

渤海油田油气井侧钻设计方法优化分析

王占领, 陈立强, 吴占民, 于忠涛, 王 赞, 贺占国
(中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300459)

摘要:渤海油田低效井侧钻是稳产增产的重要手段之一。优化侧钻方案实现降本增效是精细化侧钻的研究重点。本文系统介绍了侧钻井设计方法, 基于对低效井与侧钻井位进行合理匹配, 优选侧钻井段, 确定深部侧钻和浅部侧钻方案, 针对浅部侧钻方案提出了隔水导管重入方案、隔水导管鞋下裸眼侧钻方案、表层套管段开窗侧钻方案、表层套管鞋下裸眼侧钻方案的适用条件与难点, 针对深部侧钻方案提出了生产套管开窗侧钻方案、生产套管鞋下裸眼侧钻方案的优选流程。并以渤海某油田 2 口低效井 A 井与 B 井为例, 进行了槽口优选、侧钻井段优选、侧钻点优选, 最终通过互换 2 口井的侧钻井位, 节约进尺 1428 m。现场实施结果表明本次 2 口低效井侧钻方案合理, 能够实现降本增效的目的。本文提出的低效井侧钻优选方法对渤海油田低效井侧钻设计具有一定的指导意义。

关键词:渤海油田; 油气井; 低效井; 侧钻; 井位; 海上钻井

中图分类号: TE243; P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2020)02-0036-06

Optimization design method for sidetracking wells in Bohai Oilfield

WANG Zhanling, CHEN Liqiang, WU Zhanmin, YU Zhongtao, WANG Zan, HE Zhanguo
(CNOOC Ener Tech-Drilling & Production Co., Tianjin 300459, China)

Abstract: Sidetracking from low performance wells in Bohai Oilfield is one of the important means to stabilize and increase production. Optimizing the sidetracking plan to achieve cost reduction and efficiency enhancement is the research focus of the refined sidetracking well design. This paper systematically introduces the sidetracking well design method. The sidetracking section is optimized through properly matching of the low-performance well location and the sidetracking well location; for the shallow sidetracking plan, several technical solutions are presented, including riser reentry, open hole sidetracking from under the riser shoe, sidetracking from surface casing by window-milling, as well as the applicable conditions and difficulties in open hole sidetracking from under the surface casing shoe; for the deep sidetracking plan, the optimal flow chart for sidetracking from the milled window on production casing and sidetracking from under production casing shoes is proposed. Taking two low-performance wells A and B in Bohai as an example, optimization of the drilling slots, the sidetracking well sections was performed. With interchange of the sidetracking target locations of the two wells, the drilling amount was reduced by 1428m. The field application results show that the sidetracking plan for the two low-performance wells are rational and can achieve the purpose of cost reduction and efficiency enhancement. The optimal method of low-performance well sidetracking proposed in this paper can provide some guidance for the sidetracking design for low-performance wells in Bohai Oilfield.

Key words: Bohai Oilfield; oil and gas wells; low-performance wells; sidetracking; well location; offshore drilling

渤海油田的开发已逐步进入中后期, 低效井逐年增多, 稳产压力大^[1-3]。区别于陆地油田, 海上钻井槽口资源有限, 因此利用老井侧钻成为了渤海油田稳产增产的主要手段之一^[4-8]。统计结果表明, 渤海油田近 3 年来利用老井实施侧钻的井数逐年增

高, 占调整井的比例高达 60%~80%^[9-13]。

渤海油田剩余油主要分布在油井间、油层顶部与断层附近, 利用低效井或者关停井进行侧钻对剩余油进行有效挖潜, 可以盘活关停井, 实现槽口资源充分利用, 同时可有效提高采收率^[14-19]。通常情况

收稿日期: 2019-10-10; **修回日期:** 2020-01-07 **DOI:** 10.12143/j.tkgc.2020.02.005

作者简介: 王占领, 男, 汉族, 1980 年生, 工程师, 主要从事海洋石油钻井设计管理及相关研究工作, 天津市滨海新区海川路 2121 号渤海石油管理局大厦 C 座, wangzhl8@cnooc.com.cn。

引用格式: 王占领, 陈立强, 吴占民, 等. 渤海油田油气井侧钻设计方法优化分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(2): 36-41, 48.

WANG Zhanling, CHEN Liqiang, WU Zhanmin, et al. Optimization design method for sidetracking wells in Bohai Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(2): 36-41, 48.

下,地质油藏专业通过模拟分析剩余油分布情况,提出侧钻井位,利用低效井槽侧钻至该井位,挖潜剩余油。

面对数量越来越多的侧钻井,越来越复杂的井下情况,侧钻方案需要进行精细化研究,形成技术体系,降低钻完井风险,提高低效井侧钻的经济性,本文将系统地介绍渤海油田侧钻井设计方法。

1 渤海油田低效井现状

1.1 侧钻井现状分析

渤海油田地层从上至下为:第四系上新统中新统明化镇组上段、下段,中新统馆陶组,渐新统东营组一段、二段、三段,始新统沙河街组、孔店组。其中明化镇组上部砂泥岩不等厚互层,下部厚层泥岩夹砂岩,多含塑性泥岩。馆陶组上部砂泥岩不等厚互层,中下部厚层砂砾岩夹薄层泥岩。东一段和东二上段砂泥岩不等厚互层,多含玄武岩、沉凝灰岩,东二下段和东三段上部砂泥岩不等厚互层,中下部厚层泥岩为主,多含闪长斑岩。沙河街组以厚层泥岩为主,发育生屑云岩。孔店组发育大套厚层含砾砂岩、砂砾岩。太古界潜山发育花岗片麻岩。主要含油层系位于明化镇组及馆陶组^[20-25]。

渤海油田低效井定义为产量 $<10\text{ m}^3/\text{d}$,长期注水开发导致储层水淹的高含水井,以及工程原因(出砂)或地质原因(储层物性差)等原因导致的低产井^[7]。对于低效井的治理手段主要为大修、调剖等,但这些措施无法有效开采剩余油,所以,侧钻至剩余油富集区成为了一种有效手段。从图 1 中可以看出,自 2013 年至 2019 年,渤海油田的侧钻井数呈上升趋势,2018 年侧钻井数占调整井数的 82.79%,侧钻井是渤海油田实现稳产的重要方式之一。如何经济有效的实施侧钻,开发剩余油是目前低油价形势下的研究重点,基于此,侧钻井设计需以满足地质油藏要求为基础,以经济性为主要原则,多种因素综合考虑,实现侧钻方案优选,实现侧钻井的降本增效。

1.2 侧钻井设计总体思路

通常情况下,地质油藏专业通过模拟分析剩余油分布情况,提出侧钻井位,钻井设计的第一步则是根据低效井目前的轨迹与侧钻井位的位置关系,进行侧钻槽口优选,对低效井与侧钻井位进行合理匹配,最大程度利用低效井老井轨迹,降低作业难度及

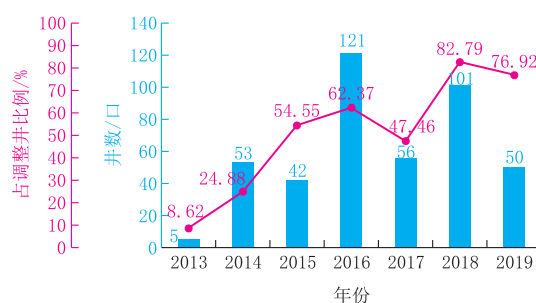


图 1 渤海油田历年侧钻井井数

Fig.1 Numbers of sidetracking wells in Bohai Oilfield in the past years

成本。

完成侧钻槽口与侧钻井位的匹配后,需进行侧钻井段的优选,侧钻井段主要包括上部井段和下部井段,上部井段的侧钻方式主要有隔水导管重入法、隔水导管鞋下裸眼侧钻、表层套管段开窗侧钻、表层套管鞋下裸眼侧钻,而下部井段的侧钻方式主要有生产套管开窗侧钻、生产套管鞋下裸眼侧钻。钻井设计过程中,侧钻井段的选取原则是首选深部侧钻,最大程度利用老井眼,减少进尺,节约成本。

完成侧钻井段的选取后则需要进一步进行侧钻点的进一步优选,侧钻点的优选主要遵循以下原则:尽可能的多利用老井井眼,提高侧钻经济性;工程风险尤其是防碰风险最低;避开断层、破碎带、砾石等复杂地层;满足油藏要求;满足完井及采油要求;避开扶正器和套管接箍位置;选择固井质量好的井段。

完成侧钻点的优选后,即确定了钻井的轨道设计,后续即为常规的钻井设计,这里不再详细叙述,具体流程如图 2 所示。

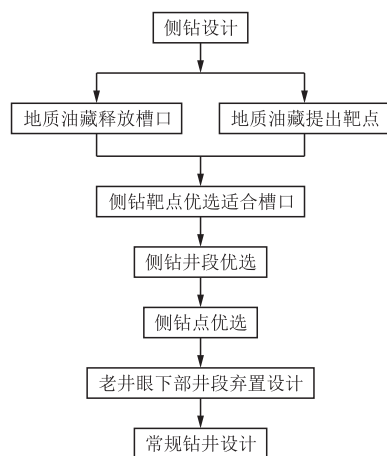


图 2 渤海油田侧钻井基本设计流程

Fig.2 Design flow chart for sidetracking wells in Bohai Oilfield

2 侧钻井设计方法

2.1 侧钻井槽口优选

通常情况下,油藏专业根据低效井槽口周围的剩余油分布提出新的侧钻井位,但由于部分井间距较小,油藏专业提出的低效井槽口与侧钻井位未必是最优匹配的,因此需要钻井设计过程中综合轨迹作业难度及进尺,统筹分析释放的老井槽口与侧钻井位靶点之间的位置关系,进行槽口与井位的最优匹配。

2.2 侧钻井开窗井段优选

完成侧钻槽口优选之后,即确定了低效井对应的侧钻井位,下一步则是进行开窗井段的优选,钻井设计过程中,侧钻井段的选取原则是首选深部侧钻,最大程度利用老井眼,减少进尺,节约成本。目前渤海油田较为成熟的浅部侧钻方案主要有隔水导管重入技术、隔水导管鞋下裸眼侧钻技术、表层套管段开窗侧钻技术、表层套管鞋下裸眼侧钻技术,深部侧钻方案主要有生产套管开窗侧钻技术、生产套管鞋下裸眼侧钻技术。

2.2.1 隔水导管重入技术

区别于陆地钻井,海上钻井是需要下入隔水导管的,以隔开海水。所谓隔水导管重入技术指的是利用切割技术将泥面以下一定深度隔水导管、表层套管、技术套管切割回收,再重新下入底部带有预斜工具的隔水导管。该技术的特点在于:侧钻井位与老井位置较远;老井可能已多次侧钻,下部无可利用井段;内层套管水泥返高较高,套铣困难;侧钻后井眼尺寸大。其存在的问题有:切割回收全部套管,弃井难度大;井口稳定性需进一步分析;由于周边井槽均已布井,浅层侧钻可能存在的防碰风险较大。

2.2.2 隔水导管鞋下裸眼侧钻技术

隔水导管鞋下裸眼侧钻技术指的是回收隔水导管深度以上的全部内层套管,一般包括表层套管和技术套管,表层套管外的固井水泥一般返至泥面,技术套管外的固井水泥一般返至表层套管鞋以上100 m,因此,回收套管的难度取决于套管外固井水泥的返高与固井质量,如果回收段套管外无水泥,则直接切割回收即可,而如果套管外有水泥,则需采用套铣或者磨铣的方式,效率低,费用高。该技术的特点在于:侧钻井位与老井位置一般较远,深部侧钻轨迹难度较大;渤海油田技术应用广泛,成熟度高,现场作业经验多。其存在的问题有:单级双封及部分单级

固井的井,套管回收难度突出;浅层侧钻可能存在防碰问题。

2.2.3 表层套管段开窗/表层套管鞋下裸眼侧钻技术

表层套管段开窗侧钻技术和表层套管鞋下裸眼侧钻技术同样需要回收表层套管内的技术套管至开窗点附近,其难度同样在于套管回收。

2.2.4 生产/技术套管开窗侧钻技术

生产/技术套管开窗侧钻技术的特点在于侧钻井与老井井位位置较近,定向井轨迹可实施;较充分利用老井,钻井投资较少。但其存在问题有:通常完钻井眼尺寸较小;有些完井方案难以实施;需要考虑井筒完整性问题。

2.2.5 生产套管鞋下裸眼侧钻技术

渤海油田出砂较为严重,储层段多为防砂的完井方式,因此生产套管鞋下裸眼侧钻技术的难点在于弃井作业需要处理老井的防砂管柱弃井作业难度大,工期长,费用高。但是,侧钻井与老井开发同一层位,侧钻井位在老井位附近,只需要钻进水平段,充分利用老井,钻井投资少,因此,弃井和钻井总体考虑,费用具有优势。

2.3 侧钻井侧钻点优选

侧钻点优选一般针对的是技术/生产套管开窗侧钻方式,选取不同的侧钻点,侧钻的轨道难度不同,进尺不同,因此,如何平衡作业难度与费用,需要在钻进设计中进行侧钻点的优选。

为了确保钻井方案的最优,制定了渤海油田侧钻井设计方案优选决策树(见图3)。

2.4 侧钻井弃井设计

区别于新槽口钻井设计,侧钻井设计过程需考虑老井眼的弃置问题,按照《海洋石油弃井规范》(Q/HS 2025-2010)封隔原井眼储层,才可实施侧钻。

对于浅部侧钻方案,弃井的基本流程为起出原生产管柱,目的层挤注水泥塞至顶部封隔器以上100 m,根据侧钻方案切割回收上部套管,自套管割口以下30 m向上注水泥塞长度 \leq 60 m。

对于生产/技术套管开窗侧钻方案,弃井的基本流程为起出原生产管柱,目的层挤注水泥塞至顶部封隔器以上100 m即可。

对于生产套管鞋下裸眼侧钻方案,弃井的基本流程为起出原生产管柱,切割回收防砂管柱至管鞋以下30 m处,挤注水泥塞至上层管鞋100 m处。

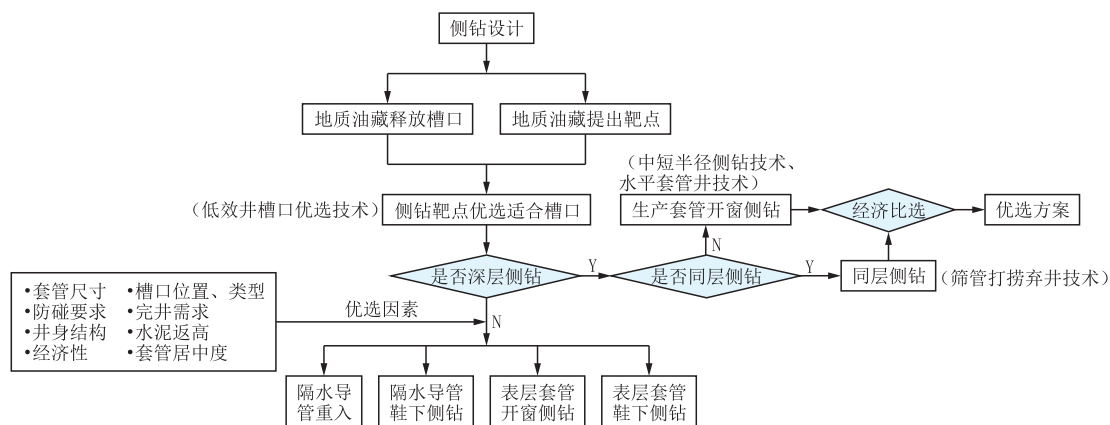


图 3 渤海油田侧钻井设计方案优选决策树

Fig.3 Optimal decision tree for sidetracking well design in Bohai Oilfield

完成老井眼的弃置,即可实施侧钻,后续的钻井设计与常规钻井设计相同,主要包括定向井设计、钻井平台就位设计、井身结构设计、钻井液设计、固井设计、钻具组合设计、钻头设计、摩阻扭矩及水力分析、测井设计、井控设计、溢油风险分析等,这里不再详细叙述。

3 案例分析

渤海某油田为有效动用明下段Ⅷ油组及Ⅸ油组储量,改善开发效果,在构造、储层、流体、生产动态及剩余油研究的基础上,利用 2 口低效井展开侧钻井位研究,A 井井身结构为隔水导管下深至 67 m,13% in(1 in=25.4 mm,下同)套管下深至 208 m,9% in套管下深至 2525 m,B 井井身结构为隔水导管下深至 110 m,13% in 套管下深至 794 m,9% in 套管下深至 3170 m。针对低效井 A 井提出了侧钻井位靶点 A1-1、A1-2,计划侧钻实施 A1 井;针对低效井 B 井提出了侧钻井位靶点 B1-1、B1-2,计划侧钻实施 B1 井。2 口低效井 A 井/B 井与油藏专业提出的侧钻井位靶点位置关系如图 4、图 5 所示。

从图 4、图 5 中可以看出,低效井 A/B 距离侧钻井位都比较近,无法直观的对低效井与侧钻井位进行匹配,为此钻井设计过程中首先要进行槽口优选,将低效井槽口匹配出最优的侧钻井位。设计过程中,利用低效井 A 分别侧钻至靶点 A1-1、A1-2 和靶点 B1-1、B1-2,设计轨道结果如表 1 所示,再利用低效井 B 分别侧钻至靶点 A1-1、A1-2 和靶点 B1-1、B1-2,设计轨道结果如表 2 所示。从表 1 中可以看出,利用低效井 A 井无论侧钻 A1 井位还

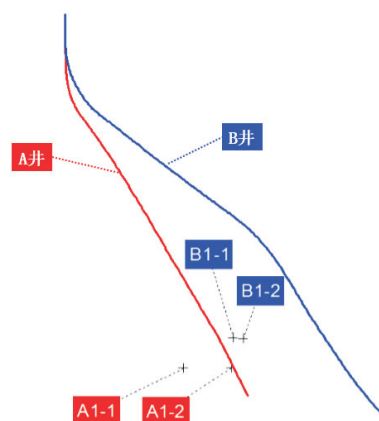


图 4 低效井 A/B 井垂直投影图与侧钻井位位置关系
Fig.4 Relationship between the vertical projection and sidetracking target locations of low-performance wells A/B

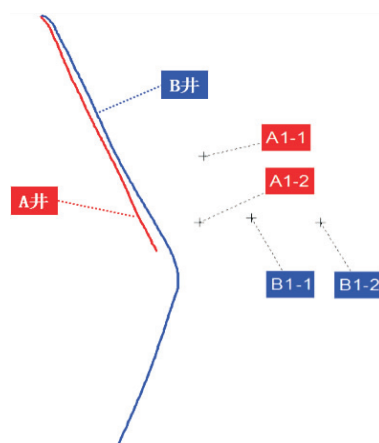


图 5 低效井 A/B 井水平投影图与侧钻井位位置关系
Fig.5 Relationship between the horizontal projection and sidetracking target locations of low-performance wells A/B

是 B1 井位都只能选择浅部侧钻,无法实施深部侧钻,浅层侧钻两组靶点轨迹对比无明显优势。从表 2 中可以看出,利用低效井 B 井侧钻 A1 井位,能够

表1 低效井A井分别侧钻A1与B1井位轨道设计

Table 1 Drilling path design of sidetracking targets A1 and B1 in low-performance well A

靶点	编号	侧钻点/m	井深/m	稳斜段长/m	进尺/m	井斜变化/(°)	方位角变化/(°)	全角变化率/[(°)·(30 m) ⁻¹]
A1	1	120	2678	1244	2558	1.1→28.9→89.3	114.9→158.7→94.2	3.00
	2	1400	2778	147	1378	54.3→4.2→89.3	153.7→323.6→94.2	4.45
B1	3	120	2783	1320	2663	2.1→19.3→90.2	114.9→93.0→183.2	3.00
	4	1400	3224	75	1824	54.3→76.4→90.2	153.7→3.7→183.2	6.09

表2 低效井B井分别侧钻A1与B1井位轨道设计

Table 2 Drilling path design of sidetracking targets A1 and B1 in low-performance well B

靶点	编号	侧钻点/m	井深/m	稳斜段长/m	进尺/m	井斜变化/(°)	方位角变化/(°)	全角变化率/[(°)·(30 m) ⁻¹]
A1	5	150	2684	1213.05	2534	0.21→29.48→89.34	155.34→158.29→94.21	3.00
	6	1500	2702	82.87	1202	30.63→28.73→89.34	155.83→166.87→94.21	3.03
	7	1600	2695	106.53	1093	31.42→30.82→89.34	156.64→155.86→94.21	3.13
	8	1700	2694	12.80	994	32.04→32.60→89.34	156.44→148.39→94.21	3.14
B1	9	150	2776	1244.00	2626	0.2→19.4→90.2	155.3→92.0→183.2	3.00
	10	1500	2749	318.00	1249	30.6→38.0→90.2	155.8→50.8→183.2	9.20

实现深部侧钻,节省进尺,节约成本,侧钻B1井位,不能够实现深层侧钻。

通过以上分析,选择从低效井A井侧钻B1井位,为浅部侧钻方案,从低效井B井侧钻A1井位,为深部侧钻方案,即确定了侧钻井槽口与侧钻井段。

针对低效井A井侧钻B1井位的浅部侧钻方案开展进一步研究,对比了隔水管重入方案与隔水管下裸眼侧钻方案,由于隔水管下裸眼侧钻方案弃井过程需要套铣13% in表层套管,工期费用较高,总体对比结果表明:方案一比方案二节约工期5 d(见表3),节省费用400余万元,因此推荐隔水管重入方案。

表3 低效井A井侧钻B1井位的浅部侧钻方案优选

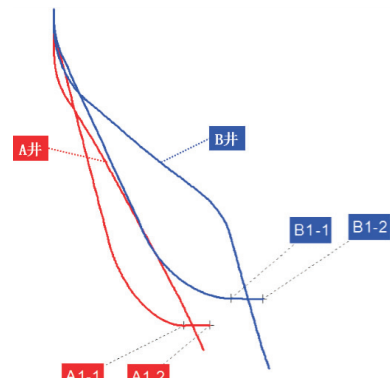
Table 3 Optimization of shallow sidetracking plans

方案名称	浅部侧钻方案	侧钻点/m	弃井工期/d	钻井工期/d
方案一	隔水管重入		10.0	13.0
方案二	套铣13% in套管裸眼侧钻	120	16.0	12.0

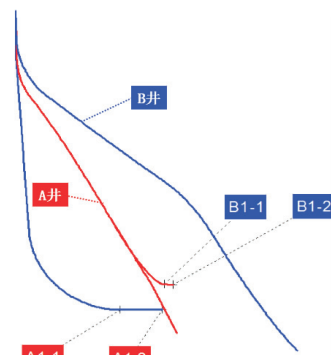
针对低效井B井侧钻A1井位的深部侧钻方案开展进一步研究,即侧钻点优选,从表2中的方案5、6、7、8可以看出,深部侧钻技术可行,综合考虑作业难度、完井可行性及进尺,并考虑低效井B井顶部封隔器顶深1746 m,侧钻点应与顶部封隔器留有一定空间,优选侧钻点为1600 m处。

综上所述,选择从低效井A井侧钻B1井位,即表1中的方案3,从低效井B井侧钻A1井位,即表2中的方案7,两口井总进尺3756 m,相比于油藏方

案提供的方案1和方案9总进尺5184 m共节约1428 m的进尺。图6为互换井位前后轨道对比图,可以明显看出利用低效井B侧钻A1井位充分利用老井眼,节约进尺。



(a) 互换井位前侧钻轨道示意



(b) 互换井位后侧钻轨道示意

图6 互换井位前后轨道对比

Fig.6 Drilling path comparison before and after interchange of the sidetracking target locations

4 结论

(1) 利用低效井进行侧钻对剩余油进行有效挖潜, 可以盘活低效井, 实现槽口资源充分利用, 同时可有效提高采收率。

(2) 本文从侧钻井槽口优选、侧钻井段优选、侧钻点优选的角度提出了渤海油田低效井侧钻方案优选方法, 并建立了渤海油田侧钻井设计方案优选决策树模型, 便于指导侧钻井方案设计。

(3) 以渤海某油田 2 口低效井 A 井与 B 井为例, 进行了槽口优选、侧钻井段优选、侧钻点优选, 最终通过互换 2 口井的侧钻井位, 节约进尺 1428 m。

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] 崔露, 罗文丽, 曾思云, 等. 福山凹陷花场构造花东 12x 井侧钻施工实践[J]. 非常规油气, 2015, 2(5): 66-71.
CUI Lu, LUO Wenli, ZENG Siyun, et al. Sidetracking operation of highly-deviated well Huadong 12x in Huachang structure of Fushan Sag[J]. Unconventional Oil & Gas, 2015, 2(5): 66-71.
- [3] 吴占民. 渤海油田低效井浅层侧钻方案设计优选[J]. 非常规油气, 2019, 6(2): 102-105.
WU Zhanmin. Optimization design of inefficient well shallow sidetracking in Bohai Oilfield[J]. Unconventional Oil & Gas, 2019, 6(2): 102-105.
- [4] 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.
- [5] 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 application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(10): 26-29.
- [6] 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.
- [7] 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 side-track drilling technology for inefficient wells in Bohai Oilfield [J]. Unconventional Oil & Gas, 2015, 2(5): 61-65.
- [8] 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 side-tracking technology at the same layer in horizontal well in Bohai Oilfield[J]. Offshore Oil, 2018, 38(1): 69-71, 81.
- [9] 李爽. 致密低渗气田侧钻水平井参数优化与应用——以苏里格气田苏 S 块为例[J]. 非常规油气, 2017, 4(5): 51-56.
LI Shuang. Parameter optimization and application of side-tracking horizontal wells in low-permeability tight gas reservoir—A case study of Su-S block in Sulige Gas Field[J]. Unconventional Oil & Gas, 2017, 4(5): 51-56.
- [10] 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, MU 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.
- [11] 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.
- [12] 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 QHD32-6 Oilfield[J]. China Offshore Oil and Gas, 2015, 27(2): 68-72.
- [13] 刘寿军, 于东兵, 王刚庆, 等. 有缆连续管钻井系统在侧钻水平井中的应用现状[J]. 石油机械, 2018, 46(10): 1-5.
LIU Shoujun, YU Dongbing, WANG Gangqing, et al. Application of e-line coiled tubing drilling system in sidetracking horizontal wells[J]. China Petroleum Machinery, 2018, 46(10): 1-5.
- [14] 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.
- [15] 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, 44(6): 144-148.
ZHAO Shaowei, FAN Baitao, YANG Qiurong, et al. Onside tracking technology in inefficient well in Bohai Reservoir[J]. Ship & Ocean Engineering, 2015, 44(6): 144-148.
- [16] 王超, 徐鸿飞, 范白涛, 等. 海上平台老井槽侧钻井泥线预开窗斜向器设计[J]. 石油矿场机械, 2017, 46(1): 29-33.
WANG Chao, XU Hongfei, FAN Baitao, et al. Design and evaluation of the mudline whipstock for well slots to be re-used on offshore platform[J]. Oil Field Equipment, 2017, 46(1): 29-33.
- [17] 刘学. 海上油田调整井侧钻开发方案优化[D]. 成都: 西南石油大学, 2017.
LIU Xue. Optimization of sidetracking development project for adjustment wells in offshore oilfield[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2017.

- tion for metals[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2012, 40(8):339-341.
- [20] Abd El Rehim, Sayed S, HASSAN H H, et al. The corrosion inhibition study of sodium dodecyl benzene sulphonate to aluminium and its alloys in 1.0 M HCl solution[J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2003, 78(2):337-348.
- [21] ARNOTT D R, HINTON B R W, RYAN N E. Cationic-film-forming inhibitors for the protection of the AA 7075 Aluminum alloy against corrosion in aqueous chloride solution[J]. *Corrosion*, 1989, 45(1):12-18.
- [22] 刘伯生. 铝及铝合金上铈转化膜的研究[J]. *材料保护*, 1992, 25(5):16-19, 3.
- LIU Bosheng. Study on bismuth conversion coating on aluminum and aluminum alloy[J]. *Materials Protection*, 1992, 25(5):16-19, 3.
- [23] 陆峰. 稀土化合物缓蚀剂对 Al2024 铝合金防护的研究[J]. *材料工程*, 1998(7):10-12.
- LU Feng. Protection of Al2024 aluminum alloy by rare earth compound inhibitors[J]. *Journal of Materials Engineering*, 1998(7):10-12.
- [24] 蔡记华, 谷穗, 乌效鸣, 松科 1 井(主井)取心钻进钻井液技术[J]. *煤田地质与勘探*, 2008, 36(6):77-80.
- CAI Jihua, GU Sui, WU Xiaoming. Technology of drilling fluid technology in the core drilling of SLCORE - 1 well (Main Well)[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2008, 36(6):77-80.
- [25] 郑文龙, 乌效鸣, 朱永宜, 等. 松科 2 井特殊钻进工艺下钻井液技术[J]. *石油钻采工艺*, 2015(3):32-35.
- ZHENG Wenlong, WU Xiaoming, ZHU Yongyi, et al. Drilling fluid technique for special technology in SK - 2 well[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2015(3):32-35.
- [26] 王中华. 国内外钻井液技术进展及对钻井液的有关认识[J]. *中外能源*, 2011, 16(1):48-60.
- WANG Zhonghua. Advances on drilling fluid technology and understanding of the relevant fluid at home and abroad[J]. *Sino-Global Energy*, 2011, 16(1):48-60.
- [27] GB 10124-1988, 金属材料实验室均匀腐蚀全浸试验方法[S].
- GB 10124 - 1988, Metallic materials-uniform corrosion-methods of laboratory immersion testing[S].
- [28] GB/T 228-2002, 金属材料室温拉伸试验方法[S].
- GB/T 228-2002, Metallic materials-tensile testing at ambient temperature[S].
- [29] Forsyth M, Forsyth C M, Wilson K, et al. ATR characterisation of synergistic corrosion inhibition of mild steel surfaces by cerium salicylate[J]. *Corrosion Science*, 2002, 44(11):2651-2656.
- [30] Ho D, Brack N, Scully J, et al. Cerium diethylphosphate as a corrosion inhibitor for AA2024 - T3 aluminum alloys[J]. *Journal of the Electrochemical Society*, 2006, 153(9):B392-B401.
- [31] Wilson K, Forsyth M, Deacon G B, et al. Proceedings of 8th European Symposium on Corrosion Inhibitors[C]. 2000, 1125-1140.

(编辑 韩丽丽)

(上接第 41 页)

- [18] 陈新勇, 付潇, 李东杰, 等. 国内老井侧钻技术研究现状及展望[J]. *石油矿场机械*, 2019, 48(6):73-76.
- CHEN Xinyong, FU Xiao, LI Dongjie, et al. Research status and prospect of sidetracking technology for old wells in China[J]. *Oil Field Equipment*, 2019, 48(6):73-76.
- [19] 常笃, 陆红军, 齐银, 等. 安塞特低渗透油藏侧钻提高单井产量技术研究[J]. *钻采工艺*, 2019, 42(5):56-58, 9.
- CHANG Du, LU Hongjun, QI Yin, et al. Research on how to improve single-well oil production of side-tracked wells in ANSAI low permeability reservoir[J]. *Drilling and Production Technology*, 2019, 42(5):56-58, 9.
- [20] 黄正吉, 李秀芬. 渤中坳陷天然气地球化学特征及部分气源浅析[J]. *石油勘探与开发*, 2001, 28(3):17-21.
- HUANG Zhengji, LI Xiufen. Geochemical characteristics and natural gas sources of Bozhong Depression, Bohai Bay Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2001, 28(3):17-21.
- [21] 徐杰, 马宗晋, 邓起东, 等. 渤海中部渐新世以来强烈沉降的区域构造条件[J]. *石油学报*, 2004, 25(5):11-16, 23.
- XU Jie, MA Zongjin, DENG Qidong, et al. Regional tectonic conditions for intensive subsidence of the middle Bohai Sea since Oligocene[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2004, 25(5):11-16, 23.
- [22] 薛永安, 李慧勇. 渤海海域深层太古界变质岩潜山大型凝析气田的发现及其地质意义[J]. *中国海上油气*, 2018, 30(3):1-9.
- XUE Yongan, LI Huiyong. Large condensate gas field in deep Archean metamorphic buried hill in Bohai Sea: discovery and geological significance[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2018, 30(3):1-9.
- [23] 邓建明, 马英文. 渤海中深层天然气田钻完井关键技术现状及展望[J]. *石油钻采工艺*, 2018, 40(6):6-12.
- DENG Jianming, MA Yingwen. Status and prospect of key drilling and completion technologies used in middle-deep natural gas fields of the Bohai Sea[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2018, 40(6):6-12.
- [24] 薛永安, 王应斌, 赵建臣. 渤海上第三系油藏形成特征及规律分析[J]. *石油勘探与开发*, 2001, 28(5):1-3, 7.
- XUE Yongan, WANG Yingbin, ZHAO Jianchen. Pool forming characteristics and regularity of the Upper Tertiary reservoirs in Bohai Bay[J]. *Petroleum exploration & development*, 2001, 28(5):1-3, 7.
- [25] 薛永安. 精细勘探背景下渤海油田勘探新思路与新进展[J]. *中国海上油气*, 2017, 29(2):1-8.
- XUE Yongan. New ideas and progresses under refine exploration background of Bohai Oilfield[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2017, 29(2):1-8.

(编辑 韩丽丽)