

# 油管输送射孔井下封井技术研究

赵金龙

中国石油大庆油田有限责任公司试油试采分公司 黑龙江大庆 163412

通讯作者:Email:zhaojinlong2005@163.com

引用: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.

Cite: ZHAO Jinlong. Research on well sealing technology of tubing conveyed perforating [J]. Well Testing, 2018, 27(3):46-51.

**摘要** 油管输送射孔在超压井施工起下管柱时会发生井口溢流、井涌和井喷等现象,既会造成环境污染又存在安全性问题。为此研究了适合油田射孔作业特点的油管输送射孔井下封井技术。井下封井器主要包括锚定机构、坐封机构、丢手机构三部分,采用上提下放锚定方式和上提拉断销钉丢手方式进行封井。在管输射孔枪定位、起爆后,上提管柱至油层顶界,直接封隔油层,可有效预防井喷事故。下完井管柱时,底部直接连接打捞工具将其解封,完井后处于不坐封、不坐卡状态,不影响油井正常生产及水井正常配注,在减少劳动强度的基础上有效避免了环境污染等事故的发生。现场应用结果表明,整套工具的各项技术指标都满足设计要求,工具在井下能够顺利完成锚定、胶筒密封和管柱丢手等各项规定动作,且开关动作灵活,安全可靠,为油管输送射孔提供有力的技术支持。

**关键词** 射孔;完井;油管输送射孔;井下封井;密封;井控;环保;安全

**中图分类号**:TE353 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.03.008

## Research on well sealing technology of tubing conveyed perforating

ZHAO Jinlong

Well Testing Company of PetroChina Daqing Oilfield Company Limited, Daqing, Heilongjiang 163412, China

**Abstract:** The phenomenon of wellhead overflow, kickout and blowout occurs when the tubing conveyed perforating (TCP) operates in the overpressure well, which can cause environmental pollution and safety problems. In order to solve these problems, this paper has developed a TCP downhole sealing technology that is suitable for the perforating operations in oil-fields. The downhole packer mainly includes three parts: an anchoring mechanism, a setting sealing mechanism, and a releasing mechanism. The well is sealed by the method of hoisting up or setting down anchoring and the method of pulling up and broking pin to release. After positioning and detonating the TCP gun, lifting the string to the top boundary of the oil layer to seal the oil layer directly, which can prevent blowout accidents effectively. When landing string completed, the bottom is directly connected with the fishing tool to unseal it so that it is in a state of no setting and no sticking after the completion, so as not to affect the normal production of the well and the normal injection of the water well, which effectively avoided accidents such as environmental pollution on the basis of reducing labor. The field application results show that all the technical indicators of the tool meet the design requirements, and the tool can smoothly complete the specified actions such as anchoring, sealing of the cartridge, and releasing in the downhole, moreover the switching action is flexible, safe and reliable. It can provide technical support for the TCP.

**Keywords:** perforation; completion; tubing conveyed perforating; sealing well downhole; sealing; well control; environmental protection; safety

射孔完井就是利用射孔器,在目的层(油气水等层)和井筒之间建立物质流通的孔道。射孔目的就是射穿套管、水泥环和地层内一定的深度,为地层的油气流入至井筒,形成一个顺畅的通道<sup>[1]</sup>。目前,射孔完井工艺主要以电缆输送射孔<sup>[2]</sup>和油管输送射孔为主。郭希明等<sup>[3]</sup>针对大庆油田补孔井、常规新井、深井和水平井不同的井况,优选出了油管

输送式射孔起爆方式的规律,提高了油管输送式射孔的一次成功率;马英文等<sup>[4]</sup>针对常规射孔聚能射孔弹射孔后形成射孔压实带严重影响油井产能的问题,将油管传输的外置式复合射孔技术应用于低渗透油田渤中34-2/4油田。为了在射孔瞬间清理射孔孔道及孔道周围压实带,刘方玉等<sup>[5]</sup>在某油田区块的6口生产井进行了动态负压射孔试验应用,

与常规射孔方式相比采液强度提高 7%;谢寿昌等<sup>[6]</sup>针对新疆油田夏盐 11 井区储层特点,设计出相适应的动态负压射孔方案,动态负压射孔工艺在平均产液量及每米产液贡献率两方面均高于负压射孔及近平衡射孔,增产效果明显。唐梅荣等<sup>[7]</sup>研制了“定位器定位+陀螺仪定向+电缆传输”新型定向射孔技术,现场试验 80 余井次,作业周期缩短了 75%。针对电缆射孔存在的井喷等安全性问题,童士斌等<sup>[8]</sup>研制了高压密闭电缆射孔装置,该装置广泛应用于各类带压油气井,使用 51 枪、60 枪、73 枪、89 枪、102 枪等枪型进行电缆射孔及带压打捞井下落物作业。但是,油管传输射孔在一些水平井、大斜度井和侧钻井的射孔中具有电缆射孔不具备的优点。在大间距、多层射孔,特别是要求负压射孔,保护射开的油气通道等方面具备其他方法不可替代的优势。相对电缆输送射孔,油管输送射孔工艺便于循环压井,具有较好的井控安全性,主要应用在高危井中。

虽然大部分井都采用一定密度的射孔完井液进行了压井,如果射孔层段存在异常高压层或高含气层,在油管输送射孔后起下管柱过程中仍然存在井涌、井喷等井控安全风险。为了井控安全,必须使用高密度压井液进行压井作业,不仅成本投入增大,也对地层造成二次污染,同时影响新井下泵投产。唐凯等<sup>[9]</sup>在塔里木油田山前油气区块 8 000 m 超高温超高压超深井射孔作业中,采用了密度为  $1.78 \sim 1.95 \text{ g/cm}^3$  的钻井液进行压井。如果采用带压作业技术,能够有效解决井控环保问题。如王海东等<sup>[10]</sup>和代景新等<sup>[11]</sup>都报道了采用连续油管输送射孔技术,该技术基于“传爆延时”和“高压密封”技术,能够实现一次下井完成多级( $\geq 3$  级)射孔作业,但会增加较高的施工成本,延长新井投产周期。据统计,大庆油田每年约 300 口井射孔后需要进行压井,有 400 多口井射孔后存在溢流现象。为有效解决管输射孔井控环保风险,开发了管输射孔井下封井工艺技术。

井下封井技术最早用于欠平衡钻井过程中的井控安全。李晓军等<sup>[12]</sup>研制了井下封井器,与使用不压井强行起下钻设备相比大大减少了钻井作业时间,具有更好的适应性和使用性能,完全可以取代不压井强行起下钻设备。谢从辉等<sup>[13]</sup>介绍了套管阀井下封井阀芯的基本组成和工作原理,重点介绍了该设备室内试验情况。刘伟等<sup>[14]</sup>介绍了井下

封井器在钻井和测井中的应用。对于油管传输射孔的安全性问题,多采用井口防喷器或者井口封井器技术<sup>[15]</sup>。赵强等<sup>[16]</sup>研究油气水井井口封井器技术,该封井器下至井下 3~10 m 处的套管接箍上,同时配有多级防盗模式。但是,针对射孔完井过程中的井下封井技术未见报道。本文从井下封井器的结构、工作原理、管柱结构、室内实验和现场应用等几个方面介绍了油管输送射孔井下封井技术的应用,为降低井控风险提供借鉴。

## 1 井下封井器

井下封井器主要包括锚定机构、坐封机构、丢手机构三部分组成,下面分别对工具方案设计、结构、工艺原理、技术特点和技术参数进行阐述说明。

### 1.1 工具锚定、坐封方案设计

目前,井下工具锚定、坐封常用方式包括打压、旋转管柱和上提下放<sup>[17]</sup>三种类型。由于该工具是与油管输送射孔管柱一起下井,而管输射孔工艺存在比较突出的两个特点:

一是射孔作业具有施工效率高、机动灵活的特点,油管上、卸扣全部采用锚头绳,不使用液压钳,因此管柱丝扣均未上全上满,通常留有 1~2 扣。若采用旋转方式,以 120 根油管的管柱为例,那么地面人员可能要转管柱 120~250 圈才能使工具锚定。为此,该井下封井器锚定方式不能采用旋转方式。

二是工艺流程为先射孔,再上提到射孔顶界坐封。虽然射孔器的起爆大部分为投棒撞击<sup>[18]</sup>,但也有少部分为压力起爆<sup>[19]</sup>,由此需要水泥车向井筒内打压。此外,射孔器起爆时也会产生 40~60 MPa 的冲击压力。若井下封井器采用压力方式,就会被射孔压力引起锚定坐封。因此,该井下封井器锚定方式不能采用打压方式。

所以,上提下放方式更适合这种形式的油管输送射孔。

### 1.2 工具丢手方案设计

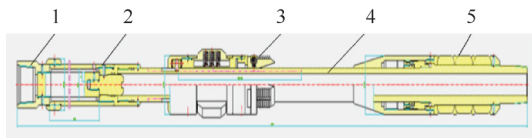
由于工具的坐封方式设计为上提下放,所以丢手方式设计为上提拉断销钉方式最为简单便捷。由于管输射孔起爆时,管柱会发生上下窜动,形成较大的加速度,由此丢手载荷设计时需要考虑这种因素。

一般复合射孔时的纵向加速度比常规射孔时大。通过 P-T 仪实测,复合射孔的纵向加速度不超过 60 g。设定工具位置井内压力 85 kg,则计算得:

压力纵向最大拉力  $F=5.1\text{ t}$ 。取安全系数为 1.4, 则工具允许的丢手拉断载荷为 7.14 t, 向上取整为 8 t。

### 1.3 工具结构

管输射孔井下封井器主要由上接头、剪切销、丝杠、卡瓦、摩擦块、中心管、胶筒和下接头等组成, 其结构如图 1 所示。



1-上接头;2-丢手机构;3-锚定机构;4-中心管;  
5-胶筒坐封机构

图1 管输射孔井下封井器

Fig.1 TCP downhole plugging device

### 1.4 工艺原理

井下封井器直接连接在射孔枪下面, 随管柱下井到设计位置, 在射完孔后, 上提管柱到射孔井段顶界以上, 通过下放、上提管柱, 摩擦体与套管内壁摩擦力较大, 摩擦体在键槽内与中心管相对滑动, 由短槽换位至长槽内。当继续上提时, 卡瓦与胶筒坐封机构上锥面接触, 在锥面的支撑下, 卡瓦张开锚定在套管壁上。上提管柱, 拉力杆带动下接头使胶筒完成坐封, 当上提力超悬重载荷 40 kN 时, 首先剪切销钉先被拉断, 继续上提, 当上提力超悬重载荷 80 kN 时, 拉力棒接着被拉断, 管柱丢开, 丢开部分丢在井底锚定密封。

需要解封时, 下入专用打捞工具, 捞住井下封井器的中心管, 当下压载荷超过 25 kN 时, 解封套下行将剪钉剪断, 使锁定机构失效, 同时卡瓦与坐封机构上锥面脱离, 卡瓦弹簧使卡瓦回收解除锚定。

### 1.5 技术特点

(1) 工具兼容性好。该技术在射孔管柱底部连接井下封井器, 完井后处于不坐封、不坐卡状态, 不影响油井正常生产及水井正常配注。

(2) 施工周期短。有效解决起下管柱中的井控问题, 无需压井作业, 大大提高了高压井的完井工作效率。

(3) 投入费用低。应用该技术仅增加工具费用 0.36 万元, 具有极好的经济效益和社会效益。

(4) 该技术适用于异常高压井、高含气井及高危地区井, 可有效预防井喷, 防止地面环境污染, 降低射孔压裂施工风险。

### 1.6 主要技术参数

(1) 最大刚体外径: 126 mm;

(2) 工作温度: 120 ℃;

(3) 工作压力: 30 MPa;

(4) 坐封和丢手载荷: 80 kN;

(5) 工具长度: 2 800 mm;

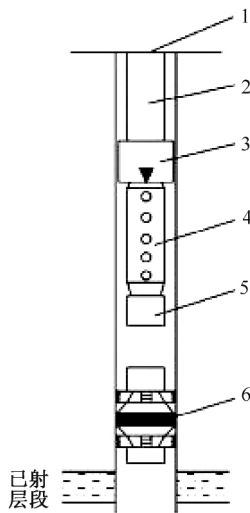
(6) 解封载荷: 25 kN。

## 2 井下封井工艺管柱结构及工作原理

下面详细介绍油管输送射孔井下封井工艺管柱结构及工作原理。

### 2.1 管柱结构

管输射孔井下封井工艺管柱主要由油管+定位短节+油管+筛管+起爆装置+射孔枪串+枪尾死接头+井下封井器组成, 如图 2 所示。



1-工艺管柱;2-油管;3-起爆装置;  
4-射孔枪串;5-油管短节;6-井下封井器

图2 管输射孔井下封井工艺管柱示意图

Fig.2 Schematic diagram of TCP downhole sealing process

### 2.2 施工工序

(1) 管输射孔井下封井工艺管柱下井前先通井、刮削、洗井<sup>[20]</sup>。

(2) 按管柱结构示意图(图 3)连接好射孔枪串和井下工具, 将管柱下至设计位置。

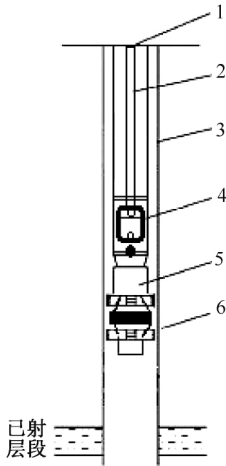
(3) 通过射孔仪器定位校深, 调整管柱深度, 使射孔器对准目的层位。

(4) 射孔后, 上提管柱到射孔井段以上, 通过下放上提管柱, 完成锚定和胶筒坐封。

(5) 当上提力超悬重 80 kN 时, 工具的剪切销钉和拉断杆先后剪切和拉断, 将射孔井段以下油层封住。

(6) 解封时, 将专用打捞工具连接在生产管柱下端, 管柱下到丢手位置, 对接后继续下放管柱, 低

悬重 25 kN 时,完成工具解卡、解封动作,然后调整泵深,直接完井投产。



1-工艺管柱;2-油杆;3-油管;4-抽油泵;  
5-专用打捞工具;6-井下封井器

图 3 完井管柱结构示意图

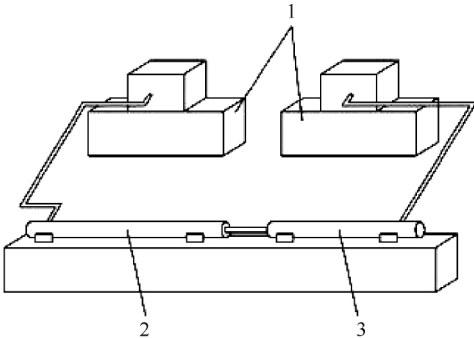
Fig.3 Schematic diagram of the completion string

3 室内试验及现场应用

为了验证工具能否达到设计目的,按设计要求对井下封井器工作原理和技术指标进行室内模拟试验和现场应用试验。

3.1 室内试验

根据试验目的,设计了专用室内试验装置,试验装置结构图如图 4 所示。由图 4 可以看出,试验装置由模拟井、液压缸及电动试压泵组成。



1-电动试压泵;2-模拟井;3-液压缸

图 4 室内模拟试验装置

Fig.4 Indoor simulation test device

地面试验内容包括:试验井下封井器的丢手力和解封力;试验井下封井器密封胶筒的密封性能和反向的承压能力;试验井下封井器丢手和对接的灵活性;试验井下封井器卡瓦对套管内壁的伤害程度。室内试验达到的技术指标如下:

(1)井下封井器的锚定、丢手力为 80 kN,工具

顺利丢手;解卡力为 25 kN,并且对接解封灵活可靠。

(2)坐封后胶筒反向承压力 30 MPa,工具在套管内没有位移。

(3)井下封井器解卡后检查套损情况,卡痕公差在 0.01~0.02 mm 之间,卡瓦对套管基本无伤害。

模拟实际工作环境,使用加热装置将封隔器及外层套管加热至 60 ℃,然后在靠近胶筒一端的套管连接封头及试压泵进行打压,最高承压能力达到 60 MPa,而采用井下封井器密封胶筒的锚定机构进行坐封打压试验<sup>[21]</sup>,试压泵在 1 000 s 内从 0 加压至 35 MPa,在 60 ℃ 温度下持续保压至 9 000 s,然后在 1 000 s 内泄压至 0,胶筒耐压试验曲线如图 5 所示。从图 5 可以看出,整条试压曲线光滑,保压期间无泄漏,说明胶筒在 35 MPa 条件下承压密封效果良好。

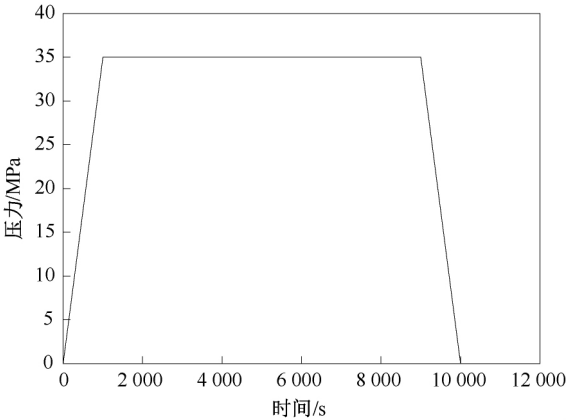


图 5 胶筒耐压性能曲线

Fig.5 Pressure resistance curve of the cartridge

试验完成后剖开套管观察锚定机构状况,胶筒已充分胀封并与套管紧密接触,胶筒两侧的防突环未发生位移及破坏,起到对胶筒的限位及保护,胶筒涨封良好。卡瓦沿卡瓦锥体爬升并未发现损坏,卡瓦牙已嵌入套管内壁并且压痕明显,卡瓦已充分起到防退作用。

试验结果表明,整套工具的各项技术指标都满足设计要求。

3.2 现场试验及应用

目前,管输送射孔井下封井器共计完成 20 口井的可行性现场应用,工艺成功率 100%。

3.2.1 实例 1

南 X-XX-斜 PXX 井,2012 年 9 月 24 日采用油管输送复合射孔+封井+完井方式,油管类型是 Φ88.9 mm 超高强度抗变形防黏扣油管,射孔井段 947.7~980.8 m,射开厚度 14.8 m,TYN-102 枪装

DP44RDX-3 弹,共 237 弹,射孔密度 16 孔/m,相位角 90°,完井液类型:聚驱完井液,密度 1.25 g/cm<sup>3</sup>,用量 15 m<sup>3</sup>。应用时首先将井下封井器连接在管输射孔管柱下部,下到设计深度完成射孔施工后,上提管柱到射孔井段以上,下放、上提管柱实现坐卡,上提管柱,完成坐封。当拉力达到 80 kN 时,剪切销钉剪断,接着中心杆拉断,实现丢手。观察套管溢流量的变化情况,套管溢流量由大到小最后停止,说明胶筒密封可靠;下入生产管柱,下端连接专用打捞工具对接鱼顶,下放管柱,解封销钉剪断,顺利解封解卡,在上提管柱调整泵深,安装井口采油树。投产后日产液 64 m<sup>3</sup>,日产油 10.8 m<sup>3</sup>,含水率 83.13%,生产正常。

### 3.2.2 实例 2

南 X-丁 XX-斜 PXX 井,2013 年 3 月 8 日油管输送复合射孔+封井+完井方式,油管类型为 Φ88.9 mm 超高强度抗变形防黏扣油管,射孔井段 922.0~954.6 m,射开厚度 18 m,TYN-102 枪装 DP44RDX-3 弹,共 289 弹,射孔密度 16 孔/m,相位角 90°,完井液类型为聚驱完井液,密度 1.25 g/cm<sup>3</sup>,用量 15 m<sup>3</sup>。施工首先将井下封井器连接在管输射孔管柱下部,下到设计深度完成射孔施工后,上提管柱到射孔井段以上,下放、上提管柱实现坐卡,上提管柱,完成坐封。当拉力达到 80 kN 时,剪切销钉剪断,接着中心杆拉断,实现丢手。观察套管溢流量的变化情况,套管溢流量由大到小最后停止,说明胶筒密封可靠;下入生产管柱,下端连接专用打捞工具对接鱼顶,下放管柱,解封销钉剪断,顺利解封解卡,在上提管柱调整泵深,安装井口采油树。投产后日产液 73 m<sup>3</sup>,日产油 21.0 m<sup>3</sup>,含水率 71.23%,生产正常。

现场应用结果表明,井下封井器在井下能够顺利完成锚定、胶筒密封以及管柱丢手等各项规定动作,且开关动作灵活,施工后措施井生产正常,证明该工艺技术及方案是正确可行的,可推广应用。

## 4 结论

(1)油管输送射孔井下封井技术既保证了井下封井器能够实现丢得开、封得严、对得上,又考虑了射孔弹片堵塞解封通道及防砂问题,现场应用结果表明,该工艺技术是可行的。

(2)油管输送射孔井下封井技术尤其适用于异常高压井、高含气井及高危地区井,不但可以避免

射孔作业时井喷污染环境等问题,同时也收到提高完井工作效率和间接增油的效果。

(3)该技术在射孔井上大面积推广应用,将有效解决完井环保问题,具有广阔的应用前景和良好的社会效益。

**致谢:**感谢大庆油田试油试采分公司同意本文公开发表;感谢施工队伍在本文现场试验数据统计分析中给予的大力支持;感谢工程技术大队项目部给予的相关指导。

## 参 考 文 献

- [1] 赵恒,曾永清,段永刚,等. 国内主要射孔技术介绍[J]. 天然气勘探与开发,2007,30(2):70-73.  
ZHAO Heng, ZENG Yongqing, DUAN Yonggang *et al.* Primary perforation technologies in China [J]. Natural Gas Exploration & Development, 2007,30(2):70-73.
- [2] 张寿根,崔朝轩,杨新明,等. 不压井电缆输送射孔工艺技术[J]. 油气田地面工程,2006,25(3):52.  
ZHANG Shougen, CUI Chaoxuan, YANG Xinming *et al.* Cable conveying perforation technology with snubbing [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2006,25(3):52.
- [3] 郭希明,蒋宏伟,郭庆丰,等. 油管输送式射孔技术起爆方式的设计与应用分析[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版),2011,13(3):96-99.  
GUO Ximing, JIANG Hongwei, GUO Qingfeng *et al.* Application and design of detonating models of tubing conveyed perforation technology [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition), 2011,13(3):96-99.
- [4] 马英文,付团辉,吴泽林,等. 渤中 34-2/4 油田外置式复合射孔技术[J]. 油气井测试,2018,27(1):31-36.  
MA Yingwen, FU Tuanhui, WU Zelin *et al.* External composite perforation technology in the Bozhong oilfield [J]. Well Testing, 2018,27(1):31-36.
- [5] 刘方玉,刘桥,蔡山. 动态负压射孔技术研究[J]. 测井技术,2010,34(2):193-195.  
LIU FangYu, LIU Qiao, CAI Shan. Dynamic underbalanced pressure perforating technology and its application [J]. Well Logging Technology, 2010,34(2):193-195.
- [6] 谢寿昌. 动态负压射孔技术研究及在新疆油田夏盐 11 井区的应用[J]. 钻采工艺,2017,40(2):35-37.  
XIE Shouchang. Study on dynamic underbalanced perforating technology and its application in well block Xiayan 11 at Xinjiang oilfield [J]. Drilling & Production Technology, 2017,40(2):35-37.
- [7] 唐梅荣,马兵,刘顺,等. 电缆传输定向射孔技术试验[J]. 石油钻采工艺,2012,34(1):122-124.  
TANG Meirong, MA Bing, LIU Shun *et al.* Experimental study on novel directional perforating technology by cable transmission [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012,34(1):122-124.



- [8] 童士斌, 罗红伟, 许卫. 新型高压密闭式电缆射孔装置及施工工艺[J]. 石油钻采工艺, 2000, 22(6): 68-69.  
TONG Shibin, LUO Hongwei, XU Wei. New high pressure closed system cable perforation equipment and it's field testing technology [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2000, 22(6): 68-69.
- [9] 唐凯, 王海东, 彭建新, 等. 8000m 超高温超高压超深井射孔配套技术[J]. 钻采工艺, 2018, 41(2): 57-60.  
TANG Kai, WANG Haidong, PENG Jianxin *et al.* Perforating technology for super high temperature and pressure 8000m deep wells [J]. Drilling & Production Technology, 2018, 41(2): 57-60.
- [10] 王海东, 唐凯, 徐培刚, 等. 连续油管多级射孔技术在水平井 A 井的应用[J]. 石油矿场机械, 2016, 45(8): 95-98.  
WANG Haidong, TANG Kai, XU Peigang *et al.* Application and technology of coiled tubing cluster perforation in a horizontal well [J]. Oil Field Equipment, 2016, 45(8): 95-98.
- [11] 代景新. 连续油管传输射孔技术在大庆地区的应用[J]. 油气井测试, 2016, 25(4): 58-60.  
DAI Jingxin. Application of coiled tubing conveyed perforating in Daqing Oilfield [J]. Well Testing, 2016, 25(4): 58-60.
- [12] 李晓军, 高本文, 宋朝晖, 等. 用于全过程欠平衡钻井施工的井下封井器[J]. 石油机械, 2016, 34(10): 34-36.  
LI Xiaojun, GAO Benwen, SONG Zhaohui *et al.* Development and application of downhole hole-closure device in the overall process of underbalanced drilling operation [J]. China Petroleum Machinery, 2016, 34(10): 34-36.
- [13] 谢从辉, 姜佰顺, 白晓捷. DQ-9 5/8 型套管阀井下封井阀芯的研制[J]. 石油矿场机械, 2010, 22(8): 68-70.  
XIE Conghui, JIANG Baishun, BAI Xiaojie. Development of capping of spool of DQ-9 5/8" casing shut-off valve [J]. Oil Field Equipment, 2010, 22(8): 68-70.
- [14] 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.  
LIU Wei, CAO Shuyuan, MU Zongjie *et al.* The probe into the practical application of the downhole casing blow out preventer [J]. Xinjiang Oil & Gas, 2009, 5(4): 95-100.
- [15] 杨向同, 彭建新, 贾海, 等. 缝洞型含硫碳酸盐岩试油井控技术研究[J]. 油气井测试, 2013, 22(4): 53-55.  
YANG Xiangtong, PENG Jianxin, JIA Hai *et al.* The testing well control technology research on seam hole type sulfur carbonate [J]. Well Testing, 2013, 22(4): 53-55.
- [16] 赵强, 邹春雷. 油气水井封井器技术研究[J]. 工业, 2016(9): 282.  
ZHAO Qiang, ZOU Chunlei. Study on closure technology for oil/gas/water well [J]. Industry, 2016(9): 282.
- [17] 高岩, 鲍士伟, 李国红, 等. 影响射孔效果的因素[J]. 油气田地面工程, 2013, 32(2): 80-81.  
GAO Yan, BAO Shiwei, LI Guohong *et al.* Influencing factors on effect of perforation [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2013, 32(2): 80-81.
- [18] 刘志英, 王芝尧, 董拥军, 等. 一趟管柱分层射孔试油联作技术[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(2): 97-101.  
LIU Zhiying, WANG Zhiyao, DONG Yongjun *et al.* The technology of integrated layered perforation and formation testing in one trip [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(2): 97-101.
- [19] 马金良, 刘泽宇, 李春宁, 等. 一趟管柱分层射孔与水力泵排液联作技术[J]. 油气井测试, 2018, 27(2): 22-26.  
MA Jinliang, LIU Zeyu, LI Chunning *et al.* Integration of layered perforation and flowback by hydraulic pump in one trip [J]. Well Testing, 2018, 27(2): 22-26.
- [20] 周建国. 射孔酸化联作技术在试油工艺中的应用[J]. 油气井测试, 2011, 20(6): 71-72.  
ZHOU Jianguo. Application of combination technology of perforation and acidification in oil test operation [J]. Well Testing, 2011, 20(6): 71-72.
- [21] 薛占峰, 谷磊, 朱和明. 具有双防退功能的封隔器技术研究与应用[J]. 机械设计与制造, 2018(5): 38-40.  
XUE Zhanfeng, GU Lei, ZHU Heming. Research and application on technology of packer with double anti-receding function [J]. Machinery Design & Manufacture, 2018(5): 38-40.

编辑 刘述忍

第一作者简介: 赵金龙, 男, 1982 年出生, 工程师, 2007 年毕业于西南石油大学勘查技术与工程专业, 现从事试油测试工程技术工作。电话: 0459-5680802, 13796987129; Email: zhaojinlong2005@163.com。地址: 黑龙江省大庆市乘南 18 街试油试采分公司试验大队工程技术办, 邮政编码: 163412。