

# 聚合物驱增油量评价方法及应用

刘广为,姜汉桥,王 敏,陆祥安

(中国石油大学(北京)石油工程学院,北京 102249)

**摘要:**确定聚合物驱增油量是油田聚合物驱效果评价和经济效益分析的关键。目前常用的聚合物驱增油量评价方法中以产量递减分析法应用最为广泛,但当聚合物驱开发过程中伴随提液措施时,该方法计算的增油量误差很大。提出了考虑提液影响的产量递减分析方法,并与数值模拟方法计算增油量结果进行了对比,考虑提液影响的产量递减分析方法计算聚合物驱增油量误差为2.99%,精度较高,证实了该方法的可靠性。北布扎奇油田聚合物驱试验井组计算实例表明,考虑提液影响的产量递减分析法相比于产量递减分析法,误差减小了24%,可以客观评价聚合物驱增油效果。

**关键词:**聚合物驱 增油量 效果评价 产量递减分析 数值模拟

**中图分类号:** TE357.431

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2014)02-0029-03

聚合物驱油作为油田开发中的稳产、增产接替技术已日臻完善,与此同时,聚合物驱增油量评价方法也随之发展起来<sup>[1-5]</sup>。目前,常用的聚合物驱增油量评价方法有数值模拟法、净增油量分析法和产量递减分析法<sup>[6-10]</sup>。这3种方法都有各自的优点,也都有一定的局限性。聚合物驱开发过程中常常伴随着提液措施,因此3种方法计算增油量都不能准确反映聚合物驱对增油量的贡献,增油量计算结果偏大。为此,笔者对产量递减分析法进行了改进,去除了提液对增油量计算的影响,并以北布扎奇油田为例,应用改进的方法进行增油量计算和对比分析,为客观科学地评价聚合物驱增油效果提供了新的途径。

## 1 评价方法

### 1.1 常用方法

**数值模拟法** 数值模拟法是指应用成熟的化学驱数值模拟软件,考虑聚合物驱,并对生产数据进行历史拟合,在评价期内减去不加入聚合物方案的累积产油量,所得的值即为聚合物驱增油量。这种方法通常对历史拟合精度要求较高,工作量巨大,不适合大规模推广应用。

**净增油量分析法** 净增油量分析法就是将油

井聚合物驱见效前后的日产油量进行对比,超出部分即该井聚合物驱日增油量。在油井聚合物驱增油期限内,将增油量逐日累加,即为该油井聚合物驱增油量。这种增油量计算方法比较简单,但未考虑措施前产量自然递减,因此增油量计算结果偏小。

**产量递减分析法** 产量递减分析法是在净增油量分析法的基础上,考虑聚合物驱前产量自然递减,从聚合物驱见效点开始,考虑产量递减的总增油量计算公式为

$$\Delta q = \int_{t_0}^t (Q_0 - Q_{yc}) dt \quad (1)$$

式中:  $\Delta q$  为总增油量,  $m^3$ ;  $t_0$  为聚合物驱开始见效的时间,  $d$ ;  $t$  为聚合物驱有效期,  $d$ ;  $Q_0$  为油井聚合物驱见效的产油量,  $m^3/d$ ;  $Q_{yc}$  为根据递减曲线预测的水驱开发产油量,  $m^3/d$ 。

这种方法计算得到的增油量可以较为客观地反映增产的效果。但如果聚合物驱过程中伴随着其他措施(比如提液),这个结果就不能准确反映聚合物驱对增油量的贡献。

### 1.2 考虑提液影响的产量递减分析法

#### 1.2.1 模型建立

在井组进行聚合物驱之后以及后续水驱阶段,由于通常伴随着提液措施,因此从聚合物驱见效点

收稿日期:2013-12-13。

作者简介:刘广为,男,在读博士研究生,从事油田开发系统理论方法和三次采油技术研究。联系电话:(010)89732163, E-mail:lgw.cup@gmail.com。

基金项目:国家科技重大专项“海上油田聚合物驱油藏动态监控与评价技术研究”(2011ZX05024-004-07)。

开始,增油量受到提液引起的增油和聚合物驱引起的增油共同影响。提液引起的增油量计算公式为

$$\Delta q_1 = \int_{t_0}^t (Q_L - Q_{L_i})(1 - f_{wyc}) dt \quad (2)$$

式中:  $\Delta q_1$  为提液引起的增油量,  $m^3$ ;  $Q_L$  为油井聚合物驱见效后的产液量,  $m^3/d$ ;  $Q_{L_i}$  为油井聚合物驱见效前的产液量,  $m^3/d$ ;  $(1 - f_{wyc})$  为根据递减曲线预测的水驱开发含油率,数值上等于递减曲线预测的产油量与预测的产液量(即提液前的产液量)的比值。

去除提液影响的聚合物驱增油量计算公式为

$$\Delta q_2 = \Delta q - \Delta q_1 = \int_{t_0}^t (Q_o - Q_{yc}) dt - \int_{t_0}^t (Q_L - Q_{L_i})(1 - f_{wyc}) dt \quad (3)$$

式中:  $\Delta q_2$  为去除提液影响的聚合物驱增油量,  $m^3$ 。

### 1.2.2 准确性验证

建立非均质油藏地质模型,模型采用  $35 \times 35 \times 5$  网格系统,五点法井网。油藏埋深为 1 225 m,初始压力为 14 MPa,油藏有效厚度为 25 m,油藏面积为  $350 m \times 350 m$ ,孔隙度为 0.32,平均渗透率为  $3\ 000 \times 10^{-3} \mu m^2$ ,纵向渗透率变异系数为 0.6,垂向渗透率与横向渗透率之比为 0.1,含油饱和度为 0.64,束缚水饱和度为 0.36,地层原油粘度为 70 mPa·s。于 2014 年 4 月开始注聚合物,至 2015 年 12 月结束,后续水驱至 2023 年 2 月。生产井初期采液速度为  $50 m^3/d$ ,2015 年 12 月后,提液至  $100 m^3/d$ 。生产井的生产动态曲线及产量递减曲线如图 1 所示。

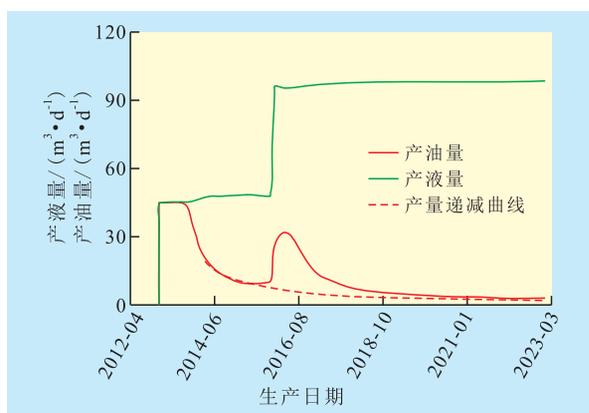


图1 生产井生产动态曲线及产量递减曲线

分别采用数值模拟法和考虑提液影响的产量递减分析法计算增油量,数值模拟法计算的合计增油量、提液增油量和聚合物驱增油量分别为 13 898, 5 877 和 8 021  $m^3$ ;考虑提液影响的产量递减分析法计算的合计增油量、提液增油量和聚合物驱增油量分别为 12 907, 4 646 和 8 261  $m^3$ 。考虑提液影响的

产量递减分析法与数值模拟法相比总误差为 7.1%,计算聚合物驱增油量误差为 2.99%,精度较高。模拟结果显示,提液引起的增油量占合计增油量的 36%,去除提液的影响后,聚合物驱增油量计算精度大大提高。

## 2 实例应用

### 2.1 井组概况

北布扎奇油田位于里海东北部海岸的布扎奇半岛西北端,地处哈萨克斯坦 Mangistau 省 Tyubkaraghan 地区。该油田某井组于 2008 年 7 月开始进行聚合物驱试验(图 2),截至注聚合物前,试验区累积产油量为  $12.8 \times 10^4 t$ ,井组平均产油量为  $143.6 t/d$ ,平均综合含水率为 69.7%,井组采出程度为 6.6%。井组于 2008 年 7 月开始第 1 轮聚合物驱试验,2009 年 7 月停止注聚合物,进入后续水驱阶段。

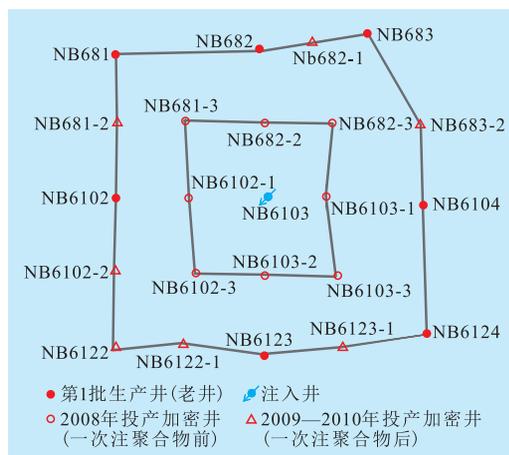


图2 北布扎奇油田聚合物驱试验井组井位分布

### 2.2 计算结果

由于试验井组单井的产液量变化幅度很大,不能直接使用产量递减法计算增油量,需要考虑提液的影响。试验井组中 NB6124 井于 2006 年 12 月 14 日投产,射孔有效厚度为 12 m,其中产量递减开始的时间为 2008 年 7 月,递减类型为双曲递减,初期递减率为 0.045/月,递减指数为 0.29(图 3)。该井聚合物驱见效时间为 2009 年 7 月。从 2009 年 2 月开始,对该井实施了提液措施,产液量不断提高。

注聚合物见效期间,提液引起的增油量为  $0.398 \times 10^4 t$ 。应用产量递减分析法计算聚合物驱增油量为  $0.241 \times 10^4 t$ ,应用考虑提液影响的产量递减分析法对该井组其他井进行增油量计算,井组合计增油量为  $8.93 \times 10^4 t$ ,提液增油量为  $2.145 \times 10^4 t$ ,聚合物驱增油量为  $6.785 \times 10^4 t$ ,相比于产量递减分析法,

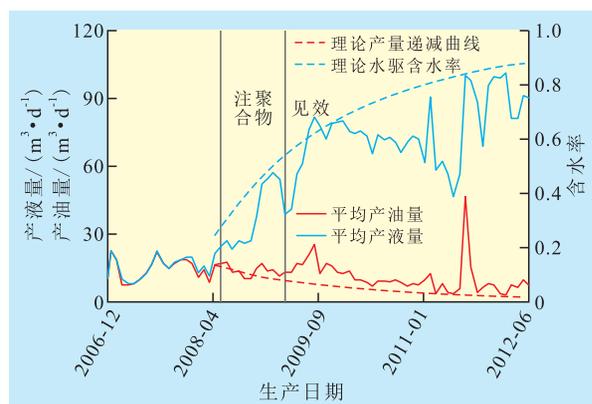


图3 NB6124井生产动态曲线及理论产量递减曲线

误差减小了24%。

### 3 结束语

现有常用的聚合物驱增油量评价方法有数值模拟法、净增油量法和产量递减分析法,均存在明显的不足。考虑提液影响的产量递减分析法去除了提液造成的影响,可以较为客观地反映聚合物驱增油量,计算方法更为合理。

比较考虑提液影响的产量递减分析法和数值模拟方法发现,前者计算的增油量精度较高。模拟结果显示,提液引起的增油量占合计增油量的36%,去除提液的影响后,可以提高聚合物驱增油量计算精度。

在北布扎奇油田的计算实例表明,考虑提液影响的产量递减分析法相比于产量递减分析法误差减小了24%,可以客观地评价聚合物驱增油效果。

#### 参考文献:

- [1] 刘玉章.聚合物驱提高采收率技术[M].北京:石油工业出版社,2005:36-40.
- [2] 曹功泽,刘涛,巴燕,等.孤岛油田中一区馆3区块聚合物驱后微生物驱油先导试验[J].油气地质与采收率,2013,20(6):94-96.
- [3] 苏建栋,黄金山,邱坤态,等.改善聚合物驱效果的过程控制技术——以河南油田双河油田北块H3IV1—3层系为例[J].油气地质与采收率,2013,20(2):91-94,98.
- [4] 曹瑞波,王晓玲,韩培慧,等.聚合物驱多段塞交替注入方式及现场应用[J].油气地质与采收率,2012,19(3):71-73.
- [5] 曹瑞波,韩培慧,高淑玲.不同驱油剂应用于聚合物驱油后油层的适应性分析[J].特种油气藏,2012,19(4):100-103.
- [6] 姜瑞忠,赵明,张家良,等.计算油井措施真实增油量的新方法[J].石油钻采工艺,2004,26(2):76-78.
- [7] 刘斌,任芳祥,易维容.油井措施最低增油量计算方法探讨[J].石油勘探与开发,2003,30(2):107-108.
- [8] 姚光庆,陶光辉,邱坤态.河南油田聚合物驱增油效果评价方法探讨[J].西安石油学院学报:自然科学版,2003,18(3):28-31.
- [9] 张新英.胜利油田化学驱增油量预测方法[J].新疆石油地质,2012,33(5):584-586.
- [10] 郑浩,张迎春,王惠芝,等.海上油田聚合物驱最低增油量评价方法研究[J].石油地质与工程,2011,25(4):72-76.

编辑 经雅丽

#### (上接第24页)

- [15] 姜颜波,赵伟.孤东油田聚合物驱油工业性矿场试验研究[J].新疆石油地质,2001,22(1):63-65.
- [16] 王德辰,杨承志.老君庙油田H184井组胶束/聚合物驱油先导试验[J].石油勘探与开发,1999,26(1):47-49.
- [17] 钟玉龙,李洪生,王建军,等.双河油田高温聚合物驱综合调整技术[J].石油地质与工程,2007,21(1):44-45.
- [18] 刘洪远,李道山.大庆长垣南部油田三元复合驱室内实验研究[J].油气田地面工程,1999,18(2):11-13.
- [19] 杨承林,周正祥,郭鸣黎,等.三元复合驱注入参数的优化——以大庆油田北二西试验区为例[J].新疆石油地质,2007,28(5):604-606.
- [20] 杨雪.大庆油田北二西弱碱三元复合驱试验动态变化特征[J].内蒙古石油化工,2012,(7):114-116.
- [21] 宋万超,张以根.孤东油田碱—表面活性剂—聚合物复合驱油先导试验效果及动态特点[J].油气采收率技术,1994,1(2):8-12.
- [22] 李宜强,梁双庆,林丽华.聚合物驱不同注入方式对比评价[J].油气地质与采收率,2010,17(6):58-60,64.
- [23] 曹瑞波,王晓玲,韩培慧,等.聚合物驱多段塞交替注入方式及现场应用[J].油气地质与采收率,2012,19(3):71-73.
- [24] 付继彤,张莉,尹德江,等.强化泡沫的封堵调剖性能及矿场试验[J].油气地质与采收率,2005,12(5):47-49.
- [25] 沈焕文,赵辉,刘媛社,等.五里湾长6油藏复合空气泡沫驱试验效果评价[J].低渗透油气田,2011,(1):137-140.
- [26] 张莉,郭兰磊,任韶然.埕东油田强化泡沫驱矿场驱油效果[J].大庆石油学院学报,2010,34(1):47-50.
- [27] 杨胜建,王家禄,刁海燕,等.常规稠油油藏水驱开发初期可动凝胶调驱效果——以华北油田泽70断块为例[J].油气地质与采收率,2012,19(2):57-59.
- [28] 唐孝芬,吴奇,刘戈辉,等.区块整体弱凝胶调驱矿场试验及效果[J].石油学报,2003,24(4):58-61.
- [29] 赫恩杰,杜玉洪,罗承建,等.华北油田可动凝胶调驱现场试验[J].石油学报,2003,24(6):64-68.
- [30] 杨红斌,蒲春生,李森,等.自适应弱凝胶调驱性能评价及矿场应用[J].油气地质与采收率,2013,20(6):83-86.
- [31] 刘歆,周凤军,张迎春,等.海上油田稀井网大井距聚合物驱应用与分析[J].特种油气藏,2012,19(2):104-107.
- [32] 张贤松,孙福街,冯国智,等.渤海稠油油田聚合物驱影响因素研究及现场试验[J].中国海上油气,2007,19(1):30-33.

编辑 经雅丽