

# 基于 CW 算子的区域可持续发展 组合评价模型及应用

张发明<sup>1,2</sup> 王梓玮<sup>1</sup> 谢小霞<sup>11</sup>

(1. 南昌大学 经济管理学院, 江西 南昌 330031;

2. 桂林电子科技大学 商学院, 广西 桂林 541004)

**【摘要】:** 针对当前单一区域可持续发展评价方法应用过程中出现的多评估方法结论不一致问题, 考虑了区域可持续发展评价的特殊性, 结合可持续发展内涵, 提出了一种基于融入可持续特性的 CW 算子的区域可持续发展组合评价模型。结合各单一评价方法结论的同质性、异质性和可持续性特征确定组内、组间权重, 进行组合信息集结, 并以江西省为例进行了实证研究。结果显示: 南昌、新余的可持续发展水平最高, 鹰潭、九江和景德镇表现稍次, 而萍乡、吉安、上饶、宜春、抚州和赣州最次; 总体上与各地经济现状、区位优势和资源特征相一致, 并呈现出以北部中心区域辐射周边区域的态势。基于 CW 算子的区域可持续发展组合评价模型可以有效地解决区域可持续发展评价问题。

**【关键词】:** 区域可持续发展 CW 算子 组合评价

**【中图分类号】:** F127; F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2020)10-070-08

## 1 文献综述

区域可持续发展是一种区域经济、社会、资源与环境相互协调的发展<sup>[1]</sup>。我国历来重视经济与环境的协调发展, 自 1994 年起便开始积极响应《21 世纪议程》, 制定《中国 21 世纪议程》并将其纳入国民经济与社会发展计划中, 此后更将可持续发展纳入国家发展战略<sup>[2]</sup>。随着社会经济的不断发展, 国家对可持续发展的要求不断提高, 而如何对可持续发展进行有效评估成为可持续发展探索过程中亟待解决的问题。

在提出了可持续发展的相关概念后, 学界对可持续发展评价问题进行了诸多研究, 并取得了丰硕的研究成果<sup>[3-14, 16, 18-21]</sup>。一部分学者直接采用评价决策领域中常用的定量分析方法作为可持续评价方法。如姚晓东等<sup>[1]</sup>采用主成分分析法(PCA)对江苏区域可持续发展进行评价研究, 并利用主成分得分衡量区域可持续发展系统中各子系统之间的协调程度。王宪恩等<sup>[5]</sup>针对可持续发展系统的模糊性, 提出将模糊评价方法应用于区域可持续发展研究, 该方法能够反映出可持续发展系统的随机性和模糊性, 但其求解过程比较复杂, 结果的解释效果仍有待检验。斯藹等<sup>[6]</sup>基于生态足迹法(EF)中的生态供需平衡理论, 通过供需平衡比较来确定生态盈

**作者简介:** 张发明, 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为综合评价与决策支持。E-mail: zfm1214@163.com。

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目“复杂信息融合视阈下的区域可持续发展能力综合评估方法研究”(41661116); 江西省杰出青年科学基金项目(2018)“复杂信息下的动态系统评价理论、方法及应用研究”(2018ACB21003); 江西省主要学科学术和技术带头人项目“系统评价方法的稳定性测度及泛排序算法研究”(20194BCJ22001); 江西省自然科学基金项目“江西省县域创新能力及监测评价”(20192BAA208006)。

---

余或赤字, 从而实现对目标区域可持续发展的量化研究, 此类方法原理相对简单, 应用较为广泛, 但 EF 没有考虑可持续与特定区域间的关系, 因此 EF 在不同区域间通常没有可比性。吴鸣然和赵敏<sup>[7]</sup>采用熵值法确定区域可持续发展指标的权重以及相互共栖关系和互动效应。Carrillo & Jorge<sup>[8]</sup>采用多迭代法构建综合评价指标对区域旅游可持续进行评价, 但利用综合指标代替指标体系对复杂系统进行评估同样会造成数据信息损失等问题。

与直接采用传统决策领域中的定量分析方法不同, 还有一部分学者从可持续发展内涵出发, 尝试通过对可持续发展本质的研究来确定对区域这个复杂巨系统的可持续发展评价过程。如周海林<sup>[9]</sup>通过对可持续内涵的分析, 提出采用离差法来确定可持续发展评价价值, 并指出单项指标离差度对系统可持续性的指示作用。牛文元<sup>[11]</sup>解释了可持续发展的内涵, 强调可持续发展评价的本质是对发展度、协调度、持续度三者的综合评价。杨冕等<sup>[12]</sup>基于可持续发展理论三维模型, 提出了测算区域可持续发展度、协调度及可持续性的评价模型。Arbolino 等<sup>[13]</sup>将 SWOT 分析框架同多元数据分析结合进行组合评价研究。Romão & Neuts<sup>[14]</sup>探讨了区域可持续发展与自然资源间的间接影响机制。可以发现, 此类方法构建的评价模型虽然可以充分体现出可持续发展内涵, 但往往会受到诸如指标选取不充分、评价者主观臆测等限制, 因而常会造成数据信息获取不充分等诸多缺陷。

综上, 诸如 PCA、模糊评价法、生态足迹法(EF)等单一评价方法在可持续评估领域中的推广和应用已经取得了一定的进展。但由于不同评价方法在模型构建、信息处理等方面的差异性, 以及分析视角的不同, 其所得出的评价结论往往是不一致的, 而各单一评价方法结论也只能从某一方面反映可持续发展的现状。因此, 对区域可持续发展评价方法的组合研究能够集成各单一评价方法的优势, 弥补其评价结论的片面性, 充分提取数据内部信息, 从而使得组合评价结论更加全面地反映出可持续发展的现状。为此, 本文将组合思想引入到区域可持续发展评价中, 以充分考虑各单一评价方法的优势。同时, 为使组合评价结论充分体现可持续发展的内涵, 本文尝试将可持续性特征融入组合加权(CW)算子中, 从而提出了一种基于融入可持续特性的 CW 算子的区域可持续发展组合评价方法。该方法不仅考虑了数据的疏密程度, 又体现了评价方法的同质性和异质性等柔性因素, 并且在此基础上糅合了可持续性这一特性, 因而, 能够更大程度地挖掘出可持续发展评价指标中的有效信息, 提高其信息组合集纳过程中的针对性和有效性。

## 2 研究方法 with 模型

目前, 国内外针对区域可持续发展问题的多属性综合评价方法<sup>[3-16]</sup>多达数十种, 但由于分析视角的不同以及模型构建、信息处理的差异性, 多种逻辑可行的评价方法对同一可持续发展评价问题的评价结论往往并不一致。为解决此类问题, 本文提出了一种基于 CW 算子的区域可持续发展组合评价方法。

### 2.1 单一评价方法

为了确保组合评价结论的准确性与有效性, 在考虑了评价方法本身机理及其在区域可持续领域应用程度的基础上, 进一步选取了主成分分析法(PCA)、理想解法(TOPSIS)、熵值法和灰色关联分析法(GRA)对区域可持续发展进行组合评价研究。

主成分分析法<sup>[3]</sup>(PCA)又称主分量分析, 在实际问题的分析过程中, 不同指标间的相关性增加了分析问题的复杂性, 而主成分分析就是将众多具有一定相关性的指标通过降维的方式重新组成一组线性无关的指标代替原指标的评价方法。

理想解法<sup>[17]</sup>(TOPSIS)的思想源于多元统计分析中的判别问题。理想解法就是在多维属性空间定义适当的测度, 通过衡量被评价对象与正负理想点的距离来确定方案集中的各被评价对象的优先序。

熵的概念起源于经典热力学理论, 由 Shannon 引入信息论。而熵值法<sup>[7]</sup>是根据各项指标观测值所提供信息量的大小来确定指标权重的方法。对给定的指标, 其观测值差异越大, 该项指标对被评价对象的比较作用就越大, 亦即该项指标包含和传输的信息越多。

灰色关联分析法<sup>[18]</sup> (GRA), 是根据因素之间发展趋势的相似或相异程度, 亦即“灰色关联度”, 作为衡量因素间关联程度的一种方法。根据绝对差值矩阵获得关联系数矩阵, 通过计算各个特征参量的关联系数判断其关联程度。

## 2.2 基于 CW 算子的区域可持续发展组合评价模型

### 2.2.1 问题描述

针对有限个被评价对象的区域可持续组合评价问题, 设被评价对象集为  $O = \{O_1, O_2, \dots, O_n\}$ , 被选取的综合评价方法集为  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ 。设  $y_{ij}$  为第  $i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 个被评价对象由第  $j$  ( $j=1, 2, \dots, m$ ) 种评价方法得到的评价结论 (评价值), 则可以得到评价值矩阵  $Y$ :

$$Y = (y_{ij}) = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

### 2.2.2 评价模型的构建

CW 算子<sup>[18]</sup> 是一种专门的组合信息集结算子, 相比于传统的组合评价方法<sup>[22]</sup>, CW 算子充分考虑了评价数据的疏密程度与评价方法间的同质性和异质性特征。在利用等级相关系数增量分割法对评价方法进行分组后, 分别对评价结论进行组内、组间集结, 从而既充分挖掘了各评价数据信息, 又增强了组合评价结论的稳定性。

然而, 一种行之有效的区域可持续发展组合评价方法需要在充分挖掘各单一评价信息的基础上兼顾可持续发展的内涵。本文沿承并拓展了 CW 算子中的组合评价思想, 借鉴可持续发展理论三维框架<sup>[12]</sup>, 采用 Spearman 等级相关系数作为衡量工具, 将可持续性特征融入区域可持续发展组合评价方法中, 使其更加科学、合理地体现出区域可持续组合评价问题的特性。

区域可持续发展一般处于经济响应、社会响应和生态环境响应的三维响应作用下, 因而通过可持续发展理论三维模型, 可以测算出区域可持续发展的发展度和协调度<sup>[12]</sup>。区域可持续发展度为区域发展行为向量 (图 1 中  $t_j$ ) 在最优发展行为向量 (图 1 中  $t_p$ ) 方向上的投影与最优发展行为向量 (图 1 中  $t_p$ ) 的比值, 记为:

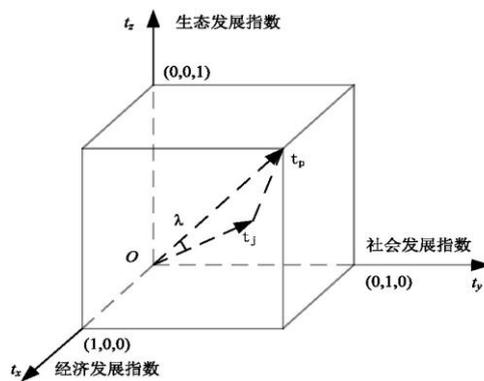


图 1 可持续发展理论三维模型

$$D = \frac{\sqrt{t_x^2 + t_y^2 + t_z^2} \times \cos \lambda}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

式中： $t_x$ 、 $t_y$ 、 $t_z$ 分别代表区域经济、社会与生态环境发展指数。

区域可持续调度可通过该区域发展行为向量与最优发展行为向量之间的夹角  $\lambda$ ，与该区域最不协调状态下发展夹角来测算。已知最不协调状态下发展夹角<sup>[12]</sup>为  $54.76^\circ$ ，即可得到区域可持续发展协调度为：

$$C = 1 - \frac{\lambda}{54.76^\circ} \quad (3)$$

在确定区域可持续发展度和协调度的基础上可以确定区域发展可持续性  $V = \sqrt{C \cdot D}$ 。

定义 1: 设  $\sigma_i$  为各单一评价方法排序与区域发展可持续性排序等级差, 利用各单一评价方法排序结果与区域可持续性排序的斯皮尔曼等级相关系数衡量各单一评价方法结果与区域可持续性的一致性程度, 则称  $\xi_j = \frac{1 - 6 \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 / n(n-1)}{\sum_{i=1}^n [1 - 6 \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 / n(n-1)]}$  为评价方法  $S_j$  的可持续性影响因子, 其中  $\xi_j$  反映了各单一评价方法结果与区域可持续性的一致性程度,  $\xi_j$  越大, 则说明评价方法结果与区域可持续性的一致性特征越明显。

定义 2: 对于各单一评价方法的可持续性影响因子  $\xi_j$ , 称系数  $r_r = \frac{(e^r - 1) \sum_{j=1}^{e^r} \xi_j}{\sum_{j=1}^{e^r} (\xi_j (e^r - 1))}$  为第  $r$  组的可持续性影响系数, 反映了评价方法组中各单一评价方法的可持续性影响因子对确定该组的组合权重所产生的影响力大小。

在确定了各单一评价方法的可持续性影响因子及分组可持续性影响系数的基础上, 可以进一步构建区域可持续评价模型如下:

步骤 1: 评价矩阵  $Y$  的标准化处理。为剔除不同量纲造成的影响, 需要对矩阵  $Y$  进行无量纲化处理, 不失一般性的, 将标准化处理后的评价矩阵仍记为  $Y = (y_{ij})$ 。

步骤 2: 确定分组方案。在求解评价方法间等级相关系数矩阵  $\mu_{n \times n}$  的基础上, 利用基于有序增量分割法及 Spearman 等级相关系数增量分割法<sup>[15]</sup> 对各单一评价方法进行分组, 得到  $q$  个评价方法组  $Y_r (r=1, 2, \dots, q)$ , 其中第  $r$  个评价方法组  $Y_r = \{y_1^{(r)}, y_2^{(r)}, \dots, y_{e_r}^{(r)}\}$ , ( $j=1, 2, \dots, e_r$ ),  $y_j^{(r)}$  为第  $r$  个方法组中第  $j$  种单一评价方法的评价结论。

步骤 3: 确定各方法组内单一评价方法重要性权重  $\omega_j^{(r)}$ 。首先, 利用兼顾同质性和异质性特征的数学规划模型求解各单一评价方法重要性权重  $w_j$ 。

$$\min H = \alpha \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{ij} - v_i)^2 \right] - \frac{\beta}{n-1} [w^T (Y^T Y) w]$$

$$s.t. \begin{cases} \alpha + \beta = 1, 0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1 \\ \sum_{j=1}^m w_j = 1, 0 < w_j < 1 \\ v_i = \sum_{j=1}^m w_j y_{ij} \\ w = (w_1, w_2, \dots, w_m) \end{cases} \quad (4)$$

式中： $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{ij} - v_i)^2$ 反映了评价方法间的同质性特征；而  $w^T (Y^T Y) w$  则反映了评价方法间的异质性特征。 $\alpha$  和  $\beta$  分别代表了决策者对评价方法间的同质性、异质性选择的偏好程度。

在求解组内信息评价模型得出各单一评价方法重要性加权向量  $w$  的基础上，融入可持续影响因子  $\xi_j$ ，得到组合评价方法组中的各单一评价方法权重，即：

$$\omega_j^{(r)} = \frac{w[y_j^{(r)}] \xi_j}{\sum_{j=1}^m w[y_j^{(r)}] \xi_j} \quad (5)$$

式中： $w[y_j^{(r)}]$ 为第  $j$  种评价方法的重要性权重。

步骤 4: 确定评价方法组间权重  $\varepsilon_r$ 。在信息熵规划模型<sup>[23]</sup>的基础上进一步融入可持续性影响系数，给出了一种基于评价方法组规模和可持续性特征的信息熵规划模型，即：

$$\max I = -\frac{1}{\ln q} \sum_{r=1}^q \varepsilon_r \ln \varepsilon_r$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{r=1}^q \varepsilon_r = 1, \varepsilon_r \in [0, 1] \\ \varepsilon_r = \tau_r \tau_r^\delta \\ \tau_r = \left( \frac{e_r}{m} \right)^\delta \eta_r^* \cdot \eta_r^\# \end{cases} \quad (6)$$

式中： $\tau_r$ 为组合影响因子， $\delta$  为组合影响指数； $\eta_r^*$ 和  $\eta_r^\#$ 分别为同质性和异质性影响系数<sup>[16]</sup>。

步骤 5: 求解组合评价结果。

$$Z = \sum_{r=1}^q \varepsilon_r \cdot \left[ \sum_{j=1}^m \omega_j^{(r)} y_{ij}^{(r)} \right] \quad (7)$$

式中： $\varepsilon_r$ 为组间密度权重， $\omega_j^{(r)}$ 为第  $r$  个方法组中第  $j$  种单一评价方法的重要性权重。

### 3 实证研究

#### 3.1 指标体系的构建

区域可持续发展的评价需要合适的指标体系作为研究支撑，因而构建合理且具有针对性的指标体系对于可持续发展评价研究具有重要意义。国内外诸多研究者对此也进行了大量研究并提出了具有不同理论意义的指标体系。国际上 WEF、UNDP、UNEP 等权威组织都分别提出了不同的指标体系，如联合国提出的综合环境—经济核算体系<sup>[24]</sup> (SEEA)、加拿大国际可持续发展研究所提出的环境经济可持续发展体系等<sup>[10]</sup>。国内具有代表性的指标体系主要有：郝晓辉<sup>[25]</sup>提出的社会、经济、资源和环境四维指标体系；中国科学院生态环境研究中心从社会发展、环境质量、经济状态以及人类需求 4 个方面提出的指标体系；以及乔旭宁等<sup>[26]</sup>提出的基于驱动—压力—状态—影响—响应的可持续发展指标体系等。通过对诸多指标体系的进一步梳理，可以发现针对不同的研究偏重，学者们构建的指标体系往往也不尽相同。本研究在遵循相关指标构建原则<sup>[27]</sup>和借鉴前人研究成果<sup>[28]</sup>的基础上，针对江西省的具体情况，从经济、社会、资源和环境 3 个方面选取了 31 个评价指标构建了区域可持续发展的指标体系(表 1)。该体系反映了经济、社会以及生态 3 个子系统对区域这个复杂系统的影响效应。

#### 3.2 数据来源与标准化处理

为确保研究结论的准确性与公正性，研究数据全部来源于《江西统计年鉴 2017》、江西各地方统计年鉴资料以及有关部委发布的部分统计年鉴。在进行组合评价分析之前，需要对数据进行指标类型一致化及无量纲化处理，以解决不同数据量纲不一致的问题。本研究采用极值处理法对指标进行规范化处理<sup>[17]</sup>。

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - m_j}{M_j - m_j} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

式中： $m_j = \max \{x_{ij}\}$ ， $m_j = \min \{x_{ij}\}$ 。

对于极小型指标的情况时：

$$x_{ij}^* = \frac{M_j - x_{ij}}{M_j - m_j} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

#### 3.3 实证结果分析

##### 3.3.1 单一方法评价结果分析

分别采用主成分分析法  $S_1$ 、理想解法  $S_2$ 、熵值法  $S_3$  以及灰色关联法  $S_4$  对江西省不同地区可持续发展水平进行综合评价，得出对应的单一评价方法结果，并采用极值处理法对  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$  的评价值数据进行标准化处理，4 种评价方法的评价值及排序见表 2。

表 1 区域可持续发展指标体系

系统层	指标层		属性
经济子系统 A <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	人均 GDP/元	+
	X <sub>2</sub>	人均财政收入/元	+
	X <sub>3</sub>	人均固定资产投资额/元	+
	X <sub>4</sub>	人均社会消费品零售额/元	+
	X <sub>5</sub>	第二产业占 GDP 的比重/%	+
	X <sub>6</sub>	第三产业占 GDP 的比重/%	+
	X <sub>7</sub>	三产从业人数占比/%	+
	X <sub>8</sub>	人均工业增加值/元	+
	X <sub>9</sub>	固定资产投资增长率/%	+
	X <sub>10</sub>	进出口总额/亿美元	+
	X <sub>11</sub>	人均实际利用外资/美元	+
社会子系统 A <sub>2</sub>	X <sub>12</sub>	人口自然增长率/‰	-
	X <sub>13</sub>	人口密度/(人/平方千米)	-
	X <sub>14</sub>	非农业人口占比/%	+
	X <sub>15</sub>	人均存款余额/元	+
	X <sub>16</sub>	人均消费水平/元	+
	X <sub>17</sub>	每万人高等学校学生数/人	+
	X <sub>18</sub>	每万人拥有病床数/床	+
	X <sub>19</sub>	每万人卫生技术人员数/人	+
	X <sub>20</sub>	排水管道密度/(千米/平方千米)	+
	X <sub>21</sub>	人均道路面积/平方米	+
	X <sub>22</sub>	建成区绿化覆盖率/%	+
生态子系统 A <sub>3</sub>	X <sub>23</sub>	人均占有水资源量/立方米	+
	X <sub>24</sub>	人均耕地占有量/公顷	+
	X <sub>25</sub>	人均绿地面积/平方米	+
	X <sub>26</sub>	工业废水排放量/万吨	-
	X <sub>27</sub>	工业废气排放量/万立方米	-

	x <sub>28</sub>	工业固体废物排放量/万吨	-
	x <sub>29</sub>	污水处理能力/(万吨/日)	+
	x <sub>30</sub>	废气处理能力/(万立方米/时)	+
	x <sub>31</sub>	工业固废综合利用比率/%	+

表 2 江西省各地区区域可持续发展能力单一综合评价结果

地区	S <sub>1</sub>		S <sub>2</sub>		S <sub>3</sub>		S <sub>4</sub>	
	评价值	序值	评价值	序值	评价值	序值	评价值	序值
南昌	1.0000	1	0.9529	2	1.0000	1	1.0000	1
景德镇	0.4241	4	0.5106	5	0.5170	5	0.3733	5
萍乡	0.1546	7	0.3744	6	0.2755	6	0.2165	6
九江	0.3186	5	0.5899	3	0.6189	3	0.3913	4
新余	0.6285	2	1.0000	1	0.9660	2	0.7327	2
鹰潭	0.5595	3	0.5265	4	0.5547	4	0.4150	3
赣州	0.0419	10	0.0000	11	0.0000	11	0.0190	10
吉安	0.2265	6	0.1227	8	0.1925	7	0.1214	7
宜春	0.0440	9	0.0531	9	0.1170	9	0.0000	11
抚州	0.0990	8	0.0488	10	0.0377	10	0.0935	8
上饶	0.0000	11	0.1554	7	0.1698	8	0.0781	9

由表 2 可知,采用不同的评价方法得到的各个地区可持续发展能力评价值及排名有很大差异。例如:上饶地区在理想解法下排序为 7,而在主成分分析法下的排序却为 11;抚州在主成分分析法、灰色关联法下排序为 8,而在熵值法、理想解法下排序却为 10;九江在熵值法、理想解法下排序为 3,而在主成分分析法下排序为 5;吉安在熵值法下排序为 7,而在理想解法下排序却为 8。可以发现,应用不同的评价方法得到区域可持续发展的评价结论并不一致。由于不同方法的评价机理、信息处理和分析视角等方面的差异性,部分地区的区域可持续评价结论往往有很大差异。因此,通过单一评价方法得到的评价结论难以较为准确、全面地反映区域可持续发展能力水平。

### 3.3.2 可持续发展指数结果分析

利用可持续发展三维模型从经济响应、社会响应、生态响应 3 个角度出发,对江西不同地区可持续发展进行测度,得到经济、社会、生态发展指数,区域可持续发展度、协调度及可持续性指数见表 3。

表 3 江西省各地区区域可持续发展能力指数

地区	$t_x$	$t_y$	$t_z$	发展度(D)	协调度(C)	可持续性(V)	序值
南昌	0.9079	0.7156	0.3946	0.6727	0.6810	0.6769	3
景德镇	0.3968	0.5571	0.5487	0.5009	0.8472	0.6514	4
萍乡	0.4694	0.4284	0.2729	0.3902	0.7765	0.5505	6
九江	0.4871	0.4972	0.6327	0.5390	0.8718	0.6855	2
新余	0.6627	0.6301	0.7324	0.6750	0.9339	0.7940	1
鹰潭	0.5697	0.3388	0.6162	0.5082	0.7550	0.6194	5
赣州	0.2067	0.2461	0.3943	0.2823	0.7086	0.4473	10
吉安	0.2254	0.2880	0.5944	0.3692	0.5693	0.4585	8
宜春	0.2379	0.2493	0.5069	0.3314	0.6248	0.4550	9
抚州	0.1373	0.2629	0.5204	0.3069	0.4981	0.3910	11
上饶	0.2102	0.3361	0.4970	0.3478	0.6595	0.4789	7

从表 3 中经济发展指数看,排在首位的是南昌地区,其经济发展指数远高于江西其他地区,为 0.9079。其次,新余、鹰潭、九江、萍乡和景德镇紧随其后,经济发展指数分别为 0.6627、0.5697、0.4871、0.4694 和 0.3968。赣州、吉安、抚州、宜春和上饶 5 个地区的经济发展排名靠后。需要注意的是,赣州的经济总量常位于江西前列,但人均经济水平却不高,因而造成其经济发展指数排名靠后。从社会发展指数来看,南昌、新余位居前两位,分别为 0.7156 和 0.6301。景德镇以 0.5571 位于第三,说明景德镇的社会发展程度在江西地区位于前列。萍乡、九江、鹰潭和上饶的社会发展水平也表现较好,处于江西的中游水平。而赣州、吉安、抚州和宜春的社会发展指数排名靠后,处于整个江西的下游水平。从生态发展指数来看,新余的生态发展指数为 0.7324,位居全省第一。另外,几个在经济发展方面比较弱势的地区,如吉安、宜春、抚州和上饶等地区在生态可持续方面却比较优秀。萍乡的生态可持续发展表现最差,萍乡的工业废水、废气及固体废物排放量均为江西省的前列,而污染物处理能力却落后于江西省的大部分地区。

为了进一步探讨区域可持续发展能力三维指数的空间分布情况,利用 ArcGIS 得到的区域可持续发展指数空间格局分布图(图 2)分别将三维指数分为 3 个梯度,可以发现经济、社会发展指数的空间分布特征相似,以北部中心城市南昌、新余为双核中心辐射周围区域,而生态发展指数的空间分布则恰恰与经济、社会的空间分布情形相反。

### 3.3.3 基于 CW 算子的组合评价结果分析

根据本文提出的基于 CW 算子的区域可持续发展组合评价模型对各评价方法结果进行组合评价:

(1) 利用等级相关系数增量分割法对 4 种评价方法进行分组,可以得到分组结果如下: $Y_1=\{\mu_1, \mu_2\}$ ,  $Y_2=\{\mu_3, \mu_4\}$ 。

(2) 根据定义 1 求解可持续性影响因子,得到各评价方法的可持续性影响因子: $\xi_1=0.2199$ ,  $\xi_2=0.2736$ ,  $\xi_3=0.2660$ ,

$\xi_4=0.2405$ 。

(3) 确定组内各评价方法重要性权重。为了兼顾评价方法间的同质性、异质性,取  $\alpha=0.5$ ,通过步骤 3,利用 Matlab 软件编程可以得到  $Y_1$ 、 $Y_2$  中组内单一评价方法权重:  $\omega_1=0.5038$ ,  $\omega_2=0.4962$ ,  $\omega_3=0.6930$ ,  $\omega_4=0.3070$ 。

(4) 确定组间加权向量。通过步骤 4 可以得到两组组合加权向量  $\varepsilon_1=0.4748$ ,  $\varepsilon_2=0.5252$ 。

(5) 最后利用 CW 算子对单一评价方法评价价值进行集结,得到组合评价结果,见表 4。

从表 4 中江西各地区可持续发展组合评价结果和排序可知,南昌排名第一,作为江西省会,经济和社会发展均位居江西前列,其排名结果毋庸置疑。排在第 2~5 名的分别是新余、鹰潭、九江和景德镇,这些地区经济社会发展水平均相对较高,生态发展指数同样位居江西中上游水平。需要注意的是,赣州的经济总量常位于江西前列,但人均水平却不高,同时赣州的社会、生态发展水平均相对较低,经济效应难以弥补生态方面的不足,从而降低了赣州的可持续发展评价排名。

表 4 江西省各地区区域可持续发展组合评价结果

地区	评价值	序值
南昌	0.9889	1
景德镇	0.4701	5
萍乡	0.2604	6
九江	0.5035	4
新余	0.8557	2
鹰潭	0.5267	3
赣州	0.0131	11
吉安	0.1727	7
宜春	0.0656	9
抚州	0.0640	10
上饶	0.1110	8

从图 3 各评价方法结果与组合评价结果的对比分析可以发现,基于 CW 算子的组合评价方法能够较好地融合单一评价方法的同质性和异质性特征,可以有效地解决多评价方法结论不一致的问题。因而,通过基于 CW 算子的区域可持续发展组合评价模型求得的评价结论更加的客观、合理。

聚类分析通过将评价对象分组,使得同类对象间相似性(同质性)更强,不同类对象间差异性更大。为了更加直观地比较江西各地区可持续发展评价结果,对组合评价结果进行系统聚类分析,应用 SPSS20.0 得到聚类分析谱系图,综合组合评价结果,可以将江西省 11 个城市划分为 3 类,见表 5。

为了进一步分析组合评价结果的空间分布特征,结合江西省可持续发展专题图(图 4),发现江西省区域可持续发展呈现出明显的以中心区域辐射周边区域的态势。区域可持续发展水平较高的地区主要位于江西经济发达的北部地区,以南昌为中心辐射周边的九江、景德镇、新余等地区。其中,属于第一梯队的南昌、新余可持续发展能力均高于 0.8,而位于江西南部的赣州、抚州、吉安等地区则具有较低的可持续发展能力,属于江西的第三梯队。

## 4 结论与建议

表 5 聚类分析结果

类别	地区
高可持续	南昌、新余
中可持续	九江、鹰潭、景德镇
低可持续	萍乡、吉安、抚州、赣州、宜春、上饶

针对当前单一区域可持续发展评价方法应用过程中出现的多评估方法结论不一致问题,本文在 CW 算子组合思想的基础上,借鉴可持续发展三维模型,提出了一种基于融入可持续特性的 CW 算子的区域可持续发展组合评价方法。通过对江西省可持续发展现状的实证研究,得到如下结论。

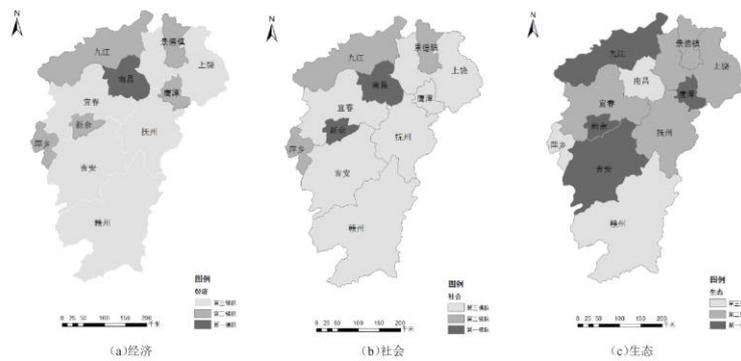


图 2 区域可持续发展指数空间格局

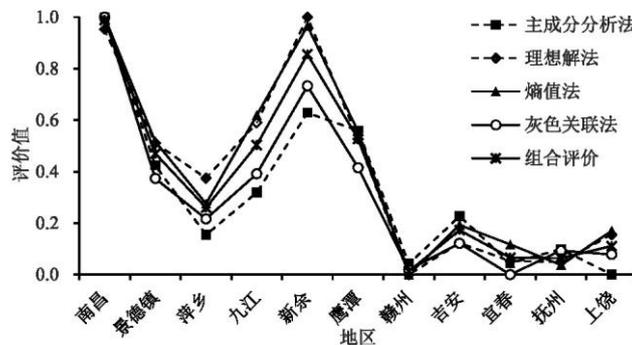


图 3 4 种评价方法结果与组合评价结果对比图

(1) 基于 CW 算子的区域可持续发展组合评价模型能够融合单一评价方法的同质性和异质性特征,可以有效解决多评估方法结论不一致的问题,为解决区域可持续发展评价问题提供了一种新思路。

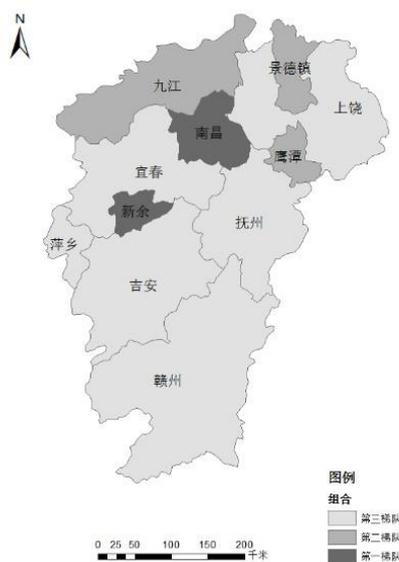


图 4 江西省区域可持续发展空间格局

(2) 将可持续发展三维模型应用于区域可持续发展组合评价中,实现了区域可持续发展组合评价的优化,既充分提取了数据内部信息又兼顾了可持续发展内涵。

(3) 南昌、新余的可持续发展水平较高,属于第一梯队地区。鹰潭、九江和景德镇的可持续发展水平稍次,属于第二梯队地区。萍乡、吉安、上饶、宜春、抚州和赣州的可持续发展水平最差,属于第三梯队地区。总体上与各地区经济现状、区位优势和资源特征相一致。

(4) 江西省区域可持续发展的空间分布呈现以北部中心区域辐射周边区域态势,并表现出北部高于中部高于南部的特征,说明了中心城市的辐射作用对周边城市可持续性影响较大。

面对发展新常态,各地区要结合国家及地方政策继续深入推进区域可持续发展。南昌、九江作为鄱阳湖生态经济区的核心区域、长江中游城市群中的重要板块,具有重要的战略地位。要把南昌、九江打造成为支撑江西经济崛起的“双核”,在工业用地、基础设施、地方政策等方面重点向南昌、九江倾斜。南昌需要继续大力推进高新技术产业发展,发展特色光伏产业,发挥其在光伏产业上的产业链及人才优势,充分辐射周边的宜春、抚州等潜力地区,实现鄱阳湖经济圈的可持续发展,但同时要注意资源的有效利用和生态环境的保护。而九江需要借助地缘优势和政策优势,巩固原有的石油化工、现代轻纺等传统基础产业,开拓前沿高端产业。南昌和九江要抓住时代发展机遇,在今后的发展中发挥“双核”作用,充分辐射周围城市,带动周边城市的可持续性发展。

同时,赣州、抚州等江西南部地区作为可持续发展的洼地,也要抓住鄱阳湖生态区建设的机遇,在充分挖掘自身资源环境优势的基础上将生态环境优势转化为可持续发展优势,大力发展高效农业、旅游业等产业,充分发挥生态优势,促进本地区的全面可持

---

续发展,实现绿色崛起。从区域合作的层面上看,这些可持续发展水平相对较低的地区应该积极寻求合作,实现联动发展。

#### 参考文献:

- [1]姚晓东,曲福田,肖屹.江苏区域可持续发展空间差异分析[J].南京社会科学,2008(9):140-146.
- [2]张晓彤,姚娜,张茜,等.构建国家可持续发展实验区评估工具的研究[J].中国人口·资源与环境,2018(9):40-51.
- [3]董燕红,钟定胜,卢小丽.主成分与层次分析法在区域可持续发展能力评价中的应用对比[J].安全与环境学报,2016(1):359-365.
- [4]王洪富,李国良,庞蓉蓉,等.基于因子分析法的云南州市经济水平评价研究[J].价值工程,2018(6):54-56.
- [5]王宪恩,董德明,赵文晋,等.区域可持续发展模糊评价[J].东北大学学报(自然科学版),2003(3):79-83.
- [6]斯蔼,林年丰,汤洁,等.生态足迹法在可持续发展度量及趋势预测中的应用[J].干旱区资源与环境,2006(3):37-42.
- [7]吴鸣然,赵敏.中国不同区域可持续发展能力评价及空间分异[J].上海经济研究,2016(10):84-92.
- [8]Carrillo M, Jorge J M. Multidimensional analysis of regional tourism sustainability in Spain[J]. Ecological Economics, 2017, 140: 89-98.
- [9]周海林.可持续发展评价指标(体系)及其确定方法的探讨[J].中国环境科学,1999(4):360-364.
- [10]闵庆文,李文华.区域可持续发展能力评价及其在山东五莲的应用[J].生态学报,2002(1):1-9.
- [11]牛文元.可持续发展的能力建设[J].中国科学院院刊,2006(1):7-13.
- [12]杨冕,陈兴鹏,薛冰.中国西北地区可持续发展测度的比较[J].兰州大学学报(自然科学版),2009(5):48-52.
- [13]Arbolino R, Boffardi R, Lanuzza F, et al. Monitoring and evaluation of regional industrial sustainability: Evidence from Italian regions[J]. Land Use Policy, 2018, 75: 420-428.
- [14]Romão J, Neuts B. Territorial capital, smart tourism specialization and sustainable regional development: Experiences from Europe[J]. Habitat International, 2017, 68: 64-74.
- [15]张发明,刘志平.基于CW算子的组合评价信息集结方法及应用[J].系统管理学报,2017(2):268-276.
- [16]李超,李文峰,李林润.基于灰色关联度模型的区域农业生态系统可持续发展水平评价[J].生态科学,2014(2):373-378.
- [17]郭亚军.综合评价理论、方法及拓展[M].北京:科学出版社,2012:63-137.
- [18]胡琳.区域可持续发展能力评价——以福建省为例[J].中国商贸,2012(15):229-231.

- 
- [19]温淑瑶,马占青,周之豪,等.层次分析法在区域湖泊水资源可持续发展评价中的应用[J].长江流域资源与环境,2000(2):196-201.
- [20]朱卫未,王海静.区域可持续发展能力综合评估方法与应用研究:基于网络结构 DEA 模型[J].环境科学与技术,2017(6):192-200.
- [21]赵传松,任建兰.中国科技创新与可持续发展的关联分析——基于熵值法和灰色关联模型的实证研究[J].生态经济,2017(11):58-61.
- [22]郭显光.一种新的综合评价方法——组合评价法[J].统计研究,1995(5):56-59.
- [23]李珠瑞,马溪骏,彭张林.基于离差最大化的组合评价方法研究[J].中国管理科学,2013(1):174-179.
- [24]Bacior S, Prus B. Infrastructure development and its influence on agricultural land and regional sustainable development[J]. Ecological Informatics, 2018, 44:82-93.
- [25]郝晓辉.中国可持续发展指标体系探讨[J].科技导报,1998(11):42-46.
- [26]乔旭宁,杨娅琳,杨永菊,等.基于 DPSIR 模型与 Theil 系数的河南省可持续发展评价[J].地域研究与开发,2017(1):18-22.
- [27]李志强,周丽琴.基于区域可持续发展的指标体系构建研究[J].当代财经,2006(5):126-128.
- [28]余丹林.区域可持续发展评价指标体系的构建思路[J].地理科学进展,1998(2):84-89.