

环县区块页岩油三维水平井快速钻完井技术

Rapid Drilling and Completion Technology for Shale Oil 3D Horizontal Wells in Huanxian Block

柳伟荣 姜慧强

Weirong Liu Huiqiang Jiang

川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司 中国·陕西 西安 710016

CCDC Changqing General Drilling Company, Xi'an, Shaanxi, 710016, China

摘要: 论文通过分析环县区块 2022 年施工中出现的影响因素, 采取优化防漏堵漏方式、优化 PDC 钻头和钻井参数、合理确定转换钻井液时机、使用水利振荡器及钻柱扭摆滑动钻进、优化通井摩阻标准、漂浮下套管等措施, 克服了黄土层易井漏、直罗组易垮塌、富县组可钻性差、摩阻扭矩高、下套管困难等难题, 顺利完成了施工任务, 为后期继续施工积累了一定经验。

Abstract: The paper analyzes the influencing factors that occurred during the construction of the Huanxian block in 2022, and adopts measures such as optimizing leak prevention and plugging methods, optimizing PDC bits and drilling parameters, reasonably determining the timing of drilling fluid conversion, using hydraulic oscillators and drill string torsion sliding drilling, optimizing the frictional resistance standard for drilling, floating and lowering the casing. It overcomes the problems of easy well leakage in the loess layer, easy collapse of the Zhiluo Formation, poor drillability of the Fuxian Formation, high frictional torque, and difficulty in lowering the casing, successfully completed the construction task and accumulated some experience for further construction in the later stage.

关键词: 页岩油; 水平井; 井漏; 摩阻

Keywords: shale oil; horizontal well; leakage friction; resistance

DOI: 10.12346/etr.v5i11.8716

1 引言

庆城油田环县区块位于甘肃省环县境内, 地形复杂、沟谷纵横, 地面海拔为 1036~1450m。主力开发储层为延长组长 7, 平均埋深 2200~2300m, 岩性以灰绿色、褐灰色细粒岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩为主。砂体空间上主要发育长 7_1 和长 7_2 小层, 受沉积相控制, 河道发育不稳定, 砂体厚度变化较大, 连片性差^[1]。平均砂体厚度 13.4m, 纵横向延伸范围有限。因地形特殊、采用大井丛方式开采可以有效降低各项成本, 在 2022 年施工中出现表层井漏损失时间长、二开无法一趟钻入窗、轨迹控制困难、摩阻扭矩激增等问题, 钻井周期偏长。为了快速高效完成钻井施工, 2023 年开展了表层综合防漏堵漏、PDC 钻头优选、直罗泥岩防塌、轨迹优化、降摩减阻等实验, 并形成了一套三维水平井钻井技术, 为该区块后期高效开发提供了经验借鉴。

2 钻井施工难点

①黄土层易井漏。环县区块地表覆盖有 100~200m 厚度不等的黄土层, 土质松散、胶结弱。

②直罗组易坍塌。直罗组厚度 300~400m, 上部 100~150m 紫红, 易缩颈; 下部灰绿色泥岩, 含有大量的伊蒙混层, 易垮塌。

③富县组石英含量高、可钻性差^[2]。该区富县组垂直厚度 40~50m 石英砂岩, 密度高达 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$, 钻井中携带困难, 易重复切削, 研磨性强, 破坏 PDC 钻头切削齿和保径齿。

④偏移距大, 靶前距长, 完钻井深大。页岩油水平井组部署 3~4 口水平井, 部分井偏移距、靶前距大于 1000m, 平均入窗井深大于 2500m, 斜井段后期滑动拖压严重、钻时慢。平均完钻井深大于 4000m, 下放摩阻超过钻具垂直段自重, 调整轨迹困难。

【作者简介】柳伟荣 (1981-), 男, 中国浙江金华人, 本科, 副高级工程师, 从事石油钻井技术研究。

⑤环县区块油层较薄、泥岩钻遇率高、井壁易失稳。长71、长72油层厚度3~5m,容易穿层、钻遇泥岩,频繁调整找油。井壁易出现垮塌。局部井场水平段有断层,渗漏严重,控排量钻进过程中岩屑难以返出,水平段容易形成岩屑床,摩阻扭矩大。

3 主要关键技术

3.1 表层防漏技术

使用白土浆+常规钻具开眼,黄土层控时钻进前100~150m,控制排量至环空返速小于0.3m/s,每根单根20~30min,且每打完一根单根划眼一遍将井底的沙子循环干净。出口钻井液密度小于1.03g/cm³。一旦发生井漏,使用胀眼器挤压、导管封隔疏松黄土层,实现黄土层防漏。311井眼使用408胀眼器挤压后下339.7mm导管封隔漏点,393井眼使用508胀眼器挤压后下426mm导管封隔漏点。导管外环空回填水泥、稠沙子或正注水泥。

3.2 直罗防塌技术

工程泥浆综合措施保证直罗稳定,打开直罗时上罐控失水防塌处理,加入加0.5~1t JH降低钻井液失水防塌,同时复配K-PAM进行防塌处理,不加PAM,钻进保持入口粘度32~34s,出口粘度在30~31s。补充量时使用胶液循环加入,杜绝清水直接入井;中途起钻BLA-HV筹浆封直罗,直罗钻穿后下罐。直罗钻进使用170缸套、避免直罗滑动、期间不划眼。打开直罗24小时开始转换,或出现直罗掉块开始转化泥浆。直罗打开后聚合物泥浆全过振动筛,关注振动筛砂样返出情况,避免开底流有掉块直接入泥浆池未及时发现。使用CQSP-3盐水钻井液体系,该体系对泥页岩有较强的抑制性,初转时性能达到: $\rho=1.08\sim 1.10\text{g/cm}^3$, $FV=38\sim 42\text{s}$, $FL=6\text{mL}$, $\text{pH}=8\sim 9$,后期提密度使用复合盐+重晶石。

3.3 二开一趟钻技术

通过优化PDC钻头造型与布齿,优选富县地层钻进参数,每个单根清扫井底,及时带出岩屑,使其有效适应环县一五蛟区块高含石英砂岩地层,提高机械钻速,增加钻头进尺,减少起下钻次数。

3.4 三维水平井轨迹优化技术

选择“直—增—稳—扭方位—增—增—水平”7段制剖面设计^[3],造斜率控制在4.5°/30m以下,把第一增斜段和第二增斜段中间的稳斜段放在井斜30°左右的井段,在井斜30°以前将偏移距消除完毕,充分结合地层的井斜自然复合增斜率和方位的自然漂移量来制定施工方案,避免在全力增井斜时增加调整方位的工作量,杜绝无效低效施工。

3.5 水平段快速钻进技术

优化水平段钻具组合降低复合增斜率,同时优化钻井液性能,入窗时钻井液性能达到 $\rho=1.25\sim 1.32\text{g/cm}^3$, $FV=38\sim 42\text{s}$, $FL\leq 6.0\text{mL}$, $\text{pH}=8\sim 9$,保证井壁稳定。实时关注振动筛砂岩掉块情况、伽马值,实时调整,水平段连续钻遇泥岩

超过50m,密度提高0.03g/cm³;出现连续50m的黑色泥岩,密度提高0.05g/cm³,控制 $FL\leq 4\text{mL}$,加大CQFY-1、KCL含量提高抑制性。利用地质循环时机短程起下钻破坏岩屑床降低摩阻。在断层前100m提前加入堵漏剂随钻进行封堵,同时降排量降低循环压耗。

3.6 完井作业降摩减阻技术

通井时使用倒划眼扶正器破坏岩屑床,分段循环携砂,水平段注入润滑剂含量8%~10%润滑液,摩阻小于套管自重的70%,水平段长度超过1700m米时使用悬浮器,确保下套管作业。

4 现场应用及典型井例

2023年环县区块施工页岩油水平井16口水平井,其中13口二开水平井、3口三开水平井。相比2022年施工情况,提速效果显著,具体如下。

4.1 表层井漏显著减少

2023年通过黄土层控时钻进、使用加大胀眼器外径提高胀眼效果、339.7mm导管封隔、干法掘进等防漏措施,防漏效果显著。2023年平均一开钻井周期比2022年缩短5h,井漏复杂时间下降4h/井。

4.2 二开一入窗周期得到提高

通过使用CZS1663B进口加厚齿钻头、7段制剖面设计、水利振荡器,进延长组前方调整到位、全力增井斜入窗。在施工过程中通过精细的轨迹预算与过程控制,合理分配滑动钻进和复合钻进井段,计算好每次定向中滑动钻进和复合钻进的进尺的分配,避免长井段滑动钻进,保持井眼轨迹平滑。2023年11口井实现一趟钻入窗,一趟钻比例82.35%。相比于2022年,入窗周期缩短0.44d,滑动钻进、复合钻进机械钻速分别提高1.19m/h和1.01m/h。

4.3 水平段钻井机械钻速得到提高

水平段钻具组合: $\Phi 215.9\text{CZS1653BR}+\Phi 172\times 1.25^\circ\text{LG}(\Phi 210\text{stab})+\Phi 212\text{Stab}+\text{回压凡尔}+\text{MWD接头}+\Phi 165\text{NWDP}\times 1\text{根}+\Phi 127\text{Hwdp}\times 1\text{柱}+\Phi 127\text{dp}$ 。复合钻进时增斜率低,有效地减少了滑动钻进降斜次数,同时能够避免水平段因多次调整而导致的轨迹不平滑。油层差区域使用旋转导向工具提高油层钻遇率,降低井筒内泥岩井段。有断层时提前100m加强钻台泵房双坐岗,对泵压以及出口进行观察,若漏失变大,及时配浆堵漏。渗漏严重时先降低排量保证完钻,通井时再降低摩阻。如表1所示,水平段机械钻速提高1.85m/h。

4.4 通井严格管控下放摩阻,下套管作业顺利完成

2023年采用单扶通井组合: $\phi 215.9\text{Bit}+430\times 460\text{接头}+\Phi 172\text{回压阀}+\Phi 210\text{倒划眼扶正器}+\Phi 165\text{DC}\times 1\text{根}+\Phi 127\text{HWDP}\times 1\text{柱}+\Phi 127\text{DP}+\Phi 127\text{HWDP}\times 45\text{根}+\Phi 127\text{DP}$ 。下钻正常到底、下放摩阻小于40t后,在井底打润滑液填充水平段,否则短起水平段倒划眼降摩阻。润滑液以固体石墨类和液体润滑剂配合使用为主,降低滤饼摩擦系数,润滑剂能降低摩阻10~15t,最终达到下套管要求。

表 1 水平段钻井技术指标对比

年度	水平段长 (m)	纯钻时间 (h)	机械钻速 (m/h)	滑动进尺 (m)	滑动纯钻时间 (h)	滑动机械钻速 (m/h)	复合进尺 (m)	复合机械钻速 (m/h)
2023	1356	104	13.04	121	24	5.11	1235	15.39
2022	1425	127	11.19	206	42	4.92	1220	14.25
对比	-69	-23	1.85	-84	-18	0.19	15	1.14

典型井例：HH31-3 井完钻井深 4370m，水平段长 1830m，井身结构为： $\Phi 311\text{mm}/244.5\text{mm} \times 200\text{m} + \Phi 215.9\text{mm}/139.7\text{mm} \times 4370\text{m}$ 。靶前距 738m，偏移距 1006m，二开一趟钻入窗，入窗井深 2540m 二开到入窗周期 5.20d。该井水平段使用旋转导向工具，排量限制 29L/S，水平段形成岩屑床。从水平段 830m 开始下放困难，如图 1 所示，通过每次地质循环短程起下钻降低摩擦阻。通井时入倒划眼扶正器，水平段全程正划眼到底，井底测试下放摩阻 50t。打入石墨 + 聚合醇 + 新型润滑剂组成的润滑液，下放摩阻降低至 35t，后使用悬浮下套管技术，下套管顺利到底，固井正常，碰压合格。

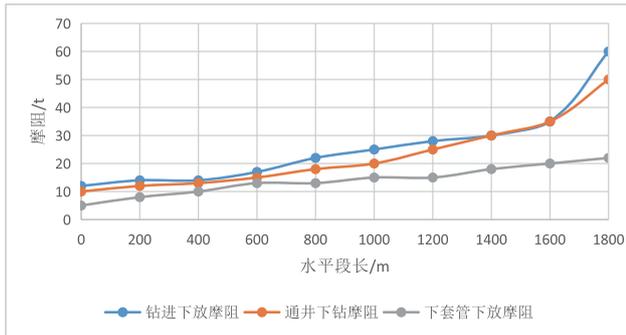


图 1 HH31-3 井摩阻统计

5 结论与建议

① 黄土层使用常规钻具控时钻进、胀眼器挤压井壁、导管分隔黄土层防漏措施，能较好地降低黄土层井漏损失

时间。

② 环县区块直罗组井壁维持稳定要重视清水聚合物钻井液性能的维护，降低失水、保证粘度，并勤观察振动筛掉块情况确定钻井液体系转换时机。

③ 通过优化井眼轨迹、使用长钻自研 CZS1663B 进口加厚齿钻头、水利振荡器，能够实现二开一趟钻钻穿富县组、快速入窗。

④ “直—增—稳—扭—方位—增—增—水平” 7 段制剖面在现场操作做难度低，更有利于偏移距消除完毕全力增斜效果的预判及斜井段全角变化率管控。

⑤ 水平段钻具组合复合低增斜率有利于快速钻进，油层厚的区块动力钻具建议使用螺杆，油层不稳定区块建议选择旋转导向工具。

⑥ 通井作业使用倒划眼扶正器破坏岩屑床、水平段分段循环携砂、水平段填充润滑液，有利于降低下放摩阻。通井摩阻大于套管垂直段重量的 60% 时建议使用悬浮下套管技术，降低下套管摩阻。

参考文献

- [1] 付金华,李士祥,刘显阳.鄂尔多斯盆地石油勘探地质理论与实践[J].天然气地球科学,2013,24(6):1091-1101.
- [2] 计波,焦养泉,刘阳.鄂尔多斯盆地东北部下侏罗统富县组底部石英砂岩成因与物源[J].地质通报,2022,41(9):1601-1612.
- [3] 王万庆,石仲元,杨光,等.G0-7“工厂化”井组钻井工艺技术[J].天然气与石油,2015,33(2):64-68+12.