

文章编号:1002-980X(2007)09-0021-03

油气田生产计划的大系统分解协调方法与应用

李 嘉, 张宝生

(中国石油大学, 北京 102249)

摘要:以大系统优化理论方法为基础,建立了油气田综合生产计划模型,应用大系统分解协调原理,将油气田综合生产计划模型按区块进行分解,通过目标函数的修正来协调各区块与整体最优的要求,给出了求解方法和步骤,并结合实例进行了应用分析。

关键词:油气田生产计划;大系统优化;分解协调方法

中图分类号:F272.3 **文献标志码:**A

目标规划在油气田开发规划编制中有较多应用,基于油气田各个子系统的功能提出的指标分配方法,可解决油气田各个子系统规划指标合理分配问题^[1]。石油生产近期优化配产规划系统采用了优化配产专家系统框架设计,提出用 BP 网络方法建立油气田产量、含水等开发指标与各种措施的定量时变关系模型,用于预测各种措施对油田开发效果的贡献^[2]。油气田的生产计划问题是一个极其复杂的、多影响因素、随机性较强的问题,且是目标多元性与影响因素多元性相结合、规模较大、混合性较强的综合性问题;因此,不能对各个环节孤立的进行研究和管理工作,必须把这些环节联系起来,全局的加以研究,以获得一个全局优化运行管理系统。应用大系统优化理论与方法对油田综合排产问题进行研究是较为适合的。

1 油气田生产计划优化的大系统规划模型

油气田生产计划是将产量要求最优地分配到各作业区(或区块),这些分配都在一定约束条件下(定产量、定投资、定成本),按给定的目标(如效益最大、成本最低、产量最大)进行最优地分配,并得到各区块产量最优分配所对应的工作量、成本及其它指标。本文应用大系统理论及优化控制方法建立模型,并应用目标协调法进行建模和求解。

1.1 目标、约束及变量分析

油气田可采取的措施多种多样,各项措施的投入量随其对应的费用、工作量及开发动态规划规律

而变化,所以要优化各项措施的投入量,即合理分配各项措施,使全油气田既完成产量任务,成本尽可能低,效益尽可能好,又能满足开发动态变化规律,技术条件的限制。据此提出本文要建立规划模型的决策变量、目标函数和约束条件如下。

1) 决策变量 X_{ij} :表示为规划年内第 i 个产油气区块第 j 种增产措施的工作量。其中 $i = 1 \sim N$ (区块数); $j = 1 \sim M$ (措施数)。

2) 目标函数:规划年内,达到规划产油气量,所产生的费用最低。

3) 约束条件: 总产量约束。表示规划年内,该油气田的总体产量目标,一般取不低于期望目标值。

总产水约束。就是通过抑制措施产水量来达到控制油气田含水上升的目的,将油气田的含水控制在规定的范围内。第 i 个区块措施增产总量约束,根据油气田规划编制的需要及自身生产能力的限制,要求规划年实施的措施工作量要保持一定的均衡性。第 i 个区块第 j 种增产措施的工作范围。

1.2 生产计划的大系统规划模型

产量计划模型如下:

$$\min Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M C(i, j) X(i, j) \quad (1)$$

$$s. t. : \sum_{i=1}^N q(i) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M w(i, j) X(i, j) \quad w_1 - \sum_{i=1}^N w_2(i) \quad (3)$$

收稿日期:2007-04-28

作者简介:李嘉(1980—),女,辽宁省锦州人,中国石油大学工商管理学院在读博士,研究方向:系统工程。

$$\sum_{j=1}^M X(i, j) \leq u_1(i) \quad (i = 1 \sim N) \quad (4)$$

$$u_2(i, j) \leq X(i, j) \leq u_3(i, j) \quad (i = 1 \sim N; j = 1 \sim M) \quad (5)$$

其中 C_{ij} 表示为规划年内,第 i 区块第 j 种增产措施单位工作量所需的费用; $q(i, j)$, q_1 , $q_2(i)$ 分别表示规划年内的单井增产量;总产量;老井稳产量; $w(i, j)$, w_1 , $w_2(i)$ 分别表示规划年内的单井增水量;规划产水量;老井产水量; $u_1(i)$ 表示 i 个区块措施增产量上限; $u_2(i, j)$ 、 $u_3(i, j)$ 分别表示第 i 个区块第 j 种增产措施的下限和上限。

2 大系统规划模型的目标分解协调解法

2.1 模型分解

为了实现对系统的分解,依 Lagrange 对偶分解原理^[3],把不可分约束式(2)代入模型表达式(1)中:

$$L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left\{ C(i, j) X(i, j) \right. \\ \left. \left[q_1 - \sum_{i=1}^N q_2(i) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M q(i, j) X(i, j) \right] \right\} \\ = \sum_{i=1}^N \left\{ \sum_{j=1}^M C(i, j) X(i, j) + q_1 - \sum_{i=1}^N q_2(i) - \sum_{j=1}^M q(i, j) X(i, j) \right\} = \sum_{i=1}^N L_i$$

式中, $L_i = \sum_{j=1}^M C(i, j) X(i, j) + q_1 - \sum_{i=1}^N q_2(i) - \sum_{j=1}^M q(i, j) X(i, j)$ (6)

2.2 子系统协调器

为了检查子问题是否满足整个子系统的最优条件,还需要用最优解的 Lagrange 条件进行检验,以获取子系统协调器,实现对 λ 的迭代修正^[3]。

$$\text{定义 } L \text{ 的对偶函数: } D(\lambda) = -L(\lambda^*) \quad (7)$$

对 $D(\lambda)$ 取 λ 的偏导数,则得

$$\frac{\partial D(\lambda)}{\partial \lambda} = q_1 - \sum_{i=1}^N q_2(i) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M q(i, j) X(i, j) = 0 \quad (8)$$

引进子系统协调器,这样对子问题可以提供协

调变量。用梯度法迭代校正,以使得 $D(\lambda)$ 为最优,则 λ 的迭代式为:

$$\lambda^{l+1} = \lambda^l + [\alpha \left(q_1 - \sum_{i=1}^N q_2(i) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M q(i, j) X(i, j) \right)] \quad (9)$$

式中, l 为迭代次数, α 为步长。协调器起着对目标函数的控制及对子系统间的协调作用。子系统的模型为:

$$\min L_i = \sum_{j=1}^M C(i, j) X(i, j) + q_1 - \sum_{i=1}^N q_2(i) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M q(i, j) X(i, j)$$

约束条件: $w(i, j) X(i, j) \leq w_1 / N - w_2(i)$

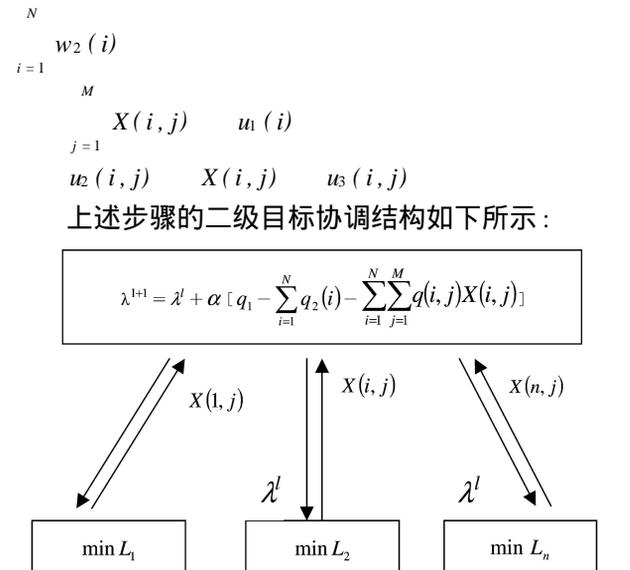


图 1 两级目标协调结构

3 模型应用分析

3.1 实例基本条件与模型

为进一步演示以上模型的具体应用,本文选择中石化某油田的排产计划中的一个简单示例进行应用分析。解决大型复杂的实际油气田生产计划问题可参照示例进行。示例相关数据经简化整理如下(见表 1 和表 2):

表 1 各区块措施及其效果数据

	一区措施一	一区措施二	一区措施三	二区措施一	二区措施二	二区措施三
单井投资	4.7	2.0	6.0	14.0	8.0	3.0
单井增产	5.0	4.0	4.5	5.0	6.0	5.0
单井增水	3.5	0.5	1.3	3.0	1.0	2.6

表 2 各区块产油及其它数据

总产油	一区块老井产油	二区块老井产油	总产水	一区老井产水	二区老井产水	一区块措施总量	二区块措施总量
700	250	150	400	104	163.8	50	15

根据以上数据建立的模型如下:

$$\begin{aligned} \min z &= 4.7X_{11} + 2X_{12} + 6X_{13} + 14X_{21} + 8X_{22} \\ &+ 3X_{23} \\ s. t. : & 5.0X_{11} + 4.0X_{12} + 4.5X_{13} + 5.0X_{21} + \\ &6.0X_{22} + 3.0X_{23} \leq 300 \\ & 3.5X_{11} + 0.5X_{12} + 1.3X_{13} + 3.0X_{21} + 0.5X_{22} + \\ &2.6X_{23} \leq 132.2 \\ & X_{11} + X_{12} + X_{13} \leq 50 \\ & X_{21} + X_{22} + X_{23} \leq 15 \end{aligned}$$

3.2 目标协调法求解

该模型的协调器为:

$$l^{i+1} = l^i + \lambda [300 - 5X_{11} - 4X_{12} - 4.5X_{13} - 5X_{21} - 6X_{22} - 5X_{23}]$$

子系统 1(区块一) 的规划模型为:

$$\begin{aligned} \min z_1 &= \sum_{j=1}^3 c_{1j} X_{1j} + \lambda \left[300 - \sum_{j=1}^3 q_{1j} X_{1j} \right] \\ s. t. : & \sum_{j=1}^3 w_{1j} X_{1j} \leq \frac{400}{2} - 104 \\ & \sum_{j=1}^3 X_{1j} \leq 50 \end{aligned}$$

子系统 2(区块二) 的规划模型为:

$$\begin{aligned} \min z_2 &= \sum_{j=1}^3 c_{2j} X_{2j} + \lambda \left[300 - \sum_{j=1}^3 q_{2j} X_{2j} \right] \\ s. t. : & \sum_{j=1}^3 w_{2j} X_{2j} \leq \frac{400}{2} - 163.8 \\ & \sum_{j=1}^3 X_{2j} \leq 15 \end{aligned}$$

模型求解步骤:

步骤 1: 设定初值 $l^1 = 2.5, \lambda = 1$, 步长 $\Delta l = 0.01$, 误差精度 $c = 0.00001$ 。

步骤 2: 将 $l^1 = 2.5$ 代入模型 1、模型 2 分别求解, 得到 $X_{11} = 0, X_{12} = 50, X_{13} = 0, X_{21} = 0, X_{22} = 1.3, X_{23} = 13.7$ 。

步骤 3: 将步骤 2 的结果代入协调器得 $l^{i+1} = 2.73$, 得到 l^1 的绝对误差 $\Delta l = 0.237 > 0.00001$, 因此进行步骤 2 将 $l^{i+1} = 2.73$ 继续计算。若 $\Delta l < 0.00001$ 则进行步骤 4。

步骤 4: 迭代停止, 输出最优计算结果。

通过以上的计算步骤当 $l = 2$ 时计算结束, 此时 $X_{11} = 23.7, X_{12} = 26.3, X_{13} = 0, X_{21} = 0, X_{22} = 1.3, X_{23} = 13.7$, 误差为 0.00001 满足精度要求。

可以看出, 利用目标协调法得到的结果与直接计算所得结果完全相同, 但在计算线性规划模型时约束条件减少了一半, 解决了大型系统模型的维数灾问题, 上述讲述的为二级目标协调算法, 如果使用三级目标协调算法维数将下降得更多。

4 结论与建议

本文依据大系统优化理论建立了油气田生产计划模型, 并应用目标协调法进行了求解。按照分解协调的原理将油气田按区块子系统进行分解, 通过对子系统目标函数的反复修正在满足给定精度的情况下达到子系统与整体最优。该方法避免了统一解算所造成的维数灾问题, 又综合考虑了区块与油气田整体的关系, 将模型的算法统一起来。通过对实例的解算, 证明了该方法的科学性及其有效性。

参考文献

- [1] 董洪亮, 乔书江, 张庆梅. 目标规划在油田开发规划编制中的应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(1).
- [2] 沈其强. 油田开发部署决策支持系统研究[D]. 北京: 中国石油大学, 2002.
- [3] 钟红恩. 复杂大系统的分散控制理论与应用研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2003.

Large System Optimization Method and Application of Production Plan in Oil-and-gas Company

LI Jia, ZHANG Bao-sheng

(China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Based on the Large System Optimization theory and method, a new model for production plan of oil-and-gas company is presented. The dissolve and coordinate method is applied to solve this model. The requirement of the total optimization together with the every district optimization is realized by means of re-checking and re-changing the objective function. The solution method and the steps are given in the paper. The model application is also illustrated through a practical case.

Key words: production plan of oil-and-gas company; Large system optimization; dissolve and coordinate method