

# 基于模糊综合评价法的河道整治工程评价

万华杰, 蔡守华

扬州大学水利科学与工程学院, 江苏 扬州  
Email: 641089845@qq.com

收稿日期: 2021年7月2日; 录用日期: 2021年8月4日; 发布日期: 2021年8月12日

## 摘要

河流综合整治工程已成为近几年城乡建设过程中的重要工作之一, 为了促进河流综合整治工程向更高质量发展, 需要对已实施完成的工程项目进行综合评价。本文针对河道整治工程的特点, 综合考虑河道整治工程中的影响因素, 建立了多层次评价指标体系。选取以模糊数学为基础的多层次模糊综合评价法作为评价手段, 采用层次分析法(AHP)确定指标权重。以上海市某村级河道为例, 统计了整治工程前后各项指标并邀请相关专家进行协助评价, 经过模糊综合评价后得出该项工程评价结果为较好, 符合工程实际。本文建立的指标体系和采用的评价方法可以为河道整治工程评价提供参考。

## 关键词

河道整治, 指标体系, 层次分析法, 模糊评价

# Evaluation of River Regulation Engineering Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation

Huajie Wan, Shouhua Cai

Department of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu  
Email: 641089845@qq.com

Received: Jul. 2<sup>nd</sup>, 2021; accepted: Aug. 4<sup>th</sup>, 2021; published: Aug. 12<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

The comprehensive river improvement project has become one of the important tasks in the process of urban and rural construction in recent years. In order to promote the development of the comprehensive river improvement project to a higher quality, it is necessary to conduct a comprehensive evaluation of the completed projects. According to the characteristics of river improvement projects, this paper comprehensively considers the influencing factors in river improvement projects,

and establishes a multi-level evaluation index system. The multi-level fuzzy comprehensive evaluation method based on Fuzzy mathematics is selected as the evaluation method, and the Analytic Hierarchy Process (AHP) is used to determine the index weight. Taking a village-level river course in Shanghai as an example, various indicators before and after the improvement project were counted and relevant experts were invited to assist in the evaluation. After fuzzy comprehensive evaluation, it is concluded that the evaluation result of the project is good and conforms to the actual project. The index system and evaluation methods established in this paper can provide references for the evaluation of river improvement projects.

## Keywords

River Regulation, Index System, Analytic Hierarchy Process, Fuzzy Evaluation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

河流对于人类的生存发展具有举足轻重的地位,我国河流数量众多,城市化进程快,存在水质差、防洪排涝能力较低、水安全威胁、生物多样性低、亲水空间少等问题。因此,应采取正确有效的河流整治措施以恢复河流的生态系统结构和功能。河道整治是在总体规划的基础上,通过修建整治建筑物或采用其他整治手段,对不利于人类生产生活及人居生态环境建设甚至有破坏作用的河道演变进行控制。由于河道整治工程往往具有经济、生态、社会等多方面的目标,且河道整治工程的优劣往往也取决于工程的管理、效果等多方面因素,因此需要通过对目标工程的综合评价来判定该河道整治工程的综合情况。目前对于河道整治工程评价的基本方法有定性分析法、定量分析法、逻辑框架法、成功度分析法及综合评价法等。

蔡聪等人为了较为全面客观地评价昆山市老城区河道治理前后水质改善的情况,首先采用主成分分析法提取出了水质指标中的主成分,再采用模糊综合评价法对河道治理前后水质变化情况进行综合的评价[1]。王菁菁等人采用了层次分析法及模糊综合评价法,从功能性、景观性、生态型及经济型四个方面出发,构建了生态护岸景观的量化评价体系,以系统地杭州地区生态护岸作用效果进行评价,并以余杭塘河为例进行案例研究[2]。姜志成等人从河道整治工程对经济发展、社会发展、社会环境、合理利用自然资源四个方面的影响的角度,采用 AHP 法确定了各重要指标的权重,并用模糊综合评判法将定性评价指标转化为定量评价指标,建立了河道治理工程社会影响的评价体系[3]。程军蕊等人针对城市河道水环境特征,采用系统分析法及专家调查法,从水质改善效果、水体景观改善效果、公众满意度三个方面,为评价城区河道水环境综合整治效果建立了指标体系与数学评价模型,并将该评价体系用于宁波市 11 条河道水环境综合整治效果的评价[4]。目前的评价方法存在评价指标体系不全面、实用性不高、信息丢失严重、没有针对性等问题,因此需要对河道整治工程评价体系和评价方法展开深入研究。

河道整治工程涉及技术、社会、经济、生态环境及可持续发展等多方面因素,不能简单地进行定性或定量的后评价,模糊综合评价法得出的结果清晰,系统性较强,能够很好地解决评价过程中普遍存在的模糊的、难以量化的问题。将河流评价体系与模糊综合评价方法相结合,能够根据水文及生态等特点进行综合定量计算及分析建立河道整治工程的评价体系,有助于河道整治工程的决策及监督以及整治方式及技术的进一步发展。本文首先建立了完整科学的河道整治工程评价体系,结合层次分析法确定指标权重,以模糊综合评价法为工具,计算了上海某村级河道整治工程的评价结果。

## 2. 评价指标体系建立[5]-[12]

### 2.1. 指标选取原则

为保证所筛选指标能够完整准确地反映河道整治工程的整体优劣程度, 促进河流整治工程全周期评价、行业可持续发展以及政府决策, 评价指标筛选必须遵循以下基本原则:

#### 1) 完整性

河流整治工程评价指标需要对河流整治工程实施各方面因素进行评价, 能够全面反映影响工程效果或实施工程各环节的优劣程度。

#### 2) 代表性

所选取的评价指标需要包含较广泛的信息, 能够在一定程度上反映该因素的整体性质。针对不同情况的具体河流整治工程, 需要选取能够代表该工程性质的特征性评价指标。

#### 3) 可操作性

评价指标的评定或测量方法需要具有常规性, 评价资料的获取需要简便, 尽量选取能够继续量化的指标或被行业广泛应用的定性指标。

### 2.2. 评价指标体系

评价指标体系建立需要遵循以上基本原则, 将评价指标分为三大类: 工程效果指标、工程施工指标、管理维护指标。其中工程效果指标包括水利、环境、生态、景观、社会服务等 5 个方面, 工程施工指标包括施工质量、工期控制、绿色施工等 3 个方面, 管理维护指标包括管理组织和后期维护两方面, 具体评价体系见表 1。

**Table 1.** Evaluation system of river improvement project

**表 1.** 河道整治工程评价体系

目标层	准则层	一级指标层	二级指标层	评价方法
河道 整治 工程 评价	工程效果	水利	防洪排涝	堤防达标率、排涝达标率
			水量状况	生态需水量满足率
			流速状况	定性评价
			形态结构	弯曲度、渠化度
			稳定性	定性评价
			护岸形式	定性评价
		环境	水质	水质达标率
			底泥	有机指数、重金属负荷
			感官	定性评价
		生态	浮游生物状况	多样性指数
			鱼类状况	完整性指数
			底栖动物状况	gbi 指数
			植物结构	定性评价
			生境状况	定性评价
		景观	美观程度	定性评价
亲水性	定性评价			
可达性	定性评价			

Continued

河道整治工程评价	工程效果	社会服务	经济提升	定性评价
			文化提升	定性评价
			幸福感	定性评价
	工程施工	施工质量		优良品率
		工期控制		工期控制率
		绿色施工		定性评价
	管理维护	管理组织		定性评价
		后期维护		定性评价

### 3. 模糊综合评价法和层次分析法[13] [14] [15] [16]

模糊综合评判决策能够有效处理受多种因素影响的事物, 能够综合考虑各方面因素的权重进行全面评价, 层次分析法(AHP)是一种用来确定某一对象各指标相对权重的常用方法。本文中对河流综合整治工程的评价结果地优劣性受多方面因素影响且在不同工程中各因素的重要程度也不相同, 模糊综合评价法和层次分析法是十分有效的工具。

#### 3.1. 模糊综合评价一般步骤[13]

1) 确定因素集  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ , 即确定影响待评价对象评价结果的  $n$  种因素。对于因素较多且分类明确的情况, 可将指标进行分类, 形成多级评价体系, 将因素集  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  分为  $k$  组, 使得  $U = \bigcup_{i=1}^k U_i$ ,  $U_i \cap U_j = \emptyset (i \neq j)$ , 称  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  为一级因素集。其中  $U_i = \{u_1^i, u_2^i, \dots, u_{n_i}^i\} (i = 1, 2, \dots, k)$ ,  $\sum_{i=1}^k n_i = n$ , 称为二级因素集。

2) 确定评判集  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ , 即确定评价对象评价结果的等级和标准。

3) 进行各层次单因素评价, 得到各层次模糊关系矩阵  $R = (r_{ij})_{n \times m}$

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix} \quad (1)$$

4) 确定各层次指标的权重  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , 将权重和模糊关系矩阵计算, 得到综合评价结果  $B = A \circ R$ 。

#### 3.2. 层次分析法确定权重的一般步骤

1) 建立层次模型

首先根据研究对象的性质和特征确定影响因素与评价目标之间的层次关系, 构造目标层、准则层、一级指标层、二级指标层等层次模型。

2) 构造判断矩阵

在层次模型中, 二级指标层中的指标对一级指标层的指标相对重要性不同, 一级指标层中的指标对准则层中的准则相对重要性也不同。因此将同一层级中的指标进行两两对比, 确定它们相对于上一层级的相对重要程度, 以此确定该层级中指标的相对权重。例如某一层级的指标  $A$  由下一层级的  $n$  个指标  $(B_1, B_2, \dots, B_n)$  确定, 则构造如下判断矩阵  $A$ :

$$A = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

其中  $b_{ij}$  表示指标  $B_i$  比  $B_j$  的重要程度, 取值范围为 1~9, 定义见表 2。

### 3) 单层次排序

计算上一步骤所得判断矩阵的特征根和特征向量的计算, 和积法计算特征根和特征向量过程如下:

首先将判断矩阵的列归一化处理, 即  $a_{ij} = b_{ij} / \sum_{k=1}^n b_{kj}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ), 其次按行求和, 即

$x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), 然后对向量  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  归一化处理, 即  $w_i = x_i / \sum_{i=1}^n x_i$ , 求得的向量  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  即为判断矩阵的特征向量, 最大特征值  $\lambda_{MAX}$  为:  $AW = \lambda_{MAX}W$ 。

**Table 2.** Judgment matrix value definition

**表 2.** 判断矩阵取值定义

标度 ( $b_{ij}$ )	取值定义
1	$B_i$ 和 $B_j$ 重要性相同
3	$B_i$ 比 $B_j$ 稍显重要
5	$B_i$ 比 $B_j$ 明显重要
7	$B_i$ 比 $B_j$ 强烈重要
9	$B_i$ 比 $B_j$ 绝对重要
2、4、6、8	$B_i$ 比 $B_j$ 的重要性介于上述数值之间
倒数	$B_j$ 比 $B_i$ 重要, 取值为 $1/b_{ij}$

### 4) 一致性检验

判断矩阵的有效性需要通过一致性检验来判定, 检验公式如下:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

式子中,  $CR$  表示判断矩阵的随机一致性比率,  $CI$  表示判断矩阵中出成绩总排序的一致性指标, 计算公式为:  $CI = \frac{\lambda_{MAX} - n}{n - 1}$ ,  $RI$  表示平均随机一致性指标, 取值如表 3。

**Table 3.**  $RI$  value definition table

**表 3.**  $RI$  取值定义表

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$RI$	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

当  $CR < 0.1$  时, 即可认为该判断矩阵满足一致性要求, 否则需要调整判断矩阵的取值。

#### 4. 评价算例

选取上海市某村级河道整治工程作为算例, 定性指标通过专家咨询确定隶属度, 定量指标通过相关规范标准和文献计算确定隶属度, 结果如下。

**Table 4.** Subordination degree of each index before and after project implementation

**表 4.** 工程实施前后各变化指标隶属度

指标名称	项目实施前					项目实施后				
	好	较好	一般	较差	差	好	较好	一般	较差	差
防洪排涝	0.1665	0.3335	0.3335	0.1665	0	1	0	0	0	0
水量状况	0	0.5	0.5	0	0	0.625	0.375	0	0	0
流速状况	0	0	0.2	0.7	0.1	0.7	0.3	0	0	0
形态结构	0.25	0.25	0.1	0.4	0	0.477	0.523	0	0	0
稳定性	0	0.05	0.35	0.5	0.1	0.4	0.5	0.1	0	0
护岸形式	0	0.2	0.8	0	0	0.8	0.2	0	0	0
水质	0	0	0	0.125	0.875	0.333	0.667	0	0	0
底泥	0	0.2	0.3	0	0.5	0.3	0.5	0.2	0	0
感官	0	0	0	0.6	0.4	0.1	0.6	0.3	0	0
浮游生物状况	0	0	0.4	0.6	0	0.3	0.7	0	0	0
鱼类状况	0	0	0.4	0.6	0	0.2	0.8	0	0	0
底栖动物状况	0	0	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0	0	0
植物结构	0	0	0.2	0.5	0.3	0.2	0.5	0.3	0	0
生境状况	0	0	0.2	0.5	0.3	0.4	0.5	0.1	0	0
美观程度	0	0	0.1	0.7	0.2	0.1	0.6	0.3	0	0
亲水性	0	0	0.2	0.6	0.2	0.7	0.3	0	0	0
可达性	0	0	0.6	0.4	0	0.2	0.6	0.2	0	0
经济提升	0	0	0	0.2	0.8	0	0.2	0.6	0.2	0
文化提升	0	0	0	0.2	0.8	0	0.3	0.5	0.2	0
幸福感	0	0	0.1	0.6	0.3	0.1	0.6	0.3	0	0
管理组织	0	0.6	0.4	0	0	0.6	0.4	0	0	0
后期维护	0	0	0.3	0.5	0.2	0.2	0.5	0.3	0	0

**Table 5.** Subordination degree of project construction index

**表 5.** 工程施工指标隶属度

指标名称	好	较好	一般	较差	差
施工质量	0.5	0.5	0	0	0
工期控制	0.6	0.4	0	0	0
绿色施工	0	0.6	0.4	0	0

表 4 和表 5 分别为工程实施前后变化指标的隶属度和工程施工过程的评价指标隶属度。通过分析工程实施前后指标变化的隶属度和工程施工过程隶属度确定该工程的综合评价结果。采用专家问卷层次分析法确定各级指标权重, 统计和计算结果如表 6~8。

**Table 6.** Judgment matrix for the weights of second-level indicators  
**表 6.** 二级指标权重的判断矩阵

	防洪排涝	水量状况	流速状况	形态结构	稳定性	护岸形式	权重
防洪排涝	1.00	6.00	6.00	3.00	3.00	3.00	0.40
水量状况	1/6	1.00	1.00	1/3	1/3	1/3	0.06
流速状况	1/6	1.00	1.00	1/3	1/3	1/3	0.06
形态结构	1/3	3.00	3.00	1.00	1.00	1.00	0.16
稳定性	1/3	3.00	3.00	1.00	1.00	1.00	0.16
护岸形式	1/3	3.00	3.00	1.00	1.00	1.00	0.16
	水质	底泥	感官				权重
水质	1.00	4.00	4.00				0.66
底泥	1/4	1.00	1.00				0.17
感官	1/4	1.00	1.00				0.17
	浮游生物状况	鱼类状况	底栖动物状况	植物结构	生境状况		权重
浮游生物	1.00	1/2	1/2	1/3	1/3		0.09
鱼类状况	2.00	1.00	1.00	1/2	1/2		0.16
底栖动物	2.00	1.00	1.00	1/2	1/2		0.16
植物结构	3.00	2.00	2.00	1.00	2.00		0.33
生境状况	3.00	2.00	2.00	1/2	1.00		0.26
	美观程度	亲水性	可达性				权重
美观程度	1.00	2.00	3.00				0.54
亲水性	1/2	1.00	2.00				0.30
可达性	1/3	1/2	1.00				0.16
	经济提升	文化提升	幸福感				权重
经济提升	1	1/2	1/2				0.20
文化提升	2	1	1				0.40
幸福感	2	1	1				0.40

**Table 7.** Judgment matrix for the weights of first-level indicators  
**表 7.** 一级指标权重的判断矩阵

	水利	环境	生态	景观	社会	权重
水利	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	0.25
环境	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	0.25
生态	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	0.25
景观	1/2	1/2	1/2	1.00	1.00	0.125
社会	1/2	1/2	1/2	1.00	1.00	0.125
	施工质量	工期控制	绿色施工			权重
施工质量	1.00	3.00	4.00			0.65
工期控制	1/3	1.00	2.00			0.12
绿色施工	1/4	1/2	1.00			0.23
	管理	维护				权重
管理	1	1				0.5
维护	1	1				0.5

**Table 8.** Judgment matrix for the weights of criterion-level**表 8.** 准则层权重的判断矩阵

	工程效果	管理维护	施工过程	权重
工程效果	1.00	3.00	4.00	0.62
管理维护	1/3	1.00	2.00	0.24
施工过程	1/4	1/2	1.00	0.14

工程效果和管理维护通过分析工程项目实施前后的提升程度确定隶属度, 与工程施工最后进行加权计算, 得到最终评价结果, 如表 9。

**Table 9.** The calculation result of the subordination degree of criterion-level**表 9.** 准则层隶属度计算结果

指标名称	项目实施前					项目实施后				
	好	较好	一般	较差	差	好	较好	一般	较差	差
工程效果	0.026	0.07	0.213	0.36	0.331	0.38	0.47	0.135	0.015	0
管理维护	0	0.3	0.35	0.25	0.1	0.4	0.45	0.15	0	0
工程施工						0.397	0.51	0.093	0	0

分别计好、较好、一般、较差、差为 4 分、3 分、2 分、1 分、0 分, 根据项目实施前后的隶属度确定分数提升量, 并确定提升效果的隶属度, 从而确定该项目的整体评价结果, 如表 10。

**Table 10.** Subordination degree of effect of the comprehensive river improvement project**表 10.** 河道整治工程效果提升隶属度

指标名称	项目实施前				
	好	较好	一般	较差	差
分值提升标准	2.5	2	1.5	1	0
工程效果提升隶属度	0.252	0.748	0	0	0
管理维护提升隶属度	0	0	0.8	0.2	0
工程施工隶属度	0.397	0.51	0.093	0	0
河道整治工程评价	0.212	0.535	0.205	0.048	0

计算结果显示该河道整治工程属于好的隶属度为 0.212, 属于较好的隶属度为 0.535, 根据最大隶属度原则, 该河道整治工程评价结果为较好, 符合专家和民众的直观评价结果。

## 5. 结论

本文建立了表 1 所示的河道整治工程评价体系, 能够较全面地反映影响河道整治工程项目质量的各种因素。层次分析法能够结合定性和定量方法确定指标权重, 基于模糊数学的模糊综合评价法能够充分考虑各指标的评价结果, 不会损失太多信息, 两种方法能够有效处理河道整治工程评价问题。算例计算结果与实际情况相符, 验证了上述评价体系和方法的有效性, 可以作为河道整治工程的评价参考。

## 参考文献

- [1] 蔡聪, 朱竟益, 徐玉良, 等. 基于主成分分析与模糊综合评价模型的昆山市老城区河道水质评价[J]. 水电能源科学, 2015, 33(11): 14-17.

- 
- [2] 王菁菁. 杭州市城市河道生态护岸景观营造及评价研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [3] 姜志成. 基于 AHP——模糊综合评判法的河道整治工程社会影响评价[J]. 黑龙江科技信息, 2016(26): 218-219.
- [4] 程军蕊, 徐继荣, 郑琦宏, 等. 宁波市城区河道水环境综合整治效果评价方法及应用[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(6): 1060-1066.
- [5] 王悦. 城市景观河道健康评价指标体系研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 同济大学, 2009.
- [6] 郑靓. 兴城市头道沟小流域河道治理效果评价研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2014.
- [7] 杨建. 中小河流治理工程后评价模型及应用研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2014.
- [8] 陈升. 城市河道综合整治项目后评价研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州交通大学, 2018.
- [9] 韩黎. 生态河道治理模式及其评价方法研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- [10] 梁晶, 祁毅, 曹大贵. 城市内河整治的综合效益评价体系研究[J]. 现代城市研究, 2010(9): 65-71.
- [11] 刘会文. 基于模糊综合评价和 BP 神经网络的景观河道水质评价研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 河北工业大学, 2015.
- [12] 王鹏. 城市河道生态景观建设的评价指标体系构建研究[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2017, 30(2): 4-5.
- [13] 张铁男, 李晶蕾. 对多级模糊综合评价方法的应用研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2002, 23(3): 132-135.
- [14] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 2005.
- [15] 金菊良, 魏一鸣, 丁晶. 基于改进层次分析法的模糊综合评价模型[J]. 水利学报, 2004(3): 65-70.
- [16] 吕跃进. 基于模糊一致矩阵的模糊层次分析法的排序[J]. 模糊系统与数学, 2002(2): 79-85.