

文章编号:1673-5005(2007)04-0098-04

灰色关联法在集输站库系统效能评价中的应用

杨德伟¹, 赵小明², 张爱艳³

(1. 中国石油大学 储运与建筑工程学院, 山东 东营 257061; 2. 中国石油大学 信息与控制工程学院, 山东 东营 257061;
3. 中国石油大学 计算机与通信工程学院, 山东 东营 257061)

摘要:为了能对集输站库系统的效能有一个全面、科学的评价,充分考虑了影响集输站库系统效能的各方面因素,通过指标的综合分析、比较,确定了集输站库系统效能的评价指标,并应用灰色关联分析方法对这些指标作综合灰色关联分析,实现了集输站库系统效能的多指标综合评价。应用此方法对胜利油田 8 座联合站进行了现状效能评价,给出了其效能排序结果。结果表明,该方法能切实可行地对油田集输站库系统效能进行科学、客观的多指标综合评价,最大限度地减少了评价过程中人为因素的影响。

关键词:灰色理论; 灰色关联分析; 效能评价; 集输站库
中图分类号:TE 09 **文献标识码:**A

Application of gray relation analysis method to efficiency evaluation of stations and tank farms in oil and gas gathering and transportation system

YANG De-wei¹, ZHAO Xiao-ming², ZHANG Ai-yan³

(1. College of Transport & Storage and Civil Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China;
2. College of Information and Control Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China;
3. College of Computer and Communication Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China)

Abstract: The every aspect of influencing factors of effectiveness of stations and tank farms in oil and gas gathering and transportation system was adequately considered. By the comparison of every factor, the factors of efficiency evaluation of this system were confirmed. Then gray relation analysis method was used in efficiency evaluation of this system. At the same time, eight oil and gas processing stations in Shengli Oilfield were evaluated by this method. The results of evaluation indicate that it's feasible to use gray relation analysis method in the efficiency evaluation of this system.

Key words: gray system theory; gray relation analysis; efficiency evaluation; stations and tank farms in oil and gas gathering and transportation

目前国内外油田对集输站库系统的效能没有一套完整、完善的评价体系。现行的油田集输站库的效能评价方法大都是通过计算一些指标,然后分析这些指标,人为地判断效能的优劣。在指标较少的情况下(1~2个)这种方法还行得通,但是油田集输站库效能受很多种因素的影响,如果要对站库效能做较全面的评估,就需要做多指标的评价。在这种多指标的情况下,现有评价方法不适用。针对这种情况,结合灰

色理论^[1]中的灰关联分析方法,笔者提出油田集输站库系统的灰色效能评价方法,并采用此方法对胜利油田的 8 座联合站进行现状效能评价。

1 灰色关联评价方法

1.1 总体思路

用灰色关联法评价站库系统效能,首先要选取合适的评价指标并确定每个指标的权重,然后选取

收稿日期:2006-12-29

作者简介:杨德伟(1964-),男(汉族),浙江诸暨人,教授,博士研究生,从事热力采油和热能工程方面的教学与研究工作。

待评价各站库每项指标的最优指标值组成最优指标序列,应用灰色关联理论计算各站库指标序列与最优指标序列的关联度,最后通过灰色关联度排序确定站库效能的优劣。

1.2 评价步骤

1.2.1 评价指标的选取

油田集输站库系统是一个复杂的系统^[2],有许多指标都反映了站库效能的优劣,其中有的可以量化,有的不可以量化。将所有的因素都罗列出来,并且确定它们之间的关系几乎是不可能的,这是一个典型的灰色系统,这也是选择灰色评价方法的原因。本文中在经过现场调研并与现场人员、专家交流的基础上选择了加热系统平均运行效率、泵机组平均运行效率、吨油耗燃料、吨油耗电、吨油耗药剂、吨油直接费用作为评价指标。

1.2.2 最优指标序列的确定

本文中以 $\{X_i^0(1), X_i^0(2), \dots, X_i^0(m), i=1, 2, \dots, n\}$ 来表示第 i 个站库的 m 项指标值,以 $\{X_0^0(1), X_0^0(2), \dots, X_0^0(m)\}$ 表示最优指标序列。最优指标序列中各值为各指标的最优值,如果指标值越大越好,则该指标的最优值就为最大值;反之为最小值。

1.2.3 指标序列的规范化处理

由于所选的评价指标具有不同的量纲、数量级,为了更好地进行直接比较,需要对原始指标值进行规范化处理,将其化为 $[0, 1]$ 内的数,一般采取如下公式:

$$X_i(k) = \frac{X_i^0(k) - \min_i X_i^0(k)}{\max_i X_i^0(k) - \min_i X_i^0(k)}, i=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

$$X_i(k) = \frac{\max_i X_i^0(k) - X_i^0(k)}{\max_i X_i^0(k) - \min_i X_i^0(k)}, i=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

指标值越大越优的情况下,采用式(1);指标值越小越优的情况下,采用式(2)。

1.2.4 灰色关联系数矩阵的确定

灰色关联评价法与模糊数学中的综合评价法以及数理统计中的相关分析法有很大区别。灰色关联分析法是一种新的分析系统中各因素相关程度的方法,它是以系统统计数列为依据,通过分析数列几何曲线的相似程度来确定它们之间的关系^[3]。本文中,首先对各指标数列进行规范化处理,然后以规范化处理后的最优指标序列 $\{X_0^0(1), X_0^0(2), \dots, X_0^0(m)\}$ 作为参考数列,以待评价的站库指标序列 $\{X_i^0(1), X_i^0(2), \dots, X_i^0(m), i=1, 2, \dots, n\}$ 作为比较数列,分别计算第 i 座站库的第 k 项指标与对应最优指标的关联系数 $\zeta_{ik} (i=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, m)$ 。 ζ_{ik} 的计算式如下:

$$\zeta_{ik} = \frac{\min_k \min_i |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_k \max_i |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_k \max_i |X_0(k) - X_i(k)|} \quad (3)$$

式中, ρ 为分辨系数,取值为 $[0, 1]$,一般情况下 ρ 取为0.5。

经过式(3)的处理,得到如下灰色关联系数矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} \zeta_{11} & \zeta_{12} & \dots & \zeta_{1m} \\ \zeta_{21} & \zeta_{22} & \dots & \zeta_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \zeta_{n1} & \zeta_{n2} & \dots & \zeta_{nm} \end{bmatrix}$$

1.2.5 各评价指标权重的确定

由于各指标对系统效能影响程度不同,因此需要确定各指标的权重。指标权重的确定方法选择的是层次分析法。层次分析法对各评价指标之间相对重要程度的分析更具逻辑性,刻画更仔细,再加上数学处理,可信度较高^[4]。另外,层次分析法的最大优点在于通过一致性检验^[5],保持专家思想逻辑上的一致性^[6],其步骤是,首先将一个待评价系统按其内在的逻辑关系,把评价指标组成一个层次结构;然后聘请有关专家、现场技术人员构造层次分析法的判断矩阵,并通过一致性检验;最后计算评判矩阵的特征值和与之对应的特征向量,将特征向量做归一化处理后可得到权重序列 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$ 。油田站库效能层次结构如图1所示。

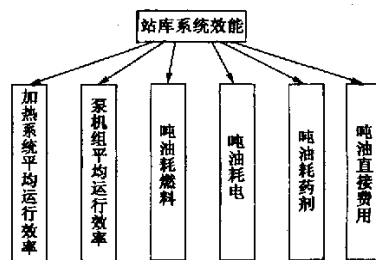


图1 油田站库效能层次结构

1.2.6 评价结果

在灰色关联系数矩阵和各指标权重确定的基础上,可求出评判结果如下:

$$P = \omega R.$$

式中, $P = (r_1, r_2, \dots, r_n)$ 表示 n 个站库的评价结果矩阵,而其中的 r_i 表示第 i 个站库的评价结果,计算如下:

$$r_i = \sum_{k=1}^m \omega_k \zeta_{ik} \quad (4)$$

从而根据 $r_i (i=1, 2, \dots, n)$ 的大小, 可以得到各站库的效能优劣顺序。

2 应用实例

2.1 计算实例

应用以上灰色评价方法对胜利油田 8 座联合站进行现状效能评价, 采用了第一步确定的 6 项评价指标。首先, 应用式(1), (2)对 8 座联合站的 6 项指标原始数据(表 1)做无量纲规范化处理, 得到比较序列 $\{X_i^0(1), X_i^0(2), \dots, X_i^0(6), i=1, 2, \dots, 8\}$ 和

表 1 8 座联合站的原始数据

编号	加热系统平均运行效率 $\eta_1/\%$	泵机组平均运行效率 $\eta_2/\%$	吨油耗燃料 /kg	吨油耗电 /(kW·h)	吨油耗药剂 /0.1 kg	吨油单耗 /元
1	71.6	46.3	2.08	1.65	1.71	4.62
2	65.9	45.6	3.47	1.72	1.41	5.73
3	62.3	38.1	5.27	1.16	1.58	7.43
4	75.4	52.8	5.89	4.01	2.14	10.04
5	62.6	69.8	0.79	0.73	0.09	1.25
6	68.8	46.9	6	6.26	0.88	10.1
7	68.3	35.7	6.4	1.74	1	8.27
8	77.1	48.5	3.8	4.43	0.1	5.97

表 2 无量纲化后的比较序列和参考序列 $x_i(k)$

i	k					
	1	2	3	4	5	6
0	1	1	1	1	1	1
1	0.6284	0.3109	0.7701	0.8336	0.2098	0.6192
2	0.2432	0.2903	0.5223	0.821	0.3561	0.4938
3	0	0.0704	0.2014	0.8409	0.2732	0.3017
4	0.8851	0.5015	0.0909	0.4069	0	0.0068
5	0.0203	1	1	1	1	1
6	0.4392	0.3284	0.0713	0	0.6146	0
7	0.4054	0	0	0.8174	0.5561	0.2068
8	1	0.3754	0.4635	0.349	0.9951	0.4667

表 3 灰色关联系数矩阵 R

i	k					
	1	2	3	4	5	6
1	0.5736	0.4205	0.685	0.7503	0.3875	0.5677
2	0.3978	0.4133	0.5114	0.7364	0.4371	0.4969
3	0.3333	0.3497	0.385	0.7586	0.4076	0.4173
4	0.8132	0.5007	0.3548	0.4574	0.3333	0.3348
5	0.3379	1	1	1	1	1
6	0.4713	0.4268	0.35	0.3333	0.5647	0.3333
7	0.4568	0.3333	0.3333	0.7325	0.5297	0.3866
8	1	0.4446	0.4824	0.4344	0.9903	0.4839

把表 3 的数据代入式(4)可以得到灰色关联评价的结果(表 4)。

参考序列 $\{X_0^0(1), X_0^0(2), \dots, X_0^0(6)\}$, 参考序列的每项值都是每项评价指标的最优值, 无量纲化处理后的参考序列和比较序列见表 2。

取分辨系数 $\rho = 0.5$, 把表 2 中的数据代入式(3)计算灰色关联系数 $\zeta_{ik} (i=1, 2, \dots, 8; k=1, 2, \dots, 6)$, 可以得到灰关联系数矩阵 R (表 3)。然后应用层次分析法^[5]对油田站库效能层次结构图进行分析计算, 构造评判矩阵, 可以得到各指标的权重序列 ω 。经计算, 对应指标 k 为 1, 2, 3, 4, 5, 6, 权重 ω_k 分别为 0.246, 0.172, 0.114, 0.110, 0.096, 0.262。

表 4 站库效能灰色评价结果

联合站 i	灰色综合效能关联度 r_i	顺序
1	0.56	3
2	0.4804	5
3	0.4180	7
4	0.4967	4
5	0.8371	1
6	0.4075	8
7	0.4404	6
8	0.6471	2

2.2 结果分析

表 3 中每一列的数值是各项指标与最优指标的关联度, 值越大说明该站的该项指标值与最优指标值越接近, 反之, 说明该站的该项指标值与最优指标值差距较大。从表 3 中可看出每个站的具体的每项指标的优劣程度。表 4 中的灰色效能综合关联度是经过灰色综合指标分析的结果, 灰色综合效能关联度的取值范围在 0~1, 最优指标的值为 1, 计算结果的大小反映了与最优指标的关联度大小, 也反映了与最优指标的接近程度, 值越接近于 1, 说明此站库系统的效能越接近于最优值, 由此就可以看出 8 座联合站的效能的优劣顺序。

3 结 论

(1)集输站库系统的灰色关联效能评价方法采用了灰色理论作为科学计算的理论依据,有效地减少了站库系统效能评价中人为因素的影响,使这种多指标的综合评价更具有科学性,实现了站库系统效能的科学、客观的多指标评价,有一定的实用性和可操作性。

(2)该评价方法应用灰色关联的分析方法,不仅能从给出的结果关联系数矩阵中看出各站每一项具体指标的优劣,而且又把影响集输站库系统效能的各方面的指标因素综合量化为一个指标——灰色综合关联度,能直观地看出各站库的总体效能优劣,从而为管理者和决策者提供科学依据。

参考文献:

- [1] 邓聚龙. 灰色理论教程[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1992.
- [2] 冯叔初. 油气集输[M]. 东营:石油大学出版社,1988.
- [3] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 2版. 北京:科学出版社,1999.

- [4] 王靖,张金锁. 综合评价中确定权重向量的几种方法比较[J]. 河北工业大学学报,2001,30(2):52-57.
WANG Jing, ZHANG Jin-suo. Comparing several methods of assuring weight vector in synthetical evaluation[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2001,30(2):52-57.
- [5] 钟美. 层次分析法在评价某企业报酬要素权重中应用[J]. 昆明理工大学学报:理工版,2004:29(1):137-141.
ZHONG Mei. Application of analytic hierarchy process to determining the weights of reward factors in some enterprises[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology(Science and Technology), 2004:29(1):137-141.
- [6] 洪少朋. 利用层次分析法确定农业科技进步因素的权重[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2002,3(2):24-26.
HONG Shao-peng. Application of arrangement analytical method to work out the proportions of the agriculture technical progressing factors[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Science), 2002,3(2):24-26.

(编辑 沈玉英)

(上接第93页)

- [6] 李诗久. 工程流体力学[M]. 北京:机械工业出版社,1980:224-230.
- [7] 孙尚勇. 流体力学与流体机械[M]. 北京:煤炭工业出版社,1991:96-103.
- [8] STREETER V L, WYLIE E B. 流体力学[M]. 周均长,郝中堂,冯士明,等,译. 北京:高等教育出版社,1987:306-313.

- [9] 刘金世. 电动潜油泵导叶轮流道检测仪的设计[J]. 石油机械,2005,33(1):40-42.
LIU Jin-shi. Design of the flow-path inspecting instrument of idler pulleys and impellers of electric submersible pumps[J]. China Petroleum Machinery, 2005,33(1):40-42.

(编辑 沈玉英)

(上接第97页)

- [4] 王福军. 计算流体动力学分析——CFD软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [5] 李宾飞. 泵下液砂旋流分离器数值模拟研究[D]. 东营:石油大学石油工程学院,2004.
- [6] 李白力. 除油水力旋流器流动规律及分离性能数值模拟研究[D]. 东营:石油大学储运与建筑工程学院,2002.
- [7] 徐继润,罗茜. 水力旋流器流场理论[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [8] 庞学诗. 水力旋流器工艺计算[M]. 北京:中国石化出版社,1997.

- [9] 任连城,梁政,钟攻祥,等. 基于CFD的水力旋流器流场模拟研究[J]. 石油机械,2005,33(11):15-17.
REN Lian-cheng, LIANG Zheng, ZHONG Gong-xiang, et al. CFD-based simulation of flow field of hydrocyclones[J]. China Petroleum Machinery, 2005,33(11):15-17.
- [10] 贺会群,杨振会,吴刚,等. 油水旋流分离器流场模拟分析与研究[J]. 石油机械,2005,33(12):1-5.
HE Hui-qun, YANG Zhen-hui, WU Gang, et al. Flow field simulation on oil and water cyclone separator based on CFD[J]. China Petroleum Machinery, 2005,33(12):1-5.

(编辑 沈玉英)