

# 聚驱井注入参数优化及动态调控研究

李英子

大庆油田有限责任公司第五采油厂, 黑龙江 大庆  
Email: 575551185@qq.com

收稿日期: 2021年2月4日; 录用日期: 2021年3月15日; 发布日期: 2021年3月29日

## 摘要

为实现聚驱区块高效开发, 利用经验分析和数值模拟法对注聚参数进行了优选; 根据聚驱不同开采阶段特点, 对大量井的注聚动态参数进行了分析和计算, 总结形成了生产动态调控图版。认为, 为保证聚驱效果应采用少量的2500万超高分聚合物作为调堵段塞, 1900万高分聚合物进行前期封堵段塞的注入, 中后期注入700万抗盐聚合物; 利用分类井的浓度匹配可满足对单井的注入浓度进行设计; 利用数模法进行注入方案的优化, 有利于优化各注入段塞的用量和各段塞的聚合物用量; 注入端优化调整图版、采出端优化调整图版、深度调剖选井选层技术规范、采出井压裂技术规范等模板的建立, 形成了一套适合于聚驱开发的聚驱配套调整技术, 使何时调整、如何调整、如何措施选井变得有据可依。该研究大大提高了聚驱开发效果, 也有利于管理水平的提高, 应用成效显著。

## 关键词

聚驱, 方案, 注入参数, 动态调控

# Study on Injection Parameter Optimization and Dynamic Control of Polymer Flooding Well

Yingzi Li

No. 5 Oil Production Plant of Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing Heilongjiang  
Email: 575551185@qq.com

Received: Feb. 4<sup>th</sup>, 2021; accepted: Mar. 15<sup>th</sup>, 2021; published: Mar. 29<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

In order to realize efficient development of polymer flooding blocks, empirical analysis and numerical simulation were used to optimize the polymer injection parameters. According to the characteristics of different stages of polymer flooding, the dynamic parameters of polymer injection in a large number of Wells are analyzed and calculated, and the production dynamic control chart is summarized and formed. In order to ensure the effect of polymer flooding, a small amount of 25 million ultra-high content polymers should be used as the plugging control slug, 19 million high-content polymers should be injected into the early plugging slug, and 7 million salt-resistant polymers should be injected in the middle and late stage. The concentration matching of classified Wells can be used to design the injection concentration of a single well. It is beneficial to optimize the amount of each injection slug and the amount of polymer of each injection slug. The establishment of the injection end optimization and adjustment chart, the production end optimization and adjustment chart, the depth profile control well selection and formation selection technical specification, the production well fracturing technical specification and other templates, formed a set of polymer flooding matching adjustment technology suitable for the development of polymer flooding, so that when to adjust, how to adjust, how to measure well selection has become the basis. The research has greatly improved the development effect of polymer flooding, and is also beneficial to the improvement of management level.

## Keywords

Polymer Flooding, Plan, Injection Parameters, The Dynamic Control

Copyright © 2021 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

从上世纪 70 年代 A 油田主油区全面开发投产以来, 开发经历了自喷油、机械采油阶段。后逐渐进入打加密调整井阶段。为弥补产能降低带来的影响, 部分区块开展聚驱试验并推广, 已开展的 3 个聚合物现场试验区目前均已进入后续水驱阶段。随着三次采油规模快速扩大, 三次产量贡献比例也提高至 1/5

以上, 且仍在逐年增加。

近年来, 聚驱管理主要以“四最”为指导思想, 即“最小尺度的个性化设计, 最及时有效的跟踪调整, 最大限度的提高采收率, 最佳的经济效益”[1]。按照“优化注聚参数、配套调整技术”的思路, 积极进行技术、调控管理方面的创新和优化, 努力做到宏观把控、资料准确、技术配套、工作高效, 达到保证聚驱开发效果、提效降本的目的, 为聚驱的规模化工业推广提供保障。

## 2. 多种方案进行比较, 优化注聚参数

注聚初期的参数优化设计, 对整个聚驱开发过程起着极其重要的作用, 通过对其他区块经验的借鉴、不同方案的比较, 形成一套优化注聚参数的方法, 具有很好的参考价值。

### 2.1. 量化井组分类, 优化注入浓度

为了便于分析评价, 根据区块的油层发育特征, 结合近年来注聚取得的经验, 优选了三项单井关键指标, 建立了量化分类标准, 将单井在静态上细分成四类井[2] (表 1)。

**Table 1.** X1 single well quantitative classification standard and results

**表 1.** X1 单井量化分类标准及结果

单井分类		单井分类量化标准		
井类别	分值	全井有效厚度(m)	不同渗透率厚度比例(%)	<1 m 有效厚度比例(%)
优	10	≥8	大于 0.3 $\mu\text{m}^2 \geq 70$	≤20
良	8	≥6	大于 0.2 $\mu\text{m}^2 \geq 70$	≤30
中	6	≥4	大于 0.1 $\mu\text{m}^2 \geq 70$	-
差	4	-	-	-

井组静态分类建立在单井分类基础上, 结合单井的情况和井组的聚驱控制程度, 以采出井为中心, 将井组细分为四类(表 2): 其中 I 类井组 69 个, II 类井组 47 个, III 类井组 43 个, IV 类井组为 24 个。

**Table 2.** Static quantitative classification standard and results of well group X1

**表 2.** X1 井组静态量化分类标准及结果

井组类别	中心井分值	井组分值	井组聚驱控制程度(%)	河道砂连通厚度比例(%)
I 类	10	≥8	≥70	≥90
II 类	≥8	≥7	≥60	≥80
III 类	≥6	≥6	≥50	≥70
IV 类	≥4			

X1 块聚驱工业区油层发育状况与 Y 区东部聚驱工业区相似, 因此可参考 Y 区东部聚驱工业区的分类井浓度设计情况, 设计注聚初期 I 类井浓度为 1600 mg/L 左右, II 类井浓度为 1350 mg/L 左右, III 类井浓度为 1100 mg/L 左右, IV 类井组浓度为 1000 mg/L 左右[3]。根据分类井设计区块平均注入浓度为 1326 mg/L。

### 2.2. 注重油层匹配率, 优化分子量和注入段塞

依据室内注入参数匹配关系研究成果, 结合 K80 渗透率油层匹配关系研究和 B 厂 Z 区中部区块注入 1900 万清配清稀的注聚经验, 最终确定 X1 块聚驱工业区采用清配清稀 2500 万超高分抗盐聚合物 + 1900 万高分聚合物 + 700 万抗盐聚合物的注入体系。

为此设计了五套方案(见表 3), 采用数模进行对比, 结果见表 4。

**Table 3.** X1 design table of injection slug with different sizes  
**表 3.** X1 不同尺寸高分段塞注入段塞设计表

类型	段塞一			段塞二			段塞三		
	PV 数	分子量 (万)	浓度 (mg/L)	PV 数	分子量 (万)	浓度 (mg/L)	PV 数	分子量 (万)	浓度 (mg/L)
方案一	0.05	2500	1350	0.95	1900	1200			
方案二	0.05	2500	1350	0.15	1900	1250	0.80	700	1000
方案三	0.05	2500	1350	0.20	1900	1250	0.75	700	1000
方案四	0.05	2500	1350	0.25	1900	1250	0.70	700	1000
方案五	0.05	2500	1350	0.30	1900	1250	0.65	700	1000

比较数值模拟结果, 高分段塞尺寸在 0.25 PV 时效果最好(表 4), 因此设计区块高分段塞尺寸为 0.25 PV (其中 2500 万前置段塞 0.05 PV, 1900 万驱替段塞 0.2 PV)。

**Table 4.** Comparison of numerical simulation results of different sizes of X1 high pressure slug schemes  
**表 4.** X1 不同尺寸高分段塞方案数值模拟结果对比表

类型	聚合物用量 (mg/L·PV)	含水最大降幅 (%)	注聚结束时含 水(%)	聚驱阶段采出程度 (%)	含水 98%时采出程度 (%)	提高采收率 (%)
方案一	1208	5.8	95.5	10.37	12.71	11.39
方案二	1055	6.4	95.3	10.92	13.01	11.69
方案三	1068	6.7	95.1	11.11	13.14	11.82
方案四	1080	6.3	95.4	10.84	12.95	11.63
方案五	1093	5.9	95.4	10.38	12.76	11.44

确定完高分段塞, 对 700 万段塞进行比较确定, 设计了四套方案, 与前五套方案中效果最好的方案三对比: 从数值模拟结果来看, 方案七提高采收率幅度高于另外四个方案(表 5、表 6)。

因此, 根据数值模拟预测, 推荐方案七为 X1 块聚驱工业区的注入方案, 即前期注入 2500 万超高分聚合物清配清稀体系前置段塞, 然后改注 1900 万高分聚合物清配清稀体系, 中后期改注 700 万抗盐聚合物清配污稀体系。即根据不同的注聚阶段, 采用梯次分子量(2500 万 - 1900 万 - 700 万)和梯次注入浓度(1350 mg/L - 1250 mg/L - 1100 mg/L - 1000 mg/L - 800 mg/L), 可以使油层注聚过程中动态渗透率不断降低的情况下, 提高聚合物溶液与油层的匹配性, 提高油层的动用厚度, 防止以前被动的注入一种分子量、一种注入浓度发生的油层堵塞的现象[4]。

**Table 5.** X1 injection slug combination design table  
**表 5.** X1 注入段塞组合设计表

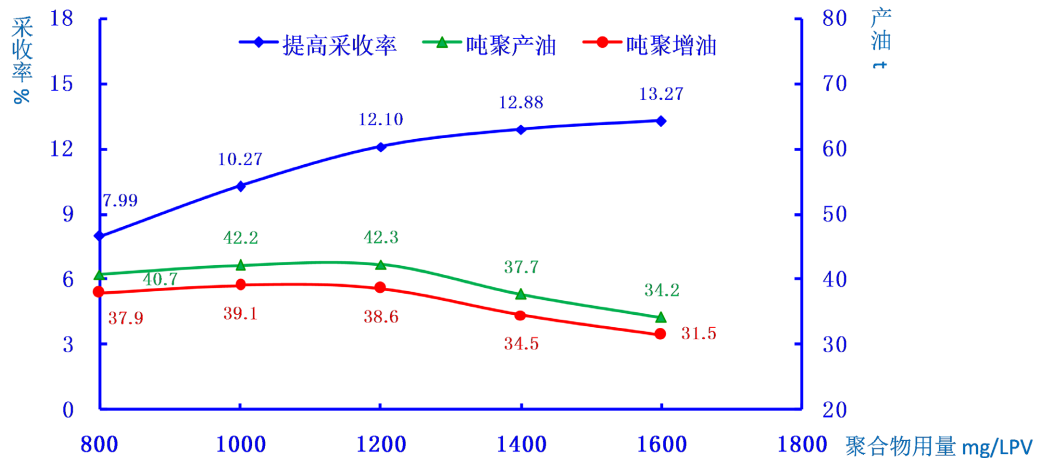
类型	段塞一			段塞二			段塞三			段塞四			段塞五		
	PV	分子量	浓度	PV	分子量	浓度	PV	分子量	浓度	PV	分子量	浓度	PV	分子量	浓度
方案三	0.05	2500	1350	0.20	1900	1250	0.75	700	1000						
方案六	0.05	2500	1350	0.20	1900	1250	0.35	700	1100	0.40	700	1000			
方案七	0.05	2500	1350	0.20	1900	1250	0.25	700	1100	0.25	700	1000	0.25	700	800
方案八	0.05	2500	1350	0.20	1900	1200	0.20	700	1000	0.20	1900	1200	0.35	700	1000
方案九	0.05	2500	1350	0.20	1900	1200	0.20	1900	1000	0.20	1900	1200	0.35	1900	1000

**Table 6.** Comparison of numerical simulation results of different slug sizes  
**表 6.** X1 不同段塞大小数值模拟结果对比表

类型	聚合物用量 (mg/L·PV)	含水最大降幅 (%)	注聚结束时含水 (%)	聚驱阶段采出程度 (%)	含水 98% 时采出程度 (%)	提高采收率 (%)
方案三	1068	6.7	95.1	11.11	13.14	11.82
方案六	1065	6.8	95.0	11.27	13.23	11.91
方案七	1043	6.9	95.0	11.39	13.36	12.04
方案八	1098	6.5	95.3	10.94	12.93	11.61
方案九	1098	6.3	95.5	10.78	12.75	11.43

### 2.3. 通过数值模拟，优化聚合物用量

按照注入方式优化设计中的方案七进行数模预测(图 1)，增加聚合物用量可以提高聚驱采收率[5]。当聚合物用量为 800 mg/L·PV 时，聚驱提高采收率为 7.99%，之后随着聚合物用量增加，提高采收率增加[6]。虽然聚合物用量越大，聚驱提高采收率越高，但当聚合物用量超过 1200 mg/L·PV 时，聚驱提高采收率增加的幅度变小，吨聚增油水平下降，因此，结合数模方案优化结果，设计聚合物用量在 1100 mg/L·PV 左右。



**Figure 1.** Recovery curve of different polymer dosage  
**图 1.** 不同聚合物用量与采收率曲线

## 3. 形成规范操作，加强动态调控

聚驱规模的快速扩大为区块技术管理和生产管理带来了极大的挑战。为了提高动态调整的工作质量，总结归纳了聚驱管理经验，形成了注采两端的优化调整图版和措施井选井选层的技术规范。

### 3.1. 寻找敏感参数，形成注采调整图版

对已有聚驱工业区块分类井的受效状况进行分析，发现各类井虽然发育和连通差异较大，受效时间差异也较大，但各类井受效时的聚合物用量差别不大，因此有效的控制井组间聚合物用量的相对均衡，能够使平面上采出井的见效相对均匀，促进井组均衡整体受效。

而发育和连通较差的 III、IV 类井见效晚的主要原因是由于注入状况差、注入压力高导致在相同时间点时聚合物用量低。因此确定了注入端以注入压力和聚合物用量为主要敏感参数(图 2、图 3)。

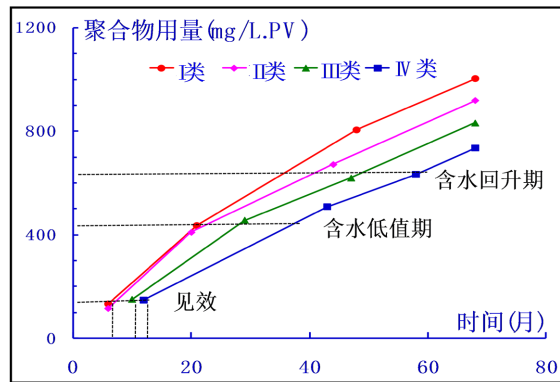


Figure 2. Polymer consumption curve of classified wells in different stages

图 2. 分类井分阶段聚合物用量曲线

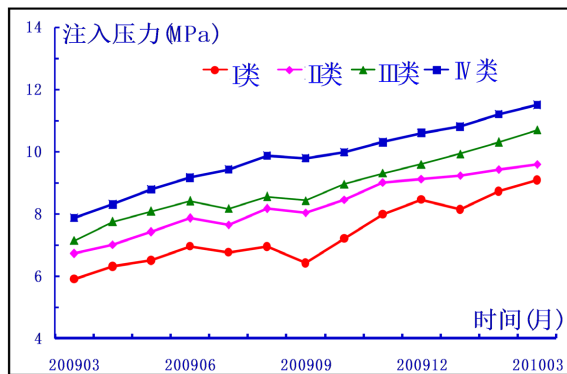


Figure 3. Injection pressure curve of connected injection wells of classified wells

图 3. 分类井连通注入井注入压力曲线

对采出端进行分析，发现见效时采聚浓度低的井聚驱效果最好，注聚初期当注采压差大于 5 MPa 时先见聚后见效井比例明显升高(图 4)，而先见聚后见效井聚驱效果较差(图 5) [7]。因此确定了采出端的敏感参数为采聚浓度和流压，通过流压控制采出端的采聚浓度是取得较好聚驱效果的关键。

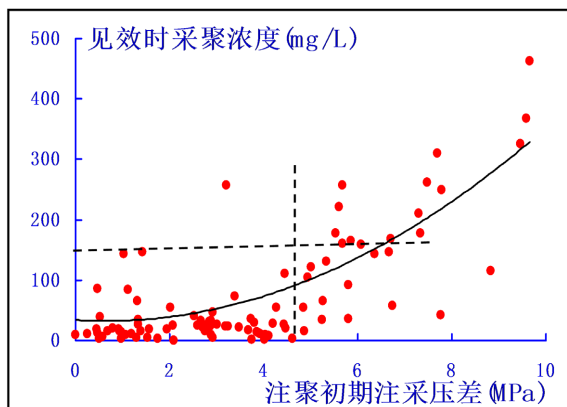


Figure 4. Distribution of injection production pressure difference and polymer concentration when effective

图 4. 注采压差与见效时采聚浓度分布图

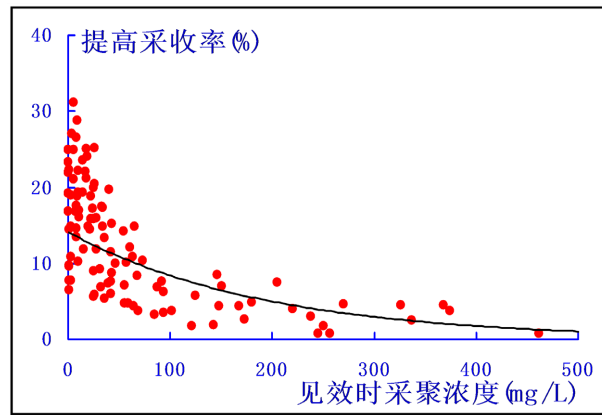


Figure 5. Distribution of polymer concentration and EOR when effective

图 5. 见效时采聚浓度与提高采收率分布图

通过对大量的数据进行了统计，找到了不同阶段采出井见效效果的主要评价参数，根据主要评价参数的变化得出了不同注聚阶段合理的流压水平(图 6)。

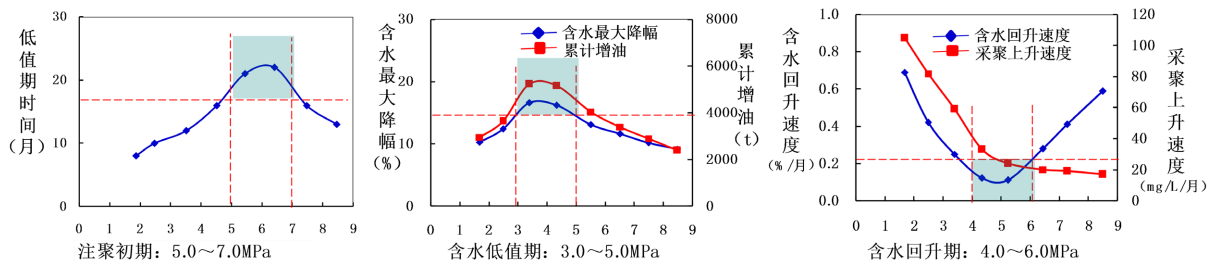


Figure 6. Reasonable flowing pressure range in different development stages of polymer flooding

图 6. 聚驱不同开发阶段合理流压范围

根据注采两端的敏感参数形成了注采两端优化调整图版，注入端分为 8 个区，合理区外的 7 个区为重点调整对象(图 7)；采出端分为 3 个区，观察区以外的区为重点调整对象(图 8)。

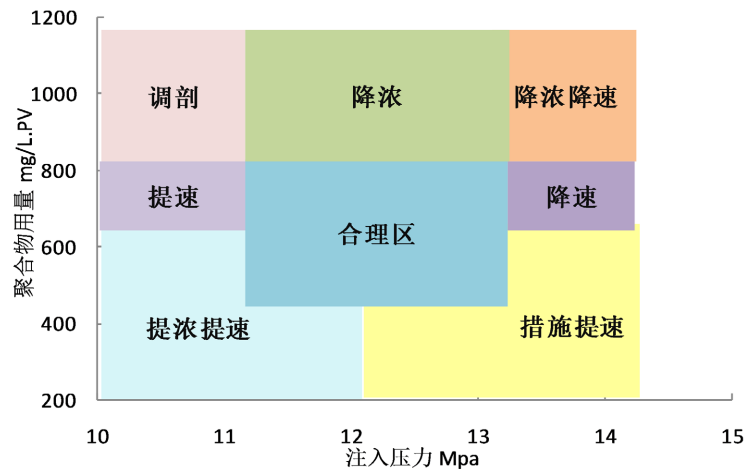


Figure 7. Injection side optimization adjustment plate

图 7. 注入端优化调整图版

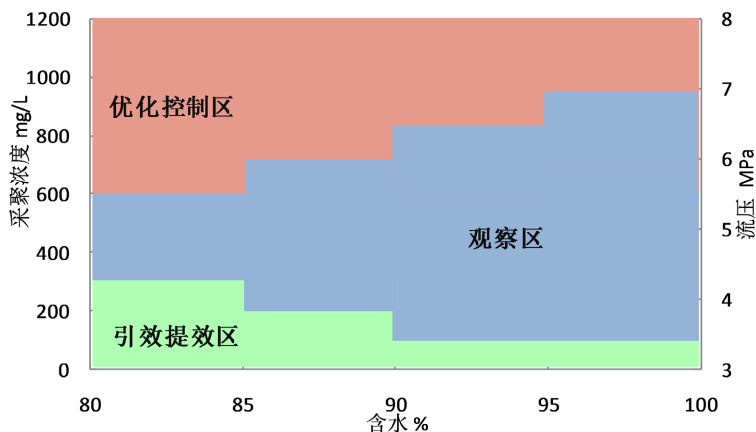


Figure 8. Optimization adjustment chart of production end  
图 8. 采出端优化调整图版

### 3.2. 结以往经验，形成措施选井规范

对以往措施选井选层的方法进行分析，对措施结果进行逐口井的详细剖析总结，同时借鉴北部采油厂的经验，最终形成了深度调剖选井选层技术规范和采出井压裂技术规范。这两个技术规范根据聚驱注聚的阶段特点，充分考虑了选井选层的阶段性，针对性和可操作性都很强，在实践应用中效果较好。

深度调剖技术规范针对空白水驱阶段、含水下降阶段、含水低值阶段调剖目的的不同，制定了不同阶段深度调剖的选井选层技术规范，见表 7。

Table 7. Technical specifications for deep profile control  
表 7. 深度调剖技术规范

项目	空白水驱阶段	含水下降阶段	含水低值阶段
调剖目的	封堵特高渗透条带	调整剖面均衡压力	控制见聚浓度突破
选井原则	1、启动压力小于 5.0 MPa 2、注入压力低于全区 15%以上 3、渗透率级差达到 3 以上 4、吸水强度高于全区 40%以上	1、注入压力上升速度及注入压力水平低于全区 15%以上 2、视吸水指数高于全区 10%以上 3、连通采出井见聚不见效，产液指数高于全区 10%以上	1、注入压力出现下降现象 2、注入剖面反转，存在单层突进现象 3、含水回升，见聚浓度高出区块平均值 30%
选层原则	1、层段相对吸液量占全井的 60%以上 2、控制程度 ≥ 50% 3、层段为高渗透层	1、层段相对吸液量占全井的 55%以上 2、控制程度 ≥ 50% 3、连通的采出井层位是主要产液层 4、层段为高渗透层	1、层段相对吸液量占全井的 50%以上 2、控制程度 ≥ 50% 3、层段为高渗透层

根据现场试验及相关研究结果表明，调剖半径为注采井距的 1/3~1/2 效果最理想[6] [7] [8]。结合油层发育特点确定 R 为井距的 1/3，并且对其采取了个性化设计(表 8)，算式如下[8] [9]：

$$R = \frac{1}{3} \times R \times (\alpha \times P_i / P + \beta \times T_i / T + \gamma \times H_i / H + \omega \times U_i / U) \quad (1)$$

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\omega$  权重系数；

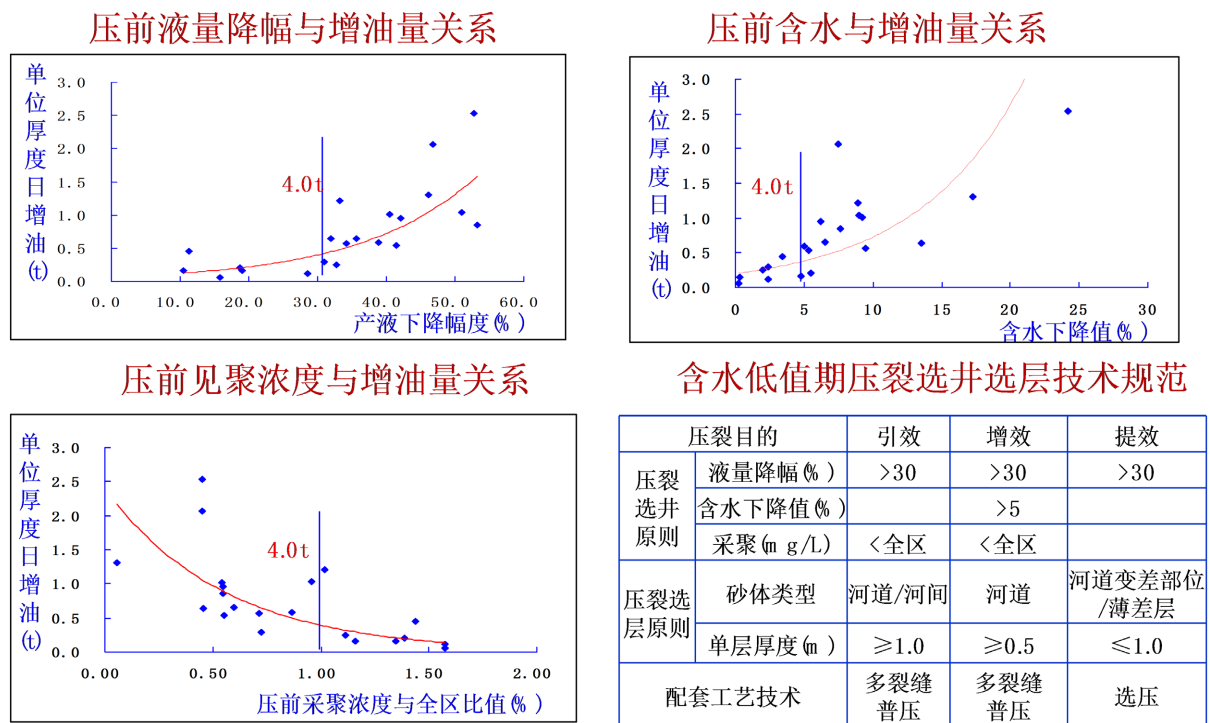
R: 井组注采井距； $P_i$ : 井组采出液浓度；P: 平均采出液浓度； $T_i$ : 调剖井视吸水指数；T: 平均视吸水指数； $H_i$ : 调剖井含水饱和度；H: 平均含水饱和度； $U_i$ : 调剖层渗透率；U: 平均渗透率。根据不同的注聚阶段，对权重系数进行了赋值：



**Table 8.** Reference table of weight coefficient of dynamic and static parameters in different stages  
**表 8.** 不同阶段动静态参数权重系数取值参考表

参数	权重系数	注聚前	含水下降期	含水回升期
采聚浓度	$\alpha$		0.3	0.4
视吸水指数	$\beta$	0.2	0.3	0.3
含水饱和度	$\gamma$	0.4	0.2	0.15
渗透率	$\omega$	0.4	0.2	0.15
合计		1.0	1.0	1.0

通过对以往采出压裂井的效果分析，得出了其效果的好坏主要与三个因素有关：压裂前液量降幅、含水降幅、采聚浓度[10]。根据这三个影响因素，形成了压裂选井选层规范，指导注聚初期、含水下降和回升期的压裂井选井选层，取得了非常好的效果(图 9)。



**Figure 9.** Technical specification for well and layer selection for fracturing of production wells  
**图 9.** 采出井压裂选井选层技术规范

### 4. 应用效果

注聚参数优化方面，在 X1 块聚驱工业区采用了少量的 2500 万超高分聚合物作为调堵段塞，采用 1900 万高分子聚合物进行前期封堵段塞的注入，中后期注入 700 万抗盐聚合物。生产动态调控方面，利用注采优化图版、调剖选井选层规范、压裂规范等，使何时调整、如何调整、如何措施选井变得有据可依，可操作性大大增加。截至目前，提高采收率 12.5 个百分点，对标曲线处于 A 类，开发效果良好；调剖、压裂措施分别实施 45 口和 58 口，其中调剖井措施后平均日增油 2.9t，压裂井措施后日增油 2.8 t，措施井取得了良好的增产效果(图 10、图 11)。

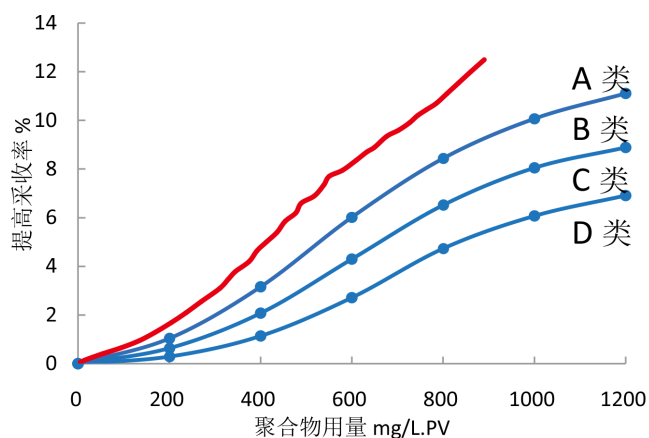


Figure 10. Development benchmarking curve

图 10. 开发对标曲线图

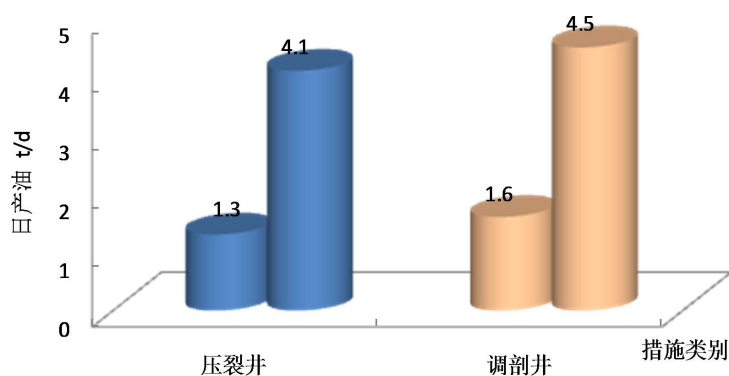


Figure 11. Effect of production increase measures

图 11. 措施增产效果图

## 5. 结论

一是优化了注聚参数。通过区块的注聚经验，结合数值模拟结果，最终选定 2500 万超高分抗盐聚合物为封堵段塞，1900 万高分子聚合物为主段塞，700 万抗盐聚合物为后续段塞，对注入聚合物浓度进行了设计，优化了各注入段塞聚合物用量。形成了适合该区块的聚合物注入参数，技术适应性大大提高。

二是形成了规范图版。根据聚驱不同开采阶段特点，对大量井的注聚动态参数进行了分析和计算，总结形成了注入端优化调整图版、采出端优化调整图版、深度调剖选井选层技术规范、采出井压裂技术规范等，形成了一套适合于聚驱开发的聚驱动态调控技术，其中的选井选层原则对措施井的筛选进行了量化，可操作性提高。

## 参考文献

- [1] 吕秀凤. 聚合物驱动态变化规律及跟踪调整方法综述[J]. 科技展望, 2016(18): 140.
- [2] 李天太, 牟茂源, 张欣, 等. 基于动态数据的水平井分类评价方法——以苏 14 区块为例[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2015(5): 31-36+7.
- [3] 蒋思芹, 谭效党, 于庆丽, 姚远. 特高含水油田二类油层交替注入效果分析[J]. 内蒙古石油化工, 2014(6): 145-146.
- [4] 郑悦, 王华, 沙宗伦, 等. 喇嘛甸油田 3-4#站聚合物驱交替注入试验[J]. 大庆石油地质与开发, 2012, 31(3):

---

134-139.

- [5] 顾永强, 解保双, 魏志高, 等. 孤东油田聚合物驱工业化应用效果分析[J]. 中外能源, 2008(2): 52-55.
- [6] 王倩颖. 浅谈如何确定油田聚合物驱注入方案[J]. 中国化工贸易, 2014(13): 34.
- [7] 刘少然. 聚驱见效特征分析[J]. 中国科技纵横, 2014(14): 179.
- [8] 王凤春. A 区块复合离子调剖剂调驱方案优化及其应用[J]. 石油工业技术监督, 2019(7): 13-15+19.
- [9] 单银凤. 深度调剖个性化优选及试验效果[J]. 中国科技纵横, 2013(8): 183.
- [10] 胡春华. 北东块三元复合驱油试验区压裂效果分析[J]. 内蒙古石油化工, 2015(1): 93-94.