

辽宁省主要河流水生态状况评价及保护对策

陈艳丽

(辽宁省水利水电勘测设计研究院, 辽宁 沈阳 110006)

摘要: 从水文水资源、水环境状况、河流的物理形态、生物状况和社会环境等 5 方面, 基于 2012 年各河流水功能区水质监测数据以及 1956–2010 年长序列水文资料分析、各河流水生态现状调查及水质监测结果, 应用模糊数学的方法建立水生态状况评价模型, 评价辽河干流、浑河、太子河等 12 条河流水生态状况。浑江桓仁水库以下、蒲石河、爱河和大洋河总体评价为优, 太子河葭窝水库以上段为良, 清河、小凌河和六股河为中, 辽河干流、绕阳河、浑河、太子河葭窝水库以下段、大凌河为劣。各河段的约束指标, 浑江桓仁水库以下、爱河、蒲石河等为纵向连通性, 清河和太子河葭窝水库以上为水资源开发利用程度和纵向连通性, 辽河干流、绕阳河和大凌河白石水库以下为生态基流满足程度和水功能区达标率, 六股河为生态基流满足程度, 小凌河为生态基流满足程度和纵向连通性, 太子河葭窝水库以下河段为水资源开发利用程度和水功能区达标率, 浑河为水资源开发利用程度、生态基流满足程度、纵向连通性和水功能区水质达标率。

关键词: 河流; 水生态状况; 评价; 辽宁省

中图分类号: X826 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674–3075(2014)05–0028–06

水生生态系统是自然生态系统的重要组成部分, 良好的水生生态系统不仅可保持其结构的完整性和功能的稳定性, 而且具有抵抗外界干扰和恢复自身结构和功能的能力, 并能够提供合乎自然和人类需求的生态服务。河流是淡水资源和水生生物的重要载体, 其水资源状况具有明显的周期性, 且其生物多样性具有适应急流生境的特殊形态结构, 群落结构呈纵向连续性特征。由于水质指标在表征水环境质量方面不能综合反映水生生态系统健康状况, 因而有关河流水生态系统评价指标体系的研究越来越受到关注。

国外开展河流水生态系统健康状况评价工作方面, 以美国、英国、澳大利亚、南非的评价实践较具代表性。如美国, Karr 于 1981 年提出以生态完整性指数 (IBI) 来评价河流水生态系统健康的方法 (Karr, 2000); 英国采取对河流生态环境 (主要包括背景信息、河道数据、植被类型、河岸侵蚀、河岸带特征等指标) 进行调查的方式了解河流水生态系统健康状况; 澳大利亚政府开展了用于监测和评价河流生态状况及现行河流管理政策的“国家河流健康计划”, 并以 AUSRIVAS 为主要工具于 1993 年进行了第一次全国水资源健康评价 (Schofield & Davies, 1996)。

目前, 我国的河流水生态系统健康状况评价工作还处于探索阶段, 国内学者如张凤玲等 (2005) 主要采用水质理化指标及部分生物指标, 在流域尺度内多以多指标评价法对河流水生态系统健康状况进行评价; 王强等 (2014) 以水量、水质、水生生物、河岸带、河道物理结构为评价要素, 采用模糊层次综合评价法进行了城市河流水生态系统健康评价的研究; 采用基于河流生境调查的方法对东河河流生境进行了评价。

辽宁省境内有大小河流 400 余条, 其中流域面积大于 5 000 km² 的河流 17 条, 1 000 ~ 5 000 km² 的河流 31 条, 100 ~ 1 000 km² 的河流 344 条。张楠等 (2009) 采用主成分分析与相关性分析方法对评价指标进行了筛选, 以改进的灰色关联法对辽河流域河流水生态系统健康状况进行了评价; 惠秀娟 (2011) 采用主成分分析方法进行指标的筛选与指标权重的确定, 构建了辽河干流水生态系统健康评价指标体系和健康评价标准体系。上述学者主要针对水环境和水生生物两方面对河流水生态状况进行评价, 未考虑物理阻隔以及水资源开发利用状况等其他方面的因素。本文从水文水资源、水环境状况、河流的物理形态、生物状况和社会环境等 5 方面综合考虑影响河流生态状况的因素, 通过模糊评价得出辽宁省内大中型河流水生态状况, 确定影响河流水生态状况的主要因素, 为辽宁省水资源保护提供技术支撑。

收稿日期: 2014–03–20

作者简介: 陈艳丽, 1981 年生, 女, 辽宁锦州人, 硕士, 高级工程师, 主要从事领域水资源保护、环境影响评价等研究。E-mail: yanli-xiaoya1981@163.com

1 研究河流

本文选择辽河干流、浑河、太子河、大凌河、小凌河等 12 条河流进行研究,这些河流涵盖了辽宁省境内的主要干支流,分别位于辽宁省的东部、中部和西部,基本能反映辽宁省大中型河流的主要水生态状况。部分河流由于不同类型水工建筑物的阻隔,上下游水生态状况存在一定差异性,因此将这部分河流以主要水库为控制断面分为上下游 2 个区段进行评价。

2 评价方法

2.1 数据来源

用于评价的数据为 2012 年各河流水功能区水质监测数据以及 1956 – 2010 年长序列水文资料分析、各河流水生态现状调查及水质监测结果。

2.2 评价模型

生态状况评价是一个相对的概念,是相对于标准值而定的,因此水生态状况评价可以作为模糊问题来处理(谢季坚和刘承平,2000;陈毅等,2011)。应用模糊数学的方法建立水生态状况评价模型。

$$A = W \times R \tag{1}$$

式中,A 为河流水生态系统评价矩阵;W 为评价指标矩阵, $W = W_1, W_2, \dots, W_6$;R 为各指标对各级评价标准等级的评价指标的隶属度矩阵,本指标体系中将评价标准水生态健康等级分为“优、良、中、差、劣”5 个级别。

对于可计算的指标,采用模糊判别法,求出各评价指标的判别矩阵 R_i ,应用降半梯形分布法建立。指标分为 5 类,即 $m = 5$,单指标模糊概率评价矩阵

R 中的隶属度(i 指标发生 j 级标准的概率)通过线性函数来确定,按如下公式计算:

(1)第 1 级,即 $j = 1$,其隶属函数为:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & (X_i \leq S_{ij}) \\ (S_{i(j+1)} - X_i) / (S_{i(j+1)} - S_{ij}) & (S_{ij} < X_i < S_{i(j+1)}) \\ 0 & (X_i \geq S_{i(j+1)}) \end{cases} \tag{2}$$

(2)第 2 ~ 4 级,即 $j = 2 \sim 4$,其隶属函数为:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & (X_i = S_{ij}) \\ (X_i - S_{i(j-1)}) / (S_{ij} - S_{i(j-1)}) & (X_{i(j-1)} < X_i < S_{ij}) \\ (S_{i(j+1)} - X_i) / (S_{i(j+1)} - S_{ij}) & (S_{ij} < X_i < S_{i(j+1)}) \end{cases} \tag{3}$$

(3)第 5 级,即 $j = 5$,其隶属函数为:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & (X_i \geq S_{ij}) \\ (X_i - S_{i(j-1)}) / (S_{ij} - S_{i(j-1)}) & (S_{i(j-1)} < X_i < S_{ij}) \\ 0 & (X_i \leq S_{i(j-1)}) \end{cases} \tag{4}$$

将计算结果构造隶属矩阵 R:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \cdots & r_{im} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}_{n \times m} \tag{5}$$

对于定性识别的指标,采用专家判别法将其类别归到其对应的等级。

2.3 评价指标体系

河流水生态状况评价指标主要根据水生态系统的特点、水生态保护目标分布及敏感生态问题,采用水利部水利水电规划设计总院 2011 年编制的《全国主要河湖水生态保护与修复规划》中推荐的评价指标选择,主要包括水文水资源、水环境状况、物理形态、生物状况及社会服务功能 5 个方面、8 项指标,详见表 1。

表 1 河流水生态状况评价指标

Tab. 1 Evaluation indices for water ecological conditions in rivers

序号	指标名称	准则层	计算方法及说明
1	水资源开发利用率	水文水资源	各类生产与生活用水及河道外生态用水的总量占流域内生态安全可开发利用水资源量的比例关系
2	流量变异程度		评估河段内实测月径流过程与天然月径流过程的差异
3	生态基流满足程度		内河道实测月均流量和生态基流目标流量的比值
4	水功能区水质达标率	水环境状况	水功能区水质达到其水质目标的数量(河长、面积)占水功能区总数(总河长、面积)的比例
5	纵向连通性	物理形态	河流系统内生态元素在空间结构上的纵向联系
6	鱼类生物损失指数	生物状况	鱼类总数现状与历史参考系鱼类总数的差异状况,反映流域开发后河流生态系统中顶级物种受损失状况
7	重要水生生物状况		国家重点保护的、珍稀濒危的、土著的、特有的、重要经济价值的鱼类种群生存繁衍的栖息地状况
8	景观保护程度	社会环境	定性评价各类涉水景观保护程度

2.4 评价指标权重

应用层次分析法,结合专家咨询,确定准则层和指标权重;通过咨询生态、水文、环境质量评价等方面专家和水产部门专家,确定评价指标体系权重。详见表2。

表2 各层指标权重

Tab.2 Index weight of each evaluation parameter			
准则层	权重	指标层	权重
水文水资源	0.3	水资源开发利用率	0.3
		流量变异程度	0.2
		生态基流满足程度	0.5
水环境状况	0.2	水功能区水质达标率	1.0
物理形态	0.1	纵向连通性	1.0
生物状况	0.3	鱼类生物损失指数	0.4
		重要水生生境状况	0.6
社会环境	0.1	景观保护程度	1.0

2.5 评价标准

根据水利部水利水电规划设计总院2012年编制的《全国水资源保护规划技术大纲(试行)》,评价采用的河流水生态状况评价指标和分级标准见表3。

3 评价结果及分析

研究河流中不同评价指标对河流水生态健康评价等级的隶属情况见表4。

浑江桓仁水库以下、蒲石河、爱河和大洋河各项指标较好,总评价为优;太子河葭窝水库以上段为良好状况;清河、小凌河和六股河总评价为中;辽河干流、绕阳河、浑河、太子河葭窝水库以下段、大凌河总评价为劣。各河段对不同评价指标对评价等级的隶属度情况见图1。

表3 河流水生态状况评价指标和分级标准

Tab.3 Criteria for evaluation index thresholds of water ecological conditions					
指标	优	良	中	差	劣
水资源开发利用率/%	<50	50~80	80~120	120~150	>150
流量变异程度/%	>75	50~75	25~50	10~25	<10
生态基流满足程度/%	100	100~95	95~90	90~80	<80
水功能区水质达标率/%	≥90	70~90	60~70	40~60	<40
纵向连通性	<0.3	0.3~0.5	0.5~0.8	0.8~1.2	>1.2
鱼类生物损失指数/%	>85	65~85	45~65	25~45	<25
重要水生 生境状况	鱼类“三场”及洄游通道保护完好,水分养分条件满足鱼类生存需求	鱼类“三场”及洄游通道保护基本完好,水分养分条件基本满足鱼类生存需求	鱼类“三场”及洄游通道受到一定保护,水分养分条件尚可维持鱼类生存	鱼类“三场”及洄游通道受到一定破坏,水分养分条件难以满足鱼类生存需求	鱼类“三场”及洄游通道完全遭受破坏,水分养分条件完全无法满足鱼类生存需求
	采取了极为有效的保护措施,效果十分明显,景观整体保护完整	采取了符合景观保护要求的措施,具有较好保护效果,景观整体无明显受损情况	采取了与景观保护原则基本一致的保护措施,效果一般,局部景观有破坏现象	部分采取保护措施,仅核心景观受到保护,或虽采取了保护措施,但人工效果过度,景观具有一定破坏现象	无明显保护措施,景观受损现象严重

浑江桓仁水库以下、爱河、蒲石河等河段的约束指标为纵向连通性;清河和太子河葭窝水库以上主要约束性指标为水资源开发利用程度和纵向连通性;辽河干流、绕阳河和大凌河白石水库以下等河段的主要约束指标为生态基流满足程度和水功能区达标率;六股河主要约束性指标为生态基流满足程度;小凌河主要约束性指标为生态基流满足程度和纵向连通性;太子河葭窝水库以下河段主要约束性指标为水资源开发利用程度和水功能区达标率;浑河主要约束性指标为水资源开发利用程度、生态基流满足程度、纵向连通性和水功能区水质达标率。

4 保护对策

研究结果表明制约辽宁省主要河流水生态系统健康水平的主要因素是水功能区水质达标率、纵向连通性和水资源开发利用程度以及流量变异程度。参考朱党生等(2011)观点,提出改善辽宁省主要河流水生态系统状况的措施。

4.1 控制点源、面源污染,加强入河排污总量控制及水功能区达标管理

辽河干流、浑河、绕阳河、太子河葭窝水库以下、大凌河等多流经城市市区,城市内大量生活污水及

表 4 辽宁省主要河流生态系统健康情况隶属度

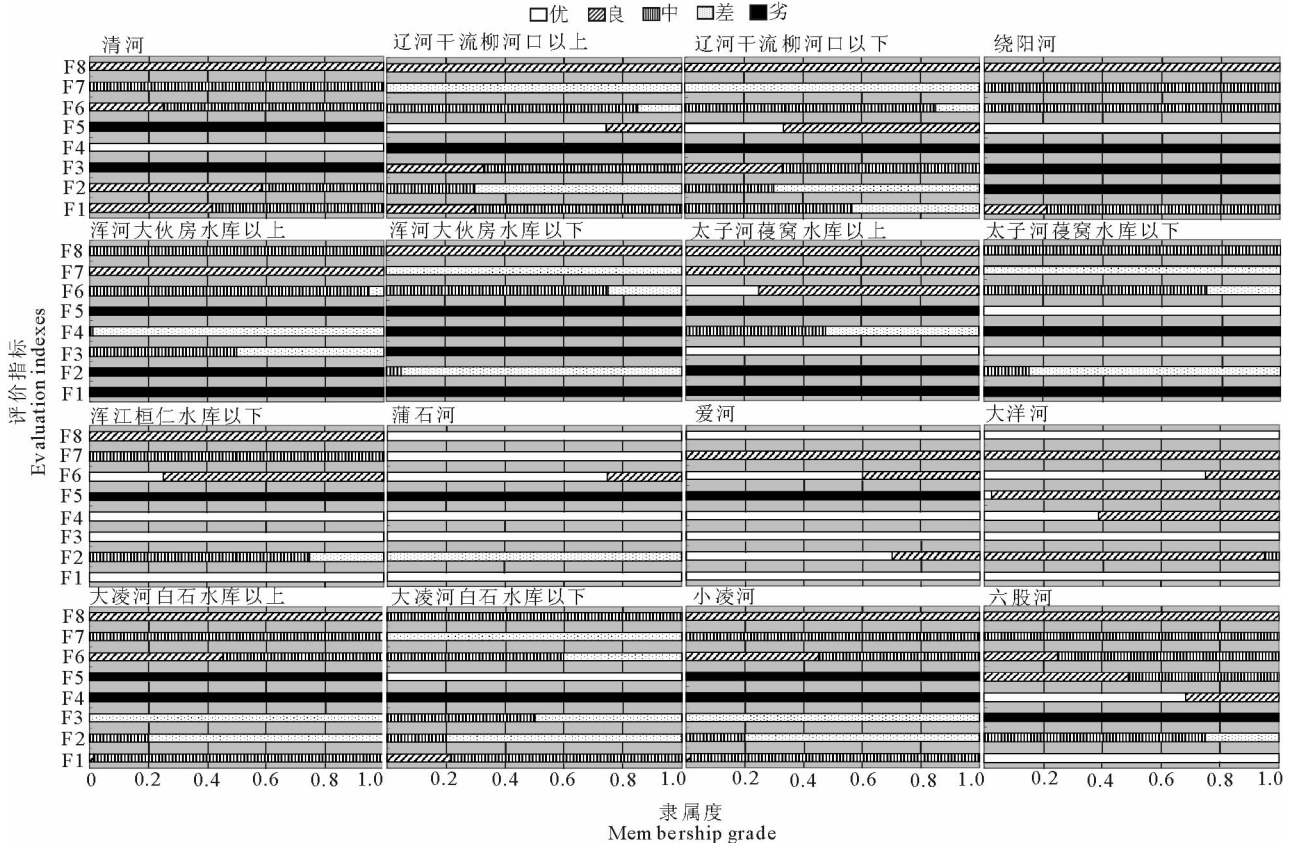
Tab.4 Criteria for water ecological conditions of the main rivers in Liaoning Province

评价河段	优	良	中	差	劣
清河	0.200	0.202	0.348	0.000	0.250
辽河干流柳河口以上	0.075	0.152	0.183	0.240	0.350
辽河干流柳河口以下	0.034	0.166	0.171	0.279	0.350
绕阳河	0.100	0.119	0.371	0.000	0.410
浑河大伙房水库以上	0.000	0.180	0.216	0.204	0.400
浑河大伙房水库以下	0.000	0.100	0.093	0.267	0.540
太子河侵窝水库以上	0.180	0.370	0.095	0.105	0.250
太子河侵窝水库以下	0.250	0.000	0.199	0.261	0.290
浑江桓仁水库以下	0.470	0.190	0.225	0.015	0.100
蒲石河	0.810	0.030	0.000	0.060	0.100
爱河	0.654	0.246	0.000	0.000	0.100
大洋河	0.510	0.487	0.003	0.000	0.000
大凌河白石水库以上	0.000	0.155	0.347	0.048	0.450
大凌河白石水库以下	0.100	0.019	0.255	0.276	0.350
小凌河	0.000	0.118	0.605	0.028	0.250
六股河	0.227	0.242	0.366	0.015	0.150

工业废水排入河道。为改善河流水质,应加大对河道上游城市污废水的治理力度,确保污水处理厂的规模能够满足废水处理要求,并保证污水处理厂及各排污企业直接入河排污口出水水质达到《辽宁省污水综合排放标准》(DB21/1628-2008)相关要求。同时严格按照国家“三条红线”要求,加强水功能区纳污限排管理及各入河排污口的监控,对未达到排放标准和限排总量要求的应加大处罚整改力度,并且因地制宜对入河排污口处采取河道清淤治理和生态湿地建设等综合治理措施。

4.2 改善河道上下游的连通性

清河、浑河、爱河、蒲石河、小凌河、太子河侵窝水库以上等河段已建或在建的水利水电工程的阻隔作用,对河流生态系统的连续性及完整性产生了较大影响。因此,应改善河段上现有闸坝的调度运行方案,对有条件的河段建设过鱼通道,降低闸坝对



F1:水资源开发利用程度;F2:流量变异程度;F3:生态基流满足程度;F4:水功能区水质达标率;F5:纵向连通性;F6:鱼类生物损失指数;F7:重要水生生境状况;F8:景观保护程度

图 1 各河段对不同评价指标对评价等级的隶属度

F1; degree of water resource development and utilization; F2; variation of water flow; F3; the demand-satisfying degree of ecological base flow; F4; the water qualification rate; F5; longitudinal connectivity; F6; loss index of fish species; F7; important aquatic habitat condition; F8; degree of landscape protection

Fig. 1 Criteria for each evaluation index for the main rivers in Liaoning Province

上下游河流中水生生物阻隔的影响;必要时,可采取人工增殖放流措施。

4.3 优化闸坝工程调度,提高河道生态基流的满足程度

辽河干流、浑河、小凌河、六股河、绕阳河、大凌河白石水库以下等河段目前枯水期河道水量均不能满足河流最小生态流量要求,因此,应结合位于上述河段干支流的清河水库、柴河水库、大伙房水库、锦凌水库、青山水库和白石水库等蓄水工程优化工程调度运行方式,并可在优先利用本流域水资源仍无法满足生态需水要求的情况下采取跨流域调水方式供给下游河道生态用水,提高河道生态基流满足程度(王强等,2013)。

4.4 实施最严格的用水管理制度

清河、浑河、太子河筏窝水库以下河段均存在水资源开发利用程度过高问题。应按照水生态环境承载能力,引导产业结构调整,严格控制河流开发利用上限,并加强用水管理,建立水资源高效利用体系;同时实行最严格的水资源管理制度,严格实行总量控制、定额管理。对于建设项目取水实行水资源论证制度,对取水的合理性、取水水源的可靠性及允许取水量、退水情况和水资源保护措施提出合理的建议,通过法律、法规和政策等手段,严格管理取水许可,充分发挥水资源的利用效益和效率,并把节水减

排工作贯穿于经济社会发展全过程。

参考文献

- 陈毅,张可刚,郭纯青,等. 2011. 河流生态健康评价研究 - 以潮白河为例[J]. 水利科技与经济, 17(2): 9 - 12.
- 惠秀娟,杨涛,李法云,等. 2011. 辽宁省辽河水生态系统健康评价[J]. 应用生态学报, 22(1): 181 - 188.
- 王强,袁兴中,刘红,等. 2014. 基于河流生境调查的东河河流生境评价[J]. 生态学报, 34(6): 1548 - 1558.
- 王强,梁国华,何斌,等. 2013. 碧流河水库下游河道生态需水分析及应对措施[J]. 南水北调与水利科技, 11(1): 97 - 109.
- 谢季坚,刘承平. 2000. 模糊数学方法及其应用: 三版[M]. 武汉: 华中科技大学出版社: 197 - 208.
- 张凤玲,刘静玲,杨志峰. 2005. 城市河湖生态系统健康评价[J]. 生态学报, 25(11): 3019 - 3027.
- 张楠,孟伟,张远,等. 2009. 辽河流域河流生态系统健康的多指标评价方法[J]. 环境科学研究, 22(2): 162 - 170.
- 朱党生,张建勇,李扬,等. 2011. 水生态保护与修复规划关键技术[J]. 水资源保护, 27(5): 59 - 64.
- Karr J R Chew. 2000. Sustaining living rivers[J]. Hydrobiologia, 422: 1 - 14.
- Schofield N J, Davies P E. 1996. Measuring the health of our rivers[J]. Water, 5(6): 39 - 43.

(责任编辑 张俊友)

Evaluation and Protection of Ecological Conditions in the Primary Rivers of Liaoning Province

CHEN Yan-li

(Investigation and Design Institute of Water Resources and Hydropower Liaoning Province,
Shenyang, Liaoning 110006, P. R. China)

Abstract: Because water quality parameters do not well reflect the ecological condition of rivers, scientists rely on ecosystem evaluation systems. The literature indicates two primary methods in current use for evaluating aquatic ecological conditions in China: a multi-index evaluation method, based on water quality and biological indicators, and the fuzzy analytic hierarchy process (FAHP), based on water quantity, quality, aquatic life, riparian zone condition and river morphology. In order to understand the ecological condition of the rivers in Liaoning province, five evaluation parameters were used that included the hydrology, water quality, river morphology, biological condition and the social environment. The ecological condition of 12 primary rivers in Liaoning Province, distributed across the province, was evaluated using a fuzzy comprehensive assessment model. The construction of the model was based on water quality monitoring data for each river from 2012, analysis of long term hydrological data (1956 – 2010) and evaluation of water ecological status using fuzzy mathematics. Evaluation results indicate the following water ecological conditions: The downstream sections of the Hunjiang, Pushihe, Aihe and Dayanghe rivers are excellent; the upstream section of the Taizihe River is good; the Qinghe, Xiaolinghe and Lieguhe rivers are moderate; the main stems of the Liaohe, Raoyanghe and Hunhe rivers and the downstream sections of Taizihe and Dalinghe Rivers are poor. The main factors affecting the ecological conditions of the rivers include longitudinal connectivity, degree of water resource development and utilization, base flow and water qualification rate. Based on the results, the following countermeasures and engineering measures are recommended: 1) Control point source and non-point source pollution, limit total pollution loads to rivers and strengthen management of the water catchment area; 2) improve connectivity of the upstream and downstream sections; 3) operate the dam and water storage projects on the rivers so as to maintain an adequate base flow; 4) implement strict water management. This study provides scientific evidence to support conservation of water resource in Liaoning Province.

Keywords: aquatic ecological condition assessment; water quality evaluation; Liaoning Province