

# TCP 小直径封隔器封井工艺技术

姚磊<sup>1</sup>, 陈丽君<sup>2</sup>

1. 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

2. 中国石油大庆油田有限责任公司水务公司 黑龙江大庆 163000

通讯作者: Email: 12669273@qq.com

项目支持: 中国石油大庆油田有限责任公司试油试采分公司科研推广项目“作业施工无污染技术推广”(201703-202012)

引用: 姚磊, 陈丽君. TCP 小直径封隔器封井工艺技术[J]. 油气井测试, 2023, 32(1): 22-26.

Cite: YAO Lei, CHEN Lijun. Well sealing technology of TCP pony packer[J]. Well Testing, 2023, 32(1): 22-26.

**摘要** 大庆油田部分区域地层压力系数较高,起射孔管柱过程中存在溢流、井涌,处理不及时极易发生井喷风险,为降低施工现场的井控风险,研制出一种小直径封井封隔器。该封隔器随射孔管柱下入井内,采用双向卡瓦方式锚定,射孔后封隔射孔井段及以下套管,上提管柱坐封实现丢手,下专用打捞工具下压解封,起射孔管柱时无需压井,避免井内流体外溢,有效避免射孔后弹片堵塞解封通道和砂卡。通过室内试验和 X4 井、X5-11 井现场应用,结果表明,该封隔器坐封后封井效果良好,坐封机构稳定可靠,可以有效地对油层进行封堵,封堵期间套管无溢流发生,既减少了射孔时压井液对地层的污染,又降低了溢流对地面造成的环保隐患,解封时解封机构稳定可靠。该工艺能够满足油田高压区块射孔作业减少对地层污染的施工要求,具有良好的推广应用前景。

**关键词** TCP; 小直径封隔器; 高压井; 封井技术; 射孔管柱; 坐封机构; 锁紧机构; 解封机构

**中图分类号**: TE353      **文献标识码**: B      **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2023.01.004

## Well sealing technology of TCP pony packer

YAO Lei<sup>1</sup>, CHEN Lijun<sup>2</sup>

1. Well Testing & Perforating Service Branch of Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang 163412, China

2. Water Service Company of Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang 163000, China

**Abstract:** With the exploration and development process of Daqing Oilfield, at the high pressure tract, after tubing transportation perforation, overflow, kick and even blowout maybe bring at well head. In order to solve this problem, development of a pony packer, anchorage by bi-directional slip, setting by lifting the string, unset by bell socket. Pony packer is driven into the well with the perforating string, sealed top of perforation interval after perforation, without kill after perforation, avoid well fluid overflow, effectively prevent the fragments from blocking the unsealing channel and sand sticking after perforation. It is proved by experiment, X4 well and X5 well that pony packer has good application, meet the requirements of perforation operation in Daqing Oilfield, effectively solves the problem that difficult of lifting the perforating string in high pressure well, reduce the use of completion fluid and formation pollution, improve construction efficiency and realize green construction, has a good application prospect.

**Keywords:** TCP; pony packer; high pressure well; sealing technology; perforation string; setting mechanism; locking mechanism; unsealing mechanism

射孔是将射孔枪下至预定深度,靠射孔弹射开目的层位的套管及水泥环,构成地层至井筒的连通孔道,以便于采油、注水等作业。射孔按传输方式又分为电缆输送和油管输送射孔<sup>[1-2]</sup>。油管输送射孔作业施工中,起射孔管柱是必不可少的施工工序。在起射孔管柱过程中,由于地层被打开,井筒与地层连通,因此,在地层压力较大的情况下容易发生溢流、井涌,甚至井喷事故。现场施工中,通常

采用洗井过程中使用高密度完井液来抑制此类问题的发生,但少部分施工井避免不了还会发生溢流,存在安全环保隐患;如果采用带压作业技术能够有效解决井控环保问题,但会增加较高的施工成本,延长新井投产周期<sup>[3-5]</sup>。

李晓军等<sup>[6]</sup>研制了井下封井器,与采用带压作业起下钻设备相比,减少了钻井作业时间,具有更好的适应性和使用性能,完全可以取代带压作业起下钻设

备;谢从辉等<sup>[7]</sup>介绍了套管阀井下封井阀芯室内试验情况;刘伟等<sup>[8]</sup>从全过程欠平衡钻井技术及井控工艺的角度出发,通过理论分析,结合现场实践系统分析了应用井下套管封井器实现欠平衡起下钻、欠平衡电测的工艺要点及作业流程,并对井下套管封井器的现场应用提出了认识及建议。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>[9-12]</sup>。传统油气水井井口封井器技术,一般下至井下3~10 m处的套管接箍上,同时配有多级防盗模式<sup>[13-15]</sup>。但是,针对射孔完井过程中的井下封井技术研究较少,为了解决这一问题,研制了一种TCP小直径封隔器,连接在射孔枪尾部,在起射孔管柱的过程中将该工具封在油层顶部,彻底封住油层,避免井口出液,从根本上解决起射孔管柱出液的问题<sup>[16-18]</sup>。同时在下生产管柱时,将解封工具连接至

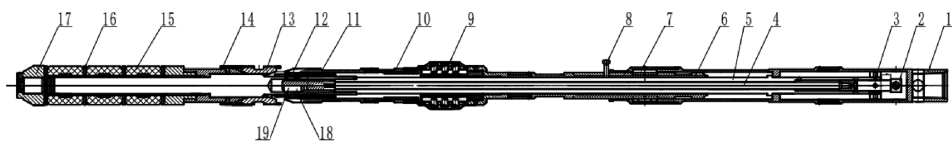
生产管柱底部,解封封隔器,不影响生产。

## 1 TCP小直径封隔器

分别对TCP小直径封隔器工具结构、工作原理、技术特点和技术参数进行阐述。

### 1.1 工具结构

TCP小直径封隔器是一种上提坐封、双向卡瓦锚定、上提丢手、下压解封的压缩式丢手封隔器,主要由密封部分、锚定部分、坐封丢手部分、锁紧部分和解封部分构成(见图1)。其中,密封部分主要由下挡帽、胶筒及胶筒隔环等组成;锚定部分主要由锚牙、下锥体和上锥体等组成;坐封丢手部分主要由丢手套筒总成、摩擦块、换向体、中心管和丢手剪钉等组成;锁紧部分主要由钢球、内卡牙和外卡牙等组成;解封部分主要由推杆头、推杆、球托等组成。



1-丢手套筒总成;2-推杆头;3-丢手剪钉;4-推杆;5-中心管;6-换向体;7-卡环;8-工艺螺栓;9-摩擦块;10-内卡牙;11-外卡牙;12-上锥体;13-锚牙;14-下锥体;15-胶筒;16-胶筒隔环;17-下挡帽;18-钢球;19-球托。

图1 TCP小直径封隔器结构示意图

Fig. 1 TCP pony packer structure diagram

### 1.2 工作原理

TCP小直径封隔器在管输射孔作业时连接在射孔枪底部,随着射孔枪下井。待射孔枪点火射孔后,上提管柱至油层顶部2 m以上。管柱先下放后上提,换向体在摩擦块与套管摩擦力的作用下与中心管发生相对运动,经过两次重复操作后,换向销由短槽进入长槽,下锥体与锚牙内侧接触,锥体推动锚牙向外扩张并与套管咬合,完成封隔器的锚定过程。继续上提管柱中心管与锚牙发生相对运动,下筒帽在拉力的作用下压缩胶筒,胶筒发生变形,外径扩张,充满套管空间,完成密封。在上提管柱压缩胶筒完成密封的同时,外卡牙进入内卡牙,并在钢球的作用下,完成锁紧,确保锚牙与套管咬合和封隔器胶筒变形保持不变。继续上提管柱,在拉力的作用下,丢手销钉被剪断,完成丢手。起射孔管柱,丢手套筒总成随射孔管柱被起出。解封时,将解封工具连接在下泵管柱或注水管柱下端一同下井,下到位置后,解封工具下压推杆头,剪断限位销钉,推杆与中心管发生相对运动,推杆下移的过程中带动球托向下移动,钢球进入球托,锁紧机构失去锁紧功能,锚牙收缩,同时打捞工具抓住换向体上端,继续下推管柱胶筒收缩,小直径封隔

器完全解封。下推管柱至预定位置,待下次油水井维护作业时,一同起出该工具。

### 1.3 技术特点

(1) 打捞工具可以连接在完井管柱最下端,解封后悬挂在完井管柱下端,下次作业过程中带出即可,不需要单独下打捞管柱打捞。

(2) 封隔器整体直径小,悬挂在完井管柱下方,不影响油井正常生产和水井正常配注,且不容易砂卡管柱。

(3) 坐封丢手机构和解封机构不需要现场打压,只需要上提和下放管柱,现场操作简单方便,使用成本低。

(4) 打捞解封机构独立可靠,打捞过程中紧靠管柱自重下压即可实现解封,安全可靠。

(5) 打捞简单方便,无需特殊打捞工具,采用常规捞筒就可实现打捞。

(6) 适用于高压区块,可有效防止井口溢流,减少地面污染,减少起射孔管柱过程中的安全环保隐患。

### 1.4 技术参数

钢体最大外径 110.0 mm,总长 2 850.0 mm,工

作温度 150 ℃, 工作压力 25 MPa, 坐封载荷 65.0 kN, 解封载荷 35.0 kN。

## 2 TCP 小直径封隔器关键技术

小直径封隔器在设计和改进的过程中主要解决了射孔过程中丢手落井、施工中途换位产生误坐封、锚定不牢、打捞困难等问题, 形成了以下几项关键技术。

### 2.1 坐封丢手机构

射孔过程中会形成爆破波, 导致射孔管柱上下震动, 如果丢手部分与上部钢套仅采用剪钉连接, 在爆破波的作用下容易剪断剪钉发生丢手, 导致工具下半部掉入井底, 造成失败。射孔过程中根据射孔弹型和数量的不同, 产生的爆破波能量不同, 很难确定丢手剪钉的抗剪切力。因此, 在设计过程中设计了独特的上提下放坐封丢手机构, 该机构主要由丢手套筒总成、摩擦块、换向体、丢手剪钉等组成。坐封丢手前上提下放管柱, 带动丢手套筒总成上下活动, 在摩擦块的作用下, 丢手套筒总成下端的换向销带动换向环在换向槽内滑动, 利用换向槽的自身结构实现不断换向(见图2)。经过两次上提下放换向后, 换向环的开口与换向体上下长槽相连通, 换向销通过换向环进入上端长槽, 丢手总成与摩擦块脱开, 丢手总成与封隔器连接方式由钢体硬连接转化为销钉连接, 这样就有效的解决了射孔过程中提前丢手的问题。

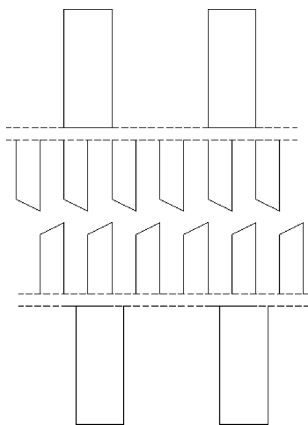


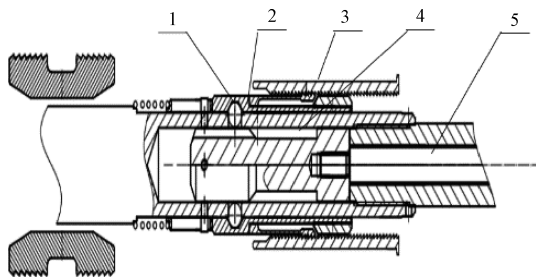
图2 换向槽轨迹展开图

Fig. 2 Commutation groove trajectory panorama

### 2.2 锁紧机构

锁紧机构主要由钢球、内卡牙和外卡牙等组成。坐封的过程中上提管柱, 在钢球的作用下, 中心管带动外卡牙与内卡牙咬合锁紧, 使下挡帽、胶筒、锚牙、锁紧机构和上锥体之间锁定成为一体(见

图3), 进而保证丢手后锚牙处于张开状态, 胶筒处于压缩状态, 防止封隔器解封。

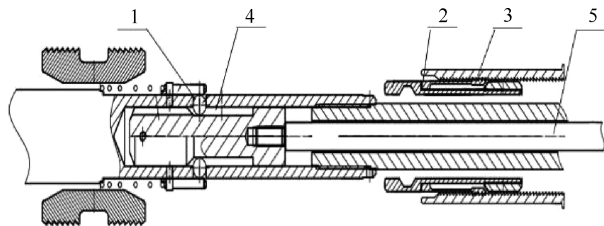


1-钢球;2-外卡牙;3-内卡牙;4-球托;5-推杆。

图3 锁紧机构坐封原理图

Fig. 3 Locking mechanism setting seal schematic diagram

在解封的过程中, 解封工具推动推杆下移, 推杆推动球托下移, 达到一定距离后, 钢球回落进入球托, 外卡牙与中心管连接消失, 进而表现出外卡牙与中心管发生相对运动, 锁紧机构解锁成功(见图4)。



1-钢球;2-外卡牙;3-内卡牙;4-球托;5-推杆。

图4 锁紧机构解封原理图

Fig. 4 Locking mechanism unseal schematic diagram

### 2.3 长距离补偿机构

小直径丢手封隔器的换向距离为 15.0 cm, 因此在施工过程中需要严格控制上提下放管柱的距离, 这对于施工效率影响很大, 并且在施工的过程中容易发生中途误坐封的情况。为了解决这个问题, 现场设计了补偿器, 在起下管柱的过程中, 在上提下放距离不超过 1.0 m 时, 井下管柱活动的距离仅仅是补偿器活动的距离, 即封隔器并没有随着上下运动, 不会进行换键, 有效的解决了中途误坐封问题。

### 2.4 下压剪切解封机构

下压剪切解封机构主要由推杆、钢球护套、钢球、球座等部分组成。在下入打捞工具后, 打捞筒内部有限位板, 当打捞筒下行至限位板与推杆头接触时, 在打捞管柱自重的作用下, 推杆下行, 防脱螺钉被剪断, 推杆继续下行, 钢球掉入球托之中, 钢球护套与中心杆连接被拆分, 持续下放管柱, 在摩擦块与套管内壁摩擦力的作用下, 上锥体与中心杆发生相对运动, 在箍簧与复位弹簧双重作用下, 胶筒回收, 封隔器解封。



### 3 现场应用

在特定模拟井内完成高压性能试验后,在大庆油田 X5-11 井和 X4 井进行了现场应用。

#### 3.1 高压性能试验

高压性能试验在特定模拟井内完成,模拟井深 30.0 m,套管外部有连接管线可通入模拟井井底,试验中将小直径封隔器下入 139.7 mm 的模拟井内,按照操作规程进行坐封丢手。用电动试压泵通过套管外部的连接管线对封隔器底部进行加压,试验压力 25 MPa,试压 30 min,不渗不漏,封隔器位置无移动、无变化,达到性能要求。

#### 3.2 现场应用

为了验证小直径封隔器的性能,2020 年 5 月在大庆油田 X5-11 井和 X4 井进行了现场应用。其中:X5-11 井深 1 180.50 m,封隔器下深 1 015.70 m;X4 井深 1 205.30 m,封隔器下深 1 045.60 m,作业过程中封隔器坐封、验封一次合格。

X5-11 井是采油厂一口生产井,采用  $\phi 73$  mm 油管输送复合射孔+封井+完井方式,其管柱结构见图 5。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 2.0 m 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 65.0 kN 时,剪切销钉剪断,实现丢手。观察套管溢流量由大到小最后停止,说明胶筒密封可靠;下入生产管柱时,下端连接专用打捞工具,下放管柱,解封销钉剪断,当压力达到 35.0 kN 时解封,再上提管柱调整泵深,安装井口采油树。投产后生产正常。

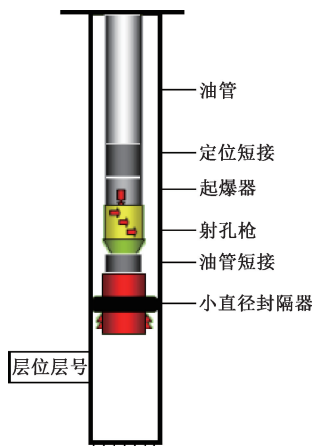


图 5 X5-11 井射孔封层管柱图

Fig. 5 X5-11 well perforation close hydrocarbon reservoir pipe column diagram

现场应用结果表明,小直径封隔器密封性能良

好,锚定安全可靠;小直径封隔器的应用,有效的解决了高压井起射孔管柱困难问题,又可减少部分井完井液的密度及使用量,有效减少地层污染,杜绝环保隐患。

### 4 结论

(1) 针对油管输送射孔工艺,起射孔管柱过程中存在溢流、井涌、井喷隐患这一问题,研制了一种小直径封隔器,用于射孔后封隔射孔井段以下套管,起射孔管柱时无需压井,避免井内流体外溢和射孔后弹片堵塞解封通道和砂卡;下完井管柱时底部带专用打捞工具下压解封,不影响正常投产。

(2) 室内试验与 X4 井、X5-11 井现场应用结果表明,封隔器丢手吨位为 65.0 kN,解封吨位为 35.0 kN,工作压力达到 25 MPa,工作温度达到 150  $^{\circ}\text{C}$ ,密封、锚定安全可靠。

(3) 小直径封隔器适用于油田压力系数较高区域射孔完井作业,有效解决了高压井起射孔管柱困难的问题,减少作业趟数,降低施工现场的井控风险。

**致谢:**感谢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;感谢试油试采分公司技术发展部给予的相关指导。

#### 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. Wireline conveying perforation technology for snubbing [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering,2006,25(3):52.
- [3] 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 8 000 m deep wells [J]. Drilling & Production Technology, 2018, 41(2):57-60.
- [4] 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.

- [5] 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.
- [6] 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, 2006, 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, 2006, 34(10): 34-36.
- [7] 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, 39(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, 39(8): 68-70.
- [8] 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 blowout preventer[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2009, 5(4): 95-100.
- [9] 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.
- [10] 贾洪革, 孙杰文, 何昊楠, 等. 异常高压储层水力喷砂射孔多层压裂投产技术[J]. 油气井测试, 2020, 29(4): 40-45.  
JIA Hongge, SUN Jiewen, HE Haonan, et al. Commissioning technology of hydraulic abrasive perforating and multi-layer fracturing in abnormal high-pressure reservoirs[J]. Well Testing, 2020, 29(4): 40-45.
- [11] 肖志永. 开式抽汲排液中 P-T 封隔器失封原因分析[J]. 油气井测试, 2021, 30(5): 18-23.  
XIAO Zhiyong. Analysis of failure causes of P-T packer in open swabbing and drainage [J]. Well Testing, 2021, 30(5): 18-23.
- [12] 刘超群. 大庆油田不动管柱 6~8 层压裂工艺[J]. 油气井测试, 2021, 30(5): 44-50.  
LIU Chaoqun. Fracturing technology of 6~8 layers of immovable string in Daqing Oilfield [J]. Well Testing, 2021, 30(5): 44-50.
- [13] 王红丽. 不动管柱压裂工艺封隔器及配套工具优化[J]. 油气井测试, 2020, 29(2): 32-37.  
WANG Hongli. Packers and supporting tools optimization for immobile string fracturing technology [J]. Well Testing, 2020, 29(2): 32-37.
- [14] 王瑞滨. 大庆油田大斜度井试油工艺[J]. 油气井测试, 2019, 28(3): 31-36.  
WANG Ruibin. Oil testing technology for highly deviated wells in Daqing Oilfield [J]. Well Testing, 2019, 28(3): 31-36.
- [15] 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): 46-52.  
ZHAO Jinlong. Research on well sealing technology of tubing conveyed perforating [J]. Well Testing, 2018, 27(3): 46-52.
- [16] 高岩, 鲍士伟, 李国红, 等. 影响射孔效果的因素[J]. 油气田地地面工程, 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.
- [17] 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.
- [18] 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 Chunling, et al. Integration of layered perforation and flowback by hydraulic pump in one trip [J]. Well Testing, 2018, 27(2): 22-26.

编辑 方志慧

第一作者简介: 姚磊, 男, 1985 年出生, 工程师, 2007 年毕业于哈尔滨理工大学测控技术与仪器专业, 现主要从事试油(气)勘探研究和管理工 作。电 话: 0459-5369828, 13945939606; Email: 12669273@qq.com。通信地址: 黑龙江省大庆市乘南十八街 18 号试油试采分公司, 邮政编码: 163412。