

K344 型可溶辅助解封压裂封隔器研制与应用

韩永亮¹,王玥¹,张华²,周后俊¹,任正军¹,徐敏¹

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 300280
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:coolhan74@163.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“可溶辅助解封压裂封隔器技术研究”(2020ZD05F-01)

引用:韩永亮,王玥,张华,等. K344 型可溶辅助解封压裂封隔器研制与应用[J]. 油气井测试,2022,31(3):34-38.

Cite: HAN Yongliang, WANG Yue, ZHANG Hua, et al. Development and application of K344 soluble auxiliary-releasing fracturing packer[J]. Well Testing, 2022, 31(3): 34-38.

摘要 常规 K344 封隔器存在承压性能低、施工规模受限、解封不稳定或无法顺利解封的问题,不能满足大规模压裂施工和工具顺利起出的需要。K344 型可溶辅助解封压裂封隔器采用辅助承压/解封机构和胶筒一体化中心管的结构形式,有效提高了工具的耐温、承压性能,同时在易变形部位采用可溶包覆层补位,提高了工具的解封可靠性。通过室内试验以及 20 口井的现场应用检验,其耐温、承压和解封性能满足设计要求,施工完成后可快速解封并顺利起出井筒,成功率 100%。该封隔器适用于直斜井和水平井,可为大规模压裂施工提供技术支撑。

关键词 K344 封隔器;大规模压裂;分层压裂;可溶性;承压性能;解封性能;胶筒;现场应用

中图分类号:TE357 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2022.03.006

Development and application of K344 soluble auxiliary-releasing fracturing packer

HAN Yongliang¹, WANG Yue¹, ZHANG Hua², ZHOU Houjun¹, REN Zhengjun¹, XU Min¹

1. Engineering Technology Research Institute, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Tianjin 300280, China
2. Oil and Gas Cooperative Development Branch, CNPC Bohai Drilling and Engineering Co., Ltd., Tianjin 300280, China

Abstract: The conventional K344 packer has the problems of low pressure bearing performance, limited application scale, and unstable or unsmooth releasing, making it unqualified for large-scale fracturing and tool tripping. This paper presents the K344 soluble auxiliary-releasing packer, which adopts the central pipe integrating auxiliary pressure/releasing mechanism and packer rubber to effectively improve the temperature resistance and pressure bearing performance of the tool and adopts the soluble coat to cover the position easy to deform, so as to improve the releasing reliability of the tool. The laboratory test and field application in 20 wells prove that the temperature resistance, pressure bearing, and releasing performance of the K344 soluble auxiliary-releasing packer meet the design requirements. After the operation is completed, it can be released quickly and tripped out smoothly, with a success rate of 100%. The proposed packer is suitable for slant wells and horizontal wells and can provide technical support for large-scale fracturing treatment.

Keywords: K344 packer; large-scale fracturing; separate-layer fracturing; solubility; pressure-bearing performance; releasing; packer rubber; field application

常规 K344 封隔器分层压裂技术可以实现下入一趟管柱完成多层压裂的目的,在国内油气田的安全、经济和高效开发中发挥着重要的作用^[1-4]。但该技术也存在以下局限性:① 常规 K344 封隔器承压 70 MPa,由于施工排量和加砂规模受限,无法进行更大规模的压裂施工;② 常规 K344 封隔器在 0.3~0.5 MPa 压差下就可以坐封,坐封压差起始值较低,同时解封时靠胶筒的回弹力自动解封,管柱在下入和起出时极易因管柱内压力波动、结垢、结

蜡及胶筒永久变形等的影响,导致封隔器解封不稳定或无法顺利解封,造成起管柱困难,影响正常生产^[5-8]。程智远等^[9]、骆劲羽等^[10]针对温度较高($\geq 150\text{ }^{\circ}\text{C}$)的油气井,在反复坐封、解封过程中,胶筒部分未进行有效保护,容易出现胶筒密封不严的问题,重新设计了一种可以通过投 1 个球先启动对应层位的 K344 型可控封隔器,实现有针对性地启动对应层位的封隔器,降低了封隔器胶筒的工作时间,提高了胶筒的密封性能及使用寿命。王瑞等^[11]

针对传统的 K344 叠层钢带封隔器耐高温、耐高压和密封性能差和使用寿命低的问题,设计了具有自助解封机构的 K344 波纹状钢骨架封隔器,从钢骨架厚度及材料方面进行了结构优化,以满足深油气井的施工要求。胡英才等^[12]设计了具有弹簧自助解封机构的 K344 封隔器和多级压裂管柱结构,提高了管柱的起出可靠性。韩永亮等^[13]针对 K344 封隔器解封时胶筒回收不完全以及多个 Y241 封隔器解封时上提力较大造成解封困难的问题,研制了大规模压裂用 Y344 封隔器,施工完成可以快速解封,提高了下入、压裂施工及解封的成功率。刘超群^[14]针对大庆油田现有压裂管柱不能满足 5 层以上储层改造的需求,通过优化组合 YM541 封隔器、Y341 封隔器、Y344 封隔器、延时解封封隔器以及逐级解封工具等,可以实现一趟管柱最多压裂 8 层。李丹^[15]、王继良等^[16]针对分层压裂、分层注水时封隔器坐封和解封困难,造成管柱刺断和卡管柱事故等问题,设计了逐级解封封隔器,可以实现封隔器逐级解封,减小上提载荷,有效解决了管柱无法顺利起出的问题。彭冲等^[17]、窦益华等^[18]针对 K344 封隔器进行了有限元分析模拟,中胶筒在坐封过程中先实现膨胀并贴合套管,当坐封完成后,全部胶筒完全贴合套管,其中胶筒的肩部应力最大。

为了解决常规 K344 封隔器存在的承压性能低、施工规模受限和解封不稳定或无法顺利解封的问题,在不改变目前成熟的封隔器机械分层压裂工艺的基础上,开展了 K344 型可溶辅助解封压裂封隔器研究。

1 K344 型可溶辅助解封压裂封隔器

对于 K344 型可溶辅助解封压裂封隔器的研制,分别从结构设计、工作原理、技术参数和结构特点等几个方面进行技术分析。

1.1 结构设计

K344 型可溶辅助解封压裂封隔器结构主要包括上接头、辅助承压/解封机构、胶筒一体化中心管和压帽等部分(图 1)。

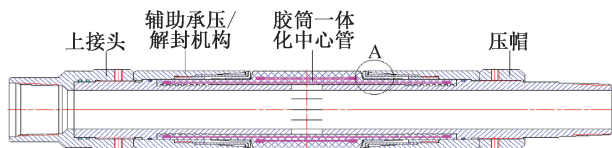


图 1 K344 型可溶辅助解封压裂封隔器结构示意图

Fig.1 Structural diagram of K344 soluble auxiliary unsealing fracturing packer

1.1.1 辅助承压/解封机构

辅助承压/解封机构主要由内肩保、外肩保、可溶包覆层与护帽组成(图 2),外肩保套装在内肩保上,可溶包覆层套入在内肩保内。

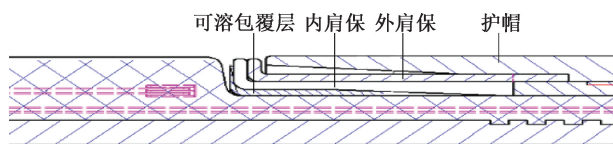


图 2 辅助承压/解封机构 A 处局部放大示意图

Fig.2 Local enlarged schematic diagram of auxiliary pressure bearing/unsealing mechanism A

内、外肩保采用弹簧钢材料制成,均圆周均布多条割缝并呈交错排布,割缝后扩径端形成弹性悬臂梁结构,可以随着胶筒膨胀一并扩张,由于扩张之后两个零件的割缝同时增大,但仍然会保持交接状态,不会出现连通缝。可溶包覆层侧面设计一条斜线向贯穿切口,同样可以在受力后外展开。胶筒扩张后带动可溶包覆层、内、外肩保一并外扩,胶筒与内、外肩保一同贴住套管内壁,在胶筒承受环空压差时,胶筒肩部会被扩张后的内、外肩保承托,同时内、外肩保会被护帽的端部限位,在机械支撑下,胶筒不会发生进一步的压缩变形或是流胶,有效避免出现胶筒扯裂、刺漏等情况,可显著提高胶筒的密封承压性能。可溶包覆层起到保护胶筒与补偿胶筒变形的作用,由于可溶包覆层只有一条切口,可以实现对内肩保割缝的有效包裹,避免胶筒承压时内肩保割缝压伤胶筒;可溶包覆层核心层由中温慢溶材料制成,外表面熔覆含锌的高温慢溶粉末材料制成的外部熔覆保护层,厚度 0.3~0.4 mm,在温度 150 ℃、1% KCl 溶液环境下初期溶速 0.02 mm/h,6 h 后溶速 0.3 mm/h,可以实现 10 h 内初始溶解缓慢,2 d 内完全溶解的控溶功能,不影响正常的压裂施工,可溶包覆层溶解后的空间用于补偿胶筒长时间承压后的永久变形量,避免出现因胶筒变形造成的内、外护肩无法回缩、影响起管柱的问题。

1.1.2 胶筒一体化中心管

胶筒一体化中心管通过采用全新的胶筒模压成型硫化技术,将胶筒与中心管一体化模压成型,胶筒部分胶层更厚,在胶筒内部可以纵向均匀布置双层钢丝帘线内衬,在不影响胶筒扩张性能的情况下,同时又可以提高胶筒的承压性能;胶筒两端肩部与胶筒纵向中间部分的硬度不同,不仅可以降低胶筒的启动压力,而且又提升了胶筒肩部的机械性能,从而增强了整个胶筒的密封能力;为了有效提

高胶筒的耐高温性能,胶筒主要成分采用氢化丁晴橡胶制成,同时为了增加橡胶密度,配方采用二价盐改性技术;为了防止压裂砂进入封隔器内部,进液孔采用切口宽度为 0.1~0.2 mm 的线切割技术。

1.2 工作原理

K344 型可溶辅助解封压裂封隔器通过中心管注液,液体从中心管割缝处进入胶筒内部,当中心管割缝处的节流压差达到 1~2 MPa 时,胶筒带动辅助承压/解封机构中的可溶包覆层和内、外肩保一并外扩并贴紧套管内壁实现坐封,封隔油套管环形空间;当压裂施工结束后,中心管停止注液,胶筒靠自身弹性与辅助承压/解封机构中的内、外肩保的双重作用下强制自动复位,实现快速解封;当胶筒长时间承压出现永久变形无法顺利解封时,辅助承压/解封机构中的可溶包覆层后期可以溶解,溶解后的空间有助于内、外肩保钢制弹力辅助胶筒回弹,依然可以实现解封。

1.3 技术参数

K344 型可溶辅助解封压裂封隔器耐温 150 ℃,承压 80 MPa,钢体最大外径 $\phi 116$ mm,胶筒最大外径 $\phi 114$ mm,内通径 $\phi 60$ mm,总长 800 mm,坐封压差 1~2 MPa。适用套管内径 $\phi 121 \sim \phi 124$ mm。

2 室内试验

对于研制完成的 K344 型可溶辅助解封压裂封隔器,分别进行坐封及解封试验、胶筒及辅助承压/解封机构变形试验和整体承压性能试验,以检验其性能是否满足设计要求。

2.1 坐封及解封试验

用液压油施加液压 30.1 MPa 将 K344 型可溶辅助解封压裂封隔器坐封于试验井中,稳压 15 min,卸压解封,再反复试验 5 次,坐封压力分别为 30.2 MPa、30.0 MPa、30.5 MPa、29.5 MPa、30.1 MPa,分别稳压 15 min,均顺利实现坐封和卸压解封。

2.2 胶筒及辅助承压/解封机构变形试验

用液压油施加液压 35 MPa 将 K344 型可溶辅助解封压裂封隔器坐封于试验井中,稳压 10 min,再阶梯加压 5 次,加压分别为 50 MPa、60 MPa、70 MPa、80 MPa,稳压时间分别为 0 min、20 min、180 min、300 min,总保压时间为 620 min,卸压解封。取出封隔器,观察胶筒有轻微永久变形,测量胶筒变形量从 114 mm 变为 116 mm,辅助承压/解封机构未出现永久变形。

2.3 整体承压性能试验

用导热油对 K344 型可溶辅助解封压裂封隔器加温至 150 ℃,并恒温浸泡 2 h。向已坐封于试验井中的封隔器上端施加压差 30.5 MPa,稳压 10 min,再从封隔器下端阶梯加压至最高 80.2 MPa,稳压 30 min,压降 0.6 MPa,卸压解封。取出封隔器,对辅助承压/解封机构进行拆卸并观察胶筒表面,发现可溶包覆层对胶筒起到保护作用,可以有效避免辅助承压/解封机构割伤胶筒表面和端面,提高了工具的承压可靠性。

3 现场应用

某 X14 井完钻井深 1 851 m,采用 K344 型可溶辅助解封压裂封隔器分层压裂技术分 2 层进行压裂改造。按照图 3 管柱结构及施工设计的工具位置要求组配好管柱并下入井内预定位置。

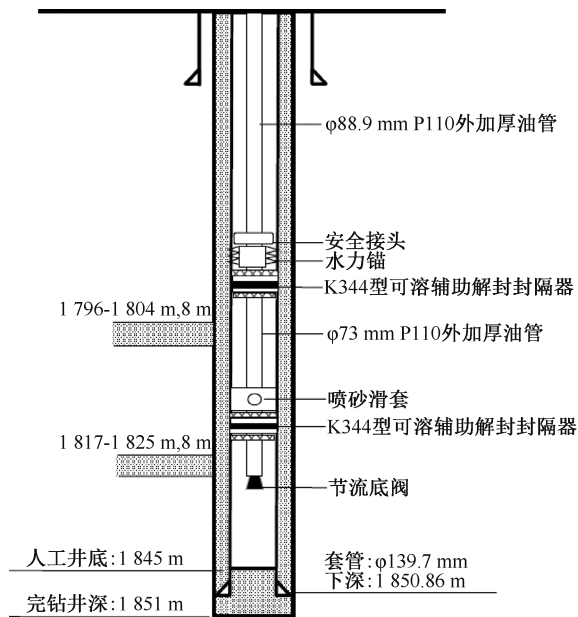


图 3 某 X14 井压裂施工管柱结构示意图

Fig. 3 Structural sketch of fracture pipe string for a well X14

第一层压裂施工时,按设计液量完成低替后,迅速提高排量,当油套管压差达到封隔器坐封压差 (1~2 MPa) 后完成封隔器坐封,通过节流底阀压裂第一层,地层破裂压力 53.2 MPa,施工油压 41.4~85.7 MPa,最大油压 85.7 MPa,最大排量 5.5 m³/min,共完成加砂量 26.0 m³;第一层压裂施工结束后,投可溶球打开喷砂滑套,开始压裂第二层,地层破裂压力 52 MPa,施工油压 49~77.4 MPa,最大油压 77.4 MPa,最大排量 5.2 m³/min,共完成加砂量 24 m³,施工曲线如图 4 所示。

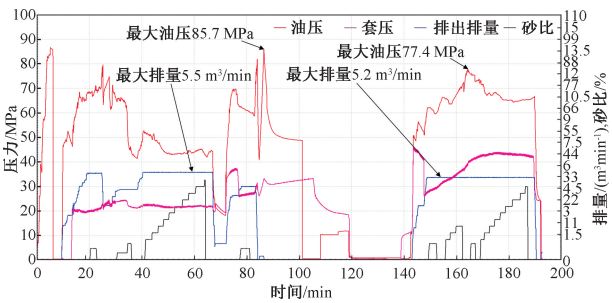


图 4 某 X14 井压裂施工曲线

Fig. 4 Fracturing operation curves in a well X14

由图 4 可以看出,该井第一层压裂施工顶替阶段后期,由于砂堵超压停泵,最大油压达到 85.7 MPa,此时套压并未随油压突涨而同步突涨,证明此时封隔器密封性能良好。

该井压裂施工结束 6 d 后,K344 型可溶辅助解封压裂封隔器顺利起出井筒,整个起管柱过程顺利,没有出现阻卡现象。观察起出的 K344 型可溶辅助解封压裂封隔器无整体损坏变形,胶筒无掉块,辅助承压/解封机构中的可溶包覆层完全溶解,内、外肩保形成的弹簧钢骨架完成缩回动作,仅有少量爪簧有轻微外突,经测量单边外扩量 1.6 mm,不影响管柱起出,满足现场施工要求。

K344 型可溶辅助解封压裂封隔器自成功研制以来已经成功应用 20 口井,在压裂施工过程中没有出现失封现象,施工完成后可快速解封并顺利起出井筒,施工成功率 100%(见表 1)。

表 1 20 口井的施工简况

Table 1 Construction situation of 20 wells

井号	层数	最大施工压力/MPa	最大排量/(m ³ ·min ⁻¹)	加砂量/m ³
某 X1	2	52.0	5.60	50.0
某 X2	2	40.14	5.46	50.0
某 X3	2	55.29	6.36	34.56
某 X4	2	41.26	5.51	50.0
某 X5	3	52.0	6.1	54.4
某 X6	3	56.0	6.5	71.5
某 X7	3	58.0	6.1	61.7
某 X8	2	59.0	6.0	50.2
某 X9	2	54.0	6.1	50.0
某 X10	2	61.0	6.0	50.4
某 X11	2	63.0	6.4	50.1
某 X12	2	58.0	6.2	50.3
某 X13	2	53.0	6.5	50.0
某 X14	2	85.7	5.5	50.0
某 X15	2	64.0	5.8	50.1
某 X16	2	45.0	5.5	50.0
某 X17	2	35.0	5.9	50.0
某 X18	2	64.0	5.5	70.0
某 X19	2	55.0	5.5	50.0
某 X20	2	81.0	6.0	50.0

由表 1 可见,该封隔器最大施工压力达到 85.7 MPa,最大施工排量达到 6.5 m³/min,可以满足大规模压裂施工和起管柱的需要。

4 结论

(1) K344 型可溶辅助解封压裂封隔器采用辅助承压/解封机构和胶筒一体化中心管的结构形式,可满足大规模压裂施工,有效提高了工具的耐温和承压性能,同时在易变形部位采用可溶包覆层补位,不仅可以有效保护胶筒,避免长时间承压后出现破裂损坏,而且后期溶解后可抵消胶筒的永久变形,提高了工具的解封可靠性。

(2) 通过室内试验以及 20 口井的现场应用进一步检验,研制的 K344 型可溶辅助解封压裂封隔器结构合理,耐温、承压和解封性能满足设计要求。

(3) K344 型可溶辅助解封压裂封隔器适用于 $\phi 139.7$ mm 套管内的直斜井和水平井的封隔器机械分层压裂,可以满足大规模压裂施工和起管柱的需要,具有良好的推广应用前景。建议继续对该型封隔器进行深化研究及改进,尽快形成满足不同套管规格的系列化成熟工具。

致谢:感谢渤海钻探工程研究院同意本文公开发表。

参考文献

[1] 邹一锋,傅春梅,苏黎晖,等. 川西气田水平井 K344 封隔器分段压裂技术应用[J]. 新疆石油天然气, 2016, 12 (3): 86-89.

ZOU Yifeng, FU Chunmei, SU Lihui, et al. The application of horizontal wells K344 packer staged fracturing technology in Western Sichuan [J]. Xinjiang Oil & Gas, 2016, 12 (3): 86-89.

[2] 郑锋,詹鸿运,郭志勤,等. 直井多层无阻分压合采压裂管柱结构及应用[J]. 石油矿场机械, 2014, 43 (12): 48-50.

ZHENG Feng, ZHAN Hongyun, GUO Zhiqin, et al. Structure and application of multi-layer separated layer fracturing coupled with unhindered production frac-string [J]. Oil Field Equipment, 2014, 43(12): 48-50.

[3] 颜晋川,尹琅,刁素. 水平井 K344 封隔器不动管柱分段压裂技术及应用[J]. 油气井测试, 2014, 23 (3): 31-33.

YAN Jinchuan, YI Lang, DIAO Su. Staged fracturing technology of fixed string with K344 packer in horizontal well and its application [J]. Well Testing, 2014, 23(3): 31-33.

[4] 周治岳,刘俊丰,温中林,等. 涩北气田多层合采井分压测试技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(2): 20-26.

- ZHOU Zhiyue, LIU Junfeng, WEN Zhonglin, et al. Separate pressure testing technique for commingling production wells in Sebei gas field [J]. Well Testing, 2019, 28(2): 20-26.
- [5] 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.
- ZHANG Peng, JIAO Xu, CUI Zhenmao, et al. Separate layer fracturing technology with dissolvable sliding sleeve [J]. Well Testing, 2020, 29(6): 45-49.
- [6] 王红丽. 不动管柱压裂工艺封隔器及配套工具优化[J]. 油气井测试, 2020, 29(2): 32-36.
- WANG Hongli. Packers and supporting tools optimization for immobile string fracturing technology[J]. Well Testing, 2020, 29(2): 32-36.
- [7] 刘红磊, 陈作, 周林波, 等. 套管封隔器分段压裂管柱遇卡原因分析及解决方案[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(2): 102-106.
- LIU Honglei, CHEN Zuo, ZHOU Linbo, et al. The analysis and solution of sticking in a staged horizontal well fracturing with a casing packer [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(2): 102-106.
- [8] 戴文潮, 姚辉前, 崔晓杰. 多级滑套压裂管柱套管内胀封事故分析与处理措施[J]. 钻采工艺, 2017, 40(3): 117-119.
- DAI Wenchao, YAO Huiqian, CUI Xiaojie. Analysis and treatment measures of expanding sealing accident in casing of multistage sliding sleeve fracturing string [J]. Drilling & Production Technology, 2017, 40(3): 117-119.
- [9] 程智远, 骆劲羽, 孙晓飞, 等. K344 型可控封隔器及压裂滑套研制[J]. 石油矿场机械, 2016, 45(8): 77-80.
- CHENG Zhiyuan, LUO Jinyu, SUN Xiaofei, et al. Development of K344 controllable packer and fracturing sleeve [J]. Oil Field Equipment, 2016, 45(8): 77-80.
- [10] 骆劲羽, 杨晓勇, 张鹏, 等. 射孔压裂封隔一体化压裂管柱的改进[J]. 油气井测试, 2021, 30(5): 50-54.
- LUO Jinyu, YANG Xiaoyong, ZHANG Peng, et al. Improvement of perforation, fracturing and packer integrated fracturing string [J]. Well Testing, 2021, 30(5): 50-54.
- [11] 王瑞, 孙浩, 余波, 等. K344 波纹状钢骨架封隔器结构优化[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2021, 41(4): 58-62.
- WANG Rui, SUN Hao, YU Bo, et al. Structural optimization of K344 corrugated sSteel frame packer [J]. Journal of Liaoning Petrochemical University, 2021, 41(4): 58-62.
- [12] 胡英才, 杨康敏, 李家明, 等. 多级压裂自助解封封隔器及其管柱研究与应用[J]. 石油机械, 2017, 45(4): 83-86.
- HU Yingcai, YANG Kangmin, LI Jiaming, et al. Research and application of multistage fracturing self-releasing packer and tubing string [J]. China Petroleum Machinery, 2017, 45(4): 83-86.
- [13] 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.
- [14] 刘超群. 大庆油田不动管柱 6~8 层压裂工艺[J]. 油气井测试, 2021, 30(5): 44-49.
- LIU Chaoqun. Fracturing technology of 6-8 layers of immovable string in Daqing Oilfield [J]. Well Testing, 2021, 30(5): 44-49.
- [15] 李丹. 多段分层注水井逐级解封封隔器研制与应用[J]. 大庆石油地质与开发, 2016, 35(4): 113-116.
- LI Dan. Development and application of the step-by-step releasable packer in the staged layered water injector [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2016, 35(4): 113-116.
- [16] 王继良, 伊伟锴. 可逐级解封的管内分段压裂管柱设计[J]. 石油机械, 2017, 45(5): 107-110.
- WANG Jiliang, YI Weikai. Design of Releasable Staged Fracturing String for Cased Hole [J]. China Petroleum Machinery, 2017, 45(5): 107-110.
- [17] 彭冲, 欧阳传湘, 谭钰扬, 等. 扩张式封隔器接触力学行为及坐封效果评价[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2021, 36(3): 90-96, 104.
- PENG Chong, OUYANG Chuanxiang, TAN Zhengyang, et al. Evaluation of contact mechanical behavior and setting effect of expandable packer [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2021, 36(3): 90-96, 104.
- [18] 窦益华, 杨浩, 李明飞, 等. 水力扩张式封隔器胶筒力学性能有限元分析[J]. 油气井测试, 2016, 25(2): 6-9.
- DOU Yihua, YANG Hao, LI Mingfei, et al. Finite element analysis of mechanical properties of hydraulic expander packer [J]. Oil and Gas Wells Test, 2016, 25(2): 6-9.

编辑 刘振庆

第一作者简介: 韩永亮, 男, 1985 年出生, 工程师, 2009 年毕业于西安石油大学机械设计制造及其自动化专业, 现从事完井及增产技术的研究工作。电话: 13920356015; Email: cool-han74@163.com, 通信地址: 天津市滨海新区大港油田渤海钻探工程技术研究院, 邮政编码: 300280。