

海上“落鱼”井实施打捞与侧钻方案的经济分析

陈立强, 杨旭才, 王 赞, 王占领

(中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452)

摘要:井下“落鱼”打捞工期的不确定性导致施工成本不可控, 制定合理的打捞经济决策点至关重要。本文以渤海油田某“落鱼”井为例, 不打捞“落鱼”则需在“落鱼”上部进行套管开窗侧钻, 为两开井身结构, 打捞“落鱼”则在套管鞋下裸眼侧钻, 为一开井身结构, 放弃打捞或者盲目打捞都并非最经济的方案。通过对冲砂打捞工期进行量化, 提出了经济工期和决策工期, 通过现场尝试冲砂打捞作业, 在决策工期内分析其作业难度, 并判断是否能够在经济工期内完成作业, 最大程度降低总体实施成本, 提高油田开发经济效益。渤海油田 A 井应用该决策方法, 共节约费用近 420 万元。提出的“落鱼”井打捞经济工期和决策工期计算方法具有一定的推广价值。

关键词:“落鱼”; 打捞; 侧钻; 经济工期; 决策工期

中图分类号: P634; TE29 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2019)05-0039-05

Economic analysis for offshore well fishing and sidetracking scheme

CHEN Liqiang, YANG Xucai, WANG Zan, WANG Zhanling

(CNOOC Ener Tech-Drilling & Production Co., Tianjin 300452, China)

Abstract: The uncertainty of fishing schedules makes operation costs uncontrollable, and it is of vital importance to formulate a proper economic decision point. This paper takes a certain fishing well in Bohai Oilfield as an example. Sidetracking from above the fish was necessary without fishing, or from below the casing shoe with fishing. Abandoning fishing or fishing blindly was not the most economical solution. The two concepts i. e., the economic operation period and the decision-making period, were proposed by quantifying the fishing period. Through field fishing attempts, the difficulty of the operation was analyzed during the decision-making period, and it was determined whether the operation can be completed within the economic period; thus minimizing overall operation costs and improving economic benefits of oilfield development. This decision-making method was applied at Well A in Bohai Oilfield, saving a total of nearly 4.2 million. The calculation method for the economic fishing period and the decision-making period proposed in this paper is worthy of promotion.

Key words: fish; fishing; sidetracking; economic construction period; decision-making period

0 引言

随着渤海油田的深入开发, 老井井况越来越复杂, 诸如油井出砂造成防砂管柱失效, 井内管柱被砂埋后被迫切割造成“落鱼”等, 导致生产井关停影响产量^[1-6]。由于海上平台槽口资源有限, 利用这些关停井实施侧钻成为了盘活关停井的主要方式之一^[7-12]。据统计, 渤海油田近两年实施的调整井中, 利用老井实施侧钻的比例高达 70% 以上^[13-17]。

由于井内失效管柱及“落鱼”砂埋严重, 且生产年限较长, 导致打捞工期不可控, 进而影响施工成

本, 影响油田的生产效益^[18-20]。因此, 在打捞侧钻设计方案中如何降低总体成本是关键。国内外关于“落鱼”打捞技术及侧钻技术的研究均已日趋成熟^[21-25], 然而, 两项技术并没有综合考虑打捞与侧钻的综合成本。要综合考虑打捞难度与侧钻方案, 以总成本为指标, 提出经济工期和决策工期的计算方法。既不盲目的、不计成本地实施打捞, 也不直接放弃打捞造成侧钻成本过高, 在满足油藏需求的前提下, 最大程度降低总体实施成本, 提高油田开发经济效益。

收稿日期: 2019-01-15 **DOI:** 10.12143/j.tkgc.2019.05.007

作者简介: 陈立强, 男, 汉族, 1988 年生, 工程师, 油气井工程专业, 硕士, 主要从事海洋钻井方面的研究工作, 天津市滨海新区海川路 2121 号, chenli.qiang@163.com。

引用格式: 陈立强, 杨旭才, 王赞, 等. 海上“落鱼”井实施打捞与侧钻方案的经济分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(5): 39-43, 64.

CHEN Liqiang, YANG Xucai, WANG Zan, et al. Economic analysis for offshore well fishing and sidetracking scheme[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(5): 39-43, 64.

1 “落鱼”侧钻井存在的问题

A井为渤海油田某平台一口水平分支井,由于生产年限较长,筛管发生破裂,井内大量出砂,砂埋了防砂管柱、顶部封隔器及油层保护丢手管柱,造成该井关停,油藏研究发现该井位附近仍然存在大量剩余油,因此提出利用该老井井槽进行侧钻处理。

该井套管程序为: $\text{O}508.0\text{ mm}$ 隔水导管 $\times 125\text{ m} + \text{O}339.7\text{ mm}$ 套管 $\times 604\text{ m} + \text{O}244.5\text{ mm}$ 套管 $\times 2124\text{ m} + \text{O}215.9\text{ mm}$ 主支 $\times 2385\text{ m} + \text{O}215.9\text{ mm}$ 分支 $\times 2382\text{ m}$, 其中主支采用 $\text{O}177.8\text{ mm}$ 的金属棉蠕筛管预充填进行防砂。其中丢手管柱插入顶部封隔器内,深度为 $1858\sim 1903\text{ m}$, 共计 45 m , 地层砂埋至 1803 m 。

常规打捞及侧钻方案为:(1)冲砂至井底($1803\sim 2385\text{ m}$);(2)打捞丢手管柱($1858\sim 1903\text{ m}$);(3)切割打捞顶部封隔器及防砂筛管($1862\sim 2154\text{ m}$);(4)于 $\text{O}244.5\text{ mm}$ 套管鞋下进行裸眼侧钻作业,一开 $\text{O}215.9\text{ mm}$ 水平段完钻。该方案的冲砂打捞工期较长,但侧钻工期较短。

不打捞“落鱼”的侧钻方案为:(1)冲砂至“落鱼”顶($1803\sim 1858\text{ m}$);(2)在“落鱼”顶 $2\sim 5\text{ m}$ 处坐封挤水泥封隔器;(3)通过挤水泥封隔器向下部地层挤注水泥;(4)在挤水泥封隔器上部注长度 $< 100\text{ m}$ 的水泥塞;(5)在水泥塞上部开窗侧钻一开 $\text{O}215.9\text{ mm}$ 井眼至着陆点,下 $\text{O}177.8\text{ mm}$ 尾管并固井作业;(6)换 $\text{O}152.4\text{ mm}$ 钻头,二开 $\text{O}152.4\text{ mm}$ 水平段完钻。该方案冲砂挤水泥作业工期较短,但开窗侧钻工期较长。

由于井内情况较为复杂,无法得知冲砂打捞作业难度,难以预测其工期,故很难决策是否进行冲砂打捞作业。因此,如何将打捞难度进行量化,以综合成本为指标,合理选择作业方案至关重要。

2 “落鱼”井打捞侧钻经济方案优选

2.1 冲砂打捞与侧钻方案优选流程

不打捞“落鱼”方案的总费用由常规弃井的费用及开窗侧钻的费用构成,打捞“落鱼”方案的总费用由打捞费用及管鞋下裸眼侧钻的费用构成,打捞“落鱼”失败后转为常规开窗侧钻的总费用由裸眼打捞的费用、转为常规弃井的费用及开窗侧钻的费用构成。表达式如下:

$$F_{\text{不打捞}} = Q_{R1} T_1 + C_{F1} \quad (1)$$

$$F_{\text{打捞}} = Q_{R2} T_2 + C_{F2} \quad (2)$$

$$F_{\text{打捞失败}} = Q_{R2} T_3 + Q_{R1} T_4 + C_{F1} \quad (3)$$

式中: $F_{\text{不打捞}}$ ——不选择冲砂打捞方案的总费用,万元; Q_{R1} ——常规弃井的日费,万元/d; T_1 ——常规弃井的工期,d; C_{F1} ——开窗侧钻的费用,万元; $F_{\text{打捞}}$ ——选择冲砂打捞方案的总费用,万元; Q_{R2} ——冲砂打捞的日费,万元/d; T_2 ——冲砂打捞的工期,d; C_{F2} ——裸眼侧钻的费用,万元; $F_{\text{打捞失败}}$ ——选择冲砂打捞方案失败后转为常规弃井的总费用,万元; T_3 ——冲砂打捞的工期,d; T_4 ——冲砂打捞失败后转为常规弃井的工期,d。

本文提出2个概念:决策工期和经济工期。决策工期,即根据冲砂打捞作业情况,分析其作业难度,在一定时间内做出判断是否继续实施冲砂打捞作业,该时间称为决策工期。经济工期,即冲砂打捞作业所允许的最大时间,超过该时间,则选择冲砂打捞作业方案不具有经济优势。

当打捞“落鱼”方案的总费用与不打捞“落鱼”方案的总费用持平时,即令式(1)=式(2),可得到 T_2 ,即为经济工期。同理,令式(1)=式(3),可得到 T_3 ,即为决策工期。

为方便指导现场决策,制定以下冲砂打捞与侧钻方案流程图,见图1。首先通过对打捞难度的量化分析,根据方案优选方法计算冲砂打捞经济工期,如果设计的冲砂打捞工期少于经济工期,则实施冲砂打捞方案后在套管鞋下裸眼侧钻方案是有经济优势的。否则需要计算冲砂打捞决策工期,在尝试打捞

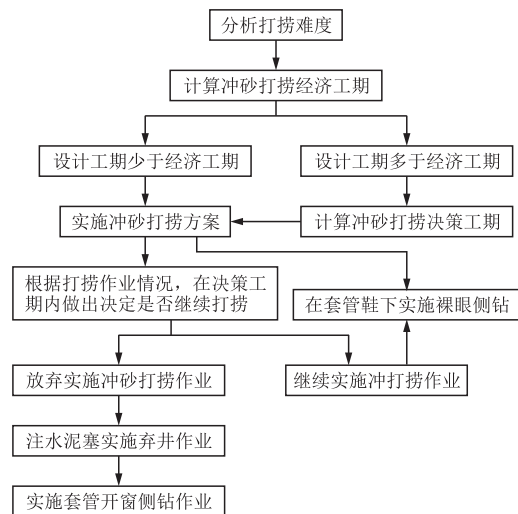


图1 冲砂打捞与侧钻方案流程图

Fig.1 Fishing and sidetracking scheme

的过程中,计算得到的决策工期内做出决定是否继续打捞,如果通过尝试发现打捞难度很大,无法在经济工期内完成作业,则注水泥塞实施弃井作业,再进行套管开窗作业,如果通过尝试打捞发现难度不大,可以在经济工期内完成打捞,则继续冲砂打捞,之后在套管鞋下实施裸眼侧钻。

2.2 打捞工期费用敏感性分析

公式(1)即不打捞“落鱼”及筛管,常规弃井作业后进行套管开窗侧钻的方案,根据该方案的钻井设

计可知,常规弃井工期为 6.50 d,钻井工期为 8.0 d,总工期为 14.5 d,总费用为 1918 万元。公式(2)即打捞“落鱼”及筛管,在套管鞋下进行裸眼侧钻的方案,由于打捞“落鱼”及筛管的难度未知,因此,以冲砂打捞“落鱼”及筛管的工期为变量,分别为 8.0、10.0、12.0、...、28.0 d,钻井工期为 4.0 d,总工期为 12.0、14.0、16.0、...、32.0 d,总费用为 1339 万元、1481 万元、1622 万元、...、2755 万元,并以此数据得到冲砂打捞工期费用敏感性分析,见图 2。

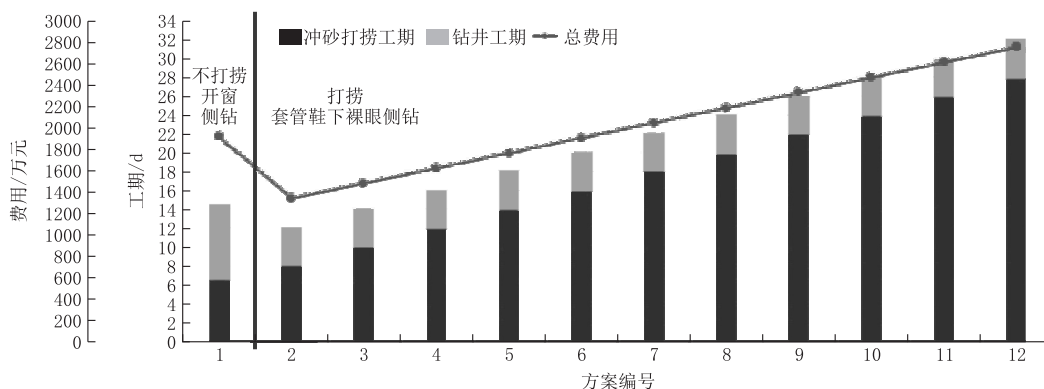


图 2 冲砂打捞工期费用敏感性分析
Fig.2 Sensitivity analysis of sand washing and fishing cost

由图 2 可以看出,方案一为不打捞“落鱼”及筛管,在“落鱼”顶开窗侧钻方案,黑色代表弃井工期,灰色代表开窗侧钻工期,折线点代表总费用,方案 2 至方案 12 为以冲砂打捞工期为变量的经济敏感性分析。方案 2 为理想冲砂打捞工期 8 d,侧钻工期为 4 d,总费用相对方案 1 能够节约 700 万元左右,方案 6 的冲砂打捞工期为 16 d,侧钻工期为 4 d,总费用与方案 1 相当。由此可以看出,方案 2 至方案 6 的总费用相对于方案 1 是有优势的,即如果冲砂打捞工期能够控制在 16 d 以内,则冲砂打捞再侧钻的方案是有优势的,而冲砂打捞工期超过 16 d,总费用是超过方案 1 的,即从经济的角度,是不推荐冲砂打

捞作业的。本文将 16 d 称为冲砂打捞经济工期。

因此,对于已知冲砂打捞难度的井,可以通过上述方法计算得到冲砂打捞经济工期,再进行评估,从而判断该井是否值得进行冲砂打捞作业。

2.3 打捞工期经济窗口分析

公式(3)即打捞“落鱼”及筛管失败后转为常规弃井方案,并进行套管开窗侧钻的方案,打捞“落鱼”失败所用的工期分别为 2.0、3.0、4.0、...、28.0 d,放弃打捞转为常规弃井所用工期为 4.0 d,钻井工期为 8.0 d,总工期为 14.0、15.0、16.0、...、40.0 d,总费用为 1909 万元、1980 万元、2051 万元、...、3750 万元,并以此数据做图 3。

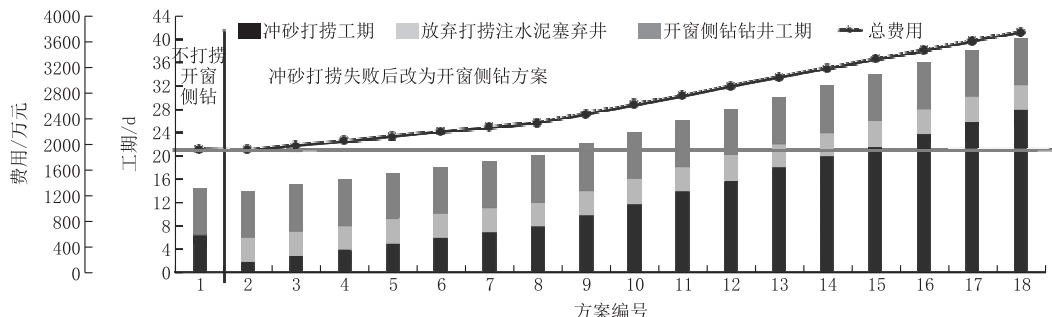


图 3 冲砂打捞工期决策窗口分析
Fig.3 Analysis of the decision-making window for the sand washing and fishing period

图3方案1为不打捞“落鱼”及筛管,在“落鱼”顶开窗侧钻方案,黑色代表弃井工期,深灰色代表开窗侧钻工期,折线点代表总费用。方案2至方案18为尝试冲砂打捞一段时间后(黑色),发现难度太大,无法在预计的冲砂打捞经济工期内完成,则需要改为常规弃井(浅灰色),然后再实施开窗侧钻作业(深灰色)。可以看出,只有方案2的总费用相对于方案1是有优势的,即冲砂打捞的决策工期为2.5 d,即移井架、拆采油树、防喷器组安装试压、起甩井内生产管柱以及尝试冲砂打捞决定是否继续打捞作业的总经济工期为2.5 d,超过该工期,则总费用相对方案1就没有费用优势。

决策时间越长,总费用越高,因此,要在移井架、拆采油树、防喷器组安装试压及起甩井内生产管柱这些作业环节上尽量节省工期,为冲砂打捞的尝试多留一些时间,以便能够摸清井下情况,为是否继续实施打捞作业提供合理的依据。

3 应用分析

3.1 实施情况与效果

通过对打捞工期的费用敏感性分析可以得到冲砂打捞的决策工期为2.5 d,冲砂打捞经济工期为16 d。实际作业过程中,“落鱼”打捞成功的累计工期只有2.16 d(见图4),在冲砂打捞决策工期2.5 d以内,分析认为打捞难度不大,现场分析决定继续打捞防砂筛管,总工期12.4 d完成打捞作业,在冲砂打捞经济工期16 d以内,表1为实际实施工序及工期。通过本次设计阶段对冲砂打捞难度进行量化,引入冲砂打捞决策工期以及经济工期,对现场的决策起到指导作用,节约了成本。

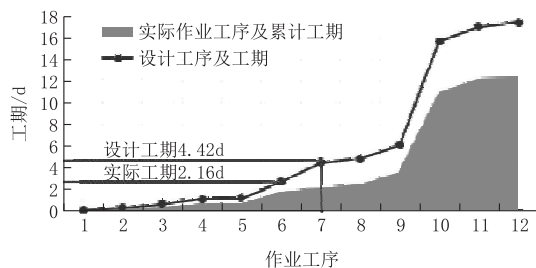


图4 冲砂打捞工期设计与实际对比图

Fig.4 Comparison of designed period and actual period

3.2 经济效益分析

A井在设计阶段对冲砂打捞作业难度进行量化,给出了经济打捞工期及决策工期,现场以此作为

表1 实际实施工序及工期

Table 1 Actual operation process and construction period			
序号	作业描述	设计累计工期/d	实际累计工期/d
1	移井架	0.08	0.08
2	拆采油树	0.25	0.15
3	防喷器组安装、试压	0.58	0.35
4	起甩井内生产管柱	1.08	0.71
5	下入防磨衬套	1.17	0.73
6	冲砂作业	2.67	1.80
7	打捞“落鱼”	4.42	2.16
8	起甩打捞工具及“落鱼”	4.83	2.45
9	期间自然停工	6.08	3.53
10	切割回收筛管	15.75	11.02
11	注弃井水泥塞	17.17	12.33
12	安装井口	17.50	12.40

是否继续进行打捞作业的依据,避免了盲目的、不计成本地实施打捞作业,也避免了直接放弃打捞造成侧钻成本过高的现象,通过尝试打捞,分析作业难度,在满足油藏需求的前提下,最大程度降低总体实施成本,提高油田开发经济效益。在本井的实施过程中,引入该设计方法,从而指导现场做出决策,共节约费用约420万元。

4 结论

(1)随着渤海油田的深度开发,老井面临的情况越来越复杂,此类复杂井也会越来越多,本文提出的打捞经济工期和决策工期计算方法为经济地盘活此类复杂井提供一种新的思路。

(2)渤海油田“落鱼”井的打捞侧钻成本居高不下,放弃打捞或者盲目打捞都并非最经济的方案,寻求经济有效的打捞侧钻方案尤为重要。

(3)井下“落鱼”打捞工期的不确定性导致施工成本不可控,本文提出的打捞经济工期和决策工期有利于施工现场根据打捞难度及时做出决策,最大程度节约作业成本。渤海某油田A井应用该决策方法,节约费用约420万元。

(4)随着渤海油田的深入开发,“落鱼”井等复杂情况井也会随之增加,本文提出的打捞经济工期和决策工期计算方法应用前景广阔,可以有效降低作业成本。

参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] 罗鸣,顾纯巍,杜威.半潜式钻井平台水平井裸眼侧钻技术[J]. *石油钻采工艺*, 2014, 36(3):20-22.
- LUO Ming, GU Chunwei, DU Wei. Sidetracking technology for horizontal open hole on semi-submersible drilling platforms [J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2014, 36(3):20-22.
- [3] 王恒.裸眼侧钻关键技术的研究与应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2011, 38(10):26-29.
- WANG Heng. Research on key technology of sidetracking in open hole and the application [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2011, 38(10):26-29.
- [4] 和鹏飞,袁则名.海洋油气开采低产水平井同层侧钻技术的分析与实践[J]. *海洋工程装备与技术*, 2017, 4(2):69-73.
- HE Pengfei, YUAN Zeming. Application of sidetracking technology to same layer of inefficient wells in offshore oil and gas exploitation[J]. *Ocean Engineering Equipment and Technology*, 2017, 4(2):69-73.
- [5] 王晓鹏,韩耀图.渤海油田低效井侧钻技术应用前景分析[J]. *非常规油气*, 2015, 2(5):61-65.
- WANG Xiaopeng, HAN Yaotu. Application prospect of sidetrack drilling technology for inefficient wells in Bohai Oilfield [J]. *Unconventional Oil & Gas*, 2015, 2(5):61-65.
- [6] 宋国超.割捞一体技术在渤海油田的应用[J]. *中国石油石化*, 2017, (10):73-75.
- SONG Guochao. Application of cutting integrated technology in Bohai Oilfield[J]. *China Petrochem*, 2017, (10):73-75.
- [7] 李瑞峰,林俊文,张浩.渤海某油田水平井裸眼同层侧钻技术应用[J]. *海洋石油*, 2018, 38(1):69-71, 81.
- LI Ruifeng, LIN Junwen, ZHANG Hao. Application of sidetracking technology at the same layer in horizontal well in Bohai Oilfield[J]. *Offshore Oil*, 2018, 38(1):69-71, 81.
- [8] 庞炳章,牟小军,胡伟杰,等.开窗侧钻技术在埕北油田的应用[J]. *中国海上油气*, 2005, 17(2):116-117.
- PANG Bingzhang, MOU Xiaojun, HU Weijie, et al. Application of casing milling sidetracking technology in Chengbei Oilfield[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2005, 17(2):116-117.
- [9] 司念亭,周赵川,陈立群,等.套铣技术优化及其在渤海油田大修井中的应用[J]. *石油机械*, 2014, 42(11):138-141, 146.
- SI Nianting, ZHOU Zhaochuan, CHEN Liqun. Optimization and application of washover technology in Bohai Oilfield[J]. *China Petroleum Machinery*, 2014, 42(11):138-141, 146.
- [10] 刘卫坡,刘晖,韩联合,等.表层套管侧钻取生产套管技术[J]. *石油钻采工艺*, 2012, 34(4):40-42.
- LIU Weipo, LIU Hui, HAN Lianhe, et al. Application of retrieving cemented production casing technology to sidetrack surface casing [J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2012, 34(4):40-42.
- [11] 崔国杰,张晓诚,刘军波,等.小井眼开窗侧钻水平井技术在秦皇岛 32-6 油田的应用[J]. *中国海上油气*, 2015, 27(2):68-72.
- CUI Guojie, ZHANG Xiaocheng, LIU Junbo, et al. Development and application of slim hole sidetracking technology package in QHD 32-6 Oilfield[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2015, 27(2):68-72.
- [12] 金鑫,张飞,王占领,等.小井眼侧钻水平井钻完井工艺在 QHD32-6 油田的应用[J]. *海洋石油*, 2011, 31(3):89-92.
- JIN Xin, ZHANG Fei, WANG Zhanling, et al. Application of horizontal well sidetrack drilling and completion in slim hole in QHD32-6 Oilfield[J]. *Offshore Oil*, 2011, 31(3):89-92.
- [13] 吴占民,王占领,王赞,等.海上同层侧钻井实施方案优选方法[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2018, 45(7):41-43.
- WU Zhanmin, WANG Zhanling, WANG Zan, et al. Optimization method for offshore same layer sidetracking scheme [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2018, 45(7):41-43.
- [14] 赵少伟,范白涛,杨秋荣,等.海上油气田低效井侧钻技术[J]. *船海工程*, 2015, (6):144-148.
- ZHAO Shaowei, FAN Baitao, YANG Qirong, et al. On side tracking technology in inefficient well in Bohai reservoir [J]. *Ship & Ocean Engineering*, 2015, (6):144-148.
- [15] 韩耀图,林家昱,谢涛,等.渤海油田水平砾石充填井防砂管柱打捞技术的应用[J]. *中外能源*, 2016, 21(5):58-62.
- HAN Yaotu, LIN Jiayu, XIE Tao, et al. Application of fishing sand filtering tubes technology of gravel packed horizontal wells in Bohai Oilfield[J]. *Sino-Global Energy*, 2016, 21(5):58-62.
- [16] 陈建庆,章桂庭.裸眼水平井防砂管内冲砂技术探讨[J]. *石油天然气学报*, 2013, 35(5):131-133.
- CHEN Jianqing, ZHANG Guiting. Discussion on sand washing method inside sand control screen in open-hole horizontal wells[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2013, 35(5):131-133.
- [17] 罗永贵,王年友,王红阳,等.水力内割刀与可退式捞矛在打捞深孔事故钻杆中的应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2015, 42(2):60-63.
- LUO Yonggui, WANG Nianyou, WANG Hongyang, et al. Application of hydraulic internal cutter and retrievable spear for drill rod fishing in deep hole[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2015, 42(2):60-63.
- [18] 胡茂中,鄢泰宁.FN-1 井复杂条件下深井侧钻技术分析[J]. *探矿工程*, 2002, (1):47-48.
- HU Maozhong, YAN Taining. Technical analysis on the side tracking under adverse conditions in deep section of FN-1 Well[J]. *Exploration Engineering*, 2002, (1):47-48.
- [19] 李贵宾,马金山,邱明川.南堡 1-83 井传输测井断钻具事故处理[J]. *钻采工艺*, 2012, 35(6):104-105, 123.
- LI Guibin, MA Jinshan, QIU Mingchuan. Treatment of broken drill string accident in Nanpu 1-83 Well transmission logging[J]. *Drilling & Production Technology*, 2012, 35(6):104-105, 123.