

# 利用测试资料评价采油井封堵层位的封堵效果

隋金巍

中国石油大庆油田有限责任公司测试技术服务分公司 黑龙江大庆 163113

通讯作者: Email: 510559531@qq.com

引用: 隋金巍. 利用测试资料评价采油井封堵层位的封堵效果[J]. 油气井测试, 2023, 32(2): 53-57.

Cite: SUI Jinwei. Application of test data in sealing evaluation of production wells[J]. Well Testing, 2023, 32(2): 53-57.

**摘要** 随着油田长时间开发,原开发层系开采结束后,需要将其封堵转为开采其他的层系。但由于采油井封堵工艺的特殊性,油层部位下有封隔管柱,测试通道被堵住,导致无法进行常规环空测井。为解决封堵井剖面测试问题,对测井仪器进行改造:由以前的一支仪器增加为两支仪器,大伞型流量计测量套管流量,小伞型流量计测量油管流量;研制辅助工具导向器,帮助测井仪器更好的进入测试通道;同时采用新的计算方法:当套管流量等于油管流量,封隔器未漏失;当套管流量大于油管流量,则封隔器漏失。对 16 口采油井进行了测试,通过对比油管流量和套管流量,可以确定封隔器的漏失情况,其中不密封井 9 口,严重影响了开发效果。依据该测试结果,再次作业,重新密封,密封后取得很好的效果。通过对仪器的改进,解决了采油井无法验封的技术难题,实现了产出剖面的测试,为油田下返开采提供了配套的技术支持。

**关键词** 采油井封堵;封堵效果;油井验封技术;验封评价;测井仪器;测井工艺;测试资料

**中图分类号:** TE353      **文献标识码:** B      **DOI:** 10. 19680/j. cnki. 1004-4388. 2023. 02. 010

## Application of test data in sealing evaluation of production wells

SUI Jinwei

Testing Technology Service Branch of Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang 163113, China

**Abstract:** With the long-term development of the oilfield, the exploitation of the original development strata has been completed, and its plugging needs to be changed to the exploitation of other strata. However, due to the particularity of the plugging process of oil production wells, there is a packer string under the oil layer, and the test channel is blocked, which makes it impossible to carry out conventional annulus logging. In order to solve the problem of profile testing of plugged wells, the logging instruments are reformed: the former one instrument is increased to two instruments, the large umbrella flowmeter measures casing flow, and the small umbrella flowmeter measures tubing flow; At the same time, the auxiliary tool guide is developed to help logging tools better enter the test channel; A new calculation method is adopted. If the casing flow is equal to the tubing flow, the packer does not leak. If the casing flow is greater than the tubing flow, the packer leaks. 16 production wells were tested. By comparing the tubing flow and casing flow, the leakage of packers can be determined, including 9 unsealed wells, which seriously affected the development effect. According to the test results, the oil production plant operated again and resealed, and achieved good results after sealing. Through the improvement of the instrument, the technical problem that the oil production well cannot be sealed is solved, and the test of the production profile is realized, which provides supporting technical support for the downward recovery of the oilfield.

**Keywords:** production well plugging; sealing evaluation; sealing inspection technology of oil well; sealing inspection evaluation; logging instrument; logging technology; test data

油田动态监测在油田开发中有着极其重要的作用,它是进一步认识油藏、进行油藏评价、油藏描述、油藏动态分析的重要依据<sup>[1-3]</sup>。近年来,国内常用的动态监测测试技术主要包括:注入剖面测井、产出剖面测井、地层参数测井、工程测井、试井等。

产出剖面测井是其中比较重要的一项技术。在油井生产过程中,由于受各种因素的影响(如油井工作制度的改变、抽油设备故障、井身的技术状况、地层的物性差异及周围油水井干扰等),油井的生产状态不断变化。通过测量一口井的产出剖面,可以掌握每个小层的出油情况、见水情况及压

力变化,随时追踪油井的动态变化,以便对油井采取综合调整措施,同时检查其各种措施效果,达到增产的目的<sup>[4-6]</sup>。目前,国内已具备自喷井产出剖面测井、抽油机井产出剖面测井、油水两相产出剖面测井、油气水三相流产出剖面测井等成熟技术。

随着油田开发的日趋复杂,也给测试工作带来了很多难题。2017年某油田的一个试验区块需要开采新的层位,利用原试验区井位,封堵之前的油层组,在相同井场处开采下面的油层组。但是由于工艺限制,测试资料在采油井封堵层位验封评价中的应用还处于空白<sup>[7-10]</sup>。

试验区是利用原北二西二类油层试验区井位下返(即原试验开采 SII10-12 油层,现开采 PI1-4 油层),为避免试验井上下层位相互干扰,封堵上面的 SII 油层组,向下转为开采 PI 油层组<sup>[11]</sup>。2017 年试验投产初期对 35 口注入井 SII10-12 油层进行封堵,对 44 口采油井 SII10-12 油层采用丢手方式进行封堵。该实验的成功与否与封堵效果有直接关系,因此迫切需要了解油水井封堵效果。注水井方面有比较成熟的配套技术,可以随时了解注水井封隔器的密封性以及封堵层位的吸水情况<sup>[12-15]</sup>。但是对于采油井,由于试验井的特殊性,采油井采用丢手方式对 SII10-12 油层进行封堵,封堵层位以下管柱尾部为丝堵,测试通道被堵住,不能进行常规环空测井。为了解决这个问题,现对集流型电磁流量计进行改造,分别在油管与套管中对流量计进行标校,同时研制了导向爪保证测井仪器下入井筒内施工,最终实现了封堵采油井的成功测试。

## 1 测井原理及测试情况

为解决封堵井剖面测试问题,采用大伞型流量计测量套管流量,小伞型流量计测量油管流量;研制辅助工具导向器,帮助测井仪器更好的进入测试通道。并从常规环空测井原理,采油井封堵后测井原理,以及在该区块的测试情况等方面进行分析。

### 1.1 常规环空测井原理

常规环空井管柱结构见图 1。最外层管柱是套管,内层是油管,红色箭头位置是偏心井口,油管套管之间是油套环形空间。常规环空测井就是仪器通过抽油机的偏心井口,由油套环形空间下入到射孔层进行定点测量,蓝色虚线为仪器下入轨迹,由于射孔层所在的套管空间中没有其他管柱和工具,仪器可以在此处打开集流伞进行测量。

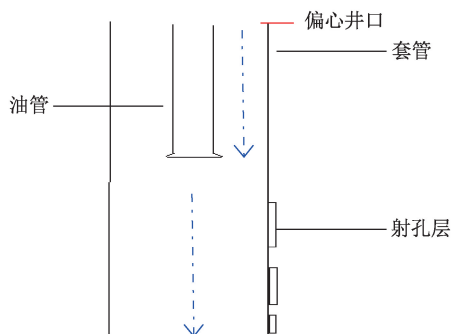


图 1 常规环空井管柱结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of pipe string structure of conventional annulus well

### 1.2 采油井封堵后测井原理

#### 1.2.1 封堵油井管柱结构

由于需要对采油井进行封堵,所以在射孔层所在的套管空间中下入一套封堵管柱(见图 2)。

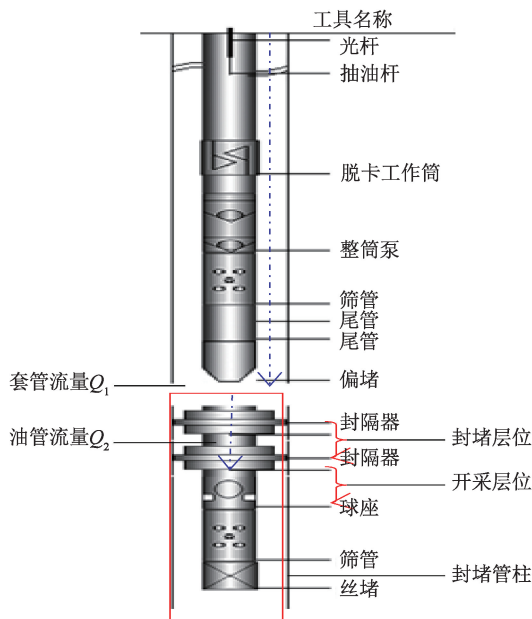


图 2 试验区封堵油井管柱结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of plugging oil well string structure in the test area

封堵管柱上的两个封隔器将封堵层位封住,而开采层位所产出的液体通过球座上面的孔眼进入油管,往上流动到偏堵位置。对比图 1、图 2 可以看出,常规环空井的射孔层位位于套管空间内,没有任何其他的管柱结构,仪器可以下到此处进行测量。但是对于试验区封堵油井,套管空间内是一整套封堵管柱,仪器无法在此处正常测井。

#### 1.2.2 测井仪器及工具

现对集流型电磁流量计进行改造,分别在油管与套管中对流量计进行标校,由以前的一支仪器增

加为两支仪器,大伞型流量计测量套管流量,小伞型流量计测量油管流量;同时研制辅助工具导向器,帮助测井仪器更好的进入测试通道(见图 3)。



图 3 测井仪器及工具  
Fig. 3 Logging instruments and tools

1. 2. 3 测井原理

经过多次论证,可以提供出第一级封隔器的密封效果,具体操作及原理如下:两支仪器都是从油套环形空间中下入。在偏堵和第一级封隔器之间的套管空间内,用大伞型流量计测套管流量  $Q_1$ ,此处测量的是全井的总流量。用导向爪牵引着小伞型流量计进入下面的油管测量,在第一级和第二级封隔器之间的油管内,用小伞流量计测量油管流量  $Q_2$ ,此处测量的是进入油管空间中开采层位的流量。

(1)如果封堵层位封堵效果好,两个封隔器均未漏失,此时套管中测得的全井流量就全部来自开采层位的流量,即  $Q_1=Q_2$ 。

(2)如果封堵层位封堵效果差,第一级封隔器漏失,封堵层位产出的液体就会通过第一级封隔器向上流入到偏堵位置,此时套管中测得的全井流量就是封堵层位的流量和开采层位的流量之和,即  $Q_1>Q_2$ 。

1. 3 测试情况

对该区块的 16 口采油井进行了测试。通过测量磁性定位曲线确定封隔器的位置,通过测量偏堵处套管处流量  $Q_1$  确定全井总流量,测量油管中流量  $Q_2$  确定开采层位流量,并根据二者差值确定封隔器的密封情况,并给出漏失量,测试数据见表 1。

可以看出,测试资料对封隔器密封情况给出了详细的解释和判断,其中密封井 6 口井,不密封井 9 口井,封隔器工具下错 1 口井(没有起到封堵的作用)。

表 1 北二西聚驱后试验区油井密封情况统计表  
Table 1 Statistics of oil well sealing in the test area after polymer flooding in the north and west

| 井号    | 测量结果/<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ) |               | 密封情况(漏失量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ ) | 封隔器位置/<br>m |
|-------|---|---------------|--|-------------|
| B2-1  | $Q_1 = 5.0$                                   | $Q_2 = 5.0$   | 密封   | 950.00      |
| B2-2  | $Q_1 = 40.0$                                  | $Q_2 = 40.0$  | 密封   | 943.65      |
| B2-3  | $Q_1 = 22.0$                                  | $Q_2 = 22.0$  | 密封   | 942.87      |
| B2-4  | $Q_1 = 21.0$                                  | $Q_2 = 21.0$  | 密封   | 936.61      |
| B2-5  | $Q_1 = 32.0$                                  | $Q_2 = 32.0$  | 密封   | 920.50      |
| B2-6  | $Q_1 = 16.0$                                  | $Q_2 = 16.0$  | 密封   | 860.95      |
| B2-7  | $Q_1 = 44.0$                                  | $Q_2 = 3.0$   | 不密封,41.0                                       | 958.00      |
| B2-8  | $Q_1 = 110.0$                                 | $Q_2 = 24.0$  | 不密封,86.0                                       | 937.45      |
| B2-9  | $Q_1 = 94.0$                                  | $Q_2 = 27.0$  | 不密封,67.0                                       | 969.00      |
| B2-10 | $Q_1 = 32.0$                                  | $Q_2 = 6.0$   | 不密封,26.0                                       | 938.35      |
| B2-11 | $Q_1 = 105.0$                                 | $Q_2 = 30.0$  | 不密封,75.0                                       | 936.00      |
| B2-12 | $Q_1 = 110.0$                                 | $Q_2 = 67.0$  | 不密封,43.0                                       | 927.60      |
| B2-13 | $Q_1 = 21.0$                                  | $Q_2 = 0.0$   | 不密封,21.0                                       | 935.00      |
| B2-14 | $Q_1 = 80.0$                                  | $Q_2 = 36.0$  | 不密封,44.0                                       | 921.51      |
| B2-15 | $Q_1 = 32.85$                                 | $Q_2 = 20.29$ | 不密封,12.56                                      | 920.83      |
| B2-16 | $Q_1 = 111.0$                                 | $Q_2 = 111.0$ | 不密封  | 封隔器下错       |

2 实例分析

现以两口井为例,分别介绍了未漏失和漏失两种情况的测试。

2. 1 封堵层位未漏失实例

B2-5 井是北二西的一口采油井,2005 年投产,原始地层压力 9.89 MPa,破裂压力 12.24 MPa,原始饱和压力 9.58 MPa,开采层位 SII 油层组,2019 年 9 月 1 日进行封堵,封堵上面的 SII 油层组,向下转为开采 PI 油层组。

B2-5 井管柱结构如图 4 所示,落实该井产液量为  $31.87 \text{ m}^3/\text{d}$ 。分别在套管中 913.0 m、913.7 m、910.3 m 处测得套管流量  $32.45 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $31.78 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $30.91 \text{ m}^3/\text{d}$ ,取平均值  $31.71 \text{ m}^3/\text{d}$ ,故  $Q_1 = 31.71 \text{ m}^3/\text{d}$ 。同理,分别在油管中 930.0 m、930.3 m、930.5 m 测得油管流量  $32.21 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $32.27 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $32.98 \text{ m}^3/\text{d}$ ,取平均值  $32.49 \text{ m}^3/\text{d}$ ,故  $Q_2 = 32.49 \text{ m}^3/\text{d}$ 。 $Q_1$  与  $Q_2$  相近,可认为  $Q_1 = Q_2$ 。故该井封堵层位密封良好,封隔器未漏失。测试结果可以提供三个方面的信息:全井流量  $31.73 \text{ m}^3/\text{d}$ ;封堵层位密封良好;从磁性定位曲线还可以看出,封隔器的位置为 920.50 m。

2. 2 封堵层位漏失实例

B2-15 井是试验区的一口采油井,2005 年投产,原始地层压力 9.90 MPa,破裂压力 12.24 MPa,原始饱和压力 9.58 MPa,开采层位 SII 油层组,2019 年 9 月 1 日进行封堵,封堵上面的 SII 油层组,向下转为开采 PI 油层组。

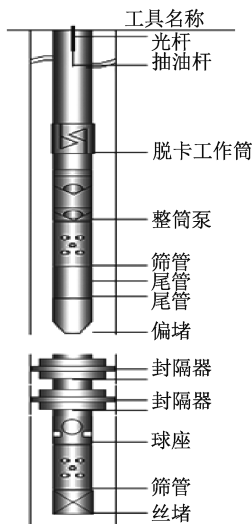


图4 B2-5井管柱结构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of pipe string structure of well b2-5

在周围注入井无任何调整措施情况下,该井出现产液量突升的现象。注入量由  $20 \text{ m}^3/\text{d}$  上升到  $35 \text{ m}^3/\text{d}$ ,含水由 97% 上升到 98.9%,综合含水上升 1.89 个百分点。该井出现产液量突升,含水不降反升的现象,再结合该区块是利用原井位,封堵上面的 SII 油层组,向下转为开采 PI 油层组,初步怀疑是封隔器不密封,封堵失效,建议对该井进行验封测试。

B2-15 井管柱结构如图 5 所示。

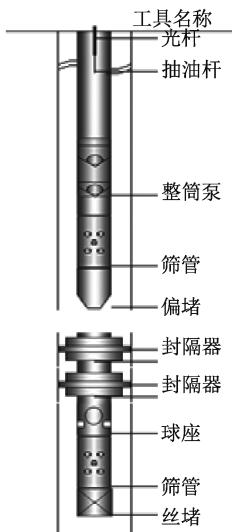


图5 B2-15井管柱结构示意图

Fig. 5 Schematic diagram of pipe string structure of well b2-15

其测试过程为:首先下入套管大伞集流型电磁流量计先后三次测得套管 910.0 m 套管产液量,测量值分别是  $33.88 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $33.5 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $34.32 \text{ m}^3/\text{d}$ ,验

证电磁流量计稳定性良好,上提仪器至 908 m 处先后两次测得套管产液量,测量值分别是  $30.95 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $31.58 \text{ m}^3/\text{d}$ ,可验证仪器重复性良好。五次测量套管流量取平均为  $32.85 \text{ m}^3/\text{d}$ ,故  $Q_1 = 32.85 \text{ m}^3/\text{d}$ 。同理,将小伞集流型电磁流量计装入导向爪下过封隔器测油管里流量,分别在 933.0 m、933.2 m、933.5 m 处测得油管产液量  $20.33 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $20.06 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $20.48 \text{ m}^3/\text{d}$ ,三次测量油管流量取平均值为  $20.29 \text{ m}^3/\text{d}$ ,故  $Q_2 = 20.29 \text{ m}^3/\text{d}$ , $Q_1 > Q_2$ 。判断该井封堵层位漏失,漏失量  $12.56 \text{ m}^3/\text{d}$ 。测试结果可以提供三个方面的信息:全井流量为  $32.85 \text{ m}^3/\text{d}$ ;封隔器失效,漏失量为  $12.56 \text{ m}^3/\text{d}$ ;从磁性定位曲线还可以看出,封隔器的位置为 920.83 m。

### 2.3 重新封堵后效果

依据测试资料提供的封隔器密封情况,结合生产数据(产量大幅上升的井漏失情况比较严重,需要尽快作业)确定出优先作业方案。对动态反映液量突升大的 7 口采油井进行了重新密封,密封后单井日产液下降  $42 \text{ m}^3/\text{d}$ ,含水下降 1.45 个百分点,保证了试验的效果。

## 3 现场存在的问题及解决方法

在现场测试过程中,存在一些因素会影响最终的解释结果,比较集中的是井壁污染严重和深度控制。

### 3.1 井壁污染严重

集流伞集流效果是影响流量含水的关键,对于井壁污染严重或者有死油的情况,管柱内壁不光滑,会造成伞布没法全部集流。因此,在测试之前需要对采油井进行洗井等作业,保证井壁清洁,达到较好的集流效果。

### 3.2 深度控制

由于该测试工艺是采用集流点测方式进行测量,对深度要求比较严格,深度不对,严重影响解释结果的准确性。因此,点测前需要以 1:50 的比例测一条磁性定位曲线,以便于精确了解井下管柱结构。同时提供该井封堵管柱的具体工具深度以及套管标准接箍深度等参考数据,便于校深。

## 4 结论

(1)通过对仪器的改进,解决了采油井无法验封的技术难题,并实现了产出剖面的测试,为油田采油井下返开采提供了配套的技术支持。

(2)该技术适用于采油井下返开采、采油井上



返开采、采油井分层开采等领域。

(3) 由于该测井工艺需要测量套管流量和油管流量,两种流量测量截面不同,所以需要一口井下入大小伞两种集流型电磁流量计,造成测井施工工作量大。建议对仪器结构进行改造,一次下井可以同时录取套管流量和油管流量。

**致谢:**感谢大庆油田测试技术服务分公司同意本文公开发表;感谢王丽娟主任、袁海霞等人在论文修改方面做出的贡献。

## 参考文献

- [1] 李秀琴. 应用空驱动态分析法配合化学驱封堵选井研究[J]. 内蒙古石油化工, 2020, 46(12): 123-124.  
LI Xiuqin. Study on the well selection using air-flooding dynamic analysis method with chemical flooding plugging[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2020, 46(12): 123-124.
- [2] 李洁, 王茂盛, 赵长久. 三元复合驱水驱干扰井封堵技术界限[J]. 大庆石油地质与开发, 2019, 38(6): 90-96.  
LI Jie, WANG Maosheng, ZHAO Changjiu. Technical limits of the waterflooding interfering well plugging in ASP flooding[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2019, 38(6): 90-96.
- [3] 马智, 马兴华, 王永珠. 废弃裸眼油井封堵治理方法应用[J]. 神华科技, 2018, 16(6): 37-38, 41.  
MA Zhi, MA Xinghua, WANG Yongzhu. Application of plugging treatment method for abandoned open hole oil wells[J]. Shenhua Science and Technology, 2018, 16(6): 37-38, 41.
- [4] 赵丽娟, 陈义钧, 刘彬. 机械堵水管柱验封技术研究[J]. 石油钻探技术, 2004, 32(6): 47-49.  
ZHAO Lijuan, CHEN Yijun, LIU Bin. A research on sealing detection for machine plugging[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2004, 32(6): 47-49.
- [5] 张志勇. 孤后八气田机械堵水技术与应用[J]. 油气井测试, 2003, 12(3): 50-51.  
ZHANG Zhiyong. The technique and its application of the mechanical blocking water in Guhou8 gas field[J]. Well Testing, 2003, 12(3): 50-51.
- [6] 王世倩. 小套管井机械堵水工艺技术研究及应用[J]. 价值工程, 2012, 31(6): 34.  
WANG Shiqian. Research and application of mechanical water plugging technology of small cased hole[J]. Value Engineering, 2012, 31(6): 34.
- [7] 刚振宝, 卫秀芬. 大庆油田机械堵水技术回顾与展望[J]. 特种油气藏, 2006, 13(2): 9-11, 18.  
GANG Zhenbao, WEI Xiufen. Review and outlook for mechanical water plugging technology in Daqing oilfield[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2006, 13(2): 9-11, 18.
- [8] 张凯权, 刘飞, 朱永国, 等. 非爆炸膨胀式过油管桥塞封堵技术[J]. 油气井测试, 2020, 29(3): 32-37.

ZHANG Kaiquan, LIU Fei, ZHU Yongguo, et al. Plugging technology of non-explosive inflatable thru-tubing bridge plugs[J]. Well Testing, 2020, 29(3): 32-37.

- [9] 于法浩, 高永华, 李越, 等. 渤海油田水平出砂井定点探测与封堵技术研究[J]. 石油化工应用, 2020, 39(11): 60-64, 78.  
YU Fahao, GAO Yonghua, LI Yue, et al. The technical exploration for the fixed plugging of damaged screen in horizontal wells of Bohai oilfield[J]. Petrochemical Industry Application, 2020, 39(11): 60-64, 78.
- [10] 张勇, 骆向杰, 黄新业, 等. 挤注封堵管柱在塔河油田水平井的应用[J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(1): 105-107, 112.  
ZHANG Yong, LUO Xiangjie, HUANG Xinye, et al. Application of squeeze-injection and plugging string in horizontal wells of Tahe oilfield[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31(1): 105-107, 112.
- [11] 王广宇. 聚驱二类油层上返封堵试验及分层配产技术研究[D]. 大庆石油学院, 2008.  
WANG Guangyu. The returning plugging experiment of polymer flooding of the secondary oil layer and the research on regulating separate stratum production technique[D]. Daqing Petroleum Institute, 2008.
- [12] 蔡苗苗. 注入井套管保护封隔器密封性判定技术[J]. 油气井测试, 2021, 30(6): 51-56.  
CAI Miaomiao. Sealing evaluation technology of casing protection packer in injection wells[J]. Well Testing, 2021, 30(6): 51-56.
- [13] 李鹏伟, 王建宁, 姜燕, 等. 桥式同心分注井验封测调一体化工具研制及应用[J]. 石油矿场机械, 2021, 50(5): 84-89.  
LI Pengwei, WANG Jianning, JIANG Yan, et al. Development and application of integrated seal test and adjustment allocation technology[J]. Oil Field Equipment, 2021, 50(5): 84-89.
- [14] 韩建龙. 直读验封仪中压力计的校准研究[J]. 石油管材与仪器, 2021, 7(2): 77-81.  
HAN Jianlong. Pressure gauge calibration of direct reading sealing instrument[J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2021, 7(2): 77-81.
- [15] 郭思显. 大庆油田偏心注水井封隔器验封现状及前景展望[J]. 内蒙古石油化工, 2021, 47(3): 109-112.  
GUO Sixian. Present Situation and prospect of the seal inspection for the packer of eccentric water injection well in Daqing oilfield[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2021, 47(3): 109-112.

编辑 穆立婷

**第一作者简介:**隋金巍,女,1988年出生,工程师,2009年毕业于大庆石油学院石油工程专业,目前从事测试资料方法研究工作。电话:0459-5861253, 15945906539, Email: 510559531@qq.com。通信地址:黑龙江省大庆市萨尔图区唯美主邑 B12-1-201, 邮政编码:163113。