

利用高扩张滑套开关工具关闭投球压裂滑套

胡忠太

中海石油(中国)有限公司上海分公司储层改造技术中心 上海 200335

通讯作者:Email:huzht@cnooc.com.cn

项目支持:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”子课题“东海深层低渗-致密天然气钻井测试及储层改造关键技术”(2016ZX05027-003)

引用: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.

Cite: HU Zhongtai. Closing the ball actuated fracturing sleeve with highly expanded sleeve switch tool [J]. Well Testing, 2018, 27(6): 68-72.

摘要 XD1井是海上致密气开发的第一口先导试验井,采用尾管固井及射孔完井、封隔器及带有球座的压裂滑套方式进行压裂,在出水风险高的对应压裂段使用了可重复开关的投球压裂滑套。受管柱、工具结构及施工风险的影响,常规滑套开关工具无法关闭可疑出水层位的滑套。高扩张滑套开关工具通过连续油管下至需要打开或关闭的可重复开关压裂滑套深度,采用加压使铰链式结构的锁块张开以挂住球座,通过上提或下放工具,在不钻磨球座的前提下实现压裂滑套的打开与关闭作业,为同类型压裂滑套打开或关闭作业提供了借鉴。

关键词 压裂;水平井;高扩张滑套开关工具;常规滑套开关工具;投球压裂滑套;连续油管**中图分类号**:TE358 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.06.012

Closing the ball actuated fracturing sleeve with highly expanded sleeve switch tool

HU Zhongtai

Technology Center of Stimulation, Shanghai Branch of CNOOC Ltd., Shanghai 200335, China

Abstract: The well XD1 is the first pilot test well for development of offshore tight gas. It used liner cementing technology and perforation completion technology. In addition, a packer and the ball actuated fracturing sleeve with the ball seat were used for fracturing, this fracturing sleeve can be repeatedly switched, and is mainly used for the fracturing section with high risk of producing water. Due to the influence of the string, tool structure and construction risks, the conventional sliding sleeve switch tool cannot close the sliding sleeve located in the water layer. However, the high-expansion sliding sleeve switch tool conveyed by the coiled tubing, can be run in to the required layer. It uses a pressurized method to open the lock block with the hinged structure to catch the ball seat. Under the premise of not drilling and grinding the ball seat, the opening and closing operation for the fracturing sleeve is realized by the trip of the tool, which provides a reference for the same type of fracturing sleeve operation.

Keywords: fracturing; horizontal well; high expansion sleeve switching tool; conventional sleeve switching tool; ball actuated fracturing sleeve; coiled tubing

随着市场对天然气需求的日益增长及勘探开发技术的不断进步,致密砂岩气开发取得长足进展,产量占比逐年增高,其中北美地区的致密砂岩气勘探开发处于世界领先地位^[1]。我国致密砂岩气资源较为丰富,分布比较广泛。近年来,陆上油气田在该领域已取得了一定的进展,特别是鄂尔多斯盆地已形成规模开发,其核心开发工艺为水平井多级压裂技术^[2]。我国海上致密砂岩气在勘探方面已陆续取得一定有价值的发现^[3],但由于受制于开发门槛,目前海上致密气开发尚处于探索阶段。

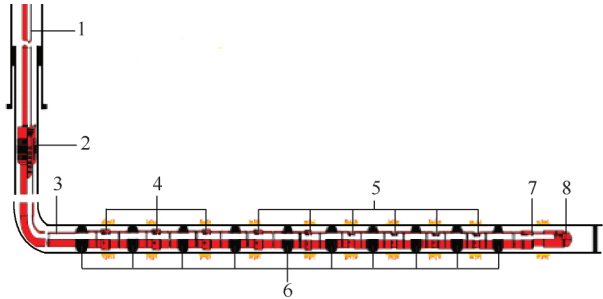
十二五期间,我国东部某海域在对致密砂岩气勘探过程中,通过对探井进行压裂测试,获得了工业气流。为了更好的开发这一区块,在调研国内外致密气开发效果的基础上,制定了水平井多级压裂的开发方案。

水平井多级压裂是当前致密砂岩气实现有效开发的关键技术^[4],主要包括裸眼封隔器滑套分段压裂技术^[5]、泵送桥塞分段压裂技术^[6]、水力喷射分段压裂技术^[7]、固井滑套分段压裂技术^[8]、双封单卡分段压裂技术^[9]及套管射孔管内封隔器分段

压裂技术等^[10-11]。采用封隔器结合滑套分段压裂技术是其中一个重要的组成部分。该压裂方式可在裸眼完井和套管完井中实施,一般是液压坐封封隔器,然后通过投入不同直径的压裂球依次打开对应的滑套,逐段完成压裂作业^[12]。该井考虑到压后跟部层段存在出水的风险,在对应压裂段下入了三个可重复开关的投球压裂滑套^[13],压后试采过程中该井出水量一直较高,需要尝试对可疑出水压裂段滑套进行关闭,但是由于上部生产管柱油管尺寸小于压裂段油管尺寸,加之投球可重复开关滑套都带有球座,使得常规滑套开关工具无法满足要求,通过引进国外配套的特殊工具——高扩张滑套开关工具,完成了滑套开关作业。

1 XD1 井压裂管柱结构

海上某致密气开发先导实验井 XD1 井采用了尾管固井射孔及封隔器滑套方式进行了 10 段压裂作业,其管柱结构如图 1 所示。该井压裂管柱由 88.9 mm 油管+悬挂封隔器+114.3 mm 油管+可重复开关压裂滑套+封隔器+自动灌浆短节+剪切底堵组成。



1-88.9 mm 油管;2-悬挂封隔器;3-114.3 mm 油管;
4-可开关压裂滑套;5-压裂滑套;6-封隔器;
7-自动灌浆短节;8-剪切底堵

图 1 XD1 井管柱结构示意图

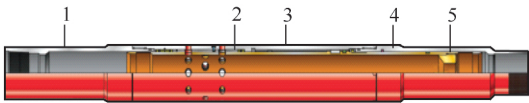
Fig.1 Schematic diagram of the column structure of the well XD1

2 可开关投球压裂滑套结构及原理

为了说明常规滑套开关工具关闭可开关投球压裂滑套的风险和难度,简单介绍一下可开关投球压裂滑套的结构及原理。

2.1 结构

XD1 井采用的可重复开关投球压裂滑套为哈里伯顿公司 Ball Drop RapidShift® Sleeve 系列滑套,其结构如图 2 所示。



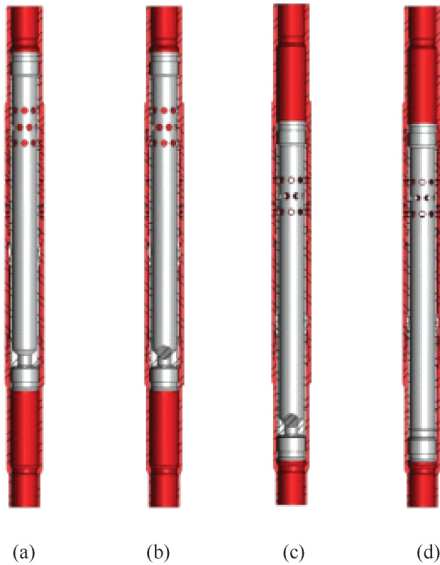
1-上接头;2-滑套;3-外筒;4-下接头;5-球座

图 2 可重复开关投球压裂滑套示意图

Fig.2 Schematic diagram of Ball Drop RapidShift® Sleeve

2.2 工作原理

这种滑套的工作原理与常规滑套基本一致,区别在于其下井时处于关闭状态,并且通过剪切销钉将滑套关闭位置固定,以防止压裂过程中球座节流产生的压差使滑套打开。当需要打开滑套时,从井口投入与该滑套球座匹配的压裂球,当压裂球坐落于球座之上时会导致憋压,通过继续加压使销钉剪切,滑套即处于打开状态,可以实施对应压裂段的措施作业,措施后压裂球可返排出地面或自行溶解,球座可根据需要钻磨掉。当需要再次关闭时,对于单个滑套来说,原则上可以通过尺寸匹配的常规滑套开关工具将其关闭^[14]。投球打开滑套工作示意图如图 3 所示。



(a) 下井状态;(b) 投球入座;(c) 加压开滑套进行措施作业;
(d) 钻掉球座状态

图 3 可重复开关投球压裂滑套工作示意图

Fig.3 Schematic diagram of Ball Drop RapidShift® Sleeve when it works

2.3 技术参数

XD1 井使用的可重复开关投球压裂滑套参数见表 1。由表中参数可知,该井所用的滑套外径均为 144.8 mm,内径 95.25 mm,滑套行程 268.5 mm,而球座内径分别为 65.33 mm、60.78 mm 和 56.52 mm。

表 1 XD1 井可重复开关投球压裂滑套参数
Table 1 Parameters of ball drop RapidShift® sleeve in XD1 Well

滑套 编号	对应压 裂段	外径/ mm	内径/ mm	球座内径/ mm	滑套行程/ mm
9	10	144.8	95.25	65.33	268.5
8	9	144.8	95.25	60.78	268.5
7	8	144.8	95.25	56.52	268.5

2.4 常规滑套开关工具存在的问题

由 XD1 井管柱、可重复开关投球压裂滑套结构及尺寸可看出,该井无法使用常规滑套开关工具完成滑套的关闭作业。因此,必须采用特殊的开关工具进行作业。其原因有以下几点:

(1)由于球座的存在,使滑套实际内径变小,与滑套匹配的常规开关工具无法通过球座,使得其下部的滑套开关作业无法实施。

(2)虽然球座设计为可钻磨的材质,但是在海上深井中钻磨球座十分困难^[15-17]。由于作业平台空间及吊车作业能力有限,难以实现大尺寸的长连续油管的吊装及摆放;而小尺寸连续油管受尺寸限制循环排量受限,钻磨时工作液携带能力不足可能导致工程事故。

(3)上部生产管柱内径无法通过与滑套匹配的常规开关工具。

3 高扩张滑套开关工具结构及原理

针对上述类型滑套重复开关的作业需求,哈里伯顿开发了一种不用钻磨掉球座即可实现滑套开关作业的开关工具。

3.1 工具结构

高扩张滑套开关工具结构如图 4 所示,主要组成部分为上心轴、活塞、塞弹簧、推筒、定位销钉、锁块上底座、铰链式锁块、锁块下底座、剪切销钉、下芯轴等部件。

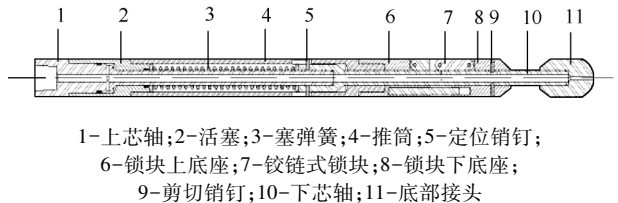
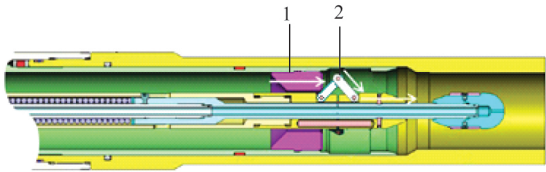


图 4 高扩张滑套开关工具结构示意图
Fig.4 Schematic diagram of high expansion shifting tool

3.2 工作原理

通过在工具内部泵注工作液,使工具内外产生一定的压差,在压差的作用下活塞将由左向右(以图 4 水平放置为例)移动,与之相连的推筒同时移

动,推动三个铰链式锁块向外张开,在工具下芯轴对应每个铰链式锁块的位置各有一个径向小孔,工作液通过该小孔向外喷射,对铰链式锁块的张开有辅助推动作用,同时在工作液的喷射下,井筒内的杂质难以进入铰链式锁块与芯轴之间的空间,可以避免因杂质的进入导致工具无法闭合而发生工程事故,其工作状态如图 5 所示。



1-滑套球座;2-处于张开状态的铰链式锁块
图 5 高扩张滑套开关工具工作示意图
Fig.5 Schematic diagram of high expansion shifting tool when it works

该工具锁块下底座通过销钉与下芯轴连接在一起,下底座沿周向均匀分布有 7 个孔,可以根据需要安装不同数量的销钉。当进行作业时,施加在锁块上的力超过销钉剪切力之后,销钉即剪切,下底座处于自由状态,无法给锁块一个支撑力,使得锁块趋于闭合,从而保证工具可以顺利起出。

3.3 技术参数

与 XD1 井滑套匹配的高扩张滑套开关工具参数为:本体外径 44.45 mm,锁块张开最大外径 91.44 mm、最小压差 3.45 MPa,耐温 177 ℃,最高操作压力 34.47 MPa,抗拉强度 66.67 kN。

3.4 作业程序及要求

实际作业时,用连续油管将开关工具下至需要关闭的可重复开关压裂滑套深度。建议在油管内的最大下入速度不超过 30 m/min,在管柱缩径处及压裂滑套处的下入速度不要超过 6 m/min。

关闭滑套操作要点:关闭滑套时,将开关工具先下过可重复开关压裂滑套以下 7 m 左右,然后通过连续油管循环液体,在开关工具处产生 3.45~13.79 MPa 的压差,使开关工具锁块张开。缓慢上提连续油管使开关工具上部通过可重复开关压裂滑套,保持上提速度 1.5 m/min 左右。当开关工具张开的锁块顶在球座下面时会有过提显示,保持 4.44~13.33 kN 的过提,继续上提关闭滑套。停止循环,下放连续油管使开关工具锁块不再接触球座。为了防止应急销钉被剪切,过提不要超过 13.33 kN。一旦应急销钉被剪切,需要起出开关工具重新安装销钉后再入井。该开关工具完成关滑套作业后不会自动收回锁块。

打开滑套操作要点:打开滑套时,将开关工具下至可重复开关压裂滑套以上7 m左右,然后通过连续油管循环液体,在开关工具处产生3.45~13.79 MPa的压差,使开关工具锁块张开,然后下放连续油管使开关工具锁块顶在球座上面,下压连续油管打开滑套。停止循环,缓慢上提连续油管使开关工具锁块不再接触球座。

一旦连续油管停止循环,开关工具处就没有了压差,锁块会在弹簧的作用下自动收回,保持与工具外径一致。当再次施加循环压力时,锁块又会再次张开。一旦观察到明显的连续油管悬重变化,即证明滑套已经成功被关闭或打开。

4 现场应用

XD1井开发的8[#]层埋深4000.0 m,地层压力系数1.51,温度161℃,平均渗透率0.1 mD,孔隙度10%。该井于2017年4月完成了10级压裂作业,压后返排率超过100%,其后求产过程中产水量在40~200 m³/d之间波动,严重制约了天然气的正常生产。分析认为,该井跟部三个压裂段含水饱和度较高,可能是主要产水层位。为了验证这一分析,决定关闭这三个压裂段的滑套。

2017年12月,XD1井利用高扩张开关滑套工具对跟部三个滑套进行了关闭作业,其作业经过如下:

连接滑套开关工具工具串:φ38 mm连续油管+φ42.88 mm接头+φ42.88 mm马达头总成+φ44.45 mm滑套移位工具,工具串总长1.8 m;冲砂泵泵注海水,进行滑套移位工具液压开启关闭试验;回接连续油管井口法兰,连接井口三通至阻流管汇返出管线;对连续油管防喷盒、半封及返出管线试压3.45 MPa×5 min、20.69 MPa×15 min,压力不降。泄压后下入连续油管至4580 m,其中每下500 m测上提下放悬重后定点开泵小排量打通一次。

关滑套作业。提高排量至0.12 m³/min,泵压24.14 MPa,下放连续油管,探第9级滑套(第10压裂段)深度4584.6 m,停泵、泄压;下连续油管至4594.0 m,开泵,排量0.12 m³/min,泵压24.14 MPa,测上提/下放悬重128.9 kN/84.4 kN,继续起连续油管至4584.6 m,遇阻,过提13.3 kN,保持拉力10 min,停泵、泄压。继续下连续油管至4664.0 m,开泵,排量0.12 m³/min,泵压21.0 MPa,测上提/下放悬重128.9 kN/88.9 kN,起连续油管探第8

级滑套(第9压裂段)至4655.3 m,遇阻,过提13.3 kN,保持拉力10 min,停泵、泄压。下连续油管至4724.0 m,开泵,排量0.12 m³/min,泵压21.0 MPa,测上提/下放悬重128.9 kN/88.9 kN,起连续油管探第7级滑套(第8压裂段)至4715.5 m,遇阻,过提13.3 kN,保持拉力10 min,继续过提至22.2 kN,保持2 min,停泵、泄压。上提起连续油管至4664.0 m,开泵,排量0.12 m³/min,泵压21.0 MPa,过提18.0 kN,保持2 min,停泵、泄压;上提起连续油管至4594.0 m,开泵,排量0.12 m³/min,泵压21.0 MPa,过提17.8 kN,保持2 min,停泵、泄压。起连续油管至井口。关闭采油树清蜡阀,拆井口起出滑套开关工具,检查滑套开关工具完好,井口测试开关正常。

5 结论

(1)该工具可在不钻磨球座的前提下实现滑套开关作业,具有操作简单、作业风险小的优点,特别适合海上施工作业。

(2)该工具与常规滑套开关工具不同之处在于滑套开关到位后无法自行释放。因此,给滑套是否开关到位的判断带来困难。实际应用中建议结合产出剖面测试进行开关前后的比对,以确认滑套是否开关到位。

(3)由于该工具结构较特殊,无法承载过高的拉力,特别是无法连接震击器,在滑套结垢等不易关闭的情况下可能难以完成工作,建议优化工具结构,增加工具强度,以确保施工安全及成功率。

致谢:感谢中海石油(中国)有限公司上海分公司储层改造技术中心团队的大力支持;感谢哈里伯顿(中国)能源公司提供的数据。

参考文献

- [1] 陈昭国. 川西拗陷与北美致密砂岩气藏类比分析[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2012, 34(1): 71-75. CHEN Zhaoguo. Analogy analysis of West Sichuan Depression and Northern America sandstone gas reservoirs [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2012, 34(1): 71-75.
- [2] 位云生, 贾爱林, 何东博, 等. 中国页岩气与致密气开发特征与开发技术异同[J]. 天然气工业, 2017, 37(11): 43-52. WEI Yunsheng, JIA Ailin, HE Dongbo, et al. Comparative analysis of development characteristics and technologies between shale gas and tight gas in China [J]. Natural Gas Industry, 2017, 37(11): 43-52.

- [3] 梁斌,谭先红,焦松杰,等. 东海底孔低渗气田气井压裂投产“一点法”产能方程[J]. 油气井测试,2018,27(2):73-78.
LIANG Bin, TAN Xianhong, JIAO Songjie, et al. “Single-point” productivity equation for fractured gas wells in low-porosity and low-permeability reservoirs, East China Sea [J]. Well Testing, 2018,27(2):73-78.
- [4] 许冬进,尤艳荣,王生亮,等. 致密油气藏水平井分段压裂技术现状和进展[J]. 中外能源,2013,18(4):37-39.
XU Dongjin, YOU Yanrong, WANG Shengliang, et al. Status quo and progress of staged fracturing technique for horizontal wells in tight oil and gas reservoir [J]. Sino-Global Energy, 2013,18(4):37-39.
- [5] 路艳军,杨兆中,李小刚,等. 水平井裸眼分段压裂技术及现场应用[J]. 新疆石油地质,2014,35(2):230-234.
LU Yanjun, YANG Zhaozhong, LI Xiaogang, et al. Phased fracturing technology and field applications for open hole horizontal wells [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2014,35(2):230-234.
- [6] 侯光东,陈飞,刘达. 水力泵送桥塞压裂技术在长庆油田的应用[J]. 钻采工艺,2015,38(2):54-56.
HOU Guangdong, CHEN Fei, LIU Da. Application of hydraulic pumping bridge plug fracturing technology in Changqing oilfield [J]. Drilling & Production Technology, 2015,38(2):54-56.
- [7] 仝少凯,高德利. 基于阿基米德双螺旋线原理的水力喷射压裂技术[J]. 石油钻探技术,2018,46(1):90-96.
TONG Shaokai, GAO Deli. Hydraulic jet fracturing technology based on Archimedes spiral theory [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018,46(1):90-96.
- [8] 李月丽,何青,张永春,等. 固井滑套分段压裂技术在大牛地气田的试验应用[J]. 钻采工艺,2016,39(1):64-66.
LI Yueli, HE Qing, ZHANG Yongchun, et al. Application of casing cementing sliding sleeve staged fracturing technology in Daniudi tight gas reservoir [J]. Drilling & Production Technology, 2016,39(1):64-66.
- [9] 张春辉. 连续油管结合双封单卡压裂技术应用[J]. 石油矿场机械,2014,43(5):60-62.
ZHANG Chunhui. Application of coiled tubing frac technique using double-sealing and single-stick [J]. Oil Field Equipment, 2014,43(5):60-62.
- [10] 董云龙,唐世忠,牛艳华,等. 水平井套管固井滑套分段压裂完井存在的问题及对策[J]. 石油钻采工艺,2013,35(1):28-30.
DONG Yunlong, TANG Shizhong, NIU Yanhua, et al. Problems and measurements of sliding sleeve staged fracturing completion in casing cementing horizontal wells [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013,35(1):28-30.
- [11] 周小林,高志华,张冲. 龙凤山气田大通径免钻桥塞分段压裂先导试验[J]. 油气井测试,2018,27(1):62-67.
ZHOU Xiaolin, GAO Zhihua, ZHANG Chong. Pilot tests of staged fracturing involving large-diameter drill-free bridge plugs in the Longfengshan gas field [J]. Well Testing, 2018,27(1):62-67.
- [12] 肖元相,来轩昂,周长静,等. 长庆气田套管滑套压裂技术的研究与应用[J]. 钻采工艺,2015,40(4):61-64.
XIAO Yuanxiang, LAI Xuan'ang, ZHOU Changjing, et al. Reserch and application of casing sleeve fracturing technology in Changqing gas field [J]. Drilling & Production Technology, 2015,40(4):61-64.
- [13] 付玉坤,喻成刚,尹强,等. 国内外页岩气水平井分段压裂工具发展现状与趋势[J]. 石油钻采工艺,2017,39(4):514-518.
FU Yukun, YU Chenggang, YIN Qiang, et al. Development status and trend of shale-gas horizontal well staged fracturing tools at home and abroad [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2017,39(4):514-518.
- [14] 吴奇,王峰. 水平井封隔器滑套分段压裂技术[M]. 北京:石油工业出版社,2013:70-72.
- [15] 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.
- [16] 邹先雄,卢秀德,刘洪彬. 连续油管钻磨复合桥塞效率影响因素分析及提效措施研究[J]. 钻采工艺,2018,41(2):110-112.
ZOU Xianxiong, LU Xiude, LIU Hongbin. Factors affecting compound bridge plug milling by CT and improvement measures [J]. Drilling & Production Technology, 2018,41(2):110-112.
- [17] 逢仁德,崔莎莎,韩继勇,等. 水平井连续油管钻磨桥塞工艺研究与应用[J]. 石油钻探技术,2016,44(1):57-58.
PANG Rende, CUI Shasha, HAN Jiyong, et al. Research and application of drilling, milling-grinding techniques for drilling out composite bridge plugs in coiled tubing in horizontal wells [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016,44(1):57-58.

编辑 刘述忍

第一作者简介:胡忠太,男,1973年出生,高级工程师,1996年毕业于大庆石油学院采油工程专业,现从事油气井增产措施相关工作。电话:021-22830520,15900723455; Email: huzht@cnooc.com.cn。通信地址:上海市长宁区通协路388号A410室,邮政编码:200335。