

# A Brief Analysis of Groundwater Quality Evaluation Methods in Xiangcheng City

Chengjie LI<sup>1</sup>, Jianshe ZHAO<sup>3</sup>, Li YUAN<sup>2</sup>, Jianguang YUAN<sup>4</sup>, Guoxun YIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Resources and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China

<sup>2</sup>Jiaozuo Environment Monitoring Station, Jiaozuo 454000, China

<sup>3</sup>Environmental Protection Bureau of Qinyang City, Qinyang 454550, China

<sup>4</sup>Kangda Environmental Protection (Jiaozuo) Water Affairs Limited Co., Jiaozuo 454000, China

Email:lcj@hpu.edu.cn

**Abstract:** To evaluate the groundwater quality in Xiangcheng City of Henan province, to provide scientific basis for infrastructure construction of drinking water. Water quality was comprehensively evaluated by F-value method and fuzzy intergral assessment method in the groundwater with Xiangcheng City in Henan. Aggregative fuzzy intergral assessment Method and application of it in groundwater quality evaluation was researched in this paper, and compared with the evaluation results to F-value method. The result indicated that fuzzy intergral assessment method is effective, concise, precise, which can give a general reflection of pollution degree of groundwater. It was a effective and precise evaluation method, and was worthy of extending its application.

**Keywords:** Groundwater Pollution; Quality Evaluation to the Groundwater; F-value Method; Fuzzy Intergral Assessment Method

## 项城市地下水水质评价方法浅析

李成杰<sup>1</sup>, 赵建设<sup>3</sup>, 苑丽<sup>2</sup>, 原建光<sup>4</sup>, 尹国勋<sup>1</sup>

<sup>1</sup>河南理工大学资源环境学院, 焦作, 中国, 邮编 454000

<sup>2</sup>焦作市环境监测站, 焦作, 中国, 邮编 454000

<sup>3</sup>沁阳市环境保护局, 沁阳, 中国, 邮编 454000

<sup>4</sup>康达环保(焦作)水务有限公司, 焦作, 中国, 邮编 454000

**摘要:** 对河南项城市地下水进行水质评价, 为该地生活饮用水基础设施建设提供科学依据。通过采用 F 值评分法和模糊识别法对水质进行综合评价。对模糊识别法及在地下水水质评价中的应用进行了研究, 评价结果与 F 值评分法进行了比较。结果表明: 模糊识别法使用简便, 评价结果直观、精确度较高, 能较完整地反映地下水污染程度, 是一种实用而准确的评价方法, 值得推广应用。

**关键词:** 地下水污染; 地下水水质评价; F 值评分法; 模糊模式识别法

## 1 引言

项城城乡居民饮用水全部取自地下水。对地下水进行现状评价, 寻找适合城乡居民饮用的优质地下水, 意义重大。但是, 目前虽有多种地下水水质现状评价方法, 却都存在缺陷。现今采用最多的方法是综合指数法, 发展最快的是模糊数学法, 但是这种方法却存在诸多尚未解决的问题。本文以这 3 种方法为例对项城市地下水进行现状评价, 对模糊数学评价方法中的一些关键问题进行探索性研究, 找出 F 值评分法和模

糊模式识别法在实际应用中的异同及两种方法的适用情况。

## 2 评价方法介绍

### 2.1 F 值评分法

$$F = \sqrt{\frac{\bar{F}^2 + F_{\max}^2}{2}} \quad \bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i$$

式中: F—综合污染指数;

$\bar{F}$ —各单项组分评分值的平均值;

$F_{\max}$ —单项组分评分值的最大值;

n—项数。

教改项目: 河南理工大学教育教学改革研究项目 2008JG016

单项组分评分值  $F_i$  的确定见表 1。  
地下水水质评价分级 (F 值评分法) 见表 2。

Table 1. The assessing score of single factor

表 1. 单项评分标准

级别	优良	良好	较好	较差	极差
F	<0.8	0.8-2.50	2.5-4.25	4.25-7.20	>7.20

Tab2. The assessing grades of groundwater quality

表 2 地下水水质评价分级标准

类别	I	II	III	IV	V
Fi	0	1	3	6	10

## 2.2 模糊模式识别法

(1) 指标特征值矩阵和指标标准特征值矩阵实测指标相对隶属度矩阵:

$$R_{mn} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = (r_{ij})$$

式中:  $r_{ij}$ ——实测指标相对隶属度与指标标准相对隶属度矩阵。

(2) 模糊识别模式评判模型——相对隶属函数

井位  $j$  相对隶属度  $u_{hj}$  隶属于  $h$  级环境标准, 则有井位相对隶属度矩阵:

$$U_{m \times 5} = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{51} & u_{52} & \dots & u_{5n} \end{bmatrix} = (u_{hj})$$

$$1 \geq u_{hj} \geq 0 \quad \sum_{h=1}^5 u_{hj} = 1, \forall j$$

隶属度可定义为权重, 因此矩阵  $R_{mn}$  不仅描述了超标, 且表示了权重, 其按列归一化矩阵:

$$W_{mn} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{m1} & w_{m2} & \dots & w_{mn} \end{bmatrix} = (w_{ij})$$

该矩阵称为超标权重矩阵。其中

$$\sum_{i=1}^m w_{ij} = 1, \forall j$$

式中:  $w_{ij}$ ——超标权重。

构造拉格朗日函数, 最终求得样本对于  $h$  级环境标准的最有相对隶属度模糊识别理论模型为:

$$u_{ij} = \begin{cases} 1 & , h = a_{\min} = a_{\max} \\ 1 & , a_{\min} < h < a_{\max} \\ \frac{\sum_{i=1}^m (w_{ij} |r_{ij} - s_{ih}|)^2}{\sum_{k=a_{\min}}^{a_{\max}} \sum_{i=1}^m (w_{ij} |r_{ij} - s_{ik}|)^2} & , h < a_{\min} \text{ 或 } h > a_{\max} \\ 0 & , h < a_{\min} \text{ 或 } h > a_{\max} \end{cases}$$

式中:  $u_{ij}$ ——井位最优相对隶属度;

$w_{ij}$ ——超标权重;

$r_{ij}$ ——实测指标相对隶属度;

$s_{ih}$ ——指标标准相对度;

$h$ ——级别代码;

$a_{\min}, a_{\max}$ ——级别的上限和下限。

(3) 评判指标

对地下水模糊模式识别最终的评判指标由级别变量特征值  $H_i$  确定。设  $u$  为方案, 若  $A_1$  表示左极点为的级别优,  $A_2$  表示良,  $A_3$  表示中,  $A_4$  表示可,  $A_5$  表示右极点的级别劣。设  $u$  对  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$  相应的相对隶属度分别为  $\mu_{A1}(u), \mu_{A2}(u), \mu_{A3}(u), \mu_{A4}(u), \mu_{A5}(u)$ 。若

$$\mu_{A1}(u) = \max\{\mu_{A1}(u), \mu_{A2}(u), \mu_{A3}(u), \mu_{A4}(u), \mu_{A5}(u)\}$$

$$\mu_{A1}(u) < \sum_{i=2}^5 \mu_{A_i}(u)$$

且

根据最大隶属度原则, 判断方案  $u$  属于  $A_1$  级别是不合理的, 与实际情况不符, 而且使判断偏于不安全方面, 因  $u$  属于级别优的相对隶属度虽然最大, 但还小于其它级别相对隶属度的总和。为了克服最大隶属度原则的这个缺点, 本文提出了级别 (或类别) 特征值概念与定义作为判断与识别的新指标。

设参考连续统的右极点表示模糊概念  $A$  级别 1, 而自右向左的中介级别依次用 2, 3, ..., 直到左极点表示级别  $c$ , 而 1, 2, ...,  $c$  称为级别 (或类别) 变量以  $h$  表示。若元素  $u$  对级别 1, 2, ...,  $c$  的相对隶属度分别  $\mu_{A1}(u), \mu_{A2}(u), \dots, \mu_{Ac}(u)$ , 级别变量  $h$  与相对隶属度  $\mu_{Ah}(u)$  的对应关系称为级别变量的相对隶属度分布列, 满足归一化条件:

$$\sum_{h=1}^c \mu_{Ah}(u) = 1$$

以级别变量  $h$  对应的相对隶属度  $\mu_{Ah}(u)$  为权重, 其总和:

$$H(u) = \sum_{h=1}^c \mu_{Ah}(u)h$$

称为级别（或类别）变量的特征值，简称为级别特征值。

### 2.3 评价标准

按照《中华人民共和国国家标准—地下水质量标准（GB/T 14848—93）》项城地下水评价执行三级标准。

### 2.4 评价因子的选择

鉴于项城市试验数据中出现某些因子超标倍数过高（例如亚硝酸盐），其地下水评价因子的选择，应遵循以下原则：

- (1) 选取地下水污染中贡献较大的因子，累积频率  $P_i > 95\%$ ；
- (2) 根据统计学原理，单因子超标必须有一定的重现率才能保证评价的可靠性，每个因子出现超标的次数需  $> 3$ 。累计频率计算公式：

$$P_i = (C_i / S_{ij}) / \sum_{j=1}^n (C_i / S_{ij}) \times 100\%$$

式中： $C_i$ ——第  $i$  个因子的浓度值  
 $S_{ij}$ ——第  $i$  个因子的  $j$  类环境标准值

根据选择原则，选取  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、Mn、Hg、COD、总硬度、硒 7 项作评价因子。

## 3 评价结果分析

### 3.1 F 值评分法单项评分结果

- (1) 硝酸盐：超标点 33 个，超过 1/3。有两个明显硝酸盐超标区，一在该市北部块状分布，另一南部东西走向带状分布。水质优良区较少，仅在西部地区及该市南端小面积分布。

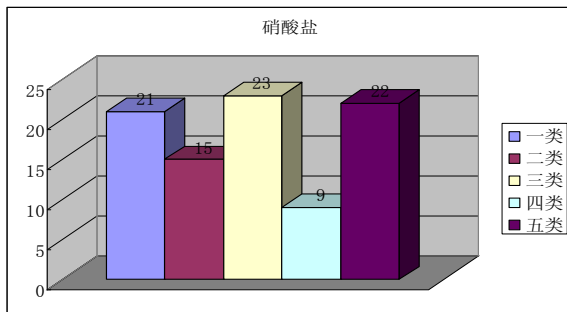


Figure 1. The  $\text{NO}_3^-$  within groundwater quality distribution figure  
 图 1 地下水中硝酸盐质量柱状图

- (2) 汞：汞超标点 4 个，均分布在西南区，其余地区水质优良。

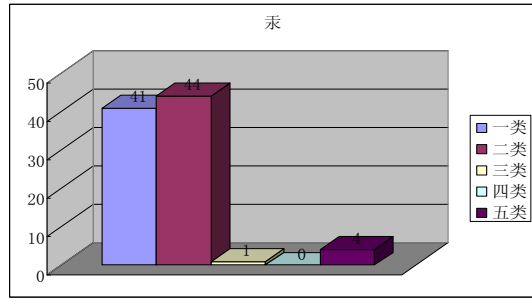


图 2 地下水中汞质量柱状图

Fig 2. The Hg within groundwater quality distribution figure  
 (3) COD:

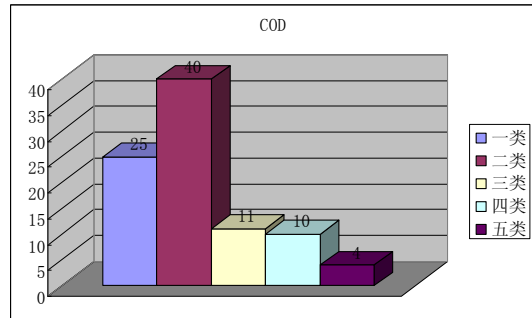


Fig. 3 The COD within groundwater quality distribution figure  
 图 3 地下水中 COD 质量柱状图

COD 超标点 14 个，约占总监测点的 1/6。该市分布两个带状超标区，其一自该市西南东北走向自西南向中部延伸，另一个在该市东北部分布；另外该市西部带状分布水质较好区，其 COD 浓度接近超标值。

- (4) 硒：超标点 10 个，零星分布。该市北部见小面积超标区，其余地区优良。

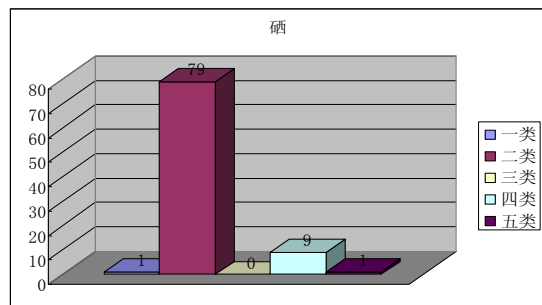


Fig.4 The Se within groundwater quality distribution figure  
 图 4 地下水中硒质量柱状图

- (5) 总硬度：总硬度超标点 35 个，接近 40%，是仅次于锰的超标因子。超标区主要分布在北部和西南部地区。该市西部及西南水质较好，仅东部地区分布小面积优良区。

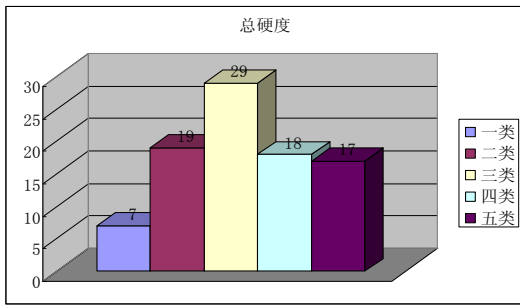


Fig.5 The Se within groundwater quality distribution figure  
图 5 地下水中总硬度质量柱状图

(6) 亚硝酸盐: 超标点 19 个, 污染情况较为严重, 超标点带状分布, 自西南部向中部延伸, 几乎贯穿该市全区。其余地区优良。

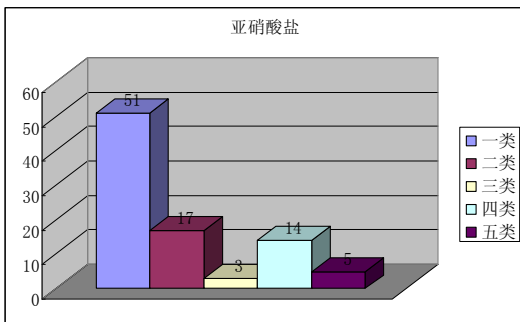


Fig. 6 The NO<sub>2</sub><sup>-</sup> within groundwater quality distribution figure  
图 6 地下水中亚硝酸盐质量柱状图

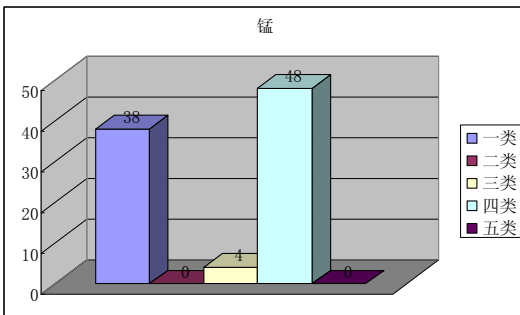


Fig 7 The Se within groundwater quality distribution figure  
图 7 地下水中锰质量柱状图

(7) 锰: 锰是该市超标最严重的因子, 超标点 48 个, 超过监测点总数的 50%, 分布于中西部和东部地区。

### 3.2 F 值综合评分结果

项城地下水水质分布以四类、五类为主。90 个采样点中: 水质优良 0 个, 良好 5 个, 较好 0 个, 较差 54 个, 很差 31 个。

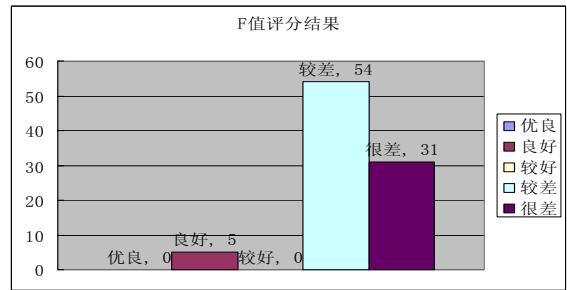


Fig 8. The groundwater quality distribution figure by F-index method  
图 8 F 值综合评分水质柱状图

从项城F值综合评价水质评价可知, 该市综合水质分布明显具有区域特征。其中南部和北部水质很差, 其余地区水质较差。目前项城市浅层地下水已不适合饮用, 其生活饮用水应取中深层水, 而已经受到污染的浅层地下水也应根据其污染现状和主要污染因子适时采取适当的治理措施。

### 3.3 模糊模式识别法评价结果

由取小取大法所得评价结果: 第 II、III 级之间控制点四个, 占 4.44%; 第 III 级五个, 占 5.56%; 第 III、IV 级之间 13 个, 占 14.44%; 第 IV 级 20 个, 占 22.22%; 第 IV、V 级之间 10 个, 占 11.11%; 第 V 级 38 个, 占 42.22% (图 9)。经相乘取大法修正, 共计得到水质 II 级点 2 个、III 级 15 个、IV 级 33 个、V 级 40 个 (图 10)。很显然, 其地下水的质以第 IV、V 为主, 该市浅层地下水已受到严重污染, 不适合饮用。

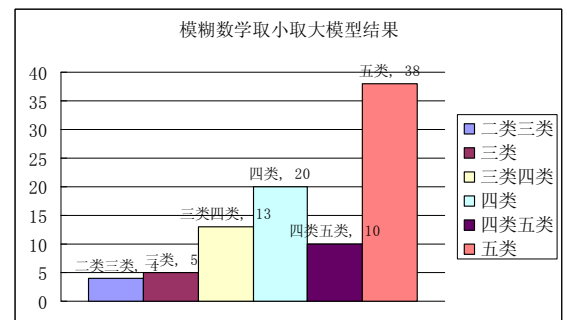


Fig9 The appraisal result of taking slightly and taking the big model  
图 9 取小取大模型评价结果

从模糊识别评价结果可以看出, 一狭窄带状水质 III 类区分布于项城市东部, V 类区从项城市区向南南西方向延伸至该市南部地区, 然后沿北北东方向延伸至中部地区, 其余地区为 IV 类水质区。

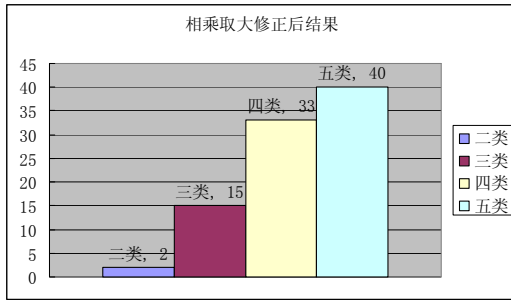


Fig10 The appraise result of multiplications takes the big revision

图 10 相乘取大修正后评价结果

#### 4 两种评价方法比较

两种方法评价项城市地下水，其结论都是该市大部分地区已受到污染的，见表3。

Tab 3.The result of evaluation with F-index method and fuzzy pattern recognition model

表 3 F 值评分法和模糊识别法评价结果

	一级	二级	三级	四级	五级
F 值评分法	0	5	0	54	31
模糊识别法	0	2	15	33	40

虽然二者得出的结论相似，但是从三级点的数量

上来看，二者还是明显存在差异。F值评分法所得出的结论趋向于两级，即三级点较少。从概率学原理分析其90个点的结果，这显然是不合理的，这种方法评价结果的表达形式缺乏与级别间的关系。所以F值评分法要求不是很严格的一般地下水以及一些平常用途水质评价，例如当水质评价的目的是为了判断地下水是否适于饮用时，这种方法的评价结果还是较为理想的。

模糊识别法创建了相对隶属度的概念，从表3可知其结果也更切实际。这种方法适合于要求更高的水质评价，评价结果直观、精确度较高，具有信息利用率高的优点，能较完整地反映地下水污染程度，因此是一种实用而准确的评价方法，值得推广应用。

#### References (参考文献)

- [1] LI Xin-feng;LIU Guo-dong. Application of Fuzzy Pattern Recognition Model to Groundwater Quality Assessment[J], *Ground Water*, 2008,30(4), P9-11, 20 (Ch).  
李新峰,刘国, 模糊模式识别法在评价地下水水质中的应用[J],*地下水*, 2008,30(4), P9-11, 20.
- [2] WANG Wen-qiang. Application of Aggregative Index Number Method in Groundwater Quality Evaluation[J], *Water Conservancy Science and Technology and Economy*, 2008,14(1), P54-55(Ch).  
王文强, 综合指数法在地下水水质评价中的应用[J], *水利科技与经济*, 2008,14(1), P54-55.