



Analysis on Causes of Water Production from Horizontal Wells in the Early Stage of Development in Offshore X Block

Du Weigang¹, Liu Xiaoqiang¹, Zhang Mi², Qian Xurui¹, Guan Liyong¹

¹Tianjin Branch, CNPC Offshore Engineering Company Ltd. Tianjin Branch, Tianjin, China

²Engineering & Design Institute, CNPC Offshore Engineering Company Ltd. Beijing, China

Email address:

duwg.cpoe@cnpc.com.cn (Du Weigang), liuxqcpoe@cnpc.com.cn (Liu Xiaoqiang), zhangmicpoe@cnpc.com.cn (Zhang Mi),

qianxr.cpoe@cnpc.com.cn (Qian Xurui), guanlycpoe@cnpc.com.cn (Guan Liyong)

To cite this article:

Du Weigang, Liu Xiaoqiang, Zhang Mi, Qian Xurui, Guan Liyong. Analysis on Causes of Water Production from Horizontal Wells in the Early Stage of Development in Offshore X Block. *Science Discovery*. Vol. 10, No. 3, 2022, pp. 132-137. doi: 10.11648/j.sd.20221003.18

Received: May 9, 2022; Accepted: May 31, 2022; Published: June 1, 2022

Abstract: The offshore x block is a new exploration and development block, which is belongs to Shahejie Formation. In order to improve the development efficiency, batch drilling is applied. The horizontal well gravel packing + electric pump lifting completion process is adopted for unified completion. After the new wells are put into operation in batches, the problem of rapid rise of water ratio in varying degrees occurs in a short time. The production time, oil production and water cut of 8 oil wells in block X are counted. Draw the rising curve of water ratio. The dimensionless cumulative oil production is used to normalize the production data. Combined with geological data and production data, the internal and external factors affecting the rise of water ration of horizontal wells in block X are analyzed. It is considered that reservoir heterogeneity, edge and bottom water, toe following effect of horizontal well, length of horizontal well, water avoidance height, production system are the main reasons affecting the rise of water ratio of horizontal well in the initial stage of block x. At the same time, the situation of block x is summarized and suggestions are made in order to provide reference for the development scheme of similar blocks.

Keywords: X Block, Water Ratio, Outflow Analysis, Dimensionless Oil Recovery

海上X区块水平井开发初期出水原因分析

杜卫刚¹, 刘孝强¹, 张谧², 钱旭瑞¹, 关利永¹

¹中国石油集团海洋工程有限公司天津分公司, 天津, 中国

²中国石油集团海洋工程有限公司海洋工程设计院, 北京, 中国

邮箱

duwg.cpoe@cnpc.com.cn (杜卫刚), liuxq.cpoe@cnpc.com.cn (刘孝强), zhangmi.cpoe@cnpc.com.cn (张谧),

qianxr.cpoe@cnpc.com.cn (钱旭瑞), guanly.cpoe@cnpc.com.cn (关利永)

摘要: 海上X区块属于沙河街组新勘探开发区块, 为提高开发效率应用批钻钻进提高钻井速率, 然后采用水平井砾石充填+电泵举升完井工艺统一完井开发。新井分批投产后, 短期内不同程度的出现了含水率上升较快的问题。统计了X区块前期投产的8口油井的生产时间、产油量与含水率变化生产数据, 绘制含水率上升曲线。采用无因次的累计产油量对生产数据进行归一化处理, 结合地质资料和生产数据对影响X区块水平井含水率上升的内在因素和外在因素进行分析, 认为储层非均质性、边底水、水平井跟趾效应、水平井长度、避水高度、生产制度等因素是目前影响X区块开采初期水平井含水率上升的主要原因。同时对X区块初期的开发进行了总结和建议, 以期类似区块的开发方案提供借鉴。

关键词: X区块, 含水率, 出水分析, 无因次采油量

1. 引言

水平井技术实现油藏的长距离穿越,有效的增加了油井的泄油面积,同时由于生产压差小,可以大幅度的提高单井产量进而提高油田整体开采效益,因此海上新区块X区块油井的开发均采用水平井技术,完井后短期试采了8口井,通过对试采数据进行分析,发现水平井生产在提高单井产量的同时,含水率上升较快。特别是对于边底水油藏水平井的油井,更容易出现含水率上升过快的情况[1-3]生产一旦见水后含水率会急剧上升。

水平井出水会导致产油量急剧下降,严重减缓了采油速度,还有可能形成“水淹”导致油层内的死油,降低采收率。因此要实现X区块水平井的长期生产,必须进行先期的防治和后期控制,防止因油井出水而导致油井的被迫停产或修井作业,影响油井采收率,增加后期作业成本。

2. X区块出水情况简介

X区块储层主要含油层系沙河街一段,储层孔隙度23.5~33.5%,平均28.3%,渗透率399.2~1169mD,平均637.8mD,为高孔-高渗储集层。储层粘土矿物以高岭石为主,含量为45%;其次为伊蒙混层,含量为30%。该区块新开发,钻完井后逐渐进行投产,对其中的8口井进行了试采,试采天数及含水率如下表1所示:

表1 X区块部分井试采数据。

井号	试采天数	初期含水率	试采结束含水率%
X1井	287	0%	41.63%
X2井	34	77%	88.94%
X3井	7	43%	60.54%
X4井	73	2%	84.27%
X5井	32	2%	14.57%
X6井	34	3.5%	27.63%
X7井	79	19%	52.00%
X8井	12	29%	23.2%

在砂岩油藏的开发过程中,油井的生产一般要经历无水期、低含水期、中高含水期、最终水淹造成的油井停产的过程[4]。从表1中可以看出试采过程中,8口试采井出现了不同程度的含水率上升问题,大部分井的含水率上升都出现较快的问题。

通过绘制水平井含水率与生产时间曲线,如图1所示可以看出,只有X1井的含水率符合正常砂岩采油规律。通过对X区块水平井见水特征进行分析,其中主要有4中类型,含水缓慢上升型、高含水型、含水快速上升型、含水衰竭型。其中X6、X5井都为含水缓慢上升型,主要表现为初期低含水,随着生产的进行,含水率逐渐上升,而且上升速度越来越快。高含水型以X2井和X3H井为代表,生产初期即为高含水,无低含水的生产阶段,随着生产的进行含水率继续缓慢上升。

含水快速上升型: X4含水快速上升型,主要表现为初期低含水,低含水周期较短,随着生产的进行,含水率上升速度越来越快,很快就达到80%以上。含水衰竭型只有X8井开井初期,含水率较高,随着生产的进行含水率进行波动的变化,并且随着生产的进行含水率逐渐降低。

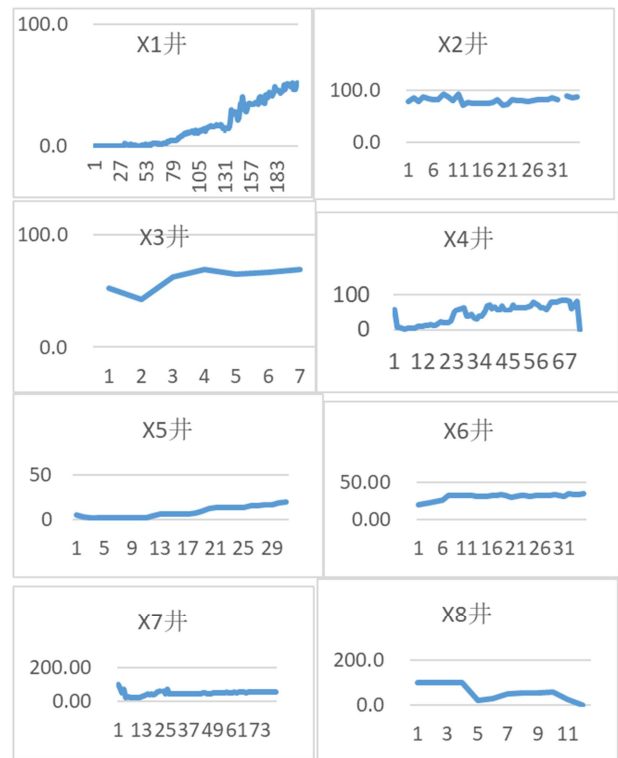


图1 X区块水平井生产时间与含水率变化曲线。

3. X区块裸眼水平井含水率快速上升影响因素分析

水平井在开发过程中会受到多种因素的影响,而且各因素之间不仅有交叉而且会产生叠加效果,很难从任何一个单一的因素来研究影响水平井出水的原因。目前的研究表明,影响水平井出水因素主要包括三大因素:油藏地质因素、油井开发因素、生产开采因素[5-8],对于含水率影响因素的分析主要是根据含水率随时间变化的曲线形态判断出水类型和出水的分析,该方法可以直接的反应出单井的出水情况[9,10],所以X区块裸眼水平井出水机理的分析主要以此作为依据。由于各井投产时间、试采长短、油嘴大小的不同分析较困难,因此引入无因次累计产油量。对于无因次的累计产油量进行归一化处理,消除采油周期不同造成数据的影响。以无因次采油量的作为横坐标,以含水率为纵坐标绘制X区块含水率曲线,如图2所示,根据曲线形态及可能会影响到X区块水平井含水率的因为相结合,分析X区块含水率上升的主要影响因素。

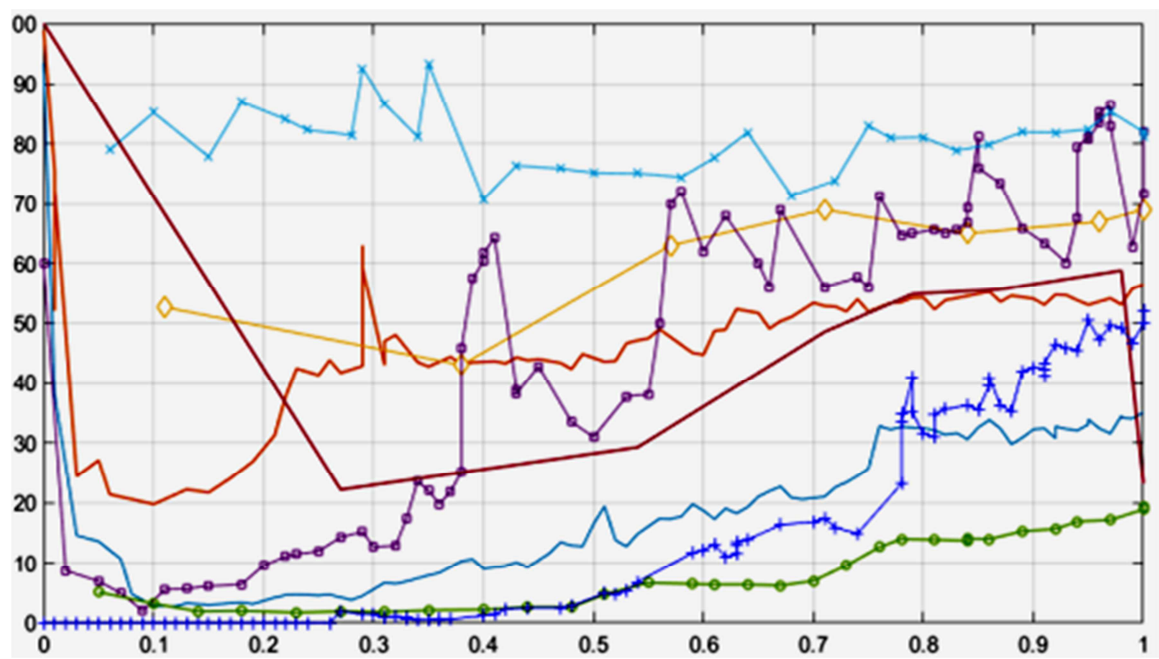


图2 无因次累计产油量含水率上升曲线。

3.1. 储层因素影

3.1.1. 非均质性影响

油井的油水分分布整体上受构造控制的影响，局部岩性因素也起到一定的作用，水平井油井的出水一个很重要的因素就是油藏的均质性。任何一个油藏的均质性都是相对的，平常所说的均质性较好，只是说明水平段的油藏相对均质并不是绝对的相同。通过对X区块钻井过程中13口井

的水平井段的分析发现，水平井段都存在非均质性，而且非均质性严重。主要表现为砂体结构的变化，大段、小段泥岩的存在，泥岩和砂岩的交替出现，由于液体流动会导致粘土膨胀，对附近渗透率造成影响，进而导致水平段渗透率变化范围大。砂体变化、渗透率变化较大的井段，产液剖面不均衡，渗透率大的水平段流动阻力小，底水容易突破进入到井筒中，而渗透率小的，由于流通阻力大，底水突破较慢[11-13]，最终导致产液面不均衡如图3所示。

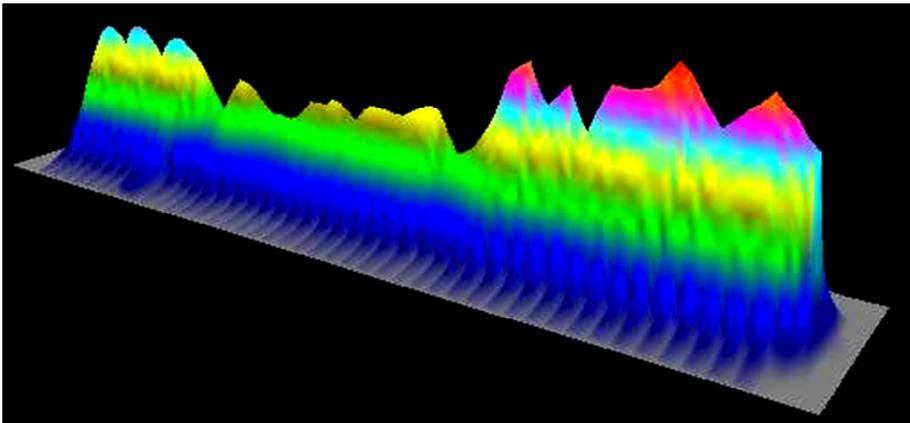


图3 非均质性导致的底水突进的模拟图。

对于非边底水油藏的非均质性储层，会表现出如X1，在前期有一段时间采用均处于无水采油期，含水率会随着采油量的增加而逐渐增加，由于非均质性的存在，含水率会一直上升，但在后期会有一个平稳产油期过程。对这一类油井可以进行先期的控水措施来延长无水采油期。

3.1.2. 边底水存在影响

通过对X区块已钻13口井的底水分析发现，其中9口井不同程度的存在底水，油层顶距馆陶水层大约20-30米，

油层底距下面水层顶5-10米，中间是薄油层和泥岩夹层，因此基本可以认为X区块区块部分井属于边底水油藏。底水的存在会导致大部分井在底水突破后含水会上升过快。一般前期没有无水采油期且后期含水上升很快。其中X5、X6、X7都属于典型的边底水油藏曲线，含水率上升趋势随着生产的进行，持续增加。对这一类油井可以进行先期的控水措施来控制底水锥进的速度[14-16]，延长低含水采油期。

3.2. 水平井跟趾效应的影响

水平井技术可以提高油藏的接触面积，提高产油量，但同时也存在明显的缺点，这就是水平井的跟趾效应。跟趾效应是指水平井由于井段的长度，致使水平段内不同位置的流体在流向采油井筒时产生不同的磨阻，趾部由于远离井筒，流动过程中除了要克服从储层流向井筒的径向流阻力，还要克服从水平井底部流向根部时由于流体撞击井

壁产生的回压力等综合阻力，因此从水平井根部开始到趾部井筒内的压力越来越高，如图4所示根部和趾部形成不同的压力，导致根部流动性好于趾部，根部更容易被底水突破，造成水平段两端采油率较高，中间采油率较低，造成水平段的隔段贡献非常的不平衡。跟趾效应是由于由于油藏的渗流条件决定及水平井的流动桩体决定的，只能在前期的完井设计时，进行油藏的精细刻画，采用水平井产液剖面平衡的方法减小跟趾效应的影响。

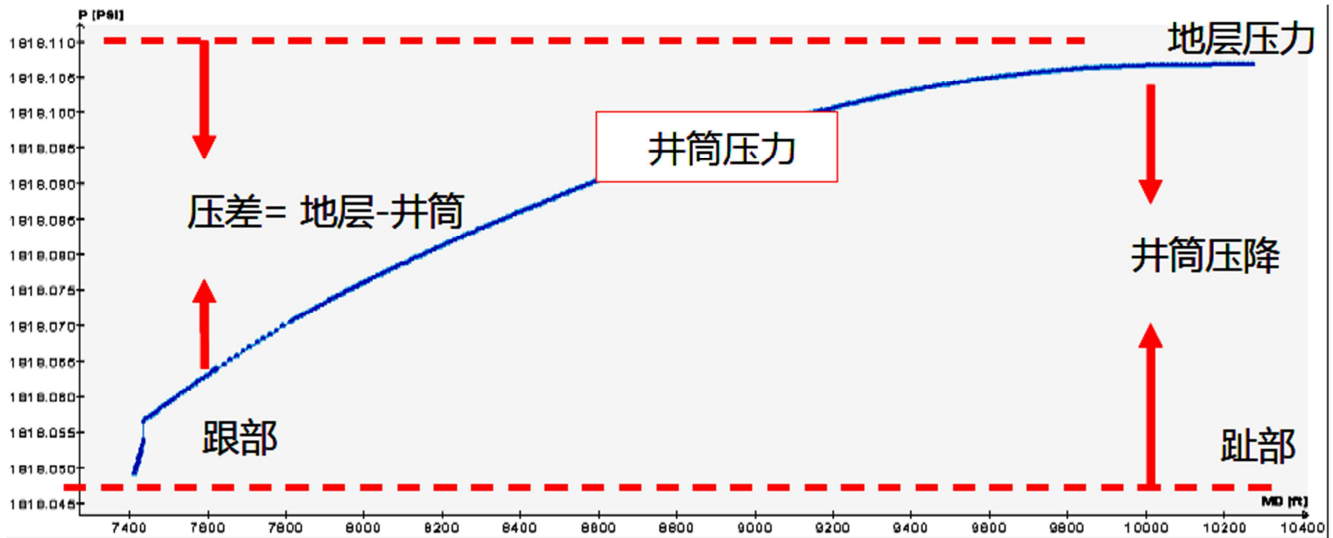


图4 跟趾效应造成的井筒压力差异示意图。

3.3. 水平段长度的影响

一般认为随着水平段长度的增加，无水采油期增长，主要原因是水平井段越长，产油速率越快，产量量的增加会减小早期含水的影响，所以低含水采油期增加。但通过对存在底水油藏试采的8口井的分析可以看出，随着水平段长度的增加，水平井生产含水率上升的速度逐渐的增加，但并非呈现线性变化。这主要是由于水平井长度不同对底水油藏的见水时间有一定的影响，随着水平井段长度的增加，储层非均质性的会增加，极大的增加了穿越非均质性储层的可能性，因此可以说在同样油藏环境的条件下，肯定存在一个最优的水平段长度，既能满足提高产量的要求，也能增加无水采油期的时间。

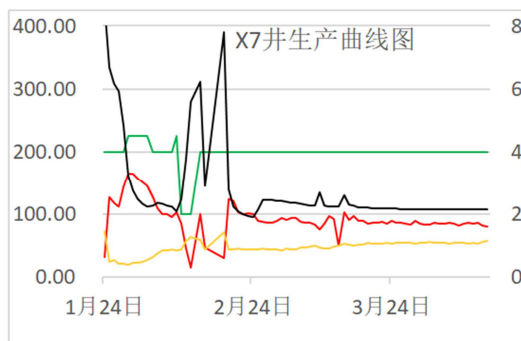


图5 X7生产曲线图。

根据X7生产情况显示如图5所示，生产井油嘴稳定后，流压下降趋势变缓，证实水平井段内部动用逐渐增加，说明水平段内部动用存在差异。并不是水平段越长，开发效果越好。根据大港油田同类油藏不同水平段长度井采油强度统计，水平段长度在200-300m时，采油强度最好。X区块前期开发井基本都在500米以上，后期投产的井基本都在300米左右。

3.4. 工程因素的影响

水平井出水除了油藏本身的因素、跟趾效应、水平段长度的影响外，还有一些出水是由于工程因素的影响。钻井打开油气藏的过程中和完井过程中，由于入井液体与油藏反应导致近井地带粘土的运行、孔隙的堵塞、液体流失等造成储层污染而导致的储层渗透率的变化进而进一步会加剧非均质性的产生。

油层专打技术、水平井长度的增加必然导致水平井经验轨迹的复杂，特别是X区块基本都属于薄油层，为了保证油层的钻遇率，采用油层专打工具，造成井眼轨迹复杂，特别是造成避水高度的不均匀，如图6所示，导致有些位置避水高度太低，导致开井初期就出现较高的含水情况，这类井由于边底水能量的补充基本产液量都挺高，经过对曲线分析及施工情况总结其中已经试采的X2、X3井就属于这种情况，X9、X10在前期钻遇水层后都进行封隔措施。因此对于钻井过程中出现的钻遇边底水的水平井建议初期就井下找水堵水措施，防止油井的过快水淹。

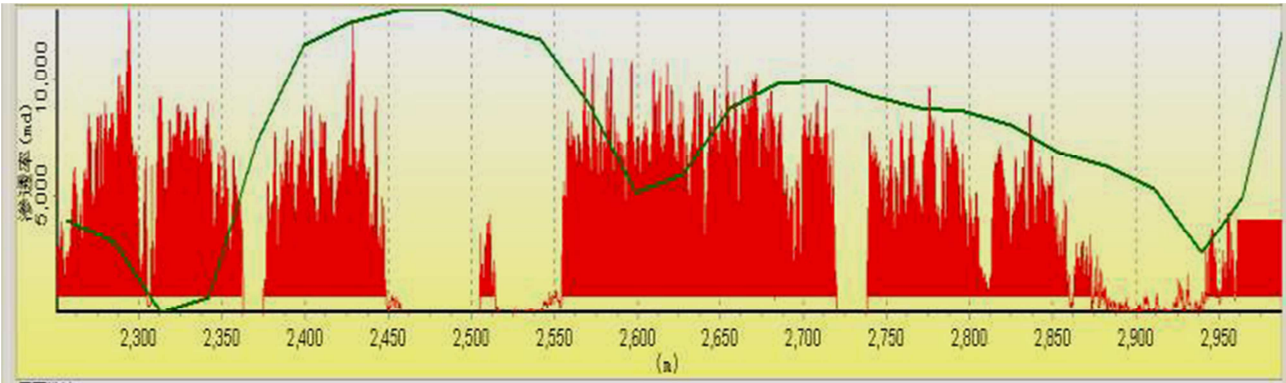


图6 水平井不规则井轨迹造成的避水高度不均。

油井的生产过程中由于压裂、酸化等储层改造措施产生的人工裂缝的延伸，由于人工裂缝的缝长、缝高的控制不当，造成沟通天然裂缝、底水区域造成的水窜情况的发生，目前X区块还没有进行过压裂酸化措施，目前不存在这种可能性。

工程因素中另外一个最重要的影响因素就是油井的开发方案和开采过程中生产制度，一般在制定油井开采制度时必须考虑到油水的密度差、油水流速比、油水的粘度比。X区块原油重质、低凝、高粘，地面原油密度大，水的密度差越小，其临界生产压差也会减小。油井开采工作制度制定时，油井产量不能大于临界产量值，否则就会造成采油速度过快导致的底水突进迅速。

- 2) X区块水平井布井应充分的考虑储层的因素（储层厚度、储层的非均质性、原油的粘度、边水界面的分布情况等）设置合理的水平段长度，控制因井段过长导致的非均质性的增加以及钻遇水层。
- 3) 在钻井过程中发现存在边底水情况的水平井，在进行下部完井时应进行先期的水平井堵水控水措施，减缓底水的锥进时间，延长采油周期。
- 4) X区块油井边底水丰富，采取合理的生产制度，降低产油速度，避免生产压差多大。建议保持油井临界产量下生产，控制底水的均匀推进。
- 5) X区块水平井油藏亲水性较强，控水方案制定时应充分的考虑后期注水及大排量提液的需求。

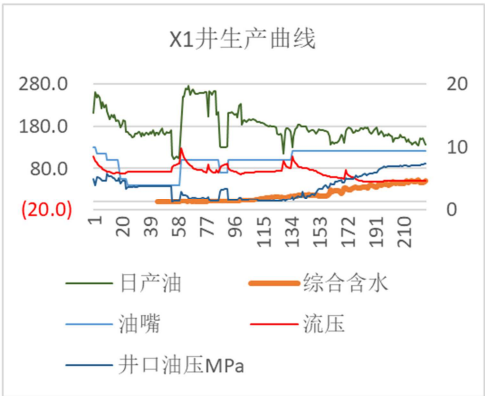


图7 X1井生产曲线图。

通过对X1井的井下流压、井口油压、油嘴、综合含水率、产油量进行曲线绘制，如图7所示。油嘴在不断的进行放大，通过提高电泵频率，井口油压在不断的上升，但产油量逐渐降低，井下流压也同时进行下降，证明日产液量过高，生产产量高于临界产量。导致地层压力恢复缓慢造成产油量不足，地层水过快的锥进，导致含水率在不断的上升。

4. 总结及建议

- 1) 通过对X区块试采8口井的生产时间和出水率的总结分析，发现X区块油井出水情况较为严重，因此必须采取合理的堵水、控水措施。

致谢

本文为中国石油集团海洋工程有限公司《滩浅海砂岩防砂控水联作技术研究与应用》的阶段性成果之一。

参考文献

[1] 王嘉淮,刘延强,杨振杰,等.水平井出水机理研究进展[J].特种油气藏,2010,17(001):6-11。

[2] 韩晓红,刘德华,HAN,等.底水凝析气藏水平井出水机理研究[J].长江大学学报(自科版),2014,(31):178-180。

[3] 刘怀珠,李良川,吴均,等.底水油藏水平井出水规律的实验研究[J].石油化工高等学校学报,2012(01):57-60。

[4] 钟伟,于腾飞,郑小杰.砂岩油藏油井间歇性出水机理探讨[J].石油地质与工程,2014(06):69-73。

[5] 李立峰,岳湘安,李良川,等.底水油藏水平井开发水脊规律研究[J].油气地质与采收率,2013,20(001):89-91。

[6] 毕永斌,张梅,马桂芝,等.复杂断块油藏水平井见水特征及影响因素研究[J].断块油气田,2011,018(001):79-82。

[7] 侯玮,郭杰.复杂断块油藏单井水窜动态诊断与综合识别[J].断块油气田,2011(06):772-775。

- [8] 唐韵.CB油田水平井出水特征及影响因素研究[J].复杂油气藏,2015,8(3):59-62。
- [9] 刘陈,闫长辉,岑涛.塔河1区三叠系油藏水平井出水特征分析[J].科技资讯,2012,000(031):78-79。
- [10] 龚宁,李进,陈娜,张启龙,徐涛.渤海油田水平井出水特征及控水效果评价方法[J].特种油气藏,2019,26(05):147-152。
- [11] 李进,龚宁,徐刚,等.渤海油田水平井出水规律特征及影响因素[J].断块油气田,2019,26(01):80-83。
- [12] 于蓬勃.底水稠油油藏水平井见水特征及影响因素[J].天然气与石油,2015,33(05):36-40+9。
- [13] 崔小江,李海涛,李三喜,等.水平井找水-控水一体化智能完井技术及其应用[J].中国海上油气,2021,33(05):158-164。
- [14] 邢洪宪,马英文,袁辉,等.疏松砂岩储层精细化分段控水技术研究与应用[J].石油机械,2022,50(03):72-77。
- [15] 赵旭,龙武,姚志良,等.水平井砾石充填调流控水筛管完井技术[J].石油钻探技术,2017,45(04):65-70。
- [16] 张春升,张庆华,魏裕森,等.疏松砂岩稠油油田防砂工艺模拟试验研究[J].石油机械,2019,47(10):43-48。