

气田开发

# 油田开发二层规划方法研究

王 羽<sup>1</sup>, 王连敏<sup>2</sup>, 梁伯勋<sup>1</sup>

(1. 中国石油大港油田勘探开发研究院, 天津 300280;

2. 中国石油大港油田第六采油厂, 天津 300280)

**摘要:**通过分析传统的油田开发规划方法,发现单层优化规划模型已经不能有效地服务于当前油田公司的开发规划。针对这种情况,建立了油田开发二层规划模型,克服了单层优化模型在应用上的局限性,较好地解决了当前油田开发规划问题。

**关键词:**二层规划;单层规划;预测;油田

**中图分类号:**TE323

**文献标识码:**A

**文章编号:**1672-1926(2010)04-0657-03

## 0 引言

油田开发规划是一个复杂的系统。在研究和应用时应注意以下几个方面的问题:一是在建立模型方面,要认识到油田开发决策优化问题不单单是技术问题<sup>[1]</sup>,优化模型也不是一成不变的;二是在预测方面<sup>[1-3]</sup>,预测是优化决策的前提,优化必须在科学预测的基础上进行,有必要建立一套以油层渗流力学机理为基础,以实际生产或矿场试验数据为依据,同时结合数值模拟和油田开发专家经验的综合集成预测技术。

对于油田开发规划,目前一些常用的优化方法如线性规划、动态规划和最优控制等,尽管在油田开发决策中得到了不同程度的应用<sup>[4-7]</sup>,但依据这些方法建立的油田开发规划优化模型存在以下缺陷:一是开发规划优化模型都是单层优化模型,没有针对目前油田结构的复杂性进行多层优化规划;二是优化模型中的目标值单一,大多以产量指标为目标值,对投资、效益目标没有很好地优化。鉴于此,对多层规划问题的研究及其应用就显得非常重要与迫切。

## 1 二层规划简介

随着经济全球化的加剧,实际中遇到的一些问题规模越来越大,层次性愈加明显,结构越来越复杂。因此,层次性的研究就具有非常重要的意义。

针对此类问题的研究已经有很久的历史了,多层规划正是为了研究系统层次性问题而产生的。在过去的 20 年中,多层规划的理论、方法及应用都有了很大的发展,正在逐渐形成运筹学一个新的分支<sup>[2-7]</sup>。

多层规划问题通常有如下特点:

(1)系统是分层管理的,各层决策者依次做出决策,但上层和下层有相对的自主权。

(2)各层决策者有各自不同的目标,这些目标往往是相互矛盾的。

(3)各层决策者各自控制一部分决策变量,以优化各自的目标。

(4)上层决策者优先做出决策,下层相应决策者在为优化自己的目标而选择策略时,不能违背上层的决策。

(5)上层的决策可能影响到下层的策略集,因而部分地影响到下层目标的达成,但上层不能完全控制下层的决策,在上层决策的允许范围内下层有自主决策权。

(6)下层的决策不但决定着自身目标的达成,而且也影响上层目标的达成。因此,上层在选择策略以优化自己的目标达成时,必须考虑到下层可能采取的策略对自己的不利影响。

(7)各层决策者的容许策略集通常是不可分离的,他们往往形成一个相关联的整体。

一般而言石油公司(特别是大型石油公司)的结

构不是单层的,而是多层的,如图 1 所示。

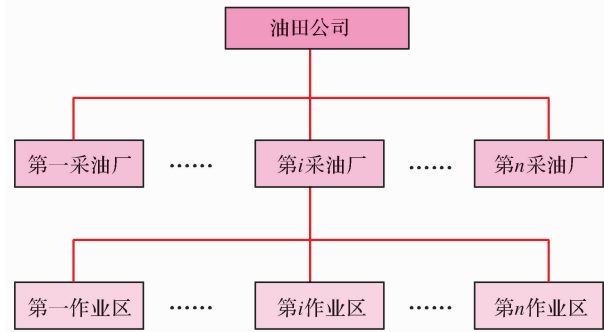


图 1 石油公司结构

在油田单层规划的基础上,把油田公司看作一个二层结构<sup>[8]</sup>,即上层为油田公司,下层为各采油厂,上层将全油田的指标进行全局规划,然后公布自己的信息,各个采油厂在接到这些信息后,就要根据自己的实际情况进行自己的规划,以达到自己的规划目标,如果各采油厂不能完成上级下达的指标(或任务),下层就要把自己的信息反馈给上级,上级在收到下级单位反馈的信息后就要进行全局规划的调整,然后再对全局的指标作出规划。在此基础上可建立油田单目标二层规划模型和多目标二层规划模型。

2 油田开发二层规划模型

(1)上层目标函数

上层把各采油厂的总产量之和作为目标函数,以  $X_1, X_2, L, X_n$  作为决策变量。则有:

$$\max F = \max \sum_{i=1}^n X_i$$

(2) 上层约束条件

全油田的总产量为:  $\sum_{i=1}^n X_i, Q_b$  表示全油田总产量的下限,则就有:  $\sum_{i=1}^n X_i \geq Q_b$ 。 $q_i^b$  表示第  $i$  采油厂产量的下界,  $X_i$  表示第  $i$  采油厂的产量,则应有:  $X_i \geq q_i^b, i = 1, 2, \dots, n$ 。

(3) 下层目标函数

下层把各采油厂的各项产油量之和最大作为目标。即:  $\max f_i = \max \sum_{k=1}^4 y_i^k$

(4) 下层约束条件

各采油厂的各项产量不能低于其规定产量的下界,则就有如下约束:

$$y_i^1 \geq d_i^1; y_i^2 \geq d_i^2; y_i^3 \geq d_i^3; y_i^4 \geq d_i^4。$$

其中:  $d_i^1$  为第  $i$  采油厂自然产量的下界;  $d_i^2$  为第

$i$  采油厂措施产量的下界;  $d_i^3$  为第  $i$  采油厂老区新井产量的下界;  $d_i^4$  为第  $i$  采油厂新区新井产量的下界。

上层决策变量与下层决策变量有以下关系,这也是下层很重要的约束条件之一,即

$$y_i^1 + y_i^2 + y_i^3 + y_i^4 \geq X_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

根据以上分析得到如下二层规划模型:

$$\max F = \max \sum_{i=1}^n X_i$$

$$\sum_{i=1}^n X_i \geq Q_b$$

$$X_i \geq q_i^b$$

$$X_i \geq 0$$

$$\max f_i = \max \sum_{k=1}^4 y_i^k$$

$$\sum_{k=1}^4 y_i^k \geq X_i$$

$$y_i^k \geq d_i^k$$

$$y_i^1 = y_i^1(y_i^{11}, y_i^{12}, y_i^{13}, y_i^{14}, y_i^{15})$$

$$y_i^2 = y_i^2(y_i^{21}, y_i^{22}, y_i^{23}, y_i^{24}, y_i^{25})$$

$$y_i^3 = y_i^3(y_i^{31}, y_i^{32}, y_i^{33}, y_i^{34})$$

$$y_i^4 = y_i^4(y_i^{41}, y_i^{42}, y_i^{43}, y_i^{44})$$

$$a_i^{km} \leq y_i^{km} \leq b_i^{km}$$

$$y_i^k \geq 0$$

其中:  $a_i^{km}$  为第  $i$  个采油厂第  $k$  部分产量的第  $m$  项影响因素的下界;  $b_i^{km}$  为第  $i$  个采油厂第  $k$  部分产量的第  $m$  项影响因素的下界。

3 某油区产量分配优化实例

以 2004—2008 年的数据为历史数据,2009 年全油田计划产量为  $419.08 \times 10^4$  t,以效益最好为目标,在上、下界等各种约束条件下最优分配到各采油厂。

产量优化分配结果如表 1 所示。

以 2004—2008 年的数据为历史数据将某油田 2009 年  $419.06 \times 10^4$  t 的计划产量按照产量类型优化构成。选择全油田“效益最好”为目标,根据总产量=自然产量+措施产量+新区新井产量+老区新井产量,按产量类型优化结果如表 2 所示。

以 2004—2008 年的数据为历史数据将某油田 2009 年  $24.11 \times 10^4$  t 的措施产量按照措施产量类型优化构成。

措施总产量=大修产量+补孔产量+换大泵产量+卡堵水产量+下电泵产量+其他措施产量  
措施产量优化结果如表 3 所示。

表 1 2009 年某油田计划产量优化分配

项目	一厂	二厂	三厂	四厂	五厂	六厂	产量
	产量/( $\times 10^4$ t)	产量/( $\times 10^4$ t)	产量/( $\times 10^4$ t)	产量/( $\times 10^4$ t)	产量/( $\times 10^4$ t)	产量/( $\times 10^4$ t)	合计/( $\times 10^4$ t)
预测	73.13	44.07	171.42	24.65	74.06	31.75	419.08
实际	81.76	39.75	170.07	25.08	71.16	35.16	422.98

表 2 2009 年某油田产量类型优化构成

时间	自然产量/( $\times 10^4$ t)	新井产量/( $\times 10^4$ t)	措施产量/( $\times 10^4$ t)	产量合计/( $\times 10^4$ t)
2009	352.05	42.09	24.11	419.05

表 3 2009 年某油田措施产量类型优化构成

时间	大修产量 /( $\times 10^4$ t)	补孔产量 /( $\times 10^4$ t)	换大泵产量 /( $\times 10^4$ t)	卡堵水产量 /( $\times 10^4$ t)	下电泵量 /( $\times 10^4$ t)	其他措施产量 /( $\times 10^4$ t)
2009	0.62	11.64	1.09	1.62	5.14	4.00

4 结论

油田开发二层规划弥补了传统规划方法单层优化、目标单一的局限性,使油田公司及其下属部门形成一个相互关联的整体,可以选取多个指标:效益最优、产量最大化、措施结构优化等进行产量的优化,上、下层决策互相协调,上层决策可适当考虑下层决策的自主权,最终达成优化后的决策目标。

参考文献:

[1] Liu Zhibin,Ding Hui,Gao Min,*et al.* Optimal model for oil production composition of oilfield development programming and its application[J]. *Acta Petrolei Sinica*,2004,25(1):62-65. [刘志斌,丁辉,高珉,等. 油田开发规划产量构成优化模型及其应用[J]. 石油学报,2004,25(1):62-65.]

[2] Ding Xianfeng,Zhang Jinliang,Liu Zhibin. A new model for production forecast of oil and gas fields[J]. *Petroleum Exploration and Development*,2004,31(3):104-106. [丁显峰,张锦良,刘志斌. 油气田产量预测的新模型[J]. 石油勘探与开发,

2004,31(3):104-106.]

[3] Zhang Jinliang,Ding Xianfeng,Liu Zhibin. Multiobjective optimal models of output structure and its algorithm in oil field development programming system[J]. *Journal of Southwest Petroleum Institute*,2005,27(2):53-57. [张锦良,丁显峰,刘志斌. 油田开发多目标产量分配模型及其应用算法研究[J]. 西南石油学院学报,2005,27(2):53-57.]

[4] Bittencourt A C,Home R N. Reservoir Development and Design Optimization[R]. *SPE 38895*. 1997:545-558.

[5] Chunduru R K. Hybrid optimization methods for geophysical inversion[J]. *Geophysics*,1997,62: 1196-1207.

[6] Jiang Zhen,Wang Jun. Research and application of  $f_w$ -R curve for block oilfield[J]. *Natural Gas Geoscience*,2005,16(3):394-396. [蒋振,王军.  $f_w$ -R 曲线在断块油田开发中的应用研究[J]. 天然气地球科学,2005,16(3):394-396.]

[7] Heiriing M J. Combinatorial optimization maximizes profits[J]. *Hydrocarbon Process*,1997,76:150-112.

[8] Teng Chunxian,Li Zhihui. Two Layer of Theory and Application Planning[M]. Beijing: Science Press,2002. [滕春贤,李智慧. 二层规划的理论与应用[M]. 北京:科学出版社,2002.]

Bilevel Optimal Model of Oilfield Development

WANG Yu<sup>1</sup>,WANG Lian-min<sup>2</sup>,LIANG Bo-xun<sup>1</sup>

(1. *Research Institute of Exploration & Development,Dagang Oilfield Company,PetroChina,Tianjin 300280,China;*  
2. *The No. 6 Oil Production Plant of Dagang Oilfield Company,PetroChina,Tianjin 300280,China*)

**Abstract:** In the research of the traditional oilfield development programming method,we find that the monolayer optimal model is unfit. The bilevel optimal programming can overcome the disadvantages of application of the monolayer optimal model in the oilfield optimal decision. So the established oilfield development bilevel optimal model has the ability to efficiently solve the oil-field development optimal problem.

**Key words:** Bilevel programming model; Monolayer optimal models; Forecast; Oilfield.