

# 灰色关联法在乡村生态环境评价中的应用

胡海滨<sup>1,2</sup>

(1.福建工程学院 建筑与城乡规划学院,福建 福州 350118;

2.福建师范大学 环境科学与工程学院,福建 福州 350117)

**摘要:** 在研究灰色系统理论的基础上,以福建省生态村的评估工作为例,将灰色关联分析法应用到乡村生态环境质量的综合评定中,建立以多重指标下的生态环境灰色关联模型,并进行实例应用。结果证明该方法可行,得出了实测值分别与标准值和理想值的关联度,而且可以进行同级别的比较分析。

**关键词:** 生态环境;灰色关联分析;乡村;综合评价

中图分类号: X822

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2017)01-0088-05

## Rural ecological environment evaluation models based on grey relational analysis

Hu Haibin<sup>1,2</sup>

(1. College of Architecture and Urban Planning, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. College of Environmental Science and Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China)

**Abstract:** Based on the gray system theory, grey relational analysis (GRA) is applied in the evaluation of ecological environment of ecological villages in Fujian province. A multi-index grey relational analysis model for evaluating ecological environment is formulated, which is employed in practical village ecological environment evaluation. The gray relation degrees between practical values and the standard values and between the practical values and the ideal values are obtained. The results show that the GRA method is feasible in ecological environment evaluation and can be employed in the analysis of the same grade villages.

**Keywords:** ecological environment; grey relational analysis (GRA); village; comprehensive evaluation

新颁布的《美丽乡村建设指南》<sup>[1]</sup>提出,生态环境保护是建设美丽乡村的关键环节,生态环境质量的评定和评比是促进乡村生态保护工作的重要推手。目前,中国对美丽乡村建设的力度逐渐加大,在当前农村生态环境质量不容乐观的情况下,为使建设力度客观、公平、公正地落实到生态环境质量改善上,需要更加客观性、量化式的综合评价方法。

将灰色关联分析法应用到乡村生态环境质量综合评价中,基于《福建省生态村创建标准》中的

量化标准值,结合工作实际,探讨建立灰色关联模型,通过美丽乡村生态环境质量的综合评价实例运用,为生态村的综合考评提供新的思路。

## 1 目前乡村生态环境评价机制的缺陷

乡村的生态环境是一个多指标、模糊的、复杂的系统,指标高低不同,影响因素众多。传统的评定方式是实地查看,计算积分、审查报告,缺陷是对各指标的影响程度做不到精确的综合和衡量,也

不能进行村之间的横向比较和动态变化。以福建省生态村的考核办法为例,主要是依靠指标积分,在评判模式上缺乏严谨的理论指导,难以做出统筹众多指标下的综合量化考评与比对。主要存在以下几个方面的问题:

一是评价量化度不够,损失大量数据信息。依照《福建省生态村创建标准》,某项指标达标,即可得到该指标的满分,未到达就是 0 分。这就无法体现出不同指标值的贡献率区别,例如生活污水处理率(达到 80% 以上即可得满分 8 分,未到达为 0 分),如果 A 村庄处理率 95%,B 村庄处理率 80%,两者得到一样的分数明显是不合理的,若果 C 村庄处理率为 75%,D 村庄处理率仅为 20%,两者均得到 0 分,也是非常不合理的。因此,考评结果要考虑到每个指标实测值的贡献大小,不能简单地以达标和未达标而论。

二是指标的算术积分方法过于简单化。按照《福建省生态村创建标准》,每个指标的得分进行累加,按总分来计算,超过 90 分即达生态村标准。简单的积分方法,忽略了一些超量的指标。例如 E 村总分为 90 分,但如果其中饮用水合格率不达标而且很低,判定 E 村为生态村明显是不符的。因此,计算过程中要凸显个别超标严重的指标,必须考虑采用科学的综合评价方法。

三是评价结果体现不出差异化。按照《福建省生态村创建标准》,无论单项指标还是最后结果,只有达标和不达标两种。这样的做法偏离生态评比的初衷,成为了一种为了达标而评优的机制,体现不出生态环境质量的横向对比与动态变化。例如一些生态条件优异的偏远山区乡村,达标成为必然,但在达标的基础上量化评比与动态分析显得更为重要。量化的结果更有利于科学排序,促进良好生态环境常态化和稳定发展,以评促建才是根本。

## 2 基于灰色关联理论的综合评价模型

灰色关联理论是邓聚龙教授 20 世纪 80 年代创立的一种研究少数据、贫信息不确定性问题的新方法。灰色关联法作为灰色理论一个发展分支,其基本思想是利用两种事物各类因子的数据形成的坐标曲线,利用两条曲线之间的形似程度或者面积差,来定量和定性地研究两种事物间的

关联程度。两条曲线越相似,其关联度越大,反之,其关联度越小。

灰色关联分析不仅可以对多指标下的模糊事物进行识别、抽象描述和等级判定,而且步骤更简洁,计算速度更快,在评价、决策及管理领域中得到了广泛的应用,并不断得到改进。刘思峰等<sup>[2]</sup>从基于接近性测度相似性的灰色关联分析模型,到分别基于相似性和接近性视角构造的灰色关联分析模型,研究对象从曲线之间的关系分析到曲面之间的关系分析,再到三维空间立体乃至  $n$  维空间中超曲面之间的关系分析,较为清晰地展示出灰色关联分析模型的几条研究脉络。刘震<sup>[3]</sup>等利用灰色关联模型对沿海 8 市经济发展水平进行评价,取得良好效果,验证了模型的有效性和实用性。张家其<sup>[4]</sup>等将灰色系统理论与熵值赋权法相结合,采用压力—状态—响应模型,对恩施贫困地区生态安全状况进行综合评价。晋盛武<sup>[5]</sup>等选取安徽 6 座典型城市的经济发展指标和工业“三废”数据,对综合型和矿产资源开采型两类不同城市的环境库兹涅茨曲线(EKC)形态进行实证研究,使用灰色分析法研究其影响因子,结果发现经济结构与技术进步对环境污染有着重大的影响。

## 3 灰色关联模型在乡村生态环境质量评价中的应用

### 3.1 评价指标的选择

表征乡村生态环境状况的指标众多,主要为两大类,自然生态和污染防治。本研究结合当地传统村落的实际特征,以及吸收专家的建议,遵循科学性、可比性和可行性的原则,在《福建省生态村创建标准》的基础上,进行了评价指标的筛选和补充。评价对象为福建偏远山区的一些传统村落,绝大多数村庄经济之间无明显差别,无明显工业污染源,水质、土壤、噪声和大气等环境质量均达标。因此把评价重点放在农业生产生活污染防治、生态绿化、村容村貌、村民满意度等方面,共筛选出 10 项指标,如表 1 所示。

### 3.2 评价对象及指标实测值的获取

以福建闽北山区的 A、B、C 3 个村庄为例,各项指标值的考核及测算方法<sup>[3]</sup>依据《福建省生态村创建标准》进行,3 个村庄各指标实测值的汇总情况如表 2 所示。

表 1 乡村生态环境的量化指标

Tab.1 Quantitative index of rural ecological evaluation

| 序号 | 指标项目         | 量化标准值/% | 参照来源          |
|----|--------------|---------|---------------|
| 1  | 饮用水卫生合格率     | >95     |               |
| 2  | 户用卫生厕所普及率    | >90     |               |
| 3  | 农膜回收率        | >90     |               |
| 4  | 农作物秸秆综合利用率   | >90     |               |
| 5  | 畜禽粪便综合利用率    | >90     | 《福建省级生态村创建标准》 |
| 6  | 生活垃圾无害化处理率   | >90     | 《美丽乡村建设指南》    |
| 7  | 生活污水处理农户覆盖率  | >80     |               |
| 8  | 使用清洁能源的农户数比例 | >90     |               |
| 9  | 林草覆盖率        | 山区:>80  |               |
| 10 | 村民对生态环境满意率   | >95     |               |

表 2 乡村生态指标考评实测值

Tab.2 Measured value of rural ecological indexes

| 序号 | 指标项目            | A 村  | B 村  | C 村  | % |
|----|-----------------|------|------|------|---|
| 1  | 饮用水卫生合格率        | 94.6 | 99.0 | 95.2 |   |
| 2  | 户用卫生厕所普及率       | 88.5 | 95.3 | 91.8 |   |
| 3  | 农膜回收率           | 95.6 | 94.8 | 92.5 |   |
| 4  | 农作物秸秆综合利用率      | 99.0 | 96.3 | 96.5 |   |
| 5  | 畜禽粪便综合利用率       | 100  | 100  | 100  |   |
| 6  | 生活垃圾无害化处理率(清运率) | 98.5 | 93.7 | 89.2 |   |
| 7  | 生活污水处理农户覆盖率     | 87.6 | 89.9 | 82.1 |   |
| 8  | 使用清洁能源的农户数比例    | 91.0 | 93.2 | 93.3 |   |
| 9  | 林草覆盖率           | 84.4 | 77.6 | 80.8 |   |
| 10 | 村民对生态环境满意率      | 97.2 | 97.6 | 96.1 |   |

3.3 建立评价序列

生态环境各指标标准值组成标准序列 G:

$$G = \{G(1), G(2), \dots, G(10)\} = \{95, 90, 90, 90, 90, 90, 80, 90, 80, 95\}$$

生态环境各指标理想值组成理想序列 D:

$$D = \{D(1), D(2), \dots, D(10)\} = \{100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100\}$$

A, B, C 3 个村庄的生态环境指标实测值组成以下参考序列:

$$\begin{Bmatrix} A(1) & A(2) & \dots & A(10) \\ B(1) & B(2) & \dots & B(10) \\ C(1) & C(2) & \dots & C(10) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 94.6 & 88.5 & 95.6 & 99.0 & 100 & 98.5 & 87.6 & 91.0 & 84.4 & 97.2 \\ 99.0 & 95.3 & 94.8 & 96.3 & 100 & 93.7 & 89.9 & 93.2 & 77.6 & 97.6 \\ 95.2 & 91.8 & 92.5 & 96.5 & 100 & 89.2 & 82.1 & 93.3 & 80.8 & 96.1 \end{Bmatrix}$$

3.4 计算关联系数

根据经典灰色关联理论, 定义  $\gamma(x_0(k),$

$x_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \rho\Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \rho\Delta_{\max}}$ ,  $\gamma$  为数列  $x_0$  与数列  $x_i$  之间的灰色关联系数。

其中,  $\Delta_{oi}(k) = |x_0(k) - x_i(k)|$  为绝对差,  $\Delta_{\min} = \min_i \min_k \Delta_{oi}(k)$  为两极最小差,  $\Delta_{\max} =$

$\max_i \max_k \Delta_{oi}(k)$  为两极最大差,  $\rho \in (0, 1)$  为分辨系数, 其意义是削弱最大绝对值太大引起的失真, 提高关联系数之间的差异显著性, 一般情况下  $\rho = 0.5$ 。

由于各指标数值的量纲均为百分比, 在此无需进行无量纲化处理。以 A 村庄为例, 对于第 k 指标, A 村庄与理想值之间的关联系数为:

$$\gamma(D(k), A(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \rho\Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \rho\Delta_{\max}}, \Delta_{oi}(k) = |D(k) - A(k)|, k = 1, 2, 3, \dots, 10, \rho = 0.5$$

经过计算，得出 3 个村庄各指标与标准值和理想值的关联系数如表 3 和表 4 所示。

表 3 实测值与标准值的关联系数

Tab.3 Correlation coefficient between measured and standard values

| 序号 | 指标           | A 村   | B 村   | C 村   |
|----|--------------|-------|-------|-------|
| 1  | 饮用水卫生合格率     | 0.963 | 0.578 | 1.000 |
| 2  | 户用卫生厕所普及率    | 0.800 | 0.505 | 0.765 |
| 3  | 农膜回收率        | 0.491 | 0.531 | 0.693 |
| 4  | 农作物秸秆综合利用率   | 0.371 | 0.460 | 0.452 |
| 5  | 畜禽粪便综合利用率    | 0.347 | 0.347 | 0.347 |
| 6  | 生活垃圾无害化处理率   | 0.385 | 0.598 | 0.897 |
| 7  | 生活污水处理农户覆盖率  | 0.413 | 0.349 | 0.732 |
| 8  | 使用清洁能源的农户数比例 | 0.867 | 0.634 | 0.627 |
| 9  | 林草覆盖率        | 0.553 | 0.703 | 0.897 |
| 10 | 村民对生态环境满意率   | 0.722 | 0.684 | 0.852 |

表 4 实测值与理想值的关联系数

Tab.4 Correlation coefficient between measured and ideal values

| 序号 | 指标           | A 村   | B 村   | C 村   |
|----|--------------|-------|-------|-------|
| 1  | 饮用水卫生合格率     | 0.675 | 0.918 | 0.700 |
| 2  | 户用卫生厕所普及率    | 0.493 | 0.704 | 0.577 |
| 3  | 农膜回收率        | 0.718 | 0.683 | 0.599 |
| 4  | 农作物秸秆综合利用率   | 0.918 | 0.752 | 0.762 |
| 5  | 畜禽粪便综合利用率    | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 6  | 生活垃圾无害化处理率   | 0.882 | 0.640 | 0.509 |
| 7  | 生活污水处理农户覆盖率  | 0.475 | 0.526 | 0.385 |
| 8  | 使用清洁能源的农户数比例 | 0.554 | 0.622 | 0.626 |
| 9  | 林草覆盖率        | 0.418 | 0.333 | 0.368 |
| 10 | 村民对生态环境满意率   | 0.800 | 0.824 | 0.742 |

### 3.5 计算各指标的权重值

权重分配采取赋值法，参照《福建省生态村

创建标准》赋予的分值， $w_k = \frac{m_k}{\sum_{k=1}^{10} m_k}$ ， $k = 1, 2, 3, \dots, 10$ 。 $m_k$  为  $k$  指标的分值， $w_k$  为  $k$  指标的权重。

经计算，得出各指标的权重值为：

$$w_k = (w_1, w_2, \dots, w_{10}) = (0.087, 0.072, 0.072, 0.072, 0.087, 0.174, 0.116, 0.087, 0.087, 0.145)$$

### 3.6 计算整体关联度

关联系数是比较数列与参考数列在各个指标

下的（即比较数列和参考数列两条曲线中的各点）的关联程度值，所以需要有一个综合各指标后的整体关联度。以 A 村庄为例，各指标的关联系数分别乘以各自权重，然后求和，即得到 A 村庄与理想值之间的整体关联度为：

$$r_{AD} = \sum_{k=1}^{10} w_k \cdot \gamma(D(k), A(k))$$

其中  $\gamma(D(k), A(k))$  为对于第  $k$  指标，A 村庄与理想值之间的关联系数。

将数据带入模型公式，利用计算软件运算，得出 3 个村庄与标准值和理想值的关联度如表 5 所示。

表 5 关联度计算结果

Tab.5 Computational result of grey relational degrees

| 结果  | 与理想值之间的<br>关联度 $r$ | 与标准值之间的<br>关联度 $r$ |
|-----|--------------------|--------------------|
| A 村 | 0.708              | 0.577              |
| B 村 | 0.696              | 0.548              |
| C 村 | 0.615              | 0.751              |

### 3.7 关联度分析与结果比较

根据经验,当 $\rho=0.5$ 时,关联度大于 0.6 时符合关联要求。由此可以得出以下结果:

A 村和 B 村的生态环境综合质量与理想值的关联度更近,与标准值的关联度稍远,说明这两个村庄整体上都已超出生态村的标准要求,更接近理想状态,从数值上看,两者非常接近,A 村略优于 B 村。相比之下,C 村与标准值更为接近,与理想值稍远,说明也已达生态村标准要求,但综合质量逊于 A 村和 B 村。这与村民的生态环境满意率基本取得一致。若按照以往的办法,C 村各项指标达标,A 村、B 村个别指标未达标,C 村的综合分数会超过 A 村、B 村,这与村民的生态环境满意率评价不符。

A 村的饮用水卫生合格率和户用卫生厕所普及率虽未达标,但已非常接近,按照以往打分的评价办法,两个指标得分为零,这是不合理的。在灰色关联的计算模式下,两个指标均获得了一定的关联贡献。同时,在生活垃圾无害化处理率(清运率)和生活污水处理农户覆盖率这两个权重较大的指标上,A 村的数据非常不错,通过灰色关联模型,凸显了这方面的优势,使得整体综合评价优异。相反,C 村虽然各指标均达标,但在生活垃圾无害化处理率(清运率)和生活污水处理农户覆

盖率这两个重要指标上,因为其数据不突出,反而使得整体综合评价劣于 A 村和 B 村。

通过以上关联度分析,不仅可以得出在多个指标下,3 个村庄总体上是否达到生态标准要求,而且也能得出它们与理想值、标准值的整体关联度大小,从而可以进行生态环境综合质量的科学比对。

## 4 结论与建议

灰色关联分析在乡村生态环境综合评价的应用,综合了包括污染防治和生态特征等在内的多种不同类型指标,以各指标的实测数据为依据用灰色关联度来描述其与标准之间关系的强弱、大小和次序,得出了一个可以量化的结果。

具体的实例应用表明,灰色关联模型应用于农村生态环境的综合评价是可行的,建模过程清晰有序,计算严谨准确,得到了量化结果。不仅可以得到生态环境质量与标准值、理想值的关联程度,还实现了村庄之间进行生态环境质量差异的量化比较。灰色关联模型有效避免了信息损失,无论其指标数据的高低,均取得一个关联系数,对结果均有贡献,尤其是可以凸显一些权重值较高的指标影响,而且可以区分达标前提下的综合质量高低。

灰色关联模型在福建乡村生态环境评价中得到了运用,需要指出的是,在指标的选定和权重的分配上,吸取了近几年福建省生态村评选的经验做法,结合实际,借鉴了国家新推出的《美丽乡村建设指南》。在借鉴本方法进行实例应用时,需结合当地实际情况和工作需要,对指标体系进行科学筛选和制定。

### 参考文献:

- [1] 应珊婷,郑勤.《美丽乡村建设指南》国家标准解读[J].大众标准化,2015(6):8-11.
- [2] 刘思峰,蔡华,杨英杰,等.灰色关联分析模型研究进展[J].系统工程理论与实践,2013(8):2041-2046.
- [3] 刘震,党耀国,周伟杰,等.新型灰色接近关联模型及其拓展[J].控制与决策,2014(6):1071-1075.
- [4] 张家其,吴宜进,葛咏,等.基于灰色关联模型的贫困地区生态安全综合评价——以恩施贫困地区为例[J].地理研究,2014(8):1457-1466.
- [5] 晋盛武,吴鹏,金菊良.安徽典型城市环境 K 线形态及灰色关联度分析[J].环境科学学报,2013(7):2068-2077.