

引用格式:田同辉,孟阳,石世革,等.胜利油田未动储量开发技术及实践[J].油气地质与采收率,2024,31(5):122-129.  
TIAN Tonghui, MENG Yang, SHI Shige, et al. Development technologies and practice of undeveloped reserves in Shengli Oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2024, 31(5): 122-129.

## 胜利油田未动储量开发技术及实践

田同辉<sup>1</sup>, 孟阳<sup>2</sup>, 石世革<sup>2</sup>, 王伟<sup>1</sup>

(1. 中国石化胜利油田分公司 勘探开发研究院, 山东 东营 257015; 2. 中国石化胜利油田分公司, 山东 东营 257001)

**摘要:**胜利油田未动储量规模大,是油田后续建产稳产的重要接替阵地。但多年的开发实践证实,这部分储量的整体动用存在很多问题,制约着油藏效益开发和建产。针对这部分油藏品位差、动用难度大和开发效果差的特点,系统梳理了胜利油田未动储量的类型及分布特征,明确了主要的未动储量类型和重点攻关目标。结合近年来在砂砾岩、滩坝砂和深层低渗透稠油等油藏类型方面的开发实践,分析了砂砾岩油藏大斜度井大规模压裂、低渗透滩坝砂油藏压驱和深层低渗透稠油油藏降黏复合压驱等3种主要的未动储量开发技术及实践。长井段大斜度井大规模压裂技术,通过地质工程一体化实现工程甜点与地质甜点的结合,在低品位砂砾岩油层中的应用大幅提高了油藏产能;压驱注水开发技术创新开发理念,实现了低渗透滩坝砂油藏补能增产的突破;降黏复合压驱开发技术通过转变开发思路,实现了深层低渗透稠油油藏效益开发的突破。这3种油藏类型从单井提产、油藏补能和低成本开发等方面实现了未动储量的有效动用,取得了良好的开发效果。开发技术的突破、开发理念的转变是未动储量有效开发的必由之路,对胜利油田其他未动储量的开发具有非常重要的示范和指导意义。

**关键词:**未动储量;低品位;砂砾岩;滩坝砂;稠油

文章编号:1009-9603(2024)05-0122-08

DOI:10.13673/j.pgre.202405028

中图分类号:TE349

文献标识码:A

## Development technologies and practice of undeveloped reserves in Shengli Oilfield

TIAN Tonghui<sup>1</sup>, MENG Yang<sup>2</sup>, SHI Shige<sup>2</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>

(1. Exploration and Development Research Institute, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257015, China; 2. Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying City, Shandong Province, 257001, China)

**Abstract:** Shengli Oilfield has a large scale of undeveloped reserves, which is an important backup for the sustainable production of the oilfield. However, many years of development practice show that there are lots of problems in the overall development of these reserves, which restricts the economic development and production of the reservoir. In view of the characteristics of some reservoirs with low grade, difficult production, and poor development effect, the types and distribution characteristics of undeveloped reserves in Shengli Oilfield were systematically sorted out, and the main types of undeveloped reserves and key research objectives were defined. Based on the development practice in recent years in the reservoirs such as glutenites, beach bar sands, and deep low-permeability heavy oil, the paper analyzed three main technologies for undeveloped reserves, including large-scale fracturing of wells with high inclination in glutenite reservoirs, pressure flooding in low-permeability beach bar sand reservoirs, and cold production of heavy oil reservoirs by chemical viscosity reduction. The large-scale fracturing technology of wells with long sections and high inclination combined engineering sweet spots and geological sweet spots through the geology and engineering integration, and its application in the glutenite oil reservoirs with low grade has greatly improved reservoir productivity. The innovative development concept of pressure-driven water injection technology has achieved a breakthrough in replenishing energy and increasing the produc-

收稿日期:2024-05-11。

作者简介:田同辉(1972—),男,河北唐县人,研究员,硕士,从事油气藏开发工作。E-mail: tiantonghui.slyt@sinopec.com。

基金项目:中国石化科技攻关项目“特低渗透油藏未开发储量效益开发关键技术”(P24021)。

tion of beach bar sand reservoirs with low-permeability. The development technology of viscosity reduction combined with pressure flooding has achieved a breakthrough in the economic development of deep heavy oil reservoirs with low-permeability by changing the development idea. These three reservoir types have been effectively produced of undeveloped reserves from single well production, reservoir energy replenishment, and low-cost development and have achieved good development results. The breakthrough of development technologies and the change of development concept are the only ways for the effective development of undeveloped reserves, which has an important demonstration and guiding significance for the development of other undeveloped reserves in Shengli Oilfield.

**Key words:** undeveloped reserves; low grade; glutenite; beach bar sand; heavy oil

未动储量是指已经上报探明或者控制级别的储量,由于技术、经济及各种条件的限制未得到有效动用的储量。一般这类储量整体的品位相对较差,多为低渗透致密性油藏或特殊岩性油藏。未动储量的接替动用问题是中外各个主要油田面临的共同难点<sup>[1-5]</sup>,因此未动储量对各个油田来说既是一种资产,也是一种“负累”。随着油气开发理念和技术的不断提升<sup>[4-11]</sup>,实现低品位未动储量的动用变得切实可行。在开发策略驱动下,按照先易后难、先肥后瘦的开发原则,优先动用的储量从动用条件和经济性上均有明显的优势。胜利油田有很大一部分未动储量,经过多年的技术攻关与积累,在储量占比相对比较大的砂砾岩、滩坝砂和稠油3类油藏中取得了一定的进展,为整个胜利油田未动储量的有效动用打开了局面,对其他油田的未动储量动用也有一定的借鉴意义。

## 1 砂砾岩油藏大斜度井大规模压裂技术

砂砾岩油藏在胜利油田的储量规模为 $1.2 \times 10^8$  t,产量贡献大,特别是盐家北带砂砾岩的动用,支撑了油田的稳产。砂砾岩油藏主体的动用效果好、产能高、累积产量较高,但是扇体边部埋藏深度大且储层物性差,整体动用效果不理想。多年来先后在边部打了很多开发井,产能效果差异大,整体初期产量和累积产量均不高。针对砂砾岩油藏边部非主体沉积的特点,要实现这类油藏的动用,单纯依靠过去直井开发、压裂投产的思路已经走不通了<sup>[4-7]</sup>。为此开展了3个方面的攻关,以解决制约该类油藏动用的根本问题。

一是聚焦储层甜点刻画,明确建产区域。综合应用多种资料和技术手段深化地质认识,井震结合精细刻画储层甜点区域,明确有利储层的发育特征和规律,确定建产阵地。二是强化油藏和工程结合,降本增效。通过地质工程一体化设计,优化钻

井轨迹,改变过去直井或小角度定向井开发的模式。从油藏角度入手,既考虑油藏靶点需求,又兼顾钻井提速和轨迹效率,保证多穿油层,优化整体的钻井轨迹,实现效益最大化。三是优化工艺措施,适配地质甜点和工程甜点,提高开发效果。通过加大压裂规模,充分释放产能。对于低渗透砂砾岩油藏,由于含油性差异大,不同的砂体层段、甚至同一层段的含油性都在变化,非均质性极强,提高产能的核心在于最大范围沟通不同的含油甜点,增加其对产能的贡献。

以这种理念为基础,先后在永936扩和桩171等井区开展现场应用,取得了良好的开发效果。其中在永936扩井区部署2口大斜度井(图1),与砂体核部相比,单井控制储量由 $40 \times 10^4$  t升至 $55 \times 10^4$  t,油层钻遇厚度由138 m升至800 m以上。优化单井压裂分段数由3~7段变为8~11段,综合砂比由8.5%提升至12.6%。投产后,2口井的初期自喷峰值日产油量分别为17和29 t/d(图2),平均产能较核部直井提高到3~5倍,实现了深层砂砾岩油藏扇端边际储量的效益开发。桩171井区迭代提升压裂工艺技术,采用千方砂万方液的压裂规模,6口新井全部成功投产,峰值日产油量均大于15 t/d,4口井超过40 t/d,其中2口井分别达到74和65 t/d,彻底释放了油藏产能,取得了良好的开发效果。

通过甜点刻画、地质工程一体化下的轨迹寻优、优化工艺改造规模和强度,实现了对原来低品位油藏的有效动用,为其他类似区块的动用提供了借鉴。

## 2 低渗透滩坝砂油藏压驱技术

滩坝砂油藏的典型特点在于储层单层厚度薄、砂泥间互,目前动用效果差的油藏一般埋藏深、物性差、储层认识不清。由于动用难度大,多年来除了个别区块零散动用之外,大部分储量都处于未动状态。

随着针对滩坝砂油藏储层开发技术的不断摸

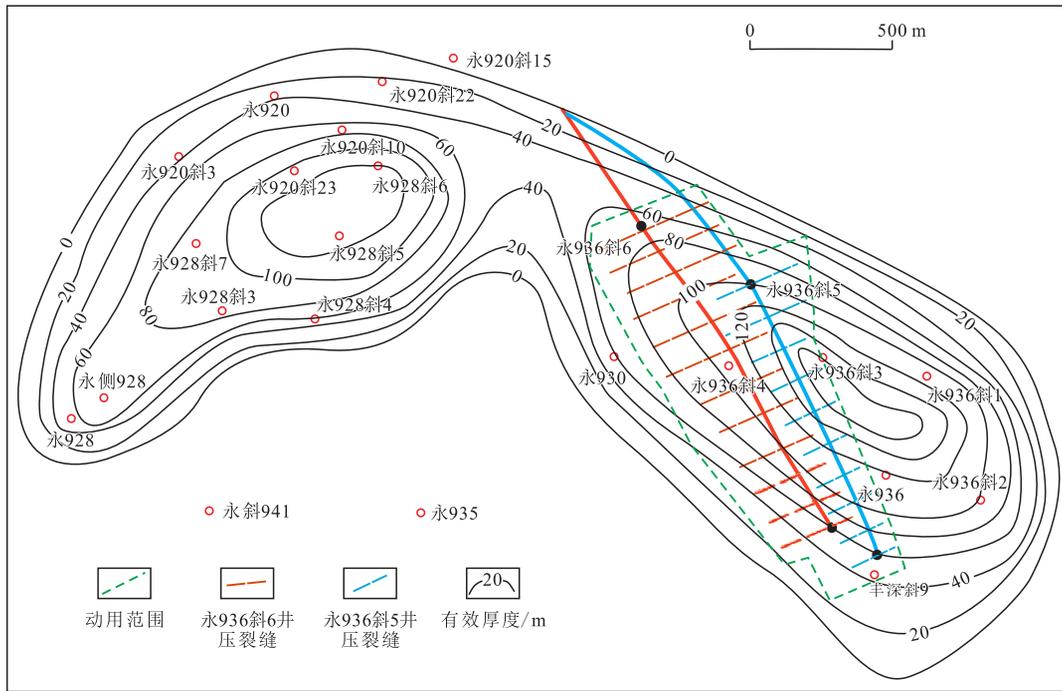


图1 永936扩井区井网部署  
Fig.1 Pattern deployment of Yong 936 extension area

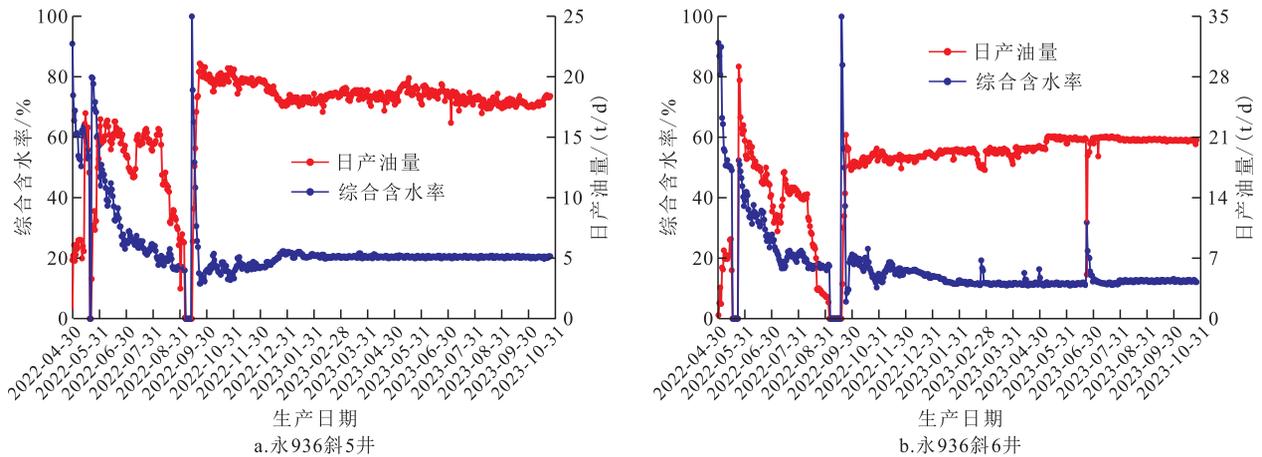


图2 永936扩井区钻井投产效果  
Fig.2 Production performance of wells in Yong 936 extension area

索与实践<sup>[6-9]</sup>,其主导开发技术先后经历了3个阶段:在“十五”至“十一五”期间,主要采用小井距井网优化技术和大型压裂弹性开发技术;“十二五”至“十三五”期间攻关了多种效益开发技术,主要为仿水平井注水开发技术、CO<sub>2</sub>混相驱开发技术、薄互层井网适配开发技术和长井段多级压裂开发技术;“十三五”以来摸索了CCUS开发技术和压驱注水开发技术。总体来看,仿水平井注水开发技术、CO<sub>2</sub>混相驱开发技术和压驱注水开发技术对滩坝砂油藏的整体动用具有很大的推动和示范作用。

2.1 仿水平井注水开发技术

仿水平井注水开发技术是针对滩坝砂油藏小井距效益差、注不进采不出、建立有效驱替难等问

题所摸索的“长缝”+“井网”适配性技术,该技术主要通过直井压裂造长缝“仿”水平井,扩大泄油面积;注采井距“转”注采排距,建立有效驱替,裂缝适配井网,扩大波及体积。随着所造裂缝长度增加,流体驱替方向改变,降低近井地带压力损失,提高驱替压力梯度;同时,裂缝长度越大,泄油面积越大,单井控制储量越大(表1),从而达到经济井网密度越小、井距越大的目的;定向长缝与井网适配,改变波及形态,由“点对点径向驱”变为“面对面线性驱”,扩大驱替流体的波及体积(图3),统计结果表明,裂缝半长达到200 m时,波及系数增加0.8倍。

樊142块沙三段下亚段储层有效厚度为6.2 m,渗透率为3.5 mD,压力系数为1.49,储量丰度为

表1 不同裂缝长度油水井控制面积  
Table1 Control areas of oil and water wells with different fracture lengths

裂缝半长/m	油井泄油面积	水井控制面积
50		
100		
150		
200		

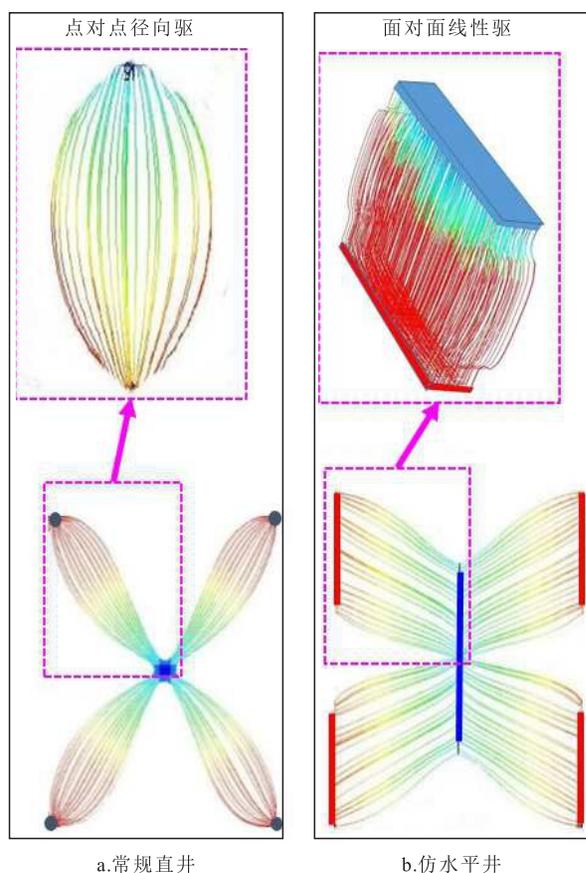


图3 常规直井与仿水平井驱替面积差异对比示意

Fig.3 Difference in displacement areas between conventional vertical wells and pseudohorizontal wells

41.4×10<sup>4</sup> t/km<sup>2</sup>,属于低丰度、特低渗透油藏。通过仿水平井开发,采用500 m大井距,180 m排距,所造裂缝半长为200 m,措施后效果显著,油井产量是常规压裂井的2倍以上,并且注水井压力低且注水量稳定。

## 2.2 CO<sub>2</sub>混相驱开发技术

CO<sub>2</sub>混相驱开发技术具有提高采收率幅度高、见气晚和气油比低的特点。通过CO<sub>2</sub>不断抽提原油中的轻烃组分和溶于原油,使气相富化、油相变“轻”,油气界面张力消失,原油黏度降低,流动性变强,并且CO<sub>2</sub>分子小,更易进入微孔隙。理论上,混相时界面张力趋于0,驱油效率达到最高(图4)。物理模拟结果表明:近混相驱气体突破时间短,小于0.5 PV即可达到气窜,驱油效率约为70%;混相驱较近混相驱气体突破时间较长,突破时间可达到0.56 PV,驱油效率达到82.37%(图5)。

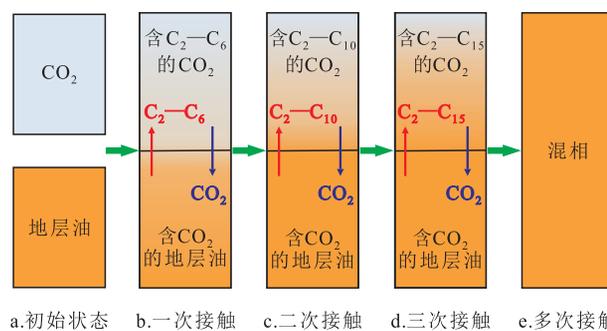


图4 CO<sub>2</sub>与地层油多次接触混相示意  
Fig.4 Multi-contact mixed phase between CO<sub>2</sub> and formation oil

在CO<sub>2</sub>混相驱开发技术的基础上,提出了CO<sub>2</sub>高压混相驱技术,该技术主要是通过大幅度提高油藏压力,提高混相程度,动用原常压、低压驱动体系下难以启动小孔隙中的剩余油,扩大波及体积,实现较大幅度提高采收率(图6)。

樊142-7-斜4井组在开展CO<sub>2</sub>高压混相驱先导试验后取得产量突破。该区块原始地层压力为

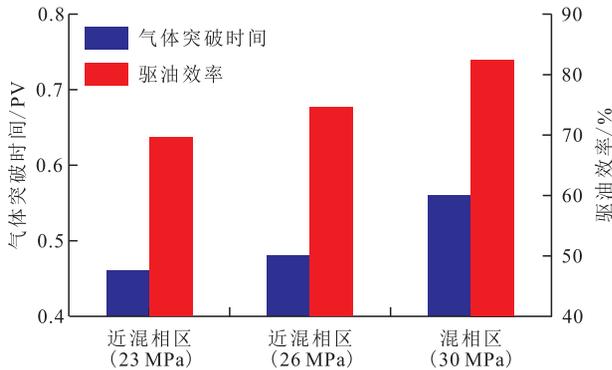
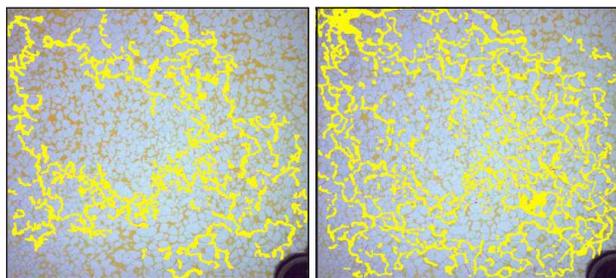


图5 不同驱替模式下驱油效率和气体突破时间对比  
Fig.5 Comparison of oil displacement efficiencies and gas breakthrough times under different displacement modes



a.压力为0.8倍最小混相压力 (波及系数为46%)  
b.压力为1.3倍最小混相压力 (波及系数为85%)

图6 不同压力下CO<sub>2</sub>混相驱波及程度示意  
Fig.6 Swept areas of CO<sub>2</sub> miscible flooding under different pressures

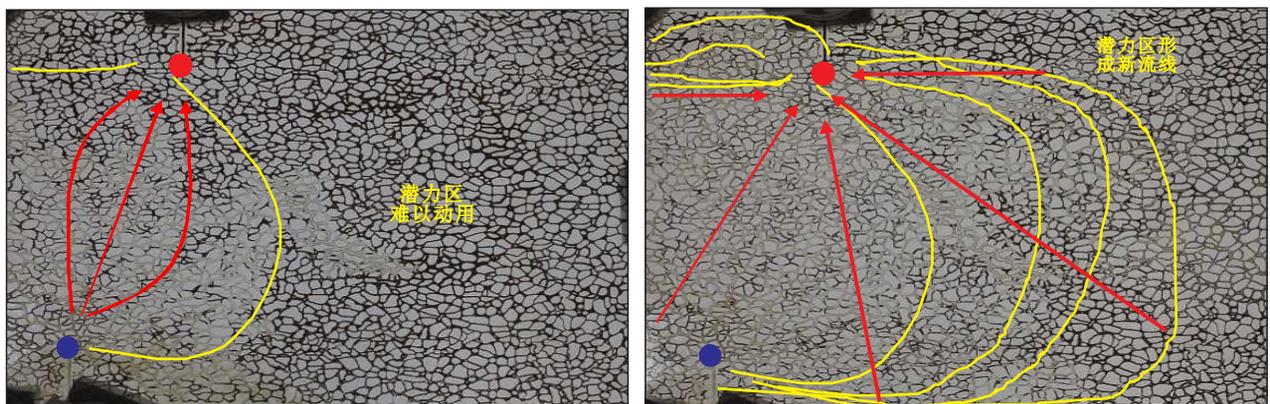
43.4 MPa,措施前已降至17 MPa,单井日产油量为1 t/d,存在地层压力低、单井产量低的问题。方案设计中心注入井1口,不压裂,单井CO<sub>2</sub>日注入量为20~30 t/d,注气压力为26~30 MPa,周围6口油井关井恢复地层压力,并下入电子压力计监测压力恢复状况。该井组于2013年6月开始注CO<sub>2</sub>,截至2016年12月,CO<sub>2</sub>累积注入量为1.9×10<sup>4</sup>t,地层压力由17 MPa恢复至40 MPa,达到混相状态。其中,樊142-6-2井井底压力超过混相压力,实现全域混相,采取

自喷生产,连续稳产2 a,日产油量为5.5 t/d,气油比稳定为50~100 m<sup>3</sup>/t。2016年12月,樊141-1、樊142-6-3和樊142-6-2等井依次开井,均自喷生产,初期单井日产油量为6~9 t/d,之后2 a稳定在5 t/d,远高于注气前的1 t/d。

### 2.3 压驱注水开发技术

滩坝砂油藏实现效益动用面对诸多难题<sup>[12-16]</sup>:一是注不进,能量补充难;二是驱不动,单井产能低;三是波及效率差,采收率低。为此,提出压驱注水开发技术。该技术是通过改变常规注水补能方式,用水力压裂设备或专用压驱泵以高于或接近油层破裂压力大排量注水,单井日注入量可达1 000 m<sup>3</sup>/d以上,从而快速补充地层能量,大幅度提高油井产能和采收率。压驱注水开发技术从2020年3月实施第1口压驱注水井义7-6井开始,边研究、边实践、边推广,大量井组实践效果表明,压驱注水开发技术正逐步成为新的主导开发技术。

物理模拟结果表明,压驱注水开发技术具有高压滤失造缝网、大幅增渗增注快速补能的特点。与压裂相比,注入的高压清水滤失量大、排量低,裂缝萌生期持续时间长,主要诱导产生微裂缝。进入萌生期后,适当减小注入速度,有利于增多微裂缝,形成复杂缝网。同时,压驱产生的微裂缝带分布广(实验模型的改造区面积占比大于1/3),压驱破岩后持续增压,压驱裂缝开度从几十微米增大到几百微米,裂缝渗透率增大达百倍以上。由于微裂缝带的存在,通过水井短期快注,油井关井或慢采,在压驱注水过程中会形成更均衡的流线分布,难动用区域由于能场重构启动渗流,形成体积驱替,波及系数显著扩大,构建油藏全域高压能量场,压驱后波及系数(77%)比常规注采模式(26%)提高约为51%(图7)。



a. 常规注采(波及系数为26%)  
b. 压驱注采(波及系数为77%)

图7 常规注采与压驱注采波及程度对比

Fig.7 Comparison of swept areas between conventional injection-production and pressure flooding

滨435块一期沙四段上亚段滩坝砂油藏埋深为2 550~2 850 m,为常温偏高压特低渗透稀油油藏。采用压驱注水先期补能、油井分段压裂注水开发,动用地质储量为 $108 \times 10^4$ t,注采井距为300~450 m。该区块原始地层压力系数为1.19,压驱后68 d投产,地层压力系数提升至1.80,新井平均压力系数为1.87,比方案设计压力系数提高了0.37,油井均见效。通过针对滨435块一期配套压驱大幅增能,产能进一步提升,与相邻区块相比,日产油量提高约1倍;实现人造高压油藏,常规射孔后或压裂投产均实现高压自喷,已自喷160 d,相比周边新区自喷期明显延长,截至2023年8月,井口油压平均为4.5 MPa;压驱配套压裂改造,有效降低压力损耗,使压力传导更有效、油井生产更长效,投产6个月,日产油量仍稳定为8~10 t/d。

### 3 深层低渗透稠油油藏降黏复合压驱开发技术

胜利油田深层低渗透稠油油藏资源量为 $9 630 \times 10^4$ t,主要分布在王家岗和罗家-垦西-三合村地区,是胜利油田稠油最大的未动储量阵地。受储层埋藏深、渗透率低和原油黏度高等因素制约,注蒸汽

热采开发存在热利用率低、降黏范围小和开发效果差等问题<sup>[17-20]</sup>。以王家岗油田王152块为例,该区块埋深为1 500 m,渗透率为135 mD,50℃脱气原油黏度为14 016 mPa·s,水敏指数为81.3%。2011—2020年热采吞吐开发,先后采用提高蒸汽干度、压裂改造和前置CO<sub>2</sub>等措施,产量一直未突破,单井日产油量长期小于1 t/d。针对王152块热采开发热损失大和降黏范围小等难题,通过室内实验分析以及矿场试验,提出了降黏复合压驱的开发技术思路。

一是缩短井间高黏带,建立注采驱替。注入井多轮次压驱注入降黏剂溶液,生产井多轮次降黏引效,突破近井地带堆积带,缩短注采井间高黏带,从而建立驱替关系。二是调控油水流动度比(M),扩大波及体积。油水流动度比越大,驱替过程中指进现象越严重,越容易水窜,通过优选降黏体系,可将地层含气原油黏度由602 mPa·s降至100 mPa·s,注入相黏度提高到20 mPa·s,使得油相与注入相黏度比达到合理经验值约为5:1,波及系数由20%提高到65%以上(图8)。使用地层水配制降黏体系,水解生成强负电性的表面活性剂有效避免泥化产生。室内岩心实验结果表明,水驱替后注入降黏体系,渗透率恢复高达70%以上。

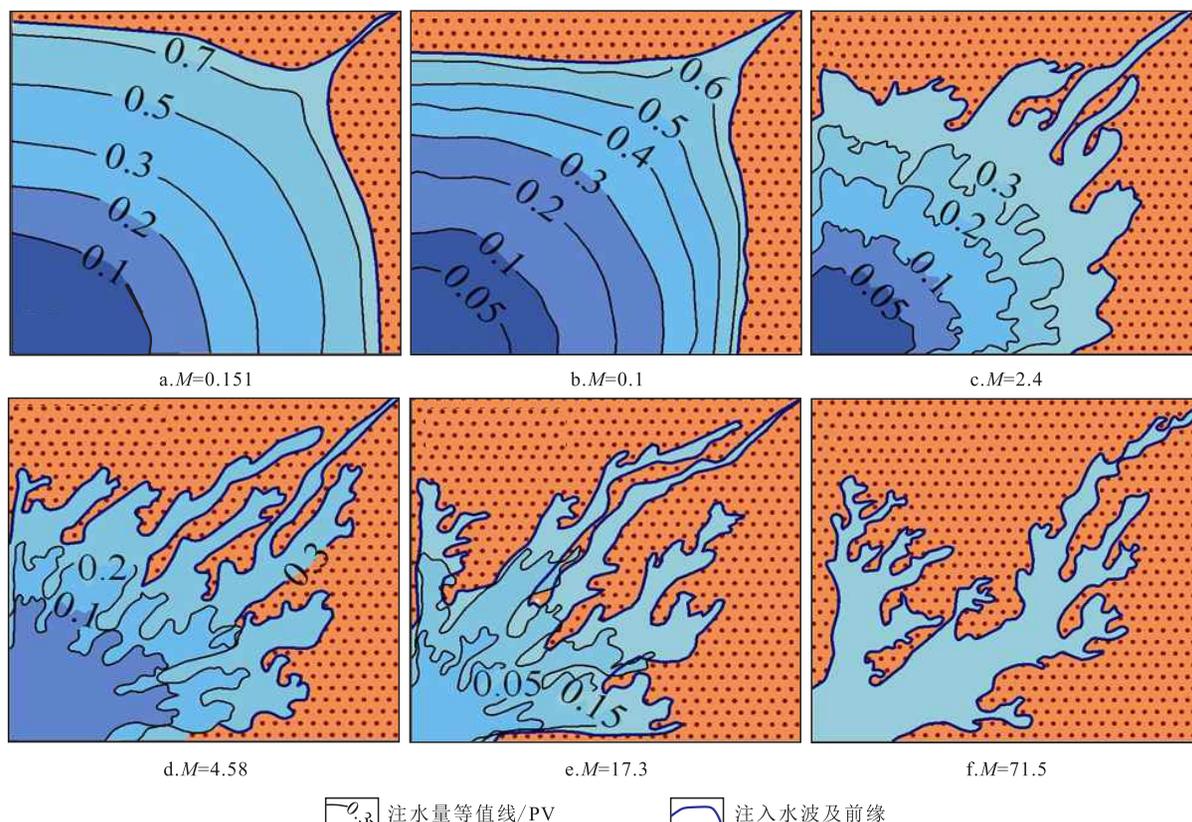


图8 不同流动比时注入水波及前缘示意  
Fig.8 Swept fronts of injected water at different mobility ratios

2020年4—10月在王152-斜6井组开展降黏复合压驱先导试验,单井日产液量由1.9 t/d提高到7.7 t/d,单井日产油量由0.5 t/d提高到3.7 t/d,2020年10月全面开展降黏复合压驱开发,共计部署4口注入井,16口生产井,井距为230 m×325 m,截至2023年11月30日,转降黏复合压驱开发以来,累积产油量为 $4.3 \times 10^4$  t,平均单井日产液量为7.8 t/d,单井日产油量为3.4 t/d,综合含水率为56.4%,平衡油价为38.2美元/bbl,取得了较好的开发效果(图9)。

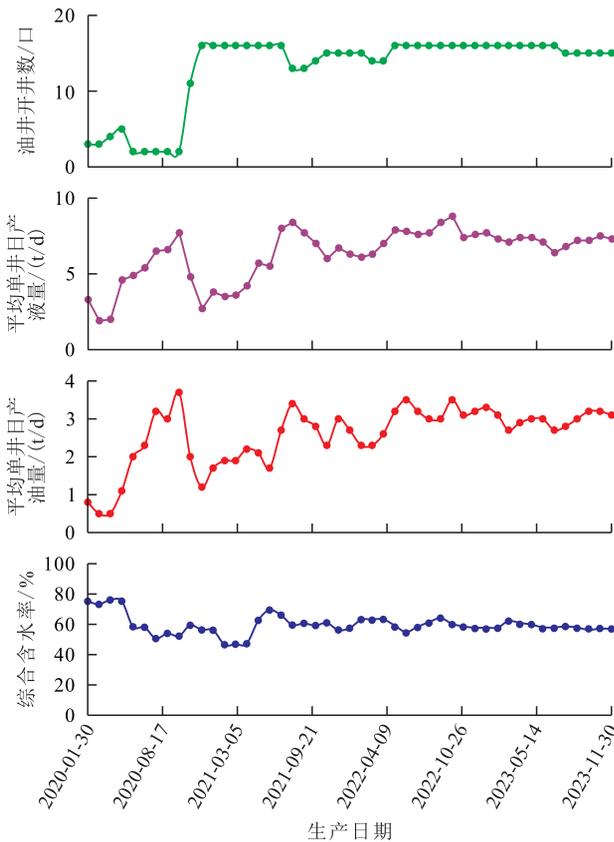


图9 王家岗油田王152-斜6井组开发曲线  
Fig.9 Development curve of Well Wang152-X6 group in Wangjiagang Oilfield

## 4 结束语

胜利油田未动储量经过多年的实践探索,在砂砾岩、滩坝砂和深层低渗透稠油等油藏开发上取得了突破,实现了部分未动储量的有效开发与动用。通过对不同类型油藏甜点的精细刻画、明确影响开发和产能的主控因素、加大关键开发技术的攻关,结合地质工程一体化强化工程工艺的优化提升,最终达到了较为理想的开发效果。但砂砾岩油藏的补能、压驱开发中存在的个别井水窜问题、降黏复合压驱的适用性及推广等仍制约着油藏开发效果的进一步提升,一些痛点和难点问题也有待深入

研究。

不断地解放思想、迭代提升关键开发技术是实现未动储量开发的关键,为其他类型未动储量的攻关提供了思路,但总的来说未动储量的整体有效动用还任重道远。随着后续接替区块的储量品位越来越差、开发难度持续增大,单纯依靠技术的提升无法满足油田建产需求。因此未动储量研究还需要持续发力,开展3个方面的攻关:一是深化机理认识,明确不同类型低渗透油藏渗流机理研究;二是以现有开发实践为基础,迭代提升认识,加强油藏补能方式研究;三是加强工程工艺的关键技术提升,优化不同类型油藏有效的工艺参数,持续有效提高油井产能。

### 参考文献

[1] 凡玉梅. 基于开发技术的低渗透油藏未动用储量分类评价[J]. 石油实验地质, 2022, 44(2): 337-341.  
FAN Yumei. Classification and evaluation of undeveloped reserves in low-permeability reservoirs based on development technologies [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2022, 44(2): 337-341.

[2] 李伟忠. 胜利油田稠油未动用储量评价及动用对策[J]. 特种油气藏, 2021, 28(2): 63-71.  
LI Weizhong. Evaluation and development countermeasures for nonproducing reserves of heavy oil reservoirs in Shengli Oilfield [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2021, 28(2): 63-71.

[3] 牛彦良, 吴畏. 未动用储量优选评价分析方法[J]. 石油学报, 2006, 27(z1): 115-118.  
NIU Yanliang, WU Wei. Optimized selection and evaluation method for nonproducing reserves [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(z1): 115-118.

[4] 牛栓文. 胜利油田低渗致密油藏地质工程一体化探索与实践[J]. 中国石油勘探, 2023, 28(1): 14-25.  
NIU Shuanwen. Research and application of geology and engineering integration for low-permeability tight oil reservoirs in Shengli Oilfield [J]. China Petroleum Exploration, 2023, 28(1): 14-25.

[5] 万绪新, 谢广龙, 丁余刚. 胜利油田难动用石油储量地质工程一体化探索[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(2): 43-50.  
WAN Xuxin, XIE Guanglong, DING Yugang. Exploration on geology-engineering integration of hard-to-recover reserves in Shengli Oilfield [J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(2): 43-50.

[6] 张莉. 中国石化东部老油田提高采收率技术进展及攻关方向[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(3): 717-723.  
ZHANG Li. Progress and research direction of EOR technology in eastern mature oilfields of Sinopec [J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(3): 717-723.

[7] 孙焕泉, 蔡勋育, 胡德高, 等. 页岩气立体开发理论与实践——以四川盆地涪陵页岩气田为例[J]. 石油勘探与开发,

- 2023, 50(3): 573-584.
- SUN Huanquan, CAI Xunyu, HU Degao, et al. Theory, technology and practice of shale gas three-dimensional development: a case study of Fuling shale gas field in Sichuan Basin, SW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2023, 50(3): 573-584.
- [8] 张合文,崔明月,张宝瑞,等.低渗透薄层难动用边际油藏地质工程一体化技术——以滨里海盆地 Zanazour 油田为例[J]. *中国石油勘探*, 2019, 24(2): 203-209.
- ZHANG Hewen, CUI Mingyue, ZHANG Baorui, et al. Geology-engineering integration for low-permeability and thin marginal reservoirs: a case study on Zanazour oilfield, Pre-Caspian Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2019, 24(2): 203-209.
- [9] 蒋廷学.非常规油气藏新一代体积压裂技术的几个关键问题探讨[J]. *石油钻探技术*, 2023, 51(4): 184-191.
- JIANG Tingxue. Discussion on several key issues of the new-generation network fracturing technologies for unconventional reservoirs [J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2023, 51(4): 184-191.
- [10] 张仲宏,杨正明,刘先贵,等.低渗透油藏储层分级评价方法及应用[J]. *石油学报*, 2012, 33(3): 437-441.
- ZHANG Zhonghong, YANG Zhengming, LIU Xiangui, et al. A grading evaluation method for low-permeability reservoirs and its application [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(3): 437-441.
- [11] 苏彦春,郑伟,杨仁锋,等.海上稠油油田热采开发现状与展望[J]. *中国海上油气*, 2023, 35(5): 100-106.
- SU Yanchun, ZHENG Wei, YANG Renfeng, et al. Current status and prospect of thermal recovery processes for offshore heavy oilfields [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2023, 35(5): 100-106.
- [12] 邓英尔,刘慈群.低渗油藏非线性渗流规律数学模型及其应用[J]. *石油学报*, 2001, 22(4): 72-76.
- DENG Yinger, LIU Ciqun. Mathematical model of nonlinear flow law in low permeability porous media and its application [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2001, 22(4): 72-76.
- [13] 束青林,穆蒙,张翔宇,等.减阻-渗吸-驱泄协同开发技术机理及应用[J]. *油气地质与采收率*, 2023, 30(6): 72-79.
- SHU Qinglin, MU Meng, ZHANG Xiangyu, et al. Mechanism and application of synergistic development technology of drag reduction, imbibition, and displacement [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2023, 30(6): 72-79.
- [14] 刘柯,范洪富,闫飏,等.低渗透油藏渗吸采油机理及技术进展[J]. *油田化学*, 2023, 40(1): 182-190.
- LIU Ke, FAN Hongfu, YAN Biao, et al. Progress in mechanism and technology of imbibition recovery in low permeability reservoirs [J]. *Oilfield Chemistry*, 2023, 40(1): 182-190.
- [15] 杨勇,张世明,曹小鹏,等.胜利油田低渗透油藏压驱开发技术实践与认识[J]. *油气地质与采收率*, 2023, 30(6): 61-71.
- YANG Yong, ZHANG Shiming, CAO Xiaopeng, et al. Practice and understanding of pressure drive development technology for low-permeability reservoirs in Shengli Oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2023, 30(6): 61-71.
- [16] 王艳清,刘占国,宋光永,等.咸化湖盆滩坝砂岩发育特征、控砂机制及油气成藏特征——以柴达木盆地西南地区新近系为例[J]. *石油勘探与开发*, 2023, 50(4): 742-754.
- WANG Yanqing, LIU Zhanguo, SONG Guangyong, et al. Development, sand control mechanism and hydrocarbon accumulation of beach-bar sandstone in a saline lake basin: a case from the Neogene of southwestern Qaidam Basin, NW China [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2023, 50(4): 742-754.
- [17] 鲁斌昌,刘蕊,胡广文,等.二氧化碳前置蓄能压裂在中深层低渗稠油中的应用[J]. *钻采工艺*, 2023, 46(5): 178-182.
- LU Binchang, LIU Rui, HU Guangwen, et al. Research and application for carbon dioxide precharged volume fracturing to low permeability heavy oil in medium and deep formation [J]. *Drilling & Production Technology*, 2023, 46(5): 178-182.
- [18] 吴飞鹏,丁步杰,张戈,等.低渗稠油高压降黏驱高黏阻滞带形成机制与主控因素——以胜利油田王152油藏为例[J]. *大庆石油地质与开发*, 2023, 42(4): 139-147.
- WU Feipeng, DING Bujie, ZHANG Ge, et al. Formation mechanisms and main controlling factors of high-viscosity blocked zone in low-permeability heavy oil with high-pressure viscosity reduction: taking Wang 152 reservoir of Shengli Oilfield as an example [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, 2023, 42(4): 139-147.
- [19] 师忠卿,徐明明,刘云磊,等.胜利油田典型区块稠油化学降黏前后理化特征[J]. *油气地质与采收率*, 2023, 30(6): 104-111.
- SHI Zhongqing, XU Mingming, LIU Yunlei, et al. Study on physicochemical characteristics of heavy oil before and after chemical viscosity reduction in typical blocks of Shengli Oilfield [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2023, 30(6): 104-111.
- [20] 孙鹏霄,刘英宪.渤海稠油油藏开发现状及热采开发难点与对策[J]. *中国海上油气*, 2023, 35(2): 85-92.
- SUN Pengxiao, LIU Yingxian. Development status and thermal development difficulties and strategy of Bohai heavy oil reservoirs [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2023, 35(2): 85-92.

编辑 何青芳