

基于模糊模式识别的浑河水质评价研究

周林飞¹, 赵 焜¹, 孙佳竹², 邢旭光³

(1. 沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110866; 2. 铁岭市水文局, 辽宁 铁岭 112000; 3. 西安理工大学, 西安 710048)

摘要:流经一座城市的河水质量的优劣直接反映了城市环境发展水平的高低。将模糊模式识别应用到河流水质评价中,能客观合理地评价河水的污染程度,精确地反映了水环境质量的状况。根据评价指标的选择原则,共选取高锰酸盐指数,生化需氧量,化学需氧量,氨氮等 7 个评价指标。以地表水环境质量标准 GB3838—2002 为依据,污染程度分为 I, II, III, IV, V 级。指标权重采用加权平均法进行确定,构建了水质评价模糊模式识别模型对浑河 2006—2009 年每年监测到的 2 月,4 月,7 月,8 月,10 月,12 月份的水质进行评价。结果表明浑河污染比较严重。

关键词:模糊模式识别; 浑河; 水质评价

中图分类号: X824

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)05-0163-04

Assessment on Water Quality of Hun River Based on Fuzzy Pattern Recognition

ZHOU Lin-fei¹, ZHAO Zhan¹, SUN Jia-zhu², XING Xu-guang³

(1. College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2. Tieling Municipal Hydrology Bureau, Tieling, Liaoning 112000, China; 3. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: The pros and cons of the river water quality flowing through a city response to the level of development of the urban environment directly. Fuzzy pattern recognition application to the river water quality evaluation of this article, evaluation of the degree of river pollution is objective and reasonable, and reflects the status of the water quality of the environment accurately. According to the principle of selection of the evaluation, seven selected evaluation indicators were permanganate index, BOD, COD, ammonia nitrogen, etc. Pollution levels were divided into I, II, III, IV, V grade based on the standard of surface water environmental quality GB3838-2002. Using the weighted average index weights determined and built a water quality evaluation of fuzzy pattern recognition model to evaluate the annual monitoring of the Hun River water quality in February, April, July, August, October, December from 2006 to 2009. The results showed that the Hun River pollution was more serious.

Key words: fuzzy pattern recognition; Hun River; water quality assessment

水为生命的源泉,是人类赖以生存和发展的不可缺少的最重要的物质资源之一^[1]。目前,由于我国河流存在着一定程度的污染问题,例如地表水流经的城市的河段有机污染比较严重,导致城市水源的水质下降和处理成本增高,因此对于如何评价和解决河流的污染问题,已经迫在眉睫。合理地评价河流的污染程度,对改善河流的现状具有重要的作用。我国对于河流的水质评价始于 20 世纪 80 年代^[2],随着科学技术的发展,国内外对河流水质评价的方法不断出现,包括污染指数法,灰色系统评价法,层次分析法等^[3]。本文应用模糊模式识别来评价浑河的水质,主要是因

为模糊模式识别在水质评价中能够减少人为因素的影响,使评价结果更为客观、合理且具有可比性^[4]。

1 模糊模式识别的基本原理

模糊模式识别的中心思想是根据模糊数学中提到的相对隶属度及隶属度函数理论,在参考连续统中上定义指标的相对隶属函数,确定最优相对隶属度,然后运用级别特征值法来判断相关对象的级别^[5]。运用此方法可以避免最大隶属度原则的缺点,全面地反映各指标对评价结果的综合作用,减少人为因素的影响,更客观地反映事物的真实状态。

1.1 数据量纲化处理

设有 m 个河流指标值的样本,每个样本有 m 项评价指标的实测值 x ,则有河流水质评价指标实测值矩阵 $X=(x_{ij})$ 。 x_{ij} 是样本 j 指标 i 的特征值; $i=1,2,\dots,m;j=1,2,\dots,n$ 。河流的水质分级数为 c ,评价指标的标准值为 y 。 m 项指标 c 级评价标准值矩阵为 $Y=(y_{ih})$ 。 y_{ih} 是级别 h 指标 i 的标准特征值; $h=1,2,\dots,c$ 。

通常情况下有两种指标类型:第一种是指标准特征值 y_{ih} 随级别 h 的增大而减小;第二种是指标准特征值 y_{ih} 随级别 h 的增大而增大。对于第一种指标按式(1)计算样本值 x_{ij} 对模糊子集的相对隶属度,按式(3)计算指标标准值 y_{ih} 对模糊子集的相对隶属度。对于第二种指标按式(2)计算样本值 x_{ij} 对模糊子集的相对隶属度,按式(4)计算指标标准值 y_{ih} 对模糊子集的相对隶属度。

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} \leq y_{ik} \\ \frac{x_{ij} - y_{ik}}{y_{i1} - y_{ik}} & y_{i1} > x_{ij} > y_{ik} \\ 1 & x_{ij} \geq y_{i1} \end{cases} \quad (1)$$

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & x_{ij} \geq y_{ik} \\ \frac{x_{ij} - y_{ik}}{y_{i1} - y_{ik}} & y_{i1} < x_{ij} < y_{ik} \\ 1 & x_{ij} \leq y_{i1} \end{cases} \quad (2)$$

$$s_{ih} = \begin{cases} 0 & y_{ih} = y_{ik} \\ \frac{y_{ih} - y_{ik}}{y_{i1} - y_{ik}} & y_{i1} > y_{ih} > y_{ik} \\ 1 & y_{ih} = y_{i1} \end{cases} \quad (3)$$

$$s_{ih} = \begin{cases} 0 & y_{ih} = y_{ik} \\ \frac{y_{ih} - y_{ik}}{y_{i1} - y_{ik}} & y_{i1} < y_{ih} < y_{ik} \\ 1 & y_{ih} = y_{i1} \end{cases} \quad (4)$$

式中: r_{ij} ——样本 j 指标 i 的特征值对模糊子集的相对隶属度; y_{i1}, y_{ik} ——指标 i 的 1 级、 c 级标准值; s_{ih} ——级别 h 指标 i 的标准值对模糊子集的相对隶属度。

利用式(1)(3)或(2)(4)可将矩阵 X 与 Y 变换为对应的相对隶属度矩阵 R 和 S 。

$$R=(r_{ij}) \quad (5)$$

$$S=(s_{ih}) \quad (6)$$

1.2 指标权重的确定

在综合模糊评价中应考虑到各个指标高低有所不同,在总的评价中所起到的作用也会有所差别。所以对各个指标赋予权重是十分重要的。目前确定指标的方法有加权法,熵值赋权法,层次分析法和灰色统计法等^[6]。本文采用加权法计算指标权重^[7]。该方法在一定程度上可以反映污染超标的轻重对因子权重的影响。其计算权重的一般公式为:

$$W_i = \frac{c_i/a_i}{\sum_{i=1}^n c_i/a_i} \quad (7)$$

式中: W_i ——第 i 个因子的权重; c_i ——该指标的实测值; $a_i=(a_1+a_2+a_3+a_4+a_5)/5$; a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 ——该指标水质标准值。

1.3 模糊模式识别的模型

根据河流水质评价的特点,建立的模糊模式识别模型,见式(8)。

$$u_{hj} = \begin{cases} 0 & h < a_j \text{ 或 } h > b_j \\ \frac{1}{\sum_{k=a_j}^{b_j} \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m [\omega_i (r_{ij} - s_{ih})]^p}{\sum_{i=1}^m [\omega_i (r_{ij} - s_{ik})]^p} \right\}^{\frac{2}{p}}} & a_j \leq h \leq b_j, d_{hi} \neq 0 \\ 1 & d_{hj} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

式中: u_{hj} ——样本 j 对模糊子集级别 h 的相对隶属度; $j=1,2,\dots,n;h=1,2,\dots,c$; a_j, b_j ——样本 j 的 m 项指标的级别下限值与上限值; p ——距离参数,取 $p=2$,为欧式距离。

1.4 水质级别的确定

由于最大隶属度原则存在不适用性,所以采用陈守煜^[8]提出的级别特征值作为判定标准。设左极点状态记以序数 1,自左向右的中介状态记为 2,3...,直至右极点状态记以序数 c 。1,2,..., c 称为状态点,以状态变量 h 表示, $h=1,2,\dots,c$ 。则级别特征值利用式(9)进行计算。

$$H=(1,2,\dots,c) \cdot (u_{hj}) \quad (9)$$

2 河流水质评价

本文以浑河为研究对象,对其水质状况进行系统地评价。浑河是纵贯辽宁省东部和中部的著名河流,长 368 km,发源于抚顺市东部,自东向西流,最后于营口市西西炮台注入辽东湾。流域面积 1.14 万 km^2 ,年径流量 30.52 亿 m^3 。

2.1 数据来源与评价指标选取

数据来源于 2006—2009 年浑河水质监测数据,监测断面为东陵大桥和浑河大闸,时间为各年的 2 月,4 月,7 月,8 月,10 月,12 月,共 48 组数据。监测指标有氨氮、化学需氧量、挥发酚、汞、镉等 40 项。在指标选取时去掉实测值为 0 的指标,去掉符合《地表水环境质量标准》(GB3838—2002) I 类水质的指标^[9-10],最后确定符合实际计算的指标有高锰酸盐指数,生化需氧量,化学需氧量,氨氮,挥发酚,汞和镉 7 个指标。

2.2 评价标准

以国家规定的《地面水环境质量标准》

(GB3838—2002)^[11]为评价标准,进行综合评价,得出污染状况所处的级别。根据地表水环境质量标准(GB3838—2002),把地表水分为 5 类,即评价集 $V = \{I, II, III, IV, V\}$ 。

2.3 实测值与标准值的量纲一化处理

对于 2006—2009 年浑河大坝和东陵大桥两个断面 48 组实测数据利用式(1)—(2)进行实测值的量纲一化处理,由于数据较多,只给出浑河大坝 2006 年、

2009 年的各月计算结果,见表 1。利用式(3)—(4)对指标标准值进行量纲一化处理,结果见表 2。

2.4 确定各评价指标权重

本文采用加权法计算指标权重。该方法在一定程度上可以反映污染超标的轻重对因子权重的影响。应用式(7)计算得出指标的权重矩阵,由于数据繁多,篇幅有限,仅列出 2006 年、2009 年浑河大坝断面计算结果,见表 3。

表 1 浑河大坝 2006 年、2009 年指标对样本的相对隶属度 r_{ij}

年份	评价指标	2 月	4 月	7 月	8 月	10 月	12 月
2006	高锰酸盐指数	0.600	0.592	0.585	0.769	0.654	0.508
	BOD	1.000	0.629	0.614	0.971	0.857	0.386
	COD	0.000	0.312	0.084	1.000	0.000	0.200
	氨氮	0.000	0.000	0.497	0.000	0.000	0.000
	挥发酚	0.939	0.939	0.939	1.000	0.969	0.980
	汞	1.000	0.968	1.000	1.000	1.000	0.979
	高锰酸盐指数	0.523	0.200	0.308	0.631	0.438	0.046
2009	BOD	0.471	0.043	0.314	0.629	0.443	0
	COD	0	0	0	0.696	0.724	0
	氨氮	0	0	0	0	0	0
	挥发酚	0.959	0.990	1	1	1	0.980

表 2 浑河大坝 2006 年、2009 年指标标准值对样本的相对隶属度 s_{ih}

年份	评价指标	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
2006	高锰酸盐指数	1.000	0.846	0.692	0.385	0.000
	BOD	1.000	1.000	0.857	0.571	0.000
	COD	1.000	1.000	0.800	0.400	0.000
	氨氮	1.000	0.811	0.541	0.270	0.000
	挥发酚	1.000	1.000	0.969	0.918	0.000
	汞	1.000	1.000	0.947	0.000	0.000
	高锰酸盐指数	1.000	0.846	0.692	0.385	0.000
2009	BOD	1.000	1.000	0.857	0.571	0.000
	COD	1.000	1.000	0.800	0.400	0.000
	氨氮	1.000	0.811	0.541	0.270	0.000
	挥发酚	1.000	1.000	0.969	0.918	0.000

表 3 浑河大坝 2006 年、2009 年各个指标权重 W_{ij}

年份	评价指标	2 月	4 月	7 月	8 月	10 月	12 月
2006	高锰酸盐指数	0.054	0.050	0.198	0.156	0.081	0.062
	BOD	0.015	0.055	0.217	0.142	0.071	0.077
	COD	0.121	0.068	0.312	0.124	0.252	0.080
	氨氮	0.785	0.801	0.207	0.558	0.575	0.764
	挥发酚	0.019	0.017	0.066	0.019	0.019	0.009
	汞	0.006	0.009	0.000	0.000	0.000	0.009
	高锰酸盐指数	0.067	0.168	0.130	0.120	0.082	0.103
2009	BOD	0.078	0.187	0.131	0.141	0.087	0.123
	COD	0.203	0.195	0.178	0.123	0.060	0.160
	氨氮	0.637	0.438	0.561	0.616	0.771	0.606
	挥发酚	0.015	0.013	0.000	0.000	0.000	0.009

2.5 确定样本集对各级别的相对隶属度矩阵

将上面求得的 R, S 及 W 值代入式(8),计算得出样本集对各级别的相对隶属度,由于数据繁多,篇幅有限,仅列出 2006 年、2009 年浑河大坝断面各月的

计算结果,见表 4。

2.6 水质等级的确定

利用式(9)进行级别特征值计算,得出 2006—

2009 年浑河水质的评价结果,根据结果最后确定浑河水质的评价级别,见表 5。

2.7 结果分析与评估

由表 5 可见,浑河东陵大桥和浑河大闸两个监测断面的评价结果都在 III 以上,水质污染比较严重。浑河流域贯穿沈阳市,由东陵大桥流经浑河大闸,随着河流向下游延伸,工厂污水排放的增加及水资源不合

理的利用,导致浑河大闸的水质比东陵大桥的水质污染严重。另外,非汛期水质比汛期水质污染严重。是因为汛期水量比较大,可以冲走河流中大量的污染物,使河水的净化作用进一步增强。由此可以看出,本文应用模糊模式识别对浑河水质进行评价,可以全面地反映各指标对评价结果的综合作用,减少人为因素的影响,更客观地反映河水的污染状况。

表 4 浑河大闸 2006 年、2009 年样本对各级别的相对隶属度 u_{ij}

年份	级别	2 月	4 月	7 月	8 月	10 月	12 月
2006	I	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	II	0.004	0.006	0.041	0.076	0.019	0.005
	III	0.008	0.014	0.158	0.168	0.040	0.012
	IV	0.033	0.056	0.619	0.441	0.155	0.049
	V	0.955	0.924	0.182	0.315	0.786	0.933
2009	I	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	II	0.000	0.006	0.011	0.042	0.010	0.000
	III	0.018	0.012	0.022	0.095	0.023	0.011
	IV	0.075	0.034	0.098	0.354	0.093	0.003
	V	0.966	0.949	0.867	0.509	0.873	0.996

表 5 浑河大闸、东陵大桥 2006—2009 年水质评价结果

断面	年份	月(级别)	4 月(级别)	7 月(级别)	8 月(级别)	10 月(级别)	12 月(级别)
浑河大闸	2006	4.940(V)	4.898(V)	3.943(IV)	3.995(IV)	4.708(V)	4.910(V)
	2007	4.913(V)	4.913(V)	4.456(IV)	4.748(V)	4.944(V)	4.932(V)
	2008	4.873(V)	4.032(IV)	3.310(III)	2.733(III)	3.847(IV)	4.831(V)
	2009	5.184(V)	4.929(V)	4.815(V)	4.330(IV)	4.826(V)	5.025(V)
东陵大桥	2006	4.677(V)	4.486(IV)	4.355(IV)	3.769(IV)	4.184(IV)	4.474(IV)
	2007	4.734(V)	4.533(V)	3.380(III)	2.938(III)	4.409(IV)	4.335(IV)
	2008	4.512(V)	4.674(V)	3.884(IV)	3.772(IV)	3.792(IV)	4.507(V)
	2009	4.750(V)	4.208(IV)	3.933(IV)	2.536(III)	3.043(III)	4.343(IV)

3 结论

本文以高锰酸盐指数、BOD、COD、氨氮等 7 个指标作为评价指标,采用了国家规定的《地面水环境质量标准》(GB3838—2002)为评价标准,构建了模糊模式识别模型对浑河水质状况进行评价,评价结果表明,2006—2009 年浑河东陵大桥和浑河大闸两个监测断面的评价结果都在 III 以上,浑河水质污染情况比较严重。这主要是由于人们对浑河的水资源的不合理利用和任意排放污水造成的。今后我们应该合理开发和利用水资源,加强污水排放的综合管理,使浑河处于清洁无污染的状态,为人类和水生物创造一个优越的生存环境。

参考文献:

[1] 胡永宏,贺思辉.综合评价方法[M].北京:科学出版社,2000.
 [2] 董哲仁.河流健康的内涵[J].中国水利,2005(4):1-4.
 [3] 吴阿娜,杨凯,车越,等.河流健康状况的表征及其评价[J].水科学进展,2005,16(4):602-608.

[4] 徐大伟,杨扬.模糊数学法在河流水质综合评价中的应用[J].沈阳大学学报:自然科学版,2000,12(2):59-62.
 [5] 程万里,李亦芳,郝伏勤,等.黄河三门峡河段基于模糊数学方法的水质评价[J].环境科学与管理,2007,32(10):188-190.
 [6] 何桂芳,袁国明.模糊数学对珠江口近 20 年来水质进行综合评价[J].海洋环境科学,2007,26(1):53-57.
 [7] 陈奕,许有鹏.河流水质评价中模糊数学评价法的应用与比较[J].四川环境,2009,28(1):94-98.
 [8] 陈守煜.工程模糊集理论与应用[M].北京:国防工业出版社,1998:24-31.
 [9] 周林飞,许士国,孙万光.基于灰色聚类法的扎龙湿地水环境质量综合评价[J].大连理工大学学报,2007,47(2):240-245.
 [10] 周林飞,许士国,孙万光.基于压力—状态—响应模型的扎龙湿地健康水循环评价研究[J].水科学进展,2008,19(2):205-213.
 [11] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局.地表水环境质量标准 GB3838[M].北京:中国环境科学出版社,2002.