

# 单筒三井钻井技术在文昌油田的应用

薛洋

(中海油田服务股份有限公司, 广东湛江 524057)

**摘要:**文昌13-2油田B台位于南海西部珠江口盆地,属于海上边际小油田。受槽口数量及钻机能力限制,经过综合评估,并结合文昌13-2油田实际开发需求,首次在简易导管架利用修井机从 $\varnothing 914.4$  mm隔水套管内同时下入3根 $\varnothing 339.7$  mm无接箍套管,并采用相关技术措施,以便在后续作业中利用一个槽同时实现3口井独立的钻完井作业。以该槽口作业的B20、B22和B23井为例,系统介绍了单筒三井设计原理、槽口选择、定向井轨迹设计、井身结构设计、表层套管下入、表层套管固井等关键技术。单筒三井关键技术文昌13-2油田成功应用,对海上油气开发中,提高海上钻井槽口利用率及有效降低海洋工程建设成本提供参考和建议。

**关键词:**槽口;导管架;隔水套管;单筒三井;海上钻井

**中图分类号:**TE24 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2023)01-0033-06

## Application of triple hole splitter wellhead drilling technology in Wenchang Oilfield

XUE Yang

(China Oilfield Service Limited, Zhanjiang Guangdong 524057, China)

**Abstract:** Block B of Wenchang 13-2 Oilfield is located in Pearl River Mouth Basin in the west of the South China Sea, and belongs to the offshore marginal small oil field. With the limitation of the number of slots and the rig capacity, and after comprehensive evaluation and in consideration of the actual development needs of Wenchang 13-2 Oilfield, three sections of  $\varnothing 339.7$  mm flush joint casing were simultaneously run in  $\varnothing 914.4$  mm conductor for the first time so as to realize the drilling and completion job of three wells independently from one slot. Taking the drilling of the B20, B22 and B23 wells from the slot as example, this paper systematically introduces the key triple hole splitter wellhead technology, including design principles, slot selection, directional well trajectory design, casing program design, surface casing running, surface casing cementing, etc. These key technologies have been successfully applied in Wenchang 13-2 Oilfield, providing reference and suggestions for improving the utilization rate of slots while effectively reducing the construction cost of offshore works in offshore oil and gas development.

**Key words:** slot; jacket; conductor; triple hole splitter wellhead; offshore drilling

### 0 引言

单筒多井钻井技术广泛应用于海上油气开发中。该技术是在一个槽口中实现多个井眼按预定轨迹实现分离,并且各井眼相互独立,单独实现钻完井作业。在海上油气开发中,不受槽口限制,能

降低导管架建筑规模,以最大限度实现对该区块储层的经济开发<sup>[1-3]</sup>。

早期单筒双井不预斜,井眼分离困难,井身结构也比较简单。后期采用占位钻具形式,实现了大型丛式井中,井眼快速分离,技术也逐渐成熟,而单

**收稿日期:**2022-06-07; **修回日期:**2022-09-19 **DOI:**10.12143/j.ztgc.2023.01.006

**基金项目:**中国海洋石油有限公司科研项目“南海西部上产2000万方钻完井关键技术研究”(编号:CNOOC-KJ 135 ZDXM 38 ZJ05 ZJ)

**作者简介:**薛洋,男,汉族,1982年生,高级工程师,地球物理学专业,主要从事海洋油气钻完井技术方面的研究工作,广东省湛江市坡头区南油测井大院,xueyang@cosl.com.cn。

**引用格式:**薛洋.单筒三井钻井技术在文昌油田的应用[J].钻探工程,2023,50(1):33-38.

XUE Yang. Application of triple hole splitter wellhead drilling technology in Wenchang Oilfield[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(1): 33-38.

筒三井受占位钻具和套管刚性比钻具强的影响,不仅套管下入困难,而且井眼分离慢、防碰风险高。因此南海西部文昌油田大多使用单筒双井技术。

为有效提高海上槽口利用率,经过综合评估,首次在文昌13-2油田开发中,在简易导管架上从 $\varnothing 914.4\text{ mm}$ 隔水套管内下入3根 $\varnothing 339.7\text{ mm}$ 无接箍套管,并采取相关技术措施,成功完成单筒三井钻井作业,有效降低了海上油气开发成本。

### 1 单筒三井设计原理

以对称性单筒三井布局为例(如图1所示),在钻进过程中由于隔水套管尺寸比较大,上部表层套管钻进过程中大尺寸隔水管内部的钻井液上返速度比较小,造成钻屑携带困难。

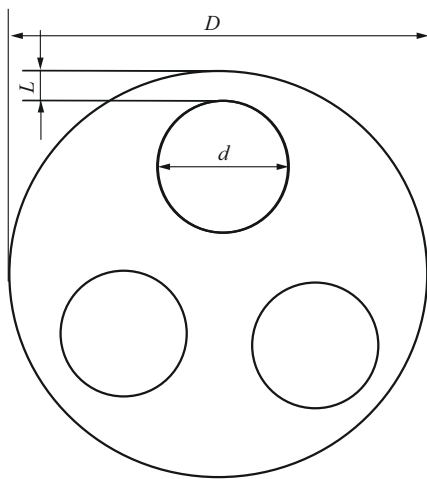


图1 单筒三井截面

Fig.1 Sectional view of triple hole splitter wellhead

因此根据多相流理论,在满足最小环空返速的前提下,推导出单筒三井结构内、外部井眼尺寸的相互关系,如公式(1)所示<sup>[4-5]</sup>。

$$d = \frac{\sqrt{3} D}{2 + \sqrt{3}} - 2L \quad (1)$$

式中: $D$ ——隔水套管内径; $d$ ——表层套管外径; $L$ ——隔水套管内壁与表层套管外壁之间的最短距离。

$d$ 和 $L$ 直接决定单筒三井的作业难度及风险,即如何优化井身结构、表层套管固井以及后续井眼分离和防碰等是单筒三井作业的主要难点。

## 2 关键技术措施

### 2.1 槽口选择

海上丛式井网密集、井槽间距小、表层井眼尺寸大,钻井碰撞风险高<sup>[6]</sup>。为降低表层防碰风险,单筒多井一般选择外排边角槽口。文昌13-2油田B台设计槽口排列为 $3 \times 6$ ,共18个井槽,槽口间距为 $2.0\text{ m} \times 1.8\text{ m}$ ,已经完成17口钻完井作业,目前剩余3个空槽口。从防碰风险、后期开发潜力等因素综合考虑,单筒三井采用S18号槽口作业(如图2所示)。

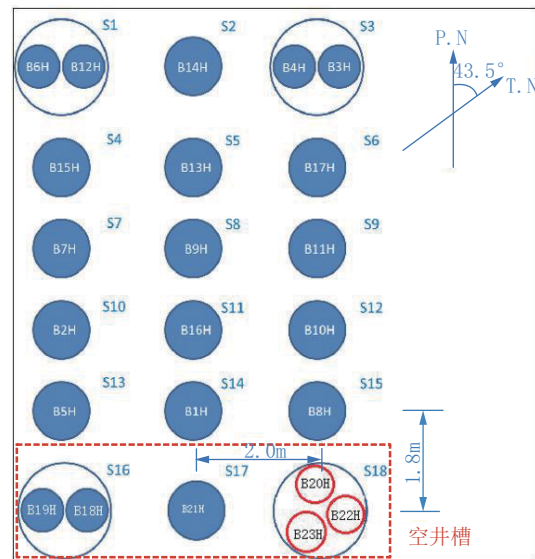


图2 B平台丛式井槽口分布

Fig.2 Distribution of cluster well slots in B platform

### 2.2 定向井轨迹设计

丛式井在后期开发过程中,上部井段防碰问题突出,而单筒三井,不仅需考虑邻井间的防碰风险,也必须做好三井间的分离<sup>[7-10]</sup>。比如B20H井由于靶点限制,轨迹需横穿整个平台,防碰绕障难度极大(如图3所示)。

为尽快实现三井分离及防碰绕障,设计思路如下:(1)3口井初始造斜点在垂深上错开10 m,在方位上错开 $50^\circ$ ;(2)上部井段设计高造斜率尽快远离平台;(3)防碰段采用马达和牙轮钻头钻进至测斜数据无磁干扰后,再更换旋转导向钻具组合完成后续井段作业<sup>[11]</sup>;(4)用陀螺复测防碰段轨迹数据,为后续井眼分离提供参考。最终设计轨迹数据如表1所示。

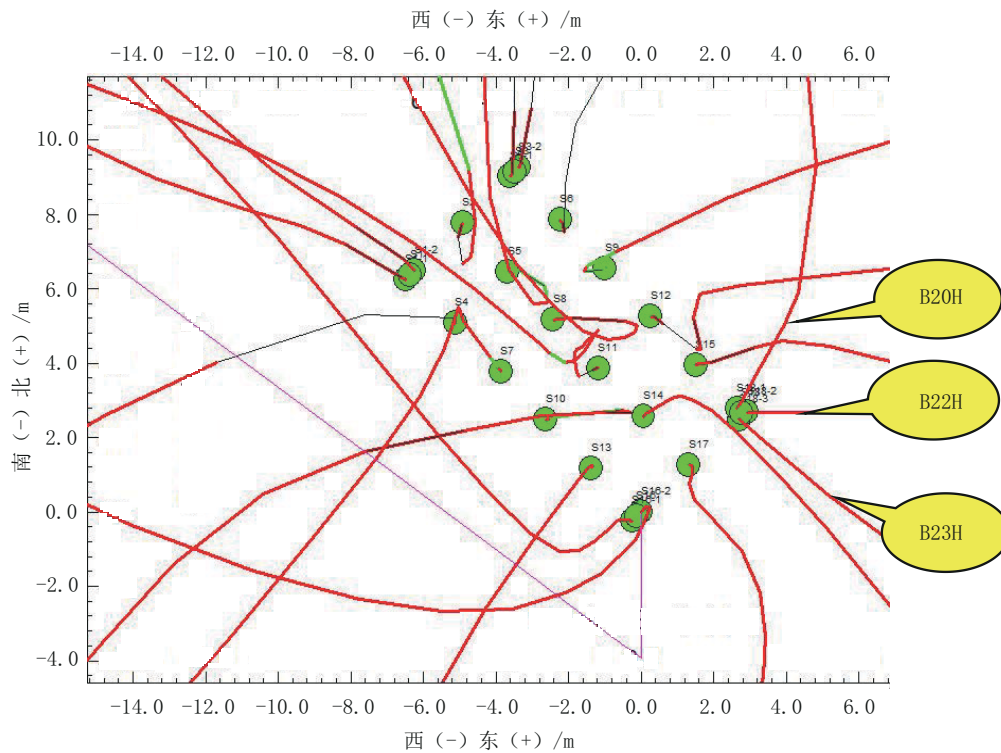


图3 B平台槽口水平投影图

Fig.3 Horizontal projection of B platform slots

表1 单筒三井轨迹设计

Table1 Trajectory design of well drilling with the triple hole splitter wellhead

井名	槽口号	第一造斜段			第二造斜段			与邻井分离系数	完钻深度/m
		造斜点深度/m	初始方位/(°)	全角变化率/(°)	造斜点/m	全角变化率/(°)	稳斜角/(°)		
B20H	S18-1	270	30		1785		89.25		2900
B22H	S18-2	260	90	3.5~4.0	1039	2.5~3.0	76.73	>1	2925
B23H	S18-3	290	140		1505		89.02		2795

### 2.3 井身结构设计

#### 2.3.1 套管程序设计

根据式(1)可推出,在 $\varnothing 914.4$  mm隔水套管(内径 $\varnothing 825.5$  mm)内部分别下入3根 $\varnothing 339.7$  mm无接箍套管,理论上3根套管之间最大间隙为80.9 mm。现场试验结果显示, $\varnothing 914.4$  mm隔水管内可以正常下入3根 $\varnothing 339.7$  mm无接箍套管(见图4)。同时若第3根 $\varnothing 339.7$  mm套管不能顺利下入,则启用备用方案,下入 $\varnothing 293.5$  mm无接箍套管(理论上最大间隙为119.60 mm)<sup>[12]</sup>。

#### 2.3.2 井口稳定性分析

利用ANSYS软件模拟计算,并结合单筒三井轨迹设计, $\varnothing 914.4$  mm隔水导管设计入泥60 m以



图4 单筒三井无接箍套管方案

Fig.4 Plan of flush joint casing

上,井口稳定性满足载荷 150 t 要求(如表 2 所示)。

表 2  $\text{O}914.4\text{ mm}$  隔水导管入泥深度分析(考虑群桩效应)

Table 2 Depth analysis of $\text{O}914.4\text{ mm}$ riser into mud (considering pile group effect)				
井口载 荷/t	导管外 径/mm	导管壁 厚/mm	导管自身 质量/t	入泥深度/ m
100	914.4	25.4	57.93	49.78
120			59.23	52.05
150			60.49	56.23
200			62.78	62.78

另外隔水导管锤入需考虑群桩效应的影响,既要考虑先前打入的隔水导管对周围土的影响,确定好群桩效应影响的塑性区半径,同时又要考虑作业的时间差,尽量使群桩效应引起的增加应力得到进一步消散<sup>[13]</sup>。

综合以上分析,单筒三井井身结构为  $\text{O}914.4\text{ mm} + \text{O}339.7\text{ mm} + \text{O}244.5\text{ mm}$  套管程序,对应  $\text{O}812.8\text{ mm} + \text{O}311.2\text{ mm} + \text{O}215.9\text{ mm}$  井段,备用一个  $\text{O}293.5\text{ mm}$  套管作业方案(如图 5 所示)。

## 2.4 表层套管下入方案

为顺利将  $\text{O}339.7\text{ mm}$  套管下入到设计深度,采取如下设计方案:(1)隔水套管下至 230 m 后,使用  $\text{O}660.4\text{ mm}$  牙轮钻头 +  $\text{O}812.8\text{ mm}$  扩眼器 +  $\text{O}228.6\text{ mm}$  钻铤 2 根 +  $\text{O}812.8\text{ mm}$  扶正器组成的钟摆钻具,继续钻进至 290 m 即 3 口井初始造斜点最深的深度;(2)完钻后充分循环并扫稠浆清洁井筒,短起下确认井底无沉砂;(3)套管均使用无接箍套管,避免阻挂;(4)优先下入内侧下深较深的套管,前 2 根套管应避免管鞋接触井底;(5)备用  $\text{O}293.5\text{ mm}$  无接箍套管,视下套管情况决定是否下入。

## 2.5 表层固井方案

依据中国海洋石油总公司企业标准《海洋固井设计与作业要求》(Q/HS 14004—2016)的要求,水泥浆需封固返高至  $\text{O}914.4\text{ mm}$  管鞋以上 50 m,因此如何做好单筒三井固井方案,制定了如下措施:(1)选择下入套管最深的 B20H 井固井,通过清扫稠浆等措施反算井筒容积,确定合适的附加量。(2)设计水泥浆柱结构时,确保整个固井过程 ECD 低于井底当量,防止漏失。(3)固井结束后环空吊测水泥返高,根据情况补注水泥。

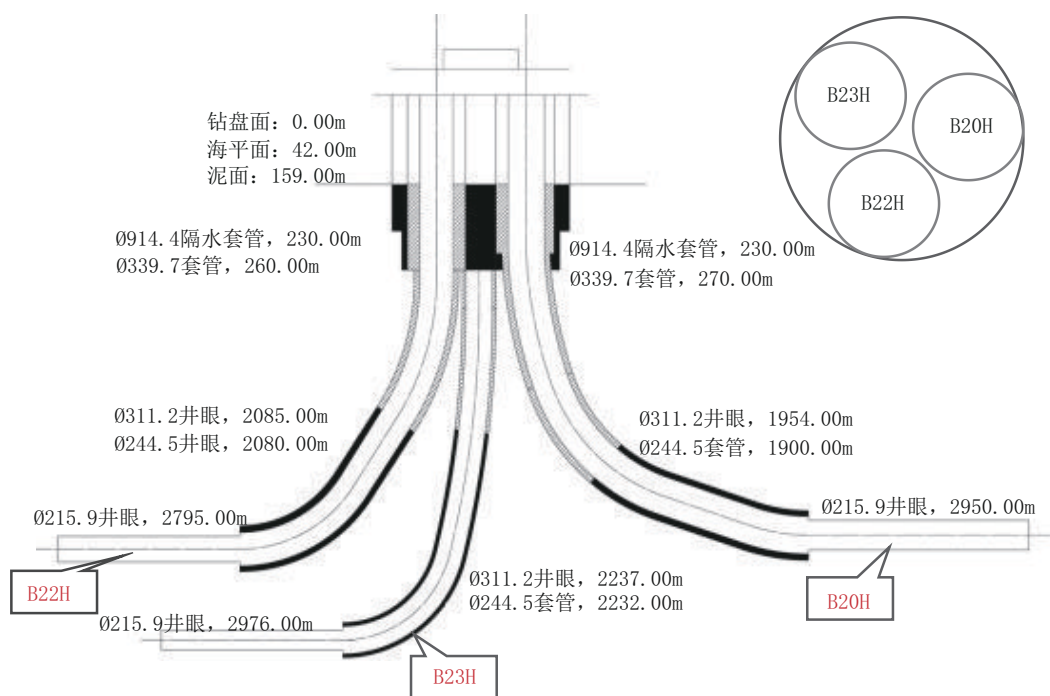


图 5 单筒三井井身结构图

Fig.5 Casing program of the triple hole splitter wellhead wells

### 3 现场施工

一开 $\varnothing 914.4$  mm隔水套管通过锤入法下至230 m,采用内管柱固井,建立井口。随后组合一开 $\varnothing 812.8$  mm井段钻具,继续钻进至表层下套管深度290 m左右。完钻后循环至返出干净,泵入30~40 m<sup>3</sup>稠浆清扫井筒,替入50 m<sup>3</sup>稠浆垫满裸眼。短起下钻后确认无沉砂,投测电子多点仪起钻。

起钻完读取多点记录,数据显示井底井斜 $0.17^\circ$ ,隔水套管未偏斜。按照B23H→B20H→B22H井顺序依次下入3根 $\varnothing 339.7$  mm无接箍套管。套管到位后,根据钻井期间反算稠浆得出井径扩大率13%,确定固井附加量为160%。固井完成后,环空吊测水泥返高在170 m,满足后续作业要求。

二开 $\varnothing 311.2$  mm井段难点主要为井眼分离及防碰。在防碰段,一般两井中心距在4 m以上时,才能消除邻井套管对测斜工具磁干扰的影响。以B20H井钻进期间为例,通过Landmark软件扫描出与邻井的分离情况如图6所示。

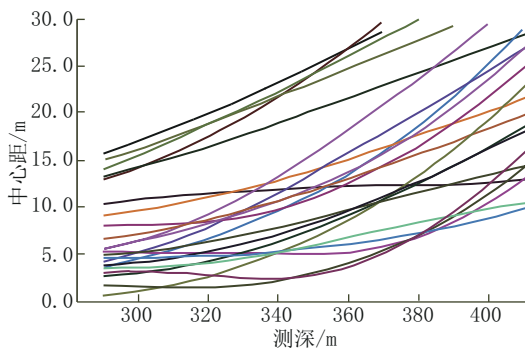


图6 B20H井与邻井中心距

Fig.6 Center distance between B20H well and offset wells

从图6可得出,B20H井设计290 m开始定向造斜,需钻进至370 m,才与邻井相离4 m。期间80 m钻进过程中,如果定向偏差大,钻遇套管风险极高。为此采用陀螺仪定向,尽可能减小方位误差。现场在钻进至345 m时,随钻测斜数据磁干扰从15000 nT逐渐降低至1000 nT,后续逐渐正常,表明已按设计轨迹实现分离(见表3)。

因此二开按照初始造斜点由浅入深顺序批钻作业(B22H→B20H→B23H)。第一趟组合马达钻具防碰绕障: $\varnothing 311.2$  mm牙轮钻头+ $\varnothing 244.5$  mm马达( $1.25^\circ$ )+ $\varnothing 292.1$  mm扶正器+非磁钻铤+MWD+无磁钻铤+浮阀+定向接头+震击器。顺利通过防

表3 B20H井钻进期间磁干扰统计

Table 3 Magnetic interference during drilling of B20H well

测深/m	井斜/ $^\circ$	方位/ $^\circ$	磁干扰超正常值/nT
242.00	0.76	309.64	15333.51
267.94	0.66	351.98	25687.59
287.03	2.08	353.90	2415.40
305.84	3.10	348.42	3569.15
325.21	4.06	347.57	2093.68
344.72	5.00	351.42	972.28
363.98	6.24	352.37	1045.41
383.09	7.78	351.59	1145.93
400.72	9.54	348.90	321.45

碰段后,拉陀螺轨迹复测上部轨迹。然后起钻更换旋转导向钻具组合继续钻进至油层顶部深度,下入 $\varnothing 244.5$  mm套管、固井,再依次转入B20H→B23H井表层作业。

三开 $\varnothing 215.9$  mm井段水平段目的层钻进,与海上其它钻完井方式完全相同。3口井水平段分别钻进1060、744和715 m,油藏钻遇率90%以上,满足后期开发要求。

统计显示,该单筒三井实际67 d完成全部钻井作业,较设计提前8 d,安全时效100%,预计整体效益较单筒双井产量提高40%以上。

### 3 结论与建议

(1)文昌13-2油田单筒三井首次顺利作业,进一步弥补了我国海上单筒三井钻井技术的空白。为后续海上大型丛式井设计中,突破槽口限制,降低开发成本,提高整体经济效益提供参考。该技术对海上平台提高槽口利用率具有较高的推广价值。

(2)单筒三井表层采用批钻作业,同时下入3根套管后固井,无占位钻具。因此三井间如何通过合理布局实现分离及与邻井防碰是主要技术难点,后续井段与海上其它常规井作业相同。

(3)为进一步降低整体作业难度,单筒三井在井身结构上应尽量优化,特别是针对海上作业,需防止隔水套管下入过程中发生偏斜,加剧后续井段防碰风险。同时表层套管考虑无接箍方案,确保套管顺利下入。

**参考文献(References):**

- [1] 付建民,韩雪银,范白涛,等.海上平台井槽高效利用关键技术[J].中国海上油气,2016,28(2):103-108.  
FU Jianmin, HAN Xueyin, FAN Baitao, et al. Key technology for efficient utilization of offshore platform well slots[J]. China Offshore Oil and Gas, 2016,28(2):103-108.
- [2] 刘永辉.单筒双井与批量钻井技术在南堡1-3导管架的应用[J].断块油气田,2022,29(1):130-133.  
LIU Yonghui. The drilling technology of twin holes in monobore & batch-drilling on Nanpu 1-3 jacket platform [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2022, 29(1): 130-133.
- [3] 和鹏飞,侯冠中,朱培,等.海上 $\varnothing 914.4$  mm井槽弃井再利用实现单筒双井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(3):45-48.  
HE Pengfei, HOU Guanzhong, ZHU Pei, et al. Twinhole-in-monobore technology completed on abandoned  $\varnothing 914.4$ mm offshore well slot [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(3):45-48.
- [4] 黄熠,萧林,李炎军.单筒三井技术在涠洲6-1油田的应用[J].石油钻采工艺,2007,29(6):1-3.  
HUANG Yi, XIAO Lin, LI Yanjun. Application of three-in-one drilling technology in Weizhou6-1 Oilfield [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007,29(6):1-3.
- [5] 张红生,杨进,吴怡,等.海上单筒三井隔水导管结构整体力学分析[J].石油钻采工艺,2012,34(5):31-32.  
ZHANG Hongsheng, YANG Jin, WU Yi, et al. Integral mechanical analysis on monocular triple-well riser structure [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012,34(5):31-32.
- [6] 杨玉豪,张万栋,张超,等.南海某高温高压气田丛式井表层大尺寸井眼防碰技术[J].钻采工艺,2020,43(1):27-29.  
YANG Yuhao, ZHANG Wandong, ZHAO Chao, et al. Anti-collision technology for surface large-size section of cluster wells in South China Sea [J]. Drilling & Production Technology, 2020,43(1):27-29.
- [7] 庞炳章,徐荣强,牟小军,等.非对称单筒双井技术在文昌13-2油田的应用[J].石油钻采工艺,2007,29(6):4-6.  
PANG Bingzhang, XU Rongqiang, MU Xiaojun, et al. Application of asymmetric two-in-one technology in Wenchang13-2 Oilfield [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007, 29(6): 4-6.
- [8] 李红星.番禺30-1气田丛式井浅层钻进防碰绕障技术[J].石油钻探技术,2015,43(6):125-129.  
Li Hongxing. Anti-collision and obstacle bypassing techniques in cluster wells drilling in shallow layers of the PY30-1 Gas Field [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015,43(6):125-129.
- [9] 刘永辉,李然,朱宽亮.密集丛式井磁干扰情况下防碰判断与控制方法[J].钻采工艺,2021,44(1):43-47.  
LIU Yonghui, LI Ran, ZHU Kuanliang. Anti-collision judgment and control method under magnetic interference of dense cluster wells [J]. Drilling & Production Technology, 2021, 44(1):43-47.
- [10] 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.  
JIA Yong, HE Pengfei, YUAN Zeming, et al. Application of horizontal branch wells in an offshore gas field [J]. Drilling Engineering, 2021,48(4):104-109.
- [11] 董振国,熊伟,龚长芳,等.海上油田开发井钻井优化设计 and 应用实践[J].钻探工程,2021,48(7):46-57.  
DONG Zhengguo, XIONG Wei, GONG Changfang, et al. Optimal design and application of development well drilling in offshore oilfields [J]. Drilling Engineering, 2021,48(7):46-57.
- [12] 施览玲.东海西湖井身结构深度优化技术及其应用[J].钻探工程,2021,48(10):76-81.  
SHI Lanling. Deep optimization technology of the casing program and its application in Xihu Sag, East China Sea [J]. Drilling Engineering, 2021,48(10):76-81.
- [13] 董星亮.海洋钻井手册[M].北京:石油工业出版社,2016.  
DONG Xingliang. Offshore Drilling Manual [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2016.

(编辑 李艺)