



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.05.014

罗晓丽,董增川,徐伟,等.基于尺度划分的滦河河流生态健康评价[J].南水北调与水利科技,2016,14(5):91-95. LUO Xiaoli, DONG Zengchuan, XU Wei, et al. Health assessment of Luan River based on scale division[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(5): 91-95. (in Chinese)

基于尺度划分的滦河河流生态健康评价

罗晓丽,董增川,徐伟,李大勇

(河海大学 水文水资源学院,南京 210098)

摘要: 为提高河流管理质量,在已有河流生态系统健康研究的基础上,提出了基于尺度划分的河流健康评价理论。以滦河为例,建立了其上游、中游和下游的评价指标体系,通过构建改进的模糊物元可拓模型对滦河河流生态健康进行了评价。结果表明:滦河上游、中游、下游均存在一定程度的不健康,滦河全河总体为轻度疾病状态,评价结果与实际相符。因此,本文方法具有合理性和有效性,可用于其他区域的河流生态健康评价。

关键词: 尺度划分;河流生态系统;健康评价;滦河

中图分类号: X522 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2016)05-0091-05

Health assessment of Luan River based on scale division

LUO Xiaoli, DONG Zengchuan, XU Wei, LI Dayong

(College of Hydrology and Water Resource, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to improve the quality of river management, the river health assessment theory based on the existing study about river ecosystem health and scale division was put forward. Luan River was selected as the research area. Index system was established for its upstream, midstream and downstream, and the improved fuzzy matter element model was adapted in the assessment of Luan River. The result showed that the upstream, midstream and downstream were all unhealthy to some extent, and Luan River, on the whole, belonged to the mild disease level, which was consistent with the actual situation. Therefore, this method is reasonable and effective and can be applied in river health assessment in other areas.

Key words: scale division; river ecosystem; health assessment; Luan River

河流是重要的自然生态系统,也是重要的生态廊道之一,发挥着重要的生态功能^[1]。随着社会的快速发展,河流生态系统不断受到人类活动的干扰和损害^[2]。因此,如何评价河流生态系统的健康状况,保护河流生态系统安全是目前国内许多学者关注的热点。河流生态健康评价方法大致可以归纳为三类,一是理化参数评价法,以美国 GWQI (Gregon Water Quality Index) 为代表,旨在检测包

括水温、溶解氧、生化需氧量、总 P、总 N、悬浮物、大肠杆菌等指标的动态变化趋势,找出对河流水质具有重要的影响因素^[3];二是指示物种的监测和评价法,即选择指示物种,包括着生藻类(以硅藻为主)、浮游植物、大型水生植物、底栖动物和鱼类等生产者、消费者和分解者等,进行评价;三是综合指标法,它是综合了物理、化学、生物、社会经济等诸多指标能够反映河流生态系统健康程度的一种多指标评价

收稿日期: 2015-07-13 修回日期: 2016-05-21 网络出版时间: 2016-08-19

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160819.1505.010.html>

基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201101017); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2014B34714)

Fund: Special Research Foundation for the Public Welfare Industry of the Ministry of Water Resources of China (201101017); Fundamental Research Funds for the Central Universities (2014B34714)

作者简介: 罗晓丽(1991-),女(壮族),广西柳城人,主要从事水文水资源方面研究。E-mail: lx_lwt@126.com

通讯作者: 董增川(1963-),男,山西芮城人,教授,博导,主要从事水资源规划与管理方面研究。E-mail: zcdong@hhu.edu.cn

方法。综合指标法既可以反映河流生态系统健康程度又能反映河流的社会功能水平,还能反映出河流生态系统健康变化的趋势。上述三类评价方法各有优点,但都不可避免的存在一个问题,就是不能很好地解决评价的尺度问题。尤其是对流域面积广,水系复杂的河流,不同的河段自然条件和社会经济状况差异较大,因此有必要对河流健康进行分尺度评价。

1 河流健康分尺度评价基本理论

河流健康评价的对象是河流生态系统。在河流管理的研究中,河流生态系统被描述为一个四维系统,即纵向、横向、垂向和时间分量^[4]。在纵向上,河流是一个线性系统,从河源到河口均发生物理的、化学的、生物的变化。在横向上,河岸带的植物为水生生物的生长提供了生态环境,并且起着调节水温、光线、渗漏、侵蚀和营养输送的作用。在垂向上,与河流发生作用的不仅包括地下潜水层,还包括生活在下层土壤的有机体^[5]。在时间尺度上,河道随着自然的变化和人类的作用,也发生着自身的演变过程。因此,一般学者们在做河流健康评价时考虑的范围不仅仅包括河道本身,还包括河岸带乃至整个流域。借鉴地理学尺度的概念,可以将河流健康评价分为面尺度、线尺度和点尺度评价^[6,7]。

面尺度评价通常针对的是流域面对河流生态影响的问题研究,主要从土地利用变化的角度出发,探究不同土地利用类型或土地覆盖模式对河流径流量、水质、泥沙以及水生生物的影响。在现有的河流健康评价指标体系中,可以归结到面尺度的评价指标包括水土流失率、湿地保存率、城镇化面积、林地覆盖率等。

线尺度主要对应的是河长或河段,是河流健康评价中最常使用的尺度之一,其涉及到的评价指标主要包括水质达标率、堤防达标率、纵向连续性指数等。评价时的难点就在于评价河段的划分依据如何制定。除工程河段、景观河段等具有特定功能的河段外,河流划分的方式一般有三种方法,第一种是依据河道的自然规模及其对社会、经济发展的重要程度等因素划分河道的等级,比如水利部 1994 年颁布的规范性文件《河道等级划分办法》中将全国的河流分为五个等级。第二种划分的方式就是按照水系拓扑学的理论,对河流或流域进行分级,常见的分级方法有 Horton 分级法、Strahler 分级法等(图 1)。很显然该方法适合树状水系,对网状水系的分级效果不明显。另外即使是同级河流,由于流经地区水文和地质条件的差异,其物理特征也会存在差异^[8]。

第三种划分的方式就是运用地理信息软件,基于流域的数字高程模型,提取流域的子流域信息,从而将流域划分为若干个子河段和子流域。

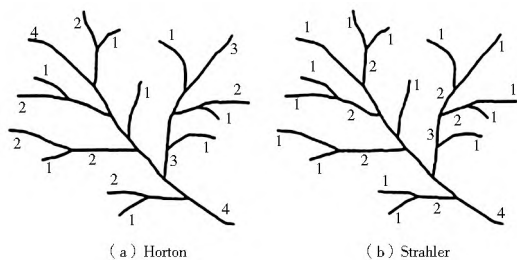


图 1 河流等级划分规则

Fig. 1 Rules of river grades classification

点尺度评价主要针对河流重要的控制断面,如:省界或其它行政区界河断面、主要的干支流控制断面、重要的水库、重要的生态环境敏感点等。由于大部分监测资料都是通过站点获得,所以与其相关的评价指标也较为常见,比如适宜生态流量保证率、河口径流指标、浮游生物多样性等。

其实不管是面尺度、线尺度还是点尺度,都存在资料获取的难题。就水文站网而言,我国目前为 3.5 站/万 km^2 , 低于世界平均水平,更低于发达国家的水平,如美国的水文站网密度为 17.0 站/万 km^2 , 日本更是高达 93.6 站/万 km^2 。此外,我国的站网分布极其不均匀,主要集中在中东部地区,而且生态监测站则少之又少,几乎无法满足划分很细的河流生态健康评价的要求。因此,在进行河流生态健康评价尺度划分时,应根据实际情况对河流进行尺度划分。一般来说,按照河流上、中、下游的径流特性的差异,河流生物群落可以分为急流区群落、缓流区群落与河道区群落。河流的上游落差较大,水的流速大于 50 cm/s ,河床多石砾,为急流。在急流中,初级生产者多为有藻类等构成的附着于石砾上的植物类群;初级消费者多为具有特殊附着器官的昆虫;次级消费者多为体型较小的鱼类。河流的下游河床比较宽阔,水的流速低于 50 cm/s ,河床多为泥沙和淤泥构成,为缓流。在缓流中,初级生产者除藻类外,还有高等植物;消费者多为穴居昆虫幼虫和鱼类,它们的食物来源,除水生植物外,还有陆地输入的各种有机腐屑^[9]。在河道区,由于流速很小,河道区的群落与湖泊有类似之处。在生产者方面,在河床沿岸可生长挺水植物和沉水植物,在一些流速小或支流出口附近存在浮游生物群落。在消费者方面,河流种及静水种都可出现,由于河床底质变化比较大,使底栖生物的分布呈团状。鱼类与湖泊中的近似^[10]。因此,更合理的尺度划分是将河流分为上游、中游、

下游进行评价。有条件的地区河源与河口以及较大的支流均可单独进行评价。

2 研究区概况

滦河位于海河流域北部,其发源于河北省丰宁县西北巴颜图古尔山麓的小梁山,上游称闪电河,经张家口沽源县东部,向北流过内蒙古多伦;至外沟门子又折回河北省丰宁县,在大河口纳吐力根河后称大滦河,水流聚变,水量增加;而后进入中游河段,蜿蜒于燕山峡谷之间,在隆化县郭家屯与小滦河汇合称为滦河;经承德到潘家口穿过长城至滦县进入冀东平原,于乐亭县南兜网铺入海。流域面积 44 750 km²,河长度 888 km^[11],多年平均径流深 109 mm,多年平均径流量为 59.3 × 10⁸ m³^[12]。滦河水系呈羽状,南北长 435 km,东西宽平均 100 km,滦县以下至入海口平均宽约 20 km,沿途有多条支流汇入。主要支流有吐力根河、小滦河、伊逊河、武烈河及青龙河等。流域为典型的温带、暖温带半湿润、半干旱大陆性季风气候。冬季寒冷干燥,夏季炎热多雨。流域年平均降水量 400~ 800 mm。滦河流域地形差异大,地形总趋势由西北向东南倾斜,基本与河流流向一致。按地质条件、地貌形态和成因类型等划分为坝上高原、燕山山地、南部平原区三种地貌单元。自 20 世纪 70 年代起,滦河流域先后修建了潘家口、大黑汀、桃林口等多个水库,并逐渐建成引滦入津、引滦入唐等工程,流域经济的发展对水资源的依赖性越来越强,水资源开发利用强度不断加大^[12]。滦河流域水系见图 2。

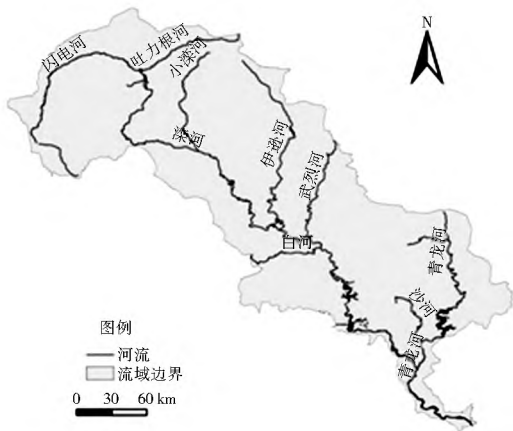


图 2 滦河流域水系
Fig. 2 Water system map of Luan River

3 滦河流域健康分尺度评价

3.1 尺度划分

运用 ArcGIS 的水文分析模块 (Hydrology Model), 基于海河流域 1: 25 万数字高程模型

(DEM) 提取滦河流域的特征信息, 通过计算分析可以将滦河划分为 73 个子流域(图 3)。尽管滦河流域分布着 35 个水文站, 但是由于站点的分布不均以及其他指标资料尤其是生态资料的限制, 这里对滦河评价时根据滦河干流的河谷地貌及水流特征, 仅将滦河划分为上游、中游和下游三段。其中源头至大河口为上游, 大河口至罗家屯为中游, 罗家屯至入海口为下游^[13], 见图 3。

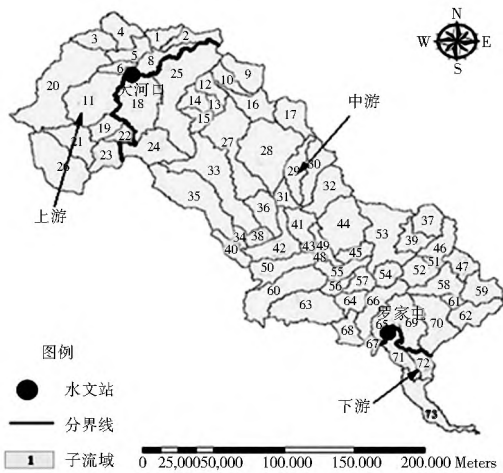


图 3 滦河子流域划分

Fig. 3 Sub watershed division of Luan River

3.2 基于改进的滦河模糊物元可拓评价

构建每个区域的评价指标体系时, 主要考虑了每个河段的自然功能的特点与社会服务功能的要求,

表 1 滦河流域生态健康指标体系

Tab. 1 Index system of Luan River's ecosystem health

目标层	准则层	权重	指标层	权重	正逆
滦河上游健康	0.333		适宜生态流量保证率	0.25	+
			水质达标率	0.25	+
			水土流失率	0.2	-
			湿地保存率	0.3	+
			纵向连续性指数	0.16	-
滦河中游健康	0.333		适宜生态流量保证率	0.16	+
			水质达标率	0.18	+
			浮游植物生物多样性指数	0.19	+
			水土流失率	0.15	-
滦河下游健康	0.333		供水保证率	0.16	+
			纵向连续性指数	0.11	-
			适宜生态流量保证率	0.12	+
			入海水量指标	0.12	+
			水质达标率	0.13	+
			浮游植物生物多样性指数	0.15	+
			湿地保存率	0.11	+
	供水保证率	0.13	+		
	防洪工程达标率	0.13	+		

注: 表中权重值采用专家打分法。

并借鉴了高永胜^[14]、王浩^[15]、冯文娟^[16]、刘倩^[18]等已有的河流健康评价指标体系及评价标准。滦河河

流生态健康指标体系见表 1, 其相应的评价标准见表 2。

表 2 滦河河流健康评价指标体系的评价标准

Tab. 2 Evaluation criteria of the index system of river ecosystem health(Luan River)

评价等级	各评价指标标准								
	纵向连续性指数	适宜生态流量保证率(%)	入海水量指标(%)	水质达标率(%)	浮游植物生物多样性	水土流失率(%)	湿地保存率(%)	防洪工程达标率(%)	供水保证率(%)
健康	≤0.2	≥80	≥70	≥80	≥3.0	≤15	≥80	≥80	≥90
亚健康	(0.2, 0.4]	[60, 80)	[50, 70)	[70, 80)	[2.0, 3.0)	(15, 25]	[60, 80)	[70, 80)	[70, 90)
轻度疾病	(0.4, 0.6]	[40, 60)	[30, 50)	[50, 70)	[1.5, 2.0)	(25, 40]	[40, 60)	[60, 70)	[50, 70)
疾病	(0.6, 0.8]	[20, 40)	[15, 30)	[25, 50)	[0.5, 1.5)	(40, 60]	[20, 40)	[40, 60)	[30, 50)
重病	> 0.8	< 20	< 15	< 25	< 0.5	> 60	< 20	< 40	> 30

由于建立的河流生态健康指标体系具有层次性, 各层次性具有向下一级的拓展性。下一层与上一层的递阶属性, 在数学上表现出其可拓性, 不同层次的递阶评价过程可采用可拓学的物元评价方法, 而同一层次的评价适合选择模糊优选评价^[17-19]。因此可采用改进的模糊物元可拓评价模型^[18-20]计算河流生态健康综合指数, 即可确定河流健康状态。

以滦河上游评价为例说明模糊物元可拓评价模型的评价步骤如下。

(a) 根据表 1 和表 2 中滦河上游的 4 个指标的 5 个等级标准, 构造 5 个评价等级的经典域物元矩阵。考虑到水土流失率与其余 3 个指标呈反向变化趋势, 因此在构造标准物元矩阵时, 应先将该指标转换成正向指标, 设水土流失率为 x , 则转换公式为 $x' = 1 - x$ 。构造的 5 个评价等级的经典域物元矩阵分别为:

$$\begin{aligned}
 R_{01} &= \begin{bmatrix} x_1 [0.8, 1] \\ x_2 [0.8, 1] \\ x_3 [0.85, 1] \\ x_4 [0.8, 1] \end{bmatrix} & R_{02} &= \begin{bmatrix} x_1 [0.6, 0.8] \\ x_2 [0.7, 0.8] \\ x_3 [0.75, 0.85] \\ x_4 [0.6, 0.8] \end{bmatrix} \\
 R_{03} &= \begin{bmatrix} x_1 [0.4, 0.6] \\ x_2 [0.5, 0.7] \\ x_3 [0.6, 0.75] \\ x_4 [0.4, 0.6] \end{bmatrix} & R_{04} &= \begin{bmatrix} x_1 [0.2, 0.4] \\ x_2 [0.25, 0.5] \\ x_3 [0.4, 0.6] \\ x_4 [0.2, 0.4] \end{bmatrix} \\
 R_{05} &= \begin{bmatrix} x_1 [0, 0.2] \\ x_2 [0, 0.25] \\ x_3 [0, 0.4] \\ x_4 [0, 0.2] \end{bmatrix} & & & (1)
 \end{aligned}$$

式中: x_i 为第 i 个评价指标。

(b) 节域物元矩阵为:

$$R_p = \begin{bmatrix} x_1 [0, 1] \\ x_2 [0, 1] \\ x_3 [0, 1] \\ x_4 [0, 1] \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, P 为河流健康状况。

(c) 确定待评价物元 R :

$$R_{\text{上游}} = \begin{bmatrix} x_1 & 0.99 \\ \text{上游} & x_2 & 0.95 \\ & x_3 & 0.59 \\ & x_4 & 0.43 \end{bmatrix} \quad (3)$$

(d) 采用改进的模糊优选方法计算各健康指标关于各等级的隶属度。由于在上述过程中, 已经对成本型指标进行了正向转换, 所以计算隶属度只需采取式(4)。

设 $x_i^{(a)}$ 、 $x_i^{(b)}$ 为关于 P 的指标集的左右两个基点值, 其中 $x_i^{(a)}$ 为经典物元矩阵中重病与疾病的临界阈值, $x_i^{(b)}$ 为健康与亚健康的临界阈值, 则隶属度 r_{ij} 计算公式如下:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & x_j \geq x_i^{(b)} \\ \frac{x_j - x_i^{(a)}}{x_i^{(b)} - x_i^{(a)}} & x_i^{(a)} < x_j < x_i^{(b)} \\ 0 & x_j \leq x_i^{(a)} \end{cases} \quad (4)$$

代入(3)中的指标值, 可得滦河上游各指标的隶属度分别为 1、1、0.475、0.383。

(e) 计算河流健康综合指数。用各指标的隶属度乘以各自权重求和即可得滦河上游、中游、下游的健康指数, 各河段的健康指数再乘以各自的权重即可得滦河全河的河流健康综合指数。

将(1)中的各指标的各健康等级阈值代入该评价模型, 即可以得到河流生态健康综合指数的各健康等级的阈值范围。结果如下: 评价为健康、亚健康、轻度疾病、疾病、重病等级的, 综合指数阈值范围分别为 1、[0.713, 1)、(0.387, 0.713)、(0, 0.387]、0。

将滦河上游各指标的隶属度分别乘以各自权重求和得 0.710, 即滦河上游健康指数为 0.710。同理代入滦河中游和下游的指标值, 即可获得滦河中游和滦河下游的健康指数分别为 0.678 和 0.636。各河段的健康指数再乘以各自的权重求和即可获得滦河全河的河流健康综合指数为 0.674, 属于轻度疾病的状态。该方法从流域尺度划分的角度进行河流

生态健康评价,评价结果与实际相符。

4 结论

对流域面积广,水系复杂的河流,由于不同的河段自然条件和社会经济状况差异较大,因此有必要对河流进行分尺度健康评价。本文构建了基于尺度划分的河流生态健康评价指标体系,建立了改进的模糊物元可拓评价模型,并将其应用于滦河河流健康评价中。评价结果显示,滦河上游、中游、下游均为不健康状态,滦河全河河流健康等级为轻度疾病状态,与实际情况相符,可见本文方法具有合理性和有效性。

参考文献(References):

- [1] 黄宝强,李荣昉,曹文洪. 河流生态系统健康评价及其对我国河流健康保护的启示[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(8): 4600-4602. (HUANG Bao qiang, LI Rong fang, CAO Wen hong. River ecosystem health assessment and implications for river protection in China[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2011, 39(8): 4600-4602. (in Chinese))
- [2] 殷会娟. 河流生态需水及生态健康评价研究[D]. 天津: 天津大学, 2005. (YIN Hui juan. Study of ecosystem water demand and assessment of ecosystem health in river[D]. Tianjin: Tianjin University, 2005. (in Chinese))
- [3] Huiqun Ma, Ling Liu, Tao Chen. Water security assessment in Haihe River Basin using principle component analysis based on Kendall[J]. Environ Monit Assess. 2009, 10(4): 1-6.
- [4] WARD J V. The four dimensional nature of lotic ecosystems[J]. Journal of the North American Benthological Society. 1989 (8): 2-8.
- [5] 丰华丽,王超,李剑超. 生态学观点在流域可持续管理中的应用[J]. 水利水电快报, 2001, 22(14): 21-23. (FENG Hua li, WANG Chao, LI Jian chao. The application of ecology in the sustainable management of river basin[J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2001, 22(14): 21-23. (in Chinese))
- [6] 金小娟. 河流健康的分尺度评价研究[D]. 武汉: 长江科学院, 2010. (JIN Xiao juan. Research on river health assessment of different scales[D]. Wuhan: Changjiang River Scientific Research Institute, 2010. (in Chinese))
- [7] 许继军,陈进,金小娟. 健康长江评价区划方法和尺度探讨[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(10): 49-53. (XU Ji jun, CHEN Jin, JIN Xiao juan. Regionalization and rating scale in health assessment of the Yangtze River[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2011, 28(10): 49-53. (in Chinese))
- [8] 余炯,孙毛明,曹颖,等. 基于生态功能的河流等级划分及应用—以浙江省河流为例[J]. 地理研究, 2009, 28(4): 1115-1127. (YU Jiong, SUN Mao ming, CAO Ying, et al. The river hierarchical classification based on ecological function: a case of Zhejiang Province[J]. Geographical Research, 2009, 28(4): 1115-1127. (in Chinese))
- [9] 曹凑贵. 生态学概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002. (CAO Cou gui. Introduction to Ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002. (in Chinese))
- [10] 徐志侠. 河道与湖泊生态需水研究[D]. 南京: 河海大学水文水资源学院, 2004. (XU Zhi xia. Research on ecological water requirements for rivers and lakes[D]. Nanjing: College of Hydrology and Water Resource, Hohai University, 2004. (in Chinese))
- [11] 刘玉芬. 滦河流域水文、地质与经济概况分析[J]. 河北民族师范学院学报, 2012, 32(2): 24-26. (LIU Yu fen. An analysis of the hydrology, geology and economic situation of Luanhe River Basin[J]. Journal of Hebei Normal University for Nationalities, 2012, 32(2): 24-26. (in Chinese))
- [12] 王刚,严登华,黄站峰,等. 滦河流域径流的长期演变规律及驱动因子[J]. 干旱区研究, 2011, 28(6): 998-1004. (WANG Gang, YAN Deng hua, HUANG Zhan feng, et al. Analysis on the long-term evolution of runoff volume and its affecting factors in the Luanhe River Basin[J]. Arid Zone Research, 2011, 28(6): 998-1004. (in Chinese))
- [13] 王士力. 关于滦河文化几个问题的初步探讨[J]. 唐山学院学报, 2008, 21(5): 1-6, 17. (WANG Shi li. Preliminary discussion of several problems in Luanhe River culture[J]. Journal of Tangshan College, 2008, 21(5): 1-6, 17. (in Chinese))
- [14] 高永胜,王浩,王芳,等. 河流健康生命评价指标体系的构建[J]. 水科学进展, 2007, 18(2): 252-257. (GAO Yong sheng, WANG Hao, WANG Fang, et al. Construction of evaluation index system for river's healthy life[J]. Advances in Water Science, 2007, 18(2): 252-257. (in Chinese))
- [15] 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, (4): 591-598. (WANG Shu ying, WANG Hao, GAO Yong sheng, et al. Index system and criteria for diagnosing the status of river health[J]. Journal of Natural Resources, 2011, (4): 591-598. (in Chinese))
- [16] 冯文娟,李海英,徐力刚,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 Wen juan, LI Hai yin, XU Li gang, et al. River health assessment: intension, indexes, methods and scales[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(3): 34-39. (in Chinese))
- [17] 陈守煜. 模糊水文学与水资源系统模糊优化原理[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1990. (CHEN Shou yu. The optimization principle of fuzzy hydrology and water resources system[M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 1990. (in Chinese))
- [18] 刘倩,董增川,徐伟,等. 基于模糊物元模型的滦河河流健康评价[J]. 水电能源科学, 2014, 32(9): 47-50. (LIU Qian, DONG Zeng chuan, XU Wei, et al. Health assessment of Luanhe River based on fuzzy matter-element model[J]. Water Resources and Power, 2014, 32(9): 47-50. (in Chinese))
- [19] 徐伟,董增川,付晓花,等. 基于BP人工神经网络的河流生态健康预警[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2015, 43(1): 54-59. (XU Wei, DONG Zeng chuan, FU Xiao hua, et al. Early warning of river ecosystem health based on BP artificial neural networks[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2015, 43(1): 54-59. (in Chinese))
- [20] 杨春燕,张拥军,蔡文. 可拓集合及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2002, 32(2): 301-308. (YANG Chun yan, ZHANG Yong jun, CAI Wen. Study on extension set and its applications[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2002, 32(2): 301-308. (in Chinese))