

DOI:10.3880/j.issn.1006-7647.2021.01.002

湟水干流西宁段河流健康评价模型

王鹏全¹, 吴元梅^{2,3,4}, 张丽娟¹, 杨旭亮¹, 苏志伟¹

(1. 青海民族大学土木与交通工程学院, 青海 西宁 810007; 2. 青海省水利水电科学研究院有限公司, 青海 西宁 810001; 3. 青海省流域水循环与生态重点实验室, 青海 西宁 810001; 4. 青海省水资源高效利用工程技术研究中心, 青海 西宁 810001)

摘要:为识别河流健康状况和揭示河流受损成因,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,确定了评价指标的赋分标准与权重,提出了河流健康评价模型,将其应用于湟水西宁段河流健康评价工作。结果表明,准则层指标水资源保护60分,水环境治理65分,水生态修复54分,水污染防治35分,水域岸线管理63分,评价区域河流健康综合得分56分,评价等级为Ⅲ级,属亚健康水平,达到黄色预警。河长应在一定程度上组织对该段河流进行保护、修复、治理和管控。

关键词:河流健康评价;河长制;层次分析法;湟水干流

中图分类号:X171.1;X824 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2021)01-0009-07

River health assessment model for Xining section in main stream of Huangshui River//WANG Pengquan¹, WU Yuanmei^{2,3,4}, ZHANG Lijuan¹, YANG Xuliang¹, SU Zhiwei¹(1. School of Civil and Transportation Engineering, Qinghai Nationalities University, Xining 810007, China; 2. Qinghai Institute of Water Conservancy and Hydropower Research Co., Ltd., Xining 810001, China; 3. Qinghai Key Laboratory of Watershed Hydrological Cycle and Ecology, Xining 810001, China; 4. Qinghai Engineering and Technology Research Center for High Efficiency Utilization of Water Resources, Xining 810001, China)

Abstract: In order to identify the health status of rivers and reveal the causes of river damage, index systems including 29 river health assessment index in 5 aspects were established based on the task of river chief system. The evaluation criteria and weights of the index systems were determined and a river health assessment model was proposed, which was applied to the Xining section in the main stream of the Huangshui River. The results show that for the rule hierarchy, the water resources protection index is 60 points, water environment management index is 65 points, water ecological restoration index is 54 points, water pollution prevention index is 35 points, water coastline management index is 63 points. The Xining section in the main stream of the Huangshui River health index is 56 points, and the evaluation level is Ⅲ, belonging to the sub-health level and reaches the yellow warning. The river chief should organize to protect, repair, manage and control the river section to a certain extent.

Key words: river health assessment; river chief system; analytic hierarchy process; main stream of Huangshui River

河流生态系统不但承载着自然服务功能,同时也承载着社会服务功能,河流健康的重要性不言而喻。河流健康既强调保护河流生态系统健康,也要求保障河流社会服务功能健康^[1]。河流健康评价是基于一定的初始状态和评估准则,动态刻画“自然-社会”二元水循环模式下河流生态系统的运行状况,力图在河流开发与保护的博弈过程中取得平衡^[2]。在水资源综合管理过程中一旦发现河流处于较低健康水平则发出预警,进而引起社会公众对河流问题的关注,形成政府、企业、公众参与的多元

化3E(Economy, Equity, Environment)水资源管理共同体,即水资源开发利用与管理需在经济发展、社会公平、环境保护之间寻找平衡,使得河流自然生命健康和社会服务功能健康形成良性循环,从而建设人水和谐和生态文明的健康河流^[3]。

国内河流健康评价技术手段主要包括河流水体物理化学评价、生物栖息地质量评价、水文评价和生物评价,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,其中以后者见多。国内学者主要开展了基于层次分析法、模糊数学法等多种模型的

基金项目:青海民族大学校级智库项目(2019XJZK05、2020XJZK08);青海民族大学校级规划项目(2021XJGH11);青海省应用基础研究项目(2020-ZJ-756)

作者简介:王鹏全(1989—),男,讲师,硕士,主要从事水安全与水生态修复研究。E-mail:wpq1314@126.com

河流健康评价研究和应用。蔡守华等^[4]综合考虑河流自然生态健康和社会服务功能健康,提出了河流健康评价的7个评价对象和10项评价指标;吴阿娜^[5]从理化参数、生物指标、形态结构、水文特征、河岸带状况等方面构建了城市河流健康评价指标体系;邓晓军等^[6]基于城市河流健康的内涵,构建出包含自然生态、社会经济和景观环境等三方面24个指标的城市河流健康评价指标体系;高凡等^[7]针对变化环境背景,从河流健康的概念和内涵、河流健康评价内容、方法及应用等方面,评述了近年来国内外河流健康评价的研究进展;彭文启^[8]通过总结全国河湖健康评估工作的技术成果,从水文水资源、河湖物理形态、水质、水生生物及河湖社会服务功能等五方面提出河湖健康评估指标、标准与方法;王乙震等^[9]根据河湖健康内涵及全国重要水功能区划管理制度,分析了河湖健康评估与水功能区划的关系,探讨了基于水功能区划的河湖健康内涵,提出了基于水功能区划的河湖健康评估指标体系的健康河流、湖泊特征,阐述了基于水功能区划的河湖健康评估原则。

目前国内河流健康评价指标体系综合评价法多从水文水资源、河湖物理形态、水质、水生生物及河湖社会服务功能等方面构建评价指标体系与模型,但指标体系未能与河长制工作任务紧密联系起来,在如何衔接河长工作任务开展河湖健康评价^[10],指导河长工作考核以及河长精准施策方面的研究较少。本文总结国内河流健康评价的理论、方法和经验,基于河长制工作任务建立了与河长制相结合的河流健康评价模型,覆盖水资源保护、水污染防治、水环境治理、水生态修复、水域岸线管理等五方面,包含29项评价指标^[11]。

湟水干流是湟水流域主要的生态廊道,受人类活动和气候变化影响,湟水西宁段河流水文、地貌形态、生物栖息地、河谷生态系统、沿河景观、水体环境等遭到不同程度的破坏,河流承载的自然服务功能和社会服务功能有所退化。随着西宁市“五四战略”“一优两高”及河湖长制的深入有效推进,对维持和保护河流生态系统的生命健康和美丽河湖建设提出了更高要求。本文尝试基于河长制建立湟水干流西宁段河流健康评价模型,旨在识别人类活动对流域生态系统的影响范围和影响程度,为区域水资源保护、水污染防治、水环境治理、水生态修复、水域岸线管理提供参考。

1 湟水干流西宁段河流健康评价方法

1.1 河流健康评价指标体系及其权重

河流健康评价是对河流生态系统与社会服务功

能以及它们之间协调性的评价,评价指标体系宜清晰描述河流健康与环境压力之间的响应关系,能系统识别河流健康状况,并揭示河流受损成因,从而对河流系统治理与科学管理提供决策支持^[12-14]。通过文献检索河流健康评价方法和指标体系,梳理其评价指标近200个,但不难发现河流健康评价主要针对自然生态功能与社会服务功能两方面展开^[5,8,15-20]。河流自然生态功能评价包括水文水资源评价、物理化学评价、生物栖息地质量评价和生物群落评价;社会服务功能评价包括供给功能评价、调节功能评价、支持功能评价与文化功能评价。

现行《全国河流健康评估指标、标准与方法》从水文水资源、河湖物理形态、水质、水生生物及河湖社会服务功能五方面建立河流健康评价指标体系;而《关于全面推行河长制的意见》明确了水资源保护、水域岸线管理保护、水污染防治、水环境治理、水生态修复和执法监管六方面任务。为加强河流健康评价对河长制工作和多元化3E水资源综合管理的决策支撑作用,本次河流健康评价指标遴选突出与研究区水生生态特点相适应、与河长制工作内容相结合、与《全国河流健康评估指标、标准与方法》相衔接的原则。

考虑到层次分析法(AHP)具有简单、灵活和实用的特点,且容易被基层技术人员掌握,特别是对多准则评价决策和难以完全定量分析的问题具有很强的适用性,本文采用层次分析法建立湟水干流西宁段河流健康评价的AHP递阶层次结构^[21]。目标层为湟水干流西宁段河流健康,准则层指标为水资源保护、水环境治理、水生态修复、水污染防治和水域岸线管理5类,指标层结合区域实际情况筛选出认可度较高、使用频次较多的指标,再根据指标表征含义去掉并列或者具有包含关系的指标,设置29项评价指标(定量指标22项,定性指标7项),覆盖河流自然生态功能、社会服务功能、河长制工作内容、多元化3E水资源综合管理等多个方面。

依托AHP层次结构,从目标层开始,依次以上一层指标为依据对下一层中与之相关指标通过两两比较,邀请不同行业专家按照指标的重要性标度值进行打分,从而建立判断矩阵,利用各指标权重体现不同评价指标作用的差异性^[11]。指标的重要性标度值见表1。

通过邀请专家利用层次分析法对准则层各个指标两两比较,得到准则层的指标判断矩阵见表2。经计算,准则层指标权重为 $W = (0.346\ 7, 0.111\ 4, 0.243\ 0, 0.138\ 5, 0.160\ 4)^T$,判断矩阵最大特征根 $\lambda = 5.091$, $CI = 0.022\ 7$, $CR = 0.020\ 3 < 0.1$,满足一致性检验。利用同样的方法邀请专家对指标层打分形

成指标层权重 w_{ij} ,这里不再赘述。本文提出湟水干流西宁段河流健康评价指标体系及各层级指标权重见表3。

表 1 层析分析法的指标重要性标值

判断矩阵元素标值	矩阵元素标值依据
1	指标 <i>i</i> 与指标 <i>j</i> 相比,影响同样重要
3	指标 <i>i</i> 与指标 <i>j</i> 相比, <i>i</i> 比 <i>j</i> 稍微重要
5	指标 <i>i</i> 与指标 <i>j</i> 相比, <i>i</i> 比 <i>j</i> 明显重要
7	指标 <i>i</i> 与指标 <i>j</i> 相比, <i>i</i> 比 <i>j</i> 强烈重要
9	指标 <i>i</i> 与指标 <i>j</i> 相比, <i>i</i> 比 <i>j</i> 极度重要
2,4,6,8	矩阵元素在相邻等级折中
倒数	指标 <i>i</i> 与指标 <i>j</i> 相比, <i>j</i> 更加重要时,矩阵元素取标值倒数
0	两者无影响,矩阵元素取0

1.2 河流健康评价模型

河流健康评价影响因素众多,因此采用层次分析法指标体系赋分模糊评价法对河流的健康状况进

表 2 准则层指标判断矩阵及权重

准则层指标	水资源保护	水环境治理	水生态修复	水污染防治	水域岸线管理	权重
水资源保护	1	3	2	2	2	0.3467
水环境治理	1/3	1	1/2	1	1/2	0.1114
水生态修复	1/2	2	1	2	2	0.2430
水污染防治	1/2	1	1/2	1	1	0.1385
水域岸线管理	1/2	2	1/2	1	1	0.1604

表 3 湟水干流西宁段河流健康评价指标体系及指标权重

目标层	准则层	指标层	指标特性	指标层权重	准则层权重
湟水干流西宁段河流健康	水资源保护	人均可利用水资源量 I_1	定量指标	0.0996	0.3467
		水资源开发利用率 I_2	定量指标	0.2576	
		用水总量控制红线达标率 I_3	定量指标	0.2765	
		农田灌溉水有效利用系数 I_4	定量指标	0.1261	
		水文化传承与保护 I_5	定性指标	0.0887	
		工业万元GDP用水量 I_6	定量指标	0.1516	
	水环境治理	水功能区水质达标率 I_7	定量指标	0.4181	0.1114
		水土流失治理率 I_8	定量指标	0.2497	
		悬移质输沙变化率 I_9	定量指标	0.2226	
		河道景观环境公众满意度 I_{10}	定量指标	0.1096	
	水生态修复	河道流量过程变异程度 I_{11}	定量指标	0.1919	0.2430
		枯水期河道生态流量保证程度 I_{12}	定量指标	0.3108	
		河道RBP _s 生境综合指数 I_{13}	定量指标	0.2357	
		鱼类保有指数 I_{14}	定量指标	0.1395	
		湿地减少率 I_{15}	定量指标	0.1220	
	水污染防治	入河口达标排放率 I_{16}	定量指标	0.0636	0.1385
		河流纳污能力 I_{17}	定性指标	0.1583	
		水质状况指数 I_{18}	定量指标	0.2346	
		COD污染状况 I_{19}	定量指标	0.1200	
		NH ₃ -N污染状况 I_{20}	定量指标	0.1200	
		面源污染程度 I_{21}	定性指标	0.1834	
		底泥污染程度 I_{22}	定性指标	0.1200	
	水域岸线管理	河道纵向连通性 I_{23}	定量指标	0.1661	0.1604
		河道横向连通性 I_{24}	定量指标	0.1130	
		河湖水系连通程度 I_{25}	定性指标	0.0897	
		河道防洪达标率 I_{26}	定量指标	0.2891	
		河岸带稳定性 I_{27}	定性指标	0.0964	
		河岸带植被覆盖率 I_{28}	定量指标	0.0886	
		河道水域岸线管理 I_{29}	定性指标	0.1571	

行评价^[5]。经对各层级评价指标赋分,利用指标权重逐级计算得到河流健康水平,计算公式为

$$R_{HL} = \sum_{i=1}^n w_i P_i \tag{1}$$

其中

$$P_i = \sum_{j=1}^m w_{ij} r_j$$

式中: R_{HL} 为河流健康水平; w_i 为准则层权重; P_i 为准则层赋分; w_{ij} 为准则层*i*下指标*j*权重; r_j 为各准则层下指标*j*赋分; m 为各准则层下分指标总数; n 为准则层指标个数。

指标层赋分采用直接打分模式,先根据资料数据和技术规范获取指标现状取值,再按指标分级赋分标准开展专家直接打分,考虑专家打分人为因素较强,故对所有专家打分值去掉最高分和最低分后取其均值表征该指标的综合得分。

河流健康评价采用百分制 5 级分值赋分模糊评价,对应设定 5 个评价等级和健康类型,健康水平集合可设为{很健康,健康,亚健康,不健康,很不健康},根据河流健康评价结果,考核河长业绩,识别人类活动对流域生态系统的影响范围和影响程度,揭示河流受损成因,并采取相应的治理措施。本文采用的河流健康评价等级、健康水平、赋分范围、预警颜色 and 对应措施见表 4。

1.3 评价指标赋分标准

重点参考《全国河流健康评估指标、标准与方法(办资源[2010]484 号)》《全国水生态文明城市评价标准(试行)》、GB 3838—2002《地表水环境质量标准》、SL 709—2015《河湖生态保护与修复规划导则》《水工程规划设计生态指标体系与应用指导意见》(水总环移[2010]248 号)、美国 RBP_s 生境评估标准^[22]等资料,结合湟水干流实际情况,从定性和定量两个方面对每个指标的赋分标准与范围标定了 5 个等级,各等级赋分阈值与河流健康水平一

致^[8,23-24]。本次提出湟水干流西宁段河流健康评价定量指标赋分标准见表 5,定性指标赋分标准见表 6。

2 模型应用

考虑到河流健康评价的动态性,本次将评价模型应用于 2018 年湟水干流西宁段河流健康评价,评价范围位于北纬 36°31′~37°46′,东经 100°34′~101°55′,东西长 48 km,南北宽 20 km,总面积 380 km²。所含行政区域包括城东区、城中区、城西区、城北区、海湖新区、西宁经济开发区(东川工业园区、甘河工业园区、南川工业园区、生物科技产业园区),评价区位置及范围见图 1。

评价采用的基础数据来源于《青海省西宁市湟水河“一河一策”实施方案》《青海省水资源公报》《湟水流域综合规划》《西宁市水生态文明城市建设试点实施方案》《西宁市年环境质量状态公报》《西宁市水污染防治工作方案》《西宁市全面推行河长制实施方案》等资料,1954—2018 年长系列径

表 4 河流健康评价模型及对应措施

评价等级	健康水平	R_{HI} 赋分范围	预警颜色	河长考核结果	河长应采取的行为措施
I	很健康	[80,100]	蓝	好	保持现状,适度监控评估
II	健康	[60,80)	绿	较好	选择性保护、修复、治理、管控、评估
III	亚健康	[40,60)	黄	一般	一定程度进行保护、修复、治理、管控、评估
IV	不健康	[20,40)	橙	较差	较大程度进行保护、修复、治理、管控、持续追踪评估
V	很不健康	[0,20)	红	差	重建、复原、仿自然改造、综合保护治理、持续追踪评估

表 5 河流健康评价定量指标赋分标准

评价等级	人均可利用水资源量/m ³	地表水资源开发利用率/%	用水总量控制红线达标率/%	农田灌溉水有效利用系数	工业万元 GDP 用水量/m ³	水功能区达标率/%	水土流失治理率/%	悬移质输沙变化率 ^① /%	河道景观环境公众满意度 ^②	河道流量过程变异程度 ^③	枯水期河道生态流量保证程度 ^④ /%
I	≥1500	≤20	95~100	≥0.6	≤30	95~100	≥30	≤5	80~100	≤0.05	≥40
II	1000~1500	20~30	90~95	0.55~0.6	30~50	80~95	20~30	5~8	60~80	0.05~0.1	30~40
III	500~1000	30~40	85~90	0.50~0.55	50~100	60~80	10~20	8~10	40~60	0.1~0.3	20~30
IV	300~500	40~50	80~85	0.45~0.5	100~150	40~60	5~10	10~12	20~40	0.3~1.5	10~20
V	≤300	≥50	≤80	≤0.45	≥150	≤40	≤5	≥12	≤20	≥1.5	≤10

评价等级	河道 RBP _s 生境综合指数 ^⑤	鱼类保有指数 ^⑥	湿地减少率 ^⑥ /%	入河口达标排放率/%	水质状况指数 ^⑦ /%	COD 污染状况/(mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N 污染状况/(mg·L ⁻¹)	河道纵向连通性 ^⑧ /个	河道横向连通性 ^⑧ /%	河道防洪达标率 ^⑨ /%	河岸带植被覆盖率/%
I	≥150	≥0.85	≥30	90~100	≥80	≤15	≤0.15	≤0.3	90~100	≥95	≥95
II	120~150	0.75~0.85	20~30	80~90	60~80	15~17.5	0.15~0.5	0.3~0.6	80~90	90~95	80~95
III	90~120	0.6~0.75	15~20	70~80	40~60	17.5~20	0.5~1.0	0.6~0.9	60~80	85~90	65~80
IV	60~90	0.25~0.6	10~15	50~70	20~40	20~30	1.0~1.5	0.9~1.2	40~60	70~85	40~65
V	≤60	≤0.25	≤10	≤50	≤20	≥30	≥1.5	≥1.2	≤40	≤70	≤40

注:①悬移质输沙变化率反映了河流水沙条件变化以及泥沙淤积对河流生态环境功能的影响,按照文献[11]公式计算;②河道公众满意度调查对象为沿河居民、河道管理者、生产活动者与旅游者,对不同公众对象发放问卷,统计平均打分值,并考虑公众类型权重计算公众满意度指标综合赋分,从而评价公众对河流生态景观、水质环境、亲水平台、文化美学、感官享受等方面的满意程度,本次考虑沿河居民、河道管理者、生产活动者与旅游者的公众类型权重分别是 0.40、0.25、0.20、0.15;③流量变异程度根据西宁水文站实测径流与天然径流资料参考文献[18]计算;④河道生态基流采用 Tennant 法计算,以评估年枯水期(11 月至翌年 3 月)日径流量占多年平均流量的最低百分比表示河道生态流量保证程度;⑤河道 RBP_s 生境综合指数以美国 RBP_s 生境评估标准通过对 10 个生境参数打分评价;⑥鱼类保有指数和湿地减少率均以 1980 年统计数据为比较标准^[25];⑦水质状况指数等于Ⅲ类及以上水质监测断面数除以全部监测断面数;⑧河道纵向连通性和河道横向连通性采用《水工程规划设计生态指标体系与应用指导意见》推荐方法进行定量计算,河道纵向连通性用每 100 km 阻隔物的个数表示;⑨防洪达标率指河道沿线达到设计防洪标准的河段长度占评价区域河道总长的比例,反映了蓄滞洪区建设、堤防及河道治理情况。

表 6 河流健康评价定性指标赋分标准

评价等级	水文化传承与保护 I_5	河流纳污能力 I_{17}	面源污染程度 I_{21}	底泥污染程度 I_{22}	河湖水系连通程度 I_{25}	河岸带稳定 I_{27}	河道水域岸线管理 I_{29}
I	民众知晓河流历史文化,水文化硬工程体系和软工程体系非常完善	河流污染物综合衰减能力强、污染负荷控制能力和自我净化能力强	化肥农药和农村分散式畜禽污染比例小于20%,控制措施完备	不存在底泥污染,对河段水质无影响,不存在黑臭水体	河湖整体水力连通性好,水量调配灵活可控,水面面积增加显著	河岸稳定,河势稳定,治理程度高,无明显侵蚀	水域岸线用途管控和生态岸线保护措施非常完整,河道管理范围非常明确
II	民众了解河流历史文化,水文化硬工程体系和软工程体系较完善	河流污染物综合衰减能力相对强、有一定的污染负荷控制能力和自我净化能力	化肥农药和农村分散式畜禽污染比例20%~30%,控制措施较完备	基本无底泥污染,对河段水质有轻微影响,几乎不存在黑臭水体	河湖整体水力连通性较好,水量可调配,水面面积增加较显著	河岸较稳定,河势较稳定,少量区段存在侵蚀,侵蚀率小于20%	水域岸线用途管控和生态岸线保护措施较完整,河道管理范围明确
III	民众对河流历史文化略知,水文化硬工程体系和软工程体系一般	河流污染物综合衰减能力一般、污染负荷控制能力和自我净化能力一般	化肥农药和农村分散式畜禽污染比例30%~50%,控制措施一般	存在轻微的底泥污染,对河段水质影响一般,黑臭水体偶尔出现	河湖整体水力连通性一般,水量调配尚可,水面面积增加不显著	河岸较不稳定,河势较不稳定,中度侵蚀,侵蚀率20%~50%	水域岸线用途管控和生态岸线保护措施一般,河道管理范围较明确
IV	民众不了解河流历史文化,水文化硬工程体系和软工程体系较缺乏	河流污染物综合衰减能力较差、基本失去污染负荷控制能力,自我净化能力一般	化肥农药和农村分散式畜禽污染比例50%~70%,控制措施不完备	存在一定的底泥污染,对河段水质影响较大,黑臭水体频繁出现	河湖整体水力连通性较差,水量调配灵活性较差,水面面积不增加	河岸不稳定,河势不稳定,侵蚀率50%~80%,洪水时存在风险	水域岸线用途管控和生态岸线保护措施较欠缺,河道管理范围模糊
V	民众不了解河流历史文化,水文化硬工程体系和软工程体系缺失	河流污染物综合衰减能力差、不具备污染负荷控制能力,自我净化能力差	化肥农药和农村分散式畜禽污染比例大于70%,控制措施缺失	存在严重的底泥污染,对河段水质影响显著,黑臭水体一直存在	河湖整体水力连通性差,水量调配灵活性差,水面面积萎缩	河岸极不稳定,河势变化显著,侵蚀率大于80%,洪水时威胁极大	水域岸线用途管控和生态岸线保护措施欠缺,河道管理范围未划定

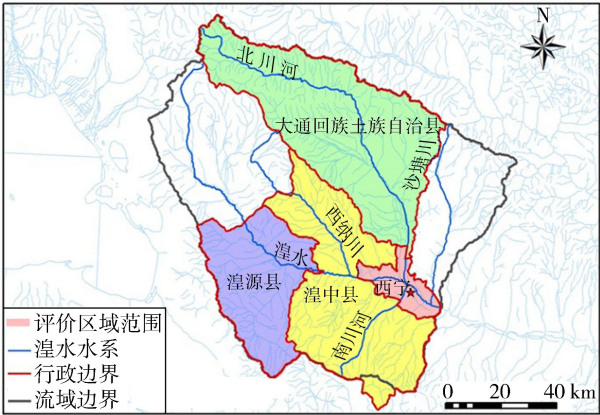


图 1 评价区位置及范围

流资料由青海省水文水资源勘测局提供。定性指标数据主要在以上资料收集和实地考察的基础上征询相关专家意见得出。

利用指标体系和评价模型对研究区河流健康指数进行评价,河流健康评价指标层赋分结果见图 2,河流健康评价综合结果见图 3。准则层中水资源保护 60 分,水环境治理 65 分,水生态修复 54 分,水污染防治 35 分,水域岸线管理 63 分,综合计算该评价区域河流健康得分 56 分,评价等级为Ⅲ级,属亚健康水平,达到黄色预警。针对本次评价结果,河长应在一定程度上组织对该段河流进行保护、修复、治理、管控和评估。

评价指标中“水资源开发利用率”“水功能区水质达标率”“鱼类保有指数”“河流纳污能力”“水质

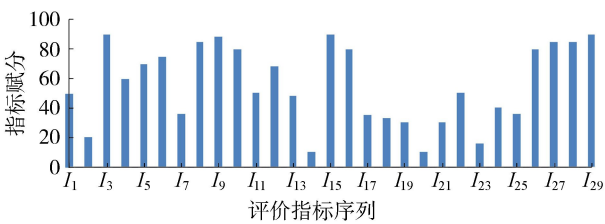


图 2 河流健康评价指标层赋分

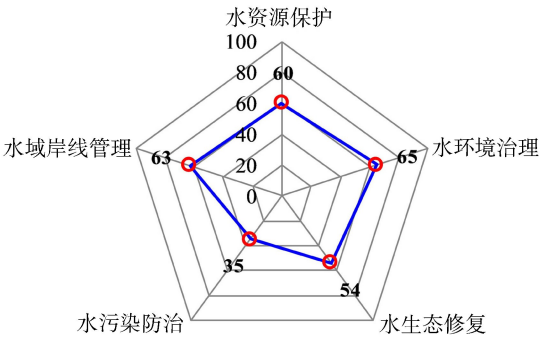


图 3 河流健康综合评价结果

状况指数”“COD 污染状况”“NH₃-N 污染状况”“面源污染程度”“河道纵向连通性”“河道横向连通性”“河湖水系连通程度”等 11 项评价指标赋分较低,是影响河流健康的主要因子,特别在水污染防治和水生态修复方面亟须进一步加强。针对评价河段健康状态及其主要影响因素,建议:①统筹协调区域水资源保护和水污染防治工作,编制和落实水污染防治规划,强化区域水功能区监督和考核,实施入河排污口分级管理制度,完善水质监测网络体系;②建立

健全多部门治污联防联控机制,合理调整南川工业园区、东川工业园区、生物科技产业园区等工业布局,加大生产废水和生活污水综合处理站建设和中水回用工程建设,加快引大济湟灌区农业面源污染防治示范基地建设,大力推行农村清洁养殖,严格控制畜禽养殖污染排放;③进一步明确河道生态岸线,对受损严重栖息地进行适当修复,确保其生态用水和生境连通需求,加大河湖水系连通工程建设,倡导绿色小水电建设,确保河流生态系统健康底线和服务功能完整。

3 结 语

开展河流健康评价是河流管理与修复的基础性工作,有利于促进生态保护与水资源可持续利用。本文针对河流健康评价筛选了5类29项评价指标,确定了评价指标赋分标准与准则,基于河长制工作任务,利用层次分析法尝试建立了适合湟水干流西宁段的河流健康评价模型。通过模型实例应用,研究区河流健康评价综合得分56分,评价等级为Ⅲ级,属亚健康水平,达到黄色预警。该模型与方法可以满足研究区河流健康评价的需求,但如何结合“一河一档”“一河一策”,选择更加普适性的指标体系、指标权重和赋分标准,在不同空间尺度和时间尺度开展流域单元动态健康评价与水资源调控研究工作,仍需进一步研究。今后工作中要结合新时期“水利工程补短板,水利行业强监管”的具体要求,进一步加强河长制工作,探索河长制管理与河流健康评估“一张网、一张图、一套基础数据、一个门户”的深度融合,突出水资源调控和河湖生态环境监管深度耦合,确保河流自然生命健康和服务功能完整。

参考文献:

[1] 董哲仁. 国外河流健康评估技术[J]. 水利水电技术, 2005, 36 (11): 15-19. (DONG Zheren. Foreign river health assessment technology[J]. Water Conservancy and Hydropower Technology, 2005, 36 (11): 15-19. (in Chinese))

[2] 文伏波, 韩其为, 许炯心, 等. 河流健康的定义与内涵[J]. 水科学进展, 2007, 18 (1): 140-150. (WEN Fubo, HAN Qiwei, XU Jiongxin, et al. Definition and connotation of river health[J]. Advances in Water Science, 2007, 18 (1): 140-150. (in Chinese))

[3] 冯文娟, 李海英, 许立刚, 等. 河流健康评价: 内涵、指标、方法与尺度问题探讨[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34 (3): 34-39. (FENG Wenjuan, LI Haiying, XU Ligang, et al. River health assessment: intension, indexes, methods and scales[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34 (3): 34-39. (in Chinese))

[4] 蔡守华, 胡欣. 河流健康的概念及指标体系和评价方法[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28 (1): 23-27. (CAI Shouhua, HU Xin. Concept of river health and index system for its evaluation[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28 (1): 23-30. (in Chinese))

[5] 吴阿娜. 河流健康评价: 理论、方法与实践[D]. 上海: 华东师范大学, 2008.

[6] 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. (DENG Xiaojun, XU Youpeng, ZHAI Luxin, et al. Establishment and application of the index system for urban river health assessment[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34 (4): 993-1001. (in Chinese))

[7] 高凡, 蓝利, 黄强. 变化环境下河流健康评价研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2017, 37 (6): 81-87. (GAO Fan, LAN Li, HUANG Qiang. Advances on evaluation of river health in changing environments[J]. Advance in Science and Technology of Water Resources, 2017, 37 (6): 81-87. (in Chinese))

[8] 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 (5): 394-404. (PENG Wenqi. Retrospect and prospect of structural materials research in hydropower projects[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2018, 16 (5): 394-404. (in Chinese))

[9] 王乙震, 郭书英, 崔文彦. 基于水功能区划的河湖健康内涵与评估原则[J]. 水资源保护, 2016, 32 (6): 136-141. (WANG Yizhen, GUO Shuying, CUI Wenyan. Connotations of river and lake health and assessment principles based on water function regionalization[J]. Water Resources Protection, 2016, 32 (6): 136-141. (in Chinese))

[10] 唐新玥, 唐德善, 常文倩, 等. 基于云模型的区域河长制考核评价模型[J]. 水资源保护, 2019, 35 (1): 41-46. (TANG Xinyue, TANG Deshan, CHANG Wenqian, et al. Evaluation model of regional river chief system based on cloud model[J]. Water Resources Protection, 2019, 35 (1): 41-46. (in Chinese))

[11] 尤庆国, 郭利君. 玉溪市抚仙湖管理保护的问题及建议[J]. 水利经济, 2019, 37 (4): 32-35. (YOU Qingguo, GUO Lijun. Problems and suggestions on management and protection of Fuxian Lake in Yuxi City[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2019, 37 (4): 32-35. (in Chinese))

[12] 翟晶, 徐国宾, 郭书英, 等. 基于协调发展度的河流健康评价方法研究[J]. 水利学报, 2016, 47 (11): 1465-1471. (ZHAI Jing, XU Guobin, GUO Shuying et al. Research on river health assessment method based on coordinated development degree[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47 (11): 1465-1471. (in Chinese))

[13] 苏辉东, 贾仰文, 牛存稳, 等. 河流健康评价指标与权重分配的统计分析[J]. 水资源保护, 2019, 35 (6): 138-

144. (SU Huidong, JIA Yangwen, NIU Cunwen, et al. Statistical analysis of river health assessment indicators and weight distribution[J]. Water Resources Protection, 2019,35(6):138-144. (in Chinese))
 - [14] 徐宗学,顾晓昀,刘麟菲.渭河流域河流健康调查与评价[J].水资源保护,2018,34(1):1-7. (XU Zongxue, GU Xiaoyun, LIU Linfei. Investigation and assessment on river health of Weihe River Basin[J]. Water Resources Protection,2018,34(1):1-7. (in Chinese))
 - [15] 魏春风.松花江干流河流健康评价研究[D].长春:中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所),2018.
 - [16] 粟一帆,李卫明,艾志强,等.汉江中下游生态系统健康评价指标体系构建及其应用[J].生态学报,2019,39(11):3895-3907. (SU Yifan, LI Weiming, AI Zhiqiang, et al. Establishment and application of the index system for health assessment of the middle and lower reaches of the Hanjiang River[J]. Acta Ecologica Sinica,2019,39(11):3895-3907. (in Chinese))
 - [17] 王勤花,尉永平,张志强,等.干旱半干旱地区河流健康评价指标研究分析[J].生态科学,2015,34(6):56-63. (WANG Qinhua, WEI Yongping, ZHANG Zhiqiang, et al. Research on river health evaluation indicators study in arid and semi-arid areas[J]. Ecological Science,2015,34(6):56-63. (in Chinese))
 - [18] 张海滨,尹鑫,李伟.我国河湖生态流量保障对策体系研究[J].水利经济,2019,37(4):13-16. (ZHANG Haibin, YIN Xin, LI Wei. System of ecological flow safeguard measures for rivers and lakes in China[J]. Journal of Economics of Water Resources,2019,37(4):13-16. (in Chinese))
 - [19] 包晓斌.流域生态红线管理制度建设[J].水利经济,2019,37(4):5-8. (BAO Xiaobin. Watershed eco-red line management system in China[J]. Journal of Economics of Water Resources,2019,37(4):5-8. (in Chinese))
 - [20] FANG Hongyuan, GAN Shengwei, XUE Chenying. Evaluation of regional water resources carrying capacity based on binary index method and reduction index method[J]. Water Science and Engineering, 2019, 12 (4): 263-273.
 - [21] 李传哲,于福亮,秦大庸,等.基于层次分析法的河流健康模糊综合评价[J].水利水电科技进展,2005,25(增刊1):24-27. (LI Chuanzhe, YU Fuliang, QIN Dayong, et al. Comprehensive evaluation of river health based on analytic hierarchy process[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2005,25(Sup1):24-27. (in Chinese))
 - [22] BARBOUR M T, GERRITSEN J, SNYDER B D, et al. Rapid bio-assessment protocols for use in stream and wadeable river: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish[M]. 2nd. Washington, D. C.: Office of Water, U. S. EPA,1999.
 - [23] 林嘉璐.河长制下河流健康评价及应用[D].郑州:华北水利水电大学,2019.
 - [24] 赵钟楠,张越,黄火键,等.基于问题导向的水生态文明概念与内涵[J].水资源保护,2019,35(3):84-88. (ZHAO Zhongnan, ZHANG Yue, HUANG Huojian, et al. Concept and connotation of aquatic ecological civilization based on problem orientation [J]. Water Resources Protection,2019,35(3):84-88. (in Chinese))
 - [25] 李云成,王瑞玲,娄广艳.湟水流域水生态保护与修复研究[J].水生态学杂志,2017,38(6):11-18. (LI Yuncheng, WANG Ruiling, LOU Guangyan. Overall framework of water ecological protection and restoration in Huangshui River Basin [J]. Journal of Hydro-ecology, 2017,38(6):11-18. (in Chinese))
- (收稿日期:2020-02-06 编辑:彭桃英)

(上接第8页)

- [9] 朱正伟,周红坊,马一丹,等.面向新工业革命的工科教师专业发展新阐释[J].高等工程教育研究,2019(2):79-85. (ZHU Zhengwei, ZHOU Hongfang, MA Yidan, et al. A new explanation of the professional development of engineering teachers in the new industrial revolution[J]. Research in Higher Education of Engineering,2019(2):79-85. (in Chinese))
- [10] 李悦池.创新工程教师培养模式:美国“星辰”项目的经验及启示[J].中国高教研究,2019(1):91-96. (LI Yuechi. Innovative engineering teacher cultivation model: experienceand enlightenment of Star Project in America [J]. Research in Higher Education of Engineering, 2019 (1):91-96. (in Chinese))
- [11] 江爱华,施大宁,易洋,等.新工科背景下的教师跨界发展:概念模型、工作机制和实施路径[J].高等工程教育研究,2019(4):46-51. (JIANG Aihua, SHI Daning, YI Yang, et al. Teachers trans-boundary development in the context of emerging engineering education: conceptual model, working mechanism and implement approaches [J]. Research in Higher Education of Engineering, 2019 (4):46-51. (in Chinese))
- [12] 赵炬明.助力学习:学习环境与技术[J].高等工程教育研究,2019(2):7-25. (ZHAO Juming. Support learning: learning environment and educational technology [J]. Research in Higher Education of Engineering, 2019 (2):7-25. (in Chinese))
- [13] 赵炬明,高筱卉.关注学习效果:建设全校统一的教学质量保障体系[J].高等工程教育研究,2019(3):5-19. (ZHAO Juming, GAO Xiaohu. Align with learning outcomes: construct a unified educational quality assurance system [J]. Research in Higher Education of Engineering,2019(3):5-19. (in Chinese))

(收稿日期:2020-10-23 编辑:熊水斌)