

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2017.03.016

杭州城市河道综合治理工程 生态环境效应评估指标体系

余海霞¹, 来 勇¹, 李晓龙², 胡 斐², 曹飞凤³

(1. 杭州市环境监测中心站, 浙江 杭州 310007; 2. 杭州永济水利科技有限公司, 浙江 杭州 310014;
3. 浙江工业大学建筑工程学院, 浙江 杭州 310000)

摘要:以杭州市“五水共治”打造的生态示范河道为研究对象,围绕城市河道治理内容及河道特点,遵循综合性、针对性、代表性、完备性、数据可达性等原则,构建了生态环境效应评估指标体系;利用模糊聚类循环迭代法科学确定指标权重,并构建河道综合治理工程生态环境效应评估模型;对杭州市 5 条生态示范河道综合治理工程的生态环境效应水平进行评估,并针对评估中暴露的薄弱环节提出建议。

关键词:城市河道综合治理;五水共治;生态环境效应;指标构建;效应评估;杭州市

中图分类号:X171.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2017)03-0090-05

Evaluation index system of ecological environmental effect of urban river comprehensive treatment projects in Hangzhou City

YU Haixia¹, LAI Yong¹, LI Xiaolong², HU Fei², CAO Feifeng³

(1. Hangzhou Environmental Monitoring Center, Hangzhou 310007, China;
2. Hangzhou Yongji Water Science and Technology Co., Ltd., Hangzhou 310014, China;
3. College of Architectural Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310000, China)

Abstract: This study focused on the ecological demonstration rivers constructed with the guidance of the “five water treatment” in Hangzhou City. Based on the characteristics of urban rivers, an evaluation index system of ecological environmental effect was established according to the principles of comprehensive, targeted, and complete treatment, as well as data accessibility. The fuzzy cluster cyclic iteration method was used to determine the weight of each index and establish the evaluation model of ecological environmental effect of urban river comprehensive treatment projects. The ecological environmental effects of the comprehensive treatment projects for five ecological demonstration rivers in Hangzhou City were evaluated.

Key words: urban river comprehensive treatment; five water treatment; ecological environmental effect; index system establishment; evaluation of effect; Hangzhou City

杭州是因水而闻名的国际旅游城市,具有江、河、湖、溪、海“五水共导”的独占性优势,市内河道纵横,水系丰富。好山好水,是杭州最显著的标志、最闪亮的名片和最宝贵的资源。河道整治始终伴随着杭州这座城市的发展,2013 年市委市政府先后制定并出台了《杭州市城市河道清洁水体五年行动方案》和《杭州市城市河道消除黑臭状况判断及验收要求(试行)》,通过截污纳管、清淤疏浚、生态治理、引水配水、长效管养等措施,消除了多条黑臭河道,打造了 5 条“生态示范河道”。围绕“五水共治”方针,杭州又出台了一系列的 3 年行动计划,从 2014 年到 2016 年,全方位破解制约城市发展的水问题。

基金项目:杭州市科技局计划(20140533B08)
作者简介:余海霞(1977—),女,高级工程师,主要从事环境监测及相关工作。E-mail:yuhx46@126.com

经过上述一系列举措,杭州消除了大部分的黑臭河道,打造了数条“生态示范河道”。

目前国内外水利方面生态环境效应评估多集中在大中型流域及主要江河,鲜有以小流域或小型河道为对象的研究。本文以杭州市内综合治理河道为研究对象,构建河道综合治理工程生态环境效应指标体系,并利用模糊聚类迭代法和专家咨询方法对指标权重进行了赋值,最后对整治效果进行综合评估,科学评价城市河道治理前后水环境、生态环境的变化状况,研究成果有助于进一步发现工程实施过程中存在的问题,为后期河道综合治理工作的开展提供决策支持和经验借鉴。

1 生态环境效应评估指标体系构建

1.1 研究对象

选取 2014 年杭州市创建的 5 条生态示范河道作为研究对象,分别是西环河(西湖区)、康桥新开河(拱墅区)、中河南段(上城区)、北大河(下城区)和东风港(江干区)。据杭州市城管委市区河道监管中心资料显示,通过截污纳管、清淤疏浚、生态治理、引水配水和日常管养等多项治理措施,5 条生态示范河道的治理(建设)已全部完工并通过创建验收。

1.2 研究内容

1.2.1 指标体系构建原则

河道综合治理工程生态环境效应内涵丰富,影响因素较多,涉及工程、生态、社会、经济、资源等诸多方面,因此反映河道综合治理工程生态环境效应的指标比较多。为了客观、准确且较为全面地反映生态环境效应水平,在确定指标体系时,应遵循以下原则:

- a. 综合性与针对性。明确不同的工程治理手段,比如清淤疏浚、生态治理、截污纳管、引水配水等,然后在此基础上有针对性地确定评价指标。选择的指标应该有明确的定义及一定的科学内涵,让指标体系的客观性有一定程度的反映,尽量量化,在综合性原则的基础上让不同工程的影响有相应的量化标准。
- b. 代表性与完备性。对于城市河道综合治理工程来说,水文水动力、水环境质量、水生生物、景观及河岸带这几个因素治理前后影响较明显,因此在充分考虑所有因素时,应着重对上述几个因素进行分析量化。
- c. 数据可达性。在充分分析已收集到的规划、方案、竣工资料及相关数据的基础上,对评价指标数据的可达性进行评价,确保数据的可达性。有些指

标数据获取存在一定困难,或获取所需成本过高以至于无法接受,或者根本无法获取,这类指标予以剔除,尽量选择可获取、成本较低且来源可靠的数据进行指标评价。

1.2.2 评估指标的选择

根据城市河道综合治理内容,结合城市河道特点,通过查阅文献[3-5],遵循指标构建原则,经专家咨询及有关政府部门商议,确定城市河道综合整治生态环境效应评估指标体系中的一级指标为水文水动力、河岸带状况、水环境质量、水生生物、景观适宜性及公众满意度(表 1)。

1.2.3 基于模糊聚类迭代法的指标权重确定

通过查阅相关文献[1,6]并咨询专家,列举可供本研究参考的权重分配方法有:统计平均法、变异系数法、客观赋权法、主成分分析法、层次分析法、模糊聚类迭代法。

与现有其他可选方法比较,模糊聚类迭代法能够较好的消除或减少一般主、客观赋权法的片面性对决策结果产生的影响^[2,7-8],本研究采用模糊聚类迭代法计算指标权重。

以指标中的一级指标层为例,指标权重求解步骤如下:

将杭州市 5 条生态示范河道作为样本,每个样本有 6 个指标特征值(即标准化处理过的正、负向指标值),构成了样本集的指标特征值矩阵。

$$X = (x_{ij}) \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为样本 j 、指标 i 的特征值, $i=1,2,\dots,6,j=1,2,\dots,5$ 。

对样本集进行相对隶属度的计算,正向指标、负向指标特征值相对隶属度公式分别为

$$\text{正向指标: } r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (2)$$

$$\text{负向指标: } r_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (3)$$

计算得到指标特征值相对隶属度矩阵:

$$R = (r_{ij}) \quad (4)$$

设样本集依据 6 个指标按 c 个类别进行分类,则其各类对模糊子集的相对隶属度为

$$S = (s_{ih}) \quad (5)$$

式中: s_{ih} 为类别 h 对应指标 i 的相对隶属度, $h=1,2,\dots,c,i=1,2,\dots,6$ 。

设 5 个样本依据 6 个指标特征值按 c 个类别加以划分,则 5 个样本对各个类别的相对隶属度组成的模糊划分矩阵为

$$U = (u_{hj}) \quad (6)$$

式中: u_{hj} 为样本从属于类别 h 的相对隶属度。

设任一样本的指标权向量为 $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \cdots, w_6)$, 初始权重值任意选定, 一般取等权重, 即初始权向量 $\mathbf{w}_0 = (0.16, 0.16, 0.17, 0.17, 0.17, 0.17)$, 将 $\mathbf{w}_0$ 代入式(7), 得到相关初始矩阵, 再将此矩阵代入式(8)。

$$w_i = \left\{ \sum_{k=1}^4 \frac{\sum_{j=1}^5 \sum_{h=1}^c [u_{hj}(r_{ij} - s_{ih})]^2}{\sum_{j=1}^5 \sum_{h=1}^c [u_{hj}(r_{kj} - s_{kh})]^2} \right\}^{-1} \tag{7}$$

$$u_{hj} = \left\{ \sum_{k=1}^c \left[\frac{\sum_{i=1}^4 [w_i(r_{ij} - s_{ih})]^2}{\sum_{i=1}^4 [w_i(r_{ij} - s_{ik})]^2} \right] \right\}^{-1} \tag{8}$$

其中
$$s_{ih} = \frac{\sum_{i=1}^n u_{hj}^2 r_{ij}}{\sum_{j=1}^n u_{hj}^2} \tag{9}$$

如此循环迭代, 当所有指标的权向量与前一次获得的相应权向量之差小于等于迭代精度 0.000 1, 则停止迭代, 得到客观最优权向量 $\mathbf{w}_0 = (0.25, 0.15, 0.3, 0.1, 0.1, 0.1)$ 。

按照同样的原理方法, 可以得到城市河道综合治理工程生态环境效应评估体系全部指标的权重(表 1)。

表 1 城市河道综合治理工程生态环境效应
评估指标体系及权重分配

一级指标	一级指标 权重分配	二级指标	二级指标 权重分配
水文水动力	0.25	水流动性保障度	0.3
		水体补给及引水能力	0.25
		流量保障度	0.2
		防洪能力	0.25
河岸带状况	0.15	河道绿化	0.3
		河岸稳定性	0.25
		河岸带保护	0.25
		水陆融合度	0.2
水环境质量	0.3	河流水质	0.4
		河流底泥	0.3
		水体自净能力	0.3
水生生物	0.1	底栖动物	1
景观适宜性	0.1	周边景观融合度	1
公众满意度	0.1	公众满意指标	1

1.2.4 评价标准的确定

不同的河流其类型、自然地理条件、所处的社会经济发展水平均不同, 所面对的不同人群的社会期望也不同, 因此生态环境效应评估尚无明确的、统一的评价标准。为科学合理地确定评价标准、对城市河道综合治理工程生态环境效应做出准确的评价, 本文主要从以下几个方面选择评价标准: ①参考国内外相关领域的研究成果及惯用标准; ②参考国家

和地方现行的行业标准及规范; ③参考国家和地方相关的规划报告和文件; ④借鉴已发表的学术论文和期刊文献; ⑤咨询相关领域的权威专家。

通过对以上各种标准、文献、规划、文件等资料中的有关评价标准的综合分析, 结合征询专家意见结果, 对单项评价指标的评价标准分析如表 2 所示。

表 2 城市河道综合治理工程生态环境效应
评估指标评价标准

序号	二级指标	质量离散值/评价等级				
		好	较好	中等	较差	差
1	冲淤平衡分析	流动性好	流动性较好	流动性一般	流动性较差	不流动
	水流动性保障度	100	80	50	30	5
2	生态需水保证率/%	100	80	50	30	5
	水体补给及引水能力	100	80	50	30	5
3	径流系数变化率/%	0	10	20	30	>40
	流量保障度	100	80	50	30	5
4	防洪排涝工程达标率/%	100	90	85	80	<70
	防洪能力	100	80	50	30	5
5	植被覆盖率/%	60	55	50	40	<30
	河道绿化	100	80	50	30	5
6	护岸结构形式稳定度	很稳定	稳定	较稳定	不太稳定	不稳定
	河岸稳定性	100	80	50	30	5
7	水土流失治理率/%	100	90	85	80	<75
	河岸带保护	100	80	50	30	5
8	河岸线形态评估	美观	较美观	一般	不太美观	不美观
	水陆融合度	100	80	50	30	5
9	DO、COD、重金属等水质污染赋分	100	80	50	30	5
	河流水质	100	80	50	30	5
10	底泥污染指数赋分	100	80	50	30	5
	河流底泥	100	80	50	30	5
11	水环境纳污能力赋分	100	80	50	30	5
	水体自净能力	100	80	50	30	5
12	个体数量、丰富度、耐污程度、多样性等赋分	100	80	50	30	5
	底栖动物	100	80	50	30	5
13	滨水景观融合度	很好	较好	一般	较差	差
	周边景观融合度	100	80	50	30	5
14	公众满意度指数	100	80	50	30	5
	公众满意指标	100	80	50	30	5

注: 第一序号中上一行为二级指标对应的调查、监测指标及评估标准; 下一行为二级指标及赋分分值。

1.2.5 综合评价模型构建

遵循评价指标体系构建的原则, 按照评价指标体系构建的步骤, 初步拟定了城市河道综合治理工程生态环境效应评估指标体系, 通过对初拟指标体系的调整, 最终构建了由 6 个一级指标 14 个二级指标构成的指标体系, 根据模糊聚类迭代法计算得到各指标权重。

选取综合评价方法来评价河道治理工程生态环境效应水平, 将评价对象的现状指标与目标值进行

对比,计算各个指标的评价结果。计算公式如下:

$$N_k = \sum_{i=1}^{m_k} b_{ki} Z_{ki} \tag{10}$$

$$N = \sum_{k=1}^n a_k N_k \tag{11}$$

将式(10)代入式(11)得到河道治理工程生态环境效应评估模型

$$N = \sum_{i=1}^n a_k N_k = \sum_{i=1}^n a_k \sum_{i=1}^{m_k} b_{ki} Z_{ki} \tag{12}$$

式中: N 为河道治理工程生态环境效应的综合评价价值; N_k 为第 k 个准则层评价指标数值; N 为准则层指标总数量; a_k 为第 k 个准则层评价指标权重; b_{ki} 为第 k 个准则层评价指标中第 i 个评价指标权重; Z_{ki} 为第 k 个准则层评价指标中第 i 个评价指标数值; m_k 为第 k 个准则层评价指标中指标的数量。

同时,借鉴相关研究成果,结合杭州市河道综合治理工程现状,确定了单项评价指标的评价标准及生态环境效应的整体评价标准,将城市河道综合治理工程的生态环境效应划分为“好、较好、中等、较差、差”5个级别。各级别综合评价具体价值要求如下:好: $N \geq 90$;较好: $80 \leq N < 90$;中等: $70 \leq N < 80$;较差: $60 \leq N < 70$;差: $N < 60$ 。

1.2.6 评估结果

基于构建的河道综合治理工程生态环境效应评估模型,以5条生态示范河道作为研究对象,取2015年为基准年,将有关数据带入模型计算得到各河道综合治理工程生态环境效应评价结果(表3)。

表3 河道综合治理工程生态环境效应评价结果

河道名称	一级指标得分						评价结果	评价等级
	水文水动力	河岸带状况	水环境水质	水生生物	景观适宜性	公众满意度		
西环河	22	14	25	8	10	9	88	较好
康桥新开河	20	13	26	8	8	9	84	较好
中河南段	24	14	26	9	7	9	89	较好
北大河	23	13	25	8	8	8	85	较好
东风港	22	14	21	8	9	7	81	较好

从整体评价结果来看,5条河道评价等级均为较好,经咨询有关部门专家,基本认可这一评价结果。杭州城市河道综合治理工程有助于改善杭州市的水环境和水生态问题,但也存在一些不足:①西环河绿化景观较好,但水体流动性不足,且绿道路面设置过低,常年淹水;②康桥新开河下游蒋家浜处由于施工存在堵塞现象,水体流动性差;③中河南段水体流动性较好,下游凤山公园处观赏性佳,但上游出白塔公园后两岸植被凌乱,景观适宜性较差;④北大河治理效果整体较好,但据周边居民反映,仍存在非法电鱼、排污等行为的发生;⑤东风港水质较差,浮岛

生长状况较差,群众满意度不高。

纵向对比5条河道综合评价成果,东风港得分较低,水环境质量及公众满意度得分均为5条河道中垫底水平,分析其原因:东风港整治前水环境本底较其余4条河道差,实施一系列综合治理措施后,水质有所改善,但鉴于环境生态修复是一个漫长的过程,一般需较长时间才能达到预期目标,东风港现状水质虽有所改善,但相对其余河道较差,水环境质量得分较低,且物理指标和感官性状水平较低,影响周边居民的满意度得分。综上,东风港得分较低,有一定客观因素存在,若为生态修复预留一定时间,能在一定程度上削弱此影响。

2 结论及建议

2.1 结论

a. 以杭州市“五水共治”打造的生态示范河道为研究对象,围绕城市河道治理内容及河道特点,遵循综合性、针对性、代表性、完备性、数据可达性等原则,构建了生态环境效应评估指标体系,包括水文水动力、河岸带状况、水环境质量、水生生物、景观适宜性、公众满意度6个一级指标,水流动性保障度、水体补给及引水能力、流量保障度、防洪能力等14个二级指标。

b. 通过比选可供选择的权重确定方法,优选模糊聚类迭代法计算整体权重。结果显示,一级指标的权重排序是:水环境质量>水文水动力>河岸带状况>水生生物=景观适宜性=公众满意度。

c. 结合各级评价指标的评价值,计算得到5条河道的综合治理工程生态环境效应评估得分为:西环河88分、康桥新开河84分、中河南段89分、北大河85分、东风港81分,将评估得分与生态环境效应评估指标评价标准比照,得出5条河道综合治理工程生态环境效应水平均为较好。

2.2 建议

2.2.1 指标体系的有关建议

a. 河道综合治理生态环境效应评价对于资料的要求较高,资料要齐全、准确,否则将影响评价的结果。本研究缺少河道治理前的相关数据,只能对治理后的有关数据进行分析,缺少治理前后效果的对比,对评价成果有一定影响。今后应加强河道的基础数据(尤其是生态环境方面)的积累。

b. 河道综合治理生态环境效应评价指标体系的构建及其权重的确定受主观因素的影响较大,今后的研究宜加强评价方法、指标构建及其标准确定等方面的工作。

2.2.2 后期河道治理工作的相关建议

- a. 单个河道的生态环境易受到周边水系的影响,建议河道治理部门下一步以片区或水系为单位,开展河道综合整治工作。
- b. 加快引调水工程建设,增强水体流动性,改善水质,提升水体自净能力,进一步发挥河道蓄水、排水、行洪功能。
- c. 鉴于走访中发现仍有城区河道非法电鱼、洗车、排污等行为的发生,建议有关部门加大巡查执法力度,维护河道安全稳定。
- d. 部分河道旁绿道路面高度设置过低,汛期极易淹水,影响周边居民及行人安全,建议有关部门进行相应处理,或树立警示标志。
- e. 调查中发现部分浮岛有病死现象,部分河岸带植物生长凌乱,建议加强有关治理措施的后续养护工作。

参考文献:

[1] 龚承柱,李兰兰,卫振锋,等. 基于前景理论和隶属度的混合型多属性决策方法[J]. 中国管理科学, 2014, 22(10): 122-128. (GONG Chengzhu, LI Lanlan, WEI Zhenfeng, et al. Hybrid multiple attribute decision making method based on prospect theory and membership degree [J]. Chinese Journal of Management Science, 2014, 22(10): 122-128. (in Chinese))

[2] 尹祖宏,楼章华,曹飞凤,等. 浙江省防洪减灾能力现代化水平评价研究[J]. 科技通报, 2016, 32(2): 202-208. (YIN Zuhong, LOU Zhonghua, CAO Feifeng, et al. Study on the evaluation of modernization level of flood control and disaster mitigation in Zhejiang Province [J]. Bulletin of Science and Technology, 2016, 32(2): 202-208. (in Chinese))

[3] 杨冬冬,刘海龙. 福州城市防洪体系空间规划对策研究[J]. 城市规划, 2014, 38(8): 85-90. (YANG Dongdong, LIU Hailong. Rerseach on spatial planning of urban flood control system in Fuzhou [J]. Urban Planning, 2014, 38(2): 85-90. (in Chinese))

[4] 杨爱民,张璐,甘泓,等. 南水北调东线一期工程受水区生态环境效益评估[J]. 水利学报, 2011, 42(5): 563-571. (YANG Aimin, ZHANG Lu, GAN Hong, et al. Ecological and environmental benefit evaluation of water-receiving area in the first stage of South-to-North Water Diversion Project [J]. Journal of Water Resources, 2011, 42(5): 563-571. (in Chinese))

[5] 陈兴茹. 河流生态修复后评估研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2013, 33(5): 89-95. (CHEN Xingru. Advances in post evaluation of river ecological restorations [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2013, 33(5): 89-95. (in Chinese))

[6] 张明媛,王妍,袁永博. 基于可变模糊聚类模型的生命线网络节点重要性评价[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(6):

19-25. (ZHANG Mingyuan, WANG Yan, YUAN Yongbo. Evaluation of node importance of lifeline network based on variable fuzzy clustering model [J]. Journal of Natural Disaster, 2013, 22(6): 19-25. (in Chinese))

[7] 张海涛,谢新民,钟玉秀,等. 基于模糊聚类循环迭代模型的地方水利发展现状评价[J]. 水电能源科学, 2013(8): 135-139. (ZHANG Haitao, XIE Xinmin, ZHONG Yuxiu, et al. Evaluation of local water development status based on fuzzy clustering iterative model [J]. Hydropower Engineering, 2013(8): 135-139. (in Chinese))

[8] 王新智,张虎子,贾振,等. 基于单项指数法和模糊综合评价法对松花江吉林市段水质的评价[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(9): 184-187. (WANG Xinzhi, ZHANG Huzi, JIA Zhen, et al. Application of single index method and fuzzy comprehensive method in water quality evaluation of Jilin City section of Songhua River [J]. Enviromental Science and Management, 2012, 37(9): 184-187. (in Chinese))

(收稿日期:2016-09-01 编辑:徐 娟)

· 信息播报 ·

第五届中国水利信息化技术论坛在
河海大学成功举办

2017年3月30-31日,由河海大学与中国水利学会联合主办的“第五届中国水利信息化技术论坛”在河海大学召开。中国水利水电科学研究院水资源所名誉所长王浩院士,南京水利科学研究院院长张建云院士,水利部水文局蔡阳书记,河海大学徐辉校长、朱跃龙副校长,中国水利学会吴伯健副秘书长,水利部南京水利水文自动化研究所蒋兆宏所长等出席开幕式。论坛开幕式由水文水资源与水利工程科学国家重点实验室主任余钟波教授主持。

会上,徐辉校长致辞,王浩院士、张建云院士、蔡阳书记和朱跃龙副校长分别作了主旨发言。林炳章教授、王忠静教授、陈建生教授、黄国如教授等10余名知名学者做大会学术报告。本次论坛旨在推进水利信息化的建设并以水利信息化推动水利学科建设,全力打造集权威政策发布、行业信息交流、企业商务合作为一体的互动平台,以促进产学研等横向各领域、上下游纵向全产业链的交流合作,凝聚共识,成果共享,促进水利信息化建设事业更好、更快、更协调发展。

河海大学水文水资源学院、河海大学计算机与信息学院、水文水资源与水利工程科学国家重点实验室、水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心、河海大学水安全与水科学协同创新中心、中国水力发电工程学会江苏省理事会、《水资源保护》编委会以及北京沃特咨询有限公司共同承办本次论坛。

(本刊编辑部 供稿)