

综合集成赋权法在灌区节水改造效益评价中的应用

王书吉^{1,2}, 费良军^{1*}, 雷雁斌³, 田伟³

(1. 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; 2. 河北工程大学水电学院, 邯郸 056021;
3. 陕西省关中灌区改造工程世界银行贷款项目办公室, 西安 710032)

摘要: 为了合理确定大型灌区节水改造后评估指标权重, 从而对节水改造效益进行科学评价, 应用基于单位化约束条件的综合集成赋权法进行指标权重确定计算, 并将该方法应用于陕西省关中大型灌区节水改造项目效益评价中。应用结果表明, 与单纯的主观赋权法和客观赋权法以及目前其他已有的综合集成赋权法相比, 基于单位化约束条件的综合集成赋权法能够兼顾主客观影响因素, 且原理科学、计算过程简便, 有较好的实际应用价值。

关键词: 单位化约束条件, 综合集成赋权法, 大型灌区节水改造, 效益评价, 灌溉

中图分类号: S274.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-12-0048-04

王书吉, 费良军, 雷雁斌, 等. 综合集成赋权法在灌区节水改造效益评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 48-51.

Wang Shuji, Fei Liangjun, Lei Yanbin, et al. Application of combination weighting method on benefit evaluation of water saving improvement in irrigation district[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 48-51.(in Chinese with English abstract)

0 引言

目前为止, 在全国范围内开展的大型灌区续建配套与节水改造项目有部分已经完工, 为了弄清已完工的项目的综合效益, 并为类似项目的实施提供有益的参考, 对这些已完工的项目进行后评估研究意义重大。

大型灌区节水改造综合评估属于多指标、多目标评价问题, 指标权重的确定对于评价结果的合理性起着至关重要的作用。国外的灌区评价研究主要侧重评价内容的选取和指标体系的确定, 对指标权重确定方法研究并不多^[1,2]; 国内目前对指标权重的确定方法主要有主观赋权方法和客观赋权方法^[3-8], 这两种方法各有优缺点, 主观赋权法容易受专家的知识或经验不足的影响; 客观赋权法虽然基于比较严格的数学理论和方法, 依据系统运行呈现的指标数据值来确定权重, 但忽视了评价者或决策者在评价过程中的主观导向和信息。

理想的方法是将主观赋权法和客观赋权法有机结合起来, 使所确定的权重系数同时体现主观和客观信息。目前, 虽然有少数学者已开展了综合权重确定的研究, 但这些研究还很不成熟, 目前存在的问题主要有: 或者随意给出主、客观权重在综合权重中所占的比例^[9], 或者给出的综合权重确定方法计算过程繁冗、计算工作量大^[10-12], 制约了综合集成赋权法在实际应用中的推广。

本文提出应用基于单位化约束条件的综合集成赋权法^[13,14]来对大型灌区节水改造综合评估指标权重进行确定, 该方法综合了主、客观赋权方法的优点, 原理明确易懂、计算过程简便易操作, 有较好的实际应用价值。

1 综合集成赋权原理与方法

1.1 权重集成原理与方法

记由主观赋权法得出的权重向量为: $W' = (W'_1, W'_2, \dots, W'_n)$, 且满足 $0 \leq W'_j \leq 1, \sum_{j=1}^n W'_j = 1$; 由客观赋权法得出的权重向量为 $W'' = (W''_1, W''_2, \dots, W''_n)$, 且满足 $0 \leq W''_j \leq 1, \sum_{j=1}^n W''_j = 1$; 记 α 、 β 分别表示 W' 和 W'' 的重要程度, 将主观权重向量与客观权重向量进行综合, 则令

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

这就是主客观综合赋权法确定的权重, 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:

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

$i = 1, 2, \dots, m$

式中 b_{ij} ——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

$$\begin{aligned} \max D &= (d_1, d_2, \dots, d_m) \\ \text{s. t. } &\alpha^2 + \beta^2 = 1 \\ &\alpha, \beta \geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

收稿日期: 2007-06-01 修订日期: 2008-10-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50579064); 陕西省高校重点实验室重点科研项目 (08JZ51)

作者简介: 王书吉 (1975—), 男, 河南林州人, 博士研究生, 主要从事节水灌溉和农业水资源利用的研究。西安 西安理工大学西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 710048。Email: wang_sj2006@yahoo.com.cn

*通讯作者: 费良军 (1963—), 男, 陕西蓝田人, 教授, 博士生导师, 主要从事节水灌溉和农业水资源利用的研究。西安 西安理工大学西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 710048。Email: feiliangjun@sohu.com

这是一个多目标决策规划问题 (d_1, d_2, \dots, d_m 表示各被评价对象), 由于各决策方案之间是公平竞争, 不存在任何偏好关系, 因此, 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

$$\begin{aligned} \max Z &= \sum_{i=1}^m d_i = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} (\alpha W'_j + \beta W''_j) \\ \text{s. t. } &\alpha^2 + \beta^2 = 1 \\ &\alpha, \beta \geq 0 \end{aligned} \quad (5)$$

该模型可通过构造 lagrange 函数进行求解, 将求解结果进行归一化, 可以得到最优化模型最优解 α^* 、 β^* 为下两式

$$\bar{\alpha}^* = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} W'_j / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} (W'_j + W''_j) \quad (6)$$

$$\bar{\beta}^* = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} W''_j / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} (W'_j + W''_j) \quad (7)$$

取 $\bar{\alpha}^*$ 、 $\bar{\beta}^*$ 为综合赋权的主客观权重系数, 则各评价价值为

$$\bar{d}_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} (\bar{\alpha}^* W'_j + \bar{\beta}^* W''_j), \quad i=1, 2, \dots, m \quad (8)$$

不难证明 d_i 和 \bar{d}_i 的排序结果是相同的, 篇幅所限, 该证明略。

1.2 G₁ 法 (序关系分析法) 和熵值法

主观赋权方法中, G₁ 法 (序关系分析法) 克服了层次分析法的不足之处, 无须进行矩阵一致性判断, 计算量少; 客观赋权法中, 熵值法原理科学、计算方便。本文对此两种方法进行综合集成赋权。

1.2.1 G₁ 法 (序关系分析法) 简介

层次分析法是一种应用较广泛的主观赋权方法, 但该方法存在着一定的不足之处: 要求判断矩阵必须是一致阵、建立判断矩阵的计算量较大、被比较元素个数较多时, 判断的准确性难以保证等问题; 而 G₁ 法是在层次分析法的基础上进行改进的一种方法, 无须进行一致性检验, 计算过程较简便。

G₁ 法的原理和步骤:

1) 将评价指标 x_i 相对于某评价准则 (或目标) 的重要性程度进行排序:

若评价指标 x_i 相对于某评价准则 (或目标) 的重要性程度大于 (或不小于) x_j 时, 则记为 $x_i > x_j$ 。

若评价指标 x_1, x_2, \dots, x_m 相对于某评价准则 (或目标) 具有关系式

$$x_1^* > x_2^* > \dots > x_m^*$$

时, 则称评价指标 x_1, x_2, \dots, x_m 之间按 “>” 确立了序关系。这里 x_i^* 表示 $\{x_i\}$ 按序关系 “>” 排定顺序后的第 i 个评价指标 ($i=1, 2, \dots, m$)。为书写方便且不失一般性, 以下仍记上式为

$$x_1 > x_2 > \dots > x_m$$

2) 设专家关于评价指标 x_{k-1} 与 x_k 的重要性程度之比 ω_{k-1}/ω_k 的理性判断分别为

$$\omega_{k-1}/\omega_k = r_k, \quad k=m, m-1, m-2, \dots, 3, 2$$

当 m 较大时, 由上述序关系式可取 $r_k=1$ 。

r_k 的赋值见表 1。

表 1 r_k 赋值参考

Table 1 Valuation reference of r_k

r_k	说 明
1.0	指标 x_{k-1} 与指标 x_k 具有同样重要性
1.2	指标 x_{k-1} 比指标 x_k 稍微重要
1.4	指标 x_{k-1} 比指标 x_k 明显重要
1.6	指标 x_{k-1} 比指标 x_k 强烈重要
1.8	指标 x_{k-1} 比指标 x_k 极端重要

则 ω_m 为

$$\omega_m = (1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i)^{-1} \quad (9)$$

而 $\omega_{k-1} = r_k \omega_k, \quad k=m, m-1, m-2, \dots, 3, 2 \quad (10)$

由此可依次算得 $\omega_m (m=1, 2, 3, \dots)$ 的权重 (限于篇幅, 证明略)。

1.2.2 熵值法简介

熵值法是一种根据各项指标观测值所提供的信息量的大小来确定指标权数的方法。

设 x_{ij} ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$) 为第 i 个被评价对象中的第 j 项指标观测数据。对给定的 j, x_{ij} 的差异越大, 该项指标对被评价对象的比较作用就越大, 即该项指标包含和传输的信息越多。

用熵值法确定指标权数的步骤如下:

1) 计算第 j 项指标下第 i 个被评价对象的特征比重

$$P_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (11)$$

这里假定 $x_{ij} \geq 0$, 且 $\sum_{i=1}^n x_{ij} > 0$ 。上式是针对越大越

优型指标的计算公式, 对于越小越优型指标, 则要将指标值进行求倒数之后再代入上式进行计算。

2) 计算第 j 项指标的熵值

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (12)$$

式中 $k > 0, e_j > 0$ 。

3) 计算指标 x_j 的差异性系数。对于给定的 j, x_{ij} 的差异越小, 则 e_j 越大; x_{ij} 的差异越大, 则 e_j 越小, 指标对于被评价对象的比较作用越大。定义差异性系数为

$$g_j = 1 - e_j \quad (13)$$

设 x_{ij} 对于给定的 j 全部相等, 则 $P_{ij} = 1/n$, 此时 $e_j = k \ln n$, 此时指标对于被评价对象的比较作用最小, 取 $g_j = 0$, 可以推算出 $k = 1/\ln n$ 。

4) 确定权数, 即取

$$\omega_j = g_j / \sum_{i=1}^m g_i, \quad j=1, 2, \dots, m \quad (14)$$

ω_j 即为归一化了的权重系数。

2 实例应用

关中灌区是陕西最大的粮、棉、油生产基地,灌区的运行对陕西的经济发展和社会稳定起着举足轻重的作用,但是,关中灌区在发挥效益的同时,也存在着工程设备老化失修、灌溉水源不足、灌区管理体制不顺、机制不活等诸多问题,制约了关中灌区乃至全省社会经济的发展。为此,省政府利用世行贷款,于 2000 年 1 月—2006 年 6 月实施了“陕西省关中灌区节水改造工程”。

在对陕西关中大型灌区节水改造项目进行效益评价时,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 个二级指标体系^[15,16],各二级指标又可进一步分成许多三级指标。为叙述方便起见,此处对二级指标生态环境效益进行评价,选取生态环境效益的三级指标采用综合集成赋权法对其权重进行确定;生态环境效益可分为:涝、渍、盐碱地改良程度、生态用水量增加率、农村生态系统改善程度、地下水环境改善程度、作物病虫害损失减少率、灌溉水质改善程度等 6 个三级指标。

对该 6 个指标采用综合集成赋权法进行赋权,其中主观赋权法采用 G_1 法,客观赋权法采用熵值法,然后运用式(6)、式(7)分别确定主观和客观权重的系数 $\bar{\alpha}^*$ 和 $\bar{\beta}^*$,计算出综合评价结果

$$\bar{d}_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} (\bar{\alpha}^* W_j' + \bar{\beta}^* W_j'')$$

具体步骤如下:

2.1 生态环境效益三级指标权重的 G_1 法计算

大型灌区节水改造生态环境效益的三级指标为:涝、渍、盐碱地改良程度 x_1 , 生态用水量增加率 x_2 , 农村生态系统改善程度 x_3 , 地下水环境改善程度 x_4 , 作物病虫害损失减少率 x_5 , 灌溉水质改善程度 x_6 等 6 个三级指标。

设专家认为 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ 之间重要性程度具有序关系

$$x_1 > x_6 > x_4 > x_5 > x_2 > x_3 \Rightarrow x_1^* > x_2^* > x_3^* > x_4^* > x_5^* > x_6^*$$

$$\text{且给出 } r_2 = \frac{\omega_1^*}{\omega_2^*} = 1.4, r_3 = \frac{\omega_2^*}{\omega_3^*} = 1.2, r_4 = \frac{\omega_3^*}{\omega_4^*} = 1.2,$$

$$r_5 = \frac{\omega_4^*}{\omega_5^*} = 1.4, r_6 = \frac{\omega_5^*}{\omega_6^*} = 1.0$$

将其代入式(9)、(10),可得指标 $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ 的权重系数为

$$\omega_1 = 0.285, \omega_2 = 0.101, \omega_3 = 0.101, \omega_4 = 0.169, \omega_5 = 0.141, \omega_6 = 0.203$$

则主观赋权法权重向量为

$$W' = (0.285, 0.101, 0.101, 0.169, 0.141, 0.203)$$

2.2 生态环境效益三级指标客观权重的熵值法计算

取关中地区 4 个灌区(桃曲坡、羊毛湾、石堡川、洛惠渠)生态环境效益的三级指标运行值作为样本值(见表 2)。

表 2 4 个灌区生态环境效益三级指标数据

Table 2 Third grade index data of four irrigation districts of ecological environment benefit

灌区	涝、渍、 盐碱地改 良程度 x_1	生态用水 量增加率 x_2	农村生态 系统改善 程度 x_3	地下水环 境改善程 度 x_4	作物病虫 害损失减 少率 x_5	灌溉水质 改善程度 x_6
桃曲坡	0.22	0.46	0.27	0.25	0.56	0.16
羊毛湾	0.34	0.39	0.31	0.28	0.64	0.21
石堡川	0.27	0.35	0.29	0.29	0.45	0.25
洛惠渠	0.29	0.37	0.35	0.32	0.39	0.19

注:表中数据来源:《关中灌区改造工程世行贷款项目竣工报告》。

将表 2 中数据代入式(11)~(14),计算得

$$\omega_1 = 0.213, \omega_2 = 0.097, \omega_3 = 0.083, \omega_4 = 0.051, \omega_5 = 0.323, \omega_6 = 0.233$$

则客观赋权法的权重向量为

$$W'' = (0.213, 0.097, 0.083, 0.051, 0.323, 0.233)$$

2.3 综合权重的计算

将 $W' = (0.285, 0.101, 0.101, 0.169, 0.141, 0.203)$ 、 $W'' = (0.213, 0.097, 0.083, 0.051, 0.323, 0.233)$ 进行对比,可发现其权重向量大小排序明显不同,分别代入式(6)、式(7),得

$$\bar{\alpha}^* = 0.471, \bar{\beta}^* = 0.529$$

取 $\bar{\alpha}^*$ 、 $\bar{\beta}^*$ 为综合赋权的主观和客观权重系数,则各评价值为

$$\bar{d}_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} (\bar{\alpha}^* W_j' + \bar{\beta}^* W_j'')$$

将表 2 中数据及 W' 、 W'' 、 $\bar{\alpha}^*$ 、 $\bar{\beta}^*$ 值代入上式,可得桃曲坡、羊毛湾、石堡川、洛惠渠 4 个灌区的生态环境效益综合评价价值分别为

$$\bar{d}_1 = 0.319, \bar{d}_2 = 0.379, \bar{d}_3 = 0.321, \bar{d}_4 = 0.308$$

$$\text{可以看出: } \bar{d}_2 > \bar{d}_3 > \bar{d}_1 > \bar{d}_4$$

即羊毛湾灌区生态环境效益最优,其余灌区生态环境效益由优到劣顺序依次为石堡川、桃曲坡、洛惠渠。

3 结论与讨论

本文将基于单位化约束条件的综合集成赋权方法应用于大型灌区节水改造生态环境效益评价,计算出了兼顾主观信息的指标权重,借助该权重对 4 个灌区节水改造后的生态环境效益进行了计算和比较;应用实例表明,基于单位化约束条件的综合集成赋权方法计算出的灌区评价指标权重,与传统的主观赋权法或客观赋权法计算出的权重结果并不一致,该方法综合了上述两方法的优点,运用该方法得出的权重计算出的评价结果更加合理地反映了灌区的实际情况;同目前其他类似的综合集成赋权法^[10-12]相比,计算过程较简便、原理科学,有较好的实际应用价值。

篇幅所限,本文仅以大型灌区节水改造后的生态环境效益评价为例对综合集成赋权法进行了应用研究,在实际应用中,也可将其应用于包括灌区节水改造总体评

估在内的其他方面的评价。

[参 考 文 献]

- [1] Molden D J, Gates T K. Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1990, 116(6): 804—823.
- [2] Seckler D, Sampath R K, Raheja S K. An index for measuring the performance of irrigation management systems with an application[J]. Water Resources Bulletin, 1998, 24(4): 855—860.
- [3] 曹庆奎, 刘开展, 张博文. 用熵计算客观性指标权重的方法[J]. 河北建筑科技学院学报, 2000, 17(3): 40—42.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 庞彦军, 刘开第, 吴海玉, 等. 指标分类权重的概念及其应用[J]. 河北工程大学学报, 2005, 22(4): 109—112.
- [8] 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.
- [9] 朱秀珍. 大型灌区运行状况综合评价研究[D]. 武汉大学, 2005.
- [10] 李慧伶, 王修贵, 崔远来, 等. 灌区运行状况综合评价的方法研究[J]. 水科学进展, 2006, 17(4): 543—548.
- [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): 36—39.
- [12] 徐泽水, 达庆利. 多属性决策的组合赋权方法研究[J]. 中国管理科学, 2002, 10(2): 84—86.
- [13] 郭亚军. 综合评价理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [14] 樊治平, 赵 萱. 多属性决策中权重确定的主客观赋权法[J]. 决策与决策支持系统, 1997, 7(4): 87—91.
- [15] 韩振中, 闫冠宇, 刘云波, 等. 大型灌区续建配套与节水改造评价指标体系的研究[J]. 中国农村水利水电, 2002, (7): 17—21.
- [16] 刘从柱. 大型灌区节水改造项目后评估指标体系与评估方法研究[D]. 西安理工大学, 2007.

Application of combination weighting method on benefit evaluation of water saving improvement in irrigation districts

Wang Shuji^{1,2}, Fei Liangjun^{1*}, Lei Yanbin³, Tian Wei³

(1. Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of Ministry of Education, Xi'an University of Technology,

Xi'an 710048, China; 2. College of Hydraulic and Electric Power, Hebei Engineering University, Handan 056021, China;

3. Office of Guanzhong Irrigation Improvement Project by World Bank Loan of Shaanxi province, Xi'an 710032, China)

Abstract: In order to determine index weights reasonably on post-evaluation of water saving improvement in large-scale irrigation districts, thus scientifically evaluating the benefit of water saving improvement, index weights were calculated by combination weighting method based on unitization constraint conditions. And that method was applied to benefit evaluation of water saving improvement in Shaanxi Guanzhong irrigation districts. The results show the combination weighting method based on unitization constraint conditions can give consideration for both subjective and objective influencing factors, comparing with simple subjective weighting method or objective weighting method and other combination weighting methods. The combination weighting method is scientific and easy, and has better practicability.

Key words: unitization constraint conditions, combination weighting method, large-scale water-saving improvement, benefit evaluation, irrigation