

电缆捞矛的结构改进与应用

黄国勇, 李剑石

中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司 天津 300452

通讯作者: Email: huanggy9@cnooc.com.cn

项目支持: 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司科研项目“小直径中通封隔器的研究”(GCJSXMHT-J2201)

引用: 黄国勇, 李剑石. 电缆捞矛的结构改进与应用[J]. 油气井测试, 2023, 32(5): 63-66.

Cite: HUANG Guoyong, LI Jianshi. Structural improvement and application of cable fishing spear[J]. Well Testing, 2023, 32(5): 63-66.

摘要 使用钢丝绳、钢丝、铠装电缆或连续油管等线缆进行软打捞作业时, 因矛齿焊接部位易被腐蚀、抗剪切强度弱等因素, 经常发生脱齿现象, 导致打捞效率低。根据内捞矛矛齿根部的形状在两侧矛臂上设计开窗, 把矛齿根部插入窗口内, 并在矛臂内外两侧焊接固定矛齿, 通过对现有捞矛矛齿的固定方式进行改进, 矛齿的抗拉强度提高至改进前的 2 倍多, 强度显著增强, 从而提高了打捞作业的成功率。某油田一口深井在测量吸水指数时, 因井内 H_2S 腐蚀, 导致测井电缆落井。应用改进后的内捞矛, 利用原滚筒上余留的电缆, 成功打出落井的近 6 000 m 单芯测井电缆。改进后的电缆捞矛因矛齿强度高, 较好地满足井下流体腐蚀、打捞负荷大等恶劣工况下打捞作业需要。

关键词 测井电缆; 软打捞; 内捞矛; 深井打捞; 矛齿固定; 结构改进; H_2S

中图分类号: TE358

文献标识码: B

DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2023.05.011

Structural improvement and application of cable fishing spear

HUANG Guoyong, LI Jianshi

CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Tianjin 300452, China

Abstract: When using steel wire rope, steel wire, armored cable or CT and other cables for soft salvage operation, due to the corrosion welding part of spear and teeth, weak shear strength and other factors, tooth removal often occurs, resulting in low salvage efficiency. According to the shape of the root of the inner spear tooth, design the window on the two sides, insert the root of the spear tooth into the window, and weld both sides of the spear arm. By improving the fixation method of the existing spear tooth, the tensile strength of the spear teeth is more than twice as strong as before the improvement, and thus the success rate of the salvage operation is improved. When a deep well in an oil field measures the water absorption index, the logging cable falls into the well due to the H_2S corrosion in the well. Using the improved inner spear, using the remaining cable on the original drum, successfully salvaged the nearly 6 000 m single core logging cable out of the well. The improved cable spear, due to the high strength of the spear teeth, better meets the needs of the spear operation under bad working conditions such as underground fluid corrosion and large salvage load.

Keywords: logging cable; soft salvage; in-spear; deep well salvage; spear teeth fixed; improvement of structure; H_2S

油井井深达数千米, 多数生产状态的井筒内富含腐蚀性流体, 部分井内还存在稠油粘附效应、井下管柱及工具结构复杂的情况。电缆测井作业时可能因井下遇卡、腐蚀、剪切等原因导致电缆及其下端悬挂的工具串落井。薄和秋指出电缆落井是常见的施工事故^[1]。落井的电缆、工具影响油井生产及后续作业, 应及时打捞。李保中等^[2]、冯硕^[3]、王兆东等^[4]、欧炯林等^[5]论述了使用钻杆、油管等硬打捞工艺, 可以通过中间的连接体在井筒内作业, 工具尺寸比较大, 强度较高, 而且可在通过在井

口操作实现井下打捞工具的旋转、硬压实等动作, 打捞效率高。这种工艺需要动用修井机、钻机等大型设备, 因此作业周期长、成本高。

使用钢丝绳、钢丝、铠装电缆或连续油管等线缆进行软打捞作业, 捞矛位于工具串的下端, 由于受工艺、作业空间限制, 工具外径较小, 具有周期短、成本低的优点。与硬打捞作业相比, 工具的强度要小很多, 工具串在井下难以转动, 故打捞效率较低。朱立江等^[6]、卜现朝等^[7]论述了应用软打捞工艺, 把小直径捞矛用在油管内作业的情形。

苏镖等^[8]、许建辉等^[9]、吕成奎等^[10]论述了软打捞钢丝过程中的技术要点;宋宁等^[11]论述了硬打捞多芯、大直径电缆的技术要点。与钢丝、大直径电缆相比,落井后的小直径测井电缆很难在其上端造弯,使用电缆、钢丝、钢丝绳等下端接普通捞矛的作业成功率不高,故应用实例文献也不多见。何福耀等^[12]认为当落井电缆长度足够时,它的上部会呈螺旋状堆在井筒中。若在油井生产管柱内作业,且生产管柱底端封闭,工具串不会落到人工井底,可直接上提生产管柱带出工具串,也可下入工具如王悦鹏等^[13]设计的电缆剪断器将电缆从工具串顶端切断,然后单独将电缆捞出,再下入如苏喜山等^[14]所述的打捞卡瓦打捞工具串;若工具串落到人工井底,根据落井电缆的长度,下入特定的工具如黄国勇等^[15]所设计的捞矛进行打捞作业。针对上述测井电缆软打捞工具强度低、井下工具抗腐蚀能力弱等问题,进行了软打捞作业井下捞矛结构的优化改进,改进后的电缆捞矛因矛齿强度高,较好地满足井下流体腐蚀、打捞负荷大等恶劣工况下捞矛作业需要。

1 捞矛的结构与工作原理

捞矛主要用于打捞绳类、电缆、纺织物等井下落物,电缆打捞要用到捞矛。依据矛齿在捞矛本体上的位置不同,大体可将捞矛分为内捞矛和外捞矛两种(见图1)。从图1可以看出:内捞矛(图1中左侧)的矛齿位于矛臂内侧,均布在矛臂上,两侧不对称;外捞矛(图1中右侧)的矛齿位于矛臂外部,均布在矛臂上。捞矛的齿尖方向都是朝上,与矛臂的夹角小于 45° ,矛齿根部焊接在矛臂表面。按矛臂个数分类,内捞矛可分为两臂、三臂等多种。通常外捞矛整体长度大于内捞矛,其外径小于内捞矛。

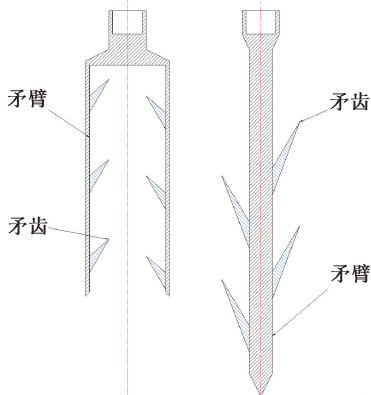


图1 捞矛结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the spear-fishing structure

使用捞矛作业时,捞矛的矛臂插入被打捞物中,然后上提捞矛,矛齿挂着被打捞物,将落物打捞出井。

2 常规捞矛的改进

使用捞矛打捞电缆前,先将落井电缆上端压实,再下入捞矛,插入落物顶部。上提捞矛,矛齿挂着落井电缆。随后上提打捞工具串,被捞电缆逐渐绷紧,带动工具串整体上移。若落井电缆长度合适、电缆强度足够,可将电缆及工具串从筒中捞出。因常规捞矛的矛齿是直接焊接在矛臂表面,若井下负荷大于矛齿固定强度时,在上提过程中,矛齿常常从本体上脱落,导致打捞失败。因此需要对常规捞矛进行结构改进,对施工工艺进行优化,才能提高电缆打捞成功率。

为了增加矛齿的固定强度,根据矛齿形状,在矛臂上开孔,将矛齿从矛臂外侧齐根插入开孔中,然后将矛齿焊牢(见图2)。从图2可以看出,改动后倒齿角度不变,矛齿强度由原来表面焊接强度,改进为矛齿材料的抗剪切强度。

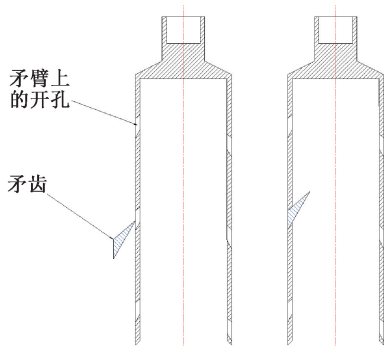


图2 矛齿改进示意图

Fig.2 Schematic diagram of the spear-tooth improvement

因常规捞矛的矛齿根部是直接焊接在矛臂内侧表面,矛齿材料是45#普通碳钢,ER50-6焊丝的屈服强度420 MPa,安全系数取2.5,完美焊接后矛齿每平方毫米的许用拉力 f 为168 MPa。

齿根的长度约10 mm、宽度约3 mm,焊接面积 A 为 30 mm^2 。

按经验公式估算其抗拉力 F_1 为

$$F_1 = A \times f = 5\,040 \text{ N} \quad (1)$$

若井下负荷大于矛齿的抗拉力时,在上提过程中,矛齿常常从本体上脱落,导致打捞失败。因此需要对常规捞矛进行结构改进,对施工工艺进行优化,才能提高电缆打捞成功率。

45#普通碳钢的屈服强度355 MPa,许用拉力

355 N/mm²;接触面积还是按 30 mm² 计,矛齿的抗拉力为

$$F_2 = A \times f = 10\ 650\text{ N} \quad (2)$$

上述计算结果表明,改进后的矛齿的抗拉强度由原来的 5 040 N 提高到 10 650 N,是原来的 2 倍多,强度显著增强。

3 现场应用

XX 油田 Y 井上部采用 $\phi 178\text{ mm}$ 套管、底部 $\phi 152.4\text{ mm}$ 裸眼完井, $\phi 76\text{ mm}$ 光油管生产(油管底部位置 5 983 m),人工井底 6 200 m。X 单位使用全密闭测井工艺测量该井的分层吸水指数,使用的是凯美撒 $\phi 5.6\text{ mm}$ 单芯测井电缆(施工前检测电缆九成新,强度检验符合相关下井要求)。首先是通井作业,入井工具串组合: $\phi 38\text{ mm} \times 400\text{ mm}$ 电缆头 + $\phi 38\text{ mm} \times 2\ 800\text{ mm}$ 过芯加重杆 + $\phi 38\text{ mm} \times 1\ 800\text{ mm}$ 校深仪 + $\phi 38\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 导锥。通井工具串至人工井底,起出工具串,整个通井过程顺利。按施工设计要求,将入井工具串更换为五参数吸水剖面测井仪,准备测量吸水剖面。工具串组合: $\phi 38\text{ mm} \times 400\text{ mm}$ 电缆头 + $\phi 38\text{ mm} \times 2\ 800\text{ mm}$ 过芯加重杆 + $\phi 38\text{ mm} \times 2\ 800\text{ mm}$ 五参数吸水剖面测井仪。打捞过程中,电缆张力突然变小,滚筒到井口间测井电缆松弛,地滑轮落在地面。启动滚筒,收紧电缆,电缆直接从测井防喷系统内窜出。发现 $\phi 5.6\text{ mm}$ 单芯电缆从井口位置断裂,导致近 6 000 m 电缆及工具串落井。推测工具串直接落到裸眼段的人工井底,测井车滚筒上还余约 2 000 m 电缆。

该井产出液中 H_2S 浓度为 125 mg/m^3 。事故发生时测井电缆呈静止状态,滚筒端电缆断口齐整,在井口也没有进行开关采油树阀门的操作,可以排除电缆被外力剪断、拉断的可能,结合井况分析是 H_2S 腐蚀所致,决定尽快打捞。

根据打捞方案的要求,首先确定井下电缆断头位置。使用滚筒上剩余的电缆,接上探顶工具串下井探测电缆断头在井筒中的位置。入井工具串组合: $\phi 38\text{ mm} \times 400\text{ mm}$ 电缆头 + $\phi 38\text{ mm} \times 14\text{ mm}$ 加重杆 + $\phi 38\text{ mm} \times 1\ 800\text{ mm}$ 震击器 + $\phi 72\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ 通井规。探测到落井电缆上端位置为 297 m。将落井电缆上端砸实到 310 m。

根据打捞方案的要求,下入内捞矛打捞落井电缆。工具串组合: $\phi 38\text{ mm} \times 400\text{ mm}$ 缆头 + $\phi 38\text{ mm} \times 1\ 400\text{ m}$ 加重杆 + $\phi 38\text{ mm} \times 1\ 800\text{ mm}$ 震击器 +

$\phi 62\text{ mm} \times 600\text{ mm}$ 两臂内捞矛。反复多次,张力显示捞矛抓不牢电缆,多次在上提过程中脱开。起出工具串检查,发现部分矛齿从矛臂上整体脱落。分析认为捞矛能抓住电缆,在电缆上提过程中负荷不断增大,因矛齿与矛臂间焊接的强度不足,当负荷大于矛齿的固定强度,矛齿脱落,导致电缆与捞矛脱离接触。只要提高矛齿的固定强度,使之大于电缆的破断强度,就能打捞成功。

使用改进的捞矛经多次尝试,成功将落井电缆从井筒中捞出。出井的捞矛下端两侧向里变形,夹着电缆(见图 3)。

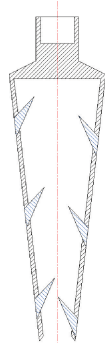


图 3 捞矛出井时状态示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the spear state out from the well

分析本次作业过程,可以确定矛齿强度、两个矛臂长度及强度、落井电缆长度及落井工具串重量等因素影响了打捞作业的成功率。

(1) 矛齿强度。若矛齿强度不足,捞矛抓着电缆后,在上提过程中,两个侧臂下端虽然向中心收拢,夹紧电缆,随着电缆负荷的增加,矛齿脱落,电缆最终会从捞矛上脱开。因此,在制定打捞方案时要充分考虑捞矛的使用条件及矛齿强度。

(2) 两个矛臂的长度及其强度。两个侧臂若强度过高或长度不足,捞矛臂下端受力后不变形或向中间靠拢幅度不够,矛臂下端就夹不着电缆,随着电缆负荷的增加,电缆从矛齿上滑脱,导致打捞失败。此时应考虑在捞矛上增加锁紧电缆功能,确保捞矛抓着电缆后,电缆不易从矛齿上脱开。

(3) 落井电缆的长度及重量。落井电缆长度过短、重量轻,都会导致打捞困难。

4 结论

(1) 根据矛齿根部的形状在两侧矛臂上设计开窗,把矛齿根部插入窗口内,并在矛臂内外两侧焊接固定矛齿,改进后的矛齿的抗拉力由原来的

5 040 N 提高到 10650 N,是原来的 2 倍多,强度显著增强,从而提高了打捞作业的成功率。

(2)打捞小直径铠装测井电缆、较大直径的钢丝或钢丝绳时,首先要考虑落井线缆长度是否适合捞矛作业;其次要优先使用两臂捞矛,推荐使用长矛臂。

(3)改进后的电缆捞矛因矛齿强度高,较好地满足井下流体腐蚀、打捞负荷大等恶劣工况下捞矛作业需要。

致谢:感谢中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司允许本文发表,及工程技术增产作业分公司为作者完成完成本文提供的所有帮助。

参考文献

- [1] 薄和秋. 电缆测井事故的预防及处理[J]. 石油钻探技术, 2002, 30(2):10-12.
BO Heqiu. Prevention and treatment of wireline logging accidents[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2002, 30(2): 10-12.
- [2] 李保中,李海平,王志明,等. 井下绳索类落物打捞工艺技术现状及前瞻[J]. 河南石油,2000,14(5):41-42.
LI Baozhong, LI Haiping, WANG Zhiming, et al. Downhole rope class fall fishing technology present situation and perspective[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2000, 14(5): 41-42.
- [3] 冯硕. P1 井水平井生产测井仪器打捞技术研究及应用[J]. 钻采工艺,2017,40(5):121-123.
FEN Shuo. Research and application of Fishing technology of production logging instrument in P1 well[J]. Drilling & Production Technology, 2017,40(5):121-123.
- [4] 高飞明,岳文正,焦伟,等. 浅谈测井事故的认识与处理[J]. 油气田环境保护,2011,21(6):72-75.
GAO Feiming, YUE Wenzheng, JIAO Wei, et al. Reflection and treatment of well logging accidents[J]. Environmental Protection of Oil & Gas Fields, 2011, 21(6): 72-75.
- [5] 欧炯林. 射孔电缆打捞外钩的加工与使用[J]. 钻采工艺,1996,19(1):53-54.
OU Jonglin. Processing and use of perforation cable fishing external hook[J]. Drilling & Production Technology, 1996, 19(1):53-54.
- [6] 朱立江 杨波 于春娣,等. 注水井井下落物软打捞方法探讨[J]. 石油仪器,2013,27(6):83-84.
ZHU Lijiang, YANG Bo, YU Chundi, et al. Discussion on soft fishing method of falling objects in injection[J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2013,27(6):83-84.
- [7] 卜现朝. 海上某井钢丝打捞作业案例分析[J]. 油气井测试,2017,26(4):49-51.
BU Xianchao. Case study of a steel wire salvage operation at sea[J]. Well Testing, 2017, 26(4): 49-51.
- [8] 苏镖,陈波. 超深高含硫气井油管內钢丝打捞作业技术及应用[J]. 油气井测试,2016,25(4):50-52.
SU Biao, CHEN Bo. Technique of fishing broken slick line in ultra-deep high H₂S high pressure gas well and its application[J]. Well Testing, 2016, 25(4): 50-52.
- [9] 许建辉,孙丽霞. 提高油水井钢丝落物的打捞成功率[J]. 中国石油和石化标准与质量,2016,(18):62-63.
XU Jianhui, SUN Lixia. Improve the success rate of fishing slick line in well [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2016, (18):62-63.
- [10] 吕成奎. 测井事故的防范与处理[J]. 科技展望, 2016, 26(34): 238-239.
LYU Chengkui. Prevention and treatment of well logging accidents[J]. Science and Technology, 2016, 26(34): 238-239.
- [11] 宋宁,张红霞. 刘兵,等. 通道式打捞成团电缆施工工艺[J]. 西部探矿工程,2014,(6):35-36.
SONG Ning, ZHANG HongXia, LIU Bing, et al. Channel type construction technology of salvage mass cable [J]. West-China Exploration Engineering, 2014, (6):35-36.
- [12] 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.
- [13] 王悦鹏,范明清,杨凤凯,等. 深井电缆顶端剪断器的研究[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版),2020,36(3):42-44.
WANG Yuepeng, FAN Mingqing, Yang Fengkai, et al. Research on elastic yellow shear of deep well cable [J]. Journal of Qiqihar University (Natural Science Edition), 2020, 36(3):42-44.
- [14] 苏喜山,张海宇,孙峰. 注水井测试用短电缆、短钢丝打捞卡瓦的研制[J]. 化工管理,2019,5(2):53;.
SU Xishan, ZHANG Haiyu, SUN Feng. The research and development of short cable and short steel wire for the test of water injection wells [J]. Chemical Engineering Management, 2019, 5(2): 53.
- [15] 黄国勇,周海军,黄佳,等. 一种小直径测井电缆打捞矛[P]. 中国专利: ZL2019 2 0060054. 5,2019-11-26.

编辑 邵振鹏

第一作者简介:黄国勇,男,1970 年出生,硕士,高级工程师,1992 年毕业于江汉石油学院采油工程专业,现主要从事生产测井、试井方面的研究工作。电话: 022-25800360, 15522009859, Email: huanggy9@cnooc.com.cn。通信地址:天津市滨海新区渤海石油路 688 号增产作业公司,邮政编码:300452。