

中山市生态文明评价指标体系及模型构建研究

黎捷¹, 王雪兰², 王琪³

(1. 中山火炬职业技术学院质量监控办公室, 广东中山 528436; 2. 中山火炬职业技术学院公共课教学部, 广东中山 528436; 3. 电子科技大学中山学院计算机学院, 广东中山 528400)

摘要 根据生态文明指标体系建立原则, 建构了中山市生态文明评价指标体系; 运用层次模型确定了各评价指标体系的权重, 利用模糊综合评价法给出了中山市生态文明评价等级。

关键词 建立原则; 指标体系; 层次模型; 模糊综合评价

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)33-11810-03

生态文明是和物质文明、精神文明、政治文明相关联的概念, 是人类文明的一种形式, 它以尊重和维护生态环境为主旨、以可持续发展为依据、以人类的可持续发展为着眼点, 实现人与自然的协同进化, 促进经济社会、自然生态环境的可持续发展。

1 生态文明评价指标体系建立原则

在制定生态文明指标体系的过程中, 主要遵循以下6个原则。

1.1 全面性原则 设定指标体系, 必须着力选择一系列科学的、有代表性的, 能够概括经济、社会、资源、环境等方面的指标组成指标体系, 全面反映城市生态文明的建设和发展状况, 科学和准确地反映和描述被考察地区生态文明的内涵和特征。

1.2 目的性原则 目的性原则是指指标体系设计的根本出发点。衡量指标体系是否合理有效的一个重要标准是看它是否满足了监测与评价的目的和要求。

1.3 动态性原则 设定指标体系以后, 今后还可以根据发展的实际情况和阶段性目标任务, 对生态文明城市指标进行适时调整和修订, 这也是国际上通行的做法。要按照“缺什么, 补什么”的原则, 及时开展指标体系的评估、调整和修订工作。要充分体现城市生态文明发展的新变化和新要求^[1]。

1.4 可操作性原则 在指标的选择上, 充分考虑统计资料的可获取、可采集、可量化、可对比; 在评价方法上, 注重客观、适用、可行, 能够较好地评价科学发展的水平。

1.5 导向性原则 对生态文明建设进行评价的目的, 不单单在于评价目前各地生态文明建设水平的高低, 更主要的还在于引导、帮助被评价对象实现其战略目标以及检验其生态文明建设目标实现的程度。

1.6 地域性原则 在选择指标的时候不但要考虑一般性指标的选择标准, 还应考虑当地的特殊状况, 在筛选指标时, 既要综合考虑以上原则, 又要加以区别对待。

2 评价指标体系

该研究基于《中山市生态文明建设指标分解表》(印发中山市生态文明建设实施方案的通知, 2011年9月27日),

参照《关于印发〈国家生态文明建设试点示范区指标(试行)〉的通知》等, 在制定生态文明评价指标体系过程中, 遵循全面性、目的性、动态性、可操作性、导向性和地域性等六大原则, 设计了中山市生态文明建设评价指标体系。该指标体系的一级指标包括5个方面: 生态经济、生态环境、生态人居、生态制度、生态文化, 生态经济包含6个二级指标, 生态环境包含7个二级指标, 生态人居包含6个二级指标, 生态制度包含4个二级指标, 生态文化包含5个二级指标。一级指标如图1所示。



图1 中山市生态文明评价指标体系

一级指标生态经济包括单位GDP能耗(吨标准煤/万元)、碳排放强度(t/万元)、单位工业增加值新鲜水耗(m³/万元)、农业灌溉水有效利用系数(m³/万元)、主要农产品无公害、绿色、有机产品种植面积的比重(%)、城乡居民收入增长比等二级指标。一级指标生态环境包括市民环境满意度(%)、新建绿色建筑比例(%)、城镇人均公共绿地面积(m²)、中心城区生活垃圾分类收集率(%)、绿色出行率(%)、集中式饮用水水源水质达标率(%)等二级指标。一级指标生态人居包括新建绿色建筑比例(%)、集中式饮用水水源水质达标率(%)、城镇人均公共绿地面积(m²)、中心城区生活垃圾分类收集率(%)、绿色出行率(%)、市民环境满意度(%)等二级指标。一级指标生态制度包括环境信息公开率(%)、政府采购节能环保产品和环境标志产品所占比例(%)、生态文明知识普及率(%)、生态环保工作占绩效考核的比例(%)等二级指标。一级指标生态文化包括节水器具普及率(%)、万人拥有卫技人员数量(人)、节能电器普及率(%)、生态环境教育课时比例(%)等二级指标。

3 层次模型

层次分析法是决策论中的一种常用方法。它是对一些较为复杂、较为模糊的问题作出决策的简易方法。特别适用于那些难以确定的定量分析的问题。在这种背景下, 美国运筹学家T. L. Saaty等提出了一种能处理这一问题的层次分析法。它把复杂问题分解成各个组成因素, 又将这些因素按支

基金项目 2014年中山市社会科学规划立项课题(201411)。

作者简介 黎捷(1964-), 男, 湖北咸宁人, 副教授, 从事计算数学研究。

收稿日期 2014-10-13

配关系组形成层次结构来确定各个因素的重要性,从而确定决策方案。

3.1 层次分析法的具体步骤 层次分析法的具体步骤如下:①明确问题。②建立层次结构图。在深入分析实际问题的基础上,将有关的各个因素按照不同属性自上而下地分解成若干层次。③构造成对比较矩阵。假设要比较某一层 n 个因素 U_1, U_1, \dots, U_n 对上一层一个因素 M 的影响,用下面的矩阵表示: $A = (a_{ij})_{m \times n}$, $a_{ij} > 0$, $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$,具有这种性质的矩阵称为成对比较矩阵。④计算判断矩阵的最大特征根对应的特征向量 W 和最大特征根。通常用 A 的最大特征根 λ 的特征向量(归一化后)作为权向量 ω ,即 ω 满足 $A\omega = \lambda\omega$ 。⑤计算随机一致性比率 CR 。

成对比较矩阵不一定是一致阵,因此要进行一致性检验。检验步骤如下:①计算一致性指标。 $CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$,其中 n 为矩阵的阶数。查找相应的平均随机一致性指标 RI 的数。②计算一致性比率。 $CR = \frac{CI}{RI}$,当 $CR < 0.1$ 时,认为比较矩阵通过一致性检验,否则要重新进行成对比较。③计算组合权向量并做组合一致性检验。

3.2 中山市生态文明评价指标权重的计算 依照层次分析法的基本步骤,中山市生态文明评价指标的权重计算过程如下。

3.2.1 一级指标权重的计算。5 个一级指标因子权重,笔者采用层次分析的方法求出指标权重。构造判断矩阵 $S = (u_{ij})_{5 \times 5}$,即:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 7 & 7 \\ \frac{1}{2} & 1 & 3 & 1 & 7 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 & 3 & 3 \\ \frac{1}{7} & 1 & \frac{1}{3} & 1 & 2 \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{7} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

用 Maple 软件编程计算判断矩阵 A 的最大特征根得 $\lambda_{\max} = 5.435$ 。为进行判断矩阵的一致性检验,需计算一致性指标: $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5.435 - 5}{4} = 0.1088$,平均随机一致性指标 $RI = 1.12$ 。随机一致性比率 CI/RI 小于 0.1,通过一致性检验。

一级指标对应的权重为:(0.444, 0.256, 0.15, 0.103, 0.0466)。

3.2.2 二级指标权重的计算。同理,笔者仍采用层次分析的方法来求出指标权重。分别对各个二级指标构造其各自的判断矩阵,再用 Maple 软件计算最大特征根和权重,并进行一致性检验,得出合理的权系数。

生态经济 6 个指标的判断矩阵 A 的最大特征根 $\lambda_{\max} = 6.363$,通过一致性检验,其对应的权重为:(0.377, 0.203,

0.079, 0.132, 0.0847, 0.124)。生态环境 7 个指标的判断矩阵 A 的最大特征根 $\lambda_{\max} = 7.465$,通过一致性检验,其对应的权重为:(0.189, 0.0517, 0.329, 0.17, 0.0684, 0.0513, 0.142)。

生态人居 6 个指标的判断矩阵 A 的最大特征根 $\lambda_{\max} = 6.578$,通过一致性检验,其对应的权重为:(0.27, 0.258, 0.195, 0.135, 0.0722, 0.071)。

生态制度 4 个指标的判断矩阵 A 的最大特征根 $\lambda_{\max} = 4.004$,通过一致性检验,其对应的权重为:(0.0705, 0.3682, 0.193, 0.3682)。

生态文化 4 个指标的判断矩阵 A 的最大特征根 $\lambda_{\max} = 4.06$,通过一致性检验,其对应的权重为:(0.492, 0.118, 0.195, 0.195)。

4 模糊综合评价法

运用模糊综合评价法对中山市的生态文明进行评价。模糊综合评价是通过构造等级模糊子集把反映被评事物的模糊指标进行量化(即确定隶属度),然后利用模糊变换原理对各指标综合^[2]。模糊综合评价的基本步骤如下。

4.1 建立评价要素集 s 个评价指标就构成要素集,记作 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_s\}$ 。

4.2 建立评语集 评价语言构成评语集,即等级集合,记为 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_s\}$,每一个等级可对应一个模糊子集。

4.3 建立模糊关系矩阵 R 在构造了等级模糊子集后,要逐个对被评事物从每个因素 $u_i (i = 1, 2, \dots, s)$ 上进行量化,即确定从单因素来看被评事物对等级模糊子集的隶属度 $(R|u_i)$,进而得到模糊关系矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} R|u_1 \\ R|u_2 \\ \dots \\ R|u_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{12} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{s1} & r_{s2} & \dots & r_{sm} \end{bmatrix}_{sm}$$

矩阵 R 中第 i 行第 j 列元素 r_{ij} ,表示某个被评事物从因素 u_i 来看对 v_j 等级模糊子集的隶属度。一个被评事物在某个因素 u_i 方面的表现,是通过模糊向量 $(R|u_i) = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ 来刻画的,而在其他评价方法中多是由一个指标实际值来刻画的,因此,从这个角度讲模糊综合评价要求更多的信息。

4.4 确定评价因素的权向量 在模糊综合评价中,确定评价因素的权向量: $A = (a_1, a_2, \dots, a_s)$ 。权向量 A 的元素 a_i 本质上是因素 u_i 对模糊子集 $\{$ 对被评事物重要的因素 $\}$ 的隶属度。评价指标的权重由层次分析法确定。

4.5 合成模糊综合评价结果向量 利用合适的算子将 A 与各被评事物的 R 进行合成,得到各被评事物的模糊综合评价结果向量 B 。即:

$$AoR = (a_1, a_2, \dots, a_s) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{12} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{s1} & r_{s2} & \dots & r_{sm} \end{bmatrix}_{sm} = (b_1, b_2, \dots,$$

$b_s) = B$

其中, b_j 表示被评事物从整体上看对 v_j 等级模糊子集的隶属程度。

4.6 对模糊综合评价结果向量进行分析 实际中最常用的方法是最大隶属度原则,但在某些情况下使用会有些勉强,损失信息很多,甚至得出不合理的评价结果。提出使用加权平均求隶属等级的方法,对于多个被评事物可以依据其等级位置进行排序。

5 模糊综合评价法在中山市生态文明评价中的应用

5.1 根据评价目的确定有限评价指标集合 中山生态文明评价指标体系集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_{27}\}$, 分别对应单位 GDP 能耗,碳排放强度, ..., 节水器具普及率。

5.2 确定评价等级集合 $V = \{\text{优、良、一般、差}\}$ 。

5.3 确定各评价指标的权重 $w = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_{27}\}$, 权重反映各评价指标在综合评价中的重要性程度,且 $\sum \mu_i = 1$ 。这里的权重使用前面运用层次分析法得出的指标权重。

5.4 输入一组专家评价意见确定评价矩阵 R 对于中山生态文明建设情况的评价,可采用自填式问卷法收集数据。将涉及中山生态文明建设情况的有关评价指标设计成问卷,然后采用分层抽样方法,将问卷随机发放给被调查人中,让其独立完成调查问卷,并对每份问卷进行有效性审查。问卷有效率应不低于 90%。可将调查者应来自不同层次、不同年龄阶段等按一级指标的内容分 5 组调查。

评价指标的测量采用李克特量表的方法,利用语义学标度分为 4 个测量等级:好、良好、一般、差,并依次赋值为 4、3、2 和 1。评价定量标准见表 1。设计问卷各指标等级的数量,构造评价矩阵 R。

表 1 评价定量分级标准

评价值	评语	定级
$x_i > 3.5$	优	I
$2.5 < x_i \leq 3.5$	良	II
$1.5 < x_i \leq 2.5$	一般	III
$x_i \leq 1.5$	差	IV

5.5 加权平均模糊合成综合评价 在 $W \circ R$ 模糊综合评价模型中,最小取大算子是不合适的。目前人们普遍采用的是加权平均法(即普通的乘与加算子)。将来源于抽样调查的中山市生态文明统计的一组数据代入建立的评价模型中,计算各级模糊综合评价的向量并做归一化处理结果如下。

5.5.1 生态经济。 $A_i = (0.377, 0.203, 0.079, 0.132,$

$$0.0847, 0.124) * \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 \\ 0.3 & 0.2 & 0.4 & 0.1 \\ 0.3 & 0.2 & 0.4 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 \end{bmatrix} = (0.25416,$$

$0.24096, 0.35856, 0.14552)$ 。

5.5.2 生态环境。 $B_i = (0.189, 0.0517, 0.329, 0.17, 0.0684,$

$$0.0513, 0.142) * \begin{bmatrix} 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \\ 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 \\ 0.1 & 0.4 & 0.4 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.1 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix} = (0.31451,$$

$0.29136, 0.27949, 0.11604)$ 。

5.5.3 生态人居。 $C_i = (0.27, 0.258, 0.195, 0.135, 0.0722,$

$$0.071) * \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.5 & 0.3 \end{bmatrix} = (0.41138, 0.40606,$$

$0.16246, 0.0213)$ 。

5.5.4 生态制度。 $D_i = (0.0705, 0.368, 0.193, 0.368) *$

$$\begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.2 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.3 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix} = (0.27710, 0.25600, 0.30510,$$

$0.16130)$ 。

5.5.5 生态文化。 $E_i = (0.492, 0.118, 0.195, 0.195) *$

$$\begin{bmatrix} 0.3 & 0.2 & 0.4 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0 \\ 0.1 & 0.5 & 0.4 & 0 \\ 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 \end{bmatrix} = (0.2102, 0.3288, 0.3923,$$

$0.0687)$ 。

5.6 综合评价结果 对综合评分进行等级评定,得到(2.6, 2.8, 3.2, 2.6, 2.7),由此可见,中山生态经济、生态环境、生态人居、生态制度、生态文化建设均为良好。

6 结论

- (1) 构建了适合中山市生态文明建设评价的指标体系。
- (2) 该研究在模糊评价中采用层次分析法来确定权重,此方法具有较强的逻辑性、系统性和实用性,并能准确得出各评价指标的权重系数。
- (3) 利用模糊综合评价法对中山市生态文明建设进行了综合评价并给出了评价等级,该评价结果符合中山市生态文明建设现状。

参考文献

[1] 苏哲. 西部资源型城市可持续发展指标评价体系研究[J]. 环境与可持续发展, 2005(5): 19-22.
 [2] 王新洲. 模糊空间信息处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003: 130-131.