

# Evaluation on Ecological Civilization Construction Level in Guizhou Based on Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process

Xinpu Wang<sup>1,2,3</sup>, Mu Zhang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Finance, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China

<sup>2</sup>Guizhou Institute for Urban Economics and Development, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China

<sup>3</sup>Guizhou Institution for Technology Innovation & Entrepreneurship Investment, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China

## 基于直觉模糊层次分析法的贵州生态文明建设 水平评价研究

王新谱<sup>1,2,3</sup>, 张目<sup>1</sup>

<sup>1</sup>贵州财经大学金融学院, 贵阳 550025, 中国

<sup>2</sup>贵州财经大学贵州城镇经济与发展研究院, 贵阳 550025, 中国

<sup>3</sup>贵州财经大学贵州科技创新创业投资研究院, 贵阳 550025, 中国

### Abstract

In order to better build the ecological environment of Guizhou province, accelerate the marketization and capitalization of Guizhou province's ecological resources, and evaluate and study the construction level of Guizhou's ecological civilization. This paper, by using IFAHP, the establishment of intuitionistic fuzzy judgment matrix, consistency test, calculate the nine province each secondary index to the weight of a layer and target layer, comprehensive evaluation value is calculated and sorted. The empirical research shows that the ecological civilization construction level of Guizhou province is relatively high, but the level distribution of all prefectures and cities is very uneven, and the difference between the highest score southeast

Guizhou and the lowest score Liupanshui is 4.87. Therefore, it is necessary to accelerate the construction of ecological civilization in various prefectures and cities, so as to improve the construction level of ecological civilization in the whole province and promote regional economic development.

**Keywords:** construction of ecological civilization; the level of ecological civilization construction; IFAHP; comprehensive evaluation

### 摘要

为了更好地建设贵州的生态环境, 加快推动贵州生态资源市场化和资本化, 评价研究该省生态文明建设水平。本文利用直觉模糊层次分析法, 建立直觉模糊判断矩阵, 满足一致性检验后, 计算九个地州市各个二级指标对上一层和目标层的权重,

得出综合评价排序。实证研究发现, 贵州的生态文明建设水平较高, 但各个地州市的分布不均衡, 得分最高的黔东南与得分最低的六盘水相差 4.91。因此, 需要加快各个地州市的生态文明建设, 提升全省生态文明建设水平, 促进区域经济发展。

**关键词:** 生态文明建设; 生态文明建设水平; 直觉模糊层次分析法; 综合评价

## 1. 引言

党的十八届五中全会提出了“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念, 对生态文明建设提出了更高的要求。生态文明建设对破解我国面临的资源环境难题具有重要的意义。“绿水青山就是金山银山”, 绿色发展成为“十三五”时期乃至更长时期内我国经济社会发展的主题。建设资源节约型与环境友好型社会的关键在于生态环境的改善, 对于促进经济增长和产业升级, 推进节能减排和保护环境, 提高生态效率都起着重要作用。

作为国家生态文明试验区的贵州, 贵安新区作为全国首批, 同时也是西南地区唯一一个获准开展绿色金融改革创新的国家级试验区, 首先生态文明建设水平的提高对于推动贵州生态资源市场化和资本化具有积极推动作用; 其次贵州围绕大扶贫、大数据、大生态三大战略, 重点发展“四型”产业, 会带来巨大的投资机遇和金融需求, 为贵州生态建设提供支撑, 推动新区实现“三大定位”目标; 最后有利于培育经济发展新动能, 为地区经济发展提供借鉴。本文利用直觉模糊层次分析法综合评价贵州省九个地州市的生态文明建设水平, 为提高贵州生态文明建设水平提供发展建议。

## 2. 国内外研究综述

随着环保意识的提高, 对生态文明建设水平评价的研究取得了较大的进展。较早的学者赵芳 (2010) [1] 将生态文明建设评价指标分解为生产方式、生活方式、生

态保护与建设、社会发展等四个核心领域进行考察, 设立若干具体指标, 构建出一个由“目标层—准则层—指标层”三个层次、27 个单项评价指标构成的生态文明建设评价指标体系, 采用进步率分析方法进行生态文明建设评价。近些年来, 张欢等 (2015) [2] 建立了包括有生态环境健康度、资源环境消耗强度、面源污染治理效率和居民生活宜居度等 4 个方面, 共 20 个指标的特大型城市生态文明评价指标体系, 并提出了加强生态文明建设的举措。郑艳玲等 (2016) [3] 以河北省为例, 构建了生态文明建设、区域经济发展水平综合评价指标体系, 采用生态文明建设与区域经济协调发展的测度模型, 提出随着生态文明建设的推进, 生态文明与经济发展之间的关系将进入互适互补的良好循环。成金华等 (2018) [4] 以中国 35 个省会城市和副省级城市和湖北省 7 个中小城市为对象, 从国土空间优化、资源能源利用、生态环境保护与治理、生态制度建设四个维度构建指标体系, 采用熵权法赋予指标权重, 实证研究发现大城市中生态文明指数较高的城市往往具有经济与环境均衡发展的特点。综上, 现有文献鲜有对贵州生态文明建设的评价研究, 而较多是定性分析贵州生态文明建设的现状 (江川等 [5], 2014; 石培新 [6], 2010 等)。

Van Laarhoven 等 (1983) [7] 首次提出将层次分析法模糊化。Buckley (1985) [8] 在此基础上发展了模糊层次分析法, 较为完整准确的评价目标层指标, 能够反映决策主体对客观事物评价的不确定性。将专家的主观性进行了模糊化处理, 比层次分析法更客观、准确, 但它不能精确表达弃权或犹豫的情况, 且对定量和定性的指标需要分别使用不同的方法集结。为了解决这一问题, 在模糊集概念的基础上提出的直觉模糊层次分析法, 统一了对定性和定量指标的集结。直觉模糊层次分析法在国内的综合评价领域也得到了广泛应用, 并证明了该方法的有效性 [9]。例如, 顾婧等 (2015) [10] 通过使用直觉模糊层次分析法评价创业投资引导基金的绩效, 与传统模

糊层次分析法的比较,发现该方法在评价精度方面具有更加优异的表现。张尚等(2016)<sup>[11]</sup>提出了运用直觉模糊层次分析法科学合理地评价电网的运行状态,对综合评价进行排序,对于预防大停电事故具有重要意义。

有鉴于此,在前人研究的基础上,本文建立了包含生态经济、生态环境、生态宜居和生态文化四个一级指标的指标体系,然后利用直觉模糊层次分析法评价贵州省九个地州市的生态文明建设水平。

### 3. 贵州生态文明建设水平评价指标体系构建

生态文明指标的选择对于准确评估生态文明建设水平具有重要作用。本文在构建指标体系时遵循综合性与代表性、针对性与可比性、导向性与前瞻性的原则,既强调自然、环境、人类以及社会的可持续发展,又考虑到生态环境的承载能力,在提高社会生态文明的基础上促进人与自然和谐发展。参考文献[12],选取了4个一级指标和23个二级指标,如表1。

本文数据来源:《中国区域经济统计年鉴》、《贵州省统计年鉴》、九个地州市的统计年鉴、地州市水资源公报、环境公报和国民经济发展公报。其中,安顺市、黔东南州和黔西南州的城区人均住房面积,由历年数据估算;安顺、遵义市和毕节市文化产业增加值占GDP比重以及黔西南州人均公园绿地面积由政府发布新闻公告估算,黔南州二氧化硫排放量、工业固体废物综合利用率、文化产业增加值占GDP比重以及平均气温和年降水量均来自州政府官网;铜仁市工业固体废物综合利用率、黔东南和黔南人均公园绿地面积,黔东南和黔西南文化产业增加值占GDP的比重均由政府发布的新闻公告估算。

### 4. 基于IFAHF的贵州生态文明建设水平评价步骤

#### 4.1 指标的标准化

按照指标的属性可将本文的指标划分

表1. 贵州生态文明建设水平评价指标体系

一级指标	二级指标
生态经济 A1	人均生产总值(元)B1
	第三产业增加值占GDP的比重增长率(%)B2
	人均一般公共预算收入增速(%)B3
	单位GDP能耗(吨标准煤/万元)B4
	单位GDP电耗(千瓦时/万元)B5
生态环境 A2	一般公共预算支出-节能环保(万元)B6
	森林覆盖率(%)B7
	城区环境空气质量优良率(%)B8
	县级以上集中式饮用水源地水质达标(%)B9
	农用化肥施用量增长率(%)B10
生态宜居 A3	工业固体废物综合利用率(%)B11
	二氧化硫排放总量(万吨)B12
	人均公园绿地面积(平方米/人)B13
	城市生活垃圾无害化处理率(%)B14
	平均气温(℃)B15
生态文化 A4	年降水量(mm)B16
	人均公路里程(千米)B17
	城区人均住房面积(平方米)B18
	一般公共预算支出-教育服务(亿元)B19
	一般公共预算支出-文化体育与传媒(亿元)B20
	文化产业增加值占GDP的比重(%)B21
	高等教育在校学生(人)B22
	普通中学在校学生(人)B23

为效益型、成本型和居中型。效益型指标是指值越大越好的指标,成本型指标是指值越小越好的指标。对于效益性、成本型和居中型指标标准化方法<sup>[13]</sup>分别为:

$$z_{ij} = \frac{x_j^+ - x_{ij}}{x_j^+ - x_j^-}; \quad z_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^-}{x_j^+ - x_j^-};$$

$$z_{ij} = 1 - \frac{|x_{ij} - x_j^*|}{\max |x_{ij} - x_j^*|}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

其中,  $i=1, 2, \dots, m$ ,  $m$  是评估对象个数;  $j=1, 2, \dots, n$ ,  $n$  是属性个数,

$x_j^+ = \max x_{ij}$ ,  $x_j^- = \min x_{ij}$ ,  $x_j^+$  是第  $j$  个指标的最佳稳定值。数据经过标准化后, 各类属性量度出来的值从 0 到 1 变化。

#### 4.2 综合评估步骤

Atanassov 在 Zadeh 提出的模糊集理论基础上进一步推广定义了直觉模糊集。近年来, 直觉模糊集理论越来越广泛地应用于决策领域。基于 IFAHP 的综合评估步骤如下:

**第一步:** 确定指标体系。本文从生态经济、生态环境、生态宜居和生态文化四个角度构建生态文明建设指标体系, 如表 1 所示。

**第二步:** 建立直觉模糊判断矩阵。对同一层指标的各因素关于上一层某一指标的重要性进行两两比较, 通过专家打分, 建立直觉模糊判断矩阵  $R = (r_{ij})_{n \times n}$ ,  $i, j$  分别表示直觉模糊判断矩阵的行和列, 其中  $r_{ij} = (u_{ij}, v_{ij})$ ,  $u_{ij}$  表示隶属度, 即第  $i$  个指标优于第  $j$  个指标的程度,  $v_{ij}$  表示非隶属度, 即第  $i$  个指标劣于第  $j$  个指标的程度,  $\pi_{ij}$  表示犹豫度,  $\pi_{ij} = 1 - u_{ij} - v_{ij}$ 。定性评价语与直觉模糊数的对应关系如表 2。

表 2. 定性评价语与直觉模糊数对应表

定性评价语	直觉模糊数	定性评价语	直觉模糊数
极端重要	(0.90, 0.10, 0.00)	较不重要	(0.4, 0.45, 0.15)
很重要	(0.80, 0.15, 0.05)	不重要	(0.30, 0.60, 0.10)
重要	(0.70, 0.20, 0.10)	很不重要	(0.20, 0.75, 0.05)
较重要	(0.60, 0.25, 0.15)	极端不重要	(0.10, 0.90, 0.00)
同等重要	(0.50, 0.30, 0.20)	--	--

**第三步:** 一致性检验。对直觉判断矩阵进行一致性检验。若满足一致性, 跳至第五步; 否则转至第四步。利用检验公式

$$d(\bar{R}, R) = \frac{1}{2(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (|\bar{u}_{ij} - u_{ij}| + |\bar{v}_{ij} - v_{ij}| + |\bar{\pi}_{ij} - \pi_{ij}|)$$

其中,  $R$  是直觉模糊判断矩阵,  $\bar{R}$  是直觉模糊一致性判断矩阵,  $\bar{R} = (\bar{r}_{ij})_{n \times n}$ 。

1) 当  $j > i+1$ ,  $\bar{R} = (\bar{r}_{ij}) = (\bar{u}_{ij}, \bar{v}_{ij})$ ;

$$\bar{u}_{ij} = \frac{\sqrt[j-i-1]{\prod_{t=i+1}^{j-1} u_{it} u_{tj}}}{\sqrt[j-i-1]{\prod_{t=i+1}^{j-1} u_{it} u_{tj} + \prod_{t=i+1}^{j-1} (1-u_{it})(1-u_{tj})}}, j > i+1$$

$$\bar{v}_{ij} = \frac{\sqrt[j-i-1]{\prod_{t=i+1}^{j-1} v_{it} v_{tj}}}{\sqrt[j-i-1]{\prod_{t=i+1}^{j-1} v_{it} v_{tj} + \prod_{t=i+1}^{j-1} (1-v_{it})(1-v_{tj})}}, j > i+1$$

2) 当  $j = i+1$ , 令  $\bar{r}_{ij} = r_{ij}$ ;

3) 当  $j < i+1$ , 令  $\bar{r}_{ij} = (\bar{v}_{ij}, \bar{u}_{ij})$ 。

将直觉模糊一致性判断矩阵  $\bar{R} =$

$(\bar{r}_{ij})_{n \times n}$  代入检验公式进行一致性检验。

若  $d(\bar{R}, R) < 0.1$ , 则通过一致性检验, 否则未通过。

**第四步:** 修正不满足一致性检验的直觉判断矩阵。未通过一致性检验的, 需要设置参数  $\sigma$  利用下式进行迭代, 其中

$$\bar{u}_{ij} = \frac{u_{ij} (1-\sigma)^{u_{ij}(\sigma)}}{u_{ij} (1-\sigma)^{u_{ij}(\sigma)} + (1-u_{ij}) (1-\sigma)^{(1-u_{ij})(\sigma)}};$$

$$\bar{v}_{ij} = \frac{v_{ij} (1-\sigma)^{v_{ij}(\sigma)}}{v_{ij} (1-\sigma)^{v_{ij}(\sigma)} + (1-v_{ij}) (1-\sigma)^{(1-v_{ij})(\sigma)}}, i, j = 1, 2, \dots, n$$

$\sigma \in [0, 1]$ , 直到通过一致性检验:

**第五步:** 计算权重。依据直觉模糊一致性判断矩阵, 计算权重。

$$\omega_i = \left( \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (1-v_{ij})}, 1 - \frac{\sum_{j=1}^n (1-u_{ij})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{ij}} \right), i = 1, 2, \dots, n$$

**第六步：**利用直觉模糊数运算算子，计算各层指标对生态文明的组合权重。

$$\alpha_1 \otimes \alpha_2 = (u_{\alpha_1} \bullet u_{\alpha_2}, v_{\alpha_1} + v_{\alpha_2} - v_{\alpha_1} \bullet v_{\alpha_2})$$

$$\alpha_1 \oplus \alpha_2 = (u_{\alpha_1} + u_{\alpha_2} - u_{\alpha_1} \bullet u_{\alpha_2}, v_{\alpha_1} \bullet v_{\alpha_2})$$

**第七步：**利用标准化后的指标值，代入下式

$$F_i = \bigoplus_{j=1}^n (Z_{ij} \otimes W_j)$$

得出综合评价价值，进而得出贵州九个地州市生态文明建设水平的排序， $F_i$  越大，生态文明建设水平越高。

## 5. 实证分析

根据计算步骤第一步到第五步，本文在通过专家打分的形式建立直觉模糊判断矩阵后，进行一致性检验，发现五个直觉模糊判断矩阵均不满足一致性检验，五个矩阵的  $d(\bar{R}, R)$  分别为 0.1333, 0.186, 0.208, 0.153 和 0.11, 均大于 0.1, 不满足一致性检验。因此，设置参数令  $\sigma=1/4$ , 调整直觉模糊判断矩阵，再进行一致性检验， $d(\bar{R}, R)$  分别为 0.035, 0.049, 0.048, 0.038 和 0.046, 均小于 0.1, 满足一致性检验。由第六步计算得到指标的组权重如表 3 所示。

利用第七步计算九个地州市的综合评价价值，并按照从小到大进行排序，排序结果如表 4 所示。

由表 4 可知，黔东南的综合评价价值为 12.72, 得分最高，其次是贵阳、黔南、黔西南、铜仁和遵义，分别为 11.94、11.88、11.42、10.97 和 10.72。毕节、安顺和六盘

表 3. 指标总权重表

一级指标权重	二级指标权重	总权重
(0.137, 0.785)	(0.092, 0.832)	(0.013, 0.964)
	(0.144, 0.772)	(0.020, 0.951)
	(0.081, 0.868)	(0.011, 0.972)
	(0.187, 0.729)	(0.026, 0.942)
	(0.105, 0.818)	(0.014, 0.961)
	(0.185, 0.722)	(0.025, 0.940)
	(0.180, 0.746)	(0.058, 0.895)
	(0.215, 0.716)	(0.070, 0.883)
	(0.077, 0.869)	(0.025, 0.946)
	(0.117, 0.830)	(0.038, 0.930)
(0.237, 0.676)	(0.098, 0.844)	(0.032, 0.935)
	(0.142, 0.788)	(0.046, 0.913)
	(0.137, 0.795)	(0.033, 0.934)
	(0.137, 0.805)	(0.032, 0.937)
	(0.229, 0.712)	(0.054, 0.907)
	(0.186, 0.754)	(0.044, 0.920)
	(0.040, 0.891)	(0.010, 0.965)
	(0.088, 0.867)	(0.021, 0.957)
	(0.142, 0.754)	(0.021, 0.944)
	(0.159, 0.740)	(0.024, 0.941)
(0.149, 0.772)	(0.222, 0.662)	(0.033, 0.923)
	(0.141, 0.747)	(0.021, 0.942)
	(0.105, 0.797)	(0.016, 0.954)

表 4. 综合评价结果排序表

地区	综合评价价值	排序
黔东南	12.72	1
贵阳	11.94	2
黔南	11.88	3
黔西南	11.42	4
铜仁	10.97	5
遵义	10.72	6
毕节	9.72	7
安顺	9.55	8
六盘水	7.81	9

水的得分偏低，分别为 9.72、9.55 和 7.81。贵州九个地州市的生态文明建设水平都较高但发展水平不平衡。

## 6. 结束语

本文将直觉模糊层次分析法应用于评价贵州省生态文明建设水平，建立了包含生态经济、生态环境、生态宜居和生态文化 4 个一级指标和 23 个二级指标的指标体系，用直觉模糊数表示指标权重，进而计算得分并比较大小。但是，受限于各个地州市的统计数据不能完全获取，个别指标的代表性不强。

本文的实证研究发现说明贵州省的生态文明建设水平较高，但各个地州市的水平存在较大差异。因此，贵州省各个地州市政府、环保局和水利局等相关部门有必要采取措施，进一步提高生态质量。例如，贵州省要充分利用生态资源，推动贵州省生态资源市场化和资本化，响应国家战略，实现绿色发展；提高清洁能源使用效率；提高公民的环保意识；加大对工业企业超标排放污染物的惩罚力度等举措。

## 致谢

本文为国家自然科学基金地区项目《贷款风险补偿资金对科技型中小企业信贷配给的影响机理研究》(71263011)、2017 年度第二批贵州省基础研究计划（软科学类别）项目《贵州大数据产业、生态文明建设与金融集聚耦合协调发展研究》（黔科合基础〔2017〕1516-1）、贵州财经大学 2018 年度在校学生科研资助项目《贵州绿色金融发展对生态文明建设的促进作用研究》的阶段成果之一。

## 参考文献

- [1] 赵芳.生态文明建设评价指标体系构建与实证研究.中国林业科学研究院,2010.
- [2] 张欢,成金华,冯银,陈丹,倪琳,孙涵.特大型城市生态文明建设评价指标体系及应用——以武汉市为例.生态学报, 2015, 35(02):547-556.

- [3] 郑艳玲,高建山,韩伏彬.生态文明建设与区域经济协调发展的绩效评价研究——以河北省为例.生态经济,2016, 32 (12): 198-203.
- [4] 成金华,彭昕杰,冯银.中国城市生态文明建设水平评价.中国地质大学学报(社会科学版), 2018,18(02):102-113.
- [5] 江川,王之明,黄文琥.贵州省生态文明建设现状与对策.中国环境监测,2014, 30 (03):13-17.
- [6] 石培新.对贵州生态文明建设的几点思考.贵州师范学院学报,2010,26(02):8-11.
- [7] Van Laarhoven, P J M, Pedrycz W. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. Fuzzy Sets and Systems, 1983, 11 (1): 229-241.
- [8] Buckley J J. Fuzzy hierarchical analysis. Fuzzy Sets and Systems, 1985, 17(3):233-247.
- [9] 高红云,王超,哈明虎.直觉模糊层次分析法.河北工程大学学报(自然科学版), 2011, 28(04):101-105.
- [10] 张尚,王涛,顾雪平.基于直觉模糊层次分析法的电网运行状态综合评估.电力系统自动化,2016,40(04):41-49.
- [11] 顾婧,任珮嘉,徐泽水.基于直觉模糊层次分析的创业投资引导基金绩效评价方法研究.中国管理科学,2015,23(09): 124-131.
- [12] 林震,双志敏.省会城市生态文明建设评价指标体系比较研究——以贵阳市、杭州市和南京市为例.北京航空航天大学学报(社会科学版),2014,27(05):22-28.
- [13] Mu Zhang, Zongfang Zhou. A Credit Rating Model for Enterprises Based on Projection Pursuit and K-Means Clustering Algorithm. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 2012, 2(2): 131-138.