

Research on the Comprehensive Handling Measures for Low Yield and Low Efficiency Wells in Complicated Carbonate Reservoir

—Taking Asmari Reservoir in Missan, Iraq as Example

Han Chen*, Sheng Guo, Jiawei Tang

CNOOC Research Institute, Beijing
Email: *chenhan@cnooc.com

Received: Jul. 3rd, 2018; accepted: Jul. 13th, 2018; published: Jul. 20th, 2018

Abstract

The main reasons for low yield and low efficiency wells were systematically analyzed according to the characteristics of low yield and low efficiency wells (LYLEWs) in complex carbonate reservoirs. And the corresponding measures were put forward to solve the problem. Research results show that the 3 main influential factors which lead to LYLEWs are geological factors, development factors and engineering factor by research, which can be further subdivided into 7 secondary factors including thin reservoir, strong heterogeneity, water cut rising rapidly, sanding out, very long intervals of commingle production, contamination by job and wellbore problem and so on. In order to solve the above problems, "One Well One Measure" was proposed, which including acidification, borehole integrity assurance, plugging highly water cut zone and adding perforations, running pump or enlarging choke and development layer series optimization and so on. The research results were applied in Asmari formation of X oilfield and good effect was got. The study was useful for referential value of similar oilfields in the aspect of LYLEWs management.

Keywords

Asmari Formation, Low Yield and Low Efficiency Wells, Influencing Factors, Measures, Technical Limit for Water Cut Zone Plugging

复杂碳酸盐岩油藏低产低效井综合治理对策研究

—以伊拉克米桑Asmari油藏为例

陈 翰*, 郭 胜, 唐嘉伟

*通讯作者。

中海油研究总院, 北京
Email: chenhan@cnooc.com

收稿日期: 2018年7月3日; 录用日期: 2018年7月13日; 发布日期: 2018年7月20日

摘要

本文针对复杂碳酸盐岩油藏低产低效井的特点, 系统分析了低产低效井出现的主要原因, 并提出针对性的治理措施。研究表明, 影响低产低效井的三大类主要因素分别为地质因素、开发因素以及工程因素, 并进一步细分为七类次级因素: 储层薄、强非均质、含水上升快、出砂、合采、作业污染和井筒问题等, 针对低产低效原因的复杂性, 本文提出了“一井一策”的治理模式, 具体包括酸化、解决各类井筒问题、技术改层、下泵+放油嘴及开发层系优化等。研究成果应用效果良好。该研究对相似油田的低产低效井治理有着借鉴意义。

关键词

Asmari组, 低产低效井, 影响因素, 措施, 卡堵水技术界限

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

复杂碳酸盐岩油藏岩性复杂, 混积发育白云岩、灰岩和砂岩, 纵向非均质性强, 而且局部发育微裂缝, 进一步加剧了油田的非均质性, 导致油田开发面临诸多的矛盾: 含水上升导致低产甚至停喷、纵向上水淹程度不均、采出程度不均以及地层出砂等等。上述开发矛盾极容易产生低产低效井。

目前国内研究人员对产生低产低效井的原因分析比较分散, 据此制定的相应对策均取得了一定的效果, 但是缺乏一定的系统性分析和梳理[1]-[11], 国外研究主要集中于酸化压裂提高低产井产能以及低产井优选方法方面, 鲜见对低产低效井原因及对策的详细研究。针对上述现状, 本文从分析油田主要开发矛盾出发, 系统梳理出影响复杂碳酸盐岩油藏低产低效井的主要影响因素为地质因素、开发因素和工程因素, 并在此基础上细分出七类次级因素, 包括储层薄、强非均质、含水上升快、出砂、合采、作业污染和井筒问题等。通过对这些因素的逐一分析研究, 制定了相应的对策和解决办法, 取得了良好的治理效果, 为同类型油田低产低效井治理提供借鉴。

研究工区 X 油田位于伊拉克境内米桑省, 构造位置位于扎格罗斯山脉隆起带和阿拉伯构造带东部边缘, 主要含油层段为古近系的渐新统 - 中新统 Asmari 组, 纵向上分为 A1、A2、A3、B1、B2、B3 和 B4 七个油组, 其中 A 段储层主要为白云岩, 储集空间主要是粒间孔, 少量粒内孔, 铸模孔和小晶洞, 局部存在裂缝, 开度几十微米, 储层物性以低孔低渗为主; B 段主要发育砂岩, 其次为白云岩和灰岩, 砂岩的孔隙类型主要为粒间孔, 储层物性以中低孔中低渗为主。A 段的沉积相为局限台地, 台内滩和云质泻湖发育; B 段沉积相整体表现为碳酸盐岩潮坪与三角洲交替出现。X 油田已投入开发 40 余年, 总井数 71 口, 开井数 58 口, 曾受两伊战争的影响停产 18 年, 目前仍处于开发方案的上产期, 已经进入中含水开

发阶段，综合含水 23%，但是部分井的含水已经达到 50%以上。油田的开发矛盾已经造成了一定数量的井变成低产低效井，若能充分的利用这些井的潜力，将会推动油田的产量踏上一个新台阶。

2. 低产低效井原因分析

复杂碳酸盐岩油藏低产低效井形成的原因非常多，也非常复杂，各类影响因素交织在一起，容易造成原因分析不清导致的治理措施失败，因此就需要对原因进行系统梳理，研究发现，复杂碳酸盐岩油藏的低产低效井除受到地质油藏因素的影响外，还受到开发历史长导致的井筒流动性保障问题的影响以及上产期各类新技术试错的影响。总体来说，复杂碳酸盐岩油藏低产低效井形成原因的系统总结为三大类：地质因素、开发因素和工程因素，进一步细分为次一级的七类影响因素，为治理对策的研究和制定奠定基础。

2.1. 地质因素

1) 边部区域储层薄

目标油藏属于边底水油藏，在油水过渡带附近的井含油储层厚度薄，同时由于距离油水界面近而导致开发过程中含水上升较快，造成了低产或停喷。例如，X-34 井(图 1)与其它井相比，含油储层厚度比周围其它井少 34%~60%，导致产量与周边井相比低约 50%。

2) 平面及纵向强非均质性

碳酸盐岩油藏受沉积和成岩作用影响，具有比砂岩更强的非均质性，再加上受到微裂缝和纵向岩性差异的影响，造成平面非均质性及纵向非均质性均更强(见图 2)。而物性较差的区域造成油层动用程度差，易形成低产低效井。

2.2. 开发因素

1) 含水上升，递减加快

X 油田由于底部储层 B 段砂岩发育(图 2)且物性较好，在该层位已经出现了不同程度的水淹，另外，油田范围内普遍发育微裂缝，但微裂缝密度也存在一定的非均质性，部分区域的微裂缝较(图 3 和图 4)发育引起部分井沟通底水导致含水上升过快。根据油田含水上升的特点，将 X 油田的含水类型划分为底水锥进型和边水突破型(见图 5)，其中底水锥进型的井含水上升速度更快，平均年含水上升率超过 20%，远超边水突破型的 10%，见水后产量急剧下降，造成了井的低产低效。

2) 油井出砂

X 油田的 B1 油组和 B3 油组均发育砂岩，这些油组均属于中高孔、中高渗的疏松砂岩储层。而早期

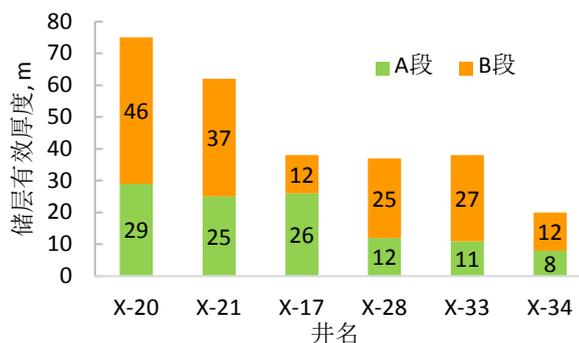
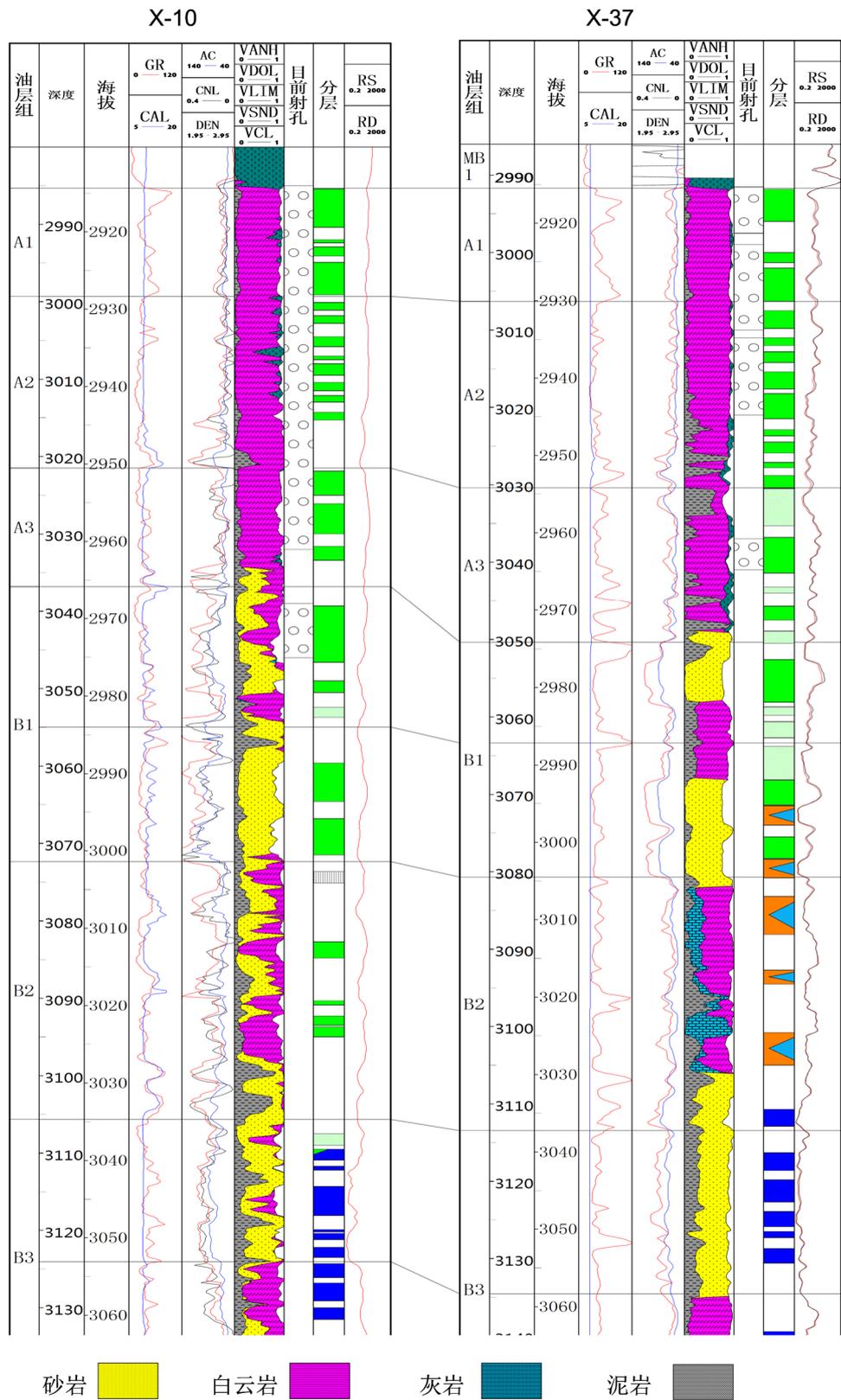


Figure 1. Comparison of net pay between X-34 and vicinity wells in member A and member B

图 1. X-34 井与周边其它井的 A 段和 B 段储层有效厚度对比



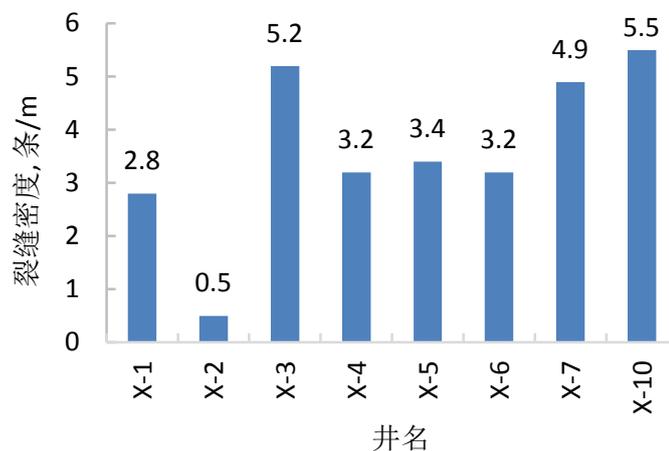


Figure 3. Vertical fracture density from core description of X oilfield
图 3. X 油田岩心描述的纵向裂缝密度

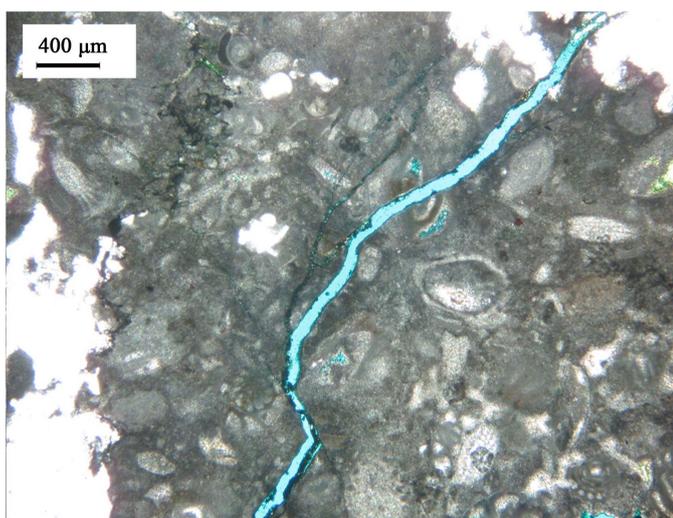


Figure 4. Fractures from thin sections of X oilfield
图 4. X 油田岩心薄片分析的裂缝

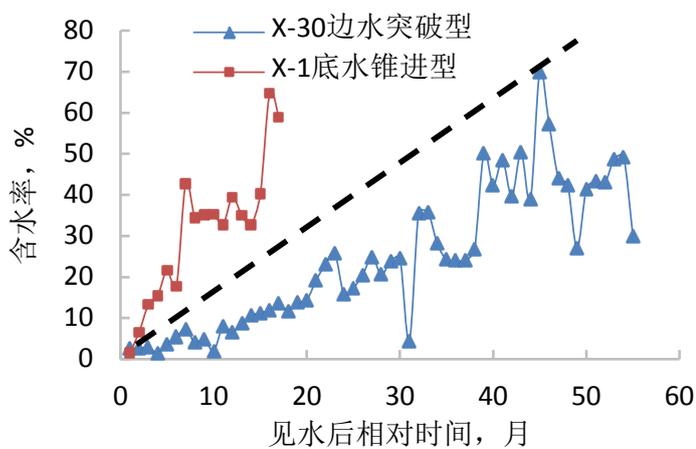


Figure 5. Sketch map of water cut variation types including edge water breakthrough type and bottom water coning type
图 5. 边水突破型和底水锥进型含水变化示意图

投产的开发砂岩储层的油井并没有做相应的防砂措施，导致目前部分井受到出砂的影响，出现了砂埋油层或井筒砂堵的现象，造成了部分油井的停产以及部分油井产量的急剧下降。从图 6 中可以看出，X-37 井出砂后造成产量急剧下降，月递减率达到 20% 以上，远远超出油田正常因含水引起的 2% 的月递减率水平，造成了该井的低产低效。

3) 超长间隔的合采

位于 X 油田正下方埋深 4000 m 的位置处还存在另外一个 Y 油田，这两个油田垂向距离相差 1000 m，在前期考虑充分利用井资源实行合采，初期开发矛盾并没有明显暴露，但是很快就出现了产量急剧下降。如 X-9 井(图 7)，在含水基本不变的情况下产量快速下降，主要是由于两个油田的能量状况不匹配造成大的层间干扰甚至出现了倒灌的现象，导致了井的低产低效。

2.3. 工程因素

1) 储层受到作业过程的污染

在作业过程中井筒会长时间浸泡在各类入井液中，容易导致近井地带的地层受到污染。目前已确定 X 油田近井储层受到污染的井有 3 口，这一因素导致近井带出现正表皮，3 口井平均表皮因子达到 5 以上，对产量的影响与表皮为 0 时相比至少平均单井损失产量 140 方每天。

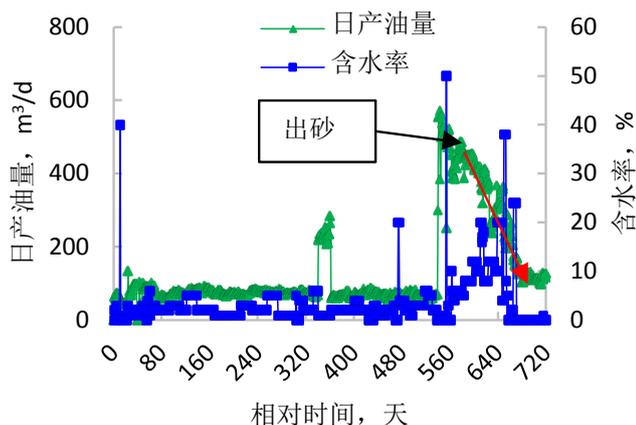


Figure 6. Oil production profile and water cut change of X-37 in X oilfield
图 6. X 油田 X-37 井产量含水生产剖面

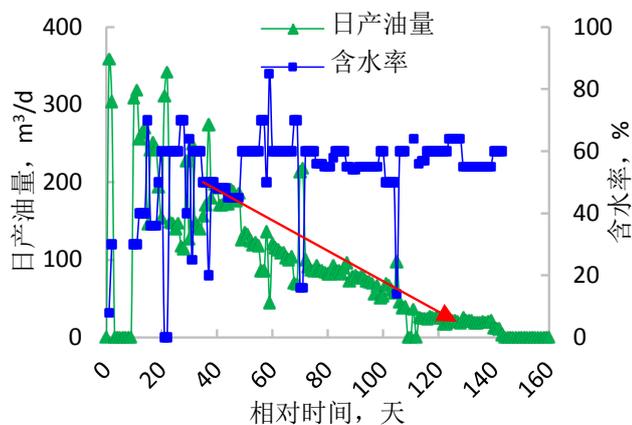


Figure 7. Oil production profile and water cut change of X-9 in X oilfield
图 7. X 油田 X-9 井产量含水生产剖面

2) 井筒问题

井筒的流动性保障是油田开发不可或缺的重要因素,但是由于 X 油田开发历史久,出现了各类井筒问题,主要包括:油嘴堵塞破坏、套损、落鱼、固井质量差。另外还有些属于新技术试错产生的问题如电潜泵安装故障等。一旦产生这些问题将对井的正常生产造成巨大的影响,导致生产中出现低产低效井甚至关停井。

综上,可以看出产生低产低效井的原因非常多,而且各类影响因素经常交织在一起,在实际分析时需要结合多专业的认识,必要时还需要各种测试,才能将造成低产低效井的真正原因梳理出来,为下一步制定对策打牢基础。

3. 低产低效井治理措施

由于很多井低产低效的原因是几类因素的综合反映,因此需要剖析出影响低产低效井的主要原因,排除掉干扰原因。因此对应到单井的治理时就提出了“一井一策”的治理模式,根据主要原因对低产低效井分类治理,加强地层、开采一体化治理,分析每口井的产能潜力,制定合理方案,提高低产低效井开发效果。

3.1. 酸化解除储层污染

酸化[6]是油气井增产的一项有效措施。其原理是通过酸液对岩石胶结物或地层孔隙、裂缝内堵塞物等的溶解和溶蚀作用,恢复或提高地层孔隙和裂缝的渗透性。尤其对于碳酸盐岩,其矿物成分是方解石 CaCO_3 和白云石 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$,通常可以依靠酸液的溶蚀作用恢复或提高井筒附近较大范围油层的渗透性。在酸化用量方面,建立了基于蚓孔延伸模型的酸化用量优化方法,确定排量和用酸强度。在酸化选井策略方面,优先选择递减率异常大,且与周边井相比产量异常低的井。与常见报道的模糊评判、神经网络等酸化选井方法相比,本文提出的酸化选井方法简便易行,可以快速的完成酸化选井,节省人工成本。

3.2. 解决各类井筒的问题

各类井筒的问题均会导致低产甚至停喷,对固井质量差的井要重新固井解决管外水窜的问题,对于出砂井制定了短期冲砂及长期下防砂关注的策略,对于油嘴堵塞的井要清洗油嘴,对于落鱼的井要进行打捞作业,对于套管损坏的井要对损坏处进行修复。当然,有些井存在上述提到的不止一个问题,需要根据实际情况评估判断,设计具体的解决方案,为低产低效井提产或长停井复产打下坚实基础。

3.3. 技术改层

对于多层合采的高含水低产井或者仅开采 A 段(物性差)的低产井,需要对 B 段的高含水层进行封堵或者补射有潜力的 B 段储层来提高低产低效井的产量。应用杨仁锋[12]推导含水率公式(1),同时基于产液和产油指数变化规律,制定了 Asmari 组油井的卡堵水或补孔技术界限,对于单层含水大于 80%的情况,封堵此含水层。而对于含水仍低于 80%的单层,配合下泵仍然可以将 B 段补射开。

$$f_w = \frac{1}{1 + \frac{\mu_w}{\mu_o} \frac{e^{-b(1-S_{or})}}{aB_o} e^{b(1-S_{wc}-S_{or})} \left[1 + \frac{n-1}{m(1-S_{wc}-S_{or})} \frac{2\pi Kh}{V_p \mu_o} \frac{\Delta p}{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) + s} t \right]^{\frac{1}{1-n}}} \quad (1)$$

式中: K 为储层渗透率; S_{wc} 为束缚水饱和度; S_{or} 为残余油饱和度; m 为油相指数; n 为水相指数; h 为储层有效厚度; B_o 为油相体积系数; μ_o 为原油粘度; μ_w 为水粘度; Δp 为生产压差; r_e 为泄油半径; r_w

为井筒半径； s 为表皮系数； V_p 为井控范围孔隙体积； t 为生产时间。

上述公式中的参数具有明确的物理意义，由此建立的可量化卡堵水及补孔界限非常可靠，而且在其它类似油田也可根据油田自身的参数确定该界限值，与一些文献中[5]提出的定性卡堵水相比，可实施性更强。

通过分析上述公式，还可以得出相应的控水措施，包括减小生产压差 Δp 、增加动用储量 $V_p(1-S_{wc}-S_{or})$ ，注表面活性剂减小 S_{or} ，增大油水粘度比 μ_w/μ_o 等，进一步提高低产低效井的产量。

3.4. 放大油嘴或下泵提液

Asmari 组的部分低产低效井是含水上升引起的，部分长停井也是含水过高导致的。主要原因是自喷井仅能依靠井底流压的能量举升，而含水上升时，只能降低生产压差来获得更高的井底流压以满足自喷的要求。所以通过人工举升的方式下泵可以有效的补充地层能量，从而可以使因为含水高而停喷的井恢复生产，也可以通过放大生产压差提高低产井的产量。而对于含水低且井口压力的井可以直接通过放大油嘴来提产，从而节省下泵资源，而对于放大油嘴来说最为担心的是含水上升导致停喷，因此基于节点分析方法，预测出不同含水率下的停喷压力(图 8)，再结合油嘴产状公式(2) [13]和实际的井口压力和生产压差进而确定油嘴可调大两档的井和可调大一档的井。

放大油嘴是在泵资源受限而油田上产任务重时的关键举措，要保证提高产量而又不喷，本文提出的油嘴放大档次的方法对于类似油田具有借鉴意义。

$$q = q_o + q_w = \frac{Z_2}{R^{0.5}} D^2 P_t (1 - f_w)^{-0.5} \quad (2)$$

3.5. 开发层系优化

对于合采 X 油田(Asmari 组)和 Y 油田(Mishrif 组)的井，需要对开发层系重新进行优化，这是因为二者埋深相差近 1000 m，天然能量差距很大，Asmari 组天然水体倍数 60 倍，而 Mishrif 组仅 3.5 倍，物性差异也大，Asmari 组渗透率 540 mD，而 Mishrif 组仅 10 mD，从而产生较大的层间干扰，甚至产生倒灌现象。同时，由于 Y 油田的流体沥青质在某一压力条件下容易析出，也进一步干扰到 X 油田的生产。目前的合采井 X-9 井从初期产量的 318 方/天在 4 个月的时间内快速降到目前的不足 48 方/天。因此对于此类合采井下一步的建议是根据油田储层情况单独开采 X 油田或 Y 油田。

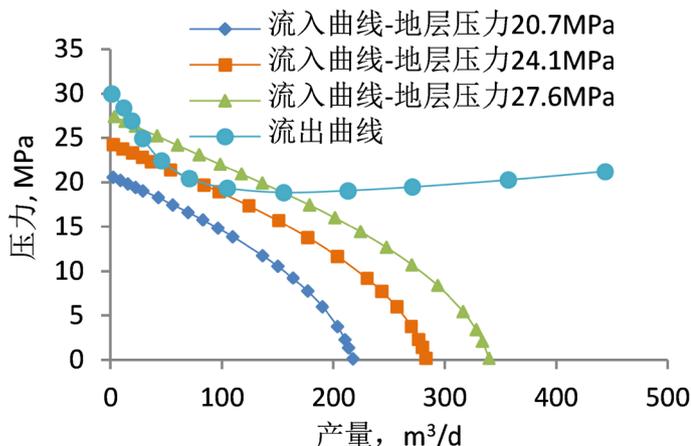


Figure 8. Sketch map of stop flowing pressure prediction by nodal analysis
图 8. 节点分析法预测停喷压力示意图

4. 低产低效井治理效果分析

针对伊拉克 X 油田, 埋深为 2900 m~3200 m, Asmari 组的储层层组划分为 A 段和 B 段, 其中 A 段沉积相发育局限台地, 岩性以白云岩为主, 储集空间以粒间(溶)孔及晶间(溶)孔为主, 微裂缝较发育, 储层为裂缝-孔隙型; B 段沉积相发育半局限台地, 其中 G 油田岩性以灰岩为主, 局部见白云岩、砂岩, F 油田岩性以砂岩和白云岩为主, 局部见灰岩, B 段的储集空间为粒间孔, 储层为孔隙型, 发育少量的微裂缝。A 段为中低孔、特低渗-中渗储层, B 段的储层物性明显好于 A 段, 为中高孔、中高渗储层。Asmari 组的两个油田均为边底水油藏, 属于正常的温压系统。

将上述研究成果应用到伊拉克 X 油田, 从 2015 年以来, 已经成功应用酸化、冲洗油嘴、冲砂、下泵、卡堵水、重射孔、补孔及修理井筒等措施成功的治理了 X 油田的 16 口低产低效井, 节省 3 个泵资源, 平均单井日增油 159 方/天, 截至 2016 年底措施治理的累增油 52.5 万方, 治理效果良好。

5. 结论

1) 复杂碳酸盐岩油藏低产低效井产生的主要原因可以总结为三大类影响因素: 地质因素、开发因素和工程因素, 并在此基础上细分为七类次级因素, 包括储层薄、强非均质、含水上升快、出砂、合采、作业污染和井筒问题等。

2) 针对复杂碳酸盐岩油藏低产低效井, 本文提出了“一井一策”的治理模式, 具体包括五大类治理措施, 包括酸化、解决各类井筒问题、技术改层、下泵+放油嘴及开发层系优化等

3) 基于复杂碳酸盐岩油藏纵向非均质性及含水上升规律的分析, 本文提出了有效的改层技术界限——含水率 80%。

4) 通过针对性治理, X 油田 Asmari 组的平均单井产量提高了 159 方/天, 2 年累计增油 52.5 万方。为后续类似复杂碳酸盐岩油田的低产低效井治理提供借鉴。

基金项目

中国海洋石油总公司创新基金。

参考文献

- [1] 董旭, 韩亮, 张宝权, 等. L 区块低产低效井治理对策研究[J]. 非常规油气, 2016, 3(4): 79-84.
- [2] 何奉朋, 李书静, 张洪军, 等. 安塞油田低产低效井综合治理技术研究[J]. 石油地质与工程, 2009, 23(6): 62-68.
- [3] 李世辉. 安塞油田化子坪区长 2 油藏低产低效井治理对策[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安石油大学, 2013.
- [4] 段杏宽. 高尚堡油田低产低效井的判定及综合治理[D]: [硕士学位论文]. 唐山: 河北联合大学, 2014.
- [5] 黄思. 浅析低产低效井成因及治理方法[J]. 中国石油和化工, 2016(S1): 153.
- [6] 于洪文, 李波. 绥中 36-1 油田 J 区低产原因分析及增产措施效果[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(3): 182-186.
- [7] 王永强, 洪鸿, 郝玉鸿, 等. 榆林气田低产低效井开发分析评价[J]. 石油化工应用, 2007(2): 59-63.
- [8] 徐树成, 张太斌, 卞士举, 等. 低产低效探井复查与增产工艺[J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(2): 48-49.
- [9] 冯强汉, 李建奇, 魏美吉, 等. 苏里格气田低产低效井差异化管理对策[J]. 天然气工业, 2016, 36(11): 28-36.
- [10] 周志军, 于韶华, 黄泽明, 等. 应用模糊综合评判方法优选卫星油田潜力低产低效井[J]. 数学的实践与认识, 2013, 43(8): 110-115.
- [11] 刘文龙, 郑礼鹏, 杨梦涛, 等. 胡尖山油田胡 154 区低产低效井综合治理技术探讨[J]. 石油化工应用, 2017, 36(7): 44-47, 51.
- [12] 杨仁锋, 杨莉. 水驱油田新型含水率预测模型研究[J]. 水动力学研究与进展, 2012, 27(6): 713-718.
- [13] 童宪章. 油井产状和油藏产状分析[M]. 北京: 石油工业出版社出版, 1984: 16-30.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2330-1724，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojns@hanspub.org