

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2015.04.019

基于模糊层次分析法的生态护岸形式优选研究

樊进娟, 贾艾晨

(大连理工大学 水利工程学院, 辽宁 大连 116024)

摘要:以黑顶子河治理工程为例,利用层次分析法确定生态护岸各指标的权重,利用模糊综合评价法对生态护岸形式进行综合评价,优选结果表明,治理段保育区、景观区、保护区的护岸形式可分别采用生态混凝土护岸、阶梯石笼插枝护岸、石笼挡墙护岸。该方法具有较强的合理性和可靠性,能够为生态护岸形式优选提供科学的指导。

关键词:生态护岸;优选;模糊层次分析法;综合评价

中图分类号: TV861

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2015)04-0096-05

Study on the Optimization of Ecological Revetment Forms Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process

FAN Jinjuan, JIA Aichen

(School of Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, China)

Abstract: In order to avoid the effect of subjective judgment and preferences on the optimization of ecological revetment forms, the fuzzy analytic hierarchy process which combined the merits of analytic hierarchy method and fuzzy comprehensive evaluation method was adopted in the analysis of Heidingzi river treatment engineering. At first the analytic hierarchy process was adopted to determine the weight of each index of the ecological revetment, and then the fuzzy comprehensive evaluation method was used to evaluate the forms of ecological revetment. The optimization result indicates that the revetment forms are preferably ecological concrete revetment, revetment with stepped stone cages and cuttings, revetment with stone cage retaining wall for the conservation area, landscape area and protection area in the treatment section respectively. This scheme is applicable and reliable, it can provide some scientific guidance in the optimization of ecological revetment forms.

Keywords: ecological revetments; optimization; fuzzy analytic hierarchy process; comprehensive evaluation

近年来,许多农村地区河道水体污染严重,环境质量下降,河道岸坡冲刷坍塌严重,正常防洪排涝功能减弱,河道的生态治理成为现阶段亟待解决的重要问题,而生态护岸是生态河道建设的关键。选择适合的生态护岸形式时,往往需要对护岸形式的经济性、安全性、生态景观性等方面进行综合考虑^[1],是一种典型的多目标决策问题。

层次分析法是常用的多准则决策方法^[2-6],它把复杂问题进行分解之后建立起递阶的层次结构,然后依据人们对各指标之间相对重要性做出的判

断,对决策方案的好坏进行排序。这种方法简洁实用,系统性强,适合于具有分层交错结构的复杂问题,能够兼顾决策中的定性与定量因素,但定量数据较少,定性成分多,人的主观判断、个人偏好等对决策结果的影响颇大。而模糊综合评价法根据模糊数学的隶属度理论能够把定性评价定量化,较好地解决了难以量化的问题。因此,本文以黑顶子河生态治理工程为例,采用层次分析法与模糊综合评价^[7]相结合的模糊层次分析法^[8-10],对生态护岸形式的优选进行研究,避免人的主观判断、个人偏好等对护

收稿日期:2015-03-04

修稿日期:2015-04-05

基金项目:“十二五”水专项“面向水质改善的饮马河生态修复成套技术与综合示范(2012ZX07207-007-05)

作者简介:樊进娟(1988—),女,河南南阳人,硕士研究生,研究方向为水环境与水生态。E-mail: fjdlt@163.com

通讯作者:贾艾晨(1962—),女,辽宁沈阳人,博士,教授,主要从事生态水工学研究。E-mail: jiaac@126.com

岸形式选取的过度影响。

1 基本原理

在应用模糊层次分析法解决各种决策问题时,首先把复杂的问题进行分解,建立递阶层次结构,然后根据两两比较原则对有关因素依据 1~9 标度法^[5]进行重要性判断;构造出各层次中的所有判断矩阵后,计算其最大特征值 λ_{\max} 对应的特征向量,并进行一致性检验,对特征向量进行归一化后得到相对权重 W 。

建立因素集与评价集:因素集表示为 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$,是由影响评判对象的各种因素组合而成的集合,评价集表示为 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$,是由评判者对评价对象可能做出的各种总的评判结果组合而成的集合,评语等级个数 m 通常在 4~9 之间^[11]。

确定模糊评价矩阵:首先确定评价对象对因素集 U 中的每个因素的隶属程度,组成一个总的评价矩阵,以 R 表示^[12],然后赋予每个因素相应的权重,构成权重向量 W 。

进行综合评价:求出权重向量 W 和评价矩阵 R 之后,通过模糊综合评判的数学模型来进行综合评判,进而得到评价向量 A :

$$A = W \cdot R \quad (1)$$

为了便于比较和排序,对评价向量 A 进行量化,转化为一个具体的数值 G :

$$G = A \cdot V^T \quad (2)$$

式中: V 是评语集中各元素的量化值,按评语等级确定。

2 工程概况

该工程为吉林省中小河流治理双阳河上游黑顶子段治理工程,项目区位于黑顶子水库下游,建设地点起始于黑顶子水库下游交通桥,终到山咀子拦河闸上游 280 m 处,河道中心线长度 6 600 m,见图 1。河岸整治型式主要为护岸工程,左岸防护长度为 6 673 m,右岸防护长度为 6 691 m。

黑顶子河因流经石溪乡黑顶子村而得名,全长 30.4 km,平均坡度 2.5‰,河道两岸大部分为农田及村庄,生活污染及面源污染严重且岸坡无防护。为了改善水质,提高水环境质量,防止洪水冲刷河道,破坏耕地,危及两岸居民生命财产安全,急需对该段河道进行治理,对河岸进行生态防护。

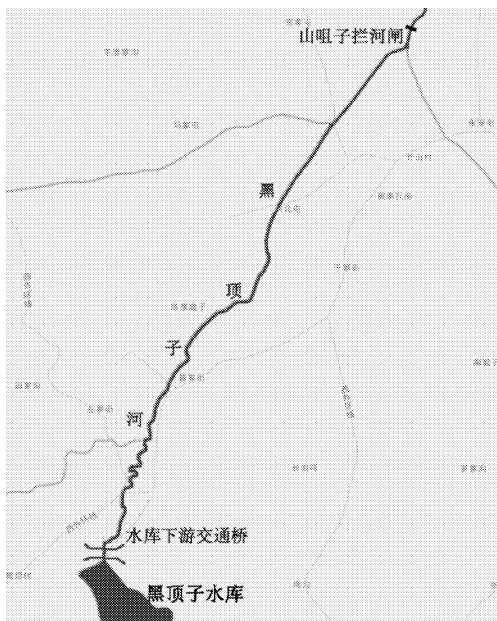


图 1 黑顶子河生态治理项目区位置图

3 设计方案

3.1 工程布置

根据黑顶子河的流量大小,冲刷破坏程度、自然弯曲度,两岸环境等因素,将治理段从上至下分为三段,即:保育区、景观区、保护区,见图 2,可针对各段的特征分别采用不同的护岸形式。

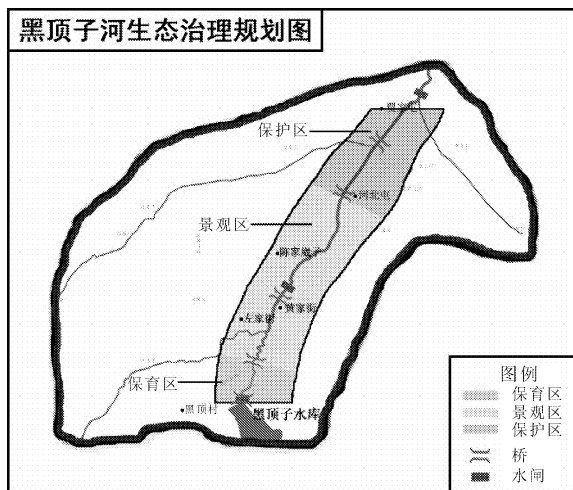


图 2 黑顶子河生态治理规划图

(1) 保育区

从治理的起始点到下游第二个交通桥,长约 700 m,该段无支流汇入,流量较小,冲刷不太严重,滩地较大,河道现状见图 3。此段周围大部分为农田,有少量村庄,护岸形式的生态景观性和工程安全性应当并重,在不破坏其生态系统自然属性的基础

上,对岸坡进行防护,使河道成为保护和恢复其原始生态功能的空间。



图 3 保育区河道现状图

(2) 景观区

从下游第二个交通桥到河北屯村,长约 4 000 m,该段河床大体呈“S”形展布,流量较大,冲淤稍许严重,河道现状见图 4。此段周围村庄较密集,生态护岸形式的选择应考虑到居民的生活和休闲娱乐,在满足护岸工程安全性的同时,需加强对生态护岸生态景观性的要求。



图 4 景观区河道现状图

(3) 保护区

从河北屯村到治理的终点,长约 1 900 m,该段河流平面上大体呈“一”字形展布,河岸平直,弯度较小,有支流汇入,流量大,滩地小,冲刷严重,河道现状见图 5。此段周围基本为农田,生态护岸形式对景观性要求不高,在保持上游两区段治理成果的基础上,注重考虑工程安全性,着重解决岸坡的严重冲刷坍塌问题。



图 5 保护区河道现状图

3.2 护岸形式

按照因地制宜、就地取材的原则,根据河岸的地质状况、施工条件、生态修复能力等因素综合比较确定护岸形式^[13]。近年来,生态混凝土、格宾护垫等先进技术在河道岸坡治理方面取得了良好的效果,加之工程所在地石材、木材资源丰富,因此,生态护岸形式初步确定阶梯石笼插枝、生态混凝土、木桩 +

抛石、石笼挡墙、半干砌石、植物护岸 6 种备选形式,各形式示意图见图 6。

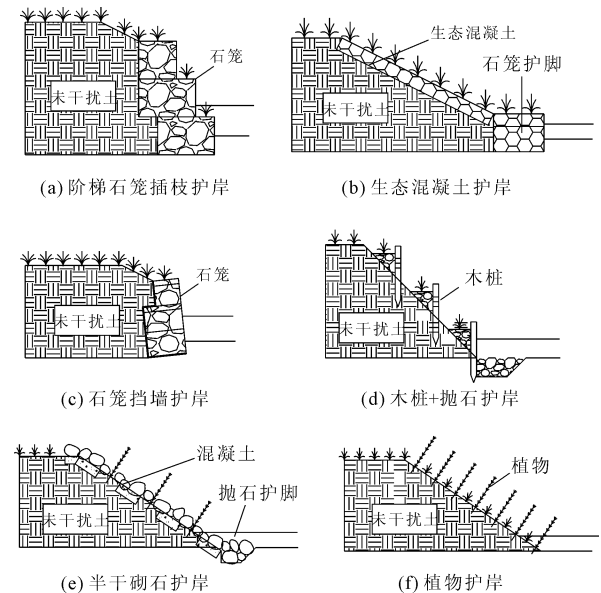


图 6 生态护岸形式示意图

4 方案优选

本文应用模糊层次分析法构建生态护岸技术的层次结构模型并且定量优选出适用于黑顶子河不同区段的最佳生态护岸形式。

4.1 建立指标体系

上述 6 种生态护岸形式皆能够使岸坡的稳定和应力满足要求,护岸形式的选择主要考虑不同治理段对工程安全性、经济性及生态景观性的要求。具体指标体系的建立见图 7。

4.2 确定指标权重

为了对各指标的相对重要性做出判断,本文采用德尔菲法和层次分析法相结合的方法^[14],根据两两比较原则对准则层的有关因素依据 1~9 标度进行重要性判断,并进行一致性检验,最终确定指标权重。根据不同区段的河道特征和周围环境,分别确定权重,3 个区段的判断矩阵及计算结果见表 1~表 3。

表 1 保育区的判断矩阵及权重

指标	B_1	B_2	B_3	W_1
B_1	1	1/3	1/4	0.1260
B_2	3	1	1	0.4161
B_3	4	1	1	0.4579
备注	$\lambda = 3.0092$ $IR = 0.58$	$CI = 0.0046$ $CR = CI / IR = 0.0079 < 0.1$		

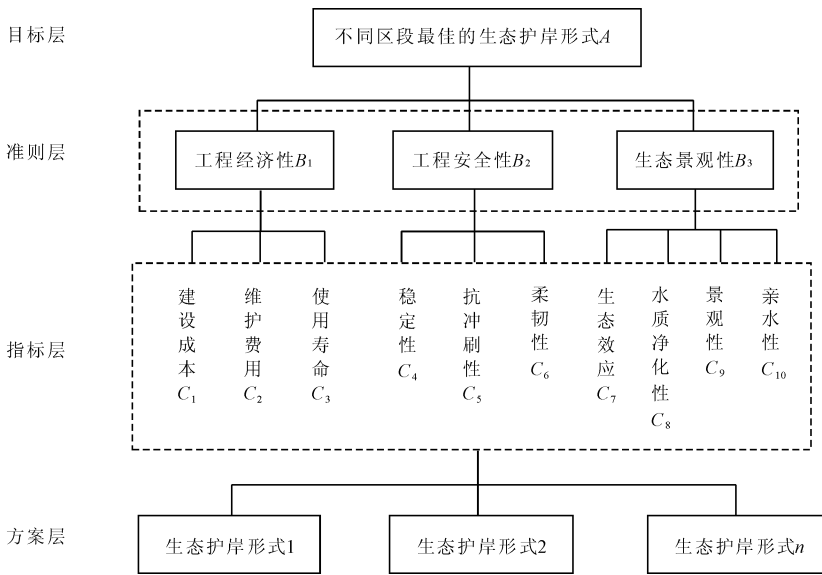


图 7 生态护岸优选指标体系

表 2 景观区的判断矩阵及权重

指标	B_1	B_2	B_3	W_2
B_1	1	1/3	1/5	0.1094
B_2	3	1	1/2	0.3090
B_3	5	2	1	0.5816
备注	$\lambda = 3.0037$ $IR = 0.58$	$CI = 0.0018$ $CR = CI/IR = 0.0032 < 0.1$		

表 3 保护区的判断矩阵及权重

指标	B_1	B_2	B_3	W_3
B_1	1	1/3	1/2	0.1692
B_2	3	1	1	0.4434
B_3	2	1	1	0.3874
备注	$\lambda = 3.0183$ $IR = 0.58$	$CI = 0.0091$ $CR = CI/IR = 0.0158 < 0.1$		

表 5 工程安全性指标层的判断矩阵及权重

指标	C_4	C_5	C_6	W_2
C_4	1	2	5	0.5816
C_5	1/2	1	3	0.3090
C_6	1/5	1/3	1	0.1094
备注	$\lambda = 3.0037$ $IR = 0.58$	$CI = 0.0018$ $CR = CI/IR = 0.0032 < 0.1$		

表 6 生态景观性指标层的判断矩阵及权重

指标	C_7	C_8	C_9	C_{10}	W_3
C_7	1	2	4	5	0.5177
C_8	1/2	1	2	2	0.2444
C_9	1/4	1/2	1	1	0.1222
C_{10}	1/5	1/2	1	1	0.1157
备注	$\lambda = 4.0062$ $IR = 0.90$	$IR = 0.90$ $CR = CI/IR = 0.0023 < 0.1$			

4.3 确定模糊评价矩阵

本文采用德尔菲法请 7 位专家对 6 种护岸形式各个因素的优劣性进行打分,指标层上的每个因素对评语等级上每个等级的专家赞同率为其隶属度^[15],评语等级取 5,即 $V = \{ \text{很差,差,一般,好,很好} \}$ 。阶梯石笼插柱护岸的模糊评价矩阵为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1/7 & 3/7 & 2/7 & 1/7 \\ 0 & 2/7 & 3/7 & 1/7 & 1/7 \\ 0 & 0 & 1/7 & 5/7 & 1/7 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1/7 & 2/7 & 3/7 & 1/7 \\ 0 & 2/7 & 2/7 & 2/7 & 1/7 \\ 0 & 0 & 1/7 & 4/7 & 2/7 \end{bmatrix}$$

同理,对指标层的相关因素 C_i 进行重要性判断,并进行一致性检验,确定指标权重,判断矩阵及计算结果见表 4~表 6。

表 4 工程经济性指标层的判断矩阵及权重

指标	C_4	C_5	C_6	W_1
C_1	1	7	3	0.6694
C_2	1/7	1	1/3	0.0879
C_3	1/3	3	1	0.2426
备注	$\lambda = 3.0070$ $IR = 0.58$	$CI = 0.0035$ $CR = CI/IR = 0.0060 < 0.1$		

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1/7 & 2/7 & 4/7 \\ 0 & 0 & 1/7 & 4/7 & 2/7 \\ 0 & 0 & 1/7 & 5/7 & 1/7 \\ 0 & 0 & 2/7 & 2/7 & 3/7 \end{bmatrix}$$

4.4 综合评价

准则层评价结果计算如下:

$$B_1 = W'_1 \cdot R_1 = [0.0000 \ 0.1207 \ 0.3593 \ 0.3771 \ 0.1429]$$

$$B_2 = W'_2 \cdot R_2 = [0.0000 \ 0.1714 \ 0.2701 \ 0.4001 \ 0.1584]$$

$$B_3 = W'_3 \cdot R_3 = [0.0000 \ 0.0000 \ 0.1594 \ 0.4079 \ 0.4327]$$

目标层各区段综合评价结果计算如下:

$$\text{保育区: } A_1 = W_1 \cdot R = W_1 \cdot \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} = [0.0000 \\ 0.0866 \ 0.2306 \ 0.4008 \ 0.2820]$$

$$\text{景观区: } A_2 = W_2 \cdot R = W_2 \cdot \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} = [0.0000 \\ 0.0662 \ 0.2155 \ 0.4021 \ 0.3162]$$

$$\text{保护区: } A_3 = W_3 \cdot R = W_3 \cdot \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} = [0.0000 \\ 0.0965 \ 0.2423 \ 0.3992 \ 0.2620]$$

文中评语等级为 5, 则评语集中各元素的量化值为 $V_1 = 20, V_2 = 40, V_3 = 60, V_4 = 80, V_5 = 100$, 量化处理后阶梯石笼插枝护岸在不同区段的综合评价分值分别为: 保育区 $G_1 = 77.5681$, 景观区 $G_2 = 79.3672$, 保护区 $G_3 = 76.5392$ 。

同理, 不同区段生态混凝土、石笼挡墙护岸、木桩 + 抛石、半干砌石、植物护岸的综合得分结果如表 7。

表 7 6 种护岸形式不同区段综合评价结果

护岸形式	评价结果 G		
	保育区	景观区	保护区
阶梯石笼插枝	77.5681	79.3672	76.5392
生态混凝土	78.7898	75.0867	74.6018
石笼挡墙	76.0157	75.4882	78.3218
木桩 + 抛石	76.8634	78.2103	75.8177
半干砌石	77.3852	76.5484	74.5244
植物护岸	74.5978	75.0261	73.3891

4.5 分析讨论

(1) 由表 1~表 3 可以看出, 保育区工程安全性和生态景观性的权重基本相等, 此区段是治理的起始段, 冲刷不严重且居民较少, 生态和安全并重; 景观区在三个区段中生态景观性的权重最大, 工程经济性的权重最小, 此区段居民较多, 是治理的重点区段, 可加大投入比重; 保护区在三个区段中工程安全性和工程经济性的权重均为最大, 此区段冲刷严重, 周围无居民, 重点考虑岸坡防护问题, 但距离较长, 经济因素也不可忽视。

(2) 由表 7 可以看出, 保育区生态混凝土护岸形式综合得分最高, 景观区阶梯石笼插枝护岸形式综合得分最高, 保护区石笼挡墙护岸形式综合得分最高, 因此保育区、景观区、保护区的护岸形式建议分别采用生态混凝土护岸、阶梯石笼插枝护岸、石笼挡墙护岸。

5 结 语

在生态护岸形式设计方案选择中, 建设成本并非唯一决定作用, 需同时考虑使用寿命、管理维护、工程安全性及生态景观性等主要因素的影响。对于同时存在定量指标与定性指标的工程方案, 模糊层次分析法是一种切实有效的方法, 它将模糊综合评价与层次分析法结合起来, 避免了个人的主观判断及偏好等对方案选取的影响。通过模糊层次分析法优选出的不同区段护岸形式均符合目标要求, 为决策者提供了非常有参考价值的依据, 保证了决策的科学性和合理性。

参考文献:

- [1] 卜全民, 李凤英. 污染河道生态修复技术研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(36): 16084-16085.
- [2] Min H, Melachrinoudis E. The relocation of a hybrid perspectives: a case study[J]. International Journal of Management Science, 1999, 27(1): 75-85.
- [3] Ma J, Fan Z P, Huang L H. A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights[J]. European Journal of Operational Research, 1999, 112(2): 397-404.
- [4] Jung H W, Choi B. Optimization models for quality and cost of modular software systems[J]. European Journal of Operational Research, 1999, 112(3): 613-619.
- [5] 许树柏. 层次分析法原理[J]. 天津: 天津大学出版社, 1998.
- [6] 姜巍巍, 贾亚洲. 数控机床用户满意度信息处理[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2004, 34(1): 154-158.