

# 一种适用于 139.7 mm 井眼自带旁通的高温高压封隔器

庞振力<sup>1</sup>, 张谧<sup>2</sup>, 徐文光<sup>3</sup>, 冀海洋<sup>4</sup>, 于虎基<sup>4</sup>, 刘志明<sup>4</sup>

1. 中国石油集团海洋工程有限公司天津分公司技术服务中心 天津 300454
2. 中国石油集团海洋工程有限公司海洋工程设计院 北京 100028
3. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司华北油田工程事业部 河北任丘 062552
4. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司油气井测试分公司 河北廊坊 065007

通讯作者: Email: pangzl01\_cpoe@cnpc.com.cn。

项目支持: 中国石油集团海洋工程有限公司天津分公司科技研发项目“高温高压超深井测试工具配套及测试工艺技术研究与应用”(202102-0201)

引用: 庞振力, 张谧, 徐文光, 等. 一种适用于 139.7 mm 井眼自带旁通的高温高压封隔器[J]. 油气井测试, 2022, 31(2): 13-18.

Cite: PANG Zhenli, ZHANG Mi, XU Wenguang, et al. A high-temperature and high-pressure packer with bypass mechanism suitable for 139.7 mm borehole[J]. Well Testing, 2022, 31(2): 13-18.

**摘要** 在小井眼井中, 常规的封隔器满足外径和通径尺寸后, 径向壁厚较薄, 很难提高强度和胶筒密封性能, 不能满足高温高压作业需要。通过对常规封隔器施工过程中受力及变形分析, 优化封隔器结构及材料, 设计出适用于 139.7 mm 套管、耐温 204 ℃、耐压 105 MPa 的自带同心旁通机构、自锁机构、三胶筒组合的胶筒结构、机械坐封、可双向封隔压力的可回收悬挂式测试封隔器, 并通过了 API 11D1-V3 级别进行室内正反向压力反转试验。经现场 YH1 井应用, 效果良好。该封隔器可为小井眼高温高压超深井的射孔、酸压、测试提供技术借鉴。

**关键词** 高温高压井; 封隔器; 受力分析; 旁通机构; 三胶筒结构; 材料优化; 反转试验; 现场应用

**中图分类号**: TE358      **文献标识码**: B      **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2022.02.003

## A high-temperature and high-pressure packer with bypass mechanism suitable for 139.7 mm borehole

PANG Zhenli<sup>1</sup>, ZHANG Mi<sup>2</sup>, XU Wenguang<sup>3</sup>, JI Haiyang<sup>4</sup>, YU Huji<sup>4</sup>, LIU Zhiming<sup>4</sup>

1. Technical Service Center, Tianjin Branch of CNPC Offshore Engineering Co., Ltd., Tianjin 300454, China
2. Engineering & Design Institute Of CNPC Offshore Engineering Co., Ltd. Beijing 100028
3. Huabei Oilfield Engineering Division, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Renqiu, Hebei 062552, China
4. Well Testing Company, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Langfang, Hebei 065007, China

**Abstract:** In slim hole, although the conventional packer can meet the size of outer diameter and drift diameter, its small radial wall thickness makes it difficult to improve the strength and rubber sealing performance, so the conventional packer is not qualified for operations at high temperature and high pressure. By analyzing the stress and deformation of the conventional packer in operations, and optimizing the packer structure and materials, a retrievable suspension test packer was designed, which is composed of a concentric bypass mechanism, a self-locking mechanism, and three-rubber structure. This packer is set mechanically and can isolate pressure in two directions. It is suitable for 139.7 mm casing, and can resist a temperature up to 204 ℃ and a pressure up to 105 MPa. The packer passed the indoor positive/negative pressure reversal test according to the API 11D1-V3 grade standard. It was successfully applied in Well YH1. It is concluded that the designed packer can provide technical reference for perforation, acid fracturing and testing of ultra-deep, high temperature and high pressure slim holes.

**Keywords:** high temperature and high pressure well; packer; force analysis; bypass mechanism; three-rubber structure; material optimization; reversal test; field application

随着石油勘探技术的不断发展, 油气井完钻井深不断增加, 套管规格越来越小, 井底温度和压力不断增大。高温高压地层是一种典型的复杂地层, 在高温高压环境下, 受小井眼内径限制, 对测试工

具强度和密封性能要求较高。封隔器是整个测试管柱中的核心工具,其满足外径和通径尺寸后,径向壁厚较薄,封隔器承受测试管柱屈曲、温度及膨胀等多种诱发力作用,现有耐温 177 ℃、承压 70 MPa 的封隔器在使用过程中存在钢骨架变形较大,无法解封和高温老化失封的问题,难以满足试油测试需要。现场实践经验表明,胶筒老化或者管柱蠕动导致封隔器失封的概率超过 80%,卡、埋管柱问题频发,使后期修井作业难度及风险增大,严重时甚至导致油气井报废<sup>[1-2]</sup>。

封隔器是具有弹性密封的元件,用于封隔井下管柱与井眼之间的环形空间,由于封隔器要承受高温和高压,在井下管柱伸长或缩短的影响下,不仅有可能提前坐封还有可能上下窜动影响密封效果。韩传军等<sup>[3]</sup>针对封隔器卡瓦锚定力学行为与高温高压实验进行了分析,指出封隔器密封包括外密封和内密封,内密封也是影响整个封隔器性能的重要因素;董社霞等<sup>[4]</sup>针对特定使用条件下的 O 型圈压缩率给出了合适的推荐值;刘阳<sup>[5]</sup>针对塔北深层奥陶系油藏裸眼完井过程中封隔器胶筒易老化、骨架易破损的问题,进行了故障原因分析,设计了耐温能达到 180 ℃裸眼封隔器;陈征等<sup>[6]</sup>对封隔器关键元件密封胶筒进行了力学性能研究,针对海上油田 139.7 mm 套管完井层位分隔与可反洗井的现场应用需求,设计研发了液控膨胀封隔器。郭飞等<sup>[7]</sup>基于 Ansys 对封隔器密封胶筒性能进行优化;高攀<sup>[8]</sup>针对塔里木油田高温高压复杂地层研发了适应该地区的双向卡瓦液压可回收封隔器,卡瓦应力分布均匀,锚定力强。

针对现有 139.7 mm 套管使用的耐温 177 ℃、承压 70 MPa RTTS 测试封隔器已不能满足超深储层安全测试的需要,设计了一种适用于 139.7 mm 套管耐温 204 ℃、耐压 105 MPa 自带同心旁通机构、自锁机构、三胶筒组合的胶筒结构、机械坐封、可双向封隔压力的可回收悬挂式测试封隔器<sup>[9-10]</sup>,解决了国内外难以突破 API 11D1-V3 级别温度和压力交替反转测试技术难题<sup>[11]</sup>,满足了大部分高温高压试油测试技术的需要,填补了国内外技术空白。

## 1 小井眼高温高压封隔器设计

为满足小井眼高温高压超深井施工作业需要,针对小井眼高温高压封隔器结构、材料和工艺等方面进行优化设计。

### 1.1 设计思路

综合考虑高温高压井复杂的储层地质条件,以及封隔器在小井眼、高密度测试工作液及高温环境条件下工作工况,对小井眼高温高压测试封隔器提出了“坐得住、封得好、锚得牢、起得出”的要求,从结构、材料和工艺等方面对该封隔器进行了优化设计:

(1)设计锁紧机构。封隔器在下井过程中,水力锚本体等外筒零件和心轴串通过锁定机构锁紧在一起,防止外筒串零件与井壁摩擦向上移动提前关闭旁通孔,也确保坐封时下心轴凸耳换位顺利<sup>[12-13]</sup>,保证封隔器“坐得住”。

(2)封隔器摩擦块弹簧采用 HH-Ni 耐腐蚀弹性合金。旁通外筒、胶筒心轴采用高强度镍基合金。胶筒优选高硬度四丙氟橡胶(AFLAS)材料,中间胶筒及两端边胶筒和胶筒外侧护肩组合构成三胶筒结构,可以满足高压差时支撑强度,中间胶筒在受高压时应力分布更加均匀,达到胶筒最佳压缩比,增加胶筒与套管壁的接触应力,确保封隔器在 204 ℃、105 MPa 压差下“封得好”。

(3)封隔器水力锚卡瓦弹簧采用 HH-Ni 耐腐蚀弹性合金。水力锚锚爪角度分布由三组六个锚爪角度 120°分布增强至六组十二个锚爪角度 60°间隔分布,保证施工作业安全的情况下减少应力集中现象;为满足高温高压密封性能要求,选用高硬度 Aflas O 型圈, O 型圈两侧安装耐高压聚醚醚酮(PEEK)支撑环挡圈,可以起到支撑和保护密封圈作用,防止“胶料挤出”和蠕动失封,确保封隔器“锚得牢”。

(4)在中心管进液通道与胶筒内腔之间设置流通通道。封隔器坐封后,关闭胶筒上下旁通通道,封隔器解封时,直接上提测试管柱,平衡胶筒上下压差,确保封隔器“起得出”。

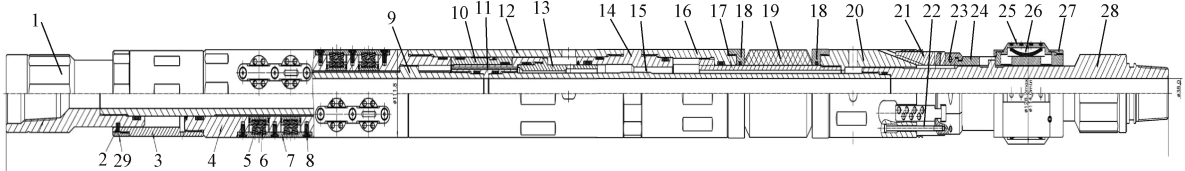
### 1.2 结构设计与工作原理

小井眼高温高压测试封隔器主要有水力锚、同心旁通机构、胶筒结构、锁紧机构、摩擦块等组成(见图 1)。

封隔器下井过程中,旁通始终处于打开状态,摩擦块与套管壁紧贴,定位凸耳在凸耳换位槽短槽内,胶筒处于自由状态;封隔器下入井筒预定位置后,坐封封隔器,先将封隔器下放到稍低于坐封位置,然后上提到坐封位置,右旋管柱并保持右旋扭矩,下放管柱,机械卡瓦坐挂在套管壁上,剪断剪

销,关闭胶筒上下旁通通道,继续下放管柱至坐封吨位,使胶筒及机械卡瓦完全坐封,卸掉右旋扭矩,坐封完成;当胶筒下端压力高时,压差推动水力锚卡瓦撑开镶入套管,防止封隔器上窜。

封隔器解封时,直接上提测试管柱,当胶筒上下旁通流到打开后,可以建立循环通道,平衡胶筒上下压差,待压差平衡后,继续上提测试管柱解封封隔器,胶筒外径缩回,完成解封。



注:1-上接头;2-剪销;3-锁紧短节;4-水力锚本体;5-水力锚卡瓦;6-水力锚卡瓦弹簧;7-固定夹板;8-螺钉;9-上心轴;10-浮动活塞;11-过流短节;12-旁通外筒;13-旁通心轴;14-连接短节;15-中间心轴;16-花键短节;17-胶桶心轴;18-通径规;19-胶筒组件;20-卡瓦滑套;21-机械卡瓦;22-卡瓦限位螺栓;23-开口环箍;24-摩擦块套筒;25-摩擦块;26-摩擦块弹簧;27-固定环;28-下心轴;29-剪切护套。

图 1 高温高压测试封隔器结构示意图

Fig. 1 Structural diagram of high-temperature and high-pressure test packer

1.3 封隔器主要技术参数

封隔器主要技术参数如表 1 所示。

表 1 封隔器主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of the packer

项目名称	规格尺寸
通径规直径/mm	115.6;112.8
通径/mm	38
总长/mm	2 980
最大工作压差/MPa	105
胶筒最大密封压差/MPa	105
耐内压屈服强度/MPa	133
耐外压屈服强度/MPa	131
抗拉屈服强度/kN	680
扭矩屈服强度/kN·m	6.8
最高工作温度/℃	204
两端连接扣型	2 7/8"CAS. BxP
适用套管规格	5 1/2"20~23Lb/ft
旁通过流面积/mm <sup>2</sup>	690

适用环境:所有温度下含 H<sub>2</sub>S,符合 NACE MR0175 标准

封隔器入井为 139.7 mm,套管内径 114.3 mm,工具坐封最高承压 105 MPa,则有效应力

$$F=D^2\times3.14\times P/1\,000=1\,076.8\text{ kN}$$

在锚爪数大于 12 时,有效应力随锚爪数目的增加变化不大,对锚爪强度贡献不大。而当锚爪数小于 12 时,增加锚爪数,有效应力快速变小,锚爪强度增加。所以,选用 12 个锚爪数。水力锚锚爪角度分布也由三组六个锚爪角度 120°分布增强至六组十二个锚爪角度 60°间隔分布。

(2)水力锚卡瓦受力分析

封隔器在压裂施工时,水力锚所承受的压力与管柱内压力一致;暂以 105 MPa 为例来计算水力锚的锚定力是否可靠。水力锚活塞面积  $S=49\text{ mm}^2$ ,单个水力锚咬入套管的力 197 kN;因每个水力锚卡瓦上有 4 个合金块,故单个合金块所受的压力  $F_1=50\text{ kN}$ ;按照估算合金块咬入深度为 0.7 mm;整个工具在井下压力作用下上顶的力量是套管内径至心轴外径之间的环空面积  $S_1\times P$  的值,其结果 861 kN。以 73 mm 油管的理论重量,估算井深 7 000 m 的管柱自重约为 665 kN;在不考虑井内摩阻的情况下,在 105 MPa 的压差下,管柱上顶力约为  $861-665=196\text{ kN}$ ,总共 12 个水力锚,48 个合金块,单个合金块所承受的力约为 4.08 kN。将以上数据带入有限元分析,最大应力图解如图 2,最大位移图解如图 3 所示。

图示中有部分红色区域超过套管屈服强度,最高值是套管的 2 倍。

由图 3 可以看出,最大位移值仅为 0.01mm,说明水力锚锚定力是足够的,封隔器在坐封后,管柱打压至 105 MPa 时,管柱不会发生较大移动。

2 封隔器结构优选及材料优化

在对封隔器进行结构设计和材料选择时,进行了如下改进及优化:

2.1 水力锚卡瓦结构优化及受力分析

(1)水力锚卡瓦结构优化

不同齿数的水力锚与套管接触时的力学规律基本一致,但是不同的水力锚对套管应力是不同的。

水力锚齿数越多,水力锚应力集中点的应力越大,选择齿数合理的水力锚可以在保证施工作业安全的情况下减少应力集中现象。

锚爪数目 6 时,锚定力在 55 t~60 t;



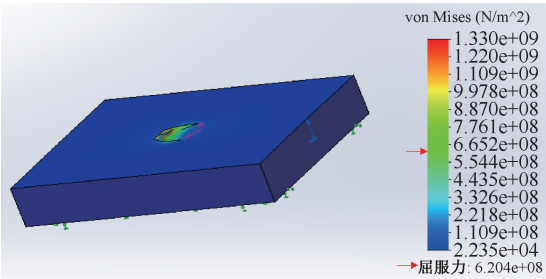


图 2 最大应力图  
Fig. 2 Diagram of maximum stress

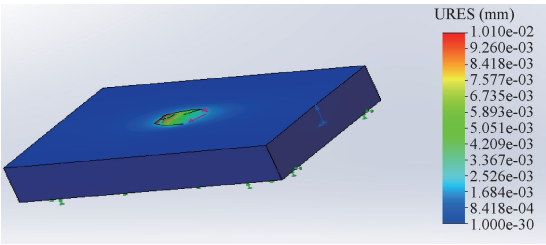


图 3 最大位移图  
Fig. 3 Diagram of maximum displacement

2.2 胶筒结构优选及材质选择

目前国内常用胶筒结构主要为单胶筒结构、双胶筒结构和三胶筒结构,经过对比不同结构胶筒可知,三胶筒组合的胶筒具有以下特点:

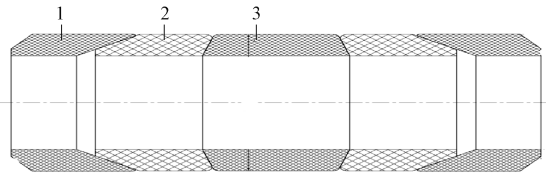
采用中间软两端硬的胶筒组合:中间胶筒比较软,起主要密封作用;两端胶筒比较硬,主要其保护中胶筒的作用。

三胶筒间可以采用刚性隔环分开或胶筒间直接接触。直接接触的三胶筒组合结构端胶筒一般采用碗形结构,中间胶筒为双锥形结构。

三胶筒组合的密封结构端胶筒主要起保护作用,为保证胶筒耐高压,通常需要在端胶筒外部或橡胶材料中添加加固材料,提高端胶筒的结构稳定性及密封性能。

端胶筒和中间胶筒硬度不同,对应的胶筒结构密封性能、承压能力及耐温程度都会有相应的区别。

为实现封隔器工作压差 105 MPa,采用三胶筒结构,其结构如图 4 所示。



1-护肩组合;2-边胶筒;3-中胶筒

图 4 封隔器三胶筒结构示意图

Fig. 4 Structural diagram of the three-rubber structure

中间胶筒采用凹槽设计,使密封胶筒在受高压时其内部的应力分布更加均匀,有效提高胶筒在高温条件下的耐压性能。端胶筒保护中间胶筒,同时在端胶筒外部添加护肩增加结构稳定性<sup>[14-15]</sup>。

封隔器胶筒的材质主要为橡胶材料,如表 2 所示。

表 2 油田橡胶的耐温程度及应用情况  
Table 2 Temperature resistance and application of rubber in oilfield

名称	使用温度/℃	应用情况
丁晴橡胶 (NBR)	≤120	油田密封制品
乙丙橡胶 (EPDM)	120~150	油田密封制品
氢化丁晴橡胶 (HNBR)	150~180	油田密封制品
氟橡胶 (FKM)	180~200	油田密封制品
四丙氟橡胶 (AFLAS)	200~250	油田密封制品
全氟醚橡胶 (FFKM)	250~300	成本较高,应用较少

油田用橡胶材料—丁晴橡胶 (NBR) 和氢化丁晴橡胶 (HNBR),其长期耐温能力都达不到 204 ℃。而全氟醚橡胶 (FFKM) 具有优良的耐化学品、耐热、抗挤压、耐高压压缩变形等性能,因此,该材质的密封圈已经成功用于超深井完井测试工具中,但其年产量低,价格昂贵,国内外封隔器胶筒组件还没有应用该种橡胶材料的成功案例。综合分析,选择耐温等级 ≥204 ℃,同时加工性能良好、化学耐受性高、价格相对合理的四丙氟橡胶 (AFLAS) 作为密封元件的橡胶材料。

3 API 11D1-V3 级别性能测试

参照美国石油协会《井下设备:封隔器和桥塞》(API 11D1 规范)的要求,验证 139.7 mm 套管高温高压封隔器整机是否满足 API 11D1-V3 等级性能<sup>[16-20]</sup>,选择在 139.7 mm 套管进行坐封、验封、压力反转试验、温度循环试验、输出信封曲线,整机高温高压模拟试验过程,提供第三方认证报告。其实验结果见表 3。

综合以上各项试验结果表明,139.7 mm 套管高温高压封隔器满足 API 11D1-V3 等级设计要求,V3 性能试验合格。

4 现场应用情况

为进一步验证 139.7 mm 套管高温高压测试封隔器在现场高温高压及重浆环境中的整体性能,于 2020 年 9 月在 YH1 井中进行了现场试验。

表 3 API 11D1-V3 等级试验项目  
Table 3 Test items under API 11D1-V3 grade

试验项目	试验内容	试验结果
坐封及验封	180 ℃、最小 15 t 坐封力,胶筒上端 180 ℃、40 MPa 验封	坐封 15 t,验封 40 MPa,无压降,试验合格
两次压力反转试验	下压;204 ℃、封隔器下部逐级加压 105 MPa	204 ℃、105 MPa,稳压 30 min,试验合格
	上压;204 ℃、封隔器下部逐级加压 105 MPa	204 ℃、105 MPa,稳压 35 min,试验合格
	下压;204 ℃、封隔器下部逐级加压 105 MPa	204 ℃、105 MPa,稳压 30 min,试验合格
	上压;204 ℃、封隔器下部逐级加压 105 MPa	204 ℃、105 MPa,稳压 15 min,试验合格
温度循环试验	保持压力,从 204 ℃ 开始循环至低温 90 ℃,封隔器上部、下部各 90 ℃、105 MPa 密封试验	90 ℃、105 MPa,稳压 60 min,试验合格
	保持压力,从 90 ℃ 开始循环至高温 204 ℃,进行 105 MPa 密封试验	204 ℃、105 MPa,稳压 60 min,试验合格
密封压差试验	温度 180 ℃、封隔器上下 105 MPa 密封压差试验,保压期间上下压力无窜漏	180 ℃、上压 120 MPa,下压 15 MPa,胶筒上下 105 MPa 压差,压力无窜漏,试验合格
信封曲线	试验结束后,输出信封曲线	
试验后拆检	试验完成后,对所有零件进行拆开检查,金属零件应无损伤变形	拆开检查:锁紧机构、循环机构、水力锚、换位机构无损伤 变形,密封胶筒没有出现硬化现象,胶筒压缩未完全恢复

注:试验参数为:139.7 mm 套管,钢级 P110,通径规 112.8 mm,试验压力 105 MPa,温度范围 90~204 ℃,各阶段压力稳定至少 15 min。

YH1 井为辽河坳陷滩海东部凹陷海月斜坡构造带月探 1 井南圈闭一口评价井。该井 XX 年 8 月 27 日完钻,完钻井深 6 112.78 m,采用 139.7 mm 套管完井,管柱结构自下而上为:射孔枪+点火头+筛管接头+封隔器+传压接头+安全接头+液压循环阀+压力计托筒+N 阀+RD 循环阀+定位短接;封隔器坐封位置 5 823.56 m,温度 191.79 ℃,旋转加压坐封 16 t,环空打压 20 MPa,一开井,稳压,30 min,压力不降,封隔器密封合格。二开井,油管内氮气排液,掏空负压验封 87.5 MPa,稳压 6 h,验封合格。试油测试结束后,上提顺利解封封隔器。起出封隔器后,检查缸体本体完好无损,胶筒略微变形,未完全收缩。

5 结论

- (1)API 11D1-V3 试验结果表明,小井眼自带旁通高温高压测试封隔器结构设计合理,选用胶筒橡胶材质合适,设计带有端部护肩三胶筒结构胶筒,能够在小井眼内承受高压,应力分布更加均匀,有效提高胶筒在高温条件下的耐压性能。
- (2)水力锚锚爪角度分布由三组六个锚爪角度 120°分布增强至六组十二个锚爪角度 60°间隔分布,在保证施工作业安全的情况下减少应力集中现象;防止封隔器蠕动失封,确保封隔器“锚得牢”。
- (3)通过 API 11D1-V3 等级性能试验和现场应用,小井眼自带旁通高温高压测试封隔器,坐封 15 t、204 ℃时,可以实现 105 MPa 压差密封,满足高温高压测试封隔器配套使用需要,在高温高压试油

测试领域具有良好的应用前景,填补国内外技术空白,可为小井眼高温高压油气井试油测试提供技术支持。  
致谢:感谢领导、同事在论文修改过程中给出的建议;感谢海洋公司天津分公司同意本文公开发表。

参考文献

[1] 吴晋霞. 水平井分段压裂裸眼封隔器的研制与应用 [J]. 石油矿场机械, 2018, 46(2): 54-58.  
WU Jinxia. Research and Application of Open Hole Packer [J] Petroleum mining machinery, 2018, 46 (2): 54-58.

[2] 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 a New Y342 Packer [J] Drilling and production technology, 2016, 39 (5): 68-70.

[3] 韩传军, 彭雪峰, 李林涛. 封隔器卡瓦锚定力学行为与高温高压实验分析 [J]. 天然气工业, 2020, 40(7): 76-82.  
HAN Chuanjun, PENG Xuefeng, LI Lintao. Anchoring mechanical behavior of packer slips and its HTHP experimental analysis [J] Natural gas industry, 2020, 40 (7): 76-82.

[4] 董社霞, 王圣虹, 程文佳, 等. 封隔器配套用 O 型圈压缩率优化研究 [J]. 润滑与密封, 2019, 44(10): 151-155.  
DONG Shexia, WANG Shenghong, CHENG Wenjia, et al. Research on optimization of compression ratio of O-ring for packer [J]. Lubrication Engineering, 2019, 44 (10): 151-155.

[5] 刘阳. 高温深层碳酸盐岩裸眼酸压完井封隔器研制与现场试验 [J]. 石油钻探技术, 2020, 48(6): 76-81.  
LIU Yang. The development and field testing of a high-temperature deep-layer open hole packer for acid fracturing completion in deep carbonate reservoirs [J]. Petroleum

- drilling techniques, 2020, 48 (6): 76-81.
- [6] 陈征, 蓝飞, 张乐, 张志熊, 等. 海上油田注水井封隔工具的研究与设计[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(08): 23, 68. CHEN Zheng, LAN Fei, ZHANG Le, et al. Research and Design of Hydraulic Expansion Sealing Tool for Water Injection Well in Offshore Oilfield [J] Chemical Engineering Design Communications, 2020, 46 (8): 23, 68.
- [7] 郭飞, 黄毅杰, 宋炜, 等. 基于 Ansys 的封隔器密封胶筒性能优化[J]. 润滑与密封, 2020, 45(8): 12-18. GUO Fei, HUANG Yijie, SONG Wei, et al. Performance optimization of packer sealing rubber based on Ansys[J]. Lubrication Engineering, 2020, 45(8): 12-18.
- [8] 高攀. 耐高温高压封隔器的研发[J]. 江汉石油职工大学学报, 2019, 32(6): 54-57. GAO Pan. Development of high temperature and high pressure resistant packer [J] Journal of Jianghan Petroleum University of Workers, 2019, 32 (6): 54-57.
- [9] 段凤海, 李振, 侯成勋, 等. 耐高温高压封隔器胶筒性能研究[J]. 石油矿场机械, 2020, 49(2): 66-70. DUAN Fenghai, LI Zhen, HOU Chengxun, et al. Study on the performance of rubber cylinder of high temperature and high pressure packer [J] Oil Field Equipment, 2020, 49 (2): 66-70.
- [10] 关卫国. 三胶筒封隔器密封单元结构参数优化分析[J]. 内蒙古石油化工, 2018, 44(9): 45-49. GUAN Weiguo. Optimization analysis of structural parameters of sealing unit of three rubber cylinder packer [J] Inner Mongolia petrochemical industry, 2018, 44 (9): 45-49.
- [11] 杜伟, 陈子辉, 王勇, 等. 封隔器高温高压性能测试装置研制[J]. 石油机械, 2013, 41(11): 127-130. Du Wei, Chen Zihui, Wang Yong, et al. Research on the high temperature and high pressure performance testing device for packer [J] China Petroleum Machinery, 2013, 41 (11): 127-130.
- [12] 李林涛, 万小勇, 黄传艳, 等. 双向卡瓦可回收高温高压封隔器的研制与应用[J]. 石油机械, 2019, 47(03): 81-86. LI Lintao, WAN Xiaoyong, HUANG Chuanyan, et al. Development and application of bidirectional slip recyclable high temperature and high pressure packer [J] China Petroleum Machinery, 2019, 47 (03): 81-86.
- [13] 徐刚, 张斌, 李进, 等. 244.5mm 套管三胶筒隔离封隔器研制[J]. 石油矿场机械, 2020, 49(1): 60-63. XU Gang, ZHANG Bin, LI Jin, et al. Development of 244.5mm casing three rubber barrel isolation packer [J] Oil Field Equipment, 2020, 49(1): 60-63.
- [14] 罗文莉, 贾晓红, 宋炜. 胶筒密封材料力学特性实验[J]. 液压气动与密封, 2019, 39(6): 54-56. LUO Wenli, JIA Xiaohong, SONG Wei. Mechanical properties of packer elements [J] Hydraulics Pneumatics & Seals, 2019, 39 (6): 54-56.
- [15] 张峰. 油田井下封隔器密封性能影响因素研究[J]. 钻采工艺, 2018, 41(4): 77-79. ZHANG Feng. A study on factors affecting downhole packer's sealing performance in shengli oil field [J] Drilling & production technology, 2018, 41 (4): 77-79.
- [16] 张奎林, 谷磊. 尾管顶部封隔器密封胶筒设计与试验[J]. 断块油气田, 2018, 25(3): 381-384. ZHANG Kuilin, GU Lei. Design and experiment research on sealing rubber tube of top packer of liner hanger [J] Fault Block Oil and Gas Field, 2018, 25 (3): 381-384.
- [17] 闫志远, 张斌, 吴永朝, 等. 新型高温高压封隔器组合式胶筒结构设计及试验[J]. 石油矿场机械, 2021, 50(1): 99-104. YAN Zhiyuan, ZHANG Bin, WU Yongchao, et al. Structural design and test of combined rubber cylinder of new high temperature and high pressure packer [J] Oil Field Equipment, 2021, 50 (1): 99-104.
- [18] 贺秋云, 韩雄, 曾小军. 高温高压井下测试工具橡胶密封材料的优选[J]. 钻采工艺, 2019, 42(4): 36-39. HE Qiuyun, HAN Xiong, ZENG Xiaojun. How to decide optimal rubber seal elements for HPHT down-hole testing tools [J] Drilling & Production Technology, 2019, 42 (4): 36-39.
- [19] 郭飞, 温天政, 黄毅杰, 等. 封隔器胶筒高温高压密封性能检测试验研究[J]. 润滑与密封, 2020, 45(7): 23-27. GUO Fei, WEN Tianzheng, HUANG Yijie, et al. Experimental study on high temperature and high pressure sealing performance of packer rubber [J]. Lubrication Engineering, 2020, 45(7): 23-27.
- [20] 张付英, 水浩澈, 张玉飞, 等. 温度变化对压裂用封隔器胶筒密封性能的影响[J]. 润滑与密封, 2019, 44(7): 35-40. ZHANG Fuying, SHUI Haoche, ZHANG Yufei, et al. Influence of temperature variation on sealing performance of compressed packer rubber [J]. Lubrication Engineering, 2019, 44(7): 35-40.

编辑 刘振庆

第一作者简介: 庞振力, 男, 1982 年出生, 工程师, 本科, 2008 年毕业于重庆科技学院石油工程专业, 主要从事现场试油测试施工、试井资料解释工作及油气藏研究。电话: 022-25832701, 18202209362; Email: pangzl01. cpoe@cnpc.com.cn。通信地址: 天津滨海新区石油科技大厦五楼中石油海洋天津分公司技术服务中心, 邮政编码: 300454。