

# 基于模糊物元模型的渭北工业区地下水 资源承载力评价

李 朦, 解建仓, 杨柳, 汪妮, 朱记伟  
(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

**摘 要:** 建立了模糊物元模型, 选取 12 个评价指标, 参照其他文献并结合研究区实际情况进行等级划分, 采用熵值法确定各评价指标权重, 以 7 个被评价样本与标准样本之间的贴进度表征来评价样本的优劣, 从而得到研究区地下水资源承载力评价结果。经计算, 阎良、临潼、高陵、渭北工业区及 I 级、II 级、III 级与标准样本之间的欧式贴进度分别为 0.5359、0.7538、0.5926、0.6556、0.8635、0.6893、0.5508。阎良的地下水资源承载力处于 III 级, 地下水资源承载力弱, 地下水处于高度利用状态, 开采潜力较小; 其余地区地下水资源承载力均处于 II 级, 地下水资源承载力一般, 地下水处于中度利用状态, 尚有一定开采潜力。通过比较验证, 本研究的模糊物元模型评价结果合理可行, 该方法简便实用。

**关键词:** 地下水资源; 水资源承载力; 模糊物元模型; 熵权法

中图分类号: TV211.12

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)04-0169-06

## Evaluation of carrying capacity of groundwater resources in Weibei industry zone based on fuzzy matter-element model

LI Meng, XIE Jiancang, YANG Liu, WANG Ni, ZHU Jiwei

(Faculty of Water Resources and Hydropower, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** Based on the establishment of fuzzy matter-element model, the paper selected 12 evaluation indexes, referred other documents and combined the actual situation of the study area to grade, and used the entropy method to calculate the evaluation index weight. The closeness between seven evaluated and standard samples was used to indicate the merits of evaluated samples so as to get the evaluated result of groundwater resources carrying capacity. Through calculating, the closeness between Yanliang, Lintong, Gaoling, Weibei industrial area, I, II, III grade and the standard samples are 0.5359, 0.7538, 0.5926, 0.6556, 0.8635, 0.6893, 0.5508. The groundwater resources carrying capacity of Yanliang is in grade III, the carrying capacity of groundwater resources is weak. The groundwater is in the state of high utilization and has small exploitation potential; The groundwater resources carrying capacity of other areas is in grade II and belong to general. The groundwater is in the state of moderate use and has a certain potential of exploitation. By comparing and verifying, the paper shows that the evaluated results of fuzzy matter-element model is reasonable and practicable. The method is simple and practical.

**Key words:** groundwater resources; carrying capacity of water resources; fuzzy matter-element model; entropy method

20 世纪 80 年代末, 水资源承载力的概念被提出, 其含义是基于可持续发展原则, 在一定的技术经济水平和社会生产条件下, 水资源可最大供给工农业生产、人民生活 and 生态环境保护等用水的能力, 即水资源的最大可开发容量<sup>[1]</sup>。地下水资源是水资源

的重要组成部分, 是区域经济发展的支撑<sup>[2]</sup>。然而, 近些年来, 人口的剧增和经济的高速发展导致水资源的供需矛盾突出, 地下水超采现象严重, 并引起一系列地质环境问题, 如区域地下水位持续下降、地面沉降、水质污染<sup>[3]</sup>等。基于当前的地下水资源开

收稿日期: 2014-02-19; 修回日期: 2014-03-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(51079120、51209170)

作者简介: 李 朦(1988-), 女, 河北保定人, 在读硕士研究生, 研究方向为区域经济与水资源管理。

通讯作者: 解建仓(1963-), 男, 陕西眉县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水文水资源及水利信息化方面的教学研究工作。

采现状,正确评价区域地下水资源承载力,合理开发利用地下水资源势在必行。

水资源承载力是当今水资源科学的一个重点研究问题,大部分研究都是针对水资源承载力,而关于地下水资源承载力的研究相对较少<sup>[4]</sup>。当前地下水资源承载力的主要评价方法有模糊综合评判、集对分析、物元模型、逼近理想解、投影寻踪等模型<sup>[1-6]</sup>。模糊物元模型是在物元模型的基础上提出的一种评价模型,并广泛应用于生态安全评价、水资源及环境承载力评价、水质综合评价、水安全评价及水库洪水调度等领域<sup>[7-14]</sup>。本文应用模糊物元模型评价地下水资源承载力,建立地下水资源承载力评价指标体系,采用熵权法确定各指标权重,并以渭北工业区为研究对象进行实践应用,为区域地下水的开发提供决策意见。

渭北工业区位于陕西省西安市和咸阳市境内渭河以北,地处渭北黄土台塬区,属于典型的半干旱、半湿润气候带,包含阎良区、高陵县及临潼区渭河以北部分。该区降雨量较少且年内分布不均,多年平均降水量为450~700 mm;区内水资源缺乏,大部分河流流量很小,无水期较长;区内地下水水质大部分为Ⅲ类,少部分已达到Ⅳ类、Ⅴ类。

## 1 构建评价模型

地下水资源承载力评价系统是涵盖社会、经济、生态环境及水资源的复杂系统,影响因素较多,使得地下水资源承载力评价具有模糊性和随机性等不确定性,因此本文研究需采用模糊方法。

### 1.1 复合模糊物元模型

根据物元分析理论<sup>[15]</sup>,构造  $m$  维模糊物元模型<sup>[16]</sup>。

$$R_{mm} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \cdots & M_n \\ T_1 & v_{11} & v_{21} & \cdots & v_{n1} \\ T_2 & v_{12} & v_{22} & \cdots & v_{n2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ T_m & v_{1m} & v_{2m} & \cdots & v_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $R_{mm}$ 为  $n$  个评价样本  $m$  维复合模糊物元; $M_i$ 为第  $i$  个评价样本, $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $T_j$ 为第  $j$  项评价指标, $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $v_{ij}$ 为第  $i$  个评价样本的第  $j$  项指标对应的模糊量值。

### 1.2 标准模糊物元与差平方复合模糊物元

根据公式(1)构造标准样本  $m$  维模糊物元  $R_{0m}$ ,并根据各评价指标从优隶属度的最大值或者最小值

确定  $R_{0m}$  中的各项,本研究各指标从优隶属度均为1,所以  $\mu_{0i}$  为1,表示式如(2)所示。

$$R_{0m} = \begin{bmatrix} M_0 \\ T_1 & \mu_{01} \\ T_2 & \mu_{02} \\ \vdots & \vdots \\ T_m & \mu_{0m} \end{bmatrix} \quad (2)$$

构造差平方复合模糊物元  $R_{\Delta}$ ,其中: $\Delta_{ij} = (\mu_{0i} - \mu_{ij})^2$  ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ );  $\mu_{ij}$ 为从优隶属度, $\mu_{ij} = \begin{cases} v_{ij}/\max v_{ij} & \text{越大价值越高型指标} \\ \min v_{ij}/v_{ij} & \text{越小价值越高型指标} \end{cases}$ ,差平方复合模糊物元可表示为:

$$R_{\Delta} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \cdots & M_n \\ T_1 & \Delta_{11} & \Delta_{12} & \cdots & \Delta_{1n} \\ T_2 & \Delta_{21} & \Delta_{22} & \cdots & \Delta_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ T_m & \Delta_{m1} & \Delta_{m2} & \cdots & \Delta_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

### 1.3 评价指标权重的确定

权重衡量的是各个评价指标的重要程度。目前,评价指标的权重确定方法有很多,如,层次分析法、熵值法等<sup>[17-18]</sup>。层次分析法和主成分分析法的评价结果主观性较强,受人为因素影响较大。熵值是信息论中信息无序化程度的反映,熵值越小,系统的无序度就越小,在地下水资源承载力评价中,某项指标的熵值越小,其携带的信息量就越大,该指标所占的权重就越大。因此,由评价指标值构成判断矩阵来确定指标权重,可以最大程度的避免权重计算的人为干扰,使评价结果更加科学合理。其计算步骤如下:

(1)构建判断矩阵  $R$ ,其中包括  $n$  个事物  $m$  个评价指标。

$$R = [v_{ij}], \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$$

(2)将判断矩阵归一化处理,得到归一化判断矩阵  $B$ 。

越大价值越高型指标:

$$b_{ij} = (v_{ij} - \min v_{ij}) / (\max v_{ij} - \min v_{ij}) \quad (4)$$

越小价值越高型指标:

$$b_{ij} = (\max v_{ij} - v_{ij}) / (\max v_{ij} - \min v_{ij}) \quad (5)$$

式中: $\max v_{ij}$ ,  $\min v_{ij}$ 分别为同指标下所有样本对应模糊量值中的最大值和最小值。

(3)根据熵的定义确定第  $j$  项评价指标的熵。

$$H_j = -\frac{1}{\ln n} \left( \sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \right) \quad (6)$$

式中:  $f_{ij} = \frac{1 + b_{ij}}{\sum_{i=1}^n (1 + b_{ij})}$ , ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ )。

(4) 计算各指标的熵权。

$$W = (w_j)_{1 \times m}, w_j = (1 - H_j) / (m - \sum_{j=1}^m H_j)$$

$$(0 \leq w_j \leq 1, \sum_{j=1}^m w_j = 1) \quad (7)$$

### 1.4 贴近度计算和综合评价

被评价样本与标准样本两者之间相互接近的程度称为贴近度,其值越大,表示两者越接近,反之则越远。在地下水资源承载力综合评价过程中,采用欧式贴近度对评价样本进行优劣排序及综合分析,即:

$$\rho_i = 1 - \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j \Delta_{ij}^2} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

## 2 应用实例

### 2.1 评价指标和等级划分

根据本研究区域数据资料的可获取性,考虑地下水资源系统-社会经济系统-生态环境系统的耦合关系,结合研究区具体条件,并借鉴其他水资源承载力评价标准<sup>[3,19-20]</sup>,确定本文地下水资源承载力评价指标体系及等级划分标准,见表 1、2。I 级表示研究区地下水资源承载力强,地下水资源处于低度利用状态,有较大开采潜力;II 级表示研究区地下水资源承载力一般,地下水资源处于中度利用状态,尚有一定开采潜力,应适当减少地下水资源的开采利用,并加强地下水资源的保护;III 级表示研究区地下水资源承载力弱,地下水资源已达到高度利用状态,开采潜力较小,应停止地下水资源的开采。

表 1 地下水资源承载力综合系统评价指标体系

$m^3/\text{人}, \%, 10^4 m^3/\text{km}^2, \text{L}/(\text{人} \cdot \text{d}), m^3/\text{万元}, m^3/\text{亩}$

系统层面	评价指标	计算公式
地下水资源系统	人均地下水资源量 $T_1$	地下水资源总量 / 总人口
	地下水资源利用率 $T_2$	现状年地下水供水量 / 可利用的地下水资源总量
	地下水资源开采利用率 $T_3$	现状年地下水资源可开采利用量 / 地下水资源总量
	地下水资源供水模数 $T_4$	地下水资源年供给量 / 土地面积
社会经济系统	地下水资源耕地灌溉率 $T_5$	地下水资源灌溉面积 / 耕地面积
	人均地下水供水量 $T_6$	地下水年供给量 / 总人口
	生活用水定额 $T_7$	生活年用水量 / 总人口 / 365
	工业万元增加值用水量 $T_8$	工业用水量 / 工业万元增加值
生态环境系统	灌溉用水定额 $T_9$	灌溉用水量 / 有效灌溉面积
	地下水平均盐度 $T_{10}$	地下水中溶解物质质量 / 地下水质量
	地下水水质的 F 值 $T_{11}$	地下水各单项指标实测值 / 标准值(无量纲)
	生态环境用水率 $T_{12}$	生态环境用水量 / 总用水量

表 2 渭北工业区及各分区评价指标值及等级划分

$m^3/\text{人}, \%, 10^4 m^3/\text{km}^2, \text{L}/(\text{人} \cdot \text{d}), m^3/\text{万元}, m^3/\text{亩}$

评价指标	阎良	临潼	高陵	渭北工业区	I 级	II 级	III 级
人均地下水资源量 $T_1$	278.210	630.800	206.520	346.610	$\geq 500.000$	500.000 ~ 300.000	$\leq 300.000$
地下水资源利用率 $T_2$	79.480	37.800	69.400	54.420	$\leq 50.000$	50.000 ~ 75.000	$\geq 75.000$
地下水资源开采率 $T_3$	93.100	37.590	47.310	44.900	$\leq 40.000$	40.000 ~ 80.000	$\geq 80.000$
地下水资源供水模数 $T_4$	18.800	4.700	13.910	8.890	$\leq 10.000$	10.000 ~ 15.000	$\geq 15.000$
地下水资源耕地灌溉率 $T_5$	54.200	40.500	35.600	45.500	$\leq 15.000$	15.000 ~ 50.000	$\geq 50.000$
人均地下水供水量 $T_6$	91.600	187.800	127.300	155.500	$\geq 150.000$	150.000 ~ 100.000	$\leq 100.000$
生活用水定额 $T_7$	124.000	116.000	112.000	104.000	$\leq 70.000$	70.000 ~ 130.000	$\geq 130.000$
工业万元增加值用水量 $T_8$	57.000	40.000	64.000	50.300	$\leq 35.000$	35.000 ~ 55.000	$\geq 55.000$

续表 2

评价指标	阎良	临潼	高陵	渭北工业区	I 级	II 级	III 级
灌溉用水定额 $T_9$	309.000	253.000	278.000	270.000	$\leq 250.000$	250.000 ~ 350.000	$\geq 350.000$
地下水平均盐度 $T_{10}$	4.500	1.800	2.000	3.000	$\leq 2.000$	2.000 ~ 5.000	$\geq 5.000$
地下水水质的 $F$ 值 $T_{11}$	7.720	7.230	7.980	7.670	$\leq 2.500$	2.500 ~ 4.250	$\geq 4.250$
生态环境用水量 $T_{12}$	2.500	4.900	2.600	3.200	$\geq 5.000$	5.000 ~ 2.000	$\leq 2.000$

## 2.2 建立评价模型

根据上述模糊物元理论和评价指标体系,建立本次地下水资源承载力评价模型。

步骤 1:确定复合模糊物元。根据表 2 的数据

建立 12 个指标、7 个样本的渭北工业区地下水资源承载力复合模糊物元模型。为便于计算,评价等级的特征值取值为: I 级、III 级取上、下限; II 级取平均值。

$$R_{mn} = \begin{bmatrix} & \text{阎良} & \text{临潼} & \text{高陵} & \text{渭北工业区} & \text{I 级} & \text{II 级} & \text{III 级} \\ T_1 & 278.2100 & 630.8000 & 206.5200 & 346.6100 & 500.0000 & 400.0000 & 300.0000 \\ T_2 & 79.4800 & 37.8000 & 69.4000 & 54.4200 & 50.0000 & 62.5000 & 75.0000 \\ T_3 & 93.1000 & 37.5900 & 47.3100 & 44.9000 & 40.0000 & 60.0000 & 80.0000 \\ T_4 & 18.8000 & 4.7000 & 13.9100 & 8.8900 & 10.0000 & 12.5000 & 15.0000 \\ T_5 & 54.2000 & 40.5000 & 35.6000 & 45.5000 & 15.0000 & 32.5000 & 50.0000 \\ T_6 & 91.6000 & 187.8000 & 127.3000 & 155.5000 & 150.0000 & 125.0000 & 100.0000 \\ T_7 & 124.0000 & 116.0000 & 112.0000 & 104.0000 & 70.0000 & 100.0000 & 130.0000 \\ T_8 & 57.0000 & 40.0000 & 64.0000 & 50.3000 & 35.0000 & 45.0000 & 55.0000 \\ T_9 & 309.0000 & 253.0000 & 278.0000 & 270.0000 & 250.0000 & 300.0000 & 350.0000 \\ T_{10} & 4.5000 & 1.8000 & 2.0000 & 3.0000 & 2.0000 & 3.5000 & 5.0000 \\ T_{11} & 7.7200 & 7.2300 & 7.9800 & 7.6700 & 2.5000 & 3.3750 & 4.2500 \\ T_{12} & 2.5000 & 4.9000 & 2.6000 & 3.2000 & 5.0000 & 3.5000 & 2.0000 \end{bmatrix}$$

步骤 2:按照 1.2 节中从优隶属度的计算公式,计算各指标特征值的从优隶属度。

$$R_{mn} = \begin{bmatrix} & \text{阎良} & \text{临潼} & \text{高陵} & \text{渭北工业区} & \text{I 级} & \text{II 级} & \text{III 级} \\ T_1 & 0.4410 & 1.0000 & 0.3274 & 0.5495 & 0.7926 & 0.6341 & 0.4756 \\ T_2 & 0.4755 & 1.0000 & 0.5447 & 0.6949 & 0.7560 & 0.6048 & 0.5040 \\ T_3 & 0.4039 & 1.0000 & 0.7949 & 0.8374 & 0.9400 & 0.6267 & 0.4700 \\ T_4 & 0.2500 & 1.0000 & 0.3381 & 0.5281 & 0.4700 & 0.3760 & 0.3133 \\ T_5 & 0.2768 & 0.3704 & 0.4213 & 0.3297 & 1.0000 & 0.4615 & 0.3000 \\ T_6 & 0.4877 & 1.0000 & 0.6778 & 0.8280 & 0.7987 & 0.6656 & 0.5325 \\ T_7 & 0.5645 & 0.6034 & 0.6250 & 0.6731 & 1.0000 & 0.7000 & 0.5385 \\ T_8 & 0.6140 & 0.8750 & 0.5469 & 0.6958 & 1.0000 & 0.7778 & 0.6364 \\ T_9 & 0.8091 & 0.9881 & 0.8993 & 0.9259 & 1.0000 & 0.8333 & 0.7143 \\ T_{10} & 0.4444 & 1.0000 & 1.0000 & 0.7142 & 1.0000 & 0.5714 & 0.4000 \\ T_{11} & 0.3238 & 0.3458 & 0.3133 & 0.3259 & 1.0000 & 0.7407 & 0.5882 \\ T_{12} & 0.5000 & 0.9800 & 0.5200 & 0.6400 & 1.0000 & 0.7000 & 0.4000 \end{bmatrix}$$

步骤 3:按照公式(3)建立差平方复合模糊物元  $R_{\Delta}$ :

$$R_{\Delta} = \begin{bmatrix} & \text{阎良} & \text{临潼} & \text{高陵} & \text{渭北工业区} & \text{I 级} & \text{II 级} & \text{III 级} \\ T_1 & 0.3125 & 0.0000 & 0.4524 & 0.2030 & 0.0430 & 0.1339 & 0.2750 \\ T_2 & 0.2751 & 0.0000 & 0.2073 & 0.0931 & 0.0595 & 0.1562 & 0.2460 \\ T_3 & 0.3553 & 0.0000 & 0.0421 & 0.0264 & 0.0036 & 0.1394 & 0.2809 \\ T_4 & 0.5625 & 0.0000 & 0.4381 & 0.2227 & 0.2809 & 0.3894 & 0.4716 \\ T_5 & 0.5230 & 0.3964 & 0.3349 & 0.4493 & 0.0000 & 0.2900 & 0.4900 \\ T_6 & 0.2624 & 0.0000 & 0.1038 & 0.0296 & 0.0495 & 0.1118 & 0.2186 \\ T_7 & 0.1897 & 0.1573 & 0.1406 & 0.1069 & 0.0000 & 0.090 & 0.2130 \\ T_8 & 0.1490 & 0.0156 & 0.2053 & 0.1069 & 0.0000 & 0.0494 & 0.1322 \\ T_9 & 0.0365 & 0.0001 & 0.0101 & 0.0055 & 0.0000 & 0.0278 & 0.0816 \\ T_{10} & 0.3087 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0817 & 0.0000 & 0.1837 & 0.3600 \\ T_{11} & 0.4572 & 0.4280 & 0.4716 & 0.4544 & 0.0000 & 0.0672 & 0.1696 \\ T_{12} & 0.2500 & 0.0004 & 0.2304 & 0.1296 & 0.0000 & 0.090 & 0.3600 \end{bmatrix}$$

步骤 4:用熵值法确定各指标权重,并按公式(4)、(5)进行归一化处理,得到归一化判断矩阵  $B_{ij}$ :

$$B_{ij} = \begin{bmatrix} & \text{阎良} & \text{临潼} & \text{高陵} & \text{渭北工业区} & \text{I 级} & \text{II 级} & \text{III 级} \\ T_1 & 0.6557 & 1.0000 & 0.0000 & 0.3302 & 0.6917 & 0.4560 & 0.2204 \\ T_2 & 0.0000 & 1.0000 & 0.1505 & 0.5538 & 0.6720 & 0.3360 & 0.1079 \\ T_3 & 0.0000 & 1.0000 & 0.8252 & 0.8685 & 0.9568 & 0.5964 & 0.6360 \\ T_4 & 0.0000 & 1.0000 & 0.3475 & 0.7021 & 0.6241 & 0.4468 & 0.4468 \\ T_5 & 0.0000 & 0.3496 & 0.4745 & 0.2219 & 1.0000 & 0.5536 & 0.1071 \\ T_6 & 0.0000 & 1.0000 & 0.3711 & 0.6642 & 0.6071 & 0.3472 & 0.0873 \\ T_7 & 0.1000 & 0.2333 & 0.3000 & 0.4333 & 1.0000 & 0.5000 & 0.0000 \\ T_8 & 0.2414 & 0.8276 & 0.0000 & 0.4724 & 1.0000 & 0.6552 & 0.3103 \\ T_9 & 0.4100 & 0.9700 & 0.7200 & 0.8000 & 1.0000 & 0.5000 & 0.0000 \\ T_{10} & 0.1667 & 1.0000 & 1.0000 & 0.7333 & 1.0000 & 0.5000 & 0.0000 \\ T_{11} & 0.0474 & 0.1369 & 0.0000 & 0.0566 & 1.0000 & 0.8403 & 0.6807 \\ T_{12} & 0.1667 & 0.9667 & 0.2000 & 0.4000 & 1.0000 & 0.5000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

按公式(6)、(7)计算各评价指标的熵  $H_j$  和熵权  $W_j$ :

$$H_j = (0.9888, 0.9859, 0.9901, 0.9893, 0.9872, 0.9878, 0.9884, 0.9498, 0.9176, 0.9833, 0.9796, 0.9845)^T$$

$$W_j = (0.0418, 0.0526, 0.0369, 0.0399, 0.0451, 0.0477, 0.0455, 0.1872, 0.3072, 0.0623, 0.0761, 0.0578)^T$$

步骤 5:按公式(8)计算欧式贴近度:

$$\rho_i = \begin{pmatrix} \text{阎良} & \text{临潼} & \text{高陵} & \text{渭北工业区} & \text{I 级} & \text{II 级} & \text{III 级} \\ 0.5359 & 0.7538 & 0.5926 & 0.6556 & 0.8635 & 0.6893 & 0.5508 \end{pmatrix}$$

### 2.3 结果分析

在计算评价等级的欧式贴近度中,II级特征值取的是平均值,现根据步骤5的计算结果,对地下水在资源承载力分级标准进行还原,见表3。

由表3可知,渭北工业区及各分区的地下水资源承载力大小为:临潼 > 渭北工业区 > 高陵 > 阎良,只有阎良的地下水资源承载力处于III级,即,地下水资源承载力弱,地下水资源已达到高度利用状态,开

采潜力较小,应停止地下水资源的开采利用;临潼区、高陵县以及渭北工业区的地下水资源承载力处于Ⅱ级,地下水资源处于中度利用状态,应适当减少地下水资源的开采利用,并加强地下水资源的保护。

表3 模糊物元模型计算结果及方案比较

方案	地下水资源承载力分级标准			阎良	临潼	高陵	渭北 工业区
	I	II	III				
模糊物元模型	>0.8635	0.8635 ~ 0.5508	<0.5508	0.5359	0.7538	0.5926	0.6556
改进的TOPSIS法	<0.0084	0.0084 ~0.0212	>0.0212	0.0276	0.0105	0.0194	0.0145

为验证模糊物元模型计算结果的合理性,本研究还采用文献[2]中改进的TOPSIS法对研究区地下水资源承载力进行计算,计算结果见表3。由表3可知,改进的TOPSIS法计算结果为:临潼>渭北工业区>高陵>阎良,阎良的地下水资源承载力处于Ⅲ级,其他区域地下水资源承载力均处于Ⅱ级,两种方案的计算结果完全一致,表明此次评价结果是合理的。

### 3 结 语

本研究应用模糊物元评价模型,以渭北工业区为例,选取相应的评价指标,采用熵值法确定各指标的权重,进行地下水资源承载力评价。通过比较验证,表明其评价结果合理可行,此模型计算过程简单,方法实用,为科学评价地下水资源承载能力提供了一种新方法。结合本次评价结果,根据各区域的实际情况,采取相应措施,加大地下水资源的保护力度,防止出现严重的生态环境问题。

#### 参考文献:

- [1] 门宝辉,王志良,梁川,等. 物元模型在区域地下水资源承载力综合评价中的应用[J]. 四川大学学报(工程科学版),2003,35(1):34-37.
- [2] 屈吉鸿,陈南祥,黄强,等. 改进的逼近理想解在地下水资源承载力评价中的应用[J]. 水利学报,2008,39(12):1309-1315.
- [3] 张鑫,王纪科,蔡焕杰,等. 区域地下水资源承载力综合评价研究[J]. 水土保持通报,2001,21(3):24-27.
- [4] 徐建新,樊华,胡笑涛. 熵权与改进TOPSIS结合模型在地下水资源承载力评价中的应用[J]. 中国农村水利水电,2012,(2):30-33+37.
- [5] 万星,丁晶,张晓丽. 区域地下水资源承载力综合评价

的集对分析方法[J]. 城市环境与城市生态,2006,19(2):8-10.

- [6] 王顺久,杨志峰,丁晶. 关中平原地下水资源承载力综合评价的投影寻踪方法[J]. 资源科学,2004,26(6):104-110.
- [7] 杨秋林,郭亚兵. 基于熵权的模糊物元模型在城市生态安全评价中的应用[J]. 数学的实践与认识,2010,40(19):62-67.
- [8] 张会涓,陈然,赵言文. 基于模糊物元模型的区域水环境承载力研究[J]. 水土保持通报,2012,32(2):186-189.
- [9] 田静宜,王新军. 基于熵权模糊物元模型的干旱区水资源承载力研究——以甘肃民勤县为例[J]. 复旦学报(自然科学版),2013,52(1):86-93.
- [10] 张先起,梁川. 基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用[J]. 水利学报,2005,36(9):1057-1061.
- [11] 黄乾,彭世彰,田守岗,等. 模糊物元模型在区域水安全评价中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版),2007,35(4):379-383.
- [12] 刘黎,徐逸伦,江善虎,等. 基于模糊物元模型的城市活力评价[J]. 地理与地理信息科学,2010,26(1):73-77.
- [13] Liu Dongjun, Zou Zhihong. Water quality evaluation based on improved fuzzy matter-element method[J]. Journal of Environment Sciences,2012,24(7):1210-1216.
- [14] Wang Songlin, He Ji, Wu Qinglin, et al. Flood regulation model of Dou he Reservoir based on fuzzy matter element[J]. Procedia Environmental Sciences,2012,(12):99-105.
- [15] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京:科学技术文献出版社,1994.
- [16] 张斌,雍歧东,肖芳淳. 模糊物元分析[M]. 北京:石油工业出版社,1997.
- [17] 常建娥,蒋太立. 层次分析法确定权重的研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2007,29(1):153-156.
- [18] 邱苑华. 管理决策与应用熵学[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [19] 王友贞,施国庆,王德胜. 区域水资源承载力评价指标体系的研究[J]. 自然资源学报,2005,20(4):597-604.
- [20] 孙才志,左海军,杨静. 基于极大熵原理的黄河流域水资源承载力研究——以山西段为例[J]. 资源科学,2004,26(2):17-22.