

# 城市低碳发展水平的组合评价研究 ——以江苏13城市为例

王锋, 傅利芳, 刘若宇, 刘娟, 吴从新

(中国矿业大学 管理学院, 江苏 徐州 221116)

**摘要:** 为克服单一评价方法的不足, 文章构建了低碳城市发展的组合评价模型: 首先, 选择因子分析法、熵值法、Topsis法三种单一客观赋权评价方法作为组合评价模型的基础; 其次, 运用Kendall一致性系数进行事前相容检验; 再次, 建立了平均值法、Borda法、Copeland法三种组合评价模型, 并且使用Kendall协同检验进行事前检验; 最后, 运用Spearman等级相关系数进行了事后一致性检验。运用此组合评价模型并结合江苏13城市数据进行了实证分析, 研究表明: 单一评价方法得到的结果不尽相同, 但具有较为明显的协调一致性; 经过组合得到的评价结果整体排名比较稳定, 组合评价方法和原始的单一评价方法之间存在显著的关联性; 从各区域来看, 苏南、苏中、苏北城市的低碳发展大致呈现出“南高北低”的区域分布特征; 平均值法得到的组合排序结果和原始单一评价方法关联性最强, 可以作为测度江苏低碳城市发展水平的参考, 最终的评价结果排序依次为: 苏州、无锡、常州、南京、扬州、南通、盐城、泰州、镇江、徐州、淮安、宿迁。

**关键词:** 城市低碳水平; 一致性; 组合评价; 评价指标

中图分类号: F293; X22 文献标识码: A 文章编号: 1671-4407(2016)03-046-06

## Combined Evaluation on the Level of City Low-Carbon Development: Taking 13 Cities in Jiangsu Province as Examples

WANG Feng, FU Lifang, LIU Ruoyu, LIU Juan, WU Congxin

(School of Management, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu 221116, China)

**Abstract:** In order to overcome the shortcomings of the single evaluation method, a combined evaluation model for low-carbon city development is established in this essay. Firstly, it chooses the single objective weight evaluation method, which includes factor analysis, the entropy method and TOPSIS method, as the basis of combination evaluation model. Secondly, it applies the mean value method, Borda method and Copeland method to set up three kinds of combination evaluation models respectively. And it uses the Kendall consistency coefficient test to do the ante test. Thirdly, Spearman rank correlation is carried out to examine the consistency of the combined method. This new measure is then applied to a case study of the level of city low-carbon development evaluation on 13 cities in Jiangsu Province. The outcomes indicate that the results from using single evaluation methods are different but they have obvious consistency. And the results are stable from applying the combine method, the correlation between the combination evaluation method and the original single evaluation method is significant. From the regional perspective, the low-carbon city development of the south area, the middle area and the north area of Jiangsu has a regional distribution characteristic of higher in the north and lower in the south. The result from using the mean method could be better, which is more relevant to the original ones than others. The final evaluation on the level of city low-carbon development results by descending order are Suzhou, Wuxi, Changzhou, Nanjing, Yangzhou, Nantong, Yancheng, Taizhou, Zhenjiang, Xuzhou, Huai'an, and Suqian.

**Key words:** the level of city low-carbon development; consistency; combined evaluation; evaluation index

低碳经济是国际社会为了应对大量消耗化石能源引 形态。城市作为人类活动的中心, 聚集了半数以上的人起的全球气候灾害性变化而提出的新的发展方式和经济 口, 是人类社会经济、政治、文化发展的重要载体。从

基金项目: 教育部人文社会科学研究项目“区域低碳发展指数构建及其应用”(14YJCZH146); 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”(12GLC009); 全国统计科学研究项目一般项目“城市群城市低碳发展的空间差异与互动关系研究”(2015LY14); 全国统计科学研究重点项目“时空效应视角下的区域低碳发展评价研究”(2014LZ26); 国家自然科学基金项目“空间场视角下的中国能源基地可持续发展评价与优化”(71403268); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目“基于空间距离法的区域低碳发展指数模型研究”(2014WB15); 江苏省普通高校研究生实践创新计划项目“江苏省生态城市评价指标与评价方法研究”(SJZZ15\_0186); 教育部人文社会科学研究项目“金融市场的函数型数据挖掘方法与应用研究”(15YJCZH162)

作者简介: 王锋(1980~), 男, 江苏盐城人, 博士, 副教授, 研究方向为区域低碳发展评价; 傅利芳(1991~), 女, 江苏苏州人, 硕士生, 研究方向为空间统计与空间计量; 刘若宇(1992~), 男, 江苏徐州人, 硕士生, 研究方向为生态经济评价; 刘娟(1979~), 女, 河南开封人, 博士, 副教授, 研究方向为能源经济与管理; 吴从新(1977~), 男, 江苏连云港人, 博士生, 讲师, 研究方向为区域低碳经济评价。

1978 ~ 2014年,我国的城镇化率从不到20%一跃上涨至53.7%,每年有超过1600万人涌入到城市中去,过去的10年来,城市所创造的GDP占到国家75%的同时,消耗着约70%的能源,排放了约60%的二氧化碳。2011年发布的《国民经济和社会发展第十二个五年(2011~2015年)规划纲要》,对我国“十二五”期间的节能减排做出了约束性的要求。为实现低碳发展的目标,势必要求各地区经济发展方式的转型和经济结构的调整。但现实的情况是,由于各地区在经济结构、低碳技术水平、发展阶段、能源结构等方面存在较大的差异,导致低碳发展水平具有明显的差异性。为了剖析城市低碳发展过程中的重点问题,评价城市低碳建设质量,指导低碳城市未来发展方向和目标,需要构建一个科学高效的低碳城市评价指标体系,并选择客观、科学、系统的评价方法来进行综合评价。

## 1 文献综述

国内低碳城市评价体系的研究大致包括以下四个方面:一是从经济、社会和环境三个层面构建低碳城市评价指标体系,如谈琦<sup>[1]</sup>,蒋惠琴等<sup>[2]</sup>;二是考虑到了人类社会经济活动中的资源消耗对城市的影响,从经济、社会、资源和环境四个层面来评价低碳城市发展水平,如华坚等<sup>[3]</sup>,刘钦普<sup>[4]</sup>;三是从人类生产生活为主体,从低碳生产力、低碳消费、低碳资源和低碳环境四个维度设计更为全面的低碳城市评价指标体系,如杨卫华等<sup>[5]</sup>,王雨<sup>[6]</sup>;第四类是尝试考虑更多的维度,包括人口、经济、城市化、产业、技术进步、能源、人文、生态、交通、建筑等方面,如张伟等<sup>[7]</sup>,张旺等<sup>[8]</sup>,李子良等<sup>[9]</sup>,江正平等<sup>[10]</sup>,李新运<sup>[11]</sup>。

构建评价体系是低碳城市综合评价的基础,在评价体系的基础上需要运用适当的方法进行综合评价。对低碳城市综合评价的评价方法主要分为四类,一类是运用德尔菲法、层次分析法等主观方法来进行综合评价,如马宁等<sup>[12]</sup>,朱婧等<sup>[13]</sup>;第二类是线性加权法,如马军等<sup>[14]</sup>,周跃云等<sup>[15]</sup>;第三类是设定阈值(目标临界值),以是否达到阈值为考核标准,如赵国杰等<sup>[16]</sup>,王爱兰<sup>[17]</sup>,刘亮等<sup>[18]</sup>;第四类是运用因子分析法、熵值法等客观赋权的方法,如张巍等<sup>[19]</sup>。

综观现有研究,在低碳城市评价指标体系构建方面,众多学者根据不同的出发点,构建了各有侧重的评价指标体系,但大多忽略了低碳政策维度,而低碳发展离不开制度环境的配套与政策工具的推动。因此,是否具有完善的低碳发展政策可以反映某城市向低碳城市转型的努力程度。所以,既考虑了城市低碳发展的客观条件,又考虑了城市低碳发展努力程度的评价指标体系相对更加全面。

在评价方法方面,现有的评价方法多种多样,但研究过程中普遍采用某一种方法进行单一评价,但是单一的评价

方法存在自身难以克服的缺点,且应用不同方法对同一对象进行评价所得结果也会存在差异,所以如果仅仅用单一方法进行评价,其结果无疑会具有一定的片面性。鉴于此,为了提高评价结果的可信度,有必要取长补短,将不同评价方法进行适当的组合并进行综合评价。

目前,国内已有学者将组合评价方法运用到评价实践中,如李美娟等<sup>[20]</sup>,周莹等<sup>[21]</sup>,李从欣等<sup>[22]</sup>,刘维跃等<sup>[23]</sup>,但组合评价方法在应用中还存在一些不足:第一,忽视指标的标准化处理问题,因为不同类型的指标具有不同的量纲和作用力方向(正向、反向或适度指标),所以建模之前需要选择适当的标准化处理方法来消除指标的量纲和方向的影响,否则得到的综合指数是没有经济意义的;第二,普遍缺乏逻辑严密的事前相容性检验与事后一致性检验。一方面,如果各单一评价方法在相关性不强的情况下强行组合是没有经济意义的,另一方面,不同的组合评价方法得到的结果也可能是不一致的;第三,对单一方法的选择,众多文献采用德尔菲法、层次分析法等主观赋权评价方法,但此类方法具有主观随意性强的特点,特别是当评价指标过多时,专家的经验可信度会降低,从而在此基础上得到的组合评价结果的客观性也将会受到影响。基于以上考虑:首先,本文增加了低碳政策维度,从而构建了包含低碳产出、低碳环境、低碳社会和低碳政策等四个维度相对全面的城市低碳发展综合评价指标体系;其次,为使最终评价指数具有经济意义,在建模之前对原始数据进行了极值标准化处理;再次,为克服单一评价结果的片面性,构建了多种组合评价模型进行对比分析,与此同时,为保证评价结果的客观性,基础评价方法选择的是客观赋权类方法;最后,为保证组合评价结果的有效性与一致性,在组合评价过程中进行了严密的事前相容性检验与事后一致性检验,从而最终得到可以综合测度城市低碳发展水平的评价结果。

## 2 低碳城市评价指标体系的构建

### 2.1 指标体系构建原则

#### 2.1.1 系统层次性原则

系统性要求指标体系包含低碳城市的总体目标和具体实施路径,反映城市在生产、资源、社会、政策、环境、设施等各个方面的状况,有机联系评价指标和评价目标,突出重点的同时适当忽略影响较小的指标。层次性要求指标体系包含低碳城市的总体发展目标、影响低碳城市发展的子系统和子系统下的具体基础性指标三个层次,在注意同级指标之间互斥性的同时兼顾上一级指标实现的全面性。

#### 2.1.2 科学可比性原则

科学性要求指标体系的设计严格符合低碳城市的内

涵,可以合理、全面地描述低碳城市发展的质量。可比性要求指标体系具有较强的兼容性,可以进行一定的推广和应用,便于不同城市之间低碳发展水平的对比。

### 2.1.3 针对可操作原则

针对性要求指标体系的具体指标要具有一定的代表性,力图符合低碳城市建设的具体情况。可操作性要求指标体系尽可能选用现有的、便于收集的指标,难以量化和数据不易获得的指标暂不列入指标体系。

## 2.2 低碳城市评价指标体系

本文从低碳产出、低碳环境、低碳社会、低碳政策四个维度,构建了包括20个观测指标的城市低碳发展的评价指标体系,如表1所示。

表1 城市低碳发展的综合评价指标体系

准则层	准则层	指标层	单位	指标类型
城市低碳发展水平	低碳产出	单位 GDP 能耗(A <sub>1</sub> )	tce/万元	负向
		污水处理率(A <sub>2</sub> )	%	正向
		工业固体废弃物综合利用率(A <sub>3</sub> )	%	正向
		年生活垃圾无害化处理能力(A <sub>4</sub> )	吨	正向
		第三产业比重(A <sub>5</sub> )	%	正向
	低碳环境	建成区绿化覆盖率(B <sub>1</sub> )	%	正向
		API≤100的天数(B <sub>2</sub> )	天	正向
		自然保护区比重(B <sub>3</sub> )	%	正向
		人均绿地面积(B <sub>4</sub> )	平方米	正向
		单位 GDP 的 SO <sub>2</sub> 排放(B <sub>5</sub> )	吨/万元	负向
	低碳社会	万人拥有公交车数量(C <sub>1</sub> )	辆	正向
		城市化率(C <sub>2</sub> )	%	正向
		恩格尔系数(C <sub>3</sub> )	%	负向
		人均预期寿命(C <sub>4</sub> )	年	正向
		万人科技人员数量(C <sub>5</sub> )	人	正向
	低碳政策	燃气普及率(C <sub>6</sub> )	%	正向
		非农业人口比例(C <sub>7</sub> )	%	正向
		环境保护投资占 GDP 的比重(D <sub>1</sub> )	%	正向
		低碳经济规划完善程度(D <sub>2</sub> ) 包括:是否具有具体排放目标 是否具有完善的评价指标体系 是否具有低碳经济规划 是否具有低碳发展实施方案	%	正向
		R&D 投入占 GDP 比重(D <sub>3</sub> )	%	正向

## 3 城市低碳发展水平组合评价模型构建

本文选择的单一评价方法是客观赋权法中比较具有代表性的因子分析法,熵权法和 Topsis 法。然后,在此类单一评价方法的基础上构建组合评价模型,本文选取的组合评价方法包括均值法、Borda 法和 Copeland 法三类。此外,组合评价的事前检验采用 Kendall 相容性检验,事后检验采用 Spearman 等级相关系数法。

### 3.1 单一评价方法

#### 3.1.1 因子分析法

因子分析法的思路是基于数据内部之间的依赖关系,在保证原始信息丢失最少的原则下,将众多变量归集为少数几个具有较大影响的综合因子,同时将抽取出的因子方差贡献作为权重,构建综合得分函数。因子分析法的步骤是:先将数据进行标准差标准化处理,然后对因子分析进

行可行性检验,提取因子和因子的方差贡献率,最后得到综合评分。

#### 3.1.2 熵值法

熵值法的是借助信息论中对于不确定性的度量方法,即信息容量越复杂,不确定性就越小,熵值也就越小;反之,信息容量越简单,不确定性就越大,熵值也就越大。熵值法的步骤是:先将数据标准化,然后确定熵值  $h_i$ , 继而确定熵权  $W_i$ , 其中  $h_i$  和  $W_i$  以及熵值综合评分  $Y_i$  的计算公式为:

$$h_i = -\sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (1)$$

$$f_{ij} = \frac{D_{ij}}{\sum_{j=1}^n D_{ij}} \quad (2)$$

$$W_i = \frac{1-h_i}{m-\sum_{i=1}^m h_i} (0 \leq W_i \leq 1, \sum W_i = 1) \quad (3)$$

$$Y_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} \cdot W_j \quad (4)$$

其中,  $m$  代表指标个数,  $n$  代表评价对象个数,  $D_{ij}$  代表第  $j$  个评价对象对应第  $i$  个指标的标准化数值,  $Y_i$  代表的是最终得分。

#### 3.1.3 Topsis 法

Topsis 法的主要的思路是根据有限的评价指标与理想目标的接近程度来进行排序,即距离最优解距离最近的同时距离最劣解距离最远为优,反之不为最优。该方法回避了指标权重的赋值,主要是对现有对象中进行相对优劣的评价。Topsis 法的步骤是:先将数据进行标准化处理得到点集  $Z_{ij}$ , 找到最优点集  $Z_i^+$ , 最劣点集  $Z_i^-$ , 计算每个指标和最优点集、最劣点集的距离  $D_i^+$  和  $D_i^-$ , 继而得到指标值与最优点集的距离  $C_i$ , 计算公式为:

$$Z_{ij} = X_{ij} / \sqrt{\sum (X_{ij})^2} \quad (5)$$

$$D_i^+ = \sqrt{\sum (Z_{ij} - Z_i^+)^2} \quad (6)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum (Z_{ij} - Z_i^-)^2} \quad (7)$$

$$C_i = D_i^- / (D_i^- + D_i^+) \quad (8)$$

### 3.2 组合评价的事前检验: Kendall 协同检验

组合评价法的事前检验的目的是检验用于组合评价的各种方法的单一排序结果是否具有一致性,本文采用 Kendall 协同检验系数对组合评价进行事前检验,当评价对象数目小于 7 个(含 7 个),系数计算公式是:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n R_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n R_i \right)^2}{n(n^2-1)} \quad (9)$$

当评价数目大于 7 个,系数计算公式是:

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n R_i^2 - 3m^2 n(n+1)^2}{m^2 n(n^2-1)} \quad (10)$$

其中,  $m$  是评价方法的数目,  $n$  是评价对象的数目,  $R_i$  表示的是在所有评价方法下第  $i$  个评价单位的秩(序数)之和。当评价对象数目小于 7 个(含 7 个)的时候,按照给

定的显著性水平,通过查“Kendall 协同检验系数”来进行假设检验。当评价对象数目大于7个的时候,构建统计量  $\chi^2=m(n-1)W$ ,在样本足够大的时候近似服从  $\chi^2(n-1)$  的分布,按照给定的显著性水平进行假设检验,判断评价方法之间是否具有一致性。

### 3.3 组合评价方法

组合评价方法的目的是将集中具有代表性的评价方法按照一定方式进行组合,得到组合评价值和组合评价结果。本文选取的组合评价方法主要有均值法、Borda法和Copeland法。

均值法的思路是将  $m$  种相同的单一评价方法下的排序转换成相应的分数,计算不同方法下的分数均值,最后按照均值进行重新排序。如果出现均值相等的情况,按照不同方法下的低分标准差小者为优。

Borda法的思路是按照少数服从多数的原则,若评价对象  $A_i$  由于评价对象  $A_k$  的个数大于评价对象  $A_k$  优于评价对象  $A_i$  的个数,记为事件  $A_iSA_k$ ,定义Borda矩阵  $B=[b_{ik}]$  :

$$b_{ik} = \begin{cases} 1, & A_iSA_k \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

评价对象  $A_i$  的综合得分是  $b_i = \sum_{k=1}^n b_{ik}, i=1, 2, \dots, n$ 。若存在评价对象得分相同的情况,取其标准差小者为优。

Copeland法是Borda法的延伸,比较而言,Copeland法进一步区分了优劣状况,除了对“优”赋值以外,还增加了“相等”和“劣”的赋值。定义Copeland矩  $C=[c_{ik}]$  :

$$c_{ik} = \begin{cases} 1, & A_iSA_k \\ 0, & \text{其他} \\ 1, & A_kSA_i \end{cases} \quad (12)$$

评价对象  $A_i$  的综合得分是  $c_i = \sum_{k=1}^n c_{ik}, i=1, 2, \dots, n$ 。根据  $c_i$  的大小进行综合排序,若存在评价对象得分相同的情况,取方差小者为优。

### 3.4 组合评价的事后检验: Spearman等级相关系数法

组合评价方法事后检验的目的是检验组合后的评价方法与原始单一方法所得排序之间的相关程度。基于此,可以通过相关程度对评价方法进行筛选。本文采取Spearman等级系数相关法进行组合评价事后检验。当评价对象数目小于10(含10个),构建统计量  $\rho_k$  :

$$\rho_k = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \rho_{jk} \quad (13)$$

当评价对象数目大于10个的时候,构建统计量  $t_k$  :

$$t_k = \rho_k \sqrt{\frac{n-2}{1-\rho_k^2}} \quad (14)$$

其中,  $\rho_{jk}$  表示第  $k$  种组合评价方法与第  $j$  种评价方法之间的Spearman等级系数,数值越大表明相关性越高,  $\rho_k$  表

示第  $k$  种组合方法和原  $m$  种评价方法之间的平均相关程度。  $t_k$  服从  $t(n-2)$  分布,根据给定的显著性水平进行假设检验。

## 4 城市低碳发展水平组合评价的实证分析

### 4.1 数据来源与处理

本文所采取的数据来源于《2014年江苏统计年鉴》和江苏各地级市2014年的统计年鉴。需要特别说明的是,指标体系中的低碳经济规划是根据各地市所披露的信息,按照是否具有具体排放目标?是否具有完善的评价指标体系?是否有低碳经济规划实施路线和方案四个部分进行打分。具体的方法是,假设A市存在上述四个部分中的  $N$  个部分( $N \leq 4$ ),则得分为  $N/4$ 。

在分析数据时,为了消除原始数据中量纲大小、自身变异大小以及指标的方向性问题,需要对原始数据进行标准化处理,处理后的指标使得最终低碳发展总体发展水平指数具有了经济意义,能够直接进行对比分析。本文采用极值法进行标准化,正向指标标准化的公式为:

$$X_{ij}^* = \frac{X_{ij} - \min X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} \quad (15)$$

负向指标的标准化公式为:

$$X_{ij}^* = \frac{\max X_{ij} - X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} \quad (16)$$

其中,  $X_{ij}$  为第  $j$  个评价对象的第  $i$  个指标数值,  $\max X_{ij}$  为  $X_{ij}$  的极大值,  $\min X_{ij}$  为  $X_{ij}$  的极小值。  $X_{ij}^*$  有以下特征:一是对于每个  $i, j$ , 都有  $0 \leq X_{ij}^* \leq 1$ ;二是当  $X$  为正向指标时,如果  $X_{ij} = \min X_{ij}$ , 则  $X_{ij}^* = 0$ , 如果  $X_{ij} = \max X_{ij}$ , 则  $X_{ij}^* = 1$ ;当  $X$  为负向指标时,如果  $X_{ij} = \max X_{ij}$  则  $X_{ij}^* = 0$ , 如果  $X_{ij} = \min X_{ij}$ , 则  $X_{ij}^* = 1$ 。

### 4.2 实证结果与分析

#### 4.2.1 实证过程

组合评价方法的基本思路(图1)是:首先,选用单一评价方法分别进行评价;其次,采用事前检验方法对单一评价结果进行相容性检验,对单一评价方法进行筛选,剔除不相容的方法模型;然后,基于评价排序组合模型,整合单一模型;最后,对各评价模型排序结果与所有单一评价模型排序结果进行事后一致性检验,选择最佳的组合模型。

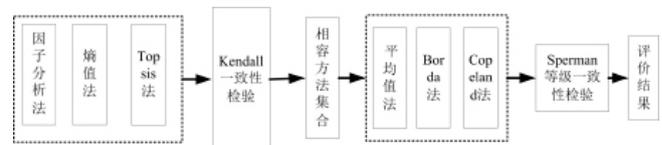


图1 组合评价方法基本思路

第一步:运用三种单一评价方法对江苏13城市的低碳发展水平进行评价,评价结果及排序如表2所示。

第二步:对三种单一评价结果进行事前检验,选用的方法是Kendall相容性检验。得到的  $W$  为 0.697, 卡方统

表2 单一评价方法的评价结果

评价结果 城市	因子分析法		熵值法		Topsis 法	
	排序	得分	排序	得分	排序	得分
南京	3	0.5075	2	0.7776	6	0.9999
无锡	1	0.7538	4	0.4659	2	0.9046
徐州	9	-0.3175	5	0.3566	13	0.7988
常州	4	0.4217	3	0.4796	1	0.7909
苏州	2	0.6849	1	0.8991	3	0.7627
南通	5	0.0793	12	0.1477	4	0.7416
连云港	13	-0.5645	9	0.211	12	0.697
淮安	12	-0.5436	7	0.3404	10	0.5889
盐城	8	-0.289	13	0.13	5	0.5859
扬州	7	-0.0303	6	0.342	7	0.3762
镇江	6	0.0075	10	0.1704	11	0.3569
泰州	11	-0.3648	8	0.2595	8	0.1254
宿迁	10	-0.345	11	0.1704	9	0.0001

计量是 23.4, 大于  $\chi_{0.05}^2(12)$  临界值 21.026, 检验结果表明三种方法具有相容性。

第三步: 利用组合评价方法对单一评价方法得到的结果进行组合, 组合评价得到的结果如表 3 所示。

表3 组合评价结果

评价结果 城市	平均值法		Borda 法		Copeland 法	
	排序	得分	排序	得分	排序	得分
南京	4	10.33	4	10	4	8
无锡	2	11.67	2	11	2	10
徐州	10	5	10	3	10	-5
常州	3	11.33	3	10	3	8
苏州	1	12	1	11	1	10
南通	6	7	5	8	5	4
连云港	13	2.67	13	0	13	-12
淮安	11	4.33	11	2	11	-8
盐城	7	5.33	7	5	7	-2
扬州	5	7.33	6	7	6	2
镇江	9	5	9	4	9	-4
泰州	8	5	8	4	8	-4
宿迁	12	4	12	1	12	9

第四步: 采用 Spearman 等级系数进行事后一致性检验。上述三种评价模型得到的  $t$  值分别是 4.3715、4.3466、4.3466, 均明显大于  $t_{0.05}(11)$  的临界值 2.201, 表明三种组合评价模型均通过一致性检验。根据  $t$  值的大小确定平均值法作为城市低碳发展水平的最终结果。

4.2.2 结果分析

由单一的评价方法得到的结果来看, 总体上, 除了南通、盐城、徐州和镇江的低碳城市发展综合得分排序结果差别较大之外, 其他城市在不同评价方法下的综合排序结果都比较稳定。

从不同评价方法的评价结果来看, 因子分析法中, 一共提取了 5 个主成分, 根据载荷的系数, 分别将这五个主成分命名为城市建设水平因素、城市空气环境状况因素、城市低碳政策因素、城市人口因素、城市技术因素。其中, 前三个因素占比较大, 而城市建设水平因素尤其重要。由排序结果来看, 无锡、南京、苏州、常州排名比较靠前, 他们的共同特点有: 一是经济发展水平方面, 第三产业所

占比已经接近 50%, 平均的城镇化率 73.7%, 尤其是南京的城镇化率已接近 80%; 二是城市基础设施方面, 污水处理率平均达到 95%, 垃圾无害化年处理水平平均为 1476881.25 吨, 万人拥有公交车数量接近 20 辆, 特别是苏州和常州, 万人拥有的公交车数量已经超过 20 辆。

在熵值法中, 生活垃圾无害化年处理能力( $A_4$ )、自然保护区比重( $B_3$ )、人均绿地面积( $B_4$ )、万人科技数量( $C_5$ )、环境保护占 GDP 的百分比( $D_1$ )的权重比较大, 是测度低碳城市发展水平的主要指标。这 5 个指标反映的是建设低碳城市的环境、科技和政策三个方面, 尤其是自然保护区比重( $B_3$ )和人均绿地面积( $B_4$ )占比较大, 是利用熵权法进行评价的重要影响因素。在这一方面, 苏州和南京的低碳城市环境方面较为发达, 尤其是南京, 城市的自然保护区比重达到 1.3%, 人均绿地面积达到 105 平方米。众多的研究也表明, 城市绿化情况可以有效提高碳汇能力, 吸附工业排放的二氧化碳, 在美化市容市貌的同时, 也大幅度提高了城市消化工业废气, 提高环境质量的能力。

在 Topsis 法中, 常州的低碳城市发展水平最接近理想解的水平, 无锡、苏州和南通次之, 和理想解的接近程度越大, 表明有更多的指标接近地区最优值, 借鉴张洪等<sup>[24]</sup>对 Topsis 方法的分层思路, 可以按照与理想解的接近程度把评价结果分为 5 个层次, 由表中结果可知, 常州和无锡排名靠前, 大多数的城市处于中间水平, 排名较为靠后的是连云港和徐州。具体的分层结果见表 4。

表4 Topsis方法分层结果

理想解接近程度	城市
$0.8 \leq C_i \leq 1$	常州、无锡
$0.6 \leq C_i < 0.8$	南通、盐城、南京、扬州
$0.4 \leq C_i < 0.6$	泰州、宿迁
$0.2 \leq C_i < 0.4$	淮安、镇江
$0 < C_i < 0.2$	连云港、徐州

虽然各单一评价方法之间存在差别, 但是也存在较为显著的协调关系。从区域差异来看, 苏南、苏中、苏北城市的平均排名分别是 3.8、6.3、10.6。苏南地区整体排名靠前, 其中苏州最高, 镇江最低; 苏中地区次之, 其中扬州最高, 泰州最低; 苏北地区整体排名最低, 其中盐城最高, 连云港最低。依此看出, 苏南、苏中、苏北的低碳发展水平具有逐次递减的特征。

由组合评价方法得到的结果来看, 单一评价方法经过组合之后得到的三种评价结果之间一致性较高, 南通和扬州的综合低碳城市发展水平虽然排名不尽相同, 但相差不大, 三种组合方法下的综合排名标准差仅为 0.47。处于上游的城市中, 苏州排名第一, 无锡、常州和南京次之, 在三种单一评价方法中, 南京的波动较大, 在 Topsis 法下的排名为第六, 处于中游水平, 但是其他两种方法的排名均处于上游。苏州和无锡两个城市的排名都比较稳定, 尤其

是苏州,在单一评价方法中的排名最稳定,波动范围最小,三种单一评价方法排名的标准差只有0.82。处于中游的城市中,南通的排名较高,镇江排名最低,其中,扬州、镇江、泰州在单一评价方法的排名中比较稳定,南通和盐城存在一定幅度的波动,盐城和南通在熵值法中排名较低,处于下游水平,和其他两种单一评价方法存在较大的差别,但是在Topsis法和因子分析法中,均处于中游水平,尤其是南通,在其他两种单一方法下的排名都处于第三和第四的位置。处于下游的城市中,连云港排名最低,宿迁、淮安和徐州次之,其中,宿迁在单一评价方法中排名比较稳定,标准差仅为0.8,其他三个城市在三种单一排名中波动较大,但是除了熵权法排外中两个城市的排名处于中游水平之外,其他两种方法测度发展水平均处于下游水平,整体上没有太大的变化。依此看出,三种综合评价方法和原始评价方法之间的相关程度较高,具有较高的可信度。

另外,在三类组合评价方法中,平均值法的协调一致性最高,可以作为测度江苏低碳城市发展水平的依据,从测评结果来看,江苏13城市的低碳发展水平由高到低依次为苏州、无锡、常州、南京、扬州、南通、盐城、泰州、镇江、徐州、淮安、宿迁。

## 5 结论

本文从低碳产出、低碳环境、低碳社会、低碳政策四个维度构建了包含4个子系统、20个具体指标的城市低碳发展的评价指标体系。为克服单一评价结果的片面性,构建了多种组合评价模型进行对比分析,并在此过程中进行了如下改进:一是,对不同类型指标数据运用极值法进行了标准化,使得综合评价结果具有经济意义与对比性;二是,组合模型中的单一评价方法选择的是客观赋权类方法,以避免主观赋权方法的主观随意性问题;三是,为保证组合评价结果的有效性与一致性,在组合评价过程中进行了严密的事前相容性检验与事后一致性检验。根据江苏13城市的实际数据,并运用组合评价方法进行实证分析的结果表明:(1)单一评价方法得到的评分结果和排序结果不尽相同,存在一定程度的波动,但它们不是相互独立的,具有很高的一致性。(2)通过对协调一致的单一评价方法进行组合,得到的综合排序结果比较稳定,只有南通和扬州的排名出现的一定的波动。组合评价方法和原始评价方法存在显著的协调一致性。(3)从各区域来看,苏南、苏中、苏北的低碳城市发展水平大致呈现出“南高北低”的特征。(4)平均值方法的协调一致性最高,可以作为测度江苏城市低碳发展水平的重要参考,各地区的低碳发展水平由高到低依次为:苏州、无锡、常州、南京、扬州、南通、盐城、泰州、镇江、徐州、淮安、宿迁。

参考文献:

- [1]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): 81~84, 96.
- [2]蒋惠琴, 张丽丽. 低碳城市综合评价指标体系研究[J]. 经营与管理, 2012(11): 92~94.
- [3]华坚, 任俊. 基于ANP的低碳城市评价研究[J]. 科技与经济, 2012(6): 101~105.
- [4]刘钦普. 国内构建低碳城市评价指标体系的思考[J]. 中国人口·资源与环境, 2013(S2): 280~283.
- [5]杨卫华, 李小立, 孟海燕. 冀中南地区城市低碳经济发展评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2014(S3): 24~27.
- [6]王雨. 苏南生态文明建设路径研究——以常州为例[J]. 价值工程, 2014(10): 190~191.
- [7]张伟, 张宏业, 王丽娟, 等. 生态城市建设评价指标体系构建的新方法——组合式动态评价法[J]. 生态学报, 2014(16): 4766~4774.
- [8]张旺, 赵先超. 中国主要城市低碳化发展指数的测度与分析[J]. 城市发展研究, 2012(4): 11~16.
- [9]李子良, 史仕新. 省域低碳经济综合评价指标体系构建研究——以四川省为例[J]. 科技管理研究, 2012(21): 61~65.
- [10]江正平, 张伟, 雷亮. 省域低碳经济发展评价指标体系的构建及测评[J]. 广东农业科学, 2012(1): 212~216.
- [11]李新运. 我国区域低碳发展指标体系及定量评估研究[J]. 江西财经大学学报, 2013(5): 5~14.
- [12]马宁, 罗婷婷. 我国城市低碳发展水平综合评价与分析[J]. 中国市场, 2012(26): 121~123.
- [13]朱婧, 汤争争, 刘学敏, 等. 基于DPSIR模型的低碳城市发展评价——以济源市为例[J]. 城市问题, 2012(12): 42~47.
- [14]马军, 周琳, 李薇. 城市低碳经济评价指标体系构建——以东部沿海6省市低碳发展现状为例[J]. 科技进步与对策, 2010(22): 165~167.
- [15]周跃云, 赵先超, 晨风, 等. 低碳生态城市群宜居性评价指标体系研究[J]. 湖南工业大学学报: 社会科学版, 2011(2): 1~7.
- [16]赵国杰, 郝文升. 低碳生态城市: 三维目标综合评价方法研究[J]. 城市发展研究, 2011(6): 31~36.
- [17]王爱兰. 低碳城市建设水平综合评价指标体系构建研究[J]. 城市, 2011(6): 66~69.
- [18]刘亮, 刘伟, 陈超凡, 等. 区域能流视角的低碳城市评价指标体系研究[J]. 生态经济: 学术版, 2013(S1): 6~9.
- [19]张巍, 尚丽. 基于熵值法的省域低碳竞争力评价——以陕西省为例[J]. 开发研究, 2014(5): 157~160.
- [20]李美娟, 陈国宏, 陈勃, 等. 基于方法集化的动态组合评价方法研究[J]. 中国管理科学, 2013(2): 132~136.
- [21]周莹, 郭亚军, 易平涛, 等. 中国省域低碳经济运行状况综合评价方法及其应用[J]. 技术经济, 2015(8): 52~57.
- [22]李从欣, 李国柱. 京津冀城市群低碳城市组合评价研究[J]. 调研世界, 2015(1): 51~55.
- [23]刘维跃, 王海龙, 刘凯歌, 等. 运用熵权/TOPSIS组合模型构建智慧城市的评价体系——以京津沪为实例探究[J]. 现代城市研究, 2015(1): 31~36.
- [24]张洪, 张燕. 基于加权TOPSIS法的旅游资源区际竞争力比较研究——以长江三角洲为例[J]. 长江流域资源与环境, 2010(5): 500~505.

(责任编辑:张海燕)