

水驱周期采油调整效果主控因素研究

于跃

大庆油田有限责任公司第一采油厂, 黑龙江 大庆

收稿日期: 2023年9月12日; 录用日期: 2023年10月27日; 发布日期: 2023年11月7日

摘要

随着萨中水驱特高含水井比例逐年升高、周期采油对产量影响逐年加大; 其次在钻降或者大规模增产措施后出现污水过盈现象, 也会适时开展周期采油工作。而关于周期采油的相关论述几乎为空白。为了更好的提高周期采油平面调整效果、减少产量影响、改善油层的动用状况, 结合生产动态、油层发育条件、油层动用状况等资料, 选取了管控井产液级别、区域含水特征、注采井距、管控时间、层间物性差异等5项影响因素, 应用数理统计分析方法研究其与周期采油效果的相关性, 确定了周期采油影响因素的合理界限, 形成了周期采油参数图版, 改善周期采油的平面调整效果, 为低效无效循环治理提供参考依据。

关键词

周期采油, 主控因素, 平面调整, 研究

Research on the Main Control Factors of Periodic Oil Recovery Adjustment Effect in Water Injection Flooding Oil Block

Yue Yu

No. 1 Oil Production Plant, Daqing Oilfield Co., LTD., Daqing Heilongjiang

Received: Sep. 12th, 2023; accepted: Oct. 27th, 2023; published: Nov. 7th, 2023

Abstract

As the proportion of ultra-high water bearing wells in the Sazhong water drive block increases year by year, the impact of cyclic oil recovery on production is increasing year by year; Secondly, if

there is a relatively excessive amount of sewage after drilling to reduce pressure or increase production on a large scale, periodic oil recovery work will also be carried out in a timely manner. However, there is almost no relevant discussion on cyclic oil recovery. In order to improve the adjustment effect of periodic oil production level, reduce production impact, and improve the utilization status of oil reservoirs, combined with production performance, oil reservoir development conditions, and oil reservoir utilization status, etc., based on the dynamic changes in production, development conditions of oil layers and utilization status of oil layers, six influencing factors were selected, including the liquid production level of controlled wells, regional water content characteristics, injection production well spacing, control time, spatial distribution of controlled wells, and differences in interlayer physical properties. Mathematical statistical analysis methods were used to study their correlation with the cyclic oil recovery effect, and reasonable boundaries of each influencing factor were determined, forming a parameter chart for cyclic oil recovery, improving the plane adjustment effect of cyclic oil recovery and providing a reference basis for the treatment of inefficient and ineffective circulation.

Keywords

Periodic Oil Recovery, Main Control Factor, Adjustment on the Surface, Research

Copyright © 2023 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

近年来开发区块综合含水率(含水)逐年上升,含水高于 99%井数逐年增加,目前高含水井比例达到全区的 9.37%,为了控制低效无效循环,近几年高含水井实施周期采油井数随之增加,对产量影响也在逐渐扩大;另外,在新井投产关井降压过程中,区域注水井采取关控,为了减少影响,采油井继续保持生产,随之而来注采比下降,产出水相对过盈,一般采取下调机采参数或对高含水井关井,减少产出,从而减缓注采失衡。周期采油措施是特高含水期采取的常规的调整手段,而关于周期采油的相关论述资料较少[1] [2] [3]。为了更好的提高周期采油的平面调整效果,同时减少产量影响、改善油层的动用状况,结合剩余油分布、油层发育条件,结合生产动态变化,开展周期采油影响因素的研究[4] [5],确定了其合理的调整参数界限,为水驱调整注采结构调整提供了方法基础。

2. 周期采油主控因素研究

统计 2018 年实施周期采油的 81 口井效果,其日影响产油约 31 t;附近关联 206 口未措施井产油上升、含水率下降,且低于关井前近 0.17 个百分点;同时发现油层动用程度也得到了提高,周期采油前后对比,单井吸水层数提高了 40%,平面效果明显。

鉴于周期采油具有平面调整作用,能起到稳油控制含水上升的作用,有必要对周期采油的影响因素与周期调整效果的相关性及其影响关系[1] [2],确定参数合理界限,进一步明确关控区域,优化关控周期,改善平面开发效果,进一步丰富高含水阶段注采结构的调整方法。

2.1. 根据周期采油井产液与周围井见效相关性,确定其产液界限

周期采油井本井的产液量越大,其关井后周围采油井增液、增油幅度越大,平面调整作用越明显(图 1、图 2)。根据周围井增液幅度判断,周期采油井产液应该大于 40 t 以上。

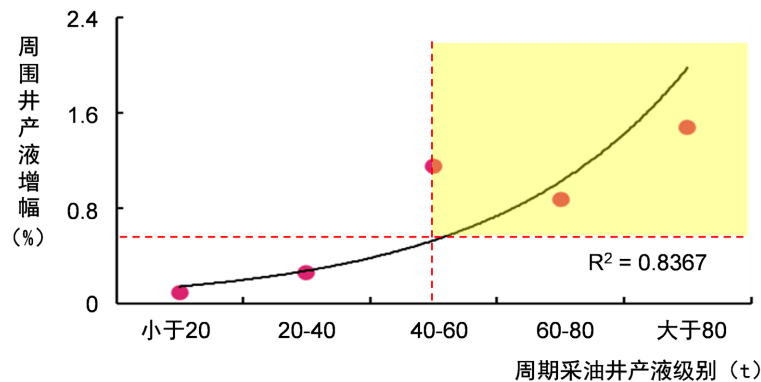


Figure 1. Changes in fluid production from high water content closed production wells and surrounding wells

图 1. 周期井与周围井产液变化

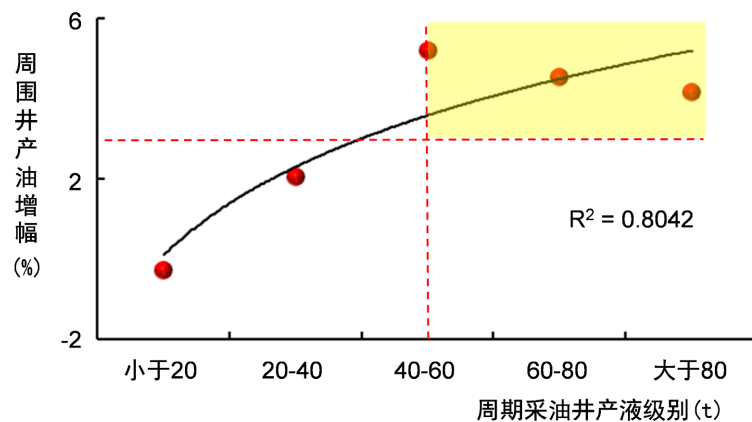


Figure 2. Changes in oil production between high water content shut off oil wells and surrounding wells

图 2. 周期采油井与周围井产油变化

2.2. 根据平面含水差异与见效相关性，确定区域内含水界限

统计周期采油实施前后的周围见效井情况，发现低含水井含水率上升(原井含水率 < 96%)，说明未受效，而高含水井含水率下降(表 1)，说明其受效明显。为了有效研究区域内含水差异对平面调整的影响，引入了含水偏差来衡量区域内含水差异(图 3)，此图区域范围为理论受效单元，距离基本为 2 个注采井距，含水偏差计算方法如公式 1。含水偏差越大，即为理论受效区域内采油井含水率越不均匀，侧面反映其物性条件差异性越大，平面受效越不均[3]。

Table 1. Statistical table of effectiveness of oil production wells with different water content levels

表 1. 不同含水级别采油井见效情况统计表

含水 分级 (%)	井数 (口)	周期采油前				周期采油后				差值			
		日产 液 (t)	日产 油 (t)	含水 (%)	沉没 度 (m)	日产 液 (t)	日产 油 (t)	含水 (%)	沉没 度 (m)	日产 液 (t)	日产 油 (t)	含水 (%)	沉没 度 (m)
小于 90	7	33.2	4.1	85.29	194	33.0	4.8	85.32	202	-0.2	0.6	0.04	8.3
90~94	12	46.5	3.4	92.79	196	46.0	2.9	93.28	223	-0.5	-0.4	0.49	27.3

Continued

94~96	28	70.8	3.3	95.19	253	69.9	2.9	95.45	307	-0.9	-0.4	0.25	53.9
96~97	35	75.6	2.6	96.57	310	76.9	2.9	96.40	291	1.3	0.3	-0.17	-19.5
97~98	72	80.1	2.0	97.52	291	77.2	2.1	97.44	298	-2.9	0.1	-0.08	6.6
大于 98	52	78.7	1.3	98.40	452	81.2	1.6	98.23	416	2.5	0.2	-0.17	-36.4
总计	206	74.1	2.3	96.70	320	73.8	2.3	96.67	319	-0.2	0.1	-0.03	-0.9

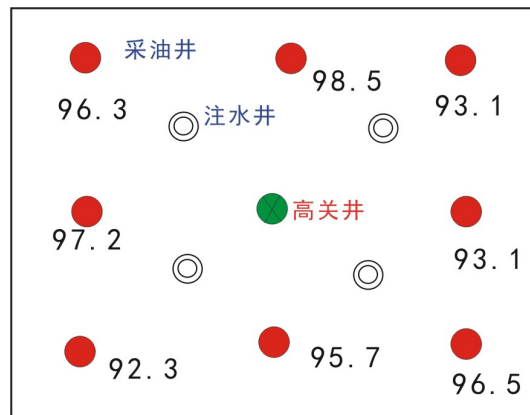


Figure 3. Schematic diagram of the impact area of periodic control

图 3. 周期采油见效区域示意图

$$\rho_{std} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\rho_i - \bar{\rho})^2}{N-1}} \quad (1)$$

ρ_{std} ——含水偏差; ρ_i ——单井含水; $\bar{\rho}$ ——区域平均含水。

研究发现区域内含水偏差越大, 含水率下降幅度越小(图 4), 反之, 则含水率下降幅度越大; 区域内含水偏差大, 说明井间连通差异大, 越不利于平面调整(图 5)。

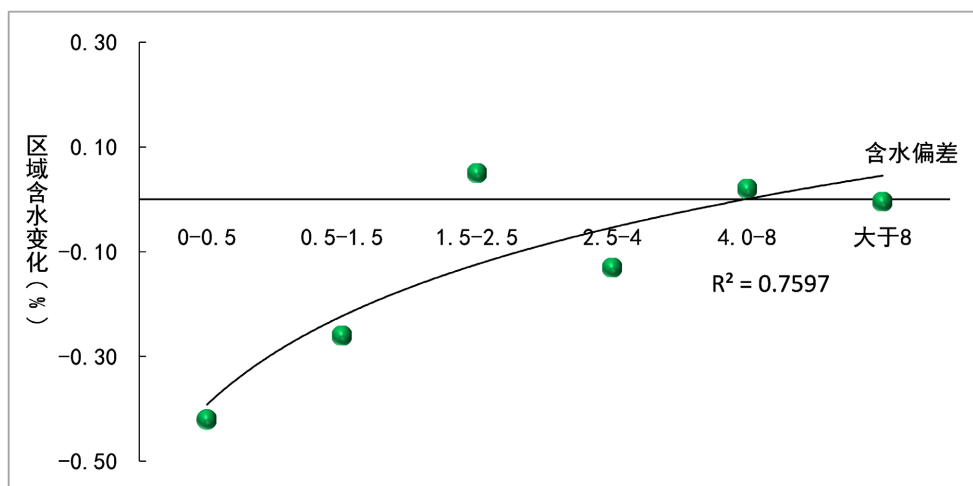


Figure 4. Comparison between water content deviation and water content change

图 4. 含水偏差与含水变化情况对比图

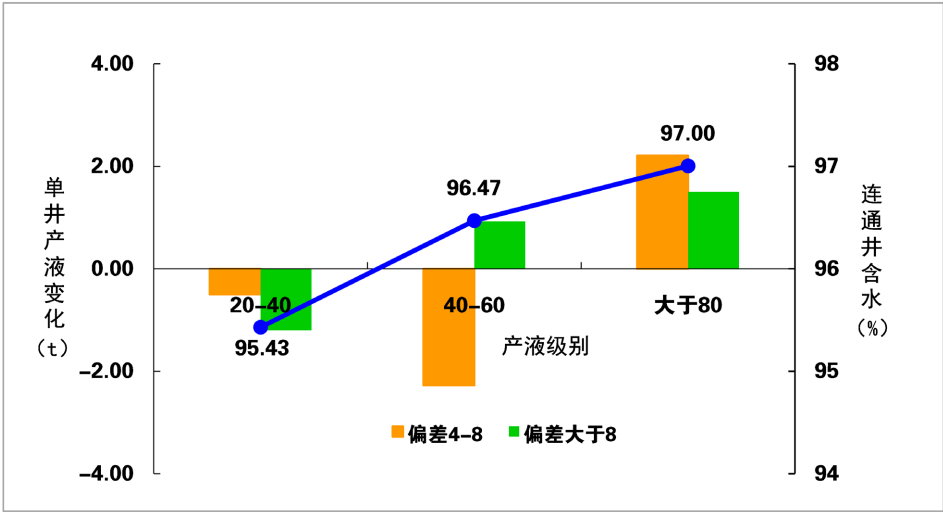


Figure 5. Comparison of changes in liquid production in areas with large deviation in water content
图 5. 含水偏差大区域产液变化情况对比图

根据含水分级和含水偏差不同的见效规律，确定了周围井产液、含水界限，即区域含水均应该在 96% 以上；区域内含水偏差小于 2；区域单井产液量均应在 50 t 以上(图 6、图 7)。

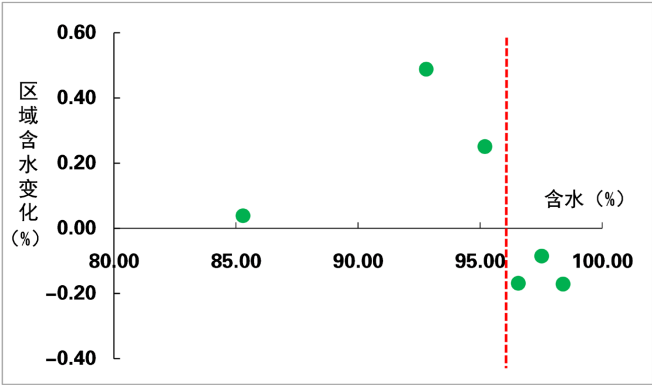


Figure 6. Relationship between water content change and water content
图 6. 含水变化与含水率关系图

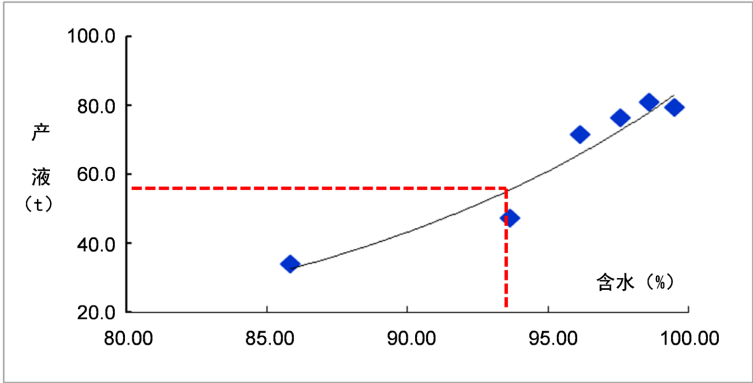


Figure 7. Relationship between liquid production and water content
图 7. 产液与含水关系图

2.3. 根据井距和不同关控时间，确定合理井距范围和关井周期

综合考虑油井措施、连通水井关井、措施及调整等影响，统计了 716 口未措施采油井不同关井时间、不同井距条件下的含水变化情况(图 8)，在相同关井时间条件下，常规井距(井距 220 米)见效幅度最大；不同关井时间条件下，常规井距(井距 220 米)关井时间不能超过 4 个月、小井距区块(井距 106 米)最佳的关井时间为 3 个月；大井距(井距 300 米)井效果较差，基本未见效[4]。

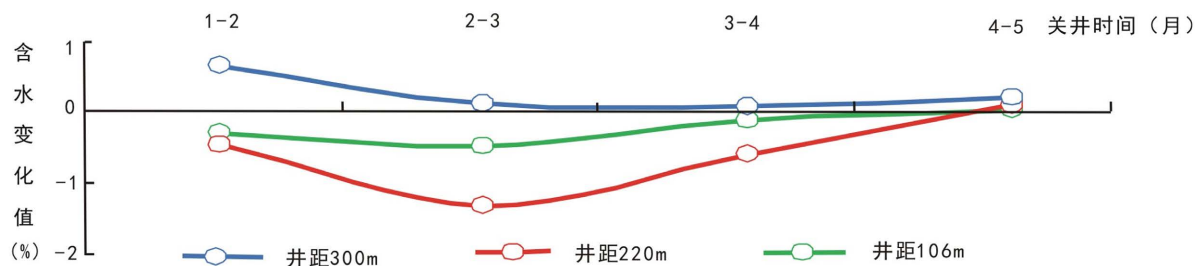


Figure 8. Effect curves of different well spacing and shut-in times

图 8. 不同井距不同关控时间见效变化曲线

2.4. 根据区域层间差异与见效的相关性，确定合理物性界限

在前面研究的基础上，有针对性选取相同关井批次、注采井距相近、井网相似的采油井 38 口，将其受效区域内采油井按照调整效果分见效好(一类井)、见效差(二类井)两类(图 9)。自 2021 年 3 月实施周期采油措施后，一类井含水率下降，产油上升；二类井含水率下降不明显，产油基本不变。

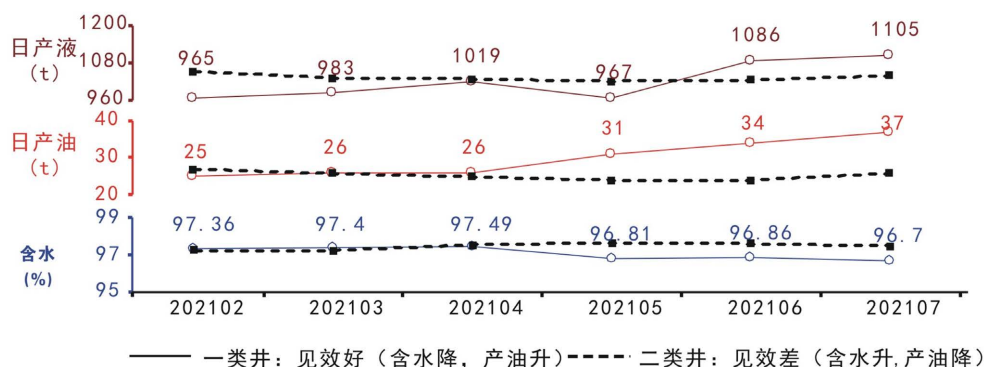
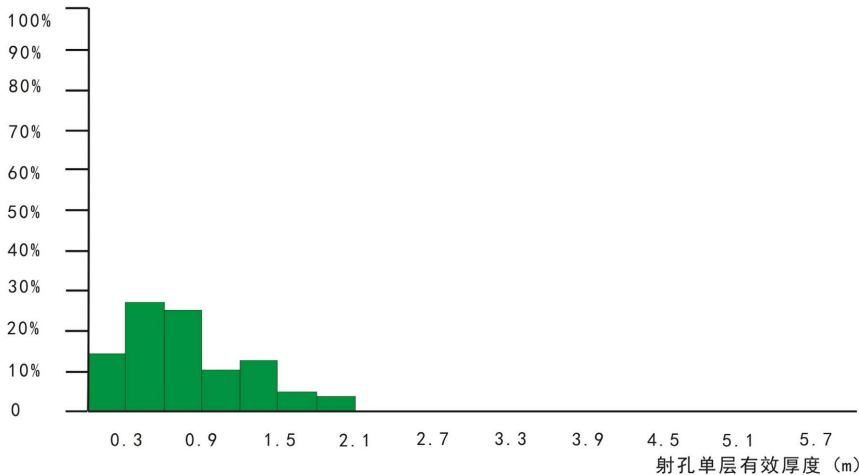


Figure 9. Effectiveness curve of surrounding wells during plane adjustment

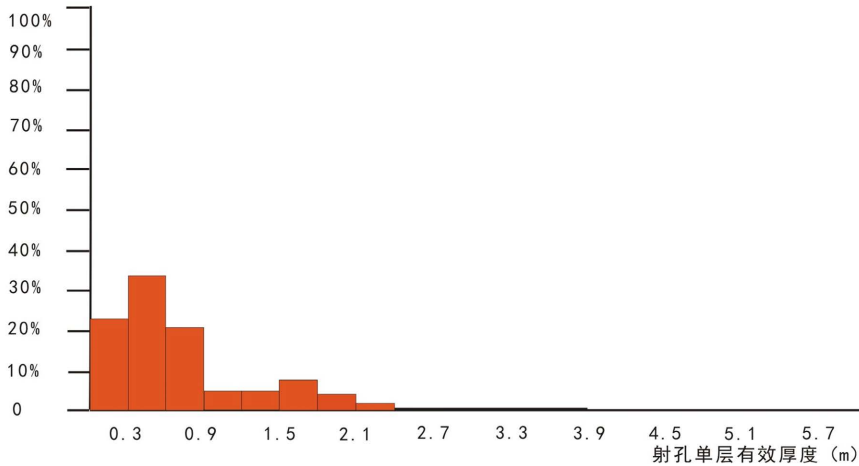
图 9. 平面调整周围井见效情况曲线

为了定量分析有效厚度和渗透率对周期采油的影响，引入渗透率差异系数和有效厚度差异系数，其表达式为：差异系数 = 最大值/平均值[5]。从图中可以看出层间非均质性越小，平面调整效果越好。从单层射孔厚度看，一类井单层有效厚度较均匀，平面调整效果越好，二类井单层有效厚度差异较大，所以调整效果不如一类井(图 10)；从单层渗透率看，一类井单层渗透率基本成正态分布，单层渗透率差异相对较小，平面调整效果越好；二类井单层渗透率差异较大，所以调整效果不如一类井(图 11)。

统计发现，有效厚度与含水上升值呈正相关(图 12(a))，为了确定合理有效厚度界限，归类统计发现，有效厚度差异系数在 2.9 以下，受效区域内采油井含水率下降明显(图 12(b))。渗透率与含水上升值呈正相关(图 13(a))，为了确定合理渗透率界限，进一步归类统计，发现渗透差异系数在 3.1 以下，区域受效井含水率下降明显(图 13(b))。

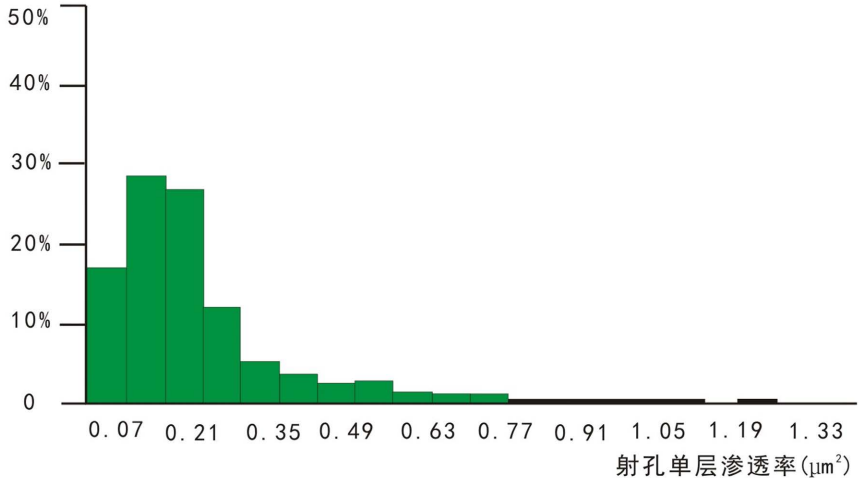


(a) 一类井有效厚度

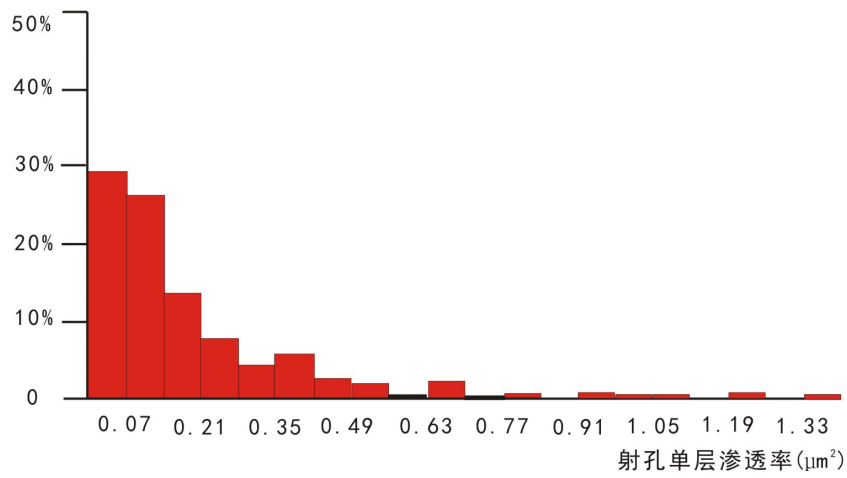


(b) 二类井有效厚度

Figure 10. Histogram of effective thickness distribution
图 10. 厚度分布柱状图



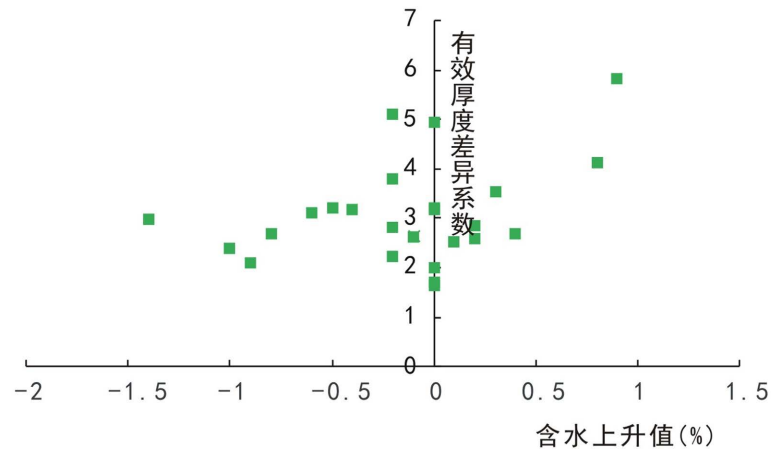
(a) 一类井渗透率



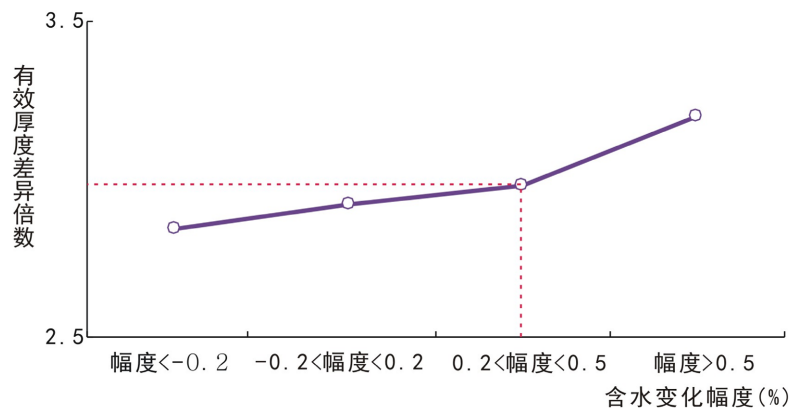
(b) 二类井渗透率

Figure 11. Histogram of effective permeability distribution

图 11. 有效渗透率分布柱状图



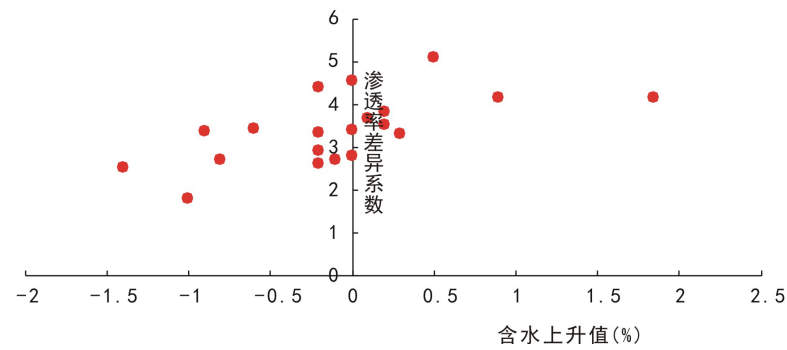
(a) 散点图



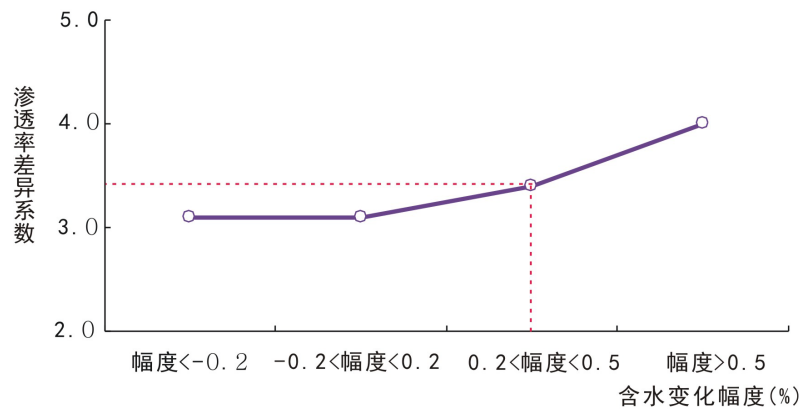
(b) 曲线图

Figure 12. The relationship between the thickness difference of single layer perforation and the change of water content

图 12. 单层射孔厚度差异与含水率变化关系



(a) 渗透率差异与含水变化散点图



(b) 渗透率差异与含水变化关系曲线

Figure 13. Relationship between permeability difference and water content
图 13. 渗透率差异与含水率关系

3. 确立周期采油的界限标准

3.1. 建立周期采油参数界限图版

通过研究, 确定了周期采油的界限图版(表 2), 确定了油层条件界限、开发生产界限、生产制度界限和开采井距界限, 具体详见表 2。据此, 可以有效筛选周期采油潜力区域, 能更好的发挥平面调整作用, 增加油层动用程度。

Table 2. Comparison of periodic oil production limits

表 2. 周期采油界限标准对比表

项目	标准	
油层条件界限	区域渗透率差异系数	≤ 3.1
	区域有效厚度差异系数	≤ 2.9
开发生产界限	周期采油井产液量(t)	≥ 40
	区域平均含水(%)	≥ 96
	区域最低含水(%)	≥ 94
	区域平均产液量(t)	≥ 50
生产制度界限	关井时间(月)	小井距 ≤ 3 ; 常规井距 ≤ 4
开采井距界限	注采井距(m)	≤ 300

3.2. 周期采油参数界限合理性检验

应用建立的周期采油参数标准,选取了合适的潜力井区,统计2022年实施周期采油的见效情况,自2022年3月份实施以来,周围注水井注水压力上升,连通的采油井产液产油上升,含水率保持稳定,同时管控区域地层压力上升(图14),平面调整效果明显,说明制定的参数标准是有效的、合理的,同时可操作性强。

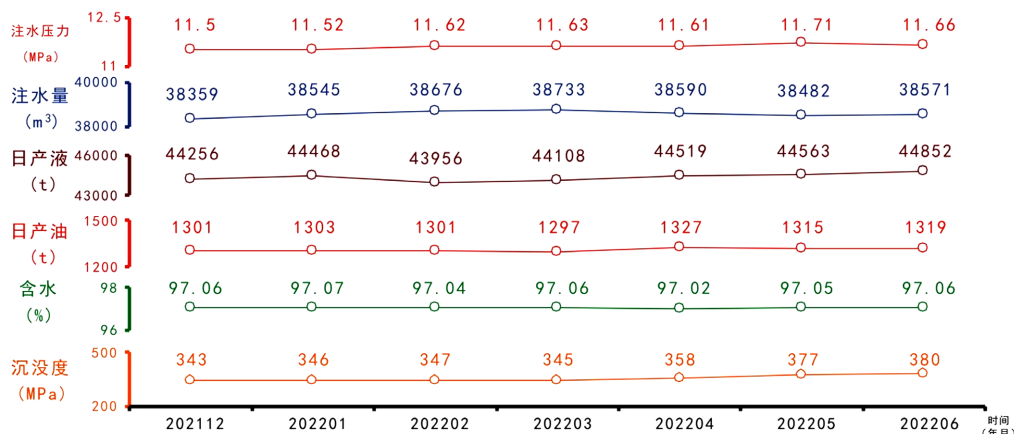


Figure 14. Production curve of connected untreated production wells

图 14. 连通未措施采油井生产变化曲线

4. 结论

- 1) 以往周期采油对影响因素只定性进行了研究,同时考虑因素相对较少,本文定量确定多个影响因素界限;
- 2) 较以往研究创新确定了5个方面8项周期采油的合理参数界限,更具指导意义;
- 3) 本文从生产动态条件出发,定义多种分析方法,结果表明,参数确定合理,方法具有很强适用性和可操作性,周期采油不仅可以控制低效无效循环,同时也是高含水阶段小井距区平面调整的有效手段。

参考文献

- [1] 赵萍. 特高含水期同步周期注采现场试验效果[J]. 大庆石油地质与开发, 2010, 29(4): 98-101.
- [2] 高淑明. 应用周期注采技术改善特高含水期开发效果[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(z1): 8-9.
- [3] 徐慧. 周期注水技术在不同油层中的应用及效果[J]. 中国化工贸易, 2013(12): 14.
- [4] 万雪峰. 周期注采技术的研究与应用[J]. 石油石化节能, 2013(5): 11-12.
- [5] 姜振海. 特高含水期分层段周期注采技术研究与实践认识[J]. 中国工程科学, 2012, 14(4): 77-82.