

基于 DEA 的油田生产状况分析方法

隋义勇^{1,2} 孙秀玲³ 苑庆旺¹ 许大伟⁴

(1. 中国石油大学(华东)石油工程学院,山东 东营 257061; 2. 中国地质大学(北京)能源学院,北京 100083; 3. 中国石化胜利油田分公司 现河采油厂,山东 东营 257081; 4. 中国石油辽河石油勘探局 通信公司,辽宁 盘锦 124010)

摘 要:对于油田生产状况的评价、规划是实现油田开发科学化和合理化的重要依据。选择井数、作业工作量、吨油成本、吨水成本、井次成本、产油量和措施增油量等构建了评价指标体系,与数据包络分析法相结合,分析、评价了油田生产状况。通过评价对象 DEA 是否有效判断生产投入与产出达到最佳,在 DEA 无效的情况下可定量给出需要改进的工作量。该方法不仅可以对不同油田之间的生产状况进行评价,也可以对同一油田按时间序列进行对比评价,并找出生产状况变化的原因,从而为决策者提供重要的管理决策信息。

关键词:油田静态评价;数据包络分析;效率评价;生产管理

中图分类号:TE322 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2010)06-0099-03

DEA-Based Analysis of Oil Production Status

Sui Yiyong^{1,2} Sun Xiuling³ Yuan Qingwang¹ Xu Dawei⁴

(1. College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Dongying, Shandong, 257061, China; 2. School of Energy Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing, 100083, China; 3. Xianhe Oil Recovery Plant of Shengli Oilfield, Sinopec, Dongying, Shandong, 257081, China; 4. Communication Company of Liaohe Petroleum Exploration Bureau, CNPC, Panjin, Liaoning, 124010, China)

Abstract: Many oilfields in China have entered high water-cut stage, it is difficult to maintain production and control water cut. Assessment of oil production situation and oilfield development planning is important to develop reservoir scientifically and reasonably. Evaluation index system is constructed using the number of wells, workover, cost of producing oil, cost of injection water, cost of wells, oil production, and incremental oil by stimulation. Combined with data envelopment analysis method, the oilfield production status was analyzed and evaluated. Evaluation of the effectiveness of DEA is used to determine whether the inputs and outputs achieve the best. If DEA is not valid, the amount of work needs to be improved can be provided quantitatively. This method can evaluate the oil production situations for different oilfields and compare chronologically in same oilfield. The reasons resulting in the change of oil production can be identified which can provide important management decision-making information for decision-makers.

Key words: oil static analysis; data envelopment analysis; efficiency evaluation; production control

目前,我国大部分原油生产企业不同程度地存在着靠经验、推测及一些定性的认识来评价生产状况的问题,评价理论落后于实践要求,评价方法比较传统。而 DEA 模型具有多投入多产出、无需预设投入和产出间的函数关系式、无需事先设定权重等优点,特别适合于石油企业这种多种投入多种产出的复杂系统。为此,笔者利用 DEA 模型对我国某油田企业的生产状况进行了评价,以指导该油田生产实践。

1 DEA 原理

数据包络分析(data envelopment analysis,

DEA)^[1-2]是一种效率评价方法,是以相对效率为核心、以线性规划为工具,建立起来的数学模型。它不仅像其他评价方法一样,针对同类型各决策单元进行评价、排序,而且还可以利用 DEA“投影原

收稿日期:2009-11-16; 改回日期:2010-10-15

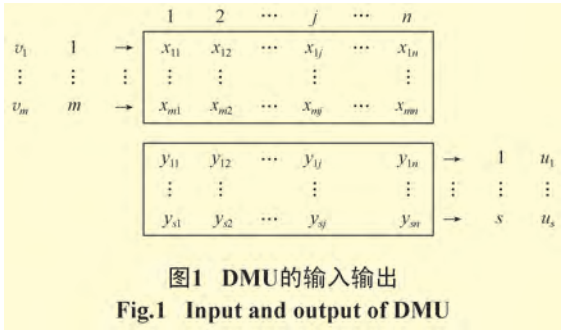
基金项目:国家科技重大专项“海上油田开发生产系统优化决策技术矿场应用研究”(编号:2008ZX05024-04-008)部分研究内容

作者简介:隋义勇(1975—),男,辽宁大连人,1998年毕业于石油大学(华东)机电工程学院材料加工专业,2005年获中国石油大学(华东)油气田开发工程专业硕士学位,油气田开发工程专业在读博士研究生,讲师,从事采油工程决策支持及信息化方面的研究工作。

联系方式:(0546)8392041, suiyy@upc.edu.cn

理”,分析非 DEA 有效的决策单元,并提出改进的方向。利用该方法不但可以对不同油田之间的生产状况进行评价,也可以对同一油田按时间序列进行对比评价,并找出生产状况变化的原因,从而为决策者提供重要的管理决策信息。

设有 n 个被评价的同类油田区块,称为决策单元 DMU,每个决策单元都有 m 种输入和 s 种输出,如图 1 所示。其中 x_{ij} 表示第 j 个 DMU 对第 i 种输入的投入量, $x_{ij} > 0$; y_{rj} 表示第 j 个 DMU 对第 r 种输出的产出量, $y_{rj} > 0$; v_i 表示第 i 种输入的一种度量; u_r 表示第 r 种输出的一种度量, $i=1,2,\cdots,m; j=1,2,\cdots,n; r=1,2,\cdots,s$ 。 x_{ij} 、 y_{rj} 为已知数据,可以根据历史资料得到; v_i 、 u_r 为变量。



2 评价体系及方法

根据油田采油生产的实际情况,选取表 1 所列指标作为 DEA 模型的投入与产出指标。

应用对偶规划 (D_e) 判断 DMU_{j_0} 的有效性模型为:

$$\min \left[\theta - \epsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \right] \tag{1}$$

其约束条件为:

表 1 DEA 评价体系			
Table 1 DEA evaluation system			
序号	指标	单位	指标类型
1	采油井总数	口	输入
2	水平井总数	口	输入
3	作业工作量	井次	输入
4	吨油成本	元	输入
5	吨水成本	元	输入
6	井次成本	元	输入
7	产油量	10 ⁴ t	输出
8	水平井产油量	10 ⁴ t	输出
9	措施增油量	10 ⁴ t	输出

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + s^- = \theta X_{j_0} \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - s^+ = Y_{j_0} \\ \lambda_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \cdots, n \\ s^- \geq 0 \\ s^+ \geq 0 \end{cases} \tag{2}$$

式中: s^- 为松弛变量; s^+ 为剩余变量; ϵ 为非阿基米德无穷小量; m 为输入变量个数; k 为输出变量个数; n 为评价单元个数。

设对偶规划 D_e 的最优解为 λ^* 、 s^{*-} 、 s^{*+} 和 θ^* , 当 $\theta^* = 1$ 时, DMU_{j_0} 为弱 DEA 有效; 当 $\theta^* = 1$, 且 $s^{*-} = 0$ 、 $s^{*+} = 0$ 时, DMU_{j_0} 为 DEA 有效。若 DEA 有效则说明油田的投入和产出均相对达到了最佳状态; 若 DMU 非 DEA 有效, 则表示油田存在投入剩余或产出不足, 根据具体生产指标可以分析出油田的具体问题, 为油田生产规划提供指导。

3 实例分析

某油田的生产数据见表 2。 x_1 、 x_2 、 $\cdots$ 、 x_6 表示该油田的 6 种投入, y_1 、 y_2 、 y_3 表示 3 种产出。

表 2 生产指标数据									
Table 2 Indicator data of production									
评价对象	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	y_1	y_2	y_3
DMU1	48 115	149	39 711	230. 87	53. 66	37 367	3 948	27	358. 0
DMU2	14 709	129	19 174	285. 87	69. 47	17 044	488	9	42. 0
DMU3	18 897	655	23 553	284. 10	21. 25	31 689	1 193	187	281. 0
DMU4	5 274	82	3 837	782. 60	202. 53	44 521	426	19	27. 0
DMU5	3 318	141	4 416	575. 58	31. 51	67 149	419	53	39. 0
DMU6	1 474	333	2 815	1 374. 90	285. 79	93 665	200	596	19. 0
DMU7	22 778	787	33 128	116. 13	142. 13	8 725	1 220	84	190. 0
DMU8	17 796	73	29 435	313. 39	123. 96	15 455	1 200	10	285. 0
DMU9	1 514	45	2 220	445. 54	158. 27	8 208	69	2	13. 0
DMU10	1 766	78	2 539	812. 88	95. 00	92 483	200	21	37. 0
DMU11	2 543	40	4 065	1 046. 20	1 282. 00	78 961	220	9	21. 0
DMU12	510	0	233	16 254. 00	125. 50	16 666	13	0	0. 5
DMU13	996	282	926	225. 85	4. 92	448 115	643	312	70. 0

以第一个决策单元 DMU1 为例建模如下:

$$\min[\theta - \epsilon(s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_4^- + s_5^- + s_6^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)] \quad (3)$$

约束条件为:

$$\begin{cases} 48\,115\lambda_1 + 14\,709\lambda_2 + 18\,897\lambda_3 + \cdots + 996\lambda_{13} + s_1 = 48\,115\theta \\ 149\lambda_1 + 129\lambda_2 + 655\lambda_3 + \cdots + 282\lambda_{13} + s_2 = 149\theta \\ 39\,117\lambda_1 + 19\,174\lambda_2 + 23\,553\lambda_3 + \cdots + 926\lambda_{13} + s_3 = 39\,117\theta \\ 230.87\lambda_1 + 285.87\lambda_2 + 284.10\lambda_3 + \cdots + 225.85\lambda_{13} + s_4^- = 230.87\theta \\ 53.66\lambda_1 + 69.47\lambda_2 + 21.25\lambda_3 + \cdots + 4.92\lambda_{13} + s_5^- = 53.66\theta \\ 37\,367\lambda_1 + 17\,044\lambda_2 + 31\,689\lambda_3 + \cdots + 448\,115\lambda_{13} + s_6^- = 37\,367\theta \\ 3\,948\lambda_1 + 488\lambda_2 + 1193\lambda_3 + \cdots + 643\lambda_{13} - s_1^+ = 3\,948\theta \\ 27\lambda_1 + 9\lambda_2 + 187\lambda_3 + \cdots + 312\lambda_{13} - s_2^+ = 27\theta \\ 358\lambda_1 + 42\lambda_2 + 281\lambda_3 + \cdots + 70\lambda_{13} - s_3^+ = 358\theta \\ \lambda_1 \geq 0, \lambda_2 \geq 0, \lambda_3 \geq 0, \cdots, \lambda_{13} \geq 0 \\ s_1^- \geq 0, s_2^- \geq 0, s_3^- \geq 0, s_4^- \geq 0, s_5^- \geq 0, s_6^- \geq 0, s_1^+ \geq 0, s_2^+ \geq 0, s_3^+ \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

其他决策单元建模类似,本文略。

计算效率评价指数 θ^* 并求最优解,13 个决策单元生产状况的效率评价指数为:DMU1、DMU3、DMU5、DMU7、DMU8、DMU13 的 θ^* 值均为 1;DMU2、DMU4、DMU6、DMU9、DMU10、DMU11、DMU12 的 θ^* 值依次为:0.700 61、0.991 13、0.983 77、0.879 23、0.982 62、0.990 00、0.728 03。

仅以 DMU1 和 DMU4 单元为例进行分析,给出最优解。DMU1 单元的最优解为: $\theta^* = 1, s_1^{*-} = 0, s_2^{*-} = 0, s_3^{*-} = 0, s_4^{*-} = 0, s_5^{*-} = 0, s_6^{*-} = 0, s_1^{*+} = 0, s_2^{*+} = 0, s_3^{*+} = 0, \lambda_1^* = 1$,其余 $\lambda_j^* = 0 (j = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13)$ 。 $\theta^* = 1$ 表示 DMU1 单元的投入和产出相对达到了最佳状态。

DMU4 单元的最优解为: $\theta^* = 0.991\,13, s_1^{*-} = 651.947\,8, s_2^{*-} = 41.317\,9, s_3^{*-} = 0, s_4^{*-} = 733.549\,6, s_5^{*-} = 195.156\,6, s_6^{*-} = 70.617\,9, s_1^{*+} = 0, s_2^{*+} = 11.772\,4, s_3^{*+} = 12.584\,8, \lambda_1^* = 0.092\,7, \lambda_3^* = 0.000\,1, \lambda_7^* = 0.000\,7, \lambda_8^* = 0.000\,5, \lambda_{13}^* = 0.090\,5$,其余 $\lambda_j^* = 0 (j = 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12)$ 。 $\theta^* < 1$ 表示为非 DEA 有效。根据生产指标可以看出,DMU4 单元在采油井总井数、吨油成本、吨水成本、井次成本这几个指标上投入都比较多,尤其是吨油成本、吨水成本指标。运用“投影”理论,在保持目前投入水平的前提下,要使 DMU4 单元变成相对有效,其产出指标中的水平井产油量应增加 $11.772\,4 \times 10^4\,t$,即应增加 61.59%;措施增油量应增加 $12.584\,8 \times 10^4\,t$,即应增加 46.15%。

4 结 论

1) 从井数、作业工作量、成本、产量和措施增油

量等方面构建了评价指标体系,该体系能够从投入与产出方面反映油田采油生产状况。

2) DEA 方法与评价指标体系结合可用于评价油田生产状况,DEA 是否有效可定性评价工作量、资金投入与原油产出是否达到了最佳状态,与评价体系中各指标的具体值相结合,可以深层次定量地分析 DEA 无效条件下,导致生产状况不佳的原因,并给出改进生产状况的具体要求。

3) DEA 评价方法不仅可以用于不同油田、区块之间的评价,而且可用于同一油田不同时期的评价。

参 考 文 献

- [1] 魏权龄. 数据包络分析(DEA)[J]. 科学通报, 2000, 45(17): 1793-1808.
Wei Quanling. Data envelopment analysis(DEA)[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(17): 1793-1808.
- [2] Wei Quanling, Yu Gang, Lu Jianshou. The necessary and sufficient conditions for returns to scale properties in generalized data envelopment analysis model[J]. Science in China (Series E: Technological Sciences), 2002, 45(5): 503-517.
- [3] Seiford L M, Tharll R M. Recent developments in DEA: the mathematical programming approach to frontier analysis[J]. Journal of Econometrics, 1990, 46(1/2): 7-38.
- [4] 王明涛. 多指标综合评价中权重确定的离差, 均方差决策方法[J]. 中国软科学, 1999, 8(8): 100-101, 107.
Wang Mingtao. A comprehensive analysis method on determining the coefficients in multiindex evaluation[J]. China Soft Science, 1999, 8(8): 100-101, 107.
- [5] 童其慧. 主成分分析方法在指标综合评价中的应用[J]. 北京理工大学学报: 社会科学版, 2002, 4(1): 59-61.
Tong Qihui. The application of primary element analyzing methods in the index synthetic evaluation[J]. Journal of Beijing Institute of Technology: Social Sciences Edition, 2002, 4(1): 59-61.