

# 可溶解滑套分层压裂技术

张鹏<sup>1</sup>, 焦煦<sup>2</sup>, 崔振锚<sup>1</sup>, 张镇<sup>1</sup>, 秦诗涛<sup>1</sup>, 孙晓飞<sup>1</sup>

- 1. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司工程技术研究院 天津 300457
- 2. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司油气合作开发分公司 天津 300280

通讯作者:Email:bestzpzp@qq.com

项目支持:中国石油集团渤海钻探工程有限公司重大研发项目“可降解压裂桥塞及滑套研究与应用”(2019ZD06K-02)

引用:张鹏,焦煦,崔振锚,等. 可溶解滑套分层压裂技术[J]. 油气井测试,2020,29(6):45-49.

Cite: ZHANG Peng, JIAO Xu, CUI Zhenmao, et al. Separate layer fracturing technology with dissolvable sliding sleeve [J]. Well Testing, 2020, 29 (6):45-49.

**摘要** 苏里格地区分层压裂使用的投球滑套需要与压裂球进行匹配,但在压裂管柱上存在多处缩颈,导致后期测试工具无法下入。可溶解滑套将接球座内部的支撑套设计成可溶材料,其外部包裹一层橡胶薄膜,滑套下入后,性能稳定,只在压裂过程中高速液体将其薄膜破坏使可溶材料与井筒内液体接触时,发生溶解反应,实现压裂管柱无缩颈。10 口井现场应用表明,在不改变施工工艺的情况下,支撑套溶解,滑套芯子落入井底实现压裂管柱的全通径,能够满足后期冲砂、测试、监测产液剖面等作业需要,具有一定的推广前景。

**关键词** 苏里格气田;分层压裂;可溶解滑套;支撑套;全通径;通井;现场应用

**中图分类号**:TE353      **文献标识码**:B      **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.06.008

## Separate layer fracturing technology with dissolvable sliding sleeve

ZHANG Peng<sup>1</sup>, JIAO Xu<sup>2</sup>, CUI Zhenmao<sup>1</sup>, ZHANG Zhen<sup>1</sup>, QIN Shitao<sup>1</sup>, SUN Xiaofei<sup>1</sup>

- 1. Engineering Technology Research Institute of CNPC Bohai Drilling Engineering Co. Ltd., Tianjin 300457, China
- 2. Oil and Gas Cooperative Development Branch of CNPC Bohai Drilling Engineering Co. Ltd., Tianjin 300457, China

**Abstract:** The sliding sleeve used in separate layer fracturing in Sulige area needs to match with the fracturing ball, but there are many necking phenomena on the fracturing string, which leads to the failure running of later testing tools. The dissolvable sliding sleeve is designed with a soluble material inside the support sleeve of the ball catcher. The outside is wrapped with a layer of rubber film. After running the sliding sleeve into the hole, the sliding sleeve has stable performance. Only after the high-speed liquid destroys the film in the fracturing, the soluble material will dissolve when contacting with the liquid in the wellbore, so that there will be no necking of the fracturing string. The field application in 10 wells shows that, without changing the construction technology, the support sleeve dissolves and the sliding sleeve core falls into the bottom of the well to realize the full diameter of the fracturing string, which can meet the needs of sand washing, testing and monitoring the production profile in the later stage, and has a certain popularization prospect.

**Keywords:** Sulige gas field; stratified fracturing; soluble sliding sleeve; support sleeve; full bore; hole smoothing; field application

苏里格气田属地层岩性圈闭气藏,储层受砂体展布和物性控制,为低压、低孔、低渗气藏<sup>[1-3]</sup>。该地区气井采用常规方式开发效果不明显,采用压裂技术能够达到气井的有效开发<sup>[4-6]</sup>。目前,苏里格地区开发井普遍采用 K344 封隔器+投球滑套分层压裂技术进行改造,改造结束后,压裂管柱作为生产管柱,直接进行生产<sup>[7-8]</sup>。经过 10 多年的应用,现已成为最适合苏里格地区高效、低成本开发的一项技术<sup>[9]</sup>。该技术通过投入与投球滑套相匹配的

球依次打开对应的滑套,实现相应层位的压裂改造<sup>[10-12]</sup>,改造结束后管柱上投球滑套芯子一直存在管柱内部,在滑套芯子处存在缩颈,导致后期测试等工具无法通过,影响后期的冲砂、测试、监测产液剖面等作业。

针对管柱滑套芯子处存在缩径无法实现全通径,影响测试作业等问题,刘志斌等<sup>[13]</sup>、马红芬等<sup>[14]</sup>、詹鸿运等<sup>[15]</sup>提出无阻滑套压裂技术。韩永亮等<sup>[16]</sup>提出可钻式投球滑套压裂技术。杨德

锴<sup>[17]</sup>、王迁伟等<sup>[18]</sup>提出可打捞滑套压裂技术。无阻滑套压裂技术采用投球打开滑套进行压裂施工,施工结束后需投大一级的球将滑套芯子整体打掉,一个滑套实现无阻需要投两个不同尺寸的球导致压裂层数受限,在 139.7 mm 套管内最多能够实现三层改造。可钻式投球滑套压裂技术采用投球依次打开各个滑套进行压裂施工,施工结束后将滑套芯子钻磨掉实现全通畅。该技术施工成本高,适合二次作业能够增产的油气井。可打捞滑套压裂技术是压裂施工结束后,将滑套芯子进行打捞,滑套芯子打捞后实现全通畅。该技术同样具有施工成本高的问题,适合二次作业能够增产的油气井。针对无阻滑套压裂技术施工层数受限,可钻式投球滑套压裂技术和可打捞式滑套压裂技术施工成本高,不适合在低成本开发的苏里格地区进行应用的问题,进行可溶滑套研究,在不改变施工工艺的情况下,通过滑套芯子的溶解实现压裂管柱的全通畅,能够很好的满足后期冲砂、测试、监测产液剖面等作业需要。

1 可溶解滑套

解决测试工具无法通过的关键问题是解决滑套芯子处的变径。如能将滑套芯子或滑套芯子支撑处设计成可溶材料<sup>[19-20]</sup>,施工结束后在返排液的作用下将可溶材料溶解,即可解决该问题。设计之初有两种方案:一是将封隔器、滑套外筒与油管连接一起下入,施工某一层位,泵送相应层位的滑套芯子,芯子座落到相匹配滑套外筒处,憋压打开滑套,进行压裂施工,压裂施工结束后,滑套芯子实现溶解,管柱上无变径满足测试工具通过;另一方案是将滑套芯子支撑处设计成可溶,压裂施工结束后,滑套芯子支撑处实现溶解,当芯子失去支撑,可落入人工井底,管柱上无变径满足测试工具通过。

第一种方案的优点是下入的施工管柱内无可溶解材料,无需考虑管柱下入后,滑套芯子发生溶

解;缺点是需要泵送滑套芯子,加大施工液体用量的同时对已施工层造成污染。第二种方案的优点是只需将滑套支撑处设计成可溶材料,施工过程工艺与常规分层压裂工艺相同;缺点是需要将滑套支撑处进行表面处理,防止其在未施工前开始溶解。结合苏里格地区施工情况最终优选第二种方案作为最佳方案进行可溶滑套结构设计。

1.1 结构

可溶解滑套由压裂滑套、接球座两部分组成。压裂滑套部分由滑套芯子,硫化密封环,剪钉,喷砂孔,密封圈,滑套本体组成,其结构如图 1 所示。接球座部分由引导头,接球座芯子,可溶支撑套,密封圈,接球座本体组成,其结构如图 2 所示。整个可溶解滑套组件只有可溶支撑套是由外端包裹一层橡胶薄膜的可溶材料加工而成,其余主体部件均由常规钢材加工而成。

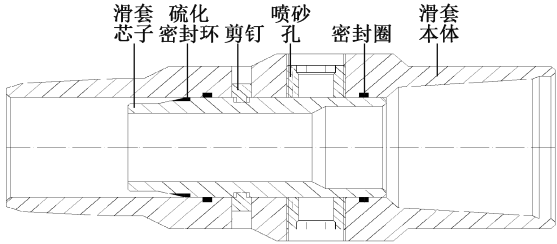


图 1 压裂滑套结构示意图  
Fig. 1 Structural diagram of fracturing sliding sleeve

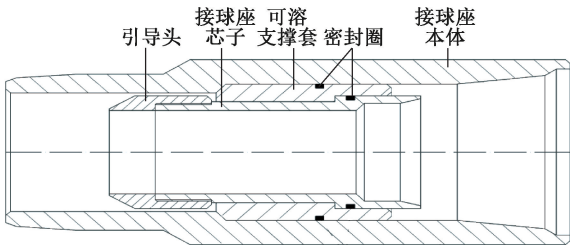


图 2 接球座结构示意图  
Fig. 2 Structure diagram of ball socket

1.2 工作原理

可溶解滑套工作原理如图 3 所示。将压裂滑套与油管相连,K344 封隔器与油管另一端相连,K344 封隔器下端连接接球座。

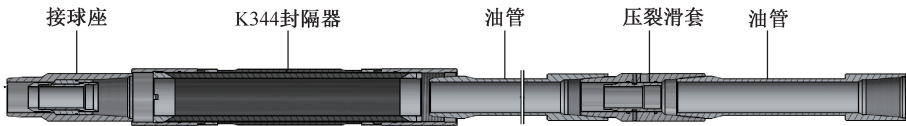


图 3 可溶解滑套工作原理示意图  
Fig. 3 Schematic diagram of working principle of soluble sliding sleeve

进行该层位压裂施工时,投入与压裂滑套相匹配的可溶球。当可溶球落入滑套芯子上时,打压剪

断剪钉,滑套芯子通过油管和封隔器落到可溶支撑座上,实现已施工层的封堵,同时通过喷砂孔的

节流作用,实现封隔器的坐封,可进行该层压裂施工。

整个可溶解滑套组件只有可溶支撑套是可溶材料加工而成,为减缓其溶解,在可溶支撑套外端包裹一层橡胶薄膜,接球座跟管柱入井后,在没有高速液体流动时,薄膜保持完整,在压裂施工过程,薄膜在压裂液的冲刷下被破坏,可溶材料能够与液体接触实现溶解。

施工井所有层位完成施工后,可溶支撑座在压裂返排液的作用下,加速溶解,当可溶支撑座外径小于接球座内径时,滑套芯子失去支撑整体落入井底。

1.3 结构特点及技术参数

在目前成熟的封隔器+投球滑套分层压裂技术上稍作改善,无需更改施工工艺和液体体系,操作简便可行。

接球座内部只将可溶支撑套设计成可溶材料,可溶支撑套用橡胶薄膜进行包裹,在压裂施工前薄膜不会被破坏,只有进行完压裂施工,可溶支撑套才开始溶解,该结构性能稳定,制造成本低。

可溶滑套技术参数见表 1。

表 1 可溶滑套技术参数

Table 1 Technical parameters of soluble sliding sleeve

名称	外径/ mm	长度/ mm	压后内通 径/mm	耐温/ ℃	承压/ MPa	两端扣型
压裂滑套	95	251	60	120	70	73 mmEUE
接球座	95	248	61	120	70	73 mmEUE

2 现场应用

苏里格气田苏 76-A 井是采用 K344 封隔器+可溶滑套压裂技术施工的一口开发井。该井完钻井深 3 341.0 m,分 3 层进行压裂改造。首先根据施工设计要求,按照图 4 管柱结构,下 K344 封隔器+可溶滑套压裂施工管柱到预定位置,进行压裂施工。

第一层压裂施工时,先试压 70 MPa,低替出油管内洗井液,提排量坐封封隔器,开始进行第一层压裂施工,该层共完成加砂量 22.0 m<sup>3</sup>,施工曲线如图 5 所示。

第一层压裂施工结束后,投  $\phi 42$  mm 可溶球,待球落到压裂滑套 1 的滑套芯子上时,油压由 23 MPa 突升至 38 MPa,之后压力迅速下降,说明滑套已经顺利打开,开始进行第二层压裂施工,完成加砂量 35.0 m<sup>3</sup>,施工曲线如图 6 所示。第二层压裂施工结束后,投  $\phi 46$  mm 可溶球,待球落到压裂滑套 2 的滑

套芯子上时,油压由 24 MPa 突升至 35 MPa,之后压力迅速下降,说明滑套已经顺利打开,开始进行第三层压裂施工,该层共完成加砂量 28.5 m<sup>3</sup>,施工曲线如图 7 所示。

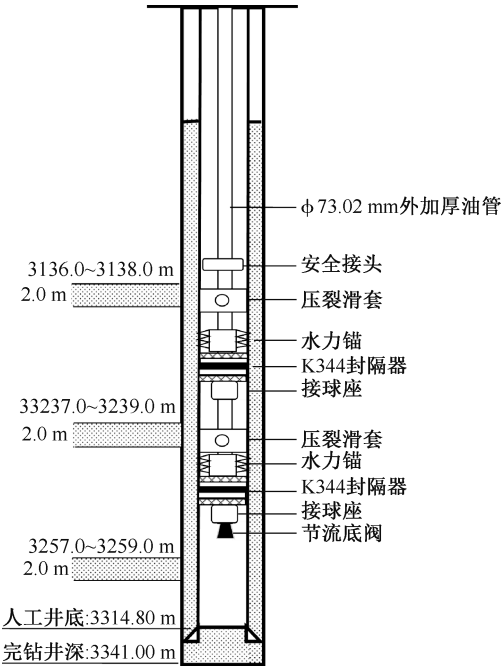


图 4 苏 76-A 井施工管柱结构示意图  
Fig. 4 Construction string of well Su 76-A

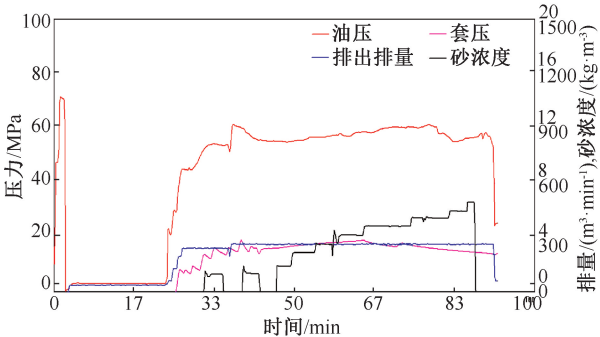


图 5 苏 76-A 井第一层压裂施工曲线  
Fig. 5 Fracturing operation curve of the first layer for Well Su76-A

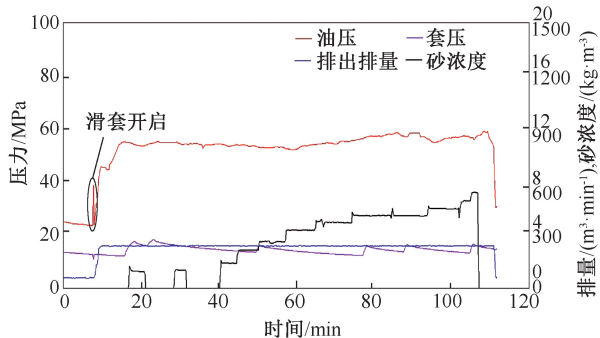


图 6 苏 76-A 井第二层压裂施工曲线  
Fig. 6 Fracturing operation curve of the second layer for Well Su76-A

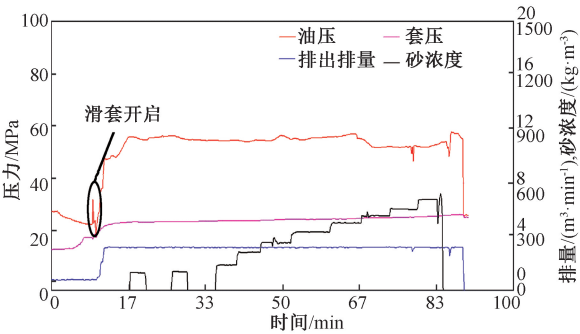


图 7 苏 76-A 井第三层压裂施工曲线  
Fig. 7 Fracturing operation curve of the third layer for Well Su76-A

该井施工过程中,压裂滑套 1 和压裂滑套 2 打开压力显示明显,共完成加砂 85.5 m<sup>3</sup>,达到了预期的改造效果。

该井压裂施工结束后 20 d,采用钢丝进行管柱内测试通井,在接球座所在的 3 147.5 m 和 3 248.5 m 两个位置通井管柱均顺利通过,无遇阻现象,说明可溶支撑座已降解,失去支撑,滑套芯子等部件落入井底。

可溶滑套自成功研发以来在苏里格气田已经成功应用 10 口井(表 2),10 口井施工过程中滑套打开压力值明显,压后可溶支撑座全部降解,压裂管柱实现全通畅,为后期冲砂、测试、监测产液剖面等作业提供了途径保障。

表 2 可溶滑套应用情况  
Table 2 Application of soluble sliding sleeve

井号	层数	滑套打开压力/MPa (滑套 1/滑套 2)
苏 20-20-14X	3	12/16
苏 25-32-31	2	13
苏 25-14-27X	2	12
苏 25-42-29X	3	14/14
苏 76-A	3	15/11
苏 20-21-02	3	16/14
苏 25-15-43X	3	11/14
苏 20-10-11X	3	16/12
苏 25-15-10X	2	12
苏 20-26-13X	3	13/15

3 结论

(1)可溶滑套在苏里格气田已经成功应用 10 口井,10 口井施工中,滑套打开压力显示明显,封隔器密封性好,说明该滑套结构设计合理,满足现场施工过程中各项技术要求。

(2)10 口井施工结束后,均进行了油管内测试通井,通井过程中无遇阻,说明可溶支撑座已降解

失去支撑,滑套芯子等部件全部落入井底。

(3)该可溶滑套仅将支撑座设计成可溶材料,施工工艺与苏里格地区分层压裂工艺相同。因此,在没有明显增加施工成本的情况下,满足测试工具下入需求,具有很好的推广前景。

致谢:感谢渤海钻探工程技术和油气合作开发分公司同意本文公开发表。

参考文献

[1] 李海燕,彭仕宓. 苏里格气田低渗透储层成岩储集相特征[J]. 石油学报,2007,28(3):100-104.  
LI Haiyan, PENG Shimi. Characteristics of diagenetic reservoir facies of low-permeability reservoir in Sulige gas field [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007,28(3):100-104.

[2] 李海燕,岳大力,张秀娟. 苏里格气田低渗透储层微观孔隙结构特征及其分类评价方法[J]. 地学前缘,2012,19(2):133-140.  
LI Haiyan, YUE Dali, ZHANG Xiujuan. Characteristics of pore structure and reservoir evaluation of low permeability reservoir in Sulige gas field [J]. Earth Science Frontiers, 2012,19(2):133-140.

[3] 王大兴,赵玉华,王永刚,等. 苏里格气田低渗透砂岩岩性气藏多波地震勘探技术[J]. 中国石油勘探,2015,20(2):59-67.  
WANG Daxing, ZHAO Yuhua, WANG Yonggang, et al. Multi-wave seismic exploration technology for lithologic gas reservoirs of low permeability sandstone in Sulige gas field [J]. China Petroleum Exploration, 2015,20(2):59-67.

[4] 杨健,陶建林,陈郇. 苏里格气田储层改造工艺分析[J]. 天然气工业,2007,27(12):96-98.  
YANG Jian, TAO Jianlin, CHEN Chan. Analysis of formation stimulation thchnique in Sulige Gas Field [J]. Natural Gas Industry, 2007,27(12):96-98.

[5] 段瑶瑶,田助红,杨战伟,等. 苏里格大型致密砂岩气藏储层改造难点及技术对策[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版),2016,18(4):58-61,104.  
DUAN Yaoyao, TIAN Zhuhong, YANG Zhanwei, et al. Challenges of reservoir reconstruction and technical countermeasures for large tight sandstone gas, Sulige gas field [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2016,18(4):58-61,104.

[6] 韩红旭,贾建鹏,白建文,等. 苏里格气田快速排液技术[J]. 油气井测试,2020,29(1):35-42.  
HAN Hongxu, JIA Jianpeng, BAI Jianwen, et al. Rapid drainage technology in Sulige gas field [J]. Well Testing, 2020,29(1):35-42.

[7] 吴刚飞,白田增,夏克文,等. “投球+封隔器”压裂工艺在苏 75 区块的研究与应用[J]. 油气井测试,2012,21(5):65-66,70.



- WU Gangfei, BAI Tianzeng, XIA Kewen, et al. Application study about pitch and packers composite fracturing techniques in Su75 block [J]. Well Testing, 2012, 21(5): 65-66, 70.
- [8] 张华光, 桂捷, 张丽娟, 等. 苏里格气田机械封隔器连续分层压裂技术[J]. 石油钻采工艺, 2013, 35(4): 85-87. ZHANG Huagang, GUI Jie, ZHANG Lijuan, et al. Continuously separate layer fracturing technology by using mechanical packer in Sulige gas field [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013, 35(4): 85-87.
- [9] 李宪文, 肖元相, 陈宝春, 等. 苏里格气田致密砂岩气藏多层分压开采面临的难题及对策[J]. 天然气工业, 2019, 39(8): 66-73. LI Xianwen, XIAO Yuanxiang, CHEN Baochun, et al. Separate layer fracturing and multi-layer production of tight sandstone gas reservoirs in the Sulige gas field, Ordos basin problems and countermeasures [J]. Natural Gas Industry, 2019, 39(8): 66-73.
- [10] 韩继勇, 逢仁德, 尹宝福, 等. 靖边南气田分层压裂技术的研究与应用[J]. 钻采工艺, 2016, 39(1): 46-49. HAN Jiyong, PANG Rende, YIN Baofu, et al. Research and application of separate layer fracturing technology in southern part of Jingbian gas field [J]. Drilling & Production Technology, 2016, 39(1): 46-49.
- [11] 李月丽, 张永春, 何青, 等. K344-113 型封隔器分层压裂工艺在大牛地气田的试验应用[J]. 油气藏评价与开发, 2011, 1(4): 56-60. LI Yueli, ZHANG Yongchun, HE Qing, et al. Application of layered fracturing technology by using K344-113 packer in Daniudi gasfield [J]. Progress in Exploration Geophysics, 2011, 1(4): 56-60.
- [12] 韩永亮, 冯强, 杨晓勇, 等. 大规模压裂用 Y344 封隔器及工艺管柱关键技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(6): 21-26. HAN Yongliang, FENG Qiang, YANG Xiaoyong, et al. Key technologies of Y344 packer and string technology for large-scale fracturing [J]. Well Testing, 2019, 28(6): 21-26.
- [13] 刘志斌, 程智远, 李梅, 等. BZ-60 型无阻压裂喷砂滑套的研制与应用[J]. 石油机械, 2009, 37(10): 88-89. LIU Zhibin, CHENG Zhiyuan, LI Mei, et al. Development and application of BZ-60 unimpeded fracturing sandblasting sliding sleeve [J]. China Petroleum Machinery, 2009, 37(10): 88-89.
- [14] 马洪芬, 吴浩, 王炳, 等. 苏里格气藏两层分压合采无阻生产压裂管柱[J]. 石油钻采工艺, 2010, 32(6): 77-79. MA Hongfen, WU Hao, WANG Bing, et al. Two-layer separated layer fracturing commingled unhindered fra-string for the Sulige gas field [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2010, 32(6): 77-79.
- [15] 詹鸿运, 程智远, 刘志斌, 等. 新型气井三层分压合采无阻生产压裂管柱[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(6): 82-84. ZHAN Hongyun, CHENG Zhiyuan, LIU Zhibin, et al. New unhindered frac-string for 3-layer fracturing and commingled production in gas well [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012, 34(6): 82-84.
- [16] 韩永亮, 李世恒, 刘志斌, 等. 水平井分段压裂可钻式投球滑套的研制与应用[J]. 石油机械, 2012, 40(12): 21-24. HAN Yongliang, LI Shiheng, LIU Zhibin, et al. Development and application of drillable dropping sleeve for horizontal staged fracture [J]. China Petroleum Machinery, 2012, 40(12): 21-24.
- [17] 杨德锴. 可打捞分段压裂滑套球座打捞关键结构与试验[J]. 钻采工艺, 2017, 40(4): 78-81. YANG Deka. Key structures designed for fishing the retrievable ball seats of sliding sleeves used in stage frac [J]. Drilling & Production Technology, 2017, 40(4): 78-81.
- [18] 王迁伟, 何青, 陈付虎, 等. 可打捞滑套分段压裂技术在红河油田的应用[J]. 石油钻采工艺, 2013, 35(3): 78-79. WANG Qianwei, HE Qing, CHEN Fuhu, et al. Application of separate layer fracturing with salvage sliding sleeve in Honghe oilfield [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013, 35(3): 78-79.
- [19] 张毅, 于丽敏, 任勇强, 等. 一种新型可降解压裂封隔器坐封球[J]. 油气井测试, 2018, 27(2): 53-58. ZHANG Yi, YU Limin, REN Yongqiang, et al. A new type of degradable setting ball for fracturing packers [J]. Well Testing, 2018, 27(2): 53-58.
- [20] 张毅, 李景卫, 杨小涛, 等. 新型可降解压裂封隔器胶筒[J]. 油气井测试, 2019, 28(2): 51-55. ZHANG Yi, LI Jingwei, YANG Xiaotao, et al. New degradable fracturing packer rubber [J]. Well Testing, 2019, 28(2): 51-55.

编辑 刘振庆

第一作者简介: 张鹏, 男, 1984 年出生, 工程师, 2008 年毕业于辽宁石油化工大学机械设计制造及自动化专业, 现从事完井、压裂工具研发工作。电话: 15022379149; Email: bestzpzp@qq.com。通信地址: 天津市滨海新区大港油田三号院渤海钻探工程技术研究院, 邮政编码: 300280。