

Study on Evaluation Index System Establishment and Health Assessment of Qijiang River

Hui Peng, Hao Xu

The Upper Yangtze River Survey Bureau of Hydrology and Water Resources, Changjiang Water Resources Commission, Chongqing
Email: phui83@126.com

Received: Mar. 18th, 2016; accepted: Mar. 30th, 2016; published: Apr. 12th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The study of river health assessment plays an important role in the management and protection of river environment. In this paper, a comprehensive evaluation method based on analytic hierarchy process (AHP) was used to study the health assessment of Qijiang River in Chongqing, the first-grade tributary of the Yangtze River. The weight of evaluation index and the characteristic value of the index standard had been determined. Meanwhile, 13 indicators from hydrology-water resources, water environment, aquatic conditions and social service functions had been used to characterize the health of the river. The results showed that the water body of Qijiang was basically in a state of health. In the 13 evaluation indexes, the ecological flow satisfaction degree, the river connectivity barrier status, the pollution index performance index, the index of the integrity of the benthic animal and the integrity index of the fish were relatively low. Meanwhile, due to the construction of the Qijiang Shang Shui, blocking the route of migratory fish, fragmentation phenomenon appears in the river fish ecology system and large bottom dwelling animals' complete index is also affected. Most of the water conservancy projects also should set ecological water drainage facilities; the middle pollution and human interference are slightly worse; emissions of COD and ammonia nitrogen are larger, which all need to further strengthen management.

Keywords

Qijiang River, Evaluation System, Establishment, River Health, Assessment

綦江评价指标体系构建和健康评价研究

彭辉, 徐浩

作者简介: 彭辉(1983-), 硕士, 女, 工程师, 主要从事水环境监测及评价工作。

文章引用: 彭辉, 徐浩. 綦江评价指标体系构建和健康评价研究[J]. 水资源研究, 2016, 5(2): 120-126.
<http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2016.52015>

长江水利委员会水文局长江上游水文水资源勘测局, 重庆
Email: phui83@126.com

收稿日期: 2016年3月18日; 录用日期: 2016年3月30日; 发布日期: 2016年4月12日

摘要

河流健康评价研究对河流环境的治理与保护工作具有重要的指导作用。本文采用基于层次分析法的综合评价方法,对长江一级支流重庆市綦江进行了河流健康评价研究。在确定了评价指标权重与指标标准特征值的前提下,尝试从水文水资源、水环境状况、水生生物状况、社会服务功能四个方面共13个指标,表征河流的健康状况。结果表明,綦江水体基本处于健康状态。13个评价指标中,生态流量满足程度、河流连通阻隔状况、纳污性能指数、大型底栖动物完整性指数、鱼类完整性指数得分相对较低。与此同时,由于綦江上水工建筑的兴建,阻断了鱼类洄游的路线,造成河段鱼类生态系统出现片段化现象,大型底栖动物完整性指数也受到影响。綦江上大多数水利工程还需要设置生态水量放水设施,另外綦江中段污染和人类活动的干扰稍微严重,化学需氧量和氨氮的排放量较大,需要进一步加强管理。

关键词

綦江, 评价体系, 构建, 河流健康状况, 评估

1. 引言

目前,国内外关于河流健康的评估办法有预测模型法和指标评价法。预测模型法是通过单一物种对河流健康状况进行比较评价,此方法忽略了河流的社会功能;指标评价方法是设置多个评价指标综合评价河流健康[1]。确定各指标权重的方法有专家咨询法、层次分析法、相关系数法、主成分分析法等。层次分析法的主要特征是,它合理地将定性与定量的决策结合起来,按照思维、心理的规律把决策过程层次化、数量化。在计算分析方法方面,模糊综合评价方法、系统熵指标分析方法、可拓评价方法等为河流健康评价体系提供了计算工具。早期的河流健康研究中,更多的集中于河湖或者河段的评估,而随着对河流健康研究的深入,逐渐向整个流域发展,不仅包括非城市河段而且涵盖城市河段。河流健康评估也逐渐向评价方法的实用性方面发展,指标体系的建立、评估方法和标准的建立都需要经过不断的探讨和摸索。随着研究的深入,无论是国外还是我国国内,对河湖健康评估的研究已经逐渐从健康评估的理论研究向流域管理方面推进。

綦江是长江上游右岸的一级支流,发源于乌蒙山西北麓贵州省桐梓县北大娄山系,流经重庆市綦江县,于江津区仁沱镇顺江村汇入长江。流域处于贵州省北部和重庆市西南部,位于东经 $106^{\circ}19' \sim 107^{\circ}15'$ 、北纬 $28^{\circ}11' \sim 29^{\circ}18'$,地跨贵州省桐梓县、习水县和重庆市綦江县、江津区、南川区、万盛区、巴南区等7个区县。綦江干流全长 225 km,落差 1377.5 m,平均比降 6.12%。全流域面积 7020 km²。根据重庆市水利局《关于开展重庆市綦江健康评估(试点)工作的通知》(渝水资源[2012]8号文),现对綦江开展重庆市河流健康评估试点工作,通过綦江健康状况的评估,以有效、合理利用綦江水资源、保护流域整体生态安全,为綦江经济可持续发展与和谐人居环境留下健康的綦江具有十分重要的意义。

2. 綦江健康状况表征

联系河流健康状况内涵与评价技术的重要纽带是对河流健康状况的准确表征,而河流健康评价指标体系的构建对河流健康状况的表征至关重要。我们结合綦江特点及国内外相关研究[1]-[5],从水文水资源、水环境状况、

水生生物状况、社会服务功能四个方面，构建綦江健康评价指标体系。

2.1. 水文水资源表征因子

水文水资源表征因子包括：流量过程变异程度(FD)；生态流量满足程度(EF)和河流连通阻隔状况(RC)。而：流量过程变异程度(FD)是反映评估河段监测断面以上流域水资源开发利用对评估河段河流水文情势的影响程度，其计算方法用评估年逐月实测径流量与天然月径流量的平均偏离程度表达，即：

$$FD = \left\{ \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{q_m - Q_m}{Q_m} \right)^2 \right\}^{1/2}, \quad \bar{Q}_m = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} Q_m \quad (1)$$

式中： q_m 为评估年实测月径流量，为 Q_m 评估年天然月径流量， \bar{Q}_m 为评估年天然月径流量年均值，天然径流量是按照水资源调查评估相关技术规划得到的还原量。

生态流量满足程度(EF)是指为维持河流生态系统的不同程度的生态系统结构、功能而必须维持的流量过程，采用最小生态流量进行表征，指标表达式为：

$$EF1 = \min \left[\frac{q_d}{\bar{Q}} \right]_{m=4}^9, \quad EF2 = \min \left[\frac{q_d}{\bar{Q}} \right]_{m=10}^3 \quad (2)$$

式中： q_d 为评估年实测径流量， \bar{Q} 为多年平均径流量， $EF1$ 为 4~9 月份日径流量占多年平均流量的最低百分比； $EF2$ 为 10~3 月份日径流量占多年平均流量的最低百分比。基于水文方法确定生态基流时，分别计算 $EF1$ 和 $EF2$ 赋分，取其中赋分最小值为本指标最终赋分。

河流连通阻隔状况(RC)指标主要考虑河道设施在河流整体连通状况下(相对于自然条件)对鱼类等水生生物迁移的阻隔情况。 RC 对评估断面下游河段每个闸坝按照阻隔分类分别赋分，然后取所有闸坝的最小赋分，在此按照下式计算评估断面以下河流纵向连续性赋分：

$$RCr = 100 + \text{Min} \left[(DAMr)_i, (GATREr)_j \right] \quad (3)$$

式中： RCr 为河流连通阻隔状况赋分； $(DAMr)_i$ 为评估断面下游河段大坝阻隔赋分($i = 1, \text{NDam}$)， NDam 为下游大坝座数； $(GATREr)_j$ 为评估断面下游河段水闸阻隔赋分($j = 1, \text{NGate}$)， NGate 为下游水闸座数。

2.2. 水环境状况表征因子

水环境状况表征因子包括：溶解氧(DO)、耗氧有机物污染状况(OCP)、纳污性能指标和重金属污染状况(HMP)。

水中溶解氧(DO)的多少是衡量水体自净能力的一个指标，过高和过低的溶解氧对水生生物均造成危害。 DO 水质状况指标表达式采用全年 12 个月月均浓度，按照汛期和非汛期进行平均计算，分别评估汛期与非汛期赋分，取其最低赋分为该指标的赋分。

耗氧有机物本身不具毒性，但污染物超过一定浓度，可使水质恶化，因此耗氧有机物是指示水体污染程度的重要指标。耗氧有机物污染状况(OCP)选用高锰酸盐指数(COD_{Mn})、化学需氧量(COD)、五日生化需氧量(BOD_5)和氨氮(NH_3-N)四个水质项目赋分的平均值作为 OCP 赋分，赋分方式与 DO 水质状况赋分相同。

一个水体、水系或流域接纳的 COD 的总量必须在它的自净能力(容量)范围之内，水质才能保持在良好状态下。因此，河流健康不仅只针对河流现在呈现的状态，还应包括河流抵御污染的能力大小，所以河流本身的纳污能力及恢复能力对于河流自身健康与否至关重要。在此我们选取化学需氧量，氨氮两项水质项目，对每个项目计算纳污能力，根据监测数据得到污染物年排放量，计算每个项目的纳污性能指数，采用两个项目的纳污性能指数的算术平均值作为该项指标的最终赋分。根据《水域纳污能力计算规程》，纳污性能指数 = 某污染物的年排放量/该污染物的纳污能力。

重金属对局域水体的污染已成为重要的环境污染问题，不仅影响水资源的有效利用，而且对公众健康产生极大影响。重金属污染状况(HMP)指标按照单因子判别法原则，分别选取汞、镉、铬、铅及砷五个水质项目最低赋分作为 HMP 指标赋分，赋分方式与 DO 水质状况赋分相同。

2.3. 水生生物状况表征因子

大型无脊椎动物的河流健康评价方法分为单一生物指数、多样性指数和多指标指数，而应用基于大型底栖无脊椎动物的多指标指数进行河流健康评价是目前主流评价方法。结合研究区域特点及研究目标，我们选取反映群落丰富度、群落组成、摄食功能群、污染程度和物种多样性五大类共 27 个指标进行 B-IBI 评估。

因为鱼类一般个体较大，捕获相对容易，种类丰富，活动能力强，所以一直是水生生物研究的焦点。在 Karr (1981)应用基于鱼类的生物完整性指数(IBM)评价了美国中西部地区河流健康状况以后，应用和发展生物完整性指数成为基于鱼类河流健康评价的主流。我们结合区域特点及研究目标，选取反映群落种类组成和丰度参数、营养结构参数、耐受性参数、繁殖共位群参数、健康状况五大类共 19 个指标进行 F-IBI 评估。

在正常水体中，浮游藻类群落结构是相对稳定的。当水体受到污染后，群落中不耐污染的敏感种类往往会减少或消失，而耐污种类的个体数量则大大增加。污染程度不同，减少或消失的种类不同，耐污种类的个体数量增加也有差异。在此我们采用香农 - 威纳多样性指数对綦江中的浮游植物的生态学特征进行分析评价。

2.4. 社会服务功能表征因子

河流健康的核心是河流水质的的好坏，因此对河流水质综合污染状况进行评价至关重要。利用水功能区水质达标率来评价不仅省时省力，而且又能达到对河流水质进行综合评价的目的。水功能区水质达标率是指对评估河流包括的水功能区按照《地表水资源质量评价技术规程》(SL 395-2007)规定的技术方法确定的水质达标个数比例，其中：评估年内水功能区达标次数占评估次数的比例大于或等于 80%的水功能区确定为水质达标水功能区；评估河流达标水功能区个数占其区划总个数的比例为评估河流水功能区水质达标率。水功能区水质达标率指标赋分计算公式为：

$$WFZr = WFZP \times 100 \quad (4)$$

式中：WFZr 为评估河流水功能区水质达标率指标赋分，WFZP 为评估河流水功能区水质达标率。

河流开发利用是保障社会经济健康发展的重要基础，但过度开发会使河流的“生命”受到威胁。一条没有资源可利用的河流不能称为具有“健康生命”的河流。国际上公认的水资源开发利用率合理限度为 30%~40%，即使是充分利用雨洪资源，开发程度也不应高于 60%。根据国际公认的标准，水资源开发利用率指标赋分模型呈抛物线，在 30%~40%为最高赋分区，过高(超过 60%)和过低(0%)开发利用率均赋分为 0。河流开发利用赋分公式为：

$$WRUr = a \times (WRU)^2 + b \times (WRU) \quad (5)$$

式中：WRUr 为水资源利用率指标赋分，WRU 为评估河段水资源利用率，a、b 为系数，分别为 $a = -1111.11$ ， $b = 666.67$ 。

而水资源开发利用率计算公式为：

$$WRU = WU / WR \quad (6)$$

式中：WRU 为评估河流流域水资源开发利用率，WR 为评估河流流域水资源总量，WU 为评估河流流域水资源开发利用量。

公众满意度是反映公众对评估河流景观、美学价值等的满意程度。该指标采用公众参与调查统计的方法进行，即让沿河居民、河道管理者、河道周边从事生产活动的居民、旅游来河道的人参与对河流水量、水质、河

滩地状况、鱼类状况的评估。所以，公众满意度是公众对河流适宜性的评估，以及公众根据上述方面认识及其对河流的预期所给出的河流状况总体评估。

3. 綦江健康评价方法及评价结果

綦江健康评价指标体系设计为递阶层次结构，分别为目标层、准则层和指标层[6]-[9]，其中权重设计采用层次分析法(Analytical Hierarchy Process, AHP)结合专家打分完成。指标层各指标赋分情况见表 1，綦江健康评价指标权重及得分见表 2。

Table 1. The score standard of health index system for Qijiang river

表 1. 綦江健康指标体系赋分标准

	100 分	75 分	50 分	25 分	0 分
流量过程变异程度(%)	0.05	0.10	0.30	2.0	5.0
生态流量满足程度((10~3 月)%)	≥60	35	16.5	10	<10
河流连通阻隔状况	无阻隔	有鱼道，且正常运行	有鱼道，部分正常运行	无鱼道，有部分阻隔	迁移通道完全阻隔
DO 水质状况(mg/L)	7.5	6.0	4.5	3.0	0.0
耗氧有机物污染状况(CODcr (mg/L))	15	18	23	31	40
重金属污染状况(砷(mg/L))	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10
纳污能力指数	<0.8	1.0	1.2	1.5	>1.5
大型底栖动物完整性指数	2.50	1.86	1.27	0.62	0.003
鱼类完整性指数	≥21	16	11	5	<5
浮游植物多样性指数	≥3.0	2.0	1.5	1.0	<1.0

Table 2. The weightiness and score of Qijiang river health evaluation indicators

表 2. 綦江健康评价指标权重及得分

目标层	亚层	权重	准则层	权重	河流指标层	权重	指标层得分	准则层得分	綦江得分
河流健康综合指数	水文水资源	0.33	0.33	流量过程变异程度	0.33	94.3	69.4	69.4	74.9
				生态流量满足程度	0.33	37.7			
				河流连通阻隔状况	0.33	76.2			
	水环境状况	0.33	0.33	DO 水质状况	0.33	96.1	82.0	82.0	74.9
				耗氧有机污染状况	0.33	97.1			
				重金属污染状况	0.33	99.4			
				纳污性能指数	0.33	82.0			
	水生生物状况	0.33	0.33	大型底栖动物完整性指数	0.40	68.5	69.7	69.7	69.7
				鱼类完整性指数	0.50	68.0			
				浮游植物多样性指数	0.10	82.5			
社会服务功能	0.30	社会服务功能	水功能区水质达标率	0.33	84.4	77.6	77.6	77.6	
			水资源开发利用指标	0.33	76.0				
			公众满意度指标	0.33	72.3				

4. 綦江评价结果分析

按照河流健康评估分级方法(赋分值在: 0~20 为病态, 20~40 为不健康, 40~60 为亚健康, 60~80 为健康, 80~100 为理想状况), 綦江健康状况评价等级为健康, 详细结果分析如下:

1) 水文水资源准则层

水文水资源准则层最终评定为健康。由于水利工程的兴建, 使綦江流域内的水文水资源格局发生变化, 虽然经过还原计算后流量过程变异程度较小, 但生态需水满足程度却偏差, 经过本次对綦江河上水利工程的统计发现, 大多数水利工程未设置生态水量放水设施, 由于水库需蓄水满足其服务功能, 很少往下游放水, 导致大坝下游形成不同程度的脱水河段。同时, 水工建筑的兴建阻断了鱼类洄游的路线, 使得河段鱼类生态系统出现片段化现象, 鱼类种类组成和渔获物结构及渔获量在不同的河段有明显差异。这些因素也反映在水生生物状况准则层中, 大型底栖动物完整性指数和鱼类完整性指数两个指标与浮游植物多样性指数相比, 得分都偏低。

2) 水环境状况准则层

綦江水质现状以 II、III 类水质标准为主, 总体水质较好。水环境状况评价是以溶解氧、耗氧有机污染、重金属污染状况和纳污性能指数 4 个评估指标的最小分值作为水质层赋分值。废水中化学需氧量和氨氮的排放量较大, 对河流污染相对比较严重, 直接决定水环境状况准则层赋分值。

3) 水生生物状况准则层评定为健康

綦江上游河流生境保护较好, 受人为干扰较少, 河流底质大多为卵石或者圆石, 在采样河段没有发现采沙场, 河流生境主要以深潭与浅滩交替, 流速较快。綦江中游多处出现采沙场, 居民也较为集中, 流速较缓慢, 底质有淤泥出现, 部分河段受人为干扰严重, 如綦江中段赶水镇到三江镇沿线, 水生生物健康状况不甚理想, 为亚健康状态, 说明河流受人类活动干扰强烈, 生活垃圾的增加会对河流健康状况造成影响。綦江下游主要为深水区, 底质多为淤泥, 部分河段河流生境较好, 底质为卵石。綦江下游河段建有水电站, 水利水电的建设, 改变了原有的生境状况, 加强了水坝的隔离效应, 降低了鱼类的多样性指数和完整性指数, 导致河流健康状况相对较差。

4) 社会服务功能准则层

社会服务功能准则层评定为健康。其中水功能区水质达标率、水资源开发利用率、公众满意度均为健康水平。但是, 本次綦江流域水功能区水质达标率有效水质评价指标未将总磷、总氮和粪大肠菌群项目纳入评价, 若将这三个项目纳入评价, 部分河段水质会降低, 尤其是在枯水期。

5. 结语

通过本文构建的綦江健康评价指标体系, 对綦江健康状况进行评价。由评价结果得知, 该河流处于健康状态, 但是綦江上水工建筑的兴建阻断了鱼类洄游的路线, 使河段鱼类生态系统出现片段化现象, 大型底栖动物完整性指数也受到影响。大多数水利工程还需要设置生态水量放水设施, 另外綦江中段污染和人类活动的干扰稍微严重, 化学需氧量和氨氮的排放量较大, 需要进一步加强管理。这些为打造綦江经济可持续发展以及和谐人居环境留下健康的綦江均具有重要的指导意义。另外以綦江为试点进行重庆市河流健康评估, 初步建立重庆市重要河流健康评价体系, 对于规范和指导各区县次级支流的河湖健康评价工作也具有重要意义。

基金项目

水利部办资源[2010]484 号文件, 重庆市水利局渝水资源[2013]7 号文件。

参考文献 (References)

- [1] 王宏伟, 张伟, 杨丽坤, 等. 中国河流健康评价体系[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2011, 31(6): 668-672.

- WANG Hongwei, ZHANG Wei, YANG Likun, et al. Outline of research on rivers health evaluation system. *Journal of Hebei University (Natural Science Edition)*, 2011, 31(6): 668-672. (in Chinese)
- [2] CUDE, C. G. Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness. *Journal of the American Water Resources Association*, 2001, 37(1): 125-137. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb05480.x>
- [3] 英晓明. 基于 IFIM 方法的河流生态环境模拟研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 河海大学, 2006.
YING Xiaoming. Research of river ecological and environmental modeling based on IFIM method. Nanjing: Hohai University, 2006. (in Chinese)
- [4] 耿雷华, 刘恒, 钟华平, 等. 健康河流的评价指标和评价标准[J]. *水力学报*, 2006, 37(3): 253-258.
GENG Leihua, LIU Heng, ZHONG Huaping, et al. Indicators and criteria for evaluation of healthy rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2006, 37(3): 253-258. (in Chinese)
- [5] 王淑英, 王浩, 高永胜, 等. 河流健康状况诊断指标和标准[J]. *自然资源学报*, 2011, 26(4): 591-598.
WANG Shuying, WANG Hao, GAO Yongsheng, et al. Index system and criteria for diagnosing the status of river health. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(4): 591-598. (in Chinese)
- [6] 魏明华, 郑志宏. 滦河下游河流健康评价研究[J]. *水利水电技术*, 2013, 44(7): 31- 33.
WEI Minghua, ZHENG Zhihong. Study on river health assessment of lower Luanhe river. *Journal of Water Resources and Hydropower Engineering*, 2013, 44(7): 31- 33. (in Chinese)
- [7] 蒋红, 陈明千, 王文君. 岷江上游河流健康状况的表征及评价[J]. *北方环境*, 2013, 25(11): 134-141.
JIANG Hong, CHEN Mingqian and WANG Wenjun. Characterization of the Minjiang river upper reaches health status and its assessment. *Journal of Northern Environmental*, 2013, 25(11): 134-141. (in Chinese)
- [8] 张诚, 严登华, 郝彩莲, 等. 水的生态服务功能研究进展及关键支撑技术[J]. *水科学进展*, 2011, 22(1): 126-134.
ZHANG Cheng, YAN Denghua, HAO Cailian, et al. Advances in water ecosystem service study and its key supporting technologies. *Advances in Water Science*, 2011, 22(1): 126-134. (in Chinese)
- [9] 付爱红, 陈亚宁, 李卫红. 塔里木河流域生态系统健康评价[J]. *生态学报*, 2009, 29(5): 2418-2426.
FU Aihong, CHEN Yaning and LI Weihong. Assessment on ecosystem health in the Tarim River Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2418-2426. (in Chinese)