

# 非爆炸膨胀式过油管桥塞封堵技术

张凯权<sup>1</sup>, 刘飞<sup>2</sup>, 朱永国<sup>1</sup>, 任永宏<sup>1</sup>, 常鹏<sup>3</sup>, 郝华松<sup>1</sup>

- 1. 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 065000
- 2. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司井下作业分公司 河北任丘 062552
- 3. 中国石油长庆油田分公司第五采气厂 陕西西安 710016

通讯作者:Email:zkaiquan@cnpc.com.cn

项目支持:中国石油集团渤海钻探工程有限公司油气井测试分公司 2019 年科技研发项目“非爆炸式桥塞技术技术的推广和应用”(CS201908K)

引用: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.

Cite: 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.

**摘要** 在不使用火工品情况下,为快速而经济地进行井筒封堵作业,利用测井电缆将膨胀式桥塞以过油管的方式放置到指定位置,根据地面指令,坐封工具完成坐封和丢手动作,将桥塞本体固定在指定井段,再在桥塞上部注入水泥浆,实现了非爆炸膨胀式过油管桥塞封堵作业。经委内瑞拉东部油田 FURRIAL 区块 FUL-121 井成功应用,较封堵作业前,增产原油 31.05 m<sup>3</sup>/d,增加了 61%;水产量减少 104 m<sup>3</sup>/d,降低了 67%,达到了降水增油效果。该技术不使用火工品,安全系数高,具备较好的推广价值和应用前景。

**关键词** 完井技术; 膨胀式桥塞; 火工品; 封堵作业; 增产措施

**中图分类号**: TE257      **文献标识码**: B      **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.03.006

## Plugging technology of non-explosive inflatable thru-tubing bridge plugs

ZHANG Kaiquan<sup>1</sup>, LIU Fei<sup>2</sup>, ZHU Yongguo<sup>1</sup>, REN Yonghong<sup>1</sup>, CHANG Peng<sup>3</sup>, HAO Huasong<sup>1</sup>

- 1. Well Testing Branch of CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd, Langfang, Hebei 065000, China
- 2. Downhole Technical Service Branch of CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd, Renqiu, Hebei, 062552, China
- 3. Gas Production Plant 5 of PetroChina Changqing Oilfield Company, Xi'an, Shaanxi 710016, China

**Abstract:** In order to quickly and economically isolate the wellbore without using initiators, the inflatable bridge plugs in the specific position by means of well logging cable are placed according to the instructions from the ground and the setting tool completes setting and releasing operation to fix the bridge plug in the specific well section. Then, the cement slurry is injected into the upper bridge plug, which realizes plugging operation of non-explosive inflatable thru-tubing bridge plugs. The technology has been successfully applied to the Well FUL-121 in the FURRIAL block in eastern Venezuela. Compared with the performance before plugging operation, the crude oil production was increased by 31.05 m<sup>3</sup>/d with an increase rate of 61% and water production was reduced by 104 m<sup>3</sup>/d with a decrease rate of 67%. This well successfully achieved the effect of water decrease and oil increase. This technology does not use initiators, and is much safer than traditional operation, which makes it a better promotion value and a better application prospect.

**Keywords:** completion technology; inflatable bridge plug; initiator; plugging operation; well stimulation

油井的生产过程中,为了堵漏、堵水或者其他目的,经常需要封堵某个井段。采用油管传输来放置机械桥塞或者打悬空水泥塞是最传统的方法,即使用钻机或者修井机,在压井以后起油管然后下机械桥塞或者打悬空水泥塞封堵地层<sup>[1-2]</sup>。这种工艺虽然可靠性好,但是由于作业之前需要压井,不可避免地对地层造成一定程度的污染,对一些高产

油气井的破坏尤其明显<sup>[3-4]</sup>。

为解决以上问题,出现了不需要压井作业的电 缆放置爆炸式桥塞工艺。该工艺是从九十年代开始使用的成熟工艺,在各大油田有十余年的成功作业经历<sup>[5]</sup>。其施工步骤如下:将爆炸式桥塞通过测井电缆传送到井内,通过 CCL/自然伽玛技术确定桥塞放置的深度,放置到位后,通过火药爆炸产生的

压力实现坐封和丢手,然后再上覆水泥实现封堵<sup>[6]</sup>。谭玉春针对地层封堵的效费比问题,对比了油管传输工艺和电缆传输工艺的作业时间和作业费用,得到了以下结论:在油气田的勘探和开发中,采用电缆桥塞进行井下封堵、分隔、保护下部油气层不受污染、堵漏封串等一系列井下封堵中具有很大的经济和时间上的优势<sup>[7]</sup>。

但是,爆炸式桥塞封堵工艺也有弊端。首先,桥塞的坐封和丢手需要使用火工品。因此,在火工品的运输和管理上存在过高的安全和管理风险<sup>[8-9]</sup>。其次,这种桥塞坐封前的外径比较大,无法实现过油管作业<sup>[10-12]</sup>。因此,出现了电液坐封式电缆桥塞封堵工艺。这种工艺同样是通过电缆传输,通过地面电源控制井下工具,通电后的电液泵向坐封工具内泵入高压液压油,使坐封工具内活塞发生轴向位移,从而实现桥塞坐封丢手。王海峰等针对地层封堵问题,对比了爆炸式电缆桥塞和电液坐封式电缆桥塞的封堵效率和封堵效果,得到了以下结论:电液坐封工具可以代替传统的火药爆燃式电缆桥塞工艺,但是王海峰等人同时也指出:电液坐封工具的坐封结构复杂,价格昂贵,目前正处于研究阶段,广泛应用具有一定的困难<sup>[13]</sup>。

采用连续油管放置过油管桥塞工艺是随着连续油管作业的成熟出现一项工艺。与以上三种方法不同的是,这种封堵技术是采用连续油管传输桥塞,并且通过连续油管打压实现坐封和丢手<sup>[14-16]</sup>。曹言光<sup>[17]</sup>针对复杂井况下的不动管柱堵水问题,通过对和连续油管配合使用的膨胀式桥塞的机构特点和施工工艺的描述,研究了采用连续油管下入膨胀式桥塞工艺的适用性和推广前景,得到了以下结论:膨胀桥塞过油管堵水工艺节约了动管柱作业的时间与成本,施工工艺简单,对于一体化完井管柱等复杂井况的堵水作业,具有较好的推广应用前景。但是,这种工艺也有明显弊端:首先,相对电缆作业,连续油管作业的施工周期仍然较长,施工费用仍然较高,效费比并不突出;其次,桥塞的下井尺寸达到63.5 mm,无法从常见的73.025 mm油管内部下入<sup>[18-19]</sup>。

可以看出,目前常见四种地层封堵工艺均有各自固有的局限。本文介绍了一种能解决地层封堵问题的新型工艺,即使用测井电缆放置非爆炸式桥塞工艺,这种桥塞的下井尺寸小(三种尺寸45 mm、54 mm、76 mm),膨胀比大,可以从常见的油管内部下入,

封堵常见尺寸的套管。同时,这种桥塞坐封和丢手都不使用火工品,具备结构简单、施工周期短、效费比高的特点,有效地避免了上述四种封堵工艺的弊端,能快速有效地完成无井架的封堵作业。目前,该工艺已经在委内瑞拉及世界其他主要产油国有数年的成功施工,该工艺在国内仍属于空白,具备很好的经济效益和推广前景。

## 1 非爆炸膨胀式过油管桥塞封堵技术

非爆炸膨胀式过油管桥塞需要和专用的坐封工具(HST)配合使用。当桥塞下到预定位置后,从地面下达坐封指令,坐封工具向上拉动桥塞内部的控制芯轴,使桥塞上下部的锚爪向外张开,从而撑在井壁,同时桥塞本体上的密封胶桶被从上下方同时挤压膨胀,从而完成坐封。坐封工具继续向上拉动控制芯轴,把控制芯轴从其应力弱点拉断,使桥塞和坐封工具分离,这样就一次性完成坐封和丢手两个动作。完成桥塞的坐封和丢手后,使用过油管倒灰筒(Dump Bailer)在桥塞上表面倒入3 m左右的水泥浆,完成封堵作业。

### 1.1 工艺方案

非爆炸膨胀式过油管封堵技术使用测井电缆将膨胀式桥塞放置到封堵段。坐封工具利用地层压力完成坐封和丢手动作,整个坐封动作平稳缓慢,不使用火工品,作业过程安全性高,封堵能力强。

(1)封堵前生产测井作业(PLT),确定封堵井段。

(2)关井24 h,确定被封堵地层的关井压力,根据桥塞工作的压差选择水泥浆的使用类型,同时确定倒灰长度和次数。

(3)关井结束后进行多臂作业,落实封堵井段套管变形情况。

(4)使用测井电缆将坐封丢手工具串放入井内,并在设计位置坐封丢手,坐封丢手后使用电缆下探桥塞,确定坐封丢手是否成功。

(5)使用测井电缆将倒灰工具串放入井内,并在设计深度倒灰若干次。

(6)按照设计时间候凝。

### 1.2 工艺特点

非爆炸膨胀式过油管桥塞封堵技术有以下几个技术特点:

(1)不用压井,避免了污染地层,在高产自喷井堵水方面具备广泛的应用前景。

(2)不用动管柱,节约作业时间,最快可在1 d

内完成作业(采用修井机的话则最短需要4 d时间)。

(3)该工具原始尺寸小(三种外径45 mm、54 mm和67 mm),可以从常见的油管内穿过,完成过油管作业。

(4)该工具的膨胀比大(最大3.5倍),封堵常见的101.60 mm到244.48 mm的套管;

(5)坐封和丢手不使用火工品,避免了火工品使用风险和管理成本。

(6)坐封行程较长(1.5 m)且坐封动作缓慢(15 min),相对于使用火工品的爆炸式坐封方式,有更高的成功率和可靠性。

(7)该工具的上部卡瓦合金钢切经过淬火处理,具备良好的可钻性,钻除上部卡瓦后,胶桶及下部卡瓦将落入或者被推入人工井底。

(8)该工具为可取式桥塞,在未上覆水泥的情况下可以通过打捞工具从井内取出。

(9)所使用的倒灰工具结构简单,动作可靠,可根据需要,在不超过防喷管长度的前提下,随意增减灰桶长度,提高了施工的灵活性。

### 1.3 井下工具

非爆炸膨胀式过油管封堵技术的主要工具包括:桥塞本体(PEP),桥塞坐封工具(HST)和倒灰筒(Dump Bailer)。

#### 1.3.1 桥塞本体

膨胀式桥塞本体在坐封后形成封堵,同时为水泥浆提供承载面。整个工具的下井尺寸较小,膨胀比又比较大,因此可进行过油管作业。其结构如图1所示。

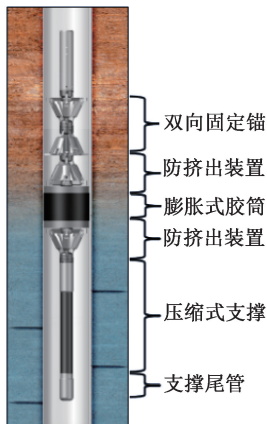


图1 膨胀式过油管桥塞结构示意图(坐封后)

Fig.1 Structure sketch of inflatable thru-tubing bridge plug (After setting)

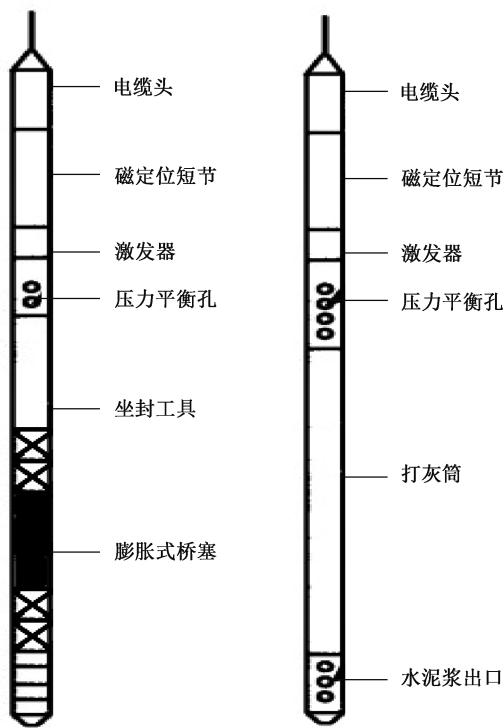
#### 1.3.2 桥塞坐封工具

桥塞坐封工具提供坐封和丢手动作需要挤压

胶桶、锚定支撑和从弱点拉断芯轴所需的拉力。该工具由多级活塞缸及控静压坐封启动装置组成,并利用施加到活塞的下端的静液压力,使用多级活塞缸的机构将桥塞本体的控制芯轴向上拉动,从而完成坐封和丢手动作。

### 1.4 管串结构

管串结构如图2所示。从图2可以看出,该技术使用的两种管串结构都很简单,仅仅需要在电缆头下方连接无源磁定位短节再连接相关工具即可。



a.膨胀式过油管桥塞管串 b.过油管打灰塞管串

图2 管串结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of string structure

### 1.5 封堵作业施工程序

封堵作业按照两个步骤进行:首先进行坐封和丢手作业,然后进行倒灰作业。

#### 1.5.1 坐封和丢手

(1)连接桥塞及坐封工具(不使用加重杆)并按标准试压程序试压;

(2)按下井标准程序将管串下入井内,下入速度不得超过30 m/min,变径及气嘴或其他特殊井段下入速度不得超过6 m/min。每600 m记录一次设备悬重;

(3)管串下到位后检查并记录悬重;

(4)从地面下达坐封/丢手指令,同时密切监视电压、电流以及悬重的变化。等待15 min,使桥塞完全张开。一旦桥塞坐封并丢手完成,管串的悬重将

减少约 18 kg;

(5)将管串向上提出两个节箍的距离,记录悬重并缓慢下放管串,当管串接触到桥塞上表面即悬重减少时记录该深度,当悬重减少量达到 22.5 kg 时,上提管串并按照标准程序将管串起出地面。

### 1.5.2 倒灰

(1)按照标准程序通过打灰筒下入套管清洁剂清理桥塞上方套管;

(2)将倒灰筒连接到混浆装置,当倒灰筒盛满水泥浆后,将倒灰筒连接至管串并按照标准程序下井,下入速度不得超过 75 m/min,变径及气嘴或其他特殊井段下入速度不得超过 6 m/min,持续记录悬重;

(3)倒灰筒接近桥塞前将下井速度减慢到 6 m/min,当工具串到达桥塞上部 0.3~0.6 m 时,加电 300~350 mA,并维持 3~5 s,完成倒灰作业;

(4)按照设计要求重复(2)、(3)步 2~3 次,以在桥塞上方倒入设计要求数量的水泥浆;

(5)上提管串并按照标准程序将管串起出地面;

(6)候凝 24 h。

## 2 存在的问题和对策

对本工艺存在的问题和局限性进行了分析,并提出了相应的解决办法。

### 2.1 工艺局限性

(1)无法使用本工艺封堵套管严重变形井段。如果套管变形严重的话,不但桥塞工具无法正常坐封和丢手,甚至可能出现工具遇卡无法起出地面的情况。

(2)井斜超过 71°的井况不推荐使用该技术。

(3)受工艺本身限制,只能封堵产层底部产水井段,如果产层上部或者中部产水严重,则无法用本技术进行封堵。

(4)被封堵井段固井质量较差时也无法使用该封堵手段。在此种井况下,封堵作业后,边底水仍可能沿着水泥环的胶结空隙向上流动,从而进入桥塞上部井筒,导致封堵失败。

(5)被封堵井段存在串层现象同样无法使用该技术。在此种井况下,被封堵层的产水可沿串层进入到桥塞坐封位置以上的射孔井段,同样会导致封堵失败。

如遇到以上几种情况,则不建议用本工艺进行

封堵。

### 2.2 施工风险和应急预案

除电缆作业的常规风险以外(井喷、井喷失控、遇卡等),过油管封堵作业还有其独有的施工风险,如桥塞无法正常坐封和丢手的风险以及水泥塞无法正常胶结的施工风险等。对施工风险进行评估之后,如何规避各种风险,提出相应的应急预案。

#### 2.2.1 施工风险规避

在关井 24 h 以后,安排一次取样作业,确定套管内部是否存在沥青质和蜡质,沥青质和胶质过多会严重影响水泥的初凝时间。如果套管内壁存在较多上述物质,则需要先进行通井作业去除套管内部附着物;在桥塞工具送入井内之前,首先要进行多臂作业,进行多臂作业主要是为了模拟桥塞工具入井的情况,同时检查被封堵井段的套管条件,避免出现套管变形过大使得桥塞无法正常坐封和丢手的情况。

#### 2.2.2 施工应急预案

(1)坐封丢手异常。如下达坐封指令 15 min 后,工具串的悬重仍然没有明显减少,则可适当延长等待时间(比如再等待 15 min);如果仍然没有明显的悬重减少,可适当提高坐封电流至 350~400 mA,等待 30 min 后。如悬重仍无明显减少,则需要停止向仪器供电并将仪器起出地面。工具串供电时,绝对禁止上提或者下放仪器,防止仪器突然坐封。

(2)水泥塞无法正常胶结。确定桥塞正常坐封以后,如发生水泥塞无法正常胶结的情况,可使用倒灰筒将更多的套管清洁剂倒入桥塞上表面,并将桥塞上表面附近较脏的井筒液置换到较浅的深度。

## 3 应用实例

FUL-121 井是委内瑞拉东部油田 FURRIAL 区块的一口生产井,深 4 772.01 m,井底压力 25.75 MPa,井底温度 144.58 °C,采用油管传输射孔方式完井,井身结构如图 3 所示。从图 3 可以看出,本井是目前比较常见的生产套管+悬挂器+尾管的结构。本井的产层是 MEREURE 层,为砂岩地层,包括三小层,分别是 UN-3、UN-2 和 UN-1。生产测井(PLT)结果显示(表 1),该井各层总产量为:油 49.13 m<sup>3</sup>/d、水 313.07 m<sup>3</sup>/d。UN-1 和 UN-3 产层的产出较小,UN-1 层油产量为 1.89 m<sup>3</sup>/d,UN-3 层油

产量 7.29 m<sup>3</sup>/d,主要产层为 UN-2 层,产油 39.95 m<sup>3</sup>/d。但是,该层下部的三个射开层产水量均比较大,三个射开层合计产水 308.59 m<sup>3</sup>/d。

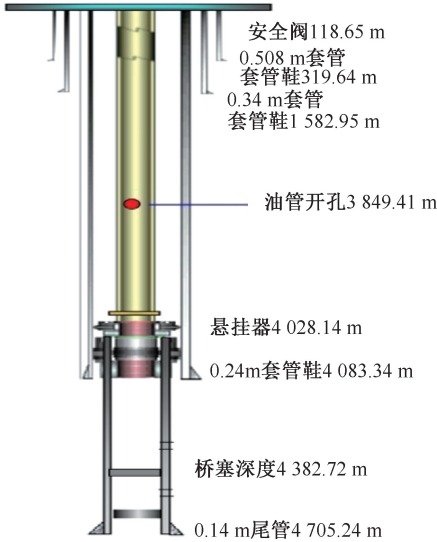


图 3 FUL-121 井井身结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of well bore structure of well FUL-121

表 1 FUL-121 井堵水作业前各层产量  
Table 1 Production of each layer before water plugging operation for Well FUL-121

层位	深度/m	油产量/ (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	水产量/ (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )
UN-3	4 310.48~4 334.26	7.29	0.00
	4 365.04~4 370.83	2.94	0.00
UN-2	4 403.75~4 415.03	22.81	64.41
	4 420.21~4 425.09	11.38	133.34
	4 435.14~4 444.59	2.84	110.84
UN-1	4 451.30~4 461.05	1.89	4.48

PLT 作业显示 UN-2 层第一射开层的流动压力为 17.54 MPa,关井 24 h 后的压力梯度测试显示第二射开层的关井压力为 24.37 MPa,二者压差为 6.83 MPa,小于桥塞的封堵能力 14 MPa。同时,多臂作业显示被封堵井段的套管情况良好,没有明显的变形。因此,该井井况满足本工艺的施工条件。决定在 4 401.15 m 处放置桥塞用以封堵 UN-1 层,以及 UN-2 层的最下三个射孔段。PLT 作业同时显示,4370.83 m 至 4403.75 m 处温度为 143.89 ℃。因此,选用 G3 型常规膨胀水泥,下倒灰筒两次。

施工采用 54 mm 膨胀式过油管桥塞,打灰塞 3 m,候凝 24 h,作业一次成功。桥塞封堵作业之后,再次进行生产测井作业(PLT)。表 2 显示各层总产量为:油 79.24 m<sup>3</sup>/d、水 104.16 m<sup>3</sup>/d。UN-1 层和 UN-2 产层下部三个射孔段得到了有效封堵,同时第一个射孔段产水明显下降。

表 2 FUL-121 井堵水作业后各层产量  
Table 2 Production of each layer after water plugging operation for Well FUL-121

层位	深度/m	油产量/ (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	水产量/ (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )
UN-3	4 310.48~4 334.26	51.38	81.52
	4 365.04~4 370.83	27.86	22.64
UN-2	4 403.75~4 415.03	0.00	0.00
	4 420.21~4 425.09	0.00	0.00
	4 435.14~4 444.59	0.00	0.00
UN-1	4 451.30~4 461.05	0.00	0.00

相比封堵作业之前,增产原油 31.05 m<sup>3</sup>/d,增加 61%;水产量为 104.16 m<sup>3</sup>/d,降低了 67%,该次封堵作业起到了很好的降水增油效果。为实现同样的封堵效果,若采用修井机作业,需要 5~7 d,而且压井作业存在污染地层的可能。采用膨胀式过油管桥塞作业,仅用时 2 d,且不用压井,不存在污染地层的风险,显示了该项技术良好的效费比。目前,该技术在很多国外油田(委内瑞拉、伊朗、伊拉克等)都是一项成熟的技术。仅在委内瑞拉东部油田每年就有 30 井次以上的作业,施工成功率在 95% 以上。但在国内,该技术仍属于空白,具备很好的经济效益和推广前景。

4 结论

(1)非爆炸膨胀式过油管桥塞封堵工艺具备良好的经济价值和推广前景,该工艺填补了国内该项作业的空白。

(2)该工艺在生产井堵水方面有较好的应用前景,能解决部分生产井卡堵水问题,也可用于探井试油中封层作业(要先丢枪)。

(3)该工艺目前还存在不能封堵套管严重变形井段等局限性,有进一步改进的必要。

致谢:感谢油气井测试分公司同意本论文公开发表;感谢李茂华、徐华果在论文撰写过程中给予的支持和帮助。

参考文献

[1] 王平美,罗健辉,白风鸾,等. 国内外气井堵水技术研究进展[J]. 钻采工艺,2001,24(4):28-30.  
WANG Pingmei, LUO Jianhui, BAI Fengluan, et al. The status quo of water shutoff technology in gas well at home and abroad [J]. Drilling & Production Technology, 2001, 24(4):28-30.  
[2] 张保康,徐国瑞,铁磊磊,等. “堵水+调剖”工艺参数优化和油藏适应性评价——以渤海 SZ36-1 油田为例[J]. 岩性油气藏,2017,29(5):155-161.  
ZHANG Baokang, XU Guorui, TIE Leilei, et al. Optimi-

- zation of technological parameters and evaluation of reservoir adaptation by water plugging and profile control: A case from Bohai SZ36-1 Oilfield [J]. Lithologic Reservoirs, 2017,29(5):155-161.
- [3] 吕选鹏,吴朝明,高立彬,等. 置换法压井工艺技术现场应用[J]. 油气井测试,2017,26(1):49-50,54.  
LYU Xuanpeng, WU Chaoming, GAO Libin, et al. Field application of replacement killing well technology[J]. Well Testing, 2017,26(1):49-50,54.
- [4] 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.
- [5] 张虎,马生祖,魏锋,等. 泵送桥塞坐封用复合火药研究[J]. 测井技术,2012,36(5):533-536.  
ZHANG Hu, MA Shengzu, WEI Feng, et al. Study on composite powder used in setting pumping bridge plug [J]. Well Logging Technology, 2012,36(5):533-536.
- [6] 赵金龙. 油管输送射孔井下封井技术研究[J]. 油气井测试,2018,27(3):46-51.  
ZHAO Jinlong. Research on well sealing technology of tubing conveyed perforating [J]. Well Testing, 2018, 27(3):46-51.
- [7] 谭玉春. 电缆桥塞技术在川西油气田开发中的应用[J]. 天然气工业,2002,22(3):74-75.  
TAN Yuchun. Application of wireline bridge plug technology in development of West Sichuan oil and gas field [J]. Natural Gas Industry, 2002,22(3):74-75.
- [8] 张恩伦,刘化国,杨玉生. 桥塞封层工艺技术的发展[J]. 石油机械,2001,29(10):47-50.  
ZHANG Enlun, LIU Huaguo, YANG Yusheng. Development of bridge plug sealing technology [J] China Petroleum Machinery, 2001,29(10):47-50.
- [9] 孙可维. 机械找堵水工艺研究与应用[J]. 内蒙古石油化工,2010,36(17):101-102.  
SUN Kewei. Research and application of mechanical water search and isolation technology [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2010,36(17):101-102.
- [10] 贾武强,李洋,廖维宇,等. 电动液压电缆桥塞坐封工具[J]. 石油科技论坛,2015,34(S1):179-180.  
JIA Wuqiang, LI Yang, LIAO Weiyu, et al. Electric hydraulic cable bridge plug setting tool [J]. Oil Forum, 2015,34(S1):179-180.
- [11] 王鹏. 电缆输送式电动液压坐封桥塞技术[J]. 油气井测试,2019,28(5):39-43.  
WANG Peng. Wireline electro-hydraulic bridge setting technology[J]. Well Testing, 2019,28(5):39-43.
- [12] 李俊,刘川生,王永兰. 机械桥塞座封工艺研究——以印尼项目 Seberaba-1 井机械桥塞坐封作业为例[J]. 内蒙古石油化工,2010,36(12):90-91.  
LI Jun, LIU Chuansheng, WANG Yonglan. Study on sealing technology of mechanical bridge plug-nepali project Seberaba-1 Well mechanical bridge plug seating operation as an example [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2010,36(12):90-91.
- [13] 王海峰,马海龙,高伟. 桥塞坐封工艺技术的发展与思考[J]. 新疆石油科技,2018,28(1):38-39.  
WANG Haifeng, MA Hailong, GAO Wei. Development and consideration of bridge plug sealing technology [J]. Xinjiang Petroleum Science & Technology, 2018,28(1):38-39.
- [14] 祝令湖. 新型可取式桥塞投送工具的研制及应用[J]. 内蒙古石油化工,2015,41(17):25-27.  
ZHU Linghu. Development and application of a new type of removable bridge plug delivery tool [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2015,41(17):25-27.
- [15] 徐建. 可取式桥塞研制与应用[J]. 石油钻采工艺, 2009,31(3):114-118.  
XU Jian. Development and application of preferable bridge plugs [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009,31(3):114-118.
- [16] 刘伟,曹淑媛,穆总结,等. 井下套管封井器现场应用技术研讨[J]. 新疆石油天然气,2009,5(4):95-100,113.  
LIU Wei, Cao Shuyuan, MU Zongjie, et al. The probe into the practical application of the downhole casing blowout preventer [J]. Xinjiang Oil & Gas, 2009,5(4):95-100,113.
- [17] 曹言光. 高含硫气井过油管堵水技术[J]. 石油机械, 2016,44(10):104-106.  
CAO Yanguang. Through tubing water isolation technology of high sulfur gas well [J]. Machinery of Petroleum, 2016,44(10):104-106.
- [18] 徐浩,李濛,王喻雄. 过油管桥塞堵水技术在鲁迈拉油田的应用[J]. 非常规油气,2018,5(4):54-57.  
XU Hao, LI Meng, WANG Yuxiong. The application of through tubing bridge plug for water shut off in Rumaila Oilfield [J]. Unconventional Oil and Gas, 2018,5(4):54-57.
- [19] 尚琼,王伟佳,王汤,等. 连续油管钻复合桥塞工艺研究[J]. 钻采工艺,2016,39(1):68-71.  
SHANG Qiong, WANG Weijia, WANG Tang, et al. Research on milling technology of one CP through CT [J]. Drilling & Production Technology, 2016,39(1):68-71.

编辑 穆立婷

第一作者简介:张凯权,男,1981年出生,硕士,工程师,2015年毕业于中国石油大学(华东)地质工程专业,目前从事国际试油试采项目的现场组织协调工作。电话:0317-2552227,15930680049;Email:zkaiquan@cnpc.com.cn。通信地址:河北省廊坊市万庄镇渤海钻探油气井测试分公司,邮政编码:065000。