

基于新型遗传算法的碳酸盐岩油气藏布井研究

姜瑞忠 杨宜渤

(中国石油大学(华东)石油工程学院 山东 青岛 266580)

摘 要 塔河油田隶属碳酸盐岩油田,由于缝洞发育的随机性,因此需要在开发初期进行合理的井位确定,以最大限度地提高开发效果。通过对传统的遗传算法进行多角度的改进,提出了一种新型遗传算法,并将其率先应用于油气田开发领域,相继引入淘汰算子、精英档案,改进了种群之间协同进化过程中的共生伙伴确定策略,大幅度提高了寻优性能。最后借助塔河油田某区块的实际开发地质模型,进行相关模拟与计算,得到了比传统算法高 5% 的采收率和累产油量,效果良好。

关键词 井位优化,淘汰算子,精英档案,新型协同进化

中图法分类号 TP309 **文献标识码** A

Research on Well Distribution in Carbonate Reservoirs Based on Novel Genetic Algorithm

JIANG Rui-zhong YANG Yi-bo

(College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Qingdao, Shangdong 266580, China)

Abstract Take Oilfield belongs to carbonate rock field. Due to the randomness of zave development, it is necessary to establish reasonable well position at the beginning of development to improve the development effect to the maximum extent. The traditional genetic algorithm was improved in multiple sections and a new genetic algorithm was put forward, which is used in the domain of oil and gas field development. The introduction of elimination operator, elite files and the new co-evolution between the various groups, greatly improve the optimization performance. Finally, by means of the actual development of the geological model of the oil field, the relevant simulation and calculation are done, and the final recovery ratio and accumulated produced oil is more than 5% higher than the result of traditional algorithm. The effect of this algorithm is good.

Keywords Well position optimization, Elimination operator, Elite file, New co-evolution

1 引言

井位优化(Well position optimization)是指在油田方案设计阶段,根据目前的地质特征(韵律性、断层发育等),在依据地质构造确定的初步井位的基础上,通过特定的数学方法结合油藏数值模拟技术,为实现最大的经济效益(NPV)进行的生产井井位二次优化。

井位优化,最初仅仅是依据现场相似油田的开发经验,结合储量丰度进行的。国外较早采用了优化理论和油藏数值模拟相结合的井位优化方法。其中,有代表性的研究工作包括 Bittencourt 等^[1]使用混合遗传算法作为优化算法的研究, Morales 等^[2]采用引入风险约束的遗传算法作为优化算法的研究。国内姜瑞忠等^[3]于 2014 年最早提出利用遗传算法优化井位,文中综合考虑地质结构特征、储层特性、NPV 等多种因素,对优化得到的井位进行现场实验,开发效果得到显著提升。但是,在传统遗传算法^[4-5]的应用过程中,易出现“早熟”、收敛效率低或者优秀解丢失等现象,使最终的井位存在很大的不确定性。

本文针对现场应用中存在的问题,对传统遗传算法进行了多角度、多层次的改进:1)引入淘汰算子,实现种群个体之间的动态移动并优胜劣汰;2)引入精英档案思想,用来保存进化过程中的优秀个体,以防止因偶然因素导致的优质个体“失踪”并辅助算法协同进化;3)为了抑制传统协同进化中“贪婪”特性导致的“早熟”^[6-8]或者优秀潜在解丢失现象,在采用精英档案思想的基础上,对各子代种群之间的协同进化方式进行改进。

2 新型遗传算法

2.1 引入淘汰算子

遗传算法的实现必须经历以下过程:确定算法编码思想、产生初始种群、策略筛选、设计交叉与变异算子、确定适应度函数与结束条件等。本文引入淘汰算子,在每一代进化过程中,对种群中的所有个体进行适应度评价,在确定的淘汰率(默认 15%)下对较差的个体进行淘汰,然后利用这些即将淘汰的个体之间的交叉、变异产生的新后代进行替换。这样既保持了优良基因的存在、防止优秀解的丢失,又保证了个体的

姜瑞忠(1964—),男,博士,教授,主要研究方向为油气田开发与教学,E-mail:jrzhang@126.com;杨宜渤(1993—),男,硕士生,主要研究方向为油气渗流理论,E-mail:sublunarchess@126.com(通信作者)。

多样性。图 1 给出了引入淘汰算子的基本流程。

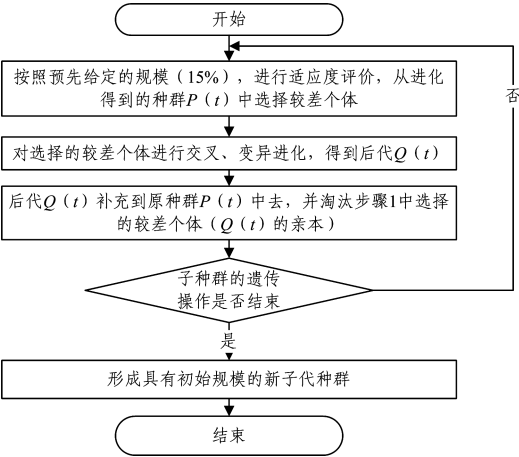


图 1 引入淘汰算子流程图

2.2 建立精英档案

在种群进化过程中,通过人为判断、选择出最优个体 P 的亲本 Q 组合为新种群 R ,并称之为“精英种群”。其中,精英种群 R 的规模是人为确定的(本方案中为油藏数学方法计算出的合理井数),每进化一代,就通过人工选择对产生的新个体进行评价,筛选最优个体,并将这些最优个体与精英档案中的原始个体 P 进行对比,以剔除精英种群中相对较差个体对应的亲本,保证精英种群的规模。剔除的精英个体的亲本会“移民”到普通子种群中去,以防止发生优良基因或优质解漏失情况。在算法迭代完成后,输出确定规模的精英档案 R 个体对应的最优个体 P ,即为最优解集。

2.3 新型协同进化方式

胡仕成等于 2004 年就将协同进化思想引入到传统的遗传算法中^[9-11],提出了基于非支配排序的合作型协同进化遗传算法,用来进行多目标的寻优。该算法的基本思路是将需要解决的问题群劈分为多个独立且相互联系的子种群。在进化过程中,该算法与普通遗传算法的不同之处主要表现在评价个体的策略上,如图 2 所示。

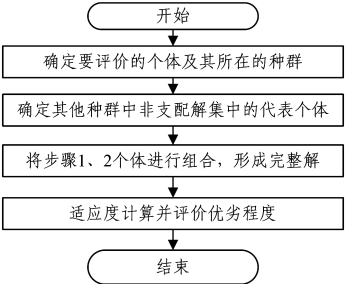


图 2 协同进化遗传算法个体评价流程

但是,协同进化遗传算法在实现多目标寻优的过程中存在一个严重缺陷,即共生伙伴的难确定性。如果始终“贪婪”地把其他子种群中的优秀个体作为待评价个体的共生伙伴,那么该操作策略将极大增加算法早熟收敛的概率。而如果采用随机选取方式,将其余种群中的个体与待评价个体组合,则会导致发生优质基因或者解的丢失现象^[12-14]。本文在建立精英档案的基础上,实行新型协同进化共生伙伴的选择策略,如图 3 所示。

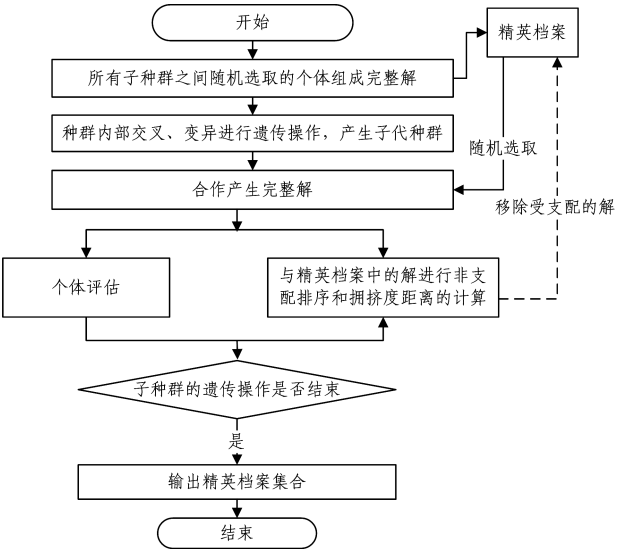


图 3 新型协同进化共生伙伴选择策略

2.4 多元改进遗传算法的步骤

多元改进遗传算法的步骤如下:

- 步骤 1 根据实际问题,确定求解目标值的变量数量 M , (本案例中采用生产潜力模型计算,式(1)为生产潜力模型描述),结合实际变量的取值范围,随机生成 M 个种群,分别为 $P1\sim PM$,进行初始化操作,标定每个种群中的个体数量为 n ;
- 步骤 2 将 P_i 中的个体与其他种群中的随机个体进行组合、计算;
- 步骤 3 进行个体适应度评价之后,将优秀个体的亲代转移到精英档案 R 中;
- 步骤 4 $N=1$,开始进行种群进化与筛选;
- 步骤 5 对步骤 1 生成的种群 $P1\sim PM$ 分别进行选择、交叉、变异操作,然后进行个体评价,记录优秀个体的亲代 Px ;根据确定的淘汰规模,对较差个体进行筛选之后,再对其亲代重新进行交叉、变异操作,淘汰较差个体;
- 步骤 6 将步骤 5 记录的优秀个体的亲代 Px 与精英档案 R 中的随机个体进行组合形成完整解,并进行个体评价,计算新生种群个体之间的拥挤度距离;如果新生种群的规模超过标定数量(本案例中确定为全区井数,即根据相关指标计算的全区合理井数),则淘汰较差个体(小拥挤度),记录剩余优秀个体的亲本;
- 步骤 7 将步骤 6 记录的剩余优秀个体的亲本转移、替换到精英档案 R 中;
- 步骤 8 满足进化结束条件,则结束计算,输出精英档案集合;否则,转步骤 4 进行新一轮的循环($N+1$)。

$$J_{i,j,k}(t)=[S_{o,i,j,k}(t)-S_{or}][p_{o,i,j,k}(t)-p_{min}]\cdot \ln K_{i,j,k}\cdot \ln r_{i,j,k}\cdot h\phi\cdot NTG$$

(1)

其中, J 为生产潜力; $NTG=h/H$,储层净毛比, h 为有效储层厚度, H 为层位构造厚度,数值范围为 $0\sim 1$; $S_{o,i,j,k}$ 为含油饱和度,数值范围为 $0\sim 1$,其中 (i,j,k) 为位置坐标; S_{or} 为残余油饱和度,数值范围为 $0\sim 1$; p 为地层压力,为保证井底单相流和开发效果,确定 $p>p_b$,其中 p_b 为原油饱和压力; $K_{i,j,k}$ 为各个位置的渗透率; $r_{i,j,k}$ 为与边界的距离; ϕ 为孔隙度,数值范围为 $0\sim 1$ 。

3 现场实验与对比分析

3.1 区块特征

选择塔河油田某区块为例,目标区块为国内典型的碳酸盐岩区块,储层内部缝洞发育,因其具有独特的成藏特征,所以在井位确定方面需要更为严谨的计算。目标区块地质模型如图 4 所示。

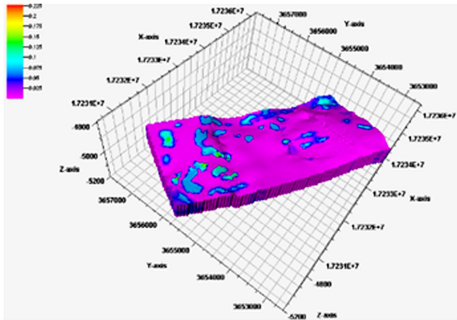


图 4 目标区块孔隙度模型

根据国内相似油田区块的开发经验,确定该区块的合理井数在 11 口左右。将式(1)中的相关参数导出,运用改进后的遗传算法进行井位优化与确定。其中,区块的平面网格数目为 52×65。

3.2 遗传算法计算井位与生产模拟

将计算的结果映射到地质模型中,井位图如图 5 所示,可以发现计算得到的井位与含油饱和度有很好的相关性。

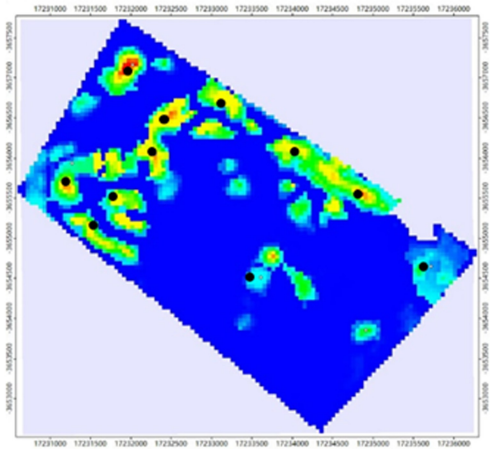


图 5 井位图

采用斯伦贝谢油藏数值模拟软件 ECLIPSE,设置井位,模拟生产。最终模拟结果如表 1 所列。

表 1 生产模拟结果

指标	生产时间/年	累计产油量/ 10^4m^3	最终采收率/%
数值	20	6424.78	21.75

3.3 多元改进遗传算法先进性验证

将多元改进遗传算法与现场经验法、传统遗传算法计算的井位进行对比,结果如表 2 所列。

表 2 不同井位算法生产模拟结果的对比情况

指标	生产时间/年	累计产油量/ 10^4m^3	最终采收率/%
现场经验与储量丰度法	20	5550.38	18.75
传统遗传算法	20	5924.36	20.06
多元改进遗传算法	20	6424.78	21.75

结束语 本文针对油田现场利用遗传算法确定井位时存在的“早熟”、收敛效率低和优质解丢失问题,对传统遗传算法进行改进,引入淘汰算子,建立精英档案,并对协同进化确定共生伙伴的策略进行改进,最终实现对传统遗传算法的多角度、多层次改进。

利用中石化西北局塔河油田的现场实际地质模型,对改进后的遗传算法进行验证。实验结果表明,利用多元改进遗传算法计算的井位,生产模拟之后开发效果得到一定程度的改善,这充分说明多元改进遗传算法的有效性。

鉴于该新型算法无法考虑断层对油气田开发过程中井位的影响,建议未来的研究应更加注重考虑复杂地质实际情况对开发效果的影响,协调断层与理想井位之间的矛盾。

参 考 文 献

[1] BITTENCOURT A C,HORNE R N.Reservoir development and design optimization[C]//SPE AnnualTechnical Conference and Exhibition. San Antonio,SPE,1997:SPE 38895.

[2] MORALES A N,NASRABADI H,ZHU D. A new modified genetic algorithm for well placement optimization under geological uncertainties[C]//SPE EUROPEC/EAGE Annual Conference and Exhibition. Vienna:SPE,2011:SPE143617.

[3] 姜瑞忠,刘明明,徐建春,等. 遗传算法在苏里格气田井位优化中的应用[J]. 天然气地球科学,2014,25(10):1603-1609.

[4] 高雪笛,周丽娟,张树东,等. 基于改进遗传算法的测试数据自动生成的研究[J]. 计算机科学,2017,44(3):209-214.

[5] 吉根林. 遗传算法研究综述[J]. 计算机应用与软件,2004,21(2):69-73.

[6] 熊伟清,魏平,赵杰煜. 遗传算法的早熟现象研究 [J]. 计算机应用研究,2001,18(9):12-14.

[7] 王出航,刘峰. 采用遗传算法和 WSN 的智能灯控方法设计[J]. 控制工程,2017,24(2):341-345.

[8] 金希东. 遗传算法及其应用 [D]. 成都:西南交通大学,1996.

[9] 胡仕成,徐晓飞,李向阳. 项目优化调度的病毒协同进化遗传算法[J]. 软件学报,2004,15(1):49-57.

[10] 苗金凤,王洪国,邵增珍,等. 基于多级搜索区域的协同进化遗传算法 [J]. 计算机应用研究,2010,27(9):3345-3347.

[11] 王鸿磊,徐平平,朱文祥,等. WSN 低能耗数据收集遗传粒子群算法研究[J]. 计算机科学,2017,44(3):79-83.

[12] 袁勇,梁永全. 基于协同进化遗传算法的多议题谈判[J]. 计算机工程,2009,35(4):187-189.

[13] 王厅长,邱建东,商庆健,等. 病毒协同进化遗传算法在自动化立体仓库货位优化中应用的研究 [J]. 计算机科学,2014,41(11A):35-38.

[14] 宋洵成,邹德永. 采用遗传算法的 PDC 钻头侧向力平衡优化设计[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2006,30(4):50-52.