

可拓物元分析方法在工业节水综合评价中的应用

佟长福¹, 李和平¹, 丁邵宇²

(1. 水利部 牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010020; 2. 内蒙古鄂托克水利局, 内蒙古 鄂尔多斯 016100)

摘要: 工业节水综合评价涉及到社会、经济和环境等诸多方面, 是一个特殊而复杂的过程。本文将物元分析理论和可拓学的相关理论相结合, 建立了工业节水的可拓物元评价模型。以鄂尔多斯市为例, 根据建立的评价模型对该地区的工业节水进行了全面的评价。结果表明: 该评价方法结构合理, 能够直观明确地反映鄂尔多斯市实际工业节水综合水平, 进而针对评价结果提出合理节水措施, 以提高工业节水水平, 具有推广应用价值。

关键词: 可拓物元; 工业节水; 综合评价

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)01-0147-05

Application of extensional matter element analytical method in comprehensive evaluation of industry water-saving

TONG Changfu¹, LI Heping¹, DING Shaoyu²

(1. Institute of Water Resources for Pastoral Area, Ministry of Water Resources, Huhhot 010010, China;

2. Water Conservancy Bureau of Etoke Banner, Erdos 016100, China)

Abstract: Industrial water-saving comprehensive evaluation is related to the aspects such as society, economy and environment, is a special and complex process. Combining the theory of matter element analysis with extension theory, the paper established extension matter element evaluation model of industrial water-saving. In the case of Xi'an, it comprehensively evaluated the situation of industrial water-saving in these areas according to the evaluation model. The results show that the method has reasonable structure and directly clear reflects industrial water-saving comprehensive level of Erdos City, then according to the evaluation results the paper put forward reasonable water-saving measures so as to improve industrial water saving level. It has application value for engineering projects.

Key words: extensional matter element; industry water-saving; comprehensive evaluation

工业综合节水的评价是一个多因素的综合评判问题。因此,需同时考虑多个方面、多个环节和多个因素。近20多年来,国内外学术界对综合评价技术进行了多方面的研究,综合评价方法也多种多样。综合评价的理论研究和实践活动均有较大发展,不断有新的评价方法提出,评价方法已从最初的经典评分法发展到模糊综合评价法(FCE)、主成分分析法(PCA)、数据包络分析法(DEA)等,其评价方法日趋复杂化、多学科化,对数学的运用也越来越深入。

经典评分法是通过各因素打分的方法,得出系统的总分数,根据总分给出评价结果,在实际应用中受到了一定的限制。模糊综合评价法(FCE)是模糊数学的一种应用方法,将一些边界不清,不易量化的因素量化,而工业节水评价指标体系中的几个指标均为量化指标,不适用于工业节水综合评价^[1-2]。主成

分分析法(PCA)是应用数理统计和线性代数知识,对样本量的要求较大,是根据样本指标来进行综合评价的,不适合对工业节水进行综合评价^[1-2]。数据包络分析法(DEA)对于输入、输出指标有较大的包容性,可以评价多输入多输出的大系统,评价时不需要预先给出权重,只评价单元的相对发展指标,无法表示出实际发展水平^[3]。根据工业节水的特点及物元分析理论专门解决矛盾问题的特性,本文选用了可拓物元评价模型对工业节水进行了综合评价。

1 可拓物元工业节水综合评价模型

可拓理论以物元为逻辑细胞,以物元理论和可拓集合为理论基石,通过物元和可拓集合两个新概念来描述事物属性及其转化,以及不具有某种性质的事物向具有某种性质的事物的转化过程^[4]。

收稿日期:2012-09-17; 修回日期:2012-10-12

基金项目:水利部公益性行业科研专项项目(200801034、201001039)

作者简介:佟长福(1979-),男,内蒙古呼伦贝尔人,工程师,博士,主要从事节水灌溉理论与技术的研究。

物元分析理论在很多领域的综合评判当中已经得到了成功的应用,例如在企业竞争力评价、城市经济可持续发展评价、土地利用可持续发展评价、水资源开发利用综合评价等方面的应用。将物元分析理论应用于工业节水综合评判问题,利用物元分析中的关联函数进行评判,可以全面合理地评判工业节水综合水平^[5]。

物元分析就是在可拓集合论的基础上,将复杂问题抽象为形象化的模型,并利用这些模型研究基本理论,提出相应的应用方法^[6]。利用物元分析方法,可以建立事物多指标多等级的性能参数质量评定模型,能以定量的数值来表示评定结果与各等级集合的关联度大小,并可据此判断出待评物元的所属级别,从而能够较完整地反映事物质量的综合水平,并易于用计算机进行规范化处理。

1.1 物元定义

给定事物的名征 N , 关于征 C 的量值为 V , 以有序的三元组作为描述事物的基本元, 记 $R = (N, C, V)$, 简称物元。物元的概念正确地反映事物与量之间的关系。一个事物有多个特征, 若事物 N 以 n 个特征 C_1, C_2, \dots, C_n 和相应的量值 V_1, V_2, \dots, V_n 来描述, 设 $R_1 = (N_1, C_1, V_1), R_2 = (N_2, C_2, V_2), \dots, R_k = (N_k, C_k, V_k)$ 为 k 个同征 (C_1, C_2, \dots, C_n) 物元, 则称 R 为 k 个同征物元 R_1, R_2, \dots, R_k 的同征物元体, 则物元可以表示为:

$$R = \begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \dots & N_k \\ C & V_1 & V_2 & \dots & V_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & N_1 & N_2 & \dots & N_k \\ C_1 & V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1k} \\ C_2 & V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ C_n & V_{n1} & V_{n2} & \dots & V_{nk} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: N 为 N_1, N_2, \dots, N_k 的全体, C 为事物的特征, C_1, C_2, \dots, C_n 为同征物元事物的 n 个特征, 其特征对应的量值 $V_{ij} (V_{ij})_{rock}$ 为同征物元阵。

1.2 经典域、节域

$$R_0 = \begin{bmatrix} N & N_{01} & N_{02} & \dots & N_{0k} \\ C & V_{01} & V_{02} & \dots & V_{0k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & N_{01} & N_{02} & \dots & N_{0k} \\ C_1 & [a_{11}, b_{11}] & [a_{12}, b_{12}] & \dots & [a_{1k}, b_{1k}] \\ C_2 & [a_{21}, b_{21}] & [a_{22}, b_{22}] & \dots & [a_{2k}, b_{2k}] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ C_n & [a_{n1}, b_{n1}] & [a_{n2}, b_{n2}] & \dots & [a_{nk}, b_{nk}] \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: R_0 为事物评价经典域物元体; C_i 为第 i 个评价指标; $V_{0ij} = [a_{ij}, b_{ij}] (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k)$ 分别为 N_{0k} 关于指标 C_i 所规定的取值范围, 即经典域。

$$R_p = [P, C, V_p] = \begin{bmatrix} P & C_1 & V_{1p} \\ & C_2 & V_{2p} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{np} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & C_1 & [a_{1p}, b_{1p}] \\ & C_2 & [a_{2p}, b_{2p}] \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & [a_{np}, b_{np}] \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: R_p 为评价节域物元; P 为评价事物的全体。 $V_{ip} = [a_{ip}, b_{ip}] (i = 1, 2, \dots, n)$ 为 P 关于指标 C_i 所规定的取值范围, 即节域。

1.3 待评物元

对待评的事物 Q , 把检测得到的数据或分析结果用物元表示, 称为事物 Q 的待评物元:

$$R_k = (Q, C, V) = \begin{bmatrix} Q & C_1 & V_1 \\ & C_2 & V_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: Q 为某事物; V_i 为 Q 关于 C_i 的量值, 即待评事物检测所得的具体数据。

1.4 距的计算

为定量描述物元的特征, 将时变函数中距离的概念拓展为距, 分别表示点与区间的距离, 计算公式为:

$$\rho(v_i, V_{ij}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{ij} + b_{ij}) \right| - \frac{1}{2}(b_{ij} - a_{ij}) \quad (5)$$

$$\rho(v_i, V_{ip}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{ip} + b_{ip}) \right| - \frac{1}{2}(b_{ip} - a_{ip}) \quad (6)$$

式中: $\rho(v_i, V_{ij}), \rho(v_i, V_{ip})$ 分别表示点 v_i 到经典域和节域的距。 $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。

1.5 关联函数值的计算

关联函数是表示物元的量值为实数轴上一点时, 物元符号对应等级取值范围的程度, 计算公式为:

$$K_j(v_i) = \begin{cases} -\frac{\rho(v_i, V_{ij})}{|V_{ij}|} & v_i \in V_{ij} \\ \frac{\rho(v_i, V_{ij})}{\rho(v_i, V_{ip}) - \rho(v_i, V_{ij})} & v_i \notin V_{ij} \end{cases} \quad (7)$$

式中: $K_j(v_i)$ 关联函数, 取值范围是整个实数轴, 是待评事物各指标关于各评价等级 j 的程度。

1.6 指标权重的确定

常用的确定指标权重的方法主要有两类: 主观

赋权法是根据其主观价值判断来指定指标权重的,多采用综合咨询评分的定性方法确定权重,主要有模糊综合评判法、德尔菲法和层次分析法等。客观赋权法是直接根据指标的原始信息经统计或数学处理后获得权数,依据各指标间的相关关系或变异程度来确定权数,如主成因分析法、因子分析法、熵权法、变异系数法、复相关系数法等。根据以上各种方法的优缺点和现有的条件,参考有关资料^[7],本文采用层次分析法确定指标的权重,该方法将人的主观判断用数量形式表达和处理以求得各指标的权,在一定程度上实现了定量与定性相结合,能较准确地确定指标的权重^[8]。

1.7 综合评价模型

$$K_j(P_0) = \sum_{i=1}^n w_{ij}K_j(v_i) \quad (8)$$

式中: $K_j(P_0)$ 表示评价对象 P_0 关于类别 j 的关联度; w_{ij} 表示各项评价指标所占权重。若 $K_j = \max K_j(P_0)$, $j = 1, 2, \dots, m$, 则待评对象 P_0 属于等级 j , 此时对于待评价事物的等级已确定, 并可以定量比较。

2 模型应用

在工业节水综合评价中,把鄂尔多斯市七旗一区的综合节水评价看成 8 个物元,然后根据所选择的工业节水综合评价指标体系,将每个行政单元看作一个物元进行分析,可以得出每个行政单元的工业节水综合水平。根据评价结果,得出每个行政单元总体用水水平,提出有针对性的改进措施。

2.1 数据来源

鄂尔多斯市的工业用水情况见表 1。数据来源于 2007 年鄂尔多斯市水资源统计公报。

表 1 鄂尔多斯市工业用水情况统计

行政单元	m ³ /万元, %, 元/m ³				
	万元产值取水量	万元增加值取水量	工业用水重复利用率	万元产值废水排放量	单方水节水投资
东胜区	43.5	58.1	61.5	20.9	21
达拉特旗	79.0	90.4	77.5	33.0	37
准格尔旗	40.4	48.4	65.9	17.7	16
鄂托克前旗	176.5	491.3	53.2	84.4	12
鄂托克旗	58.4	83.1	62.1	29.7	20
杭锦旗	56.9	73.5	65.8	28.9	14
乌审旗	41.9	50.1	57.5	19.7	19
伊金霍洛旗	44.1	52.9	53.9	22.8	16

2.2 指标标准化处理

因为指标的非同向性,在进行标准化时,采用极差化方法,可以在指标标准化的同时进行指标同向化^[9]。

对于正向指标,计算公式如下:

$$V'_{ij} = \frac{V_{ij} - \min V}{\max V - \min V} \quad (9)$$

对于逆向指标,计算公式如下:

$$V'_{ij} = \frac{\min V - V_{ij}}{\max V - \min V} \quad (10)$$

式中: V'_{ij} 为标准化指标; V_{ij} 为指标初始值, $\min V$ 为同一指标中最小值(取节域中的最小值), $\max V$ 为同一指标中最大值(取节域中的最大值)。根据公式(9)和(10)计算,指标标准化结果见表 2。

表 2 指标标准化结果

行政单元	万元产值取水量	万元增加值取水量	工业用水重复利用率	万元产值废水排放量	单方水节水投资
东胜区	0.69	0.97	0.36	0.86	0.84
达拉特旗	0.60	0.91	0.63	0.71	0.61
准格尔旗	0.70	0.99	0.43	0.90	0.91
鄂托克前旗	0.33	0.19	0.22	0.07	0.97
鄂托克旗	0.65	0.92	0.37	0.75	0.86
杭锦旗	0.66	0.94	0.43	0.76	0.94
乌审旗	0.70	0.98	0.29	0.88	0.87
伊金霍洛旗	0.69	0.98	0.23	0.84	0.91

2.3 经典域和节域

物元模型理论需要确定各指标的经典域和节域,并且指标标准化时需要用到最大值和最小值,因此首先需要确定各评价指标的节域。节域即是物元中各指标特征指标的取值范围。用 R_p 表示待评价的旗(区),用 C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 分别表示工业万元产值取水量、万元增加值取水量、工业用水重复利用率、万元废水排放量和单方水节水投资 5 个指标。

根据实际情况、有关资料^[10]和综合专家意见,得到工业节水指标的节域为:

$$R_p = [P, C, V_p]$$

$$= \begin{bmatrix} P & C_1 & V_{1P} \\ & C_2 & V_{2P} \\ & C_3 & V_{3P} \\ & C_4 & V_{4P} \\ & C_5 & V_{5P} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & C_1 & (300, 30) \\ & C_2 & (600, 40) \\ & C_3 & (40, 100) \\ & C_4 & (90, 10) \\ & C_5 & (80, 10) \end{bmatrix} \quad (11)$$

根据公式(9)、(10),将节域指标标准化处理后为:

$$R_p = [P, C, V_p]$$

$$= \begin{bmatrix} P & C_1 & V_{1P} \\ & C_2 & V_{2P} \\ & C_3 & V_{3P} \\ & C_4 & V_{4P} \\ & C_5 & V_{5P} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & C_1 & (0, 1) \\ & C_2 & (0, 1) \\ & C_3 & (0, 1) \\ & C_4 & (0, 1) \\ & C_5 & (0, 1) \end{bmatrix} \quad (12)$$

经典域是事物各属性变化的基本区间,由于指标

标准化采用的是极差化方法,则各指标值都化到(0,1)区间,在确定各事物属性的经典域时,可以将节域按照等级数进行平均分配,确定出各属性的经典域,见表3。

2.4 距的计算

以东胜区为例,根据公式(5)和(6)计算出各节

表3 指标经典域

m³/万元,%;元/m³

行政单元	万元产值取水量	万元增加值取水量	工业用水重复利用率	万元产值废水排放量	单方水节水投资
R ₀₁ (差)	(0,0.25)	(0,0.25)	(0,0.25)	(0,0.25)	(0,0.25)
R ₀₂ (一般)	(0.25,0.5)	(0.25,0.5)	(0.25,0.5)	(0.25,0.5)	(0.25,0.5)
R ₀₃ (好)	(0.5,0.75)	(0.5,0.75)	(0.5,0.75)	(0.5,0.75)	(0.5,0.75)
R ₀₄ (较好)	(0.75,1)	(0.75,1)	(0.75,1)	(0.75,1)	(0.75,1)

表4 指标经典域距和节域距

m³/万元,%;元/m³

行政单元	万元产值取水量	万元增加值取水量	工业用水重复利用率	万元产值废水排放量	单方水节水投资
$\rho(v_i, V_{ip})$	-0.307	-0.032	-0.358	-0.136	-0.157
$\rho(v_i, V_{1ij})$	0.443	0.718	0.108	0.614	0.593
$\rho(v_i, V_{2ij})$	0.193	0.468	-0.108	0.364	0.343
$\rho(v_i, V_{3ij})$	-0.057	0.218	0.142	0.114	0.093
$\rho(v_i, V_{4ij})$	0.057	-0.032	0.392	-0.114	-0.093

表5 关联函数值结果

m³/万元,%;元/m³

行政单元	万元产值取水量	万元增加值取水量	工业用水重复利用率	万元产值废水排放量	单方水节水投资
K ₁ (v _i)	-0.591	-0.957	-0.232	-0.818	-0.790
K ₂ (v _i)	-0.386	-0.935	0.433	-0.728	-0.686
K ₃ (v _i)	0.227	-0.871	-0.283	-0.455	-0.371
K ₄ (v _i)	-0.156	-0.032	-0.522	5.056	1.444

2.6 指标权重确定

本文邀请有关从事该领域的专家,采用1~9及其倒数的标度方法^[7]对每一个指标进行较客观的判断,经统计得到各个评判因素之间的重要程度的判断矩阵如下:

$$V = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 4 & 5 \\ 1 & 1 & 3 & 2 & 4 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{4} & 2 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & 4 & 1 & 3 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}$$

为了评价层次排序的有效性,还必须对判断矩阵的评定结果进行一致性检验。计算公式如下:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\lambda_{max} - n}{RI} \quad (13)$$

式中:CR为一致性指标,λ_{max}为最大特征值,RI为比例系数与判断矩阵的阶数n有关^[7]。

水指标经典域距和节域距 $\rho(v_i, V_{ij})$ 、 $\rho(v_i, V_{ip})$,分别表示点v_i与区间V_{ij}和V_{ip}的接近度。计算结果见表4。

2.5 关联函数值的计算

根据公式(7)计算关联函数值,结果见表5。

采用YAAHP层次分析软件求解,并通过一致性检验CR=0.0753<0.1,说明判断矩阵具有较好的一致性。各指标的权向量如下:

$$w = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5) = (0.3452, 0.3118, 0.1005, 0.1791, 0.0634)$$

2.7 评价结果

根据公式(8)计算综合评价值,结果见表6。

表6 综合节水评价计算结果

等级	K ₁ (差)	K ₂ (一般)	K ₃ (好)	K ₄ (较好)	所属等级
K _j (P ₀)	-0.7224	-0.5553	-0.3266	0.8806	较好

同理,其余6个旗的关联函数值、综合评价值的分析和评价方法与东胜区相同,为简便起见,具体的计算过程均未列出,只给出综合评价结果对照表。计算结果见表7。从表7中可知:鄂托克前旗工业综合节水水平为差,杭锦旗工业综合节水水平为一般,达拉特旗工业综合节水水平为好,其余旗(区)工业综合节水水平为较好。

表7 鄂尔多斯市工业节水综合评价结果

等级	K_1 (差)	K_2 (一般)	K_3 (好)	K_4 (较好)	所属等级
东胜区	-0.7224	-0.5553	-0.3266	0.8806	较好
达拉特旗	-0.6257	-0.4386	0.0142	-0.1853	好
准格尔旗	-0.7555	-0.6199	-0.3918	-0.2729	较好
鄂托克前旗	0.0242	-0.1548	-0.5720	-0.2535	差
鄂托克旗	-0.6613	-0.4580	-0.1382	0.0424	较好
杭锦旗	-0.6852	-0.1277	-0.1816	-0.5140	一般
乌审旗	-0.7255	-0.6030	-0.3818	0.9381	较好
伊金霍洛旗	-0.6939	-0.6114	-0.3625	0.0932	较好

3 结果分析

根据评价结果,提出有针对性的改进措施,以达到提高工业节水水平的目的。根据建立的评价指标体系,对鄂托克前旗和杭锦旗提出如下改进措施。

(1)降低万元产值取水量。发展规模性经营,有利于串联用水的组合和废水集中回用,合理利用水资源,提高水资源利用率,减少工业废水对环境的破坏,降低水处理及环境维护成本;限制缺水地区高用水项目上马,禁止引进高用水、高污染工业项目,淘汰高耗水工艺和设备,对企业的用水实行定额管理和考核,强化企业建立完善的水计量体系,以水定产,以水定发展。

(2)降低万元增加值取水量。通过技术改造等手段,加大企业节水工作力度,积极发展节水型的产业和企业,拟定行业用水定额和节水标准,对企业的用水进行目标管理和考核,促进企业技术升级、工艺改革,设备更新,促进各类企业向节水型方向转变。

(3)提高工业用水重复利用率。工业应根据用水的要求,发展循环用水系统、串联用水系统和回用水系统;发展水闭路循环工艺和分散式废水再生技术,以及循环冷却水处理技术;发展节水冷却技术和冷凝水的回收再利用技术,不但节水而且节能,冷凝水回收率是工业用水重复利用率的组成部分,因此,发展此项技术十分必要。

(4)降低万元产值废水排放量。推进清洁生产战略,加快污水资源化步伐,促进污水、废水处理回用,对废污水排放征收污水处理费,实行污染物排放

总量控制。采用新型设备和新型材料,提高循环用水浓缩指标,减少取水量。

(5)降低单方工业节水投资。完善节水法规体系和技术标准体系,制定规范性文件,形成合理的价格和激励机制,为节水工程投资的筹集建立投融资机制;建立节水激励机制,对节水先进单位进行表彰奖励。

除了上述两个旗外,其余6个旗(区)节水水平较高,改进措施主要是提高企业的节水意识和健全水价机制,加大污水资源化的科研和投资力度,使再生水回用量不断增加。

鄂尔多斯市工业节水要严格按照工业总体规划,对新发展的产业要从立项开始注意低耗水,量水而行,控制工业用水的发展趋势;建立合理的水价机制,健全法律监督机制;加大节水技术开发的人力物力投入,使节水形成产业和市场。

参考文献:

- [1] 叶义成,柯丽华,黄德育. 系统综合评价技术及其应用[M]. 北京:冶金工业出版社,2001:11-14.
- [2] 罗丁. 工业企业综合节水评价研究[D]. 北京:北京建筑工程学院,2008.
- [3] 虞晓芬,傅玳. 多指标综合评价方法综述[J]. 统计与决策,2004(11):119-121.
- [4] 林建华. 可拓物元模型在银行经营目标优度综合评价中的应用研究[J]. 绍兴文理学院学报,2008,28(8):21-26.
- [5] 俞峰,杨成梧. 物元分析方法在地下水质量综合评判中的应用[J]. 水资源与水工程学报,2005,16(2):3-38.
- [6] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京:科学技术出版社,1994.
- [7] 樊宏,戴良铁. 基于层次分析法的岗位评价报酬要素权重确定方法[J]. 价值工程,2004(7):55-57.
- [8] 蔡国梁,王作雷,黄斌,等. 多指标可拓综合评价方法在城市经济可持续发展评价中的应用[J]. 科技通报,2005,21(4):497-501.
- [9] 胡永红,贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [10] 龙腾锐,何强. 国内外城市节水技术概述[J]. 中国水工业科技与产业,2000(11):28-31.