

物元模型及其在区域水资源综合评判中的应用

韩宇平¹ 阮本清² 解建仓¹ 黄明聪¹

(1. 西安理工大学 水利水电学院,西安 710048; 2. 中国水利水电科学研究院,北京 100044)

摘要 为研究物元模型在水资源综合评判中的应用,首先对物元模型评价方法进行了介绍,并在模型构建中引入了层次分析法(AHP)以确定权重,再以河北滹沱平原为例,对其农业水资源状况进行了综合评价。结果表明:滹沱平原的农业用水总体情况的评价值为低水平的3级,与其相应的下一层次区域水资源占有量的评价值为3级,供水评价也是3级,区域用水水平评价级别为1级,虽然后者为1级,但是区域农业用水总体水供需状况还是非常不容乐观。经验证,模型评价符合当地实际情况。本区的研究表明利用物元模型对区域水资源状况进行综合评判具有客观、真实性。

关键词 水资源;物元模型;层次分析法(AHP);综合评判

中图分类号 TV 211

文章编号 1007-4333(2003)-01-0031-06

文献标识码 A

Matter elements model and its application to regional water resources synthesize assessment

Han Yuping¹, Ruan Benqing², Xie Jiancang¹, Huang Mingcong¹

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

Abstract In order to identify the feasibility of elements model applied to regional water resource assessment, the element model method was introduced and the AHP method was adopted to calculate the weights of each criterion. As a case, the agricultural water resources of Hufu Plain in Hebei province were evaluated by using the element model. The results showed that the evaluation grade of the total agricultural water resources was low-level of 3 grade in this region; and the evaluation grades of its quantity of water resource, water supply and water utilization were 3, 3, and 1 respectively. the status of the total agricultural water supply and water demand are therefore far from optimistic in study region. The study above results suggest that the application of element models method for evaluating region water resource is feasible and reliable.

Key words water resources; matter elements model; AHP method; synthesize assessment

水资源评价一直是区域可持续发展测度的一个重要内容,是研究区域水资源支撑能力的基础,也是研究区域水资源合理配置的基础,并且已形成了一些比较成熟的评判方法,如主成分分析法^[1]、层次分析法^[2]、有限元法^[3]、模糊数学法^[4]、灰色评判方法等。上述水资源综合评判方法提高了水资源评价的定量化水平和精确程度,使评判更加综合和深入。但是这些评价方法也存在着一系列问题。以模糊数

学法为例,由于考虑了水资源系统在评价中存在的模糊性而使得评价结果更加符合实际情况,但是模糊数学中的隶属度为闭区间 $[0, 1]$,不能体现出评价指标对两极级别(最高级和最低级)的差异,例如,小于某一阈值的评价因子都评为同一级别,其范围内的差异就没有体现出来。如何表征这种同一级别内部的不同状态,是物元模型中关联度从模糊数学的 $[0, 1]$ 闭区间拓展到 $(-, +)$ 实数轴后所要解决

收稿日期:2002-06-27

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(79830040);科学技术部社会公益研究专项资金资助项目;水利部科技创新资助项目(SCX2001-08)

作者简介:韩宇平,博士研究生,主要从事水文水资源研究,E-mail:hanyup118@hotmail.com

的问题。

物元模型由我国数学家蔡文 1983 年提出,从最初的物元分析到现在的可拓学,已奠定了它自己的理论体系^[5,6],并且已有广泛应用。物元模型最多是用在环境质量的综合评判上^[7-9],其次在产品质量、岩土工程、医学、农业资源^[10-13]等方面。但在水资源综合评价方面未见物元模型应用的报道,为此本文在介绍综合评判物元模型的基础上,针对物元模型在区域水资源评价中的应用开展相关研究。

1 综合评判的物元模型^[5]

给定事物的名称 N ,它关于特征 c 的量值为 v ,以有序三元 $R = (N, c, v)$ 组作为描述事物的基本元,简称为物元。同时把事物的名称、特征和量值称为物元三要素。如果一个事物有多个特征,如果事物 N 以 n 个特征 c_1, c_2, \dots, c_n 和相应的量值 v_1, v_2, \dots, v_n 描述,则表示为 $R = (R_1, R_2, \dots, R_n)^T$ 为 n 维物元。

设 U 为论域, K 是 U 到实域 I 的一个映射,称 $A = \{ (u, y) | u \in U, y \in K(u) \}$ 为论域 U 上的一个可拓集合。 $y \in K(u)$ 为 A 的关联函数, $K(u)$ 为 u 关于 A 的关联度。称 $A = \{ u | u \in U, K(u) > 0 \}$ 为 A 的正域; $A = \{ u | u \in U, K(u) < 0 \}$ 为 A 的负域。 $J_0(A) = \{ u | u \in U, K(u) = 0 \}$ 为 A 的零界。显然,若 $u \in J_0$,则 $u \in A$,同时, $u \in \bar{A}$ 。记 U 上的可拓集合的全体为 $\mathcal{E}(U)$,显然, $A \in \mathcal{E}(U)$ 。

利用可拓集合,可以建立一套综合评判方法,并能以定量的数值表示评定结果,从而能较完整地反映实际待评物元的综合水平,并且易用计算机进行规范化评定。

1.1 确定经典域

$$R_{0j} = (N_{0j}, C_i, x_{0ji}) = \begin{bmatrix} N_{0j}, & c_1, & x_{0j1} \\ & c_2, & x_{0j2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n, & x_{0jn} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} N_{0j}, & c_1, & a_{0j1}, & b_{0j1} \\ & c_2, & a_{0j2}, & b_{0j2} \\ & \dots & \dots & \\ & c_n, & a_{0jn}, & b_{0jn} \end{bmatrix}$$

式中 N_{0j} 表示所划分的第 j 个评价等级, c_i 表示第 i

个评价指标, $x_{0ji} = a_{0ji}, b_{0ji}$ 分别为 N_{0j} 关于指标 c_i 所规定的量值范围,即各评价指标关于各等级所取的数据范围——经典域。

1.2 确定节域

$$R_p = (p, C, x_p) = \begin{bmatrix} p, & c_1, & x_{p1} \\ & c_2, & x_{p2} \\ & \dots & \dots \\ & c_n, & x_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p, & c_1, & a_{p1}, & b_{p1} \\ & c_2, & a_{p2}, & b_{p2} \\ & \dots & \dots & \\ & c_n, & a_{pn}, & b_{pn} \end{bmatrix}$$

式中 p 表示表示评价等级的全体, x_{pi} 为 p 关于 c_i 所取得量值范围——节域。

1.3 确定待评物元

对待评的事物,把所监测到的数据或分析结果用物元表示为:

$$R_0 = \begin{bmatrix} p_0, & c_1, & x_1 \\ & c_2, & x_2 \\ & \dots & \dots \\ & c_n, & x_n \end{bmatrix}$$

上式称为事物 p_0 的待评物元,式中 p_0 表示某事物, x_i 为 p_0 关于 c_i 的量值,即待评事物相对于各指标的具体数据。

1.4 确定待评事物各指标关于各等级的关联度

令

$$K_j(x_i) = \begin{cases} \frac{(x_i, x_{0ji})}{(x_i, x_{pi}) - (x_i, x_{0ji})}, & \text{当 } (x_i, x_{pi}) - (x_i, x_{0ji}) > 0, \\ - (x_i, x_{0ji}) - 1, & \text{当 } (x_i, x_{pi}) - (x_i, x_{0ji}) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中, $(x_i, x_{0ji}) = \left| x_i - \frac{1}{2}(a_{0ji} + b_{0ji}) \right| - \frac{1}{2}(b_{0ji} - a_{0ji})$

$$(x_i, x_{pi}) = \left| x_i - \frac{1}{2}(a_{pi} + b_{pi}) \right| - \frac{1}{2}(b_{pi} - a_{pi})$$

上式中, (x_i, x_{0ji}) 、 (x_i, x_{pi}) 分别是点与区间的距, (x_i, x_{0ji}) 表示点 x_i 与区间 x_{0ji} 的距, (x_i, x_{pi}) 表示点 x_i 与区间 x_{pi} 的距。相当于模糊数学中描述模糊集合的隶属度,用以描述可拓集合的则是关联度 $K_j(x_i)$,关联度的取值范围是整个实数轴。关联度实际上刻划的是待评事物各指标关于各评价等级 j 的归属程度。

1.5 计算待评事物 p_0 关于等级 j 的关联度

如果指标 c_i 的权系数为 λ_i ,且 $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$,则

$$K_j(p) = \sum_{i=1}^n \lambda_i K_j(x_i) \quad (2)$$

式中, $K_j(p)$ 是待评事物各指标关于各等级的关联度在考虑指标重要性程度情况下的组合值,表示待评事物 p_0 属于集合 P_0 的程度。其中, P_0 是 P 的一

个子集, $P_0 \subset P$, 上式实际上是对任何的 $p_0 \in P$ 判断其属于 P_0 的程度。一般来说, 当 $K_j(p) = 0$ 时, $p_0 \in P_0$; 当 $-1 < K_j(p) < 0$ 时, $p_0 \in P, p_0 \notin P_0$; 当 $K_j(p) = -1$ 时, $p_0 \notin P$ 。式(2)不仅是各评价模块关于等级 j 的关联度计算模型, 同时也是待评事物整体关于评价等级 j 的关联度计算模型。

1.6 等级评定

若 $K_{j_0}(p) = \max_{j \in \{1, 2, \dots, m\}} K_j(p)$, 则评定 p_0 属于等级 j_0 。

令

$$K_j^*(p) = \frac{K_j(p) - \min_j K_j(p)}{\max_j K_j(p) - \min_j K_j(p)} \quad (3)$$

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j K_j^*(p)}{\sum_{j=1}^m K_j^*(p)} \quad (4)$$

称 j^* 为 p_0 的级别变量特征值^[11], 从 j^* 数值的大小可以判断出待评物元偏向相邻类别的程度。

2 利用层次分析法确定权系数

权是决策者根据重要性赋予指标的不同值, 且各指标的权系数 w_i , 要求 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。本文采用主观的权重确定方法——层次分析法(AHP)——来确定评价模型中各个指标的权系数:

1) 建立层次结构模型 包括目标层、准则层和指标层。

2) 构造判断矩阵 以 A 表示指标, $U_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 分别表示参评的各个特征。 U_{ij} 表示 U_i 对 U_j 相对重要性数值 ($j = 1, 2, \dots, n$), U_{ij} 的取值依据见表 1;

3) 层次单排序 根据判断矩阵, 求出最大特征根所对应的特征向量, 该特征向量即为各评价因素重要性排序, 即权值;

4) 权值合理性检验 用公式 $C_R = C_i / R_i$ 来检验, 其中 C_i 为判断矩阵的一般一致性指标, 由公式

$C_i = (m_a - n) / (n - 1)$ 给出 (M_a 为矩阵最大特征根); R_i 为判断矩阵的平均随机一致性指标。当 $C_R < 0.1$ 时, 可认为判断矩阵具有满意的一致性, 说明权数分配合理。

表 1 判断矩阵标度及其含义

标 度	含 义
1	表示因素 U_i 与 U_j 比较, 具有同等重要性
3	表示因素 U_i 与 U_j 比较, U_i 比 U_j 稍微重要
5	表示因素 U_i 与 U_j 比较, U_i 比 U_j 略显重要
7	表示因素 U_i 与 U_j 比较, U_i 比 U_j 强烈重要
9	表示因素 U_i 与 U_j 比较, U_i 比 U_j 极端重要
2, 4, 6, 8	分别表示相邻判断 1~3, 3~5, 5~7, 7~9 的中值
倒数	表示因素 U_i 与 U_j 比较的判断, 即: $U_{ji} = 1 / U_{ij}$

5) 层次总排序 利用同一层次中所有层次单排序的结果, 就可以计算针对上一层次的本层次全部因素重要性的权值, 这就是层次总排序。层次总排序需要从上到下, 逐层顺序进行。

6) 一致性检验 同步骤(4)利用公式 $C_R = C_i / R_i$ 来检验整体权重分配的合理性。

3 应用实例——滹滏平原农业水资源状况评价

位于河北省的滹滏平原是华北平原上缺水比较突出的地区, 本研究采用综合评判的物元模型对这一地区农业水资源进行评估, 为其水资源规划提供基础数据, 也同时说明物元模型在水资源评价中的具体应用。

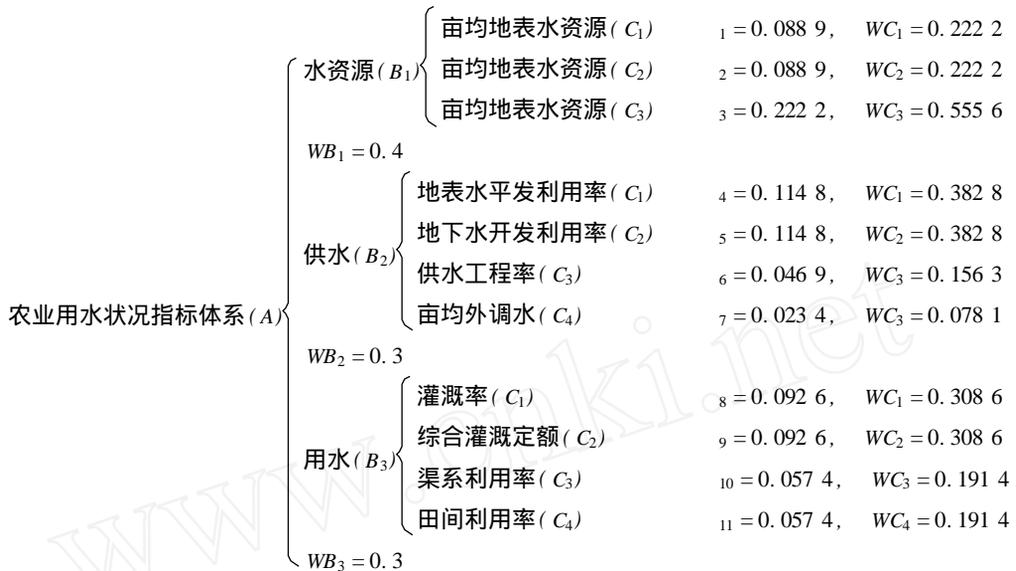
3.1 农业用水供需状况的评价指标

借鉴文献[3]选取研究指标包括水资源、供水和用水在内的 3 个一级指标和 11 个二级指标, 同时利用层次分析法(AHP)计算了各指标的权系数(图 1)。滹滏平原各指标的量值见表 2。

表 2 滹滏平原农业水资源状况评价指标量值

Table 2 Value of each index of agriculture water resources in Hufu plain

水 资 源		供 水		用 水	
亩均地表水/ m^3	7.33	地表水开发利用率/ %	11.44	灌溉率/ %	87
亩均地下水/ m^3	136.92	地下水开发利用率/ %	100	综合灌溉定额/ m^3	313
亩均过境水/ m^3	2.44	供水工程率/ %	77	渠系利用率/ %	70
		亩均外调水/ m^3	209.1	田间利用率/ %	80



WB_i 为第一层次权重; WC_i 为第二层次权重; _i 为各指标的综合权重

图 1 农业用水供需状况评价指标体系图

Fig. 1 Evaluating indexes for supply and demand of agriculture water using

3.2 确定经典域和节域

对农业用水供需状况的各评价指标值从高到底分为 3 个等级,从而可以方便利用物元模型对区域农业用水情况进行评价。各评价等级的物理含义是代表了各评价指标在研究区中的具体水平,以亩均地表水资源为例,一级代表研究区的亩均地表水资源介于 150 ~ 200 m³ 之间,处于这一指标的最高水平;二级代表研究区的亩均水资源介于 100 ~ 150 m³ 之间,处于这一指标的中等水平;三级则代表研究区的亩均水资源介于 0 ~ 100 m³ 之间,处于这一指标的最低水平。其他指标的各等级所代表的含义与此类似。本文在对区域的农业水资源评价中,各等级的经典域和节域的确定均参照文献[14]。

在水资源模块中,各等级的经典域为

$$R_{01} = \begin{bmatrix} \{1 \text{ 级}\}, & c_1, & 150, 200 \\ & c_2, & 150, 200 \\ & c_3, & 150, 200 \end{bmatrix}$$

$$R_{02} = \begin{bmatrix} \{2 \text{ 级}\}, & c_1, & 100, 150 \\ & c_2, & 100, 150 \\ & c_3, & 100, 150 \end{bmatrix}$$

$$R_{03} = \begin{bmatrix} \{3 \text{ 级}\}, & c_1, & 0, 100 \\ & c_2, & 0, 100 \\ & c_3, & 0, 100 \end{bmatrix}$$

节域为

$$R_{p1} = \begin{bmatrix} \{\text{水资源}\}, & c_1, & 0, 200 \\ & c_2, & 0, 200 \\ & c_3, & 0, 200 \end{bmatrix}$$

式中, c_1 为亩均地表水资源 (m³), c_2 为亩均地下水资源 (m³), c_3 为亩均过境水资源 (m³)。

在供水模块中,各等级的经典域为

$$R_{01} = \begin{bmatrix} \{1 \text{ 级}\}, & c_1, & 60, 100 \\ & c_2, & 80, 100 \\ & c_3, & 80, 100 \\ & c_4, & 200, 400 \end{bmatrix}$$

$$R_{02} = \begin{bmatrix} \{2 \text{ 级}\}, & c_1, & 30, 60 \\ & c_2, & 50, 80 \\ & c_3, & 50, 80 \\ & c_4, & 100, 200 \end{bmatrix}$$

$$R_{03} = \begin{bmatrix} \{3 \text{ 级}\}, & c_1, & 0, 30 \\ & c_2, & 30, 50 \\ & c_3, & 0, 50 \\ & c_4, & 0, 100 \end{bmatrix}$$

节域为

$$R_{p2} = \begin{bmatrix} \{\text{供水}\}, & c_1, & 0, 100 \\ & c_2, & 30, 100 \\ & c_3, & 0, 100 \\ & c_4, & 0, 400 \end{bmatrix}$$

式中, c_1 为地表水开发利用率, c_2 为地下水开发利用率, c_3 为供水工程率, c_4 为亩均外调水 (m³)。

在用水模块中各等级的经典域为

$$R_{01} = \begin{bmatrix} \{1 \text{ 级}\}, & c_1, & 80, 100 \\ & c_2, & 0, 300 \\ & c_3, & 70, 100 \\ & c_4, & 80, 100 \end{bmatrix}$$

$$R_{02} = \begin{bmatrix} \{2 \text{ 级}\}, & c_1, & 50, 80 \\ & c_2, & 300, 450 \\ & c_3, & 50, 70 \\ & c_4, & 70, 80 \end{bmatrix}$$

$$R_{03} = \begin{bmatrix} \{3 \text{ 级}\}, & c_1, & 0, 50 \\ & c_2, & 450, 600 \\ & c_3, & 0, 50 \\ & c_4, & 50, 70 \end{bmatrix}$$

节域为

$$R_{p3} = \begin{bmatrix} \{\text{用水}\}, & c_1, & 0, 100 \\ & c_2, & 0, 600 \\ & c_3, & 0, 100 \\ & c_4, & 50, 100 \end{bmatrix}$$

式中, c_1 为灌溉率, c_2 为区域综合灌溉定额 (m^3), c_3 为渠系利用率, c_4 为田间利用率。

3.3 确定待评物元

溇滏平原现有耕地面积 54.5 万 hm^2 , 其中有效灌溉面积 47.3 万 hm^2 , 其灌溉水的来源包括当地地表水、地下水及过境的溇沱河, 其引黄水量每年有 0.2 亿 m^3 。位于溇沱河上游的黄壁庄水库是该地区最重要的灌溉水源, 它对溇沱河水的拦蓄使得研究区境内的河床常年干涸, 所以过境水量极其有限。在实际计算中黄壁庄水库由于位于研究区外的溇沱河山区, 所以该库的供水当作外调水来处理。通过

对实际数据的处理 (表 3) 可以得到对溇滏平原农业供用水状况进行综合评价的待评物元体为

$$R_{\text{水资源}} = \begin{bmatrix} p_0, & c_1, & 7.33 \\ & c_2, & 136.92 \\ & c_3, & 2.44 \end{bmatrix}$$

$$R_{\text{供水}} = \begin{bmatrix} p_0, & c_1, & 11.44 \\ & c_2, & 100 \\ & c_3, & 77 \\ & c_4, & 209.1 \end{bmatrix}$$

$$R_{\text{用水}} = \begin{bmatrix} p_0, & c_1, & 87 \\ & c_2, & 313 \\ & c_3, & 70 \\ & c_4, & 80 \end{bmatrix}$$

3.4 确定待评事物关于各类别等级的关联度

根据式 (1) 可以得到待评物元关于各类别等级的关联度 (表 3), 并可以看出, 各评价指标关于各评价等级的关联度总有一个非负值, 即每一指标总会属于一个评价等级。以水资源模块中亩均地表水资源为例 ($i = 1$), $K_1(x_1) = -0.9511$, $K_2(x_1) = -0.9267$ 说明待评事物的评价指标不属于等级 1 和等级 2, 而属于等级 3 ($K_3(x_1) = 6.3300$), 关联度数值在实数轴上的大小还表征了评价指标属于某一等级的程度, 这比模糊数学隶属度所代表的内涵更加丰富。其他关联度的解释与此相似。

表 3 待评物元关于各类别等级的关联度

Table 3 Related degree of Matter Elements to each grade of each class

$K_j(x_i)$	水 资 源			供 水				用 水			
	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$
$j=1$	-0.9511	-0.1717	-0.9837	-0.8093	1.0000	-0.1154	0.0501	1.1667	-0.0433	0.0000	0.0000
$j=2$	-0.9267	0.2616	-0.9756	-0.6187	-1.0000	0.1500	-0.0455	-0.3500	0.0474	0.0000	0.0000
$j=3$	6.3300	-0.3692	1.4400	10.4400	-1.0000	-0.5400	-0.3637	-0.7400	-0.3231	-0.4000	-0.3333

3.5 确定待评物元关于各等级 j 的关联度

利用层次分析法得到的各因素权重 (图 1), 对于水资源、供水和用水各模块的具体评价模型为

$$K_j(p) = \sum_{i=1}^n WC_i \times K_j(x_i) \quad (5)$$

利用式 (5)、(3) 和式 (4) 可得到各模块的评价结果 (表 4)。对于总体的农业水资源状况其具体的综合评价模型为

$$K_j(p) = \sum_{i=1}^n i \times K_j(x_i) \quad (6)$$

以上 2 式中, WC_i 为第二层次权重, i , ($i = 1, 2, \dots, 11$) 为各指标的综合权重 (图 1)。同样, 利用式 (6) 和式 (3)、(4) 可得到溇滏平原农业水资源的综合评价结

果 (表 4), 并可以知道, 研究区农业用水供需状况的总体评价级别为 3, 与其相应的下一层次水资源、供水和用水部分其评价级别分别是 3、3、1, 也就是说, 这是符合当地实际情况的。从表 4 的 j^* 可以看出, 水资源和供水的评价级别向相邻的级别 2 偏离的程度非常小, 用水的评价级别则向级别 2 偏离程度大。这进一步说明了溇滏平原农业用水情况的严重程度。表 4 可以理解为, 本区的水资源和供水存在巨大压力, 虽然区域农业用水效率较高, 但综合供需状况评价只能是较低的三级水平。究其原因, 从水资源上看 ($j_0 = 3$), 当地地表水资源量非常小 (0.6 亿 m^3), 地下水资源量也相对较小 (11.2 亿 m^3) 且存在着严重的超采现

象(1998 年曾超采 15.5 亿 m^3),同时当地的引黄水量也较小(只有 0.2 亿 m^3),这导致对水资源的评价结果为低水平的三级;从供水上看($j_0 = 3$),本区的农业用水大部分来自外调水,且对当地水资源的开发利用程度非常高使得当地农业的供水压力非常大;从用水上

看($j_0 = 1$),由于当地地处平原,其中 87% 的耕地都可以得到灌溉,而且当地的综合灌溉利用系数(0.56)和综合灌溉定额都具有了一定的水平,所以对用水的评价结果也是符合实际的。综上所述,我们认为对农业用水供需状况的总体评价($j_0 = 3$)是相对客观的。

表 4 溥洼平原农业水资源供需状况评价结果

Table 4 Evaluating results for the situation of supply and demand of agriculture water using in Hufu plain

$K_j(p)$	1 级	2 级	3 级	max	j_0	j^*
水资源	- 0.796 1	- 0.689 8	2.124 6	2.124 6	3	2.964 8
供水	- 0.706 7	- 0.599 7	3.500 8	3.500 8	3	2.975 2
用水	0.346 7	- 0.093 4	- 0.468 4	0.346 7	1	1.315 1
农业总体状况	- 0.426 5	- 0.483 9	1.759 5	1.759 5	3	2.950 1

4 结论与讨论

利用物元模型对水得到的关于水资源、供水和用水的结果与研究区实际情况比较相符,其中对农业水资源总体情况评价结论也是可靠的。

在建立物元模型的过程中,引用了层次分析方法(AHP)对评价的各指标确定权重值。物元模型和层次分析法的结合具有一定的科学性:对评价对象不是笼统的计算综合评价值,而是对评价对象由表及里逐层计算,逐层剖析,使得对研究对象的评价更趋于客观实际。

为了与其他方法相比较,本研究利用层次分析法对研究区的农业水资源状况进行评价,其数学模型^[3]为 $G = \sum_i a_i$ 。

评价结果表明:水资源模块 $G_1 = 2.777 8$;供水模块 $G_2 = 1.921 9$;用水模块 $G_3 = 1.308 6$,整个研究区的农业水资源总体 $G = 2.080 3$ 。

对比层次分析法和物元模型所得结果,二者的评价结论基本一致,即研究区内在区域水资源占有量和供水方面的状况比较悲观,虽然区域用水水平较高,但水资源供需突出的矛盾使得区域的农业用水总体情况非常紧张。与层次分析法比较,物元模型在评价中所采用的关联函数更加能够真实的反映各指标对各等级的归属情况,所得结论更具科学性。很多实践也表明,物元模型比模糊数学方法和灰色评判方法更简便准确^[7~10]。

值得指出的是,物元模型作为一个正在蓬勃发展的数学工具,无论在理论体系方面还是在实际应用当中都存在着不完善的地方,例如关联函数的确定等都需要更加深入的研究^[5],由于不同的问题有不同的关

联函数,目前只建立了实数域上的函数、二阶关联函数和 n 阶关联函数的基本形式。所以物元模型在水资源评价中的应用也需要进一步的完善和扩展。

参 考 文 献

- [1] 傅湘,纪昌明. 区域水资源承载能力综合评价[J]. 长江流域资源与环境,1999,(2):168~172
- [2] 任鸿遵,于静杰,林耀明,等. 华北平原农业水资源供需状况评价方法[J]. 地理研究,1999,(1):39~44
- [3] 贾嵘,沈冰,蒋晓辉,等. 区域水资源潜力综合评判[J]. 西北农业大学学报,1999,(5):44~49
- [4] 赵书明. 有限元数学模型在水资源评价中的应用[J]. 电力勘测,2000,(2):29~33
- [5] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京:科学技术文献出版社,1994. 267~273
- [6] 蔡文. 从物元分析到可拓学[M]. 北京:科学技术文献出版社,1995
- [7] 冯玉国. 用物元分析方法综合评价环境质量[J]. 地质勘探安全,1994,(2):13~15
- [8] 冯玉国. 物元分析在大气环境质量评价中的应用[J]. 化工环保,1994,(3):163~166
- [9] 冯玉国. 物元分析在水质污染综合评价中的应用[J]. 环境保护科学,1994,(4):52~55
- [10] 向志民,向荣. 农林产品质量分级的物元分析识别模型研究[J]. 运筹与管理,1999,(4):63~69
- [11] 胡宝清. 可拓评价方法在围岩稳定性分类中的应用[J]. 水利学报,2000,(2):66~70
- [12] 陈景武,王培承. 可拓学及其医学应用[J]. 山西医科大学学报,2000,(4):56~58
- [13] 陈薇,苏时光. 可拓集合与农业资源的可拓利用[J]. 中国农业大学学报,2000,5(1):91~95
- [14] 李英能. 华北地区节水农业标准初探[J]. 灌溉排水,1993,12(4):12