

东胜气田连续油管水平井开滑套工艺

郑道明

中国石化华北石油工程有限公司技术服务公司 河南郑州 450006

通讯作者:Email:373050728@qq.com

引用:郑道明. 东胜气田连续油管水平井开滑套工艺[J]. 油气井测试,2022,31(5):33-37.

Cite: ZHENG Daoming. Technology of sliding sleeve opening in horizontal well using coiled tubing in Dongsheng gas field [J]. Well Testing, 2022,31(5):33-37.

摘要 水平井裸眼封隔器分段压裂时,若压差滑套无法打开,整口井的压裂施工都将无法进行。参照第一级压裂球的尺寸设计同等规格的模拟器,利用连续油管携带模拟器下至预定位置,实现第一级投球滑套的打开。在东胜气田某水平井采用改进后的模拟器与投球滑套进行了有效匹配,成功打开第一级投球滑套,顺利完成了后 7 段压裂施工。该技术为解决类似压裂井施工提供了新的技术思路及手段。

关键词 储层改造;水平井;分段压裂;压差滑套;连续油管;模拟器;投球滑套

中图分类号:TE353 文献标识码:B DOI:10.19680/j.cnki.1004-4388.2022.05.007

Technology of sliding sleeve opening in horizontal well using coiled tubing in Dongsheng gas field

ZHENG Daoming

Technology Services Company, SINOPEC North China Petroleum Engineering Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450006, China

Abstract: During the staged fracturing with openhole packer in horizontal well, if the differential pressure sliding sleeve cannot be opened, the fracturing operation of the entire well will not perform normally. According to the size of the first-stage fracturing ball, the simulated ball with same specification was designed. Then, the simulated ball was connected with coiled tubing and lowered to the predetermined position. By improving the simulator specifically, the first-stage ball-activated sliding sleeve was opened. The improved simulator for sliding sleeve opening was effectively matched with the sliding sleeve to be opened in a horizontal well in Dongsheng gas field. As a result, the first-stage ball-activated sliding sleeve was successfully opened, and the subsequent 7 stages of fracturing were successfully completed. This technology provides a new idea and approach for fracturing similar wells.

Keywords: reservoir stimulation; horizontal well; staged fracturing; differential pressure sliding sleeve; coiled tubing; Simulator; Pitching sliding sleeve

水平井分段压裂已成为目前提高油气田勘探开发效果的重要途径,经过多年的发展形成多项针对储层改造的工艺技术,在国内各大油气田均有较为广泛的应用^[1-3]。东胜气田作为大牛地气田的主力接替区,从 2011 年 9 月开始逐步引入水平井分段压裂技术,为东胜气田的产能开发做出突出贡献^[4]。从 2011 年 12 月应用水平井裸眼封隔器分段压裂技术获得 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的无阻流量以来,截止 2020 年底,共完成近两百口水平井的开发,单井无阻流量最高达 $48.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,取得了较为突出的压裂增产效果。

水平井裸眼封隔器分段压裂工艺通常由一个井

底压差滑套和多级投球滑套组成,结构较为复杂^[5]。井底压差滑套在压裂过程中能否顺利打开是施工关键,压差滑套打开完成首段压裂后,可通过投球的方式逐段完成后续施工作业^[6]。但在实际应用中,往往由于地质工程因素的影响,导致压差滑套无法打开,在井筒内部形成“死腔”,压裂球无法到达投球滑套的球座,整口井的压裂施工都将无法进行。陈作等^[7]对国内外水平井分段压裂的工艺技术方法进行了归纳及展望,重点介绍了水平井裸眼封隔器分段压裂技术。该技术具有改造面积大、单井产量高、作业高效等优势,是低渗透油气藏开发的重要增产措施之一,近年来在国内开始推广应用^[8]。腾春鸣等^[9]、詹鸿运

等^[10]对水平井裸眼封隔器分段压裂工具、工艺管柱、管串结构、工具开发及技术关键点和难点进行了研究,详述了现场应用情况,但并未就压差滑套无法正常打开时如何继续开展储层压裂作业做相关研究。

通过对东胜气田水平井裸眼封隔器分段压裂工艺管柱结构、原理、参数进行了分析,结合现场作业关键点及存在问题,制定了针对性的技术措施,并在一口水平井应用中成功打开第一级压裂滑套,为后续压裂施工作业提供了条件。

1 水平井裸眼分段压裂工艺技术

对东胜气田水平井裸眼封隔器分段压裂工艺

管柱结构、完井流程、储层改造作业关键点及存在问题进行研究,并提出相应的解决方法。

1.1 管柱结构

东胜气田水平井裸眼分段压裂工艺管柱的设计以储层条件、水平段有效长度为基础,结合水平段与储层主应力方位关系等因素综合考虑,确定水平井裸眼分段压裂工艺管柱结构。以一口井裸眼封隔器工艺管柱为例,其自下而上的结构见图 1。裸眼封隔器及投球滑套根据水平井水平段分级的段数多少而不同,若水平段分级比较长,可以视具体情况要求中间增加裸眼封隔器。

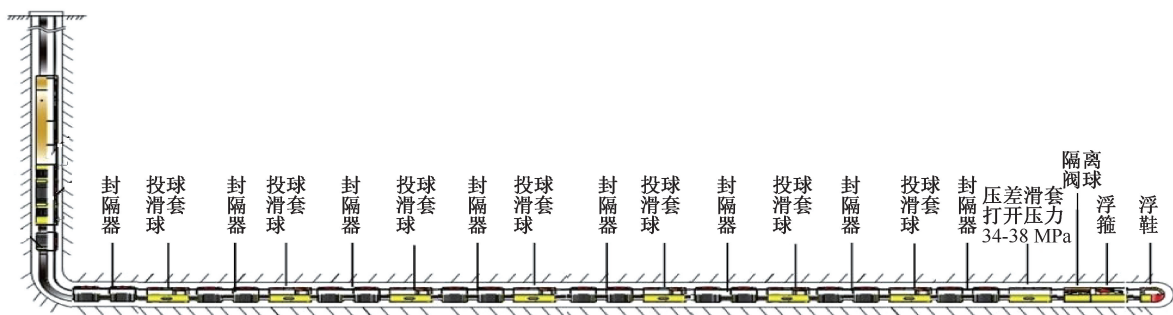


图 1 水平井裸眼分段压裂工艺管柱结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of pipe string structure of open hole staged fracturing process in horizontal well

1.2 完井流程

东胜气田水平井裸眼分段压裂完井工艺流程主要有以下几个步骤:

(1)用钻杆携带钻头通井到人工井底,再按设计进行其他各趟管柱通井;

(2)当通井合格后,严格按照设计的管柱连接图,依照工具顺序下入至预定位置,用 2% KCl 溶液替换悬挂封隔器以下裸眼段的泥浆之后投坐封球;

(3)以 $0.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 的排量送球(到预算的容积前 $1\sim 2 \text{ m}^3$,减小排量到 $0.15 \text{ m}^3/\text{min}$,缓慢起压,防止压力瞬间过高剪切脱手销钉或打开压差滑套)。按照要求逐级打压、稳压,坐封裸眼封隔器及悬挂封隔器,对环空验封合格;

(4)进行钻具丢手,起出钻具将悬挂封隔器以上顶替为 2%KCl 溶液,直到全部返出井口为止;

(5)下回接管柱,完成回接管柱对接。环空试压 15 MPa,稳压 15 min,压降不超过 0.3 MPa,按要求安装采气井口。

1.3 作业关键点及存在问题

压裂改造施工时,通过井口泵注加压开启压差

滑套,压裂第 1 段,依次投球,打开各段投球滑套,逐层进行改造。只有保证施工中压差滑套能够顺利的打开,后续投球滑套才能通过投球的方式打开^[11]。否则,由于井筒内部形成“死腔”,压裂球将无法到达投球滑套的球座,整口井的压裂施工都将无法进行。因此压差滑套能否顺利打开是压裂改造施工的关键点。但由于压差滑套销钉限制压力值设置过高、井筒内液体杂质多,在滑套位移方向上沉积、滑套材质和加工工艺存在缺陷,在高温、高压环境下零部件发生鼓胀,出现卡死、粘合现象导致压差滑套无法正常打开^[12]。

1.4 解决方法

在压差滑套无法打开的情况下,可通过连续油管携带喷枪,对目的层位进行水力喷砂射孔后再进行压裂改造^[13]。受管柱通径限制,喷枪无法下到预定位置。即使部分厂家的工具设计可满足水力喷砂射孔作业需求,也会由于喷砂射孔时排量低,作业管柱与压裂管柱之间的间隙小,易造成砂卡管柱的现象,使井内问题复杂化^[14]。综合分析后,放弃压差滑套封隔段压裂施工,打开第一级投球滑套,保证后续压裂施工的正常进行。

2 方案设计

为保证后续压裂施工的正常进行,进行了方案设计,做好设备、物资准备,严格按照技术措施施工。

2.1 设计思路

当压差滑套无法打开,压裂球无法以泵送的方式送至预定位置时,可利用连续油管机械推送的方式进行送球。但考虑到水平段井筒空间大,有可能出现连续油管到位而压裂球还在原位置的“顶空”现象,或者在送球的过程中压裂球出现磨损,即使球到位也无法打开投球滑套。为避免这种情况的发生,可参照第一级压裂球的尺寸设计同等规格的模拟器,该模拟器与连续油管连接下入预定位置,通过环空憋压打掉第一级投球滑套,保证本段及后续压裂施工的顺利进行。

2.2 技术措施

- (1)根据第一级投球滑套技术参数,选用合适的连续油管作为引导管柱,下至预定位置;
- (2)选用来源广、与地层配伍性好的工作液实施开滑套作业;
- (3)开滑套作业完毕后,如试挤成功,则提出井内连续油管,进行下步压裂作业;
- (4)实际作业井深根据现场实际情况做出调整,但需注意连续油管通过第二级投球滑套时的卡阻风险;

- (5)作业期间,井口控制泵压不超过 60 MPa。
- 2.3 设备物资准备
- (1)满足作业井深的连续油管及配套设备;
 - (2)与第一级滑套相匹配的模拟器;
 - (3)2%KCl 溶液(或现场压裂液)50 m³ 作为工作液实施开滑套作业。

3 现场应用

以东胜气田某开发水平井为例,简述其压裂及连续油管开滑套施工作业过程。

3.1 作业井基本井况

XX 井为东胜气田的一口水平井,采用预置管柱完井工艺,设计压裂段数为 8 段。完井工艺管柱结构自下而上为:浮鞋+浮箍+锁定球座+ $\phi 114.3$ mm 套管+压差滑套+ $\phi 114.3$ mm 套管+裸眼封隔器+ $\phi 114.3$ mm 套管+投球滑套 1+ $\phi 114.3$ mm 套管+裸眼封隔器+ $\phi 114.3$ mm 套管+投球滑套 2+ $\phi 114.3$ mm 套管+裸眼封隔器+ $\phi 114.3$ mm 套管+投球滑套 3+ $\phi 114.3$ mm 套管+裸眼封隔器+ $\phi 114.3$ mm 套管+投球滑套 4+ $\phi 114.3$ mm 套管+裸眼封隔器+ $\phi 114.3$ mm 套管+投球滑套 5+ $\phi 114.3$ mm 套管+裸眼封隔器+ $\phi 114.3$ mm 套管+投球滑套 6+ $\phi 114.3$ mm 套管+裸眼封隔器+ $\phi 114.3$ mm 套管+投球滑套 7+ $\phi 114.3$ mm 套管+裸眼封隔器+尾管悬挂器+ $\phi 89$ mm 油管至井口。其完井工具及技术参数见表 1。

表 1 XX 井分段改造完井工具及技术参数
Table 1 Completion tools and technical parameters for staged fracturing of well XX

名称	公称尺寸			初始剪切 压力/MPa	完全坐封 压力/MPa	坐封球外径/ mm	数量
	长度/m	外径/mm	内径/mm				
浮鞋	0.41	127.0	/	/	/	/	1
浮箍	0.22	127.0	/	/	/	/	/
锁定球座	0.47	127.5	21.0	16.8	/	28.5	1
裸眼封隔器	0.83	146.5	101.6	18.0	24.0	/	9
压差滑套	0.45	142.5	101.6	32.0	/	/	2
投球压裂滑套 1	0.71	142.5	45.4	20.7	/	47.6	1
投球压裂滑套 2	0.71	142.5	48.6	20.7	/	50.8	1
投球压裂滑套 3	0.71	142.5	51.6	20.7	/	54.0	1
投球压裂滑套 4	0.71	142.5	54.9	20.7	/	57.2	1
投球压裂滑套 5	0.71	142.5	58.1	20.7	/	60.3	1
投球压裂滑套 6	0.71	142.5	64.5	20.7	/	66.7	1
投球压裂滑套 7	0.71	142.5	67.6	20.7	/	71.4	1
悬挂封隔器	2.05	149.3	101.6	20.0	24.0	/	1
送入工具	0.92	148.9	62.0	/	/	/	1
回接插入密封	1.086	148.9	101.6	/	/	/	1

3.2 压裂施工作业

该井 2017 年 8 月进行压裂施工,在试压结束后

开始第一段压裂施工。整个施工过程经过 7 次打压差滑套,均无打开显示,打滑套最高压力 65 MPa。

为保证后续施工顺利进行,决定放弃第一段压裂施工,采用连续油管底带开滑套模拟器打开第一级投球滑套后完成后 7 段压裂施工(图 2)。

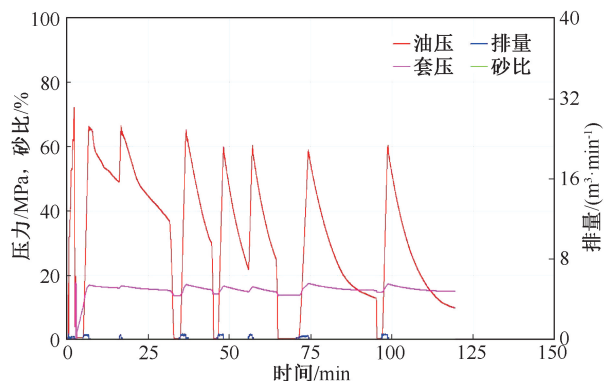


图 2 XX 井开压差滑套施工曲线图(原始施工曲线)

Fig. 2 Construction curve of opening differential pressure sliding sleeve in Well XX

3.3 连续油管开滑套施工作业

按照施工方案,采取相应的技术措施,进行了连续油管开滑套施工作业,取得成功。

3.3.1 施工方案

(1)根据第一级滑套参数,选用外径 38 mm、壁厚 3.4 mm×4 000 m 的连续油管作为引导管柱,选用 48 mm 开滑套模拟器,工作液选用 2% KCl 溶液(或现场压裂液)50 m³ 进行打滑套作业;

(2)打滑套作业完毕后,如试挤成功,则提出井内连续油管,进行下步压裂作业。

3.3.2 技术措施

(1)该井设计投球滑套 1(3 929.98 m)位置左右,实际作业井深根据现场实际情况做出调整,但需注意连续油管通过投球滑套 2(3 838.78 m)位置,需注意连续油管卡阻风险;

(2)打开滑套作业后,进行试挤,如果地层进液较畅通,继续进行下步压裂作业;

(3)打开滑套作业井口控制泵压不超过 60 MPa。

3.3.3 施工过程

(1)第一次开滑套作业。安装调试连续油管设备组装施工井口,缓慢下放连续油管至 3 839.00 m 遇阻,判断为第二级投球滑套位置,开泵排量 200 L/min 反循环冲洗,顺利通过该滑套位置,继续缓慢下放连续油管至 3 929.00 m 遇阻,到达第一级滑套位置。之后开泵排量 400~500 L/min,最高憋压 35 MPa,无明显压降,连续油管悬重无明显变化。反复泄压,连续油管加压 10~40 kN,开泵

憋压 30~45 MPa,仍无悬重变化。上提管柱检查工具后发现,模拟器下部有磨损(较原尺寸缩径 4 mm)。

原因分析:模拟器在下入的过程中与压裂管柱内壁接触造成磨损,无法与第一级滑套匹配,造成作业失败。

改进措施:改进开滑套模拟器,由前期的弧形截面改为锥形界面,减少与压裂管柱内壁的接触。同时选用材质好、硬度高、抗磨性强的材料进行加工,最大程度的降低工具磨损(图 3)。

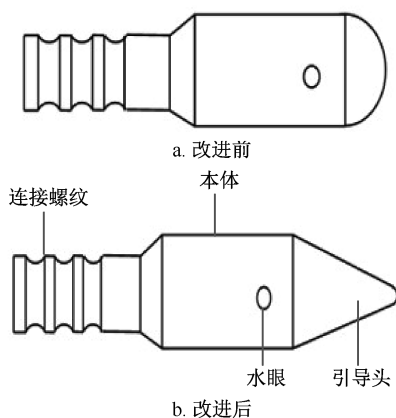


图 3 开滑套模拟器改进前后对比

Fig. 3 Comparison of simulator with opening sliding sleeve before and after improvement

(2)第二次开滑套作业。更换开滑套模拟器后,连接连续油管,缓慢下放至 3 929.00 m(第一级滑套位置),加压 20 kN,开泵缓慢打压至 23 MPa 时,压力瞬时下降 8 MPa,连续油管悬重恢复正常,缓慢上提连续油管 10 m 后,开泵试挤,排量 1.6 m³/min,试挤压力 25 MPa,用液 12 m³,试挤成功,投球滑套已打开,上提连续油管至井口。

4 结论

(1)连续油管水平井开滑套工艺的运用,解决了压差滑套无法打开导致后续压裂施工不能正常进行的问题,最大限度的利用了压裂层段,且工具易于加工、施工成功率高,为解决类似井下问题提供了新的技术思路及手段。

(2)连续油管水平井开滑套工艺在应用中应加强模拟器在加工、选材上的工艺要求,提高其作业过程中的耐磨性;同时,开滑套模拟器入井前进行地面试验,测试其与打开目标的匹配程度。

(3)作业前对连续油管前 10 m 进行弯曲值检测,防止油管曲度太大,无法与井口对正,模拟器入

井时发生碰撞导致工具表面刮伤,影响正常施工作业。

致谢:感谢华北石油工程有限公司技术服务公司同意本论文公开发表,感谢技术服务公司对本文的支持。

参考文献

- [1] 杨宗飞,白小刚. 水平井分段压裂工艺发展现状探析[J]. 中国石油和化工标准与质量,2021,41(4):179-181.
YANG Zongfei, BAI Xiaogang. Analysis on the development status of horizontal well staged fracturing technology [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2021,41(4):179-181.
- [2] 张云鹏,杨生文,赵战江,等. 临兴区块致密砂岩气藏裸眼水平井分段压裂技术[J]. 油气井测试,2021,30(2):61-66.
ZHANG Yunpeng, YANG Shengwen, ZHAO Zhanjiang, et al. Staged fracturing technology of open hole horizontal well in tight sandstone gas reservoir of Linxing block [J]. Well Testing, 2021,30(2):61-66.
- [3] 刘鹏,许杰,徐刚,等. 渤中25-1油田低渗透储层水平井分段压裂先导试验[J]. 油气井测试,2018,27(3):52-57.
LIU Peng, XU Jie, XU Gang, et al. Pilot test of horizontal well staged fracturing for low permeability reservoirs in BZ25-1 Oilfield [J]. Well Testing, 2018,27(3):52-57.
- [4] 吴照伟. 连续油管带底封分段压裂工艺在东胜气田的应用[J]. 油气井测试,2016,25(4):53-55.
WU Zhaowei. Application of sectional fracturing technique with coiled tubing and bottom packer in Dongsheng Gas Field [J]. Well Testing, 2016,25(4):53-55.
- [5] 郑道明,贺绍华,贾光亮. 连续油管水平井滑套钻铣工艺技术[J]. 油气井测试,2019,28(2):45-50.
ZHENG Daoming, HE Shaohua, JIA Guangliang. Technology of sliding sleeve milling in horizontal well using coiled tubing [J]. Well Testing, 2019,28(2):45-50.
- [6] 马慧. 水平井分段压裂趾端压差滑套研究[D]. 北京:中国石油大学(北京),2017.
MA Hui. Study on end pressure sliding sleeve of horizontal well fracturing [D]. China University of Petroleum (Beijing), 2017.
- [7] 陈作,王振铎,曾华国. 水平井分段压裂工艺技术现状及展望[J]. 天然气工业,2007,27(9):78-80.
CHEN Zuo, WANG Zhenduo, ZENG Huaguo. Status quo and prospect of staged fracturing technique in horizontal wells [J]. Natural Gas Industry, 2007,27(9):78-80.
- [8] 周鹏遥,程远方,杨向同,等. 全通径裸眼封隔器水平井分段改造工艺在塔里木油田的应用[J]. 油气井测试,2016,25(2):57-60.
ZHOU Pengyao, CHENG Yuanfang, YANG Xiangtong,

- et al. Application of segmented transformation technology with full bore open-hole packer to horizontal well in the Tarim Oilfield [J]. Well Testing, 2016,25(2):57-60.
- [9] 滕春鸣,杜泽宏,施凌丽,等. 水平井裸眼封隔器多级分段压裂技术在苏75区块的应用[J]. 钻采工艺,2012,35(6):31-33,40.
TENG Chunming, DU Zehong, SHI Lingli, et al. Application of open hole packer multistage fracturing technology in horizontal well of Su 75 block [J]. Drilling & Production Technology, 2012,35(6):31-33,40.
- [10] 詹鸿运,刘志斌,程智远,等. 水平井分段压裂裸眼封隔器的研究与应用[J]. 石油钻采工艺,2011,33(1):123-125.
ZHAN Hongyun, LIU Zhibin, CHENG Zhiyuan, et al. Research on open hole packer of staged fracturing technique in horizontal wells and its application [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2011,33(1):123-125.
- [11] 张珍珍. 水平井分段压裂投球滑套的结构性能分析与优化[D]. 成都:西南石油大学,2017.
ZHANG Zhenzhen. Analysis and optimization of the structure and performance of the ball sliding sleeve in staged fracturing of horizontal wells [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2017.
- [12] 王建军,于志强. 水平井裸眼选择性分段压裂完井技术及工具[J]. 石油机械,2011,39(3):59-62.
WANG Jianjun, YU Zhiqiang. The completion technology and tool for open-hole preferential staged fracturing of the horizontal well [J]. China Petroleum Machinery, 2011,39(3):59-62.
- [13] 胡耀方,田中兰,李军,等. 压差滑套优化设计与分析[J]. 石油机械,2018,46(1):61-66.
HU Yaofang, TIAN Zhonglan, LI Jun, et al. Optimization design and analysis of pressure differential sliding sleeve [J]. China Petroleum Machinery, 2018,46(1):61-66.
- [14] 王金友,许国文,李琳,等. 连续油管拖动底封水力喷射环空加砂分段压裂技术[J]. 石油矿场机械,2016,45(5):69-72.
WANG Jinyou, XU Guowen, LI Lin, et al. Technology of coiled tubing abrasive perforating and annulus fracturing [J]. Oil Field Equipment, 2016,45(5):69-72.

编辑 方志慧

第一作者简介:郑道明,男,1986年出生,硕士研究生,工程师,2018年毕业于中国地质大学(武汉)石油与天然气工程专业,现主要从事井下作业相关的技术研究工作。电话:0371-58556775,15737186162; Email: 373050728@qq.com。通信地址:河南省郑州市中原区淮河西路23号820室,邮政编码:450006。