

# XS14-P2 水平井落井电缆打捞技术

焦金龙

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

通讯作者:Email:jiaojinlong@petrochina.com.cn

项目支持:中国石油大庆油田有限责任公司科技项目“致密油水平井清洁配套工艺技术研究”(110017333001032)

引用:焦金龙. XS14-P2 水平井落井电缆打捞技术[J]. 油气井测试, 2021, 30(2): 34-38.

Cite: JIAO Jinlong. Cable fishing technology in horizontal well XS14-P2 [J]. Well Testing, 2021, 30(2): 34-38.

**摘要** XS14-P2 水平井在电缆泵送射孔施工过程中,工具串遇卡且电缆拔脱落井。为打捞落井电缆及遇卡工具串,分析了水平井打捞落物的技术难点,结合该井基本情况和事故经过,在水平井打捞工具不完善的情况下,根据井况设计、制作打捞工具;设计磨铣反循环打捞篮,优化工具结构尺寸和施工参数。在前6次打捞效果甚微的情况下,采用“磨铣反循环打捞篮+液压扶正器+钻杆”的管柱组合形式打捞出全部落井电缆。该井落井电缆的成功打捞对后续水平井处理落井电缆事故提供了宝贵经验。

**关键词** 水平井;遇卡;电缆打捞;磨铣;反循环;打捞篮;事故处理

**中图分类号**:TE27 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.02.007

## Cable fishing technology in horizontal well XS14-P2

JIAO Jinlong

Testing Branch of PetroChina Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang 163412, China

**Abstract:** In cable pumping perforation in horizontal well XS14-P2, the tool string is stuck, and the cable is pulled out and fell into the well. In order to fish the cable and tool string, this paper analyzes the technical difficulties of horizontal well fishing. Combined with the basic situation of the well and the accident process, in the case of imperfect horizontal well fishing tools, the fishing tools are designed and manufactured according to the well conditions; in addition, the milling reverse circulation fishing basket is designed, and the tool structure size and construction parameters are optimized. In the case of poor fishing results in the first six times, the string combination of “milling reverse circulation fishing basket + hydraulic centralizer + drill pipe” was used to fish out all the down hole cables. The successful for cable fishing provides valuable experience for the subsequent horizontal wells to deal with the cable accident.

**Keywords:** horizontal well; stuck; cable fishing; milling; reverse circulation; fishing basket; accident handling

水平井是目前油田有效增产的关键技术,也是一种比较高效开发的重要技术。随着钻井技术的不断进步,以及油气田进入开采后期,水平井数量也在不断的增多,同时带来的问题也日趋明显。由于工具、操作,以及地层等多方面原因,井下事故时常发生<sup>[1]</sup>。水平井井下落物较直井而言,打捞难度更大,处理起来更复杂<sup>[2-3]</sup>。水平井事故处理存在的难点在于以下几点:(1)井眼轨迹复杂,造斜段和水平段的存在,使得管柱难以传递扭矩和钻压,同时管柱摩阻较大,倒扣作业时难以把握中和点;(2)压裂过程中反吐的压裂砂容易在水平段形成砂床,作业时容易卡管柱或者工具串;(3)处理井内落物时,鱼顶修整、引入较为困难,一些可退工具难以

正常工作,工具极易被卡;(4)水平段的磨铣、套铣等作业时对套管有一定损伤,需要考虑打捞工具扶正问题;(5)压井保护液设计选择要合理,不仅要携砂能力强,而且还要减少漏失保护油气层<sup>[4-7]</sup>。

在水平井打捞工具配备不完善的情况下,水平井的事故处理主要是根据井况加工一些特殊的工具,以满足实际需求,有时甚至沿用直井的打捞工艺技术及打捞工具<sup>[8-10]</sup>。XS14-P2井是一口水平气井,在压裂过程中,电缆泵送射孔枪和可溶桥塞在水平段遇卡<sup>[11-14]</sup>,电缆拔脱后未在薄弱点处断开,部分电缆、射孔枪及可溶桥塞落在水平段。该井的成功处理对后续水平井处理落井电缆事故提供了经验和技术支持。

## 1 基本情况

XS14-P2 井是黑龙江某构造部署的一口水平井开发井。该井实际完钻井深 4 784.0 m, 水平段长度 749.0 m, 完钻后模拟完井工具通井施工时, 在 3 800.0~3 910.0 m 井段多次遇阻遇卡。采用原钻采一体化完井工程方案中设计的裸眼滑套分段完井工艺施工风险大, 变更为套管固井完井工艺, 并采用一次性长封固井方式, 固井水泥返至井口; 压裂工艺变更为可溶桥塞分段射孔压裂工艺。

XS14-P2 井井身结构设计为  $\Phi 339.7$  mm 表层套管、 $\Phi 244.5$  mm 技术套管、 $\Phi 139.7$  mm 生产套管。水平段、造斜段和直井段的生产套管采用一次性固井方式完成固井, 固井水泥返至井口。该井采用带压电缆桥塞-分簇射孔联坐, 封层、分簇射孔和大规模套管体积压裂工艺, 共分 17 段。此井采用 YD-89 枪, 相位角  $60^\circ$ , 16 孔/m。

## 2 事故经过

在进行第四段射孔施工时, 由于地质条件影响, 无法达到预期压裂效果, 决定酸化地层后直接进行第四段施工。射孔工具串如图 1 所示, 从上至下为: CCL 仪器+3.0 m 射孔枪+2.0 m 射孔枪+可溶桥塞。本段可溶桥塞深度为 4 458.0 m, 射孔深度为 4 445.50~4 448.50 m, 4 449.13~4 451.13 m。

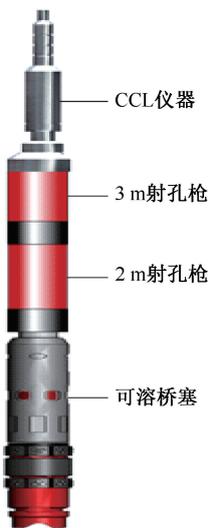


图 1 射孔工具串示意图

Fig. 1 Diagram of perforating tool string

射孔枪泵送到预定射孔位置, 推塞过程最高排量为  $1.6 \text{ m}^3/\text{min}$ , 上提定位点火。此时张力为

5.7 kN, 桥塞点火正常, 等待 5 min 上提电缆 3.81 m, 此时电缆张力为 8.2 kN。通过监听判断射孔枪起爆正常, 点火前后张力均为 8.2 kN, 均无异常现象。在点火完成后, 上提电缆时张力逐渐增长, 疑似管串遇卡。

通过查找原因, 排除电缆在阻流管处遇卡后, 断定枪串在井内遇卡。现场采用缓慢上提、下放电缆的方式进行解卡处理, 最高张力涨至 12.0 kN 时, 无解卡现象。期间通过压裂车从小排量  $0.4 \text{ m}^3/\text{min}$  开始泵送, 逐步加大排量至  $1.35 \text{ m}^3/\text{min}$ , 井内压力 54 MPa, 工具串仍无法解卡。

继续使用压裂车从小排量  $0.6 \text{ m}^3/\text{min}$  逐步加大排量至  $3.0 \text{ m}^3/\text{min}$  泵送 5 min, 观察张力变化, 无明显解卡显示, 停止泵送。最后决定采用拉脱电缆弱点方法进行解卡, 拉伸张力从 10.0 kN 逐渐增至 32.0 kN 时 (此时电缆张力已将电缆自重清零处理), 仍然无法解卡。

采用泵入  $2.4 \text{ m}^3$  酸液, 进行酸化溶解处理 2 h 后, 现场进行解卡处理。起电缆张力至 23.0 kN 时, 电缆解卡。通过测曲线和张力的显示, 判断工具串还在井内, 上提起出电缆后发现, 井内剩余 550.0 m 左右电缆和射孔工具串。初期判断井内落鱼位置并斜角度范围为  $86.0^\circ \sim 91.4^\circ$ , 属于水平井段, 初期判断落物情况如图 2 所示。

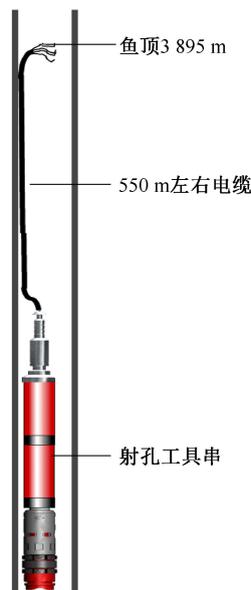


图 2 初期判断井内落物示意图

Fig. 2 Preliminary judgment of falling objects in the well

## 3 方案设计及打捞经过

本井由于在压裂施工过程中出现的电缆落井

事故,井底压力高,首先需采用油嘴控制放喷,降低井内压力,并注意观察井口是否产气,若产气则讨论压井方案,压井后再实打捞作业。

### 3.1 打捞方案设计

根据初步判断落井电缆情况及保护套管的原则,设计采用液压扶正器+内钩捞矛打捞落井电缆<sup>[15-18]</sup>。内钩捞矛接头处设计有隔环,避免管柱下深过多,落井电缆卡管柱。根据打捞出电缆情况,采用液压扶正器+套铣筒,或者仪器打捞筒打捞剩余电缆及工具串。如果电缆余长超过 10.0 m,继续下入三齿捞钩进行打捞,打捞方法同上。如果电缆余长小于 10.0 m,下入套铣筒,进行打捞。如果井内没有电缆,则下入  $\Phi 73$  mm 仪器打捞筒进行打捞,直至将井内落物全部捞出。若无法打捞剩余工具串,则将工具串推至人工井底。打捞出全部落物后,下通井管柱通井至施工井段。

### 3.2 打捞经过

根据打捞方案,进行了 7 次打捞作业,完成了落井电缆的打捞。

#### 3.2.1 第 1 次打捞

第 1 次打捞管柱组合形式:三齿内钩打捞工具+液压扶正器+钻杆。管柱在深度 3 865.0 m 遇阻,反复尝试上下活动管柱无效后,决定连接动力水龙头,边转动管柱边开泵循环,管柱通过遇阻位置。三齿内钩打捞工具如图 3 所示。继续下钻杆两根,在此过程中有三次遇阻情况发生,通过上下活动管柱通过遇阻点,增加钻杆至第三根(入井深度 4.8 m)时再次遇阻,指重从 420.0 kN 降至 350.0 kN,遇阻深度约为 3 891.0 m,使用动力水龙头转动管柱后决定起管柱。



图 3 三齿内钩打捞工具

Fig. 3 Fishing tool with three teeth internal hook

起出第一趟打捞管柱后,打捞出电缆约 0.5 m,分析可能在起管柱过程中发生电缆脱落现象,决定再次下捞矛进行打捞。

#### 3.2.2 第 2 次打捞

第 2 次打捞管柱组合形式:三齿内钩打捞工具+液压扶正器+钻杆。下钻杆至遇阻位置,指重从 430.0 kN 降至 400.0 kN 左右,旋转管柱后准备起钻杆。管柱起出井口,打捞出电缆约 0.2 m,电缆外层铠装电缆完全破损。

#### 3.2.3 第 3 次打捞

第 3 次打捞管柱组合形式:加长三齿内钩打捞工具+液压扶正器+钻杆。重新加工打捞工具,将捞矛长度加长至 1.3 m,增加倒钩数量,下钻杆至遇阻位置,遇阻深度约为 3 893.0 m,指重从 430.0 kN 降至 390.0 kN 左右,旋转管柱后准备起钻杆,没有任何捞获。

#### 3.2.4 第 4 次打捞

第 4 次打捞管柱组合形式:弹簧式外钩捞筒+液压扶正器+钻杆。弹簧式外钩捞筒可将电缆收纳至桶内,内捞钩将其缠住,弹簧式外钩捞筒原理如图 4 所示。当下入第 414 根钻杆时遇阻,遇阻深度 3 904.5 m,遇阻吨位 12.0 kN。正转钻杆 10 圈并缓慢下压,吨位由 460.0 kN 降至 390.0 kN,起出管柱发现捞筒内有两块胶皮及部分碎屑颗粒。

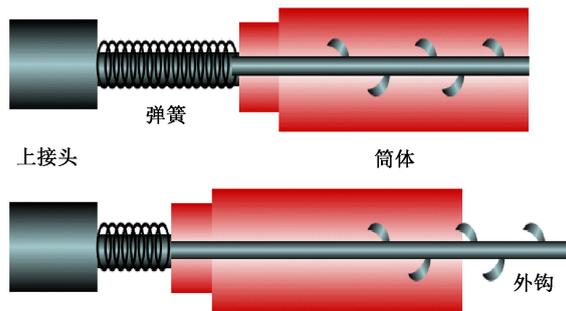


图 4 弹簧式外钩捞筒原理示意图

Fig. 4 Schematic diagram of spring type external hook bucket

#### 3.2.5 第 5 次打捞

第 5 次打捞管柱组合形式:内钩捞筒+液压扶正器+钻杆。设计制作了内钩捞筒,如图 5 所示。



图 5 内钩捞筒示意图

Fig. 5 Schematic diagram of inner hook bucket structure

将内钩捞筒下至遇阻位置(3 904.4 m)后,连接动力水龙头,将吨位压至 370 kN 左右,反复起下、旋转管柱,管柱通过遇阻点,再加深三根钻杆

后(3 941.97 m),将吨位压至400 kN左右,起下、旋转管柱多次后,起出管柱,没有捞获。

### 3.2.6 第6次打捞

第6次打捞管柱组合形式:外钩+液压扶正器+钻杆。下底部带外钩的打捞管柱,下入 $\Phi 73$  mm正扣钻杆第418根时遇阻,遇阻深度3 942.53 m,遇阻吨位12 kN。正转钻杆10圈并缓慢下压,吨位由460 kN降至350 kN,遇阻深度未变,起管。起出后发现,打捞出电缆缆芯0.23 m。

### 3.2.7 第7次打捞

第7次打捞管柱组合形式:磨铣反循环打捞篮+液压扶正器+钻杆。下底部带磨铣反循环打捞篮的打捞管柱,累积下入第418根时遇阻,遇阻深度3 942.53 m,遇阻吨位12.0 kN。正循环冲洗遇阻位置,用相对密度为1.30的压井液 $30.0\text{ m}^3$ 正循环洗井,撬装泵平均泵压14.0 MPa(1.5 h),排量 $0.38\text{ m}^3/\text{min}$ ,管柱深3 942.53 m,洗至出、进口液相对密度一致。期间使用动力水龙头旋转并下探管柱2.0 m,管柱悬重由460 kN降至340 kN。起出管柱发现,打捞篮内有10余段电缆。经过丈量最长0.25 m,最短0.13 m,累计长度约2.0 m。经查看,电缆只剩内铠和缆芯。

通过第7次打捞结果分析,井内电缆已破损严重,非完整的整根电缆。因此,继续采用设计的磨铣反循环打捞篮进行打捞作业,并进一步改进了磨铣反循环打捞篮,加长筒体尺寸,同时优化了施工参数(泵压、排量、动力水龙头扭矩及下放管柱速度等),尽可能一趟管柱多打捞破损电缆。

采用设计的磨铣反循环捞篮打捞出剩余全部破碎电缆外铠及缆芯。工具串未完全卡死,将工具串推至人工井底后,使用强磁反循环打捞篮清理井筒内剩余电缆杂物,最后下通井管柱通井至人工井底。

## 4 过程分析

在整个打捞过程中,初步分析电缆是完整的。所以,采用的打捞工具为捞钩。考虑到电缆落在水平段内,因此前几次均采用内钩工具进行打捞,收获不大,效果不明显,仅打捞出部分碎断的电缆。后采用弹簧式外钩捞筒、内钩捞筒也是没有明显收获。然后,尝试采用外钩打捞落井电缆也收效甚微。根据前期处理解卡过程和打捞结果分析,井内电缆已经腐蚀、破损严重,无法按整根电缆进行打

捞。因此,设计了磨铣反循环打捞篮(图6)。



图6 磨铣反循环打捞篮设计图

Fig. 6 Design of milling reverse circulation fishing basket

设计的磨铣反循环打捞篮其结构参数为 $\Phi 116\text{ mm}\times 600\text{ mm}$ ,内径 $\Phi 103\text{ mm}$ ,接头扣型为210钻杆扣。该工具主要由三部分组成:(1)底部锯齿状引鞋,可进行小吨位遇阻磨铣作业;(2)引鞋上端为捞篮,防止落物脱落;(3)捞篮内部焊有捞钩,用于缠绕较长的电缆和存储打捞落物。

该工具可根据水平井落井电缆等绳类落物长度,加长或缩短筒体长度,从而减少打捞次数。

## 5 结论

(1)在水平井打捞工具不完善的情况下,需要根据井况设计、制作打捞工具;在落井电缆破损比较严重的情况下,传统及特制的内、外钩打捞工具均无法顺利打出电缆。

(2)根据前6次处理解卡过程和打捞结果分析,在井内电缆腐蚀、破损严重时,无法按整根电缆进行打捞。通过设计磨铣反循环打捞篮,优化工具结构尺寸和施工参数,可成功打出破损严重的电缆。

(3)磨铣反循环打捞篮的设计为后续遇到类似事故提供一定的工具支持,也为水平井电缆打捞事故处理提供了技术储备。

致谢:感谢大庆油田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试油大队工程技术办给予的相关指导。

### 参考文献

- [1] 翁力强. 页岩气井钢丝作业遇阻原因分析及对策[J]. 油气井测试, 2021, 30(1): 31-35.  
WENG Liqiang. Stuck causes and measures to improve wireline operation in shale gas wells [J]. Well Testing, 2021, 30(1): 31-35.
- [2] 聂小康, 席博. 磨铣打捞器在鲁迈拉油田复杂井的研究

- 与应用[J]. 油气井测试, 2017, 26(4): 52-53, 57.
- NIE Xiaokang, XI Bo. Research and application of milling with fishing tool in complex well of Rumaila Oilfield [J]. Well Testing, 2017, 26(4): 52-53, 57.
- [3] 高硕, 刘萍, 于波涛, 等. 新型强磁打捞器设计及应用[J]. 油气井测试, 2016, 25(3): 62-63.
- GAO Shuo, LIU Ping, YU Botao, et al. Design and application of the new type of strong magnetic extractor [J]. Well Testing, 2016, 25(3): 62-63.
- [4] 曾祥山, 李军, 王义国. 水平井打捞技术[J]. 油气井测试, 2008, 17(6): 52-53.
- ZENG Xiangshan, LI Jun, WANG Yiguo. Fishing technique in horizontal well [J]. Well Testing, 2008, 17(6): 52-53.
- [5] 刘志尧, 陈万林, 李还向, 等. 水平井落井钻具打捞技术探讨[J]. 油气井测试, 2015, 24(2): 72-74.
- LIU Zhiyao, CHEN Wanlin, LI Huanxiang, et al. Investigation to fishing technology of falling tool in horizontal well [J]. Well Testing, 2015, 24(2): 72-74.
- [6] 胡锡辉, 李维, 徐璧华, 等. 水平井带扶正器套管接触方式及其对摩阻影响[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2020, 42(2): 158-165.
- HU Xihui, LI Wei, XU Bihua, et al. Contact forms of casing with centralizer and its effect on friction [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2020, 42(2): 158-165.
- [7] 范玉光, 田中兰, 明瑞卿, 等. 国内外水平井井眼清洁监测技术现状及发展建议[J]. 石油机械, 2020, 48(3): 1-9.
- FAN Yuguang, TIAN Zhonglan, MING Ruiqing, et al. Research on horizontal wellbore cleaning monitoring technologies [J]. China Petroleum Machinery, 2020, 48(3): 1-9.
- [8] 付建华, 骆进, 李朝阳. 国内水平井修井工艺技术现状[J]. 钻采工艺, 2008, 31(6): 91-93.
- FU Jianhua, LUO Jin, LI Zhaoyang. Workover operation technology for horizontal wells in China [J]. Drilling & Production Technology, 2008, 31(6): 91-93.
- [9] 刘伟, 王强, 李丽, 等. 常规打捞工具在水平井中的应用[J]. 油气井测试, 2008, 17(2): 54-55.
- LIU Wei, WANG Qiang, LI Li, et al. Application of conventional fishing tools in horizontal well [J]. Well Testing, 2008, 17(2): 54-55.
- [10] 刘伟, 李丽. 复合修井思路在大修井中的应用[J]. 油气井测试, 2007, 16(2): 54-55.
- LIU Wei, LI Li. Application of combination work over thought in overhaul well [J]. Well Testing, 2007, 16(2): 54-55.
- [11] 何福耀, 黄召, 雷磊. 打捞落井测井仪器和电缆作业实践[J]. 海洋石油, 2018, 38(2): 77-82.
- HE Fuyao, HUANG Zhao, LEI Lei. Practice of fishing the wireline logging equipment and wireline [J]. Offshore Oil, 2018, 38(2): 77-82.
- [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] 徐培刚, 程启文, 陆应辉, 等. 带压井电缆输送管串遇卡分析与处理[J]. 石油矿场机械, 2016, 45(12): 51-54.
- XU Peigang, CHENG Qiwen, LU Yinghui, et al. Analysis and solution for stuck working string conveyed by cable in high-pressure well [J]. Oil Field Equipment, 2016, 45(12): 51-54.
- [14] 石张泽, 韩福广, 秦立民, 等. 碎片化电缆护罩打捞技术在渤海油田的应用[J]. 石化技术, 2020, 27(5): 76, 45.
- SHI Zhangze, HAN Fuguang, QIN Limin, et al. Application of fragmentation cable shield fishing technology in Bonan Oilfield [J]. Petrochemical Industry Technology, 2020, 27(5): 76, 45.
- [15] ZHANG F, FILIPPOV A, MISKA S, et al. Hole cleaning and ECD management for drilling ultra-long-reach laterals [C]. SPE 183785, 2017.
- [16] ONEY E. Improved ECD prediction and management in horizontal and extended reach wells with eccentric drilling [C]. SPE 178785, 2016.
- [17] 王立新, 赵自强. 打捞作业中双电缆堆积的研究[J]. 石化技术, 2017, 24(11): 89, 156.
- WANG Lixin, ZHAO Ziqiang. Double cable accumulation in fishing operation [J]. Petrochemical Industry Technology, 2017, 24(11): 89, 156.
- [18] 熊伟, 赵强, 郑华, 等. 电缆穿心打捞快速接头置换短节的研制及应用[J]. 石油管材与仪器, 2017, 3(1): 64-67.
- XIONG Wei, ZHAO Qiang, ZHENG Hua, et al. Study and application of quick joint replacing sub in wireline cut-and-thread fishing [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2017, 3(1): 64-67.

编辑 刘振庆

第一作者简介: 焦金龙, 男, 1987年出生, 硕士研究生, 工程师, 2014年毕业于东北石油大学机械设计及理论专业, 现从事油气测试技术、事故处理及井控管理工作。电话: 0459-5691644; Email: jiaojinlong@petrochina.com.cn。通信地址: 黑龙江省大庆市让胡路区乘南十八街试油试采分公司, 邮政编码: 163412。