

基于全过程治水理念的城市水环境系统综合整治效果评价

于慧卿^{1,2}, 史贵君^{1,2}, 尹静^{1,2}, 单永体^{1,2}

(1. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710075;

2. 西安中交环境工程有限公司, 陕西 西安 710065)

摘要:采用压力-状态-响应(PSR)和层次分析法(AHP)构建基于全过程治水理念的城市水环境系统综合整治效果评价体系,并对深圳前海铁石片区水环境综合整治项目进行评价。结果表明,关注河道本身的安全、环境、生态等指标,且考虑污水产生后源头削减、收集、集中处理、输送的全过程,可有效评估城市水环境综合整治效果,项目评价结果为良好。

关键词:压力-状态-响应模型;层次分析法;水环境质量;整治效果评价

中图分类号:X52 文献标志码:B 文章编号:1006-2009(2021)06-0064-04

Evaluation on Comprehensive Improvement Effect of Urban Water Environment System Based on Whole Process Water Management Concept

YU Hui-qing^{1,2}, SHI Gui-jun^{1,2}, YIN Jing^{1,2}, SHAN Yong-ti^{1,2}

(1. CCCC First Highway Consultants Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710075, China;

2. Xi'an Zhongjiao Environmental Engineering Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710065, China)

Abstract: Using pressure state response(PSR) and analytic hierarchy process(AHP), the evaluation system of comprehensive improvement effect of urban water environment system was established based on the whole process of water management concept, and was applied in a water environment comprehensive improvement project in Qianhai Tieshi District, Shenzhen. The results indicated that paying attention to the safety, environment, ecology and other indicators of the river itself, considering the whole process of source reduction, collection, centralized treatment and transportation after sewage generation, could effectively evaluate the comprehensive improvement effect of urban water environment. The evaluation result of the project was good.

Key words: Pressure-state-response model; Analytic hierarchy process; Water environment quality; Evaluation of remediation effect

随着城市的发展和社会的进步,人类活动产生的生产废水和生活污水直接或处理后排入水体,对水环境造成不同程度的污染,影响了城市风貌与人群健康,主要表现为水体环境恶化、河道脏乱、垃圾漂浮等。自2015年4月《水污染防治行动计划》发布以来,各地纷纷出台相关政策,大力开展水环境综合整治工作,污染严重水体大幅度减少,水环境质量阶段性改善,可一段时间后水污染反复现象时有发生。为指导城市水环境综合整治工作,系统评估城市水环境综合整治效果,已有学者对河湖健康和生态河道等评价指标体系进行了一些研究^[1-9],可并无统一标准和方法。研究表明,工业

废水和生活污水的排放等都是引起水环境污染的因素^[10-11]。基于此,今从污水产生后源头削减、收集、集中处理、输送、排放、治理的全过程出发,构建城市水环境系统综合整治效果评价体系,逐步建立综合治水长效机制,提升城市水环境质量。

收稿日期:2020-10-29;修订日期:2021-09-13

基金项目:中交第一公路勘察设计研究院有限公司科技创新科研“城市高度建成区水环境综合整治关键技术”基金资助项目(KCJJ2018-10);中国交通建设股份有限公司科研“水环境生态修复关键技术研究及应用推广”基金资助项目(2019-ZJKJ-01)

作者简介:于慧卿(1981—),女,山东威海人,高级工程师,博士,主要从事水污染控制研究工作。

1 研究区概况

深圳市宝安区前海铁石片区位于深圳市西部, 总面积 175.4 km², 包含前海湾和铁石水源两个片区。片区共包含河道 30 条, 其中干流 11 条。深圳前海铁石片区水环境综合整治项目包括雨污分流管网建设、管网清淤维修、河道整治工程、河道黑臭水体治理、泵站工程及底泥处理厂。涉及评价的河流包括西乡河、咸水涌、铁岗排洪河, 经底泥厂建设、排水管网建设、污染源整治、河道整治等综合整治措施, 水质得到明显改善。

2 评价指标体系构建

2.1 评价指标体系构建方法

采用 PSR^[12-13] 框架模式构建评价指标体系, 其结构是: 人类活动对环境施以压力, 影响到环境的质量和自然资源的状态, 之后通过一系列意识和行为的变化对产生的状态做出响应。根据城市水环境系统综合整治的特点, 得出压力类指标、状态类指标和响应类指标。

2.2 指标权重的确定

权重确定方法采用 AHP^[14-15], 权重集 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ 确定过程如下:

(1) 德尔菲问卷调查。设计专家问卷, 在每一层次对该层指标进行比较, 构造判断矩阵。

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

在因素 a_1, a_2, \dots, a_n 中, 每次取两个因素 a_i, a_j, a_{ij} 表示 a_i 与 a_j 的重要程度之比, 由 Saaty 提出的 1~9 标度法确定: 标度 1、3、5、7、9 分别表示因素 i 与 j 同等重要、稍微重要、较强重要、强烈重要、绝

对重要; 2、4、6、8 表示两相邻判断的中间值; 倒数表示当比较因素 i 与 j 比较时得到的判断值为 a_{ij} , j 与 i 重要性之比为 $a_{ji} = 1/a_{ij}$ 。

(2) 检验每个矩阵的一致性。可采用 Matlab 软件中 $[V, D] = \text{eig}(A)$ 函数计算最大特征根 λ_{\max} , 并计算一致性指标 C. I. 和 C. R.。

$$C. I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$C. R. = \frac{C. I.}{R. I.} \quad (3)$$

式中: R. I. 为平均随机一致性指标。

(3) 解判断矩阵, 得到权重向量。

(4) 计算各元素的合成权重。计算合成权重要从最高层次到最低层次依次进行。

2.3 评价指标体系

根据上述分析, 按 AHP 确定各指标权重, 总分按 100 分计, 计算出各指标满分分值, 提出城市水环境系统综合整治效果评价指标体系, 见表 1。

2.4 评价标准

评价单元可分为河段评价、河道评价和区域评价。河段划分应考虑河道水文特征、河道形态、水生生物特征及流域经济发展特征, 区域划分一般以县(市、区)等行政区划边界为界。指标满分为 100 分, 根据各河段/河道评价分数, 按公式(4)和(5)分别计算河道和区域评价总分。

$$W_j = \sum_{i=1}^n \frac{M_i L_i}{L_j} \quad (4)$$

$$A = \sum_{j=1}^m \frac{W_j L_j}{L} \quad (5)$$

式中: W_j 为第 j 个河道评价分数; $j = 1, 2, \dots, m$; M_i 为第 i 个河段评价分数; $i = 1, 2, \dots, n$; n 为河段数

表 1 城市水环境综合整治效果评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of comprehensive improvement effect of urban water environment

指标类型	一级指标		二级指标		三级指标	
	指标	得分	指标	得分	指标	得分
压力层	污染源	15	点源污染	9	正本清源率	4
					工业用水重复利用率	2
			面源污染	6	工业废水处理率	3
					年径流总量控制率	4
状态层	河道	57	水资源	6	面源污染治理	2
					雨水资源利用率	2
					供水保证率	2
					水资源可持续承载力	2
					水质改善效果	8
			水环境	19		

续表

指标类型	一级指标		二级指标		三级指标	
	指标	得分	指标	得分	指标	得分
响应层	处理厂	14	水生态	12	水功能区水质达标率	3
					水环境容量	2
					养护管理	2
					公众满意度	4
					生态流量保障情况	2
					底泥层状态	2
					河流连通阻隔状况	2
					生物入侵情况	2
					水生动植物存活状况	2
					物种丰富度	2
					防洪排涝能力	2
					河岸稳定性	2
			水安全	4	空间开放性	2
					护岸形式	2
					植被状况	2
					景观多样性	2
					与周边景观融合程度	2
					宣传展示	2
			水景观	10	人水和谐状态	2
					公众认知度	2
					污水处理率	4
					水质综合达标率	4
					污水再生利用率	4
					底泥无害化处理率	1
			水文化	6	底泥资源化利用	1
					截污率	4
					合流制排水系统截流倍数	2
					雨污分流率	4
初期雨水污染控制	2					
管网清淤	2					
管网	14	建管纳污排水体制	4	管网清淤	2	
				管网清淤	2	
				底泥处理厂	2	
				底泥无害化处理率	1	
		管网清淤	2	底泥资源化利用	1	
				截污率	4	
				合流制排水系统截流倍数	2	
				雨污分流率	4	
				初期雨水污染控制	2	
				管网清淤	2	
				底泥无害化处理率	1	
				底泥资源化利用	1	

量; L_i 为第 i 个河段长度, $m; L_j$ 为第 j 个河道长度, $m; A$ 为区域评价分数; m 为河道数量; L 为河道总长度, m 。

根据城市水环境系统综合整治各指标达到的效果, 划分成 4 个评价等级: 评价结果低于 60 分, 水生态破坏后未恢复, 水环境自净能力较差, 为较差等级; 60 分 ~ 80 分, 黑臭水体总体得到消除, 水环境自净能力较好, 为一般等级; 81 分 ~ 90 分, 达到了水清、岸绿、景美的效果, 满足了公众对水环境的需求, 为良好等级; 91 分 ~ 100 分, 恢复了河流的自然属性, 实现了生态与发展双赢, 为优秀等级。

3 应用实例分析

根据构建的城市水环境综合整治效果评价指标体系, 对综合整治后的西乡河、咸水涌、铁岗排洪河 3 条河分别进行评价, 并对区域水环境进行综合

评价。基础数据来源于工程的设计资料、河道水质监测资料、网络资料收集与现场实地考察, 并邀请设计人员 3 人、施工人员 3 人、科研人员 4 人共 10 人组成评定小组, 对各指标进行评判, 每个指标评价等级的确定以多数人意见为准, 评价结果见表 2。

表 2 评价结果

Table 2 Evaluation results

评价对象	指标分值				评价分值	整治效果
	污染源	河道	处理厂	管网		
西乡河	11	45	14	12	82	良好
咸水涌	9	37	14	11	71	一般
铁岗排洪河	12	53	14	14	93	优秀
所在区域					82	良好

由表 2 可知, 所在区域总体水环境综合整治效果良好, 其中整治效果最好的是铁岗排洪河, 整治

效果一般的是咸水涌,具体原因分析如下:

(1)从污染源综合整治效果来看,点源污染治理非常彻底。面源污染方面,3条河根据现场条件不同程度地建设了透水铺装路面及绿化带等海绵设施。然而,西乡河与咸水涌年径流总量控制率偏低,径流污染比铁岗排洪河严重。咸水涌区域尚未进行面源污染治理,餐饮、汽修洗车、小吃店等面源废水直排入河,污染水环境。评价分值铁岗排洪河>西乡河>咸水涌。

(2)从河道综合整治效果来看,水资源与水安全指标达标。水环境方面,西乡河与咸水涌水环境容量小,自净能力不如铁岗排洪河,公众调查结果表明,周边居民对咸水涌河道水质、环境、景观等满意度不高。水生态方面,咸水涌底泥层为灰黑色,虽臭味不明显,但受降雨影响,累积于底泥中的各种有机和无机污染物会释放至上覆水体,造成二次污染。水景观方面,西乡河与咸水涌为硬质护岸,阻碍了坡面上下物质与能量的交换,阻断了陆生生态与水生生态的交流和联系,对河流生态系统造成一定程度的危害,景观多样性和与周边景观融合程度稍逊于铁岗排洪河,没有充分体现当地特色。水文化方面,咸水涌未进行水文化宣传展示,缺乏人气,公众认知度低;西乡河对水文化进行了有效地宣传和展示,河畔可见垂钓者与散步行人,可以满足人的亲水要求,公众认知度高;铁岗排洪河设有击水图等浮雕宣传,形成区域特色水文化,人水和谐,公众认知度极高。评价分值铁岗排洪河>西乡河>咸水涌。

(3)从处理厂综合整治效果来看,区域污水处理厂与底泥处理厂处理率、达标率高,并注重污水再生利用与底泥资源化利用,综合整治效果好。评价分值铁岗排洪河=西乡河=咸水涌。

(4)从管网综合整治效果来看,3条河都实施了建管纳污,截污率达90%以上。排水体制方面,西乡河与咸水涌未建设初期雨水弃流设施,存在初期雨水污染。管网清淤方面,咸水涌管网清淤率较低,存在市政管网堵塞及城市内涝的风险。评价分值铁岗排洪河>西乡河>咸水涌。

根据评价结果,西乡河及咸水涌应以河道综合整治为重点,深化底泥清淤,修复硬护岸,宣传展示水文化,兼顾污染源削减及污染物输送过程,加强海绵设施建设,整治面源污染,建设初期雨水弃流设施,进行管网清淤,科学指导污染河道整治。

4 结语

基于源头削减、收集、集中处理、输送、排放、治理全过程治水理念,从处理厂、管网、污染源、河道4个方面39个指标构建了城市水环境系统综合整治效果评价体系。结合AHP的权重确定方法,PSR可以成为城市水环境系统综合整治效果评价指标体系构建的有效方法,从本质上分析和评价水环境系统与人类活动的关系。利用构建的评价体系对深圳前海铁石片区水环境综合整治项目进行评价,结果为整治效果良好。建议加强水环境整治各方面的统筹与配合,持续改善水环境质量。

[参考文献]

- [1] 吴阿娜. 河流健康状况评价及其在河流管理中的应用[D]. 上海:华东师范大学,2005.
- [2] 崔海波. 流域水环境安全防控评价指标体系[D]. 济南:山东大学,2015.
- [3] 王琳. 城市河道综合整治项目的社会评价研究[J]. 技术经济,2010,29(1):52-56.
- [4] 黄广玲. 河道管理评价指标体系研究——以辽宁省海城河为例[J]. 黑龙江水利科技,2019,47(10):28-31,206.
- [5] 吴杰超. 杭州城市河道综合整治成效评价体系构建研究[D]. 杭州:浙江工业大学,2019.
- [6] 程军蕊,徐继荣,郑琦宏,等. 宁波市城区河道水环境综合整治效果评价方法及应用[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(6):1060-1066.
- [7] 张杰,苏航,盛楚涵,等. 浑太河流域生态系统完整性评价体系的构建[J]. 环境科学研究,2020,33(2):363-374.
- [8] 王军,黄真理,李海英,等. 基于大型无脊椎动物完整性的赤水河健康评价体系构建[J]. 中国环境监测,2018,34(6):62-72.
- [9] 陈歆,靳甜甜,苏辉东,等. 拉萨河流域健康评价指标体系构建及应用[J]. 生态学报,2019,39(3):799-809.
- [10] 赵宗权,焦树林,曹玉平,等. 快速城市化背景下的思雅河流域水环境分析[J]. 环境监测管理与技术,2020,32(2):22-26.
- [11] 史芳,包景岭,李燃. 基于STIRPAT模型的天津市水环境污染影响因素分析[J]. 环境监测管理与技术,2019,31(6):64-67.
- [12] 刘雅爱,葛京凤,梁彦庆,等. 基于PSR模型的张家口地区生态安全综合评价[J]. 水土保持通报,2013,33(3):270-274.
- [13] 张军以,苏维词,张凤太. 基于PSR模型的三峡库区生态经济区土地生态安全评价[J]. 中国环境科学,2011,31(6):1039-1044.
- [14] SAATY T L. The analytic hierarchy process[M]. New York: McGraw-Hill,1980.
- [15] JIANG X P,ZHENG B,WANG L Y. The coupled method Fuzzy-AHP applies to solve multi-criteria decision making problems[J]. WSEAS Transactions on Mathematics,2009,8(11):657-666.