

文章编号:1002-980X(2006)10-0044-04

# 最优化理论与方法在油田产量优化研究中的改进

赵兰水, 罗东坤

(中国石油大学 工商管理学院, 北京 102249)

**摘要:**结合油田生产实际对最优化理论与方法在油田产量优化中的应用作了切实的改进,提出了新的模型设计,并以某油田的数据参数为例对改进后的优化模型进行了实证分析,取得了较好的模拟效果。

**关键词:**产量优化;优化模型;经济效益;区块

**中图分类号:**F403.7 **文献标志码:**A

产量优化研究是一个多约束条件并以追求经济效益最大化为目标的目标规划问题,产量优化强调的是如何合理配置资源,实现经济效益的最大化。目前,就最优化理论与方法在油田产量优化过程中的应用已有不少研究,但这些研究大多仍停留在理论的高度,与油田企业产量优化过程中的具体运用还有一定的距离,为此,笔者结合在油田企业长时间的调查研究,深入油气生产一线获取了许多宝贵的第一手资料,对最优化理论与方法在油田产量优化中的应用研究做出了切实的改进,使其具有更强的现实指导性。

## 一、最优化理论与方法概述

最优化理论与方法是一门应用性很强的学科,它研究某些数学问题的最优解,即对于给出的实际问题,从众多的方案中选出最优方案。最优化理论的快速发展和广泛应用,主要得益于以下两个因素。一是近代科技与生产发展的需要。随着工程与技术的复杂化、大型化与精密化,经济计划与管理的科学化与综合化,使得一个决策的好坏,对经济效果产生重大影响。因此,要求寻找最优的决策,以便获得更好的经济效果,这就促进了最优化技术和理论的迅速发展。二是由于计算机的飞速发展,为最优化技术提供了有利的计算工具。由于最优化技术是要在一切可能的方案中寻求最优的方案,往往需要进行大量的计算。若没有计算机计算而用人工计算,则不仅工作量大,且有时是难以实现的。而有了计算

机这一有利的计算工具,就使最优化技术和理论得以迅速发展。

最优化技术和理论在管理工程上的应用,主要有两种类型,一类是在资金、成本、生产能力等要素有限的情况下,如何优化组合使效益最大;另一类是在目标产量一定的情况下,如何优化配置使耗费、成本最低。

最优化问题的一般形式为:

$$F = \text{Min/Max}f(x)$$

约束条件:

$$\begin{cases} g_i(x) = 0 & (\text{等式约束}) & i = 1, 2, \dots, m_1 \\ h_i(x) \leq 0 & (\text{不等式约束}) & i = 1, 2, \dots, m_2 \end{cases}$$

其中  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ ,  $x \in R^n$  是决策变量,  $f(x)$  为目标函数。当目标函数和约束条件均为线性函数时,最优化问题称为线性规划。当目标函数或约束条件至少有一个变量为非线性函数时,则称为非线性规划。

## 二、建立产量优化模型应遵循的原则

### (一)可持续发展原则

1. 采油速度。产量优化必须在对油藏工程进行工程评价的基础上,结合当时的油价水平确定合理的采油速度,不能对油藏造成破坏性开采,只有这样才能既追求短期利益又兼顾长期利益。

2. 采收率。采收率是反映原油最终采出程度的技术指标。科学合理的开发方案可以提高最终采收率,实现资源的最佳利用和油田的最大效益。如

收稿日期:2006-06-12

作者简介:赵兰水(1963—),男,河北隆尧人,中国石油大学(北京)在读博士研究生,高级工程师,现任大庆油田工程有限公司总工程师,主要研究方向为石油工程项目管理。

果油气开发方案、开采方式不合理,不符合油田自身的开发规律,近期产量可能会较高,但会降低最终采收率,影响长远利益。因此,建立产量优化模型应以提高资源的经济采出程度为条件。

3. 储采比。储采比是反映油田储量平衡的重要指标。储采比过大,会导致投资规模盲目扩大和油气资源浪费等一系列弊病,储采比过小,又会引起后备资源不足。

4. 新建产能。石油开采业存在着自然递减和综合递减的客观规律,要想维持油田产量稳升、稳定或平稳下降,新建产能是根本保障,每年新建产能的确定,要视油田可供开发的储量以及油田的长远发展规划等具体情况来定。

## (二) 最大经济效益原则

研究产量优化的最终目标是在现有开采技术条件下,谋求经济效益最大化。既要谋求短期效益最大化,又要考虑长期效益最大化。对于一般加工行业而言,追求当年效益最大与追求全过程经济效益最大是基本一致的。但就石油开采业而言,由于存在自然递减和综合递减等客观规律,开采有限的可采储量时,当年经济效益最大与追求全过程经济效益最大是不一致的,生产经营的根本目标应是全过程经济效益最大化。但油田产量优化研究如果过分重视长期利益的研究,并作为建立产量优化模型的主要目标,这往往会导致注重长期利益,忽略短期利益的情况发生。而且由于远期油价和成本等不能准确预测,单纯追求全过程经济效益最大不现实,又由于石油资源的有限性和不可再生性,因此比较现实可行的做法是在不破坏储量资源的基础上,追求总采出量最大时的短期经济效益最大。

## (三) 预测方法的灵活性原则

应用产量优化模型首先要对一些参数进行预测,预测的准确程度直接关系到优化结果的科学性,因此做好参数的预测工作,具有重要的意义。

$$c_v = \left\{ \begin{array}{l} \text{吨液动力费(元/吨液)} + \text{油气处理单位成本(元/吨液)} + \\ \text{稠油热采单位成本(元/吨液)} + \text{注水单位成本(元/吨水)} \end{array} \right\} \times \frac{1}{\text{老井平均含水率}} + (\text{单井年原材料费} + \text{单井年燃料费} + \text{单井年维护作业费}) \times \frac{1}{\text{老井单井平均年产量}}$$

注:对于正常生产的区块来说,根据其经营成本的构成可以将经营成本费用划分为两大类:第一类是固定成本。这类费用的发生不随产液量的增减变化,主要包括工资及福利费,折旧及摊销,以及管理费。第二类是变动成本。这类费用的发生跟产液量

$$TC2i = \text{吨油措施成本(元/吨)} \times X_{2i} + \{ c_{vi} - (\text{单井年原材料费} + \text{单井年燃料费} + \text{单井年维护作业费})$$

义。预测的主要依据就是过去的开发数据,因此要求建立近几年油气田开发建设与生产的综合数据库,并对收集的数据去伪存真,确保基础数据的真实可靠、有代表性。针对各个参数的不同变动趋势以及同一参数在不同的开发时期也有所不同的特点,进行预测必须具有一定的灵活性。在预测参数的过程中,不仅要考虑过去的开发数据,也要考虑现有的勘探、开发技术水平以及现有的地质情况等因素,并对预测的结果进行相应的调整。

## (四) 现实性原则

现实性原则要求所作出的产量优化结果必须符合油田实际能力、开发方针、各项主要技术指标和政策界限。

## 三、油田产量优化模型的设计

油田企业作为油公司的生产单位,其生产的原油不能直接对外销售,故不产生利润,所以油田企业实际上是“成本中心”,因此笔者在油田产量优化研究过程中,按照优化理论,以不同区块的不同类型产量作为决策变量,以总成本最低作为目标函数,根据地质资源、生产能力、投资规模、成本水平等约束条件,进行优化处理,从而提出油田产量优化模型。具体设计如下:

### (一) 目标变量

第  $i$  区块老井产量  $X_{1i}$ ,

第  $i$  区块措施产量  $X_{2i}$ ,

第  $i$  老区块新井产量  $X_{3i}$ ,

第  $j$  新区块新井产量  $X_j$ 。

### (二) 目标函数

$$\min w = TC1i + TC2i + TC3i + TCj$$

#### 1. 自然产量总变动成本

$TC1i = c_{vi} \times X_{1i}$  其中:  $c_{vi}$  为各区块的吨油变动成本

有关,它是油田发生的除固定成本以外的其它成本,主要包括材料费、燃料费、动力费、注水注气费、维护性井下作业费、油气处理费等。

#### 2. 措施产量总成本

$\times \frac{1}{\text{老井单井平均年产量}} \times X_{2i}$

3. 新井产量总成本

(1) 老区新井产量总成本

$$TC_{3i} = TC_{3i(\text{成本})} + TC_{3i(\text{投资分摊})} = \text{老区吨油变动成本} \times X_{3i} + \frac{\text{新井投资}}{\text{折旧年限}} = \text{老区吨油变动成本} \times X_{3i} + \frac{X_{3i} \times \text{单井平均钻井成本} \times (1 + \text{老区地面工程投资系数})}{\text{当年产量与产能之比} \times \text{老区新井单井日产} \times \text{年正常生产天数}} \div \text{折旧年限}$$

(2) 新区新井产量总成本

$$TC_j = TC_{j(\text{成本})} + TC_{j(\text{投资分摊})} = \text{新区吨油变动成本} \times X_{3i} + \frac{\text{新旧投资}}{\text{折旧年限}} = \text{新区吨油变动成本} \times X_{3i} + \frac{X_j \times \text{单井平均钻井成本} \times (1 + \text{新区地面工程投资系数})}{\text{当年产量与产能之比} \times \text{新区新井单井日产} \times \text{年正常生产天数}} \div \text{折旧年限}$$

(三) 约束条件

油速度  $i = 1, 2, 3 \dots n$

(1)  $(X_{1i} + X_{2i} + X_{3i}) + X_j = \text{配产总量}$

$X_j$  第  $j$  新区块可采储量  $\times$  采油速度  $j = 1, 2, 3 \dots m$

(2)  $(TC_{1i} + TC_{2i} + TC_{3i(\text{成本})} + TC_{j(\text{成本})} + \text{人工成本} + \text{管理费用(不含折旧)}) \leq \text{目标总成本}$

(4)  $X_{1i} + X_{2i} + X_{3i}$  第  $i$  区块经济产量  $i = 1, 2, 3 \dots n$

+ 人工成本 + 管理费用(不含折旧) 目标总成本

(4)  $X_{1i} + X_{2i} + X_{3i}$  第  $i$  区块经济产量  $i = 1, 2, 3 \dots n$

注:  $TC_{1i}, TC_{2i}, TC_{3i(\text{成本})}, TC_{j(\text{成本})}$ , 均为别

$X_j$  第  $j$  新区块经济产量  $j = 1, 2, 3 \dots m$

除折旧后的区块成本

$X_j$  第  $j$  新区块经济产量  $j = 1, 2, 3 \dots m$

(3)  $X_{1i} + X_{2i} + X_{3i}$  第  $i$  区块可采储量  $\times$  采

(5)  $\frac{X_{3i} \times \text{陆上单井平均钻井成本} \times (1 + \text{陆上老区地面工程投资系数})}{\text{当年产量与产能之比} \times \text{陆上老区新井单井日产} \times \text{年正常生产天数}}$  老区产能投资

(6)  $\frac{X_j \times \text{陆上单井平均钻井成本} \times (1 + \text{新地区面工程投资系数})}{\text{当年产量与产能之比} \times \text{新区新井单井日产} \times \text{年正常生产天数}}$  老区产能投资

(7) 吨油措施成本  $\times X_{2i}$  可用的措施费用

### 四、油田产量优化模型实证分析

(8)  $X_{1i} \leq k \times \text{配产总量}$ ,  $k$  为老井产量占配产

应用油田产量优化模型对  $\times \times$  油田 03 年的规

总量的最大比例

划方案进行测算, 有关参数的取值如表 1 所示:

(9)  $X_{1i} \geq 0, X_{2i} \geq 0, X_{3i} \geq 0$

表 1  $\times \times$  油田产量优化参数表

相关参数	区 块				
	区块 1	区块 2	区块 3	区块 4	
15 各区块年经济产量	177360	96351	95928	133712	
16 可采储量(吨)	22770000	3970000	17250000	7750000	
17 采油速度	0.06	0.09	0.1	0.05	
18 可采储量 $\times$ 采油速度	1366200	357300	1725000	387500	
19 措施费用限量	59093867	41138264	46826947	41820527	
20 老区产能投资	257280000	223550000	192940000	237390000	
21 吨油措施费用	350	390	360	370	
22 吨油变动成本	159.71	108.35	162.43	162.43	
23 固定成本	149794672	86305170	129436601	102676160	
24 新井产量吨油变动成本	100	150	120	140	
25 新井年经营成本	1000000	1150000	1080000	1100000	
26 单井平均钻井成本	3706706	5398750	2306600	4244345	
27 老区地面工程投资系数	0.19	0.3	0.6	0.197479811	
28 当年产量与产能之比	0.56	0.6	0.51	0.43	
29 老区新井单井平均年产量	3132	2000	1885	2183	
30 折旧年限	10	10	10	10	
31 配产总量	3000000				
32 目标总成本(含折旧)	1500000000				

应用 EXCELL 中的线性规划功能,按照产量优化模型得到优化结果如表 2 至表 4 所示:

表 2 目标单元格

单元格	名字	初值	终值
\$G \$11	成本合计 合计	0	735817236.4

表 3 约束条件

单元格	名字	单元格值	公式	状态	型数值
\$G \$7	产量合计 合计	3000000	\$G \$7 = \$C \$31	未到限制值	0
\$C \$35	区块 1	1204029838	\$C \$35 < = \$C \$32	未到限制值	295970162
\$C \$7	产量合计 区块 1	1366200	\$C \$7 < = \$C \$18	到达限制值	0
\$D \$7	产量合计 区块 2	357300	\$D \$7 < = \$D \$18	到达限制值	0
\$E \$7	产量合计 区块 3	643341.378	\$E \$7 < = \$E \$18	未到限制值	1081659
\$F \$34	措施费用 区块 4	41820526.64	\$F \$34 < = \$F \$19	到达限制值	0
\$C \$7	产量合计 区块 1	1366200	\$C \$7 > = \$C \$15	未到限制值	1188840
\$D \$7	产量合计 区块 2	357300	\$D \$7 > = \$D \$15	未到限制值	260949
\$E \$7	产量合计 区块 3	643341.378	\$E \$7 > = \$E \$15	未到限制值	547414
\$F \$7	产量合计 区块 4	633158.622	\$F \$7 > = \$F \$15	未到限制值	499446
\$C \$12	产能投资 区块 1	257280000	\$C \$12 < = \$C \$20	到达限制值	0
\$D \$12	产能投资 区块 2	223550000	\$D \$12 < = \$D \$20	到达限制值	0
\$E \$12	产能投资 区块 3	192940000	\$E \$12 < = \$E \$20	到达限制值	0
\$F \$12	产能投资 区块 4	237390000	\$F \$12 < = \$F \$20	到达限制值	0
\$C \$34	措施费用 区块 1	59093866.77	\$C \$34 < = \$C \$19	到达限制值	0
\$D \$34	措施费用 区块 2	40338868.24	\$D \$34 < = \$D \$19	未到限制值	799396
\$E \$34	措施费用 区块 3	46826947.08	\$E \$34 < = \$E \$19	到达限制值	0
\$G \$4	老井产量 合计	2250000	\$G \$4 < = \$C \$31 *3/4	到达限制值	0

表 4 x x油田产量优化结果表

	区块 1	区块 2	区块 3	区块 4	合计
老井产量	1095059	215652	463002	476287	2250000
措施产量	168840	103433	130075	113028	515376
新井产量	102301	38215	50264	43844	234624
产量合计	1366200	357300	643341	633159	3000000
TC1	174897312	23365484	75204972	77361390	350829157
TC2	86060076	51545646	67954860	60179303	265739885
TC3	35958120	28087278	25325688	29877109	119248194
成本合计	296915508	102998407	168485520	167417801	735817236
产能投资	257280000	223550000	192940000	237390000	911160000

## 五、结论

以总成本最低作为目标函数对油田生产进行产量优化,符合油田企业的生产实际,该产量优化模型以区块作为产量优化单元,以不同区块的自然产量、措施产量、老区新井产量和新区新井产量作为决策变量,综合考虑了油田企业的产量计划、成本目标、可采储量、采油速度、综合递减速度和产能投资计划等各个方面的约束,较其他产量优化模型更为科学合理,可操作性强。但由于产量优化模型所用到的

数据是在年度生产开始之前预测的或是根据历史资料回归所得,所以难免有些人为因素的存在,因此在产量优化的具体操作过程中还应尽量减少人为因素的影响。

## 参考文献

- [1] 李斌,张国旗,等. 油气技术经济配产方法[M]. 北京:石油工业出版社,2002.
- [2] 胜利石油管理局经济开发研究院. 胜利油田有限公司年度配产方案优化研究[R]. 2000,7:5-20.

(下转第 83 页)

考虑不同竞争优势的时点状况与时序趋势,这必须涉及企业内外环境中的人、事、物等多种因素及其演化规律。第三,企业战略演化观认为,企业作为可以自主决策的主体,在本质上类似于生命有机体,即服务于自身的生存目的,又具有环境互适性。如果说基因是构成自然界生物个体的遗传因子,那么组织就是社会中有目的的生命集体的传承载体,因而企业组织往往具有复杂社会人文系统的典型特征,即会表现出时空情境依赖性、整体机能突现性、有机整体性、高度组织化等方面的性质。第四,企业战略演化观不仅强调环境的动态特征,而且更加强调企业与环境之间的交互作用,动态战略观、动态能力观以及战略适应观等就是具体体现。

### 参考文献

[1] B Lovas, S Ghoshal. Strategy as Guided Evolution[J]. Strate-

gic Management Journal, 2000, 21(9): 875 - 896.

[2] 蒋德鹏, 盛昭瀚. 演化经济学动态与综述[J]. 经济学动态, 2000(7).

[3] W P Barnett, M T Hansen. The Red Queen in Organizational Evolution[J]. Strategic Management Journal, 1996, 17: 139 - 157.

[4] James F Moore. Predators and Prey: A New Ecology of Competition[J]. Harvard Business Review, 1993(5 - 6): 75 - 86.

[5] E·迈尔. 生物学思想发展的历史[M]. 成都: 四川教育人民出版社, 1990.

[6] 项保华. 战略管理——艺术与实务[M]. 3版. 北京: 华夏出版社, 2003.

[7] Bente L wendahl, ivind Revang. Challenges to Existing Strategy Theory in a Postindustrial Society[J]. Strategic Management Journal, 1998, 19: 755 - 773.

[8] 赵晓庆, 许庆瑞. 战略管理: 危机与挑战[J]. 科研管理, 2000(6).

[9] Michael E Porter. Towards a Dynamic Theory of Strategy[J]. Strategic Management Journal, 1991, 12: 95 - 117.

[10] JG Hamel, L Valikangas. The Quest for Resilience[J]. Harvard Business Review, 2003(9).

## The Theory Foundation and Its Effect of the Evolutionary View of Strategic Management

LI Qing-hua, YE Si-rong, LI Chun-sheng

(School of Economics & Management, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The evolutionary view of strategic management is an important school in the field of study on strategic management. Since 1980s, it has made great progress and configured the more perfect theory framework. This has mainly been attributed to three kinds of theories: the evolutionary economics, the biology, and the developing theory of strategic management.

**Key words:** the evolutionary view of strategic management; theory foundation; effect

(上接第 47 页)

[3] 张在旭. 石油开发投入产出系统的优化与控制[J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18(5): 107 - 111.

[4] 赵振智, 王芳, 等. 油井评价法在油气开采企业经济产量研

究中的应用[J]. 石油大学学报: 社会科学版, 2004(6): 10 - 11.

[5] 张伟伟. 石油经济产量及优化研究[D]. 石油大学硕士研究生学位论文, 2003.

## Improvement on the Study of Output Optimization Model of Oilfields

ZHAO Lan-shui, LUO Dong-kun

(China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract:** Substantial improvement was made on the application of optimization theory and method in the output optimization based on the production of oilfields. A new model design was put forward. An empirical analysis of the optimization model was done with the data of an oilfield. And the result was favorable.

**Key words:** output optimization; optimization model; economic benefit; block