

渤海油田某水平生产井出水层位测试技术

付建民,马长亮,赵杰

中海石油(中国)有限公司天津分公司工程技术作业中心 天津 300452

通讯作者:Email:machl2@cnoc.com.cn

引用:付建民,马长亮,赵杰. 渤海油田某水平生产井出水层位测试技术[J]. 油气井测试,2021,30(3):39-44.

Cite: FU Jianmin, MA Changliang, ZHAO Jie. Testing technology for water producing formation of a horizontal production well in Bohai Oilfield [J]. Well Testing, 2021,30(3):39-44.

摘要 渤海油田某水平生产井,生产初期下入Y型生产管柱投产后,含水快速上升,产油量迅速下降,需要准确找到出水层位并采取相应措施堵水。对Y型生产管柱进行优化,将泵送仪器入井通道和生产通道分开,带孔管之下连接圆堵,减少管柱缩径。根据确定的施工方案,下入新的生产管柱,在不借助爬行器和连续油管的情况下利用氧活化测试确定了高含水产出井中的出水层位,且氧活化水流测井资料质量满足计算要求。优化后的施工管柱实现了海上电潜泵的生产,满足泵送仪器串进入水平段测试。该技术可为水平生产井调整措施提供依据,为水平井找水测试作业提供参考。

关键词 渤海油田;水平井;出水层位;氧活化测试;爬行器;连续油管;电潜泵

中图分类号:TE353 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.03.007

Testing technology for water producing formation of a horizontal production well in Bohai Oilfield

FU Jianmin, MA Changliang, ZHAO Jie

Engineering Technology Operation Center, Tianjin Branch of CNOOC (China) Limited, Tianjin 300452, China

Abstract: The water cut increased rapidly and the oil production decreased rapidly in a horizontal production well in Bohai Oilfield, after the Y-shaped production string was put into operation at the initial stage of production. Therefore, it is necessary to find the water producing layer accurately and take corresponding measures to block water. Optimize the Y-shaped production string, separate the well entry channel and production channel of the pumping instrument, connect the round plug under the perforated pipe, and reduce the diameter reduction of the string. According to the determined construction scheme, a new production string is run in. Without the help of crawler and coiled tubing, the water producing layer in the well with high water cut is determined by oxygen activation test, and the quality of oxygen activation flow logging data meets the calculation requirements. The optimized construction string realizes the production of offshore electric submersible pump and meets the requirement of pumping instrument string into horizontal section test. This technology can provide the basis for the adjustment measures of horizontal production wells and the reference for the water exploration and testing operation of horizontal wells.

Keywords: Bohai Oilfield; horizontal well; water production formation; oxygen activation test; crawler; coiled tubing; ESP

水平井见水后导致单井原油产量下降,甚至损失储量,严重影响水平井高效开发^[1-4]。如何对出水层段进行有效封隔,以及如何将地层堵剂置入出水层位是堵水的关键因素。目前主要有机械堵水和化学堵水两种方法^[5-8]。吕亿明等^[9-12]针对水平井见水后产能下降、开发效益变差,且常规产液剖面测试技术无法找到低产水平井出水位置的问题,研究了水平井分段机械控制方法找水工艺,准确地找到了出水位置,实现了控水增油的目的。但对于

海上油田采用裸眼完井的井,无法采用分段机械控制方法判断是裸眼段底水锥进还是固井质量不佳而导致上部层位的水层出水。为减缓水平井含水上升速度,提高海上油田开发效果,甄宝生^[13]采用井下智能开关装置,采取智能分段找水、堵水技术,达到控水增油效果。陈东东^[14]、赵俊堂^[15]、石远红^[16]和黄佳等^[17]为了监测注入剖面,了解地层吸入能力,采用脉冲中子氧活化测井技术。氧活化水流时间谱的形态以及其所对应的峰位时间,可以间

接反映井筒结构机械完整性,结合生产测井实例,提出了脉冲中子氧活化水流时间谱的属性分析方法,在生产测井解释中具有借鉴意义。

海上油田生产井多使用电潜泵作为人工举升手段^[18-20]。为保证后续电缆测试通道,使用 Y 管柱的形式布置电潜泵,后期进行电缆生产动态测试时,使用专用测试堵塞器代替生产堵塞器,以满足测试期间的正常生产需求。对于水平生产井,电潜泵以下旁通管下至水平段以上,水平段为生产套管或筛管。在此管柱类型的水平井中测试,主要使用连续油管携带^[21-22]和爬行器携带^[23-26]。连续油管携带测试成本昂贵,而爬行器携带对井筒条件要求较高,油管内部不清洁易造成测试失败。因此,研究了利用脉冲中子氧活化水流时间谱进行出水层位判断的方法。

1 研究背景

某井是位于渤海湾南部海域的一口水平生产井,初期下入 Y 型生产管柱(图 1)。在投产初期排液阶段日产原油 110 m³,不含水。投产一个月内,日产液迅速增加至 180~200 m³,含水上升至 90%。在随后三个月,产量及含水率均大幅波动。关闭井口采油树的生产翼阀进行憋压验证,生产管柱密封性完好(图 2)。

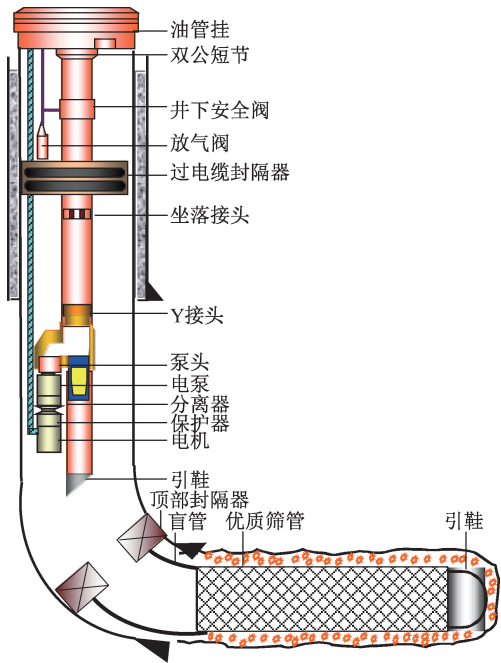


图 1 Y 型生产管柱结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of Y-type production string

本井完井方式为 215.9 mm 裸眼+139.7 mm 优

质筛管砾石充填防砂,水平段储层以上地层有 5 套含水层位,但都有夹层隔开。经过产出水氯根化验,其密度为 1,氯离子浓度 500 mg/L,矿化度 2 000 mg/L,判断水样为地层水。构造上该井处于构造高部位,距离油水界面较远。

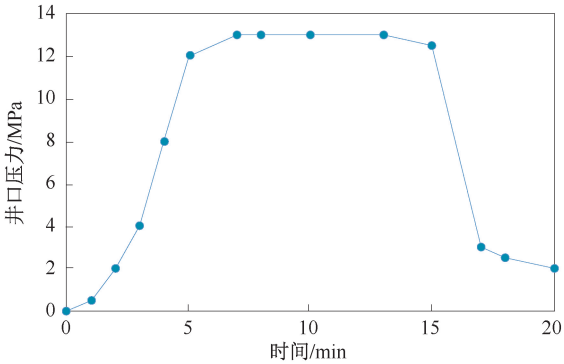


图 2 井口压力曲线

Fig. 2 Wellhead pressure curve

综合分析出水原因,可能来自两个方面:(1)通过测井电阻率资料分析钻遇储层为纯油层,具有开采价值,但由于钻井期间储层是静止状态,不排除水层快速突进可能;(2)本井储层上部钻遇 5 套水层,可能存在井筒完整性问题导致水窜,但由于 CBL 精度有限,不排除固井水泥存在沟槽的可能。

2 现场应用

根据出水原因分析,采用氧活化水流仪在油管中测量本井储层以上 5 套水层是否存在向下流动的水流,进而判断固井水泥存在沟槽以及本井出水的主要原因。

2.1 设备介绍

脉冲氧活化水流测井用于探测水流的速度和流量,测量时中子连续发射,使周围的水被活化,然后停歇,若水流动,则一段时间后,水依次到达各探测器,在各探测器的时间谱上出现一个峰,根据时间谱上峰的位置可知水流到达各探测器的时间,结合源距即可计算出水流速度(图 3)。

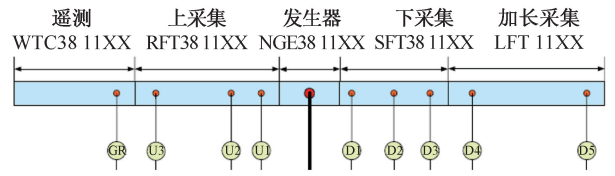


图 3 脉冲氧活化水流仪结构原理示意图

Fig. 3 Schematic diagram of structure and principle of pulse oxygen activated water flow meter

该设备具有可同时测量油管内和油套空间中

不同方向的水流速度、探测和识别水泥环中的窜槽位置,确定封隔器密封效果和流量缺失部位、无工业污染等特点。

2.2 施工情况

生产状态下,在初期生产管柱中,应用氧活化水流仪进行找水测试,水流时间谱如图 4 所示。测量范围为水平段以上 5 套水层的底直至工具自由下放的深度。测试资料表明,测量范围内均有向下水流谱峰,说明存在向下流动的水流。

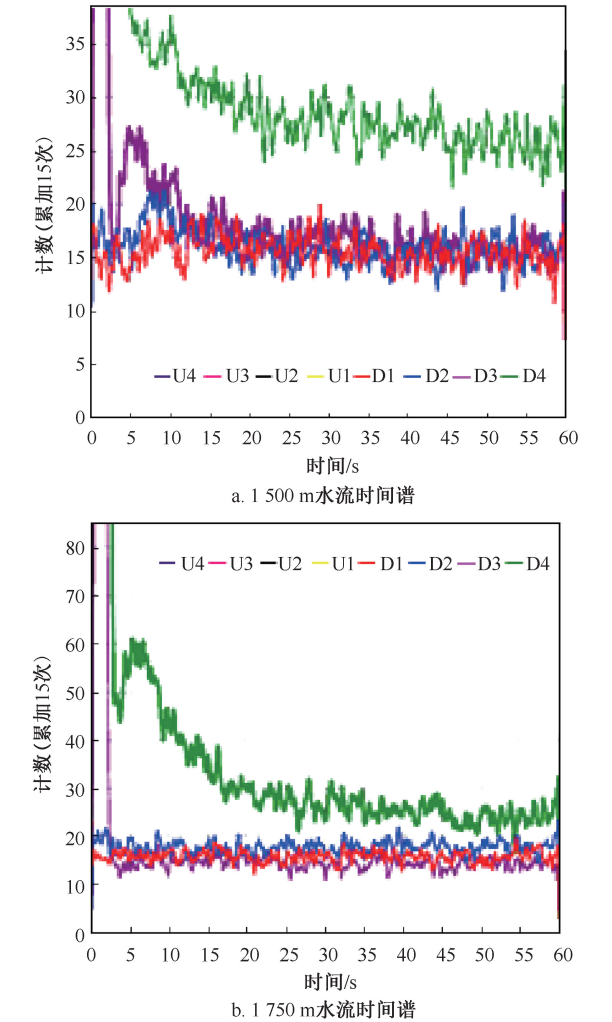


图 4 下水流测井组合图
Fig. 4 Logging combination plot of lower flow

经分析,原因可能有两个方面:(1)测试堵塞器密封不严,Y 接头以下存在微小的渗漏;(2)套管外水泥可能有沟槽,导致上部水层地层水窜入下部储层。为了排除第(2)方面原因,将原井生产管柱起出后,在套管中进行了扇区水泥胶结测井,结果表明,在水平段以上 5 套水层以下,有多段明显封固质量优的层段。利用 RTTS 封隔器对水平段以上套管进行压力测试,结果显示套管完好(图 5)。

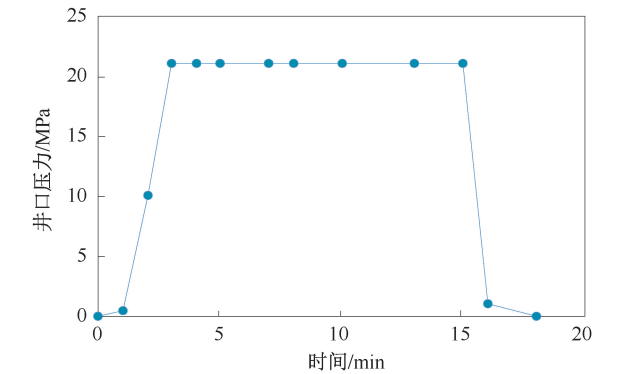


图 5 试压曲线
Fig. 5 Pressure test curve

为进一步落实本井产水来源,设计采用泵送方式将仪器送至水平段进行测试。在图 1 所示的 Y 型生产管柱中泵送仪器存在以下难点:(1)管柱通径上小下大,在水平段反而是大通径的套管或筛管。工具串无法满足既要通过上部生产管柱的小通径,又在水平段获得较大的推动力的要求。(2)在 Y 管柱中进行动态测试所必需的测试堵塞器导致了正循环泵送无法实施。

2.3 优化方案

- (1)优化管柱结构,将泵送仪器入井通道和生产通道分开。下入 Y 型电泵管柱,将旁通管加长至水平段趾部,在最底部连接带孔管作为循环通道。电潜泵泵头带单流阀,保证管柱正循环密闭。
- (2)带孔管之下连接圆堵,防止泵送仪器过程中弱点拉断造成仪器落井。
- (3)在保证管柱安全和井生产安全的前提下,尽可能减少管柱缩径,有利于选择最大泵送接头取得最佳泵送效果。
- (4)生产管柱上部过电缆封隔器暂不坐封,保留环空循环通道的畅通。
- (5)泵送仪器入井时,将测试堵塞器悬挂在井口,当测试仪器泵送到位后,投下测试堵塞器,在井口正打压验证测试堵塞器到位情况。

(6)因完井液氯根浓度远高于地层水的氯根浓度,可通过化验产出水氯根的方式,判断完井液是否返排彻底。

2.4 作业情况

根据最终确定的施工方案,下入新设计的生产管柱(图 6),启泵返排,并进行了第二次脉冲氧活化测井。

测试期间,井口计量产液量为 180~200 m³/d,含水 90%,氧活化计算产水量为 184.0 m³/d,套压为 0。

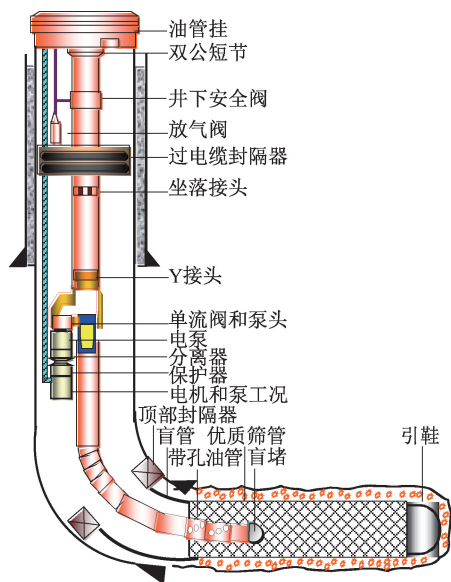


图6 生产管柱结构示意图

Fig. 6 Schematic diagram of production string structure

经过分析,在生产状态下,水平段上水流存在于油管和筛管环空。经过上水流计算,水平段2 460.0 m以下无水产出。自2 460.0 m向上,产水量逐渐增大,2 441.0~2 410.0 m水流量变化最大,从 $25.7 \text{ m}^3/\text{d}$ 增大到 $115.0 \text{ m}^3/\text{d}$ 。到2 300.0 m,氧活化计算产水量与井口计量一致(图7)。

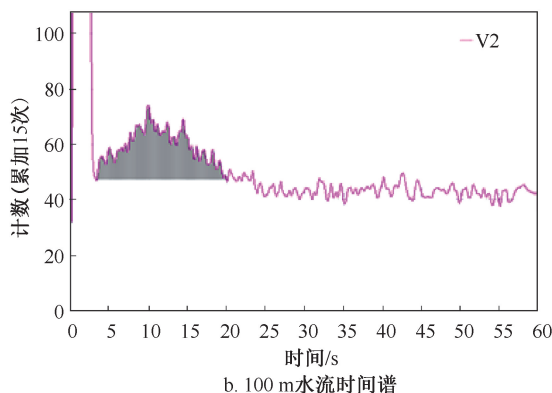
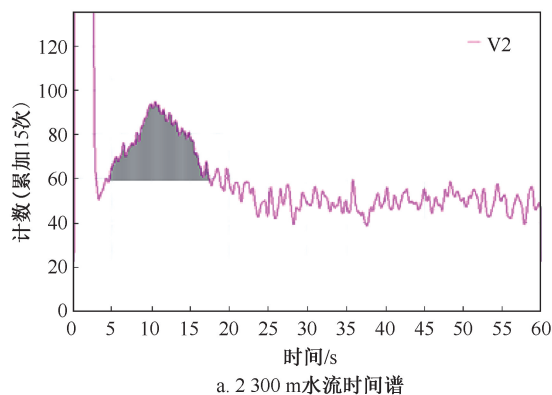


图7 水平段氧活化测井上水流组合图

Fig. 7 Upper flow combination plot of oxygen activation logging in horizontal section

水平段测得的下水流全井段流速一致(图8),可以得出油管内电缆和测试堵塞器间存在微小渗流。

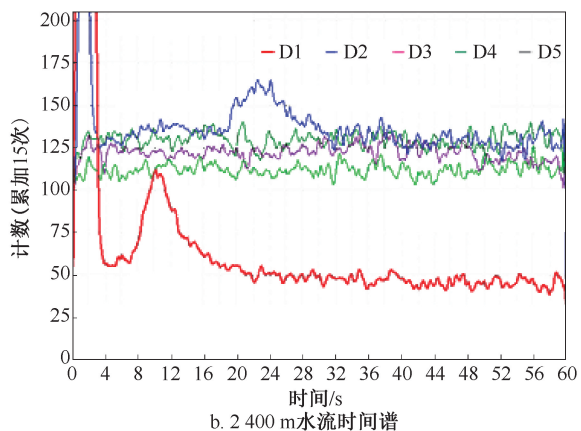
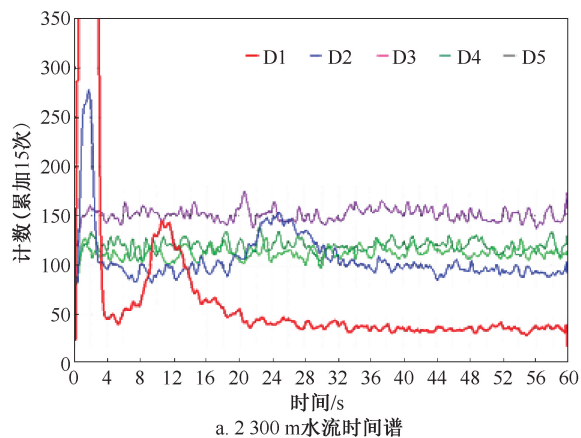


图8 水平段氧活化测井下水流组合图

Fig. 8 Lower flow combination plot of oxygen activation logging in horizontal section

通过氧活化水流测试,确定了出水层位为水平段储层,产出水来自2 300.0~2 441.0 m,排除了固井质量不佳及存在串槽的因素。

由此可以看出,设计的生产管柱既实现了海上电潜泵举升生产的目的,又满足泵送仪器串进入水平段测试的要求。

3 结论

(1)应用脉冲氧活化水流测试可以判断高含水产出井中的出水层位,为水平井找水测试作业提供参考。

(2)在设计Y型生产管柱时可以考虑将旁通管加长至水平段趾部,方便后期可能进行的脉冲氧活化水流测试等其他作业。

致谢:感谢中海油天津分公司工程技术作业中心同意本文公开发表。

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(1):6-11.
WANG Jiahuai, LIU Yanqiang, YANG Zhenjie, et al. Research progress on water breakthrough mechanism for horizontal wells [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2010,17(1):6-11.
- [2] 王雨,陈存良,杨明,等. 边水油藏水平井见水规律研究[J]. 复杂油气藏,2020,13(2):56-59,65.
WANG Yu, CHEN Cunliang, YANG Ming, et al. Study on water breakthrough law of horizontal wells in edge water reservoir [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2020,13(2):56-59,65.
- [3] 朱志强,李云鹏,葛丽珍,等. 砂岩油藏水平井见水后增产措施确定方法[J]. 特种油气藏,2017,24(2):107-109.
ZHU Zhiqiang, LI Yunpeng, GE Lizhen, et al. Determination method of stimulation measures after water breakthrough of horizontal wells in sandstone oil reservoirs [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2017,24(2):107-109.
- [4] 姚胜林,曹晶. 延安组底水油藏水平井见水前合理采油速度研究[J]. 延安大学学报(自然科学版),2017,36(1):58-60.
YAO Shenglin, CAO Jing. A reasonable recovery rate of horizontal wells before breakthrough in bottom-water reservoir of Yan'an formation [J]. Journal of Yan'an University (Natural Science Edition), 2017,36(1):58-60.
- [5] 聂飞朋,石琼,郭林园,等. 水平井找水技术现状及发展趋势[J]. 油气井测试,2011,20(3):32-34.
NIE Feipeng, SHI Qiong, GUO Linyuan, et al. Present situation and development trend of water detection tech in horizontal well [J]. Well Testing, 2011,20(3):32-34.
- [6] 李宜坤,胡频,冯积累,等. 水平井堵水的背景、现状及发展趋势[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2005,27(5):757-760.
LI Yikun, HU Pin, FENG Jilei, et al. Background, current situation and trend of development for water shutoff in horizontal wells [J]. Journal of Oil and Gas Technology (J. JPI), 2005,27(5):757-760.
- [7] 赵晓伟. 低液量水平井找水技术研究[D]. 西安:西安石油大学,2014.
ZHAO Xiaowei. A study on finding water of technology for low production horizontal well [D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2014.
- [8] 李红爽. 辽河油田水平井找堵水技术研究与应[J]. 中外能源,2015,20(4):58-61.
LI Hongshuang. Research and application of technology of water detection and plugging for horizontal wells in Liaohe Oilfield [J]. Sino-Global Energy, 2015,20(4):58-61.
- [9] 吕亿明,王百,黄伟,等. 水平井找水测试一体化工艺技术[J]. 石油矿场机械,2011,263(02):93-95.
LV Yiming, WANG Bai, HUANG Wei, et al. Integration technology of water detection and testing for horizontal well [J]. Oil Field Equipment, 2011,263(02):93-95.
- [10] 王小勇,黎明志,王磊,等. 水平井智能分段开采工艺管柱的研制与应用[J]. 石油机械,2013,41(6):97-100,114.
WANG Xiaoyong, LI Mingzhi, WANG Lei, et al. Development and application of horizontal intelligent staged production string [J]. China Petroleum Machinery, 2013,41(6):97-100,114.
- [11] 潘豪. 海上油田水平井稳油控水技术现状与发展趋势[J]. 石油矿场机械,2020,49(3):86-93.
PAN Hao. Status and development trend of horizontal well water-control completion technology for offshore oilfield [J]. Oil Field Equipment, 2020,49(3):86-93.
- [12] 孙昕迪,白宝君. 国内外水平井控水技术研究现状[J]. 石油勘探与开发,2017,44(6):967-973.
SUN Xindi, BAI Baojun. Comprehensive review of water shutoff methods for horizontal wells [J]. Petroleum Exploration and Development, 2017,44(6):967-973.
- [13] 甄宝生. 井下智能找水、堵水技术在渤海油田水平井中的应用[J]. 油气井测试,2016,25(4):56-57.
ZHEN Baosheng. Application of intelligent water zone identification and water shut-off in horizontal wells in bohail offshore oilfield [J]. Well Testing, 2016,25(4):56-57.
- [14] 陈东东. 基于氧活化测井技术的施工工艺及应用研究[D]. 大庆:东北石油大学,2016.
CHEN Dongdong. Research on construction technology and application of oxygen activation logging technology [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2016.
- [15] 赵俊堂. 脉冲中子氧活化测井在辽河油田的应用研究[D]. 大庆:东北石油大学,2016.
ZHAO Juntang. Application of the pulsed neutron oxygen activation logging in Liaohe Oilfield [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2016.
- [16] 石远红. 氧活化测井技术在八面河油田的应用[J]. 江汉石油职工大学学报,2017,30(5):3-5.
SHI Yuanhong. Application of oxygen activated logging technology in Bamianhe Oilfield [J]. Journal of Jiangnan Petroleum University of Staff and Workers, 2017,30(5):3-5.

- [17] 黄佳,姜晓君,焦俊青,等. 基于脉冲中子氧活化测井中水流时间谱的属性分析及研究[J]. 天津科技, 2019,46(11):9-13.
HUANG Jia, JIANG Xiaojun, JIAO Junqing, et al. Attributive analysis and study on water-flow time spectrum in pulsed neutron oxygen activation logging [D]. Tianjin Science & Technology, 2019,46(11):9-13.
- [18] 尚宝兵,吴华晓,李俊飞,等. 渤海 Q 油田低产井反循环射流泵举升技术[J]. 油气井测试, 2019,28(6):44-48.
SHANG Baobing, WU Huaxiao, LI Junfei, et al. Anti-circulation jet pump lifting technology for the low-production wells in Bohai Q Oilfield [J]. Well Testing, 2019,28(6):44-48.
- [19] 黄启忠,朱学海,石博士,等. 渤海油田电潜泵出租方的主要应对措施和效果[J]. 海洋石油, 2009,29(4):94-98.
HUANG Qizhong, ZHU Xuehai, SHI Boshi, et al. The main countermeasures of ESP lessor and its effects in the Bohai Bay [J]. Offshore Oil, 2009,29(4):94-98.
- [20] 赵宇,尚宝兵,马骏,等. 潜油电泵井功率预测及影响因素分析[J]. 石油地质与工程, 2019,33(4):111-114.
ZHAO Yu, SHANG Baobing, MA Jun, et al. Power consumption prediction and influencing factors analysis of ESP wells [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2019,33(4):111-114.
- [21] 易晓忠,雷家华,张河,等. 水平井连续油管测试系统研发及应用[J]. 油气井测试, 2013,22(2):62-66.
YI Xiaozhong, LEI Jiahua, ZHANG He, et al. Research and application of coiled tubing test system in horizontal well [J]. Well Testing, 2013,22(2):62-66.
- [22] 徐昊洋,王燕声,牛润海,等. 水平井连续油管输送存储式产液剖面测试技术应用[J]. 油气井测试, 2014,23(3):46-48.
XU Haoyang, WANG Yansheng, NIU Runhai, et al. Application of memory fluid production profile testing technology conveyed by coiled tubing to horizontal well [J]. Well Testing, 2014,23(3):46-48.
- [23] 潘明宇,姚劲松,潘为之. TRHW 爬行器井下仪故障分析与解决[J]. 石油管材与仪器, 2020,6(6):95-97,100.
PAN Mingyu, YAO Jinsong, PAN Weizhi. Failure analysis and solutions to TRHW crawler downhole instrument [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2020,6(6):95-97,100.
- [24] 陈立东. 水平井爬行器在大庆地区的应用[J]. 国外测井技术, 2020,41(2):46-48.
CHEN Lidong. Application of horizontal well crawler in Daqing area [J]. World Well Logging Technology, 2020,41(2):46-48.
- [25] 王昆剑,李进,刘鹏飞,等. 陀螺测斜与测固井质量一体化技术研究与应用[J]. 石油机械, 2020,48(8):50-54.
WANG Kunjian, LI Jin, LIU Pengfei, et al. Integration technology of gyro inclinometer and cementing quality measurement tool [J]. China Petroleum Machinery, 2020,48(8):50-54.
- [26] 郭洪志,李冬梅. Flagship 在中高含水期水平井中的应用研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2009,31(1):107-110.
GUO Hongzhi, LI Dongmei. Flagship application in high water cut horizontal well [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2009,31(1):107-110.

编辑 刘振庆

第一作者简介:付建民,男,高级工程师,2004年毕业于中国石油大学(华东)石油工程专业,主要从事海上钻完井方面的技术管理工作。电话:022-66502277;Email:fujm@cnooc.com.cn。通信地址:天津市滨海新区海川路2121号中海石油(中国)有限公司天津分公司C座715室,邮政编码:300452。