

水资源承载力可拓评价模型的改进及应用

薛小杰,黄四霞,张泽中

(西安理工大学西北水资源与环境生态教育部重点实验室,陕西 西安 710048)

摘 要: 水资源评价模型指标体系和指标权重选取是研究水资源承载力模型精度和深度的关键。本文基于博弈论的非对称贴近度可拓评价方法,提出了基于非对称贴近度和粗集权重的可拓评价模型,解决了可拓评价方法在水资源承载力应用中存在的失效和权重选取问题。运用博弈论方法将客观赋权法(熵值法)和主观赋权法(层次分析法)进行集化、融合,使得到的综合权重与各单一权重向量之间的偏差最小,融合多参与方中意的权重确定方法,消除了单一权重法的片面性。改进模型应用于洮河水资源承载力评价研究实例中,与原模型评价结果比,改进后模型融合多参与方中意的权重,使得评价结果更能达到多方共赢。

关键词: 水资源;可拓评价;权重;博弈论

中图分类号: TV213.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)02-0175-06

水资源承载力水平的研究多采用评价的方法,如综合指标法、模糊综合评价法、主成分分析法等^[1-4]。目前,综合指标法应用较为广泛,但提出问题的精度和深度不够具体和细致;模糊综合评判理论相对较完善成熟,但在评判因素的选取上和因素对承载力的影响程度上存在一定的局限性;主成分分析法是统计分析中的一个重要方法,在系统评价、故障诊断、质量管理和发展对策等许多方面都有应用,但其物理意义不明确,难以在经济活动中选择相对应的控制点^[5]。文献[6]针对水资源承载力水平评价方法中存在的精度深度不足、因素选择受限或物理意义不明确等问题,尝试着把解决矛盾问题的可拓评价方法引入到水资源承载力研究领域,建立了多指标参数的评定模型来完整地反映地区的承载力水平;并且提出基于非对称贴近度和粗集权重的可拓评价模型的改进方法解决可拓评价方法在水资源承载力应用中存在的失效和权重选取问题。文献[1]为水资源承载力的研究提供一条新的思路,但综合权重确定是将主、客观权重加权平均得到的,合理性较差。针对此点不足,本文在确定权重时,运用了博弈论方法将客观赋权法(熵值法)和主观赋权法(层次分析法)进行集化、融合,使得到的综合权重与各单一权重向量之间的偏差最小,该法不仅能消除单一权重法的片面性,而且还可以融合多参与方中意的权重确定方法,使得评价结果达到多方共赢。

1 基于博弈论的非对称贴近度可拓评价方法再改进

1.1 非对称贴近度的可拓评价模型^[6]

文献[7]对如何使用贴近度替代最大隶属度做了大量的分析和论述,提出采用非对称贴近度原则能有效解决最大隶属原则的失效问题。文献[6]采用文献[8]给出中的非对称贴近度公式($p = 1$ 时)替代最大隶属度,经整理可得:

$$N = 1 - \frac{1}{n(n+1)} \sum_{i=1}^n D \cdot \beta_i \quad (1)$$

进行关联度计算和等级评定。其中 N 表示待测物元的贴近度, D 为关联度, β_i 为权重。

应用到标准可拓评价中的具体计算和评价步骤^[6]如下:

1) 定义经典域和节域以及待测物元。

① 经典域

$$R_0 = \begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \cdots & N_m \\ C & V_1 & V_2 & \cdots & V_m \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \cdots & N_m \\ C_1 & \langle a_{11}, b_{11} \rangle & \langle a_{12}, b_{12} \rangle & \cdots & \langle a_{1m}, b_{1m} \rangle \\ C_2 & \langle a_{21}, b_{21} \rangle & \langle a_{22}, b_{22} \rangle & \cdots & \langle a_{2m}, b_{2m} \rangle \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_n & \langle a_{n1}, b_{n1} \rangle & \langle a_{n2}, b_{n2} \rangle & \cdots & \langle a_{nm}, b_{nm} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, R_0 是同征物元 $R_1, R_2, \dots, R_m$ 的同征物元体; N_j 表示所划分的第 j 个评价类别; C_i 表示第 i 个评价

收稿日期:2011-07-05

基金项目:国家自然科学基金资助(40501011;50679070)

作者简介:薛小杰(1973—),男,陕西扶风人,博士,副教授,从事水资源系统工程研究。E-mail:xxjxaut@163.com。

指标; $\langle a_{ij}, b_{ij} \rangle$ 分别为 N_j 关于指标 C_i 所规定的量值范围, 即各类别关于对应的评价指标所取的数据范围经典域。

② 节域

$$R_p = (P, C, V_p) = \begin{bmatrix} P & C_1 & v_{1p} \\ & C_2 & v_{2p} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & v_{np} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & C_1 & \langle a_{1p}, b_{1p} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{2p}, b_{2p} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & \langle a_{np}, b_{np} \rangle \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, P 表示类别的全体, $v_{ip} = \langle a_{ip}, b_{ip} \rangle$ 为 P 关于 C_i 所取的量值的范围, 即 P 的节域, 且 $\langle a_{ij}, b_{ij} \rangle \subset \langle a_{ip}, b_{ip} \rangle$ 。

③ 待评物元

对待评的事物 q , 把所收集到的指标数据或分析计算结果用物元表示。

$$R_q = \begin{bmatrix} q & C_1 & v_1 \\ & C_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & v_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, q 表示待评事物; R_p 称为 q 事物的待评物元; v_i 为事物 q 关于指标 C_i 的量值, 即待评事物的指标数据。

2) 规格化。对经典域矩阵 R_0 中的元素规格化, 得到:

$$R_0' = \begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \cdots & N_m \\ C_1 & V'_{11} & V'_{12} & \cdots & V'_{1m} \\ C_2 & V'_{21} & V'_{22} & \cdots & V'_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_n & V'_{n1} & V'_{n2} & \cdots & V'_{nm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中, $V'_{ij} = \frac{V_{ij}}{b_{ip}} (i=1, 2, \cdots, n; j=1, 2, \cdots, m)$, b_{ip} 为节域的上边界值。

同理, 对待测物元 R_q 的特征值 $[v_1, v_2, \cdots, v_n]$ 规格化, 得:

$$\begin{bmatrix} v'_1 \\ v'_2 \\ \vdots \\ v'_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1/b_{ip} \\ v_2/b_{2p} \\ \vdots \\ v_n/b_{np} \end{bmatrix} \quad (6)$$

3) 确定权系数。

确定指标 C_i 的权系数为 β_i , 且 $\sum_{i=1}^n \beta_i = 1$ 。

4) 定义贴适度(计算距离)。

$$\text{令: } D_j(v'_i) = \rho(v'_i, V'_{ij}) \quad (7)$$

$$\text{其中 } \rho(v'_i, V'_{ij}) = \left| v'_i - \frac{a'_{ij} + b'_{ij}}{2} \right| - \frac{1}{2} (b'_{ij} - a'_{ij})$$

代入公式(1)可进一步表示待测物元的贴适度为

$$N_j(q) = 1 - \frac{1}{n(n+1)} \sum_{i=1}^n \beta_i D_j(v'_i), \quad j = 1, 2, \cdots, m \quad (8)$$

5) 评判。

由 $N_{j_0}(q) = \max_j N_j(q)$, 得到 j_0 , 即待测物元所属等级。

$$\text{再令 } \bar{N}_j(q) = \frac{N_j(q) - \min_j N_j(q)}{\max_j N_j(q) - \min_j N_j(q)} \quad (9)$$

$$\text{进而得到 } j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \cdot \bar{N}_j(q)}{\sum_{j=1}^m \bar{N}_j(q)} \quad (10)$$

式中, j^* 为 q 的等级变量特征值, 即等级程度值, 通过 j^* 可确定待测物元的评价等级。

1.2 博弈理论确定权重对非对称贴适度可拓评价模型再改进

指标权重对多指标综合评价的影响是决定性的, 同样的指标选用不同的权重会得出不同的评价结果, 因此, 合理地确定指标权重是提高综合评价质量的前提。主观权重和客观权重都各有利弊, 因此, 目前出现了综合权重法, 但这些方法大都是将主、客观权重取平均或加权平均得到的, 合理性较差。本文则运用博弈论方法^[9]将主观权重和客观权重融合起来, 得到一个多方均衡的综合权重。

为了提高多属性权重赋值的科学性, 可使用 L 种方法对指标进行赋权, 由此构造一个基本的权重集 $u_k = \{u_{k1}, u_{k2}, \cdots, u_{km}\}$, $k = 1, 2, \cdots, L$, 记这 L 个向量的任意线性组合为

$$u = \sum_{k=1}^L \alpha_k \cdot u_k^T \quad (\alpha_k > 0) \quad (11)$$

u 为可能的权重集的一种可能的权重向量。如何在可能的权重向量集中找到最满意的 u_k^* , 本文采用博弈论的方法来解决这个问题。因此, 问题归结为对式(11)中 L 个线性组合系数 α_k 进行优化, 优化的目标是使 u 与各个 u_k 的离差极小化。这样便导出了下面的对策模型:

$$\min \left\| \sum_{j=1}^L \alpha_j u_j^T - u_i \right\|_2 \quad (i = 1, 2, \cdots, L) \quad (12)$$

根据矩阵的微分性质可知, 式(12)的最优化一阶导数条件可转化为下面的线性方程组:

$$\begin{bmatrix} u_1 \cdot u_1^T & u_1 \cdot u_2^T & \cdots & u_1 \cdot u_l^T \\ u_2 \cdot u_1^T & u_2 \cdot u_2^T & \cdots & u_2 \cdot u_l^T \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ u_l \cdot u_1^T & u_l \cdot u_2^T & \cdots & u_l \cdot u_l^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \cdot u_1^T \\ u_2 \cdot u_2^T \\ \vdots \\ u_l \cdot u_l^T \end{bmatrix}$$

(13)

计算求得 $(\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_l)$,然后再对其进行归一化处理,即

$$\alpha_k^* = \alpha_k / \sum_{k=1}^l \alpha_k$$

(14)

则综合权重为

$$u^* = \sum_{k=1}^l \alpha_k^* \cdot u_k^T$$

(15)

确定综合权重的具体方法和操作步骤:

1) 收集大量历史评价样本,应用简单关联函数法计算其客观赋权,构成数据信息系统;依据相应公式,计算数据信息系统的条件属性集 $C = \{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$ 中每个属性 x_i 的重要度 $S(x_i) (i = 1, 2, \cdots, n)$;将属性重要度 $S(x_i)$ 进行归一化处理,处理后的结果作为每个属性 x_i 的客观权重 p_i ,且满足 $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ 。

2) 根据专家经验知识给出条件属性集中每个属性的主观权重 q_i ,且满足 $\sum_{i=1}^n q_i = 1$ 。

3) 可以用 n 种方法确定 n 种权重列。

4) 根据决策参与方需要可以对多种权重方法的权重进行博弈综合,按式(11)~(15)计算出 x_i 的综合权重 β_i 。

利用博弈理论,对多种简单客观赋权和主观权重相综合,确定最终的属性权重。通过这种方法,多个决策者可以根据意愿和实际决策应用背景的不同,选取合适的权重确定方法确定各自的权重,最后,用博弈论得到最终的综合权重结果,取得各方达到共赢的决策。

2 实例检验

2.1 实例资料

为了检验模型改进的合理性和可行性,本文采用文献[6]相同实例,包括指标体系,指标评价标准见表 1 和表 2,评价指标值见表 3。

表 1 水资源承载力评价指标体系^[6]

Table 1 Evaluation indicator system of the carrying capacity of water resources

类别 Type	序号 No.	评价指标 Evaluation indicator	类别 Type	序号 No.	评价指标 Evaluation indicator
水资源条件 Water resources condition	1	年人均水资源量(m^3) Annual water resources per capita	需水用水条件 Water requirement	6	万元工业产值需水量(m^3) Water requirement for 10000 yuan of industrial output value
	2	水资源利用率(%) Water use rate		7	农作物灌溉定额(m^3/hm^2) Quota of crop irrigation
社会经济条件 Social and economic condition	3	人口密度($\text{人}/\text{km}^2$) Population density		8	日人均城市生活用水定额(L) Quota of daily water consumption per capita in urban area
	4	人均工业产值(元) Industrial output value per capita (Yuan)		9	年需水量模数($10^4\text{m}^3/\text{km}^2$) Modulus of annual water requirement
生态 Ecology	5	生态环境用水率(%) Water use rate of ecoenvironment		10	年供水量模数($10^4\text{m}^3/\text{km}^2$) Modulus of annual water supply

表 2 水资源承载力评价标准^[6]

Table 2 Criteria for grading the carrying capacity of water resources

序号 No.	1 级 Grade 1	2 级 Grade 2	3 级 Grade 3	4 级 Grade 4	序号 No.	1 级 Grade 1	2 级 Grade 2	3 级 Grade 3	4 级 Grade 4
1	> 2200	2200 ~ 1700	1700 ~ 1200	< 1200	6	< 50	50 ~ 100	100 ~ 150	> 150
2	< 15	15 ~ 30	30 ~ 45	> 45	7	< 200	200 ~ 400	400 ~ 600	> 600
3	< 100	100 ~ 150	150 ~ 200	> 200	8	< 100	100 ~ 150	150 ~ 200	> 200
4	< 2000	2000 ~ 4000	4000 ~ 6000	> 6000	9	< 2.5	2.5 ~ 5.0	5.0 ~ 7.5	> 7.5
5	< 20	20 ~ 30	30 ~ 40	> 40	10	> 7.5	7.5 ~ 5.0	5.0 ~ 2.5	< 2.5

根据甘肃省水利水电勘测设计研究院 2004 年完成的《九甸峡水利枢纽及引洮供水一期工程之洮河水资源专题论证报告》中的相关数据计算得到 2020 年洮河下游不同方案下的指标值。

基本数据(2020 年):

情景一:来水选取多年平均径流量,流域水资源总量:51.172 亿 m³,总人口: 214.01 万人,下游总人口:130.24 万人,下游生态用水:11.4 亿 m³,下游河道外需水:5.74 亿 m³,下游流域面积:7 797 km²。

情景二:为了在承载力分析中反映洮河流域径流减少趋势的影响,来水选取 1990 年代的平均径流量作为基础数据,计算得到流域水资源量:32.748 亿 m³,总人口: 214.01 万人,下游总人口:130.24 万人,下游生态用水:11.4 亿 m³,下游河道外需水:5.74 亿 m³,下游流域面积:7 797 km²。

根据不同引水方案,设置方案一:不引水;方案二:引水 2.19 亿 m³;方案三:引水 5.50 亿 m³。具体方案及指标见表 3。

表 3 各方案指标表

Table 3 Indicators of each scheme

指标 Indicator	方案一 Scheme 1		方案二 Scheme 2		方案三 Scheme 3	
	情景一 Scene 1	情景二 Scene 2	情景一 Scene 1	情景二 Scene 2	情景一 Scene 1	情景二 Scene 2
年人均水资源量(m ³) Annual water resources per capita	2386	1530	2218	1362	1964	1108
水资源利用率 Water use rate(%)	18.47	28.80	19.87	32.36	22.44	39.78
人口密度 Population density(人/km ²)	167	167	167	167	167	167
人均工业产值(Yuan) Industrial output value per capita	5141	5141	5141	5141	5141	5141
生态环境用水率(%) Water use rate of ecoenvironment	22.28	34.81	23.27	37.27	24.96	41.84
万元工业产值需水量(m ³) Water requirement for 10,000 yuan of industrial output value	70	70	70	70	70	70
农作物灌溉定额(m ³ /hm ²) Quota of crop irrigation	465	465	465	465	465	465
日人均城市生活用水定额(L) Quota of daily water consumption per capita in urban area	195	195	195	195	195	195
年需水量模数(10 ⁴ m ³ /km ²) Modulus of annual water requirement	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41	7.41
年供水量模数(10 ⁴ m ³ /km ²) Modulus of annual water supply	7.39	7.39	7.26	7.26	7.23	7.23

注:指标值的计算方法:九甸峡坝址下游水资源量:流域人均水资源量×九甸峡坝址下游人口数量-引水量;下游人均水资源量的计算:九甸峡坝址下游水资源量/九甸峡坝址下游人口数量;水资源利用率:九甸峡坝址下游供水量/九甸峡坝址下游水资源量。

Note: Calculation method for indicator values: Water resources of the lower reaches of Jiudianxia dam: Water resources per capita of the whole river reaches × population quantity of the lower reaches of Jiudianxia dam - water diversion; Water resources per capita of the lower reaches: Water resources of the lower reaches of Jiudianxia dam / population quantity of the lower reaches of Jiudianxia dam; Water use rate: Water supply of the lower reaches of Jiudianxia dam / Water resources of the lower reaches of Jiudianxia dam.

2.2 水资源承载力计算

本文针对洮河流域引洮工程调水区(洮河下游地区)的水资源承载力进行评价,设置不引水、引水 2.19 亿和引水 5.50 亿三种方案,并以此为评价对象,即事物 N,选定年人均水资源量、水资源利用率、人口密度、人均工业产值、生态环境用水率、万元

工业产值需水量、农作物灌溉定额、日人均城市生活用水定额、年需水量模数、年供水量模数为参评因素 C,进而构造同征物元三元体,对洮河流域下游的水资源承载力等级进行评价。

1) 构造经典域和节域:

$$R_0 = \begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & N_3 & N_4 \\ C_1 & \langle 2200, 3000 \rangle & \langle 1700, 2200 \rangle & \langle 1200, 1700 \rangle & \langle 0, 1200 \rangle \\ C_2 & \langle 0, 15 \rangle & \langle 15, 30 \rangle & \langle 30, 45 \rangle & \langle 45, 60 \rangle \\ C_3 & \langle 0, 100 \rangle & \langle 100, 150 \rangle & \langle 150, 200 \rangle & \langle 200, 300 \rangle \\ C_4 & \langle 1000, 2000 \rangle & \langle 2000, 4000 \rangle & \langle 4000, 6000 \rangle & \langle 6000, 8000 \rangle \\ C_5 & \langle 0, 20 \rangle & \langle 20, 30 \rangle & \langle 30, 40 \rangle & \langle 40, 60 \rangle \\ C_6 & \langle 0, 50 \rangle & \langle 50, 100 \rangle & \langle 100, 150 \rangle & \langle 150, 200 \rangle \\ C_7 & \langle 0, 200 \rangle & \langle 200, 400 \rangle & \langle 400, 600 \rangle & \langle 600, 800 \rangle \\ C_8 & \langle 0, 100 \rangle & \langle 100, 150 \rangle & \langle 150, 200 \rangle & \langle 200, 300 \rangle \\ C_9 & \langle 0, 2.5 \rangle & \langle 2.5, 5.0 \rangle & \langle 5.0, 7.5 \rangle & \langle 7.5, 15 \rangle \\ C_{10} & \langle 7.5, 15 \rangle & \langle 5.0, 7.5 \rangle & \langle 2.5, 5.0 \rangle & \langle 0, 2.5 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_P = \begin{bmatrix} P & C_1 & \langle 0, 3000 \rangle \\ & C_2 & \langle 5, 60 \rangle \\ & C_3 & \langle 50, 300 \rangle \\ & C_4 & \langle 1000, 8000 \rangle \\ & C_5 & \langle 5, 60 \rangle \\ & C_6 & \langle 0, 200 \rangle \\ & C_7 & \langle 50, 800 \rangle \\ & C_8 & \langle 0, 300 \rangle \\ & C_9 & \langle 0, 15 \rangle \\ & C_{10} & \langle 0, 15 \rangle \end{bmatrix}$$

将方案一、二、三分别作为三个待测物元 R_1 、 R_2 、 R_3 :

$$R_1 = \begin{bmatrix} q_1 & q_2 \\ C_1 & 2386 & 1530 \\ C_2 & 18.47 & 28.80 \\ C_3 & 167 & 167 \\ C_4 & 5141 & 5141 \\ C_5 & 22.28 & 34.81 \\ C_6 & 70 & 70 \\ C_7 & 465 & 465 \\ C_8 & 195 & 195 \\ C_9 & 7.41 & 7.41 \\ C_{10} & 7.39 & 7.39 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} q_1 & q_2 \\ C_1 & 2218 & 1362 \\ C_2 & 19.87 & 32.36 \\ C_3 & 167 & 167 \\ C_4 & 5141 & 5141 \\ C_5 & 23.27 & 37.27 \\ C_6 & 70 & 70 \\ C_7 & 465 & 465 \\ C_8 & 195 & 195 \\ C_9 & 7.41 & 7.41 \\ C_{10} & 7.26 & 7.26 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} q_1 & q_2 \\ C_1 & 1964 & 1108 \\ C_2 & 22.44 & 39.78 \\ C_3 & 167 & 167 \\ C_4 & 5141 & 5141 \\ C_5 & 34.96 & 41.84 \\ C_6 & 70 & 70 \\ C_7 & 465 & 465 \\ C_8 & 195 & 195 \\ C_9 & 7.41 & 7.41 \\ C_{10} & 7.23 & 7.23 \end{bmatrix}$$

2) 确定权重系数。

采用 1990 ~ 2004 年的评价样本(指标值),采用信息熵方法^[10] 确定客观权重 q ;用层次分析法^[11] 确定权重 p ;应用博弈理论方法根据(11) ~ (15) 式来确定综合权重,则各属性的权值计算见表 4。

3) 计算及评价结果。

根据上述计算所得权重,代入(7) ~ (10) 式计算,得到评价结果见如表 5 前 9 列;文献[6] 评价结果见表 5 的 10 和 11 列。

表 4 权重计算表
Table 4 Calculated values of factor weight

项目 Item	情景一 Scene 1			情景二 Scene 2		
	q	p	β	q	p	β
C_1	0.050	0.021	0.043	0.098	0.172	0.122
C_2	0.100	0.043	0.081	0.050	0.076	0.057
C_3	0.100	0.240	0.143	0.095	0.172	0.122
C_4	0.150	0.174	0.154	0.139	0.099	0.134
C_5	0.100	0.040	0.082	0.136	0.128	0.140
C_6	0.100	0.105	0.105	0.100	0.069	0.087
C_7	0.150	0.115	0.138	0.137	0.057	0.118
C_8	0.100	0.105	0.101	0.093	0.072	0.087
C_9	0.100	0.069	0.091	0.095	0.059	0.078
C_{10}	0.050	0.088	0.062	0.057	0.096	0.055

表 5 不同方案不同情景下的评价结果
Table 5 Evaluation results under different schemes and different scenes

	<i>N</i>	<i>N</i> ₁	<i>N</i> ₂	<i>N</i> ₃	<i>N</i> ₄	<i>N</i> _{max}	<i>j</i> ₀	<i>j</i> [*]	<i>J</i> ₀	<i>J</i> [*]
方案 1	情景一 Scene 1	0.918	1.038	1.085	0.964	1.085	3	2.743	3	2.723
Scheme 1	情景二 Scene 2	0.875	1.026	1.130	1.021	1.130	4	3.010	3	2.968
方案 2	情景一 Scene 1	0.911	1.065	1.091	0.961	1.091	3	2.759	3	2.727
Scheme 2	情景二 Scene 2	0.882	1.031	1.142	1.025	1.142	4	3.114	4	3.004
方案 3	情景一 Scene 1	0.924	1.078	1.089	0.964	1.089	3	2.781	3	2.779
Scheme 3	情景二 Scene 2	0.835	0.101	1.122	1.052	1.122	4	3.203	4	3.090

4) 结果分析。

三种方案的评价结果基本维持在第 3 等级和第四级,在情景二下方案 1、方案 2 和方案 3 发生等级跳跃,处于第 4 级。这说明径流的减少对下游水资源承载力的影响不容忽视,并且与引洮工程相叠加,使其将成为改变洮河下游水资源可持续利用现状的主要因素,其效果在 2020 年以后尤为明显。本文与文献[6]结果不同在于情景二下方案 1 发生越级,但这行第 9 列和第 11 列在 3 左右,二者相差无几。这说明洮河径流减小在不引水情况下也已经对下游水资源承载力构成影响,这与洮河流域 20 世纪 90 年代枯水年下游用水紧张的事实相符合。从而说明了本次改进使得非对称贴近度可拓评价模型更为合理。

3 结 语

针对文献[6]所建模型综合权重确定方面存在的不足,运用博弈论方法将主观权重和客观权重融合起来,得到一个多方均衡的综合权重,实现对非对称贴近度可拓评价模型改进,与原模型相比,改进后模型融合多参与方中意的权重,使得评价结果更能达到多方共赢。

本文将改进模型应用到洮河流域水资源承载力水平的评价中,与文献[6]结果相比。结果表明,两者在总体上评价结果一致,在细微处改进后的模型与实际更为贴切。这表明本研究对非对称贴近度可拓评价模型更为合理,运用博弈论对非对称贴近度可拓评价模型的改进是可行的。基于博弈论非对称贴近度可拓评价模型也可用于其它多指标决策问题的研究。

参 考 文 献:

[1] 薛小杰,黄 强,惠浹河,等.区域水资源可持续利用与经济发展协调研究[C]//中国系统工程学会.系统工程、系统科学及复杂性研究论文集.宜昌:中科院系统科学研究所,2000:332-338.

[2] Chang Jianxia, Huang Qiang, Wang Yimin. Water resources distribution of Yellow River basin[C]//Water-saving Agriculture and Sustainable Use of Water and Land Resources(Volume II).西安:陕西科学技术出版社,2003:688-698.

[3] Tong Chunsheng, Liu Han, Huang Qiang, et al. Analysis of Evolution and Restriction Mechanism of Urban Water Resources-Ecosystem-Social Economy System Based on the Jieke Theory[C]// Li Changxing. Proceedings of the 4th International Conference-Watershed Management and Urban Water Supply. Shenzhen, China, 2004.

[4] Liu Han, Huang Qiang, Zhong Xia, et al. Study on cascade reservoirs compensation operation in main stream of the Yellow River based on water resources adjustment and control model (Abstract)[C]//Advances in Reservoir Operation & River Management. Proceeding of the International Conference of Reservoir Operation & River Management (ICROM'05), Guangzhou, China, 2005:17-19.

[5] Kolmogorov A N. Three approaches to the quantitative definition of information[J]. Problems of information Transmission, 1965, (1):1-7.

[6] 张洪波,黄 强,辛 霖,等.水资源承载力可拓评价方法[J].大连理工大学学报,2006.46(S1):206-212.

[7] 冯国庆,李 允,谈德辉.模糊贴近度在储层识别中的应用[J].西南石油学院学报,1999,21(4):46-49.

[8] 张晓平.基于贴近度的模糊综合评判结果的集化[J].山东大学学报(理学版),2004,39(2):25-29.

[9] 陈家良.基于博弈论的组合赋权评价方法研究[J].福建电脑,2003,(3):15-16.

[10] 张戈丽,王立本,董金玮.基于熵权法的济南市水安全时间序列研究[J].水土保持研究,2007,14(4):43-46.

[11] 李 斌.层次分析法和特尔菲法的赋权精度与定权系统[J].工程理论与实践,1998,(2):74-79.

(英文摘要下转第 212 页)

- 氮素动态变化[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 29(8): 926-932.
- [7] 沈泽昊, 张全发, 岳超, 等. 南水北调中线水源区土地利用/土地覆被的空间格局[J]. 地理学报, 2006, 61(6): 633-644.
- [8] 何锦峰, 苏春江, 舒兰, 等. 基于 3S 技术的金沙江干热河谷区 LUCC 研究——以云南省元谋县为例[J]. 山地学报, 2009, 27(3): 341-348.
- [9] 李智广. 水土流失测验与调查[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [10] 王宏志, 李仁东, 毋河海. 基于空间分析的土地利用垂直分异研究[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(6): 531-535.
- [11] 孙丽, 陈焕伟, 潘家文. 运用 DEM 剖析土地利用类型的分布及时空变化[J]. 山地学报, 2004, 22(6): 762-766.
- [12] 庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. 自然资源学报, 1997, 12(2): 10-14.
- [13] 符素华, 段淑怀, 李永贵, 等. 北京山区土地利用对土壤侵蚀的影响[J]. 自然科学进展, 2002, 12(1): 108-112.

Study on relationship between land use and terrain factor based on DEM

——Taking Zhangdigou small watershed as an example

HE Jing-ying¹, ZHANG Tong-yan¹, LI Guang-lu¹, ZHOU Mao-ling²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Water and Soil Conservation Working Station of Yangxian, Yangxian, Shaanxi 723300, China)

Abstract: Based on remote sensing data and DEM data, we studied the distribution characteristics of land use in the condition of different terrain factors by introducing the terrain distribution index and the comprehensive index of land use degree, and then analyzed the Kendall double parameters correlation, revealed the relationship between land use and terrain factors in Zhangdigou small watershed. The results showed that the distribution of land use in the watershed is basically in accordance with natural laws. Human activities are mainly on the lower altitudes, gentle slope and inclined land, and most in the shady slope and semi-sunny slope. Elevation, slope gradient and slope aspect have significant influence on the distribution of grassland, woodland and construction land, but little influence on that of farmland and orchard. Based on the actual status of the distribution pattern of land use, suggestions about optimizing land use structure for the hilly region in the upper reaches of the Danjiang River are put forward. Though the terrain of hill top area is flat, but due to poor condition of water and sunlight, the cultivated land there should be returned to woodland or grassland in order to reduce the soil erosion; the slope farmland should be renovated and the ditches be controlled to protect the land; the distribution of the crops should be adjusted according to slope aspect and sunlight conditions.

Keywords: DEM; land use; terrain factor; small watershed

(上接第 180 页)

Improvement and application of extension evaluation method for carrying capacity of water resources

XUE Xiao-jie, HUANG Si-xia, ZHANG Ze-zhong

(Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE at Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: The selection of the index system and the index weight is the key to the accuracy and depth of the model to evaluate the bearing capacity of water resources. Asymmetric close to the degree of extension evaluation method is proposed based on asymmetric close to the degree of centralization and thick heavy extension evaluation model, which solves the the problems of the failure and weight selection in the application of extension evaluation method to water bearing capacity. Game theory is used to objective weighting method (entropy) and subjective weighting method (AHP) for integration, making sure the deviation between the overall weight and a single weight vector is smallest, and the integration of the multiple participants favorite in determining the weight of law eliminates the one-sidedness of single weight method. The improved model is applied to the evaluation of water resources carrying capacity of the Taohe River. Compared with the evaluation results of the original one, the improved model integrates the favorite weight of multiple participants, which makes the evaluation results more possible to achieve win-win situation.

Keywords: water resources; extension evaluation; weight; game theory