

涪陵页岩水平井生产测井仪器遇卡处理及分析

邱德家^{1,2}, 毛军^{1,2}, 庞伟^{1,2}, 张同义^{1,2}

1. 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室 北京 102206

2. 中国石化石油工程技术研究院 北京 102206

通讯作者:Email: didj. sripe@ sinopec. com

项目支持:国家重大专项“低渗透油气藏高效开发钻井技术课题 5-高压低渗油气藏固完井技术”(2016ZX05021005);中国石油化工股份有限公司科技部前瞻项目“智能示踪剂井下流体识别方法研究”(P20033)

引用:邱德家,毛军,庞伟,等. 涪陵页岩水平井生产测井仪器遇卡处理及分析[J]. 油气井测试,2022,31(5):54-57.

Cite: DI Dejia, MAO Jun, PANG Wei ,et al. Processing and analysis of logging tool sticking in Fuling horizontal shale gas wells [J]. Well Testing, 2022,31(5):54-57.

摘要 针对水平井连续油管输送生产测井工具事故频发,导致仪器受损且影响油气井正常生产的问题,阐述了某实例井现场采用连续油管带低速马达和弹簧卡瓦式打捞筒进行六次打捞的全过程,并分析了遇卡打捞处理措施和遇卡原因。根据生产测井仪器串结构、打捞落物和井口压痕等情况,得出仪器串中柔性接头的中间端面与井口变径是导致仪器串遇卡的直接原因。通过柔性接头室内拉断实验、端面倒角及防磨处理,改进了柔性接头和扶正器结构,提高了现场测试的安全性。该分析为后续水平井连续油管打捞技术的提升提供借鉴。

关键词 水平井;页岩气井;生产测井;连续油管打捞;井口遇卡;事故处理;产出剖面测试;柔性接头

中图分类号:TE358 **文献标识码**:B **DOI**:10. 19680/j. cnki. 1004-4388. 2022. 05. 011

Processing and analysis of logging tool sticking in Fuling horizontal shale gas wells

DI Dejia^{1,2}, MAO Jun^{1,2}, PANG Wei^{1,2}, ZHANG Tongyi^{1,2}

1. State Key Laboratory of Shale Oil and Gas Enrichment Mechanisms and Effective Development, Beijing 102206, China

2. SINOPEC Research Institute of Petroleum Engineering Co., Ltd., Beijing 102206, China

Abstract: The frequent occurrence of accidents in CT-conveyed production logging in horizontal wells leads to tool damage and affects the normal production of wells. In this paper, the whole process of six fishing operations using coiled tubing with low-speed motor and spring slip overshot in a well was expounded, and the fishing measures and the causes for sticking were analyzed. According to the structure of the production logging tool string, fishes, and wellhead indentation, it is concluded that the middle end face of the flexible joint in the tool string and the diameter change of the wellhead are the direct causes of the tool string sticking. The flexible joint and centralizer structure were improved through the laboratory pull-off test, end face chamfering, and anti-wear treatment of flexible joints, which improves the safety of on-site testing. This analysis provides a reference for the subsequent improvement of CT-conveyed fishing technology for horizontal wells.

Keywords: horizontal well; shale gas well; production logging; CT-conveyed fishing; wellhead sticking; accident handling; production profile testing; flexible joint

水平井生产测井技术能够认识各层段流体产出规律,深化地质认识,提供完井和生产优化指导,是油气井高效开发的关键技术^[1-3]。水平井生产测井技术主要利用连续油管或爬行器输送阵列仪器测试每个层段的温度、压力、流速、持率和密度等参数,进而反演各个层段的流体产出性质和产量^[4-6]。目前国内非常规油气水平井开发主要采用大规模压裂技术提高产量,压裂后由于返排不彻底,井筒

内存留大量压裂砂、桥塞碎屑等杂物,易造成涡轮仪器受卡、仪器探针损坏和掉落等事故^[7-9]。一些油气井井筒变形、井口存在变径,导致连续油管或测井仪器遇阻、遇卡,甚至影响油气井正常生产,造成较大的经济损失。

目前国内连续油管技术越来越成熟,作业范围也越来越大,连续油管打捞技术也有了长足进步。王一全等^[10]针对高压气井打捞作业,安全阀通径小

于下部生产管柱通畅制约打捞工具尺寸的难题,开发了大变径井筒连续油管打捞连续油管的专用工具。艾白布·阿不力米提等^[11]在专用打捞工具中集成了鱼顶旋转引入、鱼顶检测、鱼顶抓获及剪切等功能机构,使其能够适应连续油管打捞连续油管的工况。王伟佳^[12]针对页岩气井泵送桥塞射孔电缆脱落的问题,研究了连续油管打捞长电缆技术,解决了电缆在井内定位不准和难以打捞的难题。曹颖^[13]针对页岩气井钻铤桥塞产生的落物,分析了打捞技术难点,研究了连续油管打捞工艺及打捞工具,提高了打捞成功率。邹先雄等^[14]针对连续油管落鱼工艺设计思路和原则、作业流程及方案进行了阐述,并结合实例对应用情况进行了介绍。水平井生产测井工具串相对较长,仪器遇卡后较难判断遇卡位置,为仪器解卡和事故原因分析带来一定困难。仪器串落井后,可能发生变形和损坏,给打捞带来较大困难。针对涪陵地区一口页岩气水平井生产测井作业,仪器串上提过程中在井口遇卡无法取出的事故,介绍了生产测井工具遇卡情况及连续油管打捞方法,分析了工具串井口遇卡位置和遇卡原因,提出了连续油管及工具串避免遇卡的建议。

1 事故发生原因及处理情况

针对生产测井仪器串井口遇卡问题,分析了事故发生原因和现场打捞情况。

1.1 事故发生原因

测试X井位于重庆涪陵地区的一口页岩气水平井,井深3 530 m,垂深2 462.77 m,水平段长869 m,采用套管分段压裂完井,共压裂11段,井口压力11.8 MPa。采气树井口有变径,连接变径法兰的上部采气树通径为78 mm,下部通径为180 mm。

本次施工为页岩气水平井产出剖面测试作业,利用连续油管输送生产测井仪器进行测试。测井之前利用连续油管带强磁打捞器进行了打捞作业,工具在3 395.2 m处遇阻后起出连续油管。第二次入井,利用连续油管输送模拟通井器进行模拟通井,模拟通井器组成见图1。连续油管携带模拟通井器下入过程中通井顺畅,但在上提距离井口8.9 m处遇卡。工具串遇卡之后,采取了上下活动管柱、振动解卡、从井口注清水清洗工具等解卡措施,但解未卡成功。最后决定剪切连续油管,推送落鱼到水平段,换成大通径(180 mm)压裂井口,进行落鱼打捞。

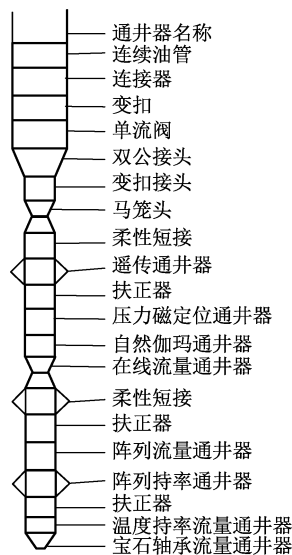


图1 生产测井模拟仪器串结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of production logging instrument strings

1.2 现场打捞情况

根据落物情况,设计了打捞方案,采用连续油管打捞生产测井仪器串,打捞工具采用连续油管带低速马达和弹簧卡瓦式打捞筒。第一趟打捞,连续油管下放至井深3 373 m遇阻,然后起泵,排量为300 L/min,加压1.5 t,复探3次,上提打捞工具,没有捕获落鱼,第一趟打捞失败;第二趟打捞更换了弹簧卡瓦式打捞筒,连续油管下至第一趟遇阻位置继续打捞,未捕获落鱼,第二趟打捞失败;根据前两次打捞失败经验,第三趟决定更换铅模打印工具,判断鱼顶位置,分析鱼顶形状。通过铅模形状分析,鱼顶位置有变形,最大外径可达56 mm,需要更换打捞工具;第四趟打捞,通过改进打捞工具,扩大内径,打捞爪由2瓣改为4瓣,下放油管至深度3 402.4 m,探到落鱼,通过反复下压、开泵、上提连续油管,仍未捕获落鱼,第四趟打捞失败;第五趟打捞再次改进打捞工具,加长引鞋,连续油管在落鱼位置反复上提下放,采用不同排量冲洗落鱼顶部,然后上提连续油管至井口,通过试关井口,判断工具串起到井口,但落鱼比实际要长,无法全部进入防喷管,采用连续油管专用卡瓦防喷器将落鱼卡住,在井口进行二次打捞。最后在井口进行了第六趟打捞,成功捕获落鱼,落鱼包括连续油管及模拟通井器工具串。

2 事故原因分析

根据仪器串长度和井口压痕情况,通过计算分

析,认为仪器串中柔性接头的中间端面与井口变径是导致仪器串遇卡的直接原因。

2.1 遇卡位置分析

根据遇卡工具串长度及拆卸井口内部压痕显示,工具串无法上提出井口,主要原因是工具串某部分卡在井口变径位置,但是通过打捞出的落物外观无法判断遇卡具体位置,需要对工具串遇卡的位置进行计算分析。受卡位置计算公式如下

$$h = H - H_1 - H_2 = 9.96 \text{ m} \quad (1)$$

式中: H 为落鱼长度,23.16 m; H_1 为连续油管下放深度,即受卡位置至鱼顶的距离,10 m; H_2 为变径法兰变径位置至剪切闸板的距离,3.2 m。

考虑连续油管落鱼具有一定弯度,且采用米尺测量,具有一定误差,连续油管下放深度也有 2 m 左右的误差,综合误差 $\pm 3 \text{ m}$, $h = 9.96 \pm 3 \text{ m} = 6.96 \sim 12.96 \text{ m}$,仪器串长度为 9.36 m,即卡点在 6.96 ~ 9.36 m 处。卡点位置在第一个扶正器上端,扶正器上端有两个位置具有变径并形成直角端面,判断第一个遇卡位置是 9.19 m 处的变扣接头位置,该变扣接头与连接器之间约有 1 mm 左右的垂直端面,在前期打捞作业过程中,连续油管多次起下,且最大上提力 8 t,该处受卡可能性较小。第二个遇卡位置是 7.52 m 的第一个柔性短节,该处受卡可能性比较大。

2.2 遇卡原因分析

连续油管因自然弧度,使得仪器串柔性接头上部贴向采油树内壁,但柔性接头下面连接的扶正器使柔性接头下部趋于居中,造成柔性接头弯曲,产生大约 2 mm 的直角端面(图 2),工具串上提过程中,致使柔性接头直角端面在变径法兰处遇卡。

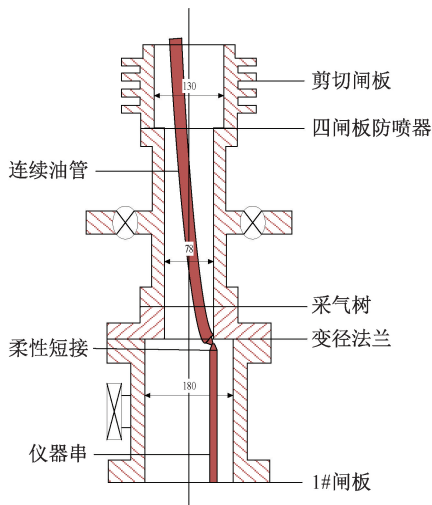


图 2 柔性接头受卡原因分析

Fig. 2 Analysis of flexible joint blocking

3 实验分析及仪器结构改进

为了分析仪器遇卡原因和改进柔性接头的结构,在西安摩尔实验中心对柔性接头的拉断力进行了实验分析。在实验装置上对遇卡工具串的柔性接头进行了拉拔实验,即下面是母头,上面是公头,下部采用液压抱死,向下拉断。拉拔过程中,柔性接头关节头并未拉断,但是下端关节无法承受一定的拉力而被撕裂。最后拉断力为 13.1 t,安全系数定为 0.8,即柔性接头安全拉断指标为 10.48 t。现场工具串在上提过程中,最大拉力为 8 t,无法拉断柔性接头。

根据此次仪器井口遇卡原因,改进了柔性接头结构,增大了锁紧螺母与下接头的倒角,降低了仪器端面遇卡风险。仪器表面增加了 HVOF 喷涂处理,增强了耐磨性(图 3)。针对扶正器,由三臂扶正器改为四臂碟簧滚轮扶正器,增强仪器在水平段的居中功能。另外,增加了防尘圈,保证工具不受细砂的影响。

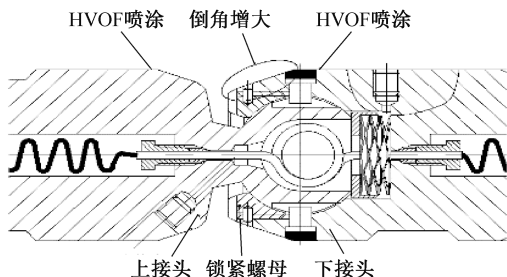


图 3 改进后的柔性接头结构

Fig. 3 flexible joint structure and after improvement

4 结论

(1) 通过生产测井仪器串遇卡分析,此次事故原因主要由于柔性接头的端面与井口变径位置的端面遇卡所致。建议连续油管工具及测井仪器串所有连接处进行倒角处理,保证入井工具串无直角端面,降低仪器遇阻遇卡风险。扶正器结构呈灯笼状,是仪器在井筒内遇卡的主要风险点之一,因此扶正器最大外径只需满足套管尺寸,且支臂与中心线的夹角不宜过大。

(2) 连续油管是水平井落鱼打捞的有效技术,但是由于井下情况复杂,打捞过程比较繁琐。建议在打捞前进行井筒处理,根据落鱼情况优选打捞工具,打捞作业前可应用铅模打印判断落鱼情况。连续油管作业前,需详细分析井口及井筒结构、井眼轨迹、完井方式及生产数据,提前做好方案论证和

应急预案,尽量避免此类事故的发生。

致谢:感谢中国石化石油工程技术研究院完井测试项目组为本文提供的数据资料。

参考文献

- [1] 邸德家, 庞伟, 毛军, 等. 水平井产出剖面测试技术现状及发展建议[J]. 石油钻采工艺, 2022, 44(1): 56-62.
DI Dejia, PANG Wei, MAO Jun, et al. Status and development suggestion of horizontal-well production profile testing technologies[J]. Oil Drilling and Production Technology, 2022, 44(1): 56-62.
- [2] 邸德家, 郭肖, 何祖清, 等. 智能示踪剂产出剖面测试技术[J]. 油气井测试, 2021, 30(4): 44-49.
DI Dejia, GUO Xiao, HE Zuqing, et al. Intelligent tracer production profile testing technology[J]. Well Testing, 2021, 30(4): 44-49.
- [3] 庞伟, 邸德家, 张同义, 等. 页岩气井产出剖面测井资料分析及应用[J]. 地球物理学进展, 2018, 33(2): 700-706.
PANG Wei, DI Dejia, ZHANG Tongyi, et al. Analysis and application of production logging data in shale gas well[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2018, 33(2): 700-706.
- [4] 邸德家, 毛军, 张同义, 等. 涪陵页岩气水平井产出剖面测试技术分析与应用[J]. 测井技术, 2016, 40(6): 731-735.
DI Dejia, MAO Jun, ZHANG Tongyi, et al. Production profile testing analysis and its application in Fuling shale gas horizontal wells[J]. Well Logging Technology, 2016, 40(6): 731-735.
- [5] 邹顺良, 杨家祥, 胡中桂, 等. FSI 产出剖面测井技术在涪陵页岩气田的应用[J]. 测井技术, 2016, 40(2): 209-213.
ZOU Shunliang, YANG Jiaxiang, HU Zhonggui, et al. Application of FSI production profile logging technique in Fuling shale gas field[J]. Well Logging Technology, 2016, 40(2): 209-213.
- [6] 李沁泽, 刘军锋, 高峰, 等. 基于阵列涡轮和阵列持率仪的水平井油水两相流量解释方法[J]. 测井技术, 2021, 45(4): 405-410.
LI Qinze, LIU Junfeng, GAO Feng, et al. Interpretation method of oil-water two-phase flow in horizontal well based on array spinner and array holdup tools[J]. Well Logging Technology, 2021, 45(4): 405-410.
- [7] 秦昊, 戴家才, 秦民君, 等. 低产水平井油水两相流阵列持水率计实验研究[J]. 测井技术, 2017, 41(6): 637-641.
QIN Hao, DAI Jiakai, QIN Minjun, et al. Experimental study on oil-water two-phase flow array water holdup tool in horizontal well[J]. Well Logging Technology, 2017, 41(6): 637-641.

- [8] 宋红伟, 郭海敏, 唐小梅. 水平井及大斜度井油水两相流动模型研究[J]. 测井技术, 2014, 38(4): 384-390.
SONG Hongwei, GUO Haimin, TANG Xiaomei. Study on unified model for oil-water two-phase Flow in horizontal and highly deviated wells[J]. Well Logging Technology, 2014, 38(4): 384-390.
- [9] 屈孝和, 李长江, 苏茂, 等. 连续油管水平井分段测试技术[J]. 油气井测试, 2021, 30(5): 68-72.
QU Xiaohu, LI Changjiang, SU Mao, et al. Segmented testing technology for horizontal wells with coiled tubing[J]. Well Testing, 2021, 30(5): 68-72.
- [10] 王一全, 王肖伟, 程松节, 等. 大变径井筒连续管打捞技术及应用[J]. 石油机械, 2020, 48(7): 97-103.
WANG Yiquan, WANG Xiaowei, CHENG Songjie, et al. Coiled tubing fishing in large variable diameter wellbore and its application[J]. China Petroleum Machinery, 2020, 48(7): 97-103.
- [11] 艾白布·阿不力米提, 庞德新, 王一全, 等. 连续油管打捞连续油管关键工具研究与应用[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(6): 89-95.
AIBAIBU Abulimit, PANG Dexin, WANG Yiquan, et al. The research and application of a key tool for coiled tubing fishing with coiled tubing[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(6): 89-95.
- [12] 王伟佳. 页岩气水平井连续油管带压打捞长电缆技术[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(3): 109-113.
WANG Weijia. The Technology of long cable snubbing fishing through coiled tubing in horizontal shale gas wells[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(3): 109-113.
- [13] 曹颖. 连续油管打捞技术在页岩气井中的应用[J]. 江汉石油职工大学学报, 2020, 33(4): 19-21.
CAO Ying. Application of coiled tubing fishing technology in shale gas wells[J]. Journal of Jianghan Petroleum University of Staff and Workers, 2020, 33(4): 19-21.
- [14] 邹先雄, 石孝至, 董守涛. 打捞连续油管落鱼工艺技术研究与应用[J]. 钻采工艺, 2018, 41(5): 16-18.
ZOU Xianxiong, SHI Xiaozhi, DONG Shoutao. Study on how to fish coiled tubing and application[J]. Drilling & Production Technology, 2018, 41(5): 16-18.

编辑 方志慧

第一作者简介:邸德家,男,1980年出生,副研究员,博士,2013年毕业于中国石油大学(北京)地质资源与地质工程专业,现主要从事生产测井和完井测试工作。电话:010-56606185,15901313253,Email: didj. sripe@ sinopec. com。通信地址:北京市昌平区沙河高教园区中国石化科学技术中心,邮政编码:102206。