

# 致密砂岩气井压裂测试排液一体化工艺技术

刘立砖<sup>1</sup>, 卢中原<sup>1</sup>, 李宇<sup>1</sup>, 刘境玄<sup>1</sup>, 孔小龙<sup>1</sup>, 丁群<sup>2</sup>

1. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司 天津 300452

2. 中国石油冀东油田公司勘探部 河北唐山 063004

通讯作者: Email: liulzh2@cnooc.com.cn

引用: 刘立砖, 卢中原, 李宇, 等. 致密砂岩气井压裂测试排液一体化工艺技术[J]. 油气井测试, 2020, 29(2): 21-26.

Cite: LIU Lizhuan, LU Zhongyuan, LI Yu, et al. Integrated technology of fracturing test and drainage in tight sandstone gas wells [J]. Well Testing, 2020, 29(2): 21-26.

**摘要** 针对山西某区块传统压裂测试效率低、资源配置不合理问题,在常规测试工艺基础上,结合该区块致密砂岩气的开发方式,设计出适合于本区块的压裂测试排液一体化管柱,形成了致密砂岩气井压裂测试排液一体化工艺技术。管柱采用 RTTS 封隔器进行油套管封隔;压裂时通过油管注入压裂液;压裂放喷后不动管柱直接连续气举生产。在本区块共应用 9 井次,井口最高施工压力 57 MPa,未出现管柱串漏现象,施工成功率 100%。该工艺操作简便、安全性高,为致密砂岩气井的增产挖潜提供了技术支撑。

**关键词** 致密砂岩气藏; 压裂; 气举生产; 一体化管柱; 电缆测试; RTTS 封隔器

**中图分类号**: TE353      **文献标识码**: B      **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.02.004

## Integrated technology of fracturing test and drainage in tight sandstone gas wells

LIU Lizhuan<sup>1</sup>, LU Zhongyuan<sup>1</sup>, LI Yu<sup>1</sup>, LIU Jingxuan<sup>1</sup>, KONG Xiaolong<sup>1</sup>, DING Qun<sup>2</sup>

1. Engineering Technology Branch of CNOOC Energy Development Co. Ltd., Tianjin 300452, China

2. Exploration Department of PetroChina Jidong Oilfield Company, Jidong, Hebei 063004, China

**Abstract:** In view of the problems of low efficiency of traditional fracturing test and unreasonable resource allocation in a block in Shanxi Province, combining with the development method for tight sandstone gas of this block, an integrated fracturing test and drainage pipe string suitable for this block was designed on the basis of conventional testing technology, and the integrated technology of fracturing test and drainage was formed for tight sandstone gas well. The pipe string is sealed with RTTS packer. Fracturing fluid is injected through tubing during fracturing. The well produces with gas lift directly and continuously after fracturing and discharge. In this block, this string was applied in 9 wells with the highest wellhead operating pressure of 57 MPa. There is no pipe string leakage, and the operating success rate of 100%. This technology is user-friendly and safe, which provides a technical support for stimulation and exploration of tight sandstone gas wells.

**Keywords:** tight sand gas reservoir; fracturing; gas lift producing; integrated pipe string; cable test; RTTS packer

致密砂岩气是非常规天然气的重要组成部分,在天然气资源结构中的意义和作用日益显著。我国致密砂岩气资源丰富,可采资源量达到  $(9 \sim 13) \times 10^{12} \text{ m}^3$ <sup>[1]</sup>。鄂尔多斯盆地位于中国中西部地区,为中国第二大沉积盆地,资源丰富。鄂尔多斯盆地东缘致密气藏前期勘探开发投入较少,尚未掌握成熟的低渗储层勘探开发技术,部分核心技术处于研究空白<sup>[2]</sup>。山西某区块地层发育齐全,自上而下依次发育第四系黄土,三叠系延长组、纸坊组、和尚沟组、刘家沟组,二叠系石千峰组、上石盒子组、下石

盒子组、山西组、太原组,石炭系本溪组以及奥陶系马家沟组<sup>[3]</sup>。研究区砂岩物性数据统计分析表明,本区块地质条件复杂,储集层的孔隙度和渗透率均较低,孔隙度范围为 1.2%~17.5%,其中分布于 2%~10%的占 60%;渗透率为 0.1~160.0 mD,分布在 0~0.5 mD 的占 80%,压力系数 0.73~1.09,属于低孔低渗砂岩<sup>[4-5]</sup>。针对致密砂岩气这种非常规天然气,加砂压裂是目前国内外比较成熟的储层改造措施<sup>[6-8]</sup>。

2013 年我公司开始在山西某区块致密砂岩气

井进行压裂试气施工作业,2015年完成3口探井5层压裂试气施工。当时压裂管柱结构只具有压裂、测试功能,但是压后效果不太理想,排液不及时且不连续,压后产气量小,未实现工业气流,大多数井需要进行氮气气举<sup>[9-10]</sup>。而管柱结构存在许多问题,需要洗压井更换管柱来进行氮气气举,造成二次污染地层且工程衔接不紧密;测试录取资料不完备,未取得合格的压力恢复资料;工具选择不合理,费用昂贵,实施效果却不显著;助排措施不完善,返排周期长等。

近年,由于技术改进、成本管理、时效管理等多方面因素影响,联作一体化工艺技术日益增多并逐渐成熟<sup>[11-14]</sup>。李军等<sup>[15]</sup>针对储层改造后若不能及时排液会造成二次污染等问题,研究了不动管柱分层测试管柱工艺,实现了压裂后不动管柱排液求产,大大缩短了排液周期。郭士生等<sup>[16-17]</sup>针对海上油田作业成本高,海上平台空间受限等问题开发了适用于海上平台射孔、压裂、测试与快速返排的联作工艺,研制相应工具,满足海上平台不动管柱一次完成射孔、压裂、测试与快速返排求产的施工要求,并完成了对一体化工具的优化设计。李宝军等<sup>[18]</sup>针对大宁-吉县区块含气层序多,层间干扰大等问题提出了致密砂岩气储层压裂试气一体化技术,实现不动管柱一井多层分层改造完成后一次合层排液试气。田向东等<sup>[19]</sup>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,形成半封闭式气举快速诱喷测试技术。李加明等<sup>[20]</sup>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。

使用改进前压裂管柱为:管鞋+外加厚油管+压力计托筒+RTTS封隔器+外加厚油管+滑套+外加厚油管+悬挂器,管柱不具有井下关井功能,如果需要气举或循环洗井,则需要钢丝作业去打开滑套,但是在压裂后滑套内筒被压裂支撑剂冲蚀,滑套不能打开,则需要更换管柱后再气举。

总结前人提出压裂测试一体化联作技术,结合本区块实际作业情况,需要一套经济适用的压裂试气工艺技术,海上平台一体化作业管柱工具复杂、成本高,不太适用于陆地油田作业,而陆地油田压裂测试一体化管柱功能较少,结合之前出现的问题和经验,本研究对管柱结构做出针对性的改进,提出了压裂测试排液一体化管柱。实现压后能连续快速排液以及实现试气工程的其它目的,以减少地

层污染,能够及时氮气气举,最大可能地提高产能,真实体现出地层产能的本来面貌,同时减少施工周期和减少施工成本。

## 1 压裂测试管柱设计

针对作业过程中出现的问题,如排液不及时,管柱无法实现气举,录取资料不完善等一系列问题,需形成一套适用于本区块的压裂测试一体化管柱,以节约作业成本,提高作业时效。在原压裂测试管柱基础上进行改进,采用一趟管柱实现压裂、返排、测试、井下关井等4项功能。

### 1.1 设计原则

- (1) 确保压裂及测试作业的施工安全;
- (2) 保证压裂后能够迅速返排测试,实现一体化;
- (3) 能够取得合格的压力恢复资料;
- (4) 满足测试结束后能够安全迅速循环压井的施工要求;
- (5) 降低成本,节约开支。

### 1.2 管柱设计方案

管柱结构(自下而上):管鞋+外加厚油管+压力计托筒+RTTS封隔器+外加厚油管+坐落接头+外加厚油管+投球滑套+外加厚油管+气举阀1+外加厚油管+气举阀2+外加厚油管+悬挂器,如图1所示。

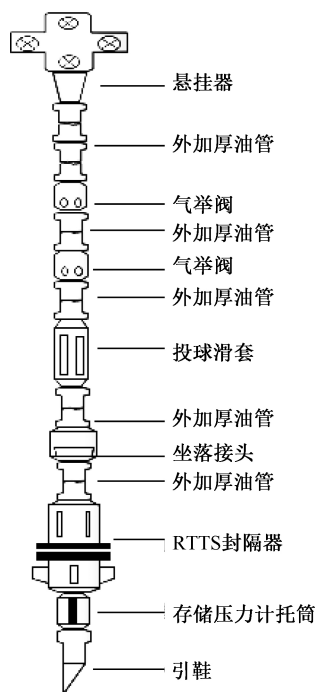


图1 压裂测试排液一体化管柱结构示意图

Fig.1 Structure of integrated pipe string for fracturing test and drainage

(1) 压力计托筒与封隔器相连接, 尽量放在最接近压裂层部位, 从而获得准确的地层压力, 下接引鞋;

(2) 坐落接头位置在封隔器以上, 尽量靠下, 以便井下关井测试减少井筒储集的影响, 取得合格的压力恢复资料;

(3) 选择投球打开滑套, 减少了钢丝作业程序, 投球滑套接在封隔器上部 20 m 左右, 测试结束后投球滑套能够正常打开, 管柱能够建立循环;

(4) 气举阀选用两级气举, 以降低开启压力, 根据气举阀开启压力来设计深度, 两气举阀相隔约 300 m;

(5) 现场备好油管短节, 以调整封隔器位置及悬挂器位置。

### 1.3 工具优选

(1) 压力计托筒(带压力计): 安装在工作筒内随油管下入, 全过程记录压裂、排液期间井下地层压力和地层温度的变化情况<sup>[21]</sup>, 通过井下关井最大限度的减小井筒储集效应影响, 取得优质的测试资料。

(2) RTTS 封隔器: 通过旋转管柱坐封, 上提解封, 是全通径封隔器, 管柱内允许大排量的流体通过; 可多次坐封, 有利于多次尝试调整悬挂器位置<sup>[22]</sup>; 碳钨合金卡瓦使其具有更高的承压能力; 封隔器上部安装有水力锚, 在压裂作业中水力锚张开咬合套管壁, 可以承受巨大的向上压力, 使封隔器不至于失封。

(3) 坐落接头: 放喷排液结束后通过钢丝投放堵塞器至坐落接头内, 堵塞以关闭油管通道, 实现井下关井, 在井筒储集影响最小的情况下, 进行地层压力恢复测试, 耐压 70 MPa。

(4) 投球滑套: 在一层测试结束后, 通过投入钢球, 从油管内打压至 15 MPa, 开启滑套, 实现油套连通进行循环洗压井作业; 使套管内封隔器上下压差平衡, 保证顺利解封; 球座内表面 QPQ 处理, 具有硬度高、良好的耐磨性、良好的抗腐蚀性、处理后变形小, 压裂过程中压裂砂对球座无冲蚀磨损, 滑套正常开启。投球滑套参数如下: 滑套设计开启压力值可根据实际井深设计, 一般在 15 MPa; 工具承压 70 MPa, 满足压裂施工压力; 球座通径 53 mm, 可以使钢丝工具串通过满足测试需求, 同时满足压裂施工排量 and 承压要求; 钢球直径 57 mm。

(5) 高压固定式气举阀: 具有成本低、无复杂的机械装置、不受砂、石蜡及盐的影响、容易维护等优

点, 适用于压裂后的气举返排作业<sup>[23]</sup>。其工作原理: 气举阀由注气压力控制。波纹管充装氮气压力, 此压力提供气举阀的关闭压力。当注气压力超过关闭压力时, 波纹管被压缩。因此, 气举阀阀杆离开阀座, 使气注入生产的管道。气举阀可以实现压裂后的迅速返排, 只需连接地面管线, 环空注氮即可, 操作简便, 大大提高了返排效率。

气举阀结构如图 2 所示, 其性能特点如下:

(1) 壳体均采用 Cr-Ni 不锈钢制造, 具有较好的防腐能力。

(2) 三层 Ni-Cu 合金波纹管。

(3) 波纹管内充硅油减震及机械结构限制行程。

(4) 碳化钨钢球(Cu-Ag 合金填充焊接)。

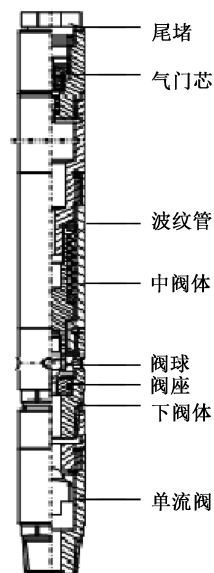


图 2 QJF25.4-1H 系列高压固定式气举阀结构示意图

Fig.2 Structure of high-pressure and fixed gas lift valve of QJF25.4-1H series

主要部件性能:

(1) 阀球阀座: 阀开启前(或关闭前)0.7 MPa 时, 阀球阀座间漏失量不大于 100 泡/min。

(2) 密封件: 耐压大于 45 MPa, 耐温不小于 160 ℃, 耐石油、天然气腐蚀。

(3) 气门芯: 连续敲击 100 次后能可靠密封。

(4) 波纹管: 耐单独内压 15 MPa, 耐内外压差 45 MPa。

(5) 单流阀: 在 15 MPa 液压作用下漏失量不大于 3 滴/min。

## 2 应用效果

以 A 井太 1 段为例, 成功应用该趟管柱进行压

裂测试排液一体化施工。A 井为探井,井型为直井,井深 1 807.0 m,完钻层位奥陶系马家沟组,压裂试气层位太 1 段、盒 4 段、纸坊组,太 1 段射孔段

1 635.1~1 638.3 m,孔隙度 5.11%,含气饱和度 38%,泥质含量 5.21%。综合解释为气层。井身结构数据见表 1。

表 1 A 井井身结构数据  
Well configuration data of Well A

钻头尺寸×深度/ (mm×m)	套管名称	外径/ mm	壁厚/ mm	钢级	下入深度/ m	水泥返高/ m	固井质量	阻流环深/ m
444.50×157.0	表层套管	339.7	10.92	K55	156.90	地面	合格	/
311.15×600.0	技术套管	244.5	8.94	J55	598.21	地面	合格	/
215.90×1 807.0	生产套管	139.7	7.72	N80	1 806.07	地面	合格	1 794.56

太 1 段选用射孔-测试联作管柱进行测试,求取参数后,更换为压裂排液试气一体化管柱。其施工工序如下:

- (1)首先进行设备搬迁,井场验收,准备开工;
- (2)通井刮管,探人工井底,替入测试液,对井筒及防喷器组试压 30 MPa;
- (3)下射孔测试联作管柱,校深,坐封 PT 封隔器同时打开 MFE 测试阀,环空加压 16 MPa 射孔;
- (4)开井放喷,井口无气无液返出,初开井 3.5 h;
- (5)上提管柱,关闭 MFE 测试阀初关井,一关井取压力恢复资料;
- (6)下放管柱开 MFE 测试阀二开井,二开井 5 h 见可燃气,但气量小不足以求取稳定产量,二关井;
- (7)投杆打开一体式反循环阀,采用 1.5% KCl 测试液反循环压井,上提管柱自由解封封隔器,观察井口无溢流,起钻;下入压裂测试排液一体化管柱;
- (8)对地面管线试压 59.2 MPa 稳压 10 min 合格,进行压裂施工作业,加砂 18.63 m<sup>3</sup>。本井按设计完成加砂压裂,施工较为顺利,设计符合率较高,压裂施工曲线如图 3 所示。

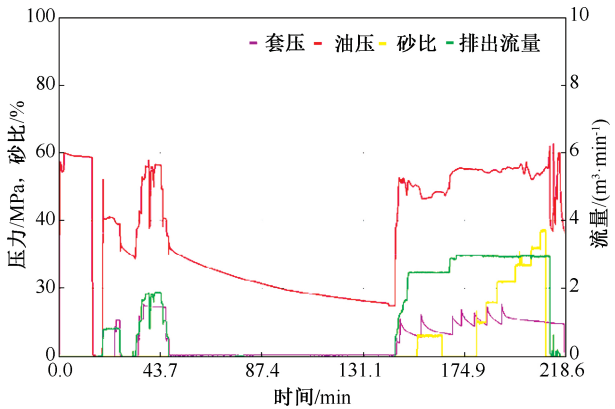


图 3 LX-A 井压裂施工曲线图  
Fig.3 Fracturing curve of Well LX-A

(9)压裂结束后地面关井,关井 1 h 后,分别采用 4 mm、8 mm 和 12 mm 油嘴控制开井放喷,最后敞放,间歇性出液,返排率 32.48%;

(10)连接地面管线,采用膜制氮气举,氮气泵车环空加氮气,打开气举阀进行气举排液,最高泵压 8.61 MPa;

(11)钢丝下压力计探得液面深度 1 582.35 m,井口关井;

(12)开井继续气举放喷,最终返排率 43.66%,气产量未达到工业气流;

(13)井口投球,正加压 15 MPa 打开滑套,倒流程反循环压井,起钻,测试结束,进行上部层位施工。

A 井压裂施工正常,管柱及工具密封良好,没有出现管柱及工具刺漏等情况,压裂后间歇出液,采用膜制氮设备环空注气,打开气举阀进行气举,排液结束后钢丝下入压力计进行测压,实现了压裂排液测试一体化。

2015 年,该压裂测试排液一体化管柱技术在该致密砂岩气区块共应用 9 井次,井口最高施工压力 57 MPa,未出现管柱串漏现象,气举阀开启正常,施工成功率 100%。

该致密砂岩气井采用该技术压裂后返排效果理想,平均排液时间 5 d,相对常规排液技术,缩短排液时间 3~5 d,达到了快速返排的目的。最大限度地降低了入井液对气层造成的二次污染。其中多口井压裂排液后均取得高产工业气流。

该技术使试气工序衔接得更加紧密,施工周期缩短(平均每层缩短施工周期 7~8 d),既可减少压裂液对储集层的浸泡时间,降低储集层的损害程度,又可降低作业成本(使施工减少起下管柱和洗压井各 2 趟以上),改善作业环境,实现绿色施工,具有广泛的推广应用前景。

通过 10 井次的现场应用证明,压裂测试排液一体化管柱在该致密气区块勘探井应用是可靠的,解

决了低压气藏压裂后返排难的问题,实现了压裂放喷后不动管柱直接连续气举生产,节省了作业时间,节约了作业成本,避免了地层二次污染。压裂后采用气举排液,返排速度快,返排率高,能最大限度降低残余压裂液对地层的伤害,增产效果好。采用投堵塞器进行井下关井,准确录取了井下资料。

## 4 结论

(1)针对致密砂岩气单层测试施工周期长设计了压裂试气排液一体化管柱,该管柱具备压裂、快速排液、测试、井下关井等功能解决了现场施工周期长的难题。

(2)现场施工操作容易,工具性能可靠,一趟管柱实现四项功能,现场应用效果显著,为该致密砂岩气井的增产挖潜提供了一项技术保证。

(3)通过改进压裂试气一体化管柱,大大节省了压裂试气工期,提高资料的准确性,对加快非常规油气开采有一定指导意义。但是这套一体化管柱适合致密气单层压裂试气,对于开发井多层压裂不适用,需要对工艺进行持续改进。

**致谢:**本文在撰写和数据的获取过程中得到了单位部门领导和同事的大力支持,在此表示感谢。

## 参考文献

- [1] SURDAM R C. A new paradigm for gas exploration in anomalously pressured "tight gas sands" in the rockymountain Laramide Basins [M]. Tulsa: AAPG, 1997:283-289.
- [2] 张林强,郭布民,王杏遵,等. 鄂尔多斯盆地东缘致密气藏压裂技术探索与实践[J]. 辽宁化工,2017,46(5):451-454.  
ZHANG Linqiang, GUO Bumin, WANG Xingzun, et al. Exploration and practice of fracturing technology of tight gas reservoir in the eastern margin of Ordos basin[J]. Liaoning Chemical Industry, 2017, 46(5): 451-454.
- [3] 朱春明,王新根,董社霞,等. 临兴区块致密气井油管直径优选研究[J]. 石油机械,2017,45(4):74-78.  
ZHU Chunming, WANG Xingen, DONG Shexia, et al. Study on tubing diameter optimization for tight gas well in Block Linxing [J]. China Petroleum Machinery, 2017, 45(4): 74-78.
- [4] 郭本广,许浩,孟尚志,等. 临兴地区非常规天然气合探共采地质条件分析[J]. 中国煤层气,2012,9(4):3-6.  
GUO Benguang, XU Hao, MENG Shangzhi, et al. Geology condition analysis for unconventional gas co-exploration and concurrent production in Linxing area [J]. China Coalbed Methane, 2012, 9(4): 3-6.
- [5] 吴占民,冯雷,夏忠跃,等. 临兴区块致密砂岩气 3D 井设计与施工[J]. 石油机械,2016,44(7):42-45.  
WU Zhanmin, FENG Lei, XIA Zhongyue, et al. Design and drilling operation of 3D well of tight sand gas in Block Linxing [J]. China Petroleum Machinery, 2016, 44(7): 42-45.
- [6] 马新华,贾爱林,谭健,等. 中国致密砂岩气开发工程技术与实践[J]. 石油勘探与开发,2012,39(5):572-579.  
MA Xinhua, JIA Ailin, TAN Jian, et al. Tight sand gas development technologies and practices in China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(5): 572-579.
- [7] 车明光,王永辉,彭建新,等. 深层—超深层裂缝性致密砂岩气藏加砂压裂技术——以塔里木盆地大北、克深气藏为例[J]. 天然气工业,2018,38(8):63-68.  
CHE Mingguang, WANG Yonghui, PENG Jianxin, et al. Sand fracturing technologies for deep and ultra-deep fractured tight sandstone gas reservoirs: A case study of Dabei and Keshen gas reservoirs in the Tarim Basin [J]. Natural Gas Industry, 2018, 38(8): 63-68.
- [8] 姚锋盛,曹冰,胡忠太,等. 东海低渗气藏脉冲式加砂压裂技术[J]. 油气井测试,2019,28(3):42-48.  
YAO Fengsheng, CAO Bing, HU Zhongtai, et al. Pulse sanding fracturing technology for low permeability gas reservoirs in the East China Sea [J]. Well Testing, 2019, 28(3): 42-48.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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):59-60,65.  
SHAO Limin. Integration technology for low permeability reservoir fracturing flowback [J]. Natural Gas and Oil, 2013, 31(3): 59-60, 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] 吴顺林,李宪文,张矿生,等. 一种实现裂缝高导流能力的脉冲加砂压裂新方法[J]. 断块油气田,2014,21(1):110-113.  
WU Shunlin, LI Xianwen, ZHANG Kuangsheng, et al. A new method of pulse sand fracturing to achieve high conductivity of fracture [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2014,21(1):110-113.
- [14] 唐瑞江. 元坝气田低渗透致密砂岩气藏压裂优化技术[J]. 天然气工业,2015,35(7):55-59.  
TANG Ruijiang. Optimization of fracturing technology for low-permeability tight sandstone gas reservoirs in the Yuanba gas field, Sichuan basin [J]. Natural Gas Industry, 2015,35(7):55-59.
- [15] 李军,杨子,吴轩. 不动管柱分层测试管柱工艺研究与应用[J]. 辽宁化工,2017,46(9):926-929.  
LI Jun, YANG Zi, WU Xuan. Research and application of separate layer testing technology without pulling string-flowing back pipe [J]. Liaoning Chemical Industry, 2017,46(9):926-929.
- [16] 郭士生,赵战江,聂锴,等. 海上平台射孔、压裂、测试与水力泵快速返排求产联作测试工艺技术研究与应用[J]. 油气井测试,2015,24(1):41-43.  
GUO Shisheng, ZHAO Zhanjiang, NIE Kai, et al. Technology research and application of combination technology of perforation, fracturing, testing, hydraulic jet pump fast reverse flushing and testing on offshore platform [J]. Well Testing, 2015,24(1):41-43.
- [17] 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.
- [18] 李宝军,高永海,周承富,等. 大宁-吉县区块致密砂岩气储层压裂试气一体化技术[J]. 油气井测试,2018,27(5):56-60.  
LI Baojun, GAO Yonghai, ZHOU Chengfu, et al. Integration technology of fracturing and gas test for tight sandstone gas reservoirs in Daning-Jixian block [J]. Well Testing, 2018,27(5):56-60.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 何博,潘登,赵益秋. 新型钢丝投捞井下电子压力计技术[J]. 钻采工艺,2015,38(4):74-76.  
HE Bo, PAN Deng, ZHAO Yiqiu. A new type of slickline running and pulling downhole electronic pressure gauges technology [J]. Drilling & Production Technology, 2015,38(4):74-76.
- [22] 赵宇光. RTTS安全接头脱手解卡技术[J]. 油气井测试,2019,28(3):21-25.  
ZHAO Yuguang. Releasing stuck technology for RTTS safety joint [J]. Well Testing, 2019,28(3):21-25.
- [23] 曹毅,田发国,李志超,等. 气举阀排液技术在苏里格气田的应用[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版),2015,17(4):37-39,49.  
CAO Yi, TIAN Faguo, LI Zhichao, et al. Application of gas lift valve drainage technology in Sulige gas field [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition), 2015,17(4):37-39,49.

编辑 王 军

第一作者简介:刘立砖,男,1984年出生,工程师,2007年毕业于河北农业大学测控技术与仪器专业,从事井下作业、非常规油气开采工作。电话:022-66907419,13702061097; Email: liulzh2@cnooc.com.cn。通信地址:天津市滨海新区塘沽渤海石油滨海新村合作楼非常规研究院,邮政编码:300452。