

渤海油田复杂井侧钻设计方法研究与实践

陈立强, 于长广, 王宇昕, 唐捷, 王赞, 陈国宏

(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:老井侧钻是渤海油田稳产增产的主要手段之一,针对复杂井侧钻前清理井筒成本存在不确定性,制定合理的侧钻决策树可有效控制成本。本文梳理了渤海油田侧钻井设计技术现状,针对回收套管、回收筛管以及打捞落鱼等复杂井侧钻设计存在的难题,基于“安全、经济、高效”的原则制定了侧钻决策树,如套管回收段长决策树、筛管回收与否决策树、落鱼打捞与否决策树。以渤海油田3口复杂井侧钻设计为例,应用该决策树实现了侧钻方案的科学性设计,相比于常规设计方法节约费用超1500万元。本文提出的复杂井侧钻设计决策树具有一定的推广价值。

关键词:复杂井;老井侧钻;回收套管;回收筛管;打捞落鱼;决策树;渤海油田

中图分类号:TE243:P634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2024)S1-0352-06

Research and practice of sidetracking schemes for complex wells in Bohai Oilfield

CHEN Liqiang, YU Changguang, WANG Yuxin, TANG Jie, WANG Zan, CHEN Guohong

(CNOOC Ener Tech-Drilling & Production Co., Tianjin 300459, China)

Abstract: Sidetracking on the old well is one of the main means of stable and increase production in the Bohai Oilfield. There is an uncertainty of the cost for cleaning the well before sidetracking in complex wells. The formulation of reasonable sidetracking decision-making trees can effectively control the cost. This article sorts out the current status of the sidetracking design technology in Bohai Oilfield. In view of the problems in drilling design for complex wells such as sleeves and sieve pipes recycle, “falling fish” salvage and so on, based on the principle of “safety, economy, and efficiency” the sidetracking decision-making trees are formulated, such as the long-time casing recycle, the sieve pipes recycle or not, and the fish salvage or not. Taking the sidetracking design for 3 complex wells in Bohai Oilfield as an example, the application of the decision tree realizes the scientific design of the sidetracking solution. Compared with the conventional design method, it costs less than 15 million RMB. The decision tree proposed in this article has a certain promotion value.

Key words: complex wells; sidetracking in the old well; casing recycle; sieve pipe recycle; “falling fish” salvage; decision tree; Bohai Oilfield

0 引言

渤海油田的开发已逐步进入中后期,利用老井侧钻是稳产的主要手段之一。渤海油田经过多年的实践,已经形成了一整套的老井侧钻技术体系,侧钻点从上至下包括隔水管重入、隔水管下裸眼侧钻、表层套管开窗侧钻、表层套管鞋下裸眼侧钻、生

产套管开窗侧钻、生产套管鞋下裸眼侧钻等技术能力^[1-5]。

随着老井生产年限越来越长,井下情况也越来越复杂,而且侧钻前需对老井眼进行弃置,为侧钻作业做井筒准备,因此,需要统筹考虑井筒弃置与侧钻方案,将其作为一个整体进行分析,进行精细

收稿日期:2024-05-21; 修回日期:2024-07-25 DOI:10.12143/j.ztgc.2024.S1.056

基金项目:中海油能源发展股份有限公司科技重大专项“深层深井井身结构设计技术研究项目”(编号:HFkj-ZX-GJ-2023-05-02)

第一作者:陈立强,男,汉族,1988年生,高级工程师,油气井工程专业,硕士,主要从事海洋石油钻井设计及相关技术研究工作,天津市滨海新区海川路2121号渤海石油管理局大厦A座,chenlq20@cnooc.com.cn。

引用格式:陈立强,于长广,王宇昕,等.渤海油田复杂井侧钻设计方法研究与实践[J].钻探工程,2024,51(S1):352-357.

CHEN Liqiang, YU Changguang, WANG Yuxin, et al. Research and practice of sidetracking schemes for complex wells in Bohai Oilfield[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1): 352-357.

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^[6-8]。传统的设计方法大多将弃井设计与侧钻设计单独考虑,寻求各自方案的最优解,然而该最优解未必是将弃井设计与侧钻设计作为一个整体考虑后的最优解。本文通过梳理渤海油田侧钻井设计技术现状,针对回收套管、回收筛管以及打捞“落鱼”等复杂井侧钻设计存在的难题,基于“安全、经济、高效”的原则制定了侧钻决策树,如套管回收段长决策树、筛管回收与否决策树、落鱼打捞与否决策树,并以实际设计案例进行分析,提出了一种将弃井设计与侧钻设计作为一个整体考虑的最优解求解方法。

1 渤海油田低效井侧钻技术现状

1.1 侧钻井设计技术现状

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^[8]。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^[9-12]。

渤海油田常见水平井井身结构为:20 in(1 in=25.4 mm,下同)隔水管+13 $\frac{3}{8}$ in表层套管+9 $\frac{5}{8}$ in生产套管+8 $\frac{1}{2}$ in裸眼水平段,在进行侧钻之前需要对老井眼进行弃井,如浅层侧钻前需要注水泥封堵产层、回收上部套管,技术套管开窗侧钻前需要注水泥对老井产层进行永久弃置,生产套管鞋下裸眼侧钻前需要回收部分防砂筛管并对老井产层进行永久弃置。因此,侧钻方案的选择是需要综合考虑老井弃置与新侧钻井的综合费用,实现整体利益最大化。

1.2 存在难题

老井侧钻前需对原井眼进行弃置,为侧钻新井眼做好井筒准备工作,由于部分老井井筒情况复杂,处理过程相对复杂,且工期费用存在一定程度不可控,传统的设计方法大多将弃井设计与侧钻设计单独考虑,寻求各自方案的最优解,然而该最优解未必是将弃井设计与侧钻设计作为一个整体考虑后的最优解。因此,如何平衡弃井与侧钻,将二者统筹考虑,需求最优解是目前亟待解决的难题。

根据渤海油田常见水平井井身结构可以看出:(1)回收生产套管后的侧钻设计:回收生产套管后

从表层套管开窗侧钻会多一趟开窗作业,而回收生产套管至表层套管以下虽然节省一趟开窗作业,但会增加处理回收生产套管的工期;(2)回收筛管后的侧钻设计:回收筛管后从生产套管下裸眼侧钻需要花费较长的回收筛管工期及费用,而从筛管上部开窗作业会增加一趟开窗作业及面临进尺增加的问题;(3)落鱼井侧钻设计:针对落鱼井,打捞落鱼后从下部侧钻可以节省进尺,但面临打捞工期费用的增加,在落鱼上部侧钻虽然节省了打捞费用,但钻井进尺也会增加。

2 渤海油田复杂结构井侧钻设计方法

针对以上难题,本文通过平衡弃井与侧钻,将二者统筹考虑,寻求最优解,通过制定套管回收段长决策树、筛管回收与否决策树、落鱼打捞经济工期决策树,以期望对此类复杂井的侧钻方案形成一套设计指南。

2.1 套管回收井侧钻设计方法

表层套管段开窗侧钻技术:(1)弃井方案:需要回收表层套管内的技术套管至开窗点附近,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,回收技术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。(2)侧钻方案:回收完技术套管后,从暴露出的表层套管开窗点附近进行套管开窗作业。

简化版的弃井+钻井+完井总费用如式(1)所示:

$$C_1=QT_1+ZT_2+W_3 \quad (1)$$

式中: C_1 ——弃井+钻井+完井总费用,万元; Q ——弃井期间综合日费,万元/d; T_1 ——弃井工期,d; Z ——钻井期间综合日费,万元/d; T_2 ——钻井工期,d; W_3 ——完井总费用,万元。

表层套管鞋下裸眼侧钻技术:(1)弃井方案:需要回收表层套管内的技术套管至表层套管鞋以下30 m附近,相比于表层套管开窗侧钻需要回收的技术套管更长,弃井费用相对更高;(2)侧钻方案:回收完技术套管后,从暴露出的表层套管鞋以下进行裸眼侧钻,相比于表层套管开窗侧钻节省一趟开窗作业。

简化版的弃井+钻井+完井总费用如式(2)

所示:

$$C_2 = QT_4 + ZT_5 + W_6 \quad (2)$$

式中: C_2 ——弃井+钻井+完井总费用,万元; Q ——弃井期间综合日费,万元/d; T_4 ——弃井工期,d; T_5 ——钻井工期,d; W_6 ——完井总费用,万元。

两个侧钻方案的井身结构一致,完井方案完全一样,故 $W_3 = W_6$,同时套管回收一般采用套铣或磨铣的方式,处理后均为铁屑返出,不会重复利用,故总费用主要受弃井综合日费、钻井综合日费、弃井工期、钻井工期4个因素共同影响,从上文的分析可以看出,表层套管段开窗侧钻技术需要回收套管的段长相对较短,故弃井工期较短,即 $T_1 < T_4$,表层套管段开窗侧钻技术需要多一趟开窗作业,故钻井工期较长,即 $T_2 > T_5$ 。因此,需要综合对比两套方案,对比 C_1 与 C_2 ,寻求最优解。

2.2 筛管回收井侧钻设计方法

渤海油田主要含油层系位于明化镇组及馆陶组,地层相对疏松,出砂较为严重,因此水平储层段多采用防砂完井方式^[13-16]。随着开发的逐渐深入,部分井由于底水锥进或大泵提液造成局部流速增加等原因导致筛管局部破损出砂、高含水,导致井关停。但是这类井周边依然存在可观的井控储量,因此,渤海油田逐渐形成了打捞失效的防砂筛管至上层套管鞋以下30m左右,通过该侧钻口袋重新打水平段进行开发;或者对失效的水平段进行注水泥封堵弃置,从上部套管开窗侧钻新井眼进行开发。

筛管回收后同层侧钻技术:(1)弃井方案:需要回收防砂筛管至套管鞋以下30m左右以留足侧钻新水平段的工具口袋,主要难点在于回收筛管的工期费用较高;(2)侧钻方案:回收完筛管后,从暴露出的套管鞋以下进行裸眼侧钻。

简化版的弃井+钻井+完井总费用如式(3)所示:

$$C_3 = QT_7 + ZT_8 + W_9 \quad (3)$$

式中: C_3 ——弃井+钻井+完井总费用,万元; Q ——弃井期间综合日费,万元/d; T_7 ——弃井工期,d; T_8 ——钻井工期,d; W_9 ——完井总费用,万元。

筛管不回收上部开窗侧钻技术:(1)弃井方案:对失效的井段按照弃井规范进行永久弃置,相比回收防砂筛管,总体弃井工期费用较低;(2)侧钻方案:从筛管上部的套管里进行开窗侧钻作业,一般开窗的位置比较靠近储层,因此大多为着陆井段及

水平井段为一个开次完成,相比回收筛管后裸眼同层侧钻,多一趟开窗作业。

简化版的弃井+钻井+完井总费用如式(4)所示:

$$C_4 = QT_{10} + ZT_{11} + W_{12} \quad (4)$$

式中: C_4 ——弃井+钻井+完井总费用,万元; Q ——弃井期间综合日费,万元/d; T_{10} ——弃井工期,d; T_{11} ——钻井工期,d; W_{12} ——完井总费用,万元。

两个侧钻方案的井身结构一致,完井方案完全一样,故 $W_9 = W_{12}$,同时筛管回收一般采用套铣或磨铣的方式,处理后均为铁屑返出,不会重复利用,故总费用主要受弃井综合日费、钻井综合日费、弃井工期、钻井工期4个因素共同影响,从上文的分析可以看出,回收筛管后裸眼同层侧钻方案相比套管开窗,回收筛管的工期较长,即 $T_7 > T_{10}$,筛管上部开窗侧钻方案相比裸眼同层侧钻方案多一趟开窗作业,钻井工期相对较长,即 $T_{11} > T_8$ 。因此,需要综合对比两套方案,对比 C_3 与 C_4 ,寻求最优解。

2.3 落鱼井侧钻设计方法

渤海油田存在个别井由于工程原因造成井下工具断裂落井,造成井关停,面对这类井占用海上平台有限的槽口而无法贡献产能的问题,渤海油田形成了3类做法,一是打捞落鱼,恢复生产;对于打捞失败的井则需按照弃井标准对落鱼及以下井眼进行弃置,从上部开窗侧钻恢复生产。打捞落鱼存在一定的不确定性,且花费一定的工期费用,即便打捞一部分出来可以加深侧钻点,从而节省侧钻进尺;不再费工期打捞落鱼直接侧钻,虽然钻井进尺增加,但节省了弃井工期费用,因此需要进行综合决策。

打捞落鱼加深侧钻点技术方案:(1)弃井方案:对落鱼进行打捞,总体弃井工期费用较高;(2)侧钻方案:从打捞后的落鱼顶部套管里进行开窗侧钻作业,由于打捞了一部分落鱼,侧钻点可以加深,故老井利用率较高,侧钻进尺相对较短。

简化版的弃井+钻井+完井总费用如式(5)所示:

$$C_5 = QT_{13} + ZT_{14} + W_{15} - Y \quad (5)$$

式中: C_5 ——弃井+钻井+完井总费用,万元; Q ——弃井期间综合日费,万元/d; T_{13} ——弃井工期,d; T_{14} ——钻井工期,d; W_{15} ——完井总费用,万元; Y ——落鱼回收再利用节约总费用,万元。

不打捞落鱼直接侧钻技术方案:(1)弃井方案:不再对落鱼进行打捞,总体弃井工期费用较低;(2)侧钻方案:从落鱼顶部套管里进行开窗侧钻作业,由于落鱼的存在,侧钻点较高,故老井利用率较低,侧钻进尺相对较长。

简化版的弃井+钻井+完井总费用如式(6)所示:

$$C_6 = QT_{16} + ZT_{17} + W_{18} \quad (6)$$

式中: C_6 ——弃井+钻井+完井总费用,万元; Q ——弃井期间综合日费,万元/d; T_{16} ——弃井工期,d; T_{17} ——钻井工期,d; W_{18} ——完井总费用,万元。

两个侧钻方案的井身结构一致,完井方案完全一样,故 $W_{15} = W_{18}$,考虑落鱼回收后可能存在再利

用,可节约一部分费用,故总费用主要受弃井综合日费、钻井综合日费、弃井工期、钻井工期、落鱼回收再利用5个因素共同影响,从上文的分析可以看出,打捞落鱼花费的工期较长,即 $T_{13} > T_{16}$,打捞落鱼后钻进进尺较短,钻井工期相对较短,即 $T_{15} < T_{18}$ 。因此,需要综合对比两套方案,对比 C_5 与 C_6 ,寻求最优解。

2.4 复杂结构井侧钻设计决策树

针对渤海油田回收套管、回收筛管以及打捞“落鱼”等复杂井侧钻设计存在的难题,基于“安全、经济、高效”的原则制定了侧钻决策树,如套管回收段长决策树、筛管回收与否决策树、落鱼打捞与否决策树,见图1所示。

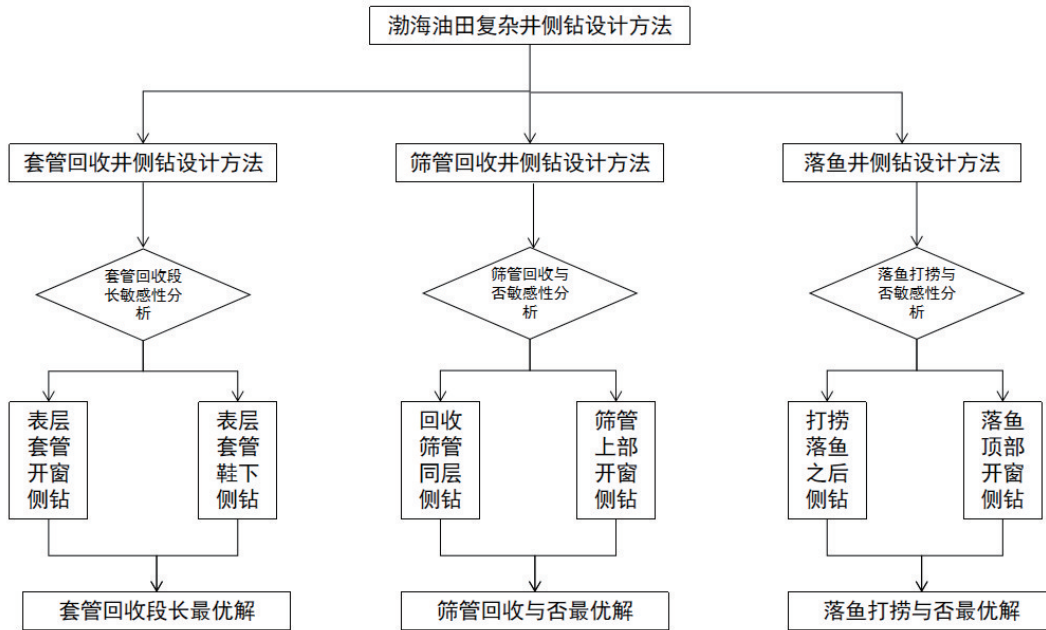


图1 渤海油田复杂结构井侧钻设计决策树

关于安全方面的考虑,由于3种复杂结构井不同侧钻方案的区别在于侧钻点不一致,故存在的风险也不尽相同,主要区别在于:(1)表层套管鞋下裸眼侧钻方案与老井是一致的,不存在额外的风险,但表层套管段开窗侧钻点较浅,可能会存在浅层防碰、重新钻遇浅层气等问题。(2)筛管回收后同层侧钻方案与老井是一致的,不存在额外的风险,但筛管不回收上部开窗侧钻方案,可能会存在开窗后钻遇水层等,由于这种方案一般不会再下套管固井,容易出现水体锥进造成高含水影响产能。(3)落鱼打捞与否影响侧钻点的深度,过浅的侧钻点可能会

重新钻遇上部气层、水层等特殊层位的风险。

关于经济、高效方面的考虑,该因素是共同影响最终方案的选择的,高效主要体现在不同方案的工期上,最终通过经济性体现。

3 案例分析

3.1 套管回收井侧钻案例

以渤海油田A井为例,A井13 $\frac{3}{8}$ in(1 in=25.4 mm,下同)套管下深575.5 m,9 $\frac{5}{8}$ in套管外水泥返高预计750 m,但不存在不确定性,可能会返至上层套管,需补测固井质量曲线明确水泥返高。考虑完井

及产能需求,需回收9% in 套管,从13% in 套管开窗侧钻或者从13% in 套管鞋下裸眼侧钻。

根据上文套管回收井侧钻设计方法,采用表层套管开窗方案还是表层套管鞋下侧钻方案,取决于

回收9% in 套管的工期,即取决于9% in 套管外水泥返高,因此按照上述方法进行了不同方案的对比分析,见表1所示。

表1 套管回收井侧钻方案比选

方案	水泥返高/m	磨铣段长/m	弃井工期/d	弃井费用/万元	钻井工期/d	钻井费用/万元	完井工期/d	完井费用/万元	合计工期/d	合计费用/万元
	600	无需磨铣	5	X					19.0	X+Y
13% in 管鞋下裸眼侧钻方案	550	50	6.5	X+256					20.5	X+Y+Z+256
	500	100	8.33	X+547	9.5	Y	4.5	Z	22.33	X+Y+Z+547
	450	150	10	X+821					24.0	X+Y+Z+821
	400	200	11.67	X+1095					25.67	X+Y+Z+1095
13% in 套管开窗侧钻方案	<400	0	5.25	X+25	11.5	Y+215	4.5	Z	21.25	X+Y+Z+240

通过以上对比分析,可以看出:若磨铣9% in 套管长度>50 m,则13% in 管鞋下裸眼侧钻方案经济性较差,因此现场作业过程根据实测固井质量进行下一步决策,如果9% in 套管外水泥返高>550 m,则建议直接采用13% in 套管开窗侧钻方案。

3.2 筛管回收井侧钻案例

以渤海油田B井为例,B井13% in 套管下深406 m,9% in 套管下深1563 m,8½ in 水平段完钻

深度2167 m,该井下入5½ in 筛管进行防砂,经过多年生产出砂,经化学防砂治理后效果不佳,决定侧钻以盘活该槽口。

根据上文筛管回收井侧钻设计方法,采用筛管上部套管开窗方案还是回收筛管后从技术套管鞋下侧钻方案,受限于筛管回收及侧钻方案的综合工期费用,因此按照上述方法进行了不同方案的对比分析,见表2所示。

表2 筛管回收井侧钻方案比选

方案	弃井工期/d	弃井费用/万元	钻井工期/d	钻井费用/万元	完井工期/d	完井费用/万元	合计工期/d	合计费用/万元
9% in 套管开窗	5	X	7.5	Y+780	4.5	Z	17	X+Y+Z+780
9% in 管鞋下裸眼同层侧钻	10	X+490	3	Y	4.5	Z	17.5	X+Y+Z+490

通过以上对比分析,可以看出:该井虽然回收防砂筛管工期费用较高,但钻井费用较低,而直接从上部9% in 套管开窗,虽然弃井节约了费用,但钻井工期费用较高,综合考虑,推荐回收防砂筛管后从9% in 管鞋下裸眼同层侧钻。

3.3 落鱼井侧钻案例

以渤海油田C井为例,C井13% in 套管下深182 m,9% in 套管下深2167 m,该井生产年限较长,超过30年,近期修井过程中井下电泵机组断裂落井,落鱼深度范围1413~1880 m。

根据上文落鱼井侧钻设计方法,需综合考虑打捞落鱼增加的弃井工期费用与打捞后钻井节约的

进尺工期费用,以制定决策树,判断是否值得打捞落鱼,见表3所示。

通过以上对比分析,可以看出:落鱼井打捞落鱼的工期费用较高,打捞后节约的进尺较少,综合考虑,不再打捞落鱼,按弃井标准封堵落鱼及下部井眼后,直接在落鱼顶进行9% in 套管开窗侧钻。

4 结论

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。

针对渤海油田回收套管、回收筛管以及打捞落

表3 落鱼井侧钻方案比选

方案	弃井工 期/d	弃井费用/ 万元	钻井工期/ d	钻井费用/ 万元	完井工期/ d	完井费用/ 万元	合计工期/ d	合计费用/ 万元
不打捞落鱼	4	X	7.5	Y+180	4.5	Z	16	X+Y+Z+180
打捞落鱼	10	X+560	6	Y	4.5	Z	20.5	X+Y+Z+560

鱼等复杂井侧钻设计存在的难题,基于“安全、经济、高效”的原则制定了复杂结构井侧钻决策树,该决策树的建立可有效控制项目成本。

参考文献:

- [1] 王文,侯欣欣,刘海龙,等.渤海油田老井套管开窗侧钻技术研究与应用[J].石油化工应用,2022,41(9):58-61.
- [2] 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.
- [3] 陈国宏,吴占民,于忠涛,等.渤海油田低效井治理关键钻井技术[J].石油工业技术监督,2021,37(6):53-55.
- [4] 贾雍,和鹏飞,袁则名,等.海上某气田悬空侧钻水平分支井技术及应用[J].钻探工程,2021,48(4):104-109.
- [5] 陈亮,袁则名,张彬奇,等.渤海油田中曲率半径侧钻井关键技术[J].石油工业技术监督,2023,39(4):72-77.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 陈立强,王占领,薛懿伟,等.渤海油田水平井防砂管柱打捞方案优化[J].海洋石油,2022,42(1):35-39,44.
- [9] 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.
- [10] 李奇龙,张承飞,宋继伟,等.套管开窗侧钻技术在贵州地热钻井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(7):6-9.
- [11] 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.
- [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.
- [13] 王东,王良杰,张凤辉,等.渤海油田分层注水技术研究现状及发展方向[J].中国海上油气,2022,34(2):125-137.
- [14] 张晓诚,王晓鹏,李进,等.渤海油田疏松砂岩压裂充填技术研究与应用[J].石油机械,2021,49(9):66-72.
- [15] 郝宙正,左凯,刘禹铭,等.中短半径井眼固井防砂一体化管柱研究与试验[J].石油钻探技术,2019,47(2):99-104.
- [16] 张辉,谭绍棚,霍通达,赵成龙,周战凯,裴柏林.渤海特高孔渗储层控水防砂一体化完井技术[J].石油钻探技术,2024,52(1):107-113.

(编辑 王文)