

# 改进型可锁定开井测试阀下钻中途开井问题及改进措施

陈军<sup>1</sup>, 刘述忍<sup>2</sup>, 冯汉斌<sup>3</sup>, 洪英霖<sup>4</sup>, 陈海波<sup>2</sup>, 宋立<sup>5</sup>

1. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司库尔勒分公司 新疆库尔勒 841000
2. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司油气井测试分公司 河北廊坊 065007
3. 中国石油华北油田公司勘探事业部 河北任丘 062552
4. 中国石油塔里木油田公司油气田产能建设事业部 新疆库尔勒 841000
5. 中国石油华北油田公司开发事业部 河北任丘 062552

通讯作者: E-mail: liushuren@cnpc.com.cn

项目支持: 中国石油天然气股份有限公司勘探工程技术与应用项目“华北油田冀中探区页岩油试油配套技术研究”(编号: kt-2020-10-14)

引用: 陈军, 刘述忍, 冯汉斌, 等. 改进型可锁定开井测试阀下钻中途开井问题及改进措施[J]. 油气井测试, 2022, 31(5): 17-22.

Cite: CHEN Jun, LIU Shuren, FENG Hanbin, et al. Premature well-opening during running of the improved lockable well-opening test valve and improvements[J]. Well Testing, 2022, 31(5): 17-22.

**摘要** 为了提高巴彦淖尔区块高温深井试油测试施工成功率, 配套了改进型可锁定开井测试阀作为测试管柱的主阀。但在多口井的现场使用中, 出现了下钻过程中改进型测试阀提前开井的情况。通过分析地层实测压力曲线和对工具进行拆解, 发现测试阀剪销被环空液柱压力剪断是提前开井的直接原因。结合该测试阀开关井原理及现场实践经验, 提出了控制下钻速度减小环空激动压力、增大剪销剪切压力和过充氮气压力的改进措施。经 XH12 井应用表明, 采用改进措施后可避免改进型可选择开井测试阀在下钻过程中意外开井, 有效提高测试施工成功率, 提升测试管柱的安全性和可靠性。该技术在太斜度井及深井中具有良好推广应用价值。

**关键词** 地层测试; 可锁定开井测试阀; 激动压力; 剪销; 氮气压力; 改进措施; 现场应用; 成功率

**中图分类号:** TE27 **文献标识码:** B **DOI:** 10. 19680/j. cnki. 1004-4388. 2022. 05. 004

## Premature well-opening during running of the improved lockable well-opening test valve and improvements

CHEN Jun<sup>1</sup>, LIU Shuren<sup>2</sup>, FENG Hanbin<sup>3</sup>, HONG Yinglin<sup>4</sup>, CHEN Haibo<sup>2</sup>, SONG Li<sup>5</sup>

1. Korla Branch of CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Korla, Xinjiang, 841000, China
2. Well Testing Company, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Langfang, Hebei 065007, China
3. Exploration Division of PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China
4. Oil and Gas Field Productivity Construction Division, PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla, Xinjiang 841000, China
5. Development Division of PetroChina Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China

**Abstract:** In order to increase the success rate of formation testing of high-temperature and deep wells in the Bayannur block, an improved lockable well-opening test valve was equipped as the main valve on the test string. However, the field applications in several wells witnessed premature well-opening when the improved test valve was run into the hole. By analyzing the measured formation pressure curve and dismantling the tool, it is found that the shearing of the test valve shear pin by the annular liquid column pressure is the direct cause for the premature well-opening. According to the well-opening/shutting principle of the test valve and the field practices, some improvements were proposed, such as controlling the running speed to reduce the annular surge pressure, increasing the shear pressure of the shear pin, and overcharging the nitrogen pressure. The application in well XH12 demonstrates that these improvements avoid accidental well-opening during running of the improved lockable well-opening test valve, so that the success rate of formation testing is increased effectively and the safety and reliability of the test string are improved. The proposed technology is worthy of promotion to highly deviated wells and deep wells.

**Keywords:** formation testing; lockable well-opening test valve; surge pressure; shear pin; nitrogen pressure; improvement; field application; success rate

地层测试工具按照开、关井的操作方式分为上提下放管柱控制<sup>[1-2]</sup>、压力控制<sup>[3-4]</sup>和智能控制<sup>[5-6]</sup>三种类型。斯伦贝谢已研发了智能双阀测试器<sup>[7-9]</sup>,国内也研制成功了智能测试器。目前,国内常用的上提下放式工具为 MFE (Multi-Flow Evaluator) 多流测试器,压力控制工具为 APR 测试阀 (Annulus Pressure Responsive)。其中, MFE 工具需要上提下放管柱操作,受摩阻影响,仅适用于井斜小于 35° 的套管井和井斜小于 10° 的裸眼井<sup>[10]</sup>;而 APR 测试阀采用压控操作,不受摩阻影响,适用于套管井或坐套测裸井<sup>[11-13]</sup>,满足大斜度井、高压油气井、钢丝取样和地面直读等绳索作业。哈里伯顿的压控式选择测试阀<sup>[14]</sup>,可实现标准模式和可锁定开井模式下的开关井操作,国内宝鸡元亨石油机械公司根据国内油田储层特点,研发了可锁定开井模式的测试阀<sup>[15]</sup>,并在国内油田推广使用。

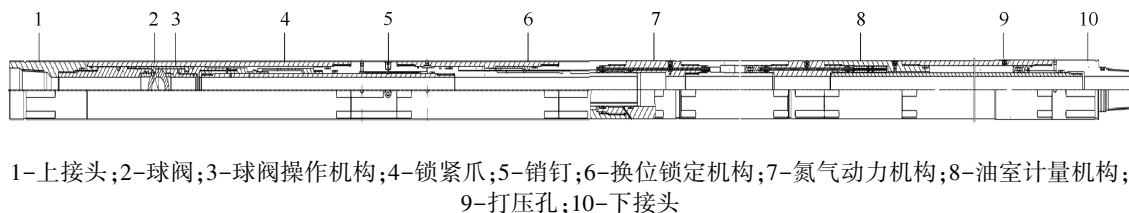
河套盆地处于内蒙古自治区,北邻阴山褶皱带,南临鄂尔多斯盆地伊蒙隆起,是前寒武纪伊蒙古陆核变质结晶基底上发育的中新生代拗陷-断陷盆地,面积约 40 000 km<sup>2</sup>,可分为北部巴彦淖尔凹陷、中部吉西凸起、南部吉兰泰凹陷等多个构造。该盆地的临华

X 井获日产 305.76 m<sup>3</sup> 高产工业油流,兴华 X 井油层厚度共计 158.2 m,试油日产油 274.08 m<sup>3</sup>,展示了该区块规模资源前景。但是该地区储层埋深较深,大部分井实钻井深超过 4 500 m,甚至 6 000 m 以上,地层岩性变化剧烈<sup>[16-18]</sup>,地层温度较高,常规的可锁定开井模式测试阀已不适用于该地区大斜度井及深井。为了提高测试阀对复杂井况的适应性,获取详实准确的储层资料,研制了改进型可锁定开井测试阀,并在该油田进行了数十口井的应用。但该测试阀在下钻过程中,频繁出现了剪销剪断导致的提前开井问题,导致测试失败,严重影响测试效率。

本文以现场 2 口实例井为例,分析了下钻过程中测试阀提前开井的原因,并结合改进型可锁定开井测试阀的工作原理,从下钻速度、剪销强度、充氮压力三方面提出改进措施,提高了改进型测试阀在井下安全性和可靠性。

## 1 改进型可锁定开井测试阀工作原理

改进型可锁定开井测试阀结构如图 1 所示。该测试阀由四部分组成:球阀操作机构、换位锁定机构、氮气动力机构和油室计量机构。



1-上接头;2-球阀;3-球阀操作机构;4-锁紧爪;5-销钉;6-换位锁定机构;7-氮气动力机构;8-油室计量机构;9-打压孔;10-下接头

图 1 改进型可锁定开井测试阀结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of improved lockable opening tester

当测试管串下井时,氮气与静液柱压力保持平衡,剪销保持工具始终处于关井的状态。当工具下到预定位置后,封隔器坐封。需要开井时,环空施加操作压力,因油室计量机构的延时作用,操作心轴下行一个长行程打开球阀,锁紧爪锁住球阀操作机构;与原有可锁定开井测试阀不同的是,此时需要环空继续保持操作压力,计量套延时使氮气室积聚能量。

释放操作压力,因换位机构的锁定作用,氮气推动操作心轴上行一个短行程,锁紧爪依然锁住球阀操作机构,使球阀保持在开启状态,氮气压力经计量机构缓慢释放。

需要关井时,环空再次施加操作压力,操作心轴下行一个短行程解除锁定,环空继续保持操作压力,计量套延时使氮气室积聚能量。释放操作压力,因换位机构的作用,氮气推动操作心轴上行一

个长行程,同时锁紧爪脱开球阀操作机构,使球阀关闭,氮气压力经计量机构缓慢释放。

通过环空加压—泄压操作,可实现工具在井下的反复开关井。

## 2 改进型可锁定开井测试阀下井过程中途开井原因分析

以 XH2 和 XH6 两口井为例,分析改进型可锁定开井测试阀在下钻过程中途开井的原因。

### 2.1 XH2 井中途开井原因分析

XH2 井是吉兰泰油田的一口预探井,人工井底 5 014.23 m,最大井斜 3 585.80 m/5.03°,测试井段为 4 813.80~4 822.80 m,测试层位为 E<sub>3</sub>l<sub>2</sub>,地层温度 122 ℃,油层套管为 φ139.7 mm。采用 STV 测试射孔+射流泵排液联作技术求取储层液性、产能、压力及相关地层参数。

测试管柱结构为(从上到下):油管+射流泵+油管+校深短节+油管+RD循环阀+RDS循环阀+油管+球座+油管+电压托筒+STV测试阀+电压托筒+RD取样器+液压旁通+RTTS安全接头+传压接头+托砂皮碗+RTTS封隔器+扶正器+减震器+防砂筛管+密封接头+油管+压力延时点火头+射孔枪。RTTS封隔器坐封位置为4 746.27 m,压井液为清水,相对密度1.0,测试前加清水液垫2 548.60 m。

测试完毕后起出工具,将存储式电子压力计进行回放,获得该井的施工压力和温度曲线,如图2所示。

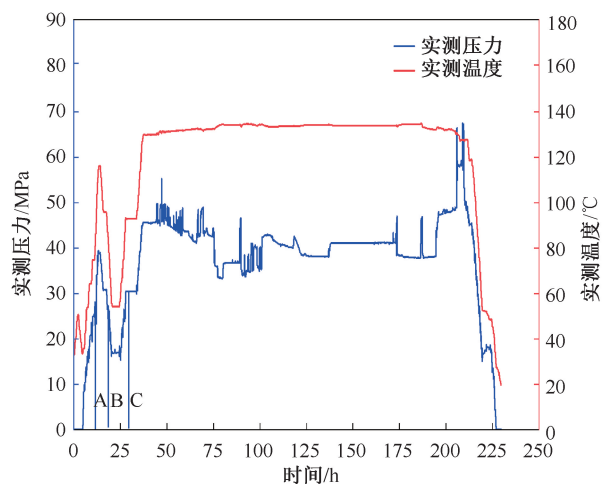


图2 XH2井实测压力和温度曲线

Fig.2 Operation pressure and temperature curves of XH2

从图2可以看出,当测试管柱下到4 137.52 m处(图中A点)发现环空不返液,现场施工人员认为套管漏失。随后往环空罐液,发现油管内有气泡返出,于是中途起钻查找套管内压井液漏失原因,当起到2 945.6 m处时见液面(液垫8.89 m<sup>3</sup>,且液面缓慢下降,实际加垫高度2 548.6 m(加垫7.7 m<sup>3</sup>,因此液面增加397 m,液垫增加1.19 m<sup>3</sup>)。当起钻到射流泵筒处时,发现滑套断销处两个孔有明显刺漏。为了验证下部测试阀是否开启,对射流泵筒以下管柱工具试压,油管正打压2.4 MPa稳压10 min不降,因此判定测试阀为关闭状态。更换射流泵筒,灌注环空液1.53 m<sup>3</sup>补满至井口,继续下钻;当测试管柱下至3 102 m处,套管不返液,发现漏失油管内气体排出。继续下钻,当管柱下到4 584.02 m时油管和套管均返液(C点),油管液垫高度增加2 035.42 m,液垫增加6.14 m<sup>3</sup>。后续对该井进行排液、关井压力恢复测试。

## 2.2 XH6井中途开井原因分析

XH6井是吉兰泰油田的一口预探井,人工井底4 706.76 m,最大井斜1 216.50 m/1.75°,测试井段为4 348.00~4 354.00 m,测试层位为E<sub>3</sub>l<sub>1</sub>,地层温度135.8℃,油层套管为φ139.7 mm。采用STV测试射孔+射流泵排液联作技术求取储层液性、产能、压力及相关地层参数。

测试管柱结构与XH2井相同。RTTS封隔器坐封位置为4 280.73 m,压井液为清水,相对密度1.0,测试前加清水液垫2 465.98 m。

该井发现漏失问题后及时起钻,将存储式电子压力计数据回放得到下钻和起钻时的实测压力和温度曲线,如图3所示。

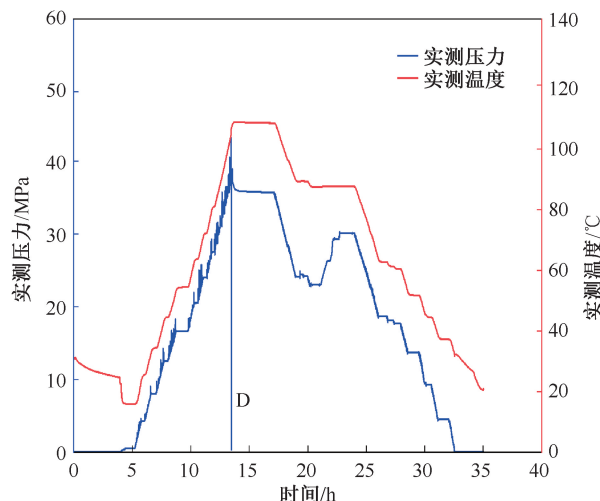


图3 XH6井实测压力和温度曲线

Fig.3 Operation pressure and temperature curves of XH6

从图3可以看出,当测试管柱下到3 824.17 m处(图中D点)发现环空不返液,继续下入3柱油管还是无液体返出,现场施工人员认为套管漏失。吸取XH2井的泵筒滑套漏失教训,投球后油管内正打压8 MPa,稳压3 min不降,判断射流泵筒无漏失,而射流泵筒以下存在漏失。然后继续打压至11 MPa打开滑套,环空开始返液,于是起出测试工具检查。工具起出后检查STV阀限位铜销已剪断,氮气室压力正常。

经对以上两口井测试失败原因分析认为,XH2井发现漏失后起出工具,只更换了射流泵筒,未拆解测试阀,仅进行了试压便认为测试阀无问题。而从图2曲线可以看出,在B点当环空压力低于氮气压力以后,测试阀重新关闭,实际在A点处剪销已被剪断,继续下钻,当环空压力大于氮气压力时测试阀又重新开启,所以出现了二次下钻时环空不返

液的情况。XH6 井起出工具后,对工具进行了拆解,发现剪销在 D 点处被剪断,导致测试失败。因此,需要结合改进型可锁定开井测试阀的原理,制定改进措施,保障测试施工质量。

3 改进措施

为保证测试成功,从下钻速度、剪销强度、充氮压力三方面综合考虑,提出了控制下钻速度减小环空激动压力、增大剪销剪切压力和过充氮气压力的改进措施。

3.1 控制下钻速度及激动压力

由图 3 可见,XH6 井下钻过程中激动压力最高达到 3.82 MPa,容易导致剪销剪断。根据测试期间激动压力变化分析,发现激动压力变化的诱因主要来自碰撞套管接箍<sup>[19]</sup>、压井液的冲击、摩擦套管壁。

(1)通常在下钻过程中,速度过快可导致井内液柱压力对井底额外多出了向下的冲击力<sup>[20]</sup>。当管串在通过套管接箍时发生碰撞,则冲击力方向发生反向变化,从而使得冲击力大于剪销力,导致剪销剪断。

(2)下钻速度过快,对压井液产生冲击,使得井内压井液发生轴向流动,在环空中产生波动压力,造成剪销发生预剪。

(3)油管属于超细型长杆管柱,在轴向压力下则可产生屈曲,而由于受到井眼轨迹、油管与套管柱自重和施加载荷影响,测试工具随油管入井经常出现摩擦套管壁情况,当摩擦力大于剪销力时,则可发生剪销剪断,从而造成非工作过程开关井。

因此,需要合理控制下钻速度,避免产生激动压力,额外增加环空液柱压力,导致剪销剪断。

3.2 提高剪销剪断压力值

根据测试阀的机械结构原理,提高剪销剪断压力值主要是通过以下方法:

(1)增加剪销数量:在加压接头上增加剪销安装孔 2~4 处,增加剪销数量可以增加施工的可靠性,增加数量的同时可以提高剪断压力值的设定值;

(2)增加单销剪切力:通过改变剪销直径来增加剪销的强度,加大剪销直径后的剪断压力见表 1。在对剪销尺寸改进的同时,还需要将剪销压帽安装剪销的孔径加大。

表 1 剪销剪断压力与直径的关系表  
Table 1 Relationship of shearing pressure and diagram of pins

剪销直径/ mm	单销剪断压力/ MPa	4 个剪销剪断压力/ MPa
4. 76	1. 88	7. 52
5. 00	2. 08	8. 32
5. 25	2. 29	9. 16
5. 50	2. 52	10. 08

3.3 “过充”氮气压力

环空液柱压力超过氮气压力后,开始作用到剪销上,因此,尽量提高氮气室下井前的氮气压力,下钻期间最大限度的减少环空静液柱压力高于氮气室压力的时间,确保氮气室压力在较长的时间内高于静液柱压力,避免剪销过早受力,确保测试阀处于关闭状态过充充氮压力 4 600 psi,随着下入深度的增加,由于热力学效应氮气压力逐渐增大,但氮气室体积保持不变,计算结果见表 2。

表 2 过充充氮压力计算  
Table 2 Calculation for nitrogen overcharging pressure

下入深度/ m (psi)	氮气室 压力/psi	氮气室体积/ ml	热力学 温度/T
地面	4 600	5 480. 4	298. 0
3 170 m(4 600 psi)	5 711	保持不变	370. 0
3 500 m(5 080 psi)	5 823	保持不变	377. 2
3 800 m(5 515 psi)	5 928	保持不变	384. 0
4 000 m(5 806 psi)	5 997	保持不变	388. 5
4 200 m(6 096 psi)	6 066	基本保持不变	393. 0

氮气压力充到 4 600 psi 后,下钻过程中,温度引起的氮气压力升高基本能平衡环空静压,不会出现下钻速度过快导致环空液柱压力与氮气压力的差值对剪销的预剪,剪销只需克服激动压力的影响。

4 应用实例

XH12 井是河套盆地临河坳陷巴彦淖尔凹陷兴隆构造带兴华构造兴华 1 西断鼻上的一口预探井。2021 年 9 月 12 日开钻,2021 年 10 月 15 日完钻,2021 年 11 月 12 日完井,完钻井深 5 497. 00 m,完钻层位临三段。2021 年 11 月 27 日至 2021 年 12 月 06 日,采用 STV 测试射孔联作工艺,地面操作为二开二关,二开射流泵排液,实际为三开三关,二开三开射流泵排液工作制度。测试层位为临二段,射孔井段为 5 325. 4~5 334. 0 m,8. 6 m/1 层;人工井底 5 388. 28 m,下钻时加清水液垫 3 324. 84 m



( $10.04 \text{ m}^3$ );压井液为清水,测试压差  $22.8 \text{ MPa}$ ;RTTS 封隔器坐封位置  $5\,263.24 \text{ m}$ 。

测试射孔排液联作管柱同 XH2 和 XH6 井。为防止下钻中途开井,按照改进型可锁定开井测试阀的改进措施,采取了如下措施:

(1)过充氮气压力。根据计算,测试阀下深  $5\,256.36 \text{ m}$  处需充氮气  $3\,500 \text{ psi}$ ,实际下井前过充氮气压力  $4\,500 \text{ psi}$ 。

(2)提高剪销剪切压力。将原来的直径  $4.76 \text{ mm}$  销钉换成直径  $5 \text{ mm}$ ,将 4 支销钉剪切压力由原来的  $7.52 \text{ MPa}$  提高到  $8.32 \text{ MPa}$ 。

(3)控制下钻速度。XH12 井测试完成后,电子压力计回放出的数据真实地记录了井底压力的动态变化,获得了清晰、完整的压力曲线,其形态反映出封隔器密封良好,测试开井、关井操作准确无误,测试工艺成功(见图 4)。

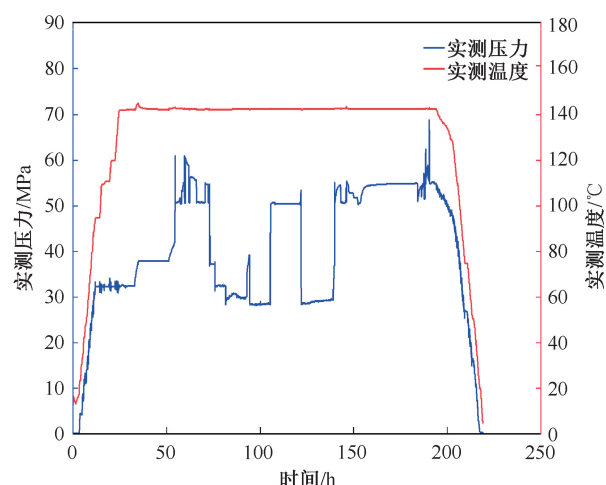


图 4 XH12 井实测压力和温度曲线

Fig. 4 Operation pressure and temperature curves of XH12

从图 4 可以看出,在下钻过程中,严格控制下钻速度,压力曲线没有大幅度波动,整个施工操作精准。一开井自然流动期间井底流压呈斜线上升,表明地层有一定的供液能力;一关井整体恢复速度较快,表明地层能量补充快。选取一次关井压恢数据绘制双对数-导数诊断曲线,分析表明,井储阶段短,过渡段较长且峰值低,水平径向流段较短,后期导数曲线上翘。选用复合油藏模型求取地层参数,获得油相有效渗透率  $3.76 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,表皮系数  $0.01$ ,复合半径  $8.63 \text{ m}$ ,探测半径  $37.1 \text{ m}$ ,表明储层渗透率低,井筒附近存在轻微污染,内区物性好于外区。

## 5 结论

(1)巴彦河套盆地深井研制的改进型可锁定开井测试阀,在使用过程中多口井出现了下钻中途开井情况,严重影响测试质量。采用实测压力曲线分析下钻过程中测试阀意外开启的时间点,结合工具中途起钻后拆解情况,发现剪销预剪是造成测试阀提前开启的直接原因。

(2)结合改进型可锁定开井测试阀机械原理,提出了控制下钻速度、提高剪销剪切压力和过充氮气压力三个措施提高测试阀下钻稳定性,可有效提升测试管柱的安全性和可靠性,提高测试成功率。

(3)采用改进措施后,XH12 井等多口井的 STV 测试射孔+射流泵排液联作技术施工一次成功,有效解除了下钻过程中环空激动压力对剪销机构的冲击,能够适应大斜度井和深井的测试作业环境。

致谢:感谢渤海钻探油气井测试分公司、库尔勒分公司、华北油田勘探事业部的大力支持,并同意该文公开发表。

## 参考文献

- [1] 胡浩华,白学东,程战民. 大斜度井 MFE 测试工艺探讨[J]. 油气井测试, 2004, 13(3): 38-39.  
HU Haohua, BAI Xuedong, CHENG Zhanmin. Discuss for MFE testing technology with big declination [J]. Well Testing, 2004, 13(3): 38-39.
- [2] McALISTER J A, NUTTER B P, LEBOURG M. A new system of tools for better control and interpretation of drill-stem tests[J]. Journal of Petroleum Technology, 1965, 17(2): 207-214.
- [3] 康七虎,刘德君. 压控式井下电子多流测试器在大庆油田的应用[J]. 石油钻采工艺, 2008, 30(2): 122-124.  
KANG Qihu, LIU Dejun. Application of down hole electronic pressure-controlled multiple flow evaluator to Daqing Oilfield [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2008, 30(2): 122-124.
- [4] 庄明之. 国内外地层测试器的现状与发展[J]. 石油机械, 1994, 22(7): 46-50.  
ZHUANG Mingzhi. Status quo and development of formation testers domestic and abroad[J]. China Petroleum Machinery, 1994, 22(7): 46-50.
- [5] IABBASSEN N, AL-MARZOUQI A M, SLATEWALA H S, et al. First time offshore Abu Dhabi-successful appraisal drill stem testing operations in extreme sour environment-a case study[C]. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, SPE 183371-MS, 2016.
- [6] DIAS F, MARCANCOLA F, WAKABAYASHI D, et al. First real-time drill-stem test in deepwater using fully

- acoustic telemetry monitoring and control of the well[C]. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, SPE-172111-MS, 2014.
- [7] SELVARAJ JAGANNATH. Enhanced well testing solution to improve operation safety and reliability [C]. IPTC-18283-MS, 2015.
- [8] WILSON A. Complex reservoir architecture validated by integrating well-testing outcomes[J]. Journal of Petroleum Technology, 2016, 68(2): 82-83.
- [9] AL-NAHDI A A, ABO ELSAUD T S, LEMENAGER E, et al. Reservoir test optimization in real time with new wireless telemetry system[J]. SPE-138698-MS, 2010.
- [10] 田明. 高压井测试中 MFE 开关井操作问题探讨[J]. 油气井测试, 2007, 16(2): 47-51.
- TIAN Ming. Discuss on opening and closing operation of MFE in high pressure well[J]. Well Testing, 2007, 16(2): 47-51.
- [11] 李加明. MFE 和 APR 地层测试器应用技术探讨[J]. 油气井测试, 2010, 19(4): 33-35, 38.
- LI Jiaming. Discuss for applied technology of MFE and APR formation tester[J]. Well Testing, 2010, 19(4): 33-35, 38.
- [12] 潘登, 胡长翠, 贾海, 等. 全通径压控测试阀及其应用[J]. 钻采工艺, 2003, 26(5): 73-75.
- PAN Deng, HU Changcui, JIA Hai, et al. Application of pressure operation testvalve (POTV) [J]. Drilling & Production Technology, 2003, 26(5): 73-75.
- [13] 李传新. 压控选择性测试阀在 DUNGOK-1 井的应用[J]. 油气井测试, 2013, 22(3): 47-49.
- LI Chuanxin. Application of selective pressure controlled test valve in DUNGOK-1 well[J]. Well Testing, 2013, 22(3): 47-49.
- [14] 王中武, 黄生松, 于跃, 等. 哈里伯顿选择测试阀简介[J]. 油气井测试, 1998, 7(4): 59-60, 63.
- WANG Zhongwu, HUANG Shengsong, YU Yue, et al. Introduction of selected tester valve of Halliburton[J]. Well Testing, 1998, 7(4): 59-60, 63.
- [15] 鹿成亮, 周元杰, 黄生松, 等. 选择测试阀在现场测试中的应用[J]. 油气井测试, 2006, 15(3): 59-61.
- LU Chengliang, ZHOU Yuanjie, HUANG Shengsong, et al. Application of selected well testing valve in field operation[J]. Well Testing, 2006, 15(3): 59-61.
- [16] 闫睿昶, 陈新勇, 汝大军, 等. 巴彦河套新区深井钻完井关键技术[J]. 石油钻采工艺, 2022, 44(1): 15-19.
- YAN Ruichang, CHEN Xinyong, RU Dajun, et al. Key technologies for deep well drilling and completion in Bayan Hetao New Area[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2022, 44(1): 15-19.
- [17] 张以明, 张锐锋, 王少春, 等. 河套盆地临河坳陷油气勘探重要发现的实践与认识[J]. 中国石油勘探, 2018, 23(5): 1-11.
- ZHANG Yiming, ZHANG Ruifeng, WANG Shaochun, et al. Practice and understanding of great discovery in oil and gas exploration in Linhe depression of Hetao Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2018, 23(5): 1-11.
- [18] 赵刚, 徐文光, 蔡江, 等. 吉兰泰弱胶结砂岩油藏试油开采防砂技术优化[J]. 油气井测试, 2021, 30(6): 33-40.
- ZHAO Gang, XU Wenguang, CAI Jiang, et al. Optimization of production test and sand control technology in Jilantai weakly cemented sandstone reservoir [J]. Well Testing, 2021, 30(6): 33-40.
- [19] 陶谦, 夏宏南, 彭美强, 等. 高温高压油井套管下放波动压力研究[J]. 断块油气田, 2006, 13(4): 58-60.
- TAO Qian, XIA Hongnan, PENG Meiqiang, et al. Study on fluctuating pressure of casing running in high temperature and high pressure oil wells[J]. Fault Block Oil and Gas Field, 2006, 13(4): 58-60.
- [20] RUBIANDINI R S. New formula of surge pressure for determining safe velocities[C]. SPE-64480-MS, 2000.

编辑 刘振庆

**第一作者简介:**陈军,男,1977 年出生,本科,工程师,2012 年获中国石油大学(华东)石油工程专业学士学位,现主要从事钻井及试油工程管理与应用工作,电话:13899058822, E-mail:tlm\_cj@cnpc.com.cn。地址:新疆巴州库尔勒市塔指东路塔指 5 区兴塔路 64 号,邮政编码:841000。