

海坨区块高效堵漏体系的优化与应用

孙威威

(大庆钻探工程公司钻井四公司钻井液分公司,吉林 松原 138000)

摘要:海坨区块的地层破裂压力较低,存在大量的天然裂缝,钻井过程中极易发生渗透性漏失和失返性漏失,从而引发井壁失稳。针对海坨区块存在的严重漏失问题,制备了一种随钻堵漏纤维 YTZ,同时优选出了与基浆配伍良好的复合植物纤维 XA、快速封堵剂 KF,提高了钻井液稳定井壁的能力。通过3种堵漏材料的复配,形成了一套适合海坨区块的堵漏体系和科学有效的施工技术,有效解决了海坨区块的各种井漏问题,确保了钻井及完井施工的顺利进行,减少了由于漏失带来的经济损失。该堵漏体系在现场应用中体现了良好的封堵效果,值得在海坨区块进一步推广应用。

关键词:海坨区块;井壁失稳;钻井液;堵漏剂;随钻堵漏纤维;防漏堵漏

中图分类号:P634.6;TE28 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)12-0072-07

Optimization and application of the efficient plugging system in the Haituo block

SUN Weiwei

(The Forth Branch Company of Daqing Drilling and Exploration Company, Songyuan Jilin 138000, China)

Abstract: With the low formation fracturing pressure and presence of a large number of natural fractures in the Haituo block, pervious circulation loss and lost return are very easy to occur during drilling, resulting in wellbore instability. In view of serious leakage in the Haituo block, a plugging-while-drilling fiber YTZ was prepared. At the same time, the composite plant fiber Xa and the fast plugging agent KF, which are well compatible with the base slurry, were selected to improve the ability of drilling fluid to stabilize the wellbore. Through the combination of the three plugging materials, a plugging system, and proper and effective drilling technology for the Haituo block have been formed, which effectively solved various well leakage problems in Haituo block, ensured the smooth drilling and completion progress, and reduced the economic losses caused by leakage. The plugging system showed good plugging effect through field application, and is worthy of further popularization and application in the Haituo block.

Key words: Haituo block; wellbore instability; drilling fluid; plugging agent; plugging fiber while drilling; leak prevention and plugging

0 引言

近年来针对大型漏失、恶性漏失等复杂地层的堵漏技术,国内外学者开展了大量的研究工作,主要集中在堵漏工具的研制、堵漏工艺的优化、堵漏材料的制备。堵漏材料主要包括无机堵漏材料、凝胶堵漏材料、聚合物堵漏材料、机械堵漏材料等。

但是,针对复杂地层的堵漏,仍存在很大挑战,多次堵漏的现象时常发生,堵漏成功率比较低。由于井漏问题导致弃井的现象时有发生,造成了巨大的经济损失^[1-3]。井漏问题是困扰国内外石油钻探开发的重大工程难题^[4-6]。全球井漏发生的概率占钻井总数的25%左右,其中失返性恶性漏失更是占据了

收稿日期:2021-02-06; 修回日期:2021-09-15 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.12.011

作者简介:孙威威,女,汉族,1986年生,工程师,从事钻井液体系的配置及现场作业指导工作,吉林省松原市宁江区大庆钻探工程公司钻井四公司4255号,179526765@qq.com。

引用格式:孙威威.海坨区块高效堵漏体系的优化与应用[J].钻探工程,2021,48(12):72-78.

SUN Weiwei. Optimization and application of the efficient plugging system in the Haituo block[J]. Drilling Engineering, 2021,48(12):72-78.

漏失井的50%以上^[7-11]。全世界恶性漏失导致的经济损失每年高达几十亿人民币^[12]。堵漏技术是解决井漏的关键技术,近年来国内外针对井漏问题开展了大量研究,目前的堵漏技术也有多达十几种^[13-17],但是每一种堵漏技术都有局限性,因此丰富完善堵漏技术十分必要。

海坨区块位于海坨子油田的南部,构造为松辽盆地南部中央拗陷,地层破裂压力较低,存在着垂直、单斜、水平、网状等天然裂缝,且多为高角度裂缝、垂直裂缝,缝宽约0.3 mm,地层中裂缝的开度分布范围广,钻井深度达到1627~2152 m时极易发生渗透性漏失等井漏问题。前期通过不同的封堵技术,开展了大量的堵漏施工,均没有取得良好的封堵效果,单井平均漏失量达到了200 m³,造成了巨大的经济损失。针对海坨区块的漏失问题,本文制备了一种新型的随钻堵漏剂,同时研究了一种新的封堵体系有望解决海坨区块漏失问题。对于提高海坨区块的勘探开发进程具有非常重要的意义。

1 海坨区块漏失简介

1.1 漏失情况简介

近期海坨区块完成5口井,均出现不同程度井漏,漏失井段1627~2152 m(青山口组),累计漏失量800 m³左右,并有1口井因井漏引发严重掉块,导致划眼。5口井的漏失情况如表1所示。

表1 海120区块5口井漏失情况统计
Table 1 Summary of recent circulation losses in the Hai 120 block

井号	井别	完钻井深/ m	漏失井段/ m	漏失量/ m ³
海120-11-5	生产	2340	1679~2150	180
海120-15-10	生产	2278	1701~1847	80
海120-11-11	生产	2241	1747~2152	140
海120-7-5	生产	2340	1627~1722	260
海120-21-13	生产	2401	1894~2000	140

1.2 井漏情况分析

确定易漏井区漏层性质,是预防及处理井漏成功的关键。现场主要通过分析法确定漏层性质,即井漏发生后,首先确定漏层位置,并根据岩性、井深、工况、钻时、漏失井段长度、井漏程度等判断漏失性质,完井后根据测井资料结合邻井情况,进一步深入

分析。

1.2.1 发生井漏的条件

(1)地层中有孔隙、裂缝,使钻井液具备通行的条件;

(2)地层孔隙中的流体压力小于钻井液液柱压力,在正压差作用下,发生漏失;

(3)地层破裂压力小于钻井液液柱压力和环空压耗或激动压力之和,将地层压裂,发生漏失。

1.2.2 发生井漏的原因

(1)钻井过程中,钻遇胶结偏差、孔隙度偏高、渗透率偏高或裂缝发育地层,易发生井漏;

(2)钻井液密度控制不理想,压漏裸眼井段中较薄弱地层;

(3)下钻或接单根时,下放速度过快,造成激动压力,压漏地层;

(4)钻井液密度、粘度偏高,导致开泵时激动压力偏大,压漏地层;

(5)快速钻进时,洗井效果不理想,岩屑浓度偏高,环空中有大量岩屑沉积,易将地层压漏;

(6)井内钻井液静止时间长,触变性差,易造成井漏。

1.2.3 漏失层位的判断

(1)钻进中井漏:钻开新地层时,井底漏;

(2)分析原来曾发生过井漏的层段,判别重新漏失的可能性;

(3)根据地层压力和破裂压力的资料对比,最低压力点是首先要考虑的位置,特别是已钻过的油、气、水层及套管鞋附近;

(4)根据地质剖面图和岩性对比,漏层往往在孔隙、裂隙发育的位置;

(5)和邻井相同井段进行对照分析。

1.2.4 井漏的类别

根据现场井漏情况,将井漏问题进行了分类,如表2所示。

1.2.5 不同井段漏失情况判断

通过分析地层特性,海坨区块井漏主要是由于

表2 根据漏失速度判断井漏类型

Table 2 Determination of the circulation loss type according to the loss rate

漏速/(m ³ ·h ⁻¹)	<5	5~15	15~40	40~60	>60
井漏类型	微漏	小漏	中漏	大漏	严重漏失

垂直裂缝发育、钻井液液柱压力(钻井液密度为 1.12 g/cm^3)>地层破裂压力等造成。对不同井段的漏失情况进行了汇总,如表3所示。

表3 海120区块漏失性质分析
Table 3 Analysis of the nature of circulation loss in the Hai 120 block

井段/m	平均漏失量/ m^3	漏失类别
1600~1800	4~10	微漏—小漏
1800~2000	35~45	中漏—大漏
>2000	60	严重漏失

2 随钻堵漏剂 YTZ 的制备及其特点

2.1 材料

纤维素、淀粉、天然高分子木质素、氢氧化钠、增塑剂(聚乙烯醇、聚乙烯烯醇共聚物(甘油))、泥炭、pH试纸。

2.2 随钻堵漏剂 YTZ 制备过程

将上述各组分按照质量配比混合均匀,40%纤维素,35%淀粉,15%木质素和10%增塑剂。使用过氧化二苯甲酰作为引发剂,在 $130\text{ }^\circ\text{C}$ 、常压下反应2.5 h,即可获得天然可降解高分子复合材料。将该复合材料作为母料,加工成纤维,在加工过程中应除去引发剂。纤维需在水中漂洗30~60 min。实验结束后可以对制备的随钻堵漏剂 YTZ 定型。

2.3 随钻堵漏剂 YTZ 的使用方式

将随钻堵漏剂按照质量比加入到钻井液中。用量控制在1%~3%。确保随钻堵漏剂的加入不会影响钻井液的流变性,充分搅拌混合均匀。

2.4 随钻堵漏剂 YTZ 的特点

该堵漏剂系改性天然植物高分子复合材料,具有良好的水溶胀、桥接封堵功能,粘附性强,不受粒径“匹配”限制,与聚合物钻井液体系配伍良好。能够很好地封堵裂缝,具有较高的应用价值,值得进一步推广应用。

3 堵漏材料的室内封堵性评价

根据地层特点和前期施工经验,通过室内试验,对抑制剂、防塌剂、降滤失剂、流型调节剂进行优选,有效改善钻井液性能并提高稳定井壁能力;优选防漏堵漏材料,科学确定复配比例,以满足不同漏失性质井段的防漏、堵漏施工要求。

3.1 最优钻井液配方优选

通过对不同类型助剂的性质及试验数据的综合分析,形成了适合海坨区块地层特点的防漏堵漏钻井液基本配方:5%膨润土+0.05%纯碱+2%铵盐+1%腐殖酸类降滤失剂+0.3%聚丙烯酰胺钾盐+2%聚脂物+3%沥青共聚物。

3.2 堵漏材料的性能评价

3.2.1 随钻堵漏材料堵漏机理

随钻堵漏技术适用于钻进过程中漏速较低的情况,主要是在钻井液中添加颗粒直径较小的纤维类、可变形颗粒类堵漏材料,在钻井液柱正压差的作用下,使堵漏材料在地层孔隙上架桥、填充和封堵,堵塞流体流动通道,达到堵漏效果。随钻堵漏机理如图1所示。

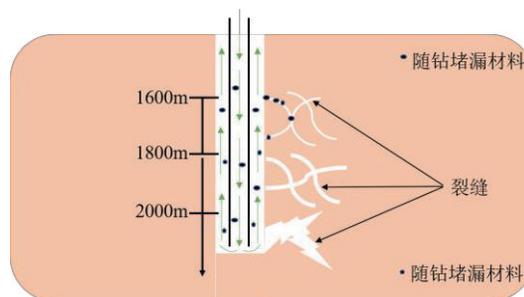


图1 随钻堵漏机理

Fig.1 Plugging-while-drilling mechanism

3.2.1.1 YTZ 随钻堵漏剂

该堵漏剂系改性天然植物高分子复合材料,具有良好的水溶胀、桥接封堵功能,粘附性强,不受粒径“匹配”限制,与聚合物钻井液体系配伍良好。利用 QD-2 型堵漏装置进行封堵试验,模拟渗流实验压差分别为0.1、0.3和0.69 MPa。在20、40和100目的砂床中进行漏速测试,实验结果如图2所示。实验结果证明,砂床目数越大,钻井液的漏速越低。实验压差越大,钻井液的漏速越大。但是基浆中加入 YTZ 随钻堵漏剂后,能够有效提高钻井液的封堵能力,并且随着加量的增多,封堵能力逐步提高。基于长期的实验经验加入 YTZ 随钻堵漏剂超过2%时会影响钻井液的流变性,本研究最大量取2% YTZ 随钻堵漏剂。

3.2.1.2 复合植物纤维 XA

该堵漏剂主要组成为:改性酰胺聚合水解而成的 XA-1 型膨胀体、0.1~0.5 mm 的核桃壳固体颗

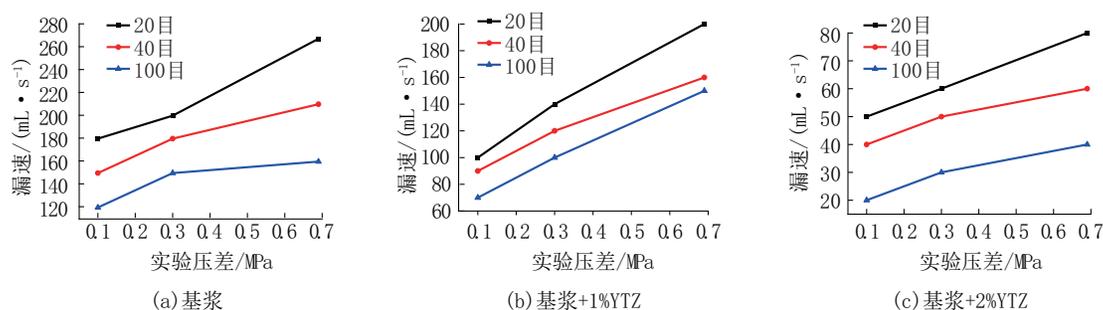


图2 YTZ随钻堵漏剂堵漏效果评价

Fig.2 Evaluation of plugging effect of YTZ drilling-while-plugging agent

粒、适应漏层地温的沥青LQ-1、通过200目筛网的石灰石颗粒SHF-1。利用QD-2型堵漏装置进行封堵实验,模拟渗漏试验压差分别为0.1、0.3和0.69 MPa。实验结果如图3所示。实验结果证明,砂床目数越大,钻井液的漏速越低。实验压差越大,钻井

液的漏速越大。但是基浆中加入XA后,能够有效提高钻井液的封堵能力,并且随着加量的增多,封堵能力逐步提高。考虑到加入过量的堵漏材料会影响钻井液的流变性,本研究最大量取2%XA随钻堵漏剂。

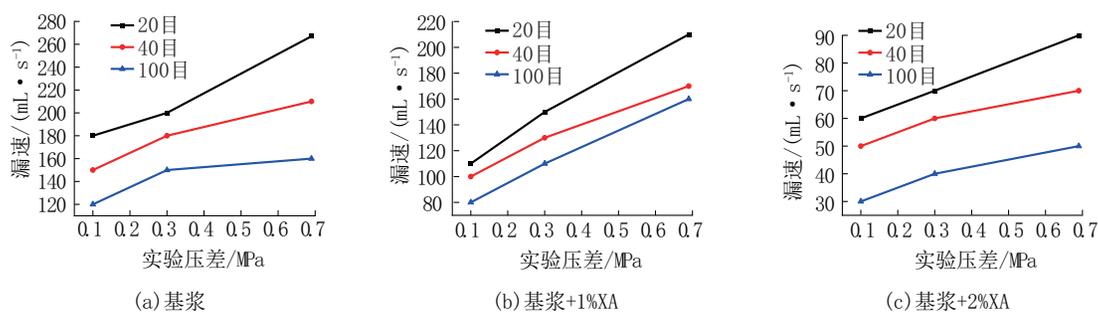


图3 复合植物纤维XA堵漏效果评价

Fig.3 Plugging effect evaluation of composite plant fiber XA

3.2.1.3 快速封堵剂KFD

该助剂主要成分为60%~90%膨化稻壳、5%~20%高分子变性纤维素、2%~12%两性纤维素、4%~20%碳酸氢钙。利用QD-2型堵漏装置进行封堵实验,模拟渗漏实验压差分别为0.1、0.3和0.69 MPa。实验结果如图4所示。实验结果表明,砂床目数越大,钻井液的漏速越低。实验压差越大,钻井液的漏速越大。基浆中加入KFD快速封堵剂后,能够有效提高钻井液的封堵微裂隙能力,并且随着加量的增多,封堵能力逐步提高。考虑到加入过量的堵漏材料会影响钻井液的流变性,本研究最大量取2%快速封堵剂KFD。

3.2.2 桥接堵漏材料

钻进过程中漏失量较大时,主要采用桥接堵漏技术进行处理。利用多种堵漏材料按照一定配比较

制堵漏浆,使固体颗粒堵塞裂缝、孔隙通道,其中刚性颗粒在漏失通道中起架桥和支撑作用,纤维和片状堵漏剂在刚性颗粒间起连接封堵作用,可变形堵漏剂起填充作用,通过挤压变形堵塞刚性颗粒、纤维、片状堵漏剂封堵后的孔隙空间,降低封堵渗透率,达到堵漏目的,堵漏机理如图5所示。

目前解决海坨区块恶性漏失问题的主要方式是应用桥接堵漏技术,涉及到的材料主要为:YTZ随钻堵漏剂,快速封堵剂KFD和复合植物纤维XA。复配堵漏配方为:5%膨润土+0.05%纯碱+2%铵盐+1%腐殖酸类降滤失剂+0.3%聚丙烯酰胺钾盐+2%聚脂物+3%沥青共聚物+2%随钻堵漏剂YTZ+2%快速封堵剂KFD+2%复合植物纤维XA。利用QD-2型堵漏装置进行封堵实验,模拟渗漏实验压差分别为0.5、0.75和1.0 MPa。实验结果

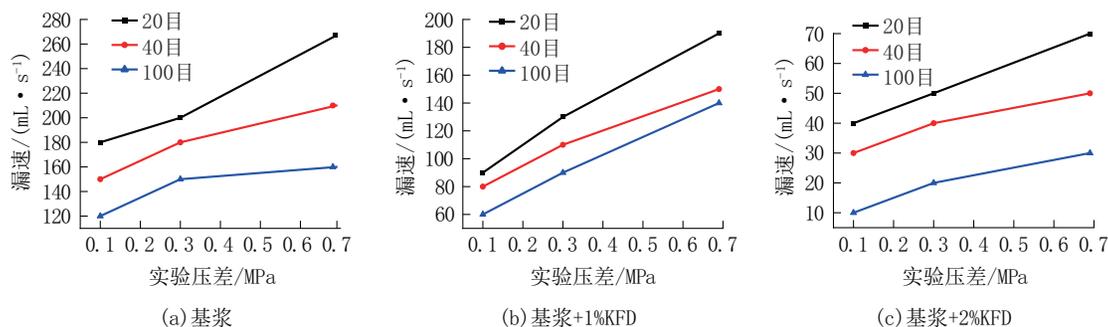


图4 快速封堵剂KFD堵漏效果评价

Fig.4 Evaluation of plugging effect of fast plugging agent KFD

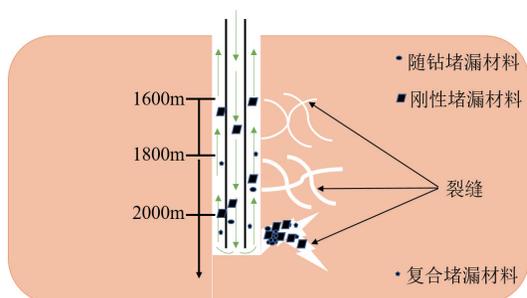


图5 桥接堵漏机理示意

Fig.5 Bridge plugging mechanism

如图6所示。结果表明,砂床目数越大,钻井液的漏速越低;实验压差越大,钻井液的漏速越大。但是基浆中加入复配好的堵漏剂,能够有效提高钻井液的封堵微裂隙能力,并且随着加量的增多,封堵能力逐步提高。考虑到加入过量的堵漏材料会影响钻井液的流变性,本研究最大量取6%复配堵漏剂。

4 现场应用

4.1 防漏

钻进过程中发生井漏是不可避免的,但可通过调整钻井液性能进行预防。在钻井过程中处理井漏问题坚持预防为主的原则,主要包括降低井筒内激

动压力、提高地层承压能力等技术措施。

4.1.1 保持较低的液柱压力

根据施工区块地层压力情况,科学确定同一裸眼井段所需钻井液密度,合理控制液柱压力,避免压漏。

4.1.2 提高地层承压能力

对于轻微渗透性漏失井段,进入漏层前适当提高钻井液粘度、切力,增大漏失阻力;对于较严重漏失井段,进入漏层前在钻井液中加入堵漏材料,在压差作用下,堵漏剂进入漏失通道,提高地层的承压能力。

4.1.3 降低钻井液环空压耗和激动压力

在保证携带钻屑的前提下,尽可能降低钻井液粘度。钻井过程中,定期清理沉砂罐,强化固控设备的使用效果,最大限度清除有害固相。加入沥青、封堵类助剂,进一步改善泥饼质量,降低滤失量,防止因井壁泥饼较厚引起环空间隙较小,导致压耗增大。快速钻进井段做到早开泵晚停泵,每钻进一单根划眼1次,确保井眼畅通。易漏井段起下钻作业过程中,下钻到底开泵要上下活动钻具,并开动转盘,以破坏静切力,降低循环压耗。钻井液加重时,控制加重速度,并且加量均匀。

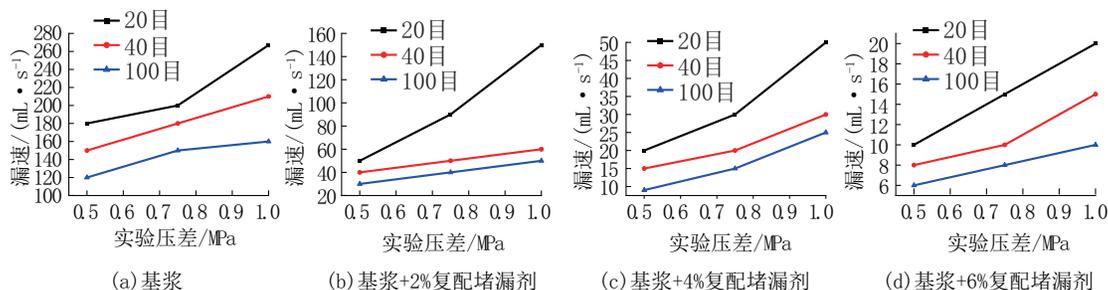


图6 桥接堵漏材料堵漏效果评价

Fig.6 Evaluation of plugging effect of bridge plugging materials

4.2 堵漏

井漏发生后,根据现场情况,制定“安全、快速、有效”的处理措施,对近井筒漏失通道进行有效封堵。

4.2.1 处理井漏的规程

(1)详细掌握并分析井漏发生的原因,确定漏层位置、类型及漏失程度。

(2)根据实际情况,若可强行钻进,尽量钻穿漏层,避免重复处理。

(3)合理配制堵漏浆,并通过科学计算,确保堵漏材料进入漏层近井筒处。

(4)施工过程中要不停地活动钻具,避免卡钻。

(5)使用粒径较大的桥堵材料,要卸掉循环管线及泵中的滤清器、筛网等,防止憋泵。

(6)憋压试漏时要缓慢进行,压力不能过大,避免发生新的诱导性井漏。

4.2.2 处理井漏方法

(1)合理控制密度:研究分析裸眼井段各组地层孔隙压力、破裂压力、坍塌压力、漏失压力,确定防喷、防塌、防漏的最低钻井液密度窗口,有效降低井底静液柱压力。

(2)合理控制钻井液粘度、切力,钻进砂泥岩胶结差的地层发生井漏时,可通过提高钻井液粘度、切力,增大钻井液进入漏层的流动阻力控制井漏。下部井段钻进过程中发生井漏,在保证井壁稳定和携带与悬浮岩屑的前提下,通过降低钻井液粘度、切力来减低环空压耗和下钻激动压力控制井漏。

(3)静止堵漏:漏失量不大时,将钻具起出漏失井段或起至技术套管内或将钻具全部起出静止一段时间(一般4~16 h),定时向井内灌注钻井液,防止裸眼井段地层坍塌,通过漏进地层的井浆具有触变性,随静切力增加,起到了粘结和封堵裂缝的作用,从而控制井漏。在发生部分漏失的情况下,循环堵漏无效时,在起钻前替入堵漏钻井液封闭漏失井段,增强静止堵漏效果。下钻时,控制下钻速度,尽量避开在漏失井段开泵循环。恢复钻进后,钻井液密度和粘切力不宜立即作大幅度调整,要逐步进行,控制加重速度,防止再次发生漏失。

(4)漏失量较大时,综合分析漏速、漏层压力、液面深度和漏层段长、漏层形状等因素,合理选择级配和浓度的惰性材料,配成堵漏浆直接注入漏层,在漏失通道中形成“架桥”。

4.3 现场应用效果

通过防漏堵漏钻井液技术在海120-21-13井应用,成功解决了该井漏失及其引发的掉块等情况,钻井液密度为 1.11 g/cm^3 ,施工井顺利钻至设计井深。

现场施工配方为:5%膨润土+0.05%纯碱+2%铵盐+1%腐殖酸类降滤失剂+0.3%聚丙烯酰胺钾盐+2%聚脂物+3%沥青共聚物+2%随钻堵漏剂YTZ+2%快速封堵剂KFD+2%复合植物纤维XA。

现场封堵情况如表4所示。现场应用效果显示,该堵漏体系可以有效解决海坨区块的严重漏失问题,从而满足钻井需求,具有良好的应用价值。

表4 复配堵漏剂在海120-21-13井现场应用情况
Table 4 Usage of the compound plugging agent in Well Hai-120-21-13

时间/ (时:分)	泵入量/ m^3	立压/ MPa	排量/ L	漏速/ $(\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1})$
8:42	2.3	1.8	10	60
8:50	8.1	3.9	12	50
8:59	8.1	5.2	12	30
9:17	8.1	6.9	14	10
9:35	8.1	14	14	0
12:11	8.1	14	14	0

5 结语

(1)本文分析了海坨区块易漏井区漏层性质,为预防及处理井漏问题提供了理论指导。现场主要通过分析法初步确定漏层性质,并根据测井资料结合邻井情况,做了深层次的分析。

(2)本文制备了一种随钻堵漏剂YTZ,室内评价显示该堵漏剂具有良好的封堵效果,可以有效地解决微裂缝和小裂缝漏失问题。同时优选出了与基浆配伍良好的复合植物纤维XA、快速封堵剂KFD,3种堵漏剂复配可以有效地封堵严重漏失。从而达到满足不同漏失地层的使用需求。

(3)本文研制的堵漏体系配方为:5%膨润土+0.05%纯碱+2%铵盐+1%腐殖酸类降滤失剂+0.3%聚丙烯酰胺钾盐+2%聚脂物+3%沥青共聚物+2%随钻堵漏剂YTZ+2%快速封堵剂KFD+2%复合植物纤维XA,在海坨区块进行了广泛的应用,现场应用显示,该堵漏体系可以很好地解决海坨

区块的漏失问题。

参考文献 (References):

- [1] 李家学,黄进军,罗平亚,等.随钻防漏堵漏技术[J].钻井液与完井液,2008,25(3):25-28.
LI Jiaxue, HUANG Jinjun, LUO Pingya, et al. Researches on mud losses prevention and control[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2008,25(3):25-28.
- [2] 王中华.复杂漏失地层堵漏技术现状及发展方向[J].中外能源,2014,19(1):39-48.
WANG Zhonghua. The status and development direction of plugging technology for complex formation lost circulation[J]. Sino-Global Energy, 2014,19(1):39-48.
- [3] 赵巍,李波,高云文,等.诱导性裂缝防漏堵漏钻井液研究[J].油田化学,2013,30(1):1-4.
ZHAO Wei, LI Bo, GAO Yunwen, et al. Study of lost circulation protection and control drilling fluid for induced cracks[J]. Oilfield Chemistry, 2013,30(1):1-4.
- [4] 纪卫军,杨勇,闫永生,等.一种油基钻井液用凝胶堵漏体系及其应用[J].钻井液与完井液,2021,38(2):196-200.
JI Weijun, YANG Yong, YAN Yongsheng, et al. Gel plugging system for oil-based drilling fluid and its application[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2021,38(2):196-200.
- [5] 李文博,李公让.可控化聚合物凝胶堵漏材料的研究进展[J].钻井液与完井液,2021,38(2):133-141.
LI Wenbo, LI Gongrang. Research progress of controllable polymer gel lost circulation materials[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2021,38(2):133-141.
- [6] 周双君,朱立鑫,杨森,等.吉木萨尔页岩油区块防漏堵漏技术[J].石油钻探技术,2021,49(4):66-70.
ZHOU Shuangjun, ZHU Lixin, YANG Sen, et al. Technology for preventing and controlling circulation loss in Jimsar shale oil block[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021,49(4):66-70.
- [7] DONALD L, TERRY H. All lost-circulation material and systems are not created equal[C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 2003.
- [8] 李旭东,郭建华,王依建,等.凝胶承压堵漏技术在普光地区的应用[J].钻井液与完井液,2008,25(1)85-90.
LI Xudong, GUO Jianhua, WANG Yijian, et al. The application of mud loss control under pressures with gelled LCM in Pu-guang area[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2008,25(1)85-90.
- [9] 王中华.聚合物凝胶堵漏剂的研究与应用进展[J].精细与专用化学品,2011,19(4):16-20.
WANG Zhonghua. Research and application progress of the polymer gel plugging agent[J]. Fine and Specialty Chemicals, 2011,19(4):16-20.
- [10] 于澄.聚合物凝胶堵漏剂的研究[D].北京:中国地质大学(北京),2016.
YU Cheng. Polymer gel plugging technology research[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2016.
- [11] 王宏超.低密度膨胀型堵漏浆在湘页1井的应用[J].石油钻探技术,2012,40(4):43-46.
WANG Hongchao. Application of expandable low-density slurry plugging technique in Well Xiangye 1[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012,40(4):43-46.
- [12] 李伟,白英睿,李雨桐,等.钻井液堵漏材料研究及应用现状及堵漏技术对策[J].科学技术与工程,2021,21(12):4733-4743.
LI Wei, BAI Yingrui, LI Yutong, et al. Research and application progress of drilling fluid lost circulation materials and technical countermeasures for lost circulation control[J]. Science Technology and Engineering, 2021,21(12):4733-4743.
- [13] 王伟志,刘庆来,郭新健,等.塔河油田防漏堵漏技术综述[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(3):42-46,50.
WANG Weizhi, LIU Qinglai, GUO Xinjian, et al. Review of lost circulation prevention and plugging techniques in Tahe Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(3):42-46,50.
- [14] 李锦峰.恶性漏失地层堵漏技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(5):19-27.
LI Jinfeng. The status and development direction of plugging technology for severe circulation loss formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(5):19-27.
- [15] 吴天乾,李明忠,蒋新立,等.杭锦旗地区裂缝性漏失钻井堵漏技术研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):49-53.
WU Tianqian, LI Mingzhong, JIANG Xinli, et al. Research and application of plugging technology for fracture type leakage in the Hangjinqi area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(2):49-53.
- [16] 熊正强,陶士先,刘俊辉,等.延迟交联凝胶研制及其在广西某铀矿堵漏应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(4):140-144.
XIONG Zhengqiang, TAO Shixian, LIU Junhui, et al. Development and application of delayed crosslinked gel for lost circulation treatment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(4):140-144.
- [17] 李得新,首照兵,吴金生.页岩气基础地质调查万地1井堵漏技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(2):23-26.
LI Dexin, SHOU Zhaobin, WU Jinsheng. Plugging technology in Wandì 1 Well for basic geological survey of shale gas in Micangshan-Dabashan Frontal Zone[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(2):23-26.

(编辑 李艺)