

文章编号:1007-2284(2009)02-0044-03

2 种典型的综合赋权法

应用于灌区评价的比较研究

姚 兰¹,王书吉^{2,3},任晓力²,费良军³

(1. 河北工程大学理学院,河北 邯郸 056038;2. 河北工程大学水电学院,河北 邯郸 056038;

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

摘 要:指标权重的确定对评价结果的合理性起着至关重要的作用,为了对灌区节水改造项目综合后评估进行客观合理的评价,将 2 种典型的不同原理的综合赋权法应用于灌区节水改造项目评估,发现 2 种综合赋权法得出的权重向量大小排序结果并不相同,根据 2 种权重值计算的多个灌区评价值大小排序相同。对该现象进行了分析,并对 2 种赋权法的特点、适用范围进行了阐述。

关键词:综合集成赋权法;灌区节水改造;综合后评估;比较研究

中图分类号:S2 **文献标识码:**A

Comparative Study of Two Typical of Comprehensive Weight Combination Method Applied to Irrigation Area's Evaluation

YAO Lan¹, WANG Shu-ji^{2,3}, REN Xiao-li², FEI Liang-jun³

(1. Mathematical and Physical College, Hebei Engineering University, Handan 056038, Hebei Province, China;

2. College of Hydraulic and Electric Power, Hebei Engineering University, Handan 056021, Hebei Province, China;

3. Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE at XAUT, Xi'an 710048, China)

Abstract: Index weight's determining is of great important to get reasonable evaluation result, in order to get objective and reasonable comprehensive evaluation result in irrigation area's water saving and reform project's post-evaluation, the author apply two typical of comprehensive weight combination method having different principle to index weight's calculation, then find two kind of weight vector having different size order, several irrigation area's evaluation value calculated using two kind of weight vector have the same order. The author analyze this case, and illustrate two typical of comprehensive weight combination methods characteristics and application scope.

Key words: comprehensive weight combination method; irrigation area's water saving and reform; comprehensive post-evaluation; comparative study

0 前 言

为了改善我国部分灌区目前工程设施老化、管理落后等现状,提高灌区综合生产能力,提高水资源利用效率,国家通过多种方式投巨资实施了灌区节水改造项目。目前部分项目已经完工。为了考察已完工的项目的综合效益,并为以后类似项目的建设提供借鉴和参考,对这些已完工的项目进行后评估研究

意义重大。

在对灌区节水改造项目进行评价时,指标权重的确定对于评价结果的客观合理性起着至关重要的作用^[1-6]。目前,在指标权重确定上,较先进的研究方法是综合主客观影响因素的综合集成赋权法^[7]。目前大多的研究仅限于运用综合集成赋权法得出权重结果,但事实上,根据不同的原理,综合集成的方法也不同。本文选取 2 种典型的综合集成赋权方法对其应用于灌区评价的情况进行比较研究。这 2 种方法分别是:基于单位化约束条件的综合集成赋权法^[7]和基于离差平方和的综合集成赋权法^[8]。这 2 种综合集成赋权法原理各不相同,但都是科学合理的。2 种综合集成赋权法应用于灌区评价时,其各自的应用效果如何?本文对此进行研究讨论。

收稿日期:2008-09-09

基金项目:国家自然科学基金项目(50579064);邯郸市科技局项目(0828101017-4)。

作者简介:姚 兰(1979-),女,硕士,讲师,主要研究方向:应用数学。

1 2 种综合集成赋权法简介

1.1 基于单位化约束条件的综合集成赋权法的原理

该方法通过应用拉格朗日函数求解一个最优化模型,将主观权重和客观权重综合起来,通过分别确定主、客观权重在综合权重中所占的比例来确定综合权重^[7]。

设 w 为综合权重, w' 和 w'' 分别为主观权重和客观权重,其具体的数学模型形式为:

$$w = \alpha w' + \beta w'' \quad (1)$$

式中: α 和 β 分别为主观权重和客观权重的系数,关键是确定 α 、 β 的值。

设 α 、 β 满足单位化约束条件:

$$\alpha^2 + \beta^2 = 1 \quad (2)$$

根据多属性决策分析的加权法则,可求得各评价对象的评价目标值为:

$$d_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} W_j = \sum_{j=1}^n b_{ij} (\alpha W'_j + \beta W''_j) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

式中: b_{ij} 为各评价指标的值。

通常情况下, d_i 总是越大越好,因此,构造如下多目标规划模型:

$$\max D = (d_1, d_2, \dots, d_m) \quad (4)$$

$$\text{s. t.} \quad \alpha^2 + \beta^2 = 1 \quad (5)$$

$$\alpha \geq 0; \beta \geq 0 \quad (6)$$

上述多目标决策规划模型可用等权的线性权和法综合成如下等价的单目标最优化模型:

$$\max Z = \sum_{i=1}^m d_i = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} (\alpha W'_j + \beta W''_j) \quad (7)$$

$$\text{s. t.} \quad \alpha^2 + \beta^2 = 1 \quad (8)$$

$$\alpha \geq 0; \beta \geq 0 \quad (9)$$

该模型可通过构造 lagrange 函数进行求解,将求得的 α 、 β 值进行归一化处理,可得:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} W'_j}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} (W'_j + W''_j)} \quad (10)$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} W''_j}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} (W'_j + W''_j)} \quad (11)$$

将 α 、 β 代入式(1)中,即可求出综合权重。

$$B_1 = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{i1} - b_{11}) (b_{i1} - b_{11}) & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{i1} - b_{11}) (b_{i2} - b_{12}) & \dots & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{i1} - b_{11}) (b_{in} - b_{1n}) \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{i2} - b_{12}) (b_{i1} - b_{11}) & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{i2} - b_{12}) (b_{i2} - b_{12}) & \dots & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{i2} - b_{12}) (b_{in} - b_{1n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{in} - b_{1n}) (b_{i1} - b_{11}) & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{in} - b_{1n}) (b_{i2} - b_{12}) & \dots & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{in} - b_{1n}) (b_{in} - b_{1n}) \end{bmatrix} \quad (16)$$

显然 B_1 为 n 阶对称方阵,且为非负定矩阵,则目标函数 $J(W_c)$ 可表为:

$$J(W_c) = W_c^T B_1 W_c \quad (17)$$

由式(12)知,只要求出组合权系数的线性表出系数向量 Θ 即可。则基于 m 个决策方案总的离差平方和的最优组合赋权

1.2 基于离差平方和的综合集成赋权法原理

假设某多属性问题,对 n 个属性有 L 种赋权方法对其赋值,设第 k 种赋权方法给出的权重向量为:

$$W_k = (w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{kn})^T$$

$$w_{kj} \geq 0, \sum_{j=1}^n w_{kj} = 1, k = 1, 2, \dots, L, j = 1, 2, \dots, n$$

为综合各种赋权方法的特点,考虑如下组合赋权:

$$W_c = \theta_1 W_1 + \theta_2 W_2 + \dots + \theta_L W_L \quad (12)$$

称 $W_c = (w_{c1}, w_{c2}, \dots, w_{cn})^T$ 为组合赋权系数向量, $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_L$ 为组合系数,且 $\theta_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, L$, 而且满足单位化约束条件:

$$\sum_{k=1}^L \theta_k = 1$$

令分块矩阵 $W = (W_1, W_2, \dots, W_L)$, $\Theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_L)^T$, 则式(12)可表示为:

$$W_c = W \Theta$$

根据线性加权法,由组合赋权系数向量 W_c 计算而得的第 i 个决策方案 S_i 的多属性综合评价值可表示为:

$$D_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \omega_{cj} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

一般而言, D_i 总是越大越好,越大表示决策方案 S_i 越优。但为了拉开各决策方案评价价值之间的差别(或档次),选择组合赋权系数向量时,应把使各决策方案的综合评价价值 D_i 尽可能分散作为指导思想。

设 $v_i(W_c)$ 表示第 i 个决策方案与其他各决策方案综合评价值的离差平方和,则有:

$$v_i(W_c) = \sum_{i_1=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{ij} - b_{i_1 j}) \omega_{cj}^2 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

若使 m 个决策方案总离差平方和达到最大,可构造如下目标函数:

$$J(W_c) = \sum_{i=1}^m v_i(W_c) = \sum_{i=1}^m \sum_{i_1=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{ij} - b_{i_1 j}) \omega_{cj}^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{i_1=1}^m \sum_{j_1=1}^n \sum_{j_2=1}^n (b_{ij_1} - b_{i_1 j_1}) \omega_{cj_1} (b_{ij_2} - b_{i_1 j_2}) \omega_{cj_2} = \sum_{j_1=1}^n \sum_{j_2=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{i_1=1}^m (b_{ij_1} - b_{i_1 j_1}) (b_{ij_2} - b_{i_1 j_2}) \omega_{cj_1} \omega_{cj_2} \quad (15)$$

令矩阵 B_1 为:

$$B_1 = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{i1} - b_{11}) (b_{i1} - b_{11}) & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{i1} - b_{11}) (b_{i2} - b_{12}) & \dots & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{i1} - b_{11}) (b_{in} - b_{1n}) \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{i2} - b_{12}) (b_{i1} - b_{11}) & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{i2} - b_{12}) (b_{i2} - b_{12}) & \dots & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{i2} - b_{12}) (b_{in} - b_{1n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{in} - b_{1n}) (b_{i1} - b_{11}) & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{in} - b_{1n}) (b_{i2} - b_{12}) & \dots & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (b_{in} - b_{1n}) (b_{in} - b_{1n}) \end{bmatrix} \quad (16)$$

方法即为如下最优化问题:

$$\max(\Theta) = \Theta^T W^T B_1 W \Theta \quad (18)$$

$$\text{s. t.} \quad \begin{cases} \Theta^T \Theta = 1 \\ \Theta \geq 0 \end{cases} \quad (19)$$

该优化模型可简化为如下无约束优化问题:

$$\max F_1(\Theta) = \Theta^T W^T B_1 W \Theta / \Theta^T \Theta \quad (20)$$

根据相关矩阵理论, $F_1(\Theta)$ 是线性表出系数向量 Θ 的 Rayleigh 商, 显然 $W^T B_1 W$ 是对称矩阵, 则由 Rayleigh 商的性质, $F_1(\Theta)$ 存在最大值。

设 $\lambda_{\max}$ 为矩阵 $\Theta^T B_1 W$ 的最大特征根, Θ^* 为最大特征根所对应的单位化特征向量, 则 $F_1(\Theta)$ 的最大值为 $\lambda_{\max}$, 且 Θ^* 即为式(16)的最优解。将 Θ^* 的值代入(12)式, 并将权重进行归一化, 即得最优综合权重。

2 2 种综合集成赋权法应用于灌区评价的研究

关中灌区是我国陕西省重要的粮棉油生产基地, 素有“关中大粮仓”之称, 灌区的运行状况对陕西的经济、社会发展起着举足轻重的作用。关中灌区包括宝鸡峡、泾惠渠、交口抽渭、桃曲坡、石头河、冯家山、羊毛湾、洛惠渠、石堡川等 9 个灌区。但是, 关中灌区在发挥效益的同时, 也存在着工程老化失修、灌溉水源不足、灌区管理体制不顺、机制不活等诸多问题, 制约了灌区的正常运转。为此, 省政府于 1999 年向世界银行申请 1 亿美元贷款, 国内提供相同配套资金, 于 2000 年 1 月~2006 年 6 月实施了“陕西省关中灌区改造工程”。

在对陕西关中大型灌区节水改造项目的效益进行评价时(此处以洛惠渠、石头河、桃曲坡、石堡川等 4 个灌区为例, 4 个灌区自然状况、设施、管理等各方面相差不大), 将项目效益分为社会效益、经济效益、节水和节能效益、资源性效益、生态环境效益、技术推广效益等 6 个 2 级指标, 各 2 级指标又可进一步分成许多 3 级指标。为叙述方便起见, 此处以对 2 级指标资源性效益评价为例考察上述 3 种综合权重确定方法在灌区评价中的应用情况。资源性效益可分为: 有效灌溉面积增长率、节水灌溉面积增长率、旱涝保收能力增长率、水源供水能力提高率等 4 项极大型定量指标。表 1 为 4 个灌区(洛惠渠、石头河、桃曲坡、石堡川)资源性效益的 3 级指标样本值。

表 1 4 个灌区资源性效益 3 级指标数据

灌区	有效灌溉面积增长率 x_1	节水灌溉面积增长率 x_2	旱涝保收能力增长率 x_3	渠首取水能力增长率 x_4
洛惠渠	0.009	0.012	0.008	0.022
石头河	0.063	0.047	0.035	0.026
桃曲坡	0.046	0.039	0.017	0.024
石堡川	0.212	0.016	0.021	0.028

注: 表中资料来源于《关中灌区改造工程世行贷款项目竣工报告》。

2.1 运用 2 种综合集成赋权法确定权重

分别运用 G_1 法(序关系分析法)和熵值法计算主观权重 w 和客观权重 w'' , 得 $w' = (0.276, 0.229, 0.331, 0.164)$, $w'' = (0.741, 0.144, 0.096, 0.019)$ 。限于篇幅, 计算过程略。下面分别应用 2 种综合赋权法确定综合权重。

2.1.1 基于单位化约束条件的综合集成赋权法

运用表 1 中数据和求得的主客观权重 w 及 w'' , 应用基于单位化约束条件的综合集成赋权法, 计算得主观权重 w 和客观权重 w'' 的系数, 归一化为: $\alpha = 0.372, \beta = 0.628$ 。

可得综合权重为:

$$W = (0.568, 0.176, 0.183, 0.073) \quad (21)$$

2.1.2 基于离差平方和的综合集成赋权法

运用表 1 中数据和求得的主客观权重 w 及 w'' , 应用基于离差平方和的综合集成赋权法进行计算, 归一化得主观权重 w 和客观权重 w'' 的系数分别为: $\alpha = 0.279, \beta = 0.721$ 。

可得综合权重为:

$$W = (0.611, 0.168, 0.162, 0.060) \quad (22)$$

2.2 应用 2 种权重值计算综合评价值

分别应用上述 2 种权重确定方法计算得到的权重计算出 4 个灌区综合评价值, 结果见表 2。

表 2 运用 2 种权重值计算得到的灌区综合评价值

灌区	基于单位化约束条件的综合赋权法得出的权重计算得到的灌区评价值	基于离差平方和的综合赋权法得出的权重计算得到的灌区评价值
洛惠渠	0.010	0.010
石头河	0.052	0.054
桃曲坡	0.038	0.039
石堡川	0.129	0.137

2.3 结果分析

对比式(21)、式(22)可以发现, 分别运用 2 种方法计算得到的权重向量分量大小排序结果不一致, 基于单位化约束条件的赋权法得出的权重分量大小排序结果为: $W_1 > W_3 > W_2 > W_4$, 基于离差平方和的赋权法得出的权重分量大小排序结果为: $W_1 > W_2 > W_3 > W_4$ 。出现这样的权重排序结果主要是由于 2 种赋权法原理并不一样, 基于单位化约束条件的综合赋权法在求解优化模型时目标函数是力求各决策方案的综合评价价值越大越好, 而基于离差平方和的综合赋权法在求解优化模型时的目标函数是使各决策方案的综合评价价值 D_i 尽可能分散作为指导思想, 这导致了 2 种方法所求综合权重向量各分量大小排序结果不同。

从表 2 中的计算结果可以看出, 分别应用 2 种权重计算得到的各灌区综合评价值大小排序结果一致, 都为: 石堡川 > 石头河 > 桃曲坡 > 洛惠渠。虽然本例中根据 2 种权重所求各灌区评价大小排序结果一致, 但并不能保证 2 种方法在应用于其他灌区评价时, 都能得到相同的结果。

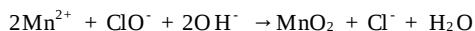
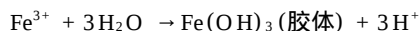
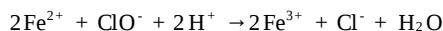
3 结 语

本文对 2 种不同原理的综合赋权法应用于灌区评价的情况进行了比较研究, 2 种方法虽然指导思想不同, 但原理都是科学合理的。在实际应用中, 人们可根据实际情况, 选择不同的评价目标或指导思想, 从而选择不同的权重确定方法。在为了对各评价灌区对象充分拉开档次的情况下, 应选用基于离差平方和的综合赋权法, 而为了考察各灌区节水改造效益的最大发挥情况时应采用基于单位化约束条件的综合赋权法。

篇幅所限, 本文只选取了 2 种典型的综合赋权法对其应用于灌区节水改造评价进行了研究讨论, 在实际应用中, 应该进一步研究探讨新的综合集成赋权方法, 并根据需要将其引入灌区评价中, 以得出合理的评价结果。

(下转第 62 页)

在常规水处理工艺中,采用曝气加锰砂过滤的方法来去除水中溶解的铁、锰。在本工程中,考虑到占地、投资等因素,采用了在超滤进水投加次氯酸钠的方法来实现此目的,加入量为 6 mg/kg。发生下列反应:



2.4 超滤对于氟的去除

水源水中氟化物超标,但超滤本身不能去除呈溶解态的氟离子。目前除氟工艺主要有活性氧化铝吸附过滤、骨炭吸附过滤、铝盐混凝沉淀、电絮凝、电渗析等,本工程中用国产聚合氯化铝(PAC)作絮凝剂,铝盐形成的矾花粒子 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 对水中氟离子具有一定的吸附能力,然后借助超滤对于铝盐水解形成的胶体的截留作用来实现除氟的目的。

铝离子在水中迅速水解形成水铝复合物,其水解反应如下:



工程运行中,PAC 加入量 10 mg/kg,氟化物的去除率为 49%,已经能够满足饮水要求。如果要提高去除率,需投加更多的 PAC 量。

3 产水水质分析

经检测,超滤的产水各项指标符合 GB5749-2006《生活饮用水卫生标准》,见表 2。

表 2 产水水质指标

检验项目	标准要求	检验结果	结果判断
色/(°)	≤15,不得呈现其他异色	5,无异色	合格
浊度/度(NTU)	≤3.0	0.2	合格
总铁/(mg·L ⁻¹)	≤0.30	<0.20	合格
锰/(mg·L ⁻¹)	≤0.10	<0.10	合格
氟化物/(mg·L ⁻¹)	≤1.00	0.62	合格
细菌总数/(个·mL ⁻¹)	≤100	<1	合格
总大肠菌群/(个·L ⁻¹)	≤3	<3	合格

(上接第 46 页)

参考文献:

- [1] 任晓亮,王书吉,胡浩云.用模糊综合评判逆问题方法确定节水灌溉项目后评价指标权重[J].中国农村水利水电,2005,(5):40-42.
- [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.
- [3] 曹庆奎,李建光,杨艳丽.基于信息熵和灰关联分析的煤矿企业供应商评价选择研究[J].河北工程大学学报,2008,25(1):81-84.
- [4] 周书敬,曾维彬.房地产风险投资的模糊多目标决策[J].河北工程大学学报,2008,25(1):86-87.

从表 2 中可以看到,经过“氧化-超滤”的工艺,水中总铁和锰能够去除得比较彻底;通过添加聚铝絮凝剂,对氟也有一定的去除能力,达到了饮用水的规范要求。其他各项指标也远远低于《生活饮用水卫生标准》的各项要求。

4 先进膜法饮用水处理工艺特点

与传统的饮用水处理工艺、常规的饮用水深度处理工艺相比,膜法工艺具有以下优点:

- (1) 过滤精度极高,对于悬浮物、微生物、胶体具有很高的去除率。
- (2) 产水水质稳定,受进水波动影响小。
- (3) 模块化的装置设计,即满足大型水厂的需要,又更适合小型分散供水系统。
- (4) 流程短,不需投加或投加少量化学药剂,便于实现自动控制。

5 结 语

大张村饮用水处理项目开创了国内农村膜法饮用水处理的先例,当地的老百姓已喝上了符合国家《生活饮用水卫生标准》的自来水,从而告别了世代饮用“方便水”的历史。该项目取得了良好的社会效益,为大规模的推广和运用提供了真实和可靠的依据,膜法饮用水处理工艺将成为取代传统工艺最好的选择,具有广阔的发展前景。□

参考文献:

- [1] 秦钰慧,凌波,张晓健,等.饮用水卫生与处理技术[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [2] 雷乐成,汪大翠.水处理高级氧化技术[M].北京:化学工业出版社,2001.
- [3] 王德次,许平.水处理技术与水处理设备的选择[J].中国农村水利水电,2007,(4):38-40.
- [4] 何延青,刘俊良,王春杰.固定化微生物技术处理微污染水源水的实验研究[J].中国农村水利水电,2007,(4):41-44.
- [5] 王龙,姜瑞雪.山东省小城镇居民用水量状况研究[J].中国农村水利水电,2007,(10):46-48.
- [5] 庞彦军,周少玲,杨珠,等.水质模糊综合评判模型的改进[J].河北工程大学学报,2007,24(3):90-93.
- [6] 吴春花,李巨文,池建刚,等.基于熵权理想点的房地产投资环境评价[J].河北工程大学学报,2007,24(1):93-94.
- [7] 郭亚军.综合评价理论与方法[M].北京:科学出版社,2002:74-75.
- [8] 陈伟,夏建华.综合主、客观权重信息的最优组合赋权方法[J].数学的实践与认识,2007,37(1):18-20.
- [9] 周晓蔚,王丽萍,张验科.基于最大熵的河流水质恢复能力模糊评价模型[J].中国农村水利水电,2008,(1):23-35.
- [10] 康颖,薛联青.改进的模糊层次分析法在综合水价确定中的应用[J].中国农村水利水电,2008,(1):38-40.