

# 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

迟道才<sup>1</sup>, 马涛<sup>2</sup>, 李松<sup>3</sup>

(1. 沈阳农业大学水利学院, 沈阳 110161; 2. 辽宁省水利水电科学研究院 3S 信息研究所, 沈阳 110003;  
3. 东港市水利局, 东港 118300)

**摘要:** 针对目前灌区运行状况评价方法的不足, 引入改进的物元可拓评价方法。运用博弈论的综合赋权法将主客观权重和客观权重相结合, 克服了传统的可拓评价方法中单纯依靠指标数据赋权而忽略了指标自身对评价的重要性等弊端。在等级评定中, 通过计算等级变量特征值得到等级所属程度。运用上述方法对东港灌区运行状况进行评价研究, 结果与实际情况吻合良好, 表明将改进的可拓评价方法运用到灌区的综合评价中是合理可行的。

**关键词:** 灌区; 可拓评价; 博弈论; 权重; 简单关联函数

**中图分类号:** S274.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2008)-8-0036-04

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.

Chi Daocai, Ma Tao, Li Song. Application of extension assessment method based on game theory to evaluate the running condition of irrigation areas[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 36-39. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

灌区是中国粮食安全的基础保障, 也是国民经济可持续发展的重要支撑。做好灌区运行状况评价分析对于灌区续建配套与节水改造项目的建设与管理具有重要的意义。目前, 国内外很多学者已在灌区综合评价方面开展了大量的研究工作。佟玲在定性与定量分析的基础上, 建立了综合层次分析模型<sup>[1]</sup>, 然而该模型在进行评价指标处理时, 将评价系统内指标的最优值作为理想值, 因此得到的评价结果只是待评灌区运行状况的相对值。王顺久运用投影寻踪技术建立了灌区改造综合评价模型<sup>[2]</sup>, 利用该模型可以将灌区改造综合评价的多个指标投影为一投影特征值, 根据投影特征值的大小进行客观评价。姚杰应用主成分分析原理建立了灌区节水改造效益综合评价模型<sup>[3]</sup>, 通过各灌区的主成分得分大小对灌区进行排序。然而投影寻踪模型和主成分分析这两种方法都是对原始的评价指标数据进行一定的线性组合, 最后得出一个投影特征值和综合主成分得分, 这样必然会导致一部分信息的缺失, 从而降低评价结果的可信度。朱秀珍运用系统聚类分析的方法, 结合 SPSS 统计软件, 对灌区运行状况进行了分类排序<sup>[4]</sup>, 但没有对其进行进一步的等级归属。可拓评价方法是一种直接面向问题的数学处理方法, 它利用物元理论对事物的多个相关因素进行分析, 利用关联函数理论确定评价指标权重, 在此基础上建立可拓评价的物元模型的方法。目前, 可拓法已在综合评价<sup>[5-8]</sup>及优化决策<sup>[9-11]</sup>等领域中得到应用。然而其在理

论上仍存在一些不完善的地方, 导致其在评价过程中具有局限性。本文尝试用改进的物元可拓评价方法对灌区运行状况进行评价, 引入博弈论的方法将主观赋权法(专家打分法)和客观赋权法(简单关联函数法)相融合, 克服了传统的可拓评价方法中只运用简单关联函数确定指标权重时完全依赖样本数据的不足。

## 1 基于博弈论的改进可拓评价模型

### 1.1 可拓评价方法概述

可拓学(extenics)是中国学者蔡文于 20 世纪 80 年代初创立的新学科, 属数学、系统科学和思维科学的交叉学科。可拓学是形式化的工具, 从定性和定量两个角度去研究解决矛盾问题的规律和方法, 通过建立多指标参数的评定模型来完整地反映事物的综合水平, 其理论支柱是物元理论和可拓集合<sup>[12, 13]</sup>。

### 1.2 可拓评价方法的计算步骤

#### 1) 确定经典域和节域

为了描述客观事物的变化过程, 把解决矛盾的过程形式化, 可拓学引入了物元概念, 它是以事物  $N$ 、特征  $C$  及其量值  $V$  三者组成的有序三元组, 记作  $R = (N, C, V)$ 。不同事物可以具有相同的特征, 用同征物元表示。

设有  $m$  个灌区运行状况等级  $N_1, N_2, \dots, N_m$ , 建立相应的同征物元

$$R_0 = \begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \dots & N_m \\ C & V_1 & V_2 & \dots & V_m \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \dots & N_m \\ C_1 & \langle a_{11}, b_{11} \rangle & \langle a_{12}, b_{12} \rangle & \dots & \langle a_{1m}, b_{1m} \rangle \\ C_2 & \langle a_{21}, b_{21} \rangle & \langle a_{22}, b_{22} \rangle & \dots & \langle a_{2m}, b_{2m} \rangle \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_n & \langle a_{n1}, b_{n1} \rangle & \langle a_{n2}, b_{n2} \rangle & \dots & \langle a_{nm}, b_{nm} \rangle \end{bmatrix} \quad (1)$$

收稿日期: 2007-01-25 修订日期: 2008-04-20

基金项目: 水利部“948”科技创新项目(CT200516); 辽宁省教育厅科技公关项目(05L385)

作者简介: 迟道才(1964—), 男, 辽宁庄河人, 教授, 博士生导师, 主要从事灌溉排水与水资源方面的理论与技术研究。沈阳 沈阳农业大学水利学院, 110161。Email: daocaichi@vip.sina.com

式中  $R_0$  ——同征物元  $R_1, R_2, \dots, R_m$  的同征物元体;  $N_j$  ——所划分的第  $j$  个灌区运行状况评价等级;  $C_i$  ——第  $i$  个评价指标;  $V_{ij} = \langle a_{ij}, b_{ij} \rangle$  —— $N_j$  关于指标  $C_i$  所规定的量值范围, 即各类别关于对应的评价指标所取的数据范围经典域。

$$R_p = (P, C, V_p) = \begin{bmatrix} P & C_1 & V_{1p} \\ & C_2 & V_{2p} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{np} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & C_1 & \langle a_{1p}, b_{1p} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{2p}, b_{2p} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & \langle a_{np}, b_{np} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中  $P$  ——表示类别的全体;  $V_{ip}$  —— $P$  关于  $C_i$  所取的量值范围, 即  $P$  的节域。

2) 确定待评物元。对待评事物  $Q$ , 把收集到的灌区指标数据用物元

$$\begin{bmatrix} Q & C_1 & V_1 \\ & C_2 & V_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_n \end{bmatrix} \text{表示, 称为事物 } Q \text{ 的待评物元, 其}$$

中  $V_i$  为  $Q$  关于  $C_i$  的量值, 即待评灌区的具体数据。

3) 确定权系数。确定指标  $C_i$  的权系数为  $\alpha_i$ , 且

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1。$$

4) 确定待评事物关于各类别等级的关联度

$$K_j(v_i) = \begin{cases} \frac{\rho(v_i, V_{ij})}{\rho(v_i, V_{ip}) - \rho(v_i, V_{ij})} & x \notin [a_{ij}, b_{ij}] \\ -\rho(v_i, V_{ij}) & x \in [a_{ij}, b_{ij}] \end{cases} \quad (3)$$

其中

$$\rho(v_i, V_{ij}) = \rho(v_i, \langle a_{ij}, b_{ij} \rangle) = |v_i - (a_{ij} + b_{ij})/2| - (b_{ij} - a_{ij})/2$$

5) 计算待评事物  $p$  关于等级  $j$  的关联度

$$K_j(p) = \sum_{i=1}^n \alpha_i K_j(v_i) \quad (4)$$

6) 等级评定。若  $K_{j_0}(p) = \max_{j \in \{1, 2, \dots, m\}} K_j(p)$ , 则评定  $p$  属于等级  $j_0$ , 令

$$\overline{K_j(p)} = \frac{K_j(p) - \min_j K_j(p)}{\max_j K_j(p) - \min_j K_j(p)} \quad (5)$$

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \cdot \overline{K_j(p)}}{\sum_{j=1}^m \overline{K_j(p)}} \quad (6)$$

则称  $j^*$  为  $p$  的等级变量特征值。

### 1.3 基于博弈论的指标赋权法

传统的可拓评价法在确定指标权重时, 一般采用简

单关联函数法进行客观赋权<sup>[5,6,9]</sup>, 没有考虑指标本身对评价问题的重要性差异, 而在实际评价工作中, 评价指标的重要性差异是客观存在的, 并受到决策者的主观意愿影响。鉴于此, 本文采用文献[14]、文献[15]中提出的基于博弈论的综合赋权法, 将用简单关联函数得到的客观权重和用专家打分法得到的主观权重相融合。基于博弈论的综合赋权法的具体理论如下:

为了提高多属性权重赋值的科学性, 可使用  $L$  种方法对指标进行赋权, 由此构造一个基本的权重集  $u_k = \{u_{k1}, u_{k2}, \dots, u_{km}\}, k = 1, 2, \dots, L$ , 我们记这  $L$  个向量的任意线性组合为

$$u = \sum_{k=1}^L \alpha_k \cdot u_k^T \quad (\alpha_k > 0) \quad (7)$$

为了在可能的权重向量  $u$  中找到最满意的  $u_k^*$ , 我们将对式(7)中  $L$  个线性组合系数  $\alpha_k$  进行优化, 优化的目标是使  $u$  与各个  $u_k$  的离差极小化。这样便导出了下面的对策模型:

$$\min \left\| \sum_{j=1}^L \alpha_j u_j^T - u_i \right\|_2 \quad (i=1, 2, \dots, L) \quad (8)$$

根据矩阵的微分性质可知, 式(8)的最优化一阶导数条件可转化为下面的线性方程组:

$$\begin{bmatrix} u_1 \cdot u_1^T & u_1 \cdot u_2^T & \cdots & u_1 \cdot u_L^T \\ u_2 \cdot u_1^T & u_2 \cdot u_2^T & \cdots & u_2 \cdot u_L^T \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ u_L \cdot u_1^T & u_L \cdot u_2^T & \cdots & u_L \cdot u_L^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \cdot u_1^T \\ u_2 \cdot u_2^T \\ \vdots \\ u_L \cdot u_L^T \end{bmatrix} \quad (9)$$

计算求得  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_L)$ , 然后再对其进行归一化处理, 即

$$\alpha_k^* = \alpha_k / \sum_{k=1}^L \alpha_k \quad (10)$$

## 2 实例分析

辽宁省东港灌区始建于 1947 年, 是辽宁省大型灌区之一, 位于鸭绿江、大洋河下游, 黄海岸边, 该地区雨量充沛, 温度适宜, 土质肥沃, 是丹东市稻米的主要产区。灌区设计灌溉面积 49945 km<sup>2</sup>, 有效灌溉面积 38352 km<sup>2</sup>, 实际灌溉面积 37092 km<sup>2</sup>。东港灌区分为铁甲、友谊、孤山、合隆 4 个灌区, 由于合隆灌区面积较小, 故本文只对友谊、铁甲、孤山 3 个灌区进行分析研究。

本文以灌区为评价对象, 即事物  $N$ 。选取以下 7 个指标, 即田间工程配套率  $C_1$  (%), 渠系水利用系数  $C_2$ , 专业技术人员占员工比例  $C_3$  (%), 田间节水灌溉面积百分比  $C_4$  (%), 水价到位程度  $C_5$  (%), 单位灌溉用水量收益  $C_6$  (元/m<sup>3</sup>), 收入支出比  $C_7$  (%) 为事物的特征, 各特征对应的指标值为  $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7$ , 进而构造同征物元三元体。选取铁甲灌区, 友谊灌区, 孤山灌区为待测物元  $Q_1, Q_2, Q_3$ , 特征指标值如表 1 所示。设定好, 较好, 一般, 较差, 差 5 个等级为评定

等级  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5$ 。由于目前国内尚无一套公认的、比较权威的灌区运行状况评价标准可供参考,因此本文采用综合统计法,即以辽宁省大型灌区的统计资料为基础,以各评价指标中的最优值作为 1 级标准,最劣值作为 5 级标准,然后根据直线内插法确定该项指标的 2 级、3 级、4 级标准,再参照相关文献,并运用专家咨询法进行修订,最终确定一套灌区运行状况评价标准,见表 2。

表 1 东港三大灌区评价指标值

Table 1 Evaluation indexes values of three irrigation areas of Donggang

年份	灌区名称	评价指标值						
		$C_1$ /%	$C_2$ /%	$C_3$ /%	$C_4$ /%	$C_5$ /%	$C_6$ /元·m <sup>-3</sup>	$C_7$ /%
1997	铁甲	50	56	8.06	0	33	0.0243	89.5
	友谊	53	42	7.3	13.6	33	0.022	84.4
	孤山	30	57	2.3	0	33	0.0253	100.2
2004	铁甲	54	58	18	1.2	44	0.0287	93.5
	友谊	60	63	15.6	22.6	44	0.0293	86.9
	孤山	30	60	14.3	2.1	44	0.0285	90.2

表 2 灌区运行状况等级划分标准

Table 2 Indexes for defining different grade of irrigation areas running condition

评价指标	好	较好	一般	较差	差
	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
$C_1$ /%	85~100	70~85	55~70	40~55	0~40
$C_2$ /%	60~100	45~60	30~45	15~30	0~15
$C_3$ /%	70~100	55~70	40~55	25~40	0~25
$C_4$ /%	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20
$C_5$ /%	50~100	40~50	30~40	20~30	0~20
$C_6$ /元·m <sup>-3</sup>	0.04~0.1	0.03~0.04	0.02~0.03	0.01~0.02	0~0.01
$C_7$ /%	100~150	80~100	60~80	40~60	0~40

下面对东港 3 大灌区 1997 年、2004 年的运行状况进行综合评价。

1) 确定经典域、节域和待评物元

根据可拓评价方法的步骤,结合表 1、表 2 中数据,很容易确定经典域、节域及待评物元,受篇幅限制,这里省略其具体形式。

2) 确定指标权重系数

用简单关联函数确定的客观权重是由样本数据确定的,因此不同年份、不同灌区的同一指标权值也不相同。而用专家打分法确定的主观权重是由专家对该指标的重视程度及该指标自身的价值决定的,因此不同年份、不同灌区的同一指标的权值是相同的,具体结果见表 3、表 4。

由表 3、表 4 可以看出,用两种方法得到的权重有一定差异,按照式 (9) 将两者进行集化,用 Matlab 软件很容易求得  $\alpha_1^*, \alpha_2^*$ ,从而得到评价指标的综合权重值,见表 5。

3) 计算结果及等级评定

将表 5 中结果代入式 (3) ~ (6),得到各灌区 1997 年、2004 年运行状况综合评价结果,见表 6。

表 3 评价指标客观权重值

Table 3 Objective weight values of evaluation indexes

年份	灌区名称	评价指标						
		$C_1$ /%	$C_2$ /%	$C_3$ /%	$C_4$ /%	$C_5$ /%	$C_6$ /元·m <sup>-3</sup>	$C_7$ /%
1997	铁甲	0.176	0.060	0.254	0.132	0.127	0.147	0.103
	友谊	0.135	0.101	0.263	0.183	0.128	0.112	0.077
	孤山	0.226	0.076	0.197	0.151	0.145	0.175	0.030
2004	铁甲	0.152	0.094	0.188	0.208	0.121	0.127	0.111
	友谊	0.178	0.137	0.153	0.162	0.128	0.122	0.120
	孤山	0.215	0.096	0.157	0.204	0.103	0.112	0.114

表 4 评价指标主观权重值

Table 4 Subjective weight values of evaluation indexes

评价指标	$C_1$ /%	$C_2$ /%	$C_3$ /%	$C_4$ /%	$C_5$ /%	$C_6$ /元·m <sup>-3</sup>	$C_7$ /%
权重	0.106	0.192	0.091	0.122	0.149	0.192	0.149

表 5 评价指标综合权重值

Table 5 Comprehensive weight values of evaluation indexes

年份	灌区名称	评价指标						
		$C_1$ /%	$C_2$ /%	$C_3$ /%	$C_4$ /%	$C_5$ /%	$C_6$ /元·m <sup>-3</sup>	$C_7$ /%
1997	铁甲	0.148	0.113	0.188	0.128	0.136	0.165	0.122
	友谊	0.124	0.137	0.195	0.159	0.136	0.144	0.106
	孤山	0.183	0.117	0.159	0.141	0.146	0.181	0.072
2004	铁甲	0.130	0.141	0.141	0.166	0.135	0.158	0.129
	友谊	0.131	0.173	0.112	0.136	0.142	0.168	0.139
	孤山	0.167	0.139	0.128	0.168	0.123	0.147	0.130

表 6 东港灌区运行状况评价结果

Table 6 Evaluation results of running condition of Donggang irrigation areas

年份	灌区	各等级关联度						
		I	II	III	IV	V	$j_0$	$j^*$
1997	铁甲	-0.508	-0.367	-0.293	-0.314	-0.341	3	3.540
	友谊	-0.512	-0.373	-0.203	-0.150	-0.217	4	3.736
	孤山	-0.556	-0.448	-0.392	-0.430	-0.318	5	3.777
2004	铁甲	-0.418	-0.266	-0.261	-0.301	-0.284	3	3.416
	友谊	-0.306	-0.109	-0.100	-0.211	-0.266	3	2.959
	孤山	-0.457	-0.323	-0.317	-0.293	-0.200	5	3.780

由表 6 的评价结果可知,在 1997 年时,铁甲、友谊、孤山三个灌区的等级变量特征值  $j^*$  分别为 3.540, 3.736 和 3.777,铁甲灌区的运行状况为最好;而在 2004 年时,3 个灌区的等级变量特征值  $j^*$  分别为 3.416, 2.959, 3.780,友谊灌区的运行状况已超过铁甲灌区,评价结果与文献 [16] 中采用模糊综合评判法得到的评价结果基本一致,且本文方法进一步算出了待评灌区的所属级别及偏向该级别的程度。

东港灌区自1998年以来,开始施行灌区续建配套与节水改造项目建设,且投资重点放在友谊灌区上。经过几年的投资改造建设,友谊灌区的田间工程、渠道衬砌、运行管理等方面得到了很大的提高,因此其运行状况在2004年时已超过了铁甲灌区。而铁甲灌区运行状况一直很好,所以在灌区改造的前期工作中没有将之列入重点投资项目中。由于孤山灌区灌溉面积相对较小,所以这几年对其投资力度不大,因此其运行状况没有得到改进,仍处于相对的劣势状态。评价结果与实际情况相符,说明该方法用于灌区的运行状况评价是完全可行的。

### 3 结 论

1) 在总结目前灌区运行状况评价方法的基础上,引入了改进的可拓评价方法。该方法评价结果清晰明了,不仅给出了待评灌区所属的等级,而且给出了对该等级的所属程度,为灌区的运行状况评价开辟了一种新的、有效的途径;

2) 运用博弈论的方法将主观赋权法(专家打分法)和客观赋权法(简单关联函数法)集化、融合,克服了传统赋权过程中的主观影响和完全依靠指标数据而忽略了指标自身属性等弊端,使权重的确定更加合理,评判结果更加精确;

3) 该方法具有普遍性,也可用于其他领域的分类决策或评价优选问题,具有实用价值;

4) 由于目前尚未有一套权威、合理的灌区运行状况等级评价标准,如何确立灌区运行状况等级评价标准尚需进一步的研究。

#### [参 考 文 献]

[1] 佟 玲. 灌区运行管理评价及 GIS 的应用研究[D]. 武汉:

武汉大学, 2003.

- [2] 王顺久, 侯 玉, 张欣莉, 等. 灌区改造综合评价的投影寻踪模型[J]. 灌溉排水, 2002, 21(4): 32—34.
- [3] 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, (10): 106—111.
- [4] 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.
- [5] 王锦国, 周志芳, 袁永生. 可拓评价方法在环境质量综合评价中的应用[J]. 河海大学学报, 2002, 30(1): 15—18.
- [6] 朱 伟, 夏 霆, 姜谋余, 等. 城市河流水环境综合评价方法探讨[J]. 水科学进展, 2007, 18(5): 736—745.
- [7] 张龙云, 曹升乐. 物元可拓法在黄河水质评价中的改进及其应用[J]. 山东大学学报(工学版), 2007, 37(6): 91—94.
- [8] 孙廷容, 黄 强, 张洪波, 等. 基于粗集权重的改进可拓评价方法在灌区干旱评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 70—74.
- [9] 连建发, 慎乃齐, 张杰坤. 基于可拓方法的地下工程围岩评价研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(9): 1450—1453.
- [10] 徐宝根, 勋文聚. 土地资源配置的开拓目标规划模型及其应用初探[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 32—35.
- [11] 关 涛, 于万军, 慎勇扬, 等. 基于可拓评价方法的土地开发整理项目立项决策研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 71—75.
- [12] 李祚勇, 丁 晶, 彭荔红. 环境质量评价原理与方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [13] 邱卫根, 罗忠良. 物元可拓集集合性质研究[J]. 数学的实践与认识, 2006, 36(2): 228—233.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 马 涛, 迟道才, 李 松. 东港灌区运行状况综合评价研究[J]. 中国农村水利水电, 2006, (11): 14—16.

## Application of extension assessment method based on game theory to evaluate the running condition of irrigation areas

Chi Daocai<sup>1</sup>, Ma Tao<sup>2</sup>, Li Song<sup>3</sup>

(1. Shenyang Agricultural University, Water Resources College, Shenyang 110161, China; 2. 3S Information Research Institute, Liaoning Provincial Research Institute of Water Resources and Hydropower, Shenyang 110003, China; 3. Water Conservancy Bureau of Donggang City, Donggang 118300, China)

**Abstract:** Aiming at the deficiency of irrigation areas evaluation methods, the improved matter-element extension assessment method is introduced in this paper. The comprehensive weight determined method based on game theory integrates the subjective weight with objective weight, solving some problems occurred in traditional extension assessment method like index weight only depends on index data, ignoring the value attribute of index. In grade assessment, the deviation degree is gained through calculating the variable characteristic value. The running conditions of Donggang irrigation areas in 1997 and that of in 2004 are evaluated in this paper via the method of improved matter-element extension assessment, and the evaluation result of Donggang irrigation areas fits the actual condition finely. Through case evaluation, the method is proved reasonable and feasible in application to running condition evaluation of irrigation areas.

**Key words:** irrigation areas; extension assessment; game theory; weight; simple correlation function