

doi:10.3969/j.issn.1674-8530.14.0199

基于改进熵权 - G1 - 博弈论法的
灌区运行状况综合评价费良军¹, 王锦辉¹, 王光社², 冯缠利², 李坤³

(1. 西安理工大学水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2. 陕西省水利电力勘测设计研究院, 陕西 西安 710001; 3. 陕西省水利厅农田水利基本建设办公室, 陕西 西安 710004)



费良军

摘要: 为了体现各指标对灌区评估的重要性, 对各指标赋予不同的权重来体现其重要性的差别, 而且综合评价结果的准确性也取决于指标权重赋值的合理性. 运用 G1 法对评估指标进行主观赋权, 采用改进熵权法对指标进行客观赋权, 这样既满足所得权重的客观性, 也能保证评估结果具有一定的解释性, 然后采用博弈论的综合赋权法综合主观和客观权重, 从而得到各指标的综合权重. 运用确定的综合权重以改进线性模型对陕西省大型自流渠灌区洛惠渠进行实例验证, 计算结果与可拓评价法结果基本一致, 随着时间的推移, 洛惠渠灌区评价级别从中等逐渐变为良好, 运行状况越来越好, 这符合洛惠渠灌区的发展实际.

关键词: 灌区; 指标权重; 改进熵权法; 博弈论法; G1 法; 改进线性模型

中图分类号: S274.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8530(2015)10-0895-06

费良军, 王锦辉, 王光社, 等. 基于改进熵权 - G1 - 博弈论法的灌区运行状况综合评价[J]. 排灌机械工程学报, 2015, 33(10): 895-900.

Fei Liangjun, Wang Jinhui, Wang Guangshe, et al. Comprehensive evaluation of irrigation district operational status based on improved entropy weight - G1 - game theory method[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering (JDIME), 2015, 33(10): 895-900. (in Chinese)

Comprehensive evaluation of irrigation district operational status based on improved entropy weight - G1 - game theory method

Fei Liangjun¹, Wang Jinhui¹, Wang Guangshe², Feng Chanli², Li Kun³

(1. Institute of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 2. Shaanxi Province Institute of Water Resources and Electric Power Investigation and Design, Xi'an, Shaanxi 710001, China; 3. Agricultural and Construction Office, Water Resources Department of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710004, China)

Abstract: In order to reflect the importance of each index to evaluate irrigation areas, each index is endowed with the different weights to reflect the difference of its importance, and the accuracy of the comprehensive evaluation result also depends on the rationality of the index weight assignment. The G1 method is applied to subjective empowerment of evaluation index and the improved entropy method was applied to weight of indicators so as to meet the objectivity of the weight and guarantee that the assessment result has a certain explanation. Then the integrated method of game theory was adapted to integrate subjective and objective weights, so that the comprehensive weight of each index was obtained.

收稿日期: 2014-11-24; 网络出版时间: 2015-09-29

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20150929.2112.022.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51279157, 51479161); 陕西省水利科技项目(2011-8, 2014SLKJ)

作者简介: 费良军(1963—), 男, 陕西蓝田人, 教授, 博士生导师(feiliangjun2008@163.com), 主要从事节水灌溉理论和农业水资源利用研究.

王锦辉(1989—), 男, 陕西岐山人, 硕士研究生(通信作者, 460033572@qq.com), 主要从事水资源评价与大型灌区评估研究.

The determined comprehensive weight was applied to verify the Luohui Canal, Shaanxi large-scale gravity canal irrigation district as an example by the improved linear model. The calculated results agree with those by the extension evaluation method on the whole. With the passage of time, the evaluation level of the Luohui Canal irrigation district gradually becomes good, and the operation condition is getting better and better, which conforms to its development reality.

Key words: irrigation district; index weight; improved entropy method; game theory method; G1 method; improved linear model

大型灌区运行状况综合评价是一个多层次、多目标的过程,指标体系中各层次的指标有着不同的重要性,为了可以体现出不同指标的重要程度,需要采用科学的方法对各指标赋权重值.目前确定权重系数的方法有很多种,根据计算中数据的来源和过程的不同主要分为主观赋权法和客观赋权法^[1].主观赋权是专家根据经验和专业积累进行判断计算出权重值,这类方法解释性强,缺点是透明性差,具有主观随意性.客观赋权是根据指标的实际值和标准值运用统计方法计算获得权重值,优点是客观性强,不依赖人的主观判断,但是解释性差.常用的主观赋权法有层次分析法^[2]、德尔斐法、专家打分法、G1法^[3]等;客观赋权法有均方差法^[4]、拉开档次法^[5]、变异系数法^[6]、离差最大化法^[7]、主成分分析法、简单关联函数法^[8-9]、熵权法^[10]等.为了科学、合理、客观地确定指标的权重值,克服以前采用综合评价方法对各指标赋权时普遍应用单一的主观赋权法或客观赋权法带来的弊端,文中利用博弈论法^[11]将G1法确定的主观赋权与改进熵权法确定的客观赋权集成进行综合赋权,得到均衡的综合权重,以改进线性模型运用确定的综合权重对陕西省大型自流渠灌区——洛惠渠灌区进行实例验证,并将计算结果与可拓评价法的结果进行对比.

1 指标权重确定方法

1.1 基于G1法确定指标主观权重

运用G1法确定主观权重的思想是由王学军等^[3]提出的,这种方法相比于常用的层次分析法,具有计算简便和无需一致性检验的优点.在运用层次分析法进行计算时,当计算的矩阵阶数较大时,在建立判断矩阵过程中,需要进行 $n(n-1)/2$ 次的两两元素的比较判断,计算量很大.此外,当被比较的元素数超过9个时,根据心理学家的研究,这种判断的准确性就难以得到保证.为了很好地克服这些计算过程中的困难,采用基于G1法的主观权重赋

权法,通过这种方法可以方便快捷地确定指标主观权重,节省计算量,也为灌区评估结果的可靠性和有效性提供更好的保障.

1.1.1 原理

专家在对不同的指标 x_1 和 x_2 进行价值判断时,可判定 x_1 优于 x_2 或 x_2 优于 x_1 ,或既非 x_1 优于 x_2 ,也非 x_2 优于 x_1 ,这种直觉判断被称之为偏好,偏好指的是这种在方案集上的二元关系.

采用符号“>”、“<”和“·”分别表示“优于”、“劣于”和“无差异”的关系.

假设评估问题中包括 n 个经过一致量纲一化的评估指标: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$,专家们根据自身的相关工作经验和一定的准则将这些指标按其重要性排序,设排序的结果为

$$x_1 > x_2 > x_3 > \dots > x_n. \quad (1)$$

通过这种方式便确定了评估指标间的唯一一组序关系.

相邻指标的重要性程度比用公式表示为

$$\frac{w_{p-1}}{w_p} = r_p \quad (p=2, 3, \dots, n), \quad (2)$$

式中: w_p 为指标 x_p 的权重值; r_p 的取值为1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8,分别表示指标 x_{p-1} 与 x_p 相比同样重要、稍微重要、明显重要、强烈重要和极端重要.

1.1.2 步骤

在理性判断的前提下,若指标 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 具有 $x_1 > x_2 > x_3 > \dots > x_n$ 的序关系,满足 $r_{p-1} > 1/r_p$ ($p=2, 3, \dots, n$),则各指标权重为

$$w_n = \left(1 + \sum_{p=2}^n \prod_{i=p}^n r_i\right)^{-1}, \quad (3)$$

$$w_{p-1} = w_p \cdot r_p \quad (p=n, n-1, \dots, 2), \quad (4)$$

由此可以依次计算出各指标的权重.

1.2 基于改进熵权法确定指标客观权重

1.2.1 原理

在综合评价中,熵是系统中的一个状态函数,是系统有序或无序的一种度量工具,熵值大小代表着系统发展的阶段与层次.熵越大,系统越不确定,

越无序;反之,系统越确定,越有序^[12].熵权法是利用指标实际值所提供的信息量大小来确定指标的客观权重^[13].相对其他客观赋权法,改进熵权法精度更高,客观性更强,能够更好地解释所得到的结果.

1.2.2 步骤

灌区 j 第 i 个评价指标的熵值为

$$H_i = q \sum_{j=1}^n f_{ij} \cdot \ln f_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m; 0 \leq H_i \leq 1), \quad (5)$$

式中:特征比重 $f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}$, $q = -\frac{1}{\ln n}$.文中为防止

特征比重 f_{ij} 出现 0 值,对评价指标极值处理法后的值都加上 0.1,对熵权法进行了改进,使其应用更加广泛.

第 i 项评价指标权重的熵权为

$$\omega_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i}. \quad (6)$$

依据熵权的性质可知:评价对象的熵与其熵权成反比,熵越大,熵权越小,且满足 $0 \leq \omega_i \leq 1$, $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$;当各评价对象在指标 i 上的值全部相同时,此时熵值为最大值 1,则熵权为 0,表示该指标未向决策者提供有用的信息,决策者可以考虑取消该项指标.

1.3 基于博弈论法确定指标综合权重

1.3.1 原理

单独运用主观赋权法或客观赋权法均会导致结果存在一定的局限性^[14],文中运用博弈论的方法将主观赋权法(G1法)和客观赋权法(改进熵权法)进行综合集成,该方法主要是为了缩小不同方法得到的各个基本权重与最终得到的可能权重之间的偏差,使得各个方法所确定的权重在相互竞争的关系中比较协调,进而寻求比较均衡的结果,保证所确定的指标权重更加科学合理^[15].

1.3.2 步骤

为了使得到的权重更具有科学性和客观性,可使用 L 种不同的方法对各指标进行赋权,这样可以构造一个基本的权重集,即 $u_k = \{u_{k1}, u_{k2}, \dots, u_{km}\}$, $k = 1, 2, \dots, L$,记这 L 个不同向量之间的任意线性组合为

$$u = \sum_{k=1}^L \alpha_k \cdot u_k^T \quad (\alpha_k > 0), \quad (7)$$

式中: u 为权重集的一种可能的权重向量.

基于博弈论的思想,优化这 L 个不同的线性组合系数 α_k ,使之达到极小化 u 与各个 u_k 之间离差的效果,进而可以在可能的权向量集中找到最满意的一组权向量.由此可得对策模型为

$$\min \left\| \sum_{j=1}^L \alpha_j u_j^T - u_i \right\|_2 \quad (i = 1, 2, \dots, L). \quad (8)$$

按照矩阵的微分性质,取式(8)的最优化一阶导数,可转化为

$$\begin{bmatrix} u_1 \cdot u_1^T & u_1 \cdot u_2^T & \cdots & u_1 \cdot u_l^T \\ u_2 \cdot u_1^T & u_2 \cdot u_2^T & \cdots & u_2 \cdot u_l^T \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ u_l \cdot u_1^T & u_l \cdot u_2^T & \cdots & u_l \cdot u_l^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \cdot u_1^T \\ u_2 \cdot u_2^T \\ \vdots \\ u_l \cdot u_l^T \end{bmatrix}. \quad (9)$$

运用 Matlab 计算求得 $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_l)$,然后将得到的结果进行归一化处理,即

$$\alpha_k^* = \frac{\alpha_k}{\sum_{k=1}^l \alpha_k}. \quad (10)$$

得到指标综合权重为

$$u^* = \sum_{k=1}^l \alpha_k^* \cdot u_k^T. \quad (11)$$

2 洛惠渠灌区实例研究

2.1 洛惠渠灌区评价指标权重的确定

基于改进熵权 - G1 - 博弈论法确定洛惠渠灌区在 2007—2012 年的综合运行状况评价指标权重.灌区具有很强的社会属性,不仅需要考虑灌区自身的工程状况、系统运行状况,同时还需考虑灌区的经济效益及其对生态环境造成的影响.

目前还没有一套公认的评价理论体系,国内外研究学者提出了一些评估指标体系,但在指标的选取方面存在一些问题,一方面为了追求指标体系的完备性和全面性,不断提出新指标,完善并增加指标体系中所涵盖的种类和数量;另一方面由于评价者在选取指标时,多数是依靠评价者的主观经验,而没有进行科学有效的定量筛选,形成的指标体系主观性较强.文中结合洛惠渠灌区的实际,遵循建立指标体系的相关原则^[16]确立洛惠渠灌区评价指标体系^[11],包括工程性指标、管理性指标、节水与经济性指标及生态性指标 4 个一级指标,并将这 4 个一级指标进一步细化,划分为 24 个二级指标^[17],运用改进熵权 - G1 - 博弈论法分别计算各指标权重

值,结果如表1所示。

表1 改进熵权-G1-博弈论法分别计算的各指标权重值
Tab.1 Calculated weight value of each index by improved entropy weight-G1-game theory method

一级指标	二级指标(指标层)	改进熵权法	G1法	博弈论法
工程性指标	灌水保证率	0.043 0	0.063 3	0.059 0
	单位控制面积供水量	0.046 5	0.075 9	0.069 6
	渠道配套率	0.038 8	0.045 9	0.044 4
	建筑物配套率	0.051 8	0.031 9	0.036 1
	排水沟配套率	0.049 8	0.038 3	0.040 7
	渠道衬砌完好率	0.057 9	0.052 7	0.053 8
	建筑物完好率	0.031 2	0.044 0	0.041 3
管理性指标	灌溉管理人员业务素质	0.037 8	0.038 8	0.038 6
	灌溉水费实收率	0.032 5	0.055 8	0.050 9
	农民用水者协会参与率	0.042 5	0.032 3	0.034 5
	单位员工管理面积	0.033 2	0.026 9	0.028 2
	政府支持程度	0.060 8	0.046 5	0.049 5
节水与经济性指标	节水灌溉面积占有率	0.035 8	0.031 3	0.032 3
	灌区渠系水利用系数	0.030 7	0.026 1	0.027 1
	灌溉水利用系数	0.032 8	0.021 7	0.024 1
	灌溉水分生产效率	0.041 0	0.054 0	0.051 2
	灌区农民人均纯收入	0.045 2	0.045 0	0.045 0
	灌区收入支出比	0.047 6	0.037 5	0.039 6
	水费收入占总收入比例	0.032 9	0.064 9	0.058 1
生态性指标	灌溉水质达标率	0.045 4	0.032 3	0.035 1
	地下水相对埋深	0.046 4	0.038 8	0.040 4
	生态用水满足率	0.038 7	0.046 5	0.044 9
	盐碱化面积占有率	0.038 4	0.022 4	0.025 8
	灌区涝渍化面积占有率	0.039 3	0.026 9	0.029 5

2.2 洛惠渠灌区评价验证

对线性模型进行改进,将大型灌区运行状况评价指标等级标准值也作为评价指标样本,参与到灌区评价指标样本的矩阵中,从而得到灌区不同年份与各评价指标等级标准的优差排序和不同年份综合评价结果等级,使得灌区各个不同年份的运行状况与各级评价指标等级标准排序关系十分清晰。

1) 建立综合评价的初始矩阵

设待评价指标为 n 个,其总指标数列为 X_1, X_2, \dots, X_n ,选取的待评价目标为 m 个,则有 A_1, A_2, \dots, A_m ;连同 n 个评价指标的 h 级分级标准组成原始评价矩阵,首先对原始评价矩阵进行一致化处理,得到的初始评价矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} & X_1 & X_2 & \cdots & X_n \\ A_1 & a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ A_2 & a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_m & a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \\ A_{m+1} & a_{(m+1)1} & a_{(m+1)2} & \cdots & a_{(m+1)n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{m+h} & a_{(m+h)1} & a_{(m+h)2} & \cdots & a_{(m+h)n} \end{bmatrix} \quad (12)$$

2) 建立量纲一化评价矩阵

在矩阵 A 的基础上,再采用向量规范法对评价矩阵进行标准化处理,便可得到标准化评价矩阵为

$$B = \begin{bmatrix} & X_1 & X_2 & \cdots & X_n \\ B_1 & b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ B_2 & b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ B_m & b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \\ B_{m+1} & b_{(m+1)1} & b_{(m+1)2} & \cdots & b_{(m+1)n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ B_{m+h} & b_{(m+h)1} & b_{(m+h)2} & \cdots & b_{(m+h)n} \end{bmatrix} \quad (13)$$

式中:向量规范法的计算公式为 $b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m+h} a_{ij}^2}}$ 。

该方法的主要特点:当 $a_{ij} \geq 0$ 时, $b_{ij} \in (0, 1)$,且结果没有固定的最大值、最小值,此外,计算结果满足 $\sum_i b_{ij}^2 = 1$ 。

3) 建立加权后的评价矩阵 C

在得到标准化评价矩阵 B 的基础上,将标准化评价矩阵 B 与用博弈论法确定的各指标对应的综合权重相乘,得到加权标准化评价矩阵为

$$C = \begin{bmatrix} & X_1 & X_2 & \cdots & X_n \\ C_1 & c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ C_2 & c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_m & c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mn} \\ C_{m+1} & c_{(m+1)1} & c_{(m+1)2} & \cdots & c_{(m+1)n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{m+h} & c_{(m+h)1} & c_{(m+h)2} & \cdots & c_{(m+h)n} \end{bmatrix} \quad (14)$$

4) 确定第 i 个评价对象的评价结果

第 i 个评价对象的评价结果为

$$F_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} \quad (15)$$

5) 根据评价结果 F_i 的大小对评价对象进行排序,评价结果 F_i 越大,则评价对象越优;反之,评价结果 F_i 越小,评估对象越差.可以根据各评价对象和各评价指标等级标准的排序情况得到各评价对象综合评价结果的等级。

运用确定的综合权重以改进线性模型对洛惠渠灌区在 2007—2012 年的运行状况进行评价,综合

评价结果如表2所示。

表2 洛惠渠灌区在不同年份和4个分级标准的评价结果
Tab.2 Luohui Canal irrigation district in different years and four classification standard evaluations results

洛惠渠灌区	F_i	F_i 从大到小排序	排序结果
2007	0.261 4	0.406 7	优
2008	0.279 1	0.380 6	2012
2009	0.303 0	0.351 2	2011
2010	0.336 9	0.336 9	2010
2011	0.351 2	0.319 5	良
2012	0.380 6	0.303 0	2009
优	0.406 7	0.279 1	2008
良	0.319 5	0.261 4	2007
中	0.250 0	0.250 0	中
差	0.185 5	0.185 5	差

评价结果 F_i 越大,即越优,由洛惠渠灌区在不同年份和4个分级标准所对应的评价结果排序可知,2007—2009年洛惠渠灌区运行状况为中等,2010—2012年运行状况为良好。表3为改进线性模型与可拓评价法评价结果对比情况,可拓评价法2007—2009年运行状况为中等,2010—2012年运行状况为良好。两者基本一致,说明改进线性模型在灌区评价中是可行的,且计算简单。同时计算结果也符合洛惠渠灌区的实际情况,即随着年份的增加,洛惠渠灌区的运行情况越来越好。

表3 改进线性模型与可拓评价法评价结果对比
Tab.3 Evaluation results contrast of improved linear model and extension evaluation method

年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012
改进线性模型	0.261 4	0.279 1	0.303 0	0.336 9	0.351 2	0.380 6
评价结果	中	中	中	良	良	良
可拓评价法	-0.101 2	-0.101 4	-0.079 4	0.022 5	0.147 4	0.118 8
评价结果	中	中	中	良	良	良

3 结 论

1) 运用G1法对评价指标进行主观赋权,采用改进熵权法对指标进行客观赋权,这样既满足所得权重的客观性,也能保证评估结果具有一定的解释性,然后采用博弈论的综合赋权法综合主观和客观权重,得到各指标综合权重,从而使得确定的指标综合权重更加全面、合理、科学。

2) 运用确定的评价指标综合权重以改进线性模型对陕西省大型自流渠灌区——洛惠渠进行实例验证,计算结果与可拓评价法结果基本一致。随着时间的推移,洛惠渠灌区评价级别从中等逐渐变为良好,运行状况越来越好,这也符合洛惠渠灌区的客观实际和发展规律,且改进线性模型计算简

单,具有很好的实用性。

参考文献(References)

- [1] Okada H, Styles S W, Grismer M E. Application of the analytic hierarchy process to irrigation project improvement—Part II: How professionals evaluate an irrigation project for its improvement[J]. Agricultural Water Management, 2008, 95(3): 205–210.
- [2] 舒卫萍, 崔远来. 层次分析法在灌区综合评价中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2005(6): 109–111. Shu Weiping, Cui Yuanlai. Analytic hierarchy process comprehensive evaluation of irrigation [J]. China Rural Water and Hydropower, 2005(6): 109–111. (in Chinese)
- [3] 王学军, 郭亚军. 基于G1法的判断矩阵的一致性分析[J]. 中国管理科学, 2006, 14(3): 65–70. Wang Xuejun, Guo Yajun. Analyzing the consistency of comparison matrix based on G1 method [J]. Chinese Journal of Management Science, 2006, 14(3): 65–70. (in Chinese)
- [4] 郭亚军. 综合评价理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [5] 孙洁. 基于持续发展的大型灌区运行状况综合评价研究[D]. 西安: 西安理工大学水利水电学院, 2013.
- [6] 郭文强, 安裕伦, 刘世曦. 基于变异系数法的贵州省石漠化驱动力研究[J]. 安徽农业科学, 2011(15): 9158–9159, 9223. Guo Wenqiang, An Yulun, Liu Shixi. Study on the driving forces of rocky desertification in Guizhou Province based on variation coefficient method [J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2011(15): 9158–9159, 9223. (in Chinese)
- [7] 王应明. 运用离差最大化方法进行多指标决策与排序[J]. 系统工程与电子技术, 1998, 20(7): 24–26. Wang Yingming. Using the method of maximizing deviations to make decision for multiindices [J]. Systems Engineering and Electronics, 1998, 20(7): 24–26. (in Chinese)
- [8] 黄祥志, 余成学. 基于可拓理论的围岩稳定分类方法的研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(10): 1800–1804, 1814. Huang Xiangzhi, She Chengxue. Research on methods of surrounding rock masses stability classification based on extension theory [J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(10): 1800–1804, 1814. (in Chinese)
- [9] 王锦国, 周志芳, 袁永生. 可拓评价方法在环境质量综合评价中的应用[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2002, 30(1): 15–18.

- Wang Jinguo, Zhou Zhifang, Yuan Yongsheng. Application of extension method to comprehensive assessment of environmental quality[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2002,30(1):15-18. (in Chinese)
- [10] 郭树宏,张江山. 基于熵权的改进密切值法在地面水水质评价中的应用[J]. 安全与环境学报,2007,7(3):75-77.
- Guo Shuhong, Zhang Jiangshan. On the application of intimate data method based on entropy authority to the surface water environmental quality evaluation[J]. Journal of Safety and Environment, 2007,7(3):75-77. (in Chinese)
- [11] 迟道才,马涛,李松. 基于博弈论的可拓评价方法在灌区运行状况评价中的应用[J]. 农业工程学报,2008,24(8):37-39.
- Chi Dao cai, Ma Tao, Li Song. Application of extension assessment method based on game theory to evaluate the running condition of irrigation areas[J]. Transactions of the CSAE, 2008,24(8):37-39. (in Chinese)
- [12] 李旭宏,李玉民,顾政华,等. 基于层次分析法和熵权法的区域物流发展竞争态势分析[J]. 东南大学学报:自然科学版,2004,34(3):398-401.
- Li Xuhong, Li Yumin, Gu Zhenghua, et al. Competitive situation analysis of regional logistics development based on AHP and entropy weight [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2004,34(3):398-401. (in Chinese)
- [13] 王靖,张金锁. 综合评价中确定权重向量的几种方法比较[J]. 河北工业大学学报,2001,30(2):52-57.
- Wang Jing, Zhang Jinsuo. Comparing several methods of assuring weight vector in synthetical evaluation [J]. Journal of Hebei University of Technology, 2001,30(2):52-57. (in Chinese)
- [14] 李建平,徐伟宣,石勇. 基于主成分线性加权综合评价的信用评分方法及应用[J]. 系统工程,2004,22(8):64-68.
- Li Jianping, Xu Weixuan, Shi Yong. Credit scoring via principal component analysis linear-weighted comprehensive assessment and application [J]. Systems Engineering, 2004,22(8):64-68. (in Chinese)
- [15] 费良军,王光社,孙洁,等. 基于博弈论法确定灌区运行状况综合评价指标的权重[J]. 排灌机械工程学报,2014,32(9):808-813.
- Fei Liangjun, Wang Guangshe, Sun Jie, et al. Determining weights of comprehensive evaluation indexes for irrigation district operation performance by method of game theory [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2014,32(9):808-813. (in Chinese)
- [16] 陕西省水利厅. 陕西省水利统计年鉴(2005—2012) [R]. 西安:陕西省水利厅,2012.
- [17] 王锦辉,费良军,王光社,等. 改进突变理论对大型灌区运行状况的综合评价[J]. 排灌机械工程学报,2015,33(5):429-433.
- Wang Jinhui, Fei Liangjun, Wang Guangshe, et al. Comprehensive evaluation of operational conditions of large-scale irrigation district by improved catastrophe theory [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2015,33(5):429-433. (in Chinese)

(责任编辑 徐云峰)