

两种综合赋权法应用于灌区节水改造效益评价的比较研究

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, 陕西 西安 710048; 2. 河北工程大学, 河北 邯郸 056038; 3. 陕西省关中灌区改造工程世界银行贷款项目办公室, 陕西 西安 710032)

摘要: 在灌区节水改造项目综合后评估中, 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。为了科学合理地确定指标权重, 选用两种不同原理的综合赋权法对灌区节水改造资源性效益评价指标权重进行了确定, 并分别应用得出的权重值计算了灌区节水改造资源性效益综合评价价值。结果表明, 两种综合赋权方法得出的指标权重向量大小排序结果一致, 应用于灌区评价时所得 4 个灌区节水改造资源性效益两种综合评价价值大小不一样, 但排序结果一致。最后, 对该结果出现的原因及两种综合赋权法的适用条件进行了分析。

关键词: 综合集成赋权法; 灌区; 节水改造; 评估; 比较研究

文献标识码: B

文章编号: 1000—288X(2009)04—0138—05

中图分类号: S274.1

Comparative Study of Two Combination Weighting Method Applied to Benefit Evaluation of Water Saving and Improvement in Irrigation District

WANG Shu-ji^{1,2}, FEI Liang-jun¹, LEI Yan-bin³, TIAN Wei³

(1. Key Laboratory of Northwest Water Resources and Environment Ecology of the Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 2. Hebei Engineering University, Handan, Hebei 056038, China; 3. Office of Guanzhong Irrigation Improvement Project by World Bank Loan of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710032, China)

Abstract: Reasonable determination of index weight is of great importance to get an objective and reasonable evaluation result of water saving and improvement evaluation in irrigation district. In order to obtain the objective and reasonable index weight, two kinds of combination weighting method with different principles are applied to index weight calculation and the calculated result are applied to benefit evaluation of water saving and improvement in irrigation district. It is found that the two kinds of index weight vector sequences are the same. The sequences of the two kinds of evaluation result for four irrigation districts based on the two kinds of weight are the same though the evaluation values are different. Finally, the causes of the result and the application condition of the two kinds of combination weighting method are analyzed.

Keywords: combination weighting method; irrigation district; water saving and improvement; evaluation; comparative study

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; 为了考察已完成项目的综合效益, 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。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, 本研究选取两种典型的综合集成赋权方法将其应用于灌区节水改造资源性效益评价, 并对其应用情况进行比较研究。这两种方法分别是基于单位化约束条件的综合集成赋权法^[1]和基于博弈论的综合集成赋权法^[2-3], 这两种综合集成赋权方法原理各不相同, 但从数学的角度来看都是科学合理的; 两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, 适用性如何, 并就此进行了研究讨论。

收稿日期: 2008-11-13

修回日期: 2008-03-02

资助项目: 国家自然科学基金项目“膜孔灌施肥农田氮素运移特性与灌溉质量评价方法研究”(50579064)

作者简介: 王书吉(1975—), 男(汉族), 河南省林州市人, 博士研究生, 讲师, 主要从事农业水资源利用和节水灌溉方面的研究。E-mail: wang_sj2006@yahoo.com.cn。

1 两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集成,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值^[1]。

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

$$W = W + W \tag{1}$$

式中: α , 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

$$\alpha^2 + \beta^2 = 1 \tag{2}$$

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:

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

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

$$\max D = (d_1, d_2, \dots, d_m) \tag{4}$$

$$s. t. \alpha^2 + \beta^2 = 1 \tag{5}$$

$$\alpha, \beta \geq 0 \tag{6}$$

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

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} W_j}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} (W_j + W_j)} \tag{7}$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} W_j}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b_{ij} (W_j + W_j)} \tag{8}$$

将 α, β 代入式(1)中,即可求出综合权重 W 。

1.2 基于博弈论的综合集成赋权法原理

该方法的原理是运用博弈论的方法根据主观权重和客观权重得出综合权重值,其基本思想是在不同的权重之间寻找一致或妥协,即极小化可能的权重跟各个基本权重之间的偏差^[2-3]。

记 m 个权重向量 $W_i^T [W_i^T = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{im})]$ 的线性组合为

$$W = \sum_{i=1}^m \alpha_i W_i^T \tag{9}$$

W 为基于基本权重集的一种可能的综合权重向量,它的全体 $\{W | W = \sum_{i=1}^m \alpha_i W_i^T, \text{ 此处 } \alpha_i > 0\}$ 表示可能的权重向量集。因此,寻找最满意的权向量可归结为对式(9)中的 m 个线性组合系数进行优化,优化目标是使 W 与各个 W_i 的离差的极小化。由此,导出了下面的对策模型:

$$\text{Min } \sum_{i=1}^m |W_i^T - W_j^T| \quad j=1, 2, \dots, m \tag{10}$$

上面模型是一组包含有多个目标函数的交叉规划模型,求解该模型能够获得一个跟多种权重赋值方法在整体意义上相协调、均衡一致的综合权重结果。

根据矩阵的微分性质,可得出式(10)最优化的一阶导数条件为

$$\sum_{i=1}^m W_j W_i^T = W_j W_j^T \tag{11}$$

(11)式对应下面的线性方程组

$$\begin{bmatrix} W_1 W_1^T & W_1 W_2^T & \dots & W_1 W_m^T \\ W_2 W_1^T & W_2 W_2^T & \dots & W_2 W_m^T \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_m W_1^T & W_m W_2^T & \dots & W_m W_m^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 W_1^T \\ W_2 W_2^T \\ \dots \\ W_m W_m^T \end{bmatrix} \tag{12}$$

运用 Matlab 软件可以很方便地求出上述方程解 α_i , 将 α_i 值代入式(9),即可求出综合权重向量 W 。

2 两种综合集成赋权法应用于灌区评价权重确定的比较研究

关中灌区是陕西省重要的粮棉油生产基地,素有“关中粮仓”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。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 月至 2006 年 6 月实施了“陕西省关中灌区改造工程”。为了总结项目实施情况,主管部门于 2007 年开始组织专家对关中灌区节水改造项目进行了评估。

2.1 灌区效益评价方法

目前,在灌区效益评价方面已有的方法主要有:层次分析法^[4-6]、模糊综合评判法^[7-9]、综合主成分分析法^[10]、人工神经网络法^[11-14]、灰色关联方法^[15]、投影寻踪法^[16]、加权综合法^[1]等,这些方法都有其各自的优缺点。

层次分析法作为一种定性分析与定量分析相结合的方法,在实际中得到了广泛的应用,但层次分析法要求建立的判断矩阵必须是一致阵,而实际中当矩阵阶数 $m \geq 3$ 时,判断矩阵难以保证是一致阵,且当矩阵阶数 $m \geq 3$ 时,计算量很大,仅建立判断矩阵就要进行 $m(m-1)/2$ 次的两两元素比较判断,心理学实验表明,当被比较的元素个数超过 9 时,判断就不准确了,这制约了层次分析法的推广应用。目前,虽然有部分研究人员对层次分析法进行了改进,但这些

改进后的研究成果仍很不成熟,且计算过程复杂繁琐,难以在实际应用中推广。

模糊综合评判法是由因素集 V 、评语集 U 、因素评判集 R (从 V 到 U 的一个模糊映射) 构成一个模糊综合评判模型,再根据各因素的相对重要性给定一个因素权重集 W ,经过 W 与 R 的模糊合成,得到一个多因素综合评判集,然后对评判对象作出综合评价的一种综合评价方法。由于模糊综合评判法在处理问题时,需将信息模糊化,这会使信息问题产生“模型失效”,且在实际应用中起关键作用的权重集 W 往往根据经验人为确定,给模糊综合评判这样一种定量评价方法带上了较浓厚的主观色彩。

综合主成分分析法是对数据和变量结构进行分析处理的一种多元统计分法,它通过将多个具有相关性的指标转换成少数几个互相独立的综合指标(即主成分),为资料的后续分析提供方便。在进行综合评价时,先将原始指标转换成趋势性相同的若干个主成分,并对这些主成分进行一定的线性组合,以构造出综合主成分。然后依据各评价对象在综合主成分上得分的大小排出其优劣次序,达到综合评价的目的。这种方法最大的缺点就是在转换过程中容易造成原有指标信息的损失。

人工神经网络法、灰色关联方法、投影寻踪法等灌区效益评价上目前仍处于理论探讨阶段,由于其计算过程的复杂性,在实际应用中不易被工作人员掌握,若要在实际应用中推广,需将方法进行简化或开发形成计算机软件,但目前这方面的研究成果还未见报道。加权综合法主要包括线性加权综合法和非线性加权综合法,同上述诸方法相比,加权综合法突出的优点是原理简便易懂,计算过程简便,易于在实际应用中掌握。本文即应用线性加权综合法对灌区节水改造资源性效益进行评价。

线性加权综合法的评价模型为^[11]

$$y = \sum_{j=1}^m w_j x_j \quad (13)$$

式中: y ——被评价对象的综合评价价值; x_j ——指标值; w_j ——与评价指标 x_j 相应的权重系数 $[0 < w_j < 1 (j = 1, 2, \dots, m), \sum_{j=1}^m w_j = 1]$ 。

2.2 灌区效益评价指标体系结构

在对陕西关中大型灌区节水改造项目的效益进行评价时,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、技术推广效益等个二级指标^[8,17],各二级指标又可进一步分成许多三级指标。灌区效益评价指标体系结构见表 1。

表 1 灌区效益评价指标体系结构

一级指标	二级指标	三级指标	属性
项 目 效 益	经济效益	项目受益区农业增产效果	定量
		项目受益区农业综合生产能力的提高率	定量
		经济内部收益率	定量
		效益费用比	定量
	节水效益	已改造渠段渠道水利用系数提高率	定量
		项目受益区亩次毛用水量下降率	定量
		灌区灌溉水利用系数提高率	定量
		单方水产量提高率	定量
		项目受益区灌溉周期的缩短率	定量
		灌区灌溉保证率的提高率	定量
	资源性效益	有效灌溉面积的增长率	定量
		节水灌溉面积的增长率	定量
		旱涝保收面积的增长率	定量
		渠首取水能力提高率	定量
	生态环境效益	涝、渍、盐碱地的改良程度	定量
		生态用水量增加率	定量
		农村生态系统改善程度	定性
		地下水改善程度	定量
		作物病虫害损失减少率	定量
		灌溉水质改善程度	定性
技术推广效益	新技术、新工艺应用和开发促进程度	定性	
	灌区信息化发展程度	定量	

2.3 运用两种综合集成赋权法确定权重

为叙述方便起见,此处以对二级指标资源性效益评价为例考察上述两种综合赋权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 项极大值定量指标。表 2 为 4 个灌区(洛

惠渠、石头河、桃曲坡、石堡川)资源性效益的三级指标样本值。

分别运用 G1 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

$W = (0.261, 0.155, 0.366, 0.218)$, $W = (0.609, 0.210, 0.174, 0.007)$ 。限于篇幅,计算过程略。下面分别应用两种综合赋权法确定综合权重。

表 2 4 个灌区资源性效益三级指标数据

灌区	有效灌溉面积增长率 x_1	节水灌溉面积增长率 x_2	旱涝保收面积增长率 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《关中灌区节水改造工程世行贷款项目竣工报告》。

2.3.1 基于单位化约束条件的综合集成赋权法确定权重

运用表 2 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 的系数分别为: $= 0.544$, $= 0.839$ 。计算过程略。归一化得: $= 0.393$, $= 0.607$ 。综合权重为:

$$W_1 = (0.472, 0.189, 0.249, 0.090)$$

2.3.2 基于博弈论的综合集成赋权法确定权重

运用表 2 中数据和求得的主客观权重 W 及 W ,应用基于博弈论的综合集成赋权法,计算得主观权重 W 和客观权重 W 的系数分别为: $= 0.500$, $= 0.866$ 。归一化得: $= 0.366$, $= 0.634$ 。综合权重为:

$$W_2 = (0.571, 0.175, 0.182, 0.072)$$

2.4 应用两种权重值计算综合评价

将 2.3 节中算得的两个综合权重值 W_1, W_2 ,以及表 2 中 4 个灌区的资源性效益三级指标值代入式(13)中,计算可得 4 个灌区资源性效益的两种综合评价,见表 3。

表 3 运用两种权重值计算得到的资源性效益综合评价

灌区	方法 1	方法 2
洛惠渠	0.011	0.010
石头河	0.050	0.052
桃曲坡	0.035	0.038
石堡川	0.111	0.130

注:方法 1 为运用基于单位化约束条件的综合赋权法得出的权重值计算得到的灌区综合评价;方法 2 为运用基于博弈论的综合赋权法得出的权重计算得到的灌区综合评价。

2.5 计算过程及结果分析

对应用两种综合赋权法计算得到的权重向量进行对比可以看出,两种权重向量各分量大小并不一致,但权重分量大小排序结果一致,都为 $w_1 > w_3 > w_2 > w_4$,根据两种综合权重计算得出的 4 个灌区资源性效益评价大小虽不一样,但排序结果一致,均为:石堡川 > 石头河 > 桃曲坡 > 洛惠渠。但目前无法从理论上证明在任何情况下,在样本数据相同的情况下,根据两种综合赋权方法确定出的权重向量分别大小排序结果都一致,也无法证明运用两种权重向量计算出的灌区资源性效益综合评价大小排序结果必定一致;本算例中出现权重向量分量大小排序及灌区资源性效益综合评价大小排序结果一致的情况,不排除受样本数据随机特性的影响。

单纯从数学的角度来考虑,两种综合赋权方法的原理是不相同的,但都是合理的,基于单位化约束条件的综合赋权法在求解数学模型时,是以各评价对象评价目标值最大化为目标函数,通过确定各参考权重在综合权重中所占的比例系数来确定综合权重;基于博弈论的综合赋权法在求解数学模型时,是在各参考权重之间寻找一种和这些权重在整体意义上最协调、均衡一致的综合权重。两种综合权重确定方法原理不一样,数学处理方法不一样,求解步骤也不一样,在实际工作中可以根据客观需要来选取,而不能断定孰优孰劣。

当评价目的是考察灌区效益的发挥情况时,可选用基于单位化约束条件的综合赋权法;当对于可供参考的权重值难以进行取舍,且希望尽可能保留各权重的信息时,可选用基于博弈论的综合赋权法。

3 结语

本研究选取两种综合权重确定方法对灌区节水改造效益评价指标权重确定进行了研究探讨,结果表明不同的评价目标或思想决定了权重确定方法的原理和数学处理过程不一样,得出的权重结果也不一样。这一现象的出现是由综合评估这一活动的特性决定的,综合评估就是通过和可达到的内在及外在标准的比较,使指标性能得到不断提高的系统过程^[18],这说明了综合评估是在人们主观意识操作下为达到一定的目的而实施的系统评价活动。受人们主观因素的影响,不同权重确定方法权重确定过程及结果不一致,这也反映了权重确定方法和综合评估活动的复杂性。

在实际工作中,还应该研究发现其它新的综合赋权法,以供实际需要选取。在样本数据充足的情况下,还可对不同综合赋权法得到的结果进行统计分析,以发现不同方法之间的关联性。受资料限制,本文并未做这方面的工作,在今后资料数据充足的情况下,将进一步开展这方面的研究。

[参 考 文 献]

- [1] 郭亚军. 综合评价理论与方法[M]. 北京:科学出版社, 2002:74-75.
- [2] 陈加良. 基于博弈论的组合赋权评价方法研究[J]. 福建电脑, 2003(9):15-16.
- [3] 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.
- [4] 何淑媛. 农业节水综合效益评价指标体系与评估方法研究[D]. 南京:河海大学, 2005.
- [5] 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.
- [6] 周维博,李佩成. 干旱半干旱地域灌区水资源综合效益评价体系研究[J]. 自然资源学报, 2003,18(3):288-293.
- [7] 任晓力,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.
- [8] 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:西安理工大学, 2007.
- [9] 刘翠华,孙瑾. 基于灰色系统的模糊综合评判在产险公司偿付能力评价中的应用[J]. 数学理论与应用, 2008, 28(4):6-12.
- [10] 姚杰,郭宗楼,陆琦. 灌区节水改造技术经济指标的综合主成分分析[J]. 水利学报, 2004,35(10):106-111.
- [11] 高峰,雷声隆,庞鸿宾. 节水灌溉工程模糊神经网络综合评价模型[J]. 农业工程学报, 2003,19(4):84-87.
- [12] 赵会强,雒文生,孙春鹏. 神经网络理论在区域节水水平综合评价中应用研究[J]. 灌溉排水, 1999,18(3):45-47.
- [13] 许静,雷声隆. 基于人工神经网络的灌区改造评价[J]. 灌溉排水, 2001,20(2):1-5.
- [14] 宋松柏,蔡焕杰. 区域水资源可持续利用评价的人工神经网络模型[J]. 农业工程学报, 2004,20(6):89-92.
- [15] 朱秀珍. 大型灌区运行状况综合评价研究[D]. 武汉:武汉大学, 2005.
- [16] 王顺久,侯玉,张欣莉,等. 灌区改造综合评价的投影跟踪模型[J]. 灌溉排水, 2002,21(4):32-34.
- [17] 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.
- [18] Malano H, Burton M. Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector[C]// Rome: IPTRID-FAO Knowledge Synthesis Report (5), 2001.