

# 基于熵权 - 云模型的某水库水质评价研究

孟朝霞<sup>1</sup>, 尹萍<sup>2</sup>, 贾宏恩<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>山西能源学院能源与动力工程系, 山西 太原

<sup>2</sup>太原理工大学数学学院, 山西 太原

收稿日期: 2022年9月18日; 录用日期: 2022年10月8日; 发布日期: 2022年10月18日

## 摘要

水质评价对水环境保护、水污染控制方面起着至关重要的作用。本文为评估某水库近年水质及其变化趋势, 引入熵权云模型, 选择溶解氧(DO)等6个水质指标作为评价因子, 并采用熵权法计算各评价因子的权重, 于云模型中输入2018年1月至2020年12月期间的水质实测数据, 得到各个评价因子的确定度以及根据权重计算的各取样点的综合确定度, 再根据最大确定度确定各取样点的水质级别。结果表明近年该水库水质稳定, 维持在较好状态, 但对于氨氮(NH<sub>3</sub>-N), 溶解氧(DO), 总磷(P)这三个指标仍存在较大不足, 应采取针对性治理措施, 进一步提升水质。

## 关键词

水质评价, 熵权云模型, 水质变化趋势

# Water Quality Evaluation of a Reservoir Based on Entropy Cloud Model

Zhaoxia Meng<sup>1</sup>, Ping Yin<sup>2</sup>, Hong'en Jia<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Energy and Power Engineering, Shanxi Energy Institute, Taiyuan Shanxi

<sup>2</sup>School of Mathematics, Taiyuan University of Technology, Taiyuan Shanxi

Received: Sep. 18<sup>th</sup>, 2022; accepted: Oct. 8<sup>th</sup>, 2022; published: Oct. 18<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Water quality evaluation plays a vital role in water environmental protection and water pollution control. In this paper, in order to assess the water quality and its change trend of a reservoir in recent years, the entropy weight cloud model is introduced, 6 water quality indicators such as

\*通讯作者。

dissolved oxygen (DO) are selected as evaluation factors, and the entropy weight method is used to calculate the weights of each evaluation factor, and the water quality measurement data of a total of 35 months from January 2018 to December 2020 (of which there is no measured data due to the epidemic situation in January 2020) is input into the cloud model, and the determination of each evaluation factor and the comprehensive determination of each sampling point based on weight calculation are obtained. The maximum degree of certainty determines the water quality level of each sampling point. The results show that in recent years, the water quality of the reservoir has been stable and maintained in a good state, but there are still major deficiencies in the three indicators of ammonia nitrogen (NH<sub>3</sub>-N), dissolved oxygen (DO), and total phosphorus (P), and targeted treatment measures should be taken to further improve the water quality.

## Keywords

Water Quality Evaluation, Entropy Power Cloud Model, Changing Trends in Water Quality

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引论

水库不仅是调控水资源时空分布、优化水资源配置的重要水利工程措施,也是国家防汛抗旱体系的重要组成部分,在保障生产生活供水、应对极端气候灾害以及改善生态环境等方面发挥着不可替代的作用,根据2018年水利统计数据(统计数据范围为中国境内),截至2017年12月31日,全国已建成的各类型水库总数量为98,795座,总库容为9035亿m<sup>3</sup>;其中大型水库732座,中型水库3934座,小型水库94,129座[1]。因而有必要对水库水质进行综合评价。

水质评价的概念第一次出现在20世纪初的生物学界,德国柯克维兹(Kirk)和莫松(Moson)提出了生物学的水质评价分类方法。自20世纪60年代水质指标的概念被提出并运用到了水质评价后,关于水质指标的选取和水质评价方法的研究逐渐兴起[2]。美国是最早进行水质评价的国家之一,可参考[3][4][5][6]。我国的水环境质量评价工作大体上经历了初步尝试时期、广泛探索时期、全面发展时期和环境影响评价时期等4个时期[7][8]。

当前水环境质量评价方法主要有两大类,一种是以水质物理化学指标的实测值为根据的评价方式;另一种是以水生物种群与水质的关系为根据的生物学评价方式。其中第一种水环境质量评价方法运用较为普遍,例如单因子评价法、主成分分析法、ANNS评价法、水质指数法、AHP法、模糊评价法、灰色评价法、物元分析法等。鉴于上述方法的局限性,熵权云模型水质评价方法被引入[9][10][11]。云模型在评价地震风险、水资源再生能力、空气质量、土地利用风险等多方面得到广泛应用[12]-[22]。随着正态云模型被证明具有应用普适性,云模型被成功地运用到了自然语言处理、空间数据挖掘、智能控制、风险评估、时间序列预测、算法改进、质量评价等众多领域[23][24]。

由于云模型能综合考虑评价因子的多样性、评价标准的非线性、评价过程中的随机性、模糊性,采用云模型方法进行水质评价有其独特优势。而熵权法是客观确定权重的方法,相较于层次分析法等主观法而言更具精确性;故本文采用熵权云模型方法,使用山西某水库2018年1月至2020年12月期间的水质指标检测数据,对该水库水质进行分析和预测。

## 2. 云模型参数预处理

设  $U$  是一个用精确数值表示的定量论域,  $A$  是  $U$  上的定性概念, 对于论域中的任意元素  $x$ , 存在一个有稳定倾向的随机数  $\mu(x) \in [0,1]$ , 我们称  $\mu(x)$  为  $x$  对定性概念  $A$  的隶属度, 称  $\mu(x)$  在论域  $U$  上的分布为隶属云, 简称云(Cloud), 每一个  $x$  称为一个云滴, 云则是由若干个云滴组成的[25]。而在本文的水库水质评价中,  $U$  即为某一水质等级所对应的限值;  $A$  代表与这一等级所对应的水质概念(如等级 I 对应“水质优”);  $x$  则为某一次水质实测值。

### 2.1. 熵权法确定评价因子权重

能够获取的该水库地表水质数据主要有水温、pH 值、溶解氧、高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、总磷、总氮、铜、锌、氟化物、硒、砷、汞、镉、铬(六价)、铅、氰化物、挥发酚、石油类、阴离子表面活性剂、硫化物、粪大肠菌群、硫酸盐(以  $SO_{42-}$  计)、氯化物(以  $Cl-$  计)、硝酸盐(以  $N$  计)、铁锰、总硬度、电导率、透明度、叶绿素。

根据污染源调查和监测数据, 结合水质评价参数选择的原则, 本文选择溶解氧(DO), 高锰酸盐指数(CODMn), 化学需氧量(COD), 五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>), 氨氮(NH<sub>3</sub>-N), 总磷(P) 6 个水质指标作为评价因子, 建立水质评价体系, 根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002), 各项因子可分为 5 个级别, 其具体的分级标准见表 1。

**Table 1.** Standard limits for basic items of some surface water environmental quality standards

**表 1.** 部分地表水环境质量标准基本项目标准限值

项目	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
溶解氧 $\geq$	7.5	6	5	3	2
高锰酸盐指数 $\leq$	2	4	6	10	15
化学需氧量 $\leq$	15	15	20	30	40
五日生化需氧量 $\leq$	3	3	4	6	10
氨氮 $\leq$	0.15	0.5	1.0	1.5	2.0
总磷 $\leq$	0.02 (湖库 0.01)	0.1 (湖库 0.025)	0.2 (湖库 0.05)	0.3 (湖库 0.1)	0.4 (湖库 0.2)

由于各评价因子对水质评价结果的贡献有所不同, 故而权重也有区别, 本节根据熵权法计算各评价因子的权重, 其主要根据各指标传递给决策者的信息量大小来确定权重。

设评价因子合集  $X = [X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6]$ , 它的权重矩阵为  $W = [w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6]$ 。

熵权法确定权重的基本步骤如下:

- 1) 选取  $n$  个样本,  $m$  个指标, 则  $x_{ij}$  为第  $i$  个样本的第  $j$  个指标的数值 ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ );
- 2) 指标的归一化处理: 异质指标同质化;

由于各项指标的计量单位并不统一, 因此在用它们计算综合指标前, 先要对它们进行标准化处理, 即把指标的绝对值转化为相对值, 并令  $x_{ij} = |x_{ij}|$ , 从而解决各项不同质指标值的同质化问题。而且, 由于正向指标(极大型指标)和负向指标(极小型指标)数值代表的含义不同(正向指标数值越高越好, 负向指标数值越低越好), 因此, 对于高低指标我们用不同的算法进行数据标准化处理。其具体方法如下:

正向指标:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}}{\max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}} \quad (1)$$

负向指标:

$$x'_{ij} = \frac{\max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - x_{ij}}{\max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\} - \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}} \quad (2)$$

则  $x'_{ij}$  为第  $i$  个样本的第  $j$  个指标的数值 ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ )。为了方便起见, 归一化后的数据仍记为  $x_{ij}$ 。

3) 计算第  $j$  项指标下第  $i$  个样本占该指标的比重:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

4) 计算第  $j$  项指标的熵值:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (4)$$

其中  $k = 1/\ln(n) > 0$ , 满足  $e_j \geq 0$ ;

5) 计算信息熵冗余度:

$$d_j = 1 - e_j \quad (5)$$

6) 计算各评价因子的权值:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (6)$$

由上述计算步骤可以得到 6 个评价因子的权重向量为

$$W = [0.3508, 0.0702, 0.1681, 0.2586, 0.0521, 0.1002]$$

其中的数值从左到右分别为溶解氧(DO), 高锰酸盐指数(CODMn), 化学需氧量(COD), 五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>), 氨氮(NH<sub>3</sub>-N), 总磷(P)的权重。

## 2.2. 确定云模型特征参数

在 2.1 节已确定评价因子及评价标准, 接下来确定云模型的三个数字特征: 期望  $Ex$ , 熵  $En$ , 超熵  $He$  (依照文献[22]所提出的方法), 云用这 3 个数字特征[10]来整体表征一个概念。假设对于变量  $V$  具有上下边界  $[B_{\min}, B_{\max}]$ , 则该变量的云模型的数字特征可依照如下公式计算:

$$\begin{cases} Ex = (B_{\max} + B_{\min})/2 \\ En = (B_{\max} - B_{\min})/2.355 \\ He = k(\text{常数}) \end{cases} \quad (7)$$

在上述公式中:

期望  $Ex$  表示论域空间中云滴分布的期望, 熵  $En$  是定性概念不确定性的度量, 超熵  $He$  即为熵  $En$  的熵, 是熵的不确定性的度量, 它的大小间接地反映了云滴的厚度。  $B_{\max}$ 、  $B_{\min}$  分别为变量  $V$  的最大和最小边界;  $k$  为常数, 取值依经验选取, 本文中  $k$  对于不同指标的云模型分别取 0.01 (对于溶解氧, 高锰酸盐指数, 化学需氧量, 五日生化需氧量, 氨氮), 0.001 (对于总磷)。

### 3. 基于熵权云模型的地表水质评价方法

#### 3.1. 云模型的生成

本文中我们主要使用正向云发生器生成云滴，进一步生成评价指标云模型图。正向云发生器算法步骤如下：

输入：三个数字特征  $Ex$ 、 $En$ 、 $He$ ，云滴数  $N$ 。

输出： $N$  个云滴的定量值  $x$  和确定度  $\mu_i$ 。

算法步骤：

- 1) 生成以  $Ex$  为期望、 $He$  为标准差的一个正态随机数  $En'$ ；
- 2) 生成以  $Ex$  为期望值、 $En'$  的绝对值为标准差的一个正态随机数  $x$ 。 $x$  称为水质评价论域中的一个云滴；
- 3) 按照如下公式计算确定度  $\mu_i$ ，

$$\mu_i = e^{-\frac{(x-Ex)^2}{2(En')^2}}$$

- 4) 重复(1)~(2)，直至产生  $N$  个云滴构成整个云为止。

根据上述算法，分别生成 6 个评价因子的云模型，如图 1~6 所示。其中以评价因子的质量浓度为横坐标，评价因子的某一实测值所对应的确定度  $U$  (通过云模型映射) 则为纵坐标。

以图 2 高锰酸盐指数(CODMn)为例，某实测点的高锰酸盐指数为 3.1 mg/L 时，由正向云发生器可以得到高锰酸盐指数隶属于各水质级别的确定度分别为： $U_I$  (高锰酸盐指数) = 0.0470， $U_{II}$  (高锰酸盐指数) = 0.9931， $U_{III}$  (高锰酸盐指数) = 0.0819， $U_{IV}$  (高锰酸盐指数) = 0.0156， $U_V$  (高锰酸盐指数) = 0，其中  $U_{II}$  值最大， $U_{III}$  次之，其他确定度为 0，说明高锰酸盐指数为 3.1 mg/L 时，隶属于水质级别 II 类的可能性最大，隶属于 III 类有一定的可能，隶属于 I, IV 类可能极小，但是不隶属于 V 类。同理，由相同方法可以计算出其他评价因子的确定度，并得到相对应的确定度矩阵。

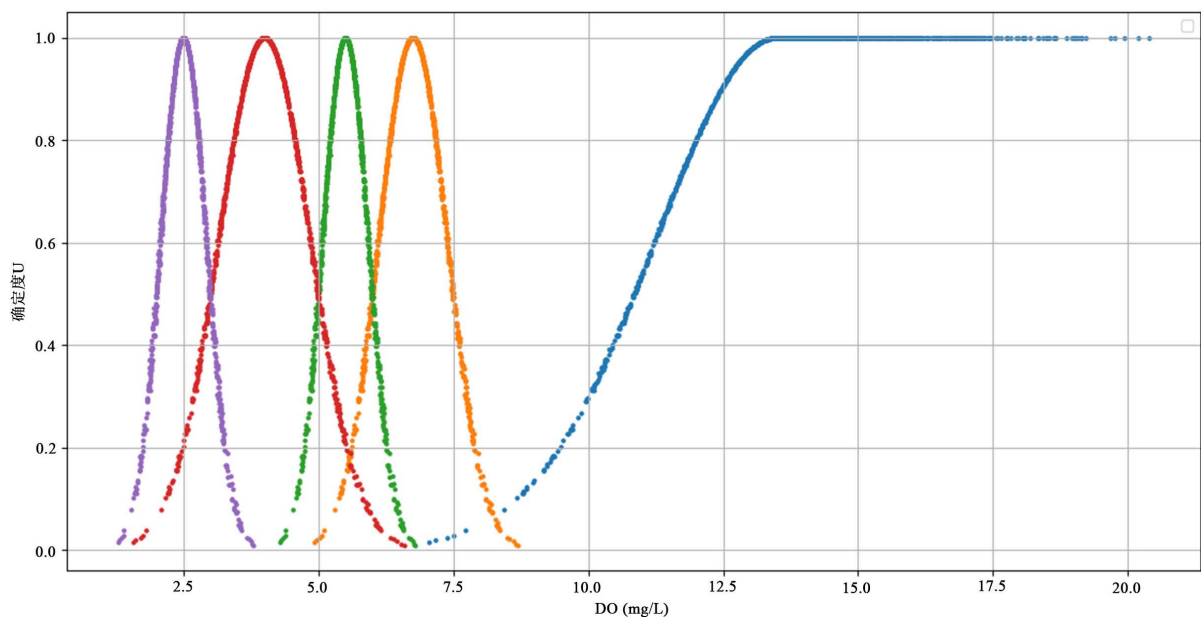


Figure 1. DO

图 1. DO

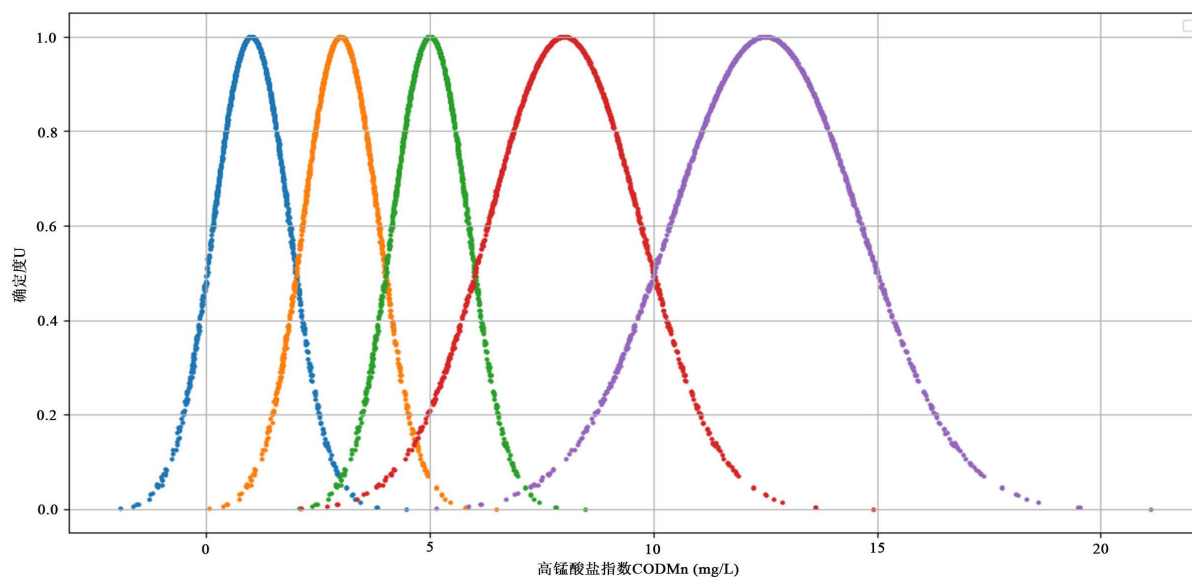


Figure 2. CODMn

图 2. CODMn

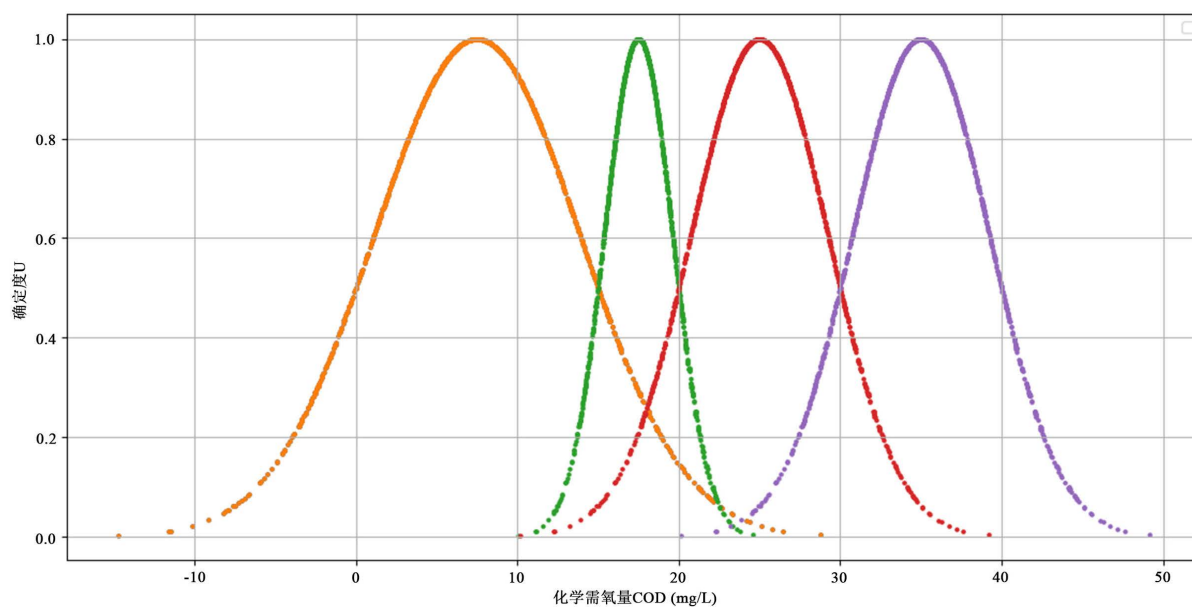


Figure 3. COD

图 3. COD

### 3.2. 评价综合确定度的计算

将 2.1 中计算所得的权重  $W$  与得到各评价因子隶属于各水质级别的确定度矩阵  $[X][Y]$  相乘, 即可得到各评价因子的综合确定度  $W[X][Y]$ , 计算其各列值的综合确定度, 监测点所属的水质级别为最大确定度所在的级别。下面我们举例说明评价综合确定度计算过程。

如下为 2018 年 1 月份某水库 1 各评价因子隶属于各水质级别的确定度矩阵  $[X][Y]$ , 矩阵各行分别为评价因子溶解氧(DO), 高锰酸盐指数(CODMn), 化学需氧量(COD), 五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>), 氨氮(NH<sub>3</sub>-N), 总磷(P)隶属于不同水质级别 I、II、III、IV、V 类的确定度。

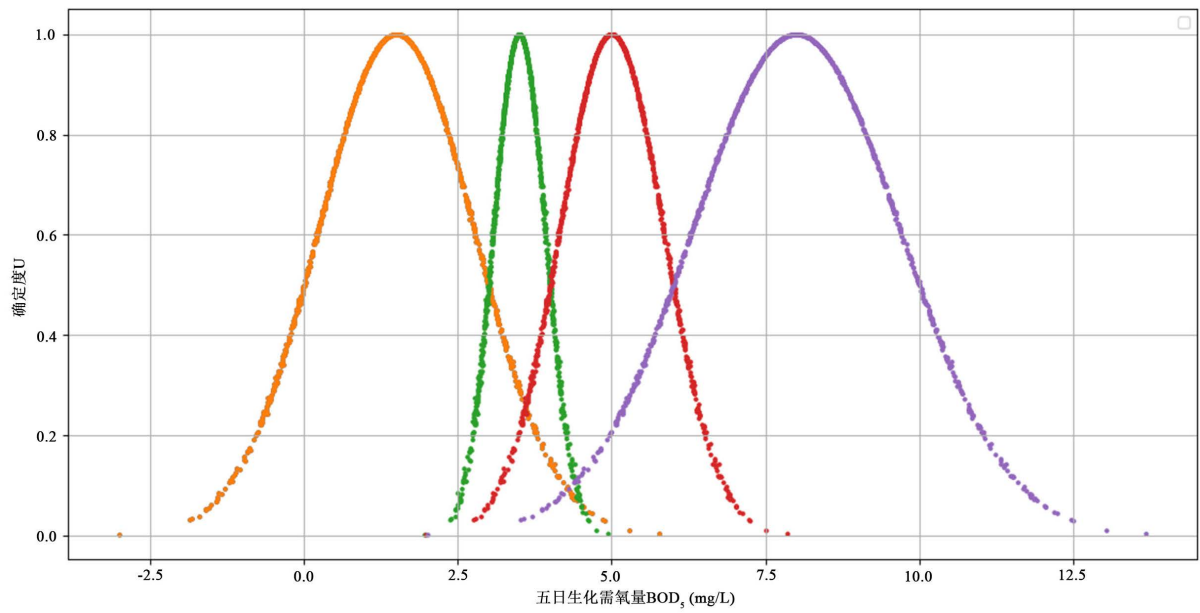


Figure 4. BOD<sub>5</sub>  
图 4. BOD<sub>5</sub>

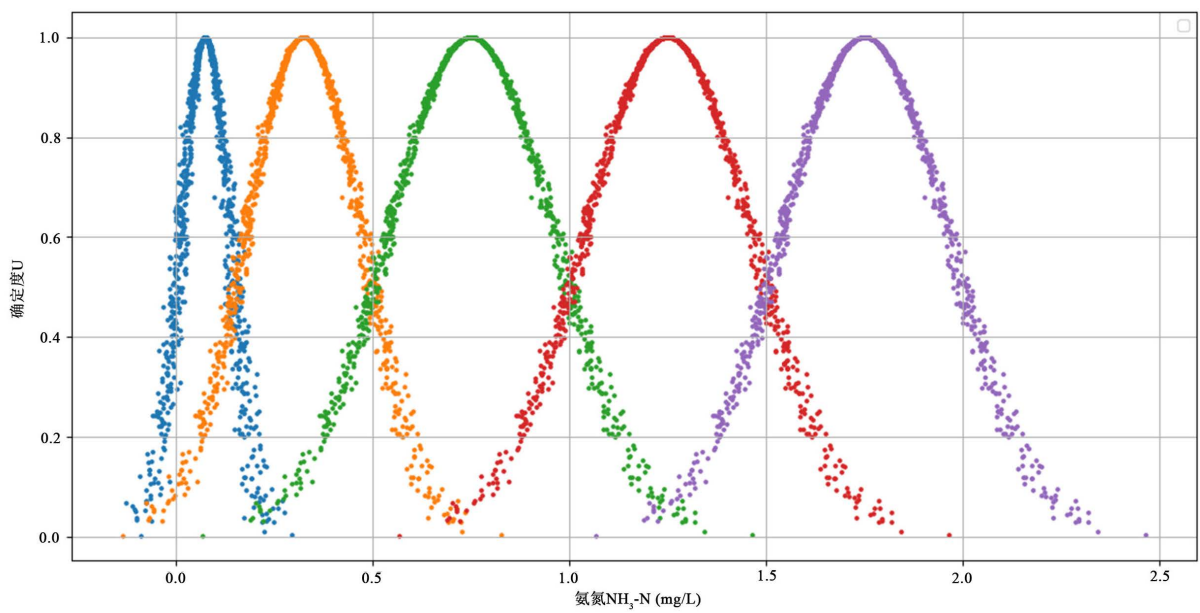


Figure 5. NH<sub>3</sub>-N  
图 5. NH<sub>3</sub>-N

$$[X][Y] = \begin{bmatrix} 0.0286 & 0.4999 & 0.0000 & 0.0002 & 0.0000 \\ 0.8950 & 0.1696 & 0.0001 & 0.0005 & 0.0000 \\ 0.9969 & 0.9969 & 0.0000 & 0.0003 & 0.0000 \\ 0.9727 & 0.9727 & 0.0003 & 0.0008 & 0.0013 \\ 0.0000 & 0.9661 & 0.1915 & 0.0002 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0360 & 0.9469 & 0.1541 & 0.0241 \end{bmatrix}$$

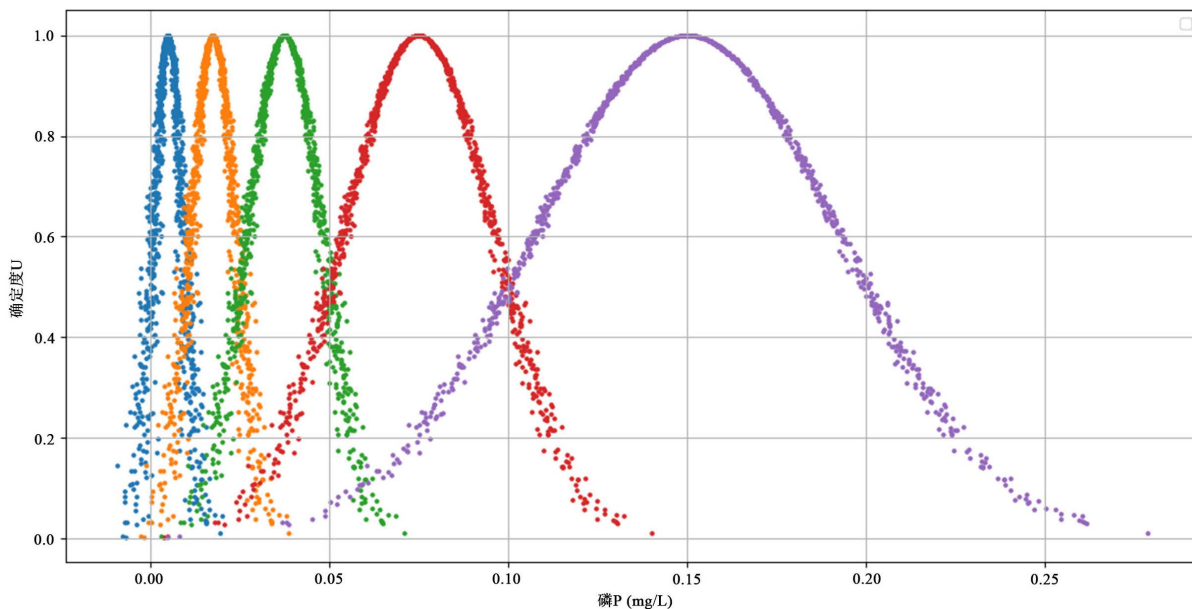


Figure 6. P  
图 6. P

则各评价因子的综合确定度  $W[X][Y]$  为:

$$W[X][Y] = [0.4920, 0.6603, 0.1050, 0.0158, 0]$$

这表明 2018 年 1 月份某水库 1 水质级别为 I、II、III、IV、V 类的确定度分别为 0.4920、0.6603、0.1050、0.0158、0，依据最大确定度原则我们可以得到此处水质级别为 II 类。

#### 4. 数值结果

由第 3 节所述步骤，最终得到该水库近三年的水质评价结果如表 2~7 所示。由表格可知，2018、2019、2020 这三年水质评价结果除监测断面某水库 2 在 2020 年 3 月、12 月水质为 I 类外，其余均为 II 类，可见近年该水库水质状态总体稳定，无污染状况，且由  $U_I$  为 0.4 左右， $U_{III}$  多小于 0.1，可知水质中上，为 II 类偏 I 类。后期可加强水资源保护，以进一步提升水质。

Table 2. Monitoring section 1 2018 water quality level determination and water quality evaluation results  
表 2. 监测断面 1 2018 年水质级别确定度及水质评价结果

监测断面	监测时间	$U_I$	$U_{II}$	$U_{III}$	$U_{IV}$	$U_V$	水质评价结果
某水库 1	2018.01	0.4920	0.6603	0.1050	0.0158	0	II
某水库 1	2018.02	0.4686	0.6832	0.0499	0.0062	0	II
某水库 1	2018.03	0.4308	0.8277	0.1046	0.0126	0	II
某水库 1	2018.04	0.3897	0.7036	0.1329	0.0218	0	II
某水库 1	2018.05	0.4572	0.8377	0.0319	0.0078	0	II
某水库 1	2018.06	0.3535	0.7558	0.1323	0.0198	0	II
某水库 1	2018.07	0.3202	0.7271	0.1821	0.0240	0	II
某水库 1	2018.08	0.3318	0.7572	0.1790	0.0250	0	II



Continued

某水库 1	2018.09	0.3399	0.7832	0.1586	0.0221	0	II
某水库 1	2018.10	0.3830	0.8285	0.0622	0.0113	0	II
某水库 1	2018.11	0.4157	0.7812	0.0866	0.0133	0	II
某水库 1	2018.12	0.4765	0.7215	0.0952	0.0161	0	II

**Table 3.** Monitoring section 1 2019 water quality level determination and water quality evaluation results**表 3.** 监测断面 1 2019 年水质级别确定度及水质评价结果

监测断面	监测时间	$U_I$	$U_{II}$	$U_{III}$	$U_{IV}$	$U_V$	水质评价结果
某水库 1	2019.01	0.4542	0.7884	0.0182	0.0030	0	II
某水库 1	2019.02	0.3963	0.6879	0.0550	0.0082	0	II
某水库 1	2019.03	0.4391	0.6971	0.0537	0.0070	0	II
某水库 1	2019.04	0.5279	0.6242	0.0508	0.0065	0	II
某水库 1	2019.05	0.4255	0.5669	0.0372	0.0068	0	II
某水库 1	2019.06	0.3623	0.7546	0.1277	0.0331	0	II
某水库 1	2019.07	0.3784	0.8330	0.0335	0.0071	0	II
某水库 1	2019.08	0.3937	0.7521	0.1303	0.0211	0	II
某水库 1	2019.09	0.4132	0.8090	0.0333	0.0067	0	II
某水库 1	2019.10	0.4017	0.7941	0.0731	0.0120	0	II
某水库 1	2019.11	0.4482	0.6624	0.1021	0.0198	0	II
某水库 1	2019.12	0.4521	0.7604	0.0504	0.0080	0	II

**Table 4.** Monitoring section 1 2020 water quality level determination and water quality evaluation results**表 4.** 监测断面 1 2020 年水质级别确定度及水质评价结果

监测断面	监测时间	$U_I$	$U_{II}$	$U_{III}$	$U_{IV}$	$U_V$	水质评价结果
某水库 1	2020.01						
某水库 1	2020.02	0.4662	0.7354	0.0186	0.0041	0	II
某水库 1	2020.03	0.5222	0.6120	0.0066	0.0021	0	II
某水库 1	2020.04	0.4367	0.8160	0.0215	0.0042	0	II
某水库 1	2020.05	0.4231	0.8393	0.0401	0.0082	0	II
某水库 1	2020.06	0.3994	0.7279	0.0716	0.0113	0	II
某水库 1	2020.07	0.4034	0.7219	0.1158	0.0183	0	II
某水库 1	2020.08	0.3377	0.7541	0.1127	0.0537	0	II
某水库 1	2020.09	0.4169	0.8821	0.0628	0.0097	0	II
某水库 1	2020.10	0.4398	0.9144	0.0354	0.0069	0	II
某水库 1	2020.11	0.4564	0.7837	0.0380	0.0063	0	II
某水库 1	2020.12	0.4775	0.6906	0.0911	0.0339	0	II

**Table 5.** Monitoring section 2 2018 water quality level determination and water quality evaluation results  
**表 5.** 监测断面 2 2018 年水质级别确定度及水质评价结果

监测断面	监测时间	$U_I$	$U_{II}$	$U_{III}$	$U_{IV}$	$U_V$	水质评价结果
某水库 2	2018.01	0.4956	0.6715	0.0162	0.0019	0	II
某水库 2	2018.02	0.4956	0.6819	0.0224	0.0029	0	II
某水库 2	2018.03	0.4129	0.7696	0.0851	0.0148	0	II
某水库 2	2018.04	0.5074	0.8219	0.0272	0.0048	0	II
某水库 2	2018.05	0.4583	0.7718	0.0756	0.0132	0	II
某水库 2	2018.06	0.4457	0.7774	0.0801	0.0128	0	II
某水库 2	2018.07	0.3781	0.7265	0.1198	0.0188	0	II
某水库 2	2018.08	0.4083	0.6910	0.1758	0.0244	0	II
某水库 2	2018.09	0.4446	0.8594	0.0316	0.0071	0	II
某水库 2	2018.10	0.4542	0.8510	0.0389	0.0064	0	II
某水库 2	2018.11	0.5102	0.7605	0.0355	0.0053	0	II
某水库 2	2018.12	0.4844	0.7525	0.0426	0.0055	0	II

**Table 6.** Monitoring section 2 2019 water quality level determination and water quality evaluation results  
**表 6.** 监测断面 2 2019 年水质级别确定度及水质评价结果

监测断面	监测时间	$U_I$	$U_{II}$	$U_{III}$	$U_{IV}$	$U_V$	水质评价结果
某水库 2	2019.01	0.4839	0.7333	0.0086	0.0019	0	II
某水库 2	2019.02	0.4416	0.6842	0.0516	0.0064	0	II
某水库 2	2019.03	0.5125	0.5730	0.0128	0.0030	0	II
某水库 2	2019.04	0.5141	0.7435	0.0402	0.0053	0	II
某水库 2	2019.05	0.5315	0.6272	0.0193	0.0033	0	II
某水库 2	2019.06	0.5268	0.6970	0.0054	0.0023	0	II
某水库 2	2019.07	0.4383	0.8223	0.0126	0.0033	0	II
某水库 2	2019.08	0.4478	0.8308	0.0607	0.0105	0	II
某水库 2	2019.09	0.4883	0.7778	0.0460	0.0068	0	II
某水库 2	2019.10	0.4638	0.6737	0.0540	0.0083	0	II
某水库 2	2019.11	0.5191	0.5722	0.0266	0.0041	0	II
某水库 2	2019.12	0.5065	0.7170	0.0262	0.0041	0	II

**Table 7.** Monitoring section 2 2020 water quality level determination and water quality evaluation results  
**表 7.** 监测断面 2 2020 年水质级别确定度及水质评价结果

监测断面	监测时间	$U_I$	$U_{II}$	$U_{III}$	$U_{IV}$	$U_V$	水质评价结果
某水库 2	2020.01						
某水库 2	2020.02	0.5144	0.6844	0.0195	0.0035	0	II
某水库 2	2020.03	0.5689	0.5654	0.0041	0.0014	0	I

Continued

某水库 2	2020.04	0.4694	0.8579	0.0173	0.0043	0	II
某水库 2	2020.05	0.5321	0.8114	0.0055	0.0025	0	II
某水库 2	2020.06	0.5185	0.7990	0.0153	0.0052	0	II
某水库 2	2020.07	0.4236	0.7647	0.0845	0.0137	0	II
某水库 2	2020.08	0.4749	0.8010	0.0233	0.0068	0	II
某水库 2	2020.09	0.4221	0.8567	0.0417	0.0088	0	II
某水库 2	2020.10	0.4865	0.9159	0.0176	0.0040	0	II
某水库 2	2020.11	0.5032	0.7402	0.0192	0.0035	0	II
某水库 2	2020.12	0.5244	0.5224	0.0453	0.0062	0	I

又虽然水质最终评价结果大多 II 类, 水质级别一致, 其确定度的不同又代表了不同意义,

2018 年 1 月、2 月与 2018 年 3 月、4 月相比较  $U_I$  更大, 而  $U_{II}$  更小, 可见 1、2 月水质优于 3、4 月份。类似的我们可以得到某水库 1 在 2018 年 1、2 月份, 2019 年 2、3、4、5、11 月份, 2020 年 3、12 月份水质较好( $U_{II} < 0.7$ ), 2018 年 3、5、10 月份, 2019 年 7、9 月份, 2020 年 4、5、8、10 月份水质较差( $U_{II} > 0.8$ )。某水库 2 在 2018 年 1、2、8 月份, 2019 年 2、3、5、6、10、11 月份, 2020 年 2、3、12 月份水质较好, 2018 年 4、9、10 月份, 2019 年 7、8 月份, 2020 年 4、5、6、8、9、10 月份水质较差。

在本次研究中, 我们对两个采样点 35 个月共计 70 个样本进行水质评价, 在运用云模型方法判定样本综合水质类别的过程中, 我们也得出了对于每个指标其所属的水质类别, 具体情况为:

溶解氧(DO): 70 个样本均属 II 类水质。

高锰酸盐指数(CODMn): 55 个样本属于 I 类水质, 15 个样本属于 II 类水质。

化学需氧量(COD): 70 个样本均属 I 类水质。

五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>): 70 个样本均属 I 类水质。

氨氮(NH<sub>3</sub>-N): 37 个样本属于 I 类水质, 33 个样本属于 II 类水质。

总磷(P): 61 样本个属于 II 类水质, 9 个样本属于 III 类水质。

综上所述, 该水库对于化学需氧量(COD), 五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)以及高锰酸盐指数(CODMn)这三个指标, 已经达到最高水质级别, 只需继续保持现有水准即可; 而对于氨氮(NH<sub>3</sub>-N), 溶解氧(DO), 总磷(P)这三个指标仍存在较大不足, 水库应在这三方面进一步加强管理控制, 对各指标, 尤其是对于指标总磷, 采取针对性治理措施, 以期提升水质。

## 5. 结论

通过基于熵权云模型方法得到的综合确定度对该水库进行水质评价, 可以看出, 采用云模型做水质评价具有如下优点:

① 可以避免使用综合评分法时出现的某一评价指标偏大的情况, 从而更客观合理地考量所有评价指标;

② 可以避免单一评价指标的随机性和模糊性, 采用单一指标无法对水体的综合水质进行准确判断, 而采用云模型方法可以通过确定度概念解决这一问题, 在不同指标隶属于不同水质级别的情况下判定样本的综合水质;

③ 可以更精准详细地了解水体的水质情况, 在了解水质不同级别的同时, 对隶属于同一级别的水体

也可以通过其对应确定度的不同来分辨其水质的优劣。

## 致 谢

非常感谢山西省水利技术研究推广补助项目(2022GM006)与山西省国际合作基地与平台项目(20210404110)的资助, 以及太原理工大学数学学院与山西能源学院能源与动力工程系所提供的支持。

## 参考文献

- [1] 周学文. 中国水利统计年鉴[M]. 武汉: 湖北人民出版社, 2009.
- [2] 王维, 纪枚, 苏亚楠. 水质评价研究进展及水质评价方法综述[J]. 科技情报开发与经济, 2012, 22(13): 129-131.
- [3] 薛巧英. 水环境质量评价方法的比较分析[J]. 环境保护科学, 2004, 30(124): 64-67.
- [4] 周扬. 双溪水库水环境质量评价研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2008.
- [5] Boyaeioglu, H. (2006) Surface Water Quality Assessment Using Factor Analysis. Dokuz Eylul University, Faculty of Engineering, Tinazte Pe CamPus Buca, Izmir.
- [6] Liu, H.B., Pan, D. and Chen, P. (2016) A Two-Year Field Study and Evaluation of Water Quality and Trophic State of a Large Shallow Drinking Water Reservoir in Shanghai, China. *Desalination and Water Treatment*, **57**, 13829-13838. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1059370>
- [7] 徐奕菲, 华德尊, 李春艳. 可持续发展视角下环境影响评价的方向和趋势[J]. 边疆经济与文化, 2009(10): 45-46.
- [8] 冯伶亲. 官厅水库水质污染的初步分析[J]. 北京水利, 官厅水库管理处专版, 1996(3): 37-56.
- [9] 李德毅, 杜鹁. 不确定性人工智能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [10] Li, D.Y. (1998) Knowledge Representation and Discovery Based on Linguistic Atoms. *Knowledge Based Systems*, **10**, 431-440. [https://doi.org/10.1016/S0950-7051\(98\)00038-0](https://doi.org/10.1016/S0950-7051(98)00038-0)
- [11] Li, D.Y., Di, K.C., Li, D.R., et al. (2000) Mining Association Rules with Linguistic Cloud Models. *Journal of Software*, **11**, 143-158.
- [12] 张峰, 张鹏林, 吕志勇, 等. 云模型在城镇空气质量评价中的应用[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(6): 160-164.
- [13] 贾琦, 段春青, 陈晓楠. 黄河流域水资源可再生能力评价的云模型[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(9): 48-52.
- [14] 周启刚, 张晓媛, 王兆林. 基于正态云模型的三峡库区土地利用生态风险评价[J]. 农业工程学报, 2014, 30(23): 289-297.
- [15] 张秋文, 章永志, 钟鸣. 基于云模型的水库诱发地震风险多级模糊综合评价[J]. 水利学报, 2014, 45(1): 87-77, 95.
- [16] 王贺, 刘高峰, 王慧敏. 基于云模型的城市极端雨洪灾害风险评价[J]. 水利经济, 2014, 32(2): 15-18.
- [17] 杨文. 基于云模型的宁海县地表水环境质量评价[D]: [硕士学位论文]. 金华: 浙江师范大学, 2013.
- [18] 蒋嵘, 李德毅, 陈晖. 基于云模型的时间序列预测[J]. 解放军理工大学学报, 2000, 1(5): 13-18.
- [19] 柴日发, 徐文骞, 曾文华. 基于云模型的 BP 算法改进[J]. 计算机仿真, 2002, 19(3): 23-126.
- [20] 范定国, 贺硕, 段富. 一种基于云模型的综合评判模型[J]. 科技情报开发与经济, 2003, 13(12): 157-159.
- [21] 丁昊, 王栋. 基于云模型的水体富营养化程度评价方法[J]. 环境科学学报, 2013, 33(1): 251-257.
- [22] 白晓燕, 赖成光, 陈晓宏, 等. 基于 Critic-cloud 模型的东江干流水质评价[J]. 水资源保护, 2014, 30(5): 26-31, 59.
- [23] Wu, Y.N., Chen, K.F., Zeng, B.X., et al. (2016) Supplier Selection in Nuclear Power Industry with Extended VIKOR Method under Linguistic Information. *Applied Soft Computing*, **48**, 444-457. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.07.023>
- [24] Hao, Z.N., Xu, Z.S. and Zhao, H. (2017) Probabilistic Dual Hesitant Fuzzy Set and Its Application in Risk Evaluation. *Knowledge-Based Systems*, **127**, 280-285. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.02.033>
- [25] 胡石元, 李德仁, 刘耀林, 等. 基于云模型和关联度分析法的土地评价因素权重挖掘[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2006, 31(5): 423-427.