

城市河道生态护坡综合评价指标体系研究

王梅婷, 徐得潜, 陈凯

(合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 阐述了城市河道生态护坡综合评价的基本内容, 指出当前评价中指标体系建立的不足。认为评价指标体系的建立应科学合理地反映出所要评价的生态护坡系统的各项指标要求。建立了合肥市城市河道生态护坡评价指标体系, 该体系的内容包括城市河道生态护坡类型及材料、稳定性、功能和社会经济效益 4 项指标要求, 并采用层次分析法进行了工程实例分析, 评价结果良好地反映了四里河和南淝河生态护坡的特性。该指标体系的建立, 为合肥市生态护坡的评价奠定了基础, 对城市生态护坡建设具有一定指导意义。

关键词: 城市河道; 生态护坡; 综合评价; 层次分析法; 指标体系

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)01-0198-05

中图分类号: TV861

A Comprehensive Index System for Evaluating Ecological Revetments on Urban Riverbanks

WANG Mei-ting, XU De-qian, CHEN Kai

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China)

Abstract: The basic concepts of comprehensive evaluation of urban ecological revetments were clarified, and the insufficiencies of current index systems for the urban ecological slope evaluation were exposed explicitly. An ideal evaluation index system should reflect, scientifically and reasonably, the requirements of an ecological protection system. Based on this concept, a comprehensive evaluation index system for the ecological revetments of Hefei City was developed. The system is consisted of four indices including types and materials of the construction, stability, functions, and social and economic benefits. The analytic hierarchy process(AHP) was then applied to evaluate engineering cases and the results were found reasonable. The system could provide a basis to evaluate ecological revetments in Hefei City and potentially significant guidance for urban revetment constructions.

Keywords: urban riverbank; ecology revetment; comprehensive assessment; AHP; index system

目前,我国城市河道生态护坡技术正在大力推广之中,现有的城市河道生态型护坡中,无论植被护坡、生物护坡还是坡面生态工程^[1],都属于生态护坡的范畴。城市河道生态护坡综合评价的方法有层次分析法、模糊综合评判法、主成分分析法和灰色综合评价法等。在这些评价方法中,大多都借助评价指标来进行分析^[2-3]。但目前城市河道生态护坡综合评价指标体系的建立尚不够完善,缺乏统一的衡量标准^[4-5]。因此尚需更深入地研究合理有效的城市生态护坡综合评价指标体系的建立与选择。

1 生态护坡综合评价内容

生态护坡是指在边坡形态稳定的基础上生态系

统能够自我运行并能可持续发展的统一体^[6],对其进行综合评价的内容应包括如下方面。

(1) 生态护坡的类型及材料评价。河流生态护坡工程涉及到护坡的类型及材料的选择,其选择要适用于工程实际。评价指标有材料可取程度、材料环保性、施工难易程度、类型适宜性等。

(2) 生态护坡稳定性的评价。生态护坡稳定性主要有结构稳定性和生态稳定性两个方面。前者通过土体稳定原理^[7]、密实度、透水率^[8]、岸坡结构及形式、河床冲淤平衡^[9]、弯段稳定等描述;后者通过系统整体性评价、生物多样性、本地物种比例、群落结构等表达。

(3) 生态护坡功能的评价分基本水利功能、生态

收稿日期:2010-05-23

修回日期:2010-07-17

资助项目:王梅婷(1985—),女(汉族),宁夏回族自治区灵武市人,硕士研究生,研究方向为城市给水排水工程与技术。E-mail:wmt926@163.com。

作者简介:徐得潜(1960—),男(汉族),安徽省青阳县人,教授,硕士生导师,主要研究方向为给水排水工程优化规划与经济运行、水利水电工程优化规划与经济运行。E-mail:xudeqian60@163.com。

功能、景观美学功能^[10]方面的评价。基本水利功能通过防洪、排涝、供水、通航等指标描述;生态功能通过水土保持、水文水质影响、涵养地下水等方面评价;景观美学功能有整体协调性、公众互动、亲水性等指标。

(4) 生态护坡社会效益方面的评价。评价指标主要有工程造价、管理维护费用、社会公众认可程度等。

2 生态护坡综合评价指标体系的建立

2.1 评价指标体系的建立原则

建立生态护坡综合评价指标体系应遵循评价指标体系的构建原则,从而使各评价指标更科学合理和实用,以满足城市河道生态护坡在社会、生态、经济效益等方面的需求。

(1) 科学性原则。即对城市河道生态护坡综合评价指标体系的构建要力求科学、准确地反映各指标之间的关系和层次结构,具有科学内涵,能客观描述生态护坡的基本特征。

(2) 系统性原则。城市河道生态护坡综合评价指标体系应能比较系统全面地反映出生态护坡的基本状态,能从生态护坡自身功能和属性、生态系统平衡及社会效益等方面综合反映其内涵,把评价项目放在系统内分析,以保证综合评价的全面性和可信度,从而形成一个完整的体系。

(3) 层次性原则。所建立的指标体系必须具有一定的层次结构,且逻辑关系明确,既抓住了主要因素,又兼顾次要因素,以保证评价的有效性,进而通过层次分类综合描述影响生态护坡综合评价的各个因素。

(4) 定量与定性相结合原则。为了进行综合评价,必须将反映生态护坡基本特征的指标量化、规范化,既有定性描述,又有定量分析,并为采用定量方法和便于用数学模型处理奠定基础。同时也要考虑所选取的各指标参数要简单易得,便于计算和分析,更重要的是应具有实用性,以保证综合评价的客观理性。

(5) 独立性原则。评价指标体系不仅要系统全面,各指标之间还应有一定的独立性,以使指标体系协调统一,实用合理。

(6) 可操作性原则。所建立的评价指标体系在实际应用中,应具有一定的普遍性,便于实施。评价的数据应便于收集,计算简单易于掌握,以保证评价方法的可操作性。

(7) 可预测性原则。既要能够反映系统的静态状况,又要能反映系统的动态状况,具有可预测性。

2.2 评价指标体系的建立及权重的确定

生态护坡综合评价涉及到很多评价指标,这些指标具有明显的层次结构,对评价结果影响的重要程度也不同。根据生态护坡综合评价层次结构模型,按生态护坡的性质与特点,根据各因素之间的关系,以生态护坡综合评价为目标层(A),护坡类型及材料评价(B₁)、护坡稳定性评价(B₂)、功能评价(B₃)和社会经济效益评价(B₄)作为准则层。结合实际情况,建立城市河道生态护坡指标体系(见表1)。

一般,指标范围越宽,数量越多,方案之间的差异越明显,越有利于判断和评价,但确定指标的大类和重要程度就会越困难,处理和建模过程也越复杂,从而扭曲方案本质特性的可能性就越大。评价指标体系要想全面反映出所要评价系统的各项指标要求,就必须针对具体的护坡类型、结构和组成筛选优化指标,尽可能地做到科学、合理,并基本上能为有关人员和部门接受^[11]。为此,需要在全面分析系统的基础上,先拟定指标草案,经过广泛征求专家意见,反复交换信息、统计处理和综合归纳等,最后确定系统的评价指标体系。在选择被调查专家时,要有针对性、代表性,可根据被调查专家的选择原则及拟定的生态护坡综合评价指标草案,确定被调查专家及其数量,以达到调查的目的和效果,使得到的结果更科学合理。被调查专家的选择原则为:(1) 被调查的专家应具有丰富的理论知识和实践经验,熟悉生态护坡工程技术的国内外发展状况,了解生态护坡的内涵和外延,在相关行业和领域内具有一定的权威性;(2) 被调查的专家应具有严谨的科学态度,良好的职业道德,能够独立、客观、公正地对城市河道生态护坡进行评价;(3) 被调查专家可以是各地方政府、大专院校、科研院所、行业学会等推荐的专家。

应用层次分析法^[12]构造一系列下层对上层因素两两比较相对重要性的判断矩阵,从而进行权重计算。然后用计算判断矩阵的特征值和特征向量方法进行层次单排序。判断矩阵的一致性指标 CI 值越大,一致性就越差。之后进行层次总排序。将各个具体指标相对于准则层的权重与准则层相对于目标层的权重相乘,可得每个指标在生态护坡综合评价中所占的权重(见表2)。为使评价结果准确可靠,评价过程中,通过给不同的指标分配不同的权重来反映其强弱程度。等级标准(分值)采用4个等级;当指标为离散值时,通过专家评分(百分制)法确定。

表 1 生态护坡综合评价指标体系与量化方法

一级 指标	二级 指标	三级 指标	指标量化方法	等级标准(分值)			
				优秀 (90~100)	良好 (70~90)	一般 (50~70)	差 (0~50)
生态 护坡 类型及 材料 B_1	材料生 态性 C_1	材料可取程度 D_1	材料是否丰富易得	丰富易得	较丰富较易得	一般	材料贫乏
		材料环保性 D_2	材料是否环保	环保	较环保	部分环保	不环保
生态 护坡 稳定性 生态 护坡 稳定性 B_2	类型合 理性 C_2	施工难易程度 D_3	工艺施工是否简单	施工简单方便	较简单较方便	难度一般	施工复杂困难
		类型适宜性 D_4	类型选择是否适宜	适宜	较适宜	一般	不适宜
生态 护坡 综合 评价 A	结构 稳定性 C_3	土体稳定原理 D_5	稳定安全系数 F_s	$F_s \geq 1.2$	$1.1 \leq F_s < 1.2$	$1.0 \leq F_s < 1.1$	$F_s < 1.0$
		密实度 D_6	孔隙比 e	$e < 0.7$	$0.7 \leq e < 0.85$	$0.85 \leq e < 0.95$	$e \geq 0.95$
		透水率 D_7	渗透系数 $k/$ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	$10^{-3} \leq$ $k < 10^{-1}$	$6.0 \times 10^{-5} \leq$ $k < 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-6} \leq$ $k < 6.0 \times 10^{-5}$	$k < 1.2 \times$ 10^{-6}
		坡面形式 D_8	边坡系数 m	$m \geq 3.5$	$2.0 \leq m < 3.5$	$1.0 \leq m < 2.0$	$m < 1.0$
		河床冲淤平衡 D_9	流速与夹砂能力计算	满足要求	较满足	基本满足	不满足
	生态 护坡 功能 C_6	弯段稳定 D_{10}	曲率半径是否 满足规范要求	满足要求	较满足	基本满足	不满足
		系统整体性 D_{11}	是否协调、连续	协调连续	较协调连续	均一般	均较差
		物种多样性 D_{12}	多样性指数 H	$H > 1.2$	$0.8 < H \leq 1.2$	$0.4 < H \leq 0.8$	$H \leq 0.4$
		本地物种比例 D_{13}	本地物种比例指数 P	$P > 0.7$	$0.5 < P \leq 0.7$	$0.2 < P \leq 0.5$	$P \leq 0.2$
		群落结构 D_{14}	群落配置是否合理	合理	较合理	一般	不合理
基本 水利 功能 C_5	防洪 D_{15}	设计洪水标准校核	满足要求	较满足	基本满足	不满足	
	排涝 D_{16}	设计排涝标准校核	满足要求	较满足	基本满足	不满足	
	引水 D_{17}	不同水平年引水量	满足要求	较满足	基本满足	不满足	
	通航 D_{18}	内河通航标准校核	满足要求	较满足	基本满足	不满足	
生态 护坡 功能 C_6	水土保持 D_{19}	河岸坍塌流失程度	满足要求	较满足	基本满足要求	不满足要求	
	水文和水质 D_{20}	水文水质标准校核	满足要求 或标准	较满足 或标准	基本满足要求 或标准	不满足要求 或标准	
	涵养地下水 D_{21}	地下水位变化率	涵养水量 丰富	涵养水量 较丰富	涵养水 量一般	涵养水 量较少	
景观 美学 功能 C_7	整体协调性 D_{22}	整体是否 协调合理	合理 协调	较合理 较协调	基本合理 基本协调	不合理 不协调	
	亲水性 D_{23}	靠近水面程度	亲水性高	亲水性较高	亲水性一般	亲水性差	
	公众互动性 D_{24}	互动是否便宜安全	安全便宜	较安全便宜	基本便宜	不便宜	
经生 济态 效护 益坡 B_4	工程造 价费用 C_8	造价是否经济 D_{25}	造价是否经济	经济	较经济	适中	不经济
	管理维 护费用 C_9	维护管理是 否方便 D_{26}	维护管理 是否方便	方便费 用低	较方便, 费用适中	一般	不方便 费用高
	社会公众 认可度 C_{10}	公众是否认 可 D_{27}	公众认可 程度 S	$S \geq 0.85$	$0.6 \leq S < 0.85$	$0.4 \leq S < 0.6$	$S < 0.4$

2.3 应用实例

2.3.1 南淝河和四里河生态护坡基本概况 合肥市南淝河中游(板桥河入口至寿春路桥)护坡始建于 20 世纪 80 年代中期,因年久失修,多处坍塌且强降水时许多地方会出现管涌现象。2008 年对该河段河堤进行改造且建成透气、保水和固土的生态混凝土护坡^[13]。建设的河道边坡长约 870 m,以跨河桥分界分为 3 段,坡比分别为 1:1,1:2,1:1.5,总建设面积为 10 014 m²,针对不同位置需求分为透水性和植生型 2

种。混凝土框架内现浇厚度为 100 mm 的植生生态混凝土,其上铺设 50 mm 左右厚的客土层(含一定量的缓效肥、植物种子、保水剂和一些纤维状物质)。工程建好 3~6 个月后,植被覆盖度达 95% 以上,河道生态系统恢复良好,实现了生态平衡和景观美化。

四里河是南淝河的重要支流,自北向南流入南淝河。四里河综合整治工程从北二环开始至南淝河河口,全长约 3.15 km,包括河道清淤,河道整修,河道护坡,污水截流,沿河道路桥梁,景观绿化和排涝泵站建设。治理工程完成后,形成了合肥市西北区域与

南淝河生态走廊相呼应的第 2 条滨水绿色空间走廊,在提高四里河防洪标准的同时极大地改善了沿河两岸的人居环境。四里河河道护坡水下部分采用多孔生态砖挡墙,水上部分为植物护坡,南淝河入口处则为全硬性护岸(石块+水泥勾缝),而其它河段护坡生态砖空隙中植被以及水边、水生植物生长良好,滨岸带树木多为落叶,常绿比例少。

2.3.2 南淝河和四里河生态护坡综合评价 对合肥市四里河和南淝河生态护坡进行评价,通过对专家和公众问卷统计调查,以打分的形式获得评价数据,评价等级如表 1 所示。并根据其不同的权重,进行加权,最终获得综合评价分数结果见表 2。四里河评价后得分为 75.37,评价结果良好;南淝河评价后得分为 74.25,评价结果良好。

表 2 四里河和南淝河生态护坡综合评价结果

一级指标	二级指标	三级指标	综合权重	排序	四里河		南淝河		
					打分值	加权后得分	打分值	加权后得分	
生态护坡综合评价 A	B ₁	C ₁	D ₁	0.028 4	17	70	1.988 0	75	2.130
			D ₂	0.085 3	2	80	6.824 0	70	5.971
		C ₂	D ₃	0.075 8	3	65	4.927 0	70	5.306
	D ₄		0.037 9	9	75	2.842 5	60	2.274	
	D ₅		0.064 4	5	80	5.152 0	75	4.830	
	B ₂	C ₃	D ₆	0.030 8	14	80	2.464 0	75	2.310
			D ₇	0.030 8	14	85	2.618 0	75	2.310
			D ₈	0.013 6	23	80	1.088 0	65	0.884
		D ₉	0.006 3	26	55	0.346 5	60	0.378	
		D ₁₀	0.006 3	26	65	0.409 5	70	0.441	
		D ₁₁	0.036 1	10	75	2.707 5	70	2.527	
		D ₁₂	0.022 5	18	80	1.800 0	65	1.463	
	C ₄	D ₁₃	0.010 6	24	75	0.795 0	60	0.636	
		D ₁₄	0.006 6	25	85	0.561 0	70	0.462	
		D ₁₅	0.105 2	1	90	9.468 0	90	9.468	
	C ₅	D ₁₆	0.060 2	6	90	5.418 0	90	5.418	
		D ₁₇	0.031 4	13	60	1.884 0	75	2.355	
		D ₁₈	0.014 7	22	50	0.735 0	60	0.882	
		D ₁₉	0.035 2	11	85	2.992 0	80	2.816	
	C ₆	D ₂₀	0.055 8	7	60	3.348 0	65	3.627	
		D ₂₁	0.014 8	21	75	1.110 0	70	1.036	
		D ₂₂	0.020 7	19	75	1.552 5	70	1.449	
	C ₇	D ₂₃	0.052 2	8	60	3.132 0	70	3.654	
		D ₂₄	0.032 9	12	50	1.645 0	75	2.468	
		D ₂₅	0.072 5	4	80	5.800 0	75	5.438	
	B ₄	C ₈	D ₂₆	0.030 4	16	70	2.128 0	75	2.280
		C ₉	D ₂₇	0.019 2	20	85	1.632 0	75	1.440

3 生态护坡综合评价指标简化

通过对合肥市四里河和南淝河生态护坡进行综合评价可知,评价指标太多而不易用于具体的工程实例,难以合理选择生态护坡规划设计方案。因此根据表 2 中各个指标的权重对其进行简化,取权重相对重要的前 10 项指标,重新进行评价,结果见表 3。四里河评价得分为 76.18,评价结果良好;南淝河评价后得分为 74.70,评价结果良好。指标简化后的评价结果与简化之前进行对比,若相对误差小于 5%,可认

为评价结果合理。而二者的相对误差均小于 5%,即认为简化后的指标是有效的。

4 结论

(1) 本文从不同的角度提出了 27 项城市河道生态护坡综合评价指标,建立了一个较合理的指标体系。对合肥市城市河道生态护坡进行了全指标和简化指标的评价,研究发现,简化指标的评价结果基本能反映生态护坡评价总体水平,且与全指标评价结果误差小于 5%,故认为可以其代替全指标应用于实际工程的评价。

表 3 生态护坡综合评价简化指标权重

目标层	准则层	指标层	亚指标层	综合权重	排序	四里河		南淝河	
						打分值	加权后得分	打分值	加权后得分
生态护坡综合评价 A	生态护坡类型及材料 B ₁	材料生态性 C ₁	材料环保性 D ₂	0.113 7	4	80	9.096	70	7.959
		类型合理性 C ₂	施工难易程度 D ₃	0.075 8	7	65	4.927	70	5.306
	生态护坡稳定性 B ₂	结构稳定性 C ₃	土体稳定原理 D ₅	0.151 6	1	80	12.128	75	11.370
		生态稳定性 C ₄	系统整体性 D ₁₁	0.075 8	7	75	5.685	70	5.306
	生态护坡功能 B ₃	基本水利	防洪 D ₁₅	0.141 0	2	90	12.690	90	12.690
		功能 C ₅	排涝 D ₁₆	0.070 5	9	90	6.345	90	6.345
		生态功能 C ₆	水文和水质 D ₂₀	0.105 8	5	60	6.348	65	6.877
	生态护坡社会效益 B ₄	景观美学功能 C ₇	亲水性 D ₂₃	0.105 8	5	60	6.348	70	7.406
工程造价费用 C ₈		造价是否经济 D ₂₅	0.122 1	3	80	9.768	75	9.158	

(2) 对南淝河和四里河的综合评价结果良好。而实际工程中,南淝河中游(板桥河入口至寿春路桥)护坡采用透水性和植生型生态混凝土,植被覆盖率高,实现了生态平衡和景观美化,但植被较单一;四里河(北二环至南淝河入河口)护坡采用多孔生态砖挡墙和自然护坡,物种丰富且群落结构较好,河道生态系统恢复良好,但缺乏常绿树木且河流水质较差。

(3) 城市河道生态护坡评价指标应根据具体的评价实例来选择评价指标,选择时力争既能反映生态河道的基本特性与要求,又能减少重复,便于量化。

(4) 等级标准(分值)采用“理想”、“良好”、“一般”和“较差”,对城市河道生态护坡的管理工作缺乏指导意义,可借鉴 RCE 评价方法,增加颜色代码和河流管理推荐行动^[4],以使评价结果表达更为准确丰富。

[参 考 文 献]

- [1] 孙宇. 河道植被护坡技术[J]. 水科学与工程, 2005(1): 34-36.
- [2] 赵晓, 袁立东. 岸坡稳定性量化评价指标体系研究[J]. 西部探矿工程, 2006(S): 518-520.
- [3] 赵彦伟, 杨志峰. 城市河流生态系统健康评价初探[J].

水科学进展, 2005, 16(13): 349-355.

- [4] 曾小, 车越, 吴阿娜. 3 种河流健康综合性评价方法的比较[J]. 中国给水排水, 2007, 23(4): 92-96.
- [5] 吴阿娜, 杨凯, 车越, 等. 河流健康状况的表征及其评价[J]. 水科学进展, 2005, 16(4): 602-608.
- [6] 汪洋, 周明耀, 赵瑞龙, 等. 城镇河道生态护坡技术的研究现状与展望[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(1): 88-92.
- [7] 龚晓楠. 土力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [8] 赵成刚, 白冰, 王运霞. 土力学原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [9] 陈平, 崔广柏, 刘正祥. 南方生态河道评价指标体系初探[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 166-169.
- [10] 夏继红, 严忠明. 生态河岸带综合评价理论与修复技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
- [11] 荣冰凌, 陈春娣, 邓红兵. 城市绿色空间综合评价指标体系构建及应用[J]. 城市环境与城市生态, 2009, 22(1): 33-37.
- [12] 杜栋, 庞庆华. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [13] 束波峰. 生态混凝土护坡在河堤加固中的应用[J]. 水利水电技术, 2009, 40(12): 12-13.