

[引著格式] 赵玉芝, 刘淑敏, 陶亚媛, 等. 牙刷状油藏高含水后期转换开发方式研究及应用 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (9+10): 42~45, 58.

# 牙刷状油藏高含水后期转换开发方式研究及应用 ——以车城油田为例

赵玉芝, 刘淑敏, 陶亚媛  
许爱云, 魏宁, 鲁秀芹

(中石油华北油田分公司勘探开发研究院, 河北 任丘 062552)

[摘要] 华北油田牙刷状油藏, 初期主要采取逐层上返的开发方式, 目前大部分油藏油层动用程度高, 剩余油层潜力较小, 已进入高含水期。为进一步提高该类油藏采收率, 以车城油田为例, 油藏工程和数值模拟方法相结合, 进行了油藏水淹规律和剩余油潜力研究, 提出采用横向换向注水方式开发, 同时配合构造高部位钻加密调整井、层间分采等多种挖潜方式, 有效挖潜了井间剩余油, 并在该块取得了较好的开发效果, 为同类油藏高含水后期的开发开辟了新途径。

[关键词] 高含水期; 牙刷状油藏; 开发方式; 横向换向; 配套挖潜

[中图分类号] TE341 [文献标志码] A [文章编号] 1000-9752 (2015) 09+10-0042-04

华北油田牙刷状油藏主要受构造控制, 纵向油层多, 并沿断棱高部位呈窄条带分布, 宽度约在 350m 以内。鉴于该类油藏的地质特点, 初期主要采取逐层上返的开发方式。这些油藏含水上升速度快, 自然递减大, 大部分已进入高含水阶段, 采出程度较低 (平均在 15% 以下), 有必要探索新的开发方式, 进一步提高油藏采收率。以车城油田为例, 综合运用多种动静态资料, 落实剩余油潜力, 通过数值模拟<sup>[1]</sup>和现场试验等方法, 提出了高含水后期合理的开发方式和配套的挖潜措施, 为提高油藏采收率打下了可靠的基础。

## 1 油藏概况

车城油田位于河北省辛集市南智丘镇, 构造位置属于冀中坳陷束鹿凹陷西斜坡西曹固构造带, 是一个鼻状断裂构造带, 主要含油层位为沙河街组 2 段 ( $E_{s2}$ ) 和 3 段 ( $E_{s3}$ ), 其中  $E_{s3}$  为典型的牙刷状油藏, 具有一定的天然能量, 平均孔隙度 19.4%, 渗透率在 150~180mD, 属中孔中渗透储层, 地层原油黏度 1.92mPa·s。

该油藏 1997 年投入试采, 2001 年初进行全面建产, 初期依靠天然能量, 后期主要通过逐层上返、局部井区边部注水等方法进行开发。该油藏目前进入高含水阶段, 综合含水率 85.9%, 采油速度 0.73%, 采出程度 14.23%。

## 2 油藏开发中存在的主要问题

### 2.1 油藏含水上升快, 稳产难度大

油藏进入高含水后期, 目前含水上升率为 8.2%, 自然递减率为 20%, 油藏稳产难度较大。

[收稿日期] 2015-09-28

[基金项目] 中国石油天然气股份有限公司重大专项 (2014E-35-06)。

[作者简介] 赵玉芝 (1978-), 女, 高级工程师, 现主要从事油气田开发工作, yjy\_zyz@petrochina.com.cn。

## 2.2 人工边低部注水效果不理想

2004 年在局部井区对边低部位高含水油井实施转注，注水后 62% 受效油井含水呈上升趋势，增油效果不理想。

## 2.3 剩余油藏潜力小，逐层上返基础薄弱

油藏动用程度为 81.7%，剩余油层较少，并且剩余油层主要集中在油藏构造高部位少数井中，68% 的油井无剩余油层，逐层上返基础薄弱。

# 3 油藏水淹规律和潜力研究

## 3.1 油藏水淹规律

油藏生产动态与剩余油饱和度测井资料相结合，综合分析认为：纵向上生产层水淹比例大，高水淹层厚度比例在 80% 以上，表明在边水水驱方向上，生产井附近含水饱和度较高，水淹严重。从数值模拟结果看（见图 1），水淹方向由低部位向高部位呈指状推进，表现为低部位生产井水淹严重，呈强水淹状态，高部位生产井水淹程度相对较轻，呈中强水淹状态存在，而断层根部构造高部位呈未水淹状态。

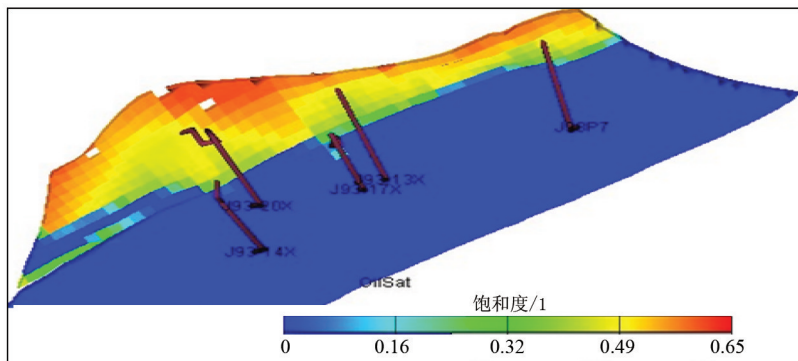


图 1 车城油田晋 93 断块沙河街组 3 段 IV 亚段 2 小层剩余油饱和度图

## 3.2 剩余油主要潜力类型

在油藏水淹规律研究结果基础上，单砂层地质储量和单井分层算产相结合，开展油藏剩余油分布规律和潜力研究<sup>[2]</sup>：该油田总剩余地质储量  $475.2 \times 10^4$  t，其剩余油类型主要以 3 种形式存在（见图 2），其中间滞留型剩余地质储量占总剩余储量的 67.1%，为该油藏的主要剩余油类型（见图 2）。

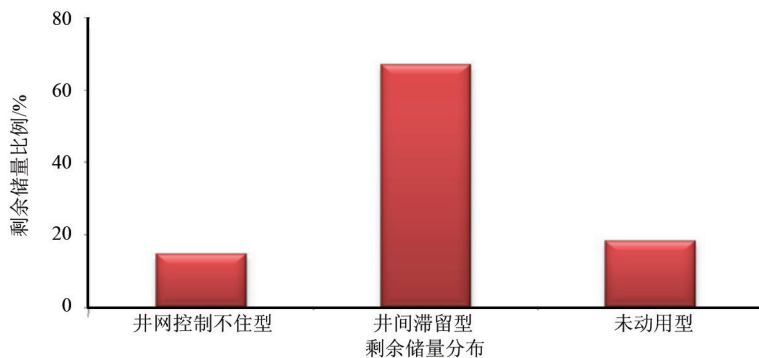


图 2 车城油田平面剩余油潜力类型规模统计图

# 4 油藏转换开发方式研究

## 4.1 合理注水开发方式研究

### 4.1.1 注水部位

根据油藏实际地质模型，采用数值模拟方法，针对不同注水部位<sup>[3]</sup>（高部位横向换向注水和低部位边水方向注水）的开发指标进行了预测。结果显示：高部位横向注水后，见效井组含水上升趋势减缓，10 年累计产油量高于边水方向水驱效果（见图 3）。

### 4.1.2 注水时机

在优选横向换向水驱的基础上，预测高含水后期油藏在不同地层能量（油藏压力保持水平分别为 50%、60%、70%）横向换向的注水效果。结果显示（见图 4）：注水增油效果随着油藏能量水平的提高而变差。在保证液量的前提下，油藏能量越低换向注水效果越好。因为油藏地层能量低时，横向换向

注水既实现了换向水驱，又补充了地层能量，水驱效果较好。

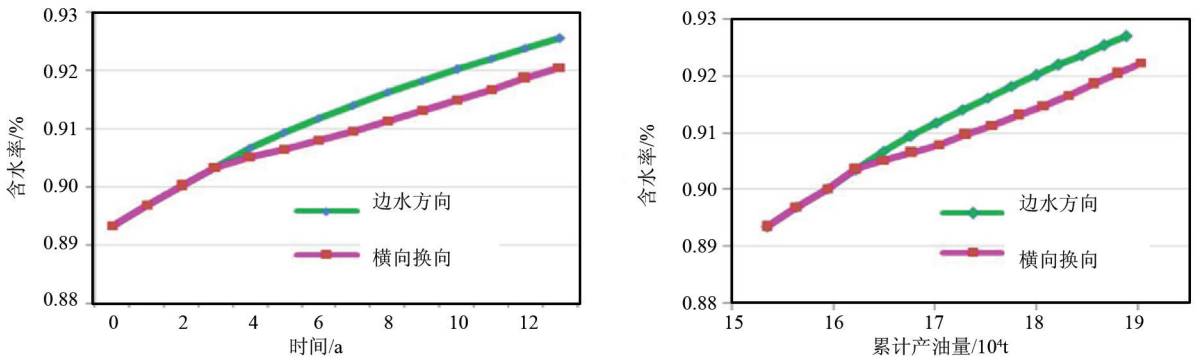


图3 注水后见效井组含水率和累计产油量对比曲线

### 4.1.3 注采比

在以上研究的基础上，预测油藏能量保持水平为50%时不同注采比注水效果，结果显示(见图5、6)：注采比越高，见效越快，但后期含水上升速度较快。综合考虑见效状况、累计增油量，注采比在1.0~1.2左右时，含水上升速度较慢，十年累积产油最高。因此初期注采比应控制在1.0~1.2左右。

随着注水时间延长，油藏压力逐步恢复，当油藏压力保持水平恢复到70%时，不同注采比预测结果显示(见图7、8)：注采比在1.0~1.2时，见效不明显，增油量较低，注采比大于2.0后，虽见效快，但有效期短，而注采比在2.0左右时，见效好累计增油量最高，因此随着油藏压力水平的升高，应逐步提高注采比到2.0左右。

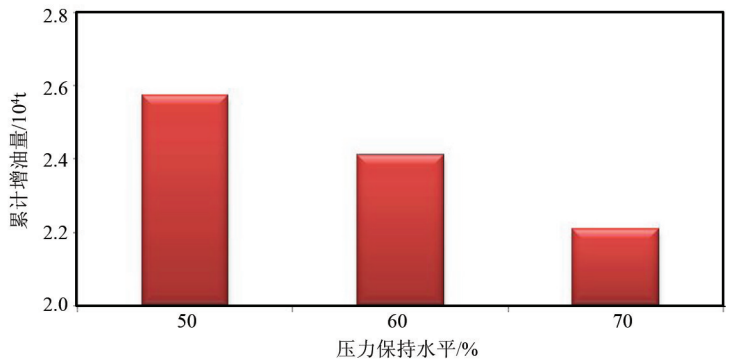


图4 不同压力水平10年累计增油量图

不同注采比预测结果显示(见图7、8)：注采比在1.0~1.2时，见效不明显，增油量较低，注采比大于2.0后，虽见效快，但有效期短，而注采比在2.0左右时，见效好累计增油量最高，因此随着油藏压力水平的升高，应逐步提高注采比到2.0左右。

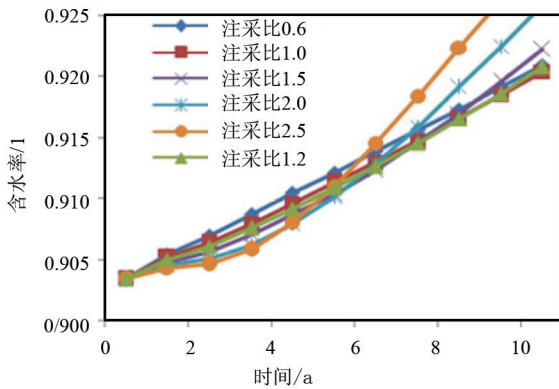


图5 油藏压力保持水平为50%时注水见效井组含水率对比曲线

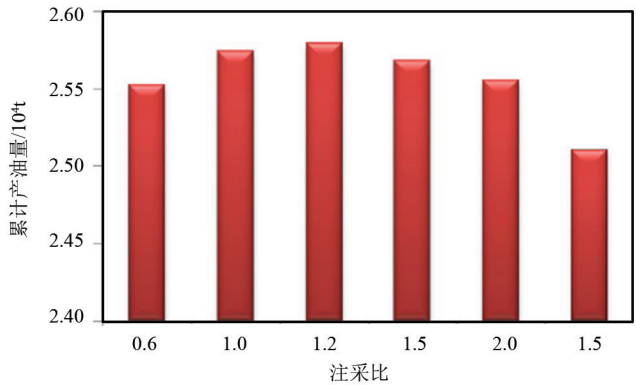


图6 油藏压力保持水平为50%时不同注采比10年累计产量对比图

根据以上研究，对于受构造控制、纵向油层多并沿断棱高部位呈窄条带分布、具有一定边水能量的牙刷状油藏，在高含水后期其注水方式应转换为高部位横向注水，其水驱方向与边水方向近似垂直，实现换向水驱。该油藏目前地层压力保持水平为63.2%，初期注采比应控制在1.2左右，后期随着压裂升高逐步提高注采比2.0左右。

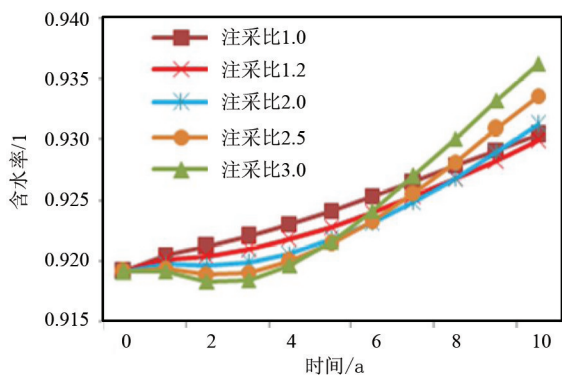


图 7 油藏压力保持水平为 70% 时注水见效井组含水率对比曲线

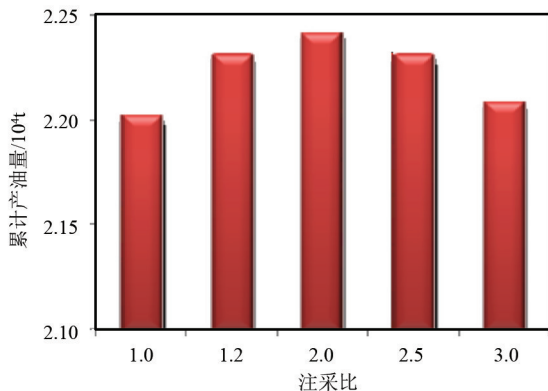


图 8 油藏压力保持水平为 70% 时不同注采比 10 年累计产量对比图

### 4.2 层间挖潜方式研究

针对牙刷状油藏动用层数多、层间物性差异大，低渗透层动用状况差的状况，开展了分层采油试验。为减少层间干扰，细分层段内油层厚度小于 10m、层数 3 层以内，渗透率级差控制在 3 以内。在此基础上，优选 3 口井开展现场分采试验。开采结果见表 1。

表 1 结果显示，单层或多层分采后均高含水，说明纵向上单井点周围水淹状况较严重，仅单纯依靠单井点的分采措施不利于剩余油的挖潜，需要在换向水驱的基础上，把井间剩余油驱替到井点附近，再实施层间挖潜。

表 1 车城油田分采效果统计表

井号	分采层号	措施类型	措施前				分采层号	措施后			
			日产液 /m <sup>3</sup>	日产油 /t	含水率 /%	动液面 /m		日产液 /m <sup>3</sup>	日产油 /t	含水率 /%	动液面 /m
晋 94-5X	12、14、17、19	采用压电开关工艺	29.6	0.6	69.1	1100	17、19	8.6	0.3	97.0	1980
							12	22.0	2.8	87.3	1476
							14	9.3	1.1	87.8	1987
晋 94-4x	12、13、14	采用压电开关工艺	20.5	0.8	96.0	1141	12	7.6	0.0	100.0	493
							14	13.2	0.0	100.0	526
							12、14	11.9	0.0	100.0	477
晋 105-34X	5、7、10~12	采用分采泵分采工艺	25.0	2.1	91.5	1571	5、7 层配液 10m <sup>3</sup> 、10~12 层配液 8m <sup>3</sup>	27.0	1.6	94.1	1594

## 5 开发调整对策及实施效果

根据以上研究成果，针对油藏存在的问题，提出以下治理对策：

1) 针对井间剩余油，实施横向注水换向驱油。横向注水开采通过增加横向驱动能量，在一定程度上削弱了边水的指进作用，扩大了水驱波及体积，可将井间滞留油驱替到油井附近，是提高油藏采出程度的有效开发手段。

2) 针对井网控制差型剩余油，部署加密调整井<sup>[4]</sup>，根据水淹规律分析，在井网控制较差区域油层水淹状况较低，剩余油相对富集，可部署加密调整井，提高井网对储量的控制程度。

3) 针对层间动用差的剩余油，继续开展层间分采，减缓层间干扰，同时配合水井换向驱油，分注或调驱，提高了分采效果。

根据以上对策，共提出油水井措施 55 井次，其中内部调整井 2 口，油井分采、卡堵水措施 27 井次；水井转注、分注、调驱等 26 井次。