

大规模压裂用 Y344 封隔器及工艺管柱关键技术

韩永亮,冯强,杨晓勇,周后俊,骆劲羽,秦诗涛

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

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“苏里格合作区块大型压裂工艺技术研究”(2018ZD12K-02)

引用: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.

Cite: 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.

摘要 分层压裂时,K344 封隔器解封只靠扩张胶筒的回弹力,胶筒回收不完全;Y241 封隔器解封需要上提管柱、多个金属锚瓦的解封力累积效应导致解封困难。研制的大规模压裂用 Y344 封隔器采用弹簧自助解封机构、割缝中心管和压缩胶筒的结构形式,提高了下入、坐封和解封的稳定性和可靠性。该封隔器不需要节流压差坐封,提高了压裂施工的成功率;采用该封隔器设计的工艺管柱可实现不动管柱分 6 层大规模压裂施工。苏里格气田 10 口井的现场应用结果表明,大规模压裂用 Y344 封隔器及工艺管柱,施工成功率 100%。该工艺适用于直井、大斜度井和水平井,具有良好的应用推广前景。

关键词 苏里格气田;大规模压裂;Y344 封隔器;工艺管柱;分层压裂;坐封;解封

中图分类号:TE357 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.06.004

Key technologies of Y344 packer and string technology for large-scale fracturing

HAN Yongliang, FENG Qiang, YANG Xiaoyong, ZHOU Houjun, LUO Jinyu, QIN Shitao

Engineering Technology Research Institute of Bohai Drilling Engineering Limited Company, CNPC, Tianjin, 300280, China

Abstract: During stratified fracturing, the recovery of rubber cylinder is incomplete because K344 packer only relies on the resilience of expanding rubber cylinder; Y241 packer is difficult to be unlocked because the accumulation effect of unlocking forces of many metal anchor bushes when lifting pipe string. The Y344 packer for large-scale fracturing is developed and it composes the spring self-help unloading mechanism, slot central pipe and compression rubber tube, which improves the stability and reliability of down-entry, setting and unloading. The setting of this packer does not need throttle differential pressure, which improves the success rate of fracturing construction. The technology string designed for the packer can realize large-scale fracturing construction with six layers of immovable string. The application results of 10 wells in Sulige gas field show that the successful rate of large-scale fracturing with Y344 packer and fracturing string is 100%. This technology is suitable for vertical wells, highly deviated wells and horizontal wells, and has good application and popularization prospects.

Keywords: Sulige gas field; large-scale fracturing; Y344 packer; string technology; stratified fracturing; seating; unsealing

近年来,封隔器机械分层压裂技术已经成为低压、低渗透油气资源开发的主要手段,在国内外油气田得到了广泛应用^[1-4]。在国外,封隔器整体结构较简单,一般设计为卡瓦式封隔器,另外为了改善管柱由于温度和压力效应引起的管柱伸缩,通常在管柱上安装可伸缩短节;在国内,随着我国油气田开发不断向深井、超深井方向发展,油气井产层分布越来越复杂,对封隔器提出了更高的要求。在结构方面设计更加简单,密封材料具有很好的弹性,具有大通径;在性能方面更加优良,针对各种复

杂工况,用途更加广泛,工作寿命得到进一步提高^[5-7]。胡英才等^[8]为实现河南油田安棚深层系和沁阳凹陷等区块多层系及大跨度储层的低成本多级压裂增产措施的目的,研制了一种 K344 多级压裂自助解封封隔器及其工艺管柱,其中 K344 多级压裂自助解封封隔器设计了自助解封机构,压裂后可快速解封,消除了多级分层压裂易砂卡管柱的问题,同时具有良好的耐高温高压性能。大庆油田普遍采用阶梯式滑套结构的压裂管柱,滑套孔径逐级减少,能量在滑套孔径处产生节流损失,限制了排

量的提升,无法满足大规模压裂施工需要。为此,李博睿等^[9]提出了全通径大规模多级压裂管柱,并研制了全通径导喷封隔器,可以提高施工规模及施工效率,实现大排量缝网压裂施工。常成等^[10]针对常规 Y341 封隔器在多级封隔器管柱中无法正常解封问题,研制了新型 Y342 封隔器。该封隔器采用三级胶筒组合密封,能承受高压,右旋上提管柱的解封操作以及独特的分离管设计使得逐级解封更加稳定可靠,能有效避免提供大扭矩解封多个封隔器的弊端。设计了防止提前解封机构,有效避免了提前解封风险。王继良等^[11]、李丹^[12]、丁连民^[13]针对机械分层压裂、多段分层注水时封隔器坐封、解封困难,常出现管柱刺断和卡管柱事故等问题,研究设计了逐级解封封隔器,实现管柱在封隔器逐级解封情况下小载荷起出,有效解决了管柱无法顺利起出的问题,封隔器和整体管柱的安全性大大提高。肖国华等^[14]设计了不动管柱分级坐封、分级验封、分级解封、遇卡分级丢手分段打捞的 Y241 液压压缩封隔器,分层压裂管柱和不动管柱分级坐封、遇卡分段丢手分段打捞的 K344 水力扩张式封隔器分层压裂管柱,实现了一趟管柱分级压裂多层,提高了分层压裂的效果,降低了压裂成本。李志龙等^[15]针对苏里格气田“低渗、低压、低丰度”特点,开发应用了 K344 气井不动管柱分压合采工艺技术,实现一趟管柱分多层压裂施工,以及压裂后合层开采。吕伟^[16]针对油气井套管内封隔器机械分层压裂工艺存在的压裂后砂埋砂卡管柱、工具刺坏等问题,研制了以 YQK344-113 型滑套封隔器为核心的精细分层压裂工艺管柱,可实现 2~4 层分层压裂施工,满足薄互层低渗透油藏细分层、高排量、大规模压裂施工要求。金智荣等^[17]研究并试用一种安全可靠的新型机械分压工艺管柱,坐封、解封操作方便,砂卡风险低,能够满足 4 段以内压裂要求,有效提高了分层压裂的工艺可靠性和经济性。詹鸿运等^[18]研制出新型气井三层分压合采无阻生产压裂管柱,采用自带无阻喷砂滑套 BZ-K344 封隔器,长胶筒结构设计保证了施工过程中能反复坐封,达到良好密封效果,大通径水力锚和封隔器保证了所有滑套芯子均能顺利打到井底,实现全井筒无阻生产。赵广民等^[19]介绍的气井分层改造合层开采管柱及工艺,一次下入分层改造合层开采管柱,通过封隔器封隔及喷砂滑套的开启实现自下而上逐层改造,分层改造完成后合层排液生产,具有

施工简单、作业及排液速度快、储层伤害低特点。

从以上研究可以看出,国内研究者主要是对现有成熟封隔器及其工艺管柱进行结构改进,以满足分层压裂、逐级坐封、自助解封和大规模压裂施工改造等要求。为了解决目前常用的 K344 封隔器分层压裂工艺管柱存在封隔器坐封需要节流压差、解封只靠扩张胶筒的回弹力导致胶筒回收不完全,以及 Y241 封隔器分层压裂工艺管柱存在封隔器解封需要上提管柱、多个金属锚瓦的解封力累积效应导致解封困难的技术难题,开展了一种大规模压裂用 Y344 封隔器及其工艺管柱的研究。

1 大规模压裂用 Y344 封隔器

对于大规模压裂用 Y344 封隔器的研制,分别从结构及工作原理、技术参数和结构特点等方面进行技术分析。

1.1 结构及工作原理

大规模压裂用 Y344 封隔器主要由上接头、上中心管、胶筒、压环、弹簧中心管、弹簧、动力活塞、下中心管和下接头等组成(图 1)。

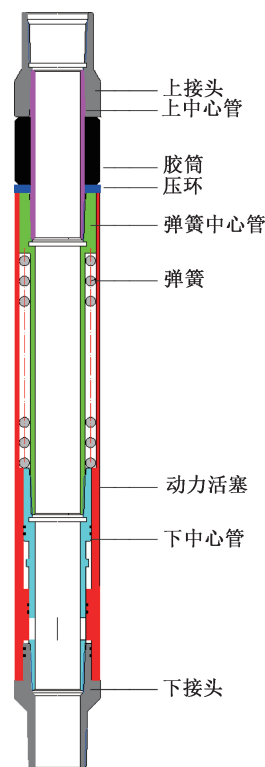


图 1 大规模压裂用 Y344 封隔器结构示意图

Fig.1 Structure diagram of Y344 packer for large-scale fracturing

根据施工井井深安装已调整好预压力的弹簧;压裂时,关闭套管阀门,油管内打压,液压力经下中

心管割缝推动动力活塞上行压缩弹簧,实现蓄力,同时推动压环压缩胶筒。当该压力达到封隔器的坐封压力时,封隔器实现坐封,封隔油套管环形空间;当压裂施工结束后,弹簧强制回弹,推动动力活塞下行,给胶筒留出自由空间,胶筒在自身回弹力和弹簧的自助解封力的双重作用下快速解封,实现油套管的连通。

1.2 技术参数

大规模压裂用 Y344 封隔器总长 1 400 mm,最大外径 $\phi 114$ mm,内通径 $\phi 62$ mm,耐温 120 $^{\circ}\text{C}$,承压 70 MPa,坐封压力 20 ~ 25 MPa,适用套管内径 $\phi 121 \sim 124$ mm。

1.3 结构特点

(1)设计了弹簧自助解封机构。通过弹簧预压力的设置,可以平衡管柱内外静液柱压力,避免下井中途误坐封,保证了下入的安全性。同时,由于压缩胶筒大部分时间处于收缩状态,塑性变形小,压后压缩胶筒在自身回弹力和弹簧的自助解封力双作用下快速解封,解封时间短,消除了多级分层压裂管柱易砂卡、不易起出的问题。

(2)下中心管设计为割缝防砂进液管,解决了压裂砂进入动力机构动力腔体造成停泵后胶筒无法回收完全的问题。

(3)密封机构采用压缩胶筒结构,具有良好的耐高温高压性能。同时,相较于扩张胶筒,提高了解封可靠性。

(4)对工艺管柱无节流要求,不需要节流压差坐封,可使地面泵压直达地层,提高了压裂施工的成功率。

(5)下中心管设计了限位机构,使封隔器胶筒既能达到最佳的密封性能,同时又可以减少胶筒的过度膨胀,延长胶筒的使用寿命。

2 工艺管柱

通过对封隔器机械分层压裂技术、封隔器及喷砂滑套的研究,设计了一种由多个大规模压裂用 Y344 封隔器和多级喷砂口无需节流的喷砂滑套组成的工艺管柱。该管柱可以实现投球打滑套分 6 层压裂施工,并保证管柱可安全起出。

2.1 管柱组成及施工过程

现从管柱组成、分层数及施工过程分项加以论述。

2.1.1 管柱组成

工艺管柱组成如下(自下而上,以分 3 层压裂为例):喇叭口+油管+大规模压裂用 Y344 封隔器+喷砂滑套(喷砂口无需节流)1+油管+大规模压裂用 Y344 封隔器+喷砂滑套(喷砂口无需节流)2+油管+防砂水力锚+油管+安全接头+油管+油管挂+油补距(图 2)。

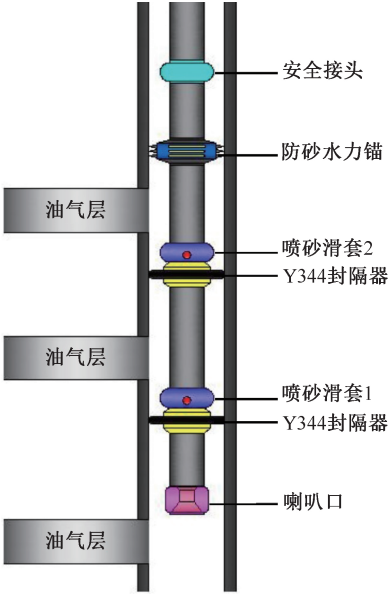


图 2 工艺管柱结构示意图
Fig.2 Structure diagram of String Technology

2.1.2 分层数

喷砂滑套级数越多,可实现的压裂层数越多。但级数越多,喷砂滑套球座级差也越小,球座易因磨损而造成难以有效密封。同时,球座内径过小,难以满足大规模压裂施工对过液能力的要求。综合考虑以上因素,设计了可以满足不动管柱分 6 层大规模压裂施工改造用的喷砂滑套,具体喷砂滑套球座与可溶球匹配尺寸见表 1。

表 1 分 6 层喷砂滑套球座与可溶球匹配尺寸
Table 1 Six layers sandblasting sliding sleeve socket matching size with soluble ball

级数	球座直径/mm	可溶球直径/mm
1	62.0	喇叭口,常开,不需投球
2	35.9	38.1
3	39.1	41.3
4	42.2	44.5
5	45.4	47.6
6	48.6	50.8

2.1.3 施工过程

(1)第 1 层施工。管柱下到预定位置后,关闭套管阀门,油管内打压。当压力达到大规模压裂用

Y344 封隔器的坐封压力时实现坐封。继续提高压力,按施工设计通过喇叭口直接进行第 1 层压裂施工。

(2)第 2 层施工。第 1 层施工完成后,油管泄压,大规模压裂用 Y344 封隔器自助快速解封,从油管内投入与喷砂滑套 1 匹配的可溶球,打掉球座,球与球座一起落在喇叭口上的滑套座上,封堵第 1 层,露出喷砂口,实施对第 2 层的压裂施工。大规模压裂用 Y344 封隔器坐封与解封原理同上。

(3)第 3~6 层施工。重复第 2 层压裂施工步骤,可实现从下到上逐层压裂施工。

(4)施工结束后,起出多层压裂管柱。

2.2 技术特点

(1)大规模压裂用 Y344 封隔器不需要节流压差坐封,通过配套喷砂滑套(喷砂滑套无需节流),该工艺管柱可以实现不动管柱投球打滑套分 6 层大规模压裂施工。

(2)压后大规模压裂用 Y344 封隔器快速解封,可以保证工艺管柱安全起出。

(3)喷砂滑套紧靠封隔器胶筒,减少沉砂口袋,防止砂埋封隔器。

(4)油气层上部安装有防砂水力锚,既可以减小工艺管柱上下蠕动,又可以降低砂卡的风险。

(5)根据井斜选用合适的安全接头(对于井斜小于 30°的井采用机械反扣式安全接头;对于井斜大于 30°的井采用液压滑套式安全接头),砂卡后可脱开,以冲砂和打捞的方式起出管柱。

3 现场应用

苏 25-A 井为 2018 年部署的一口开发井。设计垂深 3 291.0 m,目的层为盒 8 段、山西组兼探上部地层,完钻井深 3 284.0 m,完钻层位本溪组。该井钻遇盒₈段砂岩厚度 15.8 m,测井解释气层厚度 9.0 m;钻遇山₂段砂岩厚度 16.5 m。测井解释气层厚度 2.8 m,含气层厚度 0.7 m;钻遇太原组段砂岩厚度 5.4 m,测井解释气层厚度 2.8 m。根据录井、测井综合评价结果,决定对本井盒_{8下}²(射孔井段井深 3 132.0~3 135.0 m)、盒_{8下}¹(射孔井段井深 3 118.0~3 123.0 m)气层分压合试。该井气层套管采用 N80 钢级、9.17 mm 壁厚的 $\phi 139.7$ mm 套管完井方式,压裂方式选用 $\phi 88.9$ mm 外加厚油管注入,大规模压裂用 Y344 封隔器分层压裂管柱(图 3),压后合试求产。

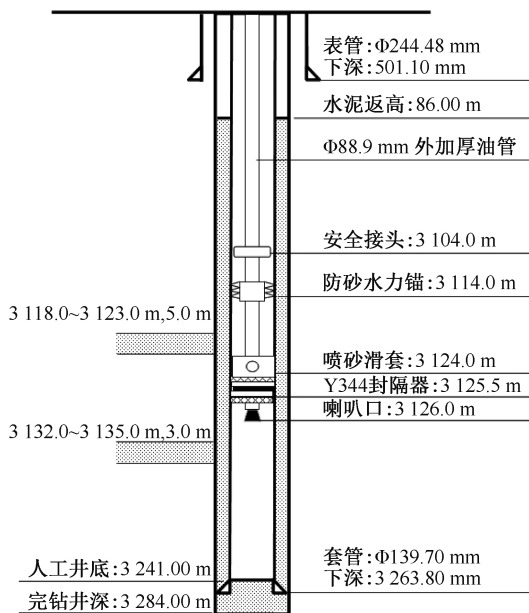


图 3 苏 25-A 井压裂施工管柱结构示意图
Fig.3 Structural sketch of fracture pipe string for Well Su25-A

该井工艺管柱下入全过程无遇阻现象,并按设计要求下到预定位置,第一层设计排量 4.5~6.0 m³/min,设计砂量 30 m³,按设计完成加砂;第二层设计排量 4.0~6.0 m³/min,设计砂量 35 m³,按设计完成加砂。该井压裂施工曲线如图 4、图 5 所示。

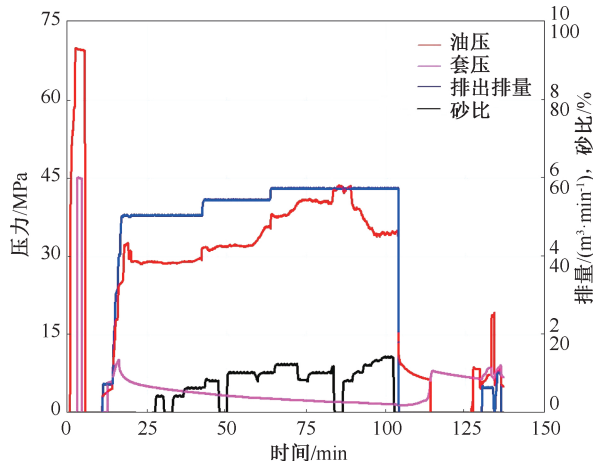


图 4 苏 25-A 井第一层压裂施工曲线
Fig.4 Fracturing operation curves of the first layer in Su 25-A Well

由图 4 可以看出,第一层压裂施工时,关闭套管阀门,油管打压 18 MPa,大规模压裂用 Y344 封隔器即完成初封。继续提高油压,套压不升,说明封隔器已经坐封完全。按施工设计进行正常加砂压裂,整个压裂施工过程中最大排量达到 5.8 m³/min,油管压力达到 43 MPa,油、套管压差达到 40 MPa,封隔器及工艺管柱耐温、耐压性能良好,顺利完成了

第一层压裂施工。

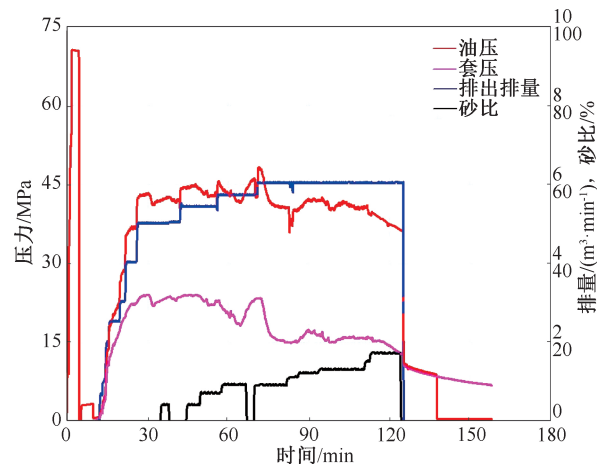


图 5 苏 25-A 井第二层压裂施工曲线
Fig.5 Fracturing operation curves of the second layer in Su 25-A Well

由图 5 可以看出,第二层压裂施工时,关闭套管阀门,油管打压至 24 MPa 过程中,大规模压裂用 Y344 封隔器进入坐封状态,出现油压和套压一起快速上升情况。继续提高油压,套压不升,说明此时地层已被压开,封隔器已经坐封完全。按施工设计进行正常加砂压裂,整个压裂施工过程中最大排量达到 6.0 m³/min,油管压力达到 48 MPa,油、套管压差达到 30 MPa,封隔器及工艺管柱耐温、耐压性能良好,顺利完成了第二层压裂施工。停泵后,油、套管压力平衡,说明封隔器已经完全解封。

大规模压裂用 Y344 封隔器及工艺管柱自 2018 年在苏里格气田应用以来,共计施工 10 口井,施工成功率 100%(表 2)。

表 2 10 口井的施工简况			
Table 2 Construction Situation of 10 Wells			
井号	压裂方式	分层数	砂量/m ³
苏 25-A	φ88.9 mm 油管	2	30/35
苏 20-A	φ88.9 mm 油管	2	25/40
苏 76-A	φ88.9 mm 油管	2	35/25
苏 25-B	φ73.0 mm 油管	3	12/25/30
苏 25-C	φ73.0 mm 油管	4	8/15/25/20
苏 20-B	φ73.0 mm 油管	2	30/15
苏 20-C	φ73.0 mm 油管	2	25/20
苏 20-D	φ73.0 mm 油管	3	15/20/25
苏 20-E	φ73.0 mm 油管	4	12/15/30/25
苏 76-B	φ73.0 mm 油管	5	25/15/20/12/18

注:10 口井坐封良好,解封完全。

由表 2 可见,该型封隔器及工艺管柱耐温、耐压性能良好,下入、坐封和解封过程安全可靠。

4 结论

(1)研制的大规模压裂用 Y344 封隔器采用弹簧自助解封机构、割缝中心管和压缩胶筒的结构形式,提高了下入、坐封和解封的稳定性和可靠性,降低了压裂砂进入封隔器动力腔发生砂卡的风险,改善了胶筒的耐高温、高压性能;对工艺管柱无节流要求,不需要节流压差坐封,可使地面泵压直达地层,提高了压裂施工的成功率。

(2)研制的工艺管柱可以实现不动管柱投球打滑套分 6 层大规模压裂施工。

(3)10 口井的现场应用结果表明,大规模压裂用 Y344 封隔器及工艺管柱耐温、耐压性能良好,下入、坐封和解封过程安全可靠,结构简单,操作方便,具有良好的应用推广前景。

(4)大规模压裂用 Y344 封隔器及工艺管柱适用于 φ139.7 mm 套管内的直井、大斜度井和水平井的封隔器机械分层压裂,可以实现 φ73.0 mm 油管常规压裂和 φ88.9 mm 油管大规模压裂。建议对该型封隔器进行不断深化研究及改进,以期实现小井眼封隔器机械分层压裂、连续油管拖动压裂和老井重复压裂等工艺。

致谢:感谢渤海钻探工程技术研究院同意本文公开发表。

参考文献

[1] 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 Huaguang, 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.

[2] 张伟,张华丽,李升芳,等. 机械分层压裂工艺技术在江苏油田的研究和应用[J]. 钻采工艺,2008,31(2):48-50. ZHANG Wei, ZHANG Huali, LI Shengfang, et al. Research & application of mechanical separate layer fracturing technology in Jiangsu oilfield [J]. Drilling & Production Technology, 2008,31(2):48-50.

[3] 于开斌. 苏里格气田直井细分层压裂工艺管柱研究[J]. 石油矿场机械,2012,41(12):80-83. YU Kaibin. Study of vertical well separate minilayer fracturing in Sulige gas field [J]. Oil Field Equipment, 2012,41(12):80-83.

[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] 张宇航, 徐小兵, 杨亚. 浅析国内外封隔器的发展状况[J]. 机械工程师, 2015(1): 37-39.
ZHANG Yuhang, XU Xiaobing, YANG Ya. Analysis on development of domestic and foreign packers [J]. Mechanical Engineer, 2015(1): 37-39.
- [6] 周生福, 崔龙兵, 刘练, 等. 顺北油田三高油气井完井测试封隔器影响因素及对策[J]. 油气井测试, 2019, 28(3): 37-41.
ZHOU Shengfu, CUI Longbing, LIU Lian, et al. Influencing factors of completion test packer and countermeasure for 3-high oil and gas well in Shunbei Oilfield [J]. Well Testing, 2019, 28(3): 37-41.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 李博睿, 王静. 大规模多级压裂用全通径导喷封隔器[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(5): 705-708.
LI Borui, WANG Jing. Full-sized diverting packer for large-scale multi-stage fracturing stimulation [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38(5): 705-708.
- [10] 常成, 易先中, 张锦洲, 等. 新型 Y342 封隔器的研制[J]. 钻采工艺, 2016, 39(5): 68-70.
CHANG Cheng, YI Xianzhong, ZHANG Jinzhou, et al. Development of new type Y342 packer [J]. Drilling & Production Technology, 2016, 39(5): 68-70.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 丁连民. Y341B-115 逐级解封封隔器的研制与应用[J]. 石油钻采工艺, 2005, 27(3): 76-78.
DING Lianmin. Development and application of Y341B-115 series step-by-step releasable packer [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2005, 27(3): 76-78.
- [14] 肖国华, 王金忠, 黄坚毅, 等. 冀东油田深斜井分层压裂管柱研究与应用[J]. 石油机械, 2016, 44(2): 63-67.
XIAO Guohua, WANG Jinzhong, HUANG Jianyi, et al. Multistage fracturing string for deep deviated well in Jidong Oilfield [J]. China Petroleum Machinery, 2016, 44(2): 63-67.
- [15] 李志龙, 姜涛, 方旭东, 等. K344 气井不动管柱分压合采工艺技术[J]. 油气井测试, 2010, 19(2): 44-46.
LI Zhilong, JIANG Tao, FANG Xudong, et al. Commingled production and partial pressured technology with fixed string for K344 gas well [J]. Well Testing, 2010, 19(2): 44-46.
- [16] 吕玮. 薄互层低渗透油藏分层压裂管柱研究与应用[J]. 特种油气藏, 2015, 22(4): 140-143.
LYU Wei. Development and application of separate-layer fracturing string in low-permeability reservoir with thin alternating layers [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015, 22(4): 140-143.
- [17] 金智荣, 李太伟, 王进涛, 等. 新型机械分压 4 层工艺管柱在薄互层油藏中的应用[J]. 复杂油气藏, 2015, 8(3): 84-86.
JIN Zhirong, LI Taiwei, WANG Jintao, et al. Application of a new four-layer fracturing technology without pulling tubing string in layer subdivision of reservoir with thin interbeds [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2015, 8(3): 84-86.
- [18] 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.
- [19] 赵广民, 王艳华, 任勇, 等. Y241 型封隔器分压管柱及在长庆气田的应用[J]. 石油矿场机械, 2009, 38(10): 78-80.
ZHAO Guangmin, WANG Yanhua, REN Yong, et al. Separate layer fracturing string with Y241 packers and application in changqing gasfield [J]. Oil Field Equipment, 2009, 38(10): 78-80.

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, 现从事完井技术及配套工具的研究工作。电话: 022-25925514, 13920356015; Email: coolhan74@163.com。通信地址: 天津市滨海新区海滨街兴盛道渤海钻探工程技術研究院, 邮政编码: 300280。