

页岩气水平井连续油管带压打捞长电缆技术

王伟佳

(中石化江汉石油工程有限公司页岩气开采技术服务公司,湖北武汉 430074)

摘要:为解决页岩气水平井泵送桥塞射孔联作时长电缆落井不易打捞的问题,研究了连续油管带压打捞长电缆技术。采用CCL磁性定位器探测鱼顶位置,然后下入“低速螺杆+外钩”的井下工具组合打捞落鱼,利用低速螺杆转动外钩捕获电缆,落鱼起至井口后利用电缆防喷器夹持电缆,打开井口防喷管,分段起出电缆。涪陵地区某井利用该技术成功打捞出了81.00 m长的电缆及通井工具串,取得了良好的现场应用效果。连续油管带压打捞长电缆技术解决了电缆在水平井井下位置不易精准定位、连续油管不能旋转和长电缆无法完全起至防喷管内等难点,为页岩气水平井打捞长电缆提供了一种不污染地层、安全可靠和灵活高效的方法。

关键词:页岩气;水平井;带压作业;打捞;电缆;连续油管

中图分类号:TE358⁺.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0890(2018)03-0109-05

The Technology of Long Cable Snubbing Fishing through Coiled Tubing in Horizontal Shale Gas Wells

WANG Weijia

(Shale Gas Development Technological Service Company, Sinopec Jianghan Oilfield Service Corporation, Wuhan, Hubei, 430074, China)

Abstract: In order to solve the problem of fishing the long cable lost in shale gas horizontal wells, a method of coiled tubing snubbing fishing was developed. In this method, the first step is to use the CCL to detect the depth of the fish top. Later, the RIH-downhole tool combination of low-speed screw motor works with the external grapple to recover the fish. The low speed screw motor rotates to drive the external grapple to catch the cable. After pulling out of the hole (POOH) and transporting the fish to the wellhead, a cable blowout preventer is used to seal the cable. Then the process is to open the wellhead preventer to pull the cable out of the hole in stages. This method resolves many difficulties, including the downhole precise positioning of cable, coiled tubing rotation, and long cable pulled up into the lubricator. This technology once was used to recover 81.00 m long cable+drifting string successfully in a well of the Fuling Area, and good results were attained by the field application. The success of long cable snubbing fishing through coiled tubing has provided a safe, reliable, flexible and efficient method for fishing of long cable in shale gas horizontal wells.

Key words: shale gas; horizontal well; operation under pressure; fishing; cable; coiled tubing

近年来,国内页岩气勘探开发快速发展,页岩气水平井分段压裂多采用泵送桥塞射孔联作方式,利用电缆下入“射孔枪+桥塞”联作管串,过造斜段后泵入液体将工具串推送到位,电点火坐封桥塞射孔,起出电缆和射孔枪,进行光套管压裂^[1-3]。该工艺现场适用性好,应用广泛。施工过程中,管串移动时电缆需保持一定张力,但泵速过大、通过砂桥和管柱遇

卡上提等情况会导致电缆张力增大,易使电缆从中间断开,造成工具串落井^[4-5]。

收稿日期:2017-11-07;改回日期:2018-03-21。

作者简介:王伟佳(1983—),男,河南镇平人,2006年毕业于武汉科技大学信息与计算科学专业,2011获西南石油大学石油工程测井专业硕士学位,工程师,主要从事试油完井、连续油管作业方面的研究。E-mail:weijia07@163.com。

目前,国内页岩气水平井发生长电缆工具串落井问题时,一般采用先压井再打捞的作业方式,但施工周期长,成本高,易对储层造成伤害。笔者针对水平井电缆落鱼的特点,提出了连续油管带压打捞长电缆技术,使用 CCL 磁性定位器精确判断鱼顶位置,采用“低速螺杆+专用打捞工具”组合提高电缆的捞获率,井口采用“双电缆防喷器+连续油管防喷器”的防喷器组合,保障了分段起出电缆时的井口安全,现场应用取得了较好的效果。

1 长电缆落鱼打捞难点

连续油管作业技术具有不需压井、不污染地层、操作简单、作业周期短、成本低、可靠性高和可在水平段有效传递轴向力等优点,但打捞长电缆时也具有一定的局限性^[6-7],主要表现在以下几个方面:

1) 落鱼在井下的位置不易精准定位,打捞工具下不到位会出现捞空,下过电缆落鱼太多则容易造成卡钻或其他井下故障^[8]。

2) 断落电缆在井筒中的状态无法确定,井下电缆可能呈弯曲、打扭或变形等状态,同时可能缠绕在落井工具串上,只有准确判断井下电缆状态,才能制定针对性的打捞方案^[9]。

3) 连续油管不能旋转管柱,电缆进入捞筒或捞矛存在一定难度^[10]。

4) 由于井口防喷管限制,抓获落鱼的长度受限,成功打捞后的落鱼需完全起至防喷管内才能关闭井口闸门,超长电缆无法完全起至防喷管内^[11]。

2 带压打捞长电缆技术

2.1 技术思路

基于井下落鱼的不确定性,首先下入一趟管柱判断井下落鱼的位置及状态;然后根据实际情况选取合适的打捞工具和制定合理的打捞方案,采用连续油管输送井下工具,转动工具捕获电缆,起至井口后利用井口的电缆防喷器密封电缆;最后打开井口防喷管,分段取出断裂电缆及井下工具。

2.2 带压打捞长电缆工艺

1) 分析落鱼情况,根据前期施工情况判断落鱼在井内的情况,并利用电缆带 CCL 磁性定位器或用连续油管下入井下工具探鱼顶深度。

2) 选取合适的打捞工具及井口防喷设备,采用连续油管下入“低速螺杆+外钩或内捞工具”打捞,若井内剩余电缆不多,可直接采用连续油管下入“低速螺杆+打捞筒”打捞;井口防喷装置选用连续油管防喷器及电缆防喷器组合,电缆防喷器的闸板需具有一定的夹持能力与密封性,以保证半封闸板关闭后能够夹持住电缆,不会发生下滑和上移,全封闸板关闭不会剪断电缆。

3) 打捞电缆时,打捞工具下至鱼顶位置以下,地面泵车启泵,低速螺杆转动带动打捞工具转动8~15 圈(转动圈数不宜太多,防止电缆缠绕成团或搅断),上提管柱,根据悬重变化判断捕获落鱼后,将打捞工具串起至井口。若上提管柱遇卡,则拔断电缆;若井筒内所剩电缆不多或电缆从弱点处断裂,则下打捞筒直接打捞井下工具串;若根据捞筒内痕迹或者铅印痕迹判断落鱼不易进入打捞筒,则套铣后再进行打捞。

2.3 电缆出井口处置方案

带压打捞长电缆的难点是,落鱼起至井口时超长电缆无法完全起至防喷管内,无法关闭井口闸门。为解决这一问题,需合理利用电缆防喷器,在保证密封可靠的情况下打开井口防喷管,分段起出电缆。由于无法判断井下电缆是否完好,形变电缆不能正常通过阻流管及关闭的半封闸板,不建议在防喷管拆除的情况下靠电缆防喷器带压起出电缆。

1) 上提连续油管打捞工具串,注意观察悬重,避免落鱼遇卡后因电缆张力过大再次断裂;连续油管起至防喷盒底部,试关井口闸门至能夹住工具串的圈数(不能超过该圈数,以防止剪断电缆),判断井口附近是否有工具串。

2) 关闭电缆防喷器上、下半封闸板,锁紧并在两级闸板之间注脂,卸载防喷器上部压力,静止观察。

3) 拆除电缆防喷器上部连续油管防喷管,检查捞获电缆的情况。

4) 如井口有电缆,将其固定好后剪断。

5) 通过悬挂短节连接电缆与连续油管,安装好井口防喷管。

6) 平衡电缆防喷器上下压力,打开电缆防喷器的上、下半封闸板,再次上提连续油管工具串至防喷盒底部。

7) 重复步骤 1)~6),根据起出电缆的长度及悬重情况计算井筒内电缆剩余量,并据此试关井口,判

断工具串在井口闸门附近时,下放连续油管至电缆防喷器能关闭电缆位置,采用步骤 2)~6) 处理井口电缆后,将落井工具串起入防喷管。

8) 落井电缆过长且确认电缆完好的情况下,可将电缆反穿出阻流管,将完好的电缆起出。

2.4 电缆出井口应急措施

电缆出井口时主要依靠电缆防喷器的半封闸板来控制井口压力,电缆形状不规则时需要电缆防喷器的半封闸板提供可靠的夹持与密封。电缆出井口过程中需反复操作电缆防喷器的半封闸板,可能对其密封性能造成影响,因此井口需安装具备剪切、全封功能的闸板防喷器作为应急处置措施,并确保全封闸板防喷器在关闭时不会剪断电缆。

2.4.1 电缆防喷器无法正常密封变形的电缆

关闭电缆防喷器的半封闸板后,如防喷器上部压力无法完全泄除,应采取以下措施:

- 1) 首先增大两级闸板注脂压力,检验井口的密封性;
- 2) 若仍无法密封,则平衡电缆防喷器上、下压力后,打开电缆防喷器的半封闸板,下放连续油管,改变电缆位置后再进行密封;
- 3) 若仍无法密封,则开泵旋转低速螺杆,改变电缆方向后再进行密封;
- 4) 若仍无法密封,则关闭电缆防喷器的全封闸板,检验井口的密封性;
- 5) 若仍无法密封,则通过泵车从套管往井内注适量清水降压后再尝试密封;
- 6) 若仍无法密封,则关闭防喷器的剪切闸板,剪断电缆,关闭井口。

2.4.2 电缆防喷器无法正常密封变形的电缆

拆开防喷管处置井口电缆过程中,若半封闸板出现密封问题而发生泄露,应采取以下措施:

- 1) 若泄露轻微,则立即将连续油管防喷板管连接回井口,控制井口;
- 2) 若不具备将连续油管防喷管连接回井口的条件,则关闭防喷器的剪切闸板,剪断电缆,关闭井口;

3) 若防喷器的剪切闸板无法剪断电缆,则关闭井口阀门剪断电缆,实现关井。

3 应用实例

焦页 xxHF 井为涪陵地区的一口页岩气水平井,井深 4 470.00 m,水平段长 1 220.00 m,套管内径 115.0 mm,采用电缆泵送通井规通井时在井深 3 024.00 m 处遇阻,上提至井深 2 835.80 m 时拉断电缆,起出井口检查发现电缆本体发生断裂,电缆打扭严重,电缆及通井工具串落井。

3.1 井内落鱼情况

测量起出井筒的电缆长度,计算出井内剩余 $\phi 8.0$ mm 电缆约长 80.00 m,可能存在弯曲、打扭和变形的情况,井下落鱼结构自上而下为: $\phi 8.0$ mm 电缆 \times 80.00 m(预估) $+$ $\phi 43.0$ mm 打捞头 \times 0.50 m $+$ $\phi 73.0$ mm 加重钻杆 \times 2.70 m $+$ $\phi 73.0$ mm 加强套 \times 3.22 m $+$ $\phi 73.0$ mm CCL 磁性定位器 \times 3.66 m $+$ $\phi 73.0$ mm 转换接头 \times 0.25 m $+$ $\phi 88.9$ mm 模拟枪 \times 1.80 m $+$ $\phi 105.0$ mm 通井规 \times 0.22 m。

电缆泵送通井规的最后遇卡位置在井深 2 835.80 m,上一级压裂桥塞位于井深 3 298.00 m,因此目前落鱼所在位置为井深 2 835.80~3 298.00 m,落鱼下部有部分抽芯桥塞。

3.2 打捞方案

- 1) 采用电缆下放 CCL 磁性定位器入井,探测鱼顶位置。
- 2) 打捞工具组合为: $\phi 50.8$ mm 连续油管 \times 6 000.00 m $+$ $\phi 73.0$ mm 铆钉式连接器 \times 0.17 m $+$ $\phi 73.0$ mm 双活瓣单流阀 \times 1.03 m $+$ $\phi 88.9$ mm 低速螺杆 \times 1.75 m $+$ $\phi 73.0$ mm 双公接头 \times 0.10 m $+$ $\phi 73.0$ mm 旁通阀 \times 0.22 m $+$ $\phi 98.0$ mm 外钩 \times 2.20 m。其中,低速螺杆工作排量 0.20~0.40 m^3/min ,转速 120~180 r/min;外钩装有防过盘(见图 1),防过盘外径 110.0 mm(套管内径 115.0 mm,电缆外径 8.0 mm),防止外钩进入电缆过深,转动搅起电缆过多造成扭结,影响起钻。



图 1 外钩打捞工具

Fig. 1 External grapple fishing tool

3) 井口装置包括 2 组电缆防喷器(底部一组防喷器有剪切闸板)、连续油管防喷器、连续油管防喷管和连续油管防喷盒(见图 2),连续油管防喷器底部至防喷盒底部的高度为 14.00 m,可容纳井下工具及电缆。

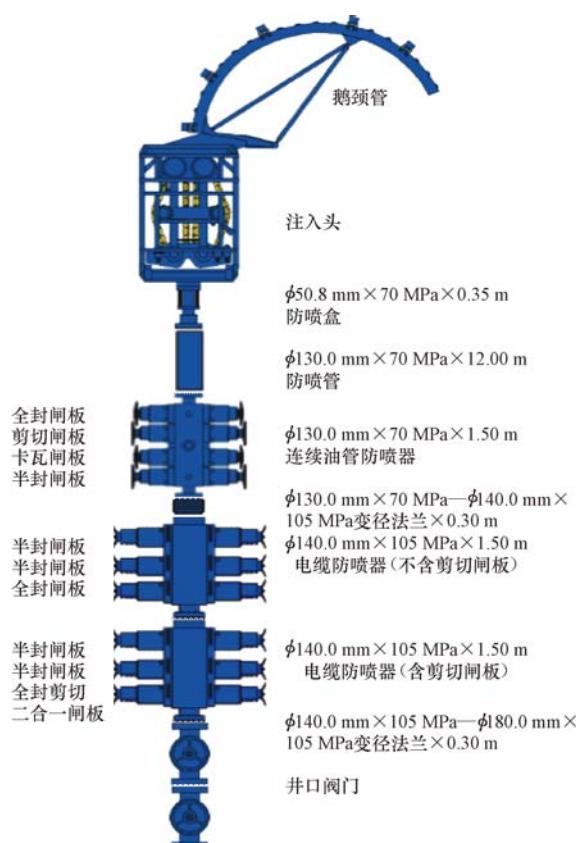


图 2 连续油管打捞电缆时的井口装置

Fig. 2 Wellhead equipment for coiled tubing cable fishing

4) 下打捞管柱到外钩的防过盘探过鱼顶深度 4.00~5.00 m, 泵车以 0.20~0.30 m³/min 排量开泵打捞落鱼, 开泵时间以地面测试的时间为准(螺杆转动 8~15 圈), 到时间后立即停泵; 上提连续油管, 若悬重有明显增大, 打捞工具串起至防喷器最顶端; 若上提 100.00~150.00 m 悬重无明显增大, 重新下入连续油管进行打捞。

5) 落鱼起至井口后, 利用电缆防喷器分段起出井筒内电缆和工具。

3.3 电缆防喷器性能试验

3.3.1 半封时的夹持、密封性能

防喷器中分别穿入 1~2 根电缆, 关闭半封闸板, 试验得到半封闸板对电缆的夹持力为 10.00~

15.00 kN, 井下落鱼重量为 2.05 kN(预估落井电缆长 80.00 m, 重 0.25 kN; 通井管串重 1.80 kN), 电缆防喷器的半封闸板关闭后对电缆的夹持力足够夹持落鱼, 不会发生电缆下滑和上移。

防喷器中分别穿入 1~2 根电缆, 关闭半封闸板, 对防喷器半封进行注脂加压至 30 MPa, 再由防喷器下端加压 25 MPa, 观察 30 min 压降合格, 防喷器的半封满足密封井底压力的需求。

开启半封后检查电缆, 电缆虽然发生变形但仍能承受拉力, 满足继续施工要求。

3.3.2 全封时的夹持、密封性能

在防喷器中分别穿入 1~2 根电缆, 关闭全封闸板, 试验得到全封闸板对电缆的夹持力为 15.00~20.00 kN, 该夹持力足够夹持落鱼, 不会发生电缆下滑和上移。

在防喷器中分别穿入 1~2 根电缆, 关闭全封闸板, 由防喷器下端加压 25 MPa, 观察 30 min 压降合格, 防喷器的全封满足密封井底压力的需求。

开启全封闸板后检查得电缆变形但未剪断, 仍能承受拉力, 满足继续施工要求。

3.3.3 剪切闸板的剪切性能

在防喷器中分别穿入 1~2 根电缆, 防喷器上下连接丝堵密封, 防喷器内加压至井口压力, 关闭剪切闸板, 电缆被剪断, 剪切闸板符合施工要求。

3.4 打捞过程

1) 采用 CCL 磁性定位器下井探测鱼顶位于井深 2 985.60 m 处。

2) 地面测试低速螺杆排量 0.20 m³/min 时的转速为 80 r/min。

3) 利用连续油管将“外打捞矛+低速螺杆”下至井深 2 990.00 m, 开始进行打捞操作, 下压 8.00 kN, 以 0.18 m³/min 排量开泵 25 s 启动低速螺杆, 停泵上提连续油管。

4) 连续油管起至井口, 确认捞获落鱼, 利用电缆防喷器, 5 次捞取井筒内电缆 75.90 m, 长度分别为 26.00, 15.80, 13.10, 13.00 和 8.00 m, 因井口操作不当, 落鱼及少量电缆再次落井。

5) 利用连续油管将“外打捞矛+低速螺杆”下至井深 3 043.50 m 遇阻 10.0 kN, 开泵 12 s, 排量 0.20 m³, 停泵上提连续油管, 未捞获落鱼, 带出碎电缆 2.10 m。

6) 下 $\phi 105.0$ mm 铅印至井深 3 225.00 m 遇阻,下压 60.0 kN,将连续油管起至井口,铅模有电缆打捞头的印记。

7) 利用连续油管将“专用捞筒+低速螺杆”下至井深 3 225.00 m 遇阻 50.0 kN,开泵 5 s 后停泵,上提 10.00 m 后下放至井深 3 225.00 m,下压 80.00 kN,上提连续油管至井口,未捞获落鱼。

8) 利用连续油管将“内打捞矛+低速螺杆”下至井深 3 225.00 m 开泵循环,开泵 20 s,排量 0.20 m³/min,下压 15.0 kN,上提连续油管至井口,捞获落鱼,其中电缆长度为 3.00 m(至此,累计共打捞电缆 81.00 m)。

4 结论与建议

1) 连续油管带压打捞长电缆技术施工时操作简单,可靠性高,不需要压井,不污染储层,作业风险低,适用于页岩气水平井打捞长电缆落鱼。

2) 通过分析井下电缆状态、优化打捞工具组合、合理运用打捞方法和进行地面试验,采取井口电缆安全处理技术措施,有效提高了打捞的安全性与成功率。

3) 水平井内打捞落鱼存在一定的难度,理论上可以根据地面指重表悬重增加值和泵压瞬间升高值来判定是否打捞成功,但实际操作起来存在一定难度。

4) 电缆提至井口进行处置时需反复拆装井口,井控风险高,建议进一步研究更加安全可靠的井口处理方法。

参 考 文 献

References

- [1] 薛承瑾.页岩气压裂技术现状及发展建议[J].石油钻探技术,2011,39(3):24-29.
XUE Chengjin. Technical advance and development proposals of shale gas fracturing [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011,39(3):24-29.
- [2] 路保平.中国石化页岩气工程技术进步及展望[J].石油钻探技术,2013,41(5):1-8.
LU Baoping. Sinopec engineering technical advance and its developing tendency in shale gas [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013,41(5):1-8.
- [3] 贾长贵,路保平,蒋廷学,等.DY2HF 深层页岩气水平井分段压裂技术[J].石油钻探技术,2014,42(2):85-90.
- JIA Changgui,LU Baoping,JIANG Tingxue, et al. Multi-stage horizontal well fracturing technology in deep shale gas well DY2HF[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42 (2): 85-90.
- [4] 刘祖林,杨保军,曾雨辰.页岩气水平井泵送桥塞射孔联作常见问题及对策[J].石油钻采工艺,2014,36(3):75-78.
LIU Zulin,YANG Baojun,ZENG Yuchen. Common problems of pumping bridge plug and clustering perforation for horizontal shale gas well and countermeasures[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014, 36(3):75-78.
- [5] 吴春国,任中启,刘爱军,等.钻井测井电缆打捞技术[J].石油钻探技术,2003,31(3):54-56.
WU Chunguo,REN Zhongqi,LIU Aijun, et al. Techniques of fishing logging cable[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2003, 31(3):54-56.
- [6] 曹学军,周贊,傅伟,等.连续油管带压作业技术在特殊复杂井况中的应用[J].天然气勘探与开发,2012,35(2):50-52,56.
CAO Xuejun,ZHOU Yun,FU Wei, et al. Application of pressure operation technology of coiled tubing in special complex well condition[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2012,35(2):50-52,56.
- [7] 王伟佳,熊江勇,张国锋,等.页岩气井连续油管辅助压裂试气技术[J].石油钻探技术,2015,43(5):88-93.
WANG Weijia,XIONG Jiangyong,ZHANG Guofeng, et al. Auxiliary fracturing and testing of gas in shale gas well with coiled tubing[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015,43(5): 88-93.
- [8] 吕选鹏,周承富,陈辉,等.连续油管技术在页岩气勘探开发中应用前景[J].石油矿场机械,2012,41(2):67-70.
LYU Xuanpeng,ZHOU Chengfu,CHEN Hui, et al. Coiled tubing technology prospect in exploration and development of shale gas[J]. Oil Field Equipment, 2012,41(2):67-70.
- [9] 吴永兴,朱培珂,熊伟.连续油管打捞工艺在水平井的应用问题及措施[J].石油矿场机械,2016,45(7):80-83.
WU Yongxing,ZHU Peike,XIONG Wei. Coiled tubing fishing process application problems and measures in horizontal well [J]. Oil Field Equipment, 2016,45(7):80-83.
- [10] 石孝志,苏贵杰,王忠胜,等.连续油管打捞技术在川渝地区的应用[J].天然气工业,2008,28(8):58-60.
SHI Xiaozhi,SU Guijie,WANG Zhongsheng, et al. Application of coiled tubing fishing technology in Sichuan and Chongqing Area[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28 (8): 58-60.
- [11] 刘成.吐哈油田连续油管技术的应用[J].石油矿场机械,2001,30(3):45-47.
LIU Cheng. Application of coiled tubing in Tuha Oilfield[J]. Oil Field Equipment, 2001,30(3):45-47.