

基于层次分析法的城市河流健康评价研究

张娟,郝达平,鞠伟

(江苏省水文水资源勘测局淮安分局,江苏 淮安 223005)

摘要:探讨城市河流健康内涵,利用层次分析法从河流自然状况、生态系统、社会服务功能3方面着手研究,建立由11类量化指标组成的评价体系及评价模型,对京杭大运河淮安市区段进行健康评价。结果表明:京杭大运河淮安市区段综合健康值为86.0,处于“健康”状态,但存在部分指标异化现象,最后提出相关措施与建议,以促进城市河流开发与保护的平衡。

关键词:城市河流;健康评价;层次分析法;京杭大运河淮安市区段

中图分类号:TV213.4

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2016)S1-0154-04

城市河流一般是指发源于城区或流经城市区域的河流或河段,也包括一些历史上虽属人工开挖、但经多年演化已具有自然河流特点的运河、渠系^[1]。目前,随着我国城市人口的增长和城市规模的不断扩大,人类活动所引起的城市河流生态健康状况退化已成为我国河流治理和管理面临的主要问题^[2]。

河流健康评价研究在国外开展较早,常用方法有生物完整性指数(index of biotic integrity, IBI)和河流无脊椎动物预测和分类计划(river invertebrate prediction and classification system, RIVPACS)等指示物种法。这类评价方法存在指标选择不当会导致河流健康状况评价不全面的弊端。后来又出现了包括河流物理结构、化学、生物、社会经济等指标的综合评价方法,具有代表性的为美国快速生物监测协议(rapid bioassessment protocols, RBPs)、澳大利亚溪流状态指数(index of stream condition, ISC)等^[3]。我国河流健康评价研究起步较晚,2005年长江水利委员会主办的长江论坛围绕河流“保护与发展”主题进行了广泛的交流与讨论。随着对河流健康的保护意识不断增强,耿雷华等^[4-7]分别提出综合评价指数法、模糊综合评价法、灰色关联度分析法、集对法等评价方法,推动了该领域的研究进展。前期大部分研究是针对流域水系的河流健康评价,而对城市河流健康评价研究较少。笔者通过研究城市河流健康内涵,构建城市河流健康评价方法,并以京杭大运河淮安段为例进行健康综合评价应用,提出相关保护措施与建议,促进城市化河流保护与发展的平衡。

1 城市河流健康评价指标体系构建

1.1 城市河流健康的内涵

目前,河流健康评价理论与方法处于初步形成与发展阶段,河流健康的内涵尚不明确,大体可以分为两类:一类是指河流生态系统的健康状况;另一类是指包括河流的自然属性、生态系统的稳定以及河流社会服务功能的综合健康状况^[4]。前者从生态学角度出发,注重河流的自然状态,未能全面地反映城市河流的健康状态。后者从城市河流的自然健康、提供良好的生态环境以及社会服务功能三个方面全面地评价城市河流健康状况,满足人类社会可持续发展需求,促使人类对河流开发与保护形成良性循环。

1.2 层次分析法简介

20世纪70年代中期美国运筹学家Saaty等,针对模糊复杂的决策问题,提出一种定性定量相结合,系统性、层次化的多目标决策分析方法,称之为层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)^[7]。采用层次分析法进行城市河流健康评价,先将各评价指标按照支配关系分组,形成有序的递阶层次结构,再引入多因素相对重要性以两两比较的方式确定层次中各因素的相对重要性,并利用判断矩阵特征向量计算下层指标对上层指标的贡献程度,确定指标权重,最后对各指标量化赋分,加权组合得到城市河流的综合健康值,科学、全面地评价城市河流健康状态。

1.3 评价指标及评价标准

构建多层次体系框架评价城市河流健康^[5],以城市河流健康为目标层,从自然健康、生态健康、社会服务功能三大方面分别设立 3 个控制层、7 个准则层、11 个具体指标层,详见表 1。

1.3.1 自然健康控制层

自然健康控制层主要是从河流自然水文准则层进行分析评价,具体评价指标为河岸稳定性、河流流动性、生态流量满足程度。

河岸稳定性是指河岸线平面位置的稳定程度和保护状况,反映河岸的稳定对河道防冲刷、航运以及岸线设施等服务功能的影响程度,河岸稳定与否对于河流系统功能的发挥具有重要作用,其指标定义为稳定无明显侵蚀的河岸线长度占河岸线总长度的比例。

河流流动性是指河流水体的流动性能,包括是否具有让水体流动的连接通道,通道是否受到人工建筑物阻碍,水体是否保持一定速度的流动。

河流生态流量是指为维持河流生态系统的结构、功能必须维持的最小流量,采用满足程度来评价。生态流量满足程度的评估标准采用水文方法确定的基流标准,分别计算 4—9 月、10—次年 3 月日径流量占多年平均流量的最低百分比。

1.3.2 生态控制层

生态系统健康状况主要是从水质状况、生态特征两个准则层进行评价,具体评价指标为水质污染综合指数、岸坡植被结构完整性、河流生物多样性指数。

水质污染综合指数。选取溶解氧、高锰酸盐指数、五日生化需氧量、化学需氧量、氨氮、氰化物、挥发酚、砷、铜、铅、锌、镉、汞、六价铬等水质指标,依据 GB3838—2002《地表水环境质量标准》进行评价,确定水质综合类别。

岸坡植被结构完整性。根据河流河岸带植被覆盖率、植被层次性、植被连续性以及河流护坡的自然

性等特征,确定河流岸坡植被结构完整性指数,评价标准参考河流健康评价指标健康刻度^[6]。

河流生物多样性指数。该指标能够反映一定时空尺度上水环境的变化、生物群落及生境的复杂程度以及群落稳定性与自然地理条件的关系,浮游生物多样性越高,表示水生态环境状况越好。选取浮游植物、浮游动物、底栖动物、着生生物等指标,计算 Shannon-Weiner 生物多样性指数。

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N} \tag{1}$$

式中: H' 为多样性指数; N_i 为站位中第 i 种的个数; N 为站位中指标的总个数; S 为站位中评价指标总种数。

1.3.3 社会服务功能控制层

社会服务功能:主要是从防洪工程状况、岸线利用管理状况、公众满意状况、供水保证状况 4 个准则层进行评价,具体评价指标为防洪工程达标率、岸线利用管理指数、公众满意度、供水水量保证率、水功能区水质达标率。

防洪工程达标率:河流防洪工程是保障河流防洪能力的重要工程措施,防洪工程是否达标,直接影响到河流的防洪工程状况,河流防洪工程达标率表征了河流防洪工程的完善程度,其定义为河流达标堤防长度与河流堤防总长度的比值,评价标准为 GB 50201—2014《防洪标准》。

岸线利用管理指数:主要是从河流岸线利用率、被利用岸线完好率、占用岸线项目是否审批和后续是否监管 4 个方面进行评价。其中岸线利用率根据不同河道类型,采用已利用岸线占河岸线长度比例来评价确定,评价标准参考河流健康评价指标健康刻度^[6]。

公众满意度:指公众对评价河流景观、美学价值及其他综合服务功能的满意程度。对评价河流所在区域公众、当地政府、水利、环保等相关部门发放公众参与调查表,对调查结果进行统计分析,以确定公

表 1 城市河流健康评价体系权重

目标层 A	控制层 B	准则层 C	指标层 D	相对于准则层权重	相对于目标层权重	重要性总排序
城市河流健康 (1.000)	自然环境健康 (0.420)	自然及水文状况(1.000)	河岸稳定性 D ₁	0.367	0.154	1
			河流流动性 D ₂	0.292	0.123	5
			生态流量满足程度 D ₃	0.341	0.143	3
	生态系统健康 (0.317)	水质状况(0.400)	水质污染综合指数 D ₄	1	0.127	4
		生态特征(0.600)	岸坡植被结构完整性 D ₅	0.454	0.086	7
			河流生物多样性指数 D ₆	0.546	0.104	6
	社会服务功能 (0.263)	防洪工程状况(0.582)	防洪工程达标率 D ₇	1	0.153	2
		岸线利用管理状况(0.090)	岸线利用管理指数 D ₈	1	0.024	10
		公众满意状况(0.069)	公众满意度 D ₉	1	0.018	11
		供水保证状况(0.259)	城市供水水量保证率 D ₁₀	0.562	0.038	8
			水功能区水质达标率 D ₁₁	0.438	0.030	9

众对河流的满意程度。调查表包含参与调查公众的基本信息,公众与评价河流的关系,对河流水量、水质、河滩地状况、鱼类状况、河流适宜性的评价信息,以及公众对河流的预期所给出的对河流状况满意度总体评价。

供水水量保证率:指预期供水量在多年供水中能够得到充分满足年数出现的概率。以地表水为水源的供水工程主要采用典型年法或时历年法计算。

水功能区水质达标率:指评价河流水质达标水功能区占该河流总水功能区数比例。

1.4 指标权重的确定

将指标权重确定过程分为4步:①建立递阶层次结构;②构造两两比较判断矩阵;③层次单排序及一致性检验;④层次总排序。其中层次单排序通过计算判断矩阵的最大特征根及其对应的特征向量,即同一层次中相应元素对于上一层次中某个元素相对重要性的排序权重。为验证权重分配的合理性,还需通过对判断矩阵的一致性检验,采用 Saaty 提出用判断矩阵最大特征根作为度量判断矩阵偏离一致性程度的指标,并采用和积法计算检验,步骤如下:

a. 按列规范化矩阵:

$$b_{ij} = a_{ij} \left(\sum_{i=1}^n a_{ij} \right)^{-1} \quad i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, m \tag{2}$$

b. 将规范化矩阵按行求和:对向量 $V=[v_1, v_2, \cdots v_n]^T$ 规范化:

$$a_i = v_i \left(\sum_{j=1}^n v_j \right)^{-1} \tag{3}$$

得到 $\alpha=[\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_n]^T$ 为所求特征向量,即为权重向量。

c. 判断矩阵最大特征根:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(A\alpha)_i}{n\alpha_i} \tag{4}$$

d. 一致性检验:

$$I_{CR} = \frac{I_C}{I_R} \tag{5}$$

其中 $I_C = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ 式中; I_{CR} 为一致性比例; I_C 为一致性指标; I_R 为平均随机一致性指标。当 $I_{CR} < 0.1$ 时,判断矩阵的一致性是可以接受的。

e. 最后,层次总排序通过计算底层指标相对于总评价目标的重要性权值,通过层次单排序加权组合而得。具体权重分配见表1。

1.5 评价方法

目前城市河流健康评价无明确的统一标准,结合国内外研究成果、国家标准、典型河流现状特征值、背景值,通过类比方法,结合河流实际情况,确定健康评价标准值及赋分值(表2)。根据各指标权重及赋分值,计算出河流各指标综合健康值。

$$S = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i \tag{6}$$

式中: α_i 为单项指标权重; S_i 为单项指标赋分值; S 为河流健康值。

2 实例应用

2.1 研究区概况

京杭大运河为最早修凿的河段,介于长江和淮河之间,北接中运河,经淮安城区南跨淮河入海水道、穿苏北灌溉总渠,至瓜洲古渡入长江,南接江南运河。其中淮安段沿岸风景优美、人文景点众多,是

表2 京杭大运河淮安市区段健康评价指标值

指标层	D_1		D_2		D_3		D_4		D_5		
	指数	赋分值	指数	赋分值	4~9月 满足程度/%	10~3月 满足程度/%	赋分值水质类别	赋分值	指数	赋分值	
质量值	1	100	1	100	>30	>50	100	I	100	1	100
	0.8	80	0.8	80	20	40	80	II	85	0.85	85
	0.6	60	0.6	60	15	30	40	III	70	0.6	60
	0.4	40	0.4	40	10	10	20	IV	40	0.4	40
	<0.4	5	<0.4	5	<5	<5	0	V、劣V	5	<0.4	5
现状值	0.79	79	0.75	75	100	100	II	85	0.62	62	
D_6		D_7		D_8		D_9		D_{10}		D_{11}	
指数	赋分值	达标率	赋分值	指数	赋分值	满意度	赋分值	保证率/%	赋分值	达标率/%	赋分值
≥3	100	100	100	1	100	很满意	100	100	100	100	100
2	85	95	80	0.9	80	基本满意	80	95	80	80	80
1	70	85	60	0.7	60	一般	60	85	60	70	60
0.5	40	65	40	0.5	40	不满意	40	65	40	50	40
<0.5	5	<65	5	<0.5	5	很不满意	5	<65	5	<50	5
2.06	86	100	100	0.82	72		80	100	100	100	100

京杭大运河中等级较高的部分,航道标准较高,可通航 2 000 吨级船舶,是大宗物资运输的重要通道。京杭大运河淮安城区段起于淮阴区杨庄,至淮安区与里运河汇合,长 23.0 km,两岸堤防长 48.6 km,底高程 4.5 m 左右,河口宽 120 ~ 150 m,正常水位 9 m 以上,主要用于航运、灌溉、防洪,也是淮安市工业、农业、生产用水的主要水源,是南水北调东线输水干线。水功能区划分为淮安调水保护区,2020 年水质目标为Ⅲ类,现状水质为Ⅱ ~ Ⅲ类。

2.2 评价结果

采用层次分析法确定城市河流健康评价指标权重,通过查阅历史资料,实地查勘、监测京杭大运河淮安市区段现状值,进行健康综合评价(表 2)。将评价结果分为 4 个等级,对应 0 ~ 100 赋分值区间分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级,若综合赋分值在 [85,100) 区间健康等级为Ⅰ级, [70,85) 健康等级为Ⅱ级, [40,70) 健康等级为Ⅲ级, [0,40) 健康等级为Ⅳ级。其中Ⅰ级处于“健康”状态,Ⅱ、Ⅲ级处于“亚健康”状态,Ⅳ级处于“不健康”状态。经计算,京杭大运河淮安市区段综合健康值为 86.0,健康等级为Ⅰ级,处于“健康”状态。

2.3 结果分析与讨论

从控制层来看,自然健康控制层健康值为 85.0,健康等级为Ⅰ级,处于“健康”状态,说明京杭大运河淮安市区段受人类活动干扰较小;生态健康控制层健康值为 79.1,健康等级为Ⅱ级,处于“健康”状态,说明该河段生态系统保护较好;社会服务功能控制层健康值为 96.1,健康等级为Ⅰ级,处于“健康”状态,说明该河段社会服务功能发挥较好。

从指标层来看,京杭大运河淮安市区段健康评价的 11 项指标中,生态流量满足程度、水质污染综合指数、河流生物多样性指数、防洪工程达标率、城市供水水量保证率、水功能区水质达标率 6 项指标健康等级均为Ⅰ级;河岸稳定性、河流流动性、岸线利用管理指数、公众满意度 4 项指标健康等级均为Ⅱ级;岸坡植物结构完整性指标健康等级为Ⅲ级,这是由于部分河段出现河岸带固化、岸坡植被萎缩等现象。

总体来看,尽管京杭大运河淮安市区段自然系统、生态系统、社会服务功能均处于“健康”状态,但存在部分指标变化异常现象,应引起重视,积极采取保护措施,便于长期维持河流健康状态。

3 结 论

a. 通过研究城市河流健康的内涵,构建健康评价体系,采用层次分析法,建立 1 个目标层、3 个控

制层、7 个准则层、11 个指标层,化繁为简、逐层分解,将城市河流健康评价进行量化分析,有效克服了主观臆断成分,使该评价体系具有一定的通用性、客观性。

b. 以京杭大运河淮安市区段为例,基于层次分析法确定指标权重,从自然健康、生态健康、社会服务功能 3 个方面进行健康评价,综合健康值为 86.0,处于“健康”状态,但部分指标出现变异现象,特别是岸坡植物结构完整性指标,应引起相关部门重视,维持河岸带现状,逐步开展治理,加强河流沿岸施工活动生态保护,积极采取监管措施,进一步优化配置河岸带绿化物种,维持城市河流健康。

c. 考虑城市河流健康评价尚处于探索阶段,笔者仅对城市河流进行全年综合评价,今后还可从流域、水系、河流、断面不同空间尺度,及短期、中期、长期不同时间尺度进一步细化评价指标,从而把不同尺度评价结果有机结合起来,科学、系统、综合地反映城市河流健康状况。

参考文献:

[1] 宋庆辉,杨志峰. 对我国城市河流综合管理的思考[J]. 水科学进展,2002,3(13): 377-382.

[2] 陈兴茹. 国内外城市河流治理现状[J]. 水利水电科技进展,2012,32(2): 83-88.

[3] 邓晓军,许有鹏,翟禄新,等. 城市河流健康评价指标体系构建及其应用[J]. 生态学报,2014,34(4): 993-1001.

[4] 林茂森,王殿武,刘玉珍,等. 论城市河流健康与城市发展的关系[J]. 沈阳农业大学学报(社会科学版),2015,17(3): 331-336.

[5] 董哲仁. 河流健康评估的原则和方法[J]. 中国水利,2015(10): 17-19.

[6] 耿雷华,刘恒. 健康河流的评价指标和评价标准[J]. 水利学报,2006,37(3): 253-258.

[7] 常建娥,蒋太立. 层次分析法确定权重的研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2007,29(1): 153-156.

(收稿日期:2016-08-20 编辑:徐 娟)

