

熵权模糊改进法在宁夏黄河水质评价中的应用

闫翔^{a,b}, 郭中华^{a,b}, 王颖^a, 石甜甜^{a,b}

(宁夏大学 a. 电子与电气工程学院; b. 沙漠信息智能感知重点实验室, 银川 750021)

摘要: 为了解宁夏境内黄河流域的水质状况, 选取银古公路桥、平罗黄河大桥、中卫香山湖、吴忠金沙湾、固原沟圈 5 个监测断面在 2021 年 4 月、6 月、8 月、12 月 4 个时期的溶解氧、高锰酸盐指数、氨氮、总磷、总氮 5 项评价指标, 共获得 80 组水样。针对熵权模糊评价法在权重趋于 1 时其微小变化会引起熵权成倍变化的病态问题和由于最大隶属度原则不能普遍适用而导致评价失效的问题, 提出了一种熵权模糊改进的评价方法, 通过改进熵权法确定权重和加权等级, 建立改进的模糊综合评价模型, 对水质样品进行水质分析和综合评价。结果表明, 在权重分配方面, 相比于隶属度法和传统的熵值法, 改进熵权法分配的权重更为合理; 在水质评价方面, 加权等级法评定出的结果更符合研究区域的真实水质状况; 宁夏境内黄河流域 I 类和 II 类水质占比超过 90%, 水质状况良好, 5 个断面 4 个时期的水质综合评价结果显示, 12 月份的水质最优, I 类水质占比 85%; 对水质的时空分析显示氨氮为全局性污染因子, 溶解氧为区域性污染因子。改进的模糊综合评价模型对宁夏黄河水质的评价结果更为客观合理。

关键词: 宁夏黄流域; 最大隶属度原则; 熵权模糊改进法; 水质评价; 水质分析

中图分类号: TV211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8646(2024)06-0060-05

Application of Entropy Weight Fuzzy Improvement Method in Water Quality Evaluation of Yellow River in Ningxia

YanXiang^{a,b}, Guo Zhonghua^{a,b}, Wang Ying^a, Shi Tiantian^{a,b}

(a. School of Electronic and Electrical Engineering; b. Key Laboratory of Intelligent Perception of Desert Information, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: In order to know the water quality of the Yellow River Basin in Ningxia, a total of 80 sets of water samples are obtained from 5 monitoring sections of Yingu Highway Bridge, Pingluo Yellow River Bridge, Zhongwei Xiangshan Lake, Wuzhong Jinsha Bay and Guyuan Gouyuan in April, June, August and December, 2021. Aiming at the pathological problem that a small change in the entropy weight of the entropy weight fuzzy evaluation method tends to be 1 and the problems that lead to evaluation failure due to the principle of maximum membership cannot be universally applied, a fuzzy and improved evaluation method of entropy weight is proposed, the weight and weighting level are determined by improving the entropy weight method, and an improved fuzzy comprehensive evaluation model is established to analyze and comprehensively evaluate the water quality of water samples. The results show that compared with membership degree method and traditional entropy value method, the improved entropy weight method is more reasonable in weight distribution. The result of weighted grade method is more in line with the real water quality of the study area in water in water quality evaluation. The proportion of class I and Class II water quality in the Yellow River basin in Ningxia is more than 90%, and the water quality is good. The comprehensive evaluation results of water quality in 5 sections and 4 periods show that the water quality in December is the best, and the proportion of Class I water quality is 85%. Temporal and spatial analysis of water quality shows that ammonia nitrogen is the global pollution factor and dissolved oxygen is the regional pollution factor. The improved fuzzy comprehensive evaluation model evaluates the water quality of the Yellow River in Ningxia more objectively and reasonably.

Key words: Ningxia Yellow River Basin; Maximum affiliation principle; Entropy weight fuzzy improvement method; Water quality evaluation; Water analysis

收稿日期: 2023-09-25

基金项目: 国家自然科学基金项目“基于高光谱遥感数据的银川城市湿地植被、土壤、水体特征信息提取方法与反演模型研究”(62365016); 2023 年中央引导地方科技发展专项(宁夏)“基于深度学习的遥感图像宁夏地区水体识别与水质反演算法研究”(2023FRD05034); 宁夏大学研究生创新项目(CXXM202221)

作者简介: 闫翔(1995-), 男, 研究生。研究方向: 遥感图像水质反演评价和深度学习算法。

0 引言

宁夏回族自治区是全境都属于黄河流域的省区^[1], 黄河宁夏段干流共设有香山湖、金沙湾、银古公路桥、平罗黄河大桥等水质国控监测断面。据 2021 年宁夏水资源公报显示, 黄河水源为宁夏供水 60.777 亿 m³, 占总供水量的 89.3%。农业、工业、生活和人工生态环境共计耗水量为 38.587 亿 m³, 其中耗黄河水量

33.84 亿 m^3 , 占总耗水量的 87.7%。黄河水质的好坏对宁夏发展起着至关重要的作用。地表水质评价方法较多, 如污染指数法^[2]、层次分析法^[3]、人工神经网络法^[4]、模糊评价法^[5]等。水质评价的不同等级或不同的评价水体之间的界限和差异通常是不确定的, 黄河流经宁夏中卫、吴忠、银川、石嘴山 4 个地级市, 选择 2021 年 4 月、6 月、8 月和 12 月 4 个时间段, 以宁夏黄河流域中卫香山湖(Z)、吴忠金沙湾(W)、银古公路桥(Y)、平罗黄河大桥(P)和固原沟圈(G)5 个监测断面的 5 个评价参数, 即 DO、 COD_{Mn} 、 NH_3-N 、TP、TN 作为评价因子, 采用模糊评价法对宁夏境内黄河流域水质状况进行综合评价, 得出水质状况, 以期为黄河水资源的开发利用和保护提供科学依据。

1 研究方法

1.1 模糊综合评价法

模糊综合评价法是以模糊数学为基础, 将一些边界不清楚、不易定量的因素定量化, 进行综合评价。

因子集和评价集的建立。因子集 $U = \{DO, COD_{Mn}, NH_3-N, TP, TN\}$, 是参与评价的指标。评价集 V 是指与因子集中评价因子相应的评价标准集合, 即评价集 $V = \{I, II, III, IV, V\}$, 把水质等级划分为 I, II, III, IV, V 5 类, 参照《地表水环境质量标准》(GB3838-2002), 建立指标评价标准, 如表 1 所示。

表 1 地表水环境质量标准限值

Tab. 1 Environmental quality standard limits for surface water

mg/L

序号	评价因子	评价等级				
		I	II	III	IV	V
1	DO \geq	7.50	6.0	5.0	3.0	2.0
2	$COD_{Mn} \leq$	2.00	4.0	6.0	10.0	15.0
3	TN \leq	0.20	0.5	1.0	1.5	2.0
4	TP \leq	0.02	0.1	0.2	0.3	0.4
5	$NH_3-N \leq$	0.15	0.5	1.0	1.5	2.0

因为分级标准和污染程度都是模糊的, 故采用隶属度来划分界限更合理^[6]。隶属度用隶属函数 $u(x)$ 表示, 其只能在 $[0, 1]$ 区间连续取值, 在水质评价中多采用降半梯形分布来确定隶属度。对于正指标, 即浓度越小水质越好, 如 TP、TN 等。当为逆指标时, 即浓度越大水质越好, 如 DO。对于逆指标将正指标公式中的 r_{ic} 、 $r_{i(c-j)}$ 、 r_{il} 相应地换成 r_{il} 、 r_{ij} 、 r_{ic} , 其他不变, 可得到逆指标的隶属度公式。

$$r_{ic}(u, v) = \begin{cases} 1 & u \leq v_{i1} \\ (u - v_{i2}) / (v_{i1} - v_{i2}) & v_{i1} \leq u \leq v_{i2} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

$$r_{i(c-j)}(u, v) = \begin{cases} (u - v_{i(j-1)}) / (v_{ij} - v_{i(j-1)}) & v_{i(j-1)} \leq u \leq v_{ij} \\ (u - v_{i(j+1)}) / (v_{ij} - v_{i(j+1)}) & v_{i1} \leq u \leq v_{i2} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

$$r_{il}(u, v) = \begin{cases} 1 & u \geq v_{ic} \\ (u - v_{i(c-1)}) / (v_{ij} - v_{i(c-1)}) & v_{i(c-1)} \leq u \leq v_{ic} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中, $i \in [1, m]$, $j \in [1, c]$, r_{ij} 表示第 i 种污染物被评为第 j 类的可能性, 则隶属度矩阵 R 为:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1c} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2c} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mc} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, $i \in [1, m]$, $j \in [1, c]$, $m = c = 5$, r_{ij} 表示第 i 种污染物被评为第 j 类的可能性。

1.2 污染物超标法

水环境是多因子构成的复杂系统, 每个因子权重不同, 需考虑每个评价因子的权重 w 。污染物超标法是根据各评价因子的质量分数来确定权重的一种方法, 其数学表达式为:

$$w_i = (c_i / S_i), A_i = w_i / \sum_{i=1}^m w_i \quad (5)$$

式中, c_i 为第 i 项指标实测值, S_i 为某评价因子 i 对应的标准限制。对于 S_i 的取值, 采用地表水质评价标准 (GB3838-2002) 中的 5 类标准的均值。

1.3 熵值法

熵值法是一种客观赋权法, 根据各项指标观测值所提供的信息大小来确定权重, 信息熵值越小指标质的离散程度就越大, 该指标对综合评价的影响也越大。如果某项指标的值全部相等, 则该指标在综合评价中不起作用。由于指标的计量单位不同, 需要把它们化到同一个范围内再比较, 采取极差变换法, 使变换后每个属性的值最优为 1, 最差为 0。

$$\begin{aligned} x_{\text{逆}}^* &= (x - \min) / (\max - \min) \\ x_{\text{正}}^* &= (\max - x) / (\max - \min) \end{aligned} \quad (6)$$

计算各评价对象在各指标下的比值, 即第 i 个评价对象关于第 j 个组指标值的比重:

$$p_{ij} = x_{ij}^* / \sum_{i=1}^n x_{ij}^* (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m.) \quad (7)$$

计算熵值的公式为:

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, j = 1, 2, \dots, m. \quad (8)$$

其中 p_{ij} 不能取 0, 若 p_{ij} 为 0, 则令 $p_{ij} = 1 \times 10^{-6}$ 。

在传统熵权法中计算 $E_j \rightarrow 1$ 的指标权重时, 其微小的变化会引起熵权成倍变化^[7-8]的病态现象, 导致熵权分配出现不合理的情况, 但对熵权法的改进可减少此类情况的出现。

$$\omega_j = \begin{cases} (1 - \bar{E}^{-35.5}) \omega_{0j} + \bar{E}^{-35.5} \omega_{3j} & E_j < 1 \\ 0 & E_j = 1 \end{cases} \quad (9)$$

表 2 银古公路桥各评价参数的权重

Tab. 2 Weights of evaluation parameters of Yingu Highway Bridge

mg/L

月份	改进熵权法					污染物超标法				
	DO	CODMn	NH ₃ -N	TP	TN	DO	CODMn	NH ₃ -N	TP	TN
4	0.309	0.134	0.153	0.119	0.283	0.173	0.067	0.015	0.047	0.697
6	0.267	0.182	0.173	0.183	0.193	0.211	0.083	0.006	0.064	0.636
8	0.316	0.263	0.130	0.139	0.152	0.238	0.079	0.006	0.092	0.583
12	0.230	0.178	0.214	0.153	0.223	0.142	0.053	0.005	0.043	0.757

1.4 评价原则

1.4.1 最大隶属度判别原则

模糊矩阵为 R , 权重矩阵为 A , 算子符 Q 采用相乘相加法, 模糊综合评价结果 B 是 V 上的模糊子集: $B = AQR$, 此时得到 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_c\}$, 其中 b_j 的最大值所对应的水质等级为该评价对象的水质类别。但在某些情况下, 最大隶属度原则不能够普遍适用, 存在失效问题^[9], 从而影响评价结果的客观性和有效性。

1.4.2 加权等级原则

为对水质进行更加客观有效的评价, 采用加权等级原则对模糊综合评价结果进行向量分析。加权等级原则是将水质类别看成一系列连续变化的值, 表示如下:

$$J = \sum_{j=1}^c j b_j^2 / \sum_{j=1}^c b_j^2 \quad (12)$$

J 为综合评价数值; b_j^2 为监测点对于第 j 级的隶属度。根据表 1 评价参数的分类标准, 使用公式(5) ~ (11) 计算水质类别综合评价数值 J , 得出 J 的范围是 $[1, 5]$ 。当 $J < 1.5$ 时, 水质为 I 类; 当 $1.5 \leq J < 2.5$ 时, 水质为 II 类; 当 $2.5 \leq J < 3.5$ 时, 水质为 III 类; 当 $3.5 \leq J < 4.5$ 时, 水质为 IV 类; 当 $J \geq 4.5$ 时, 水质为 V 类。各断面的水质评价等级见表 3, 其中 e 代表改进熵权法, p 代表污染物超标法。

$$\omega_{0j} = 1 - E_j / \sum_{j=1}^n (1 - E_j) \quad (10)$$

$$\omega_{3j} = (1 + \bar{E} - E_j) / \sum_{k=1, E_k \neq 1}^n (1 + \bar{E} - E_k)$$

式中, ω_j 表示第 j 个指标的权重; E_j 是第 j 个指标的熵值; \bar{E} 是所有不为 1 的熵值的平均值。根据污染物超标法和熵权法所确定的权重集 A 为:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix} = (a_{ij}) \quad (11)$$

以银古公路桥为例, 根据污染物超标法和改进熵权法确定的权重向量如表 2 所示。

表 3 各断面不同月份水质评价等级

Tab. 3 Water quality evaluation grades for different months for each section

mg/L

断面	月份	最大隶属度		加权等级			
		原则(e)		原则(p)			
		水质等级	J	水质等级	J		
Y	4	I	1.559	II	V	4.797	V
	6	I	1.276	I	V	4.592	V
	8	I	1.492	I	V	4.637	V
	12	I	1.318	I	V	4.533	V
P	4	I	1.508	II	V	4.025	IV
	6	II	1.552	II	IV	3.032	III
	8	I	1.608	II	IV	3.341	III
	12	I	1.353	I	V	3.435	III
Z	4	I	1.243	I	III	2.061	II
	6	II	1.725	II	II	1.992	II
	8	III	2.692	III	III	3.037	III
	12	I	1.343	I	I	1.712	II
W	4	I	1.540	II	V	4.458	IV
	6	I	1.261	I	I	2.139	II
	8	I	1.379	I	II	2.875	III
	12	I	1.347	I	I	2.135	II
G	4	I	1.813	II	V	4.767	V
	6	I	1.949	II	V	4.781	V
	8	I	1.721	II	III	2.970	III
	12	I	1.372	I	V	4.510	V

2 结果与分析

2.1 不同方法水质评价结果

运用不同的方法对研究区域的 5 个监测断面水质进行综合评价。在获得的 80 组数据中,基于污染物超标法计算评价因子权重,采用最大隶属度原则判定水质等级(简称污染物隶属度法)的评价结果显示,属于 V 类水质的监测点最多,占比 46.2%。运用加权等级原则判定水质等级(简称污染物加权法)的评价结果显示,以 II 类水(32.9%)和 V 类水(31.4%)为主。污染物隶属度法和污染物加权法评判出的各类水质等级占比如图 1 所示。

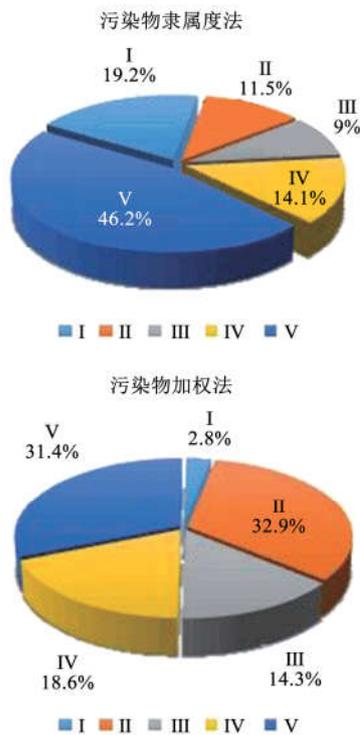


图 1 污染物隶属度法和污染物加权法评判的各类水质等级占比比例

Fig. 1 Proportion of various water quality grades judged by the pollutant membership method and the pollutant weighting method

运用改进熵权法计算评价因子权重,基于最大隶属度原则判定水质等级(简称改进熵权法)的评价结果显示,属于 I 类水质的监测点最多,占比 86.3%。运用加权等级原则判定水质等级(简称熵权模糊改进法)的评价结果显示,以 I 类水(51.25%)和 II 类水(41.25%)为主。改进熵权法和熵权模糊改进法评判出的各类水质等级占比如图 2 所示。

不同方法对各断面不同月份的水质评价结果如图 3 所示。其中,Yt1 代表银古公路桥监测断面水质第 1 次采样,其他字母同理。p 代表污染物超标法;e 代表改进熵权法。

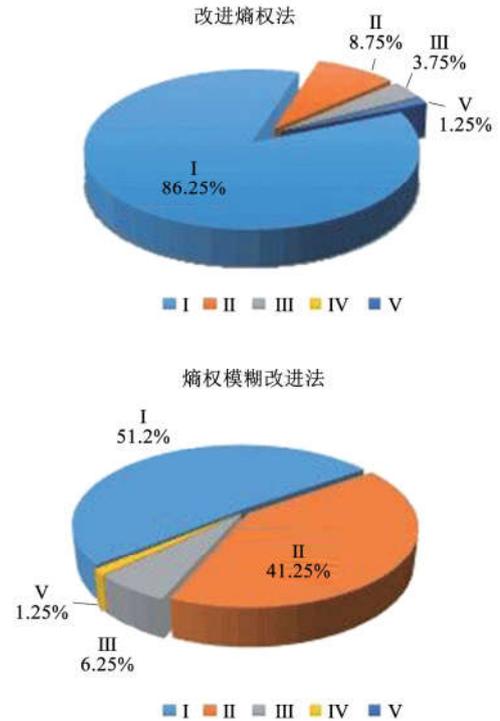


图 2 改进熵权法和熵权模糊改进法评判的各类水质等级占比比例

Fig. 2 Proportion of various water quality grades judged by the improved entropy weight method and the entropy weight fuzzy improvement method

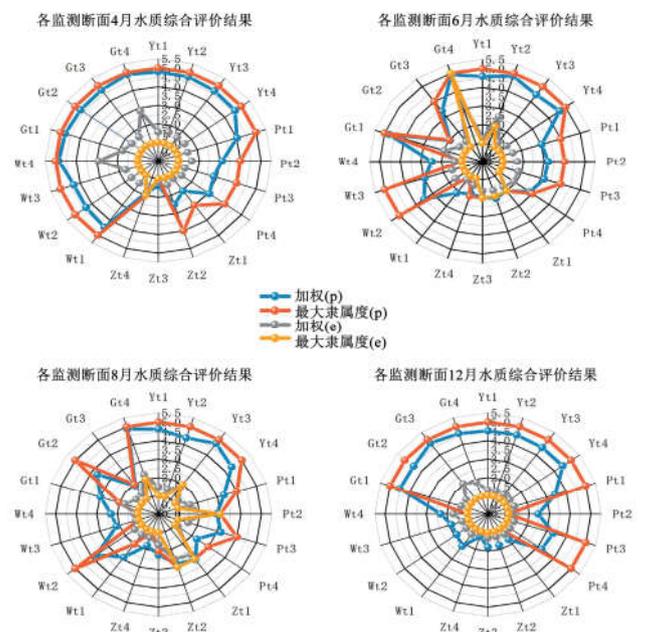


图 3 各断面不同月份水质综合评价结果

Fig. 3 Comprehensive water quality evaluation results of different months in each section

2.2 水质时空分析

如图 4 和图 5 所示,不同月份的 DO 平均含量为 12 月(9.843 mg/L) > 4 月(8.633 mg/L) > 8 月(6.612 mg/L) > 6 月(6.6 mg/L)。4 个时期 DO 平均浓度均属于 I 类和 II 水质标准。中卫香山湖和平罗黄河大桥 2 个监测断面在 6 月和 8 月的溶解氧浓度属于

Ⅲ类水和Ⅳ类水质标准,DO 污染较为严重。在 4 个时期内 COD_{Mn} 浓度均值为Ⅱ类水质标准。固原沟圈监测断面在 6 月的第 3 次和第 4 次采样测得 COD_{Mn} 含量为Ⅳ类水质标准, COD_{Mn} 污染较为严重。TP 浓度均值在 4 个时期内均属于Ⅱ类水质标准。吴忠金沙湾监测断面前 3 个时期水质采样 TP 浓度属于Ⅲ~Ⅳ类水质标准,污染较为严重。除中卫香山湖监测断面 4 个时期 TN 浓度不超过Ⅲ类水质外,其他监测断面 TN 浓度都属于Ⅳ类和Ⅴ类水质标准,其他 4 个断面 TN 污染严重。

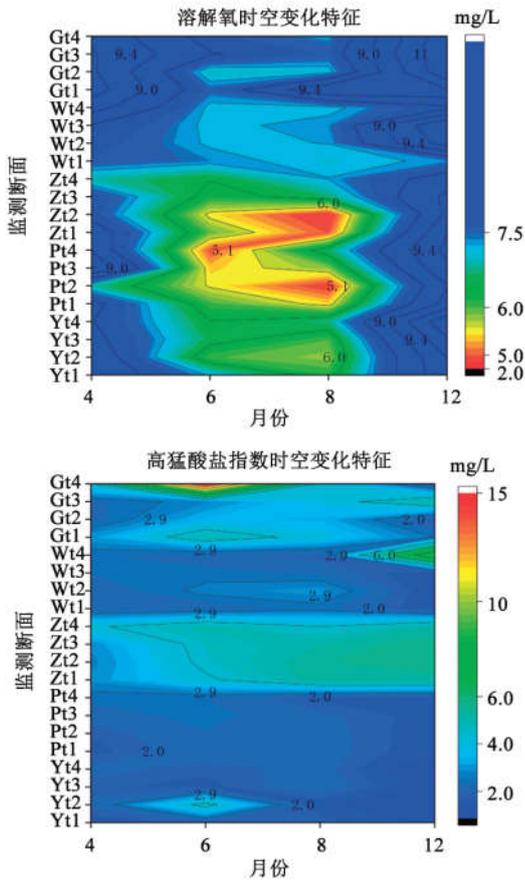


图 4 DO、 COD_{Mn} 的时空变化特征图

Fig. 4 Spatial and temporal variation characteristics of DO and COD_{Mn}

2.3 不同方法评价结果分析

由图 1 可知,基于污染物隶属度法评价得出的水质等级主要以Ⅴ类水质为主。采用污染物加权法评价得出的水质等级结果以Ⅱ类水质和Ⅴ类水质为主。5 个断面所获得 80 组数据中,各指标在 5 个评价等级中的数量如图 6 所示,50% 以上的 DO 和 NH_3-N 指标个数属于Ⅰ类水质;70% 以上的 COD_{Mn} 和 TP 的指标个数属于Ⅰ类和Ⅱ类水质;50% 的 TN 指标个数属于Ⅴ类水质。使用公式(5)确定权重时,TN 的权重值会大于其他 4 个评价指标的权重之和。以 6 月份银古公路桥监测断面水质第 1 次采样为例,测得的 TN 指标浓度属于Ⅴ类水质,其他指标均为Ⅰ类和Ⅱ类水质,用最大隶属度原则评判出的结果为Ⅴ类水质,评价结果不能真实反映宁夏境内黄河流域的水质状况。

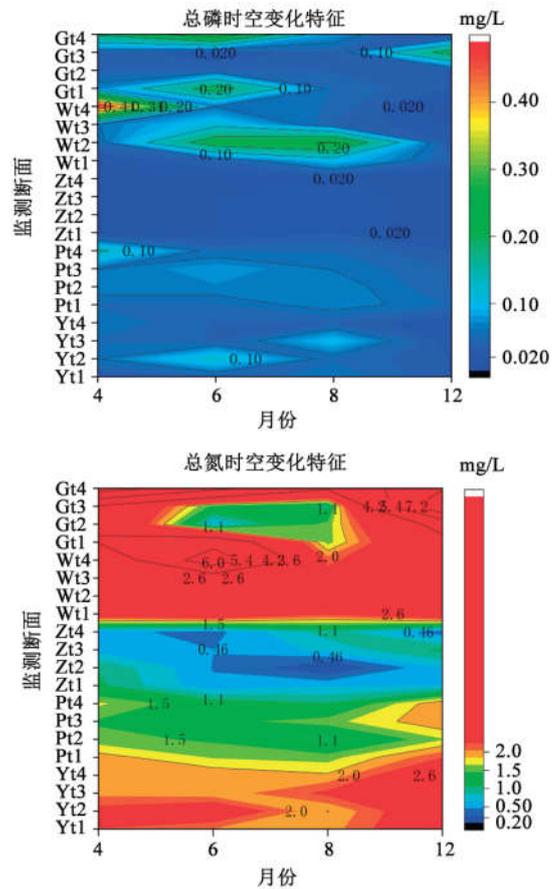


图 5 TP 和 TN 的时空变化特征图

Fig. 5 Spatial and temporal characteristics of TP and TN

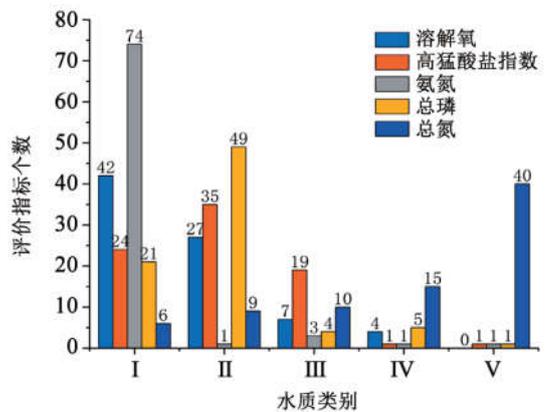


图 6 各评价指标在各评价等级中的数量

Fig. 6 Number of evaluation indicators in each evaluation level

与改进熵权法相比,熵权模糊改进法的评价结果有 31 组水质等级发生了变化,其中 28 组Ⅰ类水质,有 26 组降为Ⅱ类水质,2 组降为Ⅲ类水质;1 组Ⅱ类水质等级降为Ⅲ类水质等级;1 组Ⅲ类水质等级提升为Ⅱ类水质等级;1 组Ⅴ类水质等级提升为Ⅳ类水质等级;其他组数据评价结果相同。

结合图 1 ~ 图 5,由于污染物隶属度法总是兼顾最大值及权重最大因子评分值对水质的影响,导致该方法水质评价结果总体表现差。改进熵权法确定权重客观合理,能够综合考虑到各评价因子对水质的影响,但最大隶属度原则会造成一些信息的损失,导致评价 (下转第 68 页)

由表4可知,本模型计算的锅炉热效率与锅炉的实际热效率相对误差小于5%,基本验证了本模型的正确性。

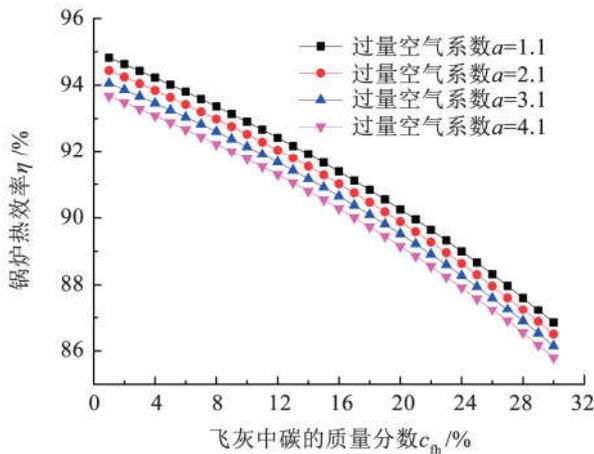


图1 锅炉热效率 η 与飞灰中碳的含量 c_m 关系

Fig.1 Relationship between boiler thermal efficiency η and carbon content of flying ash c_m

图1为锅炉热效率与飞灰中碳的质量分数关系。当锅炉空气系数 α 一定时,锅炉热效率随着飞灰中碳质量分数的增大而减小。原因是飞灰中碳质量分数增加,不完全燃烧热损失增大,引起锅炉热效率降低。当飞灰中碳质量分数 c_m 一定时,锅炉的热效率随着过量空气系数的增大而减小。这是由于随着过量空气系数的增大,排烟量增大,排烟热损失增加,引起锅炉热效率降低。

4 结论

基于反平衡法对锅炉各项热损失进行分析及合理

简化假设,获得了飞灰中碳的质量分数与锅炉热效率的表达式,通过实例计算与锅炉实际热效率进行比较,相对误差在5%以内,验证了表达式的正确性。通过分析飞灰中碳含量对锅炉热效率的影响得出下列结论:当锅炉过量空气系数一定时,锅炉热效率随着飞灰中碳的质量分数增大而减小,此时应通过强化燃烧措施减少锅炉不完全燃烧热损失。当飞灰中碳的质量分数一定时,锅炉热效率随过量空气系数的增大而减小,因此在保证燃煤完全燃烧的情况下尽量降低过量空气系数,减小锅炉的漏风量,提高锅炉的热效率。

参考文献:

- [1] 陈刚. 锅炉原理[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2012.
- [2] 李士祥. 300 MW 火电机组掺烧低挥发份高硫煤时影响飞灰含碳量的经济性分析[C]//中国电力企业管理创新实践,2020.
- [3] 刘为展,刘利莎. 掺烧低挥发份煤时锅炉飞灰含碳量大的原因分析及调整措施[C]//第四届火电行业化学(环保)专业技术交流论文集,2013.
- [4] 王孝先,魏雨蓉. 300MW“W”型火焰锅炉无烟煤掺烧澳洲烟煤优化[J]. 广西电力,2012,35(05):4.
- [5] 刘彦鹏,李建民,余永生,等. 300MW 循环流化床锅炉掺烧煤泥试验研究[J]. 热力发电,2010,39(10):6.
- [6] 李沙,葛伟. 600MW 机组锅炉掺烧澳煤飞灰含碳量高分析与调整[J]. 电站系统工程,2016(06):2.
- [7] 叶江明. 电厂锅炉原理及设备[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [8] 韩秀丽. 空气过剩系数对锅炉热效率的影响[J]. 陕西理工学院学报(自科版),2002,18(04):56-58.
- [9] 全国勘察设计注册公用设备工程师动力专业执业资格考试教材,第3版[M]. 北京:机械工业出版社,2013.
- [10] 吴味隆. 锅炉及锅炉房设备[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.

(上接第64页)

结果不够合理。熵权模糊改进法弥补了最大隶属度原则的缺点,综合评价得出的水质结果符合水质时空特征的变化。对各断面各时期水质优劣进行排名:4月:中卫香山湖 > 平罗黄河大桥 > 银古公路桥 > 固原沟圈 > 吴忠金沙湾;6月:银古公路桥 > 吴忠金沙湾 > 固原沟圈 > 平罗黄河大桥 > 中卫香山湖;8月:吴忠金沙湾 > 银古公路桥 > 固原沟圈 > 平罗黄河大桥 > 中卫香山湖;12月:中卫香山湖 > 银古公路桥 > 平罗黄河大桥 > 吴忠金沙湾 > 固原沟圈。

研究数据采用 MATLAB 编程计算,利用 ArcGIS 和 Origin 软件进行绘图。

3 结论

熵权模糊改进法解决了污染物加权法在权重确定方面某项指标超标严重导致该项指标权重过大和改进熵权法在采用最大隶属度原则判定水质等级方面会造成一些信息损失令水质评价结果不够合理的问题。利用熵权模糊评价法对宁夏黄河水质进行综合评价,结

果显示,宁夏境内黄河流域水质良好,以 I 类和 II 类水质为主,符合研究区域的实际情况。

参考文献:

- [1] 赵柳青,张永红,左健扬,等. 黄河流域宁夏段产水量时空变化分析[J/OL]. [2023-05-01]. <https://doi.org/10.19797/j.cnki.1000-0852.20210407>.
- [2] 刘强,禹雪迪. 浑河沈抚段水体污染季节性变化研究[J]. 水资源保护,2017,33(02):52-58.
- [3] 张峰菁,胡学斌,何强. 模糊层次分析法在水污染治理工程绩效评估中的应用[J]. 三峡生态环境监测,2019,4(02):1-8.
- [4] 王凤艳,汤玉福. 神经网络法在大清河水质评价中的应用[J]. 东北水利水电,2019,37(06):25-26,35.
- [5] 姜北,孙美,纪玉琨,等. 基于熵值法的地表水水质模糊综合评价[J]. 灌溉排水学报,2018,37(S1):47-50.
- [6] 崔嘉宇,张宁红,郁建桥,等. 改进的模糊评价法在太湖水质评价中的应用[J]. 环境工程学报,2015,9(11):5357-5363.
- [7] 李兵,庄文化,孙海龙. 改进熵权法在岩石边坡生态护坡效果综合评价中的应用[J]. 中国水土保持,2019(09):58-63.
- [8] 欧阳森,石怡理. 改进熵权法及其在电能质量评估中的应用[J]. 电力系统自动化,2013,37(21):156-159,164.
- [9] 朱小飞,王永君,李大军. 模糊评价中最大隶属度原则有效性检验[J]. 测绘与空间地理信息,2016,39(05):135-137,143.