



长庆油田陇东地区页岩油大偏移距三维水平井钻井技术

田逢军 王运功 唐斌 李治君 刘克强

Drilling Technology for Long-Offset 3D Horizontal Shale Oil Wells in the Longdong Area of the Changqing Oilfield

TIAN Fengjun, WANG Yungong, TANG Bin, LI Zhijun, LIU Keqiang

在线阅读 View online: <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021079>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

长庆油田陇东地区页岩油超长水平段水平井钻井技术

Shale Oil Horizontal Drilling Technology with Super-Long Horizontal Laterals in the Longdong Region of the Changqing Oilfield

石油钻探技术. 2020, 48(1): 9–14 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020029>

涪陵页岩气田三维水平井轨道优化设计方法探讨

3D Horizontal Wellbore Trajectory Optimization Design Method in the Fuling Shale Gas Field

石油钻探技术. 2018, 46(2): 17–23 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018041>

南川地区页岩气水平井优快钻井技术进展及发展建议

Progress and Development Recommendations for Optimized Fast Drilling Technology in Shale Gas Horizontal Wells in the Nanchuan Area

石油钻探技术. 2020, 48(5): 15–20 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020057>

大港油田页岩油水平井钻井关键技术

Key Technologies for Drilling Horizontal Shale Oil Wells in the Dagang Oilfield

石油钻探技术. 2020, 48(2): 34–41 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020036>

长庆油田华H50-7井超长水平段钻井液技术

Drilling Fluid Technology for Ultra-Long Horizontal Section of Well Hua H50-7 in the Changqing Oilfield

石油钻探技术. 2020, 48(4): 28–36 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020050>



扫码关注公众号，获取更多信息！

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2021079

引用格式: 田逢军, 王运功, 唐斌, 等. 长庆油田陇东地区页岩油大偏移距三维水平井钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(4): 34-38.

TIAN Fengjun, WANG Yungong, TANG Bin, et al. Drilling technology for long-offset 3D horizontal shale oil wells in the Longdong Area of the Changqing Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(4): 34-38.

长庆油田陇东地区页岩油大偏移距三维水平井钻井技术

田逢军¹, 王运功¹, 唐斌², 李治君², 刘克强³

(1. 中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司, 陕西西安 710018; 2. 中国石油长庆油田分公司页岩油项目组, 甘肃庆阳 745100; 3. 中国石油集团川庆钻探工程有限公司钻采工程技术研究院, 陕西西安 710018)

摘 要: 长庆油田陇东地区页岩油施工区域沟壑纵横, 水资源、基本农田和森林资源保护区较多, 采用水平井开发受地形地貌及资源保护区影响较大, 三维水平井偏移距的大小直接影响水平井平台布井数量及大平台工厂化作业, 影响地下资源的有效动用。为此, 在分析大偏移距三维水平井特点及钻井难点的基础上, 优化剖面设计, 优选造斜点、消偏井斜角、方位角及消偏井段, 完善井眼轨迹控制方式, 在不使用旋转导向系统的情况下优化常规螺杆钻具和 PDC 钻头, 并综合应用降摩减阻工具及适用于页岩油大偏移距钻井的水基 CQSP-4 钻井液体系等, 形成了陇东页岩油大偏移距三维水平井钻井技术。陇东地区 6 口水平段长度 900.00 m 以上的大偏移距三维页岩油水平井应用了该技术, 摩阻扭矩明显减小, 钻进安全高效, 取得了很好的现场应用效果。该技术的成功应用, 支撑了陇东地区页岩油大平台多层系多钻机工厂化高效开发, 也支撑了钻井钻机作业方式由单机单队向工厂化、集群化转型。

关键词: 页岩油; 大偏移距; 三维水平井; 井身剖面优化; 井眼轨迹控制; 陇东地区; 长庆油田

中图分类号: TE243⁺.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2021)04-0034-05

Drilling Technology for Long-Offset 3D Horizontal Shale Oil Wells in the Longdong Area of the Changqing Oilfield

TIAN Fengjun¹, WANG Yungong¹, TANG Bin², LI Zhijun², LIU Keqiang³

(1. Changqing Drilling Company, CNPC Chuanqing Drilling Engineering Company Limited, Xi'an, Shaanxi, 710018, China; 2. Shale Oil Project Group, PetroChina Changqing Oilfield Company, Qingyang, Gansu, 745100, China; 3. Drilling & Production Engineering Technology Research Institute, CNPC Chuanqing Drilling Engineering Company Limited, Xi'an, Shaanxi, 710018, China)

Abstract: Ravines and gullies criss-cross the shale oil reservoirs of the Longdong Area in the Changqing Oilfield, where there are also numerous protected zones for water and forest resources, plus prime farmlands. The development of horizontal wells is greatly restrained by the topography and protection zones, and the offset of 3D horizontal wells directly affects the number of horizontal well platforms and the factory-like operation of large platforms, and affects the effective utilization of subsurface resources. Based on the analysis of the characteristics and drilling difficulties of long-offset 3D horizontal wells, the wellbore profile design was optimized, and kick-off points, azimuths, deviation angles, and well sections for eliminating offset were selected to improve the control mode of hole trajectories. In the absence of a rotary steering system, conventional positive displacement motors (PDM) and polycrystalline diamond compact (PDC) bits were upgraded. In addition, tools for reducing friction and a water-based CQSP-4 drilling fluid system suitable for long-offset horizontal shale oil wells were employed. Finally, the drilling technology for long-offset 3D horizontal shale oil wells in the Longdong Area was developed. This technology was applied to 6 3D horizontal wells with offsets over 900 m in Longdong Area. Friction torque was reduced significantly and the drilling process was safe and efficient, with good field application effect achieved. The successful application of the technology can support

收稿日期: 2021-04-07; 改回日期: 2021-06-26。

作者简介: 田逢军 (1969—), 男, 甘肃庆城人, 2007 年毕业于西安石油大学石油工程专业, 高级工程师, 从事定向井、水平井钻井技术研究及相关管理工作。E-mail: 1835678108@qq.com。

factory-like efficient development of the large shale oil platforms in the Longdong Area, which have multilayered systems and multiple drilling rigs. Further, it can facilitate the transformation of the drilling operation mode from single-rig and single-team to industrialized and clustered production.

Key words: shale oil; long-offset; 3D horizontal well; wellbore profile optimization; hole trajectory control; Longdong Area; Changqing Oilfield

鄂尔多斯盆地页岩油资源非常丰富^[1], 2019 年长庆油田在该盆地陇东地区发现 10 亿吨级页岩油田——庆城油田, 延长组长 7 段为其主要油气储层^[2-5]。长 7 段埋深 1 700.00~2 100.00 m, 既是主力烃源岩, 也是页岩油发育的主要层段, 自生自储、源内成藏, 为典型的陆相页岩油层^[1]。

但陇东地区为黄土塬地貌, 沟壑纵横, 山地较多, 生态环境脆弱, 同时水资源、基本农田和森林资源保护区较多, 使水平井开发受地形地貌及资源保护区影响比较大, 三维水平井偏移距的大小直接影响水平井平台布井数量及大平台工厂化作业, 影响地下资源的有效动用^[6]。为了解决地表布井难题, 充分动用复杂地表及保护区地下资源, 在分析大偏移距三维水平井特点及具体钻井技术难点的基础上, 通过优化井身剖面设计, 优选造斜点、消偏井斜角、方位角及消偏井段, 完善井眼轨迹控制方式, 在不使用旋转导向系统的情况下优化常规螺杆钻具和 PDC 钻头, 并综合应用降摩减阻工具及适用于页岩油大偏移距三维水平井钻井的水基 CQSP-4 钻井液体系等, 形成了陇东页岩油大偏移距三维水平井钻井技术。应用该技术之后, 钻速明显提高, 施工偏移距不断增大, 大平台布井数量明显增多, 取得了很好的效果。

1 大偏移距三维水平井特点及钻井难点

1.1 大偏移距三维水平井特点

三维水平井是指井口不在水平段方位线上的水平井, 其井口到水平段方位线的垂直距离称为偏移距(见图 1, 图中, OC 为有效靶前距, CA 为偏移距^[7])。一般情况下, 认为偏垂比小于 0.1 的为小偏移距三维水平井^[8], 偏垂比大于 0.1 而小于 0.3 的为中偏移距三维水平井, 偏垂比大于 0.3 的为大偏移距三维水平井。陇东地区页岩油水平井以大偏移距三维水平井居多。

1.2 大偏移距三维水平井钻井难点

与常规二维水平井相比, 三维水平井随着偏移距存在及增大, 摩阻、扭矩、井眼轨迹控制难度、钻井风险等也增大。具体而言, 陇东地区页岩油大偏移距三维水平井的主要钻井难点为:

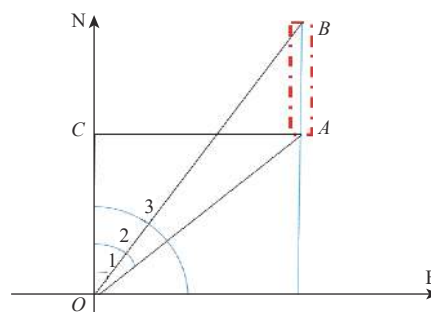


图 1 三维水平井偏移距、有效靶前距示意

Fig. 1 Offset and effective frontal distance from the target point of 3D horizontal wells

1) 目的层垂深浅, 偏垂比大, 摩阻扭矩大^[9]。目的层埋深 1 700.00~2 200.00 m, 部分井的偏移距超过 1 000.00 m, 偏垂比大于 0.5, 滑动钻进时钻头加压困难, 易发生螺旋屈曲而使钻具发生自锁无法钻进。

2) 应用水基钻井液钻进时, 优选摩阻扭矩较小、容易施工的井身剖面难度大; 且大偏移距三维水平井设计水平段较长(最长超过 2 000.00 m), 优选井身剖面困难。

3) 井眼轨道设计难度大^[10], 优选造斜点、消偏井斜角和消偏方位角, 防止井眼轨迹出现拐点或勺子形井眼, 造成摩阻扭矩增大, 钻井施工困难。

4) 井眼轨迹控制难度大。大井斜条件下, 井眼轨迹方位调整幅度大、地质条件复杂, 实钻过程中井眼轨迹调整频繁、调整幅度大, 井眼轨迹控制难度大^[11]。

2 钻井技术及主要技术措施

针对陇东地区页岩油大偏移距三维水平井钻井难点和长庆油田低成本钻井的实际需求, 以及使用水基钻井液、不使用旋转导向系统的施工要求, 以提高井眼轨迹控制能力、降摩减阻和提速提效为主要着眼点, 研究形成了陇东页岩油大偏移距三维水平井钻井技术。

2.1 井身剖面设计优化

水平井一般设计为空间五段制^[6], 即“直—增—稳—增—平”。在设计页岩油三维水平井井身剖面时, 先将五段制剖面优化为“直—增—双稳—边增边扭—平”, 接着优化为“直—增—双稳—稳斜扭方位—

增斜扭方位—平”^[12]的六段制剖面,后根据需要进行进一步优化出3种七段制剖面,分别为“直—增—双稳—降斜及增斜扭方位—增—增—平”、“直—增—双稳—稳斜扭方位—增斜微扭方位—增—平”和“直—增—双稳—增斜扭方位—增—增—平”。

结合大井丛的防碰,分析钻具受力和实际情况,可知在3种七段制剖面中,相对其他2种剖面,“直—增—双稳—稳斜扭方位—增斜微扭方位—增—平”的摩阻和扭矩最小,水平段延伸能力最强。而且,该七段制剖面较五段制、六段制控制要素明确,方便现场技术人员控制,井眼轨迹平滑,钻进中的摩阻扭矩比其他类型剖面小,能满足偏移距大于1 100.00 m、水平段长2 000.00 m三维水平井的施工,适合入窗前储层变化时调整找油。

2.2 井身结构优化

为了降低大偏移距三维水平井施工中的摩阻、扭矩,前期全部采用了三开井身结构,技术套管下至入窗位置。后改用增加表层套管下深的二开井身结构(简称为二开深表层井身结构),即用表层套管封固上部洛河组地层,封固井深1 000.00 m左右,以有效降摩、减阻,提高地层承压能力,满足水平井后续安全快速施工要求。

但是,采用三开井身结构和二开深表层井身结构时,在 $\phi 311.1$ mm井段调整井眼轨迹困难,定向钻进钻速低,且中完测井周期较长,不利于提速提效。通过分析钻井施工情况并进行钻柱力学计算,发现技术套管下深对大偏移距三维水平井钻进中摩阻扭矩的影响比较小,因此将其优化为减小表层套管下深的二开井身结构(简称为二开浅表层井身结构),表层套管下至井深260.00 m左右封固黄土层。实践表明,采用二开浅表层井身结构后,提高了机械钻速,减少了岩屑产生量,且施工过程安全顺利。

2.3 井眼轨道设计优化

1)造斜点优化。对于大偏移距三维水平井,造斜点越浅,斜井段越长,地面扭矩越大,摩阻越小;造斜点越深,起下钻摩阻越大,扭矩越小。考虑大平台施工特点,根据钻井设备能力、邻井防碰绕障设计出的造斜点,优化为出套管30.00~50.00 m造斜。

2)靶前距优化。入窗垂深2 000.00 m左右的大偏移距三维水平井,有效靶前距越长,井深越大,摩阻、扭矩越大。有效靶前距短,增斜率不能满足要求时,需要负位移钻进,以增加有效靶前距,但会导致摩阻扭矩增大。通过分析钻具受力可知,有效靶前距为400.00~550.00 m时,下钻及滑动钻进都不

产生屈曲,比较适合井眼轨迹控制。

3)消偏方位角优选。钻具造斜率不能满足有效靶前距需要的造斜率时,延长有效靶前距消偏(靶体方位与消偏方位的夹角大于 90° 时,负位移消偏);钻具造斜率能满足有效靶前距需要的造斜率时,缩短有效靶前距消偏(靶体方位与消偏方位的夹角小于 90° 消偏);钻具造斜率稍大于有效靶前距造斜要求时,不改变有效靶前距消偏(靶体方位与消偏方位的夹角等于 90°)。然后根据单井具体情况,用三维水平井设计软件优选出最小摩阻、扭矩对应的最佳消偏方位角。

4)消偏井斜角优选。根据设计的偏移距优选合理的消偏井斜角。消偏井斜角越小,钻井中的摩阻、扭矩越小,越有利于水平段延伸。进行井眼轨道设计时,根据具体情况,利用水平井设计软件选择最小的消偏井斜角。

2.4 应用降摩减阻工具

使用常规螺杆钻具组合钻进大偏移距三维水平井时,应用性能优异的降摩减阻工具是一种省时省力的选择。如水平段钻具组合中,用球形稳定器替代螺旋稳定器,用无磁承压钻杆替代无磁钻铤,使用CQWZ-172型水力振荡器,顶驱钻机中使用“顶驱+扭摆”。尤其是多种工具综合应用,可有效防止滑动钻进中出现的托压问题,降低摩阻,提高大偏移距三维水平井的偏移能力与水平段延伸能力。

2.5 井眼轨迹控制技术

1)“直+斜”井段一趟钻井眼轨迹控制。使用增斜钻具组合 $\phi 215.9$ mm PDC钻头+ $\phi 172.0$ mm $\times$ 1.50°螺杆($\phi 212.0$ mm稳定器)+ $\phi 165.1$ mm回压阀+ $\phi 165.1$ mm MWD接头+ $\phi 127.0$ mm无磁钻杆 $\times 1$ 根+ $\phi 127.0$ mm加重钻杆 $\times 5$ 根+ $\phi 172.0$ mm水力振荡器+ $\phi 127.0$ mm钻杆。直井段滑动钻进时控制井斜,以保证井身质量。消偏井段及扭方位井段,控制井斜角、方位角,使之与设计相符,井斜角大于 60° 后钻具滑动增斜率较高,滑动钻进时应及时预测井底井斜角,控制增斜率不大于 $7.5^\circ/30$ m。

2)水平段一趟钻井眼轨迹控制。使用稳斜钻具组合 $\phi 215.9$ mm PDC钻头+ $\phi 172.0$ mm $\times$ 1.25°螺杆($\phi 210.0$ mm稳定器)+ $\phi 210.0$ mm球形稳定器+ $\phi 165.1$ mm回压阀+461 $\times$ 460 MWD接头+ $\phi 127.0$ mm无磁钻杆 $\times 1$ 根+ $\phi 127.0$ mm钻杆。设计靶体上倾时,以井斜角 $88^\circ\sim 90^\circ$ 入窗,保持井斜角不大于 91° 复合快速钻进;设计靶体下倾时,以井斜角 $86^\circ\sim 88^\circ$ 入窗,保持井斜角不大于 90° 复合快速钻进,控制水平

段井斜角变化不大于 3.0°/30m, 以保证轨迹平滑。

3)降摩减阻水基钻井液。在保留以前水平井所用钻井液优点的基础上, 针对页岩油大偏移距三维水平井钻井过程中存在的泥岩坍塌、滑动托压等问题, 研制了 CQSP-4 水基钻井液。该钻井液降低了密度, 增强了抑制性和润滑性, 可提高井眼稳定性和钻井效率。

2.6 优快钻进技术

1)通过强化钻井参数(见表 1), 以“大钻压、大排量、高转速”激进钻井, $\phi 311.1\text{ mm}$ 及以上井眼上部地层开双泵钻进, $\phi 215.9\text{ mm}$ 井眼使用 $\phi 180.0\text{ mm}$ 缸套; 2)使用大功率、多头多级长寿命螺杆, 钻头、螺杆钻具与 MWD 随钻测量仪器的配合使用, 以减少起下钻次数; 3)提高钻井工具在井下的有效使用率; 4)斜井段优先选用六刀翼 $\phi 16.0\text{ mm}$ 复合片深水槽、中长保径强化钻头, 水平段优先选用五刀翼 $\phi 16.0\text{ mm}$ 复合片、长保径钻头。

表 1 强化前后的钻井参数对比

Table 1 Comparison between drilling parameters before and after the enhancement

项目	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	排量/L	泵压/MPa
强化前	80	70	34	15
强化后	140	80	38	20

3 现场应用

随着勘探开发持续进行, 长庆油田陇东地区三维

水平井的偏移距不断增大: 2008 年最大偏移距 100.00 m、水平段长 216.00 m; 到 2017 年陇东页岩油示范区建设前, 三维水平井的最大偏移距 431.00 m、水平段长 1 544.00 m; 2019 年底研究形成了陇东页岩油大偏移距三维水平井钻井技术, 2020 年钻成 600.00 m 以上大偏移距水平井 25 口, 其中 900.00 m 以上大偏移距三维水平井 6 口, 水平段长度平均 1 750.00 m。应用新技术后, 钻井周期缩短了 24.19%, 钻井安全高效。而且, 成功钻成了偏移距超过 1 000.00 m 的井 3 口, 最大偏移距 1 102.00 m、水平段长 2 000.00 m。

页岩油大偏移距三维水平井 HH60-1 井有效靶前距 429.70 m, 偏移距 1 102.00 m, 入窗垂深 1 939.00 m, 水平段长 2 000.00 m, 位垂比 1.37, 水垂比 0.99, 偏垂比 0.56。该井应用了陇东页岩油大偏移距三维水平井钻井技术, 采用了二开井身结构、“直—增—稳—稳斜扭方位—增斜微扭方位—增—平”七段制剖面和二开“两趟钻”钻具组合井眼轨迹控制与优快钻进技术。直井段钻至井深 407.00 m—增斜钻至井深 730.00 m(井斜角 43°、方位角 255°)—稳斜稳方位钻至井深 1 935.00 m(扭方位至 336°)—增斜微扭方位钻至井深 2 252.00 m(井斜角 57.79°、方位 346°)—增斜钻至入窗(井斜角 89.99°)—进入水平段。

与同区块未应用该技术的 HH34-9 井相比(见表 2), HH60-1 井在偏移距增加 129.00 m、水平段增长 645.00 m 情况下, 最大扭矩降低 1 kN·m, 下放最大摩阻降低 2 kN, 钻机月速度提高 617.00 m/(台·月), 取得了很好的综合应用效果。

表 2 HH60-1 井与同区块 HH34-9 井钻井指标对比

Table 2 Comparison between drilling indexes for Well HH60-1 and Well HH34-9 in the same block

井号	偏移距/m	有效靶前距/m	水平段长/m	水垂比	偏垂比	最大扭矩/(kN·m)	最大摩阻/kN
HH34-9	972.00	344.52	1 355.00	0.63	0.45	33	88
HH60-1	1 102.00	429.70	2 000.00	1.03	0.56	32	86

4 结论与建议

1)通过优化井身剖面设计, 优选造斜点、消偏井斜角、消偏方位角及消偏井段, 完善井眼轨迹控制方式, 在不使用旋转导向系统的情况下优化常规螺杆钻具和 PDC 钻头, 并综合应用降摩减阻工具及适用于页岩油大偏移距水平井钻井的水基 CQSP-4 钻井液体系等, 解决了陇东地区页岩油大偏移距三维水平井的钻井难点, 形成了陇东页岩油大偏移距

三维水平井钻井技术。

2)陇东页岩油大偏移距三维水平井钻井技术取得了很好的现场应用效果, 钻井施工安全高效, 钻井周期与之前未应用该技术的同类井相比缩短 24.19%。2020 年长庆油田在陇东地区顺利完成 6 口偏移距超过 900.00 m 的三维水平井(水平段长度平均 1 750.00 m), 其中还成功实施了 3 口偏移距超过 1 000.00 m 的三维水平井。

3)陇东页岩油大偏移距三维水平井钻井技术带来了钻井生产方式的改变, 支撑了陇东页岩油大平

台多层系多钻机工厂化高效开发,也促使钻井钻机作业方式由单机单队向工厂化、集群化转型。

4)大偏移距三维水平井钻井过程中扭矩比较大,钻具受力复杂,应用陇东地区页岩油大偏移距三维水平井钻井技术时要加强对钻具的监测检查,防止发生井下故障。

参 考 文 献

References

- [1] 梁晓伟,关梓轩,牛小兵,等.鄂尔多斯盆地延长组7段页岩油储层储集性特征[J].天然地球科学,2020,31(10):1489-1500.
LIANG Xiaowei, GUAN Zixuan, NIU Xiaobing, et al. Reservoir characteristics of shale oil in Chang 7 Member of Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2020, 31(10): 1489-1500.
- [2] 付锁堂,金之钧,付金华,等.鄂尔多斯盆地延长组7段从致密油到页岩油认识的转变及勘探开发意义[J].石油学报,2021,42(5):561-569.
FU Suotang, JIN Zhijun, FU Jinhua, et al. Transformation of understanding from tight oil to shale oil in the Member 7 of Yanchang Formation in Ordos Basin and its significance of exploration and development[J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42(5): 561-569.
- [3] 王晓雯,关平,梁晓伟,等.鄂尔多斯盆地长7段页岩油优质储层特征分析[J].北京大学学报(自然科学版),2021,57(3):459-469.
WANG Xiaowen, GUAN Ping, LIANG Xiaowei, et al. Analysis of pore properties of favorable shale oil reservoir of Chang-7 in Ordos Basin[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2021, 57(3): 459-469.
- [4] 柳伟荣,倪华峰,王学枫,等.长庆油田陇东地区页岩油超长水平段水平井钻井技术[J].石油钻探技术,2020,48(1):9-14.
LIU Weirong, NI Huafeng, WANG Xuefeng, et al. Shale oil horizontal drilling technology with super-long horizontal laterals in the Longdong Region of the Changqing Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(1): 9-14.
- [5] 胡祖彪,张建卿,王清臣,等.长庆油田华H50-7井超长水平段钻井液技术[J].石油钻探技术,2020,48(4):28-36.
HU Zubiao, ZHANG Jianqing, WANG Qingchen, et al. Drilling fluid technology for ultra-long horizontal section of Well Hua H50-7 in the Changqing Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(4): 28-36.
- [6] 田逢军,王万庆,杨光,等.长庆油田中半径三维水平井环平3井钻井技术[J].石油钻采工艺,2009,31(6):27-31.
TIAN Fengjun, WANG Wanqing, YANG Guang, et al. Drilling technology for 3D medium-radius Huanping-3 horizontal well in Changqing Oil Field[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31(6): 27-31.
- [7] 梁海军,李娜.适用于长庆大偏移距三维水平井的新型剖面轨迹评价几何模型[J].西部探矿工程,2005,27(10):37-40.
LIANG Haijun, LI Na. A new geometric model for profile and trajectory evaluation of 3D horizontal wells with large offset in Changqing[J]. West-China Exploration Engineering, 2005, 27(10): 37-40.
- [8] 薛让平,李录科,杨光.三维水平井难度系数的界定与应用[J].钻采工艺,2019,42(1):96-98.
XUE Rangping, LI Luke, YANG Guang. Definition and application of difficulty coefficient of 3D horizontal well[J]. Drilling & Production Technology, 2019, 42(1): 96-98.
- [9] 彭元超,韦海防,周文兵.长庆致密油3000m长水平段三维水平井钻井技术[J].钻采工艺,2019,42(5):106-107,112.
PENG Yuanchao, WEI Haifang, ZHOU Wenbing. Drilling technology and production technology of 3D horizontal well in 3000 m long horizontal section of Changqing tight oil[J]. Drilling & Production Technology, 2019, 42(5): 106-107, 112.
- [10] 周文军,巨满成,王彦博,等.三维水平井YP-3X井钻井难点与对策[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2013,35(11):89-93.
ZHOU Wenjun, JU Mancheng, WANG Yanbo, et al. Drilling difficulties and Countermeasures of 3D horizontal Well YP-3X[J]. Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jiangnan Petroleum Institute), 2013, 35(11): 89-93.
- [11] 王勇茗,余世福,周文军,等.长庆致密油三维水平井钻井技术研究与应 用[J].西南石油大学学报(自然科学版),2015,37(6):79-84.
WANG Yongming, YU Shifu, ZHOU Wenjun, et al. Research and application of the 3D horizontal well drilling technology in Changqing tight oilfield[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2015, 37(6): 79-84.
- [12] 沈国兵,刘明国,晁文学,等.涪陵页岩气田三维水平井井眼轨迹控制技术[J].石油钻探技术,2016,44(2):10-15.
SHEN Guobing, LIU Mingguo, CHAO Wenxue, et al. 3D trajectory control technology for horizontal wells in the Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(2): 10-15.

[编辑 令文学]