

# 大庆油区长垣油田聚合物驱后优势渗流通道分布及渗流特征

刘海波

(中国石油大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院,黑龙江 大庆 163712)

**摘要:** 聚合物驱后优势渗流通道的存在导致波及体积减小,从而影响采收率的进一步提高。如何有效地描述优势渗流通道的分布及渗流特征成为大庆油区聚合物驱后油藏开发中亟待解决的难题。根据大庆油区长垣油田聚合物驱后20口密闭取心井资料,给出了聚合物驱后优势渗流通道的定义,结合新钻井水淹层解释资料确定其分布特征,即聚合物驱后优势渗流通道厚度比例比水驱后增加了9.3%,纵向上主要存在于厚油层底部,平面上大面积分布。在此基础上,利用物理模拟、数值模拟等手段,研究了聚合物驱后优势渗流通道的渗流特征,A试验区优势渗流通道厚度比例为19.8%,分流率却达到50%以上,无效循环严重。该研究结果为后续调堵工艺设计提供了依据,可以进一步提高聚合物驱后采收率。

**关键词:** 聚合物驱后 优势渗流通道 分布特征 渗流特征 大庆油区

**中图分类号:** TE357.431

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2014)05-0069-04

大庆油区长垣油田属于内陆湖盆河流—三角洲沉积体系,储层非均质性严重。大部分区块主力油层经聚合物驱进入后续水驱阶段,在长期的注水、注聚开发过程中受储层非均质性、水油流度比、胶结强度以及强注强采等因素的影响,在厚油层底部容易形成低阻的优势渗流通道,导致注入水沿其形成优势流动,产生大量无效水循环降低波及系数,在油层顶部形成弱势渗流区而形成剩余油的富集<sup>[1-4]</sup>,影响油田采收率及开发效益的提高。因此,研究聚合物驱后优势渗流通道的分布及渗流特征具有重要的意义。

目前,中外对水驱后优势渗流通道的识别与描述已进行了一些研究,主要是利用示踪剂、测井资料、试井资料、模糊识别和灰色判别、实验室物理模拟、井间地震资料和动态资料分析等来判断井间优势通道的存在,但对聚合物驱后优势渗流通道的分布和渗流特征研究得较少<sup>[5-10]</sup>。笔者通过取心井和水淹层解释资料,确定了聚合物驱后优势渗流通道的分布特征,结合物理模拟、数值模拟等手段,研究了聚合物驱后优势渗流通道分布及渗流特征,为后续调堵措施设计提供了依据,可提高油田开发水平,促进油田可持续发展。

## 1 分布特征

优势渗流通道有别于大孔道,研究中不仅需要考虑渗透率而且需要考虑含油饱和度,根据长垣油田聚合物驱后20口密闭取心井资料,将空气渗透率大于 $1\ 500\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ 、含油饱和度小于等于30%的油层部位定义为优势渗流通道,此部位均位于强水洗层段内,水驱已无法降低含油饱和度,高渗透率导致无效循环<sup>[11-12]</sup>。密闭取心井逐井逐层分析结果表明,聚合物驱后优势渗流通道厚度比例为16.9%,较水驱后增加了9.3%,聚合物驱进一步加剧了优势渗流通道的形成。

### 1.1 纵向分布特征

对聚合物驱后20口密闭取心井的优势渗流通道进行了分层统计,结果表明优势渗流通道纵向上主要分布在葡I2和葡I3层,分别占总优势渗流通道厚度的71%和24.1%(图1)。葡I2和葡I3层为葡I组发育最好的厚层,说明优势渗流通道位于岩性、物性发育较好的厚油层的内部。油田开发中后期在物性好、粗粒级、渗透率较高、以泥质胶结方式为主的厚砂岩油层中,矿物及胶结物的溶解作用较

收稿日期:2014-06-26。

作者简介:刘海波,男,工程师,从事提高原油采收率技术研究。联系电话:(0459)5508216,E-mail:liuhaibocs1@petrochina.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2011ZX05010)。

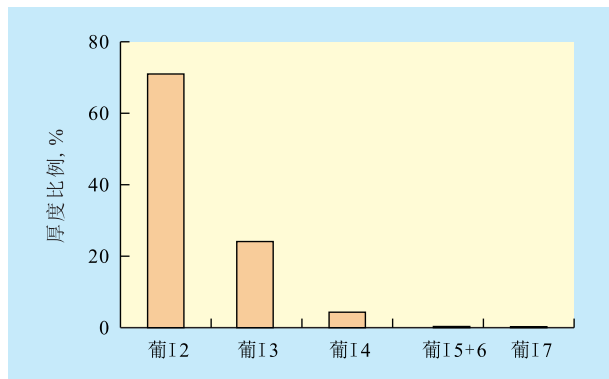


图1 长垣油田分单元优势渗流通道厚度比例

强,颗粒溶孔发育,二维连通孔隙增多,注入液长期冲刷形成孔隙度较大、渗透率较高的优势渗流通道,并优先沿此通道向油井突进<sup>[13-16]</sup>。

同时对葡I2和葡I3厚油层内部优势渗流通道的厚度和分布位置进行了统计,在葡I2和葡I3厚油层内优势渗流通道的厚度比例分别为23.7%和24.9%,而且优势渗流通道纵向上主要分布在厚油层的底部,这是葡I2和葡I3油层的正韵律性、储层渗透率的差异和油水重力分异作用导致的。

## 1.2 平面分布特征

将长垣油田A试验区聚合物驱后新钻井水淹层解释资料按笔者提出的标准进行了统计,其聚合物驱后优势渗流通道厚度比例为12.7%,井数比例为93.9%,表明优势渗流通道已广泛存在于大庆油区聚合物驱后区块,需要对其进行治理以扩大驱替剂的波及体积,进一步提高采收率。

从绘制的试验区优势渗流通道连通栅状图可以看出,平面上井组间大范围存在相互连通的优势渗流通道(图2),4个连通方向都存在优势渗流通道的井组数比例为50%,3个连通方向都存在优势渗流通道的井组数比例为31.2%,2个连通方向都存在优势渗流通道的井组数比例为18.8%。

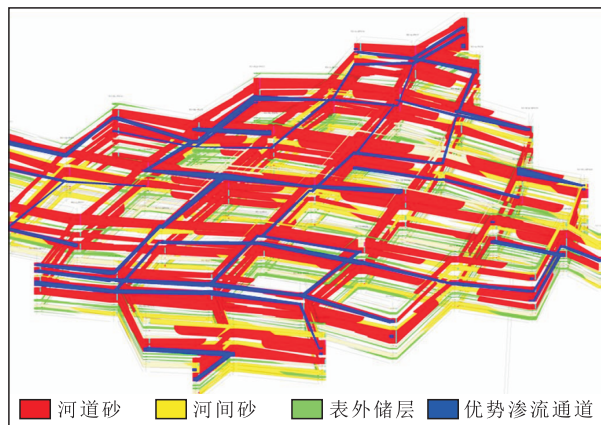


图2 长垣油田A试验区渗流通道示意

## 2 渗流特征

根据A试验区聚合物驱后统计的厚油层内优势渗流通道的厚度比例及厚油层物性参数,利用室内并联岩心物理模拟实验、数值模拟以及现场剖面测试资料,研究了聚合物驱后优势渗流通道的渗流特征。

### 2.1 室内并联岩心物理模拟实验

#### 2.1.1 实验方案

设计了3层并联岩心进行驱替实验,低渗透层的岩心尺寸为30 cm×4.5 cm×1 cm,渗透率为 $198 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;中渗透层的岩心尺寸为30 cm×4.5 cm×6 cm,渗透率为 $805 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ;高渗透层的岩心尺寸为30 cm×4.5 cm×1.8 cm,渗透率为 $2099 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

实验过程中准确计量各个时刻不同渗透层的产液量,其中高渗透层为优势渗流通道。实验步骤如下:①抽空岩心,饱和水,测孔隙体积;②水驱,测水相渗透率;③饱和油,测原始含油饱和度;④水驱油至产出液含水率为92%;⑤注入0.6倍孔隙体积的相对分子质量为 $1.2 \times 10^7$ 、质量浓度为1 000 mg/L的聚合物溶液;⑥后续水驱至含水率为98%时,结束实验。

#### 2.1.2 不同渗透层分流率和采收率变化规律

分流率是指高、中、低渗透层各自瞬时流量占总瞬时流量的百分比,是描述非均质油层动用状况的重要参数。理想的高、中、低渗透率的分流率曲线应较为平稳,且三者差值不大,即能够实现驱替液在不同渗透层的平均分配。从图3可以看出,聚合物驱使高、中渗透层的剖面调整得非常均匀,分流率均在50%左右;后续水驱结束时,高渗透层的分流率约为中渗透层的5倍,分流率差距较一次水驱时进一步扩大,低渗透层分流率较低,动用最差。

由各开发阶段不同层位的采收率(表1)可以看出,高渗透层的最终采收率为54.2%,开发效果最

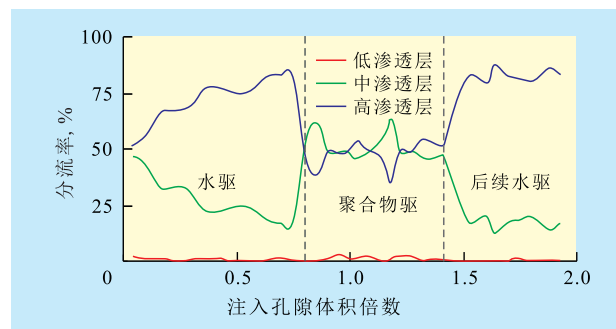


图3 不同渗透层分流率随注入量变化

开发阶段	低渗透层	中渗透层	高渗透层	全层
水驱结束	3.3	25.2	40.3	25.0
聚合物驱结束	9.3	42.2	52.8	40.0
后续水驱结束	10.4	42.9	54.2	40.8

好,而由于高渗透层的干扰,低渗透层未得到有效动用,采收率仅为10.4%。从低渗透层各阶段采收率来看,聚合物驱阶段的采收率最高,表明聚合物驱在一定程度上使高、中、低渗透层的吸液剖面趋向合理,低渗透层得到一定动用。整个后续水驱阶段全层的注入量为0.5倍孔隙体积左右,采收率仅为0.8%,表明注入水的无效循环严重,均从高渗透层无效采出,此时要进一步提高全层的采收率,必须封堵高渗透层,同时选取合适的驱油体系,有效动用中、低渗透层<sup>[17-18]</sup>。

## 2.2 数值模拟方法

### 2.2.1 模型的基本参数

模型设计为一注四采的典型模型,注采井距为175 m,模型各层参数参照A试验区葡I2厚油层实际参数,3层厚度分别为0.5、5和1.5 m,3层渗透率分别为 $130 \times 10^{-3}$ 、 $560 \times 10^{-3}$ 和 $1350 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,开采历程及注入参数等均与实际区块一致,A试验区开采历程为水驱至含水率为92%—0.788倍孔隙体积聚合物驱—后续水驱至含水率为98%结束,注入速度为0.14 PV/a,聚合物相对分子质量为 $10 \times 10^4$ ,质量浓度为1000 mg/L,用量为788 mg/(L·PV)。

### 2.2.2 优势渗流通道厚度比例和渗透率对分流率的影响

其他参数保持不变,分别计算优势渗流通道占整个模型厚度比例为8%、21%和31%情况下的分流率和采收率。从图4可以看出,随着优势渗流通道厚度比例的增大,优势渗流通道的分流率增大,同

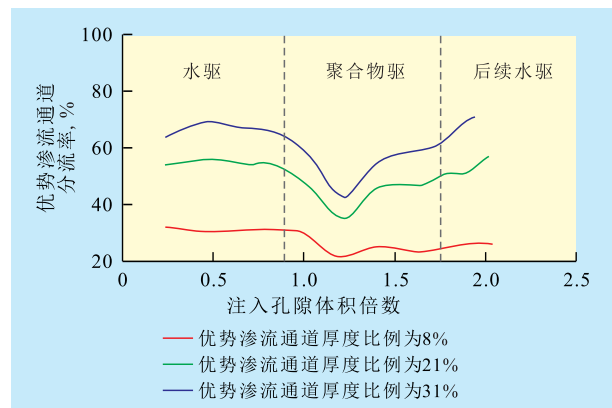


图4 不同优势渗流通道厚度比例下的优势渗流通道分流率

时可以看出聚合物驱在一定程度上使吸液剖面趋向合理。3种情况下采收率分别为63.5%、62.7%和62.7%,由此可见改变优势渗流通道厚度比例对整个模型的采收率影响不大。

其他参数保持不变,分别计算优势渗流通道渗透率为 $800 \times 10^{-3}$ 、 $1350 \times 10^{-3}$ 和 $3000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 情况下的分流率和采收率。从图5可以看出,随着优势渗流通道渗透率的增大,优势渗流通道的分流率增大。模型的分流率分别为63.8%、59.5%和57%,随着优势渗流通道渗透率的增加而降低。聚合物驱后优势渗流通道的厚度和渗透率均较水驱后有一定程度的增加,直接影响聚合物驱后进一步提高采收率方法的效果,亟需采取相应的调堵措施。

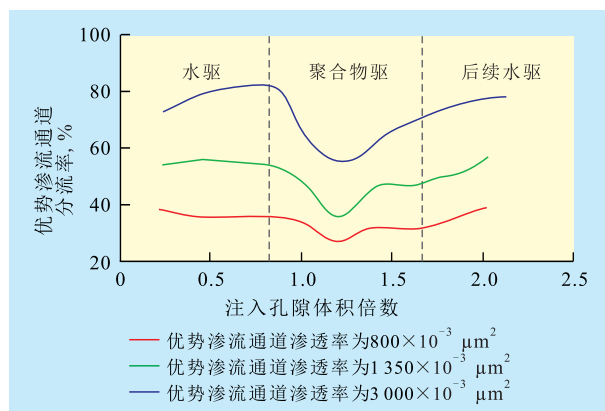


图5 优势渗流通道渗透率对分流率的影响

## 2.3 剖面测试资料统计结果

为了研究实际区块优势渗流通道渗流特征,对A试验区聚合物驱后的吸液剖面资料进行了统计,中渗透层厚度比例为74%,分流率仅为45.2%;优势渗流通道厚度比例为19.8%,而分流率却达到了51.9%,无效、低效循环严重,低渗透层几乎不吸液,因此,需要采取调堵措施<sup>[19-22]</sup>封堵优势渗流通道。

## 3 结论

大庆油区长垣油田聚合物驱后优势渗流通道厚度比例比水驱后增加了9.3%,优势渗流通道纵向上主要存在于厚油层底部,平面上大面积分布。

优势渗流通道的存在导致低渗透层动用差。聚合物驱在一定程度上使高、中、低渗透层的吸液剖面趋向合理,后续水驱阶段注入水由优势渗流通道无效采出,因此聚合物驱后必须封堵优势渗流通道,同时选取合适的驱油体系,有效动用中、低渗透层。

聚合物驱后优势渗流通道厚度比例增大,渗透



率不变时,优势渗流通道的分流率相应增大,而对区块采收率不会产生显著的影响;但如果优势渗流通道的渗透率增大,厚度比例不变时,不仅导致高渗透层的分流率相应增大,而且会降低采收率。

#### 参考文献:

- [1] 毛振强,谷建伟,董平志.疏松砂岩油藏大孔道形成机理与预测[J].油气地质与采收率,2011,18(1):77-79.
- [2] 陈程,宋新民,李军.曲流河点砂坝储层水流优势通道及其对剩余油分布的控制[J].石油学报,2012,33(2):257-263.
- [3] 冯其红,齐俊罗,尹晓梅,等.大孔道形成与演化过程流固耦合模拟[J].石油勘探与开发,2009,36(4):498-502.
- [4] 商志英,万新德,何长虹,等.应用水力探测方法确定储层大孔道及剩余油分布状况的研究[J].大庆石油地质与开发,2004,23(2):30-32.
- [5] 陈德坡,冯其红,王森,等.利用井间联通性模型定量描述优势通道[J].大庆石油地质与开发,2013,32(6):81-85.
- [6] 曾流芳,陈柏平,王学忠.疏松砂岩油藏大孔道定量描述初步研究[J].油气地质与采收率,2002,9(4):53-55.
- [7] 孙明,李志平.注水开发砂岩油藏优势渗流通道识别与描述技术[J].新疆石油天然气,2009,5(1):51-55.
- [8] 史丽华.微量物质井间示踪技术在识别油层大孔道中的应用[J].大庆石油地质与开发,2007,26(4):130-132.
- [9] 窦之林,曾流芳,张志海,等.大孔道诊断和描述技术研究[J].石油勘探与开发,2001,28(1):75-77.
- [10] 冯其红,史树彬,王森,等.利用动态资料计算大孔道参数的方法[J].油气地质与采收率,2011,18(1):74-76.

- [11] 丁乐芳,朱维耀,王鸣川,等.高含水油田大孔道参数计算新方法[J].油气地质与采收率,2013,20(5):92-95.
- [12] 牛世忠,胡望水,熊平,等.红岗油田高台子油藏储层大孔道定量描述[J].石油实验地质,2012,34(2):202-206.
- [13] 杨勇.正韵律厚油层优势渗流通道的形成条件和时机[J].油气地质与采收率,2008,15(3):105-107.
- [14] 张士奇,卢炳俊,张美玲,等.水淹层大孔道存在的分析与识别[J].大庆石油地质与开发,2008,27(6):76-79.
- [15] 白振强.河流—三角洲沉积储层大孔道形成机理研究[J].断块油气田,2007,14(4):7-9.
- [16] 洪金秀,胥伟,涂国萍.河流—三角洲沉积储层大孔道形成机理及DLS测井曲线识别方法[J].大庆石油地质与开发,2006,25(4):51-53.
- [17] 陆雪皎,王友启,魏翠华,等.聚合物驱后二元复合驱油藏的层系调整——以孤东油田七区西为例[J].油气地质与采收率,2014,21(2):25-28.
- [18] 石志敏,刘国生,毛为成,等.双河油田特高含水期油藏深度调剖技术试验研究[J].石油钻探技术,2005,33(4):63-65.
- [19] 周江华,门成全,何顺利.大孔道调剖剂的研制及应用[J].大庆石油地质与开发,2004,23(4):63-65.
- [20] 尚朝辉.大孔道非均质油藏调堵封窜参数优化模拟研究[J].油气地质与采收率,2014,21(3):62-65.
- [21] 王森,冯其红,宋玉龙,等.基于吸水剖面资料的优势通道分类方法——以孤东油田为例[J].油气地质与采收率,2013,20(5):99-102.
- [22] 谭光明.河31断块优势渗流通道识别及治理方法[J].特种油气藏,2007,14(1):87-93.

编辑 刘北羿

#### (上接第60页)

- [10] 赵建,马海陇.塔里木盆地顺托果勒地区志留系柯坪塔格组下段低渗储层物性下限研究——以顺9井区为例[J].石油地质与工程,2013,27(1):25-31.
- [11] 王为民,郭和坤,叶朝辉.利用核磁共振可动流体评价低渗透油田开发潜力[J].石油学报,2001,22(6):40-44.
- [12] 焦翠华,夏冬冬,王军,等.特低渗砂岩储层物性下限确定方法——以永进油田西山窑组储集层为例[J].石油与天然气地质,2009,30(3):379-393.
- [13] 高阳,蒋裕强,杨长城,等.最小流动孔喉半径法确定低渗储层物性下限[J].科技导报,2011,29(4):34-38.
- [14] 廖敬,彭彩珍,吕文均,等.毛管压力曲线平均化及J函数处理[J].特种油气藏,2008,15(6):73-75.
- [15] 黎著,罗彬,张旭阳,等.致密砂岩气藏储层物性下限及控制因

素分析[J].西南石油大学学报:自然科学版,2013,35(2):54-62.

- [16] 黎菁,杨勇,王少飞,等.苏里格气田东区致密砂岩储层物性下限值的确定[J].特种油气藏,2011,18(6):52-56.
- [17] 徐延勇,邹冠贵,曹文彦,等.测井曲线标准化方法对比研究及应用[J].中国煤炭地质,2013,25(1):53-57.
- [18] 范宜仁,李虎,丛云海,等.测井资料标准化方法适用性分析与优选策略[J].特种油气藏,2013,20(2):8-11.
- [19] 揭君晓,王甘露,苏逊卿,等.低孔低渗型砂岩储层物性特征及油层物性下限值确定——以塔里木盆地塔河西南为例[J].贵州工业大学学报:自然科学版,2007,36(4):12-15.

编辑 王星