

· 油气藏工程 ·

油田开发规划优化决策系统研究*

凡哲元¹⁾ 邢绍献²⁾ 苏映宏²⁾ 范智慧²⁾ 丁辉³⁾ 刘志斌³⁾

1)中国科学院力学所;2)胜利油田有限公司地质科学研究院;3)西南石油学院

摘要:介绍了油田开发规划优化系统的原理与方法、系统结构与模块功能设计。在产油量最大、总成本最低、效益最优等不同优化目标下,实现了数据导入、系统配置、油田开发生态预测、规划优化、产量分配、最优控制等效益规划功能。该系统已应用于油田中长远开发规划,取得了较好效果。

关键词:效益规划;软件;模块;系统预测;最优控制

中图分类号:TE32

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2003)06-0034-03

引言

随着我国原油生产日益市场化和国际化,油田开发越来越重视追求自身的经济效益。如何提高油田开发效益是目前及今后面临的最主要问题,而解决这一问题的关键是要制定科学合理的“油田开发规划优化方案”。大庆、胜利等油田对“油田开发规划优化”进行了积极的探索,并已初步应用于油田中长远开发规划中,一些研究机构及石油高等院校也开展了许多研究工作。研究内容涉及开发规划中的预测问题^[1-3],各项措施对总产量的影响与优化构成及井数对产量及费用的影响与优化问题^[4,5],并分析了如何将总产量最优分配到各单井,得到了总产量在多目标下最优分配到各采油厂的有关结论^[6,7]。但在综合考虑技术、经济、政治等因素时,油田各分项产量及其对应的投资、成本、工作量以及其他开发指标之间如何实现最优配置,该问题的研究尚未见报道。本文研究并建立了油田开发规划中的产量构成优化模型、措施产量结构优化模型和措施最优控制模型,较好地解决了这一问题,并编制了“油田开发规划优化决策”软件系统。

1 系统实现原理与系统模型的建立

1.1 系统实现原理

油田开发规划优化系统利用功能模拟原理(神

经网络方法、微分模拟方法)以及现代优化技术(优化建模方法、离散化技术、优化算法的计算机实现),从系统理论出发提出并研究了油气动态系统基本统计规律,根据历史信息实现功能的同构,建立系统输入输出的关联关系,对油气动态系统进行预测,同时利用此输入输出关系建立了以下四类油田开发规划优化模型:①产量构成优化模型,即通过优化全油区(油田)的总产量构成,使之达到不同的优化目标;②措施结构优化模型,即通过优化全油区(油田)的措施产量,使之达到不同的优化目标;③产量分配优化模型,即将油区产量最优地分配到下属单位;④开发指标最优控制模型,即给定期望的状态变量(如产油、产水、平均压力等)值,寻找油田的最优控制措施(如井数、注水量、措施等)。

1.2 产量构成优化模型

1.2.1 分项产量与影响因素关系的建立

要建立油田产量构成优化模型,首先要建立各分项产量与其对应影响因素间的关联关系。油田产量随其对应的投资、成本、工作量及生产动态规律而变化,影响因素是多方面的,包括经济、技术、投入、管理水平等多种因素。胜利油区产油量按开采方式由陆上稀油、稠油热采、三次采油和海上四部分构成,陆上稀油、稠油热采和海上产量的影响因素为成本、新钻井数、新增动用地质储量、产能、措施井次、投资,三次采油增油量的影响因素为聚合物干粉用量、吨聚合物增油量、成本、覆盖地质储量、投资。

目前,已有许多关于建立油田产量与其对应影

收稿日期 2003-04-15;改回日期 2003-10-12。

作者简介:凡哲元,男,高级工程师,1987年毕业于西南石油学院油藏工程专业,1997年获石油大学(北京)石油工程硕士学位,现为中国科学院力学所在读博士生,长期从事油田开发及规划研究工作。联系电话:(010)82312044,通讯地址:(100083)北京市海淀区学院路31号。

*该文为胜利油田有限公司级课题“油田开发规划优化评价系统”的核心内容,课题编号 KKF32001001

响因素关联关系的研究,从方法上大致包括油藏工程方法及功能模拟方法。本文采用功能模拟方法来建立各分项产量与其影响因素的关联关系,在给定各影响因素估计值的情况下,利用建立的关联关系来预测产量。功能模拟方法包括神经网络方法与微分模拟方法,主要是从信息过程和控制过程的角度来描述对象,通过历史的拟合实现功能的同构,并经后验预报检验确定模型的可靠性,从而预测产量。神经网络方法模仿人脑的神经元结构,利用系统输入输出信息建立系统描述,实现系统预测与控制。微分模拟方法根据历史信息实现功能的同构,建立系统的输入输出关联关系,进而外推进行预测。这两种方法建立的关联关系为一种严重非线性的广义的隐函数关系^[1-3]。

1.2.2 优化模型的建立

各分项产量一定,成本最低的优化模型的目标函数为

$$\min C = \sum_{t=1}^T \left[\sum_{j=1}^J c_j(t) (1+i)^{-(t-1)} \right] \quad (1)$$

式中: C 为总成本, 10^4 元; T 为优化年数,一般取5; t 为优化年序, $t=1,2,3,\dots,T$; J 为产量种类数,一般为3个以上; j 为产量序号, $j=1,2,3,\dots,J$; $c_j(t)$ 为第 j 项产量对应的成本,元; i 为贴现率。

约束条件包括各分项产量之和不低于油田总产量、各分项产量与对应影响因素的关联关系以及各影响因素的上下界。

定成本、产量最大优化模型的目标函数为

$$\max Q = \sum_{t=1}^T \left[\sum_{j=1}^J q_j(t) \right] \quad (2)$$

式中: Q 为总产量, 10^4 t; $q_j(t)$ 为第 j 项产油量, 10^4 t。

约束条件包括各分项产量的成本之和不低于油田总成本、各分项产量与对应影响因素的关联关系以及各影响因素的上下界。

定产量、定成本、效益最好优化模型的目标函数为

$$\max Z = \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{j=1}^J p(t) q_j(t) - c_j(t) (1+i)^{-(t-1)} \right\} \quad (3)$$

式中: Z 为利润总额, 10^4 元; $P(t)$ 为油价,元/t。

约束条件包括各分项产量之和不低于油田总产量、各分项产量的成本之和不低于油田总成本、各分项产量与对应影响因素的关联关系以及各影响因素的上下界。

从以上所建的模型可以看出,直接的决策变量

是各分项的年产油量,但这些产量都随其影响因素变化,因此真正的决策变量是影响各分项产量的工作量、成本等诸多因素。

以上所描述的优化模型是带约束的非线性优化模型,这三个模型中各分项产量与其对应影响因素关联关系的求解是问题的关键。如果用功能模拟原理(即微分模拟方法和神经网络方法)获得其关联关系,仅仅是一种输入输出结构关系,并不一定是一种显函数关系,但可采用“内点法”或“外点法”求解^[3],通过设置一个现行解为“整体中心”,经过多次迭代后,最终达到一个最优解,得到各分项产量的最优构成及对应影响因素的最优配置。

2 系统结构与主要功能

油田开发规划优化决策系统各模块如图1所示。数据导入模块主要是从Excel文件中导入各分项产量数据和产量影响因素数据,生成程序所需的Access数据库;系统配置模块在系统运行之前,针对不同模块的需要进行任意配置,产量构成的数目、影响因素的个数不受限制,其中动态预测配置所要预测的产量类型(如老井产量、新井产量和措施产量等)和对应的影响因素(如开井数、含水和措施井次等),规划优化配置总产量的构成及其各分项产量的影响因素,产量分配配置下属单位的组成及各下属单位产量影响因素。动态预测模块根据预测配置的结果,输入各影响因素在预测时间内的估计值和预测年数,输出结果包括产量预测值、影响因素相关系数、历史拟合精度、预测变量与影响因素随时间变化的关系图等。规划优化模块包括产量构成优化模块和措施产量结构模块。根据规划优化配置结果,确定优化目标(前面已介绍),选择建立产量与影响因素关联关系所采用的方法(微分模拟法和神经网络法),并要给出各影响因素的上下界限值,以此来确定各分项产量的上下界限值,最终得到产量构成优化结果以及相应的成本和工作量,同时也可得到各分项产量的影响因素值和不同油价下的利润等效效益指标。产量分配模块将全油区的产量分别按“定产量优化”、“定成本优化”、“效益优化”等不同分配目标,最优地分配到各采油厂,并相应得到下属单位的成本和工作量,同理也可将采油厂的产量按不同的目标最优地分配到各采油矿。最优控制模块对全油区给出选定指标(如产油量)下年的期望值,并选定相应的控制措施,确定各项控制措施的最优值。

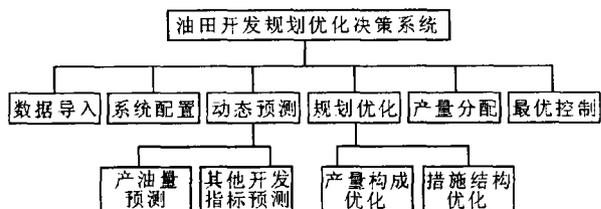


图1 油田开发规划优化决策系统结构

表2 各产量构成优化结果

年份	产 油 量 /10 ⁴ t			
	陆上稀油	稠油热采	三次采油	海上
2001	2196.3	141.7	125.7	204.3
2002	2178.6	160.1	127.7	205.1
2003	2159.1	159.3	135.5	206.1
2004	2119.9	145.0	157.8	217.4
2005	2069.9	139.7	185.4	225.0

3 应用实例

胜利油区1995—2000年历史数据(表1)表现出陆上稀油、稠油热采产油量下降的趋势,三次采油、海上产油量增加的趋势,这些变化与影响因素的变化密切相关。

表1 不同开发方式产油量历史数据

年份	产 油 量 /10 ⁴ t			
	陆上稀油	稠油热采	三次采油	海上
1995	2708.1	233.7	4.3	54.1
1996	2555.8	227.8	23.1	105.0
1997	2393.2	220.6	37.4	150.0
1998	2299.4	198.0	52.6	181.0
1999	2188.1	174.7	101.4	201.0
2000	2184.3	142.5	131.2	217.7

首先利用功能模拟原理建立各部分产量与其对影响因素的关联关系(详细过程略),再用动态分析或预测方法得到各分项产量的上下界,选择优化模型(以产量一定,成本最低优化模型为例),用SUMT方法求解该优化模型得到2001—2005年各部分产量的最优构成(表2),并相应得到成本和工作量的优化结果。利用这一优化结果对油田2003—2005年的开发规划部署方案进行了调整,在总产量不变的情况下,各部分产量进一步优化,减少了投资,降低了成本,提高了油田开发效益。

4 结论

以油藏开采机理为基础,利用功能模拟原理(神经网络方法和微分模拟方法)建立了产量与影响因素的关联关系,在此基础上确定了油田开发规划的四类优化模型,研制了相应的软件系统,从而实现了开发动态的功能模拟预测、不同目标下的产量构成优化、措施产量结构优化、产量最优分配和开发指标最优控制,并已应用于油田开发规划优化。

参考文献:

- 1 刘志斌. 注水开发油田的微分模拟预测. 西南石油学院学报, 1993, 15(1): 69~74
- 2 肖伟, 刘志斌. 基于神经网络的油田注水动态预测. 交通与计算机, 1997, 15(2): 57~60, 78
- 3 李允, 刘志斌. 现代优化技术在油田开发中的应用. 北京: 石油工业出版社, 2001
- 4 齐与峰, 张辉军. 油田中后期稳产规划方法. 石油学报, 1992, 13(1): 52~60
- 5 范江. 确定油田开发最佳井数的多目标数学规划方法. 石油学报, 1996, 17(4): 105~108
- 6 张在旭. 油田开发系统规划的策略. 石油大学学报(自然科学版), 1998, 22(2): 75~80
- 7 Wei Xiao, Liu Zhibing. Multiobjective linear programming model on injection oilfield recovery system. Computers Mathematical applications, 1998, 36(5): 127~135

编辑 刘北羿

欢迎各企业与本刊联系广告业务

traps. Vertical oil-gas distribution rule is as matured oil, low-matured oil and biogenic gas, while the lateral is oil-gas lapped over and bordered upon with each other of various geneses. Matured oil in upper E_{s4} and biogenic gas in E_{s1} are orientation for the future exploration, and the key targets are nosing structures of slope zone and fault zone.

Key words: matured oil, low-matured oil, biogenic gas, distributeon rule, Yangxin depression

Guo Yuxin, Lin Huixi, Wang Yalin et al. Exploration of Eocene low-stand fans at the gentle slope of Chexi depression. PGRE, 2003, 10 (6): 28 ~ 30

Sequence stratigraphy in the Eocene system at the gentle slope belt of Chexi depression is researched, and its sequence stratigraphic pattern is built. The low-stand fan of the upper part of the fourth Member of the Shahejie Formation (E_{s4}) is mainly analyzed in this paper. The low-stand fan of the upper E_{s4} is fan-delta deposit and the faulted slope fold belt developed on the gentle slope of Chexi depression controls its spread and distribution. The analysis of reservoir-forming controlling factors shows that oil accumulation in the low-stand fan is mainly controlled by source rocks, reservoirs, migration paths of oil and gas (syndepositional faults and unconformity surfaces) and the distribution of syndepositional faults and reservoirs, and it is lithologic-structural oil reservoir. The result is applied to the exploration of the low-stand fan oil reservoirs in this area achieving good results.

Key words: Eocene, sequence, faulted slope fold belt, low-stand fan, Chexi depression

Chang Jianfeng, Li Jinghao, Liu Wenxiu et al. Sedimentary pattern and distribution rules of turbidite submerged fan on the eastern slope of Chengdao oilfield. PGRE, 2003, 10 (6): 31 ~ 33

On the basis of analyzing the structure on the eastern slope of Chengdao oil field, the sedimentary pattern of turbidite submerged fan is studied. It is considered that the formation and development of turbidite submerged fan of the eastern slope are closely related to the development of erosion trench of the slope belt, the palaeotopography of the slope fold belt, the structural fracture movement, the stratigraphic onlap pinchout and so on. The distribution of sand body is mainly on the downslope fold belt and the frontal zone of the gentle slope belt on the upper of it, and the lithologic and structural-lithologic oil reservoirs can be formed.

Key words: turbidite submerged fan, slope fold belt,

sedimentary pattern, oil reservoir types, Chengdao oilfield

Fan Zheyuan, Bing Shaoxian, Su Yinghong et al. Optimal decision system study for oilfield development programming. PGRE, 2003, 10 (6): 34 ~ 36

Principle and methods, system structure and function design of modules of oilfield development programming are introduced in this article. Under various optimal objects of maximum oil production, minimum total cost, or maximum profit, some functions of data import, system configuration, dynamic prediction of oilfield development, programming optimization, production arrangement, optimum control and so on are realized in this system. System introduced here has been applied in real oilfield mid-long term development programming with satisfactory effect.

Key words: profit programming, software, module, system prediction, optimum control

Sun Mengru, Cui Wenfu. Study on holding level of formation pressure of E_{s2} 9 ~ 10³ series of Tuo 28 block in Shengtuo oilfield. PGRE, 2003, 10 (4): 37 ~ 38

After 40 years' development, Tuo28 block of Shengtuo oilfield has entered extra high water cut period. Severe heterogeneity of oil-bearing formations, low perfecting degree of well pattern and interlayer interference cause the non-equilibrium of reservoir pressure and restrict the production potential of oil and water wells. Reasonable reservoir pressure level is studied by numerical simulation, and the limit value of correlative parameter is determined, which provides theoretical foundation for improving the development results of the oilfield in extra high water cut period.

Key words: formation pressure, numerical simulation, extra high water cut period, waterflooding effect, Shengtuo oilfield

Wang Lezhi, Li Tao, Wang Zhonghui et al. Research on depletion exploitation characteristics simulation on deep zone & low-permeability condensate gas reservoir. PGRE, 2003, 10 (6): 39 ~ 41

In this paper a series of production indices of phase state during the depletion course is investigated on saturation distribution of retrograde condensate liquid, composition change and produced degree of well effluent, accumulated output of condensate oil and natural gas in the first separator and content change of heavy component in the produced gas through phase overall analysis of the formation fluid and emulative simulation