



River Health Evaluation Research on Reach from Shuifumiao to XiangJiang Estuary of LianShui Mainstream

Qiao Qi, Shi Lin, Li Daijun, Zhao Lizi, Liu Wenbo

Hunan Institute of Water Resource and Hydropower Research, Changsha, China

Email address:

906500442@qq.com (Qiao Qi)

To cite this article:

Qiao Qi, Shi Lin, Li Daijun, Zhao Lizi, Liu Wenbo. River Health Evaluation Research on Reach from Shuifumiao to XiangJiang Estuary of LianShui Mainstream. *Science Discovery*. Vol. 11, No. 3, 2023, pp. 107-114. doi: 10.11648/j.sd.20231103.15

Received: April 23, 2023; **Accepted:** May 30, 2023; **Published:** June 5, 2023

Abstract: River health evaluation is an important technical means to evaluate river health status, scientifically analyze River problems and strengthen the implementation of the river chief system. It is an important reference for the river chief to organize and lead the management and protection of rivers. Through scientific, comprehensive and effective investigation, monitoring and research, this paper established the criterion layer from four aspects namely "basin", "water", biology and social service function, selected 18 indexes and established the index layer, constructed the river health evaluation index system by using analytic hierarchy method, and conducted a comprehensive evaluation on reach from Shuifumiao to Xiang Jiang estuary of LianShui mainstream. The evaluation results showed that the grade of the evaluated river was class II, which was generally healthy and basically consistent with the actual situation. The rationality and effectiveness of the evaluation system has been proved. However, it was still weak in terms of river lake connectivity, sediment pollution, biodiversity and flood control compliance rate. The river chief and relevant departments should selectively take measures such as protection, restoration, treatment, control and evaluation to continue improving the environment quality of the river. This paper provided a theoretical reference for river and lake health evaluation work in Hunan Province, and provided a practical path for ecological and civilized development.

Keywords: LianShui, River Health Evaluation, Analytic Hierarchy Method, River in Class II

涟水干流水府庙至湘江河口段河流健康评价研究

乔祺, 石林, 李代军, 赵丽子, 刘文博

湖南省水利水电科学研究院, 长沙, 中国

邮箱:

906500442@qq.com (乔祺)

摘要: 河流健康评价是评估河流健康状态、科学分析河流问题、强化落实河长制的重要技术手段, 是河长组织领导河流管理保护工作的重要参考。经过科学全面有效的调查监测及研究, 本文从“盆”、“水”、生物、社会服务功能等四个方面建立准则层, 并筛选出18个指标建立指标层, 采用层次分析法, 构建形成了河流健康评价指标体系, 对涟水干流水府庙至湘江河口段进行了综合评价。评价结果表明, 该评价河段等级为二类, 总体上较为健康, 与实际情况基本相符, 但在河湖连通性、底泥污染、生物多样性、防洪达标率等方面仍较为薄弱, 河长及相关部门应选择性采取保护、修复、治理、管控、评估等措施, 继续提升河流质量。

关键词: 涟水, 河流健康评价, 层次分析法, 二类河流

1. 引言

河湖健康评价是河湖管理的重要内容，是检验河长制湖长制“有名”“有实”的重要手段。开展河湖健康评价工作，有利于查找现阶段河湖管理保护的短板和问题，对全面落实河长制、解决复杂水安全问题、加强生态文明建设，具有迫切需求和重大意义。2020年8月，水利部河长办印发《河湖健康评价指南（试行）》。2021年4月，水利部河湖管理司部署了河湖健康评价工作，各地可因地制宜选择一条或多条河湖进行健康评价。

国内已开展的河流健康评价主要包括水质评价、生物评价、水生态文明评价等，评价方法主要包括生态监测指标法和指标体系综合评价法。孙博等[1]以浑太流域为重点，构建了辽宁省典型河湖（库）健康评价指标体系，以水文水资源、水质、物理结构、水生物及社会服务功能调查监测数据为基础，开展了辽宁省典型河湖（库）健康评价；彭文启[2]介绍了全国河湖健康评估工作的技术成果，提出了5个等级的河湖健康分级标准，对全国36个河湖（库）水体进行了河湖健康评估；徐宗学等[3]根据气候、地理、水文、生态等条件差异，将我国水体初步划分为10个生态分区，采用指标体系法对河流和湖库分别构建健康评价指标体系；李云、李春明等[4]针对《河湖健康评价指南（试行）》，从河湖健康评价体系构建的背景、原则、指标选取及评价指标体系的特点等方面进行了解读；张炜华等[5]从河流自身属性、社会功能和自我修复净化方面总结了河流健康的概念；王乙震等[6]通过梳理了国内关于河湖健康评估理论、指标体系、评估方法构建等方面研究，并提出海河流域开展河湖健康评估工作现状及主要存在问题；袁

立来等[7]对拒马河北京段鱼类生物完整性指数进行了评价；王鹏全等[8]基于河长制工作任务构建了五方面29项指标的河流健康评价指标体系，并对湟水干流西宁段进行了健康评价；严少军等[9]采用层次分析法和熵权法建立评价模型对引汉灌区典型河湖生态健康状况进行了评价；苏梦等[10]以铜陵市作为调查目标，构建了大型底栖生物完整性指数，并进行了生态健康评估，为沿江城市河湖水系生态健康评价和河湖管理提供科学依据。

目前河流健康评价体系普遍存在定性指标较多，主观性较强以及与河长履职、精准施策等联合研究不足等问题，加之湖南省河流健康评价工作尚处于起步阶段，缺少对河流、地区等不同细分条件的典型性指标参数，系统科学的河流健康评价体系尚未建立。本文总结国内现有理论与经验，以人水和谐、人民幸福、河长制工作顺利推进为出发点，建立河流健康评价体系，从对涟水干流水府庙至湘江河口段进行评价研究。

涟水干流全长224km，是湖南省内湘江左岸的一级支流，位于湘江下游，发源于新邵县观音山南麓，流经涟源市、娄星区、经济技术开发区，经济技术开发区梨头咀汇合孙水进入湘乡市境内注入水府庙水库，出水府庙后进入娄底市双峰县境内，出双峰县再次进入湘乡市范围，于湘潭县河口镇的东北部汇入湘江。考虑到评价河段不宜过长，且上下游水质状况、植被情况、社会经济发展等应无明显差异，加之水府庙库区水面面积较大，不适用于河流评价准则，故选取水府庙库区以下湘潭市境内长度113.7km河段作为河湖健康评价研究对象，评价范围如图1所示。



图1 评价河段地理位置图。

2. 指标体系建立

2.1. 指标体系

涟水为省级河流，本研究参考水利部《河湖健康评价指南（试行）》及国内现有成熟的健康河湖评价体系研究成果，以科学性、实用性、可操作性为原则，从“盆”、“水”、生物、社会服务功能等4个准则层，在此基础上优化筛选出具有代表性、独立性、易于获取、能实际反映样板河湖健康状况的指标层指标。最终共筛选出18个指标纳入本次评价指标体系，其中定量指标16个，定性指标2个。具体指标见表1。

表1 河流评价指标体系表。

目标层	准则层	指标层	指标类型
河流健康	“盆”	河流纵向连通指数	定量
		岸线自然状况	定量
		河岸带宽度指数	定量
		违规开发利用水域岸线程度	定量
		生态流量/水位满足程度	定量
	“水”	流量过程变异程度	定量
		水质优劣程度	定量
		底泥污染状况	定量
		水体自净能力	定量
		大型底栖无脊椎动物生物完整性	定量
	生物		

目标层	准则层	指标层	指标类型
社会服务功能		指数	
		鱼类保有指数	定量
		水生植物群落状况	定性
		防洪达标率	定量
		供水水量保证程度	定量
		河流集中式饮用水水源地水质达标率	定量
		岸线利用管理指数	定量
		通航保证率	定量
		公众满意度	定性

2.2. 指标等级标准划分

参考现有“和谐”理论[11]及幸福度评价理论[12]，本文将河流健康评价体系中各个指标划分为5个等级，即“优秀、良好、中、较差、差”，分别用“Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ”表示。参考《防洪标准（GB50201-2014）》、《河湖健康评估技术导则（SL/T793-2020）》、《地表水环境质量标准（GB3838-2002）》、《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准（试行）（GB 15618-2018）》、《地表水水质资源质量评价技术规程（SL 395-2007）》、《水环境监测规范（SL 219-2013）》、《水库渔业资源调查规范（SL 167-2014）》等规范文件，确定各个指标的等级范围划分，具体如表2所示。

表2 河流健康评价指标赋分等级标准。

准则层	指标层	单位	等级					说明
			I	II	III	IV	V	
“盆”	河流纵向连通指数	个/100km	0-0.2	0.2-0.25	0.25-0.5	0.5-1	≥1	单位河长内影响河流连通性的建筑物或设施数量
	岸线自然状况		80-100	60-80	40-60	20-40	≤20	河（湖）岸稳定性和岸线植被覆盖率两方面计算赋分
	河岸带宽度指数		0.8-1	0.6-0.8	0.45-0.6	0.3-0.45	≤0.3	左、右岸河岸宽度均大于河槽的0.4倍的岸线比例
	违规开发利用水域岸线程度		90-100	75-90	60-75	40-60	≤40	由入河排污口规范化建设率、入河湖排污口布局合理度和“四乱”状况，加权计算平均值
	生态流量/水位满足程度	(10~3月)%	≥30	20-30	10-20	5-10	≤5	由4~9月及10~3月最小日均流量占相应时段多年平均流量的百分比的较低值决定
		(4~9月)%	≥50	40-50	30-40	10-30	≤10	实测月径流量与天然月径流量的平均偏离程度
	流量过程变异程度		≤0.05	0.05-0.1	0.1-0.3	0.3-1.5	≥1.5	
	水质优劣程度		I、Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类	V类	劣V类	遵循GB3838-2002水质相关规定
	底泥污染状况		≤1	1-2	2-3	3-5	≥5	参照GB15618，超标浓度最高的污染物超标倍数
	水体自净能力	mg/L	≥7.5	6-7.5	3-6	2-3	≤2	溶解氧浓度
	大型底栖无脊椎动物生物完整性指数		≥1.62	1.03-1.62	0.31-1.03	0.1-0.31	0-0.31	参照《河湖健康评价指南（试行）》对比参考点和受损点进行评价赋分
	鱼类保有指数	%	90-100	75-90	50-75	25-50	0-25	现状鱼类种数与历史参考点鱼类种数的比值
“水”	水生植物群落状况		90-100	80-90	60-80	30-60	0-30	水生植物群落丰富程度赋分
	防洪达标率	%	90-100	85-90	70-85	50-70	≤50	达标的堤防长度占堤防总长度的比例，有堤防交叉建筑物的，须考虑堤防交叉建设物防洪标准达标比例
	供水水量保证程度	%	90-100	75-90	60-75	40-60	≤40	一年内河流逐日水位或流量达到供水保证的天数占比
	集中式饮用水水源地水质达标率	%	95-100	85-95	60-85	20-60	≤20	达标的集中式饮用水水源地（地表水）的个数比例
	岸线利用管理指数	%	≤30	30-50	50-70	70-80	≥80	已开发利用岸线长度占河岸线总长度的百分比
	通航保证率	%	90-100	85-90	80-85	75-80	≤75	正常通航日数占全年的百分比
	公众满意度		95-100	80-95	60-80	30-60	≤60	公众问卷调查打分

本文参照《河湖健康评估技术导则(SL/T793-2020)》及水利部《河湖健康评价指南(试行)》，将河湖健康整体评价分为五类：一类河湖（非常健康）、二类河湖（健康）、三类河湖（亚健康）、四类河湖（不健康）、五类河湖（劣态）。其赋分标准记颜色说明如表3所示。

表3 河流健康整体评价等级划分标准。

分类	状态	赋分范围	颜色
一类河湖	非常健康	90≤RHI≤100	蓝
二类河湖	健康	75≤RHI<90	绿
三类河湖	亚健康	60≤RHI<75	黄
四类河湖	不健康	40≤RHI<60	橙
五类河湖	劣态	RHI<40	红

3. 评价方法

3.1. 层次分析法

考虑河湖健康评价指标体系具有多目标、多层次、定性与定量指标并存等特点，本文选用层次分析法确定评价指标的权重。层次分析法是将问题分解为不同的组成因素，并按照因素间的相互关联影响以及隶属关系将因素按不同层次组合[13]，形成一个多层次的结构模型，从而使问题归结为最低层对于最高层（总目标）的相对重要权值的确定或相对优劣次序的排定[14]。通过求解判断矩阵的特征向量，求得每一层次的各元素对上一层次某元素的权重值，逐层递归并得到各元素对总目标的最终权重。其基本步骤为：

- (1) 根据系统特点构造层次分析模型，本文将评价指标层次依次划分为目标层、准则层、指标层。
- (2) 邀请多位专家对某层次下的两两指标进行比较判断，并采用9 位标度法将判断结果量化[15]，构造判断矩阵。具体操作为：任意取两个指标 x_i 和 x_j ，以 a_{ij} 表示 x_i 和 x_j 对目标的重要性之比，其全部比较结果用矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 表示，称 A 为成对比较判断矩阵。关于 a_{ij} 值的确定，20世纪70年代中期美国运筹学家Saaty 等建议引用数字1-9及其倒数作为标度。如表4列出了1-9标度的含义：

表6 准则层——“盆”各指标判断矩阵及权重系数表。

名称	河流纵向连通指数	岸线自然状况	河岸带宽度指数	违规开发利用水域岸线程度	权重
河流纵向连通指数	1	1/3	1/2	1/3	0.11
岸线自然状况	3	1	2	1	0.35
河岸带宽度指数	2	1/2	1	1/2	0.19
违规开发利用水域岸线程度	3	1	2	1	0.35

经一致性检验： $\lambda=4.0104$ ， $CI=0.003$ ， $CR=0.038<0.1$ ，检验结果合格，所以该判断矩阵具有满意的一致性。以此类推，分别得到4个准则层各指标权重，最终指标权重=准则层权重*指标层权重，如表7所示。

表7 河流健康评价体系指标权重表。

目标层	准则层	准则层权重	指标层	指标对该准则层权重	指标权重
河流健康	“盆”	0.2	河流纵向连通指数	0.11	0.022
			岸线自然状况	0.35	0.070
			河岸带宽度指数	0.19	0.038
			违规开发利用水域岸线程度	0.35	0.070

表4 1-9标度的含义。

标度	含义
1	表示两个因素相比，具有相同重要性
3	表示两个因素相比，前者比后者稍重要
5	表示两个因素相比，前者比后者明显重要
7	表示两个因素相比，前者比后者强烈重要
9	表示两个因素相比，前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	若因素 i 与 j 的重要性之比为 a_{ij} ，那么因素 j 比因素 i 重要性之比为 $a_{ji}=1/a_{ij}$

(3) 计算判断矩阵的最大特征值 λ_{max} 及对应的特征向量，并检验判断矩阵的一致性；对应于最大特征值的特征向量，经归一化（使向量中各元素之和等于1）后记为 W 。 W 即为同一层次所有因素对于上一层次某因素相对重要性的排序权重。

判断矩阵的一致性检验标准为：记一致性指标 $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ ，一致性比例 $CR = \frac{CI}{RI}$ 。对 $n=1 \dots 9$ ，Saaty 给出了 RI 的值。 RI 值如表5所示。当 $CR<0.1$ 时，判断矩阵 A 满足要求。

表5 判断矩阵 RI 值表。

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

3.2. 指标权重确定

准则层权重参照水利部《河湖健康评价指南(试行)》，“盆”、“水”、生物、社会服务功能4个准则层的权重分别为0.2、0.3、0.2、0.3。

在此基础上，指标层权重的确定从涟水干流特点及各个指标重要程度出发，建立指标层对各准则层的判断矩阵，然后进行一致性检验。以准则层“盆”为例，河流纵向连通指数、岸线自然状况、河岸带宽度指数、违规开发利用水域岸线程度指标权重计算结果如表6所示。

目标层	准则层	准则层权重	指标层	指标对该准则层权重	指标权重
	“水”	0.3	生态流量/水位满足程度	0.25	0.075
			流量过程变异程度	0.125	0.038
			水质优劣程度	0.25	0.075
			底泥污染状况	0.125	0.038
			水体自净能力	0.25	0.075
	生物	0.2	大型底栖无脊椎动物生物完整性指数	0.25	0.05
			鱼类保有指数	0.50	0.1
			水生植物群落状况	0.25	0.05
			防洪达标率	0.15	0.045
			供水水量保证程度	0.15	0.045
	社会服务功能	0.3	河流集中式饮用水水源地水质达标率	0.15	0.045
			岸线利用管理指数	0.15	0.045
			通航保证率	0.08	0.024
			公众满意度	0.32	0.096

3.3. 综合评价

对河湖健康进行综合评价时，根据各层指标权重，将准则层、指标层逐层加权相加，计算得到河流健康整体评价结果，计算公式如式（1）所示。

$$RHI = \sum^m \left[YMB_{mw} \times \sum^n (ZB_{mw} \times ZB_{nr}) \right]$$

(1)

式中：*RHI*为本评价河段健康状况综合赋分；*ZB_{mw}*为指标层第*n* 个指标的权重；*ZB_{nr}*为指标层第*n* 个指标的赋分；*YMB_{mw}*为准则层第*m* 个准则层的权重。

4. 实例分析

4.1. 数据来源

本次涟水干流水府庙至湘江河口段健康评价期间为2020年全年。定量数据主要来源于《湖南省涟水“一河一策”实施方案（2018—2020年）》、《湖南省“一河（湖）

一策”（2018—2020年）实施评估》、《涟水（湘潭段）岸线保护与利用规划（2020—2035年）》、《湘潭市统计年鉴》、《湘潭市水资源公报》、2020年湘潭市地表水质量月报、2020年湖南省涟水干流“四乱”问题清单、湘乡站水文统计等资料。底泥污染、大型底栖无脊椎动物生物完整性指数、水生植物群落状况来源于监测数据，结合涟水干流的实际情况及各指标采样要求，依照典型性和代表性的原则布设7个采样监测断面，采样点位置如图2所示。



图2 评价河段监测断面布设位置图。

公众满意度数据来源于实地走访评价河段沿线居民并发放调查问卷，统计处理得出该指标分数。

4.2. 评价结果

将各指标原始数据转化为其得分，得分标准参照《河湖健康评估技术导则（SL/T793-2020）》及《河湖健康评价指南（试行）》。以底泥污染状况为例，参照《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618），涟水干流PH=8.31，污染物浓度标准值选用PH>7.5情况下其他类别的风险筛选值。本河段共设7个监测点，平均浓

度超标最高的污染物是镉，其超标倍数是2.18，根据表8得分标准插值计算，该指标得分为56.4分。

表8 底泥污染状况赋分标准表。

底泥污染倍数	<1	2	3	5	>5
得分	100	60	40	20	0

将各指标得分输入评价指标体系，对涟水干流水府庙至湘江河口段进行评价，各指标得分加权之和为总体得分，评价结果如表9所示，指标层、准则层赋分分别如图3、图4所示。

表9 涟水干流水府庙至湘江河口段评价赋分表。

目标层	准则层	指标层	指标赋分	指标等级	准则层赋分	评价河段赋分
河流健康	“盆”	河流纵向连通指数	0	V	72.77	78.18
		岸线自然状况	93.4	I		
		河岸带宽度指数	50.67	III		
		违规开发利用水域岸线程度	87	II		
		生态流量/水位满足程度	89.86	II		
	“水”	流量过程变异程度	75	II	86.39	
		水质优劣程度	90	I		
		底泥污染状况	56.4	III		
		水体自净能力	100	I		
		大型底栖无脊椎动物生物完整性指数	63.795	III		
	生物	鱼类保有指数	61	II	63.95	
		水生植物群落状况	70	III		
		防洪达标率	45	III		
	社会服务功能	供水水量保证程度	100	I	83.05	
		河流集中式饮用水水源地水质达标率	100	I		
		岸线利用管理指数	96.6	I		
		通航保证率	40.44	IV		
		公众满意度	89.3	II		

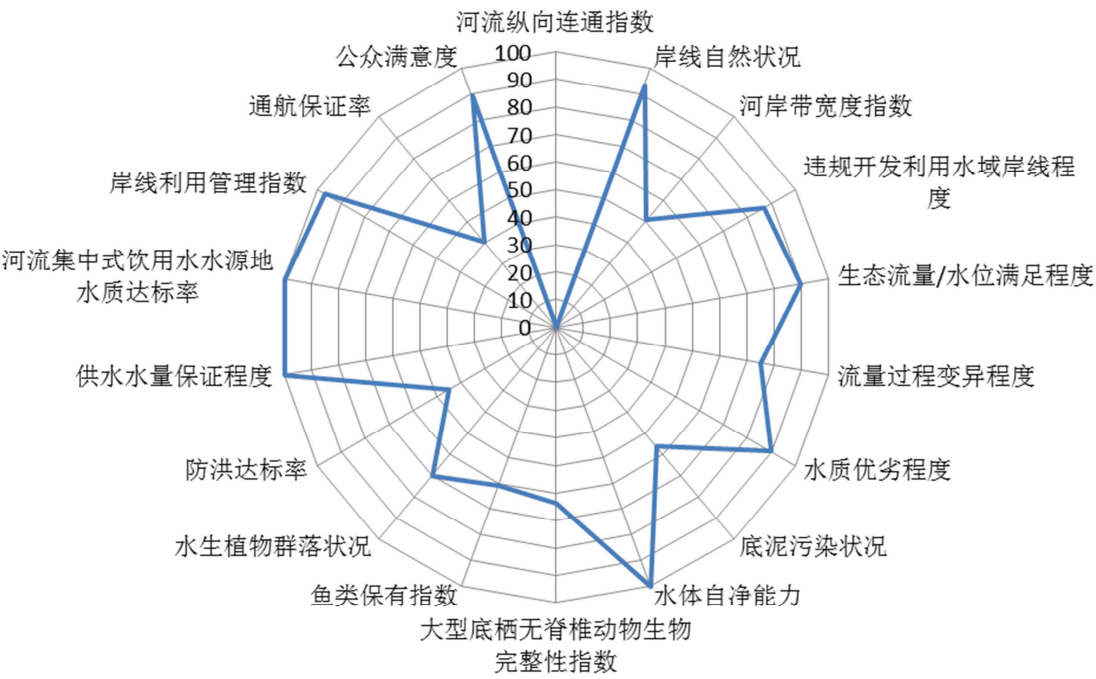


图3 评价河段指标层赋分图。

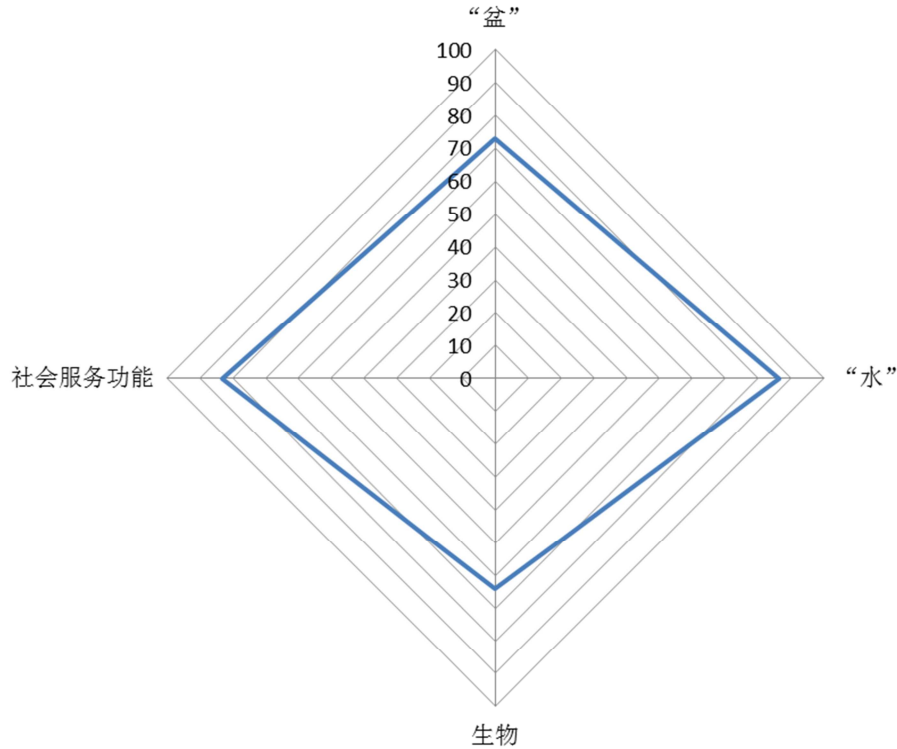


图4 评价河段准则层赋分图。

评价综合得分为78.18分。评价显示本河段为二类河流，总体上较为健康，在形态结构完整性、水生态完整性与抗扰动弹性、生物多样性、社会服务可持续性等方面健康状况良好，但在河流连通性、底泥污染、防洪达标率等方面还存在一定缺陷，应当加强日常管护，持续对河流健康提档升级。

4.3. 主要问题及建议

- (1) 河流连通性有待加强。涟水干流建有众多拦河闸坝，河道梯级开发缺乏统一规划，没有修建渔道设施，洄游通道受阻。因河道拦河闸坝过多过密，河道长期没有进行过清淤疏浚处理，河道内淤积严重，面积萎缩，水系连通性较差。建议充分研究河段特性，自然手段与人工手段相结合，形成流动顺畅、蓄滞得当、调控便利的河流水网连通体系。
- (2) 加强防洪抗旱减灾体系建设。涟水干流部分堤防尚未达标，防洪圈未完全闭合，非工程措施建设相对滞后。建议加快完成堤防新建与整治任务，尽快闭合各防洪保护圈。加大中央及省项目资金的支持，开展中小河流及山洪沟治理，改善各河流的防洪能力和修复河道岸坡。同时加强险工险段及病险水库、水闸整治。
- (3) 水生生物完整性有待提升。涟水干流部分河段存在大型底栖无脊椎动物生物完整性较弱、鱼类保有指数下降、水生植物群落状况不佳等情况，从而导致生物群落对水环境的协调能力不足。建议大力实施生态修复工程，严格落实“十年禁渔”，

建立健全禁捕退捕工作推进机制，科学开展增殖放流。依法科学划定禁养区、限养区和养殖区，优化水产养殖空间布局。

- (4) 部分河段底泥镉浓度超标，需及时整治。涟水干流目前水质基本达标，但底泥污染对水环境具体累积性与滞后性，易加剧水体富营养化。建议根据河段城市经济、所在区域气候、水质等综合因素，合理选用化学修复方法、植物修复、微生物修复、植物-微生物联合修复技术等生物修复方法，以减量化、资源化和无害化为处理原则，科学开展底泥污染整治工作。

5. 结论

本文结合湖南省实际情况，基于层次分析法，建立了河流健康评价体系，并对涟水干流水府庙至湘江河口段作出综合评价。评价结果为二类河流，河流总体状态健康，与实际情况基本相符，证明了评价体系的合理性与有效性。为涟水后续健康发展，河长履行管理保护职责，以及湖南省河湖健康评价工作的顺利开展提供了理论参考，也为全省打造幸福河流，走生态良好的文明发展道路打下一定基础。同时，湖南省地貌复杂，水系众多，社会经济发展水平不均衡，对于全省各地更具普适性的河流健康评价体系仍有待进一步研究。

资助项目

湖南省水利科技项目《河长制背景下的湖南省样板河湖建设模式研究》（XSKJ2019081-22）

参考文献

[1] 孙博, 马涛, 李伟. 辽宁省典型河湖 (库) 健康评价研究 [J]. 中国农村水利水电, 2016 (05): 27-32.

[2] 彭文启. 河湖健康评估指标、标准与方法研究 [J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2018, 16 (05): 394-404+416.

[3] 徐宗学, 顾晓昀, 左德鹏. 从水生态系统健康到河湖健康评价研究 [J]. 中国防汛抗旱, 2018, 28 (08): 17-24+29.

[4] 李云, 李春明, 王晓刚, 谢忱, 耿雷华, 朱立俊, 卞锦宇, 王智源. 河湖健康评价指标体系的构建与思考 [J]. 中国水利, 2020 (20): 4-7.

[5] 张炜华, 刘华斌, 罗火钱. 河流健康评价研究现状与展望 [J]. 水利规划与设计, 2021 (04): 57-62.

[6] 王乙震, 郭书英, 崔文彦. 海河流域河湖健康评估的实践与发展 [J]. 海河水利, 2017 (04): 7-11.

[7] 袁立来, 王晓梅, 杨文波等. 基于鱼类生物完整性指数的拒马河北京段河流健康评价 [J]. 生态毒理学报, 2021, 16 (04): 160-169.

[8] 王鹏全, 吴元梅, 张丽娟等. 湟水干流西宁段河流健康评价模型 [J]. 水利水电科技进展, 2021, 41 (01): 9-15.

[9] 严少军, 董建华, 冯亮. 引汉灌区河湖生态健康评价体系研究 [J]. 中国农村水利水电, 2022 (10): 6-11.

[10] 苏梦, 董伟萍, 赵世高, 王青, 刘烨凌, 杨薇. 基于大型底栖动物完整性指数的河湖生态系统健康评价——以安徽铜陵为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2023, 32 (01): 104-112.

[11] 左其亨. 人水和谐论及其应用研究总结与展望 [J]. 水利学报, 2019, 50 (1): 135-144.

[12] 陈卓, 唐德善. 长株潭区域河流幸福度等级评价研究 [J]. 水资源与水工程学报, 2021, 32 (05): 84-91.

[13] 郭金玉; 张忠彬; 孙庆云. 层次分析法的研究与应用 [J]. 中国安全科学学报, 2008, (05): 148-153.

[14] 王磊. 基于层次分析法的河南省水资源开发利用评价 [J]. 水利科技与经济, 2021, 27 (04): 67-72.

[15] Qingxing DONG, Thomas L. SAATY. AN ANALYTIC HIERARCHY PROCESS MODEL OF GROUP CONSENSUS [J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2014, 23 (03): 363-375.

作者简介

乔祺 (1990.09-), 女, 广西桂林人, 硕士, 工程师, 从事河长制及水利规划相关工作。