

文章编号:1673-5005(2006)01-0146-04

一种基于熵权多目标决策和人工神经网络的 炼油企业绩效评价方法

宋杰鲲, 张在旭, 张晓慧

(中国石油大学 经济管理学院, 山东 东营 257061)

摘要:提出了一种基于熵权多目标决策的逼近理想解法(TOPSIS)和人工神经网络(ANN)的炼油企业绩效评价方法,以熵权 TOPSIS 的企业绩效评价结果作为学习样本,对神经网络进行训练、测试,进而对指标加以赋权,最终得到了企业绩效综合评判式,并将其用于炼油企业绩效评价。实例分析结果表明,该方法科学有效、实际可行,具有一定的智能性,为炼油企业绩效评价提供了一种新的途径。

关键词:炼油企业;绩效评价;熵技术;多目标决策的逼近理想解法;人工神经网络;综合评价

中图分类号:N 945.16 **文献标识码:**A

An approach based on entropy-weighted technique for order preference by similarity to ideal solution and artificial neural network for oil refining enterprises performance evaluation

SONG Jie-kun, ZHANG Zai-xu, ZHANG Xiao-hui

(College of Economic Administration in China University of Petroleum, Dongying 257061, China)

Abstract: An approach based on entropy-weighted technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) method and artificial neural network (ANN) was proposed for oil refining enterprises performance evaluation. Using the results of entropy-weighted TOPSIS method as learning sample to train and test the artificial neural network, the weight of performance indicator and a synthetic evaluation formula were obtained. The oil refining enterprises performance evaluation was calculated by the formula. An example testifies the efficiency, practicability and intellectual ability of the method.

Key words: oil refining enterprises; performance evaluation; entropy technology; technique for order preference by similarity to ideal solution method; artificial neural network; synthetic evaluation

加入 WTO 以后,我国的炼油企业面临着前所未有的全球性竞争,如何新的国际市场环境中健康发展,提高企业经营业绩,增强企业竞争能力,是每一个炼油企业亟待解决的重要课题。企业绩效评价是企业根据自身的战略规划和发展目标,运用一定的手段和方法,按照既定的指标体系和评价标准,对企业的发展状况进行全面评价^[1],以利于企业寻求自身的优势及不足,为挖掘今后发展潜力提供依据。笔者将多目标决策的逼近理想解法(technique for order preference by similarity to ideal solution, TOPSIS)与人工神经网络(ANN)相结合,提出一种

新的炼油企业绩效评价方法。

1 基于熵权 TOPSIS 的绩效评价

1.1 TOPSIS

TOPSIS 是一种用于企业绩效评价的简易方法^[2],基本原理是借助于多目标决策问题的“正理想点”和“负理想点”来排序,以确定评价单元的优劣。其基本步骤如下:

(1)对 n 个评价单元 p 个评价指标进行综合评价(如果 p 个指标中有逆向指标,则将其正向化),原始数据矩阵表示为

收稿日期:2005-06-30

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(Y2003H01)

作者简介:宋杰鲲(1979-),男(汉族),山东莱阳人,博士研究生,从事油气工程管理方面的研究。

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1^T \\ \mathbf{x}_2^T \\ \vdots \\ \mathbf{x}_n^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix}$$

(2) 对原始数据归一化,得到 $\mathbf{Z} = [z_{ij}]_{n \times p}$ 。其中

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^n x_{ij}^2\right)^{1/2}}, j = 1, 2, \dots, p. \quad (1)$$

(3) 对 \mathbf{Z} 阵中元素进行加权: $u_{ij} = w_j z_{ij}$ 。其中, w_j 满足 $0 \leq w_j \leq 1, \sum_{j=1}^p w_j = 1$, 得加权规范化决策阵:

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_1^T \\ \mathbf{u}_2^T \\ \vdots \\ \mathbf{u}_n^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1p} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2p} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \cdots & u_{np} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

(4) 由各项指标最优值和最劣值分别构成正理想点 \mathbf{u}^+ 和负理想点 \mathbf{u}^- :

$$\mathbf{u}^+ = (u_1^+, u_2^+, \dots, u_p^+), \mathbf{u}^- = (u_1^-, u_2^-, \dots, u_p^-).$$

其中

$$u_j^+ = \max\{u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{nj}\},$$

$$u_j^- = \min\{u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{nj}\}, j = 1, 2, \dots, p.$$

(5) 计算各评价单元与负理想点 \mathbf{u}^- 的相对接近度:

$$d_i = \frac{\langle \Delta \mathbf{u}_i, \Delta \mathbf{u}^- \rangle}{\|\Delta \mathbf{u}_i\|^2}, i = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

其中

$$\Delta \mathbf{u} = \mathbf{u}^+ - \mathbf{u}^-; \Delta \mathbf{u}_i = \mathbf{u}_i - \mathbf{u}^-, i = 1, 2, \dots, n.$$

TOPSIS 是一种按相对接近度 d_i 大小来权衡评价对象综合效益的评价方法, d_i 值越大, 对象的综合效益越好。

1.2 熵技术

在 TOPSIS 中, 权系数 w_j 的确定有多种方法, 如均权法、离差权法、专家咨询法、最优权法、熵技术法等^[3]。均权法赋予每个无量纲化指标同样的重要程度, 离差权法以每一项指标的样本标准差作为该项指标的权数, 而最优权法则是在构造全部无量纲化指标的加权线性函数基础上, 按该函数的样本方差最大为准则来确定权数。

与上述方法不同的是, 熵技术(熵权法)不单纯是建立在概率的基础之上, 它以决策者预先确立的偏好权系数为基础, 将决策者的主观判断与待评对象的固有信息有机结合起来, 实现了主客观的统

一^[4]。熵实质上就是对系统状态不确定性的一种度量, 当系统处于 m 种不同状态, 每种状态出现的概率为 $P_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 时, 评价该系统的熵为

$$E = -K \sum_{i=1}^m P_i \ln P_i, 0 \leq P_i \leq 1, \sum_{i=1}^m P_i = 1.$$

式中, K 为正常数。

熵具有极值性, 当系统状态为等概率时, 即 $P_i = 1/m$ 时, 熵值最大。熵值越大, 代表指标在问题中提供的信息量越小, 因此可利用熵来衡量某一评价指标对评价对象的影响程度, 即权数。

利用熵技术来确定各评价指标的权系数, 步骤如下:

(1) 对规范化决策阵 $\mathbf{Z} = [z_{ij}]_{n \times p}$ 求 P_{ij}

$$P_{ij} = \frac{|z_{ij}|}{\sum_{i=1}^n |z_{ij}|}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p.$$

(2) 求第 j 个指标输出的熵

$$E_j = -K \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij}, j = 1, 2, \dots, p.$$

其中 $K = (\ln n)^{-1}$ 。因为 $0 \leq P_{ij} \leq 1$, 所以

$$0 \leq -\sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \leq \ln n, 0 \leq E_j \leq 1, j = 1, 2, \dots, p.$$

(3) 求偏差度

$$d_j = 1 - E_j, j = 1, 2, \dots, p.$$

从而可得各目标的客观权系数, 即决策者没有明显偏好时的权系数为

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^p d_j}.$$

(4) 利用客观权系数 w_j 修正决策者预先偏好的主观权系数 τ_j , 得到较为准确的估计

$$w'_j = \frac{\tau_j w_j}{\sum_{j=1}^p \tau_j w_j}.$$

2 基于神经网络的绩效评价

人工神经网络具有分布并行处理、非线性映射、自适应学习、联想记忆和鲁棒容错等特性, 特别是 BP 网络, 在理论上能以任意精度拟合任意非线性函数^[5], 因此在模式识别、函数拟合、数据压缩、控制优化、最优预测以及系统辨识等领域有着广泛应用。本文中应用神经网络进行指标赋权的步骤如下:

(1) 对评价指标数据进行归一化预处理, 使其在 $[-1, 1]$ 区间内。

$$\begin{cases} x_{ij}^* = \frac{2(x_{ij} - \min_{i=1, \dots, n} x_{ij})}{\max_{i=1, \dots, n} x_{ij} - \min_{i=1, \dots, n} x_{ij}} - 1, \\ d_i^* = \frac{2(d_i - \min_{i=1, \dots, n} d_i)}{\max_{i=1, \dots, n} d_i - \min_{i=1, \dots, n} d_i} - 1, \\ i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, p. \end{cases} \quad (4)$$

(2) 以 $p \times m$ 维矢量 $x_i^* = (x_{i1}^*, x_{i2}^*, \dots, x_{ip}^*)$ 为输入, 其中 $x_i^* = (x_{i1}^*, x_{i2}^*, \dots, x_{ip}^*)^T$, $m < n, 1 \times m$ 维矢量为输出, 隐含层取 r 个隐节点, 建立 3 层前馈型 BP 网络, 即网络结构为 $p-r-1$ 。隐含层和输出层的传递函数分别取正切 Sigmoid 函数和线性函数, 应用动态梯度下降法对权值和阈值进行调整, 应用网络推广能力较好的贝叶斯正则化算法对网络进行训练。

(3) 应用所建网络对包含有 m 个样品的训练样本进行仿真, 并对训练输出矢量 d 进行反归一化恢复:

$$\tilde{d}_i = 0.5(\hat{d}_i + 1)(\max d_i - \min d_i) + \min d_i.$$

(4) 对网络的仿真输出和目标矢量进行线性回归, 得到目标矢量对网络输出的相关系数, 检验网络性能优劣。若相关性较差, 则调整隐节点数、训练周期、目标误差等, 直至训练结果满意。

(5) 将测试输入矢量 $x_p^* = (x_{m+1}^*, x_{m+2}^*, \dots, x_n^*)$ 置于网络中, 进行仿真预测, 得到预测输出矢量并进行反归一化, 将该结果与 $d_p^* = (d_{m+1}^*, d_{m+2}^*, \dots, d_n^*)$ 进行线性回归, 计算相关系数以检验网络推广能力。

(6) 如果测试通过, 输出输入节点到隐层各节点的权重 $\mu_{jk}, j = 1, \dots, p; k = 1, \dots, r$ 。各输入节点到隐层各节点的权重绝对值之和的归一化结果:

$$\mu_j = \frac{\sum_{k=1}^r |\mu_{jk}|}{\sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^r |\mu_{jk}|}, j = 1, 2, \dots, p$$

就是各指标对应的权值(具体证明见文献[6]); 否则, 通过调整训练样本 m 、隐节点数、训练周期、目标误差等重建网络进行训练、测试, 直到满意为止。

这样, 就得到了如下企业绩效评价综合公式:

$$V_i = \sum_{j=1}^p \mu_j x_{ij}, i = 1, 2, \dots, n.$$

3 炼油企业绩效评价实例

选择国内石油公司与 SOLOMON 公司合作建立的炼油企业绩效评价指标体系中的 6 项综合指

万方数据

标, 即投资资本回报率 $X_1(\%)$ 、操作费用增值指数 $X_2(\text{元}/\text{元})$ 、人工费用增值指数 $X_3(\text{元}/\text{元})$ 、资产增值指数 $X_4(\text{元}/(\text{UEDC} \cdot d))$ 、人工费用指数 $X_5(\text{元}/(\text{EDC} \cdot d))$ 和操作费用指数 $X_6(\text{元}/(\text{UEDC} \cdot d))$, 其中 EDC 表示当量蒸馏能力, UEDC 表示已利用当量蒸馏能力, 对某石油公司下属的 21 家炼油企业进行绩效评价。首先应用熵权 TOPSIS 方法对炼油企业进行初始绩效评价, 具体指标数据见表 1, 其中人工费用指数和操作费用指数是逆向指标, 取其相反数变为正向指标。

表 1 绩效评价指标原始数据

企业代号	投资资本回报率 X_1	操作费用增值指数 X_2	人工费用增值指数 X_3	资产增值指数 X_4	人工费用指数 X_5	操作费用指数 X_6
1	5.33	3.39	31.69	3.68	-0.1	-1.08
2	-10.34	3.55	20.93	4.57	-0.16	-1.29
3	-1.14	2.71	32.45	3.54	-0.08	-1.31
4	-12.62	1.83	18.33	2.49	-0.1	-1.36
5	-4.15	1.89	40.18	2.7	-0.05	-1.43
6	-11.76	2.53	20.25	3.97	-0.17	-1.57
7	-8.61	2.86	9.98	4.78	-0.31	-1.67
8	0.11	3.92	31.64	6.67	-0.14	-1.7
9	9.58	4.23	40.86	7.63	-0.13	-1.81
10	14.65	4.71	51.29	9.22	-0.13	-1.96
11	-14.57	2.64	21.1	6.5	-0.19	-2.46
12	-12.12	1.6	24.43	5.4	-0.11	-3.37
13	2.64	2	36.03	6.97	-0.14	-3.48
14	-4.26	1.65	10.53	8.11	-0.43	-4.93
15	19.05	4.29	30.08	7.38	-0.14	-1.74
16	-1.08	2.07	33.52	4.01	-0.09	-1.94
17	1.71	3.23	22.62	4.32	-0.11	-1.76
18	-15.26	1.84	12.18	2.16	-0.14	-1.4
19	-0.27	3.57	19.55	3.7	-0.13	-1.24
20	9.34	2.81	23.18	5.81	-0.16	-2.09
21	4.71	3.42	22.02	4.87	-0.16	-1.57

按式(1)对原始数据进行归一化, 得规范化决策矩阵 Z 。由熵技术计算得到指标输出熵

$$E = (0.9015, 0.9833, 0.9745, 0.9773, 0.9627, 0.9713),$$

进而可求得各指标客观权系数

$$W^* = (0.4294, 0.0727, 0.1112, 0.0989, 0.1626, 0.1252).$$

为简便计算, 认为决策者无明显偏好, 即不考虑权系数的修正问题, 按照式(2)计算加权规范化决策阵 U 。最后, 由式(3)给出各企业对负理想点的相对接近度 d_i , 评价结果见表 2。

对表 2 中的原始数据按式(4)进行预处理, 结果见表 3。

以表 3 中前 16 组数据作为输入矢量, 表 2 中前 16 组评价结果作为输出矢量, 隐节点数取 3, 建立 3

层 BP 网络,即网络结构为 6-3-1。应用 Matlab 中的 trains 训练函数进行网络训练^[7],训练周期 200 次,目标误差为 0.0001;应用后 5 组数据进行测试验证,最终得到训练和测试线性回归结果如图 1 和图 2 所示(图中直线均表示最佳拟合直线)。其中训练线性回归最佳拟合直线方程为 $A = T - 5.31 \times 10^{-5}$,相关系数为 1,测试线性回归最佳拟合直线方程为 $A = 1.01T + 0.00354$,相关系数也为 1。

表 2 炼油企业 TOPSIS 评价结果

企业代号	评价结果	企业代号	评价结果	企业代号	评价结果
1	0.6181	8	0.4740	15	0.9777
2	0.1909	9	0.7298	16	0.4446
3	0.4473	10	0.8681	17	0.5154
4	0.1342	11	0.0697	18	0.0568
5	0.3712	12	0.1401	19	0.4617
6	0.149	13	0.5323	20	0.7111
7	0.2121	14	0.2977	21	0.5899

表 3 预处理后的评价指标数据

企业代号	X_1^*	X_2^*	X_3^*	X_4^*	X_5^*	X_6^*
1	0.1838	0.1511	0.0511	-0.6464	0.7368	1.0000
2	-0.7484	0.2540	-0.4699	-0.3819	0.4211	0.8909
3	-0.2011	-0.2862	0.0879	-0.6880	0.8421	0.8805
4	-0.8840	-0.8521	-0.5957	-1.0000	0.7368	0.8546
5	-0.3801	-0.8135	0.4621	-0.9376	0.4211	0.8182
6	-0.8328	-0.4019	-0.5028	-0.5602	0.8421	0.7455
7	-0.6455	-0.1897	-1.0000	-0.3195	0.7368	0.6935
8	-0.1267	0.4920	0.0487	0.2422	1.0000	0.6779
9	0.4366	0.6913	0.4950	0.5275	0.3684	0.6208
10	0.7383	1.0000	1.0000	1.0000	-0.3684	0.5429
11	-1.0000	-0.3312	-0.4616	0.1917	0.5263	0.2831
12	-0.8543	-1.0000	-0.3004	-0.1352	0.5790	-0.1896
13	0.0238	-0.7428	0.2612	0.3314	0.5790	-0.2468
14	-0.3867	-0.9679	-0.9734	0.6701	0.2632	-1.0000
15	1.0000	0.7299	-0.0269	0.4532	0.6842	0.6571
16	-0.1975	-0.6978	0.1397	-0.5483	0.5263	0.5533
17	-0.0315	0.0482	-0.3880	-0.4562	-1.0000	0.6468
18	-1.0410	-0.8457	-0.8935	-1.0981	0.5263	0.8338
19	-0.1493	0.2669	-0.5367	-0.6404	0.7895	0.9169
20	0.4224	-0.2219	-0.3609	-0.0134	0.6842	0.4753
21	0.1469	0.1704	-0.4171	-0.2927	0.5263	0.7455

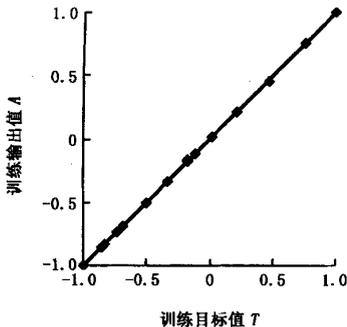


图 1 训练线性回归结果

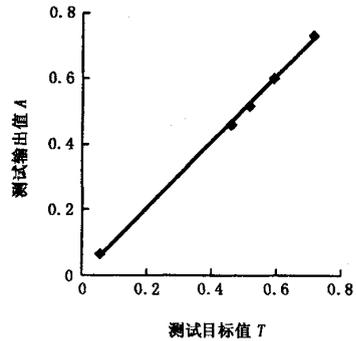


图 2 测试线性回归结果

由此可见,训练所得网络性能良好,且推广性好。计算得到输入层各节点到隐层各节点的权重绝对值之和分别为

$$\sum_{k=1}^3 \mu_{jk} = (1.3952, 0.2837, 0.2243, 0.2291, 0.2480, 0.3530),$$

归一化后得到各指标对应权值为

$$\mu = (0.5105, 0.1038, 0.0821, 0.0838, 0.0907, 0.1291),$$

这样,得到综合评判式为

$$V = 0.5105X_1 + 0.1038X_2 + 0.0821X_3 + 0.0838X_4 + 0.0907X_5 + 0.1291X_6.$$

应用此评判式得出的 21 家炼油企业评价结果见表 4。

表 4 绩效评价最终结果

代号	评价结果	排序	代号	评价结果	排序	代号	评价结果	排序
1	5.8335	5	8	3.3867	8	15	13.0196	1
2	-2.9899	15	9	9.0769	3	16	2.4922	10
3	2.4830	11	10	12.6847	2	17	3.1895	9
4	-4.7236	19	11	-5.2217	20	18	-6.6114	21
5	1.4127	13	12	-4.0082	18	19	1.9755	12
6	-3.9638	17	13	4.6345	7	20	7.1644	4
7	-3.1223	16	14	-1.1350	14	21	4.7575	6

4 结论

(1)神经网络与熵技术得到的权重,都体现了投资回报率相对其他指标比较重要,其他指标权重基本相当。

(2)将熵权 TOPSIS 初始评价结果与神经网络结合起来对指标进行赋权,可方便地给出炼油企业绩效评价综合评判式。

(3)神经网络方法因对先期评价经验进行积累、学习,反映在网络结构中用一组连接权重加以体现,

(下转第 156 页)

对不同的分块 $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ 分别计算出圆盘半径为

$r = 30.6695, 30.5681, 30.5685, 30.6565, 28.2796, 26.1730,$

$r_1 = 30.6701, 30.6701, 30.6701, 30.6701, 30.6701, 30.6701.$

显然在 $k = 6$ 时, 式(4) 圆盘 r 最小, 而式(1) 半径与 k 无关。有关矩阵 M 的特征值的分布及圆盘估计见图 1。

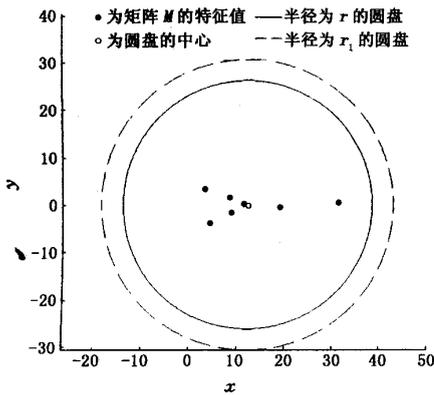


图 1 分块矩阵特征值的圆盘估计

参考文献:

[1] MARVIN Marcus, HENRYK Minc. A survey of matrix theory and matrix inequalities[M]. Boston: Allyn and Bacon, Inc, 1964:139-152.

[2] 古以熹. 矩阵特征值的分布[J]. 应用数学学报, 1994, 17(4):55-58.
GU Yi-xi. The distribution of matrix eigenvalues[J]. Journal of Applied Mathematics, 1994, 17(4):55-58.

[3] 梁景伟. 矩阵特征值的分布及其在数值分析中的应用[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2001, 25(5): 113-116.
LIANG Jing-wei. The distribution of matrix eigenvalues and its applications in numerical analysis[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2001, 25(5):113-116.

[4] 蒋正新, 施国梁. 矩阵理论及其应用[M]. 北京: 北京航空学院出版社, 1988:99-102.

[5] 孙继广. 矩阵扰动分析[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 154-163.

[6] ROGER A Horn, CHARLES R Johnson. Matrix analysis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1985: 352-353.

(编辑 修荣荣)

(上接第 149 页)

实现了主客观的统一, 且随着样本量的增加, 权重能够动态调整, 因而赋权更加科学有效, 具有一定的智能性。

参考文献:

[1] 财政部统计评价司. 企业效绩评价工作指南[M]. 北京: 经济科学出版社, 2002.

[2] 秦寿康. 综合评价原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.

[3] 林齐宁. 决策分析[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2003.

[4] 陈雷, 王延章. 基于熵权系数与 TOPSIS 集成评价决策方法的研究[J]. 控制与决策, 2003, 18(4): 456-459.
CHEN Lei, WANG Yan-zhang. Research on TOPSIS

integrated evaluation and decision method based on entropy coefficient[J]. Control and Decision, 2003, 18(4): 456-459.

[5] 王才经. 现代应用数学[M]. 东营: 石油大学出版社, 2004.

[6] 魏一鸣, 童光煦, 范体均. 基于神经网络的多目标权重计算方法探讨[J]. 武汉化工学院学报, 1995, 17(4): 37-41.
WEI Yi-ming, TONG Guang-xu, FAN Ti-jun. An investigation on neural network based method for computing the multi-object weight[J]. Journal of Wuhan Institute of Chemical Technology, 1995, 17(4):37-41.

[7] 许东, 吴铮. 基于 MATLAB6. X 的系统分析与设计——神经网络[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.

(编辑 修荣荣)