海上某气田悬空侧钻水平分支井技术及应用

贾 雍，和鹏飞，袁则名，孙永乐，张子明
（中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司，天津 300450）

摘要：E海低孔渗气田储量占总储量的93%，提高低渗透、特低渗透气田开采率，已经成为油气田勘探开发的重要课题。水平分支井技术成为提高低渗透、特低渗透气田开采率的重要手段，使用水平分支井技术提高气田开采率在国内外油气田开发已有先例且效果显著。水平分支井技术，是水平井和侧钻井等多种钻井技术的融合，是当今石油开采工业的热门技术，已在海油E海域多个油气田应用，是实现低渗气田高效开发的重要技术手段。因此，深入研究总结水平井分支井钻井技术意义重大。本文针对水平分支井侧钻技术，深入分析并结合X气田水平分支井现场实钻情况，总结出水平分支井在该区块现场应用的关键，为以后水平分支井在低渗油气田的推广和应用提供借鉴。

关键词：水平分支井；轨迹预留；悬空侧钻；划槽；造台阶；控时钻进
中图分类号：P634；TE242 **文献标识码**：A **文章编号**：2096-9686(2021)04-0104-06

Application of horizontal branch wells in an offshore gas field

JIA Yong, HE Pengfei, YUAN Zeming, SUN Yongle, ZHANG Ziming
(*CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., China, Tianjin* 300450, *China*)

Abstract: Reservoir with low porosity and permeability accounts for 93% of all reserves of the E Sea; thus, enhancing the recovery of low and ultra-low per permeability gas fields has become an importance subject in the exploration and development of oil and gas fields. Horizontal branch well technology, which has been deployed and proven to be fruitful in enhancing gas field recovery at home and abroad, plays a significant role in increasing the recovery of low and ultra-low per permeability gas fields. Horizontal branch well technology, a fusion of multiple drilling technology including horizontal well and side-tracking, is a hot technology in oil development industry. It has been implemented in several fields in the E Sea, and proven to be an effective means to develop low permeability gas fields. As a result, it is of much importance to conduct in-depth study and summarization of the technology. This paper has analyzed the technology in depth and summarized its key application points in the E Sea X field, which can assist in further promotion and application of this technology in low permeability oil and gas fields in the E Sea.

Key words: horizontal branch wells; preserved trajectory; openhole side-tracking; create a trough; make a ledge; time-controlled drilling

E海地区气藏资源主要以中低渗、特低渗为主，占比达93%。低渗、特低渗气藏有效开发是E海地区目前主要攻关方向，应用水平井分支井可有效提高常规低渗气藏单井产能[1]，未来可能将规模应用水平分支井开发低渗气藏。因此，通过E海地区气田已实施的水平分支井，深入总结研究水平分支井钻井技术既可以提高作业时效，又为大力开发E海地区气田提供必需的技术前提。本文以E海地区X气田水平分支井应用为例，介绍了水平分支井侧钻技术的实际应用。

收稿日期：2020-01-21；**修回日期**：2020-05-28 **DOI**：10.12143/j.tkgc.2021.04.014
作者简介：贾雍，男，汉族，1985年生，工程师，石油工程专业，从事海洋钻井监督技术及数字化技术研究工作，天津市滨海新区渤海石油路688号工程技术公司，jiayong2@cnooc.com.cn；
和鹏飞，男，汉族，1987年生，高级工程师，石油工程专业，主要从事海洋石油钻完井技术监督工作，天津市滨海新区中新生态城悦馨苑4-301，hepf2@qq.com。
引用格式：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.

1　气田概况

1.1　储层特征

根据最新已钻井实钻结果,证实气田南部H4～H6(垂深3400～3650 m)气藏油气潜力较大。初步评价H4d层探明天然气地质储量约25×10^8 m^3,控制＋预测天然气地质储量15×10^8 m^3,H5层探明天然气地质储量约60×10^8 m^3。

X气田HG组上段储层孔隙度分布在3%～19.8%,平均13.2%;渗透率分布在0.046～244 mD,平均16.8 mD。HG组下段储层孔隙度分布在2.1%～13%,平均8.5%;渗透率分布在0.0167～1.96 mD,平均0.25 mD,气田整体为低渗气田。

1.2　已钻完井情况

X气田已钻完2口水平井,3口水平分支井。水平井X1H、X4H;水平分支井:主支X5M、分支X5Ma;主支X6M、分支X6Ma、分支X6Mb;主支X9M、分支X9Ma、分支X9Mb。已钻完井主要数据见表1。

表1　X气田已钻完井主要数据

Table 1　Main data of the completed wells in the X gas field

井　名		侧钻点井深/m	总井深/m	垂深/m	位移/m	分支井段长度/m
X1H	X1H		4653	3192.95	2005.85	
	X1HP	3280	3650	3263.01	990.02	
X4H			5056	3425.20	1465.63	
X5M	X5S	2975	4559	3626.56	2143.52	
	X5P	3552	4401	3717.09	2131.45	
	X5M		4754	3539.64	2552.29	
	X5Ma	4273	4790	3539.94	1185.21	517
X6M	X6M		4845	3542.58	1411.95	
	X6Ma	4010	4588	3533.58	1185.21	578
	X6Mb	4300	5033.35	3533.26	1493.28	733.35
X9M	X9M		5240	3608.26	1986.60	
	X9Ma	4110	4750	3606.67	1523.64	640
	X9Mb	4309	5150	3623.85	1691.99	841

2　水平分支井的钻井工艺

悬空侧钻法钻水平分支井在E海油气田应用较多。水平分支井钻井关键技术是悬空侧钻技术和轨迹控制技术[2]。

悬空侧钻技术:首先将重力工具面摆在井筒低边,依靠工具重力,在低边钻个新井筒。有了新井筒后,再通过改变方位,使其与原井筒分离,最后再按照新的轨迹,继续钻进。2个井筒的彻底分离,标志着悬空侧钻作业成功完成[3]。

轨迹控制技术:使用旋转导向工具或者马达和LWD工具等实现定向钻进。使用旋转导向和随钻测井工具,结合东海已钻井轨迹控制经验,水平分支井轨迹控制技术已经非常成熟。本文重点介绍水平分支井的裸眼侧钻(悬空侧钻)工艺。

2.1　分支井的优缺点

2.1.1　分支井钻井技术的优点

(1)增加井眼在油藏中的长度,扩大泄油面积,提高采收率。

(2)提高低孔渗油气藏产能及采收率。

(3)改善油流动态剖面,减缓锥进速度,提供重力泄油途径,提高油气层纵向动用程度。

(4)提高裂缝油气藏裂缝钻遇率,经济开采边际油气藏和重质原油油藏,可重复利用上部井段,降低钻井成本。

(5)地面井口或海上井槽的减少,降低了平台的建造费用、油井管理和环境保护等费用。

2.1.2　分支井钻井技术的缺点

(1)分支井分支再进入存在难度。

(2)水平分支井分支井段一般常使用裸眼完井,生产中存在井塌风险。

(3)水平分支井侧钻点应力集中,井壁稳定性较差。

(4)水平分支井要求钻井液具有更好的润滑和防塌功能,对井口净化装置有更高的要求[4]。

2.2 水平分支井悬空侧钻工具的选择

马达等指向式旋转导向工具的造斜原理是利用弯角,使钻头在不对称情况下切削地层,逐渐产生井斜;推靠式旋转导向是通过工具自身向井壁施加一个作用力,工具在反作用力的作用下达到控制井斜的目的。推靠式旋转导向多用于直井作业,水平分支井侧钻作业则优选指向式旋转导向[5]。

2.3 水平分支井悬空侧钻钻头的选择

侧钻效率高低取决于钻头的侧向切削能力。水平分支井悬空侧钻时选择具有侧向切削齿、侧向切削能力较强的钻头[5]。

2.4 水平分支井悬空侧钻点的选择

(1)侧钻点的选取要考虑容易侧钻并利于控制井眼轨迹。

(2)侧钻点应兼顾地层稳定性和可钻性,以中软砂岩地层最佳。

(3)侧钻点最好在增斜段,且新老井眼方位角相差较大的井段。

2.5 水平分支井悬空侧钻工艺

轨迹预留,划槽,造台阶,控时钻进[6]是提高E海油气田水平分支井作业的重点。

2.5.1 轨迹预留

在分支井钻进至侧钻点附近,使用高边工具面和100%的力度全力造斜(可带方位),人为制造一个大的局部“狗腿”以利于侧钻主支。一般局部“狗腿”在5°/30 m以上,段长20 m左右。钻完分支井段,上提钻具至侧钻点后转入侧钻主支作业。

2.5.2 划槽

钻具配长保证侧钻的连续性。划槽时以快速上提、缓慢下放为原则,且下放位置不得超过侧钻点,划槽时间1~2 h。

2.5.3 造台阶

定点造台阶,循环时间1 h。

2.5.4 控时钻进

控时钻进就是控制机械钻速。控时标准根据分支井眼正常钻进的机械钻速,地层压实程度等方面综合考虑。

2.6 水平分支井新井眼和老井眼隔墙的计算

水平分支井悬空侧钻作业主要靠工具重力实现新老井眼的分离,井斜的变化是影响新老井眼分离的主要原因[7]。计算新老井眼隔墙时,如公式(1)和公式(2),可以忽略方位的影响,仅从井斜上近似计算分离程度。

$$D = L\sin\alpha \tag{1}$$

式中:D——偏移距,m;L——新井眼钻进的长度,m;α——老井眼与新井眼井斜的差值,rad。

$$H = D - d \tag{2}$$

式中:H——新老井眼隔墙厚度,m;d——钻头直径,m。

当偏移距等于钻头直径时,钻头完全进入新井眼,此时隔墙厚度为0 m;适当加快控时钻进的速度,隔墙不足半个钻头直径时严禁加压,以防加压时台阶面破裂[8]。当隔墙厚度达到半个钻头直径以上时可提高参数正常钻进。新井眼形成后,为防止重新进入老井眼,要随时监测轨迹[9-16]。

3 水平分支井在E海X气田的应用

X气田已钻3口水平分支井,共计5个分支井的侧钻施工作业。5个分支侧钻作业当中,均使用水平分支井悬空侧钻技术,共计实施6次悬空侧钻作业,其中5井次侧钻均一次成功,1井次侧钻失败。

以X6Mb分支井侧钻主支作业中涉及2次侧钻(第一次失败,第二次成功)为例并结合其余4口井水平分支井侧钻作业经验,分析了水平分支井侧钻技术在E海油气田的应用。

3.1 X气田X6Mb分支侧钻X6M主支概况

X6M井12¼ in(1 in=25.4 mm,下同)井段钻进至3954 m,9⅝ in套管下深3949.5 m,8⅜ in井段钻进一个主支X6M,2个分支X6Ma及X6Mb。X6M井水平分支井基本数据见表2,水平投影图见图1。

表2 X6M水平分支井基本数据

Table 2 Basic data of horizontal branch well X6M

井段	侧钻点/m	侧钻情况	完钻深度/m
X6M			4845
X6Ma	4010	成功	4588
X6Mb	4248	失败	5033.35
	4300	成功	

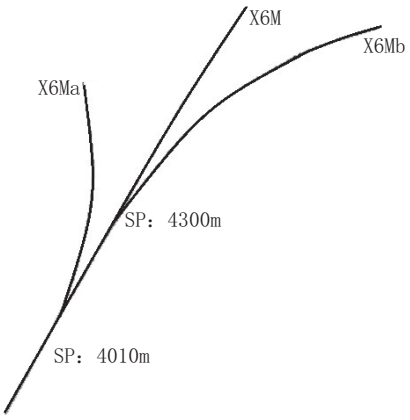

图 1　X6M 水平分支井水平投影

Fig.1　Horizontal projection of horizontal branch well X6M

施工程序:首先钻进主支至 4010 m,继续钻进分支 X6Ma 至完钻井深 4588 m。然后起钻至 4010 m 进行悬空侧钻主支,顺利完成侧钻后,再钻分支 X6Mb 至完钻深度 5033.35 m。起钻至 4248 m(砂岩段),侧钻主支 X6M,失败后侧钻点下移至 4300 m(泥岩段),完成侧钻后,再钻主支至 4845 m 完钻。

3.2　X 气田 X6Mb 分支侧钻 X6M 主支现场作业

侧钻底部钻具组合:8⅜ in PDC bit+6¾ in Xceed+6¾ in EcoScope+6¾ in TeleScope+6¾ in NMDC+6¾ in Filter Sub+6¾ in Jar+X/O+5½ in HWDP。

3.2.1　X6Mb 第一次侧钻 X6M 主支作业概况

钻具配长,保证可以连续侧钻 2 个单根。X6Mb 分支井段完钻后起钻至 4248 m 准确校深。

(1)轨迹预留情况:X6M 井 4248～4258 m 井斜 88.49°～89.62°,局部“狗腿”度 3.5°(没有人为提前制造一个较高的局部“狗腿”),侧钻点附近岩性为砂岩。

(2)划槽:排量 1950 L/min,顶驱转速 100 r/min,旋转导向 Xceed 设置为(L168,100%),4002～4010 m 向下划槽速度 20 m/h(快速上提),划槽 3 h。

(3)造台阶:排量 1950 L/min,顶驱转速 100 r/min ,4248 m 处定点循环 1 h。

(4)控时钻进,进程控制如表 3 所示。

4240～4248 m 划槽 3.5 h 后,测点 4248 m 井斜降至 88.25°,比老井眼小 0.24°,方位变化不明显,划槽虽有一定效果,但井斜降幅不明显。控时钻进期间井斜差值先渐大后渐小,最后基本与老井眼一致。确认侧钻失败后,下移侧钻点继续侧钻 X6M 主支。

表 3　X6Mb 侧钻主支 X6M 第一次侧钻进程(侧钻点 4248 m)

Table 3　First side tracking of the main hole X6M from the branch X6Mb (side tracking kick-off point at 4248m)

井深/m	井斜(X6Mb 井)/(°)	井斜(X6M 井)/(°)	井斜差值/(°)	控速/(m•h)
4243.73	88.01	87.97	0.04	
4247.08	88.35	88.14	0.21	
4248.00	88.49	88.25	0.24	
4249.06	88.66	88.32	0.34	0.3
4249.98	88.80	88.42	0.38	
4251.05	88.97	88.49	0.48	
4251.96	89.14	88.59	0.55	0.5
4252.42	89.18	88.63	0.55	
4253.03	89.28	88.69	0.59	
4254.70	89.45	88.83	0.62	0.8
4255.62	89.52	88.96	0.56	
4257.29	89.59	89.07	0.52	
4258.36	89.62	89.14	0.48	1.2
4259.43	89.62	89.21	0.41	
4260.49	89.55	89.24	0.31	0.3
4262.02	89.45	89.31	0.14	
4262.93	89.35	89.28	0.07	0.8
4263.39	89.31	89.24	0.07	
4264.30	89.21	89.31	-0.10	1.2

3.2.2　X6Mb 第二次侧钻 X6M 主支作业概况

4248 m 侧钻失败后,下移侧钻点至 X6Mb 分支井段的轨迹预留段,再次侧钻。钻具配长,保证可以连续侧钻 2 个单根,4300 m 准确校深。

(1)轨迹预留情况:X6Mb 井 4294～4312 m 主动造高“狗腿”,旋转导向 Xceed 指令设置为(R24,100%),井斜由 89°增至 91.31°,方位由 31.85°增至 34.18°,局部“狗腿”7°/30 m。

(2)划槽:排量 2100 L/min,顶驱转速 100 r/min,旋转导向指令设置为(L168,100%),4292～4300 m 划槽,下放速度 20 m/h(快速上提),每次下放不超过侧钻点,划槽 4 h。

(3)造台阶:排量 2100 L/min,顶驱转速 100 r/min,4300 m 处定点循环 2 h。

(4)控时钻进,进程控制如表 4 所示。

4292～4300 m 划槽 3 h 后,测点 4299.81 m,井斜降至 89.07°,比老井眼小 1.03°;方位增至 31.35°,比老井眼大 0.5°,划槽效果比较理想。

表 4 X6Mb侧钻主支 X6M 第二次侧钻进程(侧钻点 4300 m)

Table 4 Second side tracking of the main hole X6M from the branch X6Mb (side tracking kick-off point at 4300m)

深度/m	井斜(X6Mb井)/(°)	井斜(X6M井)/(°)	井斜差/(°)	方位(X6Mb)/(°)	方位(X6M)/(°)	方位差/(°)	控速/(m•h^{-1})	备 注
4299.51	90.03	89.07	0.96	31.83	31.35	0.48		划槽后井斜减 1°
4299.81	90.10	89.07	1.03	31.85	31.35	0.50		
4300.88	90.28	89.04	1.24	32.11	31.40	0.71		
4301.79	90.38	89.00	1.38	32.47	31.46	1.01	0.3	钻压升至 40 kN
4302.86	90.48	88.90	1.58	32.69	31.48	1.21		
4303.78	90.58	88.80	1.78	32.79	31.32	1.47		
4304.69	90.65	88.69	1.96	32.95	31.39	1.56	0.5	钻压升至 60 kN
4305.91	90.89	88.52	2.37	33.22	31.25	1.97		
4306.21	90.93	88.49	2.44	33.17	31.17	2.00		
4307.59	91.07	88.28	2.79	33.59	31.08	2.51	0.8	
4308.50	91.20	88.18	3.02	33.76	31.10	2.66		
4310.02	91.27	87.87	3.40	34.03	30.89	3.14		
4311.24	91.31	87.59	3.72	34.10	30.77	3.33		
4312.46	91.34	87.25	4.09	34.18	30.61	3.57	1.4	钻压升至 70 kN
4313.68	91.48	86.98	4.50	34.47	30.61	3.86		
4315.05	91.58	86.70	4.88	34.42	30.61	3.81		
4317.95	92.13	86.12	6.01	34.56	30.65	3.91	2.6	钻压升至 70 kN
4319.93	92.54	85.87	6.67	34.98	30.60	4.38		

控时钻进至测点 4302.86 m,井斜降至 88.9°,比老井眼小 1.58°;方位降至 31.48°,比老井眼小 1.21°。控时钻进钻压明显增大,说明钻头已经钻入新地层。控时钻进至测点 4315.05 m,井斜降至 86.7°,比老井眼小 4.88°;方位降至 30.61°,比老井眼小 3.81°。该处预算 4320.23 m,井斜 85.9°左右,与老井眼分离间距 0.7 m,确认侧钻成功。

3.3 X气田水平分支井应用实践分析

3.3.1 X6Mb第一次侧钻X6M主支作业失败原因分析

(1)侧钻失败主要原因为侧钻点附近局部“狗腿”较小,不在轨迹预留段。

(2)局部“狗腿”较小,导致划槽造台阶效果不好,划槽结束后井斜比老井眼仅小 0.24°。

(3)局部“狗腿”较小,划槽及控时钻进期间“上翘大狗腿井段”不能起到良好的支点作用。

3.3.2 X6Mb第二次侧钻X6M主支作业经验总结

(1)侧钻成功主要原因为侧钻点在轨迹预留段的局部“狗腿”较大处。

(2)局部“狗腿”较大划槽造台阶效果较好,划槽结束后井斜比老井眼小 1.03°,方位比老井眼大 0.5°,划槽效果较理想。

(3)局部“狗腿”较大,划槽及控时钻进期间“上翘大狗腿井段”能起到良好的支点作用,利于低边尽快形成台阶并快速侧钻出新井眼。

(4)轨迹预留在泥岩段,适当增加悬空侧钻技术措施用时利于侧钻的实施。

4 结论及认识

(1)悬空侧钻点应选取轨迹预留段,避免在稳斜段,在增斜井段进行低边侧钻更有利于新井眼的井壁稳定。低边侧钻时能够起到支点作用,便于进行悬空侧钻。侧钻点在方位选择上应同时满足新老井筒有效分离和侧钻井眼轨迹的容易控制。

(2)控时钻进如遇突发情况,需慢提慢放,保持连续侧钻,防止破坏台阶。同时为保证侧钻成功率,还需相应增加进尺。

(3)成功侧钻形成新井眼后,为避免因管柱震动或水力冲刷而造成隔墙破坏,应适当降低钻井参数。侧钻成功后及时调整指令,避免局部“狗腿”过

大影响后续完井作业。

(4)该技术的成功实施有效增加了泄油面积及采收率,同时也节约了一部分建造成本。但该技术在具体实施中部分关键点存在经验不足,需要在后续作业中总结经验,提高侧钻成功率。

参考文献(References):

[1] 李勇,岳砚华,杨佐英,等.长庆低渗透油气田分支井钻完井技术综述[J].钻采工艺,2014,37(4):12-14,22.
LI Yong, YUE Yanhua, YANG Zuoying, et al. Drilling and completion technologies of lateral well in Changqing low permeability oil and gas field[J]. Drilling & Production Technology, 2014,37(4):12-14,22.

[2] 赵志付,孙乾坤,段宾.东海水平分支井悬空侧钻技术[J].海洋石油,2018,38(3):56-60.
ZHAO Zhifu, SUN Qiankun, DUAN Bin. Open-hole sidetracking technology in horizontal multilateral wells in East China Sea[J]. Offshore Oil, 2018,38(3):56-60.

[3] 周井红,陈友生,陈其学,等.磨溪气田研磨性硬地层水平井悬空侧钻技术应用实践[J].天然气勘探与开发,2009,32(3):45-47.
ZHOU Jinghong, CHEN Yousheng, CHEN Qixue, et al. Horizontal-well sidetracking in abrasive and hard formations, Moxi Gasfield[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2009, 32(3):45-47.

[4] 陈晓.油田水平分支井钻井完井技术[J].中国石油和化工标准与质量,2012(S1):97-98.
CHEN Xiao. Drilling and completion technology of oil field horizontal branch well[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2012(S1):97-98.

[5] 于观成,李川,王经武,等.悬空侧钻技术在东海油气田的应用[J].化学工程与装备,2015,19(8):217-220.
YU Guancheng, LI Chuan, WANG Jingwu, et al. Application of suspended sidetracking technology in oil and gas fields in the East China Sea[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2015, 19(8):217-220.

[6] 罗鸣,顾纯巍,杜威.半潜式钻井平台水平井裸眼侧技术[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.

[7] 杨仲涵,何世明,郑锋辉,等.悬空侧钻技术在大牛地气田DP22水平井的应用[J].石油钻采工艺,2012,34(3):20-23.
YANG Zhonghan, HE Shiming, ZHENG Fenghui, et al. Application and knowledge from suspended sidetracking technology at the Well DP-22 in Daniudi Gas Field[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012,34(3):20-23.

[8] 刘鹏飞,和鹏飞,李凡,等.欠位移水平井C33H井裸眼悬空侧钻技术[J].石油钻采工艺,2014,36(1):44-47.
LIU Pengfei, HE Pengfei, LI Fan, et al. Open-hole sidetrack drilling technique for C33H under-displacement horizontal well[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014,36(1):44-47.

[9] 王远波.伊朗海上水平分支井技术的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2018,38(24):156-157.
WANG Yuanbo. Application of offshore horizontal branch well technology in Iran[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2018,38(24):156-157.

[10] 和鹏飞.渤海油田某水平井防碰轨迹控制技术[J].钻采工艺,2019,42(3):108-111.
HE Pengfei. Trajectory control to avoid collision on Well Y at Bohai Oilfield[J]. Drilling & Production Technology, 2019,42(3):108-111.

[11] 沈元波,徐鲲,马志忠,等.基于提高下尾管悬重预测精度的方法与应用[J].石油化工应用,2019,38(6):45-48.
SHEN Yuanbo, XU Kun, MA Zhizhong, et al. Improving prediction precision of suspension weight of lower tail pipe[J]. Petrochemical Industry Application, 2019,38(6):45-48.

[12] 严维锋,袁则名,和鹏飞,等.东海侧钻超深大位移井钻井关键技术[J].海洋工程装备与技术,2018,5(3):174-180.
YAN Weifeng, YUAN Zeming, HE Pengfei, et al. Key technologies for deep large extended reach wells drilling in the East China Sea[J]. Ocean Engineering Equipment and Technology, 2018,5(3):174-180.

[13] 和鹏飞,王伟.基于数据分析的钻井工程辅助决策方法研究与应用[J].石油工业技术监督,2018,34(4):1-4,22.
HE Pengfei, WANG Wei. Research and application of drilling engineering aided decision-making method based on data analysis[J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2018, 34(4):1-4,22.

[14] 袁洪水,和鹏飞,袁则名,等.基于数值模拟的远程工程支持在海洋19-6井的实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(3):42-45.
YUAN Hongshui, HE Pengfei, YUAN Zeming, et al. Research and application of decision support method for drilling engineering based on data analysis[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(3):42-45.

[15] 孙晓飞,和鹏飞,韩东东,等.渤海浅部疏松地层旋转导向轨迹控制关键技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(8):33-36.
SUN Xiaofei, HE Pengfei, HAN Dongdong, et al. Key technology of drilling trajectory control by rotary steering in the shallow unconsolidated formation of Bohai[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(8):33-36.

[16] 边杰,崔爱贞,和鹏飞,等.C6H水平井三维轨迹优选与控制技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(5):24-26.
BIAN Jie, CUI Aizhen, HE Pengfei, et al. Three dimension trajectory optimization and control technology for unconventional well construction[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(5):24-26.

(编辑　荐华)