

基于 MCA 与 CP 的灌区管理综合评价研究

高伟增^{1,2}, 司文建¹, 汪志农², 曾宪权¹

(1. 许昌学院, 河南 许昌 461000; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 灌区管理评价的主要问题是各评价因子的权重确定和评价函数的选择。目前评价存在的主要问题为因子权重确定的不合理性和取值空间不完备性及评价函数的不确切性。为此, 本文采用层次法由专家确定权重, 由多元相关原理调整权重的影响值, 由数理统计原理确定因子的取值区间, 最后用综合距离模型对综合指标进行评价, 较好地解决了该问题。实例表明, 该评价是科学的、可行的。

关键词: 灌区管理; 综合评价; 多元相关; 综合距离模型

中图分类号: S274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)02-0169-05

我国大部分灌区兴建于 20 世纪 50~70 年代, 由于诸多原因, 目前面临着灌溉可引用水量不足, 工程标准偏低, 老化失修, 工程管理基础设施差等状况。为此绝大多数灌区都需要进行不同程度的续建配套与节水改造, 为优化配水提供硬件基础。但由于资金有限, 改造工作不可能同时进行, 所以, 为了给灌区灌溉管理决策与续建配套提供参考依据, 对灌区运行状况进行科学合理的评价显得十分重要。

当前灌区评价已由单一效益评价向综合评价方向发展^[1~3], 在灌区中常用评价方法有: 层次分析法 (Analytic hierarchy process, AHP) 和专家评分法^[4,5]、模糊聚类法 (Fuzzy Clustering FC)、主成分分析法 (Principal Components Analysis, PCA)^[6,7]、综合距离法 (compromise programming, CP)^[8] 等方法。这几种评价方法尽管方法各异, 但它们的评价出发点是一致的: 各指标权重的选择和综合指标的确定。具体评价时, 某一指标的好与坏数据本身说明不了什么, 它的优劣由评价者给定。因此, 目标权重首先由主观决定, 层次分析法和专家评分法属于此类。但选取的指标较多时, 指标之间又因具有一定的相关性, 可能存在起支配作用的因素。目标之间的相关性有多大, 它对目标之间权重的影响有多大, 专家不能说明, 这时必须从数据本身找出答案。因此, 权重的选择应该包含主观因素和数据多元相关的客观因素。层次分析法和专家评分法以主观因素层次分析法确定权重, 虽然也对权重进行客观调整, 但调整是在专家是否满意条件下进行的, 总的说来还属于主观决定型。主成分分析法确定权重是用线性代数的客观方法求得的, 而数据本身是不能确

定自身权重的, 它只能说明数据之间的相关性。层次分析法和主成分分析法构建综合指标时采用线性叠加模型, 这和各指标间相互影响从而构成多维空间的实际情况不符。模糊聚类法和综合距离法, 采用各指标的实际数值和最优值之间的综合距离来构建综合指标, 但最优值的确定是模糊聚类法和综合距离法所不能精确解决的。因此, 本文拟采用主观法确定权重, 多元相关分析法客观 (Multivariate Correlation Analysis MCA) 调整权重, 并预测参数的数值的分布区间, 最后用综合距离法 (CP) 对指标进行综合评价。

2 数学模型的建立

2.1 评价指标选取

要全面反映灌区用水管理运行的情况, 首先应该分析制约灌区用水管理运行的因素。灌区管理要想正常运行, 经济因素是最重要的, 而决定经济因素的是灌区的效益情况, 决定灌区效益的恰恰是灌区的供水效率。为此, 对灌区用水管理综合评价时, 指标分三个层次: 效率评价、效益评价、财务评价。效率评价主要对灌区供水效率进行监测, 其指标有两个: 灌溉水利用系数 (X_1), 骨干渠系水利用系数 (X_2), 两指标均越大越优。效益评价主要对灌区效益进行监测, 其指标有两个: 单位水量生产的产量 ($X_3, \text{kg}/\text{m}^3$)。单位灌溉水量的效益 ($X_4, \text{元}/\text{m}^3$), 两指标均越大越优。财务评价主要对灌区财务进行监测, 其指标有四个: 年人均管理费 ($X_5, \text{元}/\text{hm}^2$)。灌溉成本水价 ($X_6, \text{元}/\text{m}^3$), 两指标均越小越优。水费实收率 (X_7), 该指标越大越优。收入支出比的比例

收稿日期: 2008-10-16

基金项目: 国家“863”计划资助项目 (2003AA209040)

作者简介: 高伟增 (1968—), 男, 讲师, 博士, 主要从事计算机应用、水资源优化研究。

通讯作者: 汪志农 (1948—), 男, 浙江杭州人, 教授, 博士生导师。

(X_8), 该指标为具中型指标。

2.2 多元相关分析

设灌区综合评价指标有 m 个($x_1, x_2, \dots, x_m$)和 n 个同步统计资料($x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1m}$), ($x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2m}$), ($x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nm}$)。我们据此构造出如下矩阵:

$$S_1 = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{pmatrix} = (X_1, X_2, \dots, X_m) \quad (1)$$

由多元相关统计分析原理(MCA)^[9], 可通过相关检验确定单个指标和其它指标的相关性。检验 x_1 和其它指标的相关性时可把 x_1 看成因变量, 其它看成自变量。

我们可以构造出如下关系式:

$$\begin{aligned} \text{令 } a_{ii} &= 0, 1 \leq i \leq m \\ x_1 &= \cdots + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1m}x_m + \beta_1 \\ x_2 &= a_{21}x_1 + \cdots + a_{2m}x_m + \beta_2 \\ &\cdots \\ x_m &= a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + \cdots + \beta_m \end{aligned} \quad (2)$$

从上式我们可以看出各个评价指标和其它指标的相关关系, 为了消除各目标多元相关性在综合评价中的影响, 求解 2 式构造出如下矩阵(令 $k_i =$

$$\begin{aligned} &\sum_{j=1}^m a_{ij}) \\ S_2 &= \begin{pmatrix} 1 & -\frac{a_{12}}{k_1} & \cdots & -\frac{a_{1m}}{k_1} \\ -\frac{a_{21}}{k_2} & 1 & \cdots & -\frac{a_{2m}}{k_2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ -\frac{a_{m1}}{k_m} & -\frac{a_{m2}}{k_m} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \\ &= (a_1, a_2, \dots, a_m) \end{aligned} \quad (3)$$

S 式行中的各元素(对角线元素除外) $\frac{a_{ij}}{k_i}$ 为 x_j

对 x_i 的权重贡献率, $\frac{a_{12}}{k_1}$ 即为 x_2 对 x_1 的权重贡献率。第一行元素表示我们在 x_1 权重为 1 的情况下进行综合评价时, x_1 的权重对其它元素权重的影响为 $\frac{a_{1j}}{k_1}$, 也就是说, 在评价 x_1 的同时也包含了对 $\frac{a_{1j}}{k_1}$ 个

x_j 的评价, 为消除重复评价的影响, $\frac{a_{1j}}{k_1}$ 前面加减号。式中第 j 列元素之和表示由于各指标间的多元相关对 x_j 权重的综合影响值, 用($a_1, a_2, \dots, a_m$)表示, 综合评价时用来修正各元素的权重值。

2.3 多元统计方法确定各目标最优值

矩阵 S_1 的第一列的向量 $X_1 = (X_{11}, X_{21}, \dots, X_{n1})^T$ 为评价指标 x_1 在不同评价方案中的 n 个值, 这 n 个值中有最大值和最小值, 但实际的最值是不是比它们还大(或还小), 这可以从统计分析方法中得到。多元统计分析原理认为多元正态分布样本中某一分量的数值也服从正态分布。 X_1 为矩阵 S_1 的分量, 它的数值也服从正态分布。

$$\text{设 } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{i1} \text{ (} X_1 \text{ 样本均值),}$$

$$S_2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{i1} - \bar{X})^2 \text{ (样本方差)}$$

则由统计分析原理知:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \sim t(n-1) \quad (4)$$

设 X_1 最小值和最大值区间为($\mu_1 - k_1, \mu_1 + k_1$), 当 $X_1 < \mu_1 - k_1$ 的概率为 $a/2$, 那么根据统计学原理 $X_1 > \mu_1 + k_1$ 的概率同为 $a/2$ 。当 a 很小时, 可以认为小概率事件发生了, 并说明 X_1 的取值空间不对, 应该重新取定 a 。为此, 我们需确定一个足够小的临界概率 a (称为显著性水平), 英国著名的统计学家 R·A·Fisher 经过多次试验把 0.05 作为标准。

我们取 t 为枢轴变量, 对于给定 a , 由 t 分布上 a 分位点的定义知:

$$P\left\{-t_{a/2}(n-1) < \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} < t_{a/2}(n-1)\right\} = 1 - a \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{即} \\ P\left\{X - \frac{S}{\sqrt{n}}t_{a/2}(n-1) < \mu < X + \frac{S}{\sqrt{n}}t_{a/2}(n-1)\right\} \\ = 1 - a \end{aligned} \quad (6)$$

即在显著性水平 a 下 X_1 的取值区间为:

$$\left\{X - \frac{S}{\sqrt{n}}t_{a/2}(n-1), X + \frac{S}{\sqrt{n}}t_{a/2}(n-1)\right\}。$$

根据 X_1 的取值区间和 X_1 的实际值进行比对, 从中找出 X_1 得最大值和最小值。

2.4 灌区运行状况综合评价

灌区综合评价是一个多目标评价问题, 这里我们采用综合距离法(CP) 进行评价, 其数学表达式

$$\text{为: } L_j = \left[\sum_{j=1}^p w_j^p \|f_j^* - f(j)\|^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (7)$$

L_j 为评价函数, $f_j^* - f(j)$ 为 j 因子的理想值和实际值的差, w_j 为 j 因子的权重, $p(1 \leq p \leq \infty)$ 反

映决策者的态度。评价函数以各目标实际值和理想值的综合距离的大小进行评价,综合距离越小,说明灌区运行状况越好,各目标越接近各自的最优值。当 $p = 1$ 时,所有指标对各自的最优值的偏差大小对评价函数的影响是相同的,且正比与各自的权重,评价函数为一线性表达式。当 $2 \leq p \leq \infty$ 时,指标的权重最大,目标的实际值和最优值偏差越大,则它对评价函数的影响也越大,它反映评价者要求哪一个目标权重越大,那么它的实际值和最优值的偏差也要越小,否则就对其背离的偏差进行惩罚,其评价函数为一复杂的多项表达式。当 $p = \infty$ 时,评价函数变成 $L_j = \text{Max}(w_j \| f_j^* - f(j) \|)$,式中 L_j 为所有评价因子中的某一因子权重和其背离偏差乘积的最大值,综合评价变成了单一评价。

反映灌区运行状况的 n 个指标相互影响组成一个 n 维空间,因此评价函数 p 取 1 把 n 维空间变成一维线性空间不合适;当 $p = \infty$ 时,综合评价变成了最大目标权重值和其目标偏差乘积大小的比较,综合评价变成了单一评价,它和实际也不相符。为综合考虑,本文 $p = 2$ 。

3 实例应用

陕西省有众多的大中小型灌区,为了具有可比性,根据陕西省大中小型灌区 2006 年的统计资料,找出资料比较齐全的 13 个小型灌区进行运行状况评价,数据如表 1。评价指标分三类 8 项:供水效率评价(灌溉水利用系数(X_1))、渠系水利用系数(X_2))、产品效益评价(单位面积产值(X_3))、单位灌

溉水量增益(X_4))、财务评价(灌区人均年管理成本(X_5))、灌溉成本水价(X_6))、灌溉水费实收率(X_7))、维护费占水费收入的比例(X_8))。各因子权重原始值^[4,5]采用上述文献方法选择 6~10 名从事节水灌溉管理的专家组成专家组,构造各层次判断矩阵,用计算相对隶属度的数学方法得到,见表 1。权重调整值用多元相关分析方法得到,见表 2。

这 8 个指标中,灌溉成本水价、灌区人均年管理成本为极小型指标即最小最优,维护费用占水费收入的比例为居中型指标,其它 5 个指标均为极大型指标。

为消除量纲对评价的影响,对表 1 数据进行无量纲化处理。对指标进行如下处理:

令 $M_j = \text{Max}\{x_{ij}\}$, $m_j = \text{Min}\{x_{ij}\}$ 则对极大型和极小型指标

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - m_j}{M_j - m_j} \dots x_{ij}^* \in [0,1] \tag{8}$$

式中: x_{ij} 为第 i 个灌区第 j 个指标值; x_{ij}^* 为第 i 个灌区第 j 个指标的无量纲化的标值。

对于居中型指标作如下处理把它变成极小型指标:

$$x_{ij}^* = \frac{\| 2x_{ij} - (M_j + m_j) \|}{M_j - m_j} \dots x_{ij}^* \in [0,1] \tag{9}$$

对各指标值进行无量纲化处理后,由 MCA 原理计算多元相关对权重的影响值及各指标的最大值和最小值,进而用 CP 原理进行评价。各指标值无量纲化结果及计算结果见表 3。

表 1 陕西省小型灌区 2006 年统计资料

Table 1 Data of small irrigation districts in Shaanxi Province in 2006

灌区序号 No. of irrigation district	灌溉水 利用系数 Irrigation water use efficiency	渠系水 利用系数 Cannel water use efficiency	单位灌溉水 的产量(kg/m ³) Yield of per unit irrigation water	单位灌溉水 的效益(元/m ³) Benefit of per unit irrigation water	年人均管 理费(元/hm ²) Management cost per person per year	灌溉成本水价 (元/m ³) Cost price of water	水费 实收率 Rate of charge	收入支出比 Rate of output and input
1	0.53	0.55	1.60	3.87	107.48	0.14	0.34	0.18
2	0.38	0.47	1.55	3.14	132.15	0.17	0.85	0.35
3	0.45	0.50	1.60	3.69	219.11	0.14	0.21	0.29
4	0.60	0.63	1.60	3.75	223.46	0.18	0.60	0.17
5	0.50	0.80	1.80	4.02	248.86	0.16	0.32	0.13
6	0.42	0.55	1.59	3.02	109.38	0.15	0.53	0.29
7	0.41	0.45	1.60	3.65	133.03	0.16	0.46	0.33
8	0.50	0.53	1.35	2.73	609.12	0.21	0.81	0.27
9	0.50	0.53	1.54	2.85	257.88	0.15	0.50	0.22
10	0.45	0.53	1.75	3.96	158.74	0.19	0.25	0.21
11	0.48	0.53	1.58	3.61	125.95	0.18	0.32	0.25
12	0.43	0.50	1.69	3.77	391.50	0.19	0.37	0.20
13	0.46	0.54	1.53	3.27	337.89	0.17	0.39	0.19

表 2 各指标的权重值
Table 2 The weight of each index

名称 No·	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
权重 Weight	0.2316	0.2135	0.1117	0.0938	0.1225	0.1317	0.0537	0.0415
调整权重 Adjusted weight	0.0254	0.0123	0.0106	0.0087	−0.0220	−0.0374	0.0018	−0.0014
综合权重 Comprehensive weight	0.2570	0.2258	0.1223	0.1025	0.1005	0.0943	0.0555	0.0401

表 3 计算结果
Table 3 The result of calculation

名次 Order	名称 No·	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	评价价值 Evaluation
3	1	0.7068	0.4017	0.5493	0.7348	0.2146	0.1633	0.2903	0.4589	0.1741
13	2	0.0784	0.2102	0.4394	0.2873	0.2782	0.4621	1	0.9115	0.3193
7	3	0.3717	0.2820	0.5493	0.6245	0.5028	0.1036	0.1094	0.4279	0.2495
1	4	1	0.5932	0.5493	0.6613	0.5140	0.5817	0.6521	0.5395	0.1385
2	5	0.5811	1	0.9887	0.8268	0.5796	0.3426	0.2625	0.8619	0.1386
9	6	0.2460	0.4017	0.5273	0.2138	0.2195	0.2828	0.5547	0.4279	0.2603
12	7	0.2041	0.1624	0.5493	0.6	0.2805	0.4024	0.4573	0.7503	0.2939
10	8	0.5811	0.3538	0	0.0360	0.9417	1	0.9443	0.2666	0.2749
5	9	0.5811	0.3538	0.4174	0.1095	0.6029	0.2828	0.513	0.1364	0.2268
6	10	0.3717	0.3538	0.8788	0.7900	0.3469	0.7012	0.1651	0.2170	0.2363
4	11	0.4973	0.3538	0.5053	0.5755	0.2622	0.6414	0.2625	0.1054	0.2227
11	12	0.2879	0.2820	0.747	0.6735	0.9478	0.7609	0.3321	0.2976	0.2786
8	13	0.4135	0.3778	0.3955	0.3670	0.8094	0.5219	0.3599	0.3782	0.2503

4 结果与讨论

1) 从评价结果看,排位靠前为供水利用效率较高的灌区,产品效益和财务评价起调节作用,这说明供水效率起着决定作用,毕竟只有供水效率提高了,供水效益和财务评价才会较优,综合排名才会靠前。因此,各灌区首先应提高供水效率,然后在供水效益和财务管理上下功夫,才能使灌区良性运行。

2) 从表 2 可看权重的调整值如灌溉水利用系数(X₁)、渠系水利用系数(X₂)、单位面积产值(X₃)、单位灌溉水量增益(X₄)的调整值为正值;而灌区人均年管理成本(X₅)、灌溉成本水价(X₆)为负值;灌溉水费实收率(X₇)、维护费占水费收入的比例(X₈)的影响不大。这说明了多元相关对权值的影响,在评价水利用系数(X₁)、渠系水利用系数(X₂)、单位面积产值(X₃)、单位灌溉水量增益(X₄)同时也间接地评价了灌区人均年管理成本(X₅)、灌溉成本水价(X₆)为负值,因为 X₁、X₂、X₃、X₄ 越高 X₅、X₆ 越小,为消除多元相关影响,X₅、X₆ 的权重影响值为负,相应的 X₁、X₂、X₃、X₄ 权重影响值为正,灌溉水费实收率(X₇)、维护费占水费收入的比例(X₈)和其它六个

变量的相关性不大。因此,它的权重影响值接近 0。这说明用多元相关调整权值是符合实际的。

3) 每一个评价因子在无量纲化处理后,其最大值和最小值应该为 1 和 0,但无量纲化后的结果有的因子有的只有最大值,有的只有最小值。如 X₁ 只有最大值,没有最小值,是因为其最小值由多元统计求出为 0.3613,它比实际值还小,因此,无量纲处理后,其最小值为 0.0784。X₃ 只有最小值,没有最大值,是因为其最大值由多元统计求出为 1.8052,它比实际值还大,因此,无量纲处理后,其最大值为 0.9887。这说明用数理统计方法求因子的取值区间是可行的,它能够更科学地反映因子的取值空间。X₈ 因为是居中最优指标,所以它即没有最大值也没有最小值。

4) 对 13 个子灌区综合评价进行正态性检验,采用柯尔莫哥洛夫-斯米尔洛夫检验,求得综合评价检验统计量 D13=0.274。取显著性水平 $\alpha=0.05$,查得 D13, $\alpha=0.361$ 因为 $0.274<0.361$,实际上,显著性水平 $\alpha>20\%$ 。故在水平=0.05 下,认为综合因子得分服从正态分布。

综上,本文提出提出的基于 MCA、CP 原理对灌

区运行管理质量进行综合评价较好地解决了权重的主观确定和客观调整问题,合理确定了评价指标的取值区间,在此基础上采用综合距离法对灌区管理质量进行评价更加科学。

参 考 文 献:

[1] Raju K S, Duckstein L. Multicrierion analysis for ranking an irrigation system: an Indian case study[J]. Journal of Decision Systems, 2002, 11, 499—511.

[2] Raju K S, Duckstein L. Multiobjective fuzzy linear programming for sustainable irrigation planning: an Indian case study[J]. Soft Computing, 2003, 7, 412—418.

[3] Raju K S, Kumar D N. Multicriterion Q—analysis and compromise programming for irrigation planning[J]. Journal of Institution of Engineers(India), 2001, 82, 57—62.

[4] 卢玉邦,郭龙珠,郎景波.综合评价方法在节水灌溉方式选择中的应用[J].农业工程学报,2006,(2):33—36.

[5] 张庆华,白玉惠,倪红珍.节水灌溉方式的优化选择[J].水利学报,2002,(1):47—51.

[6] 吴景社,康绍忠.基于主成分分析和模糊聚类方法的全国节水灌溉分区研究[J].农业工程学报,2004,(7):64—68.

[7] Eder G, Duckstein L, Nachtnebel H P. Ranking water resource projects and evaluating criteria by multicriterion Q—analysis: an Austrian case study[J]. Journal of Multicriteria Decision Analysis, 1997, 21(6):259—271.

[8] Srinivasa Raju K, Nagesh Kumar D, Lunien Duckstein. Artificial neural networks and multicriterion analysis for sustainable irrigation planning[J]. Computers & Operations Research, 2006, 33(7):1138—1153.

[9] 袁志发,周静芋.多元统计分析[M].北京:科学出版社,2002:303—305.

Research on comprehensive evaluation of irrigation district management based on Multivariate Correlation Analysis and Compromise Programming

GAO Wei-zeng^{1,2}, SI Wei-jiang¹, WANG Zhi-nong², ZENG Xian-quan¹
(1. Xuchang University, Xuchang, He'nan 461000, China;
2. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Determining index weight and selecting evaluating function are two keys to the comprehensive evaluation of irrigation district management. However, the present calculation of the index weights and its data space and evaluation of the management in irrigation are unreasonable. So, applying administrative levels, MCA and Compromise Programming to determining the index weight by expert, adjusting the index weight by MCA, confirming the data space of the index value by statistics, and evaluating the irrigation district management by CP, the model is proved scientific and feasible in being applied to irrigation districts.

Key words: management in irrigation district; comprehensive evaluation; Multivariate Correlation Analysis; Compromise Programming Model