

绿色生态岸坡治理评价理论研究

马殿光, 邢岩

(交通运输部天津水运工程科学研究所内河港航中心, 天津 300456)

摘要:通过资料分析、理论研究、数学模型和现场调研相结合的技术手段,对绿色生态岸坡治理方案评价的指标体系及方法进行深入研究,在深入探讨绿色生态岸坡理念及内涵特征的基础上,构建了绿色生态岸坡治理方案评价指标体系,建立了多层次模糊综合评价模型,并应用于广西那吉库区航道生态护岸示范工程的综合评价。

关键词:绿色生态护坡;岸坡治理;评价指标;多层次分析;模糊综合评价

中图分类号:TV861

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2017)S1-0124-04

航道护岸是用于保护岸边土地、使河岸免遭水流冲刷破坏并稳固河势的一种水利工程设施,是港口及内河航道工程中的重要组成部分。为保护岸坡,控制河势,人们在大大小小的河流上修建了各种类型的护岸和护坡。但航道土质岸坡失稳破坏仍是普遍存在的一种现象,对此往往采用工程措施加以治理,如采用石块、混凝土、钢筋等高强度材料对河岸进行硬化覆盖^[1]。传统的护岸工程在结构形式和材料选择上力求安全经济、施工简便,在使用上偏重防洪功能,忽视了河流的生态效应,对河流的生态及环境带来了难以估计的损害,使生态系统的健康和稳定性都受到不同程度的影响^[2],主要表现在:①航道的裁弯取直和束窄加深,导致水动力条件单一化,对河流生态多样性造成胁迫;②为防止船行波造成的岸坡侵蚀,用石块、混凝土、钢筋等高强度材料对河床及河岸进行硬化覆盖,影响河岸和河床水体以及微生物交换,对水生态造成胁迫;③岸坡的开挖建设使得原有植被群落遭到破坏,对河岸带陆域生态环境造成胁迫;④水泥和混凝土等灰色硬性材料的大量应用对河道景观造成胁迫。随着中国经济社会的发展,人们对生存环境特别是河道生态环境的期望值越来越高,因此,体现“人与自然和谐相处”的航道生态治理理念也逐渐深入人心。

航道岸坡的绿色生态治理是河流生态治理的重要组成部分,集生态学、环境学、水文学、植物学、河流动力学、治河工程学等多学科交叉理论于一体,涵盖内容广,问题错综复杂。目前,对于生态护岸技术

国内外均开展过许多研究,主要聚焦于护岸新型材料的研发、结构形式的创新设计等方面,各地也相继建设了一批生态护岸示范工程,积累了宝贵的工程经验。但对于岸坡绿色生态治理的内涵和内容认识较为模糊,各地涉及生态护岸的建设尚无统一的操作规程和技术标准,在结构形式设计上多依赖主观判断,且带有浓厚的地域特征,对生态护岸设计中的特征参数缺乏理论指导。此外,实施岸坡绿色生态治理方案后,对其生态工程效果的检验及评价也是当前生态护岸建设领域急需解决的技术难点之一。

在此形势下,为有效指导生态护岸的规范化建设,实施岸坡绿色生态治理的工程评价,十分有必要开展岸坡绿色生态治理评价的理论研究,以岸坡绿色生态治理的评价为导向,界定岸坡绿色生态治理的内涵,构建绿色生态岸坡治理评价指标体系,建立综合评价方法和模型,对绿色生态岸坡建设项目进行综合评价分析,对编制绿色生态岸坡治理目标,规范绿色岸坡生态治理建设秩序,科学评价治理效果均具有重要意义。

1 定义与内涵

在满足护岸工程固土护坡功能的前提下,岸坡绿色生态治理的理念主要是采用生态手段对河岸带进行综合开发、利用和保护,将工程措施与生物措施相结合,通过生态系统自我修复能力和人工辅助相结合的技术手段,选择合乎环保要求的材料和工艺,将河流本身与航运结合起来,力求恢复河岸生态系

基金项目:国家自然科学基金(51609010);中央科研院所基本科研业务费(TKS170110)

作者简介:马殿光(1976—),男,研究员,博士,主要从事航道整治与生态航道研究。E-mail:641683743@qq.com

统合理的内部结构及其景观格局。或者说,岸坡绿色生态治理是通过工程措施及生态措施治理后可满足固土防冲、岸坡稳定的生态护坡治理^[3-4]。绿色生态岸坡具备安全性、绿色性、生态性、景观性和人水和谐 5 方面的特征。

岸坡绿色生态治理不是简单的保护自然环境,而是在满足通航条件和采取必要的防洪、护岸等措施的同时,将人类对河流环境的干扰降低到最小,与自然共存。人类本是自然的一部分,河流、航道建设不再是单纯保护人类生命和财产的建设,而是尊重地域自然环境、珍视哺育文化与自然共生的河流建设。因此,岸坡绿色生态治理的定义是:在保障航道岸坡稳定的前提下,以缓解或消除护岸建设对河流生态环境的胁迫为目的,运用生态学、生物学等基本理论与方法,改变以往传统护岸建设在结构设计和材料选择上追求断面渠化和较小的水力糙率,在使用功能上侧重防洪固岸,运用以植被措施为主导的生态技术手段寻求护岸的稳定、生态、景观功能的有机结合,重塑一个自然稳定和相对健康开放的河流生态系统。

岸坡绿色生态治理的科学内涵,包括合理设计结构形式、因地制宜选择护岸材料、合理运用植被措施、关注航道的景观与水质、采取生态施工和健全的管理组织与措施等 6 个方面,是一个完整的系统,不仅包括植物,也包括人类、动物以及微生物,系统内部之间以及系统与相邻系统(如陆地生态系统、周边经济系统、人文生活系统等)之间均发生着物质、能量和信息的交换,具有很强的动态性。在保证边坡稳定的基础上,增加生物多样性,提高航道周边生态可居性和景观性,努力营造健康的河流生态系统。

2 评价指标体系构建

2.1 构建原则与步骤

评价岸坡绿色治理的生态属性应该把握合理适

度的评价原则。由于岸坡绿色生态治理牵涉领域广,子系统相互作用,具有相互间的输入与输出,因此,要在众多的影响指标中选择那些最灵敏、可度量且内涵丰富的主导性指标作为评价因子。构建岸坡绿色生态治理综合评价指标体系应遵循科学性、系统性、层次性、独立性、简单性和主导性原则。

针对一项具体的岸坡生态治理建设项目,建立一个具有科学性、完备性及实用性的多层次模糊综合评价指标体系,是一件复杂而又困难的工作。建立评价指标体系一般要经过 3 个阶段^[5]:初步拟定阶段、专家评议筛选阶段及确定阶段。

a. 系统分析。拟定多层次模糊综合评价指标体系时,必须首先对评价项目做深入的系统分析。从分析项目各评价因素的逻辑关系入手,对项目做出条理清晰、层次分明的系统分析。

b. 目标分解。项目模糊综合评价应从整体最优原则出发,以局部服从整体、宏观与微观相结合,综合多种因素,确定项目的总目标。对目标按其构成要素之间的逻辑关系进行分解,形成系统、完整的评价指标体系。

c. 确定指标体系。通过系统分析,初步拟出评价指标体系后,应进一步征询有关专家意见,对指标体系进行筛选、修改和完善,以最终确定指标体系。

2.2 建立评价指标体系

依据岸坡绿色生态治理的科学内涵与特征,从岸坡防护基本功能、护岸生态性、植被、景观、施工及管理 6 个方面出发,建立了两层次评价指标体系,将整个指标体系分为 6 个指标群:岸坡稳定指标群、生态型护岸指标群、绿色植被指标群、景观水质指标群、生态施工指标群和管理指标群。岸坡绿色生态治理评价指标体系构成见图 1。

a. 岸坡稳定指标群。航道岸坡的稳定性对维护河势稳定、保障通航安全具有重要意义。采用植被技术对岸坡进行绿色生态治理,前提是必须保证

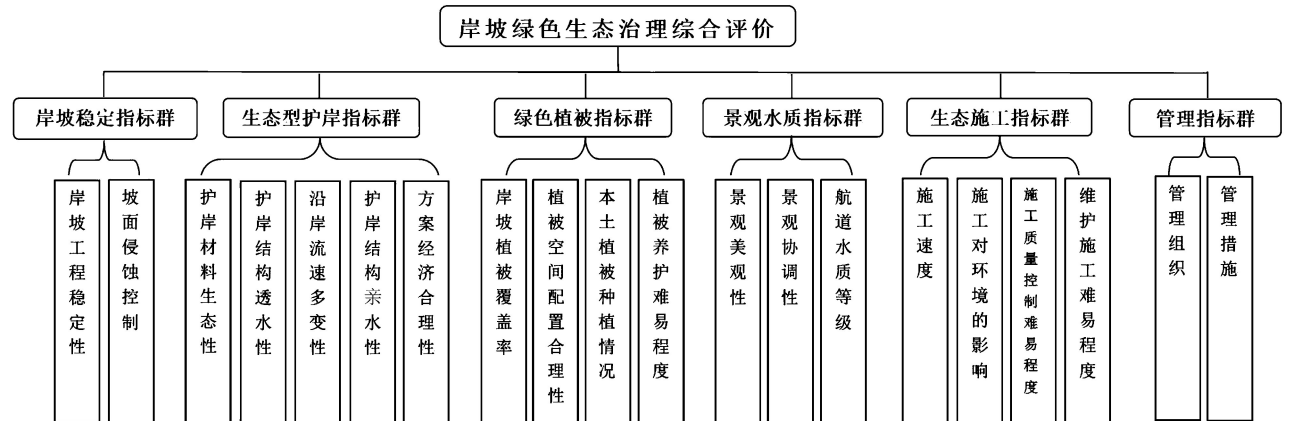


图 1 岸坡绿色生态治理评价指标体系示意图

岸坡结构的工程稳定性,同时对降雨造成的坡面侵蚀进行有效控制。岸坡稳定评价指标包括:岸坡工程稳定性,主要考察航道边坡的整体稳定性、抗滑抗倾稳定性等,可采用生态护岸结构的稳定安全系数(侵蚀模数)作为量化指标,主要考察岸坡植被对降雨形成的坡面径流冲刷的防护效果。

b. 生态护岸指标群。河岸带作为滨水区域中适宜植物生长的地区,不仅为动物提供了栖息场所,也是陆生和水生动植物活动迁移的廊道,在生态系统中占据非常重要的地位。生态护岸建设是岸坡绿色生态治理的关键环节,生态护岸评价指标包括:①护岸材料生态性。主要考察生态友好型材料,如人工植被、自然材料(如木桩、竹笼、卵石等)、新型材料(如生态混凝土、土壤固化剂、土工材料网和钢丝网笼等)在护岸建设中的使用情况。②护岸结构透水性。主要考察护岸的结构设计是否能保证河道水体与岸坡的侧向连通性,同时是否能为水生动植物提供生存场所。③沿岸流速多变性。主要考察护岸前沿错落有致,岸线蜿蜒有度,以营造水流流速多变性,有利于促进生物多样性。④护岸结构亲水性。主要考察结构设计是否满足人居亲水需求。⑤方案经济合理性。主要考察岸坡治理方案在保证其应具有的工程特性的前提下,是否经济合理。

c. 绿色植被指标群。采用植被技术是实施岸坡绿色治理的核心环节。绿色植被指标群包括:①植被覆盖率。指某一地域植物垂直投影面积与该地域面积之比,用百分数表示。②植被空间配置合理性。主要考察不同种类植被在空间上的合理组合情况,即乔木、灌木与草本植被的搭配状况。③本土植被种植情况,在一定程度上反映了岸坡绿色治理措施与当地自然环境的协调性,可采用本土植被种类占所种植岸坡植被的比例进行量化。④植被养护难易程度。主要考察岸坡绿色生态治理过程中种植的岸坡植被生长情况,包括植被的存活率、生长速度、生长周期、日常养护难易程度等。

d. 景观水质指标群。包括:①景观美观性,即生态护岸工程实施后岸坡的整体美观性;②景观协调性,指实施岸坡绿色生态治理后其与周边环境及与城市整体景观是否协调;③航道水质等级,主要考察岸坡绿色生态治理项目范围内的船舶污水排放是否得到有效控制,尽可能减少因航运开发对河道水质造成的胁迫。以航段内水体的水质等级作为量化指标。

e. 生态施工指标群。生态施工评价主要针对生态护岸结构的施工过程,即护岸结构的施工必须简便易行,不仅包括基建时的施工问题,还应考虑维

护期间的修复施工的难易问题,即应是全过程的施工问题。因此,生态施工评价包括以下4个评价指标:①施工速度;②施工对环境的影响,即施工过程的噪音、建筑垃圾对环境的影响及其对通航等的影响;③施工质量控制难易程度,即施工过程中的各道工序质量能达到规定的难易程度;④维护施工难易程度,即护岸进行维护时的复杂程度,如是否需造围堰,是否需大面积拆除翻修或只是小范围的修补等。

f. 管理指标群。河道生态系统的恢复与完善是动态的,受自然条件与人类活动的影响,需要长期有效的管理措施维持河岸带生态的健康发展。管理指标体系包括:①管理组织,要求做到组织健全、制度完善;②管理措施,在河道管理中做到堤防安全巡查、植被护理、严禁河坡(河堤)取土与违章搭建、控制污染物随意排放、禁止垃圾倾倒、定期河道清淤、沉水植物与浮叶植物的收获、挺水植物的按时收割等。

3 评价方法及模型

3.1 评价方法及模型选择

常用的综合评价方法存在对因子间的重要性程度上反映较差,灵敏度不高的问题。模糊综合评价方法主要提高了对指标的灵敏度,使评价结果更加客观、准确。在构建岸坡绿色生态治理的综合评价指标体系的基础上,可采用多层次模糊综合评价方法建立岸坡绿色生态治理项目层次模糊综合评价模型^[6],并采用层次分析法与德尔菲法相结合的方法,确定各级指标分布及权重^[7]。

3.2 评价步骤

应用多层次模糊综合评价方法进行绿色生态岸坡治理方案评价的基本步骤^[8-10]为:

a. 建立多层次模糊综合评价模型。

b. 采用层次分析法确定各指标的权重。先建立递阶层次结构,将评价指标层次化,再构造两两比较判断矩阵,对同一层次指标进行两两比较,然后计算各指标的相对权重,进行归一化处理并通过一致性检验后,即可得各级评价指标的权重 A 。

c. 进行单因素模糊评价。从一个指标出发进行评判,确定被评价的项目或方案对评价集各元素的隶属程度。对于定性分析指标,采用模糊统计方法或逐级估量法确定其对评价集的隶属关系。模糊统计是请参与评价的各位专家(假设 f 个专家),按划定的5个评价等级(很好、较好、一般、较差、很差),给各评价指标确定等级。对于可量化的指标,根据其具体性质确定指标的模糊分布函数,再根据实际指标值,对应指标隶属关系图,即可得出相应的

隶属度,由此得出各定量指标的单因素评价矩阵。

d. 进行多层次模糊综合评价。利用综合评价数学模型可求出各方案的评价值,选择其中评价值最大的方案即为最优方案。如果针对某一建设项目进行“有项目”与“无项目”的比较,那么,“有项目”方案的评价值有必须大于“无项目”方案的评价值,同时满足评价集合中的“较好”水平以上,否则,就应进一步分析有项目方案评价值偏低的原因,或者能否通过采取措施(修改项目方案,或采取政策倾斜等办法)使项目获得通过。

3.3 综合评价计算

以广西那吉库区航道生态护岸示范工程新建绿色生态岸坡为例,对其进行综合评价计算,以检验该评价方法的工程适用性。

a. 指标权重的确定。采用层次分析法与德尔菲法相结合的方法,确定各级指标分布及权重。评价体系各级指标见表1。

表1 岸坡绿色生态治理综合评价体系各级指标隶属度

目标层(A)	准则层(u _i)	指标层(u _{ij})	隶属度			
			差	一般	好	很好
岸坡稳定指标(u ₁)	岸坡工程稳定性(u ₁₁)	岸坡工程稳定性(u ₁₁)	0	0	0.1	0.9
		坡面侵蚀控制(u ₁₂)	0	0	0.2	0.8
生态型护岸指标(u ₂)	护岸材料生态性(u ₂₁)	护岸材料生态性(u ₂₁)	0	0.1	0.2	0.7
		护岸结构透水性(u ₂₂)	0	0.1	0.1	0.8
		沿岸流速多变性(u ₂₃)	0	0.2	0.3	0.5
		护岸结构亲水性(u ₂₄)	0	0.2	0.2	0.6
		方案经济合理性(u ₂₅)	0	0.3	0.3	0.4
生态航道建设综合评价	岸坡植被覆盖率(u ₃₁)	岸坡植被覆盖率(u ₃₁)	0	0.2	0.7	0.1
		植被空间配置合理性(u ₃₂)	0	0.3	0.5	0.2
		本土植被种植情况(u ₃₃)	0	0.1	0.6	0.3
		植被养护难易程度(u ₃₄)	0	0.3	0.4	0.3
景观水质指标(u ₄)	景观美观性(u ₄₁)	景观美观性(u ₄₁)	0	0.3	0.5	0.2
		景观协调性(u ₄₂)	0	0.2	0.2	0.6
		航道水质等级(u ₄₃)	0	0.2	0.1	0.7
生态施工指标(u ₅)	施工速度(u ₅₁)	施工速度(u ₅₁)	0	0.2	0.5	0.3
		施工对环境的影响(u ₅₂)	0	0.3	0.5	0.2
		施工质量控制难易程度(u ₅₃)	0	0.2	0.6	0.2
		维护施工难易程度(u ₅₄)	0	0.2	0.5	0.3
管理指标(u ₆)	管理组织(u ₆₁)	管理组织(u ₆₁)	0	0.1	0.2	0.7
		管理措施(u ₆₂)	0	0.1	0.1	0.8

u_i 对 U 的权重为: $A = [0.4152 \quad 0.2451 \quad 0.1797 \quad 0.0901 \quad 0.0449 \quad 0.0250]$

u_{ij} 对 u_i 的权重分别为:

$$A_1 = [0.8333 \quad 0.1667]$$

$$A_2 = [0.2756 \quad 0.4010 \quad 0.0426 \quad 0.0904 \quad 0.1904]$$

$$A_3 = [0.5401 \quad 0.2746 \quad 0.1381 \quad 0.0472]$$

$$A_4 = [0.5559 \quad 0.3537 \quad 0.0904]$$

$$A_5 = [0.1461 \quad 0.0850 \quad 0.4440 \quad 0.3249]$$

$$A_6 = [0.2500 \quad 0.7500]$$

b. 建立模糊评价矩阵。采用德尔菲法统计出 u_j 层上的每个指标对评语集 V 上每个等级的隶属度,见表1。根据统计结果给出隶属度,对绿色生态岸坡治理项目进行多层次模糊综合评价。

根据各级指标隶属度,得出模糊评价矩阵 R :

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.1 & 0.9 \\ 0 & 0 & 0.2 & 0.8 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.2 & 0.7 \\ 0 & 0.1 & 0.1 & 0.8 \\ 0 & 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 0 & 0.2 & 0.2 & 0.6 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.7 & 0.1 \\ 0 & 0.3 & 0.5 & 0.2 \\ 0 & 0.1 & 0.6 & 0.3 \\ 0 & 0.3 & 0.4 & 0.3 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0.3 & 0.5 & 0.2 \\ 0 & 0.2 & 0.2 & 0.6 \\ 0 & 0.2 & 0.1 & 0.7 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0.5 & 0.3 \\ 0 & 0.3 & 0.5 & 0.2 \\ 0 & 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0 & 0.2 & 0.5 & 0.3 \end{bmatrix}$$

$$R_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.2 & 0.7 \\ 0 & 0.1 & 0.1 & 0.8 \end{bmatrix}$$

准则层评价结果计算如下:

$$B_1 = A_1 R_1 = [0 \quad 0 \quad 0.1167 \quad 0.8833]$$

$$B_2 = A_2 R_2 = [0 \quad 0.1514 \quad 0.1832 \quad 0.6654]$$

$$B_3 = A_3 R_3 = [0 \quad 0.2184 \quad 0.6171 \quad 0.1645]$$

$$B_4 = A_4 R_4 = [0 \quad 0.2556 \quad 0.3577 \quad 0.3867]$$

$$B_5 = A_5 R_5 = [0 \quad 0.2085 \quad 0.5444 \quad 0.2471]$$

$$B_6 = A_6 R_6 = [0 \quad 0.1000 \quad 0.1250 \quad 0.7750]$$

目标层综合评价结果计算如下:

$$B = AB = A[B_1 \quad B_2 \quad B_3 \quad B_4 \quad B_5 \quad B_6]^T = [0 \quad 0.1112 \quad 0.2640 \quad 0.6247]$$

将目标层评价结果进一步量化,设 $V = [差, 一般, 好, 很好]$ 中4个等级量化值分别为 $v_1 = 40, v_2 = 60, v_3 = 80, v_4 = 100$, 可得评价结果为 $BV^T = \sum_{i=1}^4 b_i v_i = 90.30$ 分。

4 结语

a. 依据岸坡绿色生态治理的科学内涵与特征,确定了评价指标体系构建的原则及步骤,以及评价指标体系的构成,为绿色生态岸坡治理方案的评价确定了可行的指标和理论,便于指导生态护岸的规范化建设。

(下转第152页)

现状评价[J]. 南水北调与水利科技,2015(4):639-642.

[5] 杨丰顺,徐成剑. 水生态文明城市评价体系研究:以咸宁市为例[J]. 安徽农业科学,2014(34):12270-12273.

[6] 黄显峰,贾永乐,方国华. 基于投影寻踪法的城市水生态文明评价[J]. 水资源保护,2015,32(6):117-122.

[7] 宋梦林,左其亭,赵钟楠,等. 河南省水生态文明建设试点城市生态系统健康评价[J]. 南水北调与水利科技,

2015,13(6):1185-1190.

[8] 季同德,刘俊,徐慧. 江苏地区水生态文明城市建设研究[J]. 中国农村水利水电,2014(10):5-7.

[9] 高华,曹先玉,蔡保国. 山东省水生态文明城市评价体系研究[J]. 中国水利,2013(10):8-10.

(收稿日期:2017-12-10 编辑:徐娟)

(上接第127页)

b. 建立了绿色生态岸坡治理方案的多层次模糊综合评价模型,并采用层次分析法与德尔菲法相结合的方法,确定各级指标分布及权重。应用该模型对广西那吉库区航道护岸示范工程新建绿色生态岸坡进行综合计算,说明该评价方法具有较好的可操作性和工程适用性。

受自然和人类活动双重作用影响,治理措施应随岸坡状态演变不断发展改进,今后还需要依据各种动态变化对评价理论进行不断地修正和完善,提高评价理论的实用性和有效性。

参考文献:

[1] 钟春欣,张玮. 传统型护岸与生态型护岸[C]//2004年全国博士学术论坛论文集. 南京:河海大学出版社,2004.

[2] 董哲仁. 水利工程对生态系统的胁迫[J]. 水利水电技术,2003(7):1-5.

[3] 钟春欣,张玮. 基于河道治理的河流生态修复[J]. 水利水电科技进展,2004,24(3):12-14.

[4] MORGAN R R C, RICKSON R J. Slope stabilization and erosion control: A bioengineering approach[M]. London: E&FN Sponl, 1995.

[5] 朱建军. 层次分析法的若干问题研究及应用[D]. 沈阳:东北大学,2005.

[6] 骆正清,杨善林. 层次分析法中几种标度的比较[J]. 系统工程理论与实践,2004(9):51-60.

[7] SUGENO M. Theory of fuzzy integrals and its applications [D]. Tokyo:Tokyo Institute of Technology,1974.

[8] 江高. 模糊层次综合评价法及其应用[D]. 天津:天津大学,2005.

[9] ZHANG Ning, ZHANG Zhigang. Application of AHP-Fuzzy comprehensive evaluation method in students assessment[J]. Advanced Materials Research, 2014, 10: 3010-3015.

[10] MENG Lihong, CHEN Yaning. Fuzzy comprehensive evaluation model for water resources carrying capacity in Tarim River Basin, Xinjiang, China [J]. Chinese Geographical Science,2009(19):89-95.

(收稿日期:2017-11-22 编辑:彭桃英)

(上接第148页)

3 结论

a. 实施生态补水后,向海湿地生态功能得到有效恢复,湿地价值明显提高,湿地补水生态效益显著。

b. 向海湿地湿地补水新增的生态效益价值为 3.29×10^{10} 元,其中间接使用价值分别为 3.26×10^{10} 元,占新增总价值的比例分别为 99.40%,表明湿地补水的主要作用是增强湿地自然生态服务功能。

参考文献:

[1] 崔丽娟. 扎龙湿地价值货币化评价[J]. 自然资源学报,2002,17(4):451-456.

[2] 张树军,赵峰,罗陶露,等. 生态补水综合效益评价指标

体系建立[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2008,38(5):813-818.

[3] 陈友媛,崔香,杨世迎,等. 东昌湖流域生态补水管理模式探讨[J]. 中国工程科学,2010,12(6):65-70.

[4] 郝运,赵妍,刘颖,等. 向海湿地自然保护区生态系统服务效益价值估算[J]. 吉林农业科技,2004,33(4):25-26.

[5] 陈仲新,张新时. 中国生态系统效益的价值[J]. 科学通报,2000,45(1):17-22.

[6] COSTANZA R, D'ARGE R. The value of the world's ecosystems services and natural capital 1. Nature, 1997, 25(1):3-15.

[7] 孟宪民,崔保山,邓伟. 松嫩流域特大洪灾的警示:湿地功能的再认识[J]. 自然资源学报,1999,14(1):14-21.

(收稿日期:2017-09-15 编辑:王芳)