

# Model Study on the Impact of Construct Projects on the Ecological Environment

Kaitong Lin<sup>1</sup>, Taibing Chen<sup>1</sup>, Haoran Qi<sup>2</sup>, Yuanbiao Zhang<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>College of Intelligent Science and Engineering, Jinan University, Zhuhai Guangdong

<sup>2</sup>College of Electrical Engineering, Jinan University, Zhuhai Guangdong

<sup>3</sup>Mathematical Modeling Innovative Practice Base, Jinan University, Zhuhai Guangdong

Email: 947769657@qq.com, ling\_zero\_l@163.com, 1762190242@qq.com, \*abiao@163.com

Received: May 2<sup>nd</sup>, 2019; accepted: May 17<sup>th</sup>, 2019; published: May 24<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In order to study the impact of construct projects on the ecological environment, this paper combines the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy Comprehensive Evaluation Method to analyze more than ten indexes of the ecological environment, and constructs an ecological environment evaluation model. At the same time, considering the influence of time on various indexes, we will construct the index variable weight function changing with time while establishing the ecological environment prediction model by combining the Grey Prediction Method and the Time Series Prediction Method. Taking the constructing area of three gorges as an example, the results finally show that since its construction, the surrounding ecological environment has presented an overall situation from the worse to the better and it will also show a trend of brief deterioration but eventually rationalization in future.

## Keywords

Ecological Environment, Ecological Environment Evaluation Model, Ecological Environment Prediction Model

---

# 建设工程对生态环境影响的模型研究

林凯通<sup>1</sup>, 陈太兵<sup>1</sup>, 齐浩然<sup>2</sup>, 张元标<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>暨南大学智能科学与工程学院, 广东 珠海

<sup>2</sup>暨南大学电气工程学院, 广东 珠海

<sup>3</sup>暨南大学数学建模创新实践基地, 广东 珠海

Email: 947769657@qq.com, ling\_zero\_l@163.com, 1762190242@qq.com, \*abiao@163.com

---

\*通讯作者。

收稿日期：2019年5月2日；录用日期：2019年5月17日；发布日期：2019年5月24日

## 摘要

为研究建设对生态环境的影响，本文结合层次分析法和模糊综合评价法对影响生态环境的多项因素加以分析，构建了生态环境评价模型；同时考虑到时间对各种因素的影响，构建了随时间变化的指标变权函数，并结合灰色预测和时间序列预测法建立了生态环境预测模型。以三峡大坝工程区为例进行分析，其结果最终说明：自建设以来，其周边生态环境呈现出先差后好的整体情况，其未来也会出现短暂恶化但最终走向合理化的趋势。

## 关键词

生态环境，生态环境评价模型，生态环境预测模型

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

生态系统是地球之本，它对自然环境的调解保障了人们的生存环境，同样也帮助社会的可持续发展。生态系统是地球生态环境自我修复的绝对基础，如果生态系统受到破坏且超出了一定的破坏界限，那么生态破坏是难以逆转的。

随着社会城市化的进展，人们对自然环境的开发程度越来越大，生态环境因此容易遭受到严重的破坏。以桥梁建设为例：大型桥梁工程会对地表水带来严重污染，同样会使周边空气的  $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  等污染物浓度增加[1]。在铁路建设的过程中，由于对自然环境的直接开发，建设会造成水土流失，甚至逐渐影响周边地区的养殖业及盐业的发展[2]，大型水利工程的开发会污染水资源，影响植被生长，造成土壤破坏，严重情况还会导致水环境生态系统的失衡[3]。

由此可见，空气质量，水质条件，气候，生态多样性等自然环境因素影响着人们的日常生活。对于生态环境评价的研究从上述角度出发会更加客观实际。目前对于土地开发项目中生态服务的评价，已经有很多种模型可以实现，如：USLE 模型[4]，多因子综合的复合评价模型[5]，能力成熟度模型[6]等方法。

本文将结合层次分析法[7]与模糊综合评价法[8]，通过分析影响生态服务的因素权重随时间的变化规律，构建在土地项目开发环境下生态环境评价模型[9]：将影响生态环境的因素分成三层，分别为指标层、准则层和目标层，并结合熵权法、层次分析法、模糊分析法来进行层与层之间的转化，最终得出生态环境指数，用于评价建设工程对生态环境的影响。此外，由于各项指标之间的权重保持不变显然与现实情况相冲突，因此本文将会在生态服务评价模型中加入权重随时间变化的计算方法。该方法结合前期数据随着时间的变化的趋势，自动更改准则层与指标的权重，避免了权重无法适应环境变化的情况，保证模型能更符合数据的特点。最后，还会对未来十年的各项指标和生态服务指标进行预测，预测的结果将会体现模型的准确性。

## 2. 模型的建立

### 2.1. 影响模型的因素

要建立土地开发中生态环境的评价模型, 需要以土地开发过程中所在环境指标为基准进行建模评价。通过对大型工程的年报[10]分析, 结合生态环境指标因素的分类, 在模型准备中我们选定了目标层, 准则层和指数层作为分级评价的依据。其中目标层为生态环境评价的总指标, 准则层为影响生态环境的几大因素, 包括空气质量, 水文条件, 水质条件, 气候以及生物多样性。指标层在准则层的基础上划分得到, 是代表各个准则层的具体指标。指标层中的各个指标本身具有参数相关性, 有正效应指标  $m_+$  和负效应指标  $m_-$  之分。代表着指数高低对最终结果好坏的影响:  $m_+$  越大代表结果越好,  $m_-$  越小代表结果越好。具体划分如图 1 所示:

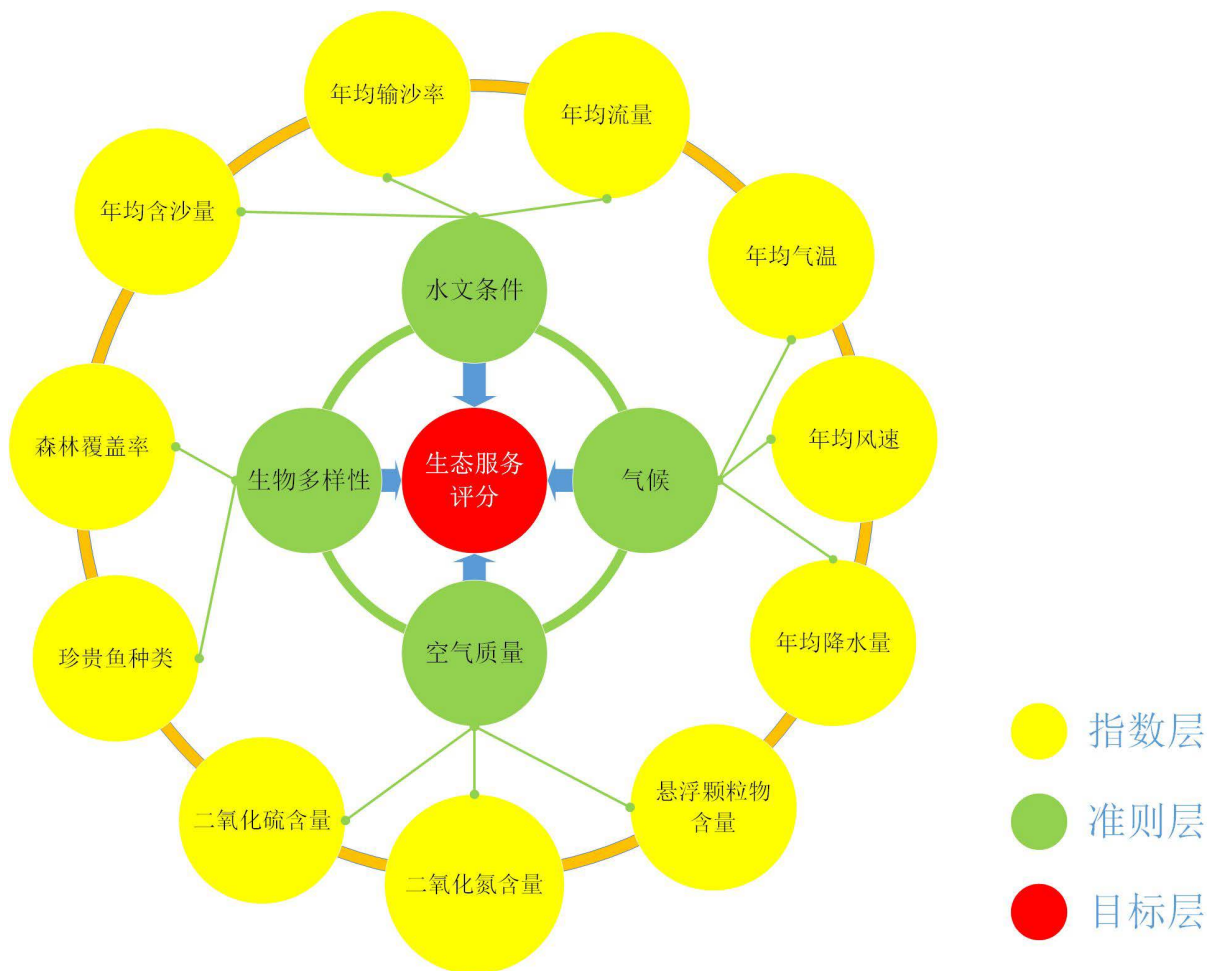


Figure 1. Different levels about indicators of ecological service evaluation  
图 1. 生态服务评价的各级指标

由图 1 可见, 生态环境评价的准则层由空气质量, 水文条件, 气候以及生物多样性这四项环境因素组成(对于社区建设土地利用的情况, 由于城市中水域流量小, 实际应用中可将水文条件因素改为水质条件)。其中空气质量因素由空气中的二氧化硫浓度, 二氧化氮浓度以及空气中的悬浮颗粒浓度三项指标组成; 水文条件由平均输沙率, 平均流量, 平均含沙量组成; 气候由平均气温, 平均降水量与平均风速三

项指标构成；生物多样性由河流中鱼类的数量决定。

## 2.2. 生态环境评价模型的建立

根据本文 2.1 中提出的为评估生态环境确定的四个准则层，即空气质量，水文条件，气候和生物多样性，本文利用层次分析法和模糊综合评价法交互作用建立生态环境评估模型，得到开发土地的生态服务指数  $e_i$ 。

1) 利用层次分析法，为上述准则层定义比较矩阵  $C_n$ ，根据每个准则层下属的具体指标层的相对重要性，人为划定生态评估模型中准则层的比较矩阵  $C_n$ 。这里定义比较矩阵  $C_n$  如下：

$$C_n = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{24} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nm} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

其中，元素  $c_{ij}$  代表同一准则层中第  $i$  项指标相对第  $j$  项指标的重要程度。由指标之间的相对重要性关系，不难发现，比较矩阵  $C_n$  是一个  $n$  阶互反性矩阵，即满足：

$$c_{ij} = \frac{1}{c_{ji}} \quad (2.2)$$

式(2.2)说明两个指标之间的相对重要程度互为倒数。根据式(3.1)中比较矩阵的形式，分别定义空气质量比较矩阵  $C_1$ ，水文质量比较矩阵  $C_2$ ，气候比较矩阵  $C_3$  与生物多样性比较矩阵  $C_4$ ，其特征向量设为  $\chi_i, i=1,2,3,4$ 。

2) 结合模糊评价分析法，基于已有数据，对空气，水文，生物多样性和气候四项准则层内每一项指标定分别定义指标的标准值数组  $d_i$ ，这里  $d_i$  是一个等差数组。设该指标的最大值为  $x_{\max}$ ，最小值为  $x_{\min}$ ，则该数组  $d_i$  的公差  $k = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{6}$ 。根据每一项指标的标准值数组  $d_i$  计算该指标的隶属函数  $A(x)$ ，计算方法如下：

$$\text{if } j = 2, 3, 4, \dots, n-1: A(x) = \begin{cases} 1 & x < d_i \\ \frac{x - d_{i+1}}{d_i - d_{i+1}} & d_{i+1} < x < d_i \\ 0 & x < d_{i+1} \end{cases} \quad (2.3)$$

$$\text{if } j = 2, 3, 4, \dots, n-1: A(x) = \begin{cases} 0 & x \geq d_{i-1} \\ \frac{d_{i-1} - x}{d_{i-1} - d_i} & d_i < x < d_{i-1} \\ \frac{x - d_{i+1}}{d_i - d_{i+1}} & d_{i+1} < x < d_i \\ 1 & x \leq d_{i+1} \end{cases} \quad (2.4)$$

$$\text{if } j = n: A(x) = \begin{cases} 1 & x > d_{i-1} \\ \frac{x - d_i}{d_{i-1} - d_i} & d_i < x < d_{i-1} \\ 0 & x < d_i \end{cases} \quad (2.5)$$

由式(2.3), (2.4), (2.5)可知, 将空气, 水文, 生物多样性和气候准则层下的标准值数组  $d_i$  的值作为函数  $A(x)$  的定义域, 然后将指标带入函数  $A(x)$  中, 从而获得环境指标相对应的隶属度  $P_{3i}$ , 并将  $P_{3i}$  与准则层内的各项指标的比较矩阵的特征向量  $X_i$  分别相乘, 从而得到该准则层的隶属度  $P_{2i}$ 。

3) 在将 2.2.中提出准则层的隶属度  $P_{2i}$  计算完毕后, 同在准则层内的指标构建比较矩阵  $C_i, i=1,2,3,4$  的方法一致, 利用层次分析法分析生态服务指数的空气, 水文, 生物多样性及气候等准则层的重要性, 搭建比较矩阵  $C_k$  :

$$C_k = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

其中元素  $C_{ij}$  代表第  $i$  个准则层相对第  $j$  个准则层的重要程度, 对问题来说, 比较矩阵  $C_k$  是一个 4 阶互反矩阵, 满足:

$$c_{ij} = \frac{1}{c_{ji}} \quad (2.7)$$

再计算比较矩阵的特征向量  $\lambda$ , 并与所有的准则层隶属度  $P_{2i}$  构成的矩阵  $P$  相乘, 得到生态服务指数

的隶属度  $P_{1i}$ 。将隶属度  $P_{1i}$  与等级矩阵  $\alpha = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix}$  相乘, 最终得到生态服务指数  $e_i$ 。

### 2.3. 生态环境预测模型的建立

随着时间的变化, 生态服务评价模型中各个准则层下的各项环境指标  $c^{(0)}(k)$  也会发生变化, 模型中的环境指标的权重、准则层各项指标的权重也会发生相应的变化, 最终生态服务评价模型能适应时间的推移。由此我们结合时间序列预测[11]和灰色序列预测方法[12], 分析时间对生态服务评价模型的影响:

这里我们简单介绍序列预测的方法:

利用灰色预测方法 GM(1,1)对环境指标  $c^{(0)}(k)$  确定性发展趋势进行预测: 对已有的环境指标数据进行校验, 计算数列的级比  $\lambda(k)$ , 有:

$$\lambda(k) = \frac{c^{(0)}(k-1)}{c^{(0)}(k)}, k = 2, 3, \dots, n \quad (2.8)$$

当数列的级比  $\lambda(k)$  全部在可容覆盖区间  $K = \left( e^{\frac{-2}{n+1}}, e^{\frac{2}{n+1}} \right)$  [13]内时, 这组数据可用于进行灰色预测。

随后预测各项环境指标的发展趋势: 以已有生态环境指标  $c^{(1)}(k)$  为数据列建立灰色预测模型:

$$c^{(0)}(k) + c^{(1)}(k) = b \quad (2.9)$$

运用回归分析法求得  $a, b$  的估计值, 于是算得相应的白化模型为:

$$\frac{dc^{(1)}(t)}{dt} + ac^{(1)}(t) = b \quad (2.10)$$

解为:

$$c^{(1)}(t) = \left( c^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-a(t-1)} + \frac{b}{a} \quad (2.11)$$

进而求出各项环境指标的预计值:

$$\hat{c}_2^{(0)}(k+1) = \hat{c}_2^{(1)}(k+1) - \hat{c}_2^{(1)}(k), k = 1, 2, 3, \dots, n-1 \quad (2.12)$$

具体介绍时间序列预测方法:

利用时间序列预测环境指标的平稳随机变化趋势, 从原始序列中消除增长序列所带来的影响。根据样本序列求样本的自相关函数  $\hat{\rho}_k$  和偏相关函数  $\hat{\beta}_{kk}$ , 再利用函数  $\hat{\rho}_k$  拖尾与  $\hat{\beta}_{kk}$  截尾, 选择序列的自回归模型, 并通过截尾性的判断确定阶数  $k$ 。然后利用函数进行随机值预报, 得到随机变化趋势的预测值  $Z$ 。

最终根据确定性的增长趋势和平稳随机变化趋势计算生态环境指标最终的预测值。由此分析模型受时间的影响, 分析如下:

**Step1:** 对于每个指标  $n$ , 选取三年的数据  $\{D_{nj}, D_{nj+1}, D_{nj+2}\}$  ( $j = 3 * k, k = 0, 1, 2, \dots$ ) 作为熵权法[14]的输入, 并获得数据参数的权重向量。因为数据每年都会发生改变, 而其对应的信息熵也会随着时间的推移而不断发生改变, 因此, 使用每隔三年进行一次熵权法的重新计算, 会让信息熵得以更新, 让其权重更接近于实际的权重。

**Step2:** 根据获得权重向量, 计算其对应的比较矩阵  $C_{nk}$ , 其中,  $C_{nk}$  的每个元素  $c_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$ 。由于熵权法得到权重向量是代表指标中每个参量的重要程度, 因此通过不同参量之间的权重之比, 可以获得参量与参量之间的重要程度之间的对比。根据获得的比较矩阵, 计算其特征向量

**Step3:** 获得的特征向量后, 将其与前三年的权重逐项相乘, 再将得到的结果每一项除以的各项之和, 从而获得当前三年的权重, 并用于计算对应准则层的数值。这样就能在保证信息熵改变的同时, 又能与前面的数据相关联。

**Step4:** 获得的权重, 再与从隶属函数得到的隶属度相乘后, 最终得到准则层的隶属度。由于特征向量是从比较矩阵中获得的, 因此其能很好的表示指标中不同参量的重要程度。

**Step5:** 同样地, 我们选取准则层的前三年数据代入熵权法获得准则层的权重, 并构建比较矩阵, 从而获得其特征向量, 并与前三年的权重逐项相乘和逐项除以前三年权重各项之和和之后, 更新了下一年的实际权重向量, 同时与准则层的隶属度相乘, 最终获得了生态指标层的隶属度。

**Step6:** 获得生态指标层的隶属度后, 与向量[1,2,3,4,5]相乘, 最终获得了生态指标的数值。

由上述介绍可知, 算法每隔三年将会对各个层级之间的权重进行更新, 从而使算法的效果能随着时间的推移而进行变化。

### 3. 案例分析

位于中国湖北省宜昌市长江流域的三峡大坝始建于 1994 年, 完工于 2009 年。三峡大坝是世界上最大的水利发电工程, 肩负着水利枢纽, 发电, 通航等多项功能。三峡大坝设计的目的是抵御长江流域百年一遇的洪水, 是中国南水北调工程的重要一环, 调配国家的水利资源。同时也作为发电主力为中国华东地区提供电力来源。三峡大坝建设时间跨度长, 建设难度大, 同时对于长江流域的生态环境造成了历史性的影响: 三峡大坝建设后, 当地的降水量和平均温度显著变化, 长江流域流量上涨[15], 江流中的生物多样性也与大坝建设前产生差异。因此三峡大坝作为一项国家工程, 其对生态环境的影响及其发展趋势值得去研究。所以我们选取三峡的各项指标检验模型。



### 3.1. 三峡大坝的生态环境评价

对三峡大坝所处环境的生态服务评价的分析, 需要利用 2.2 中提出的生态服务评分模型。在本文中, 参考中华人民共和国生态环境部(原环境保护部)提供的《长江三峡工程与生态环境监测公报》(1999~2009), 通过将环境指标分为目标层, 准则层和指标层三个层次, 充分利用所查找的三峡大坝库区的各项生态环境指标, 将指标与评价模型结合, 形成准确有效的三峡大库区的生态服务指数。三峡大坝库区的生态服务评价模型建立如下:

将三峡大坝库区的生态服务指数作为评价模型的目标层, 并以此选定评价模型的准则层。准则层包括: 建设区的空气质量, 建设区的水文条件, 建设区的气候以及建设区的生态多样性。各个准则层对应的指标层及指标的参数相关性如表 1 所示。

**Table 1.** Correlations between ecological service index layer and parameters in reservoir area of three gorges dam  
**表 1.** 三峡大坝库区生态服务指标层与参数相关性

| 准则层     | 指标层      | 参数相关性 |
|---------|----------|-------|
| 库区空气质量  | 二氧化硫浓度   | -     |
|         | 二氧化氮浓度   | -     |
|         | 空气悬浮颗粒浓度 | -     |
| 库区水文条件  | 全年平均水流量  | -     |
|         | 全年平均输沙率  | -     |
|         | 全年平均含沙量  | -     |
| 库区气候条件  | 平均气温     | +     |
|         | 平均降水量    | +     |
|         | 平均风速     | -     |
| 库区生物多样性 | 江流鱼类种数   | +     |

随后将这些指标带入生态服务评价模型中, 过程如下:

首先利用每个指标层中对应的各项指标, 分别人工定义大坝库区空气质量比较矩阵  $C_{11}$ , 大坝库区水文质量比较矩阵  $C_{12}$ , 大坝库区气候比较矩阵  $C_{13}$  与大坝库区生态多样性比较矩阵  $C_{14}$ , 并分别它们的特征向量  $\chi_i, i=1,2,3,4$ 。

其次, 利用 2.2 中提出的模糊评价分析法, 对该指标层内每一项指标定义其标准值数组  $d_i$ , 并利用式(2.3) (2.4) (2.5)计算大坝库区生态服务四个准则层内各项指标的隶属函数  $A_i(x)$ , 并构建隶属矩阵  $A_i$ 。将隶属矩阵  $A_i$  与该准则层比较矩阵的特征向量  $\chi_i$  相乘, 得到大坝库区准则层的隶属度  $P_{2i}$ 。

接着, 利用 2.2 中提出的层次分析法, 分析生态服务评分下的各项二级指标构成的比较矩阵, 求出特征向量, 并将特征向量与准则层的隶属度相乘, 得到生态服务指数的隶属度。

最后由 2.1 中模型中提出的生态服务指数模型处理方法, 将大坝库区的生态服务指数隶属度与综合评价矩阵相乘, 最后得到了大坝建设区在该年的生态服务指数。指数越高, 说明生态服务评价越差。

根据上述生态服务评价模型应用于三峡大坝库区的过程分析, 以及三峡大坝库区生态环境指标, 我们由此计算出了 1999 年~2009 年三峡大坝十一年建设期中整体大坝库区的生态服务指数, 将评分保留三位小数, 结果如表 2:

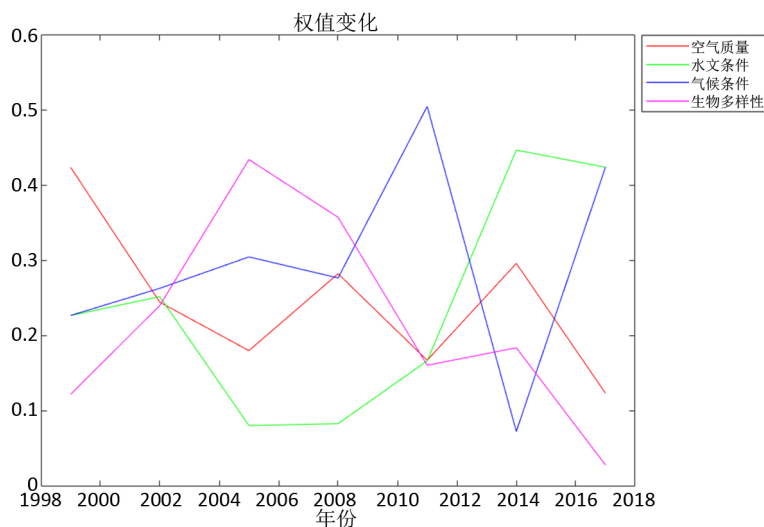
**Tabel 2.** Ecological service indicator of constructing area in Three Georges Dam  
**表 2.** 三峡大坝工程区生态服务指数

| 年份   | 得分    |
|------|-------|
| 1999 | 2.295 |
| 2000 | 2.220 |
| 2001 | 2.050 |
| 2002 | 2.000 |
| 2003 | 2.415 |
| 2004 | 2.464 |
| 2005 | 2.782 |
| 2006 | 1.872 |
| 2007 | 2.134 |
| 2008 | 1.976 |
| 2009 | 1.862 |

由上述数据与评分规则可知：三峡大坝工程区在 2005 年的生态服务指数最差，为 2.782 分，在 2009 年的生态服务指数最佳，为 1.862 分。三峡大坝工程取得生态服务指数从前期的高位到后期变低并平稳变化，指数的这种变化趋势与三峡大坝工程的进度情况相吻合。

### 3.2. 三峡大坝的生态环境预测

根据 2.1 中提出的生态服务评价模型建立准备过程，我们划分了 1999 年至 2009 年三峡大坝库区的生态服务评价准则层即空气质量层，水文条件层，生态多样性层，气候层等四个准则层。将上述准则层对应的各项层内指标带入生态服务评价模型。根据 2.2 中提出的模型及研究方法，分析时间对生态服务评价模型的影响，得出生态服务评价中的指标层的权重随时间变化情况。准则层权重随时间的变化如图 2 所示：



**Figure 2.** Weight prediction of the ecological evaluation criteria layer in next ten years  
**图 2.** 未来十年三峡库区生态服务评价准则层权重预测



以下从准则层角度分析图 2 的变化：在 1995~2009 年期间，三峡大坝工程区的空气质量指标的权重呈下降趋势，并在随后带有波动；水文条件指标的权重在开始时先下降，然后逐渐上升；气候条件指标的权重则会平稳一段时间后，在接近 2009 年时上升，生物多样性指标的权重则会现在开始上升后逐渐下降。各个指标权重波动与原始数据的情况一致，说明当前的模型适用于已有的数据。

随后根据结果分析时间对模型的影响：作为已有数据的模型预测成果，在 2011 年到 2019 年间，各个指标之间的波动情况与前十年的波动相对应，说明在上文中提出的权重变化方法影响了未来的生态服务评价中准则层的预测结果，具体分析如下：在未来 10 年中，三峡大坝工程区的空气质量准则层的权重变化与十年前接近；水质条件与生物多样性两个准则层的权重受到了十年前权重设定的时间影响，权重发生了显著的变化；图 2 中可以明显发现：气候条件准则层的权重波动稍大，主要是受到了水质条件权重变化的影响，当这两项准则层稳定后气候条件的权重也会稳定。由以上分析可知：各个准则层内部指标之间权重的预测不仅仅依赖于指标在研究的重要程度，同时还与以前的数据相关，进一步说明了模型是能随着时间而进行有效的变化。

同样，根据上述生态服务评价模型，预测并计算 2010~2020 年三峡大坝建设区的生态服务指数的变化情况。结果如图 3 所示：

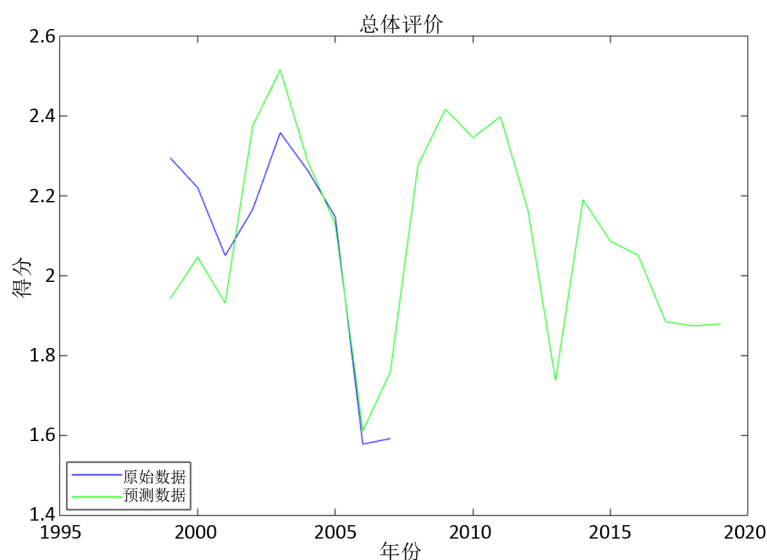


Figure 3. Prediction of the change of the state service score in the next ten years  
图 3. 未来十年三峡库区生态服务评分变化预测

由图 3 可以看出，模型预测三峡大坝工程区的生态服务指标的结果与原始数据的生态服务指标相一致。这说明了生态服务评价模型既能随时间的变化而合理地变化，同时又不损失模型的精确性。在后面的几年中，生态服务评分呈现一个波动状态，到最后变化状态渐渐减弱，最终趋于稳定。在生态服务评价模型中，评分的稳定代表着模型检验对象生态服务的稳定。这符合实际在自然开发的过程中，开发项目对环境的影响逐渐减小的情况。

#### 4. 总论

本文分析了自然开发工程中影响生态环境的因素，建立了生态环境评价模型与生态环境预测模型。在生态环境评价模型中，本文使用熵权法对影响生态环境的准则层及其指标分别赋值权重；结合层次分析法及模糊综合评价法逐步调整准则层与指标权重，建立了生态环境评价模型。在生态环境预测模型中，

为防止时间因素对指标与准则层的影响, 本文建立了准则层与指标权重随时间变化的变权函数, 通过灰色预测对评价生态环境的各项指标进行趋势预测, 再利用时间序列预测法对各指标的波动进行预测, 结合“波动 + 趋势”的预测结果, 得到生态环境预测模型。

利用上述建立的生态环境评价模型与生态环境预测模型, 本文以三峡大坝工程区为例, 计算了1999~2009年期间三峡大坝工程区的生态环境指数, 并预测了自2009年起10年内关于生态环境评价模型中空气质量, 水文条件, 生物多样性与气候条件这四个准则层的权重变化, 同时预测了该10年三峡大坝工程区的生态环境指数。结果说明: 1) 在1999年至2009年期间, 三峡大坝工程区的生态环境指数呈下降趋势。其中1999年生态环境指数最高, 说明该年的开发活动对三峡大坝工程区的生态环境影响最大; 2009年生态环境指数最低, 说明该年的开发活动对三峡大坝工程区的生态环境影响最小, 符合自然工程的开发过程; 2) 自2009年起的10年中, 生态环境评价模型中空气质量, 水文条件, 生物多样性与气候条件这四个准则层的权重会受时间变化与前期准则层权重值的影响, 同时权重之间的比例也会相互作用。3) 自2009年起的10年内, 生态环境指数会因准则层权重的变化而变化, 但变化幅度逐年减小, 最终趋于稳定, 说明自然开发工程对生态环境的影响随时间的延长而逐渐变弱, 最终趋于稳定。

由于本文提出的生态环境评价模型的准则层通用于各种工程开发下的自然环境分析, 生态环境评价模型与生态环境预测模型可适用于各类自然开发工程的环境影响评价与预估, 并具有一定的适应性和通用性; 评价与预估模型对工程人员研究自然开发工程对生态环境的影响提供参考, 帮助工程规划者在工程开发过程中避免破坏环境, 保护生态。

## 参考文献

- [1] 任杰. 桥梁施工期环境监测管理及评价研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2017.
- [2] 方飞, 李灵艳. 铁路建设项目对生态环境的影响及保护措施[J]. 资源节约与环保, 2016(11): 68.
- [3] 徐海巍. 水利工程建设对环境造成的影响及保护措施分析[J]. 黑龙江科技信息, 2016(18): 223.
- [4] 王森, 王海燕, 谢永生, 骆汉. 延安市退耕还林前后土壤保持生态服务功能评价[J]. 水土保持研究, 2019, 26(1): 280-286.
- [5] 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务的生态学机制研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 6183-6188.
- [6] 金贤, 朱亮. 基于能力成熟度模型的湖泊水生态系统服务功能评价研究[J]. 环境科技, 2018, 31(6): 43-48.
- [7] 李晨, 殷自力, 王晓辉, 张功林, 林宇锋, 王清凉. 基于层次分析法和熵权法的配电网调度评价[J/OL]. 电力系统及其自动化学报.
- [8] 李强. 基于模糊综合评价的回采巷道支护参数设计[J]. 煤矿现代化, 2019(3): 156-158.
- [9] 王波. 三峡工程对库区生态环境影响的综合评价[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [10] 中华人民共和国环境保护部. 1999-2017 长江三峡工程与生态环境监测公报[R].
- [11] 杨海民, 潘志松, 白玮. 时间序列预测方法综述[J]. 计算机科学, 2019, 46(1): 21-28.
- [12] 冯长敏. 基于GM(1,1)模型的公共交通运量预测[J]. 北京信息科技大学学报(自然科学版), 2018, 33(6): 83-88.
- [13] 于宁莉, 易东云, 涂先勤. 时间序列中自相关与偏相关函数分析[J]. 数学理论与应用, 2007, 27(1): 54-57.
- [14] 康海琪, 肖海峰. 基于熵权法的各主产省细毛羊产业发展水平评价研究[J]. 南方农村, 2018, 34(5): 10-13.
- [15] Wu, L., Zhang, Q. and Jiang, Z. (2006) Three Gorges Dam Affects Regional Precipitation. *Geophysical Research Letters*, 33, L13806. <https://doi.org/10.1029/2006GL026780>

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2324-7991，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[aam@hanspub.org](mailto:aam@hanspub.org)