

预测聚合物驱油田产量的两种方法的对比

王 雨 宋考平 唐 放

(大庆石油学院 提高油气采收率教育部重点实验室, 黑龙江 大庆 163318)

摘 要:在分析大量油田动态指标预测方法及聚合物驱影响因素的基础上,对适合于聚合物驱油田开发指标的预测方法进行了深入研究,并结合大庆油田杏四~六面积北部区块注聚合物驱的实际资料,应用物质平衡法和预测模型法对该区块的产油量进行了预测。结果表明:物质平衡法可以对聚合物驱整个过程进行预测,其优点是计算速度快、精度高,缺点是需要的参数多,对后续水驱阶段预测有一些偏差;在聚合物驱开发初期,两种预测模型法的误差偏大,达到最高月产油量后,预测误差较小,表明在含水稳定阶段和含水回升阶段预测模型法的应用效果较好;物质平衡法优于模型法,其平均误差为 2.05%,而两种模型法预测的平均误差分别为 4.61%、3.73%。总体来说,两种方法都满足生产的需要。

关键词:注聚合物;产量预测;物质平衡法;预测模型法

中图分类号:TE328 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2009)02-0070-04

在油气田的开发过程中,油气藏及生产井都经历产量上升、稳定和递减 3 个阶段。当油气藏或单井的开采进入递减期后,为了解油气藏或单井的动态变化,及时为油田开发工作者提供油气藏的动态变化,调整各种方案,需要用预测方法给出产油量、产液量、含水和采收率等动态指标,以对油层开采状态进行表征。随着聚合物驱油规模的不断扩大,聚合物驱油技术不断成熟,聚合物驱开发指标预测技术也随之发展起来。目前存在的预测方法有数值模拟法、模式图预测法、累积液累积水法、神经网络预测法、物质平衡法和预测模型法等。笔者利用物质平衡法和预测模型法进行聚合物驱产量预测,并对这两种方法的适用性以及优缺点进行了分析与对比^[1-3]。

1 物质平衡法

通过分析聚合物驱油机理,利用大量实测资料,进行理论推导和统计分析,建立了半理论半经验的聚合物驱开发指标预测模型。该模型能描述油、水和聚合物混合流动条件下的渗流规律,适用于预测油井见聚合物情况下的含水率、产油量的变化规律。文献[4]综合运用前缘推进理论和经验回归方法,建立了另外一种产量变化规律的预测模型。在建立该方法时,假定区块以给定的单位时间产液量生产,压力是不断变化的,即“定产求压”。首先给出含水率

变化预测公式,然后利用产液量和含水率计算产油量。

1.1 含水率计算

综合考虑聚合物驱条件下的流体黏度、出口端聚合物质量浓度 C_p 、油水两相的相对渗透率和出口端含水饱和度 S_{wp} 的变化,可以得到出口端含水率 f_{wp} 为:

$$f_{wp} = \left\{ 1 + \frac{\mu^*}{\mu_a} (A_1 C_p + A_2) \exp[-(B_1 C_p + B_2)] \right. \\ \left. S_{wp} + B C_p \right\}^{-1} \quad (1)$$

式中, A_1, A_2, B_1, B_2, B 为待定系数; μ_a 为聚合物溶液的表观黏度; μ^* 为聚合物溶液的视黏度,产液量恒定时近似为一个常数。

根据室内实验,回归出聚合物溶液黏度与出口端聚合物质量浓度的相关式 $\mu_a = \mu^* e^{BC_p}$,即可求出 μ^* 和 B 。对不同聚合物质量浓度下的油、水相对渗透率曲线进行回归得:

$$K_{ro}/K_{rw} = A_1 e^{-B_1 S_w} \quad (2)$$

收稿日期:2007-11-19;改回日期:2008-12-03

基金项目:国家自然科学基金重点项目“低渗透油层提高驱油效率的机理研究”(编号:50634020)资助

作者简介:王雨(1984—),男,2007年毕业于大庆石油学院石油工程专业,在读硕士研究生。

联系电话:(0459)6506789

$$K_{ro}/K_{rw}=A_2 e^{-B_2 S_w} \quad (3)$$

根据式(2)、(3)可求得 A_1, A_2, B_1 和 B_2 。

水驱条件下含水率 f_w 为:

$$f_w = \frac{1}{1 + \frac{\mu_w}{\mu_o} \frac{K_{ro}}{K_{rw}}} \quad (4)$$

聚合物驱后含水饱和度的变化为:

$$S_{wp} = S_w + \int_0^t \frac{Q_i (f_w - f_{wp})}{\pi \phi H D^2} dt \quad (5)$$

式中, f_w 为水驱条件下含水率, %; S_w 为含水饱和度, 小数; ϕ 为岩石孔隙度, 小数; H 为油层有效厚度, m; D 为油藏模型平面径向直径, m; Q_i 为产液量, t。

联立式(1)、(4)和式(5), 则可求出聚合物驱下的含水率 f_{wp} 。

1.2 产油量预测

根据笔者的假设, 当区块以给定的单位时间产液量生产时, 考虑到上面得到的聚合物驱下的含水率计算公式, 可预测产油量为:

$$q_o = q_l (1 - f_{wp}) \quad (6)$$

式中, q_o 为产油量, t; q_l 为产液量, t。

利用物质平衡法对大庆油田的注聚合物区块杏四~六面积北部进行了预测, 预测结果见图 1~2。根据图 1~2 中数据计算杏四~六面积北部的含水率预测平均误差为 1.02%, 月产油量预测平均误差为 7.63%, 累积产油量预测平均误差为 3.82%。由

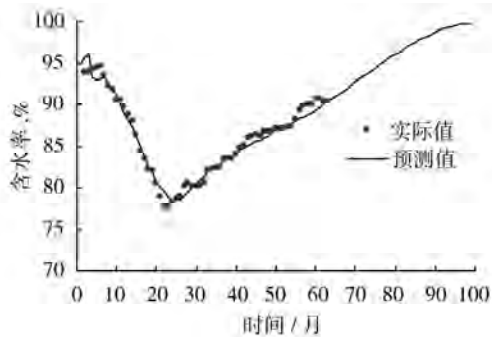


图 1 杏四~六面积北部含水率预测

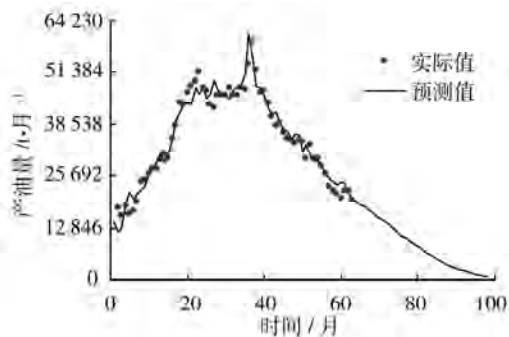


图 2 杏四~六面积北部月产油量预测

此可看出, 物质平衡法预测聚合物驱过程精度较高, 基本符合实际情况。

2 预测模型法

文献[5]将在水驱中预测产量效果较好的广义翁氏模型和瑞利模型应用到聚合物驱产量预测中, 提出了预测聚合物驱阶段产量随开发时间变化的方法。将这两个模型中的时间步长由以年为单位缩短到以月为单位, 利用线性试差和线性回归得到聚合物驱产量预测模型。

2.1 广义翁氏模型

$$Q = at^b e^{-(t/c)} \quad (7)$$

式中, a, b, c 为模型常数; Q 为某一生产时间的产量, 10^4 t; t 为生产时间, 月。

由式(7)可以看出, 广义翁氏模型是具有三个常数(a, b, c)的非线性模型, 对于这样的模型, 一般采用线性试差拟合法求解[6]。

首先将式(7)改写为下式:

$$Q/t^b = ae^{-(t/c)} \quad (8)$$

对式(8)等号两端取常用对数得:

$$\lg(Q/t^b) = A - Bt \quad (9)$$

式中, $A = \lg a$; $B = 1/2.303c$ 。

根据油气田的产量和开发时间的数据, 若给定不同的 b 值, 利用式(9)进行线性试差求解, 对于能够得到相关系数最高的 b 值, 即为欲求的正确 b 值。此时, 当由线性回归求得直线的截距 A 和斜率 B 后, 可确定模型常数 a 和 c , 从而得到产量公式[7-8]。

2.2 瑞利模型法

$$Q = (N_R/c^2) t e^{-(t^2/2c^2)} \quad (10)$$

式中, Q 为某一生产时间的产量, 10^4 t; N_R 为可采储量, 10^4 t; t 为生产时间, 月。

由式(10)可以看出, 要利用瑞利模型进行产量预测, 就必须首先确定模型常数 c 的值。为此, 将式(10)等号两端先除以 t 再取常用对数, 得:

$$\lg(Q/t) = A - Bt^2 \quad (11)$$

式中, $A = \lg(N_R/c^2)$; $B = 1/4.606c^2$ 。

由式(11)可看出, Q/t 与 t^2 之间具有半对数直线关系。对该式进行一元线性回归, 可求得截距 A 和斜率 B , 即可确定参数 c , 从而得到产量公式[9]。

2.3 应用举例

为了说明预测模型的适用性和线性试差求解方

法的可靠性,笔者以大庆油田的杏四~六面积北部区块为例,进行了产量预测,预测结果见 3。预测过程中求得的相关参数为:广义翁氏模型线性回归截距 A 为 2.178 7,斜率 B 为 0.038 6,相关系数 R 为 0.995 8,模型常数 a 、 b 、 c 分别为 150.904、2.5、11.249;瑞利模型线性回归截距 A 为 3.52,斜率 B 为 0.000 3,相关系数 R 为 0.980 3,模型常数 c 为 26.901 56。

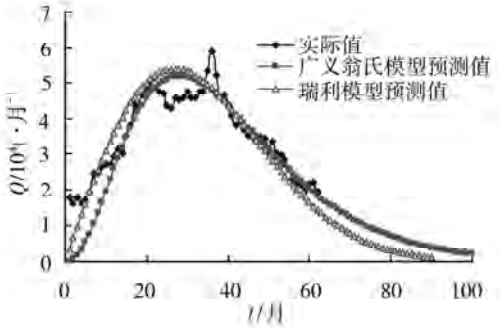


图 3 杏四~六面积北部月产油量预测曲线

3 物质平衡法与预测模型法的对比

根据已建立的物质平衡方程和预测模型,对杏四~六面积北部区块实际开发数据进行了拟合,拟合结果见图 4。从图 4 可看出:物质平衡法可以对聚合物驱整个过程进行预测,计算速度快、精度高,

但需要的参数多,而且对后续水驱阶段的预测有一些偏差;两种预测模型在聚合物驱开发初期的误差偏大,达到最高月产油量后,预测误差较小,表明在含水稳定阶段和含水回升阶段两种预测模型的应用效果较好;但从后期的预测来看,三种方法的预测曲线出现了“分叉”。瑞利模型的预测值下降得最快,物质平衡法预测值下降得最慢,广义翁氏预测模型介于二者之间。

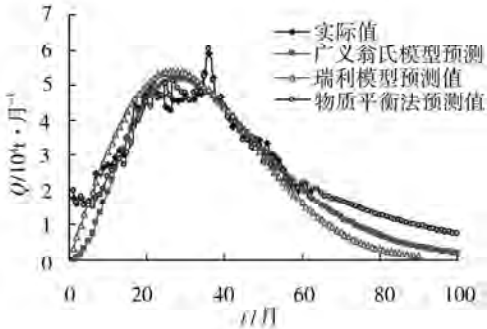


图 4 预测北部区块月产油的各种方法的对比曲线

在对杏四~六面积北部区块实际开发数据进行拟合的基础上,分别预测出了该区块 2005 年的月产油量,结果见表 1。由表 1 可看出:实际值与预测值符合得较好;物质平衡法优于模型法,物质平衡法预测的平均误差为 2.05%,而模型法预测的平均误差分别为 4.61%、3.73%。总体来说,两种方法都满足生产的需要。

表 1 2005 年杏四~六面积北部区块月产油量实际值与预测值的对比

月份	产油量/t·日 ⁻¹				误差,%		
	实 际	翁氏模型	瑞利模型	物质平衡	翁氏模型	瑞利模型	物质平衡
1	52 064.976 0	46 854.031 0	47 580.36	51 363.05	-10.01	-8.61	-1.37
2	46 452.992 8	45 824.178 3	46 398.67	45 444.57	-1.35	-0.12	-2.22
3	46 814.981 2	44 739.410 4	45 152.56	46 148.27	-4.43	-3.55	-1.44
4	43 768.003 9	43 608.561 6	43 850.39	43 989.15	-0.36	0.19	0.50
5	40 576.007 4	42 439.911 6	42 500.40	40 535.72	4.59	4.74	-0.10
6	38 264.005 2	41 241.181 5	41 110.61	39 395.03	7.78	7.44	2.87
7	38 925.009 4	40 019.536 7	39 688.85	39 597.40	2.81	1.96	1.70
8	36 740.018 1	38 781.593 8	38 242.65	36 950.80	5.56	4.09	0.57
9	35 060.989 8	37 533.433 2	36 779.27	34 172.39	7.05	4.90	-2.60
10	34 745.012 8	36 280.614 2	35 305.59	34 275.54	4.42	1.61	-1.37
11	33 627.985 6	35 028.193 6	33 828.17	32 193.80	4.16	0.60	-4.45
12	34 768.004 4	33 780.745 8	32 353.16	32 980.00	-2.84	-6.95	-5.42

4 结 论

1) 应用物质平衡法可以对聚合物驱整个过程进行预测,其预测结果接近实际生产的数据,这种方法计算速度快、精度高,但需要的参数多,而且对后续水驱阶段的预测有一些偏差。

2) 应用广义翁氏预测模型和瑞利预测模型法,建立了聚合物驱月产油量、累积产油量的预测模型。该方法可以对整个聚合物驱油阶段的产量进行拟合与预测,这两种模型简单、快速、适用性强。但在聚合物驱开发初期,两种预测模型法的误差偏大。

参 考 文 献

[1] 刘美佳,宋考平,张建国,等.一种预测聚合物驱含水率及可采

储量的简单方法[J].石油钻探技术,2007,35(5):98-100.
[2] 孔祥亭,唐莉,周学民.聚合物驱开发规划指标预测方法研究[J].大庆石油地质与开发,2001,20(5):46-50.
[3] 赵国忠,孟曙光,姜祥成.聚合物驱含水率的神经网络预测方法[J].石油学报,2004,25(1):70-73.
[4] 宋考平,陈锐,邓庆军,等.聚合物驱产量和含水率变化规律的预测[J].大庆石油学院学报,2002,26(1):97-100.
[5] 孙强,邓兵,马丽梅.广义翁氏与瑞利模型在聚合物驱产量预测中的应用[J].大庆石油地质与开发,2003,22(5):58-60.
[6] 数学手册编写组.数学手册[M].北京:人民教育出版社,1979.
[7] 陈元千.对翁氏预测模型的推导及应用[J].天然气工业,1996,16(2):22-26.
[8] 胡建国,张栋杰.油气藏工程实用预测方法文集[M].北京:石油工业出版社,2002:76-85.
[9] 李艳.瑞利分布模型在辽河油区稠油产量预测中的应用[J].特种油气藏,2003,10(6):33-35.

[审稿 陈月明]

The Comparison between Two Methods of Predicting Oil Production in Polymer-Flooding Oilfields

Wang Yu Song Kaoping Tang Fang

(MOE Key Laboratory of Enhanced Oil Recovery, Daqing Petroleum Institute, Daqing, Heilongjiang, 163318, China)

Abstract: On the basis of analyzing a large number of methods of predicting oilfield dynamic indicators and factors affecting polymer flooding operations, predictions, oilfield dynamic indicator suitable for polymer flooding was investigated in detail. Oil production was predicted using material balance method and prediction model method using actual data of two polymer-flooding blocks in Daqing oilfield. The results indicate that the material balance method can predict the whole polymer flooding process fast and with higher accuracy, while it needs more parameters and deviates in predicting the water flooding after polymer flooding. The prediction model methods deviate relatively large in initial stage of polymer flooding, then is relatively small after the highest oil rate obtained. It indicates that the prediction model methods are more suitable in the phase of steady water-cut and rising water-cut. The material balance method is better than prediction model methods and the average error is 2.05%. While the average error of these two prediction methods are 4.61% and 3.73% separately. In general, both methods meet requirements of oilfield development.

Key words: polymer waterflooding; production forecast; material balance method; prediction model method

SPE 112276,2008

Effect of Basic Parameters on the Viscosity of Synthetic-Based Drilling Fluids

各种基本参数对合成基钻井液黏度的影响

该文介绍了合成基钻井液各组分在常温下对其流变性能的影响。试图通过试验找到影响合成基钻井液流变性能的主要因素,确定合成基钻井液的增黏机理。全面研究了酯、烯或石蜡、有机土、水、氯化钙、乳化剂和搅拌时间等对合成基钻井液流变性能的影响。SEM 照片显示水对钻井液中黏土的分散起关键作用。氯化钙会降低钻井液的稳定性和抑制黏土分散,加入氯化钙的试样在 24 h 内显示出了不稳定性,出现了相分离。SEM 照片和流变性测试结果也显示,黏土分散程度与基液的极性、钻井液分子和黏土极性组的相互作用有关。常温下的试样观察结果表明,均匀稳定钻井液中黏土的最小含量约为 17.12 kg/m³ (6 lb/bbl)。后续观察结果证明了有机土稳定反相乳化液的作用。

常温下剪切时间对钻井液黏度的影响试验结果表明,酯类合成基钻井液优于石蜡类和烯烃类合成基钻井液,举例来说,酯类合成基钻井液搅拌 20 min 就能达到最大黏度,而石蜡类和烯烃类合成基钻井液约需要 60 min。后续的试验也表明,黏土在酯类合成基钻井液中分散性能较石蜡类和烯烃类合成基钻井液好。温度升高可缩短达到最大黏度的搅拌时间,表明温度对合成基钻井液触变性能的影响是正面的。

[闫循彪 译]