

◀页岩油工程技术专题▶

doi:10.11911/syztjs.2022004

引用格式: 孙欢, 朱明明, 王伟良, 等. 长庆页岩油水平井华 H90-3 井超长水平段防漏堵漏技术[J]. 石油钻探技术, 2022, 50(2): 16-21.

SUN Huan, ZHU Mingming, WANG Weiliang, et al. Lost circulation prevention and plugging technologies for the ultra-long horizontal section of the horizontal shale oil well Hua H90-3 in Changqing Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2022, 50(2): 16-21.

长庆页岩油水平井华 H90-3 井超长水平段防漏堵漏技术

孙 欢¹, 朱明明¹, 王伟良¹, 李治君², 陈 宁³, 刘 斌¹

(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: 华 H90-3 井是部署在长庆油田陇东国家级页岩油示范区的一口超长水平段水平井, 由于地质运移作用, 该井水平段储层不连续, 存在断层; 砂体孔隙发育良好, 地层承压能力低; 地层流体活跃, 堵漏浆被稀释后不易滞留, 无法固化, 防漏堵漏难度大。针对上述技术难点, 应用当量循环密度监测技术, 进行井漏超前预防; 采用随钻堵漏技术, 提高堵漏效率; 研发阻水型可固化纤维堵漏工作液, 配合漏层精准定位技术, 实现漏层一次封固, 形成了页岩油超长水平段防漏堵漏关键技术。该技术进行了现场应用, 实现了华 H90-3 井顺利完钻, 完钻水平段长度达到 5 060 m, 刷新亚洲陆上页岩油水平井最长水平段纪录。研究认为, 该技术为我国页岩油超长水平段水平井提供了技术借鉴。

关键词: 页岩油; 水平井; 华 H90-3 井; 随钻堵漏; 断层堵漏; 长庆油田

中图分类号: TE28⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2022)02-0016-06

Lost Circulation Prevention and Plugging Technologies for the Ultra-Long Horizontal Section of the Horizontal Shale Oil Well Hua H90-3 in Changqing Oilfield

SUN Huan¹, ZHU Mingming¹, WANG Weiliang¹, LI Zhijun², CHEN Ning³, LIU Bin¹

(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: Well Hua H90-3 is an ultra-long horizontal well deployed in the Longdong National Shale Oil Demonstration Area in Changqing Oilfield. Due to geological migration, the horizontal section of the well has a discontinuous reservoir with faults in it. The pores of sand bodies are well developed, and the pressure-bearing capacity of the formation is low. In addition, formation fluids are active, and the plugging fluid cannot be retained or solidified after dilution, which increases the difficulty in plugging. In view of the above technical difficulties, the equivalent circulating density (ECD) monitoring technology was applied to prevent lost circulation in advance, and the plugging while drilling technology was incorporated to improve the efficiency of plugging. Moreover, curable and water-blocking fibrous working fluids for lost circulation control were developed to achieve the one-time sealing of the thief zone in combination with the precise positioning technology, so that the key technologies of lost circulation prevention and plugging were formed for the ultra-long horizontal sections of shale oil. The on-site application of the technologies made possible the successful drilling of Well Hua H90-3, with a horizontal section length of 5 060 m, which set a new record for the longest horizontal section of onshore horizontal shale oil wells in Asia. The research showed that the technologies could provide a technical reference for the drilling of horizontal shale oil wells with ultra-long horizontal sections in China.

Key words: shale oil; horizontal well; Well Hua H90-3; plugging while drilling; fault plugging; Changqing Oilfield

收稿日期: 2021-06-15; 改回日期: 2022-01-01。

作者简介: 孙欢 (1990—), 男, 陕西咸阳人, 2012 年毕业于西安石油大学应用化学专业, 工程师, 主要从事水基钻井液防漏堵漏方面的研究与现场应用工作。E-mail: 1025351195@qq.com。

基金项目: 中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司重点项目“长庆大型漏失井四合一综合治漏技术研究与规模化应用”(编号: 2019T-008-003) 资助。

长庆页岩油区位于陕北斜坡西南段, 局部构造位于庆阳鼻褶带, 构造形态为一个西倾单斜, 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, 储层连续性差, 油藏平均埋深 2 105 m, 地层温度 58.9 °C, 原始地层压力 15.8 MPa, 压力系数 0.75。2019 年, 该油区水平段长 4 088 m 的华 H50-7 井顺利完钻, 实现了国内非常规油气开发的突破。为充分动用复杂地貌条件下的油气储量, 长庆油田又部署了水平段长度超 5 000 m 的水平井华 H90-3 井; 但随着水平段延长, 井漏问题开始凸显, 主要表现在长裸眼井段漏层难以定位、一次堵漏成功率低和可固化堵漏液施工风险高等方面, 而常规防漏堵漏技术存在防漏堵漏效果差、漏层易复发和易发生压差卡钻等问题, 难以满足长度超 5 000 m 水平段的施工要求。为此, 笔者结合华 H90-3 井的具体井况, 应用漏层精准定位技术和当量循环密度(ECD)监测技术, 并研发了随钻堵漏工作液、阻水型可固化纤维堵漏工作液及配套堵漏工艺, 形成了页岩油水平井超长水平段防漏堵漏技术。现场应用该技术对华 H90-3 井漏层进行封固, 顺利完成了长达 5 060 m 水平段的施工, 取得了很好的效果。

1 超长水平段防漏堵漏技术难点

华 H90-3 井采用三开井身结构: $\phi 393.1$ mm 钻头 $\times \phi 339.7$ mm 套管 $\times 301.00$ m+ $\phi 311.1$ mm 钻头 $\times \phi 244.5$ mm 套管 $\times 2 279.00$ m+ $\phi 215.9$ mm 钻头 $\times \phi 139.7$ mm 套管 $\times 7 339.00$ m。 $\phi 244.5$ mm 套管下至入窗点, 封固上部易漏易塌地层, 目的层位为长 7_1^2 , 设计完钻井深 7 270.77 m, 设计水平段长 5 000.00 m, 靶前距 425.76 m, 偏移距 98.70 m。该井技术套管已封固直井段、斜井段, 防漏堵漏难点集中在超长水平段, 具体技术难点如下:

1) 裸眼井段长, 漏层位置难以判断。超长水平段裸眼井段长, 井眼轨迹穿越多套砂岩与泥岩层位, 发生漏失后很难对漏层位置进行精准识别, 导致堵漏成功率低^[1-2]。

2) 循环压耗高, 低承压地层和地质断层易发生漏失。分析已钻 200 余口水平井的钻井数据和地质资料, 发现该区域原始地层承压能力弱, 但为满足钻井液携砂和防塌要求, 采用了大排量、提高钻井液密度的方法, 大幅增加了循环压耗, 导致 ECD 升高, 易发生压差性漏失^[3-5]; 根据地震叠加剖面预测水平

段存在地质断层夹持地堑, 易发生恶性井漏。

3) 随钻堵漏剂的选择余地小, 堵漏难度大^[6-8]。该井拟采用 Autotrakt 旋转导向系统, 但其要求随钻堵漏剂的粒径不能大于 1.5 mm, 而目前常用的桥塞类随钻堵漏材料粒径难以满足要求, 需要起钻更换, 大幅增加非生产时效, 且堵漏施工风险高。

4) 常规堵漏浆易被稀释分散, 堵漏成功率低^[9-12]。常规的桥塞、水泥类堵漏浆进入漏层后易被其中的钻井液和水稀释, 破坏浆体的稳定性, 堵漏成功率低; 水平段存在垂直裂缝, 堵漏浆因重力和起钻抽汲作用, 很难在漏层滞留, 无法形成有效封固段。

5) 钻具在长裸眼井段带压挤封堵漏, 易发生压差卡钻。常规堵漏挤封作业时将钻具起钻至直井段进行挤封, 但超长水平段漏层埋藏深, 为了保证挤封效果, 钻具在堵漏浆上液面 50~100 m 处进行带压挤封作业, 此时钻具会长时间静躺于下井壁, 易发生压差卡钻。

2 防漏堵漏关键技术

深入分析华 H90-3 井超长水平段防漏堵漏技术难点后, 提出了如下解决思路: 先确定合理的钻井参数和合适的钻井液性能, 避免人为因素引发井漏; 发生漏失后先确定漏层位置, 再依据漏失速度及漏失类型采取针对性的堵漏措施, 确保超长水平段顺利施工。

2.1 当量循环密度监测控制技术

因为循环压耗与钻具长度、钻具外径、井眼直径, 以及钻井液的排量、密度和塑性黏度有关, 所以选择合理的水力参数及钻井液性能, 能够确保超长水平段安全钻井施工。长庆油田页岩油水平井超长水平段采用 CQSP-RH 高性能水基钻井液施工时, 其塑性黏度基本稳定, 钻具组合和井眼尺寸基本不变, 因此对 ECD 影响最大的是泵排量和钻井液密度。分析长庆页岩油区已钻井数据可知, 易漏层位的 ECD 大于 1.374 kg/L 时, 出现不同程度的井漏; ECD 降至 1.374 kg/L 以下时, 则恢复正常钻进。因此, 确定以 ECD 1.374 kg/L 为井漏预警值。基于钻井液环空返速和钻井液的防塌防漏性能综合考虑, 优选泵排量 26~34 L/s, 钻井液密度 1.26~1.32 kg/L, 通过对泵排量和钻井液密度合理匹配计算, 形成了泵排量和钻井液密度的防漏预警图(如图 1 所示, 其中红线表示 ECD 井漏预警值 1.374 kg/L)。

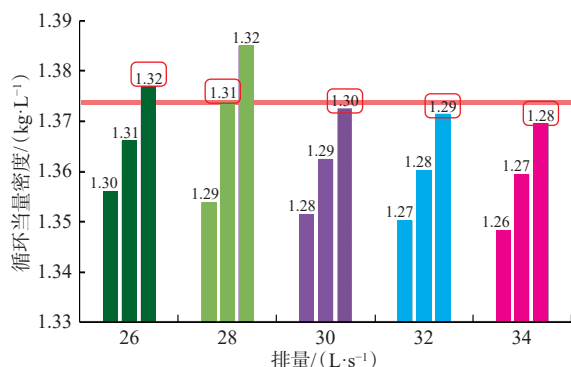


图1 泵排量和钻井液密度防漏预警示意

Fig.1 Lost circulation warning signs for pump rate and drilling fluid density

从图1可以直观看出,不同泵排量和钻井液密度对应的ECD是否超过井漏预警值。现场施工时,在不超过井漏预警值的前提下,根据钻井需求,可以根据图1快速确定泵排量和钻井液密度参数,避免ECD过高引发井漏。例如,泵排量选择28 L/s时,钻井液密度不能超过1.31 kg/L。分析认为,该技术既满足钻井安全施工需求,又可实现井漏的超前预防。

2.2 漏层精准定位技术

确定漏层位置是堵漏施工的前提。漏层精准定位技术借助 Autotrakt 旋转导向系统测定岩性的电阻率,通过电阻率曲线与漏失井深校验,来定位漏层^[13-15]。该电阻率采用四发双收式补偿电阻率进行测定,发射频率2 MHz和400 kHz的电磁波。水基钻井液发生漏失时,漏层中填充有导电的钻井液,钻井液的电阻率比岩石的电阻率低很多,即低阻高导,在电阻率曲线上形成“低尖峰”,因而可以根据低电阻率数据判断漏层位置及漏层裂缝宽度,实现漏层精准判断,为堵漏提供基础数据。

2.3 随钻堵漏技术

针对小型漏失(地层裂缝宽度小于2.0 mm)采用随钻堵漏技术,不用起下钻倒换钻具组合进行专项堵漏,从而大幅缩减了非生产时间。但为了保证堵漏后 Autotrakt 旋转导向系统正常工作,对随钻堵漏材料的粒径提出了更高要求。基于此,研制了一种可通过 Autotrakt 旋转导向的随钻堵漏工作液。

2.3.1 随钻堵漏工作液

随钻堵漏工作液是在 CQSP-RH 钻井液(视为原浆)中加入随钻堵漏材料形成的。随钻堵漏材料主要由刚性粒子 FX-1(40/70 目改性石英砂)、水分散纤维 XW-5 和弹性材料 TX-3(橡胶颗粒)组成。其中,FX-1 具有一定的承压能力和悬浮能力,主要起

架桥作用,有利于保持堵漏工作液的稳定性;XW-5 主要起网状拦截作用,保证堵漏工作液滞留;TX-3 主要起填充作用,在压力作用下进入微裂缝,通过自身黏弹性增大裂缝的摩擦力,有利于形成封堵墙,提高一次堵漏成功率。随钻堵漏工作液的配方为原浆+4%FX-1+3%XW-5+8%TX-3。选用粒径不大于1.5 mm的随钻堵漏材料配成随钻堵漏工作液,在室内对其进行缝板承压试验,结果见表1。

表1 随钻堵漏工作液缝板承压能力评价结果

Table 1 Pressure-bearing capacity evaluation for seam plates of working fluids for plugging while drilling

配方	漏失空间	承压能力/ MPa	封闭滤失量/ mL
原浆+4%FX-1+ 3%XW-5+8%TX-3	0.5 mm缝板	3	8
	1.0 mm缝板	3	10
	2.0 mm缝板	3	15

注:在60℃温度下评价随钻堵漏工作液。

由表1可知,最容易漏失的2.0 mm缝板,在60℃下承压能力为3 MPa,封闭滤失量15 mL。因此,随钻堵漏工作液满足施工要求。

2.3.2 随钻堵漏材料与原浆的配伍性

随钻堵漏材料不仅要满足封堵漏层的要求,还要与原浆 CQSP-RH 钻井液有良好的配伍性。为此,在室内评价了加入随钻堵漏材料对原浆性能的影响,结果见表2。

表2 随钻堵漏材料对 CQSP-RH 钻井液的影响

Table 2 The effect of plugging materials on drilling fluid CQSP-RH

配方	状态	表观黏度/ (mPa·s)	塑性黏度/ (mPa·s)	动切力/ Pa	高温高压 滤失量/mL
原浆	热滚前	36.0	25.0	11.0	3.2
	热滚后	34.0	23.0	11.0	
原浆+ 随钻堵漏 材料	热滚前	38.0	26.0	12.0	2.8
	热滚后	35.5	24.0	11.5	

注:试验条件为温度90℃下热滚16 h,在温度60℃下测量钻井液性能。

由表2可知,原浆加入随钻堵漏材料后的黏度和切力基本保持稳定,且高温高压滤失量降低,表明随钻堵漏材料与原浆 CQSP-RH 钻井液具有良好的配伍性,有助于井壁稳定。

2.4 阻水型可固化纤维堵漏工作液及配套工艺

水平段堵漏时存在以下问题:1)超长水平段存在地质断层,断层处有3~5 m的裂缝群;2)由于采用注水开发模式,裂缝中存在大量动态水,易发生

恶性漏失; 3) 常规桥塞类、水泥类堵漏浆由于密度高、稳定性差, 易被外界流体稀释, 不易在漏层滞留, 固化后强度低、挤封完后堵漏浆出现“返吐”等问题, 造成堵漏一次成功率低。为了实现超长水平段多个断层一次性封固成功, 研究了阻水型可固化纤维堵漏工作液及配套堵漏工艺。

2.4.1 堵漏工作液关键处理剂优选

1) 改性石英砂。研制阻水型可固化纤维堵漏工作液时, 拟选用 20/40 目的改性石英砂作为其支撑剂。改性石英砂制作方法: 经过一定的物理化学处理后, 在石英砂表面喷涂一种表面涂料, 表面涂料遇水能快速溶胀, 在表面形成稳固的水化层, 使其具有自悬浮特性, 以保证工作液的稳定性。

改性石英砂具有高承压特性, 在 86 MPa 压力下破碎率小于 2.1%。为了保证阻水型可固化纤维堵漏工作液的性能, 测定水化白土浆中分别加入不同加量改性石英砂后的密度差, 评价其悬浮性。试验基浆为清水+4.0% 白土+0.1% PAC-HV。试验方法: 将基浆水化 4 h, 取 4 份, 各 500 mL, 在高速搅拌条件下 (10 000 r/min) 分别加入 5%, 10%, 15% 和 20% 的改性石英砂, 高速搅拌 5 min, 倒入 500 mL 量筒中静置 30 min, 测量上部 200 mL 的密度和底部 200 mL 的密度, 计算上下密度差, 结果见表 3。

表 3 改性石英砂悬浮性评价结果
Table 3 Suspension property evaluation of modified quartz sand

改性石英砂 加量, %	初始密度/ ($\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$)	上下密度差/ ($\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$)
5	1.05	0.02
10	1.06	0.01
15	1.07	0.02
20	1.07	0.03

注: 基浆密度为 1.01 kg/L, 漏斗黏度为 65 s。

由表 3 可知, 基浆中加入 5%, 10%, 15% 和 20% 的改性石英砂, 静置 30 min 后, 上下密度差 $\Delta\rho$ 不超过 0.03 kg/L, 杯底无沉淀, 改性石英砂分散在浆体中, 但改性石英砂加量 20% 时浆体下部可见到沉积现象, 因此推荐改性石英砂的加量小于 20%。

2) 水分散纤维。当阻水型可固化纤维堵漏工作液进入漏层时, 水分散纤维可在凹凸不平的表面及狭窄部位产生挂阻和架桥, 使堵漏工作液在漏层的漏失速度逐渐减小, 实现滞留。另外, 含有水分散

纤维的堵漏工作液固化后, 纤维可形成空间网状结构, 增强固化后的韧性, 所以堵漏工作液中水分散纤维的含量越高, 堵漏效果越好。但是, 为了保证堵漏工作液现场施工的可行性和安全性, 需要测试水分散纤维加量对堵漏工作液流变性能的影响, 优选水分散纤维的加量, 结果见表 4。

表 4 水分散纤维加量对堵漏工作液流变性能的影响
Table 4 The effect of the dosage of water-dispersible fiber on rheological properties of working fluids

纤维加量, %	工作液流动度/cm	工作液终切力/Pa
0	25	24
0.5	23	26
1.0	22	31
1.5	21	35
2.0	21	40
2.5	20	44
3.0	19	50
3.5	15	60

由表 4 可知, 水分散纤维的加量大于 3.0% 时, 堵漏工作液的流动度变差, 终切力大幅增加, 配制和泵送堵漏工作液时易出现堵塞风险, 不利于现场施工。因此, 水分散纤维最优加量为 2.5%~3.0%。

2.4.2 堵漏工作液配方及特点

通过优选关键处理剂和科学调配各种试剂, 确定阻水型可固化纤维堵漏工作液的配方为: 50.00%~55.00% G 级水泥+0.08%~0.10% 阻水剂+10.00%~15.00% 减轻剂+15.00%~20.00% 改性石英砂 (20/40 目)+15.00% 超细稳定剂+2.50%~3.00% 水分散纤维。

该堵漏工作液具有以下特点: 1) 堵漏工作液密度低 (1.30~1.35 kg/L), 可有效降低堵漏工作液的静液柱压力, 堵漏工作液能更好地在漏层滞留; 2) 抗污染能力强, 通过加入阻水剂和超细稳定剂, 增强了堵漏工作液的抗污染能力, 遇到外界流体 (钻井液/地层水) 时不易被稀释分散, 保证固化后的强度; 3) 纤维含量高, 引入 1~12 mm 多尺寸分布的水分散纤维, 纤维可在漏层形成网状结构, 提高固化后的韧性, 且纤维本身具有柔变性, 能更好地进入漏层, 不易在漏层位置形成“封门”的封堵假象; 4) 固化后强度较高, 达到 3 MPa (60 $^{\circ}\text{C}$ /12 h), 当堵漏工作液进入漏层后, 改性石英砂颗粒在漏层处堆积形成基本“骨架”, 增强了固化后的强度。

2.4.3 堵漏工作液抗污染性能评价

由于漏失通道被钻井液或地层水填充,常规堵漏浆进入漏层后被稀释,导致堵漏浆性能被破坏,达不到预期的堵漏效果,因此要求堵漏工作液具有较强的抗外界流体污染的能力。为此,进行了堵漏工作液抗污染性能评价。取 500 mL 阻水型可固化纤维堵漏工作液和 500 mL 常规水泥堵漏浆,分别快速倒入装有等体积水的量筒中,静置 30 min,观察二者被水污染后的状态。

观察可知,常规水泥堵漏浆被水稀释分散,固结后不承压,而阻水型可固化纤维堵漏工作液基本保持原始形态,承压可达 2.6 MPa(60 °C/12 h)。这说明阻水型可固化纤维堵漏工作液抗污染能力强,可保证其进入漏层固化后的强度。

2.4.4 堵漏工作液配套堵漏工艺

堵漏施工时,需要考虑泵入堵漏浆后井筒内堵漏浆的返高位置、钻具的挤封位置、挤封量及挤封时间等问题。综合考虑以上问题,通过对常规堵漏挤封工艺进行优化,形成了安全高效的堵漏施工工艺,可以解决堵漏浆由于重力和起钻抽汲作用易“返吐”、带压进行挤封作业时易发生压差卡钻等技术难点,保证安全钻井施工。

安全高效堵漏工艺的具体流程为:井口安装旋转防喷器,泵入堵漏工作液和顶替液后,关闭旋转防喷器,控制起钻速度;钻具起至堵漏工作液液面以上 50~100 m 后进行带压挤封作业,挤封作业时旋转钻具,避免长时间带压挤封发生压差卡钻。

3 现场应用

华 H90-3 井完钻井深 7339 m,水平段长 5060 m。水平段钻进中共发生 4 次大型漏失,其中 3 次为恶性漏失,另外 1 次漏失速度为 10~15 m³/h。采用 ECD 监测控制技术,实现井漏超前预警;通过分析电阻率异常数据,对漏层位置进行精准判断,采用随钻堵漏技术和阻水型可固化纤维堵漏工作液及配套堵漏工艺,对漏层进行了有效封堵和固化,保证了超长水平段的顺利钻进。与水平段长 4 088 m 的华 H50-7 井对比,堵漏时间缩短 45.25%,堵漏费用降低 32.53%,效果显著。

1) 随钻堵漏技术应用效果。华 H90-3 井钻至水平段 849 m 处发生漏失,漏失速度 10~15 m³/h,继续抢钻 15 m,测得漏失井深处的电阻率从正常值降至 3 Ω·m,地质预告岩性泥质含量增高,判断漏层在

砂泥岩交界处,此处承压能力低,导致发生漏失。采用随钻堵漏技术,泵入 25 m³ 随钻堵漏工作液,漏失速度逐渐降低,循环 2 h 后钻井液消耗量正常,Autotrakt 旋转导向系统仪器正常工作,堵漏成功,恢复钻进。钻至水平段 1532 m 时发生失返性漏失,泵入 20 m³ 随钻堵漏工作液,漏失速度降至 6~8 m³/h,继续钻进 15 m,测得漏失井深处的电阻率从正常值降至 0.5 Ω·m,通过前期勘探数据预测在水平段 1500~1850 m 地层岩性突变,还存在多个断层,为暴露更多漏层,便于后期集中进行堵漏施工,采取随钻堵漏、降排量措施钻进。

2) 阻水型可固化纤维堵漏工作液技术应用效果。钻至水平段 1657 和 1728 m 时出现恶性漏失,电阻率、伽马数值异常,抢钻至水平段 1850 m,起钻采用阻水型可固化纤维堵漏工作液对 3 个断层进行集中堵漏。在水平段 1640 m 处泵入 30 m³ 阻水型可固化纤维堵漏工作液,保证 3 个断层均能兼顾,泵入堵漏工作液后采用旋转防喷器起钻,起至挤封井深后控压活动钻具挤封,最终稳压 6.2 MPa,带压候凝 12 h,室内试验数据显示阻水型可固化堵漏工作液已固化,开井循环,井筒未出现“返吐”现象,继续候凝 24 h 扫塞,钻井液消耗正常,堵漏成功,恢复钻进。

3) ECD 监测控制技术防漏效果。长庆页岩油区已钻井数据分析表明,ECD 超过 1.374 kg/L 会诱发漏失,因此每次调整钻井液性能和水力参数时,控制 ECD 低于 1.374 kg/L。该井施工时应用 ECD 监测控制技术,未发生因 ECD 过高引起的漏失,保证了 5 060 m 超长水平段的顺利施工。

4 结论与建议

1) 随钻堵漏工作液选用的刚性粒子 FX-1、水分散纤维 XW-5 及弹性材料 TX-3 与 CQSP-RH 高性能水基钻井液具有良好的配伍性,能够满足现场施工要求,保障了堵漏后正常钻进,提高了堵漏效率。

2) 阻水型可固化纤维堵漏工作液具有低密度、易滞留、可固化和不易被稀释分散的特性,配套的堵漏工艺实现了控压起钻和动态挤封作业,既保证了堵漏工作液在漏层留得住,又避免了压差卡钻风险。

3) 华 H90-3 井顺利完井,表明采用的 ECD 监测控制技术、漏层精准定位技术、随钻堵漏技术和阻水型可固化纤维堵漏工作液及配套工艺可以解决超

长水平段防漏堵漏技术难点, 实现井漏超前预防、漏层位置准确判断、漏层封固, 为超长水平段水平井施工提供了技术支持。

4) 为进一步提高页岩油水平井超长水平段的防漏堵漏效果, 建议研发多类型的井下工具和无固相可固化堵漏工作液。

参考文献

References

- [1] 周志世, 张震, 张欢庆, 等. 超深井长裸眼井底放空井漏失返桥接堵漏工艺技术[J]. 钻井液与完井液, 2020, 37(4): 456-464.
ZHOU Zhishi, ZHANG Zhen, ZHANG Huanqing, et al. Controlling mud losses into caves with bridging techniques in ultra-deep long open hole[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2020, 37(4): 456-464.
- [2] 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.
- [3] 谷穗, 蔡记华, 乌效鸣. 窄密度窗口条件下降低循环压降的钻井液技术[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(6): 65-70.
GU Sui, CAI Jihua, WU Xiaoming. Drilling fluid technologies to decrease circulating pressure loss under narrow mud density window[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2010, 38(6): 65-70.
- [4] 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.
- [5] 王清臣, 张建卿, 胡祖彪, 等. 长庆气田小井眼钻井液技术研究与应[J]. 钻井液与完井液, 2020, 37(6): 746-752.
WANG Qingchen, ZHANG Jianqing, HU Zubiao, et al. Study and application of drilling fluid technology for slim hole drilling in Changqing Gas Field[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2020, 37(6): 746-752.
- [6] 彭兴, 周玉仓, 朱智超, 等. 延川南深部煤层气井防漏堵漏技术[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(1): 47-52.
PENG Xing, ZHOU Yucang, ZHU Zhichao, et al. Antileaking and lost circulation control technology for deep coalbed methane well in the Yanchuannan Block[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021, 49(1): 47-52.
- [7] 赵福豪, 黄维安. 钻井液防漏堵漏材料研究进展[J]. 复杂油气藏, 2020, 13(4): 96-100.
ZHAO Fuhao, HUANG Weian. Research progress on prevention and plugging materials for drilling fluid lost circulation[J]. *Complex Hydrocarbon Reservoirs*, 2020, 13(4): 96-100.
- [8] 王涛, 刘锋报, 罗威, 等. 塔里木油田防漏堵漏技术进展与发展建议[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(1): 28-33.
WANG Tao, LIU Fengbao, LUO Wei, et al. The technical advance and development suggestions for leakage prevention and plugging technologies in the Tarim Oilfield[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021, 49(1): 28-33.
- [9] 屈璠, 韦西海, 吴金星, 等. 狮202井区裂缝性地层堵漏技术[J]. 钻井液与完井液, 2018, 35(2): 78-84.
QU Fan, WEI Xihai, WU Jinxing, et al. Techniques for mud loss control in drilling fractured formations in Shi-202 well zone[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2018, 35(2): 78-84.
- [10] 徐堪社, 赵永哲, 杨哲, 等. 六盘水煤层气井牛场区块恶性漏失地层堵漏方法研究[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(2): 35-39.
XU Kanshe, ZHAO Yongzhe, YANG Zhe, et al. Leaking stoppage method for formation with serious circulation loss of CBM wells in Niuchang Block in Liupanshui[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2018, 46(2): 35-39.
- [11] 孙金声, 白英睿, 程荣超, 等. 裂缝性恶性井漏地层堵漏技术研究进展与展望[J]. 石油勘探与开发, 2021, 48(3): 630-638.
SUN Jinsheng, BAI Yingrui, CHENG Rongchao, et al. Research progress and prospect of plugging technologies for fractured formation with severe lost circulation[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2021, 48(3): 630-638.
- [12] 李公让, 于雷, 刘振东, 等. 弹性孔网材料的堵漏性能评价及现场应用[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(2): 48-53.
LI Gongrang, YU Lei, LIU Zhendong, et al. The evaluation and application of lost circulation control by elastic mesh materials[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021, 49(2): 48-53.
- [13] 甘秀娥. 利用测井资料评价钻井液漏失层[J]. 测井技术, 2002, 26(6): 474-477.
GAN Xiue. Evaluation of mud loss while drilling by using temperature logging and imaging logging data[J]. *Well Logging Technology*, 2002, 26(6): 474-477.
- [14] 黄川, 许思勇, 冉晓军, 等. 旋转导向技术在超长水平井中的应用[J]. 测井技术, 2021, 45(3): 336-340.
HUANG Chuan, XU Siyong, RAN Xiaojun, et al. Application of rotary steerable technology in ultralong horizontal well[J]. *Well Logging Technology*, 2021, 45(3): 336-340.
- [15] 张炳军, 周扬, 杨新宏, 等. 基于随钻测井资料的井漏位置识别及压井液密度确定[J]. 测井技术, 2016, 40(6): 751-754.
ZHANG Bingjun, ZHOU Yang, YANG Xinhong, et al. Mud loss and well killing fluid density identification based on LWD data[J]. *Well Logging Technology*, 2016, 40(6): 751-754.

[编辑 令文学]