

文章编号: 1009 - 0258 (2000) 01 - 0044 - 07\*

# 邹城市双村岩溶水系统地下水 环境质量现状评价

卜 华

(山东省鲁南地质工程勘察院, 山东 兖州 272100)

**摘要:** 以双村岩溶水系统 18 个代表性水质监测点的最新成果资料为基础, 结合水文地质条件选取 10 项评价因子, 依据地下水质量标准, 采用模糊数学理论对该系统的地下水环境质量进行了综合评价。评价结果表明: 该岩溶水系统大部分地区地下水的的环境质量状况较好, 局部地段较差; 地下水环境质量的展布特征与区域水文地质条件及污染源的分布具有较好的相关性。

**关键词:** 双村岩溶水系统; 地下水环境质量; 隶属度; 模糊综合评价; 山东邹城

**中图分类号:** P641.134; X820.2

**文献标识码:** A

双村岩溶水系统位于山东省邹城市西南部, 是一个具有明确的边界条件, 完整的补、径、排条件和独立的地下水动力场, 并以中奥陶世马家沟组灰岩为主要含水介质的水文地质单元(郭里集单斜水文地质单元), 是邹县电厂(我国最大的火力发电厂)和邹城市的主要供水水源地, 也是我国较为典型的特大型岩溶地下水水源地之一。近年来, 随着区域工农业经济的迅速发展, 城镇厂矿污水排放量的不断增加, 地表水水质的日趋恶化, 以及地下水的大量开采, 导致该岩溶水系统出现了地下水水质变差、污染加重的趋势, 且某些地段地下水出现部分化学指标和毒理学指标严重超标的现象。现根据多年来对该系统地下水动态的监测资料和研究结果, 应用模糊数学理论对地下水的环境质量现状进行综合评价, 以反映其实际质量状况。

## 1 评价资料的选取

### 1.1 选取评价因子

根据双村岩溶水系统地下水多年的水化学动态特征和污染机理以及水文地质条件的分析资料, 选取总硬度、溶解性总固体及  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{F}^-$  10 项指标作为地下水环境质量评价的因子, 其中总硬度及  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  反映了地下水的化学类型,  $\text{Hg}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{F}^-$  反映了工业污染对地下水的影响, 其余指标反映了农业及生活污染对地下水的影响<sup>[1]</sup>。该岩溶水系统 1998 年的 18 个代表性水质监测点的水质分析成果见表 1。

\*收稿日期: 1999 - 02 - 08; 修订日期: 2000 - 03 - 10; 编辑: 游文澄

作者简介: 卜华(1967 - ), 男, 山东邹城市人, 工程师, 从事水文地质工程地质工作。

表 1 评价因子实测浓度值(mg/L)

Table 1 Measured concentration value of valuation factors(mg/L)

监测 水点	总硬度	溶解性 总固体	硫酸盐	氯化物	氨氮 (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	硝酸盐 (以 N 计)	亚硝酸盐 (以 N 计)	汞 (Hg)	砷 (As)	氟化物
1	196.16	249.31	32.66	9.83	0	2.48	0.003	0	0.001	0.25
2	193.80	237.04	20.00	7.28	0.12	2.63	0.006	0	0	0.30
3	203.96	349.57	45.00	7.71	0.05	2.46	0.006	0.000 1	0.001	0.10
4	193.00	228.52	20.15	6.40	0	1.47	0	0.000 1	0.002	0.20
5	288.63	399.33	93.99	31.27	0	7.06	0	0.000 1	0.002	0.90
6	236.21	420.41	68.75	88.87	0	3.39	0.003	0.000 1	0	0.50
7	249.90	297.27	35.25	31.13	0.22	7.23	0.006	0.000 1	0.002	0.15
8	250.20	334.30	33.62	56.93	0	8.69	0	0.000 1	0	0.20
9	326.41	426.76	111.61	23.99	0.02	3.29	0	0.000 1	0.002	0.65
10	326.41	420.95	113.57	23.99	0.15	2.94	0	0.000 1	0.002	0.40
11	316.20	452.08	147.84	40.70	0	3.59	0.003	0.000 1	0.002	0.70
12	451.86	572.92	166.44	92.54	0.05	13.72	0.006	0.000 2	0.006	0.60
13	387.61	518.27	174.27	30.85	0.12	1.52	0.061	0.000 1	0.002	0.80
14	417.00	550	149.79	32.99	0	1.49	0.024	0.000 1	0.002	0.80
15	429.90	582	117	98	0	7.70	0.003	0.000 1	0	0.20
16	403.20	501	145.88	31.70	0.40	3.98	0.076	0.000 5	0.002	0.50
17	480.43	661.09	204.62	75.40	0.40	5.90	0.46	0.000 8	0.002	0.30
18	558.89	891.29	228.12	130.24	4.25	2.24	0.103	0.000 1	0.007	0.40

## 1.2 地下水环境质量评价标准

本文依据《地下水质量标准》(GB/T 14848—93)对地下水的环境质量进行评价。该标准将地下水的环境质量分为 5 类,各类因子标准值<sup>[2]</sup>见表 2。

表 2 评价因子标准值(mg/L)

Table 2 Standard value of valuation factors(mg/L)

环境 质量	总硬度	溶解性 总固体	硫酸盐	氯化物	氨氮 (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	硝酸盐 (以 N 计)	亚硝酸盐 (以 N 计)	汞 (Hg)	砷 (As)	氟化物
Ⅰ类	150	300	50	50	0.02	2.0	0.001	0.000 05	0.005	1.0
Ⅱ类	300	500	150	150	0.02	5.0	0.01	0.000 5	0.01	1.0
Ⅲ类	450	1 000	250	250	0.2	20	0.02	0.001	0.05	1.0
Ⅳ类	550	2 000	350	350	0.5	30	0.1	0.001	0.05	2.0
Ⅴ类	>550	>2 000	>350	>350	>0.5	>30	>0.1	>0.001	>0.05	>2.0

## 2 地下水环境质量的单项因子评价

## 2.1 计算隶属度

地下水环境质量由好到坏是一个渐变的过程,在中介过渡中存在着不分明性和模糊性。而模糊数学理论充分考虑了事物的中介过渡性质,可以浮动地选取阈值,给出一系列不同水平下的分析结果<sup>[3]</sup>,使结论更切合实际。因此,地下水的环境质量可以用模糊数学理论进行评价。在评价时分类的模糊界线采用隶属度刻划,隶属度则采用隶属函数来表达,为便于计算,本文采用线性隶属函数<sup>[1]</sup>。各因子对应于地下水5个质量类别的隶属函数见表3。

就某个水点而论,依据10项评价因子并结合地下水的5个质量类别标准,可以求得50个隶属函数,其中总硬度的5个隶属函数计算结果列于表3。

表3 与地下水5个质量类别对应的隶属函数(以总硬度为例)  
Table 3 Membership function corresponding to 5 quality types  
of underground water (total hardness as example)

地下水质量类别	隶属函数计算公式	总硬度的5个隶属函数
	$\mu(x) = \begin{cases} 1 & (x \leq 1) \\ \frac{2-x}{2-1} & (1 < x < 2) \\ 0 & (x \geq 2) \end{cases}$	$\mu(x) = \begin{cases} 1 & (x \leq 150) \\ -\frac{1}{150}(x-300) & (150 < x < 300) \\ 0 & (x \geq 300) \end{cases}$
	$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-1}{2-1} & (1 < x < 2) \\ \frac{3-x}{3-2} & (2 < x < 3) \\ 0 & (x \leq 1, x \geq 3) \end{cases}$	$\mu(x) = \begin{cases} \frac{1}{150}(x-150) & (150 < x < 300) \\ -\frac{1}{150}(x-450) & (300 < x < 450) \\ 0 & (x \leq 150, x \geq 450) \end{cases}$
	$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x-2}{3-2} & (2 < x < 3) \\ \frac{4-x}{4-3} & (3 < x < 4) \\ 0 & (x \leq 2, x \geq 4) \end{cases}$	$\mu(x) = \begin{cases} \frac{1}{150}(x-300) & (300 < x < 450) \\ -\frac{1}{100}(x-550) & (450 < x < 550) \\ 0 & (x \leq 300, x \geq 550) \end{cases}$
	$\mu(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq 3) \\ \frac{x-3}{4-3} & (3 < x < 4) \\ 0 & (x \geq 4) \end{cases}$	$\mu(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq 450) \\ \frac{1}{100}(x-450) & (450 < x < 550) \\ 0 & (x \geq 550) \end{cases}$
	$\mu(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq 4) \\ 1 & (x > 4) \end{cases}$	$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 550 \\ 1 & x > 550 \end{cases}$
说明	式中: $\mu_1(x), \dots, \mu_5(x)$ —某因子分属于地下水质量类别的隶属度; $x$ —某因子的实测浓度值(mg/L); $1, \dots, 4$ —某因子对应的地下水各质量类别的标准值(mg/L)。	

将各水点评价因子的实测值分别代入其相应的隶属函数中,则可得到其分属于地下水5个质量类别的隶属度。如10号水点总硬度的实测值为 $x = 326.41 \text{ mg/L}$ ,求得其分属于地下水5个质量类别的隶属度为 $(0, 0.82, 0.18, 0, 0)$ 。

## 2.2 建立模糊关系矩阵

建立模糊关系矩阵是进行单项因子评价和模糊综合评价的重要内容。据隶属度计算结果,将各点的 10 个评价因子对应于地下水 5 个质量类别的隶属度依次进行排列,即可组成各水点(10 × 5 阶)的模糊关系矩阵 $R_k$ 。如 10 号水点的模糊关系矩阵为:

$$R_{10} = \begin{pmatrix} 0 & 0.82 & 0.18 & 0 & 0 \\ 0.40 & 0.60 & 0 & 0 & 0 \\ 0.36 & 0.64 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.28 & 0.72 & 0 & 0 \\ 0.69 & 0.31 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.89 & 0.11 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{总硬度} \\ \text{溶解性总固体} \\ \text{硫酸盐} \\ \text{氯化物} \\ \text{氨氮}(\text{NH}_4^+) \\ \text{硝酸盐} \\ \text{亚硝酸盐} \\ \text{汞}(\text{Hg}) \\ \text{砷}(\text{As}) \\ \text{氟化物} \end{matrix}$$

## 2.3 单项因子评价

在上述水点的模糊关系矩阵中,行上的元素表示参加评价的因子对于地下水 5 个质量类别的隶属度,列上的元素表示参加评价的 10 个因子分别对应于某一类水的隶属度。由此便可对每个水点的各因子进行单项评价。仍以 10 号水点为例,就总硬度而言,它属于 I 类水的隶属度为 82%,属于 II 类水的隶属度为 18%。需要指出的是,该方法没有依据标准的临界判据将其划定为某一类水,而是考虑了分类界线的模糊性,用隶属度进行评价。显然,这种评价方法更趋客观与合理。

## 3 模糊综合评价

对于地下水环境质量评价来说,只进行单项因子评价是不够的,因为它仅反映了某个因子对地下水环境质量的影响,难以建立对区域地下水环境质量评价的综合概念,因此还需要进行综合评价。

### 3.1 权重计算

在进行综合评价时,由于各单项因子的高低差别对地下水环境质量的影响程度不同,因此有必要对各项因子赋予一定的权重( $W_i$ )。本文采用指数超标法公式进行计算<sup>[4]</sup>。即:

$$W_i = \frac{X_i}{C_i}$$

式中: $W_i$ — $i$  因子的权重;

$X_i$ — $i$  因子的实测浓度值(mg/L);

$C_i$ — $i$  因子对应于 5 个类别地下水质量标准的平均值(mg/L)。

将各水点评价因子的权重计算结果归一化处理后果列于表 4 中。

表4 各监测水点评价因子的权重( $\bar{w}_i$ )计算结果Table 4  $\bar{w}_i$  - results of valuation factors in each monitoring spot

监测水点	总硬度	溶解性总固体	硫酸盐	氯化物	氨氮(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	硝酸盐(以N计)	亚硝酸盐(以N计)	汞(Hg)	砷(As)	氟化物
1	0.37	0.17	0.11	0.03	0	0.11	0.06	0	0.02	0.13
2	0.26	0.11	0.05	0.02	0.29	0.09	0.08	0	0	0.11
3	0.28	0.17	0.11	0.02	0.12	0.08	0.08	0.08	0.02	0.04
4	0.39	0.17	0.07	0.02	0	0.07	0	0.12	0.05	0.11
5	0.25	0.12	0.15	0.05	0	0.15	0	0.05	0.02	0.21
6	0.24	0.16	0.13	0.16	0	0.08	0.03	0.06	0	0.14
7	0.20	0.09	0.05	0.05	0.32	0.14	0.05	0.05	0.02	0.03
8	0.29	0.14	0.07	0.12	0	0.25	0	0.07	0	0.06
9	0.30	0.14	0.18	0.04	0.03	0.07	0	0.05	0.02	0.16
10	0.26	0.12	0.16	0.03	0.21	0.06	0	0.05	0.02	0.09
11	0.26	0.14	0.22	0.06	0	0.07	0.02	0.05	0.02	0.16
12	0.23	0.11	0.15	0.08	0.05	0.17	0.03	0.06	0.04	0.08
13	0.18	0.09	0.15	0.03	0.10	0.02	0.29	0.03	0.01	0.10
14	0.27	0.13	0.18	0.04	0	0.02	0.16	0.04	0.02	0.15
15	0.32	0.16	0.15	0.13	0	0.14	0.02	0.04	0	0.04
16	0.14	0.06	0.09	0.02	0.25	0.03	0.26	0.10	0.01	0.05
17	0.07	0.03	0.05	0.02	0.10	0.02	0.63	0.06	0	0.01
18	0.05	0.03	0.04	0.02	0.73	0.01	0.10	0.01	0.01	0.01

注： $\bar{w}_i$ 为归一化处理后的权重。

### 3.2 综合评价

模糊综合评价是通过模糊关系矩阵的复合运算而实现的,实质上就是对各单项因子的评价进行加权和合成。数学公式<sup>[3]</sup>为:

$$B_K = A_K \cdot R_K$$

式中: $B_K$ —K点的综合评价矩阵;

$A_K$ —K点的权重矩阵;

$R_K$ —K点的模糊关系矩阵;

K—评价水点,  $K=1, 2, \dots, 18$ 。

综合评价时矩阵 $A_K$ 和 $R_K$ 的合成应用  $M(\cdot, +)$ 法运算,最后按最大隶属度原则<sup>[3]</sup>确定评价点的地下水环境质量类别,得出模糊综合评价结果。仍以10号水点为例:

$$B_{10} = A_{10} \cdot R_{10} = (0.33, 0.47, 0.20, 0, 0)$$

即10号水点的地下水环境质量为 类。

双村岩溶水系统18个代表性水质监测点地下水环境质量现状的模糊综合评价结果(归一化后)见表5。

表 5 地下水环境质量模糊综合评价结果

Table 5 Fuzzy comprehensive valuation results of the underground water environmental quality

评价水点	隶 属 度					环境质量类别
	$\mu$	$\mu$	$\mu$	$\mu$	$\mu$	
1	0.85	0.15	0	0	0	
2	0.57	0.27	0.16	0	0	
3	0.67	0.31	0.02	0	0	
4	0.87	0.13	0	0	0	
5	0.49	0.49	0.02	0	0	
6	0.63	0.37	0	0	0	
7	0.37	0.29	0.32	0.02	0	
8	0.52	0.42	0.06	0	0	
9	0.46	0.49	0.05	0	0	
10	0.33	0.47	0.20	0	0	
11	0.37	0.60	0.03	0	0	
12	0.21	0.41	0.37	0.01	0	
13	0.19	0.32	0.34	0.15	0	
14	0.26	0.35	0.37	0.01	0	
15	0.21	0.46	0.33	0	0	
16	0.09	0.31	0.26	0.35	0	
17	0.03	0.09	0.16	0.09	0.63	
18	0.04	0.04	0.05	0	0.87	

评价结果表明,双村岩溶水系统地下水的环境质量存在 5 种类别, — 类分布于污染源较少的中上游地区, — 类分布于受污染河水渗漏补给的下游地区。这说明系统内地下水环境质量展布特征与区域水文地质条件以及污染源的分布状况具有较好的相关性。评价结果基本上反映了该岩溶水系统地下水环境质量的实际状况。

#### 4 结语

(1) 双村岩溶水系统大部分地区地下水环境质量较好,水质符合工业、农业及生活用水的要求;局部地区地下水环境质量较差,用作饮用水源时应对污染因子进行处理。

(2) 大量开采地下水及严重污染河水的渗漏,是造成双村岩溶水系统地下水环境质量变差的主要原因。建立地下水资源管理模型,合理开采地下水资源,限制污染物排放是改善该系统地下水环境质量的關鍵。

#### 参 考 文 献

- [1] 尚守忠,田世义. 水资源及其开发利用[M]. 北京:科普出版社,1993.
- [2] GB/T 14848—1993,地下水质量标准[S].
- [3] 王彩华,宋连天. 模糊论方法学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1988.
- [4] 田春声. 环境水文地质学[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1995.

## Underground Water Environmental Quality Valuation of Shuangcun Karst Water System in Zoucheng City

BU Hua

(Lunan Geologic - engineering Institute, Shandong, Yanzhou 272100)

**Abstract :**Based on update information from 18 representative water quality monitoring spots in Shuangcun karst water system , considered hydrogeological conditions , 10 valuated factors are choosed. According to underground water quality standard , using fuzzy mathematic theory , the underground water environmental quality has been comprehensively valued. The results are as follows : the underground water environment is relatively good in most areas , and bad in some parts ; the distribution characteristics of the environmental quality is closely related to its regional hydrological condition and the distribution of contaminant sources.

**Key words :**Shuangcun karst water system ; environmental quality of underground water ; grade of membership ; comprehensive fuzzy valuation ; Zoucheng in Shandong provice

---

(上接第 16 页)

## Survey and Study Direction of Land and Resources in Shandong Province

WANG Lai - ming

( Shandong Geological Survey Institute , Shandong , Jinan 250013)

**Abstract :**Land and resources are the fundamental condition for human s living and developing. According to the targets and tasks of the new - circle - big - survey of land and resources in China which determined by the Ministry of Land and Resources , and combing with actual situation of Shandong province , it has been put forward that systematic survey , valuation and scientific plan of basic geology , mineral resources , land resources , agricultural geology and environmental geology in Shandong province should be regarded as the key points. Thus , it can provide minerals guarantee and environmental protection for the economic and social development , and also can serve the sustainable development in Shandong province.

**Key words :**Land and resources ; survey and valuation ; sustainable development ; Shandong province