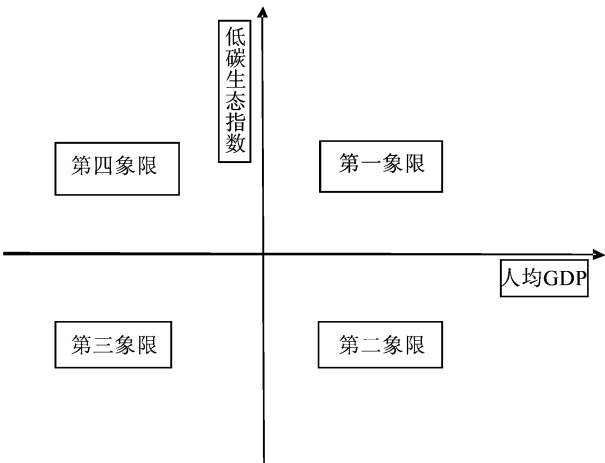


图 5 低碳生态城市评价象限示意图

2. 低碳生态指数合成模型

在多指标综合评价中,合成是指通过一定的算式将多个指标对事物不同方面的评价价值综合在一起,以得到一个整体性的评价。多指标合成的综合评价模型主要有以下几种类型:加权线性和法、乘法合成法、加乘混合法、代换法、主成分分析法^{[20][21]}等。

根据对各种评价模型优缺点的分析,课题组认为加权线性和法能充分突出权重的作用,从而能发挥评价结果的导向作用,并且其存在的评价结果线性补偿问题也可以通过数据标准化处理在很大程度上得到解决,是较为适合低碳生态城市质量评价的方法。

城市低碳生态指数计算公式为:

$$y = \sum_{i=1}^n w_i x_i$$

式中 y 为城市低碳生态指数, w_i 为第 i 项指标的权重, x_i 为第 i 项的标准化值, n 为评价指标个数。

3. 原始数据处理

数据标准化是数据预处理的核心,是通过数学变换来消除原始指标量纲影响的方法,可分为线性与非线性两类,其中线性方法应用最为广泛。常用的线性无量纲化形式有以下几种:标准化处理法、极值处理法、指数化标准化法、归一化处理法、功效系数法等^[22]。鉴于总体评价采用四象限法,标准差标准化的特点是样本均值为 0,标准化后的数据分布在 0 两侧,便于我们设置象限的原点。因此,采用标准差标准化方法对原始数据进行无量纲化处理。

具体如下,对于正向指标:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}$$

对于负向指标:

首先,对指标进行一致化处理。即将逆向指标转换为正向指标:

$$x^* = \frac{1}{x}$$

其次,进行无量纲化处理

$$x'_{ij} = \frac{x^*_{ij} - \bar{x}^*_j}{s_j}$$

式中 $\bar{x}_j, s_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 分别为第 j 项指标观测值的(样本)平均值和(样本)均方差, x_{ij} 为实际观测值, x' _{ij} 为标准化值。

五、山东省低碳生态城市发展质量评价

(一) 质量评价结果

利用 2010 年山东省 17 地市相关数据,按照上述低碳生态城市评价指标体系和质量评价方法,计算各地市的低碳发展指数,结果如表 3 所示,并结合经济发展水平,利用象限法进行分析评价,结果如图 6 所示。

(二) 全省低碳生态城市发展格局

根据评价结果,可以将全省低碳生态城市发展层次分为四个类型:

一是高经低碳类型,包括威海、烟台、青岛、潍坊、泰安、东营六个城市,主要分布在东部沿海地区,

表 3 发展指数一览表

城市	低碳生态发展指数	人均 GDP(美元)
山东省	-0.28	6072
济南市	-0.06	8560
青岛市	0.61	9722
淄博市	-0.23	9363
枣庄市	-0.66	5439
东营市	0.15	17195
烟台市	0.88	9196
潍坊市	0.32	5061
济宁市	-0.31	4659
泰安市	0.25	5521
威海市	0.88	10220
日照市	-0.14	5447
莱芜市	-0.45	6262
临沂市	0.33	3555
德州市	-0.12	4411
聊城市	-0.04	4202
滨州市	-0.43	6152
菏泽市	-0.71	2191

资料来源:根据《山东省统计年鉴 2011》整理计算。

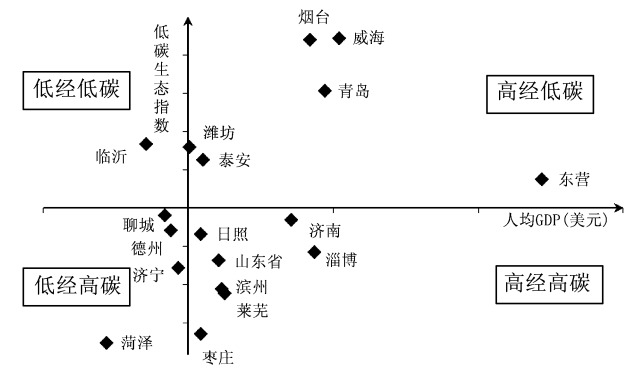


图6 2010年山东省17设区市低碳生态发展水平评价结果

其人均 GDP 均超过 5000 美元,低碳生态城市指数在 0.15 以上,代表我省低碳生态城市发展的较高水平。总体上看,这些城市已经跨越了碳排放强度的倒 U 型曲线的峰值,近年来碳排放强度逐步降低,而且碳排放水平在全省处于领先,如烟台、东营、青岛单位 GDP 能耗度已降至 0.8 吨标准煤以下,居全省前三位;青岛、威海万元 GDP 取水量降至 20 立方米以下,资源利用率较高。这类城市生态建设成效同时显著,如六市生活垃圾无害化处理率全部达到 100%,空气质量良好率均在 90% 以上。这些城市下一步要在继续引领全省低碳生态建设,降低碳排放强度的同时,逐步跨越人均碳排放倒 U 型曲线的峰值。

二是高经高碳类型,包括济南、日照、淄博、滨

州、莱芜、枣庄六个城市,这些城市人均 GDP 已超过 5000 美元,进入新的发展时期,高碳发展特征仍十分明显,除济南外,其他城市万元 GDP 能耗全部高于全省平均水平,其中莱芜最高,达 3.51 吨标准煤,从人均碳排放来看,6 市全部高于全省平均水平,其中莱芜、淄博分别达 14.76 和 10.22 吨二氧化碳。因此,未来这类城市在保持适当经济发展的同时,要着重提高资源能源利用率,降低碳排放强度,积极向高经低碳方向跨越。

三是低经高碳类型,包括聊城、德州、济宁、菏泽四市,主要分布于我省的西部地区,这些城市是我省的欠发达地区,经济发展与东部沿海差距较为明显,工业化和城镇化水平不高,经济社会发展模式仍较粗放,资源能源利用效率不高,四市万元 GDP 能耗介于1.2-1.4吨标准煤之间,但人均碳排放强度明显低于东部沿海地区和全省平均水平,因此,四市未来面临碳排放强度与人均碳排放双重上升的压力。

四是低经低碳类型,代表城市临沂。一般而言,低经低碳的发展类型对应人均 GDP3000 美元以下的城市,从全省情况看,我省 17 地市基本上全部进入 3000 美元以上,特别是临沂已达 3555 美元,因此,临沂作为低经低碳类型在我省属于特例,表明临沂在发展的过程中非常注重资源节约和环境友好建设,努力避免重蹈先污染后治理的老路,为下一步实现低碳生态发展奠定了坚实的基础。但同时,也应清醒地看到,临沂正处于工业化和城镇化的快速发展时期,经济快速发展需要较大的碳排放空间,未来的关键是要统筹协调好经济发展与低碳生态建设的关 系,不能因为过于追求低碳而影响经济社会发展,但也不能浪费当前低碳生态建设的良好局面。

总体来看,我省城市高碳发展特征仍然明显。从全省和 17 地市情况看,我省碳排放总量仍呈加速递增态势,全省 17 地市碳排放量增长弹性系数全部大于 1,表明 2010 年各市碳排放量呈增长态势,且较 2009 年的增长量较大,其中菏泽最高,达到 1.59,增长幅度最大。因此,目前我省低碳生态建设的重点仍然是相对脱钩发展,而非绝对脱钩发展。从全省来看,我省总体上仍处于高经高碳的发展阶段,从 17 设区市看,属于高碳发展类型的城市达 10 个,占全部设区市个数的 58.8%。其次,我省多数城市进

入低碳生态转型发展的关键期。我省已有 12 个设区市人均 GDP 达 5000 美元以上,进入 5000 - 10000 美元发展的关键转型期,这一时期既是重大发展机遇期,又是矛盾的多发期,如果处理得当,可以快速跨过 1 万美元大关,如果处理不当,则可能掉入中等收入国家陷阱,面临低碳生态建设的严峻挑战。从评价结果看,在 12 市中,仍有一半的城市在跨过 5000 美元大关后,低碳生态建设的成效并不明显,仍处于明显的高碳发展阶段,脱钩发展的压力仍然较大。

六、结论

低碳生态城市建设是一项长期的系统工程,需要对其建设成效进行长期科学的监测评价。低碳生态城市发展水平评价必须依据其自身发展规律。低碳生态城市发展存在三个倒 U 型曲线规律,并非简单的线性关系,开展低碳生态评价必须依据这一科学事实。单纯注重考察低碳生态发展水平,忽视具体发展阶段的评价,可能导致错误的结论。其次,低碳生态城市评价指标选取必须体现公平性。在部分研究中,把指标选取的公平性简单理解为选用相对性指标,而不进行深层次的分析研究,容易造成公平的假象,只注重纵向公平,忽视横向公平,同样导致评价结果的不公,指标公平必须实现纵向和横向的公平。

参考文献:

- [1] 中国城市科学研究会等. 中国城市规划发展报告 2008 - 2009 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 89 - 102.
- [2] 张坤民, 温宗国等. 生态城市评估与指标体系 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [3] 吴琼, 王如松等. 生态城市指标体系与评价方法 [J]. 生态学报, 2005, (08).
- [4] 常克艺, 罗上华, 王祥荣. 生态型城市指标体系研究 [J]. 上海环境科学, 2003 年增刊: 76 - 79.
- [5] 谈琦. 低碳城市评价指标体系构建及实证研究——以南京、上海动态对比为例 [J]. 生态经济, 2011, (12): 81 - 96.
- [6] 张文旭, 王大庆, 王宏燕. 黑龙江垦区低碳城镇指标

体系初探 [J]. 东北农业大学学报, 2011, (03): 23 - 27.

[7] 邵超峰, 鞠美庭. 基于 DPSIR 模型的低碳城市指标体系研究 [J]. 生态经济, 2010, (10): 95 - 99.

[8] 梁日忠. 长三角区域低碳经济发展状态评价研究——以上海市为例 [J]. 中国发展, 2011, (05): 21 - 26.

[9] 唐笑飞, 鲁春霞, 安凯. 中国省域尺度低碳经济发展综合水平评价 [J]. 资源科学, 2011, (04): 612 - 619.

[10] 谢传胜等. 城市低碳经济综合评价及发展路径分析 [J]. 技术经济, 2010, (08): 29 - 32.

[11] 李建军, 周利梅. 福建省低碳经济竞争力评价及提升对策 [J]. 综合竞争力, 2011, (03): 75 - 80.

[12] 张小军. 关于低碳经济竞争力评价体系构建的研究 [J]. 商业时代, 2011, (34): 16 - 17.

[13] 陈劲峰, 刘扬, 邹秀萍等. 碳排放的历史考察与减排驱动力分析 [A]. 中国科学院可持续发展战略研究组. 2009 中国可持续发展战略报告——探索中国特色的低碳道路 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.

[14] 李健, 周慧. 中国碳排放强度与产业结构的关联分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2012, (01): 7 - 14.

[15] 虞义华, 郑新业, 张莉. 经济发展水平、产业结构与碳排放强度 [J]. 经济理论与经济管理. 2011, (03): 72 - 81.

[16] 董锋, 谭清美, 周德群等. 技术进步、产业结构和对外开放程度对中国能源消费总量的影响 [J]. 中国人口·资源与环境, 2010, (06): 22 - 27.

[17] Khazzoom, J. D. Energy savings from the adoption of more efficient appliance [J]. Energy Journal, 1987, 3 (1): 117 - 124.

[18] Brookes, L. G. Energy efficiency and economic fallacies: A reply [J]. Energy Policy, 1992, (20): 390 - 392.

[19] Peter H. G. Berhout, Jos C. Muskens, Jan W. Velthuisen Defining the rebound effect [J]. Energy policy, 2000, (28): 452 - 432.

[20] 邱东. 多指标综合评价中合成方法的系统分析 [J]. 财经问题研究, 1991, (06): 39 - 42.

[21] 郭亚军. 综合评价理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[22] 马立平. 统计数据标准化——无量纲化方法 [J]. 北京统计, 2000, (03): 34 - 35.

(责任编辑: 郝 涛)