

# 新型钢丝作业防喷堵头

张学山, 李国伟, 王洪军, 赵立安, 程子阳, 孙磊

中国石油大港油田公司测试公司 天津 300280

通讯作者: Email: zxs\_cnpc@163.com

引用: 张学山, 李国伟, 王洪军, 等. 新型钢丝作业防喷堵头[J]. 油气井测试, 2020, 29(2): 43-49.

Cite: ZHANG Xueshan, LI Guowei, WANG Hongjun, et al. A new type of blowout plug for steel wire operation [J]. Well Testing, 2020, 29(2): 43-49.

**摘要** 钢丝试井作业普通防喷堵头密封级数少、安装紧固扭矩大、密封效果差、缺少仪器捕捉功能、磨损防硫钢丝。采取增加一级密封压帽和盘根、将 73.025 mm TBG 平式油管扣型改为 Tr75×4 扣型、丝扣缠上聚四氟乙烯带密封更改为双道“O”圈密封、增加卡瓦捕捉器和保护衬套等措施, 研制出一种新型钢丝作业防喷堵头。室内承压试验和捕捉试验成功后, 先后选择 0~15 MPa 井实测 30 多井次, 均获一次成功。2019 年大港油田 512 井次的实际应用表明, 新型钢丝作业防喷堵头安全可靠, 紧固扭矩降低 1.5 倍, 材料消耗降低 5 倍, 工作效率提高一倍以上, 完善了钢丝试井作业工艺, 对指导现场试井工作具有一定意义。

**关键词** 试井; 钢丝作业; 防喷堵头; 防磨; 卡瓦捕捉器; 工具设计

**中图分类号**: TE357 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.02.008

## A new type of blowout plug for steel wire operation

ZHANG Xueshan, LI Guowei, WANG Hongjun, ZHAO Li'an, CHENG Ziyang, SUN Lei

Testing company of PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin, 300280, China

**Abstract:** The common blowout plug in the steel wire well test operation has few sealing stages, large installation tightening torque, poor sealing effect, lack of instrument catching function and wear of sulfur resistant steel wire. A new type of blowout plug for steel wire operation has been developed by adding one-stage sealing and packing, changing the 73.025 mm TBG flat tubing thread type to Tr75 × 4 thread type, changing the Teflon tape sealing with screw thread to two-way “O” ring sealing, adding slip catcher and protective bush. After the success of indoor pressure test and capture test, more than 30 wells of 0~15 MPa have been selected for field test, all of which have been successful for the first time. The practical application of 512 well times in Dagang Oilfield in 2019 shows that the new type of steel wire operation blowout preventer is safe and reliable, the tightening torque is reduced by 1.5 times, the material consumption is reduced by 5 times, and the working efficiency is increased by more than one time. This plug improves the performance of steel wire well test operation technology, which has a certain significance for guiding the field well testing.

**Keywords:** well testing; steel wire operation; blowout plug; wear prevention; slip catcher; tool design

自 20 世纪 30 年代试井技术研究开始, 50 年代中期我国试井技术开始应用, 到了 70~80 年代发展为“现代试井”。随着试井技术的不断发展, 钢丝试井作业广泛应用于高压物性取样<sup>[1-3]</sup>、投捞井下工具<sup>[4-5]</sup>、测压<sup>[6-8]</sup>、清蜡<sup>[9]</sup>、开关滑套<sup>[10]</sup>、打捞井下落物<sup>[11-12]</sup>、抽汲<sup>[13]</sup>等作业项目。油气水井在钢丝试井作业中, 由于井筒内压力大, 为了防止井筒内油气水喷出井口, 造成环境污染和人身伤害, 通常在试井防喷装置的辅助下进行作业<sup>[14-15]</sup>。樊悦国等<sup>[16]</sup>针对防喷盒存在的井内液体易喷出或测试工具移动阻力大的缺点, 在防喷盒上部增设了一个低压密封区及黄油盒, 研制了新型测试防喷盒, 实现

不必过于压紧盘根, 并能自动给悬挂钢丝表面涂黄油, 延长了盘根和钢丝的使用寿命。李荣华等<sup>[17]</sup>针对高压防喷盒密封性差、密封室容积小、压帽有效工作长度短、防喷盒拆卸困难等缺陷, 采用降低密封室内壁粗糙度、增加密封室长度、改进压帽扣型、增加尾堵等方法, 成功改进高压防喷盒, 克服高压防喷盒的缺陷, 实现高压气体与外界环境的隔离, 达到安全施工的要求。张利明等<sup>[18]</sup>采用气控液压方式、双级滚动导向扶正系统、剪切销钉安全机构、高弹性耐磨胶筒, 采取双级密封等措施, 有效解决了抽汲过程中井口防喷问题, 最大限度降低抽汲所造成的井场污染。高扬<sup>[19]</sup>针对注水井测试堵头出

现刺水、漏水问题,在空心堵头主体内盘根盒装置与尾端活塞装置形成的空间内装入棉纱布,使棉纱布填满缝隙达到良好的密封效果,起到防喷作用,解决了由于刺水造成的环境污染等问题。颜士卫等<sup>[20]</sup>针对更换盘根费时费力、损伤盘根筒内绞纹等问题,采用了活动式空芯顶帽和相应的堵头内部配合结构,设计可拆卸式测试堵头,解决了相关问题。刘先运等<sup>[21]</sup>针对常规试井防喷堵头没有防掉功能,密封性差、密封橡胶不易更换的缺点,对常规试井防喷堵头进行了三处改进,设计单级卡瓦防掉器,增加防掉功能,密封通道由半开结构改为直通式有利于密封橡胶的更换,采用油杯式压帽代替普通平面压帽,增加润滑功能,研制出具有防掉、润滑等功能的钢丝作业新型多功能堵头。

防喷堵头是钢丝作业防喷装置中的重要部件,主要起密闭测试和稳定钢丝的作用。现有的防喷堵头难以满足生产的需要,在前人研究成果的基础上,考虑到防喷堵头的密封级数、紧固扭矩、仪器捕捉功能、适合防硫钢丝作业等因素,笔者对钢丝作业普通防喷堵头进行设计与改进,研制出新型钢丝作业防喷堵头,并成功通过了验证。

## 1 钢丝作业普通防喷堵头

目前使用的钢丝作业普通防喷堵头由压帽、堵头主体、密封盘根三部分组成(图1)。

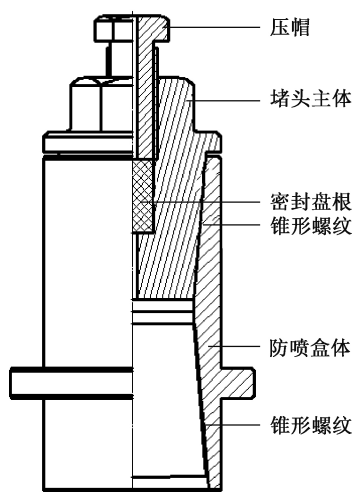


图1 钢丝作业普通防喷堵头结构示意图

Fig.1 Structure diagram of common blowout prevention plug for steel wire operation

防喷堵头安装在防喷管顶端的接箍内,采用73.025 mm TBG 平式油管扣型连接,在丝扣上缠上聚四氟乙烯带实现堵头与接箍之间的密封。在防喷堵头

主体中填入密封盘根并用与防喷堵头连接的压帽进行紧固,通过调整压帽对密封盘根进行压紧,密封盘根抱紧穿过防喷堵头的钢丝,实现对油气水井口的密封,广泛应用于井口油压低于21 MPa、防喷管长度小于2.5 m的油气水井中进行试井作业。

现有的钢丝作业普通防喷堵头存在以下问题:

(1)密封级数少。普通防喷堵头只有一级密封装置。压帽磨损后,容易从堵头主体中脱出,造成油气水等井流物从堵头泄露,无法有效控制,污染了采油树和井场。

(2)防喷堵头紧固扭矩大、密封效果差。防喷堵头采用73.025 mm TBG 平式油管扣型与油管接箍连接,在丝扣的外表面缠上聚四氟乙烯带密封,密封效果差。紧固防喷堵头时需要很大的扭矩,尤其是使用大尺寸的管钳非常不方便且容易造成事故。

(3)缺少仪器捕捉功能。当操作人员疏忽或计深装置出现故障时,测试仪器碰撞防喷堵头,钢丝从防喷堵头中抽出,导致测试仪器落井,给企业造成很大的损失。

(4)磨损防硫钢丝。在使用防硫钢丝作业时,堵头压帽材质的硬度大于防硫钢丝的硬度。在防硫钢丝高速运动时,压帽与防硫钢丝发生摩擦,防硫钢丝经常出现划痕、“冷焊”现象,严重损伤防硫钢丝,甚至报废。

## 2 改造方案及实施

为解决目前钢丝作业普通防喷堵头存在问题,总结以前生产经验教训,通过反复研究和试验,对钢丝作业普通防喷堵头进行了改进。

### 2.1 改造方案

(1)增加密封级数。在普通防喷堵头的结构基础上增加了第一级压帽和第一级内压式密封盘根。若第一级压帽丧失对第一级内压式密封盘根的密封性能,可以调整第二级压帽,对第二级内压式密封盘根进行压紧,实现对井口的二次密封。

(2)改变连接扣型,降低扭矩。锥形油管扣型紧固扭矩大,将锥形油管扣型改为梯形扣连接,降低旋紧扭矩,使用小型扳手可以上紧堵头。丝扣缠上聚四氟乙烯带密封改为双道“O”圈密封,提高密封效果。

(3)增加捕捉装置,实现对测试仪器的捕捉。在普通防喷堵头的下端增加捕捉装置。测试仪器碰撞防喷堵头的捕捉装置,捕捉装置能够抓住测试仪器,

即使钢丝从防喷堵头抽出,测试仪器也无法落井。

(4)增加保护衬套,隔离防硫钢丝和压帽。在堵头压帽内镶嵌了衬套,将防硫钢丝与压帽隔离。要求衬套的硬度低于防硫钢丝的硬度,衬套与防硫钢丝摩擦时,只能磨损衬套,防硫钢丝不被磨损,达到保护防硫钢丝的目的。

## 2.2 方案实施

设计的钢丝作业新型防喷堵头主要由捕捉筒、卡瓦片、“O”型密封圈、弹簧、堵头主体、第二级密封盘根、第二级压帽、第一级密封盘根、第一级压帽、空心铜锌合金螺栓等部件组成(图2)。

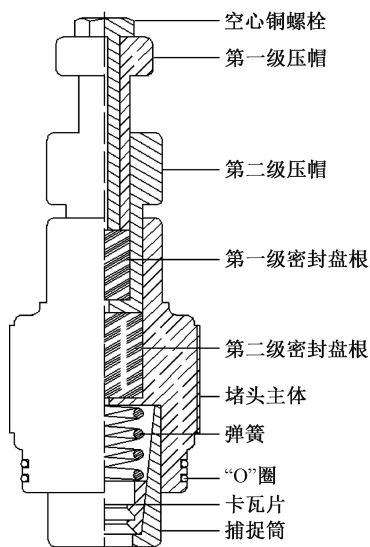


图2 新型钢丝作业防喷堵头结构示意图

Fig.2 Structure diagram of new type steel wire operation blowout preventer plug

(1)增加一级密封压帽和盘根。盘根密封原理不变,在普通防喷堵头的结构基础上,增加了第一级压帽和密封盘根。现场作业过程中,第二级压帽保持无渗漏且松紧合适,优先旋紧第一级压帽,第一级压帽挤压第一级密封盘根,第一级密封盘根抱紧钢丝,起到密封井口作用,防止井口油气水泄漏。若第一级压帽失效后,旋紧第二级压帽,第二级密封盘根抱紧钢丝,再次起到密封井口的作用,井口仍然得到有效控制,杜绝污染环境事故发生,提高施工安全系数。

(2)将73.025 mm TBG平式油管扣型改为Tr75×4扣型,将丝扣缠上聚四氟乙烯带密封更改为双道“O”圈密封,连接速度快且牢固可靠,增加了防喷堵头的装配稳定性,操作省时省力,降低了劳动强度,进一步提高了作业效率。

(3)增加了卡瓦捕捉装置。在普通防喷堵头的下端设计了捕捉筒,捕捉筒内表面是一倾斜面,内装卡瓦片和弹簧。卡瓦片外形为圆锥形,分成两

片,内有2道台阶状的环形卡齿,卡瓦片外表面是一倾斜面,与捕捉筒内斜面紧密接触。当钢丝绳帽与防喷堵头接触后,钢丝绳帽进入捕捉筒中,卡瓦片受到钢丝绳帽的挤压上行分离,当钢丝绳帽与钢丝绳分离后,卡瓦片在弹簧的挤压下沿斜面下行合拢,分离的两块卡瓦片内的卡齿夹住具有打捞径的钢丝绳帽,实现卡齿对钢丝绳帽的捕捉,使测试仪器被卡齿紧紧咬住,避免了测试仪器落井。

(4)为了隔离防硫钢丝和压帽,在第一级压帽内镶嵌空心铜锌合金螺栓,防硫钢丝从铜螺栓的空心中穿过。当防硫钢丝高速运动时,防硫钢丝与空心螺栓的内壁产生接触摩擦,由于铜锌合金的硬度低于防硫钢丝的硬度,只会磨损空心铜锌合金螺栓,而不会对防硫钢丝产生磨损,因而保护了防硫钢丝,延长了防硫钢丝的使用寿命。

## 3 试验情况

新型防喷堵头研制成功后,在室内进行承压试验和捕捉试验。

### 3.1 承压和密封试验

为了检验新型防喷堵头承压状况和密封情况,在地面进行了承压和密封实验。

#### 3.1.1 试验设备

增压泵1台,试压台1座,长度2 m、外径73.025 mm的防喷管1支,新型防喷堵头2个。

#### 3.1.2 实验情况

新型防喷堵头安装在防喷管上面,整体固定在试压台上,利用增压泵向防喷管内注入清水,加压40 MPa后,稳压30 min,要求整个系统不刺不漏,加压、卸载重复试验4次。经过承压和密封实验,新型防喷堵头本体无裂纹、丝扣无变形,压帽无脱出、“O”圈无损坏、密封效果好,能够满足作业井的压力和密封要求。

### 3.2 仪器捕捉和防硫钢丝磨损试验

为了检验新型防喷堵头捕捉功能及是否磨损防硫钢丝,在承压和密封试验合格后,进行了测试仪器捕捉和防硫钢丝磨损试验。

#### 3.2.1 试验设备

长度2 m、外径73.025 mm的普通防喷管1支,新型防喷堵头2个,钢丝绳帽2个,长度1 m钨合金加重杆2支,缠绕D659防硫钢丝的液压试井绞车1辆,安装有张力计、计深装置。

#### 3.2.2 实验情况

在现场选择A井进行捕捉和磨损实验。A井

为注水井,油压 7.5 MPa,日注水量 50 m<sup>3</sup>,关井后油压为 0。从管柱图 3 可以看出,丝堵距离最近的油层底面 15.55 m,假如防喷堵头捕捉功能失效,造成仪器落井,丝堵可防止仪器落到人工井底,也不影响后续的试井作业且方便打捞。每个新型堵头均重复试验 2 次,每个起下过程均包括测试仪器捕捉试验和防硫钢丝磨损试验。

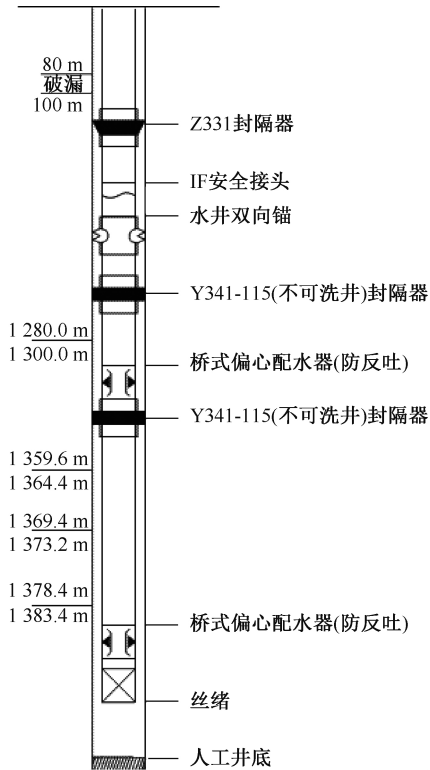


图 3 A 井完井管柱结构示意图  
Fig.3 Completion string structure of Well A

试验结果表明,防硫钢丝表面光滑,无划痕,铜锌合金螺栓内孔略有磨损。新型防喷堵头的卡瓦捕获测试仪器一次成功,适合防硫钢丝进行试井作业,能够满足井口油压低于 21 MPa 作业井的施工要求。

4 实际应用对比

该装置试验成功后,先后选择 0~15 MPa 的井实

测 30 多井次,均获一次性成功。目前,已在大港油田全面推广使用,应用新型防喷堵头作业 500 多井次。

4.1 普通防喷堵头

2018 年普通防喷堵头在王一、羊二、孔三、友一、羊三等油田累计使用 415 井次,发生事故 6 井次(表 1)。其中 W1 井是发生测试仪器落井事故后,仪器成功被打捞的一口井。

表 1 钢丝作业工作量统计表  
Table 1 Statistics of steel wire work

堵头类型	井次	油田					井次	经济损失/万元
		王一	羊二	孔三	友一	羊三	合计	
2018 作业	95	67	85	62	106	415	63	
普通	1	1	0	2	2	6		
2019 作业	98	89	123	81	121	512	0	
新型	0	0	0	0	0	0		

W1 井是王一油田南大港断层下降盘 W19 断块上的一口注水井(图 4),油压 11.65 MPa,套压 11.62 MPa,关井前日注水量 60 m<sup>3</sup>,累计注水量 151 559 m<sup>3</sup>。

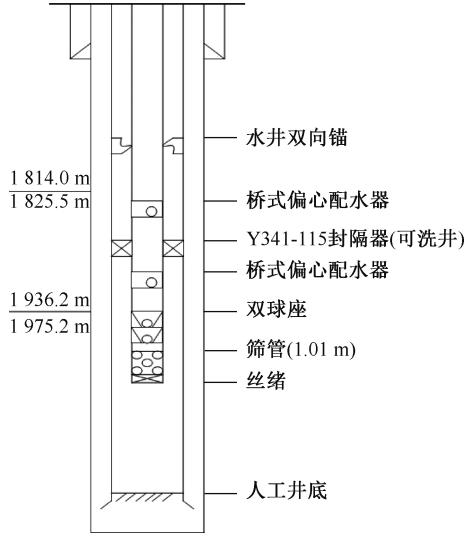


图 4 W1 井测试管柱结构示意图  
Fig.4 Test string structure of Well W1

为了解 W1 井储层参数,2018 年 4 月 11~14 日,采用车载钢丝和存储式电子压力计对 W1 井进行压力降落测试。测试层基础数据见表 2。

表 2 W1 井测试层基础数据  
Table 2 Basic data of testing layer

层位	层号	解释井段/ m	厚度/ m	孔隙度/ %	渗透率/ (10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup> )	含油饱和度/ %	解释结果	射孔井段/ m	射孔厚度/ m
Ng	10	1 813.6~1 819.7	6.10	22.28	0.199 7	15.98	油水同层	1 814.0~1 817.0	3
Ng	11-1	1 823.1~1 829.7	6.60	24.49	0.299 7	27.17	油水同层	1 824.0~1 825.5	1.50
Ng	11-2	1 829.7~1 839.6	9.90	25.29	0.353 0	10.45	水层	/	/
Ed	17-1	1 935.0~1 936.2	1.20	10.52	0.010 6	1.23	干层	1 936.2~1 939.2	3
Ed	17-2	1 936.2~1 939.7	3.50	22.63	0.204 5	32.56	油水同层	/	/
Ed	21-1	1 972.4~1 975.2	2.80	14.81	0.036 2	41.08	油层	1 972.6~1 975.2	2.60
Ed	21-2	1 975.2~1 981.4	6.20	13.72	0.022 3	19.38	水层	/	/



2018 年 4 月 11 日 8:25 安装防喷系统,8:35 下放压力计测流压流温梯度,9:15 电子压力计下至 1 800 m测流温、流压数据,9:45 关井测压力恢复。

14 日 8:39 上提电子压力计测静压、静温梯度,9:21 仪器上起到距井口 15 m(电子计数和机械计数值相同),钢丝从普通防喷堵头拉抽,关测试闸门后,仪器未在防喷管内,确认仪器落井。主要原因在于:防喷堵头缺少捕捉功能;计深装置出现误差;操作人员疏忽,178 m/min 超速操作等。

9:50 更换打捞工具下井,10:36 在 1 998 m 处捞住压力计,11:20 打捞工具出井口,施工结束。

W1 井实测压力曲线如图 5 所示。从图 5 可以看出,在整个测试期间,井下电子压力计工作正常,数据录取齐全准确,计算油层中部压力为 24.20 MPa。

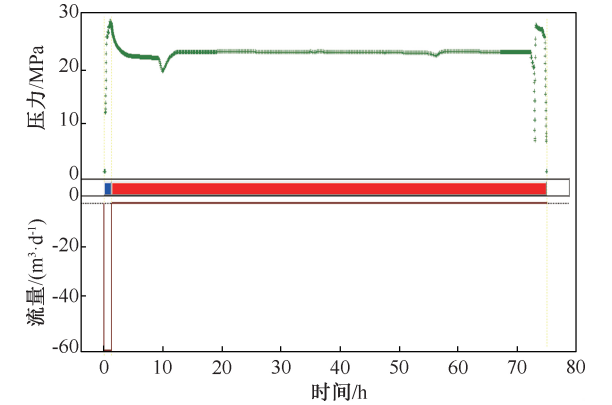


图 5 W1 井实测压力曲线  
Fig.5 Measured pressure curve of Well W1

对关井期间压力降落数据进行双对数拟合(图 6),获得水相有效渗透率  $2.06 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,表皮系数  $-3.07$ ,水相地层系数  $14.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$ ,内区半径 9.28 m。由此表明,近井储层的渗透性一般,外围地层渗透性较差,该井储层没有污染且超完善。

4.2 新型防喷堵头

从表 1 可以看出,2019 年新型防喷堵头在王一、羊二、孔三、友一、羊三等油田进行通井、投捞井下工具、测压、PVT 取样等钢丝作业 512 井次,其中

自喷井 Y1 进行了压力恢复测试。

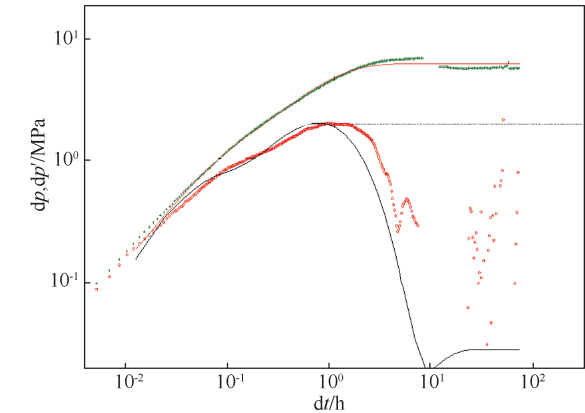


图 6 W1 井双对数拟合曲线  
Fig.6 Double logarithm fitting curve of well W1

Y1 井是友一油田 161 北断块上的一口自喷井(图 7),油压 3.75 MPa,套压 4.17 MPa。关井前日产水 0.16 m³、日产油 16.05 t,累计产水 57.48 m³、累计产油 3 467.08 t。Y1 井产层基础数据见表 3。

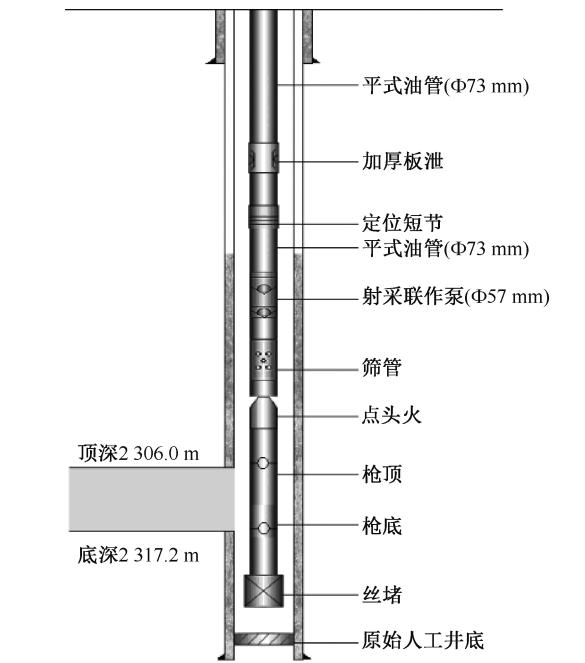


图 7 Y1 井完井管柱结构示意图  
Fig.7 Completion string structure of Well Y1

表 3 Y1 井产层基础数据  
Table 3 Basic data of production layer of Well Y1

层位	层号	解释井段/ m	厚度/ m	孔隙度/ %	渗透率/ ( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	含油饱和度/ %	解释 结果	射孔井段/ m	射孔厚度/ m
Es <sub>1</sub> 下	32	2 302.8~2 306.0	3.2	8.42	1.46	0.20	干层	/	/
		2 306.0~2 321.3	15.3	22.95	229.12	88.99	油层	2 306.0~2 317.2	11.2

为了解 Y1 井完善程度及地层压力情况,2019 年 6 月 1-5 日,采用车载钢丝和存储式电子压力计

对 Y1 井进行压力恢复测试。  
2019 年 6 月 1 日 8:40 连接  $\phi 42$  mm 通井工具

和安装防喷系统,8:51下放  $\phi 42$  mm 通井工具开始通井,9:15 通井至 2 020 m 后上提通井工具串,9:39 通井工具上提到井口,9:55 开始下放压力计测流压、流温梯度,10:50 电子压力计下至 2 000 m 测流温、流压数据,11:47 关井测压力恢复。

2019 年 6 月 5 日 9:59 上提电子压力计测静压、静温梯度,10:50 测试工具串到达井口,关清蜡闸门,11:05 施工结束。

该井实测压力曲线如图 8 所示。可以看出,在整个测试期间,井下电子压力计工作正常,数据录取齐全准确,计算油层中部压力为 20.00 MPa。

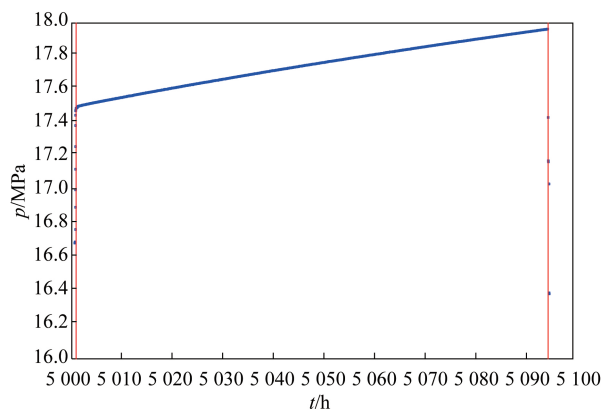


图 8 Y1 井实测压力曲线

Fig.8 Measured pressure curve of Well Y1

为获得储层参数,对关井期间压力恢复数据进行双对数拟合(图 9),获得油相有效渗透率  $2\,684.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,表皮系数  $-3.72$ ,油相地层系数  $30\,062 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \cdot \text{m}$ ,内区半径 92 m,探测半径 158 m。由此表明,近井储层的渗透性非常好,外围地层渗透性较差,最差仅为近井地层的  $1/300$ ,物性变化地带与本井最近的距离在 92 m 左右,该井储层没有污染且超完善。

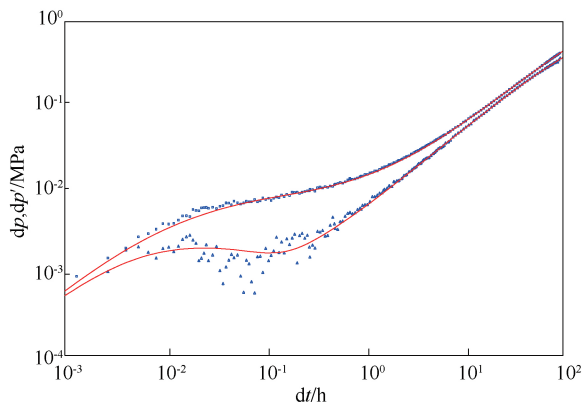


图 9 Y1 井双对数拟合曲线

Fig.9 Double logarithm fitting curve of Well Y1

新型防喷堵头试验成功后,先后在油压 0 ~ 20 MPa 的生产井实测 512 井次,均获一次性成功。经过计算紧固扭矩降低 1.5 倍,材料消耗降低 5 倍,工作效率提高一倍以上,未发生磨损防硫钢丝、仪器落井事故,比 2018 年减少因防硫钢丝损坏、钢丝拉抽仪器落井损坏、打捞费用 63 万元以上,目前新型防喷堵头已在大港油田全面推广使用。

## 4 结论

(1) 新型钢丝作业防喷堵头能够实现对井口的二次密封,适合防硫钢丝作业,广泛应用于井口油压低于 21 MPa、防喷管长度低于 2.5 m 的油气水井中进行试井作业,为提升钢丝作业防喷堵头性能等级,提供了有效参考,对完善钢丝试井作业工艺,指导现场试井工作具有一定意义。

(2) 新型钢丝作业防喷堵头采用手动压紧密封,现场操作时要在高处完成,不建议在井口油压大于 21 MPa、防喷管长度大于 2.5 m 的油气水井中进行试井作业。

致谢:感谢大港油田测试公司同意本论文公开发表。

## 参考文献

- [1] 张伟. 高压物性取样技术在雅达油田的成功应用[J]. 油气井测试, 2016, 25(5): 68-70.  
ZHANG Wei. Successful application of PVT technology in Yada Oilfield [J]. Well Testing, 2016, 25(5): 68-70.
- [2] 戴卢军, 杨子, 高科超, 等. 渤海油田探井测试井下 PVT 取样技术进展研究与改进[J]. 油气井测试, 2017, 26(5): 62-65.  
DAI Lujun, YANG Zi, GAO Kechao, et al. Research and improvement on down-hole PVT sampling technique progress in exploratory well testing in Bohai Oilfield [J]. Well Testing, 2017, 26(5): 62-65.
- [3] 许峰, 赵洪涛. 高温含硫凝析气藏取样技术探讨[J]. 油气井测试, 2019, 28(4): 20-26.  
XU Feng, ZHAO Hongtao. Discussion on sampling technology of high-temperature sulfur-bearing condensate gas reservoir [J]. Well Testing, 2019, 28(4): 20-26.
- [4] 胡勇, 周生福, 王博伟, 等. 一种深井 DPT 投捞工艺在塔河油田的改进及应用[J]. 油气井测试, 2016, 25(3): 71-72.  
HU Yong, ZHOU Shengfu, WANG Bowei, et al. Improvement and Application of A Kind of Deep Well DPT Shot Out Process in Tahe Oilfield [J]. Well Testing, 2016, 25(3): 71-72.
- [5] 王克林, 杨向同, 刘军严, 等. 库车山前高压气井钢丝投捞式试井技术[J]. 油气井测试, 2018, 27(4): 15-20.  
WANG Kelin, YANG Xiangtong, LIU Junyan, et al. Wire-

- line fishing well testing technology in Kuche Foreland [J]. Well Testing, 2018,27(4):15-20.
- [6] 史华蕾. 注水井井口压力降落试井工艺研究[J]. 油气井测试,2017,26(5):43-46.
- SHI Hualei. Study on well testing technology of wellhead pressure drop for water injection wells [J]. Well Testing, 2017,26(5):43-46.
- [7] 邹顺良. 页岩气微注压降测试方法[J]. 油气井测试, 2018,27(1):37-41.
- ZOU Shunliang. Shale gas injection/fall off testing method [J]. Well Testing, 2018,27(1):37-41.
- [8] 徐兴安,张凤辉,杨万有,等. 渤海油田分层注水测试新技术[J]. 油气井测试,2019,28(4):51-56.
- XU Xing'an, ZHANG Fenghui, YANG Wanyou, et al. New testing technology of layered water injection in Bohai Oilfield [J]. Well Testing, 2019,28(4):51-56.
- [9] 白红艳,廖永刚,高蕊蕻. 超低渗油田清防蜡技术的研究与应用[J]. 石油化工应用,2016,35(12):1-5,9.
- BAI Hongyan, LIAO Yonggang, GAO Ruihong. Research and application of dewaxing and paraffin technology in ultra low permeability oilfield [J]. Petrochemical Industry Application, 2016,35(12):1-5,9.
- [10] 胡忠太. 利用高扩张滑套开关工具关闭投球压裂滑套[J]. 油气井测试,2018,27(6):68-72.
- HU Zhongtai. Closing the ball actuated fracturing sleeve with highly expanded sleeve switch tool [J]. Well Testing, 2018,27(6):68-72.
- [11] 苏镖,陈波. 超深高含硫气井油管內钢丝打捞作业技术及应用[J]. 油气井测试,2016,25(4):50-52.
- SU Biao, CHEN Bo. Technique of fishing broken slick line in ultra-deep high  $H_2S$  high pressure gas well and its application [J]. Well Testing, 2016,25(4):50-52.
- [12] 卜现朝. 海上某井钢丝打捞作业案例分析[J]. 油气井测试,2017,26(4):49-51.
- BU Xianchao. Case study of a steel wire salvage operation at sea [J]. Well Testing, 2017,26(4):49-51.
- [13] 任源峰,唐亮. 蒙古塔木察格油田加深抽汲工艺[J]. 油气井测试,2010,19(5):54-57.
- REN Yuanfeng, TANG Liang. Mongolia Talmud Taga Oil-field swabbing technique to enhance oil [J]. Well Testing, 2010,19(5):54-57.
- [14] 李远兵,王加强,赵彬,等. 高压注水井测试井口装置和加重杆研究[J]. 油气田地面工程,2010,29(9):99.
- LI Yuanbing, WANG Jiaqiang, ZHAO Bin, et al. Research on high pressure water injection well test wellhead device and weighting rod [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2010,29(9):99.
- [15] 汪斌. 内置式井口防喷装置的研制及试验[J]. 石油仪器,2013,27(3):24-26.
- WANG Xiao. Research of built-in wellhead blowout preventer [J]. Petroleum Instruments, 2013,27(3):24-26.
- [16] 樊悦国,张立勇,宋文升. 新型测试防喷盒的研制[J]. 石油机械,2000,28(6):45-46.
- FAN Yueguo, ZHANG Liyong, SONG Wensheng. Development of a new type of test blowout prevention box [J]. China Petroleum Machinery, 2000,28(6):45-46.
- [17] 李荣华,杨正友,黄俭,等. 气井测试高压防喷盒的改进[J]. 油气井测试,2006,15(3):66-67.
- LI Ronghua, YANG Zhengyou, HUANG Jian, et al. Improvement of high pressure bop testing in gas well [J]. Well Testing, 2006,15(3):66-67.
- [18] 张利明,任源峰,魏玉兵. 气控液压抽汲防喷盒的研制与应用[J]. 油气井测试,2009,18(5):57-58,60.
- ZHANG Liming, REN Yuanfeng, WEI Yubing. Development and application of air controlled hydraulic stuffing box for swabbing wells [J]. Well Testing, 2009,18(5):57-58,60.
- [19] 高扬. 注入井防喷测试堵头[J]. 油气田地面工程, 2010,29(1):79.
- GAO Yang. Injection well blowout test plug [J]. Oil-Gas-field Surface Engineering, 2010,29(1):79.
- [20] 颜士卫,娄靖涛,郑旭辉,等. 可拆卸式测试堵头[J]. 油气田地面工程,2011,30(1):86-87.
- YAN Shiwei, LOU Jingtao, ZHENG Xuhui, et al. Detachable test plug [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2011,30(1):86-87.
- [21] 刘先运,李党校,苏波涛. 试井钢丝新型多功能堵头的设计应用[J]. 油气井测试,2011,20(2):68-69.
- LIU Xianyun, LI Dangxiao, SU Botao. Design of the new wire line multi-function plug for well testing and its application [J]. Well Testing, 2011,20(2):68-69.

编辑 刘振庆

**第一作者简介:**张学山,男,1972年出生,高级技师,助理工程师,2010年毕业于中国石油大学(华东)石油工程专业,现主要从事油气水井测试技术工作。电话:022-25946195,15822836291;Email:zxs\_cnpc@163.com。通信地址:河北省沧州市黄骅南大港管理区测试公司第二分公司,邮政编码:061103。