

苏14-19-34井组水平井轨迹控制技术研究与应用

蒋太平¹, 李果民¹, 姚战利², 丁红卫¹

(1. 四川省地质矿产勘查开发局一一三地质队, 四川 泸州 646000;

2. 中国石油川庆钻探工程有限公司, 四川 成都 610051)

摘要:随着苏里格气田的深度开发, 大井丛、三维水平井施工逐渐增多, 增大了轨迹控制难度。丛式三维水平井存在防碰风险高, 斜井段长导致摩阻和扭矩大滑动钻进困难, 水平段长及产层不稳定导致钻压传递困难和井壁失稳、井壁清洁困难等问题。针对这些问题, 通过优化剖面设计和钻具组合, 采用盐水钻井液体系、螺杆优选及现场技术管理和操作人员精心应对, 形成了配套的技术对策, 有效地实现了钻井工程的安全高效。

关键词:水平井; 轨迹控制; 防碰绕障; 靶前距; 偏移距

中图分类号: P634.7; TE243+.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2021)08-0019-07

Research and application of horizontal well trajectory control technology in the Su 14-19-34 well group

JIANG Taiping¹, LI Guomin¹, YAO Zhanli², DING Hongwei¹

(1. Geological Team 113, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Luzhou Sichuan 646000, China;

2. CNPC Chuangqing Drilling Engineering Company Limited, Chengdu Sichuan 610051, China)

Abstract: With the deep development of Sulige Gas Field, the construction of large well clusters and three-dimensional horizontal wells is increasing gradually, which increases the difficulty on trajectory control. Drilling cluster type three-dimensional horizontal wells faces many issues, such as high collision risk; difficulty in slide-drilling due to large friction torque with the long build-up well section; and difficult WOB transfer, wellbore instability and cleaning difficulty due to the long horizontal section and unstable production layer. In view of these problems, a complete set of technical countermeasures have been formed through optimization of the drilling design and the drilling stem, adoption of the salt water drilling fluid system, optimization of the mud motor, and field technical management and the driller's careful response, which has led to the safe and efficient completion of drilling works.

Key words: horizontal well; trajectory control; collision and obstacle avoidance; target front distance; offset distance

1 项目概况

苏里格气田位于鄂尔多斯盆地, 是我国产气量较大的整装气田, 属于低压、低渗、低产的三低致密岩性气藏。采用丛式井组水平井开发是提高单井采收率、有效使用土地资源、降低开发成本的重要途径。近年来为了进一步提高单井产量, 降低单位建产投资成本, 苏里格气田水平井向大井丛、长水平段和低成本的方向发展。

苏14区块苏14-19-34井组位于内蒙古鄂尔多斯市鄂托克前旗昂素镇, 共布2口小三维水平井, 目的层为石盒子组盒8地层, 埋藏垂深达3480 m, 目的层温度超过120℃, 地质情况复杂多变, 储层连续性差, 设计水平段长, 施工难度大, 风险高。

2 苏里格气田丛式三维水平井施工技术难点

2.1 丛式三维水平井直井段防碰绕障、纠偏影响快

收稿日期: 2020-11-26; 修回日期: 2021-02-05 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.08.003

作者简介: 蒋太平, 男, 汉族, 1967年生, 教授级高级工程师, 地质工程专业, 工程硕士, 长期从事钻探技术研究和管理工作, 四川省泸州市江阳区江阳南路21号, jtpjtp@126.com。

引用格式: 蒋太平, 李果民, 姚战利, 等. 苏14-19-34井组水平井轨迹控制技术研究与应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(8): 19-25.

JIANG Taiping, LI Guomin, YAO Zhanli, et al. Research and application of horizontal well trajectory control technology in the Su 14-19-34 well group[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(8): 19-25.

速钻进

丛式三维水平井,同井场多机组、同机组多口井施工,防碰绕障施工错综复杂^[1-2];再加上三维水平井直井段担负减少偏移距的任务,制约了丛式三维水平井直井段快速钻进。

2.2 斜井段长,摩阻、扭矩大,滑动钻进困难

斜井段包括纠偏井段、扭方位段、增斜入窗井段。控制井段长,钻穿层位多,地层规律性不统一,轨迹控制难度大^[3]。

由于偏移距的存在,三维水平井摩阻、扭矩模型建立困难,钻具及套管受力分析很难做到精确^[4];后期井段施工摩阻、扭矩大,井下动力钻具滑动钻进困难,施工效率低。

2.3 水平段井眼清洁困难

由于岩屑在水平井内滞留时间长,岩屑易沉积在井眼低边,形成岩屑床,会造成钻具频繁阻卡及增大钻井摩阻。为满足长水平段小井眼的井眼清洁要求,排量与泵压的选择成为较突出的矛盾。

2.4 水平段钻遇泥岩后易出现钻头泥包和井壁失稳

水平段均在二叠系石盒子组穿行,但石盒子组地层水敏性强,裂缝发育,存在泥岩夹层,易发生水化膨胀剥落、井壁垮塌而出现阻卡;同时,长水平段钻井施工周期长,地层浸泡时间长,受井壁坍塌的影响,井壁失稳的风险进一步加大。

2.5 钻压传递困难

由于水平段长,水平段控制点多,导致井眼轨迹复杂,使得井内管柱与井壁的摩阻和扭矩大幅度增加,钻柱发生屈曲变形;一旦超过钻柱螺旋临界屈曲力,滑动钻进时钻柱自锁导致无法有效传递钻压,最终导致水平段延伸钻进困难。

3 技术对策

3.1 防碰绕障技术

防碰工作必须从优化方案入手,从源头上杜绝相碰风险,施工方案必须做到与邻井直井段距离8 m以上,斜井段20 m以上。

存在防碰绕障的井,先进行防碰绕障施工,待防碰段安全通过后,再进行轨迹优化。防碰是轨迹控制的重中之重^[5]。

做好轨迹监测,做到测一点、算一点、防碰图画一点,预测一次待钻轨迹;对轨迹偏离预定方案和防

碰风险增加的情况及时预警,及时纠正轨迹偏差。

3.2 三维水平井纠偏段及轨迹设计技术

3.2.1 地层规律分析

苏里格气田涉及区域广,区块地层规律差异大,固定施工模式难以取得最优效果,只能根据区块对应不同类型井,制定针对性方案。通过现场大量施工井资料分析统计,总结苏里格气田苏14区块各地质层位轨迹变化规律。苏里格气田纠偏井段各地质层位轨迹变化规律见表1。

表1 苏里格气田纠偏井段各地质层位轨迹变化规律
Table 1 Track and strike law of each geological horizon in the deviation correction section of Sulige Gas Field

序号	地层	段长/m	井斜变化率/ [(°)·(100 m) ⁻¹]
1	直罗组	230	1~2
2	延安组	270	1~2
3	延长组	500	0~1
		300	-1~-4
4	纸坊组	248	0~1
5	和尚沟组	100	0~2
6	刘家沟组	310	1~3
7	石千峰组	252	-1~1

苏里格气田水平井苏14区块二开进入直罗组,通过表1可见,直罗组、延安组、延长组上部地层增斜;延长组中下部地层降斜,降斜率幅度较大;进入纸坊组,直到石千峰组上部地层呈(微)增斜规律。再往下到石盒子组已进入斜井段施工。

3.2.2 钻具组合的确定

根据设计要求,结合地层规律,苏里格气田三维水平井二开选用“四合一”钻具组合:Ø222.3 mm PDC+7LZ172×1.25°+Ø165 mm SDC+Ø212 mm STAB+MWD+Ø165 mm NMDC+Ø165 mm DC(9根)+Ø127 mm HWDP×45根+Ø127 mm DP……

短钻铤长度根据区块井类型具体选择。结合地层规律定性分析,苏里格气田三维水平井二开“四合一”钻具组合短钻铤长度可以参照表2所列的几种选择模式。

扶正器选择原则:直径比螺杆扶正块小1 mm。

小偏移距水平井按常规二维水平井施工,二开钻具组合中不加短钻铤。

表 2 “四合一”钻具组合短钻铤长度选择参考			
Table 2 Reference for the short drill collar length selection for the “four in one” BHA			
序号	区块	短钻铤长度/m	备 注
1	苏里格	3	含苏 36、苏 6、苏东区块
2	苏西	4	含苏 14、苏 47、苏 48 区块
3	桃 2	3	

3.2.3 三维水平井轨迹设计技术

3.2.3.1 轨迹模式选择

根据苏里格气田三维水平井类型,运用亿恒阳光 Navigator 软件进行轨迹设计。三维水平井轨迹设计模型通常选择“水平井”(如图 1 所示)。进入水平井模型,设计参数中轨迹描述选择“增稳增增”(如图 2 所示)。

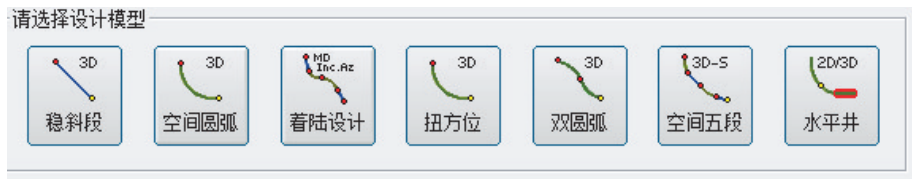


图 1 轨迹设计模型

Fig.1 Trajectory design model



图 2 轨迹设计参数

Fig.2 Trajectory design parameter

3.2.3.2 造斜点的选择

初始段长度,即造斜点,依照工程设计,也可根据轨迹需求进行适当调整。为使三维水平井施工模式化、规范化,根据三维水平井类型,结合设计井深和层位将造斜点位置进行规范^[6-8],如表 3 所示。

延长组中下部为降斜地层,而且该层位井段含有砾石夹层,滑动钻进调整效率低。通常在延长组中上部提前预留井斜 3°~5°的调整值。

3.2.3.3 轨迹设计

确定了初始段长以后,进行轨迹设计。

一增“狗腿”度为初始定向段“狗腿”度,综合螺杆钻具造斜能力和轨迹平滑性,通常选择 10°~12°/100 m。

二增即扭方位段,“狗腿”度通常选择 15°/

表 3 不同类型三维水平井轨迹规范

Table 3 Trajectory specification for different types of 3D horizontal wells

序号	类型	偏移距/m	造斜点/m	地层	纠偏井斜/(°)
1	小偏移距	0~50	无	无	≤2
2		50~200	2000~2300	纸坊组	≤15
3	中偏移距	200~300	1200~1400	延长组上部	≤10
		300~600	800~1200	延长组上部	18~22
4	大偏移距	≥600	600~800	延安组	≤25
5	短靶前距	200~400	1000~1200	延长组上部	≤20

100 m。

二增完井斜为扭完方位井斜角,通常为纠偏井斜。也可根据具体情况选择增斜、降斜扭方位。

三增“狗腿”度为增斜入窗井段“狗腿”度,设计 $15^{\circ}/100\text{ m}$,为轨迹调整留出空间。

靶区数据选择,必须选择靶区第一个靶体前窗,其他相关数据自动计入。

轨迹设计完成后,导入实钻轨迹进行施工。钻进过程中,实钻轨迹出现偏离时,及时进行调整、校正^[9-10]。

3.3 针对性技术措施

3.3.1 延长中部预留井斜超前角

苏里格气田三维水平井纠偏段在延长组中下部地层,“四合一”钻具组合复合钻进降斜严重,而且滑动钻进调整比较困难,施工效率低。为实现快速钻进^[11],在延长组中上部地层提前预留井斜,具体预留余地视纠偏井斜大小而定。根据现场施工经验,超前井斜角通常以纠偏井斜的 $25\%\sim 30\%$ 为宜。在延长组中下部应避免轨迹调整,提高施工效率;进入纸坊组后,及时调整轨迹,井斜角应略小于设计纠偏井斜。

3.3.2 扭方位方式的选择

纠偏井斜角的大小决定了消偏移距的快慢^[12]。当井斜较小导致偏移距欠缺时,可选择增斜扭方位,在扭方位过程中增大消偏移距量,而且二增“狗腿”度取下限;当轨迹按照设计轨迹施工时,可选择稳斜扭方位,平稳过渡进入增斜井段;当井斜较大导致偏移距过大时,需选择降斜扭方位,控制井斜,减小消偏速度,二增“狗腿”度取上限,快速扭方位。

3.3.3 及时待钻设计,优化轨迹,提高第二清洗区施工效率

根据抛物线原理及钻具受力分析,第二清洗区(井斜 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$)轨迹调整相对比较困难。实钻施工时综合剩余偏移距和视平移,扭方位段开始进行整体轨迹待钻设计,确定扭方位方式及二增完井井斜角大小,降低第二清洗区“狗腿”度^[13],减少滑动比例,实现斜井段快速钻进。

3.3.4 细化着陆控制,根据水平段设计和地层倾角确定入窗井斜

根据水平段轨迹设计和地层构造,合理进行入靶井斜控制。储层靶体上倾时,以井斜 $85^{\circ}\sim 86^{\circ}$ 探气层,储层顶部 $88^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 入窗;储层靶体下倾时,控制井眼轨迹以井斜 $82^{\circ}\sim 84^{\circ}$ 探气层,储层中部 $86^{\circ}\sim 88^{\circ}$ 入窗。一方面为小幅度调整入窗垂深创造条件,另一方面尽量复合钻井入窗进靶^[14],减少滑动钻进而提高效率,如图3、图4所示。

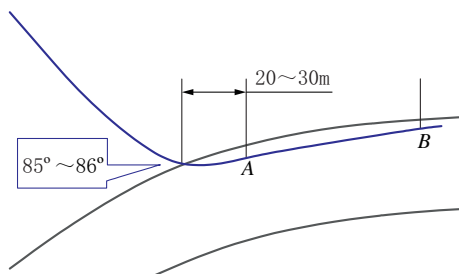


图3 储层上倾示意

Fig.3 Up dipping reservoir

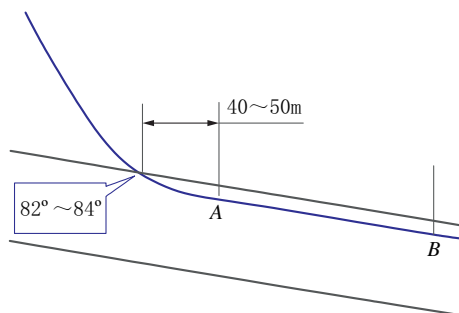


图4 储层下倾示意

Fig.4 Down dipping reservoir

3.3.5 严格执行地质导向和设计,提高水平段施工效率,减少水平段井下安全隐患

水平井地质设计是根据邻井资料综合分析、最大限度提高水平段储层钻遇率^[15]而设计和制定的,现场施工须严格执行地质设计和地质导向,轨迹数据必须真实可靠,为后续井段地质导向提供参考,从而提高储层钻遇率,防止钻遇大段泥岩而导致井下坍塌等安全隐患。

3.4 现场应用效果

3.4.1 苏14-19-34H1井安全快速施工

苏14-19-34H1井设计井深4880 m,设计水平段长1200 m,设计偏移距51.51 m、靶前距364.7 m,利用Navigator软件“水平井”模型,“增稳增增”剖面设计。苏14-19-34H1井设计轨迹节点数据见表4。

二开钻具组合选择不接短钻铤。施工过程中,在设计要求的井斜范围内控制方位,确保直井段消掉20~30 m偏移距,减少消偏段和斜井段工作量,提高施工效率。苏14-19-34H1井的实际水平投影及垂直投影如图5、图6所示。

3.4.2 苏14-19-34H2井安全快速施工

苏14-19-34H2井设计井深5171 m,靶前距391.44 m,偏移距78.78 m,水平段长1500 m。苏

表4 苏14-19-34H1井设计轨迹节点数据

Table 4 Design trajectory node data of Su 14-19-34H1							
测深/m	井斜/(°)	网格方位/(°)	垂深/m	东坐标/m	北坐标/m	闭合距/m	闭合方位/(°)
0.00	0.00	137.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2500.00	0.00	137.80	2500.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2579.87	7.99	137.80	2579.61	3.73	-4.12	5.56	137.80
3019.12	7.99	137.80	3014.60	44.74	-49.33	66.59	137.80
3144.64	10.00	0.91	3139.45	50.81	-44.86	67.78	131.44
3718.11	90.29	0.91	3477.63	57.27	360.17	364.70	9.04

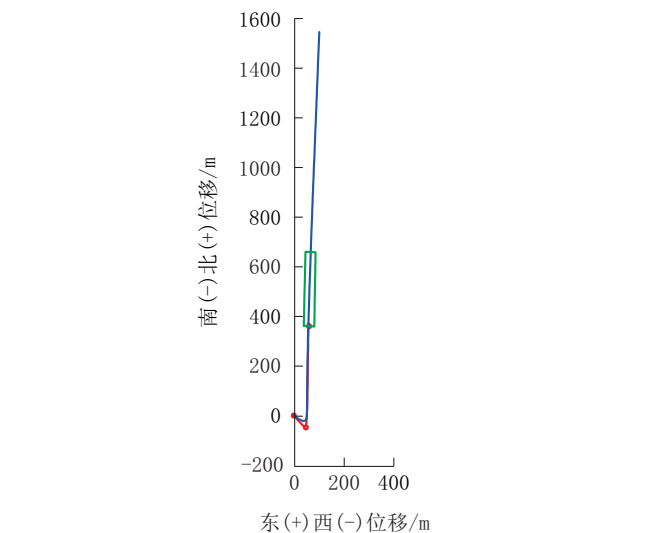


图5 苏14-19-34H1井水平投影
Fig.5 Horizontal projection of Su 14-19-34H1

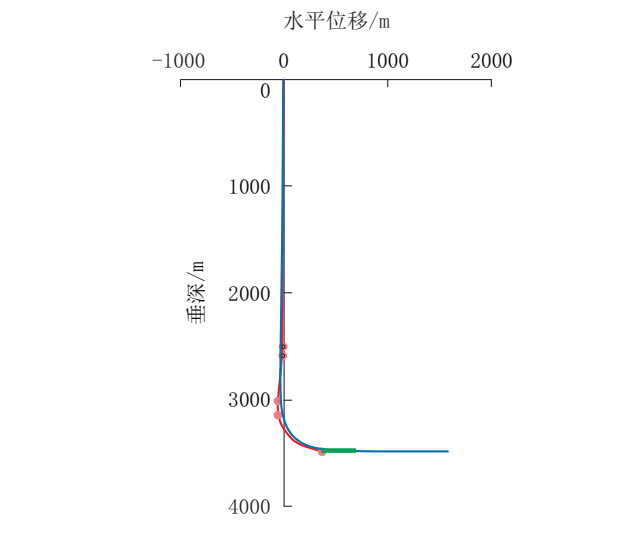


图6 苏14-19-34H1井垂直投影
Fig.6 Vertical projection of Su 14-19-34H1

14-19-34H2井设计轨迹节点数据见表5。

表5 苏14-19-34H2井设计轨迹节点数据

Table 5 Design trajectory node data of Su 14-19-34H2							
测深/m	井斜/(°)	网格方位/(°)	垂深/m	东坐标/m	北坐标/m	闭合距/m	闭合方位/(°)
0.00	0.00	293.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1000.00	0.00	293.76	1000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1022.39	2.24	293.76	1022.39	-0.40	0.18	0.44	293.76
3064.70	2.24	293.76	3063.13	-73.43	32.33	80.23	293.76
3109.28	5.00	189.96	3107.66	-74.57	30.76	80.66	292.42
3709.28	89.00	189.96	3481.18	-143.87	-363.75	391.17	201.58

(1)本井与苏14-19-34H1井存在防碰问题,二开钻具组合选择中,未接短钻铤。施工过程中,在设计要求的井斜范围内控制方位,提前走偏移距,两井防碰安全的前提下减少消偏段和斜井段工作量,提高施工效率。

(2)本井在直井段钻进过程中,采用小钻压高

转速的技术措施,提高了钻进效率,在井眼轨迹不超标的前提下提高了施工效率。

(3)本井因为提前走偏移距,减少了纸坊组、和尚沟组、刘家沟组硬地层的滑动钻进,提高了施工效率。

(4)本井造斜段钻进过程中,定向造斜“狗腿”均匀,保证轨迹平滑,没有台阶,提高了后期施工效率。

(5)水平段钻进过程中,定向坚持少定、勤定、勤测斜、预测井底井斜、有预见性调整轨迹,避免了长井段定向滑动,保持了轨迹平滑,提高了后期施工效率。

苏14-19-34H2井的实际水平投影及垂直投影见图7、图8。

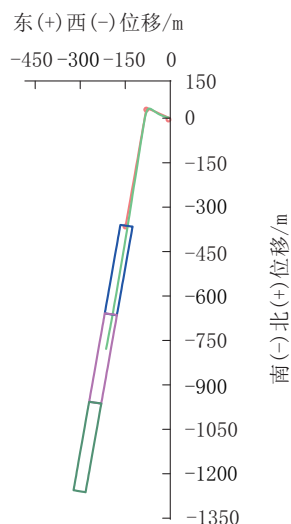


图7 苏14-19-34H2井水平投影

Fig.7 Horizontal projection of Su 14-19-34H2

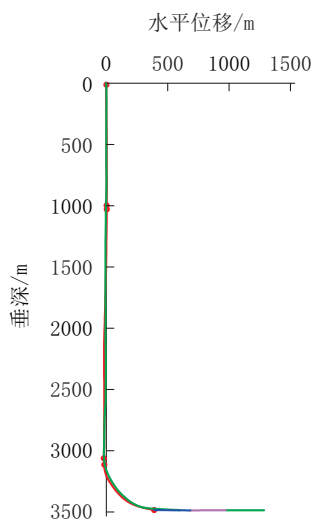


图8 苏14-19-34H2井垂直投影

Fig.8 Vertical projection of Su 14-19-34H2

3.4.3 优先绕障施工,确保防碰安全

苏14-19-34H2是本井组第2口井,距苏14-19-34H1井8.09 m,所以2口井直井段存在防碰问题。采取的措施如下:

(1)直井段加密测斜,严格控制井斜方位,避免钻进过程中2口井方位相对。

(2)在设计要求范围内提前走偏移距,加快2口井防碰相离。

苏14-19-34井组三维立体图见图9。

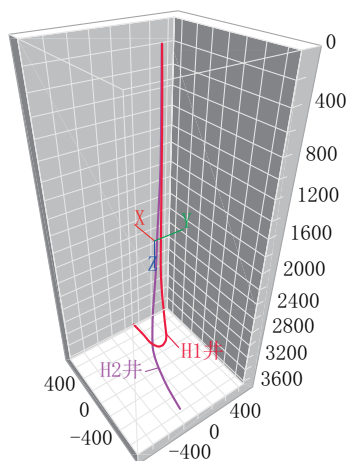


图9 苏14-19-34井组三维图(单位:mm)

Fig.9 3D diagram of well cluster Su 14-19-34

3.4.4 问题总结

(1)苏14-19-34H1井二开增斜井段中,因地层原因,复合钻进不增斜,增加了滑动钻进时间,降低了时效。

(2)苏14-19-34H2井二开增斜井段中,因地层原因,复合钻进增斜效果差,下钻到底后滑动钻进托压、憋泵严重,降低了时效。

(3)水平段钻进过程中,在井深4083 m处钻遇泥岩(该泥岩为石盒子组地层发育)钻时变慢,起钻更换钻头及螺杆,钻时依旧没有变化,该段地层钻时45~120 min/m,降低了时效。

(4)水平段第3趟起钻后发现无磁钻铤严重弯曲,定向仪器探管正好处于弯曲处,造成了定向探管损坏。

(5)水平段钻进过程中,因钻遇泥岩段长(4083~4423 m)导致后期定向钻进困难(滑动钻进过程中托压严重,定向效果差),降低了时效。

4 结论与建议

(1)苏14区块井场井眼轨迹错综复杂,防碰形势严峻,三维水平井(包括二维)同场施工应提前做好防碰技术方案,具体施工须防碰绕障优先。

(2)认真分析钻具组合特性和地层规律,全面考虑各个施工井段难度特点,综合制定应对措施,做

好轨迹预算,是纠偏井段快速钻进的关键。

(3)确保轨迹平滑性、泥浆携砂性和润滑性,控制固相含量,可有效降低三维水平井摩阻和扭矩,为水平段延伸提供保障。全井段推广“PDC钻头+螺杆”复合钻进模式。

(4)PDC钻头、水力振荡器等保障性工具的配合使用,能够大幅提高斜井段施工效率。“狮虎兽”复合钻头兼有牙轮钻头和PDC钻头优点,复合钻进钻速与PDC钻头相当,增斜率更高,定向钻进工具面稳定,可有效降低托压影响,提高施工效率。复合钻头由于受使用时间的限制,选用上应考虑轨迹参数和井段,尽量使用在靶前距较小的斜井段。

参考文献(References):

- [1] 宁金生,杨碧学,王可仁,等.工厂化丛式三维水平井轨迹控制难点分析[J].内蒙古石油化工,2014(8):69-70.
NING Jinsheng, YANG Bixue, WANG Keren. Analysis of difficulties in trajectory control of industrial cluster 3D horizontal wells [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2014(8):69-70.
- [2] 王清江,毛建华,韩贵金,等.定向钻井技术[M].北京:石油工业出版社,2009:161-217.
WANG Qingjiang, MAO Jianhua, HAN Guijin, et al. Directional Drilling Technology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009:161-217.
- [3] 尚敏辉.优快钻井技术的特点及趋势[J].化工管理,2016(10):197.
SHANG Minhui. Characteristics and trend of excellent and fast drilling technology [J]. Chemical Enterprise Management, 2016(10):197.
- [4] 向军文.定向钻井技术及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9):28-32,36.
XIANG Junwen. Technology of directional drilling and the application [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007,34(9):28-32,36.
- [5] 毛志新,谢相军,汤建江.白杨河矿区煤层气丛式井钻井难点及对策研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(12):37-40.
MAO Zhixin, XIE Xiangjun, TANG Jianjiang. Drilling difficulties of CBM cluster wells in Baiyanghe Mining Area and the related solutions [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(12):37-40.
- [6] 王伟.三维Z形斜面圆弧井眼轨迹控制技术[J].石油钻采工艺,2007,29(4):10-12.
WANG Wei. Trajectory control techniques for 3-D arc wellbores with Z-incline [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007,29(4):10-12.
- [7] 苏义脑.水平井井眼轨道控制[M].北京:石油工业出版社,2000:12-26,170-218.
SU Yinao. Horizontal Well Trajectory Control [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000:12-26,170-218.
- [8] 高胜军,陈丹.钻探定向钻进技术[J].中国科技纵横,2016(13):164.
GAO Shengjun, CHEN Dan. Directional drilling technology [J]. China Science & Technology Overview, 2016(13):164.
- [9] 王毅.浅层高造斜率大井眼定向钻进技术[J].钻采工艺,2009,32(2):9-10,16.
WANG Yi. Shallow directional drilling technology with large diameter and high-building rate [J]. Drilling and Production Technology, 2009,32(2):9-10,16.
- [10] 陶红胜,杨全枝,于小龙,等.鄂尔多斯盆地东部低浅层渗透油藏大位移水平井钻井实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):37-40.
TAO Hongsheng, YANG Quanzhi, YU Xiaolong, et al. Drilling practice of large extended reach horizontal well in shallow low permeability reservoirs of eastern Ordos Basin [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(2):37-40.
- [11] 罗武胜,鲁琴,徐涛,等.水平定向钻进轨迹最优化设计方法研究[J].岩土工程学报,2005,27(6):726-728.
LUO Wusheng, LU Qin, XU Tao, et al. Studies on optimized bore planning method for horizontal directional drilling [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005,27(6):726-728.
- [12] 蒋国盛,张家铭.定向(导)向钻进的轨迹设计[J].地质与勘探,2000,36(2):13-15.
JIANG Guosheng, ZHANG Jiaming. Design of directional drilling/guided boring hole section [J]. Geology and Exploration, 2000,36(2):13-15.
- [13] 胡景荣.再论大斜度定向井的井眼净化问题[J].钻采工艺,2001,24(2):14-16.
HU Jingrong. Discussion on hole cleaning of high-angle directional well [J]. Drilling and Production Technology, 2001,24(2):14-16.
- [14] 代长灵,杨光,隗崇华,等.大井眼天然气水平井入窗轨迹控制技术[J].宁夏工程技术,2015,14(2):174-176.
DAI Changling, YANG Guang, WEI Chonghua, et al. Horizontal well into window trajectory control technology for large borehole natural gas well [J]. Ningxia Engineering Technology, 2015,14(2):174-176.
- [15] 杨晓峰,杜晶晶.井眼轨迹连续控制钻井技术研究与应用[J].石油钻采工艺,2012,23(1):10-13.
YANG Xiaofeng, DU Jingjing. Full-hole well trajectory control drilling technology study and application [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012,23(1):10-13.

(编辑 荐华)