

地下水资源承载能力评价模糊可变模型与方法

陈守煜 胡吉敏

(大连理工大学土木水利学院 辽宁 大连 116024)

摘要 :应用可变模糊集理论 ,提出了地下水资源承载能力综合评价的模糊可变集合方法。将该方法用于陕西省关中平原地下水资源承载能力的综合评价 ,结果为 :西安地下水资源承载能力综合评价在 2 级与 3 级之间 ;咸阳、宝鸡、渭南地下水资源承载能力综合评价为 2 级 ;整个关中平原区地下水资源承载能力综合评价为 2 级。该理论模型可广泛应用于各种水资源系统问题的综合评价。

关键词 :地下水资源 ;承载能力 ;模糊可变评价 ;综合评价

中图分类号 :X821 ;TV213 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2006)06-0001-05

Variable fuzzy evaluation model and method for comprehensive evaluation of groundwater resources carrying capacity

CHEN Shou-yu , HU Ji-min

(School of Civil and Hydraulic Engineering , Dalian University of Technology , Dalian 116024 , China)

Abstract :The variable fuzzy evaluation method was established for comprehensive evaluation of regional groundwater resources carrying capacity , which is based on the theory of variable fuzzy sets . Using the proposed method , the authors analyzed groundwater resources carrying capacity of Guanzhong plain in Shaanxi Province . It is concluded that the evaluation grade of groundwater resources carrying capacity of Xi 'an is between grade 2 and grade 3 ; that of Xianyang , Baoji , Weinan plain is grade 2 ; and the general level of Guanzhong plain is grade 2 . The theory with precise model , simple method , and high reliability can be widely used for comprehensive evaluation of various problems in water resources system .

Key words :groundwater resources ; carrying capacity ; variable fuzzy evaluation ; comprehensive evaluation

水资源承载能力是指在某历史发展阶段 ,以可预见的社会经济发展水平和技术为依据 ,以可持续利用为原则 ,以维护生态环境良性循环为条件 ,经过合理的优化配置 ,水资源对该地区社会经济最大支撑能力。我国西北地区社会经济最大制约因素是水^[1] ,而地下水资源作为其水资源的重要组成部分 ,是区域社会经济的基础资源之一 ,地下水资源的开发利用在保障人民生活、促进社会经济发展和维护生态环境等方面处于重要的战略地位。但是 ,近年来由于地下水的过量开采 ,已造成区域性地下水水位下降、地下水资源枯竭、地面下降、开采条件恶化以及含水层受到污染等一系列的环境问题。地下水资源承载能力综合评价是在对本区域

地下水资源特征、保证程度、开发利用情况以及工农业生产、人民生活 and 生态环境对地下水资源的需求程度等供需诸方面综合分析基础上 ,经过多个因素分析评价而得出的结论。地下水资源承载能力分析的目的 ,是为了揭示地下水资源、区域经济和人口之间的关系 ,合理充分地利用地下水资源 ,使经济建设与地下水资源保护同步进行 ,促进社会经济持续发展。

模糊可变评价方法可为上述研究提供一种有效途径 ,它可以确定影响地下水资源承载能力的各个指标对各级别标准值区间的相对隶属度 ,改进模糊模式识别方法将评价标准处理成点的不足 ,从而可较全面地分析出区域地下水资源承载能力的状况。本文应用可变模糊集理论^[2-3] ,提出了地下水资源承

基金项目 水利部科技创新资助项目(SCXC2005-01) ;高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(9014102)

作者简介 陈守煜(1930—)男 浙江宁波人 教授 博士生导师 主要从事模糊系统与数学、模糊水文水资源学研究。E-mail :sychen_mail@126.com

载能力综合评价的模糊可变集合方法。同时以陕西省关中平原为例,应用评价模型对该区域地下水资源承载能力进行了评价分析,评价结果与实际相符,证实了模糊可变评价方法的合理性。

1 模糊可变评价模型

依据可变模糊集理论,建立地下水资源承载能力综合评价模型步骤如下。

a. 对样本的地下水资源基本资料进行预处理,得到样本集的指标特征值矩阵

$$X = (x_{ij}) \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为样本 j 指标 i 的特征值; $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$ 。

b. 样本按 c 个级别进行评价,并设定1级优于2级, ..., c 级最差。设各级别的指标标准值区间矩阵为

$$I_{ab} = ([a_{ih}, b_{ih}]) \quad h = 1, 2, \dots, c \quad (2)$$

在实际工程领域,指标标准值区间 $[a_{ih}, b_{ih}]$ 有两种情况:① $a_{ih} < b_{ih}$ 称为递增系列,相当于指标特征值越小,其级别越优。② $a_{ih} > b_{ih}$ 称为递减系列,相当于指标特征值越大,其级别越优。

矩阵 I_{ab} 为可变模糊集理论中模糊可变集合的吸引(为主)域区间矩阵,它是已知矩阵,指标 i 级别 h 的范围值区间 $[c_{ih}, d_{ih}]$,可根据矩阵 I_{ab} 中各级指标标准值区间两侧相邻区间的上下限值确定,即

$$I_{cd} = [c_{ih}, d_{ih}] \quad (3)$$

根据矩阵 I_{ab} 按物理分析与实际情况确定吸引域区间 $[a_{ih}, b_{ih}]$ 中相对差异度等于1即 $D_{\Delta}(x_{ij})_h = 1$ 的点值矩阵 M

$$M = (M_{ih}) \quad (4)$$

c. 根据待评价样本 j 指标 i 的特征值 x_{ij} 与级别 h 指标 i 的相对差异度等于1的 M_{ih} 值进行比较,如 x_{ij} 落在 M_{ih} 值的左侧,无论对递增系列, $x_{ij} < M_{ih}$,还是递减系列, $x_{ij} > M_{ih}$,根据文献[2]其相对差异函数模型为

$$\left. \begin{aligned} D_{\Delta}(x_{ij})_h &= \frac{x_{ij} - a_{ih}}{M_{ih} - a_{ih}} & x_{ij} \in [a_{ih}, M_{ih}] \\ D_{\Delta}(x_{ij})_h &= -\frac{x_{ij} - a_{ih}}{c_{ih} - a_{ih}} & x_{ij} \in [c_{ih}, a_{ih}] \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

若 x_{ij} 落入 M_{ih} 的右侧,无论对递增系列, $x_{ij} > M_{ih}$,还是递减系列, $x_{ij} < M_{ih}$,其相对差异函数公式为

$$\left. \begin{aligned} D_{\Delta}(x_{ij})_h &= \frac{x_{ij} - b_{ih}}{M_{ih} - b_{ih}} & x_{ij} \in [M_{ih}, b_{ih}] \\ D_{\Delta}(x_{ij})_h &= -\frac{x_{ij} - b_{ih}}{d_{ih} - b_{ih}} & x_{ij} \in [b_{ih}, d_{ih}] \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

由文献[2]中的指标相对隶属函数公式

$$\mu_{\Delta}(x_{ij})_h = (1 + D_{\Delta}(x_{ij})_h) / 2 \quad (7)$$

计算样本 j 指标 i 对各级别的指标相对隶属度矩阵

$$U_h = (\mu_{\Delta}(x_{ij})_h) \quad (8)$$

d. 应用文献[4]中提出的模糊可变识别模型计算各样本(区域)对级别的综合相对隶属度

$$j u'_h = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m [w_i (1 - \mu_{\Delta}(x_{ij})_h)]^p}{\sum_{i=1}^m [w_i \mu_{\Delta}(x_{ij})_h]^p} \right\}^{\alpha/p}} \quad (9)$$

式中: α 为模型优化准则参数, $\alpha = 1$ 为最小一乘方准则, $\alpha = 2$ 为最小二乘方准则; p 为距离参数, $p = 1$ 为海明距离, $p = 2$ 为欧氏距离; w_i 为指标权重; m 为识别特征指标数。由式(9)可得到非归一化的综合相对隶属度矩阵

$$U' = (j u'_h) \quad (10)$$

将式(10)归一化处理得到综合相对隶属度矩阵

$$U = (j u_h) \quad (11)$$

式中

$$j u_h = j u'_h / \sum_{h=1}^c j u'_h \quad (12)$$

e. 应用文献[5]的级别特征值公式,计算各样本(区域)水资源承载能力的级别特征值向量

$$H = (1, 2, \dots, c) \cdot U \quad (13)$$

据此对样本进行综合评价分析。

2 地下水资源承载能力综合评价实例

关中平原区是陕西经济最发达的地区,工业比较集中,农业所占比重较大,社会各方面对水的需求迅速增长。地下水资源作为关中极为重要而宝贵的资源,合理加以开发,加强保护,以提供更多的水量,并做到可持续利用,是一项重要而艰巨的任务。正确评价该区地下水资源承载能力,是实现其地下水资源持续开发利用的基础,同时也有利于区域地下水资源的保护,区域生态环境的改善及区域国民经济稳定的发展[6]。

2.1 评价因素与分级标准

根据文献[7],所选取的评价指标体系为:①地下水资源耕地灌溉率 x_1 :地下水资源灌溉面积/耕地面积;②地下水资源利用率 x_2 :现状年地下水供水量/可利用的地下水资源总量;③地下水资源开发利用程度 x_3 :现状年地下水供水量/地下水资源总量;④供水模数 x_4 :地下水资源年供给量/土地面积;⑤需水模数 x_5 :现状年需水量/土地面积;⑥重复利用率 x_6 :重复用水量/总用水量;⑦人均供水量

表 1 评价指标与分级标准

评价指标	评价区域					分级标准		
	西安	咸阳	宝鸡	渭南	关中平原	1 级	2 级	3 级
地下水资源耕地灌溉率/%	53.79	22.09	16.17	20.52	26.15	< 15	15 ~ 50	> 50
地下水资源利用率/%	92.00	88.24	67.18	79.94	82.53	< 50	50 ~ 75	> 75
地下水资源开发利用程度/%	89.00	80.76	65.47	62.61	60.12	< 30	30 ~ 70	> 70
供水模数/(万 m ³ ·km ⁻²)	13.94	6.32	2.12	5.52	6.12	< 10	10 ~ 15	> 15
需水模数/(万 m ³ ·km ⁻²)	17.52	8.37	3.37	6.30	7.61	< 10	10 ~ 15	> 15
重复利用率/%	44.40	44.10	41.60	29.60	41.00	< 50	50 ~ 80	> 80
人均供水量/(m ³ ·人 ⁻¹)	20.45	139.13	113.52	143.30	157.47	> 150	100 ~ 150	< 100
生态环境用水率/%	2	2	2	2	2	> 5	2 ~ 5	< 2

x_7 地下水年供给量/总人口 ;⑧ 生态环境用水率
 x_8 生态环境用水量/总水量。表 1 为关中平原区及各小区相应指标特征值与地下水资源承载能力分级标准^[7]。

如表 1 所示,1 级情况属较好,表示本区地下水资源仍有较大的承载能力,其供给情况较为乐观;2 级表明本区地下水资源开发利用已有相当的规模,但仍有一定的开发利用潜力,水资源的供给需求在一定程度上能满足该区内的社会发展;3 级状况较差,表示地下水资源承载能力已接近其饱和值,进一步开发利用小,发展下去将发生水资源短缺,制约社会经济的发展,这时应采取相应的对策。

2.2 综合评价计算过程

首先,根据表 1 可得关中平原区及各小区地下水资源承载能力的现状指标特征值矩阵

$$X = \begin{bmatrix} 53.79 & 22.09 & 16.17 & 20.52 & 26.15 \\ 92.00 & 88.24 & 67.18 & 79.94 & 82.53 \\ 89.00 & 80.76 & 65.47 & 62.61 & 60.12 \\ 13.94 & 6.32 & 2.12 & 5.52 & 6.12 \\ 17.52 & 8.37 & 3.37 & 6.30 & 7.61 \\ 44.40 & 44.10 & 41.60 & 29.60 & 41.00 \\ 20.45 & 139.13 & 113.52 & 143.30 & 157.47 \\ 2 & 2 & 2 & 2 & 2 \end{bmatrix} = (x_{ij})$$

式中: $i = 1, 2, \dots, 8$ 为指标号; $j = 1, 2, \dots, 5$ 为分区号。

参照表 1 分级标准确定地下水资源承载能力可变集合的吸引(为主)域矩阵为

$$I_{ab} = \begin{bmatrix} [0, 15] & [15, 50] & [50, 85] \\ [0, 50] & [50, 75] & [75, 100] \\ [0, 30] & [30, 70] & [70, 110] \\ [0, 10] & [10, 15] & [15, 20] \\ [0, 10] & [10, 15] & [15, 20] \\ [0, 50] & [50, 80] & [80, 110] \\ [200, 150] & [150, 100] & [100, 0] \\ [8, 5] & [5, 2] & [2, 0] \end{bmatrix} = ([a_{ih}, b_{ih}])$$

式中 $h = 1, 2, 3$ 为级别号。

根据矩阵 I_{ab} 得到指标 i 级别 h 的范围值区间矩阵为

$$I_{cd} = \begin{bmatrix} [0, 50] & [0, 85] & [15, 85] \\ [0, 75] & [0, 100] & [50, 100] \\ [0, 70] & [0, 110] & [30, 110] \\ [0, 15] & [0, 20] & [10, 20] \\ [0, 15] & [0, 20] & [10, 20] \\ [0, 80] & [0, 110] & [50, 110] \\ [200, 100] & [200, 0] & [150, 0] \\ [8, 2] & [8, 0] & [5, 0] \end{bmatrix} = ([c_{ih}, d_{ih}])$$

根据矩阵 I_{ab} ,按物理分析与实际情况确定吸引域区间 $[a_{ih}, b_{ih}]$ 中相对差异度等于 1 即 $D_A(x_{ij})_h = 1$ 的点值矩阵 M 为

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 15 & 85 \\ 0 & 50 & 100 \\ 0 & 30 & 110 \\ 0 & 10 & 20 \\ 0 & 10 & 20 \\ 0 & 50 & 110 \\ 200 & 150 & 0 \\ 8 & 5 & 0 \end{bmatrix} = (M_{ih})$$

其次,根据矩阵 I_{ab} 、 I_{cd} 与 M ,判断样本特征值 x_{ij} 在 M_{ih} 点的左侧还是右侧,据此选用式(5)或式(6)计算差异度 $D_A(x_{ij})_h$,再由式(7)计算指标 i 对 h 级的指标相对隶属度 $\mu_A(x_{ij})_h$ 。现以宝鸡($j = 3$)对 1 级($h = 1$)地下水资源承载能力的指标相对隶属度 $\mu_A(x_{i3})_1$ 为例对这一求解过程作一说明。

由矩阵 X 得 $j = 3$ 的现状指标特征值向量 $x_3 = (16.17, 67.18, 65.47, 2.12, 3.37, 41.60, 113.52, 2)^T$,再由吸引(为主)域矩阵 I_{ab} 、范围域矩阵 I_{cd} 和矩阵 M 得 $h = 1$ 的吸引(为主)域向量、范围域向量与点值 M_{i1} 向量分别为

$$\begin{aligned} [a_1, b_1] &= ([0, 15][0, 50][0, 30][0, 10], \\ & [0, 10][0, 50][200, 150][8, 5])^T \\ [c_1, d_1] &= ([0, 50][0, 75][0, 70][0, 15], \\ & [0, 15][0, 80][200, 100][8, 2])^T \end{aligned}$$

$$M_1 = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 200 \ 8)^T$$

当 $i = 1$ 时, $x_{13} = 16.17$, 而 $c_{11} = 0, a_{11} = 0, b_{11} = 15, d_{11} = 50, M_{11} = 0$, 由此可判断 x_{13} 在 M_{11} 的右侧, 且 $x_{13} \in [b_{11}, d_{11}]$, 所以选用公式(6)中的 $D_{\lambda}^{\wedge}(x_{13})_{\lambda} = -(x_{13} - b_{11})(d_{11} - b_{11})$, 将有关数据代入此式可得 $D_{\lambda}^{\wedge}(x_{13})_{\lambda} = -0.033$, 再应用式(7)得 $\mu_{\lambda}^{\wedge}(x_{13})_{\lambda} = 0.484$ 。同理可得 $j = 3, i = 1, 2, \dots, 8$ 对 1 级水资源承载能力的指标相对隶属度向量 $[u_1]_3 = (0.484, 0.157, 0.057, 0.894, 0.832, 0.584, 0.135, 0)^T$ 。类似地可得到 $j = 1, 2, \dots, 5$ 对级别 $h = 1, 2, 3$ 的指标相对隶属度矩阵分别为

$$U_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0.399 & 0.484 & 0.421 & 0.341 \\ 0 & 0 & 0.157 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.057 & 0.093 & 0.124 \\ 0.106 & 0.684 & 0.894 & 0.724 & 0.694 \\ 0 & 0.582 & 0.832 & 0.685 & 0.620 \\ 0.556 & 0.559 & 0.584 & 0.704 & 0.590 \\ 0 & 0.392 & 0.135 & 0.433 & 0.575 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U_2 = \begin{bmatrix} 0.446 & 0.899 & 0.984 & 0.921 & 0.841 \\ 0.160 & 0.235 & 0.657 & 0.401 & 0.350 \\ 0.263 & 0.366 & 0.557 & 0.593 & 0.624 \\ 0.606 & 0.316 & 0.106 & 0.276 & 0.306 \\ 0.248 & 0.419 & 0.169 & 0.315 & 0.381 \\ 0.444 & 0.441 & 0.416 & 0.296 & 0.410 \\ 0.1 & 0.892 & 0.635 & 0.933 & 0.426 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$U_3 = \begin{bmatrix} 0.554 & 0.102 & 0.017 & 0.079 & 0.160 \\ 0.840 & 0.765 & 0.344 & 0.599 & 0.651 \\ 0.738 & 0.635 & 0.444 & 0.408 & 0.377 \\ 0.394 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.752 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.898 & 0.109 & 0.365 & 0.067 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

为确定 8 项评价指标的权向量, 应用文献[5]提出的确定指标重要性排序一致性定理, 得到通过检验的 8 项指标重要性排序一致性标度矩阵:

		排序							
F =	0.5	0	0	1	1	0	1	1	④
	1	0.5	1	1	1	1	1	1	①
	1	0	0.5	1	1	0	1	1	③
	0	0	0	0.5	0.5	0	1	1	⑤
	0	0	0	0.5	0.5	0	1	1	⑤
	1	0	1	1	1	0.5	1	1	②
	0	0	0	0	0	0	0.5	1	⑦
	0	0	0	0	0	0	0	0.5	⑧

按矩阵 F 关于重要性的排序, 运用经验知识, 以排序为①的指标 x_2 逐一地与排序为②、③、④、⑤、⑦、⑧的指标, 作出关于重要性程度的二元比较判断如下:

指标 x_2 与指标 x_6 相比, 处于“稍稍”与“略为”重要之间; 指标 x_2 与指标 x_3 相比, 处于“略为”与“较为”重要之间; 指标 x_2 与指标 x_1 相比, 处于“较为”与“明显”重要之间; 指标 x_2 与指标 x_4, x_5 相比, 处于“显著”与“十分”重要之间; 指标 x_2 与指标 x_7 相比, 为“非常”重要; 指标 x_2 与指标 x_8 相比, 处于“极其”与“极端”重要之间。应用文献[5]中语气算子与相对隶属度之间的关系表可得 8 项评价指标的非归一化权向量为

$$w' = (0.481, 1, 0.6, 0.29, 0.29, 0.739, 0.176, 0.081) = (w'_i)$$

则指标的归一化权向量为

$$w = (0.132, 0.274, 0.164, 0.079, 0.079, 0.202, 0.048, 0.022) = (w_i)$$

应用模糊可变识别模型式(9)求关中原区及各分区对各个级别地下水资源承载能力的相对隶属度。现亦以宝鸡($j = 3$)为例, 对该求解过程作一说明。由矩阵 U_1 得 $j = 3$ 的指标相对隶属度向量为

$$[u_1]_3 = (0.484, 0.157, 0.057, 0.894, 0.832, 0.584, 0.135, 0)^T$$

取距离参数 $p = 1$, 模型优化准则参数 $\alpha = 2$, 当 $j = 3, h = 1$ 时, 模糊可变识别模型(9)可表示为

$${}_3u'_1 = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^8 [w_i(1 - \mu_{\lambda}^{\wedge}(x_{i3})_{\lambda})]}{\sum_{i=1}^8 [w_i \mu_{\lambda}^{\wedge}(x_{i3})_{\lambda}]} \right\}^2}$$

将向量 $[u_1]_3, w$ 代入上式得 ${}_3u'_1 = 0.268$ 。同理, 可得到 $h = 1, 2, 3$ 水资源承载能力的综合相对隶属度向量 ${}_3u' = (0.268, 0.595, 0.057)^T$ 。

对 $j = 1, 2, 4, 5$ 进行类似的求解计算, 得到关中原区及各分区地下水资源承载能力的非归一化综合相对隶属度矩阵

$$U' = \begin{bmatrix} 0.018 & 0.136 & 0.268 & 0.217 & 0.176 \\ 0.180 & 0.389 & 0.595 & 0.482 & 0.455 \\ 0.635 & 0.215 & 0.057 & 0.105 & 0.123 \end{bmatrix}$$

将矩阵 U' 归一化得到综合相对隶属度矩阵

$$U = \begin{bmatrix} 0.022 & 0.184 & 0.291 & 0.270 & 0.233 \\ 0.216 & 0.526 & 0.647 & 0.599 & 0.604 \\ 0.762 & 0.290 & 0.062 & 0.131 & 0.163 \end{bmatrix}$$

表 2 地下水资源承载能力评价结果

评价区域	$\alpha = 1, \rho = 1$		$\alpha = 1, \rho = 2$		$\alpha = 2, \rho = 1$		$\alpha = 2, \rho = 2$		评价等级
	级别特征值	评价等级	级别特征值	评价等级	级别特征值	评价等级	级别特征值	评价等级	
西安	2.445	2	2.297	2	2.740	2~3	2.616	2~3	2~3
咸阳	2.055	2	2.141	2	2.106	2	2.304	2	2
宝鸡	1.840	2	1.920	2	1.771	2	1.872	2	2
渭南	1.918	2	2.021	2	1.861	2	2.044	2	2
关中平原	1.959	2	2.070	2	1.930	2	2.140	2	2

最后,应用公式(13),得到关中平原区及各分区地下水资源承载能力的级别特征值向量

$$H = (1 \ 2 \ 3) \cdot \begin{bmatrix} 0.022 & 0.184 & 0.291 & 0.270 & 0.233 \\ 0.216 & 0.526 & 0.647 & 0.599 & 0.604 \\ 0.762 & 0.290 & 0.062 & 0.131 & 0.163 \end{bmatrix} = (2.740 \ 2.106 \ 1.771 \ 1.861 \ 1.930)$$

由此得到关中平原区及各分区地下水资源承载能力的评价结果列于表 2。改变模型及其参数,应用模糊可变模型式(9)进行重新计算,得到的评价结果详见表 2。

2.3 综合评价结果分析

分析表 2 中的结果可知,模型及参数变化后,各评价区域地下水资源承载能力的评价等级基本稳定不变,表明本文所得评价结果可信度高。根据表 2 最终分析得出的评价结果可知,各小区中,西安地下水资源承载能力综合评价在 2 级与 3 级之间,说明该小区地下水资源开发利用程度更具饱和值的特征,进一步开发利用的潜力相对较小;咸阳、宝鸡、渭南地下水资源承载能力综合评价为 2 级,水资源开发利用已有相当的规模,但仍有一定的开发利用潜力,水资源的供给需求在一定程度上能满足该区内的社会发展,相比之下,宝鸡地下水资源开发潜力比渭南、咸阳更大一些。整个关中平原区地下水资源承载能力综合评价为 2 级,表明该区地下水资源开发利用已具相当规模,但仍有一定的开发潜力。

关中平原区的实际情况为:关中平原地下水供水量占总供水量的 60% 以上,城乡生活供水中地下水比例达 75%。目前总体开发利用程度较高,潜力有限,但开发程度不均衡。由此可看出,本文分析结果与实际相符,从而证实了该方法的合理性。

今后关中平原区地下水开发利用的思路和布局可概括为:实行总量控制,进行布局调整,把节约和保护地下水资源放在首位。

3 结 论

应用可变模糊集理论,提出了地下水资源承载能力综合评价的模糊可变集合方法。将该方法用于

陕西省关中平原地下水资源承载能力的综合评价,评价结果与实际相符,从而证实了该方法的合理性。模糊可变识别模型与方法可广泛应用于各种水资源系统问题的综合评价。

致谢:感谢陕西省水利厅寇宗武总工程师与刘永宏工程师为本文提出的宝贵意见!

参考文献:

- [1] 周维博.西北地区水资源开发方略与发展高效节水农业途径[J].西北水资源与水工程,1997,8(4):1-15.
- [2] 陈守煜.工程可变模糊集理论与模型——模糊水文水资源学数学基础[J].大连理工大学学报,2005,45(2):308-312.
- [3] 陈守煜.可变模糊集理论的哲学基础[J].大连理工大学学报:社会科学版,2005,26(1):53-57.
- [4] 陈守煜.复杂水资源系统优化模糊识别理论与应用[M].长春:吉林大学出版社,2002.
- [5] 陈守煜.工程模糊集理论与应用[M].北京:国防工业出版社,1998.
- [6] 张鑫,王纪科,周建召.关中平原区地下水资源承载力现状及提高承载力的途径[J].地下水,2001,23(2):65-75.
- [7] 张鑫,王纪科,蔡焕杰,等.区域地下水资源承载能力综合评价研究[J].水土保持通报,2001,21(3):24-27.

(收稿日期 2006-06-16 编辑 舒建)

