

## 139.7 mm 套管高温高压测试封隔器研制

庞振力<sup>1</sup>, 刘孝强<sup>1</sup>, 季鹏<sup>1</sup>, 刘光普<sup>2</sup>, 黎朋军<sup>1</sup>, 宋国强<sup>1</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. 中海油田服务股份有限公司天津分公司油田生产事业部 天津 300452

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, 刘孝强, 季鹏, 等. 139.7 mm 套管高温高压测试封隔器研制[J]. 油气井测试, 2021, 30(6): 22-27.

Cite: PANG Zhenli, LIU Xiaoqiang, JI Peng, et al. Development of high temperature and high pressure testing packer for casing with diameter of 139.7 mm [J]. Well Testing, 2021, 30(6): 22-27.

**摘要** 139.7 mm 套管测试封隔器胶筒受耐温、耐压限制, 不能满足超深储层的安全测试。可回收悬挂式封隔器符合 API 11D1-V3 级别, 耐温 204 °C、耐压 105 MPa, 自带同心旁通机构, 减少了封隔器起下钻抽汲及锁定机构, 可以避免下钻过程中因套管壁的摩擦阻力使外筒串上移; 优选 AFLAS 材质, 在密封胶筒两端增加护肩组合三胶筒结构, 提高了封隔器的密封压差。室内按照 API 11D1-V3 级别进行正反向压力反转测试及现场试验。结果表明, 在高温高压环境下封隔器坐封可靠, 加压至 105 MPa 时验封合格。该封隔器可满足高温高压超深井试油测试需要, 为超深井试油测试提供了技术支撑。

**关键词** 超深井; 高温高压; 试油; 测试封隔器; 同心旁通; 锁定机构; 室内试验; 压力反转

中图分类号: TE27 文献标识码: B DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.06.004

## Development of high temperature and high pressure testing packer for casing with diameter of 139.7 mm

PANG Zhenli<sup>1</sup>, LIU Xiaoqiang<sup>1</sup>, JI Peng<sup>1</sup>, LIU Guangpu<sup>2</sup>, LI Pengjun<sup>1</sup>, SONG Guoqiang<sup>1</sup>

1. Technical Service Center of Tianjin Branch, CNPC Offshore Engineering Co., Ltd., Tianjin 300454, China

2. Oil Production Department, China Oilfield Services Ltd., Tianjin 300452, China

**Abstract:** The rubber cylinder of 139.7 mm casing test packer cannot meet the safety test requirements of ultra-deep reservoir limited by its temperature resistance and pressure resistance properties. According to the test, the retrievable hanging packer meets standards of the API 11D1-V3 level, whose temperature resistance is 204°C and pressure resistance is 105 MPa. It is equipped with concentric bypass mechanism, which reduces the tripping swabbing and locking mechanism of packer to avoid the upward movement of outer barrel string due to the friction resistance of casing wall during tripping. In addition, AFLAS material and adding a shoulder protection combined three rubber cylinder structure at both ends of the sealant cylinder improve the sealing differential pressure of the packer. Indoor forward and reverse pressure reversal test according to API 11D1-V3 level and field test show that the packer is reliable under high temperature and high pressure, which is qualified when pressure improve to 105 MPa. The packer can meet the requirements of oil testing in high temperature and high pressure ultra-deep wells and provide support for the development of oil testing technology in ultra-deep wells.

**Keywords:** ultra-deep well; high temperature and high pressure; oil test; test packer; concentric bypass; locking mechanism; indoor test; pressure reversal

随着国内油气勘探的逐步深入和地质认识的深化, 油气井完钻井深不断增加, 井底温度和压力不断增大, 常规油气资源的品位越来越差, 开发难度进一步增大<sup>[1-3]</sup>。随着中海油在井深 5 000 m 以上的潜山地层发现渤中大型油气田, 逐渐树立了深

层找油气理念<sup>[4-5]</sup>。深层油气环境下, 各种设备、工具和流体的性能都发生了显著变化, 有的甚至失效, 导致各种事故的发生<sup>[6-7]</sup>。测试封隔器作为测试管柱中重要组成部分, 也面临着巨大挑战<sup>[8-10]</sup>。

徐刚等<sup>[11]</sup>为了解决海上油田防砂作业老式封

隔器容易出现刮损失效和密封性能差等问题,设计研制了244.5 mm 套管三胶筒封隔器。室内试验,正反向验封压力41.4 MPa,坐封后自锁状态稳定。闫志远等<sup>[12]</sup>针对完井封隔器胶筒存在耐温、耐压和循环测试可靠性不足等问题,研制了符合API 11D1-V3 级别耐温170 ℃、耐压41 MPa的新型高温高压封隔器。高攀<sup>[13]</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坐封可回收封隔器,最高耐温204 ℃、最高耐压105 MPa,可在高密度钻井液中使用。刘阳<sup>[14]</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、骨架易破损等问题,进行了高温深层碳酸盐岩裸眼酸压完井封隔器研制与现场试验,研制的裸眼封隔器最高耐温180 ℃。李林涛等<sup>[15]</sup>针对塔中顺南区块的地层特点,研发了一种适用于高温、高压环境下的液压双向卡瓦可回收封隔器。张宏伟<sup>[16]</sup>针对裸眼水平井分段压裂进行了水平井分段压裂裸眼封隔器研制及应用,耐温120 ℃、耐压70 MPa。郭飞等<sup>[17]</sup>基于Ansys的封隔器密封胶筒性能优化,提出软硬质材料多层堆叠及环端面金属包覆结构,增加接触区域密封效果,同时阻挡高温高压水对胶筒腐蚀。

针对现有139.7 mm 套管使用的耐温177 ℃、

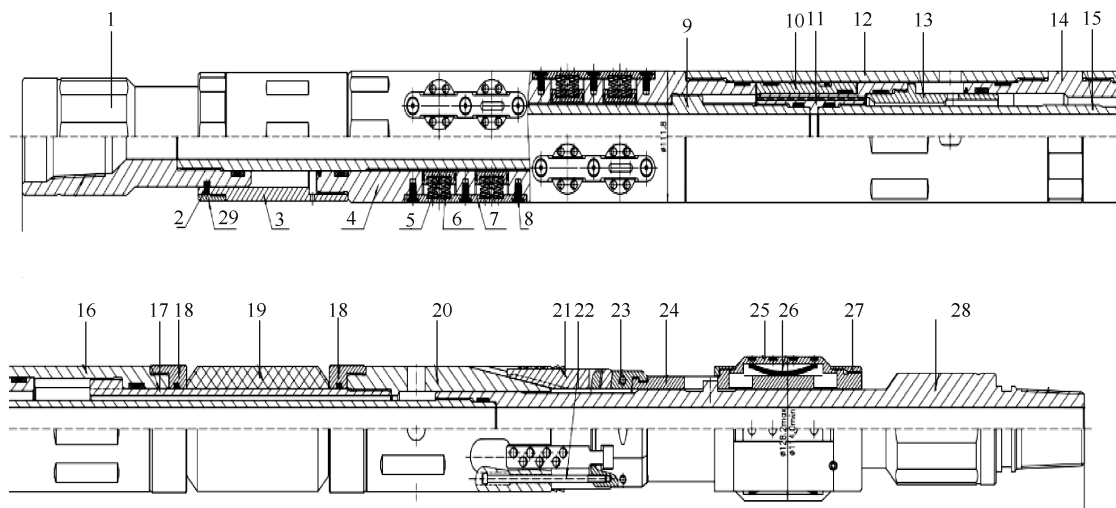
耐压70 MPa RTTS 封隔器已不能满足超深储层安全测试的需要,研制了一种适用于139.7 mm 套管,耐温204 ℃、耐压105 MPa 自带同心旁通机构、自锁机构、三胶筒组合的胶筒结构、机械坐封、可双向封隔压力的可回收悬挂式测试封隔器,解决了国内外难以突破API 11D1-V3 级别温度和压力交替反转测试技术难题<sup>[18-21]</sup>,满足了大部分高温高压井试油测试技术的需要。

## 1 高温高压测试封隔器设计

对139.7 mm 可回收悬挂式封隔器进行结构设计及材料选择,以满足高温高压井测试需要。

### 1.1 封隔器结构设计

139.7 mm 可回收悬挂式测试封隔器主要有锁紧机构(剪销、剪销护套、锁紧短节)、旁通机构(浮动活塞、旁通芯轴、旁通外筒、过滤短节)、中间芯轴、水力锚、胶筒、胶筒护肩、胶筒芯轴、支撑环、通径规环、机械卡瓦、摩擦块套筒、摩擦块、上接头、下接头等组成(图1)。锁紧机构的主要作用是封隔器在下井过程中,水力锚本体等外筒零件和芯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,确保坐封时下芯轴凸耳换位顺利,保证封隔器顺利坐封。



1-上接头;2-剪销;3-剪销短节;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-上芯轴;10-浮动活塞;11-过流短节;12-旁通外筒;13-旁通芯轴;14-连接短节;15-中间芯轴;16-花键短节;17-胶筒芯轴;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-下芯轴;29-剪销护套

图1 高温高压测试封隔器结构示意图

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

在进行结构设计及材料选择时,进行了如下改进及优化:

(1)胶筒优选高硬度四丙氟橡胶(AFLAS)材料。此材料具有良好的耐高温性能,工作温度可达

200~250 ℃,但其机械强度较差。为提高胶筒承受高压差性能,优化胶筒组件结构,整个密封组件由 AFLAS 材质中间胶筒及两端边胶筒和胶筒外侧护肩组合构成。此结构设计边胶筒和胶筒外侧护肩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,有效提高胶筒在高温高压条件下的密封性能<sup>[22-23]</sup>。

(2)重要芯轴密封部件材料改进优化。胶筒芯轴、密封套、循环短节、下芯轴材料进行优化,选用 125 K 的镍基合金。

(3)材料热处理工艺优化改进。所有零部件均采用改良后的 QPQ(光中氮化)表面处理。其优点如下:①经过 QPQ 处理后,能极大地提高各种黑色金属零件表面的硬度和耐磨性,降低摩擦系数,耐磨性比常规淬火、高频淬火高 16 倍以上,比 20# 钢渗碳淬火高 9 倍以上,比镀硬铬和离子氮化高 2 倍以上。②经 QPQ 处理后的零件抗蚀性是 1Cr18Ni9Ti 不锈钢的 5 倍,是镀硬铬的 70 倍,是发黑的 280 倍。③工件经 QPQ 处理之后几乎没有变形产生,可以有效解决常规热处理方法难以解决的硬化变形难题。

(4)水力锚锚牙强度及密封性能改进。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”现象,导致密封失效<sup>[24]</sup>。

## 1.2 工作原理

当封隔器下井过程中,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,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,机械卡瓦坐落在套管壁上,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,循环、起钻。

## 1.3 主要技术参数

通径规直径  $\phi 115.6$  mm、 $\phi 112.8$  mm;通径  $\phi 38$  mm,总长 2 980 mm;

工具最大工作压差 105 MPa;胶筒最大密封压差 105 MPa;

工具耐内压屈服强度 133 MPa;工具耐外压屈服强度 131 MPa;

最高工作温度 204 ℃;旁通过流面积 690 mm<sup>2</sup>;

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

## 1.4 结构特点

(1)三胶筒组合的密封单元,提高了封隔器的密封压差;

(2)自带的同心旁通机构,提供了一个较大的过流面积,减少起下钻抽吸;

(3)封隔器坐封后,管柱内压力作用在平衡活塞及关闭状态的旁通孔上,使旁通孔的关闭更加可靠;

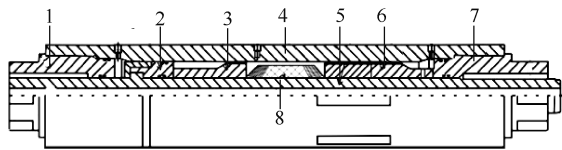
(4)直接上提,即可打开旁通孔,可根据需要循环至封隔器以下;

(5)加强的水力锚卡瓦机构,可保证封隔器承受更高的压差;

(6)锁定机构:通过剪销将连接于管柱的芯轴串与悬挂在芯轴上的外筒串连为一体,可以避免下钻过程中,因套管壁的摩擦阻力使外筒串上移,导致旁通孔提前关闭或坐封时凸耳芯轴换位不顺畅的情况。

## 2 室内试验

参照国家标准《井下工具:封隔器和桥塞》(GB/T 20970-2015)中的规定,对 139.7 mm 套管高温高压封隔器(105 MPa,204 ℃)的环空密封性能,在室内进行了胶筒的高温高压密封试验,胶筒高温高压密封试验装置如图 2 所示。采用 118.6 mm 试验套管及 ASTM 标准硅油进行高温高压密封性能试验。将封隔器胶筒放入高温高压密封试验装置,将试验装置整体放入高温炉,先加温至 180 ℃,加压 15 t 坐封封隔器,环空验封 40 MPa,稳压 30 min 无压降;在 90~180~204 ℃ 交变温度下,进行胶筒上下端密封试验及压差试验等,实验流程如图 3,实验结果见表 1。



1-上密封接头;2-活塞;3-顶鞋;4-模拟套管;  
5-胶筒芯轴;6-底鞋;7-下密封接头;8-胶筒总成

图2 胶筒高温高压密封试验装置结构示意图

Fig.2 Structural diagram of rubber cylinder high temperature and high pressure sealing testing device

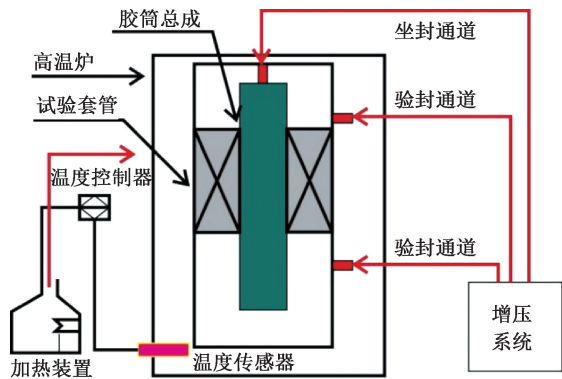


图3 胶筒高温高压密封试验流程图

Fig.3 Flow chart of rubber cylinder high temperature and high pressure sealing test

表1 封隔器胶筒高温高压试验结果

Table 1 High temperature and high pressure testing results of packer rubber cylinder

试验项目	试验温度/ ℃	保温时间/ h	试验压力/ MPa	试验结果
坐封	180	12	/	/
验封	180	12	40	30 min 无压降
高温高压密封	180	24	105	30 min 无压降
	180	24	105	30 min 无压降
温度循环试验	90	24	105	30 min 无压降
	90	24	105	30 min 无压降
胶筒上下 压差密封试验	180	12	35	30 min 无压降
	180	12	70	30 min 无压降
	180	12	90	30 min 无压降
高温高压密封	180	12	105	30 min 无压降
	204	24	105	30 min 无压降
	204	24	105	30 min 无压降

从试验结果可以看出,封隔器胶筒在 90~180~204 ℃ 交变温度下,胶筒上下端密封及胶筒上下压差密封性能可靠,试验结束后,解封封隔器,胶筒本体无可见变形和损坏,满足高温高压状态下进行酸压和试油测试施工的要求。

### 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。

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 (105 MPa、204 ℃),整机高温高压模拟试验过程,提供第三方认证报告,压力反转试验曲线如图 4、图 5 所示。

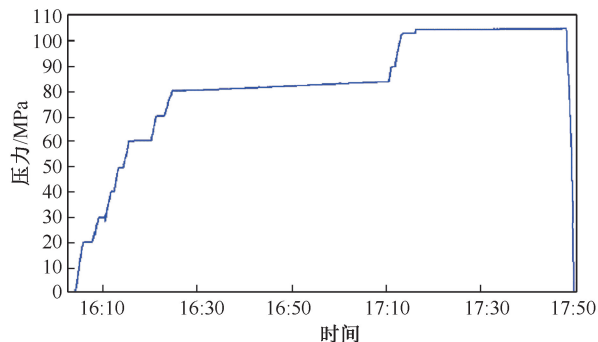


图4 下部压力第一次试验曲线

Fig.4 First test curve of lower pressure

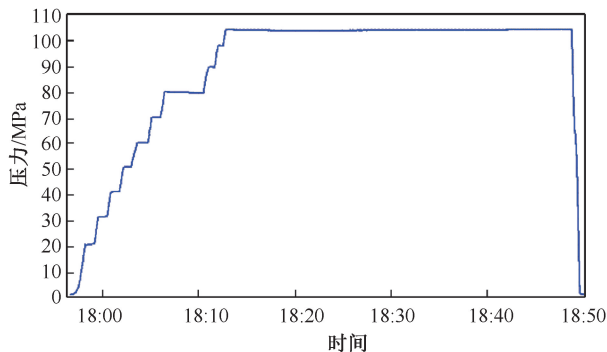


图5 上部压力第一次试验曲线

Fig.5 First test curve of upper pressure

139.7 mm 套管高温高压封隔器试验参数为: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,API 11D1-V3 等级试验项目见表 2。

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。

YH1 井为直井,完钻井深 6 112.78 m,139.7 mm 套管完井,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。

表2 API 11D1-V3 等级试验项目

Table 2 API 11D1-V3 grade testing projects

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,无降压,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

## 5 结论

(1)研制的 139.7 mm 套管高温高压测试封隔器,优选 AFLAS 材质及在密封胶筒两端增加护肩组合三胶筒结构,改进优化重要芯轴密封部件材料,改进水力锚锚牙强度及密封性能,优化改进材料热处理工艺,有效的解决了一直以来存在的热处理硬化和产品变形的矛盾。

(2)通过室内试验、API 11D1-V3 等级性能试验,139.7 mm 套管高温高压测试封隔器,可以实现 204 ℃时 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。由于现场试验井温度未达到 204 ℃、压差 105 MPa,还需要进一步应用,验证封隔器的性能指标。

(3)139.7 mm 套管高温高压测试封隔器研制成功,开辟了小套管高温高压油气井试油测试新工艺,提高了试油测试施工效率,为高温高压超深井试油测试提供了技术支撑。

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] 江怀友,乔卫杰,钟太贤,等. 世界海洋钻井技术及装备现状与展望[J]. 石油科技论坛,2008,27(6):25-30.  
JIANG Huaiyou, QIAO Weijie, ZHONG Taixian, et al. Present situation and prospect of offshore drilling technology and equipment in the world [J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2008,27(6):25-30.
- [2] 周玉琦,易荣龙,舒文培,等. 未来中国的油气资源前景

探讨[J]. 石油实验地质,2003,25(3):227-234.

ZHOU Yuqi, YI Ronglong, SHU Wenpei, et al. Discussion on the future of hydrocarbon resources in China [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003,25(3):227-234.

- [3] 贾承造,郑民,张永峰. 中国非常规油气资源与勘探开发前景[J]. 石油勘探与开发,2012,39(2):129-136.

JIA Chengzao, ZHENG Min, ZHANG Yongfeng. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012,39(2):129-136.

- [4] 王星,关利军,张自印. 南海深水深层超高温井测试技术[J]. 油气井测试,2020,29(6):32-37.

WANG Xing, GUAN Lijun, ZHANG Ziyin. Testing technology of deep water and deep reservoir well with ultra high temperature in South China Sea [J]. Well Testing, 2020,29(6):32-37.

- [5] 高科超,冯卫华,吴轩,等. 海上油田复杂气井深井测试管柱的应用与研究[J]. 油气井测试,2016,25(1):54-57.

GAO Kechao, FENG Weihua, WU Xuan, et al. Research and application of test string for complex gas and deep well in offshore oilfield [J]. Well Testing, 2016,25(1):54-57.

- [6] 钟家维,高运宗,黄旭东,等. 超深水平井复杂事故处理技术[J]. 油气井测试,2007,16(3):48-52.

ZHONG Jiawei, GAO Yunzong, HUANG Xudong, et al. Tech of processing complicate accident in super-deep horizontal well [J]. Well Testing, 2007,16(3):48-52.

- [7] 黎丽丽,曹立虎,刘会锋,等. 超深裸眼水平井完井模拟通井优化技术[J]. 油气井测试,2016,25(6):27-30.

LI Lili, CAO Lihu, LIU Huifeng, et al. optimization technique of well completion simulation drifting for horizontal well in ultra deep open hole well [J]. Well Testing, 2016,25(6):27-30.

- [8] 张伯年,李海金,刘章节,等. 封隔器理论基础与应用[M]. 北京:石油工业出版社,1983:25-28.
- [9] 张立新,沈泽俊,李益良,等. 我国封隔器技术的发展与应用[J]. 石油机械,2007,35(8):58-60,74.  
ZHANG Lixin, SHEN Zejun, LI Yiliang, et al. Development and application of homemade packers [J]. China Petroleum Machinery, 2007,35(8):58-60,74.
- [10] 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.
- [11] 徐刚,张斌,李进,等. 244.5 mm 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 and test of isolation packer with three rubber used in 244.5 mm casing [J]. Oil Field Equipment, 2020,49(1):60-63.
- [12] 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 a new type of combined rubber barrel for high temperature and high pressure packer [J]. Oil Field Equipment, 2021,50(1):99-104.
- [13] 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. Research and development of high temperature and high pressure packer [J]. Journal of Jianghan Petroleum University of Staff and Workers, 2019,32(6):54-57.
- [14] 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.
- [15] 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(3):81-86.  
LI Lintao, WAN Xiaoyong, HUANG Chuanyan, et al. Development and application of bidirectional slip HTHP retrievable packer [J]. China Petroleum Machinery, 2019,47(3):81-86.
- [16] 张宏伟. 水平井分段压裂裸眼封隔器研制及应用[J]. 石油矿场机械,2019,48(5):40-43.  
ZHANG Hongwei. Research and application of open hole packer in staged fracturing technique of horizontal wells [J]. Oil Field Equipment, 2019,48(5):40-43.
- [17] 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.
- [18] 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. Optimal analysis of structure parameters of three glue plate sealing unit [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2018,44(9):45-49.
- [19] 李鹏飞,刘旭辉,赵珩煜,等. 三胶筒封隔器胶筒的密封性能分析[J]. 机械制造,2016,54(6):51-52.  
LI Pengfei, LIU Xuhui, ZHAO Hengyu, et al. Analysis on sealing performance of rubber cylinder of three rubber cylinder packer [J]. Machinery, 2016,54(6):51-52.
- [20] 王传瑶. 永久型封隔器胶筒密封性能及影响因素研究[D]. 重庆:重庆大学,2018.  
WANG Chuanyao. Study on sealing performance and influencing factors of rubber cylinder of permanent packer [D]. Chongqing: Chongqing University, 2018.
- [21] 周力,吕凤霞,袁惠新,等. 注水压力对胶筒密封性能的影响[J]. 工业安全与环保,2018,44(8):12-15.  
ZHOU Li, LYU Fengxia, Yuan Huixin, et al. Study on the influence of water injection pressure on the sealing performance of rubber [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2018,44(8):12-15.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 南荣丽,窦益华,杨新克,等. 高温高压井完井封隔器卡瓦抗剪切强度分析[J]. 油气井测试,2016,25(3):1-3.  
NAN Rongli, DOU Yihua, YANG Xinke, et al. Analysis of shear strength of completion packer slip in HPHT well [J]. Well Testing, 2016,25(3):1-3.

编辑 刘振庆

第一作者简介:庞振力,男,1982年出生,工程师,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、试井资料解释及油气藏研究工作。电话:022-25832701,18202209362;Email:pangz01.cpoec@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。