

组合式整形打捞筒的研制

平恩顺¹, 李岩崎², 樊震刚¹, 孙立波¹, 王永亮^{3,4}, 汪强¹

- 1. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司井下技术服务分公司 天津 300283
- 2. 中国石油大港油田公司井下作业公司 天津 300280
- 3. 中国矿业大学(北京)力学与建筑工程学院 北京 100083
- 4. 中国矿业大学(北京)煤炭资源与安全开采国家重点实验室 北京 100083

通讯作者: Email: pingenshun@163.com

项目支持: 中国石油集团渤海钻探工程有限公司指导性研究项目“大修井新型打捞工具及工艺技术研究”(2021D50F)

引用: 平恩顺, 李岩崎, 樊震刚, 等. 组合式整形打捞筒的研制[J]. 油气井测试, 2023, 32(2): 49-52.

Cite: PING Enshun, LI Yanqi, FAN Zhengang, et al. Development of the combined shaping overshot [J]. Well Testing, 2023, 32(2): 49-52.

摘要 针对修井作业过程中腐蚀油管强度差, 打捞成功率低, 施工周期长等难题, 研制了一种组合式整形打捞筒。应用三维制图 Solidworks 软件建立了组合式整形打捞筒的实体模型, 并详述了工具的主要结构、工作原理、技术参数以及性能特点, 应用有限元分析软件 ANSYS Workbench 模拟了组合式整形打捞筒的卡瓦打捞过程, 得到了等效应力云图。在大港油田枣 X 井进行现场应用, 成功捞获了原井腐蚀管柱, 提高了一次打捞成功率。该组合式整形打捞筒可有效缩短施工周期, 降低作业成本, 具有良好的推广应用前景。

关键词 修井作业; 组合式整形打捞筒; 卡瓦打捞机构; 捞获检测机构; 实体模型; 有限元分析; 现场应用

中图分类号: TE931 **文献标识码:** B **DOI:** 10.19680/j.cnki.1004-4388.2023.02.009

Development of the combined shaping overshot

PING Enshun¹, LI Yanqi², FAN Zhengang¹, SUN Libo¹, WANG Yongliang^{3,4}, WANG Qiang¹

- 1. Downhole Technology Service Company, CNPC Bohai Drilling Engineering Company Limited, Tianjin 300283, China
- 2. PetroChina Dagang Oilfield Company Downhole Operation Company, Tianjin 300280, China
- 3. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China
- 4. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China

Abstract: Aiming at the issue that the poor strength of corroded tubing, the low success rate of fishing and long construction period during the process of workover operations, a type of combined shaping overshot was developed. The entity model of the combined shaping overshot was established by the 3D drawing Solidworks software. The main structure and working principle as well as main technical parameters and performance characteristics of the tool was detailed. The finite element analysis software ANSYS Workbench is used to simulate the slip fishing process of the combined shaping overshot, and the equivalent stress cloud diagram is obtained. The technical solution has been applied in Dagang Oilfield Zao X well. The corroded pipe string of original well was successfully recovered, increase the success rate of the once fishing. The combined shaping overshot has a good prospect of popularization and application, with effectively shorten the construction period, reduce activity costs.

Keywords: workover operation; combined shaping overshot; slips fishing mechanism; catch detection mechanism; entity model; finite element analysis; field application

在老井大修施工过程中, 普遍存在井下管柱腐蚀结垢严重^[1-2]及井内油管大面积或局部穿孔、破裂、断落、管壁变薄等情况。由于井内油管材料强度被严重削弱, 在打捞过程中极易发生断脱以致再次落井事故^[3-4]。目前常规打捞主要使用单一打捞工具, 如母锥、捞矛或捞筒进行打捞, 由于井内油管材料强度不够, 油管本体不易造扣, 只能处理部分

腐蚀结垢管柱^[5-6], 造成打捞成功率低, 打捞周期长, 施工成本较高, 其它方法除了定期检泵等外, 暂时还未有更直接、更有效的打捞工艺。刘伟等^[7-8]详细介绍了超深探井腐蚀油管打捞工艺技术, 存在工艺复杂, 工序较多的问题。于锋^[9]研发的一套适合于腐蚀结垢管柱的打捞工具, 存在成功率较低的问题。刘雪光^[10]研制的腐蚀油管打捞工具没有考

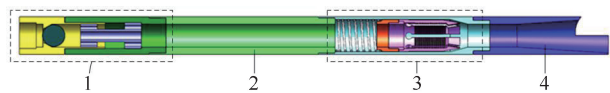
虑鱼顶形状不规则如何引入工具内部的问题。王—全^[11]和艾白布·阿不力米提^[12-13]提出了连续油管打捞连续油管的思路,针对现场技术需求研发了专用打捞工具,并进行了有限元仿真模拟。以上研究成果还未明确如何提高腐蚀油管一次打捞成功率的问题,鉴于此,本文研制了一种组合式整形打捞筒,应用三维制图 Solidworks 软件建立了组合式整形打捞筒的实体模型,详述了工具的主要结构、工作原理、技术参数以及性能特点,应用 ANSYS Workbench 有限元分析软件^[14-15]对锥形外圆卡瓦打捞油管本体过程进行了仿真模拟,并在大港油田进行了现场应用,应用效果较好,提高了一次打捞成功率,缩短了施工周期,具有良好的推广应用前景。

1 组合式整形打捞筒的设计

针对井筒内腐蚀油管强度差,易变形,不易打捞等难点,设计了一种组合式整形打捞筒,区别于常规单一打捞工具,该工具内部设计有长锥形引鞋和加长筒体。长锥形引鞋设计为微锥形缩径状,将井筒内不规则鱼顶引入长锥形引鞋中,随着管柱慢慢加压逐渐收拢扶正引入至卡瓦打捞机构内。加长筒体用以收拢腐蚀严重区域的油管本体,为卡瓦打捞腐蚀不严重的油管本体区域预留足够空间^[16-17]。

1.1 组合式整形打捞筒的主要结构

组合式整形打捞筒自下而上主要由长锥形引鞋、卡瓦打捞机构、加长筒体和捞获检测机构组合而成(见图1)。其中卡瓦打捞机构主要由卡瓦外筒,压缩弹簧,弹簧座槽和锥形外圆卡瓦组成;捞获检测机构设计为可正向循环和封闭的结构,主要由反向球座,钢球,推杆,通孔和推杆外筒组成。



1-判断检测机构;2-加长筒体;3-卡瓦打捞机构;
4-长锥形引鞋

图1 组合式整形打捞筒结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the combined shaping overshot

1.2 组合式整形打捞筒的工作原理

组合式整形打捞筒主要具备引鞋收拢,卡瓦打捞和捞获检测三大功能。

引鞋收拢功能:将组合式整形打捞筒下入井内落鱼以上一定距离时,缓慢下放打捞管柱,将不规则落鱼通过长锥形引鞋逐渐收拢扶正引入至卡瓦

外筒内,落鱼被引入后打捞工具串整体继续下行,落鱼相对上行进入卡瓦打捞机构。

卡瓦打捞功能:落鱼将锥形外圆卡瓦上推,锥形外圆卡瓦受到的向上推力通过弹簧座槽压缩卡瓦外筒内弹簧,挤压锥形外圆卡瓦逐渐向外两侧胀开至卡瓦外筒锥形腔内缘,继续下放打捞管柱,落鱼鱼顶通过被胀开的锥形外圆卡瓦最终至加长筒体内。继续上提作业管柱,卡瓦座相对下行推动锥形外圆卡瓦下行,使锥形外圆卡瓦逐渐向内两侧收拢至井筒内落鱼本体外壁上,使卡瓦上的卡瓦牙锚住油管外壁。

捞获检测功能:鱼顶通过加长筒体后,推动推杆上行挤压钢球,与反向球座形成接触密封,实现正向通道封闭。利用泵压突增可判断落鱼是否被成功捞获。捞获落鱼后,上提工具串,落鱼受重力作用不再挤压钢球,正向通道再次打开。

1.3 主要技术参数

组合式整形打捞筒最大外径为 116 mm,最小内径为 30 mm,长锥形引鞋内径为 95 mm,总长度 1 416 mm,最大提升拉力 600 kN,耐温 150 ℃,适用油管外径为 73 mm。

1.4 性能特点

(1)设计捞获检测机构,具备落鱼判断捞获功能;

(2)将不规则落鱼通过长锥形引鞋逐渐收拢扶正引入至卡瓦弹簧打捞机构内;

(3)加长筒体为打捞腐蚀不严重的油管本体区域预留足够空间。

(4)卡瓦弹簧打捞机构下端设计为双级扣螺纹,下端可以选择连接套铣筒和套铣鞋,工具由此可变换为套铣打捞一体化工具,以适应井筒内不同工况,应用范围较广。

2 卡瓦打捞机构力学性能分析

组合式整形打捞筒锥形外圆卡瓦是打捞落鱼的关键元件。油管进入锥形外圆卡瓦内部后,挤压锥形外圆卡瓦径向胀开至卡瓦外筒锥形腔内缘。上提管柱后,卡瓦座相对下行推动锥形外圆卡瓦下行,并径向收拢使卡瓦牙锚住油管外壁。利用 ANSYS Workbench 有限元分析软件对锥形外圆卡瓦打捞油管外壁过程进行仿真模拟。

优选锥形外圆卡瓦材料为 60Si₂Mn,弹性模量 210 GPa,泊松比 0.3。将锥形外圆卡瓦和油管固定

轴向约束,给卡瓦座施加 20 kN 轴向载荷时,模拟锥形外圆卡瓦上的卡瓦牙锚住油管外壁的工况,得到锥形外圆卡瓦和油管本体的应力云图,如图 2、图 3 所示。

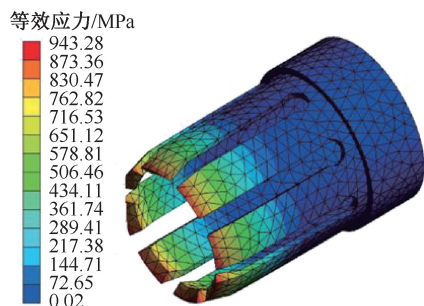


图 2 锥形外圆卡瓦等效应力云图

Fig. 2 Equivalent stress cloud diagram of the conical external slip

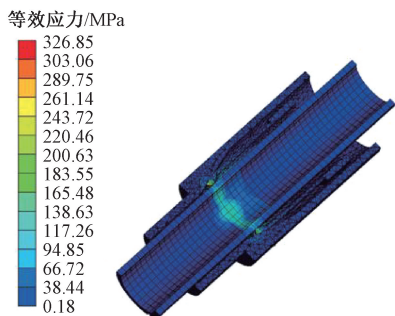


图 3 锥形外圆卡瓦捞获油管等效应力云图

Fig. 3 Equivalent stress cloud diagram of the conical external slip fishing tubing

从图 2~3 可以看出,锥形外圆卡瓦最大应力为 943.28 MPa,主要分布于卡瓦锚定变形后的应力集中区域;油管本体最大应力为 326.85 MPa,与锥形外圆卡瓦应力集中区域相对应,并呈应力均匀分布,因此不会对油管本体产生破坏性影响。

3 现场应用

组合式整形打捞筒在大港油田枣 X 井进行了现场应用。枣 X 井是枣北孔一段的一口注水井,该井 2021 年 4 月检管时,上提负荷 560 kN 解卡提出原井管柱 177 根,末根公扣断,下捞矛打捞捞住后解卡 450 kN 未开,退出捞矛,提出打捞管柱后完井生产,鱼顶为平式油管接箍(内有油管公扣)。因注水敏感,含水上升快,目前配注 30 m³/d,油压 2 MPa,无法满足地层需求,井组产量下降,测吸水剖面多次遇阻。建议该井打捞验套,恢复正常注水,预计日注水 100 m³,预计油压 20 MPa。

2021 年 10 月 30 日,下 $\Phi 73$ mm 反扣钻杆 259 根底带 $\Phi 62$ mm 可退捞矛,接方钻杆,用密度 1.25

g/cm³ 无固相卤水压井液正循环冲洗至进出口液性一致,泵压 5 MPa,排量 400 L/min,上提最大负荷 500 kN,上提捞获,捞深 2 498.46 m,负荷降至 410 kN(管柱原上提负荷 400 kN)。起 $\Phi 73$ mm 反扣钻杆 259 根底带捞矛,捞出 $\Phi 73$ mm 平式内衬油管 0.7 m+ $\Phi 73$ mm 平式内衬油管 9.2 m,底端本体腐蚀断。捞出的油管腐蚀严重,本体布满孔洞,施加扭矩即断裂。

2021 年 10 月 31 日,下打捞管柱: $\Phi 73$ mm 反扣钻杆 259 根+ $\Phi 116$ mm 组合式整形打捞筒,至鱼顶位置以上 0.3~0.5 m,接方钻杆,用密度 1.25 g/cm³ 无固相卤水压井液正循环冲洗至进出口液性一致,泵压 5 MPa,排量 400 L/min,缓慢加压 20 kN 打捞,泵压升为 10 MPa,排量 400 L/min,判断捞获,捞深 2 508.36 m。继续上提管柱,最大上提负荷 550 kN,负荷降至 450 kN(管柱原上提负荷 400 kN),泵压降为 6 MPa,排量 400 L/min,上提管柱 5 根,负荷由 450 kN 降至 410 kN。边起边灌起出打捞管柱,捞出 $\Phi 73$ mm 平式内衬油管 5.1 m+ $\Phi 73$ mm 平式内衬油管 7 根+滑套 1 个+筛管 4 根+丝堵。捞出的油管腐蚀严重,管体布满孔洞。

按大修成本 3.84 万元/天计算,同类型施工原平均周期 36 天/井次,使用该工具后平均周期 20 天/井次,单井节支 3.84×(36-20)=61.44 万元,预计年处理 15 口老井可节支 921.6 万元,经济效益可观。

4 结论

(1)研制的组合式整形打捞筒,将不规则鱼顶引入长锥形引鞋中,利用加长筒体空间预留较长腐蚀油管,可规避油管本体腐蚀严重区域,预选油管本体腐蚀不严重区域进行卡瓦打捞。

(2)研制的组合式整形打捞筒,内部创新设计了捞获检测机构,利用可正向循环和封闭的单流结构,通过泵压可准确判断落鱼是否准确捞获。

(3)建立了组合式整形打捞筒的实体模型,模拟了卡瓦打捞油管的过程,得到了锥形外圆卡瓦捞获油管等效应力云图,可为工具的优化设计及现场应用提供技术依据,保证了现场施工的安全可靠性。

(4)应用组合式整形打捞筒进行打捞作业,提高了一次打捞成功率,单井平均可节约大修作业成本 60 余万,缩短了施工周期,降低了作业成本,具有显著的经济效益。

致谢:感谢渤海钻探井下技术服务分公司同意本文公开发表。

参考文献

- [1] 王万鹏. 双管井腐蚀管柱打捞技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(2): 177-179.
WANG Wanpeng. Research on fishing technology of corroded pipe string for double-pipe well[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2022, 42(2): 177-179.
- [2] 郑海旺. 严重腐蚀油管打捞工艺研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(15): 217-218.
ZHENG Haiwang. Study on the salvage technology of severely corroded tubing[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2020, 40(15): 217-218.
- [3] 王萍, 郭平平, 朱海燕, 等. 注水井打捞技术研究与应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013, 34(1): 122.
WANG Ping, GUO Pingping, ZHU Haiyan, et al. Research and application of water injection well salvage technology[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013, 34(1): 122.
- [4] 姚园. 渤海油田腐蚀垢卡油管打捞工艺技术—以绥中36-1A井为例[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2019, 39(2): 83-87.
YAO Yuan. Tubing salvage technology for corrosion scale stuck in Bohai oilfield-Taking Suizhong 36-1A well as an example[J]. Journal of Liaoning Petrochemical University, 2019, 39(2): 83-87.
- [5] 程秀侨, 刘建军, 陈明旭. 多重落鱼打捞技术在B10井的现场应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2016, 36(18): 117-119.
CHENG Xiuqiao, LIU Jianjun, CHEN Mingxu. Field application of multi-drop fish salvage technology in well B10[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2016, 36(18): 117-119.
- [6] 朱颐, 李嘉宾. 腐蚀油管打捞工艺技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(14): 236-238.
ZHU Yi, LI Jiabin. Research on salvage technology of corroded tubing[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2020, 40(14): 236-238.
- [7] 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.
- [8] 刘伟, 李丽, 黄敏. 超深探井腐蚀油管打捞技术[J]. 石油矿场机械, 2007, 36(7): 89-92.
LIU Wei, LI Li, HUANG Min. Fishing technology of corroded oil pipes in ultra deep well[J]. Oil Field Equipment, 2007, 36(7): 89-92.
- [9] 于锋. 腐蚀结垢管柱解卡打捞研究与应用[J]. 化学工程与装备, 2019, (3): 95-97.
YU Feng. Research and application of removal and salvage

- of corrosion and scaling pipe string[J]. Chemical Engineering and Equipment, 2019, (3): 95-97.
- [10] 刘雪光, 李长平, 许洋, 等. 重度腐蚀油管打捞技术研究与应用[J]. 化工设计通讯, 2018, 44(7): 52.
LIU Xueguang, LI Changping, XU Yang, et al. Research and application of heavy corrosion tubing salvage technology[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2018, 44(7): 52.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 庞德新, 艾白布·阿不力米提, 朱召召, 等. 连续油管打捞连续油管工艺在低压低产气井中的应用[J]. 天然气工业, 2020, 40(1): 76-82.
PANG Dexin, AIBAIBU Abulimiti, ZHU Zhaozhao, et al. Application of fishing coiled tubing by using coiled tubing in gas wells with low pressures and low production rates[J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(1): 76-82.
- [14] 许进峰. ANSYS Workbench15.0 完全自学一本通[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [15] 凌桂龙. ANSYS Workbench15.0 从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
- [16] 樊震刚, 马洪钟, 平恩顺, 等. 一种组合式卡瓦打捞筒: 中国, 202022758384[P]. 2020-11-25.
FAN Zhengang, MA Hongzhong, PING Enshun, et al. A combined slip overshot: China, 202022758384[P]. 2020-11-25.
- [17] 郑波强, 洪德强, 曹良波, 等. 一种可退式套铣打捞一体化装置及其打捞方法: 中国, 2017106785184[P]. 2017-08-10.
ZHENG Boqiang, HONG Deqiang, CAO Liangbo, et al. A retractable sleeve milling and salvage integrated device and its salvage method: China, 2017106785184[P]. 2017-08-10.

编辑 刘振庆

第一作者简介:平恩顺,男,1986年出生,高级工程师,2015年毕业于河北工业大学机械制造及其自动化专业,现主要从事油气田开发方面的研究工作。电话:022-25935632;Email: pingenshun@163.com,通信地址:天津市滨海新区大港油田港西大道640号渤海钻探井下技术服务分公司,邮政编码:300283。