

文章编号: 1000-2634(2006)03-0001-04

混合遗传算法在气田产量构成优化模型中的应用*

刘志斌¹, 邓勇¹, 凡哲元^{2,3}

(1. 西南石油大学计算机科学学院, 四川 成都 610500; 2. 中国科学院力学研究所; 3. 中国石化石油勘探开发研究院)

摘要:在气田开发规划产量构成优化模型的基础上,引入一种单目标模型的改进遗传算法,把无约束优化中的直接解法 Powell 方法作为一个与选择、交叉和变异平行的算子嵌入到基本遗传算法中;并利用了一种新的退火精确罚函数法处理约束条件,运用 MATLAB6.0 编写算法程序,选取开发规划产量构成优化模型中的定成本产量最大模型,实例分析该算法在气田开发规划产量构成优化模型中的具体应用,取得了较好的效果。

关键词:开发规划;产量构成;改进遗传算法;Powell 方法

中图分类号: TE32

文献标识码: A

引言

气田开发规划产量构成优化模型是一典型的多维非线性优化模型,目前求解决的常用方法有 SUMT 法、微粒群算法和遗传算法等等。这些方法各具特色,但应用中也常有一些问题^[1]。鉴于遗传算法在气田开发规划产量构成优化方面应用相对较少且传统遗传算法的诸多弊病^[2],本文在提出了气田开发规划产量构成优化模型的基础上,将无约束优化中的直接解法 Powell 方法^[3,4]作为一个与选择、交叉和变异平行的算子^[5],嵌入到基本遗传算法中,在遗传算法中定义 Powell 算子,得到一种求无约束优化问题全局最优解的混合遗传算法。针对非线性约束优化问题的实际情况,通过自适应的退火因子和罚函数来处理约束条件,使算法逐渐收敛于全局可行最优解。这种混合遗传算法—基于 Powell 遗传退火精确罚函数法可以有效的克服 Powell 方法只能搜索到局部最优,而由人为给出多个初始点进行多次计算来求解最优解时,成功概率不高的缺陷,又能显著提高遗传算法的收敛到最优解的概率,避免传统遗传算法的弊病。

1 产量构成优化模型建立

在现代油气藏经营管理的理念中,开发规划所

面临的第一个大问题是降低成本,确保稳产,使其自身效益最大化。为此,国内各大油气田的一些研究机构和石油高等院校进行了大量的研究工作^[6-8]。如下是笔者所在的课题组经过大量研究,运用功能模拟原理(微分模拟方法和神经网络方法)^[7,8]建立气田产量与其对应影响因素间精确的关联关系从而得出的气田开发规划产量构成优化模型。

(1) 定产量成本最低

$$\begin{cases}
\min(U_{13} + U_{23} + U_{33} + U_{43}) \\
X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \geq A \\
U_{13} + U_{23} + U_{33} + U_{43} \leq B \\
X_1 = X_1(U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}, U_{15}, U_{16}) \\
X_2 = X_2(U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{25}) \\
X_3 = X_3(U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34}) \\
X_4 = X_4(U_{41}, U_{42}, U_{43}) \\
A_i \leq X_i \leq B_i \\
a_{ij} \leq U_{ij} \leq b_{ij}
\end{cases} \quad (1)$$

(2) 定成本产量最大

$$\max(X_1 + X_2 + X_3 + X_4)$$

约束条件同(1) 定产量成本最低模型。

(3) 定产量、定成本效益最好

$$\max[C(X_1 + X_2 + X_3 + X_4) - (U_{13} + U_{23} + U_{33} + U_{43}) - (U_{32} + U_{42})]$$

约束条件同(1) 定产量成本最低模型。

* 收稿日期: 2006-02-16

基金项目:“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室项目(石油计算技术专项研究)成果之一。

作者简介:刘志斌(1962-),男(汉族),四川武胜人,博士,教授,主要从事优化技术在油田开发中的应用研究。

其中, X_i —各个分项产量^[6]; U_{ij} —第 i 项产量的第 j 个影响因素^[6]。

2 基于 Powell 遗传退火精确罚函数法的算法构造

Powell 方法(方向加速法)是无约束优化问题直接解法之一,其基本思想是:给定初始点和线性无关方向向量,从初始点向量出发,依次沿着给定的方向向量作一维搜索求极小点,得到下一代点,若计算误差满足事先给定的误差限,则停止计算,否则,按照规定的运算法则进行循环计算,具体的算法步骤参见文献[4,5]。

2.1 基于 Powell 遗传退火精确罚函数法

现以产量构成优化模型中的定成本产量最大模型为例,首先对原问题进行如下变形:

$$\begin{cases} \max(X_1 + X_2 + X_3 + X_4) \\ h_1 = X_1 - X_1(U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}, U_{15}, U_{16}) \\ h_2 = X_2 - X_2(U_{21}, U_{22}, U_{23}, U_{24}, U_{25}) \\ h_3 = X_3 - X_3(U_{31}, U_{32}, U_{33}, U_{34}) \\ h_4 = X_4 - X_4(U_{41}, U_{42}, U_{43}, U_{44}) \\ g_1 = (X_1 + X_2 + X_3 + X_4) - A \geq 0 \\ g_2 = B - (U_{13} + U_{23} + U_{33} + U_{43}) \geq 0 \\ g_{3i} = X_i - A_i \geq 0 \\ g_{4i} = B_i - X_i \geq 0 \\ g_{5ij} = U_{ij} - a_{ij} \geq 0 \\ g_{6ij} = b_{ij} - U_{ij} \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

实施 Powell 遗传退火精确罚函数算法,采用惩罚函数来处理约束优化问题。对问题(2)的求解可以转化为下列无约束问题的求解

$$\max F_p(X) = f(X) - P(\sigma_k, X) \quad (3)$$

其中, $X = (X_1, X_2, X_3, X_4)^T$

$$f(X) = X_1 + X_2 + X_3 + X_4$$

$P(\sigma_k, X)$ 为惩罚函数, σ_k 为罚因子。

针对不同的惩罚函数,形成了不同的方法,主要有外罚函数法,内罚函数法,乘子法和精确罚函数法^[4]。外罚函数法和内罚函数法容易引起求解问题的病态问题,这是由于它们需要罚因子无限增大而引起的。乘子法通过在罚函数中引入拉格朗日乘子 λ ,使得罚因子 σ_k 可取某个有限值,因而解决了早期外罚函数和内罚函数法中出现的病态问题,但它需要解决一系列无约束极小值问题来逼近最优乘子

和最优解。精确罚函数法有不可微精确罚函数和可微精确罚函数两种形式。不可微精确罚函数法的主要缺点是它在约束边界不可微,因此不能采用无约束优化中有效的梯度法。可微精确罚函数法虽可以利用梯度型算法来求解,但要利用这些函数的二阶导数,这就大大增加了无约束极小化过程的工作量。为了改善上述方法的缺陷,参考文献[9],利用退火精确罚函数,即罚函数的选取为如下形式:

$$P(\sigma_k, X) = \sigma_k \left[\sum_{m=1}^4 |h_m(X)| + \sum_{n=1}^6 |g_n(X)| \right] \quad (4)$$

其中, $\sigma_k = 1/T(t)$, $T(t)$ 是模拟退火算法中的冷却度表,用下式进行温度管理 $T(t) = \alpha T(t-1)$, $\alpha \in [0, 1]$, 罚因子 σ_k 吸取了模拟退火的思想,使 $T(t)$ 逐渐下降,即 σ_k 逐渐增大,其增加速度由温度冷却参数 α 来控制。这样随着进化的不断进行, σ_k 逐渐增大,使解群趋于可行解。罚函数的形式采用了不可微精确罚函数。由于遗传算法对问题的可微性没有限制,因此克服了基于梯度型算法不能处理不可微函数的缺陷,从而能够有效地求得可行的极值点。

(1) 编码

鉴于二进制编码在一些多维、有高精度要求的连续函数优化问题时,存在着连续函数离散化时的映射误差,同时不便于反映所求问题的特定知识。为克服这些缺点,本文使用实数编码方法,即个体的每基因值用实数表示 $X = (X_1, X_2, X_3, X_4)^T$ 。实数编码方法优点如下:适合于遗传算法中表示范围较大的数;便于较大空间的遗传搜索;提高了遗传算法的精度要求;改善了遗传算法的计算复杂性,提高了运算效率;便于算法与经典优化方法以及其它算法的混合作用,便于设计专门问题的遗传算子;而且不用进行复杂的译码程序。

(2) 适应值函数

适应值函数的选取,为了使用遗传算法将问题(2)转化为求适应值最大值,本文将适应值函数^[5]定义为

$$F(X) = F_p(X) \quad (5)$$

(3) 选择算子

本文采用比例选择算子,以赌轮盘方式执行。为了避免下一代出现的最佳个体劣于上一代最佳个体,借鉴精英选择机制把上一代最佳个体保留到一个变量,在种群下一代繁殖后进行取舍。

(4) 交叉算子

交叉算子交叉概率 P_c 的典型取值^[1,10]为0.6 ~ 0.95;本文交叉算子采用算术交叉即线性组合^[11]方式,即如果个体 X_1 和 X_2 ,被选择交叉,则产生子代个体为 $RND(0,1) \times X_1 + (1 - RND(0,1)) \times X_2$,其中, $RND(0,1)$ 表示0和1之间均匀分布的随机数。

(5) 变异算子

变异算子变异概率 P_m 据文献^[1,10]介绍,变异率 P_m 的典型取值为0.001 ~ 0.01。但很多实例说明这样取值并不完全有效,该值大小与群体规模及染色体长度有关,一般取不超过 $10/N \times L$ 为宜,式中: N 为群体规模 L 为串长,在本文中变异算子采用非一致变异算子^[12],即:个体为 $X = (X_1, X_2, X_3, X_4)^T$,则 X 每个分量 x_i 以完全相同的概率进行变异,一次变异后的结果为

如果 $RND(0,1) < 0.5$,则

$$x'_i = x_i + (Rx - x_i)(1 - RND(0,1))^{(1-t/T)^b}$$

如果 $RND(0,1) \geq 0.5$,则

$$x'_i = x_i - (x_i - Lx)(1 - RND(0,1))^{(1-t/T)^b}$$

式中, Lx, Rx —第 i 个分量定义域的左右边界; t, T —当前代数和最大代数; b —确定对跌代数依赖程度的系统参数,一般取值2 ~ 5。

(6) 终止条件

满足事先设定了一个最大进化代数,达到该代数就终止迭代。按照(5)定义问题的适应值函数,求取适应值最大化问题。

2.2 Powell 遗传退火精确罚函数算法具体步骤

(1) 给定参数种群规模 N 、最大进化代数 M 、交叉概率 P_c 、变异概率 P_m 、Powell并行算子概率 P_p 、初始温度 $T(0)$ 、冷却参数 α ;

(2) 进化代数计数器初始化: $t = 0$;

(3) 随机产生初始种群: $P(t)$;

(4) 评价种群 $P(t)$ 的适应值,根据适应值比例计算选择概率,以赌轮盘方式执行 $P'(t) \leftarrow Selection[P(t)]$;

(5) 以概率 P_c 选择种群中两个个体进行交叉操作: $P''(t) \leftarrow Crossover[P'(t)]$;

(6) 对子代种群中个体以概率 P_m 进行变异操作: $P'''(t) \leftarrow Mutation[P''(t)]$;

(7) 对子代种群中个体以概率 P_p 进行Powell搜索操作: $P''''(t) \leftarrow Powell[P'''(t)], P(t+1) = P''''(t)$;

(8) 终止条件判断:若不满足终止条件,则 $t = t + 1$ 转到第4步,继续进化;若满足终止条件,则输出当前最优个体,算法结束。

表1 某气区开发数据

参数	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
自然产量/亿 m ³	100.06	96.02	92.50	92.76	93.00	93.40	93.59	94.61	92.64	89.87
措施产量/亿 m ³	11.23	10.32	11.45	12.11	11.70	10.32	10.65	10.28	11.33	12.54
老区新井产量/亿 m ³	5.21	6.33	6.14	5.18	5.97	7.32	6.15	6.28	5.89	5.12
新区新井产量/亿 m ³	3.12	3.35	2.91	2.98	3.45	3.76	4.00	2.99	3.54	3.12
动用地质储量/亿 m ³	2200.45	2328.47	2451.81	2575.49	2699.49	2824.02	2948.81	3074.95	3198.47	3318.30
气井开井总数/口	300.00	308.00	374.00	364.00	379.00	417.00	449.00	492.00	516.00	535.00
自然产成本/万元	73469.00	74069.00	75269.00	79244.00	89843.00	92185.00	94649.00	98056.00	94444.00	104341.00
可采储量采出程度/%	49.99	50.23	50.06	50.17	49.90	50.23	50.85	51.26	51.88	52.41
气藏总产水量/万 m ³	197.33	205.29	207.87	208.22	208.96	212.06	220.76	226.75	232.59	233.66
剩余可采储量/亿 m ³	2274.51	2178.49	2085.99	1993.23	1900.23	1806.83	1713.24	1618.63	1525.99	1436.12
措施总井次/口	97.00	119.00	111.00	121.00	111.00	147.00	152.00	129.00	113.00	103.00
措施有效井次/口	78.00	97.00	83.00	95.00	91.00	122.00	127.00	108.00	98.00	96.00
措施成本/万元	2123.00	2456.00	2412.00	2531.00	2541.00	2734.00	2993.00	2685.00	2530.00	2498.00
老区新井投资/万元	3006.00	3056.00	3045.00	3028.00	3021.00	3098.00	3100.00	3047.00	3012.00	2965.00
老区新井数/口	31.00	28.00	32.00	37.00	29.00	27.00	32.00	33.00	26.00	29.00
老区新井成本/万元	2345.00	2210.00	2365.00	2400.00	2413.00	2425.00	2457.00	2419.00	2213.00	2306.00
新区地质储量/亿 m ³	700.23	731.12	742.06	775.23	823.12	810.36	754.32	712.53	711.04	712.63
新区新井数/口	15.00	16.00	19.00	20.00	22.00	28.00	24.00	21.00	18.00	17.00
新区新井投资/万元	3006.00	3056.00	3045.00	3028.00	3021.00	3098.00	3100.00	3047.00	3012.00	2965.00
新区新井成本/万元	1500.00	1569.00	1654.00	1825.00	1895.00	1996.00	1921.00	1876.00	1854.00	1824.00

3 实例分析

某开发气田(中后期)1992~2001年各分项产量及其对应的影响因素历史数据见表1。这些历史数据一定程度上反映了其开发动态变化规律。首先应用软件系统^[13]用功能模拟原理建立各分项产量及其对应影响因素的关联关系(详细过程略),再利用动态分析或预测方法得到各影响因素的上下界,

各分项产量的产量限制、总产量限制以及总成本限制。

选择产量构成优化模型中的定成本产量最大模型,在该模型之中,其决策变量为4个,给定参数种群规模50组个体、最大进化代数100、交叉概率0.6、变异概率0.1、Powell搜索算子概率0.05、初始温度0.001、冷却参数0.99。运用MATLAB编写算法程序求解该优化模型,优化计算轨迹结果如表2。

表2 优化计算轨迹结果

分量	代数			
	第十代	第二十代	第三十代	第四十七代
X_1	91.3627190743623	92.7821962326323	93.0323262743783	93.6669763213434
X_2	13.1581502606131	14.1386155426602	14.2837705447645	14.7800073286252
X_3	4.1120793435750	4.3482020243702	4.4221697583335	5.0100000934233
X_4	3.0840914281094	3.1520970292926	3.1849369044773	3.3000967532439

最优个体为算法进行到第四十七代时,适应值函数值趋于稳定,则此时的最优结果为:自然产量为93.60亿 m^3 ;措施产量为14.78亿 m^3 ;老区新井产量为5.01亿 m^3 ;新区新井产量为3.30亿 m^3 。利用上述优化结果,就能对2002年的各分项产量的构成进行合理的配置。

4 结论

目前,遗传算法在求解复杂程度高、求解难度大的非线性规划模型时表现出的高鲁棒性,使其在求解这类问题方面具有较强的优势。因此,本文在课题组建立了气田开发规划产量构成优化模型的基础上,参考众多文献,将无约束优化中的直接解法Powell方法作为一个与选择、交叉和变异平行的算子,嵌入到基本遗传算法中,在遗传算法中定义Powell算子,得到一种求无约束优化问题全局最优解的混合遗传算法。针对非线性约束优化问题的实际情况,通过自适应的退火因子和罚函数来处理约束条件,使算法逐渐收敛于全局可行最优解。通过实例验证说明了所采用的这种算法是准确,且能较快的收敛到最优化解。

参考文献:

[1] 陆金桂,李谦,王浩.遗传算法原理及其工程应用[M].徐州:中国矿业大学出版社,1997.

- [2] 方红远,王浩,程吉林.初始轨迹对逐步优化算法收敛性的影响[J].水利学报,2002(11):27-30.
- [3] 陈宝林.最优化理论与算法[M].北京:清华大学出版社,2002.
- [4] 席少霖.非线性最优化方法[M].北京:高等教育出版社,1992.
- [5] 王蕾.非线性约束优化问题[J].辽宁工学院学报,2003,23(1):13-15.
- [6] 李允,刘志斌,肖伟,等.现代优化技术在油田开发中的应用[M].北京:石油工业出版社,2001.
- [7] 刘志斌.注水开发油田的微分模拟预测[J].西南石油学院学报,1993,15(1):69-74.
- [8] 肖伟,刘志斌.基于神经网络的油田注水动态预测[J].交通与计算机,1997,25(2):57-60.
- [9] 吴志远,邵惠鹤,吴新余.基于遗传算法的退火精确罚函数非线性约束优化方法[J].控制与决策,1999,13(2):136-140.
- [10] 王小平,曹立明.遗传算法—理论、应用与软件实现[M].西安:西安交通大学出版社,2002.
- [11] 陈顺怀,陈永忠.多目标最优化的遗传算法[J].武汉交通科技大学学报,1999,23(5):553-555.
- [12] (美)米凯利维茨.演化程序—遗传算法和数据编码的结合[M].周家驹,何险峰(译).北京:科学出版社,2000.
- [13] 刘志斌,傅青山,廖勇,等.油田开发规划决策软件系统[J].西南石油学院学报,2004,26(1):79-82.

(编辑 张云云)

JOURNAL OF SOUTHWEST PETROLEUM INSTITUTE

Vol. 28 No. 3 Jun 2006

[ABSTRACT]

ADVANCED GENETIC ALGORITHM FOR OPTIMAL MODELS FOR GAS PRODUCTION COMPOSITION OF GAS FIELD DEVELOPMENT PROGRAMMING

LIU Zhi-bin (Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610500, China), DENG Yong, FAN Zhe-yuan, et al. *JOURNAL OF SOUTHWEST PETROLEUM INSTITUTE*, VOL. 28, NO. 3, 1-4, 2006 (ISSN1000-2634, IN CHINESE)

This paper introduces an advanced genetic algorithm for single-objective optimal models on the basis of optimal models for production composition of natural gas development programming. Take Powell method as an arithmetic operator paralleled with the operators such as selection, crossover and mutation into the elementary genetic algorithm, and make use of a new anneal accurate punishment function method to deal with the restriction conditions, compile the algorithm program with MATLAB, select the maximal yield on the restriction of fixed cost, analyze the actual application of the algorithm for optimal models for production composition of natural gas development programming with the example, and get a better effect.

Key words: development programming; production composition; advanced genetic algorithm; Powell method

BOUNDARY ELEMENT METHOD RESEARCH ON BOTTOMHOLE PRESSURE BEHAVIOR IN NON-CLOSED BOUNDARY OIL AND GAS RESERVOIRS

LIU Qi-guo (Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan 610500, China), XU Kun-ji, QI Yu-lian, et al. *JOURNAL OF SOUTHWEST PETROLEUM INSTITUTE*, VOL. 28, NO. 3, 5-7, 2006 (ISSN1000-2634, IN CHINESE)

Non-closed boundary reservoirs are very widespread in reality. As for the percolation problem of constant pressure boundary and closed boundary, routine method can resolve it. But as for the percolation problem of non-closed boundary, routine method did not work effectively. the Boundary Element Method to study the non-closed boundary mathematical model of well testing interpretation was presented in the paper, which was Laplace transform to the percolation differential equation, the solution in the Laplace space with the Boundary Element Method and then the solution in the real space with the Stehfest Numerical Method

was worked out, which can be used to analyze the hole-bottom pressure behavior.

Key words: homogeneous reservoir; arbitrary shape reservoir; boundary element method; non-closed boundary; well testing interpretation

STUDY ON NUMERICAL SIMULATION OF INTEGRAL FRACTURING RECONSTRUCTION TO HORIZONTAL CRACK OIL RESERVOIRS

HUANG Bo (Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan 610500, China), ZENG Xiao-hui, QU Huai-lin, et al. *JOURNAL OF SOUTHWEST PETROLEUM INSTITUTE*, VOL. 28, NO. 3, 8-10, 2006 (ISSN1000-2634, IN CHINESE)

A three-dimensional mathematic model of oil-water two phase and crack permeability to horizontal crack oil reservoirs and also its high-efficient algorithm were established, which according to product characters on low permeability of oil reservoir water injection and seepage of horizontal cracks, and considering unequilibrium of oil reservoir, anisotropy of permeability rates, crack diversion lapse with time flows and different impacts on different well patterns. Through calculating different cracks radius, considering the fracture conductivity influences on indexes like oil well output, moisture content, produce degree, as well as final oil recovery, and optimizing rational crack parameters, a parameter optimum horizontal crack software was developed, which could be used for on-site appraisal and design works.

Key words: low permeability; horizontal crack; mathematic model; numerical arithmetic; parameter optimizing

RESEARCH OF PRODUCTION NODAL ANALYSIS METHOD FOR GAS-WATER WELLS

CHANG Yan-rong (Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan 610500, China), LI Yun, LI Xiao-ping, et al. *JOURNAL OF SOUTHWEST PETROLEUM INSTITUTE*, VOL. 28, NO. 3, 11-12, 2006 (ISSN1000-2634, IN CHINESE)

Gas-water wells production nodal analysis is an important research subject for gas production field at present, it is a difficult problem of research at the same time. The key problem of