

老井侧钻之悬挂器回接失败原因分析

张承武,吴增智,王兴建,邹鸿江,王坤

中国石油集团川庆钻探工程有限公司工程技术研究院 陕西西安 710018

通讯作者:Email:sxzew@126.com

项目支持:川庆钻探工程有限公司科技项目“长庆小井眼侧钻完井与改造提产技术集成研究与试验”(2019T-008-005)

引用:张承武,吴增智,王兴建,等.老井侧钻之悬挂器回接失败原因分析[J].油气井测试,2019,28(6):32-37.

Cite: ZHANG Chengwu, WU Zengzhi, WANG Xingjian, et al. Failure analysis for hanger back connection in old well sidetracking [J]. Well Testing, 2019,28(6):32-37.

摘要 苏里格气田老井侧钻水平井裸眼封隔器完井试验过程中悬挂器回接失败。通过分析老套管侧钻的复杂井况和悬挂器回接结构原理,认为悬挂器回接失败的原因主要是,老套管腐蚀和套管侧钻偏磨造成悬挂器坐封的居中性较差,回插管与回接筒引导结构不合理,导致回插管不能成功插进回接筒等。通过修整回接筒喇叭口,改进回插管的引导结构,优化完井方案,进行施工作业,二次回接取得成功。后续2口试验井的完井作业实现顺利回接,达到了预期改进效果,为老井侧钻裸眼封隔器完井技术的推广应用积累了实践经验。

关键词 套管腐蚀;套管侧钻;完井作业;悬挂器回接;原因分析**中图分类号**:TE257 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.06.006

Failure analysis for hanger back connection in old well sidetracking

ZHANG Chengwu, WU Zengzhi, WANG Xingjian, ZOU Hongjiang, WANG Kun

Engineering Technology Research Institute of Chuanqing Drilling Engineering Company, CNPC, Xi'an, Shaanxi 710018, China

Abstract: It failed to connect the hanger again in the process of borehole packer completion testing for the old well sidetracking horizontal well in Sulige gas field. This paper analyzed the cause to ensure the reliable return connection of the hanger. It is considered that the old casing corrosion and the casing sidetrack eccentric abrasion cause the suspension of the hanger to be poorly centered by analyzing the complex well conditions of the old casing sidetrack and the principle of the hanger return structure. It is the main reason that the return cannula cannot be successfully inserted into the return tube. The second return connection is successful for this well by trimming the back tube flare, improving the guiding structure of the back cannula, optimizing the completion plan. The completion operation of the subsequent two test wells was successfully returned, and the expected improvement effect was achieved. This paper accumulated practical experience for the promotion and application of the old borehole side-hole open hole packer completion technology.

Keywords: casing corrosion; casing sidetracking; well completion; hanger back connection; cause analysis

随着油气田开发的不断推进,低产、低效井越来越多^[1]。迫于增产稳产的压力,各大油田纷纷开展老井治理和产能挖潜的技术研究^[2]。老井侧钻就是针对老区块产能挖潜的一种有效手段,它的目的是利用老井位,省去土地征用和井场基建的费用^[3-4]。开窗侧钻是在老井井筒的上部套管内开窗,侧钻出新的井眼^[5]。老井侧钻具有节约资源、降低成本、减少环境污染的优势。多年来,为了挖潜油气田的剩余产能,降本增效,国内外各大油气田进行了老井侧钻小井眼侧钻完井技术实践^[6]。侧钻小井眼具有侧钻井和小眼井两种特殊性,因而技术难点较多^[7]。近年来,苏里

格气田在老井侧钻方面进行的技术研究比较多,开展了进阶式现场试验,实践能力得到了相当的提升,也获得了良好的增产效果^[8-10]。长庆苏里格气田开老井侧钻主要采用裸眼封隔器尾管回接方式完井。悬挂器回接对于常规的尾管完井是一项成熟技术^[11-12]。但对于老井侧钻小井眼尾管完井,由于井眼尺寸过小,悬挂器结构尺寸的不合理,老套管腐蚀及套管偏磨等因素,给尾管悬挂器的回接带来较大风险。苏里格气田老井侧钻水平井裸眼封隔器完井试验本轮开展了4口井,首批2口井为苏xx-2-22CH和苏xx-20-11CH,苏xx-20-11CH出现了悬挂器第一次

回接失败的情况。为了确保悬挂器回接的可靠性,本文认真分析了老套管侧钻的复杂井况和悬挂器回接的结构原理,找出了悬挂器回接失败的主要因素,对事故井采取了相应的补救措施,修整了回接筒喇叭口,改进了回接插管的引导结构,并优化了完井方案,在后批 2 口试验井的完井作业过程中取得了精准的改进效果,为老井侧钻小井眼钻完井技术的推广应用积累了实践经验。

1 技术分析

老井侧钻作业主要包括井筒准备、套管开窗、裸眼侧钻,完钻通井、送入下部完井管柱、回接上部完井管柱、压裂施工、排液测试等程序^[13-14]。这里只介绍与悬挂器回接相关的流程。

苏 xx-20-11CH 井 3 月 12 日从 2 894 m 开窗侧钻,完钻井深 4 174 m,水平段长 582 m,目的层位:石盒子。由于井壁坍塌,导致通井工具无法下入,注水泥填井。5 月 30 日从 3 188 m 二次侧钻,完钻井深 4 239 m,水平段长 600 m,目的层位:石盒子。

1.1 老井侧钻完井工艺

苏里格气田老井侧钻的完井工艺包括完井方式、管柱结构和作业流程。

1.1.1 完井方式

在 139.7 mm 老套管内侧钻 $\phi 118$ mm 的裸眼水平井。采用裸眼封隔器分段压裂工具完井。裸眼内下入 88.9 mm NU 油管,悬挂器坐挂在窗口以上的老套管内,悬挂器以上回接 88.9 mm EU 油管。

1.1.2 管柱结构

图 1 为送入下部完井管柱示意图,主要由浮鞋、坐封接头、压差滑套、投球滑套、封隔器、88.9 mm NU 油管、悬挂器、送入、88.9 mm 钻杆组成。

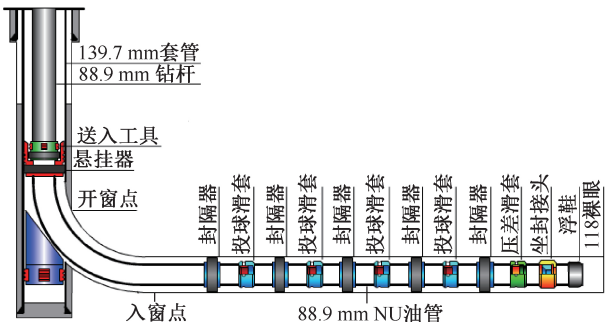


图 1 用钻杆送入下部完井管柱结构示意图
Fig.1 Structural diagram of lower completion string sent by drill pipe

图 2 为回接上部完井管柱示意图,主要由浮鞋、坐封接头、压差滑套、投球滑套、封隔器、88.9 mm NU

油管、悬挂器、回接插管、水力锚、反循环阀、88.9 mm EU 油管组成。

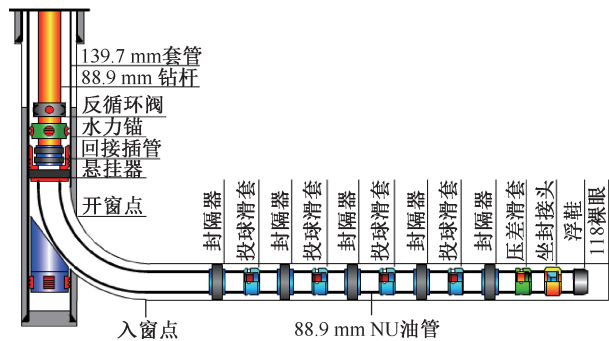


图 2 回接上部完井管柱结构示意图
Fig.2 Structural diagram of connecting back to upper completion string

1.1.3 作业流程

开窗侧钻→原钻具通井→单铤柱通井→套管刮壁→双铤柱通井→送入下部完井管柱→替完井液至悬挂器→坐封悬挂器和封隔器→悬挂器脱手→起出送入钻杆→下上部回接管柱→替出剩余泥浆→回插验封→装采气井口。

1.2 悬挂器回接存在的问题

苏 xx-20-11CH 在完井作业过程中,发现回接插头不能插入回接筒,施工过程如下:

(1)用钻杆将裸眼封隔器完井管柱送入至设计位置后,从钻杆内正打压坐封悬挂器和裸眼封隔器。从环空打压,悬挂器验封合格。

(2)从钻杆内正打压,悬挂器与送入工具脱手,起出送入钻杆。下回接管柱,正打压进行插入密封检验;套管自由返液,验封失败。

(3)多次不同角度转动回接管柱,回插均不成功。起出回接管柱进行检查。回接插管下端口错裂损坏,实际情况如图 3 所示。



图 3 回接管端部错口损伤实物图
Fig.3 Physical drawing of wrong mouth damage at the end of back intubation

苏 xx-20-11CH 采用的悬挂器是可旋转丢手悬挂器,回接筒喇叭口有 3 个用来传递扭矩的开口键槽^[15]。从回插管下端的损伤划痕可以看出,错口损伤应该这是由于回插管与回接筒不对中,回插管卡进了回接筒的开口键槽,被键槽剪切错裂而成。回插管的损伤划痕的纵向深度和内外划痕的周向距离与回接筒键槽的深度和宽带一致,从而验证了回插管卡进回接筒键槽这一推断。

从回插管的损伤变形情况来看,回接筒的上端口也会发生相应的变形。为了探究回接筒上端口的变形情况,进行了取印作业。

取印结果发现,取印锥面上有一个几乎整圈的压痕和一处尖锐压痕(图 4)。



图 4 取印锥取印结果照片

Fig.4 Impress result photo of picking cone

正常情况下,悬挂器回接筒内径为 $\phi 92.14$ mm,内倒角大端直径为 $\phi 95.58$ mm,取印锥面上几乎整圈的压痕直径为 $\phi 94$ mm,应该是回接筒倒角大端棱边压出的,受回接筒开口键槽尖角内翻变形的干扰,直径比 $\phi 95.58$ mm 稍小,取印锥面上尖锐压痕处的直径为 $\phi 89$ mm,应该是回接筒开口键槽尖角的内翻变形压出的。

2 悬挂器回接失败原因分析

悬挂器是裸眼封隔器分段压裂完井工具里最关键工具,悬挂器的回接程序是完井作业的一个重要环节^[16-17]。苏 xx-20-11CH 悬挂器回接失败,对其原因进行了分析。

2.1 回接筒与回插管不居中

回接插头能否顺利进入悬挂器回接筒取决于回接筒上端和回接插头下端的引导结构,以及二者的居中程度^[18]。

(1)悬挂器回接尺寸关系如图 5 所示,该悬挂器的回接筒外径 $\phi 104$ mm 偏小,与内径 124 mm 套管的环空间隙较大,为 20 mm,而悬挂器的外径在 110~114 mm 比较合理。如果回接插管有偏斜,很容易卡进回接筒与套管的环空内;回接插管的扶正体外径 $\phi 112$ mm 也偏小,而外径在 116~118 mm 比较合理,该扶正体外径还没有回接管柱的接箍外径大,容易引起回接插管下端斜偏。

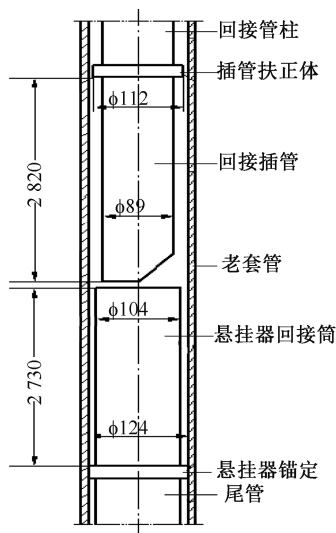


图 5 悬挂器回接尺寸关系图

Fig.5 Dimension diagram of hanger back connection

(2)回接筒的上端与悬挂器的锚定位置距离为 2.73 m,相对较远,容易导致回接筒上端偏斜;同样,回接插管的下端与回接插管扶正体的距离为 2.82 m,也相对较远,回接插管的下端也容易偏斜;加上回接插管为三段密封组合结构,装配累积偏差较大,更容易导致回接插管的下端偏斜。

(3)对于老井侧钻,套管腐蚀一般比较严重。侧钻时钻杆对套管内壁的磨损,可能引起套管内径增大和变形,影响回接筒和回接插管对套管的居中度。悬挂器坐挂在窗口上方 150 m 左右,根据套管侧钻偏磨理论和经验,此处套管偏磨尤其严重,更影响回接筒和回插管对套管的居中度。

2.2 回接引导失效

悬挂器回接失败最直接的原因是回插管进回接筒时不能可靠引导。那么,下面主要分析回接引导失效的原因。

2.2.1 井眼弯曲或井斜引起插偏

一种可能原因是,悬挂器处井眼狗腿度较大,或者井斜角较大,回接插管偏向套管一侧。回接插管的前端设计有半切 45° 的引导斜面,如果第一次不能插入回接筒,说明插管引导斜面的背侧偏向套

管壁,则将回接插管提起一点,旋转 180°,使引导斜面偏向套管壁,再次下放就可插入(图 6)。

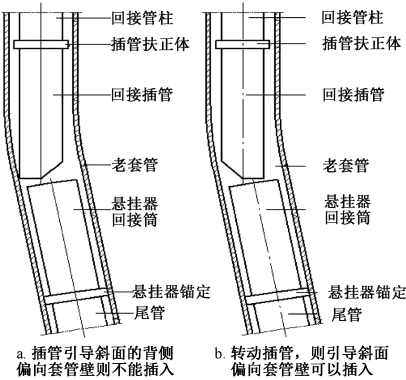


图 6 井眼弯曲引起的插偏情况示意图
Fig.6 schematic diagram of deviation caused by borehole bending

实际上,苏 xx-20-11CH 第一次回插失败后,将回接插管反复多次旋转不同角度,均不能插进回接筒。说明井眼弯曲或井斜引起回插失败的可能性很小。

2.2.2 回接插管偏斜

回接插管为三段密封组合结构,装配累积偏差较大,容易导致回接插管的下端偏斜;或者试插时下探载荷偏大,回接插管产生了永久性偏斜变形,而且是插管引导斜面的背侧偏向套管。这样,不管怎么转动回接插管,插管始终是引导斜面的背侧贴近套管内壁(图 7)。

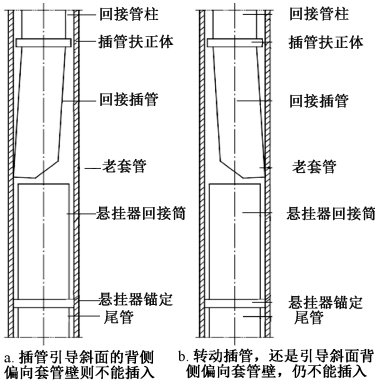


图 7 插管偏斜引起的插偏情况示意图
Fig.7 Schematic diagram of insertion deviation caused by deflection of intubation tube

实际情况正是如此,将回接插管反复多次旋转不同角度,均不能插进回接筒,仔细观察错口损伤的痕迹,至少有 2 次卡进了开口槽里,其余几次都碰在插管端部的错口处。因此,不管怎么转动回接管柱,插管始终是引导面背侧贴近套管内壁,插管偏斜才是插管回接引导失效的原因。

2.3 插管卡进回接筒

回接筒和回插管均有引导结构,即使不能引导出入,也不应该出现回插管卡进回接筒的现象。

2.3.1 工具结构存在风险

回接插管前端设计有斜切 45° 的引导斜面(图 8)。回接筒上端面设计有三个开口键槽(图 9)。这两种结构的结合就导致了插管卡进回接筒。

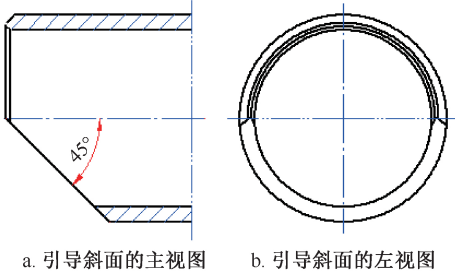


图 8 回接插管下端的引导斜面
Fig.8 Guiding slope at the lower end of return tube

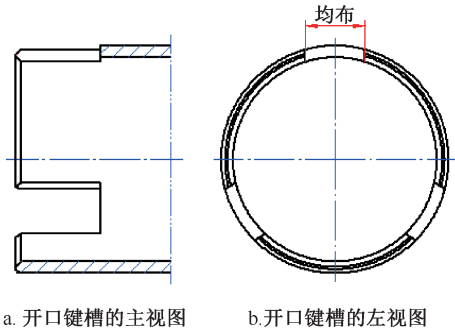


图 9 回接筒上端的开口键槽
Fig.9 Open keyway at the upper end of the return barrel

假定回接筒对套管绝对居中,如果回插管没有加工引导斜面,回插管不会卡进回接筒开口槽内,正是因为回插管斜切了半边引导斜面,回插管半个端面失去限位,以致可以顺利进入回接筒开口槽,加上回插管和回接筒端口内外均有倒角,使得回插管卡进回接筒变得更加容易(图 10)。

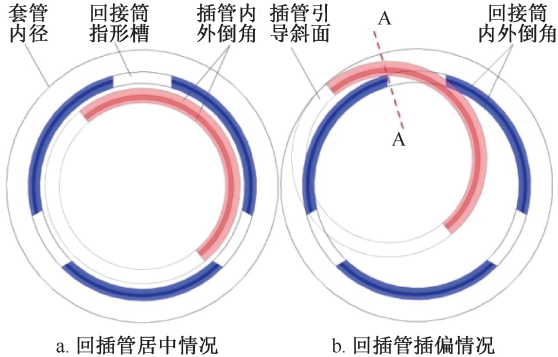


图 10 回插管与回接筒的位置关系
Fig.10 Position relationship between back intubation and back tube

上述是假定回接筒对套管绝对居中,实际上回接筒对套管也有一定的偏心。这样,回插管更容易卡进回接筒指形槽。

2.3.2 其它不利因素

插管卡进回接筒开口槽的原因除了结构设计缺陷之外,还有前述的导致插管和回接筒偏心的不利因素,以及回接筒外径偏小和老套管腐蚀磨损引起环形间隙过大等因素。

3 改进措施及应用效果

经过上述分析,制定了相应的改进措施,并取得了很好的应用效果。

3.1 改进措施

针对出现问题及原因分析,对工具进行了改进。

3.1.1 修磨回接筒上端口

根据回插管的损伤变形情况和回接筒上端口的取印结果,回接筒的上端口也发生了相应的变形,槽口尖角内翻。为了不影响二次回插,先对回接筒上端口进行了修磨,恢复回接筒上端口的引导性能。

3.1.2 改进回插管引导结构

回插管结构改进前后对比如图 11 所示,将回插管的内径适当减小,就可以加大回插管的引导尺寸(即减小外倒角的小端直径)。

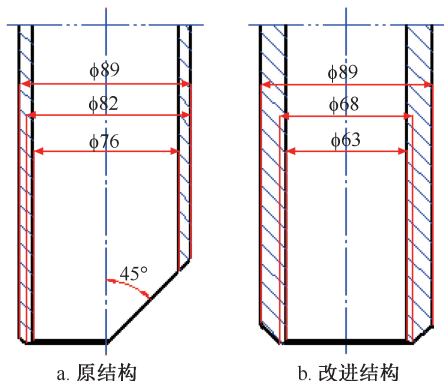


图 11 回插管结构改进对比

Fig.11 Comparison of structural improvement of intubation

因为压裂时通过的压裂球最大直径为 $\phi 60.3$ mm,所以回插管的内径可以减小至 $\phi 63$ mm(回插管原内径为 $\phi 76$ mm),内径减小了 13 mm,外倒角的小端直径就可以由 $\phi 82$ mm 减小至 $\phi 68$ mm,显著改善了回插管的引导性能。同时去掉引导斜面,避免回插管再次卡进回接筒的键槽。

3.1.3 其它改进

插管扶正体的外径加大至 $\phi 118$ mm,增强扶正效果;回接筒的外径增大至 $\phi 112$ mm,减小回接筒

与套管的环形间隙,并相应增大回接筒的内倒角尺寸;悬挂器坐挂位置避开套管磨损严重的部位。

3.2 应用效果

苏 xx-20-11CH 井经过修磨回接筒上端口和改进回插管结构,二次回接顺利插入。根据前面的原因分析,对相应的工具进行了结构改进,在后续 2 口试验井的完井过程中,取得了精准的改进效果,在同样的井况下,悬挂器均实现了一次性回接成功。其中,桃 xx-7-24CH 井 7 月 21 日从 2 798 m 开窗侧钻,完钻井深 4 200 m,水平段长 700 m,目的层位:石盒子,下入 4 段裸眼封隔器完井工具,悬挂器回接一次成功。苏 xx-1-3CH 井 9 月 22 日从 2 835 m 开窗侧钻,完钻井深 4 049 m,水平段长 600 m,目的层位:石盒子,下入 5 段裸眼封隔器完井工具,悬挂器回接一次成功。

4 结论

(1)通过悬挂器回接引导结构的分析,暴露了该悬挂器结构设计的矛盾,对于上端口带开口键槽的回接筒,回插管前端不宜设计引导斜面;或者说,如果回插管设计了引导斜面,回接筒上端口就不能设计开口键槽。二者不宜同时存在。

(2)悬挂器的尺寸参数和结构设计必须与悬挂器坐封处的套管尺寸相匹配,要保证回接筒和回插管的居中性,并充分考虑侧钻作业导致的套管磨损变形。

(3)本研究内容对老井侧钻悬挂器的选项和悬挂器尺寸参数的设计具有较好的指导意义,为油气田的产能挖潜和高效开发提供了技术支撑。

(4)通过本文的研究发现,在进行该悬挂器完井作业时,完井工程师对目标井筒的复杂情况认识不够充分,风险识别经验不足,建议作业前加强工艺安全分析和风险识别培训。

致谢:感谢“长庆小井眼侧钻完井与改造提产技术集成研究与试验”项目组成员的通力合作;感谢相关领导的大力支持;感谢相关同志对本文的指导。

参考文献

- [1] 吴占民,陈鹏飞,龚明,等. 渤海某油田侧钻井侧钻方案优选[J]. 海洋石油,2018,38(2):87-91.
WU Zhanmin, CHEN Pengfei, GONG Ming, et al. Scheme optimization for sidetracking in an oil field in Bohai [J]. Offshore Oil, 2018,38(2):87-91.
- [2] 赵少伟,范白涛,岳文凯,等. 海上高效侧钻小井眼水平井钻完井技术研究及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(3):13-18.
ZHAO Shaowei, FAN Baitao, YUE Wenkai, et al. Research and application of offshore drilling and completion

- technology of efficient sidetracking slim-hole horizontal well [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(3): 13-18.
- [3] 沈园园, 朱宽亮, 王在明, 等. 南堡潜山油气藏小井眼开窗侧钻技术[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(5): 573-576. SHEN Yuanyuan, ZHU Kuanliang, WANG Zaiming, et al. Window side-tracking in slim hole well of Nanpu buried-hill hydrocarbon reservoirs [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38(5): 573-576.
- [4] 陈田勇, 周承富, 吕选鹏, 等. 冀东南堡油田开窗侧钻完井难点及技术对策[J]. 油气井测试, 2010, 19(5): 62-63, 65. CHEN Tianyong, ZHOU Chengfu, LYU Xuanpeng, et al. Completion difficulty of sidetracking in Jidong Nanpu Oilfield and its technical countermeasure [J]. Well Testing, 2010, 19(5): 62-63, 65.
- [5] 万长明. 张海 21-21L 井开窗侧钻工艺技术的应用[J]. 石化技术, 2016, 23(10): 65, 67. WAN Changming. Application of side drilling and window opening process in Zhanghai 21-21L well [J]. Petrochemical Industry Technology, 2016, 23(10): 65, 67.
- [6] 韦孝忠. 浅谈苏里格气田老井开窗侧钻水平井技术[J]. 钻采工艺, 2016, 39(1): 23-25. WEI Xiaozhong. Brief talk on sidetrack horizontal well technology in Sulige gas field old wells [J]. Drilling & Production Technology, 2016, 39(1): 23-25.
- [7] 李强. 苏里格区块小井眼开窗侧钻水平井钻井技术[J]. 中国石油石化, 2016(21): 75-76. LI Qiang. Drilling technology of slim-hole sidetracking horizontal well in Sulige blocks [J]. China Petrochem, 2016(21): 75-76.
- [8] 张金武, 王国勇, 何凯, 等. 苏里格气田老井侧钻水平井开发技术实践与认识[J]. 石油勘探与开发, 2019, 46(2): 370-377. ZHANG Jinwu, WANG Guoyong, HE Kai, et al. Practice and understanding of sidetracking horizontal drilling in old wells in Sulige gas field [J]. Petroleum Exploration and Development, 2019, 46(2): 370-377.
- [9] 王勇刚, 陈岑, 张年念, 等. 苏 3X-1 区块侧钻水平井优选方法研究[J]. 四川地质学报, 2019, 39(2): 334-338. WANG Yonggang, CHEN Cen, ZHANG Niannian, et al. Research on optimization of sidetracking horizontal well in the Su3X-1 block [J]. Acta Geologica Sichuan, 2019, 39(2): 334-338.
- [10] 孙宁. 侧钻水平井应成为老区油气低产井改造增产的重要技术政策[J]. 石油科技论坛, 2018, 37(2): 28-35. SUN Ning. Sidetracking horizontal well to become important technological scheme for stimulation of low-yield oil and gas Wells in Old Areas [J]. Oil Forum, 2018, 37(2): 28-35.
- [11] 单锋, 王甲昌, 徐杨, 等. 碳酸盐岩超深水平井完井送入管柱丢手工艺优化[J]. 油气井测试, 2017, 26(1): 58-60. SHAN Feng, WANG Jiachang, XU Yang, et al. Optimization of releasing process with well completion pipe string in ultra-deep horizontal well of carbonate reservoirs [J]. Well Testing, 2017, 26(1): 58-60.
- [12] 叶周明, 刘小刚, 马英文, 等. 尾管悬挂器在三维定向井中的应用分析[J]. 石油矿场机械, 2017, 46(3): 76-79. YE Zhouming, LIU Xiaogang, MA Yingwen, et al. Application of liner hanger sit-hanging in three-dimensional directional well [J]. Oil Field Equipment, 2017, 46(3): 76-79.
- [13] 杜昌雷. 老井侧钻工艺现状及事故预防[J]. 化工设计通讯, 2017, 43(9): 236, 248. DU Changlei. Present situation and accident prevention of old drilling technology [J]. Chemical Engineering Design Communications, 2017, 43(9): 236, 248.
- [14] 刘见通, 陈蓓蓓. 克拉美丽气田小井眼套管开窗侧钻及裸眼分段压裂技术实践[J]. 石化技术, 2015, 22(5): 237-238. LIU Jiantong, CHEN Beibei. Practice of slim hole side-tracking and open hole staged fracturing technology in Kelameili gas field [J]. Petrochemical Industry Technology, 2015, 22(5): 237-238.
- [15] 汤朝红, 熊和贵, 郭锐锋, 等. 插管式尾管悬挂器新型丢手技术的开发及应用[J]. 江汉石油职工大学学报, 2015, 28(5): 72-74. TANG Chaohong, XIONG Hegui, GUO Ruifeng, et al. Development and application of new releasing technology of intubation-type drilling liner hanger [J]. Journal of Jiangnan Petroleum University of Staff and Workers, 2015, 28(5): 72-74.
- [16] 郑殿富. 尾管悬挂器结构优选与事故预防及处理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(1): 27-30. ZHENG Dianfu. Structure optimization for liner hanger with accident prevention and treatment [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(1): 27-30.
- [17] 郭朝辉. 分段压裂用尾管悬挂器与回接装置关键技术[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(2): 44-49. GUO Zhaohui. Key technology of drilling liner hanger and tieback device in staged fracturing [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(2): 44-49.
- [18] 阮臣良, 李富平, 李风雷, 等. 尾管悬挂器超高压封隔及回接技术应用研究[J]. 长江大学学报(自科版), 2016, 13(19): 42-45. RUAN Chenliang, LI Fuping, LI Fenglei, et al. Application of ultra-high pressure ZXP packer and tie-back technology [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2016, 13(19): 42-45.

编辑 王 军

第一作者简介:张承武,男,1972 年出生,硕士,高级工程师,2005 年毕业于陕西科技大学机械制造及其自动化专业,主要从事试油完井和井下工具方面的研究设计工作。电话:029-86592659, 13609293518; Email: sxzcw@126.com。通信地址:陕西省西安市未央区兴隆园长庆科技楼 1007 室,邮政编码:710018。