

◀油气开发▶

doi:10.11911/syztjs.2019123

RFID 智能滑套设计与试验研究

黎 伟^{1,2}, 夏 杨^{1,2}, 陈 曜^{1,2}

(1. 西南石油大学机电工程学院, 四川成都 610500; 2. 石油天然气装备教育部重点实验室(西南石油大学), 四川成都 610500)

摘要: 为了解决传统水平井分段压裂技术操作复杂、无法达到全通径和压裂级数受限的问题, 提出了基于 RFID 智能滑套的水平井分段压裂技术。在分析水平井分段压裂技术特点的基础上, 研究了 RFID 智能滑套压裂管柱的结构和技术难点, 开展了 RFID 智能滑套结构的方案优选、模拟分析、单元试验和室内样机试验。试验结果表明, RFID 智能滑套在温度 120 °C、压差 10~70 MPa 工况下均能顺利开启至设定开度, RFID 标签球能够控制 RFID 智能滑套窗口达到预设开度, 且 RFID 通讯成功率良好。研究表明, RFID 智能滑套水平井分段压裂技术能够降低水平井压裂施工成本, 提高油气开发效率, 为油气开发向智能化、低成本化和高效化方向发展提供技术支持, 具有良好的应用前景。

关键词: 水平井; 分段压裂; 射频识别; 智能滑套; 结构设计; 试验研究

中图分类号: TE934⁺.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-0890(2019)06-0083-06

Design and Experimental Study of an RFID Intelligent Sliding Sleeve

LI Wei^{1,2}, XIA Yang^{1,2}, CHEN Xi^{1,2}

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610500, China; 2. Key Laboratory of Oil and Gas Equipment Ministry of Education, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610500, China)

Abstract: In order to overcome the deficiencies of conventional horizontal well staged fracturing technologies, including complicated operations, the inability to achieve full drift size and limited number of fracturing stages, a horizontal well staged fracturing technology with an RFID intelligent sliding sleeve was proposed. The pipe string structure and technical challenges of RFID intelligent sliding sleeve fracturing technology were studied, on the basis of analyzing the characteristics of horizontal staged fracturing technologies and experiments carried out scheme optimization, simulation analysis, unit test and indoor prototype test for an RFID intelligent sliding sleeve structure. The test results showed that the RFID intelligent sliding sleeve could be smoothly opened to the preset openness under the temperature of 120 °C and pressure difference of 0~70 MPa. The RFID tag ball can control the window of RFID intelligent sliding to the preset openness, with RFID communication having an excellent success rate. The results indicated that RFID intelligent sliding sleeve-based horizontal well staged fracturing technology could reduce the cost of horizontal well fracturing, improve the efficiency of oil and gas development, and provide technical support for the intelligent, cost-saving and efficient development of oil and gas, with good foundation for future application.

Key words: horizontal well; staged fracturing; RFID; intelligent sliding sleeve; structural design; experimental study

近年来, 随着水平井钻井技术的发展和对低渗透油气藏开发技术研究的不断深入, 利用水平井技术可以有效开发低渗透、特低渗透及致密性油气藏。水平井分段压裂在增大油藏接触面积、提高储层动用程度方面具有较大的技术优势, 且能更大程度地缩短施工时间、降低开发成本^[1~3]。国外智能滑套分段压裂技术已成功进行了现场试验, 智能滑套激活成功率达到 86%, 并在缩短施工时间和降低成本方面显现出巨大的优势^[4~8]。目前, 国内对滑套

收稿日期: 2019-04-22; 改回日期: 2019-10-30。

作者简介: 黎伟 (1983—), 男, 湖北孝感人, 2006 年毕业于长江大学机械设计制造及其自动化专业, 2010 年获西南石油大学石油矿场机械专业硕士学位, 2013 年获西南石油大学海洋油气工程专业博士学位, 副教授, 硕士生导师, 主要从事油气钻采井下工具的研发及仿真研究。E-mail: liwei867@aliyun.com。

基金项目: 四川省科技计划项目之基础研究项目“水平井多级压裂 RFID 滑套开启技术及大间隙内置金属构件挤压胶筒机理研究”(编号: 2015JY0078) 和四川省科技计划项目之科技支撑计划项目“页岩气开发核心装备技术研究及应用”(编号: 215SZ0010) 联合资助。

分段压裂技术的研究与应用也日趋增多^[9-12]。随着油气田勘探开发技术快速发展,油气开发作业正在向智能化、低成本化和高效化方向发展。为了优化传统压裂技术,基于RFID智能滑套的水平井分段压裂技术及其配套工具RFID智能滑套应运而生。传统压裂技术耗时长,操作复杂,后期需钻铣,重复压裂时需重新下放管柱,不可作为生产管柱使用,导致作业成本高于RFID智能滑套压裂技术^[13-14]。据统计,单井压裂成本占总投资的35%,而压裂作业中压裂液费用、压裂工具和技术服务费占压裂作业总费用的58%,改进压裂工具和优化技术方案对降低压裂成本具有显著作用^[15-18]。

相对于传统的水平井压裂技术,RFID智能滑套压裂技术可实现分段压裂作业、可选择性压裂作业和重复压裂作业,其配套工具RFID智能滑套还实现了压裂管柱全通径,为完井作业后进行其他相关作业提供了通道,降低了起下管柱的次数和成本。RFID智能滑套压裂管柱后续还可以作为生产管柱。为此,笔者阐述了RFID智能滑套压裂技术原理,通过与传统压裂技术的实施方式进行对比,分析了RFID智能滑套压裂技术的优势;对RFID智能滑套结构进行了设计与分析,结合单元功能试验及室内样机试验,验证了RFID智能滑套单元功能的可行性及整机运作的可靠性。RFID智能滑套可为实现油气开发作业智能化提供技术支持或参考,在改善油田采收率、降低生产成本和提高生产效率等方面具有良好的应用前景。

1 RFID智能滑套压裂技术原理

水平井分段压裂是提高油气井产量的有效措施之一,传统的多级投球分段压裂技术使用封隔器和滑套将水平井分隔为若干层段,压裂施工时依次投入不同直径的阀球,以打开相应的滑套进行压裂,分段压裂完成后返排出阀球。该技术分段压裂级数受限,且流道内通径自上而下逐级减小,压裂完成后需钻铣球座以达到全通径,储层改造开发过程复杂,压裂作业成本较高^[19-21]。

RFID智能滑套压裂技术,是将封隔器与RFID智能滑套通过多级串联,组成压裂管柱,将油井分为若干压裂层段,井口投送RFID标签球控制滑套做出相应动作,实现全通径的分段压裂、可选择性压裂和重复压裂等施工作业。其压裂管柱后期不仅可作为生产管柱,还可进行找堵水作业。RFID智能

滑套压裂施工流程为^[22]:

1)将压裂管柱组装好并下至设计井深,然后井口投球、加压,坐封封隔器,所有滑套均处于关闭状态。

2)地面压裂机组连接压裂管汇,投球器串联在压裂机组与压裂管柱之间,将写入信号的RFID标签球装入投球器内;地面压裂机组发出压力脉冲信号,最底层智能滑套识别该脉冲信号后,滑套开启,开始压裂最底层滑套对应的地层。

3)最底层滑套对应的地层压裂达到施工要求后,调整排量,投球器投入对应RFID标签球,关闭最底层智能滑套,加压一段时间,根据监测压力判断智能滑套是否成功关闭;经过设定延时时长后,开启下一层智能滑套,提高排量,压裂下一层滑套对应的地层。

4)重复步骤3),即可依次压裂剩余层段;完成最顶层压裂后,投入RFID标签球关闭最顶层滑套,此时所有滑套均处于关闭状态。

5)压裂机组发出压力脉冲信号,打开最底层智能滑套,然后投入RFID标签球,打开井下所有其余滑套,开井投产,返出所有RFID标签和多余压裂液。

传统压裂(多级投球压裂滑套)与RFID智能滑套的工作方式对比结果见表1。从表1可以看出,RFID智能滑套压裂技术对提高油气开发效率和降低压裂作业成本具有明显优势。

表1 传统压裂与RFID智能滑套工作方式对比

Table 1 Comparison of the working modes between conventional fracturing and the RFID intelligent sliding sleeve

工作方式	多级投球压裂滑套	RFID智能滑套
管串下入方式	随压裂管柱一起下入	随压裂管柱一起下入
压裂级数	目前最多可达24级	理论上无限级
通讯方式	无	RFID标签作为信号载体
是否全通径	否	全通径
滑套开启方式	投球滑套	电机驱动滑套
排量是否可调	是	无级可调
孔是否可关闭	否	是
重复压裂方式	再次下管柱再次投球	再次投入标签
是否钻铣	是	否
压裂工艺复杂程度	较复杂	较复杂
是否可作为生产管柱	否	是
工作时段	压裂过程	压裂后可作生产管柱

2 RFID 智能滑套结构设计与分析

2.1 RFID 智能滑套结构设计

RFID 智能滑套由通讯单元、电控单元、电动单元、传动单元和滑套单元等部分组成, 其结构如图 1 所示。

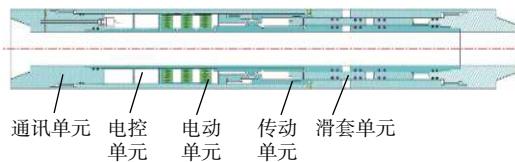


图 1 RFID 智能滑套结构

Fig. 1 Structure of the RFID intelligent sliding sleeve

通讯单元主要由天线及天线接头组成, 天线是由一根长的导线绕在非导磁材料的天线内筒上, 负责接收 RFID 标签信息(见图 2(a)); 电控单元主要由电控板和电池组成, 负责分析天线接收到的信息并给电动单元发出相应指令, 控制电动单元运动(见图 2(b)), 其中电动单元主要由电机与丝杠传动轴组成; 传动单元的核心为丝杠螺母副, 负责将电动单元的旋转运动转换为滑套单元的轴向运动, 从而控制滑套单元的开启和关闭(见图 2(c))。通讯单元、电控单元和电动单元均处于严格的密封环境中, 确保无液体侵入, 避免 RFID 智能滑套的电路系统失效。

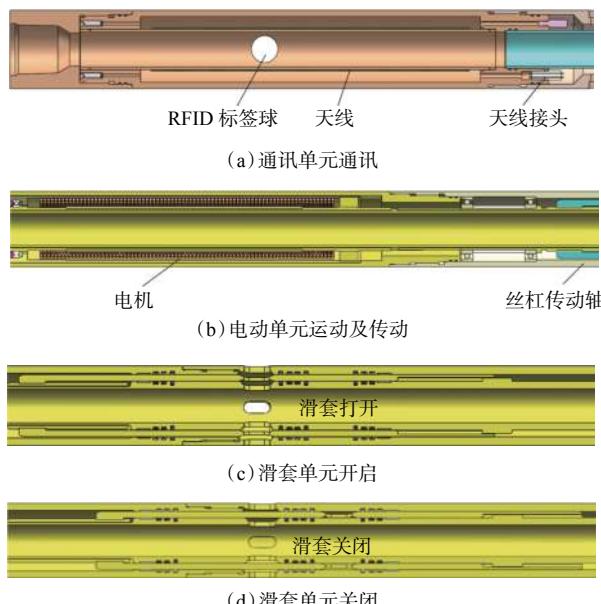


图 2 RFID 智能滑套部分单元功能

Fig. 2 Functions of partial units of the RFID intelligent sliding sleeve

2.2 关键部件模拟分析

RFID 智能滑套的天线外套筒、电控外套筒和滑套外套筒要求保证智能滑套内部机构的正常工作。为此, 运用模拟分析方法, 分析和校核了天线外套筒、电控外套筒和滑套外套筒结构强度, 为优化初步设计零部件的结构提供参考, 缩短设计周期。

2.2.1 天线外套筒

建立天线外套筒三维模型, 划分网格并优化网格质量, 天线外套筒右端面全约束, 另一端施加 588 kN 拉伸载荷, 设定外压为 40.0 MPa, 计算出天线外套筒的最大应力为 452.97 MPa(见图 3), 而天线外套筒 35CrMo 材质的屈服强度 ≥ 835 MPa, 安全系数 ≥ 1.84 , 理论上安全, 满足设计要求。

Mises 应力/MPa



图 3 天线外套筒应力分布云图

Fig. 3 Stress distribution cloud map on antenna outer sleeve

2.2.2 电控外套筒

建立电控外套筒三维模型, 划分网格并优化网格质量, 电控外套筒一个端面施加全约束, 另一端施加 588 kN 拉伸载荷, 设定外压为 40.0 MPa, 计算出电控外套筒的最大应力为 784.83 MPa(见图 4), 而其 35CrMo 材质的屈服强度 ≥ 835 MPa, 安全系数 ≥ 1.06 , 虽然相对较小, 但从图 4 可以看出, 应力较大区域为电控外套筒端部的一小部分, 对该部分安装组合部件的影响较小, 因此满足设计要求。

2.2.3 滑套外套筒

建立滑套外套筒三维模型, 划分网格并优化网格质量, 滑套外套筒一个端面施加全约束, 另一端施加 588 kN 拉伸载荷, 外压设定为 40.0 MPa, 计算出滑套外套筒最大应力为 590.68 MPa(见图 5), 而滑套外套筒 35CrMo 材质的屈服强度 ≥ 835 MPa, 安全系数 ≥ 1.41 , 部件强度满足设计要求。



图 4 电控外套筒应力分布云图

Fig. 4 Stress distribution cloud map on the electric control outer sleeve



图 5 滑套外套筒应力分布云图

Fig. 5 Stress distribution cloud map on the outer sliding sleeve

天线外套筒、电控外套筒和滑套外套筒的强度校核结果表明,其力学性能均满足使用要求。由上述各部件的应力分布云图可知,应力较大部分分布在部件边缘薄壁处,这可为 RFID 智能滑套关键部件优化设计提供理论参考。

3 单元功能试验及样机室内试验

为了验证各单元功能的可行性,开展了 RFID 智能滑套单元功能试验。在单元功能试验的基础上,研制出 2 套 RFID 智能滑套样机,并进行了样机室内试验。

3.1 单元功能试验

3.1.1 通讯单元

通讯单元主要负责信号接收,为防止信号被屏蔽,天线内套筒为非导磁材料,天线缠绕其上。测试结果表明,天线磁场强度分布较为稳定。当 RFID 标签球经过天线段时,天线进行信号识别,并将识别的信号传递到电控单元,完成通讯。模拟不同工况,在流体速度 0~5 m/s 条件下投入 RFID 标签球,

循环多次,天线均能接收到信号,表明 RFID 通讯可靠,且能满足井下通讯要求。

3.1.2 电控单元与电动单元

电控单元负责将通讯单元接收的信号分析并发送给电动单元,精确控制电机运转方向及圈数,并为电控及电动单元提供电能。试验时,在电机输出轴上作好参考标记,将含有正反转及一定角度的模拟信号直接传输到电控单元,观察电机运转的旋转方向及角度;经过多次单元试验验证并对电控单元控制程序进行改进,最终实现了电控单元精确控制电动单元的功能。

3.1.3 滑套单元

传动单元将电动单元电机转动转化为轴向位移,控制滑套的开启和关闭。滑套层间设有密封圈,阻力较大,电机需克服摩擦阻力并控制滑套完成开启和关闭。试验时,拉力和压力传感器检测滑套单元在开启、关闭过程中所需的轴向作用力,反向计算出电机所需的输出转矩,经过验算电机输出的扭矩满足预设要求,滑套单元能正常工作。

通讯单元、电控单元与电动单元和滑套单元的功能试验结果表明,各单元的功能均能实现,且工作情况良好,验证了各单元的可靠性,同时为整机功能性验证奠定了基础。

3.2 样机室内试验

对研制的 RFID 智能滑套样机进行了室内加压试验,测试了滑套在高温高压工况下滑套密封和开启关闭的可靠性,并进行了室内投球试验,测试了电机对滑套开度的控制性能。

3.2.1 室内加压试验

RFID 智能滑套右侧与带有阀门的液压管线堵头相连,左端接高压泵的液压管线,接通泵的电源,将泵排量调节至最大,向滑套内泵入 120 ℃ 液压油,排出滑套内空气,直到右端液压管线阀门口有连续液体流出,关闭右端液压管线的阀门;调节泵阀门,依次将泵压升至 10, 30, 50 和 70 MPa, 分别稳压 1.0 h, 观察各个过程中泵压是否下降;测试密封性能后,测试滑套高压载荷下开启和关闭的可靠性,因高压泵的排量较小,难以带动 RFID 标签球移动,故进行室内试验时借助辅助通讯方式控制滑套的开启和关闭,测试滑套在泵压 10, 30, 50 和 70 MPa

条件下的开启和关闭功能是否正常。

不同泵压下的测试结果见表 2。从表 2 可以看出, 滑套在温度 120 ℃、压力 10~70 MPa 条件下密封效果良好, 且滑套内部压力越大, 滑套从关闭状态到全开启状态的时间越长。

表 2 RFID 智能滑套样机加压试验结果

Table 2 Pressure test results of prototype of RFID intelligent sliding sleeve

泵压/MPa	憋压时间/h	是否泄漏	滑套开启时间/s
10	1.0	否	29.50
30	1.0	否	30.29
50	1.0	否	31.16
70	1.0	否	32.59

3.2.2 投球试验

从 RFID 智能滑套上接头端投入 1#RFID 标签球控制滑套全开, 同时开始计时, 从滑套孔处观察滑套的运动情况, 滑套停止移动时暂停计时, 记录全开启时间; 1.0 min 后, 投入 2#RFID 标签球控制滑套关闭, 同时开始计时, 从滑套孔处观察滑套运动情况, 滑套停止移动时暂停计时, 记录关闭时间; 1.0 min 后, 投入 3#RFID 标签球控制滑套开度达到 1/4, 同时开始计时, 从滑套孔处观察滑套运动情况, 滑套停止移动时暂停计时, 记录开启 1/4 开度的时间; 再投入 2#RFID 标签球关闭滑套。重复上述步骤, 投入相应标签球, 分别测试滑套开启 1/2 和 3/4 开度时的启闭情况。试验结果表明, 投入标签球后, 信号均可被天线接收, 通过信号传输接头传递至电控腔室内, 控制电机旋转, 使滑套达到预设开度。

室内样机试验结果表明, 该 RFID 智能滑套密封性能良好, 滑套通讯成功率高, 滑套窗口开度连续可调, 且开启和关闭功能可靠性好。

4 结论与建议

1)RFID 智能滑套压裂施工简单, 理论上可实现远程控制, 全通径、分段压裂, 可选择性压裂和重复压裂等, 克服了传统多级投球压裂操作复杂、效率低和成本高等缺点。

2)RFID 智能滑套在 120 ℃、70 MPa 条件下的通讯成功率良好, 滑套开启和关闭功能可靠性高, 可连续精确控制滑套 1/4 开度、1/2 开度、3/4 开度、全开和全闭。

3)RFID 智能滑套压裂技术和配套 RFID 智能滑套的研究对降低分段压裂施工成本, 提高油气采收率, 简化生产工艺难度, 推动油气开发作业向智能化和高效化发展提供了技术参考, 并展现了良好的应用前景。

4)RFID 智能滑套进行了部分功能的室内验证试验, 密封性能及可靠性良好, 但目前进行现场试验验证还存在一些难题, 需进一步验证和研究含砂介质出入滑套窗口时的密封可靠性。

参 考 文 献

References

- [1] 秦金立. 选择性重复压裂工具关键技术 [J]. 石油钻探技术, 2018, 46(4): 71~77.
QIN Jinli. Key techniques of selective refracturing tools[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(4): 71~77.
- [2] 雷林, 张龙胜, 熊炜, 等. 武隆区块常压页岩气水平井分段压裂技术 [J]. 石油钻探技术, 2019, 47(1): 76~82.
LEI Lin, ZHANG Longsheng, XIONG Wei, et al. Multi-stage fracturing technology of normally pressured shale gas in horizontal wells in the Wulong Block[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(1): 76~82.
- [3] 孙荣华, 陈阳, 王绍先, 等. 水平井分段控流完井技术应用效果评价方法 [J]. 石油钻探技术, 2019, 47(4): 41~46.
SUN Ronghua, CHEN Yang, WANG Shaoxian, et al. Evaluating the application effect for staged fluid control completion technology in horizontal wells[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(4): 41~46.
- [4] CASTRO L, WATKINS T, BEDORE B A, et al. Reducing operational time, fluid usage, hydraulic horsepower, risk, and downtime: targeted fracs using CT-enabled frac sleeves[R]. SPE 154391, 2012.
- [5] RYTNLEWSKI G L, LIMA J, DOLAN V B. Novel technology replaces perforating and improves efficiency during multiple layer fracturing operations[R]. SPE 107730, 2007.
- [6] RYTNLEWSKI G L. Multiple-layer completions for efficient treatment of multilayer reservoirs[R]. SPE 112476, 2008.
- [7] TOUGH J M, MASON J, BIEDERMANN R B, et al. Radio frequency identification of remotely operated horizontal frac[R]. SPE 143940, 2011.
- [8] 秦金立, 戴文潮, 万雪峰, 等. 无线射频识别技术在多级滑套压裂工具中的应用探讨 [J]. 石油钻探技术, 2013, 41(3): 123~126.
QIN Jinli, DAI Wenchao, WAN Xuefeng, et al. Application of radio frequency identification in multistage fracturing sleeve tools[J]. Petroleum Drilling Technology, 2013, 41(3): 123~126.
- [9] 李奎为, 张冲, 李洪春. 水平井水力喷射多级压裂工具研制与应用 [J]. 石油机械, 2013, 41(12): 18~21.
LI Kuiwei, ZHANG Chong, LI Hongchun. Development and application of the horizontal hydraulic jet multistage fracturing tool[J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41(12): 18~21.
- [10] 郭朝辉, 魏辽, 马兰荣. 新型无级差套管滑套及其应用 [J]. 石油机械, 2012, 40(10): 91~94.
GUO Zhaohui, WEI Liao, MA Lanrong. Newtype stepless casing

- sliding sleeve and its application[J]. China Petroleum Machinery, 2012, 40(10): 91–94.
- [11] 李光泉, 戴文潮. 无线射频识别滑套关键技术研究 [J]. 石油机械, 2013, 41(5): 73–75.
LI Guangquan, DAI Wenchao. Research on key technology for RFID sliding sleeve[J]. China Petroleum Machinery, 2013, 41(5): 73–75.
- [12] 韩永亮, 刘志斌, 程智远, 等. 水平井分段压裂滑套的研制与应用 [J]. 石油机械, 2011, 39(2): 64–65.
HAN Yongliang, LIU Zhibin, CHENG Zhiyuan, et al. The development and application of the sectional fracture sliding sleeve in horizontal wells[J]. China Petroleum Machinery, 2011, 39(2): 64–65.
- [13] 杨同玉, 魏辽, 冯丽莹, 等. 水平井趾端压裂关键工具设计与试验 [J]. 石油钻探技术, 2018, 46(4): 54–58.
YANG Tongyu, WEI Liao, FENG Liying, et al. Design and test of key tools in horizontal well toe-end fracturing[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(4): 54–58.
- [14] 张锦宏. 中国石化石油工程技术现状及发展建议 [J]. 石油钻探技术, 2019, 47(3): 9–17.
ZHANG Jinhong. Current status and outlook for the development of Sinopec's petroleum engineering technologies[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(3): 9–17.
- [15] 孙联中. 致密油水平井压裂开发成本控制策略 [J]. 经济师, 2014(1): 216.
SUN Lianzhong. Tight oil horizontal well fracturing development cost control strategy[J]. China Economist, 2014(1): 216.
- [16] 宁云才, 钟敏, 魏漪, 等. 低油价下致密油资源经济效益评价研究 [J]. 中国矿业, 2017, 26(2): 51–57, 65.
NING Yuncai, ZHONG Min, WEI Yi, et al. Evaluation of the tight oil resources economic benefit under the low oil price[J]. China Mining Magazine, 2017, 26(2): 51–57, 65.
- [17] 王曙光. 吉林油田压裂施工成本控制研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2012.
- WANG Shuyan. Research on cost control of the fracturing construction of Jilin Oilfield[D]. Changchun: Jilin University, 2012.
- [18] 王晓泉, 张守良, 吴奇, 等. 水平井分段压裂多段裂缝产能影响因素分析 [J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(1): 73–76.
WANG Xiaoquan, ZHANG Shouliang, WU Qi, et al. Factors affecting the productivity of multi-section fractures in subsection fracturing of horizontal wells[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31(1): 73–76.
- [19] 曹学军, 唐祖兵, 李晖, 等. 川西地区小井眼水平井多级压裂技术研究及应用 [J]. 石油地质与工程, 2014, 28(5): 119–122.
CAO Xuejun, TANG Zubing, LI Hui, et al. Research and application of multi-stage fracturing technology in small hole horizontal wells in Western Sichuan[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2014, 28(5): 119–122.
- [20] 管保山, 刘婷婷, 梁利, 等. 页岩油储层改造和高效开发技术 [J]. 石油钻采工艺, 2019, 41(2): 212–223.
GUAN Baoshan, LIU Yuting, LIANG Li, et al. Shale oil reservoir reconstruction and efficient development technology[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2019, 41(2): 212–223.
- [21] 全少凯, 高德利. 水力压裂基础研究进展及发展建议 [J]. 石油钻采工艺, 2019, 41(1): 101–115.
TONG Shaokai, GAO Deli. Basic research progress and development suggestions on hydraulic fracturing[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2019, 41(1): 101–115.
- [22] 雷鸿翔. 基于 RFID 通讯智能滑套结构设计与分析 [D]. 成都: 西南石油大学, 2017.
LEI Hongxiang. Based on RFID communication intelligent sliding sleeve structure design and analysis[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2017.

[编辑 滕春鸣]

威德福公司推出 AlphaST 一趟式裸眼侧钻系统

为了提高裸眼侧钻效率, 降低钻井成本, 威德福公司推出了 AlphaST 一趟式裸眼侧钻系统。该系统由膨胀式裸眼封隔器、小角度斜向器和双级开窗钻头组成。其中, 裸眼封隔器用于不注水泥情况下在裸眼中定位侧钻点, 它适合于各种尺寸的井眼, 且可以和地层全覆盖接触, 能确保斜向器固定、可靠; 小角度斜向器通过固定角度(3°)的凹面, 使钻具平稳地过渡到侧钻井眼, 无台阶和突变, 可使钻具组合和钻头顺畅地通过; 双级开窗钻头由领眼铣刀和柔性磨铣工具组成, 可以快速完成开窗, 进入侧钻井眼。

AlphaST 一趟式裸眼侧钻系统具有灵活性、可靠性和高效性等特点。灵活性是指, 利用该系统可回填落鱼或坍塌的井眼, 矫直弯曲井眼, 或者绕过水泥塞, 其中膨胀式封隔器可突破井眼中各种障碍到达造斜点。可靠性是指, 采用的封隔器能够全方位接触井壁, 在不同尺寸、不同条件的井眼中都能提供较大的夹持力, 能更好地控制造斜点。高效性是指, 封隔器坐封后便可进行造斜; 底部钻具组合中配有 2 个磨铣工具, 可快速钻离原井眼; 斜向器凹面能够使钻具平稳地过渡到侧钻井眼, 不会出现井下故障, 浪费钻井时间。总之, 该系统的技术优势是, 无需多趟起下钻, 无需安装水泥头, 无需等待水泥固化, 一趟钻即可完成注水泥、锚定和侧钻作业。

AlphaST 一趟式裸眼侧钻系统现场应用效果显著, 大大缩短了作业时间, 降低了作业成本。例如, 美国 Permian 盆地某井侧钻中应用该系统后作业时间缩短 5 d, 美国怀俄明州一口井侧钻中应用该系统后作业时间缩短 46 h, 效果都非常明显。

[供稿 石钻]