

APR 测试工艺在压裂测试井中的技术创新

张兴华¹, 周新宇², 杨子¹, 卢中原¹, 陈光峰¹, 杜连龙¹

- 1. 中海石油能源发展股份有限公司工程技术分公司 天津 300459
- 2. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司第二钻井工程分公司 河北廊坊 065000

通讯作者: Email: zhangxh5@cnoc.com.cn

引用: 张兴华, 周新宇, 杨子, 等. APR 测试工艺在压裂测试井中的技术创新[J]. 油气井测试, 2018, 27(5): 13-18.

Cite: ZHANG Xinghua, ZHOU Xinyu, YANG Zi, et al. Technical innovation of APR testing technology in fracturing test wells [J]. Well Testing, 2018, 27(5): 13-18.

摘要 缅甸某区块探井气层埋藏浅、渗透率低, 为缩短测试时间, 降低测试作业成本, 避免作业过程中的储层污染, 将 LPR-N 测试阀、TST 试压阀和气举阀有机组合, 通过在管柱结构中加入射孔丢枪装置、倒置安装伸缩接头、3 只伸缩接头组合使用、设计射孔枪点火头点火压力大于 LPR-N 测试阀的开启压力等措施, 实现一趟管柱完成试压、射孔、负压诱喷、压裂、气举和测试等功能, 井下管柱坐封后不动管柱完成多项作业。经 3 个层位现场应用表明, 施工成功率 100%, 测试数据完整、准确, 可对渤海及海外类似油(气)藏测试提供技术借鉴。

关键词 APR 测试工具; 气举阀; 压裂; 射孔; 一体化管柱; 储层保护; 管柱设计

中图分类号: TE27 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.05.003

Technical innovation of APR testing technology in fracturing test wells

ZHANG Xinghua¹, ZHOU Xinyu², YANG Zi¹, LU Zhongyuan¹, CHEN Guangfeng¹, DU Lianlong¹

- 1. CNOOC Engineering Technology Branch Company, Tianjin 300459, China
- 2. No.2 Drilling Engineering Branch, CNPC Bohai Drilling Engineering Company, Langfang, Hebei 065000, China

Abstract: The gas reservoirs of exploration well in a block in Myanmar are shallow and have low permeability. In order to shorten the test time, reduce the cost of test operations, and avoid reservoir pollution, this paper realized the combination of LPR-N test valve, TST pressure test valve and gas lift valve. In addition, through some measures, such as adding a perforating gun device in the column structure, using inverted installing expansion joint, combination use of three expansion joints, and controlling the ignition pressure of the perforating gun to be greater than the opening pressure of the LPR-N test valve. Etc., to achieve the pressure test, perforation, negative pressure induced flow, fracturing, gas lift and test and other functions in one trip of the string. When the downhole string is set, multiple operations can be completed without moving the column. The field application of 3 layers shows that the construction success rate is 100%, the test data is complete and accurate, and it can provide technical reference for testing the similar oil (gas) reservoirs in Bohai and overseas.

Keywords: APR test tool; gas lift valve; fracturing; perforation; integrated column; reservoir protection; pipe string design

油气井测试是发现油气藏、评价油气井产能的最直接手段^[1], 对不具备自喷能力或自喷能量不足的油气井, 一般采用深井泵诱喷^[2]与常规气举诱喷^[3]进行测试。田向东等^[4]在海上油气井测试中从钻杆内下入带气举阀的平式油管, 从钻杆与油管小环空注气, 形成了半封闭式气举快速诱喷测试技术。马金良等^[5]利用压力起爆装置和安全投棒起爆装置激发原理的不同, 用一体化管柱实现对两个试油层分别点火射孔, 形成了一趟管柱分层射孔与

水力泵排液联作技术, 缩短施工周期。李加明等^[6]将射孔、高能气体压裂、井下开关井测试一趟管柱完成, 达到了储层改造增产效果。

缅甸某区块属于中海油缅甸陆上的勘探区块, 为了确定储层产能及流体性质, 中海油对其中的两口探井进行了测试。两口井(累计 3 层)测试层段测井解释均为气层, 主力气层埋藏深度分别为 1 150~1 254 m 和 830~860 m; 地层岩性主要为凝灰质泥岩、凝灰质粉砂岩和凝灰岩, 地层致密, 渗透率

低。常规测试获得产能及流体性质的可能性不大,必须通过压裂充填等储层改造的措施来获得产能。低渗透油气藏的特点对压裂返排工艺提出了更高的要求:压裂后要及时返排出压裂液,减少地层污染^[7]。

对低渗层进行压裂改造后常规施工工序为:射孔、压井、起枪、组下压裂管柱、压裂施工、放喷、压井、起压裂管柱、组下泵排管柱进行排液。在整个施工过程中,存在以下弊端:(1)起射孔枪前进行压井作业,压井液造成储层二次污染,低渗储层地层污染对产能的影响更大;在压裂放喷后再更换排液管柱,不仅压井液污染储层,还不能连续排液,压裂液残渣再次造成地层伤害。(2)更换两趟管柱,压井、起下管柱作业需要较长的时间,特别是深井大大延缓施工进度,不利于缩短单井的施工周期。(3)进行压井作业,污水量增加,不利于环保。(4)进行压井更换管柱,增加了施工工序和材料,还使得单井的施工成本增加^[8]。

为了缩短测试时间,降低测试作业的成本,避免作业过程中的储层污染,在充分分析射孔管柱、测试管柱、压裂管柱和气举管柱的施工方案后,最终形成了一套创新型的测试管柱组合。利用本套管柱组合实现了不动管柱试压、造负压诱喷、射孔、压裂、放喷、气举和测试的多项功能,而且根据新型的管柱组合形成了一套创新型的测试工艺,对以后渤海及海外类似油(气)藏测试提供了借鉴作用。

1 创新型测试工艺管柱的设计

创新型测试工艺管柱的设计以实现井下功能和管柱安全为原则,同时考虑减少管柱起下次数,以最高的时效完成测试作业,保证井下管柱能够实现试压、射孔、负压诱喷、压裂、气举和测试等功能,同时一趟管柱完成作业。

1.1 作业方案及思路

由于深井泵都不具备全通径结构^[9-11],诱喷时“堵塞”上部测试管柱使钻杆或油管无法进行钢丝作业^[12],深井泵下入后扬程不便调节或调节范围有限,螺杆泵举升高度无法满足一些低压地层的测试要求,从而导致残酸、压裂液等特殊液垫或工作液返排不利等问题。常规气举诱喷包括常规气举、小油管气举、连续油管气举。徐庆祥等^[13]报道了气举在大港油田某井的应用;高旭升等^[14]报道了常规气举在大庆油田排液中的应用。赵立春等^[15]提出

了通过钻杆-油管小环空注气进行气举的多功能气举测试新工艺;宇文双峰等^[16]应用空心抽油杆与气举阀等配合,可依靠地层自身能力实现井筒积液的自产自排,达到气井的连续生产。王爱利等^[17]报道了连续油管气举技术在冀东油田某井排液中应用,提出该工艺能够提高排液效率、缩短平台占用时间;曹成寿等^[18]报道了连续油管气举排液技术在靖边气田水平井试气中的应用;李娜等^[19]报道了南海西部某气田成功进行连续油管气举造负压返排和诱喷。

管柱的安全性是设计的第一要求。为缩短作业时间降低成本,在保证安全的基础上,最有效的做法是单趟管柱同时实现多趟管柱的功能同时又不相互影响^[20-22],一体化管柱结构如图1所示。

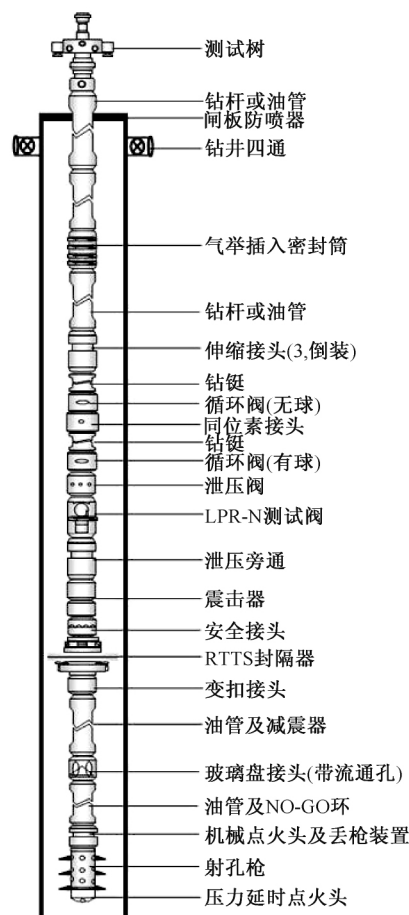


图1 一体化管柱结构示意图

Fig.1 Structure of integrated column

(1)为防止压裂作业时压裂砂在射孔枪位置形成砂桥,压裂作业时必须保证射孔枪脱离射孔管柱,在管柱结构中加入了射孔丢枪装置^[23-25]。为保证射孔枪丢枪后能够脱离射孔位置,人工井底到射孔段底部的距离必须大于射孔段长度。

(2)必须保证整个测试管柱内部无台阶,管柱中 APR 测试工具中的伸缩接头倒置安装,保证工具内的台阶面向下以保证压裂作业过程安全。

(3)整个管柱中根据工程计算组下3支伸缩接头,以平衡压裂作业时受压力及温度的影响造成的管柱伸缩。

(4)射孔枪点火头点火压力的设计必须大于 LPR-N 测试阀的开启压力。

(5)管串最小内径必须满足气举用油管和气举阀的下入。

(6)点火方式采用点火棒投棒点火,减小点火棒的长度,以便注氮造负压结束时点火棒能放在钻井考克与测试树上主阀之间。

1.2 方案实施

APR 测试方案中,分别实施管柱试压、造负压、射孔、常规测试、压裂及放喷作业、气举作业。

1.2.1 管柱试压

刮管洗井完成以后下入创新型管柱,管柱中的 LPR-N 测试阀保持关闭状态入井,管柱内外保持不连通状态。射孔枪组合及 APR 工具入井后工具内灌满测试液对工具按要求试压,之后每下入5柱钻杆灌满测试液对管柱按要求试压,直至整个管柱下入到位。之后电测校深,确认封隔器坐封位置后在管柱上做好标记。

1.2.2 常规测试造负压

电测校深完成后,井口从下到上依次接钻井防喷考克和测试树,测试树一端生产翼阀接氮气设备;井口钻井四通放喷管线一端接测试用油嘴管汇,流程中所有闸门保持打开,油嘴管汇关闭;钻井四通压井管线一端接泥浆泵。常规测试造负压流程如图2所示。

其后作业程序如下:

(1)关闭井口防喷器。

(2)打开氮气正注流程,并开始注入氮气。井口氮气压力达到测试阀开启压力后,停止注氮。

(3)环空从钻井四通的压井翼阀加压到测试阀开启压力。

(4)继续正注氮气,环空缓慢开启油嘴管汇,从油嘴管汇释放出氮气正替出的测试液。由油嘴管汇控制环空压力,使环空压力波动不超过0.3 MPa,保证正替过程中测试阀不关闭。诱喷压差可以通过计量正替出的测试液的体积增加值来确定。

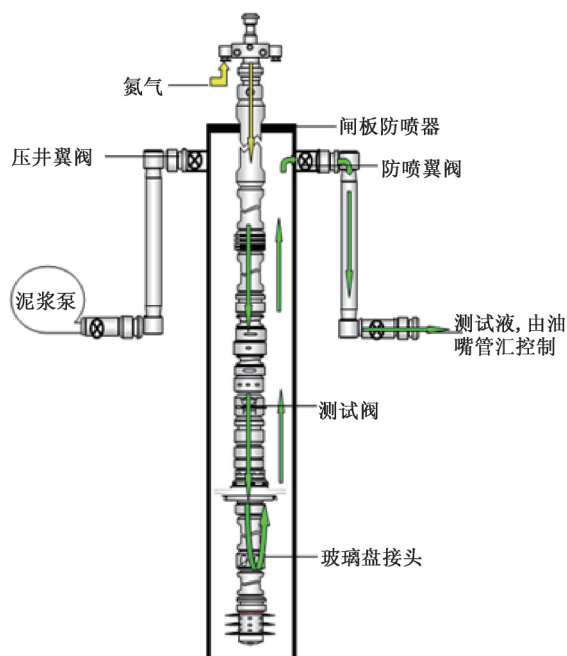


图2 常规测试造负压流程示意图

Fig.2 Flow chart of negative pressure caused by routine test

(5)释放掉环空压力关闭测试阀,释放掉管柱内氮气压力。

1.2.3 射孔

关闭钻井考克,拆掉测试树,接顶驱,按照校深结果坐封封隔器,环空加压打开测试阀。重新接上测试树后,将点火棒从测试树上部放在关闭的钻井考克上。关闭测试树上主阀,打开钻井考克,点火棒自由下落,射孔同时丢枪。

1.2.4 常规测试

管柱中带有测试阀,射孔完成后,直接转入常规开关井测试作业。

1.2.5 压裂及放喷作业

常规测试作业若效果不理想,井口连接压裂流程后可直接进行压裂作业。作业过程中应注意:环空必须打到足够的背压,防止管柱刺漏;压裂的最高注入压力不能高于井下测试工具的最高工作压力。

1.2.6 气举作业

压裂放喷结束后,若地层不能自喷,可直接从井口下入气举阀和气举用油管转入气举作业。具体气举流程如图3所示。气举阀的位置和数量可以根据实际需要调整,气举阀的打开压力可以通过计算人为设定,可将井内流体逐级向下不断举升出井口。

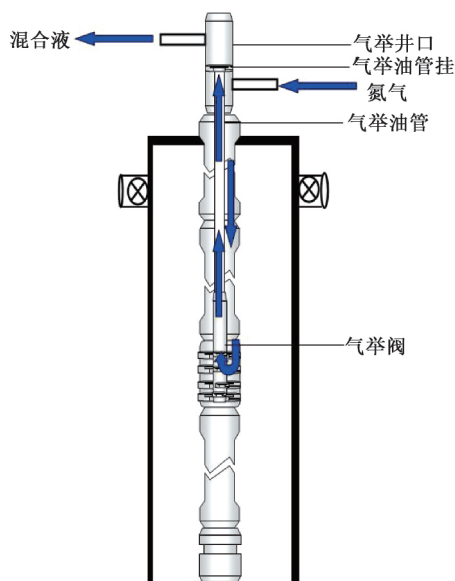


图3 气举流程示意图
Fig.3 Flow chart of gas lift

2 现场应用实例及分析

该施工工艺经过缅甸某区块 2 口井 3 个层位的现场作业实践检验,证明本创新型应用的可靠与实用,试压、射孔、负压诱喷、压裂、气举和测试等功能全部实现。

以 A 井 No.2 层位为例,测试层深度 830.00 ~ 861.00 m,储层岩性为凝灰质粉砂岩,目标测试层位套管类型为 244.475 mm 套管,测试管柱结构如图 1 所示。管柱下入到位后作业程序如下:

(1)管柱整体试压。管柱下入到预定位置后,调整管柱(使射孔枪对准测试层段),固井泵环空加压 9 MPa 后放压,关闭 LPR-N 阀。井口接流动头及固井管线,固井泵对整体测试压裂管柱试压 10 min,试压压力为 25.58MPa,合格。

(2)射孔、负压、诱喷、压裂、气举和测试等功能的实现在压力历史曲线上的反映如图 4 所示。

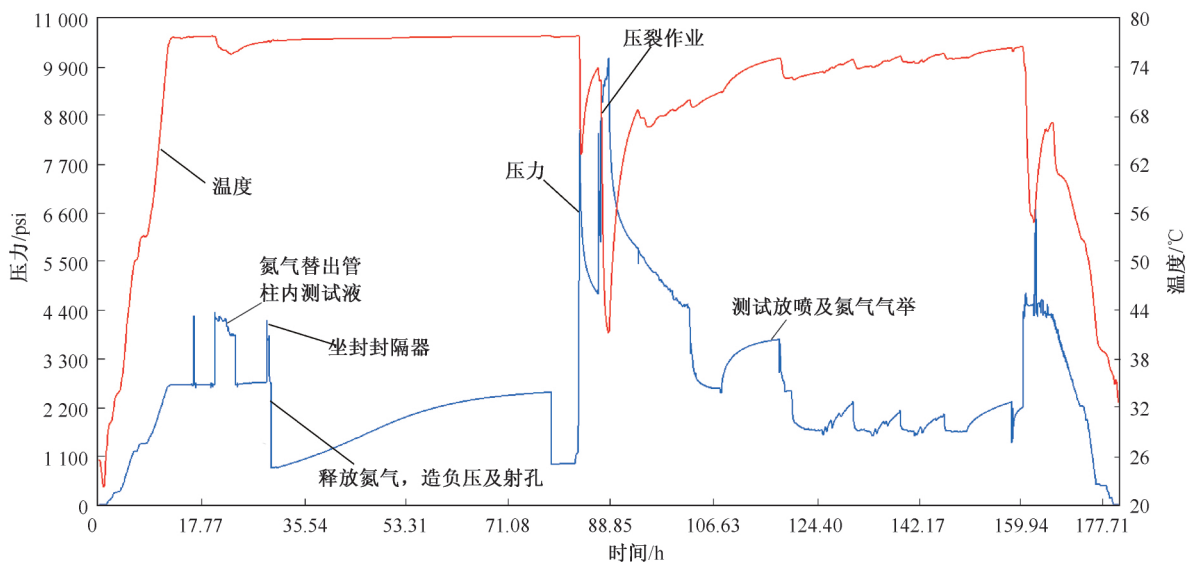


图4 其它功能实现在压力历史曲线上的反映
Fig.4 Reflection of realization of other functions on the pressure history curve

其施工工序为:

(1)造负压:环空加压打开测试阀后,管柱内正注氮气,环空由油嘴管汇控制逐步按设计释放出环空流体,管柱内测试液逐渐替换为氮气。环空放压关闭测试阀,坐封封隔器后释放管柱内氮气造负压。

(2)坐封封隔器后按照常规投棒或环空加压方法完成射孔。

(3)实现压裂作业:管柱为全通径,倒置的伸缩节使工具内部台阶面向下减少磨阻及压裂砂对工具的磨蚀,保障压裂作业顺利实施。

(4)气举功能实现:压裂完成后,首先利用地层压力进行自喷返排,能量衰竭后管柱内由小油管下入气举阀进行气举返排。

3 结论

通过 2 井次 3 个层位的现场应用证明,采用此创新型的 APR 测试工艺进行测试是可靠的。此种测试工艺的实施,在整个作业过程中不进行压井及起下钻作业,避免了压井液对低渗储层的污染,节约了作业时间,节省了作业成本。常规测试负压的

造成要用到氮气设备,造成的负压的最大值受到氮气设备能力及环空测试阀操作压力的影响,本工艺不适用于裸眼井作业和需要大压差诱喷的探井的测试作业。

致谢:感谢中海石油(中国)有限天津公司工程技术作业中心资深测试总监周宝锁为该文提供技术把关。

参考文献

- [1] 欧阳伟平.致密气藏分段压裂水平井的不稳定压力与产量综合分析方法[J]. 油气井测试,2018,27(1):14-21.
OUYANG Weiping. Comprehensive analysis method for transient pressure and production of multistage fractured horizontal well in tight gas reservoirs [J]. Well Testing, 2018,27(1):14-21.
- [2] 冯卫华,宋新华.射流泵在海洋探井测试中的应用[J]. 油气井测试,2012,21(3):38-39.
FENG Weihua, SONG Xinhua. Application of jet-pump tech in well test operation of offshore exploration well [J]. Well Testing, 2012,21(3):38-39.
- [3] 孙永涛,马魁魁,陆爱华.浅海试油排液工艺的对比及优选[J]. 油气井测试,2010,19(3):33-35.
SUN Yongtao, MA Kuikui, LU Aihua. Comparison and optimization of oil test tech at shallow sea [J]. Well Testing, 2010,19(3):33-35.
- [4] 田向东,康露,杨志,等.海上油气井快速诱喷测试技术[J]. 油气井测试,2018,27(2):41-46.
TIAN Xiangdong, KANG Lu, YANG Zhi, et al. Fast testing of induced flows in offshore oil/gas wells [J]. Well Testing, 2018,27(2):41-46.
- [5] 马金良,刘泽宇,李春宁,等.一趟管柱分层射孔与水力泵排液联作技术[J]. 油气井测试,2018,27(2):22-26.
MA Jinliang, LIU Zeyu, LI Chunling, et al. Integration of layered perforation and flowback by hydraulic pump in one trip [J]. Well Testing, 2018,27(2):22-26.
- [6] 李加明.复合射孔与APR测试工具联作技术的应用[J]. 油气井测试,2012,21(6):36-37.
LI Jiaming. Application of combined technology of composite perforation and APR testing tool [J]. Well Testing, 2012,21(6):36-37.
- [7] 邵立民.低渗透油气藏压裂返排一体化工艺技术[J]. 天然气与石油,2013,31(3):59-60.
SHAO Limin. Integration technology for low permeability reservoir fracturing flowback [J]. Oil and Gas Field Development, 2013,31(3):59-60.
- [8] 王玉忠,韩祥海,马金良,等.射孔-压裂-水力喷射泵排液一体化技术[J]. 油气井测试,2011,20(5):72-74.
WANG Yuzhong, HAN Xianghai, MA Jinliang, et al. Perforation-fracturing-water jet pump drain integration technology [J]. Well Testing, 2011,20(5):72-74.
- [9] 陈悦祥.水力泵排液技术在大庆油田水平井试油中的应用[J]. 油气井测试,2016,25(2):45-47.
CHEN Yuexiang. Application of hydraulic pump drainage technology in oil test to horizontal wells in Daqing oilfield [J]. Well Testing, 2016,25(2):45-47.
- [10] 薛清祥,刘攀峰,杨建林,等.螺杆泵与喷射泵在水平井措施排液中的对比应用[J]. 油气井测试,2016,25(2):61-63.
XUE Qingxiang, LIU Panfeng, YANG Jianlin, et al. Contrast and application of screw pump and jet pump in drainage measures to horizontal well [J]. Well Testing, 2016,25(2):61-63.
- [11] 戴卢军,杨子,高科超,等.渤海油田探井测试井下PVT取样技术进展研究与改进[J]. 油气井测试,2017,26(5):62-65.
DAI Lujun, YANG Zi, GAO Kechao, et al. Research and improvement on down-hole PVT sampling technique progress in exploratory well testing in Bohai oilfield [J]. Well Testing, 2017,26(5):62-65.
- [12] 高辉.螺杆泵与水力泵在水平井排液求产中的适应性分析[J]. 油气井测试,2018,27(3):22-27.
GAO Hui. Adaptability analysis of screw pump and hydraulic pump during the production of horizontal wells [J]. Well Testing, 2018,27(3):22-27.
- [13] 徐庆祥,平恩顺,王林,等.滑套式气举阀排液技术研究及应用[J]. 石油地质与工程,2017,31(2):128-130.
XU Qingxiang, PING Enshun, WANG Lin, et al. Water drainage technology and its application by sliding sleeve gas lift valve [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2017,31(2):128-130.
- [14] 高旭升,徐波,杨皓,等.气举阀排液技术在大庆油田的应用与前景展望[J]. 油气井测试,2013,22(6):33-35.
GAO Xusheng, XU Bo, YANG Hao, et al. Application of the gas lift valve in liquid discharge technology and its prospects in Daqing oilfield [J]. Well Testing, 2013,22(6):33-35.
- [15] 赵春立,杨志,王尔钧,等.海上“三低”油气田多功能气举测试新工艺[J]. 中国海上油气,2014,26(2):72-76.
ZHAO Chunli, YANG Zhi, WANG Erjun, et al. A new technology of multi-function gas lift test in offshore “three low” oil and gas fields [J]. China Offshore Oil and Gas, 2014,26(2):72-76.
- [16] 宇文双峰,刘刚,杜香梅,等.白庙凝析气田空心抽油杆排液采气工艺技术的应用[J]. 钻采工艺,2004,27(2):26-28.
YUWEN Shuangfeng, LIU Gang, DU Xiangmei, et al. The application of drainage gas recovery technology of hol-

- low sucker rod in Baimiao condensate field [J]. Drilling & Production Technology, 2004, 27(2): 26-28.
- [17] 王爱利, 赵江援, 任斌斌, 等. 冀东油田海上试油快速排液工艺浅析[J]. 油气井测试, 2011, 20(1): 38-40.
WANG Aili, ZHAO Jiangyuan, REN Binbin, et al. A brief analysis for rapid unflow testing tech of offshore well in Jidong oilfield [J]. Well Testing, 2011, 20(1): 38-40.
- [18] 曹成寿, 张耀刚, 贾浩民, 等. 靖边气田水平井试气新工艺、新技术及应用[J]. 天然气工业, 2010, 30(7): 48-51.
CAO Chengshou, ZHANG Yaogang, JIA Haomin, et al. New stimulation technologies on horizontal wells in Jingbian gas fields [J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(7): 48-51.
- [19] 李娜, 张嵩, 任冠龙, 等. 南海西部气田高温衰竭储层钻完井液技术研究与应[J]. 新疆石油天然气, 2017, 13(2): 27-30.
LI Na, ZHANG Song, REN Guanlong, et al. High temperature and depleted reservoir well drilling and completion fluid technology [J]. Xinjiang Oil & Gas, 2017, 13(2): 27-30.
- [20] 王芝尧, 刘志英, 王瑀, 等. 一趟管柱实现分层射孔和试油联作的思考[J]. 测井技术, 2014, 38(3): 370-374.
WANG Zhiyao, LIU Zhiying, WANG Yu, et al. Realizing combination technology of layered perforating and test by a trip string [J]. Well Logging Technology, 2014, 38(3): 370-374.
- [21] 刘志英, 王芝尧, 董拥军, 等. 一趟管柱分层射孔-试油联作技术[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(2): 97-101.
LIU Zhiying, WANG Zhiyao, DONG Yongjun, et al. The technology of integrated layered perforation and formation testing in one trip [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(2): 97-101.
- [22] 张树森, 王贵军, 韩金华, 等. 射孔和抽油泵生产一趟管柱完成的直斜井泵阀[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(9): 95-96, 107.
ZHANG Shusen, WANG Guijun, HAN Jinhua, et al. Pumping valve in vertical and deviated well combined of perforation and pump in one trip [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(9): 95-96, 107.
- [23] 郭士生, 杨中成, 刘信雄, 等. 射孔压裂测试一体化技术井下工具优化设计[J]. 石油机械, 2012, 40(1): 72-74.
GUO Shisheng, YANG Zhongcheng, LIU Xinxiong, et al. Downhole tools optimization and design for combination of perforation, fracturing and testing [J]. China Petroleum Machinery, 2012, 40(1): 72-74.
- [24] 李雪彬, 许江文, 胡广军, 等. 射孔压裂联作工艺在克拉玛依油田低渗试油层的应用[J]. 油气井测试, 2010, 19(3): 52-53.
LI Xuebin, XU Jiangwen, HU Guangjun, et al. Combined tech of perforation and fracturing for low permeability testing layer in Karamay Oilfield [J]. Well Testing, 2010, 19(3): 52-53.
- [25] 陈琛, 戚斌, 雷炜. 适用于气井射孔——压裂联作的射孔工艺技术研究[J]. 天然气勘探与开发, 2007, 30(4): 60-63.
CHEN Chen, QI Bin, LEI Wei. Study on perforating technology combining perforation and fracturing in gas wells [J]. Gas Exploration & Development, 2007, 30(4): 60-63.

编辑 刘振庆

第一作者简介: 张兴华, 男, 1979年10月出生, 高级工程师, 2004年毕业于中国石油大学(华东)资源勘查工程专业, 现主要从事海上油田测试现场作业施工管理及质量控制工作。电话: 022-66502118, 13752708906; Email: zhangxh5@cnooc.com.cn。通信地址: 天津市滨海新区海川路2121号渤海石油管理局大厦C座618室, 邮政编码: 300459。