

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.05.010

综合权重的灰色关联分析法在河流水质评价中的应用

王 平¹,王云峰²

(1. 河北省地矿局水文工程地质勘察院,河北 石家庄 050021; 2. 邯郸市水利水电勘测设计研究院,河北 邯郸 056038)

摘要:为了使灰色理论在河流水质评价中得以更好的应用,以综合平均污染指数法和灰色关联分析法为基础,建立综合权重的灰色关联分析法,并将其应用于滏阳河水质评价。评价结果与《邯郸市环境质量报告书》中给定的结果基本吻合,表明综合权重的灰色关联分析法应用于河流水质评价是合理可行的。

关键词:水质评价;灰色理论;综合平均污染指数法;灰色关联分析法;滏阳河

中图分类号:X824 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2013)05-0052-03

River water quality evaluation based on grey incidence analysis of comprehensive weight

WANG Ping¹, WANG Yunfeng²

(1. *Hydrogeology and Engineering Geology Survey Institute, Geology and Mineral Exploration Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China;*
2. *Handan Design and Research Institute of Water Conservancy and Hydropower, Handan 056038, China*)

Abstract: For a good application of the grey theory to river water quality evaluation, a method of grey incidence analysis of comprehensive weight was developed based on the comprehensive mean pollution index method and the grey incidence analysis method. The established method was applied to evaluation of the water quality of the Fuyang River. The evaluation results were basically consistent with those in the Environmental Quality Report of Handan City, indicating that the method is reasonable and feasible for the evaluation of river water quality.

Key words: water quality evaluation; grey theory; comprehensive mean pollution index method; grey incidence analysis method; Fuyang River

滏阳河发源于邯郸市峰峰矿区和村镇,流经磁县、邯郸县、邯郸市区及永年县、曲周县和鸡泽县 8 个县(区)(图 1),于鸡泽县出境入邢台市^[1]。近年来随着邯郸市工业的快速发展和人民生活水平的提高,大量的工业废水、生活污水排入滏阳河,滏阳河水质严重恶化。为了邯郸市经济的可持续发展,实现生态文明建设的目标,有必要对滏阳河进行治理。河流水质的综合评价,是了解和掌握水体污染情况的基本方法,是制定污染治理方案的基础依据。

灰色理论的出现为河流水质的评价方法提供新

的理论依据。本研究将灰色理论与普通数学方法相结合,建立综合权重的灰色关联分析法,应用于河流水质评价。采用该方法对河流水质进行分析评价时,首先要采用综合平均污染指数法^[2-3]获取污染因子的综合权重,然后根据灰色关联法确定河流各监测断面的水质等级,其中在求解各污染因子的灰色关联系数时所采用的权重系数是通过综合平均污染指数法来确定的。下面以滏阳河为例,对采用综合平均污染指数法和灰色关联分析法^[4-6]求解各污染因子灰色关联系数的过程进行叙述。

作者简介:王平(1987—),男,硕士研究生,研究方向为水文与水资源。E-mail:362753693@163.com

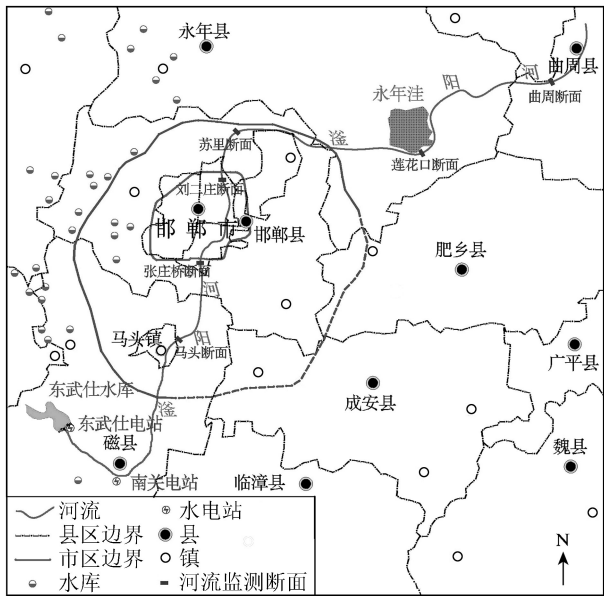


图1 滏阳河分布及其监测断面位置

1 综合平均污染指数法

采用该法的目的是获得滏阳河水质污染因子的综合权重,同时确定滏阳河的主要污染因子。计算公式为

$$P_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} = \sum_{j=1}^n \frac{C_{ij}}{C_{i0}} \quad (1)$$

$$K_i = \frac{P_{ij}}{P_i} \times 100\% \quad (2)$$

式中: P_i 为*i*评价因子的综合指数; P_{ij} 为*j*断面*i*项污染因子的污染指数; C_{ij} 为*j*断面*i*项污染因子的实测值; C_{i0} 为*i*项污染因子的评价标准值; n 为监测断面的个数; K_i 为*i*项污染物的综合权重。

K_i 越大,表示*i*项污染因子的综合权重越大,即该污染因子对河流污染的贡献率越大。

2 灰色关联分析法

2.1 采用灰色关联分析法进行水质评价的原理

灰色关联分析是通过确定参考数列和若干比较数列的集合形状相似程度来判断二者的联系是否紧密^[7-8],它反映了曲线间的关联程度。与参考数列关联度越大的比较数列,其构成的几何曲线与参考数列构成的曲线越接近,两者的联系就越紧密。如在对河流水质进行评价时,以监测断面各因子的实测值作为参考数列,以 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中的各级标准值作为比较数列,求取实测值与各级标准值之间的关联度,与实测值关联度最大的标准值所对应的级数即为该监测断面的水质等级。

2.2 灰色关联分析步骤

a. 确定参考数列和比较数列。参考数列:

$X_i(k)$ ($k=1,2,\cdots,n$; $i\geq 1$); 比较数列: $Y_j(k)$ ($j=1,2,\cdots,m$)。

b. 数列的归一化处理。由于各因素间的量纲不同,数量级相差很大,在对它们进行比较分析时,为消除量纲的影响采用初始化方法将数据归一化到 $[0,1]$ 区间上。在对数列 $X_i(k)$ 、 $Y_j(k)$ 进行归一化处理时,会存在两种相关关系,即正相关和负相关关系。对此应采用不同的变换公式^[4]。

当 $X_i(k)$ 、 $Y_j(k)$ 为正相关关系时,对数列中各因素采用如下公式进行变换:

比较数列归一化处理:

$$Y'_j(k) = \frac{Y_m(k) - Y_j(k)}{Y_m(k) - Y_1(k)} \quad (j=1,2,\cdots,m; k=1,2,\cdots,n) \quad (3)$$

参考数列归一化处理:

$$X'_i(k) = \begin{cases} 1 & X_i(k) \leq Y_1(k) \\ \frac{Y_m(k) - X_i(k)}{Y_m(k) - Y_1(k)} & Y_m(k) > X_i(k) > Y_1(k) \\ 0 & X_i(k) \geq Y_m(k) \end{cases} \quad (4)$$

对于 $X_i(k)$ 、 $Y_j(k)$ 间的负相关关系,则采用如下变换公式:

比较数列归一化处理:

$$Y'_j(k) = \frac{Y_j(k) - Y_m(k)}{Y_1(k) - Y_m(k)} \quad (j=1,2,\cdots,m; k=1,2,\cdots,n) \quad (5)$$

参考数列归一化处理:

$$X'_i(k) = \begin{cases} 1 & X_i(k) \geq Y_1(k) \\ \frac{X_i(k) - Y_m(k)}{Y_1(k) - Y_m(k)} & Y_m(k) < X_i(k) < Y_1(k) \\ 0 & X_i(k) \leq Y_m(k) \end{cases} \quad (6)$$

c. 关联系数和关联度的计算。由参考数列 $X'_i(k)$ 中任意取一个样本向量同比较数列 $Y'_j(k)$ 组成数列矩阵,分别求取样本向量和组成比较数列的各向量间对应指标因子的绝对差值 $\Delta_{ij}(k)$,即

$$\Delta_{ij}(k) = |Y'_j(k) - X'_i(k)| \quad (7)$$

对绝对差值 $\Delta_{ij}(k)$ 组成的数列矩阵进行分析,找出矩阵中 $\max_i \max_j |Y'_j(k) - X'_i(k)|$ 和 $\min_i \min_j |Y'_j(k) - X'_i(k)|$,分别记为 Δ_1 和 Δ_2 。关联系数 $\xi_{ij}(k)$ 的计算公式为

$$\xi_{ij}(k) = \frac{\Delta_2 + \rho \Delta_1}{\Delta_{ij}(k) + \rho \Delta_1} \quad (8)$$

式中: ρ 为权重系数。

通过关联系数即可求得样本向量与比较数列中各向量间的关联度。计算公式为

$$r_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n K_i \xi_{ij}(k) \tag{9}$$

式中: r_{ij} 为参考数列 i 与比较数列中 j 级数列的关联度。

d. 评价结果。 r_{ij} 的最大值表示参考数列 i 与比较数列的第 j 级数列关联性最好。

3 濉阳河水质评价

以濉阳河 6 个监测断面(图 1)的监测数据为基础,利用综合平均污染指数法求得各污染因子的权重,见图 2,选取权重较大的 5 个水质污染因子,即氨氮、生化需氧量、化学需氧量、高锰酸钾指数和挥发酚(表 1)。采用的水质标准为 GB3838—2002《地表水环境质量标准》,见表 2。

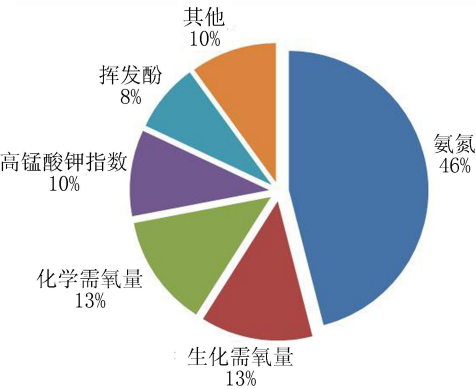


图 2 濉阳河污染物权重图

表 1 濉阳河水质监测数据					
mg/L					
断 面	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{BOD})$	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	$\rho(\text{挥发酚})$
马 头	2.311	2.60	18.60	3.64	0.002
张庄桥	4.371	2.50	24.77	5.38	0.002
刘二庄	14.365	12.66	42.57	14.83	0.013
苏 里	15.824	25.00	107.66	24.18	0.024
莲花口	12.088	16.03	83.64	18.20	0.009
曲 周	16.078	17.24	73.78	17.83	0.003

表 2 GB3838—2002《地表水环境质量标准》 mg/L					
水质级别	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{BOD})$	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	$\rho(\text{挥发酚})$
I	0.15	3	15	2	0.002
II	0.50	3	15	4	0.002
III	1.00	4	20	6	0.005
IV	1.50	6	30	10	0.010
V	2.00	10	40	15	0.100

由于选取的 5 个主要污染因子与水质分级标准成正相关关系,因此选用公式(3)、(4)对表 1 和表 2 中的数据进行归一化处理,得到下列数列矩阵 $X_{6 \times 5}$ 、 $Y_{5 \times 5}$:

$$X_{6 \times 5} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0.8560 & 0.8738 & 1 \\ 0 & 1 & 0.6092 & 0.7400 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0131 & 0.8878 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7755 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.9286 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.9898 \end{bmatrix} \tag{10}$$

$$Y_{5 \times 5} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.8108 & 1 & 1 & 0.8462 & 1 \\ 0.5405 & 0.8571 & 0.800 & 0.6923 & 0.9694 \\ 0.2703 & 0.5714 & 0.400 & 0.3846 & 0.9184 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{11}$$

以马头断面为例,介绍其关联系数和关联度的计算过程。首先建立如下评价序列:

$$A_{6 \times 5} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0.8560 & 0.8738 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.8108 & 1 & 1 & 0.8462 & 1 \\ 0.5405 & 0.8571 & 0.800 & 0.6923 & 0.9694 \\ 0.2703 & 0.5714 & 0.400 & 0.3846 & 0.9184 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{12}$$

利用公式(7)对上述序列矩阵进行计算,结果为

$$\Delta_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0.1440 & 0.1262 & 0 \\ 0.8108 & 0 & 0.1440 & 0.0277 & 0 \\ 0.5405 & 0.1429 & 0.0560 & 0.1815 & 0.0306 \\ 0.2703 & 0.4286 & 0.4560 & 0.4892 & 0.0816 \\ 0 & 1 & 0.8560 & 0.8738 & 1 \end{bmatrix} \tag{13}$$

通过公式(8)~(9)可求得马头监测断面各污染因子的实测值与 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中相应污染因子的各级标准值间的关联度为 $r_1 = (0.5447, 0.5820, 0.5875, 0.5570, 0.6189)$,其中公式(8)中的权重系数是根据图 2 中相应污染因子的权重确定的。由以上原理和步骤可求得其他监测断面的关联度,见表 3。

表 3 关联度计算结果					
监测断面	关联度				
	I	II	III	IV	V
张庄桥	0.5036	0.5427	0.5835	0.5878	0.6332
刘二庄	0.3381	0.3644	0.4299	0.5645	0.8522
苏 里	0.3282	0.3544	0.4188	0.5511	0.8572
莲花口	0.3422	0.3684	0.4343	0.5665	0.8540
曲 周	0.3502	0.3764	0.4370	0.5585	0.8529

从表 3 可以看出,濉阳河 6 个监测断面的水质级别均为 V 类,这与《邯郸市环境质量报告书》(下转第 64 页)

- [6] 王文圣,李跃清,金菊良,等. 水文水资源集对分析[M]. 北京: 科学出版社,2010.
- [7] 汪新凡. 投资风险综合评价的联系数学模型[J]. 统计与决策,2006(10):19-20. (WANG Xinfan. Mathematical model of investment risk comprehensive evaluation of contact[J]. Statistics and Decision,2006,(10):19-20. (in Chinese))
- [8] 汪新凡. 基于属性数学和联系数学的煤灰结渣特性综合评判模型及应用[J]. 锅炉技术,2006,37(6):47-50. (WANG Xinfan. Model for comprehensive judging characteristics of coal ash slagging based on attribute mathematics and connection mathematics and its application[J]. Boiler Technology, 2006,37(6):47-50. (in Chinese))
- [9] 汪培庄. 模糊集合论及其应用[M]. 上海: 上海科学技术出版社,1983.
- [10] 安徽省统计局. 安徽省统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2005-2008.
- [11] 金菊良,魏一鸣,丁晶. 基于改进层次分析法的模糊综合评价模型[J]. 水利学报,2004(3):65-70. (JIN Juliang, WEI Yiming, DING Jing. Fuzzy comprehensive evaluation model based on improved analytic hierarchy process[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004(3): 65-70. (in Chinese))
- [12] 金菊良,吴开亚,魏一鸣. 基于联系数的流域水安全评价模型[J]. 水利学报,2008(4):401-409. (JIN Juliang, WU Kaiya, WEI Yiming. Connection number based assessment model for watershed water security[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008(4):401-409. (in Chinese))
- [13] 李凡修,辛焰,陈武. 集对分析用于湖泊富营养化评价研究[J]. 重庆环境科学,2000,22(6):10-11 (LI Fanxiu,XIN Yan,CHEN Wu. Set pair analysis method of water quality eutrophication assessment of lakes [J]. Chongqing Environmental Science, 2000,22(6):10-11. (in Chinese))
- [14] 程乾生. 属性识别理论模型及其应用[J]. 北京大学学报: 自然科学版,1997,33(1):12-20. (CHENG Qiansheng. Attribute recognition theoretical model with Application[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 1997,33(1):12-20. (in Chinese))
- [15] 陈守煜. 水资源与防洪系统可变模糊集理论与方法[M]. 大连: 大连理工大学出版社,2005.

(收稿日期:2013-03-07 编辑:徐 娟)

(上接第54页)

中评价结果是一致的,说明采用综合权重的灰色关联分析方法对河流水质进行评价是可行的。

4 结 论

将灰色理论与普通数学方法相结合,建立综合权重的灰色关联分析法,将其应用于河流水质评价。以濠阳河水质评价为例,结果表明,采用综合权重的灰色关联分析法评价河流水质是可行的。将灰色理论与普通数学方法相结合,对灰色理论的进一步推广和发展具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 王正文. 邯郸市濠阳河综合治理初探[J]. 价值工程, 2011,30(19):317. (WANG Zhengwen. Exploration on comprehensive treatment of Fuyang River in Handan City [J]. Value Engineering, 2011, 30(19):317. (in Chinese))
- [2] 文梅,鞠莲,易柏林,等. 双台子沉积环境质量综合评价[J]. 中国海洋大学学报,2011,41(增刊1):158-164. (WEN Mei, JU Lian, YI Bolin, et al. The comprehensive evaluations on the environmental quality in sediments in estuary of Shuangtaizi River [J]. Periodical of Ocean University of China, 2011, 41(S1):158-164. (in Chinese))
- [3] 王菊英,马德毅,鲍永恩,等. 黄海和东海海域沉积物的环境质量评价[J]. 海洋环境科学,2003,22(4):21-24. (WANG Juying, MA Deyi, BAO Yongen, et al. Evaluation on sediment quality in Yellow Sea and East China Sea[J]. Marine Environmental Science, 2003, 22(4):21-24. (in Chinese))
- [4] 章新,贺石磊,张雍照,等. 水质评价的灰色关联分析方法研究[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(5):119-121. (ZHANG Xin, HE Shilei, ZHANG Yongzhao, et al. Study on grey relational analysis method for water quality assessment [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering,2010,21(5):119-121. (in Chinese))
- [5] 徐明德,何娟. 沁河晋城段水质灰色关联分析[J]. 科技情报开发与经济,2008,18(30):140-142. (XU Mingde, HE Juan. Evaluation on the water quality of Qinhe River's Jincheng section with the gray relative analysis method[J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2008, 18(30):140-142. (in Chinese))
- [6] 施萍. 利用灰色关联法评价苏州河水质状况[J]. 江苏环境科技,2008,21(增刊1):62-65. (SHI Ping. Application of grey correlation method in the evaluation of water quality of Suzhou River [J]. Jiangsu Environmental Science and Technology,2008,21(S1):62-65. (in Chinese))
- [7] 刘思峰,党耀国,方志耕. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [8] 王清印,刘开第. 灰色系统理论的数学方法及其应用[M]. 成都:西南交通大学出版社,1990.

(收稿日期:2013-05-22 编辑:彭桃英)