

# 杏六西区块两三结合后聚驱井网搭建再利用

薛辉, 姜贵璞, 付斌, 胡硕

大庆油田有限责任公司第四采油厂, 黑龙江 大庆

收稿日期: 2023年12月6日; 录用日期: 2024年3月11日; 发布日期: 2024年3月20日

## 摘要

为保证杏北开发区产量接替, 自2015年以来不断开展三类油层化学驱现场实验, 杏六区西部作为首个两三结合后聚驱井网水驱利用的实验区块, 急需明确变流线后的聚驱井网搭建与再利用方法, 以达到精细挖潜剩余油、提高油气采收率的目的。本文针对杏六西地质特征及开发状况, 提出了两三结合后聚驱井网搭建与再利用设想, 并进行可行性分析, 通过数值模拟方法, 明确了聚驱井网上返层系重组调整界限和分步射孔方式。研究表明, 两三结合后聚驱井网搭建与再利用方法可实现转流线90度, 聚驱井网开发层系确定为萨III7~葡I<sub>2</sub>, 并针对该层段层间差异大的特点, 提出了先射开萨III7-11油层和砂岩厚度小于2.5 m的萨III7~葡I<sub>2</sub>油层再射开葡I1~2油层的射孔方案, 阶段采出程度为4.83%, 与现井网相比采收率提高了1.83个百分点, 该成果将指导后续大庆油田杏北开发区三类油层化学驱的聚驱井网调整。

## 关键词

两三结合后, 聚驱井网, 再利用, 层系调整, 分步射孔

## Construction and Reuse of Polymer Flooding Well Network after Two Tertiary Combination of Xing6 West Block

Hui Xue, Guipu Jiang, Bin Fu, Shuo Hu

No.4 Oil Production Plant of Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing Heilongjiang

Received: Dec. 6<sup>th</sup>, 2023; accepted: Mar. 11<sup>th</sup>, 2024; published: Mar. 20<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

In order to ensure the production replacement of Xingbei development zone, the field experiment of chemical flooding in three types of oil layers has been carried out since 2015. As the first expe-

perimental block of water flooding utilization of polymer flooding well network after two tertiary combination, the western part of Xing6 area urgently needs to clarify the construction and reuse method of polymer flooding well network after the streamline. Based on the geological characteristics and development status of Xingliuxi, this paper puts forward the idea of building and reusing the polymer flooding well network after two tertiary combination, and carries out feasibility analysis. Then, through numerical simulation research, the adjustment boundary of the re-layering system and the step perforation method of the polymer flooding well network are clarified. The research results show that the construction and reuse method of polymer flooding well network after two tertiary combination can realize the flow line of 90 degrees, and the development layer of polymer flooding well network is determined to be SIII7~PI2<sub>1</sub><sup>2</sup>. According to the characteristics of the large difference between the layers, the perforation scheme of first shooting open the oil layer of SIII7-11 and the oil layer of SIII7~PI2<sub>1</sub><sup>2</sup> with sandstone thickness less than 2.5 m and then shooting open the oil layer of PI1-2 is proposed. The stage recovery degree is 4.83%, and the recovery rate is increased by 1.83 percentage points compared with the current well network. The results will guide the adjustment of polymer flooding well network for chemical flooding in the three types of reservoirs in Xingbei Development Zone of Daqing Oilfield.

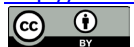
## Keywords

After Two Tertiary Combination, Polymer Flooding Well Pattern, Reuse, Layer Adjustment, Step Perforation

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

大庆油田先后历经基础井网、一次加密井网、二次加密井网、三次加密井网、三次采油井网开发阶段,两相结合是指三次加密井网与三次采油井网结合,由王德民院士[1]在2004年首次提出。2000年在大庆油田第一采油厂中区西部密井网试验区开展了三次加密与三次采油结合试验,研究三次加密调整对象在特高含水期再开展聚驱进一步提高采收率的可行性,2010~2015年针对萨中开发区开展了分期分质二期化学驱数值模拟研究[2]-[7],目前开发趋近于结束。

为保证杏北开发区的产量接替,自2015年以来不断开展三类油层化学驱现场实验,其中杏六区西部是首个两相结合后聚驱井网水驱利用的实验区块,因该类实验尚属首次,急需明确变流线后的剩余油潜力分布、聚驱井网调整利用方法、相关水驱井的注采结构调整对策。该项目以现场实验的模式,通过优化井网驱替组合方式,分析变流线后的剩余油潜力,开展注水结构调整、注采参数调控,摸索两相结合后的聚驱井网水驱利用方法,该成果将指导后续杏六~七区三类油层化学驱的聚驱井网调整。

## 2. 杏六区西部基本情况

杏六区西部位于杏北开发区内,杏北开发区位于杏树岗构造北部,北起杏一区一排,南至杏八区丁一排,东、西部以萨II外含油边界线为界,已开发含油层系为萨、葡、高油层,纵向发育96个沉积单元,含油面积197.9 km<sup>2</sup>,表外储层及表内薄层地质储量1.1641 × 10<sup>8</sup> t。杏六区西部地质储量汇总见表1。

区块1968年投入开发,基础井网为萨、葡、高油层合采井,主要开采对象是渗透率高、厚度大的葡I1~3油层和其它渗透率较高、厚度较大的非主力油层,采用切割距为2.0 km行列注水方式。1987年区块

开始进行一次加密调整, 主要开采对象是非主力油层中有效厚度 $<2$  m、渗透率 $<150 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的层中未见水层和未动用层, 为萨葡差油层一套层系合采。采用井间加注水井, 排间加采油井, 井距 400 m, 新加密油水井相互错开 200 m 的布井方法, 构成斜五点法井网。1997 年区块开始二次加密调整, 主要开采对象是非主力油层未动用或动用较差的薄有效层(有效厚度 0.2~0.4 m)和表外储层, 以及小部分未动用的有效厚度 0.5~1.0 m 的表内层, 采用排间加排, 间注间采, 正对老采油井的为新采油井, 正对老注水井的为新注水井, 第一排间距离调整井排 150 m 布新采油井排, 新井与老井错开 100 m, 构成  $200 \times 200$  m 线状注水方式。2012 年 9 月展开三次加密调整, 采用 200 m 井距井网, 三次加密井 64 口, 仅萨 III 及以下油层组投产。同年 10 月展开聚驱井网三次采油, 采用 141 m 井距井网, 开发对象为葡 I3 沉积单元。

**Table 1.** Summary of geological reserves of Xingliuxi

**表 1.** 杏六区西部地质储量汇总

单元	表内储层( $10^4$ t)			表外储层( $10^4$ t)	储量合计( $10^4$ t)
	$>1$ m	1.0~0.5 m	0.5~0.2 m		
萨II合计	201.52	265.72	185.94	194.617	847.79
萨III合计	32.19	113.2	92.77	106.7785	344.94
葡I1-3 合计	806.85	58.31	33.46	37.868	936.49
葡I4-7 合计	69.2	58.99	43.12	68.3046	239.62
葡II	26.4	26.82	16.93	14.955	85.11
高I合计	3.67	6.89	6.75	19.472	36.79
非主力油层合计	332.98	471.62	345.52	404.1711	1554.29
总计	1139.83	529.93	378.98	442.0391	2490.78

### 3. 两三结合后聚驱井网搭建与再利用设想

目前杏六~七区已全面完成三次加密部署, 各套井网开发对象明确, 两三结合后将面临井网结构复杂化、局部注采突进的问题, 需要制定新形势下的层系调整方法、注水结构政策, 并对两三结合后聚驱井网再利用的可行性及开发效果进行评价。根据化学驱逐级上返的思路, 首先针对葡 I2~3 层段部署聚驱井网, 聚驱结束后将井网上返至萨尔图某一层段, 水驱 - 聚驱开发结束后, 重复上述过程直至结束, 见表 2。具体实施步骤如下, 一是需要明确聚驱井网开发界限, 借鉴化学驱逐级上返的思路, 见表 2, 将调整层系暂定为萨 III7~葡 I2<sub>1</sub><sup>2</sup>, 需要跟踪后续调整效果, 评价该层系水驱独立开发的可行性; 二是需要明确聚驱井网射孔方式, 从图 1 中可以看出, 由于层段横跨萨尔图油层和葡萄花油层, 层段内层间差异性较大[8] [9], 表现出上好下中、上中下好、上差下差等特点, 分别提出了分步射孔、分区分步、全射三种区块开采对策, 见表 3, 其射孔方式仍需要进一步研究。

### 4. 聚驱井网搭建与再利用开发方案研究

#### 4.1. 可行性分析

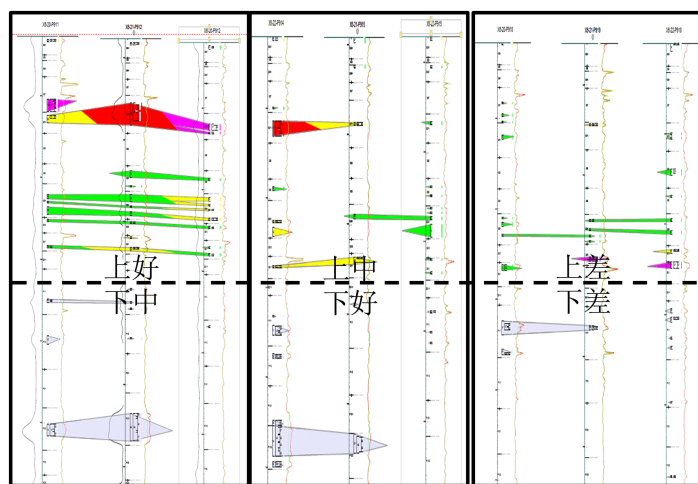
由于陆相沉积油藏的储集层严重非均质性, 聚合物驱后仍有相当部分剩余可动油未动用或动用差, 再采用水驱及单一的化学驱技术进一步大幅度提高采收率的难度越来越大。井网重组是开发后期常用的

油藏调整方式,通过层系细分重组、矢量井网等,可有效改变液流方向[10],从图2中可以看出,该区块三次加密井网和聚驱井网形状一致,井位和井别略有不同,通过井网重组,原三次加密井网封堵层段、聚驱井网射开相应层段后,其流线方向发生改变,可实现转流线90度,扩大波及体积,预计提高采收率2~3个百分点[11]。

**Table 2.** Chemistry expulsion level returns ideas

**表 2.** 化学驱逐级上返思路

上返次序	目的层	跨度(m)	砂岩厚度(m)	有效厚度(m)	示意图
④	萨II5~萨II8	9.6	7.4	2.64	
③	萨II11~萨III5	46.8	17.2	4.54	
②	萨III7~葡I <sub>2</sub> <sup>2</sup>	45.4	6.43	3.08	
①	葡I <sub>2</sub> ~3 四次采油	15.8	9.3	7.5	



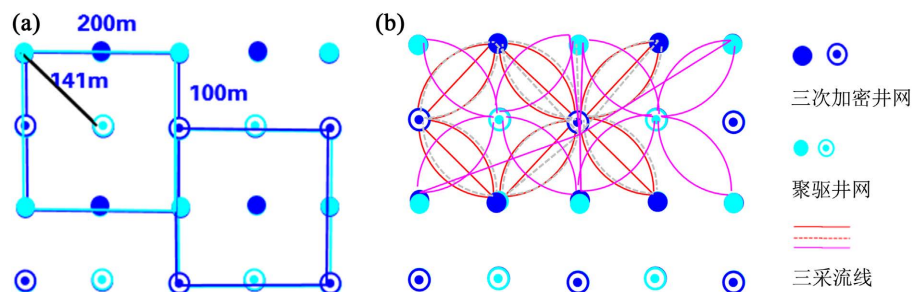
**Figure 1.** Raster diagram of well connectivity in the center of each block

**图 1.** 各区块中心井连通栅状图

**Table 3.** Development thickness grading of each formation group after zoning

**表 3.** 分区后各油层组发育厚度分级

开发方式	井组	萨 III7~11		葡 I <sub>1</sub> ~2 <sub>1</sub> <sup>2</sup>		合计	
		砂岩(m)	有效(m)	砂岩(m)	有效(m)	砂岩(m)	有效(m)
分步射孔	上好下中	3.7	1.2	3.4	2	7.1	3.2
分区分步	上中下好	2.9	0.8	4.7	2.7	7.6	3.5
全射	上差下差	2.4	0.8	2	1	4.4	1.8



**Figure 2.** Interchange of two or three combined well networks and changes in flow lines. (a) Two or three combined well network swaps; (b) Achievement of 90-degree turnover line

**图 2.** 两三结合井网互换及流线变化情况。(a) 两三结合井网互换；(b) 实现转流线 90 度

经过数据统计,从表 4 中可以看出,萨 III7~葡 I<sub>2</sub><sup>2</sup>层段处于非主流线的聚驱井位所占比例较高,为 79.85%,表明,两三结合调整方案井网互换效率高,有利于剩余油挖潜。从理论上讲,两三结合后聚驱井网搭建再利用方法具有一定的可行性,但仍需要应用数值模拟方法进一步确定层系重组方案和分步射孔方案。

**Table 4.** Two-three adjusted diversion lines

**表 4.** 两三结合调整后转流线情况

沉积单元	原射孔层位		两三结合调整					
			非主流线		主流线		合计	
	射孔井数 (口)	射孔比例 (%)	射孔井数 (口)	所占比例 (%)	射孔井数 (口)	所占比例 (%)	射孔井数 (口)	射孔比例 (%)
萨III7	21	9.77	25	86.21	4	13.79	29	38.16
萨III7-1	54	25.12	44	61.97	27	38.03	71	93.42
萨III8	17	7.91	5	100.00	0	0.00	5	6.58
萨III9	62	28.84	30	60.00	20	40.00	50	65.79
萨III9-1	85	39.53	35	47.30	39	52.70	74	97.37
萨III10	32	14.88	21	77.78	6	22.22	27	35.53
萨III11	78	36.28	36	50.70	35	49.30	71	93.42
萨III11-1	28	13.02	12	100.00	0	0.00	12	15.79
葡I <sub>1</sub>	30	13.95	59	83.10	12	16.90	71	93.42
葡I <sub>2</sub>	12	5.58	41	91.11	4	8.89	45	59.21
葡I <sub>2</sub> <sup>1</sup>	1	0.47	28	100.00	0	0.00	28	36.84
葡I <sub>2</sub> <sup>2</sup>	4	1.86	42	100.00	0	0.00	42	55.26

## 4.2. 层系重组方案

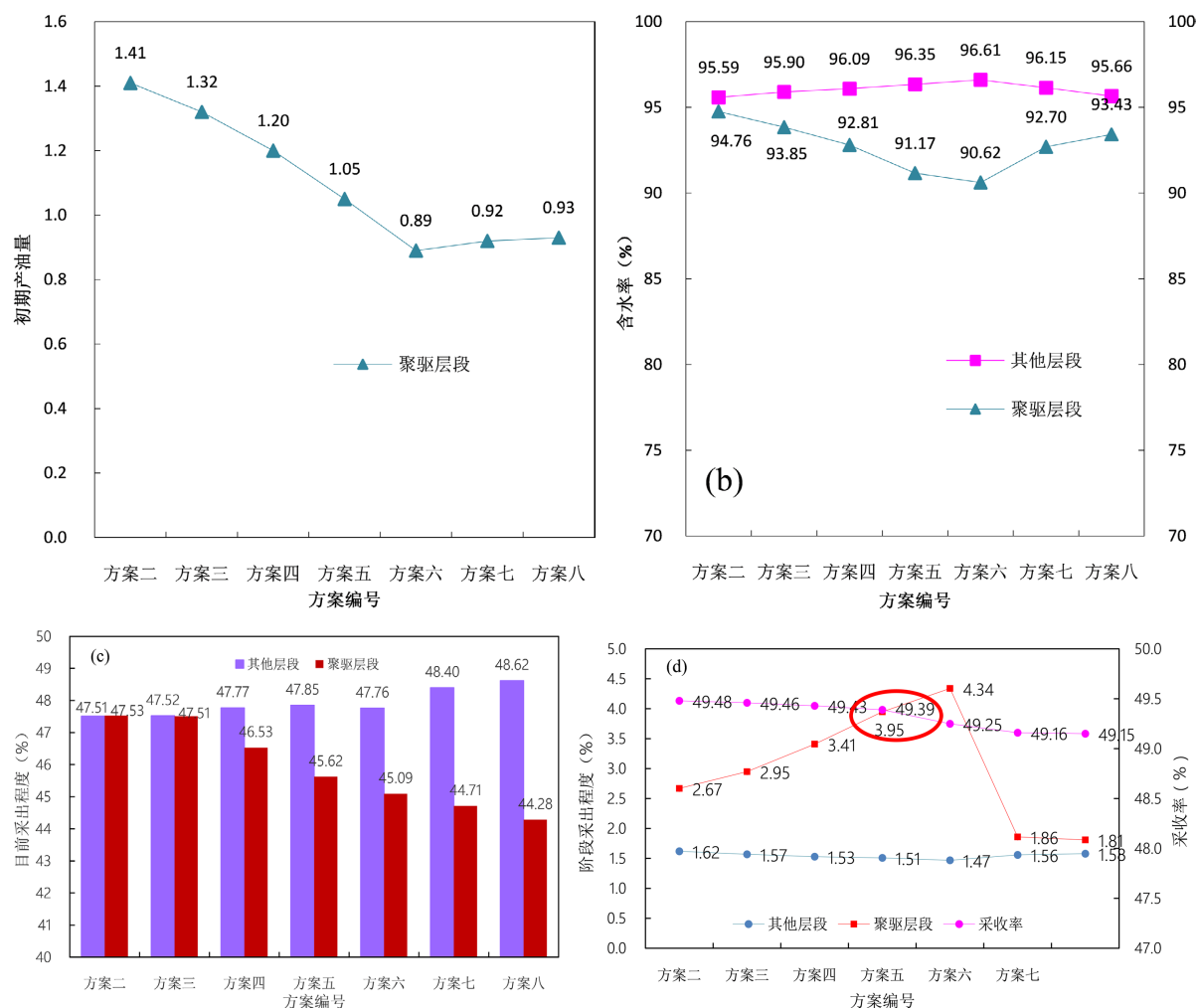
根据两三结合后聚驱井网搭建与再利用设想,借鉴化学驱逐级上返的思路,改用三次加密井网开发

葡 I3 油层, 原开发葡 I3 油层的聚驱井网上返至萨 III 组某一层段, 基础井网、一次加密井网、二次加密井网开发其他水驱层段, 共设计 7 套层系重组方案设计, 见表 5, 应用数值模拟方法, 开展各层系重组方案指标预测, 预测结果如图 3 所示。

**Table 5.** Layer system reorganization scheme design

**表 5.** 层系重组方案设计

方案	射孔方式	井网	层段	发育沉积单元(个)	射开沉积单元(个)	地质储量( $10^4$ t)	砂岩厚度(m)	有效厚度(m)	渗透率变异系数
方案 1	常规射孔	现井网	所有层段	96	93	436.94	65.13	30.56	0.69
方案 2		其他井网	其他层段	68	65	236.68	43.23	19.25	0.64
		聚驱井网	SIII1-PI2 <sub>1</sub> <sup>2</sup>	28	28	114.72	21.70	11.31	0.74
方案 3		其他井网	其他层段	72	69	257.68	46.55	20.89	0.63
		聚驱井网	SIII1-PI2 <sub>1</sub> <sup>2</sup>	24	24	93.73	18.38	9.67	0.75
方案 4	分层系射孔	其他井网	其他层段	77	74	280.14	50.02	22.6	0.63
		聚驱井网	SIII3-PI2 <sub>1</sub> <sup>2</sup>	19	19	71.26	14.91	7.96	0.73
方案 5		其他井网	其他层段	84	81	299.69	53.38	24.26	0.61
		聚驱井网	SIII7-PI2 <sub>1</sub> <sup>2</sup>	12	12	51.71	11.55	6.30	0.75
方案 6		其他井网	其他层段	92	89	320.15	58.56	26.56	0.60
		聚驱井网	PI1 <sub>1</sub> -PI2 <sub>1</sub> <sup>2</sup>	4	4	31.25	6.37	4.00	0.57
方案 7		其他井网	其他层段	74	71	267.61	50.73	24.49	0.69
		聚驱井网	PI4 <sub>1</sub> -PII8-1	22	22	83.79	14.20	6.07	0.68
方案 8		其他井网	其他层段	57	54	262.00	43.86	21.99	0.64
		聚驱井网	PI4 <sub>1</sub> -GI10 <sub>2</sub>	39	39	89.40	21.07	8.57	0.74



**Figure 3.** Forecasts of development indicators for the layer system reorganization programme. (a) Initial oil yield; (b) Initial water content; (c) Current extent of extraction; (d) Recovery ratio

**图 3.** 层系重组方案开发指标预测。(a) 初期产油量; (b) 初期含水率; (c) 目前采出程度; (d) 采收率

方案 1 为现井网水驱预测方案,基础井网、一次加密井网、二次加密井网、三次加密井网共同开发水驱层段,目前采出程度为 47.52%,预测至水驱结束,阶段采出程度为 2.49%,预测采收率为 50.01%。

方案 2~6 为聚驱井网上返层系重组方案,封堵原三次加密井网射孔层段,聚驱井网上返层段内沉积单元个数依次降低,其他井网开发层段沉积单元个数依次增大。对于上返层段,随着沉积单元个数的减少,降低了层间非均质性,初期含水率降幅明显,从 94.76% 降低至 90.62%,初期平均单井产油量略有降低,从 1.41 t/d 降低至 0.89 t/d,阶段采出程度增幅明显,从 2.67 个百分点增加到 4.34 个百分点;对于其他层段,随着沉积单元个数的增多,增大了层间非均质性,初期含水率持续上升,从 95.59% 增加到 96.61%,阶段采出程度略有降低,从 1.62 个百分点降低至 1.47 个百分点。整体上看,方案 2~6 采收率持续降低,方案 2~5 采收率缓慢降低,从 49.48% 降低至 49.39%,方案 5~6 采收率降幅明显,降低至 49.25%。

方案 7~8 为聚驱井网下返层系重组方案,封堵原三次加密井网射孔层段,聚驱井网上返层段内沉积单元个数依次增大,其他井网开发层段沉积单元个数依次降低。对于下返层段,随着沉积单元个数的增多,增大了层间非均质性,初期含水率不降反增,从 90.62% 增加至 93.43%,初期平均单井产油量变化不



大, 阶段采出程度较低, 从 1.86 个百分点降低到 1.81 个百分点; 对于其他层段, 随着沉积单元个数的减少, 降低了层间非均质性, 初期含水率缓慢下降, 从 96.61% 增加到 95.66%, 阶段采出程度变化不明显。整体上看, 方案 7~8 采收率较低, 仅为 49.15% 左右。

综合考虑所有层段采收率水平和聚驱井网初期产油量, 确定层系重组调整方案为方案 5, 采收率较高, 为 49.39%, 与方案 1 现井网预测采收率 50.01% 相比降低了 0.62 个百分点, 确定聚驱井网开发层系为萨 III7~葡 I<sub>2</sub><sup>1</sup>。

### 4.3. 分步射孔方案

为了降低聚驱井网上返开发层系内部高渗透层对低渗透层的干扰, 采取分步射孔[12]。分步射孔原则及界限为: ① 首次射孔对象主要以低水淹和未水淹层为主, 适当射开中水淹层, 避免射开含水率大于 80% 的高水淹层。为保证新井产能, 对个别射孔厚度小的井可适当提高中水淹层射孔比例, 但低水淹和未水淹层射孔厚度比例不低于总射孔厚度的 60%。② 当含水率大于 95% 时, 实施二期射孔, 即对低产井和高含水井集中分布的区块进行整体补孔, 并采取补、堵结合的方式以保证补孔效果。采油井补孔的同时对注水井进行对应补孔, 完善注采关系[13]。补孔对象以剩余油相对富集的中水淹层为主, 为完善注采关系, 适当射开部分高水淹层[14]。

根据上述原则, 针对聚驱井网开发层系萨 III7~葡 I<sub>2</sub><sup>1</sup> 的地质特点, 结合分步射孔、分区分步、全射 3 种区块开采对策, 共提出了 3 套分步射孔方案。

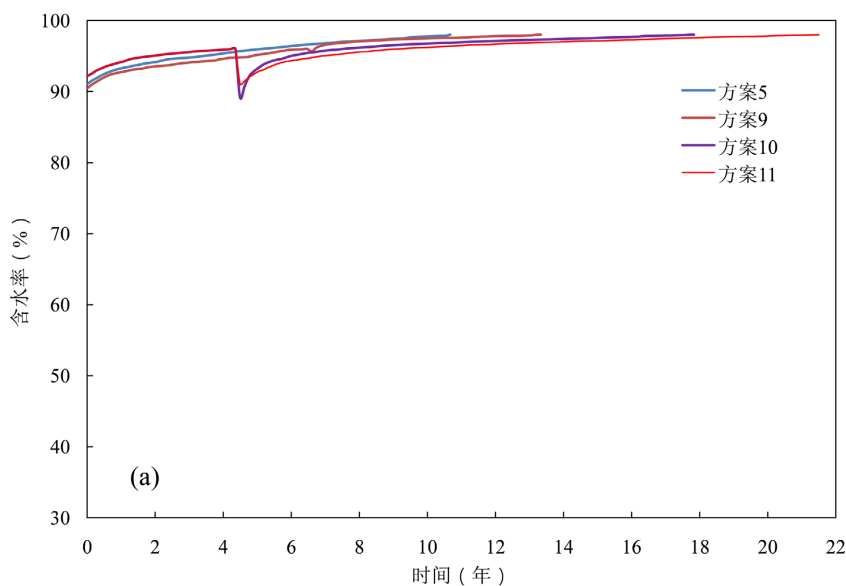
方案 5 为常规射孔方案, 采用常规射孔方式, 同时射开萨 III7~葡 I<sub>2</sub><sup>1</sup> 油层, 作为对比方案。

方案 9 为分步射孔方案, 区分储层类型和油层有效厚度, 首先射开表外储层和有效厚度大于 0.4 m 的油层, 开发至含水率 96% 时, 补射有效厚度低于 0.4 m 的油层。

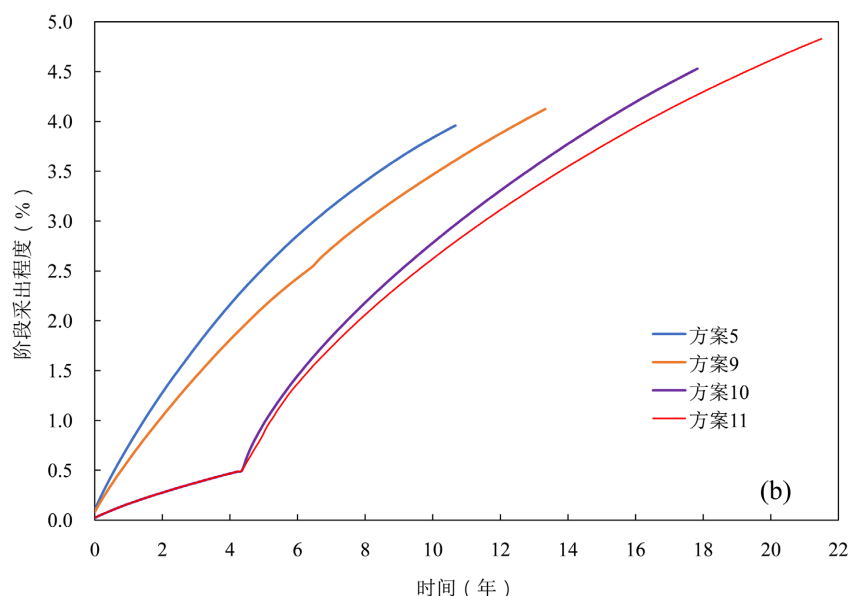
方案 10 为分步射孔方案, 区分萨尔图油层和葡萄花油层, 首先射开萨 III7-11 油层和砂岩厚度小于 2.5 m 的萨 III7~葡 I<sub>2</sub><sup>1</sup> 油层, 开发至含水率 96% 时, 补射葡 I1-2 油层。

方案 11 为分步射孔方案, 区分萨尔图油层和葡萄花油层, 首先射开萨 III7-11 油层和砂岩厚度小于 2.5 m 的萨 III7~葡 I<sub>2</sub><sup>1</sup> 油层, 开发至含水率 96% 时, 将聚驱井网抽稀, 补射葡 I1-2 油层。

应用数值模拟方法, 开展各分步射孔方案指标预测, 预测结果如图 4 所示。







**Figure 4.** Forecast of development indicators for the step-by-step perforation program. (a) Water content; (b) Extraction level  
**图 4.** 分步射孔方案开发指标预测。(a) 含水率; (b) 采出程度

对于上返层段, 方案 5 预测采收率为 49.57%, 阶段采出程度为 3.95%, 方案 9 初期含水率较低, 开发至含水率 96% 时补射有效厚度低于 0.4 m 的油层, 含水率变化不明显, 含水上升速率加快, 阶段采出程度为 4.12%, 预测采收率为 49.74%, 方案 10 初期含水率较高, 开发至含水率 96% 时补射葡 I1-2 油层, 含水率大幅下降至 89.15%, 而后快速上升, 阶段采出程度为 4.53%, 预测采收率为 50.15%, 方案 11 初期开发指标与方案 10 一致, 开发至含水率 96% 时将聚驱井网抽稀, 补射葡 I1-2 油层, 含水率明显下降至 90.21%, 而后缓慢上升, 阶段采出程度为 4.83%, 预测采收率为 50.45%, 与方案 10 相比, 采收率提高了 0.3 个百分点, 这是由于井网抽稀后增大了油水井距, 减缓了含水率上升速度, 达到延长开发时间和提高采收率的目的。最终确定方案 11 为两三结合后聚驱井网搭建再利用方案, 与现井网相比采收率提高了 1.83 个百分点, 该成果将指导后续大庆油田杏北开发区三类油层化学驱的聚驱井网调整。

## 5. 结论

(1) 借鉴化学驱逐级上返思路, 提出了两三结合后聚驱井网搭建与再利用方法, 通过井网重组, 将三次加密井网与聚驱井网互换, 可实现转流线 90 度, 井网互换效率高, 有利于剩余油挖潜。

(2) 明确了两三结合后聚驱井网层系重组调整界限, 综合考虑采收率和聚驱井网初期产油量, 聚驱井网开发层系为萨 III7~葡 I2<sub>1</sub><sup>2</sup>。预测采收率为 49.39%, 与现井网预测采收率 50.01% 相比降低了 0.62 个百分点。

(3) 明确了两三结合后聚驱井网分步射孔方式, 首先射开萨 III7-11 油层和砂岩厚度小于 2.5 m 的萨 III7~葡 I2<sub>1</sub><sup>2</sup> 油层, 开发至含水率 96% 时, 将聚驱井网抽稀补射葡 I1-2 油层, 预测采收率为 50.45%, 与常规射孔方案采收率 49.57% 相比提高了 0.88 个百分点。

## 参考文献

- [1] 王德民. 大庆油田“两三结合”的试验情况及扩大实施建议[J]. 大庆石油地质与开发, 2004(1): 18-23+75.
- [2] 王维克. 分注技术在两三结合区块的应用[J]. 职业技术, 2010(8): 94.
- [3] 王子, 孟凡顺, 孟祥明, 丛琳. 三角洲前缘相储层非均质性研究——以大庆油田北二区东块两三结合试验区为

- 例[J]. 内蒙古石油化工, 2012, 38(24): 141-143.
- [4] 丛琳, 马世忠, 李文龙, 钱方园, 邢贝贝. 萨北油田北二东两三结合试验区高台子油层储层非均质性[J]. 价值工程, 2012, 31(20): 24-25.
- [5] 丛琳, 马世忠, 李文龙, 钱方园, 孟祥明. 开发后期三类油层沉积微相研究——以大庆萨北油田北二东两三结合试验区 G II 油层组为例[J]. 价值工程, 2012, 31(19): 21-22.
- [6] 许伟. 中区西部“两三”结合分期分质试验区分质分压注入适应性分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2011, 31(12): 116.
- [7] 郭敬义. 中区西部“两三结合”分期分质二期化学驱数值模拟研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 东北石油大学, 2014.
- [8] 曲瑛新. 低渗透砂岩油藏注采井网调整对策研究[J]. 石油钻探技术, 2012, 40(6): 84-89.
- [9] 安伟煜. 特高含水期多层非均质油藏层间干扰因素分析[J]. 大庆石油学院学报, 2012, 36(5): 76-82.
- [10] 于春生, 李闯, 乔国安, 等. 纵向非均质油藏水驱油实验研究[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(1): 84-86.
- [11] 张继成, 何晓茹, 周文胜, 等. 大段合采油井层间干扰主控因素研究[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2015, 37(4): 101-106.
- [12] 王贺军. 喇萨哈油田层系井网重组方式研究[J]. 长江大学学报(自然版), 2012, 9(4): 75-77.
- [13] 袁向春, 杨风波. 高含水期注采井网的重组调整[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(5): 94-96.
- [14] 蔡晖, 阳晓燕, 张占华, 等. 层间干扰定量表征新方法在渤南垦利区域的应用[J]. 特种油气藏, 2018, 25(4): 91-94.