

BZ34-5 油田复杂地层低效井治理工艺技术

魏 然¹, 刘成杰²

(1. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452;

2. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452)

摘要: BZ34-5-A 井原属高产井, 但后期出现一系列复杂问题导致该井无法生产。为了恢复该井产能, 需要对其进行综合治理。通过对该区块前期钻井完井资料的分析和该井投产后期出现的问题进行深入分析研究, 对综合治理方式进行比选, 形成最终作业方案: 使用强抑制无固相钻井液侧钻开钻, 裸眼段下入打孔管, 在打孔管内以电缆射孔的方式完成对该低效井的治理, 安全快速地完成了该井的综合治理工作, 最大限度地保护了储层, 使该井恢复了产能。该治理技术可大幅节约成本, 对于附近区块类似低效井的治理提供了很好的技术借鉴。

关键词: BZ34-5 油田; 低效井治理; 工艺创新; 强抑制无固相钻井液; 打孔管; 射孔

中图分类号: TE242 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2019)06-0047-06

Treatment of low efficiency wells in complex formation in BZ34-5 Oilfield

WEI Ran¹, LIU Chengjie²

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

2. Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300452, China)

Abstract: Well BZ34-5-A was originally a high-yield well, but a series of complex problems occurred in the later period, which made the well unable to produce. In order to restore the well productivity, comprehensive treatment of the low-efficiency well was needed. Based on the analysis of drilling and completion data in the early stage of the block and the problems in the late stage after it was put into production, the final operation scheme was determined through comparison of the comprehensive treatment methods. The solid-free drilling fluid with strong inhibition was used to for sidetracking, the perforation pipe was run into the open hole section without cementation, and then the perforation pipe was perforated with wireline perforation to complete the treatment of the inefficient well safely and quickly; thus protecting the reservoir to the maximum extent and restoring the productivity of the inefficient well. At the same time, the treatment cost was greatly reduced, which provides a good reference for similar low efficiency wells in nearby blocks.

Key words: BZ34-5 Oilfield; low efficiency well treatment; technological innovation; strong inhibitive solid free drilling fluid; perforation pipe; perforation

0 引言

渤中区块位于渤海中部海域, 其中渤中 34 油田区块储量非常丰富, 探明石油地质储量达 5027.13 × 10⁴ m³。BZ35-5-A 井酸化投产, 初期自喷生产达到 205 m³/d 的产量(最高 230 m³/d), 后期递减到 50 m³/d 左右, 后由于井下出现问题, 进行了 5 次检泵和 4 次酸化作业, 效果不佳, 产量也逐年走低, 2016 年 9 月酸化后启泵未成功。分析认为该井

地层仍有产能, 因此, 需要对该井进行综合治理恢复产能。

为了完成地质油藏恢复产能的目的, 按照“一井一策”治理模式, 分析每口井的产能潜力, 制订合理的方案, 提高低产低效井开发效果^[1]。该井实施治理的主要风险是东营组和沙河街组地层稳定性差、易垮塌、易缩径, 近井地带地层连通性差, 该井储层被污染的可能性大, 恢复产能难度较大。为此制定

收稿日期: 2018-09-06; **修回日期:** 2019-02-25 **DOI:** 10.12143/j.tkgc.2019.06.009

作者简介: 魏然, 男, 汉族, 1986 年生, 钻井总监, 工程师, 主要从事海上钻井完井技术及管理, 天津市滨海新区渤海石油管理局 C 座, weiran@cnooc.com.cn。

引用格式: 魏然, 刘成杰. BZ34-5 油田复杂地层低效井治理工艺技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(6): 47-52.

WEI Ran, LIU Chengjie. Treatment of low efficiency wells in complex formation in BZ34-5 Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(6): 47-52.

了采用强抑制无固相钻井液钻进,裸眼井段下入打孔管,在打孔管内电缆射孔的技术。在深部地层采用无固相钻井液既要保证井壁稳定性又要兼顾储层保护;在裸眼段不固井下入打孔管和打孔管内电缆射孔,规避了小井眼固井质量不佳的风险,同时增加了近井地带的导流能力。这些技术在渤海均属首次应用。

1 BZ34-5-A 井概况

1.1 基本参数

BZ34-5 无人井口平台位于渤海南部海域渤中34构造带的南部,该区块主要含油层段为沙河街组沙一段,目前共有 BZ34-5-A 井和 BZ34-5-B 井2口生产井。其中 BZ34-5-A 井基本数据见表1。

1.2 综合治理背景

2006年11月9日进行了酸化作业,平均日产液量 $59\sim 82.6\text{ m}^3$,11月27日启泵开井生产,初期

表1 BZ34-5-A 井基本数据

Table 1 Well BZ34-5-A basic data

平台名称	BZ34-5 无人井口平台
井型	常规定向井
井别	生产井
目的层	沙一段
套管程序	13% in(K55/ER/61#)×592.80 m、9% in(N80/BTC/47#)×2755.00 m、7 in(N80/BTC/29#)×(2540.85~3642.00)m
射孔段/m	3352.00 ~ 3358.60、3361.20 ~ 3373.10、3555.00~3560.30
平均水深/m	19.7

日产油 205 m^3 ,含水2%,产量比较稳定。

2007年4月11日至2008年3月21日期间自喷和起泵生产,日产油量为 120 m^3 左右,产量稳定。

2009年2月5日至2016年9月共进行5次检泵和4次酸化作业,电泵机组检泵周期短,产量逐年走低(见表2),2016年9月最后一次酸化后,无法启泵,最终停产。

表2 BZ34-5-A 井修井记录

Table 2 Well BZ34-5-A workover record

序号	事件型	入井机组	管柱类型	电泵	运转时长	入井时间	故障时间	备注
1	酸化投产	REDA	换向阀双泵	上泵	131	2006-11-27	2007-04-07	
				下泵	761	2006-11-27	2008-12-27	
2	检泵	REDA	普合	单泵	304	2009-06-26	2010-04-26	
3	检泵酸化	REDA	普合	单泵	304	2011-05-19	2012-03-18	
4	检泵	REDA	普合	单泵	7	2012-06-30	2012-07-07	管柱漏污染严重
5	检泵酸化	BAKER、HUGHES	Y合	单泵	282	2013-09-19	2014-06-28	
6	检泵酸化	BAKER、HUGHES	Y型双泵	上泵	机组良好	2015-01-15		目前下井机组
				下泵	617	2015-01-15	2016-09-23	

2 作业方案优选

BZ34-5-A 井故障前产量比较稳定,产油 $50\text{ m}^3/\text{d}$,说明储层产能充足,出现一系列故障之后,该井产量逐渐下降,虽多次采取常规的检泵和酸化作

业,仍没有达到理想效果,必须采用其他治理方式,才有可能恢复产能。因为该平台已经没有剩余槽口可供利用,治理的方式还有大修和侧钻2种方式可以利用(见表3)。

表3 大修和侧钻方案对比

Table 3 Comparison of overhaul and sidetracking

方案	总工期/d	使用机具	作业后产能	总费用/万元
大修方案	至少19.75,工期不确定	钻井船	原储层污染,不确定产出状态	至少2560.70
侧钻方案	17.58	钻井船	未污染储层,预测产能 $50\text{ m}^3/\text{d}$ 以上	2286.78

该井在前期修井过程中有扁电缆护罩、导流罩落井,大修时打捞难度极高,费用不可控。如果采用大修作业,需要打捞井下“落鱼”。BZ34-5 是无人井口平台,场地十分有限,需要就位钻井船,井下“落鱼”打捞困难,打捞工期存在不确定性,按理想情况

计算,需要19.75 d。且大修后解堵效果不明确,前期多次作业造成地层污染严重,因此,使用高日费的钻井船进行大修成本会非常高,再生产时是否有理想的产油量不能保证。

如果采用老井侧钻的方式,采用少量打捞部分

管柱、优选侧钻点、定向井轨迹优化等措施最大化利用老井眼^[2],同时不增加平台井槽的前提下,优化井网布置,有效利用上层井段,减少工程量^[3]。虽然同样采用钻井船就位进行作业,但是工期可控,成本相对大修方案会降低;同时满足油藏要求避开已经污染的地层,同时新钻井眼重新完井可以采取针对性措施做好储层保护,能够在较短时间内恢复并大幅度提高油井产能。因此,采用侧钻方式对该低效井进行综合治理。

3 本区块作业难点分析

井壁失稳是 BZ34 油田施工最严重的问题,主要发生在东营组和沙河街组。在邻近区块施工的 7 口井中, BZ34-4-A4、BZ34-4-A5、BZ34-4-A2、BZ34-4-AS1/2/3/4 井存在大量的阻卡现象,憋压别钻现象十分频繁,且循环返出伴有大量掉块(片),其中以 BZ34-4-P3S1/2/3/4 井尤为严重,发生 4 次卡钻,多套钻具被埋。

BZ34 地区地质条件复杂,次生断层发育;致压力窗口窄,承压能力低,随着井深增加,循环压耗也随之增加,极易发生漏失,统计前期井漏情况见表 4。

表 4 BZ34 油田群井漏失情况统计

Table 4 Statistics of lost circulation in BZ34 Oilfield

井号	漏失井段 井径/in	漏失深度/m	漏失层位	漏失方式	处理时间/h
BZ34-4-A2	8½	3033	东营组下段	憋漏	3.25
		3190	东营组下段	断层漏失	16.75
BZ34-5-A	8½	3590	沙河街组	憋漏	2.25
BZ34-2-A11	8½	3543	沙河街组	憋漏	39.25
BZ34-2-A10	8½	3733	沙河街组	憋漏	9.00
BZ34-5-A3S1	8½	3750	沙河街组	憋漏	9.75
		3541	沙河街组	憋漏	1.25

结合前期开发情况,本区块沙河街组生产井均不防砂;根据对 BZ34-5-1 井测井数据分析,得到出砂预测结果:

声波时差值 $\Delta t < 95 \mu\text{s}/\text{ft}$ 出砂,出砂可能性较小;

B 指数 $> 2 \times 10^4 \text{ MPa}$,出砂可能性较小;

S 指数 $> 5.9 \times 10^7 \text{ MPa}^2$,出砂可能性较小。

4 关键技术内容

4.1 强抑制无固相钻井液

BZ34-5 区块前期钻井表明:(1)使用传统的强抑制 KCl 体系不能克服井壁坍塌问题,倒划眼憋压、别钻,严重影响时效,甚至发生卡钻埋钻事故;(2)由于沙河街组地层渗透率低,传统套管完井,返排数据不能达到配产要求。常规的做法是提高钻井液封堵性,但常规封堵材料无法进入微裂缝内,钻井液滤液通过微裂缝侵入地层,滤液水化膨胀作用引起岩石内部相互挤压,在井壁的薄弱处引起应力突然释放,产生剥落掉块,造成井壁失稳,在渤中区块以前的探井与开发井作业中均存在沙河街组地层井壁失稳情况,甚至发生井壁严重坍塌和恶性的卡钻事故^[4-5]。复杂地层钻进所使用的钻井液固相含量应尽量低,并能在岩心及孔壁表面形成胶质薄膜^[6]。

根据 BZ34-5 区块上述特点, BZ34-5-A 井在深部地层侧钻需要钻井液开钻应具有较强抑制性来避免井壁失稳,而且有一定的暂堵性能来预防井漏的发生,同时为加强储层保护,应采用无固相钻井液。因此,通过试验,创新研制了新型强抑制无固相钻井液。该体系在传统无固相钻井液的基础上,针对该区块沙河街组地层的特点采用了 50% 的甲酸钾作为配浆基础,复配化学封堵剂,采用逐级拟合充填技术,为储层保护和井壁稳定而形成的一种强抑制钻井液体系。

基本配方:混合比例溶液(海水:甲酸钾=1:1)+0.2% NaOH+0.2% Na₂CO₃+0.15% EZVIS+6% EZCRAB+3% EZFLO+5% PF-JLXC+2% GREENSEAL+3% PF-LUBE,石灰石加重至 1.45 g/cm³。

4.1.1 防塌评价(见表 5)

表 5 3 种体系室内防塌试验评价

Table 5 Lab evaluation on collapse prevention of 3 mud systems

配方	试验条件	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	Ø6/Ø3	API 失水量/ [mL·(30 min) ⁻¹]	HTHP 滚 失水 量/mL	滚动 回收 率/%
强抑制 钻井液	滚前	30	12.5	10/8	2.4	6.0	97.3
	滚后	26	9.5	9/7	2.6	6.4	96.8
KCl 体 系	滚后	26	10.0	10/8	3.2	8.2	94.7
	滚后	27	9.5	9/7	3.8	9.0	94.0
无固相 体系	滚后	28	10.5	13/10	4.6	9.2	90.5
	滚后	29	12.0	11/9	5.8	11.0	87.4

采用创新型的强抑制无固相钻井液,该体系在传统无固相钻井液基础上改进,保留裸眼完井对储层保护的优势,有较强的暂堵性能,克服了地层易塌

塌的风险。

4.1.2 抗污染评价

渤海油田沙河街组泥岩地层微裂隙非常发育,研究认为,硬脆性泥页岩中普遍发育的微裂缝是井壁失稳的主要原因,地层易坍塌(见图1),传统的钻井液体系不能满足在保证防塌的同时能有效地保护

储层^[7-9]。根据沙河街组地层的特点,通过优选配方,形成以甲酸钾和海水1:1为连续相,降低体系活度,提高抑制性;采用逐级拟合充填技术,复配化学封堵剂、聚合醇为一体的强抑制无固相钻井液体系,抗污染能力强(见表6)。

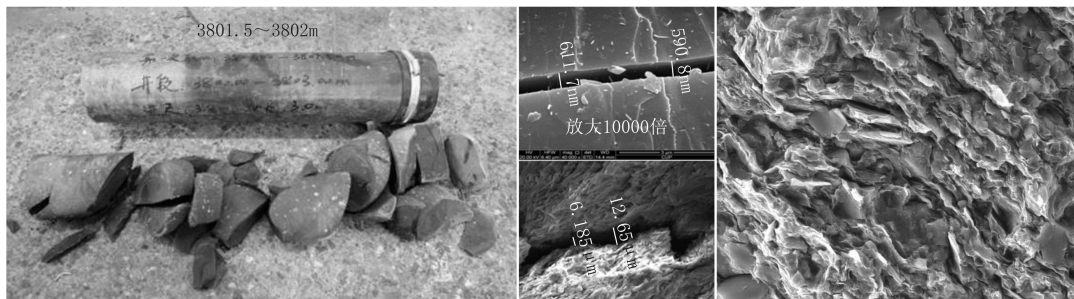


图1 BZ34-5油田深部地层取心样品放大图样

Fig.1 Enlarged pattern of cores from deep formation in BZ34-5 Oilfield

表6 抗污染评价

Table 6 Anti-pollution evaluation

岩屑 加量/ %	pH 值	AV/ (mPa· s)	PV/ (mPa· s)	YP/ Pa	Ø6/Ø3	Gel(10 s/ 10 min)/ Pa	LRSV/ (mPa· s)
基浆	9	25.0	10	15.0	14/12	6.5/8.0	53189
5	9	28.5	12	16.5	18/15	8.0/9.5	72284
8	9	30.5	13	17.5	19/17	9.0/10.5	71785
10	9	32.5	13	19.5	21/18	9.0/10.5	92480

4.1.3 返排试验

(1)以往该井段采用KCl聚合物体系,在短起和起下钻过程中井壁失稳,表现为起下钻遇阻,倒划眼憋压别钻,振动筛返出掉片甚至掉块。该井采用强抑制无固相钻井液体系后,钻进期间,各项钻井参数平稳,监测钻井液性能稳定。振动筛返砂较多,捞砂观察,岩屑颗粒成形、规整,有清晰齿痕,无掉片。

(2)该体系暂堵效果较强,体系封堵剂具有“单向液体开关”的良好性能,针对渤中区块沙河街组地层空隙特性,采用逐级拟合物理充填技术,无需破胶(见表7)。

表7 返排试验

Table 7 Flow-back test

孔吼直径平均/ μm	渗透率/ 10 ⁻³ μm ²	突破压力/ MPa	返排平衡压力/ MPa
3	400	2.85	1.10
10	2000	2.34	0.78
20	5000	2.14	0.64

4.2 不固井下入打孔管技术

BZ34-5-AS1井一开6 in(1 in=25.4 mm,下同)井眼开窗侧钻至完钻井深3466.42 m,垂深3373.13 m;目的层为沙一段,不防砂;如果采用套管射孔完井,需要进行下尾管和固井作业,由于井段较短,而且井眼小,小井眼下入尾管和尾管悬挂器费用高,而且固井质量很难保证,容易造成无法有效封隔储层。因此,首创在裸眼段下入4½ in打孔管支撑井壁,采取遇水膨胀封隔器对泥岩夹层进行封隔。遇水膨胀橡胶是基于渗透膜原理研制的高分子材料,主要由橡胶本体和亲水性物质组成,通过吸收溶解度相近液体中的水分子使聚合物膨胀,从而弹性材质也随之膨胀,直到达到平衡。

根据AS1井井身结构设计及完井要求,AS1井完井方式采用6 in裸眼+4½ in打孔管,打孔管需要携带一个管外封隔器一并下入,管外封隔器可以遇油膨胀,从而封隔环空,但不会影响管柱下入。打孔管下入作业面临着井眼小、摩阻扭矩大、打孔管遇阻风险高等难题^[10-12]。通过软件模拟,当裸眼段摩阻系数为0.25、套管内摩阻系数为0.25时,上提悬重为133.88 t,下放悬重为100.22 t。当裸眼段摩阻系数为0.4、套管内摩阻系数为0.3时,上提悬重为138.22 t,下放悬重为97.69 t。考虑大钩悬重为25 t,4½ in带孔管与管外封隔器下放时不存在下放不到位的风险。

4.3 打孔管内电缆射孔技术

鉴于BZ34-5-A井储层特点,单单下入打孔

管进行生产的话,产能不能保证,因此,本井需要在打孔管内电缆输送射孔,一方面是增加打孔管的过流面积,另一方面为了提高近井地带的导流能力,保证开发效果。

打靶平均穿深为 747.78 mm,能够保证射孔弹进入新地层,提高流动通道的渗流面积。

由于本井是下入打孔管,不同于普通的套管井射孔,射孔前裸眼地层就与地层连通,可能存在大量油气瞬间涌入井筒,当井内液柱压力低于井底压力时,油气将窜上井口,引起井喷,电缆射孔时井控问题就非常重要,需要提前安装放喷装置,并实时监测^[13-15],一旦发生井控问题,可以第一时间发现和处

理。BZ34-5-A 井是渤海地区首次在打孔管内进行电缆射孔,一方面改善了近井地带地层的导流能力,有助于提高油层采收率;另一方面通过本次在裸眼地层打孔管内进行射孔作业的过程,为今后类似作业提供了宝贵经验。

5 应用效果

针对 BZ34-5-A 井井况复杂、井下“落鱼”等问题以及修井作业困难的实际情况,通过梳理该区块前期作业难点,总结作业经验,优化作业工艺,研究制定了解决 BZ34-5-A 井低效问题的最有效工艺,在顺利完成复杂井作业的同时,在生产时效、工期及油气产量等方面均取得了巨大进步。

生产时效方面:该井前期共进行了 5 次检泵、4 次酸化作业,但产量持续走低,且存在井下“落鱼”问题,修井困难,直接采取创新型综合治理措施,并量身定制强抑制无固相钻井液、不固井打孔管及打孔管内电缆射孔等手段。最终该井钻井工期较设计提前 1.31 d,完井工期较设计提前 0.08 d;作业过程中,测井仪器故障时间 16.75 h,作业时效 100%。

与邻井对比,前期 4 口钻井平均工期 30.59 d,本井工期 4.69 d,降比达 84.7%;本井的复杂情况是测井工具故障导致的,去除这个因素生产时效是 100%(见表 8、表 9)。

表 8 工期对比
Table 8 Comparison of operation time

工序	设计工期/d	实际工期/d	工期提前/d
钻井	6	4.69	1.31
完井	5.08	5	0.08

表 9 与前期井工期对比

Table 8 Operation time of the previous wells

井名	井深/m	实际工期/d
BZ34-5-BS1	3756	24.32
BZ34-5-B	3583	21.70
BZ34-5-A1	3655	37.60
BZ34-5-A2	3836	38.75
平均	3707.5	30.59
BZ34-5-A	3452	4.69

产量方面:该井作业中采用无固相钻井液技术,完井使用打孔管配合电缆射孔技术,注重加强储层保护,提高近井地带地层导流能力。故障前该井正常产油 50 m³/d,本次配产要求 50 m³/d,侧钻后交井产量达到 85 m³/d,超配产 70%。

6 结论

(1)强抑制无固相钻井液同时兼顾了储层保护和井壁稳定,在渤中地区深部地层低效井侧钻中应用效果良好,可以进行推广应用。

(2)在渤海首次采用的裸眼下入打孔管配合电缆射孔技术,很好地解决了短裸眼段地层封隔问题和近井地带的导流问题。

(3)渤海一些老井、低效井提高产量的方法需要因地制宜,灵活利用现有技术,进行技术创新。

参考文献(References):

- [1] 董旭,韩亮,张宝权,等.L 区块低产低效井治理对策研究[J].非常规油气,2016,3(4):79-84.
DONG Xu, HAN Liang, ZHANG Baoquan, et al. Research on the management and countermeasures for low yield and low efficiency wells in L block[J]. Unconventional Oil & Gas, 2016,3(4):79-84.
- [2] 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 sidetrack technology to same layer of inefficient wells in offshore oil and gas exploitation[J]. Ocean Engineering Equipment & Technology, 2017,4(2):69-73.
- [3] 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.
- [4] 许杰,何瑞兵,刘小刚,等.渤中沙河街水平井安全钻井及储层保护[J].石油钻采工艺,2016,38(5):568-572.

- XU Jie, HE Ruibing, LIU Xiaogang, et al. Safe drilling of horizontal wells and reservoir protection in Shahejie Formation, Bozhong Block[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38(5): 568-572.
- [5] 丁乙, 梁利喜, 刘向君, 等. 温度和化学耦合作用对泥页岩地层井壁稳定性的影响[J]. 断块油气田, 2016, 23(5): 663-667.
DING Yi, LIANG Lixi, LIU Xiangjun, et al. Influence of temperature and chemical on wellbore stability in clay shale formation[J]. Fault-block Oil & Gas Field, 2016, 23(5): 663-667.
- [6] 黄卫东. 无固相钻井液在沉积岩复杂地层钻探中的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(12): 10-17.
HUANG Weidong. Research and application of the non-solid drilling fluid in the complex sedimentary formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(12): 10-17.
- [7] 于雷, 张敬辉, 刘宝锋, 等. 微裂缝发育泥页岩地层井壁稳定技术研究与应用[J]. 石油钻探技术, 2017, 45(3): 27-31.
YU Lei, ZHANG Jinghui, LIU Baofeng, et al. Study and application of borehole stabilization technology in shale strata containing mirco-fractures[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(3): 27-31.
- [8] 赵凯, 樊勇杰, 于波, 等. 硬脆性泥页岩井壁稳定研究进展[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(3): 277-285.
ZHAO Kai, FAN Yongjie, YU Bo, et al. Research progress of wellbore stability in hard brittle shale[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38(3): 277-285.
- [9] 袁则名, 何鹏飞, 丁胜, 等. 渤海 35 油田非均质储层钻井应对技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(11): 42-45.
YUAN Zeming, HE Pengfei, DING Sheng, et al. Countermeasures for heterogeneous reservoir drilling in Bohai 35 Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(11): 42-45.
- [10] 魏安超, 冯雪松, 韩成, 等. 海上首口高温高压水平井小井眼打
孔管下入技术[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(6): 762-765.
WEI Anchao, FENG Xuesong, HAN Cheng, et al. Running technology for perforation pipe in the slim hole of the first offshore HPHT horizontal well[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38(6): 762-765.
- [11] 马兰荣, 王德国, 韩峰, 等. 遇水膨胀封隔器关键技术研究[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(4): 27-31.
MA Lanrong, WANG Deguo, HAN Feng, et al. Research on key technology of water-swellable packer [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(4): 27-31.
- [12] 刘阳, 马兰荣, 郭朝辉, 等. 自膨胀封隔器技术在完井作业中的应用[J]. 石油矿场机械, 2012, 41(3): 76-81.
LIU Yang, MA Lanrong, GUO Zhaohui, et al. Researches and applications on expandable packers in well completion[J]. Oil Field Equipment, 2012, 41(3): 76-81.
- [13] 侯云明, 罗殿英. 电缆射孔防喷装置在蒙古油田的应用[J]. 内江科技, 2012, 33(3): 129.
HOU Yunming, LUO Dianying. Application of wireline perforation blowout preventer in Mongolia oilfield[J]. Neijiang Science & Technology, 2012, 33(3): 129.
- [14] 蔡山, 郭景学, 刘德君, 等. 模块化射孔工艺技术[J]. 测井技术, 2006, 30(1): 28-30.
CAI Shan, GUO Jingxue, LIU Dejun, et al. Modularization perforating technology[J]. Well Logging Technology, 2006, 30(1): 28-30.
- [15] 童士斌, 罗红伟, 许卫. 新型高压密闭式电缆射孔装置及施工工艺[J]. 石油钻采工艺, 2000, 22(6): 68-69.
TONG Shibin, LUO Hongwei, XU Wei. New high pressure closed system cable perforation equipment and its field testing technology[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2000, 22(6): 68-69.

(编辑 韩丽丽)