

# Eco-Replenishment Selection Program Based on Multi-Level Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

Ming Wei<sup>1</sup>, Jun Du<sup>1</sup>, Wei Ji<sup>2</sup>, Bo Sun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Transportation, Nantong University, Nantong

<sup>2</sup>Water Conservancy Bureau of Nantong, Nantong

Email: [mingtian911@163.com](mailto:mingtian911@163.com)

Received: Oct. 15<sup>th</sup>, 2014; revised: Nov. 10<sup>th</sup>, 2014; accepted: Dec. 1<sup>st</sup>, 2014

Copyright © 2014 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

---

## Abstract

This article proposed a multi-level fuzzy comprehensive evaluation model for resolving eco-replenishment selection program. Firstly, multi-level indicators of eco-replenishment program which are divided into environmental and economic benefits are constructed. Secondly, the membership function is used to calculate all cost and efficiency indicators, and single-level fuzzy comprehensive evaluation could be obtained. Then, multi-level evaluation results are given. Finally, an example for ecological water in Nantong City is taken to verify the validity of the model and algorithm.

## Keywords

Eco-Replenishment, Multi-Level Fuzzy Comprehensive Evaluation, Multi-Level Evaluation Index

---

# 多层次模糊综合评价方法在生态补水方案选择中的应用

魏明<sup>1</sup>, 堵俊<sup>1</sup>, 季巍<sup>2</sup>, 孙博<sup>1</sup>

<sup>1</sup>南通大学交通学院, 南通

<sup>2</sup>南通水利局, 南通

Email: [mingtian911@163.com](mailto:mingtian911@163.com)

收稿日期：2014年10月15日；修回日期：2014年11月10日；录用日期：2014年12月1日

## 摘要

本文提出一种生态补水方案的多层次模糊综合评价模型。首先，构建生态补水方案的多级评价指标，分为环境和经济效益型两类。其次，对生态补水方案的成本和效率型指标，计算其隶属度函数，分别进行单层次模糊综合评价，在此基础上给出多层次评判结果。最后，以南通生态补水为例，验证了模型和算法的有效性。

## 关键词

生态补水，多层次模糊综合评价，多级评价指标

## 1. 引言

水量和水质密切相关，生态补水可以增加生活和生产供水量，避免部分地区缺水，可提高社会经济效益；利用生态补水的水流动力可以降解废水，是治理当前已经形成的水环境污染的重要途径。

近年来，生态补水问题受到国内外学者的高度关注。目前，生态补水研究多数集中在水质水量联合调度方面，如：徐贵泉等[1]提出了Hwqnow模型，同时给出了调水的措施；王好芳等提出一种水质与水量联合调度多目标分析模型[2]；郭新蕾构建了基于水动力模型的水质水量联合模型[3]；吴浩云[4]建立起一种基于生态补水的水质与水量优化调度模型；牛存稳[5]构建出了各个河流段水状况综合模拟模型。关于生态补水方案评价方面的研究较少，如：张树军等[6]构建生态补水综合效益评价指标；刘韬[7]探讨了水功能区划水质水量结合评价方法。上述研究主要侧重于分析生态补水前后实施效果分析，较少涉及基于水质水量联合调度的生态补水方案的优劣评估方面，从而不利于科学地进行生态补水方案选择决策。

针对现有研究的不足之处，结合南通市的生态补水现实需求，本文以基于水质水量联合的生态补水方案评价为研究对象，研究生态补水方案选择的影响因素，从生态环境和经济效益两个方面出发，构建其多级评价指标，利用模糊综合评价方法综合判断其优劣，并结合算法分析验证了模型和算法的有效性。

## 2. 生态补水方案的多层次模糊综合评价模型

### 2.1. 多层次模糊综合评价方法

多层次模糊综合评判法是根据评价问题的特征，将所涉及到的诸因素划分为几类，建立多级评价因素指标体系，先对低层次的分级指标进行评价，在此基础上再对每类所得的评价结果进行更高层次的综合评价，从而得到一个考虑评价问题影响因素差异化的评价结果。

### 2.2. 生态补水的多级评价指标选取

从分析不同生态补水路线如何影响周边水环境及所产生的经济效益两个方面出发，通过专家经验法或者AHP层次分析法，给出生态补水方案评价指标的二级模型，如表1所示，其中：人均水污染、二级水质水域比例、三级水质水域比例、补水里程、补水成本是成本型指标，总体水质、一级水质水域比例、补水收益、平均水质GDP是效益型指标。

### 2.3. 生态补水方案的多层次模糊综合评价模型建立

步骤 1:  $n$  个生态补水方案  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ，根据专家的指标评价标准，对每个方案  $X_i$ ，确定

**Table 1.** The secondary-level model of evaluation indexes of ecological water compensation  
**表 1.** 生态补水方案评价指标的二级模型

一级指标	二级指标	计算公式
环境效益	总体水质	$\frac{\sum_{i=1}^M w_i p_i}{\sum_{i=1}^M q_i}$
	人均水污染	$\frac{\sum_{i=1}^M w_i p_i q_i}{\sum_{i=1}^M q_i}$
	一级水质水域比例	$\frac{\sum_{i=1}^M f_1(p_i) l_i}{\sum_{i=1}^M l_i}$
	二级水质水域比例	$\frac{\sum_{i=1}^M f_2(p_i) l_i}{\sum_{i=1}^M l_i}$
	三级水质水域比例	$\frac{\sum_{i=1}^M f_3(p_i) l_i}{\sum_{i=1}^M l_i}$
经济效益	补水里程	$\sum_{i=1}^M l_i$
	补水成本	$\sum_{i=1}^M c_i$
	补水收益	$\sum_{i=1}^M f_i$
	平均水质 GDP	$\frac{\sum_{i=1}^M l_i w_i p_i g_i}{\sum_{i=1}^M l_i w_i q_i}$

备注：总共  $M$  个流段，每一个流段  $i$  的长度为  $l_i$ 、成本为  $c_i$ 、收益为  $f_i$ 、水质为  $p_i$ 、人口为  $q_i$ 、GDP 为  $g_i$ ，其中  $f_i(p_i)$  为水质  $p_i$  的类别和  $w_i$  为相应的权重，可通过分析生态补水历史资料获取。

上述 9 个指标的值  $x_{ij}$  ( $j=1,2,\dots,9$ )。

步骤 2：对任意生态补水方案  $X_i$ ，若它的每个指标  $x_{ij} \in [m, M]$ ，构造一个非线性隶属函数  $f(x_{ij})$  ( $0 \leq f(x_{ij}) \leq 1$ )，分别计算生态和经济效益单因素评判矩阵  $X_{i1}$ 、 $X_{i2}$ 。

对于成本型指标，包括，令  $\min x_{ij} \rightarrow 1$ ，有：

$$f(x_{ij}) = \begin{cases} 1 & x_{ij} = m, \\ 1 - \exp\left[-\frac{M - x_{ij}}{M - m}\right] & m \leq x_{ij} \leq M. \end{cases} \quad (1)$$

对于效益型指标，包括，令  $\max x_{ij} \rightarrow 1$ ，有：

$$f(x_{ij}) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\frac{x_{ij} - m}{M - m}\right] & m \leq x_{ij} \leq M, \\ 1 & x_{ij} = M. \end{cases} \quad (2)$$

显然， $f(x_{ij})$  越大，表明第  $i$  个方案第  $j$  个指标评估越优； $f(x_{ij})$  越小，表明第  $i$  个方案第  $j$  个指标越次。

步骤 3：根据生态和经济效益的生态补水二级指标权重

$W = \{W_1, W_2\} = \{\{w_{11}, w_{12}, w_{13}, w_{14}, w_{15}\}, \{w_{21}, w_{22}, w_{23}, w_{24}\}\}$ ，运用矩阵合成公式，分别计算  $B_{i1} = X_{i1} \cdot W_1$ 、 $B_{i2} = X_{i2} \cdot W_2$  进行单层次综合评判。

步骤 4：在上述基础上，对所有生态补水方案  $X$ ，运用矩阵合成公式

$B = (B_1, B_2) \cdot (W_1, W_2)^T = (B_{11}, B_{12}; B_{21}, B_{22}; \dots; B_{n1}, B_{n2}) \cdot (W_1, W_2)^T$  进行生态补水方案的多层次综合评判。

### 3. 算例分析

以南通市的 2013 年春季生态补水为例，共有 4 个补水方案，实测数据经预处理后，得到各个评价指

标的模糊综合评判如表 2 所示。

### 3.1. 单层次综合评价

环境和经济效益型的各类指标权重值分别为  $W_1 = \{0.3, 0.2, 0.2, 0.1, 0.2\}$  和  $W_2 = \{0.2, 0.3, 0.3, 0.2\}$ 。如表 2 所示，它们的单因素评判指标矩阵为：

$$X_1 = \begin{bmatrix} 0.91 & 0.87 & 0.79 & 0.95 \\ 0.81 & 0.93 & 0.87 & 0.61 \\ 0.90 & 0.83 & 0.94 & 0.71 \\ 0.78 & 0.71 & 0.69 & 0.84 \\ 0.95 & 0.90 & 0.95 & 0.91 \end{bmatrix}, \quad X_2 = \begin{bmatrix} 0.91 & 0.93 & 0.90 & 0.79 \\ 0.95 & 0.70 & 0.71 & 0.65 \\ 0.92 & 0.93 & 0.85 & 0.91 \\ 0.88 & 0.65 & 0.89 & 0.74 \end{bmatrix}$$

计算每个生态补水方案进行单层次综合评判运算：

$$B_1 = X_1 \cdot W_1 = (0.3 \quad 0.2 \quad 0.2 \quad 0.1 \quad 0.2) \cdot \begin{bmatrix} 0.91 & 0.87 & 0.79 & 0.95 \\ 0.81 & 0.93 & 0.87 & 0.61 \\ 0.90 & 0.83 & 0.94 & 0.71 \\ 0.78 & 0.71 & 0.69 & 0.84 \\ 0.95 & 0.90 & 0.95 & 0.91 \end{bmatrix} = (0.883 \quad 0.864 \quad 0.858 \quad 0.815)$$

$$B_2 = X_2 \cdot W_2 = (0.2 \quad 0.3 \quad 0.3 \quad 0.2) \cdot \begin{bmatrix} 0.91 & 0.93 & 0.90 & 0.79 \\ 0.95 & 0.70 & 0.71 & 0.65 \\ 0.92 & 0.93 & 0.85 & 0.91 \\ 0.88 & 0.65 & 0.89 & 0.74 \end{bmatrix} = (0.919 \quad 0.805 \quad 0.826 \quad 0.774)$$

### 3.2. 多层次综合评价

由模糊综合评判模型可知：环境和经济效益型各自所占权重值为  $X = \{0.5, 0.5\}$ ，则其综合评判为：

$$B = (B_1, B_2) \cdot (W_1, W_2)^T = (0.5 \quad 0.5) \cdot \begin{bmatrix} 0.883 & 0.864 & 0.858 & 0.815 \\ 0.919 & 0.805 & 0.826 & 0.774 \end{bmatrix} = (0.901 \quad 0.835 \quad 0.844 \quad 0.795)$$

由此可得出结论，4 个生态补水方案的综合评价结果按其高低顺序排列为：1，3，2，4，方案 1 的评价等级是最高，可作为南通市 2013 年春季生态补水最佳方案。

**Table 2.** Fuzzy comprehensive evaluation of ecological water compensation program  
**表 2.** 生态补水方案的模糊综合评判

评价指标	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4
总体水质	0.91	0.87	0.79	0.95
人均水污染	0.81	0.93	0.87	0.61
一级水质水域比例	0.90	0.83	0.94	0.71
二级水质水域比例	0.78	0.71	0.69	0.84
三级水质水域比例	0.95	0.90	0.95	0.91
补水里程	0.91	0.93	0.90	0.79
补水成本	0.95	0.70	0.71	0.65
补水收益	0.92	0.93	0.85	0.91
平均水质 GDP	0.88	0.65	0.89	0.74

## 4. 结论

本文综合分析生态补水方案的现有指标体系的不足之处, 构建和完善了生态补水方案的多级指标体系, 在此基础上利用多层次模糊综合评价方法综合评估不同方案的优劣, 避免了现有单层次评价方法忽略不同层次指标差异对评价结果的影响, 为决策者在细致分析单因素基础上尽可能全面地考虑, 从而能够找到一条系统最优的生态补水方案。

但是本文的指标权重是专家经验, 具有一定的主观、片面性, 下一步的工作方向为研究权重信息不完全多属性群决策的生态补水方案选择问题。

## 基金项目

江苏水利科技项目(2013084); 江苏省高校自然科学研究面上项目(13KJB580008); 江苏省建设系统科技项目(2013ZD38); 南通大学自然科学基金(12Z046); 南通大学交通运输专项科研项目(13ZJ004); 南通科技计划项目(BK2014059); 南通大学自然科学基金(12Z046, 13ZJ004)。

## 参考文献 (References)

- [1] 顾晨霞, 黄显峰 (2012) 水资源水质水量联合调度研究进展. *水资源水质水量联合调度研究进展*, **3**, 26-28.
- [2] 王好芳, 董增川 (2004) 基于量与质的多目标水资源配置模型. *人民黄河*, **6**, 23-27.
- [3] 郭新蕾 (2005) 中山市岐江河水量水质模型研究. *广东水利水电*, **3**, 5-7.
- [4] 吴浩云 (2006) 大型平原河网地区水质水量耦合模拟及联合调度研究. 河海大学硕士学位论文.
- [5] 牛存稳 (2007) 黄河流域水量水质综合模拟与评价. *人民黄河*, **1**, 58-60.
- [6] 张树军, 赵峰, 罗陶露, 姚文峰, 边境 (2012) 生态补水综合效益评价指标体系建立. *吉林大学学报(地球科学版)*, **5**, 813-818.
- [7] 刘韬 (2012) 水资源水质水量联合评价综述. *环境科学导刊*, **2**, 73-77, 83.