

北京市永定河生态护岸效果评价

王 兵¹, 高甲荣¹, 王 越¹, 杨建英¹, 顾 岚², 高宇婷¹

(1. 北京林业大学 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 北京市水土保持工作站, 北京 100036)

[关键词] 生态护岸; 指标体系; 评价方法; 永定河; 北京

[摘 要] 河岸带是水陆交错带, 其生态状况对河流生态系统有着很大的影响, 而生态护岸评价对生态护岸实践有着重要的指导意义。根据评价指标的筛选原则, 结合北京市永定河的实际情况, 从防洪安全效果、生态效果、社会经济性效果 3 个方面选取 9 个评价指标建立了指标评价体系, 采用专家-层次分析法确定了评价指标的权重, 并确立了生态护岸的健康等级和评价标准; 最后采用基于层次分析法的综合评价指数法作为评价方法建立了一套评价体系, 并用这套评价体系对永定河生态护岸 11 种护岸措施的效果进行了评价。

[中图分类号] X171.1 [文献标识码] A [文章编号] 1000-0941(2014)04-0010-04

生态护岸评价是基于河流健康的定义和特征, 通过建立合理综合的评价指标、评价体系、评价方法, 对生态护岸措施的效果进行客观、综合的分析和评价, 目的是通过对措施效果的评价, 更好地去认识护岸措施的综合护岸效果, 通过对评价结果的分析来更好地指导护岸生产实践。近几年北京市对境内的多条河流进行了综合治理, 其中就包括生态护岸治理措施。由于措施种类较多且治理效果不尽相同, 因此迫切需要建立全面实用的生态护岸评价体系来对这些措施的效果进行综合评价, 这对北京市河流的保护与管理具有重要的现实意义。

在这种背景下, 我们依据对北京市河流的实际调查, 决定选取永定河作为研究对象。之所以选取永定河, 是因为近些年永定河两岸采取了多种生态护岸措施, 另外永定河也是北京地区的代表性河流之一, 选取它作为研究对象具有代表性和可行性。我们结合国内外河流评价体系的研究, 根据北京地区的实际情况, 从防洪安全效果、生态效果、社会经济性效果 3 个方面选取 9 个评价指标建立了指标评价体系, 并依据 9 个指标对永定河的 11 种生态护岸措施进行了实地调查和试验, 目的是建立一套合理可行的评价体系, 对前期永定河生态护岸多项措施的治理效果进行评价, 为今后北京地区河流生态护岸技术的实践提供指导。

1 永定河护岸措施简介

研究区域为永定河“莲石湖—门城湖”段, 河岸防

护措施共 11 种类型, 分别为: ①SG 生态砖扦插柳枝复合护岸; ②块石扦插柳枝复合护岸; ③卵石扦插柳枝复合护岸; ④山石护岸; ⑤块石护岸; ⑥SG 生态砖护岸; ⑦扦插柳枝护岸; ⑧松木桩护岸; ⑨生态袋和仿木桩复合护岸; ⑩卵石护岸; ⑪铅丝石笼和生态袋复合护岸。

2 评价指标体系的构建

2.1 生态护岸的定义与健康特征

生态护岸是利用自然或人工材料在满足护岸基本功能的基础上, 尽可能地为岸边生物创造适宜的栖息环境的一种工程防护措施, 既具有自然护岸的生态性、景观性和渗透性, 又具有硬质护岸的结构性和稳定性^[1]。

河流生态护岸的健康指通过治理后的岸坡应具有良好的防护功能、生态效应、社会效应和景观效应。一个健康的河流生态护岸应具有以下特征: 一是具有保护岸坡的基本功能, 即保持岸坡结构的稳定、抵抗河水冲刷侵蚀的能力; 二是具有一定的生态功能, 能够增加河岸带的生物多样性, 形成一个开放、复杂、稳定的生态系统; 三是具有景观适宜性, 措施应尽量与河流的上下游自然景观融为一体且相互协调; 四是具有一定的经济社会效益和美学价值, 能够为人们提供休闲娱乐的场所^[2-3]。

2.2 指标选取原则

通过参考刘联兵等^[4]关于环境友好型护岸技术评价指标体系的研究和夏继红等^[5]关于河岸带生态系统综合评价指标体系的研究, 以及其他一些关于河岸评价指标研究的文献, 总结并稍作修改后形成八条原则,

即:科学性原则、目标性原则、系统性原则、主成分性(主导性)原则、独立性(不相容性)原则、定量指标与定性指标相结合的原则、可操作性原则、统一性原则。

2.3 指标体系的确定

指标体系中选取的每个单项指标,都要求能够从不同的角度反映生态护岸的健康状况,并且要求能够量化。参考高甲荣、王国玉、侯景艳等人的研究成果^[6-8],依据河流生态护岸的健康特征和指标选取原则,结合北京地区河流情况,从防洪安全效果、生态效果、社会经济性效果3个角度选取了9个评价指标建立评价指标体系,具体见图1。

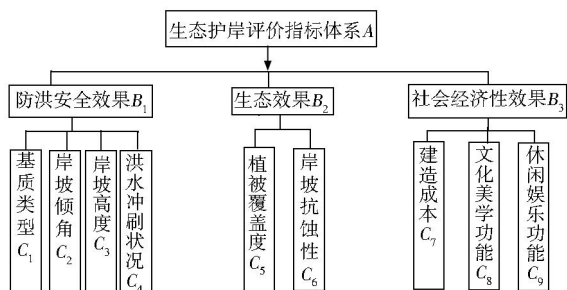


图1 生态护岸评价指标体系

2.4 评价指标的调查方法

2.4.1 基质类型

基质类型指构成河岸地层的岩性及物质组成。基质类型为岸坡的基本属性,是河岸发挥其各种功能的基础。基岩类河岸较为稳固,抗冲刷能力强,岸坡不易变形;岩土河岸次之。岸坡基质为土层的,单一黏性土或以黏性土为主、黏性土厚度占岸坡高度60%以上的,抗冲刷能力稍强;土层为单一砂性土,或砂性土厚度占坡高的40%以上的,抗冲刷能力弱,易侵蚀,易变形。

2.4.2 岸坡倾角

岸坡倾角指坡面上的倾斜线 OD 与其在水平面上投影线 OD' 之间的夹角或层面与水平面的最大锐角(如图2所示的 α 角)。岸坡倾角是影响河岸稳定性的重要因素。

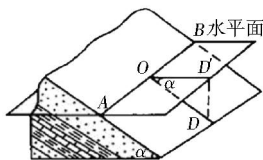


图2 岸坡倾角立体图

2.4.3 岸坡高度

岸坡高度为河岸距水面的垂直距离。岸坡倾角和高度合称为岸坡形态。

2.4.4 洪水冲刷状况

无冲刷迹象:近期内河岸不会发生变形破坏,无水

土流失现象。

轻度冲刷:河岸结构有松动迹象,有水土流失迹象,但近期不会发生变形和破坏。

中度冲刷:河岸松动,裂痕发育趋势明显,一定条件下可能导致河岸坍塌,造成洪涝灾害。

2.4.5 河岸植被覆盖度

植被覆盖度指植物群落总体或各个体的地上部分的垂直投影面积占样方面积的百分比。

2.4.6 岸坡抗蚀性

通过野外人工模拟降雨试验,对岸坡抗蚀性进行研究,具体方法为:对每种生态护岸措施选取3种坡度的 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 岸坡样地;在样地两侧设置挡水板,防止地表径流从旁边流失;在每一样地下端设置 $1\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ 的集沙袋,收集泥沙。

设计降雨历时为30 min。试验开始以后,记录每次降雨样地的初始产流时间,等待地表径流形成后,每隔3 min用集水瓶收集地表径流并测量。对每一个类型的护岸进行3~4次重复试验,直到径流量接近某一固定值,同时选取相同坡地情况的裸岸样地进行相同条件下的降雨模拟试验,作为对比参照。将每次试验收集到的径流进行过滤,过滤后将收集到的泥沙带回实验室,采用烘干法进行烘干并称重。最后计算每种护岸方式下单位面积减少的泥沙量,并依据结果进行评估。

2.4.7 建造与维护成本

通过查阅北京地区各类型河流生态护岸的材料费、人工费、管理费等,计算各类型生态护岸的建造成本和维护成本。

2.4.8 文化美学功能

用于衡量景观设计是否能体现和满足居民对自然和人文过程的认识。生态护岸营造多元化的生态情形,达到了引水、旅游和生态情形相统一的功效。

2.4.9 休闲娱乐功能

护岸措施应考虑居民的需求,形成景观美感,为人们提供娱乐、休闲和亲水的场所,改善人居环境。

3 评价指标权重的确立

经过对国内温存等^[9]和国外Pinto等^[10]在相关评价技术中关于定权方法的研究,类比和分析其中的优点和缺点后,决定采用专家打分法和层次分析法相结合的方法确定权重。这种方法将专家打分法定性分析的优点和层次分析法定量分析的优点相结合,能够较为客观地判定河流生态护岸评价体系各指标的权重。通过以下5个步骤确定准则层和目标层的权重,即:①明确问题,建立层次结构;②通过专家打分法构造判断

矩阵;③对层次进行单排序;④层次总排序;⑤一致性检验。各指标权重见表 1。

表 1 河流生态护岸健康评价指标权重

目标层 A	准则层 B	准则层权重	指标层 C	指标层权重
生态护岸评价指标体系	防洪安全效果 B ₁	0.429	基质类型 C ₁	0.333
			岸坡倾角 C ₂	0.167
			岸坡高度 C ₃	0.25
			洪水冲刷状况 C ₄	0.25
	生态效果 B ₂	0.429	植被覆盖度 C ₅	0.35
			岸坡抗蚀性 C ₆	0.65
	社会经济性效果 B ₃	0.142	建造成本 C ₇	0.421
			文化美学功能 C ₈	0.211
			休闲娱乐功能 C ₉	0.368

4 评价标准及评价方法

4.1 评价标准的确立

根据河岸生态健康的标准,将河流生态护岸的健康程度划分为 4 个等级:理想状态(Ⅰ)、良好状态(Ⅱ)、一般状态(Ⅲ)和较差状态(Ⅳ)^[3]。

理想状态:工程结构是稳定安全的,有较长的使用年限,工程防护效果好;能够与河流景观融为一体,具有较好的景观适宜性;生态效果较好,能够为河岸带生物提供较好的栖息环境,形成开放、稳定的生态系统;造价较低,经济上具有可操作性,施工也较为方便。

良好状态:工程结构较为稳定,使用寿命也较长,具有较好的防冲刷能力;景观适宜性较好,工程与河流自然景观基本一致;河岸带基本上可以形成稳定的生态系统,但开放性较弱,抗干扰能力也相对较低;经济成本相对较低,施工难度也较低。

一般状态:工程结构稳定性较差,使用寿命较短,不具备较好的抗水流冲刷的能力;河岸带生物多样性较差,抗干扰能力差,不具备良好的生态功能;同时与周围景观协调性较差,美学价值较低;造价较高,施工难度也较大,经济上不太适宜推广。

较差状态:工程结构不够稳定;生态环境恶化,没有形成生态效应和景观效应;造价高、施工难度大,经济上不可行。

同时,参考国内外相关研究的有关标准,提出了一个较为合理的评价标准,由于各指标计算方法及考核目标不同,因此分级标准也有所不同,具体见表 2—4。

表 2 防洪安全效果评价指标标准

评价指标	理想状态(4分)	良好状态(3分)	一般状态(2分)	较差状态(1分)
基质类型	基岩	岩土河岸	黏土河岸	非黏土河岸
岸坡倾角(°)	<15	15~30	30~45	45~60
岸坡高度(m)	<1	1~2	2~3	3~5
洪水冲刷状况	无冲刷迹象	轻度冲刷	中度冲刷	重度冲刷

表 3 生态效果评价指标标准

评价指标	理想状态(4分)	良好状态(3分)	一般状态(2分)	较差状态(1分)
植被覆盖度(%)	≥50	25~50	10~25	<10
岸坡抗蚀性(%)	≥40	30~40	20~30	<20

表 4 社会经济性效果评价指标标准

评价指标	理想状态(4分)	良好状态(3分)	一般状态(2分)	较差状态(1分)
建造成本(元/m ²)	<100	100~200	200~300	≥500
文化美学功能	优秀	良好	一般	差
休闲娱乐功能	优秀	良好	一般	差

4.2 评价方法的确立

目前,国内外的评价方法多种多样,其中加权算术平均法、加权几何平均法等^[11]是较为综合的评价方法。近年来,许多新的综合方法也被应用于实际评价工作中,但在应用的过程中仍受到许多限制,其中包括灰色聚类法^[12]和模糊数学法^[13],二者分别需要设计诸多的白化函数和隶属函数,但往往这些函数的设计具有主观任意性,计算量过于庞大,实际操作有一定的困难;而人工神经网络评价法^[14]的缺点是需要对标准样本反复计算上千次以获得最佳权值和阈值后,才能对新样本进行评价,在实际应用的过程中显得非常不方便。在这种情况下,本研究结合怀柔区河流生态护岸的实际特点,决定采用以层次分析法为基础的综合评价指数法对永定河的生态护岸措施进行评价。

综合评价指标计算和健康等级划分是根据各个指标因子的权重值与各个评价指标的等级值进行层次加权计算,计算公式为

$$N = \sum_{i=1}^3 D_i \sum_{j=1}^m D_j F_{ij} \tag{1}$$

式中: N 为生态护岸健康度综合评价指数; D_i 为第 i 个准则层的权重; D_j 为第 i 个准则层选取的第 j 个指标在该准则层所占的权重; F_{ij} 为第 i 个准则层中选取的第 j 个指标的评分值; m 为指标层中指标的个数。

本研究采用的综合评价方法共有三个计算步骤: 第一步,对各个评判指标进行审定,并对其中的评价指标进行规范化处理;第二步,通过层次分析法确定各个指标的权重;第三步,依据公式(1)对生态护岸健康度综合评价指数 N 进行计算(当 N 值处于 3.35~4.00 时,护岸属于理想状态;当 N 值处于 2.70~3.35 时,护岸属于良好状态;当 N 值处于 2.05~2.70 时,认为可以判定该生态护岸能够满足基本需要,属于一般状态;而当 N 值低于 2.05 时,就判定该生态护岸功能较差,属于较差状态)。

5 结果与分析

实地对 11 种措施进行勘察,按照评价指标的标准

将调查数据记录在表,并对调查指标进行赋值,最后采用综合评价指数法即公式(1),对 11 种生态护岸的健康程度进行计算,得表 5。

表 5 永定河各生态护岸措施评价结果

措施 编号	措施名称	防洪 安全 效果 B_1	生态 效果 B_2	社会 经济性 效果 B_3	综合评 分值
①	SG 生态砖扦插柳 枝复合护岸	2.599	2.28	2.105	2.392
②	块石扦插柳枝复合护岸	3.246	3.136	2.479	3.090
③	卵石扦插柳枝复合护岸	3.133	2.545	2.660	2.814
④	山石护岸	3.316	1.799	3.486	2.689
⑤	块石护岸	3.233	1.689	2.221	2.427
⑥	SG 生态砖护岸	2.53	1.475	1.322	1.906
⑦	扦插柳枝护岸	2.116	2.44	3.455	2.445
⑧	松木桩护岸	3.583	3.672	2.832	3.515
⑨	生态袋和仿木桩复合护岸	2.932	3.523	2.000	3.053
⑩	卵石护岸	2.366	1.288	2.449	1.915
⑪	铅丝石笼和生态袋 复合护岸	3.733	3.419	1.364	3.262

依据评价标准,处于理想状态的护岸措施有松木桩护岸;处于良好状态的有铅丝石笼和生态袋复合护岸、块石扦插柳枝复合护岸、生态袋和仿木桩复合护岸、卵石扦插柳枝复合护岸;处于一般状态的有山石护岸、SG 生态砖扦插柳枝复合护岸、块石护岸、扦插柳枝护岸;处于较差状态的有 SG 生态砖护岸、卵石护岸。

总体上来讲永定河的这 11 种生态护岸方式基本上达到了设计标准,但防护的综合效果却不尽相同。其中松木桩护岸技术最为突出,原因是松木桩在抗水流冲刷和防护坡面水土流失中能够发挥较好的作用,同时由于采用自然材料且施工过程不破坏生态环境,自然植被易于恢复,加上施工简便、价格低廉,因此这项措施可以在有条件的地区推广。SG 生态砖护岸和卵石护岸的总体评价效果不是很好,主要表现为生态效果较差,社会经济性也较为一般,原因是卵石和块石覆盖地表不利于植物生长,得不到较好的生态修复效果,材料、施工也相对花费较高。另外,从表 5 中可以看出防洪效果较好的是铅丝石笼和生态袋复合护岸、松木桩护岸,防洪效果较差的是卵石护岸、SG 生态砖护岸;生态效果较好的是生态袋和仿木桩复合护岸、松木桩护岸、铅丝石笼和生态袋复合护岸,生态效果较差的是卵石护岸、SG 生态砖护岸;社会经济性效果较好的是山石护岸、扦插柳枝护岸,较差的是 SG 生态砖护岸、铅丝石笼和生态袋复合护岸。

6 结 语

从评价结果上来看,这套评价体系能够从不同角度较为合理地反映不同生态护岸措施的治理效果,选取的评价指标具有较强的可操作性,也能较为客观地

反映生态护岸的实际情况,技术上基本可以作为北京市生态护岸评价的标准。但该套评价技术可能在某些地方还不太成熟,在实际应用的过程中应根据河流的实际情况做必要的调整。

[参考文献]

[1] 唐国滔,姚焕玫,胡湛波.生态护岸技术的研究及其发展趋势[J].水产科技情报,2010(4):66-70.

[2] Franks C A, Mahony M J, Franks S W. Measuring river health: the uncertainty associated with impact assessment using a single sample biological assessment technique [C]//Heathwaite L, Webb B, Rosenberry D, et al. Dynamics and Biogeochemistry of River Corridors and Wetlands. Wallingford, UK: IAHS Press, 2005:176-182.

[3] 唐涛,蔡庆华,刘建康.河流生态系统健康及其评价[J].应用生态学报,2002,13(9):1191-1194.

[4] 刘联兵,李凌云,王家生,等.环境友好型护岸技术评价指标体系研究[J].中国农村水利水电,2012(9):165-167.

[5] 夏继红,严忠民,蒋传丰.河岸带生态系统综合评价指标体系研究[J].水科学进展,2005,16(3):346-348.

[6] 高甲荣,王芳,朱继鹏,等.河溪生态系统自然性评价指标体系[J].中国水土保持科学,2006,4(5):66-70.

[7] 王国玉,李湛东.河岸带自然度综合评价指标体系的构建[J].山东林业科技,2008(6):12-15.

[8] 侯景艳,张玉龙.浑河沈阳段生态健康评价指标体系的研究[J].环境保护科学,2007,33(3):74-80.

[9] 温存,高阳,高甲荣,等.河溪近自然治理技术及其评价方法[J].中国水土保持,2006(12):39-44.

[10] Pinto B C T, Araujo F G, Hughes R M. Effects of landscape and riparian condition on a fish index of biotic integrity in a large southeastern Brazil river [J]. Hydrobiologia, 2006, 556(1):69-83.

[11] 陈衍泰,陈国宏,李美娟.综合评价方法分类及研究进展[J].管理科学学报,2004(2):70-73.

[12] 魏颖,张江山,陈庆华.灰色聚类法在闽江闽清段水质评价中的应用[J].安全与环境工程,2011(5):54-57.

[13] 欧国林,张娜.模糊数学方法在路基边坡稳定性评价中的应用[J].四川建筑,2009(1):67-68.

[14] 郭庆春,赵雪茹.基于人工神经网络的黄河水质评价[J].计算机与数字工程,2013(5):683-685.

[作者简介] 王兵(1989—),男,山东莱西市人,硕士研究生,研究方向为水土保持与流域管理;通信作者高甲荣(1963—),男,陕西韩城市人,教授,博士,研究方向为流域管理及水环境建设。

[收稿日期] 2013-10-15

(责任编辑 徐素霞)