

基于灰色关联理论 – 密切值法的大型灌区 运行状况综合评价

费良军¹, 王锦辉¹, 王光社², 冯缠利², 武锦华¹

(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)

摘要: 依据评价对象与目标最优点的灰色关联度越大, 则表明评价对象与最优点的距离越近, 在大型灌区运行状况综合评价时, 将灰色关联法与密切值法相结合, 既保存了密切值法客观性好的优点, 又能合理利用灰色关联法克服密切值在贫信息情况下的缺陷。以陕西省大型自流渠灌区洛惠渠为实例进行验证, 评价结果显示洛惠渠灌区在 2007、2008、2009、2010、2011、2012 年的密切值分别为 5.1238、4.7421、3.8396、3.0147、2.4679、1.2868, 运行状况级别分别为中等、中等、中等、良好、良好、良好。其评价结果与可拓评价法结果基本一致, 都随着时间的推移, 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, 且该方法理解简单、可靠性高, 为大型灌区运行状况综合评价提出了一种新方法。

关键词: 大型灌区; 运行状况; 综合评价; 灰色关联法; 密切值法

中图分类号: S274.3 文献标志码: A

Comprehensive evaluation on the operation condition of large irrigation district based on the grey relation theory-osculating value method

FEI Liang-jun¹, WANG Jin-hui¹, WANG Guang-she², FENG Chan-li², WU Jin-hua¹

(1. Institute of Water Resources and Hydro-electric 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)

Abstract: The greater grey correlation between optimal point of evaluation objects and goals, the closer distance between them. When carrying out comprehensive evaluation on the operation condition of large irrigation district, grey relation method and osculating value method can be combined, both retaining good advantages in objectivity of the osculating value method and overcoming the defects of osculating value method under poor information condition through reasonable use of the grey relation method. A large-scale gravity canal Luohuiqu irrigation district in Shaanxi was then employed to validate the above hypothesis. The evaluation results showed that in years of 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 and 2012, the osculating values in Luohuiqu irrigation district were 5.1238, 4.7421, 3.8396, 3.0147, 2.4679, and 1.2868, and the levels of operation conditions were medium, medium, medium, good, good, and good, respectively. The evaluation results were basically in accordance with the extension evaluation method. With time going, the evaluation level in Luohuiqu irrigation district gradually became improved and the operation condition was enhanced, which also confirmed the objective reality and the law of development in this district. This method was simple in comprehension and high in reliability, providing a new approach in overall evaluation of operational status in large-scale irrigation area.

Keywords: large irrigation district; the operation condition; comprehensive evaluation; grey relation method; osculating value method

大型灌区一般拥有较完善的水源系统, 输水、配水以及供水调节系统, 在构成灌区区域或跨流域的水资源供需调配与优化配置中发挥着极其重要的作

用。

除此之外, 大型灌区在干旱、荒漠地区还能发挥改善生态环境、涵养水源、净化空气、抑制水土流失、

收稿日期: 2014-10-30

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)

作者简介: 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研究。E-mail: feiliangjun2008@163.com。

通信作者: 王锦辉(1989—), 男, 陕西岐山人, 硕士研究生, 研究方向为水资源评价与管理。E-mail: 460033572@qq.com。

减轻风沙威胁的作用。

为了准确了解灌区在社会经济水平、水土资源状况、灌区工程状况、灌区水资源利用率、管理体制、改革、经营管理状况及生态环境等方面的运行情况,对灌区综合评价是十分必要的。大型灌区综合评价是一个多指标综合评价问题,除定量指标外,还涉及到许多定性指标,各指标间相互关联,用直观对比分析法往往难以得到客观的综合评价,宜采用综合评价方法。因此,对灌区运行状况进行综合评价研究,建立一套合理的综合评价指标体系和综合评价方法具有重要的意义。

目前,广泛运用的评价大型灌区运行状况的方法,如层次分析法^[1]、模糊综合评价法^[2-4]、可拓评价法^[5]等,这些方法计算过程都比较复杂繁琐,灰色关联理论-密切值法方法理解简单、可靠性高。因此,本文将应用灰色关联理论-密切值法对陕西省大型自流渠灌区洛惠渠进行实例验证。

1 灰色关联理论-密切值法的基本思想

密切值法^[6-8]是一种多目标、多层次的决策方法。适用于多层次、多指标的评价系统。此方法原理简单、概念清晰、易于计算,同时不需要确定隶属函数等主观性参数,从而使评价结果更具客观性,通过实例验证表明此方法是合理可行的。

灰色关联法^[9-11]主要是通过灰色关联度序列描述不同因素评价对象的大小,此方法的基本思想是:比较系统各个不同因素间(或各系统行为间)的数据列(或指标列)的行为与发展趋势,由此判断彼此之间的相似或差异关系,评价对象所处的评定级别根据关联度的大小次序来确定。对于包含多指标的评价问题,如果评价对象与目标最优点的灰色关联度越大,则表明评价对象与最优点的距离越近。因此,在大型灌区运行状况综合评价时,可以将密切值法与灰色关联法相结合,这样既保存了密切值法客观性好的优点,又能合理利用灰色关联法克服密切值法在贫信息情况下的缺陷。本文将基于这种思想的方法称为灰色关联理论-密切值法。

2 灰色关联理论-密切值法的原理和步骤

密切值法是一种多目标、多层次的决策优选方法^[6],而大型灌区评价是一种典型的多目标、多层次决策问题。密切值法的基本原理是:将所有决策方案指标值进行规范化处理后,找出决策方案的最优点和最劣点的位置,然后计算出各方案距最优点和

最劣点的距离,最后计算密切值,来排序各决策方案的先后顺序,即密切值越小,越优,从而将多指标转化为一个可以从总体上衡量其优劣的综合值来进行评价。灰色关联理论-密切值解法的步骤如下:

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 , 设选取的待评价目标为 m 个,则有 D_1, D_2, \dots, D_m ; 连同 n 个评价指标的 h 级分级标准组成的矩阵 D :

$$D = \begin{bmatrix} & X_1 & X_2 & \cdots & X_n \\ D_1 & d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ D_2 & d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ D_m & d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mn} \\ D_{m+1} & d_{(m+1)1} & d_{(m+1)2} & \cdots & d_{(m+1)n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ D_{m+h} & d_{(m+h)1} & d_{(m+h)2} & \cdots & d_{(m+h)n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2) 建立无量纲规范化评价矩阵

把有量纲的初始矩阵通过数学方法转换为以正负数表示的数学矩阵 Z , 令

$$Z_{ij} = \pm \frac{d_{ij} - E_j}{E_j} \quad (2)$$

式中,“+”表示正向指标;“-”表示逆向指标; Z_{ij} 为指标序列的目标差值率; d_{ij} 为第 i 个决策方案的第 j 个指标值; E_j 为第 j 个指标的目标值。 E_j 为正向指标时,评价值越大,评价结果越好; E_j 为逆向指标时,评价值越大,评价结果越差,由(2)式计算得到各元素 Z_{ij} 组成规范化矩阵 Z :

$$Z = \begin{bmatrix} & X_1 & X_2 & \cdots & X_n \\ Z_1 & z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1n} \\ Z_2 & z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ Z_m & z_{m1} & z_{m2} & \cdots & z_{mn} \\ Z_{m+1} & z_{(m+1)1} & z_{(m+1)2} & \cdots & z_{(m+1)n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{m+h} & z_{(m+h)1} & z_{(m+h)2} & \cdots & z_{(m+h)n} \end{bmatrix} \quad (3)$$

3) 确定规范化评价矩阵 Z 的最优点和最劣点

分别对 Z 矩阵的各列进行求最小、最大值,求最小的值为“最优点” $Z^+ = (z_1^+, z_2^+, \dots, z_n^+)$, 其中 $\max_{1 \leq i \leq m+h} \{z_{ij}^+\} = z_j^+, j = 1, 2, \dots, n$, 同理,求最大的值为“最劣点” $Z^- = (z_1^-, z_2^-, \dots, z_n^-)$, 其中 $\min_{1 \leq i \leq m+h} \{z_{ij}^-\} = z_j^-, j = 1, 2, \dots, n$ 。

4) 评价对象与最优点的灰色关联系数

$$r_{ij} = \frac{m + \rho M}{\Delta_{ij} + \rho M}, \quad \rho \in [0, 1] \quad (4)$$

式中： $\Delta_{ij} = |z_j^+ - z_{ij}^-|$, $m = \min_j \Delta_{ij}$, $M = \max_j \Delta_{ij}$, ($i = 1, 2, \dots, m+h$; $j = 1, 2, \dots, n$), ρ 为分辨系数, $\rho \in [0, 1]$, 根据前边的研究成果, 通常取分辨系数 ≤ 0.5 , 在本文中取 $\rho = 0.5$ 。

通过式(4) 计算得到各个评价对象与最优点之间的灰色关联系数矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{(m+h)1} & r_{(m+h)2} & \cdots & r_{(m+h)n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

5) 确定灰色关联系数矩阵 R 的最优点和最劣点

分别对 R 各列进行求最小、最大计算, 求最小的结果为“最优点” $R^+ = (r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+)$, 其中 $\max_{1 \leq i \leq m+h} \{r_{ij}^+\} = r_j^+, j = 1, 2, \dots, n$, 同理, 求最大的结果为“最劣点” $R^- = (r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-)$, 其中 $\min_{1 \leq i \leq m+h} \{r_{ij}^-\} = r_j^-, j = 1, 2, \dots, n$ 。

6) 确定第 i 个评价对象与最优点和最劣点的欧

式距离

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n W_j (r_{ij} - r_j^+)^2}, \quad (i = 1, 2, \dots, m+h) \quad (6)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n W_j (r_{ij} - r_j^-)^2}, \quad (i = 1, 2, \dots, m+h)$$

式中, W_j 为第 j 个指标的综合权重值, 通过主观的 G1 法^[12] 和客观的变异系数法^[13] 确定, 然后通过博弈论法^[14] 将两者综合集成得到。

7) 确定各评价对象的密切值

$$d_i^+ = \min_{1 \leq i \leq m+h} \{d_i^+\}, \quad d_i^- = \max_{1 \leq i \leq m+h} \{d_i^-\} \quad (7)$$

$$\text{则密切值为: } Y_i = \frac{d_i^+}{d_i^+} - \frac{d_i^-}{d_i^-} \quad (8)$$

3 灰色关联理论 - 密切值法在洛惠渠灌区的实例研究

基于灰色关联理论 - 密切值法对洛惠渠灌区在 2007—2012 年的综合运行状况进行评价, 首先, 确立的洛惠渠灌区评价指标体系包括工程性指标、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, 建立的无量纲规范化评价矩阵见表 1、表 2。

表 1 洛惠渠灌区在 2007—2012 年无量纲规范化评价矩阵

Table 1 Dimensionless normalized evaluation matrix from 2007—2012 in Luohuiqu irrigation district

二级指标(指标层) Secondary index (index layer)	2007	2008	2009	2010	2011	2012
灌水保证率 Irrigation assurance	-0.1625	-0.2125	-0.1375	-0.0100	-0.0500	0.0125
单位控制面积供水量 Water supply unit control area	-0.5410	-0.4773	-0.4200	-0.3067	-0.2367	-0.1040
渠道配套率 Channel matching rate	-0.3000	-0.2444	-0.1667	-0.1333	-0.0778	-0.0333
建筑物配套率 Building matching rate	-0.1889	-0.1667	-0.1222	-0.1556	-0.0778	-0.0222
排水沟配套率 Drain matching rate	-0.3000	-0.2778	-0.2111	-0.1556	-0.0889	-0.0667
渠道衬砌完好率 Channel lining pipe rate	-0.2800	-0.2667	-0.2111	-0.1444	-0.0556	-0.0111
建筑物完好率 Building pipe rate	-0.2000	-0.1222	-0.0667	-0.0444	-0.0333	0.0111
灌溉管理人员业务素质 Irrigation management professional quality	-0.3688	-0.2875	-0.1750	-0.0875	-0.0625	-0.0375
灌溉水费实收率 Irrigation water recovery efficiency	-0.1444	-0.0778	-0.0333	0.0111	-0.0111	0.0556
农民用水协会参与率 Farmers use water association participation rate	-0.4217	-0.4967	-0.3667	-0.2800	-0.2167	-0.0883
单位员工管理面积 Unit staff management area	-0.5600	-0.4370	-0.3200	-0.2325	-0.2650	-0.1950
政府支持程度 The government support	-0.2667	-0.2850	-0.2333	-0.1000	-0.0500	0.0500
节水灌溉面积占有率 Water-saving irrigation area rate	-0.4817	-0.4500	-0.3917	-0.3917	-0.3417	-0.3983
灌区渠系水利用系数 Irrigation canal water use coefficient	-0.2286	-0.1571	-0.1571	-0.1571	-0.1143	-0.0857
灌溉水利用系数 Irrigation water use coefficient	-0.1000	-0.1500	-0.2167	-0.1500	-0.1500	-0.0667
灌溉水分生产效率 Irrigation water production efficiency	-0.5100	-0.3400	-0.3800	-0.2250	-0.1300	0.0650

续表 1

二级指标(指标层) Secondary index (index layer)	2007	2008	2009	2010	2011	2012
灌区农民人均纯收入 Per capita net income of farmers in the irrigation area	- 0.3806	- 0.3234	- 0.1997	- 0.0726	- 0.0137	0.0497
灌区收入支出比 Revenue expenditure proportion in the irrigation area	- 0.2589	- 0.1744	- 0.1611	- 0.2389	- 0.1178	- 0.0389
水费收入占总收入比例 Water accounted for revenue ratio	- 0.3714	- 0.2571	- 0.1714	- 0.0857	- 0.0571	- 0.1000
灌溉水质达标率 Irrigation water quality success rate	- 0.1333	- 0.1556	- 0.2111	- 0.2333	- 0.2611	- 0.2233
地下水相对埋深 The relative depth of groundwater	- 1.5600	- 1.7300	- 1.2600	- 0.4300	- 0.6500	- 0.8700
生态用水满足率 Ecological water satisfaction rate	- 0.1625	- 0.0875	- 0.0500	0.0750	0.0375	0.1375
盐碱化面积占有率 Salinization area share	- 2.2000	- 1.7500	- 0.8500	- 0.5500	- 0.3000	- 0.0500
灌区涝渍化面积占有率 Irrigation district waterlogged area share	- 1.4600	- 1.1200	- 0.8600	- 0.4800	- 0.3400	0.1200

表 2 洛惠渠灌区 4 个分级标准无量纲规范化评价矩阵

Table 2 Dimensionless normalized evaluation matrix of four classification standards in Luohuiqu irrigation district

二级指标(指标层) Secondary index (index layer)	优 Best	良 Good	中 Medium	差 Poor
灌水保证率 Irrigation assurance	0.0000	- 0.1250	- 0.2500	- 0.3750
单位控制面积供水量 Water supply unit control area	0.0000	- 0.1667	- 0.3333	- 0.5000
渠道配套率 Channel matching rate	0.0000	- 0.1667	- 0.3333	- 0.5000
建筑物配套率 Building matching rate	0.0000	- 0.1667	- 0.3333	- 0.5000
排水沟配套率 Drain matching rate	0.0000	- 0.1667	- 0.3333	- 0.5000
渠道衬砌完好率 Channel lining pipe rate	0.0000	- 0.1667	- 0.3333	- 0.5000
建筑物完好率 Building pipe rate	0.0000	- 0.1667	- 0.3333	- 0.5000
灌溉管理人员业务素质 Irrigation management professional quality	0.0000	- 0.1250	- 0.2500	- 0.3750
灌溉水费实收率 Irrigation water recovery efficiency	0.0000	- 0.1111	- 0.2222	- 0.3333
农民用水协会参与率 Farmers use water association participation rate	0.0000	- 0.1667	- 0.3333	- 0.5000
单位员工管理面积 Unit staff management area	0.0000	- 0.2500	- 0.5000	- 0.7500
政府支持程度 The government support	0.0000	- 0.1667	- 0.3333	- 0.5000
节水灌溉面积占有率 Water-saving irrigation area rate	0.0000	- 0.1667	- 0.3333	- 0.5000
灌区渠系水利用系数 Irrigation canal water use coefficient	0.0000	- 0.1429	- 0.2857	- 0.4286
灌溉水利用系数 Irrigation water use coefficient	0.0000	- 0.1667	- 0.3333	- 0.5000
灌溉水分生产效率 Irrigation water production efficiency	0.0000	- 0.2500	- 0.5000	- 0.7500
灌区农民人均纯收入 Per capita net income of farmers in the irrigation area	0.0000	- 0.2857	- 0.5714	- 0.8571
灌区收入支出比 Revenue expenditure proportion in the irrigation area	0.0000	- 0.1667	- 0.3333	- 0.5000
水费收入占总收入比例 Water accounted for revenue ratio	0.0000	- 0.1429	- 0.2857	- 0.4286
灌溉水质达标率 Irrigation water quality success rate	0.0000	- 0.1667	- 0.3333	- 0.5000
地下水相对埋深 The relative depth of groundwater	0.0000	- 1.0000	- 2.0000	- 3.0000
生态用水满足率 Ecological water satisfaction rate	0.0000	- 0.1250	- 0.2500	- 0.3750
盐碱化面积占有率 Salinization area share	0.0000	- 1.5000	- 4.0000	- 6.5000
灌区涝渍化面积占有率 Irrigation district waterlogged area share	0.0000	- 1.0000	- 2.0000	- 3.0000

通过基于灰色关联理论 - 密切值法的模型计算,根据公式(4)~(8)得到洛惠渠灌区在 2007—2012 年和 4 个分级标准的最优点和最劣点的欧式

距离及密切值,如表 3。

表 4 为灰色关联理论 - 密切值法与可拓评价法评价结果对比。由表可以看出,灰色关联理论 - 密

切值法和可拓评价法评价结果在 2007—2009 年洛惠渠灌区运行状况均为中等,2010—2012 年运行状况均为良好。灰色关联理论 - 密切值法与可拓评价法得到的洛惠渠灌区运行状况评价结果基本一致,随着时间的推移洛惠渠灌区运行状况越来越好,这符合洛惠渠灌区的实际情况,说明灰色关联理论 - 密切值法在大型灌区评价中是可行的。

4 结 论

密切值越小,即越优,由排序结果可知,洛惠渠灌区在 2007—2009 年运行状况为中级,2010—2012 年运行状况为良级,而可拓评价法评价结果 2007—2009 年运行状况为中等,2010—2012 年运行状况为良好,灰色关联理论 - 密切值法与可拓评价法评价结果基本一致,说明灰色关联理论 - 密切值法在灌区评价中是可行的,且该方法理解简单、可靠性高。

所得结果同时也符合洛惠渠灌区的实际情况,即随着时间的推移,洛惠渠灌区的运行情况越来越好。这是因为自 1999 年以来,政府相关部门持续地对灌区进行了节水与配套的改造,其中包括水源工程、输水设施、基础设施和配水系统等多方面,同时

对灌区的运行管理制度也不断加强,将现代化的信息技术投入管理之中,对灌区生态环境的重视程度也逐渐提高,节水改造措施的投入实施使得灌溉水得到更充分地利用,这些综合因素的影响,使得灌区的综合运行状况越来越好。

表 3 洛惠渠灌区在不同年份和 4 个分级标准所对应的欧氏距离和密切值

Table 3 Euclidean distances and osculating values of four classification standards in Luohuiqu irrigation district during different years

年份 Year	d_i^+	d_i^-	Y_i
2007	0.5541	0.1483	5.1238
2008	0.5199	0.1798	4.7421
2009	0.4426	0.2758	3.8396
2010	0.3694	0.3481	3.0147
2011	0.3194	0.3874	2.4679
2012	0.2221	0.5364	1.2868
优 Best	0.1033	0.6219	0.0000
良 Good	0.3639	0.2591	3.1052
中 Medium	0.5732	0.0943	5.3951
差 Poor	0.6653	0.0051	6.4299

表 4 灰色关联理论 - 密切值法与可拓评价法评价结果对比

Table 4 Comparisons of evaluation results between grey correlation theory-osculating value method and extension evaluation method

评价方法 Evaluation method	2007	2008	2009	2010	2011	2012
灰色关联理论 - 密切值法 Grey relation theory - osculating value method	5.1238 中 Medium	4.7421 中 Medium	3.8396 中 Medium	3.0147 良 Good	2.4679 良 Good	1.2868 良 Good
可拓评价法 Extension evaluation method	-0.1012 中 Medium	-0.101 中 Medium	-0.0794 中 Medium	0.0225 良 Good	0.1474 良 Good	0.1188 良 Good

参 考 文 献:

- [1] 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.
- [2] 张鹏国.基于可持续发展的油气田开发建设对生态环境影响的评价研究[D].西安:西安理工大学,2012.
- [3] 叶 珍.基于 AHP 的模糊综合评价方法研究及应用[D].广州:华南理工大学,2010.
- [4] 蔡 文.可拓论及其应用[J].科学通报,1999,44(7):673-682.
- [5] 迟到达,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.
- [6] 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.
- [7] 王文娟,王子彦,陈廷斌.基于密切值法的组合赋权多属性决策方法研究[J].数学的实践与认识,2008,38(13):32-38.
- [8] 郑保章,钱 琨,潘雄锋.基于密切值法模型的我国 31 个省市科技发展水平评价[J].科技管理研究,2008,28(7):172-175.
- [9] 刘思峰,郭天榜,党耀国.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,1999.
- [10] 王建鹏,崔远来,张笑天,等.基于灰色关联法的灌区用水户协会绩效综合评价[J].武汉大学学报(工学版),2008,41(5):40-44.
- [11] 朱秀珍,李远华,崔远来,等.运用灰色关联法进行灌区运行状况综合评价[J].灌溉排水学报,2004,23(6):44-48.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 游 黎,费良军,武锦华.基于集对分析法的大型灌区运行状况评价研究[J].干旱地区农业研究,2010,28(2):132-135.