

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2014.01.011

聚铝胺盐防塌钻井液研究与应用

马 超¹, 赵 林¹, 宋元森²

(1. 长江大学石油工程学院, 湖北武汉 430100; 2. 中国石油长城钻探工程有限公司, 辽宁盘锦 124010)

摘 要:为解决吉林油田伊通、大安等区块软泥岩和硬脆性泥岩地层坍塌的问题,从聚胺盐与聚铝盐的抑制防塌机理出发,将两者复配,以发挥两者的协同效应提高钻井液的抑制防塌性能,结合吉林油田软泥岩和硬脆性泥岩地层钻井工程实际情况,通过试验优选其他添加剂及加量,优选出了具有强抑制性的聚铝胺盐防塌钻井液配方,其配方为 2.0% 钠基膨润土+2.0% 封堵剂聚铝盐 PAC-1+3.0% 抑制剂聚胺盐 HPA+1.0% 降滤失剂 SMP-1+1.5% 降滤失剂 APC-026+2.0% 抑制剂磺化沥青+pH 值调节剂 NaOH。性能评价结果表明:强水敏泥岩在聚铝胺盐防塌钻井液中的一次回收率为 75%、膨胀率为 17.4%;聚铝胺盐防塌钻井液能抗 15% NaCl 和 1% CaCl₂ 污染,耐 150 ℃ 高温。14 口井的现场应用表明:聚铝胺盐防塌钻井液的抑制性和封堵能力强,能有效防止泥岩坍塌,解决了吉林油田伊通、大安等区块泥岩地层钻井过程中因井壁坍塌和缩径造成的掉块、起下钻遇阻等问题。

关键词:防塌钻井液 泥岩 井塌 抑制剂 降滤失剂 吉林油田

中图分类号:TE254 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2014)01-0055-06

Research and Application of Anti-Sloughing Drilling Fluid of Poly Aluminum-Amine Salt

Ma Chao¹, Zhao Lin¹, Song Yuansen²

(1. College of Petroleum Engineering, Yangtze University, Wuhan, Hubei, 430100, China; 2. CNPC Great Wall Drilling Company, Panjin, Liaoning, 124010, China)

Abstract: To solve the problem of soft mudstone and hard brittle shale formation collapse in Yitong, Da'an blocks, Jilin Oilfield, polyamine salt and poly aluminum salt were compounded to give full play to their synergy effect in enhancing the inhibition anti-collapse performance of drilling fluid. According to the practice of soft rock and hard brittle shale formations drilling in Jilin Oilfield, the other additives and their dosage were optimized through experiments, ultimately the poly aluminum amine salt drilling fluid formula with strong inhibition was obtained: 2.0% sodium base bentonite+2.0% blocking agent poly aluminum salt PAC-1+3.0% HPA inhibitors poly amine salt+1.0% fluid loss agent SMP-1+1.5% fluid loss agent APC-026+2.0% inhibitors sulfonated asphalt+the pH regulator NaOH. Performance evaluation showed that: strong water-sensitive shale recovery was 75%, and swelling rate was 17.4% in poly aluminum amine salt anti-collapse drilling fluid; and the drilling fluid could tolerate 15% NaCl and 1% CaCl₂, temperature up to 150 ℃. Field application results showed that: the poly aluminum amine salts drilling fluid had strong inhibition and blocking ability and could effectively prevent the wellbore collapse when drilling through shale formation, which solve sloughing, drill string sticking, and slacking due to wellbore collapse in shale formation drilling in the region.

Key words: anti-sloughing drilling fluid; mud stone; hole caving; inhibitor; filtrate reducer; Jilin Oilfield

吉林油田伊通、大安等区块钻井过程中,在钻遇永吉组软泥岩地层、奢岭组和双阳组硬脆性泥岩地层时,井塌严重。针对该问题,常用的处理方法是在钻井液中加入 KCl、有机小阳离子防膨剂和聚胺盐抑制剂。加 KCl 工作量大,加有机小阳离子防膨剂容易受固相分离系统的影响而使钻井液性能不稳定,而聚胺盐抑制剂对硬脆性泥岩的抑

收稿日期:2013-05-05; **改回日期:**2013-12-04。

作者简介:马超(1979—),男,陕西咸阳人,1999年毕业于江汉石油学院环境工程专业,2006年获长江大学油气田开发工程专业硕士学位,在读博士研究生,讲师,主要从事油田化学方面的研究。

联系方式:mc19790924@126.com。

基金项目:国家科技重大专项“高含硫气藏安全高效开发技术”子课题“超深水平井钻井液技术”(编号:2011ZX05017-002-HZ07)部分研究内容。

制作用较差。因此,针对伊通、大安区块的井塌问题,需要从提高钻井液的抑制性、确定钻井液的合理密度入手来解决。近年来,国内外学者在提高钻井液抑制性方面的研究,主要集中在聚胺盐基与聚铝盐基钻井液方面:张洪伟、钟汉毅、王昌军等人^[1-5]研究了聚胺盐的抑制机理,王佩平、余可芝等人^[6-7]介绍了其应用情况;王树永等人^[8]认为聚铝盐主要通过封堵微裂缝来提高井壁的稳定性。在钻井液中添加聚胺盐或聚铝盐,虽其机理不同,但均是用以提高钻井液的抑制性和防塌能力。笔者从聚胺盐和聚铝盐的抑制机理出发,认为聚胺盐更适合于伊蒙混层含量高的软泥岩地层,聚铝盐更适合于封堵伊利石含量高的硬脆性泥岩,因此结合吉林油田伊通、大安等区块钻遇软泥岩和硬脆性泥岩的情况,将两者协同使用,优选出了抑制防塌性能非常强的聚铝胺盐防塌钻井液,并进行了现场应用。

1 易塌地层岩性及矿物分析

伊通区块的井塌主要集中在永吉组、奢岭组和双阳组地层。永吉组为厚层块状深灰色泥岩地层,泥岩质较纯,性软。奢岭组和双阳组地层上部以深灰色泥岩为主,中部为深灰、灰黑色泥岩,下部为黑色泥岩,多微裂缝,性脆。笔者选取伊68井奢岭组地层的岩心进行电镜及矿物组分分析,结果见表1和图1—2。

从表1可以看出,伊68井奢岭组地层黏土含量33%~45%,伊利石含量平均为22%,伊/蒙混层平均含量为19%,属强水敏地层。伊利石在电子显微镜下常呈不规则的鳞片状集合体(晶体),能剥开,性脆、易碎、无膨胀性和可塑性(见图1—2),伊利石晶层之间的静电引力很强,晶层间联接很紧,水化作用只能在颗粒外表面进行,极性水分子很难进入层间空隙,

表1 伊68井奢岭组黏土矿物分析结果

Table 1 Results of clay mineral analysis of Sheling Formation in Well Yi 68

岩样号	井深/m	黏土总量, %	伊/蒙间层含量, %		伊利石含量, %		高岭石含量, %		伊/蒙间层比, %
			相对	绝对	相对	绝对	相对	绝对	
1	2 068	44.00	13	5.72	15	6.60	72	31.68	15
2	2 068	37.66	10	3.77	13	4.90	77	29.00	15
3	2 068	45.34	14	6.35	17	7.71	69	31.28	10
4	2 068	40.01	14	5.60	16	6.40	70	28.01	10
5	2 017	40.66	48	19.52	37	15.04	15	6.10	10
6	2 017	36.43	38	13.84	40	14.57	22	8.01	10
7	2 017	31.16	10	3.12	16	4.99	74	23.06	15
8	2 017	33.76	23	7.77	14	4.73	63	21.27	10

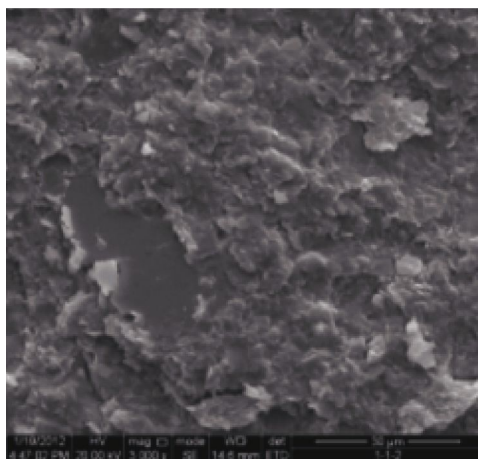


图1 伊68井岩心平面电镜扫描

Fig. 1 Scanning electron micrographs of core plane in Well Yi 68

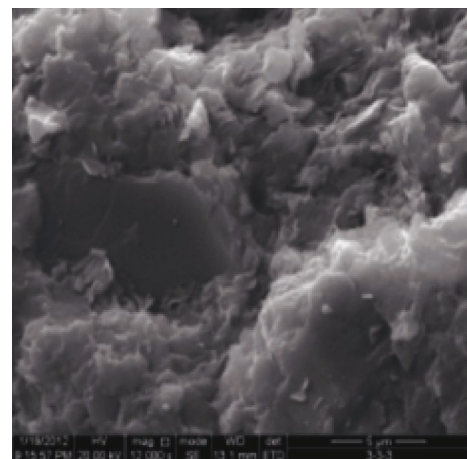


图2 伊68井岩心剖面电镜扫描

Fig. 2 Scanning electron micrographs of core section in Well Yi 68

水化膨胀性弱^[9]。伊蒙混层可导致黏土矿物间产生不均匀的水化膨胀分散,会使岩石内部产生不均匀应力,从而产生大量的微孔隙,这些微孔隙进一步扩展,进而破坏岩石的内部结构,最终导致岩石水化分散剥离^[10]。

2 聚铝胺盐防塌钻井液配方优选

2.1 钻井液配方优选思路及基本性能要求

伊通区块泥岩地层对钻井液的基本要求是抑制性强、封堵能力高、密度合理、性能稳定、易于维护处理。抑制性强,可减轻钻井液滤液侵入造成的泥岩水化膨胀。封堵能力高,可封堵地层孔隙和微裂缝,延缓压力传递和阻止钻井液滤液侵入。密度合理,可保持井壁稳定。该区块前期使用的阳离子聚合醇钻井液虽然防塌抑制能力较强,但需要保持高浓度聚合醇和低膨润土含量,对固控设备要求高。另外,阳离子聚合醇钻井液中的阳离子沥青油溶物颗粒粗,难以通过振动筛,造成油溶物被筛出,很难起到封堵作用,因而导致其封堵能力减弱。因此,笔者根据伊通区块前期钻井液的基本性能及泥岩地层对钻井液抑制性和封堵性的要求,提出聚铝胺盐防塌钻井液的基本性能必须满足以下要求:表观黏度要控制在 25~35 mPa·s;塑性黏度控制在 10~25 mPa·s;动切力控制在 4~10 Pa;API 滤失量必须低于 4 mL;密度在 1.20~1.5 kg/L 范围内可调;初切力控制在 2~4 Pa,终切力控制在 4~10 Pa。

2.2 主要添加剂优选

2.2.1 试验仪器和药品

试验仪器主要有 ZNN-D6S 型六速旋转黏度计、ZNS-2A 型中压滤失仪、XGRL-4 型高温滚子加热炉和 HTP-2 型高温高压页岩膨胀仪等。

试验药品主要有聚胺盐抑制剂 HPA、聚胺盐抑制

剂 ULT、聚胺盐抑制剂 UHIB、聚铝盐 PAC-1 和 PAC-2、硫酸铝钾、铝酸钠、硫酸铝、磺化沥青 APC-026、降滤失剂 SMP-II 和钠基膨润土等。

2.2.2 聚胺盐抑制剂和聚铝盐封堵剂优选

在 2.0% 钠基膨润土浆中加入聚胺盐抑制剂和聚铝盐封堵剂,采用岩屑回收率试验^[11]评价聚胺盐抑制剂和聚铝盐封堵剂的抑制封堵能力,结果见表 2;采用页岩膨胀率试验^[12]评价聚胺盐抑制剂和聚铝盐封堵剂的防膨能力,结果见表 3。岩屑回收率试验和页岩膨胀率试验采用吉林油田伊 59-14-10 井深 2 650.00 m 处的岩屑。

从表 2 可以看出:聚铝盐的回收率明显高于无机铝盐;2 种聚铝盐相比较,聚铝盐 PAC-1 的回收率高,一次和二次回收率分别达到 73.8% 和 70.2%,因此聚铝盐 PAC-1 的加量确定为 2.0%;2.0% 聚铝盐 PAC-1 与 3.0% 的聚胺盐 ULT 或聚胺盐 HPA 复配后的抑制效果都很好,一次回收率分别为 87.9% 和 87.6%。岩屑回收率试验和页岩膨胀率试验所用的岩样为软泥岩,而钻井液性能评价的相关标准并没有对软泥岩岩屑的回收率和膨胀率做出规定,根据前期现场钻井作业要求,一次回收率大于 70%、膨胀率低于 4% 就能完全能满足工程要求。从表 3 可以看出,2.0% 聚铝盐 PAC-1 与 3.0% 的聚胺盐 ULT 或聚胺盐 HPA 复配作用下岩心膨胀率相差不大,但聚胺盐 ULT 为国外产品,价格是国产聚胺盐 HPA 的 2 倍左右,考虑到钻井成本,选择聚胺盐 HPA 作为抑制剂。根据上述试验结果,确定聚铝胺盐防塌钻井液的基本配方为:2.0% 钠基膨润土+2.0% 封堵剂聚铝盐 PAC-1+3.0% 抑制剂聚胺盐 HPA。

2.3 聚铝胺盐防塌钻井液性能评价

为进一步提高钻井液的抑制性、降低滤失量,通过试验优选出其他添加剂及加量,最后确定聚铝胺

表 2 岩屑回收率试验结果

Table 2 Results of drill cutting recovery rate

添加剂及加量	岩屑回收率, %		添加剂及加量	岩屑回收率, %	
	一次	二次		一次	二次
2.0% 聚铝盐 PAC-1	55.6	18.3	2.0% 聚铝盐 PAC-1 + 1.5% 聚胺盐 HPA	76.3	72.8
2.0% 聚铝盐 PAC-2	73.8	70.2	2.0% 聚铝盐 PAC-1 + 1.5% 聚胺盐 ULT	79.1	74.6
2.0% 铝酸钠	66.7	66.8	2.0% 聚铝盐 PAC-1 + 1.5% 聚胺盐 UHIB	75.2	70.0
2.0% 硫酸铝	50.5	40.5	2.0% 聚铝盐 PAC-1 + 3.0% 聚胺盐 HPA	87.6	85.2
2.0% 硫酸铝钾	58.9	42.3	2.0% 聚铝盐 PAC-1 + 3.0% 聚胺盐 ULT	87.9	86.2
	53.4	41.7	2.0% 聚铝盐 PAC-1 + 3.0% 聚胺盐 UHIB	78.2	74.0

表3 页岩膨胀试验结果

Table 3 Results of shale swelling

试验液体	岩心初始高度/mm	膨胀量/mm	膨胀率/%
清水	5.254	1.603	30.5
基浆+2.0%聚铝盐 PAC-1+3.0%聚胺盐 HPA	5.378	0.120	2.2
基浆+2.0%聚铝盐 PAC-1+3.0%聚胺盐 ULT	5.238	0.126	2.4
基浆+2.0%聚铝盐 PAC-1+3.0%聚胺盐 UHIB	5.238	0.126	2.4

盐防塌钻井液的配方为2.0%钠基膨润土+2.0%封堵剂聚铝盐 PAC-1+3.0%抑制剂聚胺盐 HPA+1.0%降滤失剂 SMP-1+1.5%降滤失剂 APC-026+2.0%抑制剂磺化沥青+pH值调节剂 NaOH。聚铝胺盐防塌钻井液的基本性能为:密度 1.23 kg/L,表观黏度 33.5 mPa·s,塑性黏度 24 mPa·s,动切力 8.2 Pa,动塑比 0.35,API 滤失量 3.3 mL,静切力 4/8 Pa。

2.3.1 抑制性和防塌性能评价

利用吉林油田伊 59-14-10 井井深 2 770.00 m 处的岩屑,进行岩屑回收率试验和页岩膨胀率试验,评价聚铝胺盐防塌钻井液和阳离子聚合醇钻井液的抑制性和防塌性能,结果见图 3—5。

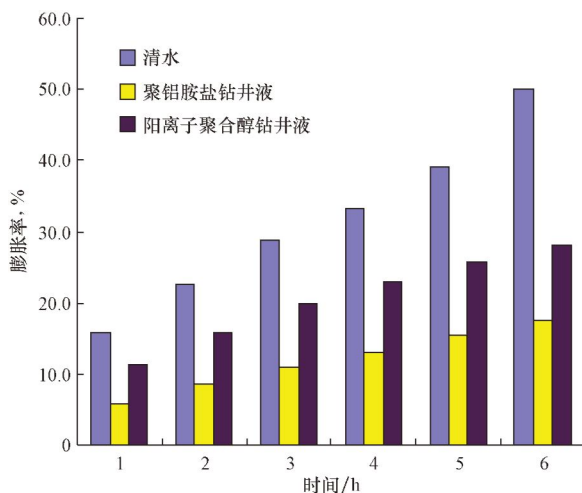


图3 岩屑在3种钻井液中不同时间的膨胀率

Fig. 3 Expansion of cuttings in three kinds of drilling fluids at different times

从图 3—4 可以看出,岩屑在聚铝胺盐防塌钻井液、阳离子聚合醇钻井液和清水中 6 h 的膨胀率分别为 17.4%、28.2% 和 50.0%,回收率分别为 45%、75% 和 61%。由于所采用的是伊 59-14-10 井井深 2 770.00 m 处极强水敏性的软泥岩,在页岩膨胀率试验过程中出现强蠕变现象,岩屑回收率也比较低。由图 5 可知:聚铝胺盐防塌钻井液中的岩屑经过滚动后比较完整,棱角分明,而清水中的岩屑经过滚动后粒径明显减小,棱角明显消失。这进一步说明了

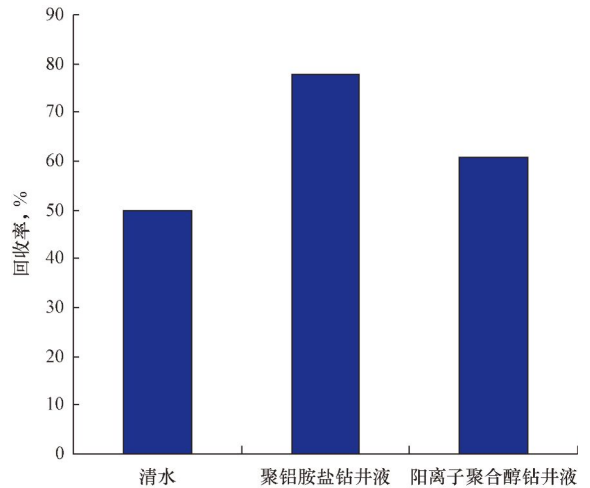


图4 岩屑在3种钻井液中的回收率

Fig. 4 Recovery rate of cuttings in three kinds of drilling fluids

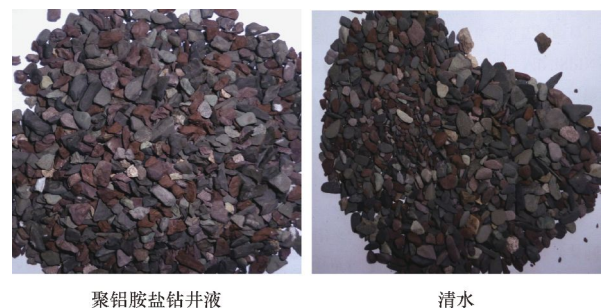


图5 在聚铝胺盐钻井液和清水中热滚后的岩屑

Fig. 5 Cuttings after hot rolling in poly aluminum-amine salts drilling fluid and water

聚铝胺盐防塌钻井液具有强抑制性和高防坍塌能力。

聚铝盐在高 pH 值环境中水解形成两性氢氧化物和四羟基铝阴离子,但当遇到 pH 值为 5~6 的地层水时,就会与黏土结合形成具有固结作用的硅铝酸盐不渗透层,阻止钻井液滤液进一步侵入,从而能显著增强井壁的稳定性^[4]。聚胺盐抑制剂在水解过程中产生阳离子,与黏土形成静电吸附,从而抑制黏土的水化分散,且高浓度的胺基基团能保证有机游离胺吸附在黏土表面抑制其水化分散,其弱碱性及弱离解性还能使聚胺的作用浓度一直处于平衡状

态,持续与地层孔隙表面黏土中最活跃、易水化的基团作用^[13-15]。

2.3.2 抗温性和抗盐污染性能

结合吉林油田伊通、大安等区块钻井工程的实际需要,要求钻井液抗 120 ℃高温。因此,将聚铝胺盐防塌钻井液在 25~150 ℃温度下热滚 16 h,测其表观黏度和 API 滤失量,结果见表 4。

由表 4 可知,随着温度的升高,聚铝胺盐防塌钻井液的表观黏度降低,其 API 滤失量有升高趋势,但在 120 ℃内其表观黏度和 API 滤失量都能达到要求。因此,聚铝胺盐防塌钻井液的抗温性完全能满足吉林油田伊通、大安等区块钻井工程的需要。

表 4 聚铝胺盐防塌钻井液在不同温度下的表观黏度和 API 滤失量

Table 4 Apparent viscosity and API filtration of poly aluminum-amine salt anti-sloughing drilling fluid at different temperatures

温度/℃	表观黏度/mPa·s	API 滤失量/mL
25	33.5	3.3
80	32.0	3.4
100	30.5	3.6
120	30.0	3.8
140	29.0	3.7
150	27.0	3.9

在聚铝胺盐防塌钻井液中加入不同量的 NaCl 和 CaCl₂,测其老化前后的表观黏度和 API 滤失量,以评价其抗盐污染性能,结果见表 5。

表 5 聚铝胺盐防塌钻井液抗盐污染试验结果

Table 5 Results of salt resistance test of poly aluminum-amine salt anti-sloughing drilling fluid

NaCl 加量, %	表观黏度/mPa·s		API 滤失量/mL		CaCl ₂ 加量, %	表观黏度/mPa·s		API 滤失量/mL	
	老化前	老化后	老化前	老化后		老化前	老化后	老化前	老化后
0	33.5	33.5	3.0	3.3	0	33.5	30.5	3.0	3.2
5	31.5	31.5	3.2	3.6	0.5	28.0	22.5	3.6	3.8
8	30.0	30.0	3.5	4.0	1.0	26.0	20.0	4.8	5.2
10	30.0	30.0	3.8	4.2	3.0	17.0	10.0	5.6	7.0
15	32.5	32.5	4.0	5.0	5.0	8.0	9.0	5.6	7.9

从表 5 可以看出:聚铝胺盐防塌钻井液随着 NaCl 加量的增加,老化前后表观黏度变化不大,虽然老化后 API 滤失量有逐渐增大的趋势,但仍然满足要求(25~35 mPa·s),表明该钻井液抗 NaCl 污染的能力较强;随着 CaCl₂ 加量的增大,老化前后的表观黏度降低,API 滤失量升高,当 CaCl₂ 加量超过 1.0%时,其性能已不能满足钻井工程的要求。这是因为聚铝胺盐防塌钻井液中的铝盐与钙离子结合成凝胶,形成了絮凝。

3 现场应用

3.1 应用概况

聚铝胺盐防塌钻井液先后在吉林油田伊通、大安、大情字、乾安和海坨子等出现井塌的区块或地区 14 口井进行了应用,整个钻井过程均很顺利,未出现遇阻、划眼和卡钻等井下故障。而这些区块或地区在应用聚铝胺盐防塌钻井液前在钻井过程中经常出现各种井下故障。

3.2 现场维护及处理措施

1) 在钻至易塌地层时要保持聚铝基抑制剂不低于 1.5%,聚胺抑制剂不低于 2.0%,以便能更好地抑制泥岩的水化分散、缓解井眼缩径现象;降低钻井液的黏度和切力,使其形成紊流,冲蚀井壁以避免产生虚厚泥饼、缓解水化膨胀。

2) 在进入易塌地层前,用降滤失剂 SMP-1 和 APC-026 将钻井液的 API 滤失量调整至小于 3 mL,改善泥饼质量,抑制破碎性泥岩水化膨胀,延长水化周期,确保施工顺利。

3) 平衡地层压力。钻至易坍塌井段前,将钻井液密度逐渐调整至设计上限。起钻前再将钻井液密度提高 0.02 kg/L 以平衡地层压力,防止破碎性软泥岩塑性变形、剥落。用离心机将固相含量控制在设计范围内。

3.3 应用效果评价

伊通区块尤其是伊 59 区块,钻井施工难度非常大,经常出现井下故障。破碎性的硬脆性泥页岩水

化周期短,井壁垮塌现象严重,井径不规则,“糖葫芦”井眼、坍塌和缩径现象共存,掉块卡钻、起下钻遇阻等问题时常发生。起钻前必须用封井液封堵易塌井段,即使封堵也要划眼,划眼时间占钻进时间的比例较大;同时钻井液设计密度偏低,不能平衡地层压力。应用聚铝胺盐防塌钻井液后,以上问题得到解决,处理井下故障时间缩短、井径扩大率降低,电测、下套管顺利,固井质量得到提高。应用聚铝胺盐防塌钻井液的伊59-14-10井与未应用该钻井液的邻井伊59-14-17H相比,处理井下故障的时间缩短90%,易塌井段井径扩大率由29.0%降至14.4%。

4 结 论

1) 聚胺盐与聚铝盐复配可以充分发挥协同效应,进一步提高钻井液的防塌抑制性能。

2) 聚铝胺盐防塌钻井液和阳离子聚合醇钻井液相比,抑制性和封堵能力更强,性能更稳定,且易于维护。

3) 聚铝胺盐防塌钻井液能解决吉林油田伊通、大安等区块软泥岩和硬脆性泥岩地层坍塌的问题。

4) 为保持聚铝胺盐防塌钻井液的稳定,在配制和使用时需要严格控制钠基膨润土的含量(小于2%), Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的质量分数不超过1%。

参 考 文 献

References

- [1] 张洪伟,左凤江,贾东民,等. 新型强抑制胺基钻井液技术的研究[J]. 钻井液与完井液,2011,28(1):14-17.
Zhang Hongwei, Zuo Fengjiang, Jia Dongmin, et al. Research on new high inhibition amino drilling fluid[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2011, 28(1): 14-17.
- [2] 钟汉毅,邱正松,黄维安,等. 聚胺水基钻井液特性实验评价[J]. 油田化学,2010,27(2):119-123.
Zhong Hanyi, Qiu Zhengsong, Huang Weian, et al. Experimental evaluation on polyamine water-based drilling fluid[J]. Oil-field Chemistry, 2010, 27(2): 119-123.
- [3] 王昌军,许明标,苗海龙. 聚胺 UHIB 强抑制性钻井液的室内研究[J]. 石油天然气学报,2009,31(1):80-83.
Wang Changjun, Xu Mingbiao, Miao Hailong. Experimental study on polyamine high inhibitive (UHIB) drilling fluid[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(1): 80-83.
- [4] 张瑜,张国,徐江,等. 新型聚胺钻井液在都护4井泥岩段的应用[J]. 石油钻探技术,2012,40(6):33-37.
Zhang Yu, Zhang Guo, Xu Jiang, et al. Application of novel polyamine drilling fluid in mudstone section of Well Duhu 4 [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(6): 33-37.
- [5] 钟汉毅,邱正松,黄维安,等. 胺类页岩抑制剂特点及研究进展[J]. 石油钻探技术,2010,38(1):104-108.
Zhong Hanyi, Qiu Zhengsong, Huang Weian, et al. Development and features of amine shale inhibitors[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(1): 104-108.
- [6] 王佩平,王立亚,沈建文,等. 胺类抑制剂在临盘地区的应用[J]. 钻井液与完井液,2011,28(3):35-38.
Wang Peiping, Wang Liya, Shen Jianwen, et al. Application of amine inhibitor in Linpan Block[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2011, 28(3): 35-38.
- [7] 余可芝,许明标. 聚胺钻井液在南海流花26-1-1井的应用[J]. 石油天然气学报,2011,33(9):119-122.
Yu Kezhi, Xu Mingbiao. Application of polyamine drilling fluid in Liuhua 26-1-1 Well[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(9): 119-122.
- [8] 王树永. 铝胺高性能水基钻井液的研究与应用[J]. 钻井液与完井液,2008,25(4):23-25.
Wang Shuyong. The studies and application of water base drilling fluids treated with aluminum and amine compounds[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2008, 25(4): 23-25.
- [9] Amorim C L G, Lopes R T, Barros R C, et al. Effect of clay-water interactions on clay swelling by X-ray diffraction[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2007, 580(1): 768-770.
- [10] Christidis G E, Blum A E, Eberl D D. Influence of layer charge and charge distribution of smectites on the flow behaviour and swelling of bentonites[J]. Applied Clay Science, 2006, 34(1/4): 125-138.
- [11] SY/T 6335—1997 钻井液用页岩抑制剂评价方法[S].
SY/T 6335—1997 Evaluation procedure of drilling fluids shale inhibitor[S].
- [12] SY/T 5613—2000 泥页岩理化性能试验方法[S].
SY/T 5613—2000 Methods for testing shale physics and chemistry properties[S].
- [13] Orville W, Li-Jein L. Cationic polymer mud solves gumbo problems in North Sea[J]. Oil and Gas Journal, 1992, 90(28): 53-57.
- [14] 赵欣,邱正松,石秉忠,等. 深水聚胺高性能钻井液试验研究[J]. 石油钻探技术,2013,41(3):35-39.
Zhao Xin, Qiu Zhengsong, Shi Bingzhong, et al. Experimental study on high performance polyamine drilling fluid for deep-water drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(3): 35-39.
- [15] 张浩. 铝胺基钻井液在夏103-1HF井的应用[J]. 石油钻探技术,2013,41(2):59-64.
Zhang Hao. Application of aluminum-amine drilling fluid in Well Xia 103-1HF[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(2): 59-64.

[编辑 刘文臣]