

◆固井与泥浆◆

高温抗盐隔离液 XH 添加剂的室内研究

陈永红 杨远光

(西南石油大学 石油工程学院, 四川 成都 610500)

摘要:目前,深井超深井等复杂井越来越多,对隔离液的抗盐和抗温性能要求也越来越高,普通隔离液已不能满足固井需要。为此,通过大量室内试验,研制出了一种高温抗盐隔离液添加剂 XH。该添加剂主要由增黏剂 A、悬浮剂 B、消泡剂 C、海泡石和重晶石以及水组成,对其进行了室内性能评价,并得出了一种最佳配比。性能评价结果表明,该隔离液具有优良的加重能力、稳定性、流变性、抗盐和抗温性能。

关键词:固井; 隔离液; 悬浮液; 水泥添加剂; 稳定性; 流变性

中图分类号:TE254⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2010)01-0050-06

随着油气勘探开发力度的不断加大,深井和超深井越来越多,而采用清水和普通隔离液不但降低了环空静液柱压力,而且由于钻井液和水泥浆密度、黏度相差悬殊,在固井注替过程中,极易出现混窜、油气侵等情况,不能达到有效封隔地层的效果。为适应复杂井的需要,要求隔离液有相应的高密度,并且要求其在井下仍能与钻井液保持一定的密度差和切力差^[1]。但目前国内高密度黏性隔离液仍存在抗温性能不够,表现为高温条件下悬浮稳定性能不好,且一般不适用于盐水钻井液或水泥浆体系^[2]。为解决目前常用的隔离液不能既抗温又抗盐的问题,笔者研制出了一种高温抗盐隔离液添加剂 XH,可配制较大密度范围的隔离液,且各项性能都较好。

1 XH 的主要组成、试验仪器及方法

1.1 XH 的主要组成

隔离液添加剂 XH 主要由增黏剂 A、悬浮剂 B、消泡剂 C、海泡石、重晶石以及水组成。增黏剂 A 在水溶液中形成双螺旋结构,具有增稠、悬浮、耐盐和耐温等性能;悬浮剂 B 与增黏剂 A 复配主要起到悬浮作用,同时也能够提高黏度,降低滤失量,并且使体系保持良好的稳定性。

1.2 主要仪器

ZNN-D6型六速旋转黏度计,OWC-9630恒速搅拌器,OWC-2250常压稠化仪,OWC-9710高压失水仪,GW300型变频高温滚子加热炉等。

1.3 试验方法

隔离液的制备和室内性能评价参照 API 规范进行。隔离液添加剂 XH 以增黏剂 A 为主要材料,悬浮剂 B、消泡剂 C 为辅助材料,复配时要注意其化学协同作用,较大地发挥各外加剂的作用,为了使隔离液适应较大的作业范围,对其在不同温度、不同盐浓度和不同密度下进行了流变性等的测定。

2 性能评价

2.1 增黏剂 A 的性能评价

国内有关隔离液的研究和开发基础薄弱,以至于相当一部分油田还以清水、稀水钻井液和简单的钻井液代替^[3]。这些普通隔离液不能很好地悬浮固体颗粒和钻屑,其黏度低,使顶替效率降低,严重影响固井质量^[4]。

增黏剂 A 是一种高分子多糖聚合物,含大量羟基与水分子氢键吸附发生溶胀和溶解,用量小,在很低浓度下,其黏度相当于相同浓度明胶溶液黏度的 100 倍,增稠、增黏效果显著^[5]。特殊的分子结构使其具有增稠、悬浮、耐盐、耐温、耐酸碱和抗剪切性能^[6-7]。笔者通过大量的室内试验,测定了增黏剂 A 的加量对液体流变性能的影响。表 1 为不同温度下

收稿日期:2009-01-16;改回日期:2009-11-20

作者简介:陈永红(1984—),女,四川三台人,2007 年毕业于西南石油大学应用化学专业,在读硕士研究生。

联系方式:(028)83032926,bowen_0903@163.com

0.3%~0.5%增黏剂A(增黏剂A的加量为其与水的质量比)对液体流变性影响的测试结果。

表1 不同温度下增黏剂A对液体流变性的影响

温度/℃	流性指数n			稠度系数K/Pa·s ⁿ		
	0.3%增黏剂A	0.4%增黏剂A	0.5%增黏剂A	0.3%增黏剂A	0.4%增黏剂A	0.5%增黏剂A
23	0.479 1	0.439 4	0.372 8	0.424 7	0.931 5	1.948 0
50	0.415 0	0.306 6	0.341 0	0.403 1	1.434 0	1.827 0
60	0.378 5	0.304 8	0.299 5	0.482 2	1.297 0	2.051 0
70	0.415 0	0.285 4	0.309 3	0.345 5	1.378 0	1.707 0
80	0.371 9	0.351 4	0.308 1	0.426 9	0.827 6	1.570 0

由表1可知,增黏剂A的水溶液在23~80℃温度范围内具有较好的流变性能,0.3%增黏剂A的水溶液流性指数n为0.371 9~0.479 1,稠度系数K为0.345 5~0.482 2;0.4%增黏剂A的水溶液流性指数n为0.285 4~0.439 4,稠度系数K为0.827 6~1.434 0;0.5%增黏剂A的水溶液流性指数n为0.299 5~0.372 8,稠度系数K为1.570 0~2.051 0,这说明增黏剂A的抗温性能好。

为检验增黏剂A对隔离液常用加重剂的悬浮特性,测试了以增黏剂A为主的基液在不同温度条件下用重晶石加重的隔离液的流变性能。表2是密度分别为1.20、1.40和1.60 kg/L隔离液的试验结果。同时测定了各配方隔离液在不同温度下的悬浮性能,上下密度差都在±0.050 kg/L内,测试方法为250 mL量筒的满刻度隔离液密封放置5 h后,测其上下密度差。

表2 增黏剂A对不同密度隔离液流变性的影响

密度/kg·L ⁻¹	配方			温度/℃	流性指数n	稠度系数K/Pa·s ⁿ	塑性黏度μ _p /mPa·s	动切力τ ₀ /Pa
	重晶石/g	A, %	C, %					
1.20	84.0	1.2	0.2	28	0.459 4	0.931 5	12.0	10.22
				75	0.381 8	0.779 1	5.0	5.88
				90	0.341 0	0.913 7	4.0	5.62
1.40	180.0	0.6	0.1	25	0.479 1	0.849 4	13.0	10.22
				75	0.366 1	1.172 0	6.5	8.17
				90	0.342 8	1.234 0	5.5	7.66
1.60	290.7	0.4	0.1	26	0.531 7	0.853 1	20.5	13.03
				75	0.455 6	1.043 0	13.0	11.24
				90	0.447 4	1.035 0	12.0	10.73

注:增黏剂A、消泡剂C的加量均为与重晶石的质量比。

由表2可知,随着密度的增加,增黏剂A的加量减少,在25~90℃的温度范围内,流性指数n为0.341 0~0.531 7,稠度系数K为0.779 1~1.234 0,塑性黏度μ_p≤20.0 mPa·s,都能保持良好的流变性和悬浮性。

为进一步评价增黏剂A的抗盐能力,测试了以

增黏剂A为主的基液(290.77 g重晶石+0.90 g增黏剂A+0.60 g消泡剂C)在不同盐浓度条件下的流变性及悬浮稳定性,表3、表4分别为室温和90℃温度下密度为1.60 kg/L隔离液中加入15%~36%NaCl(按水的质量计算)后在不同温度下的试验结果。

表3 盐对增黏剂A流变性能的影响(室温)

NaCl加量, %	流性指数n	稠度系数K/Pa·s ⁿ	塑性黏度μ _p /mPa·s	动切力τ ₀ /Pa
0	0.584 9	0.505 0	19.0	9.71
15	0.670 3	0.363 4	27.5	9.71
20	0.644 9	0.503 6	31.0	12.26
25	0.667 4	0.405 7	30.0	10.73
30	0.722 0	0.274 5	31.5	8.68
36	0.725 2	0.272 0	32.0	8.68

注:不同NaCl加量的隔离液在250 mL量筒满刻度中密封放置5 h测其上下密度差在±0.05 kg/L内。

表4 盐对增黏剂A流变性能的影响(90℃)

NaCl加量, %	流性指数 n	稠度系数 $K/\text{Pa} \cdot \text{s}^n$	塑性黏度 $\mu_p/\text{mPa} \cdot \text{s}$	动切力 τ_0/Pa
0	0.528 0	0.492 3	11.5	7.41
15	0.565 6	0.375 4	12.0	6.64
20	0.547 5	0.437 0	12.0	7.15
25	0.547 5	0.437 1	12.0	7.15
30	0.550 2	0.462 8	13.0	7.66
36	0.576 2	0.386 5	13.5	7.15

注:不同NaCl加量的隔离液在250 mL量筒满刻度中密封放置5 h测其上下密度差在±0.05 kg/L内。

由表3和表4可知,在NaCl加量为15%~36%范围内,室温时,流性指数 n 为0.584 9~0.725 2,稠度系数 K 为0.272 0~0.505 0,塑性黏度 $\mu_p \leq 32.0 \text{ mPa} \cdot \text{s}$;在90℃时,流性指数 n 为0.528 0~0.576 2,稠度系数 K 为0.375 4~0.923 0,塑性黏度 $\mu_p \leq 14.0 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 。

以上试验结果都说明了增黏剂A易溶于水,并具有很好的增黏效果,能在较宽的温度范围内保持稳定,同时具有很好的抗盐性能。

2.2 悬浮剂B的性能评价

悬浮剂B是非离子型天然改性聚合物,含有醇

羟基和强吸水性亲水基团,具有良好的悬浮、降滤失和增黏作用^[8]。

悬浮剂B与增黏剂A混合后,溶液的黏度会相应地增加,但笔者考虑到增黏剂A的成本较高,则利用悬浮剂B的悬浮性来降低增黏剂A的加量,且保持良好的性能。笔者测定了悬浮剂B的加量对溶液流变性能的影响。表5是2.0%和3.0%悬浮剂B(悬浮剂加量是与水的质量比)对溶液流变性影响的测定结果。

由表5可知,悬浮剂B的水溶液在26~80℃温度范围内具有较好的流变性能,其加量为2.0%时流性指数 n 为0.678 0~0.807 3,稠度系数 K 为

表5 不同温度下悬浮剂B对溶液流体流变性的影响

温度/℃	流性指数 n		稠度系数 $K/\text{Pa} \cdot \text{s}^n$	
	2.0%悬浮剂B	3.0%悬浮剂B	2.0%悬浮剂B	3.0%悬浮剂B
26	0.807 3	0.678 0	0.006 6	0.018 6
50	0.736 9	0.710 5	0.710 5	0.066 9
70	0.678 0	0.662 9	0.662 9	0.098 1
80	0.736 9	0.628 0	0.628 0	0.111 8

0.006 6~0.037 2;其加量为3.0%时流性指数 n 为0.628 0~0.710 5,稠度系数 K 为0.018 6~0.111 8,说明悬浮剂B具有一定的抗温性能。

为了验证悬浮剂B对已加重隔离液和含盐条件下隔离液的悬浮特性及其与增黏剂A的协同作用,试验中降低了增黏剂A的加量,加入悬浮剂B,配制出密度为1.40 kg/L的隔离液(重晶石+0.2%增黏剂A+0.1%消泡剂C+悬浮剂B),以及密度为1.60 kg/L的隔离液(290.77 g重晶石+0.6 g增黏剂A+3.0 g悬浮剂B+0.4 g消泡剂C),向其中加入20.0%和25.0%的NaCl,并分别测定它们在不同温度条件下的流变性及悬浮性。结果表明:

1)不含盐密度为1.40 kg/L的隔离液,加入悬浮剂B后的流性指数 n 为0.463 4~0.759 8,稠度系数 K 为0.167 6~1.874 3,塑性黏度 $\mu_p \leq 26.0$

$\text{mPa} \cdot \text{s}$,由此可知加入悬浮剂B后的隔离液仍具有良好的流变性;将该隔离液在250 mL量筒满刻度中密封放置5 h,测其上下密度差值在±0.05 kg/L内,而未加悬浮剂B的隔离液用同样方法测得的上下密度差大于0.05 kg/L,可见加入悬浮剂B的沉降性明显优于未加悬浮剂B的隔离液。

2)加入悬浮剂B后,将不含盐及含盐20%和25%密度为1.60 kg/L的隔离液进行比较得出,加入盐后其塑性黏度 μ_p 和动切应力 τ_0 明显增加,且不同盐浓度对其塑性黏度 μ_p 和动切应力 τ_0 均无太大影响,可知在盐溶液中悬浮剂B具有很好的抗盐稳定性能;另外,该隔离液在不含盐及含盐20.0%和25.0%的条件下,室温时流性指数 n 为0.584 9~0.750 9,稠度系数 K 为0.193 7~0.505 6,塑性黏度 $\mu_p \leq 30.0 \text{ mPa} \cdot \text{s}$;70℃时流性指数 n 为0.514 5~

0.520 8,稠度系数 K 为 0.577 9~0.913 1,塑性黏度 $\mu_p \leq 20.0 \text{ mPa} \cdot \text{s}$;90 °C 时流性指数 n 为 0.507 6~0.533 4,稠度系数 K 为 0.637 4~0.894 6,塑性黏度 $\mu_p \leq 18.0 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 。

综上分析,在不同盐浓度及不同温度条件下,加入悬浮剂 B 的隔离液具有良好的流变性及更好的悬浮稳定性能。

2.3 海泡石的性能评价

海泡石是富含镁的纤维黏土矿物,结构类似山软木土,但与山软木土相比具有更好的降失水效果。它能使所有类型的水增黏,可以在高温条件下使用而且不会有严重的胶凝或稀薄化。另外,它属于抗盐性黏土,具有极高的热稳定性等^[9-10]。

为了对比膨润土和海泡石的抗盐稳定性能,测试了以下两种配方的隔离液流变性,其盐加量均为 20%,密度都是 1.60 kg/L。

配方 1 300.00 g 水+0.90 g 增黏剂 A+0.60 g 消泡剂 C+12.00 g 膨润土+290.77 g 重晶石;

配方 2 300.00 g 水+0.90 g 增黏剂 A+0.60 g 消泡剂 C+6.00 g 海泡石+290.77 g 重晶石。

图 1~4 是试验测定配方 1 膨润土和配方 2 海泡石对加重隔离液的流性指数 n 、稠度系数 K 、塑性黏度 μ_p 和动切力 τ_0 的影响情况。

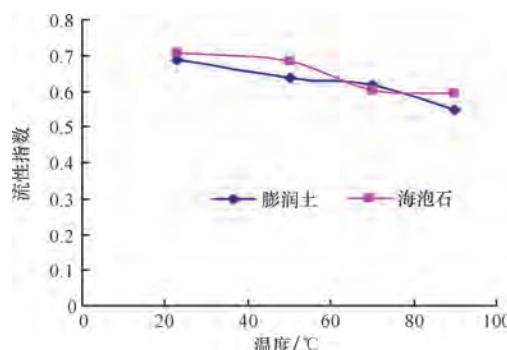


图 1 流性指数 n 值随温度变化的趋势

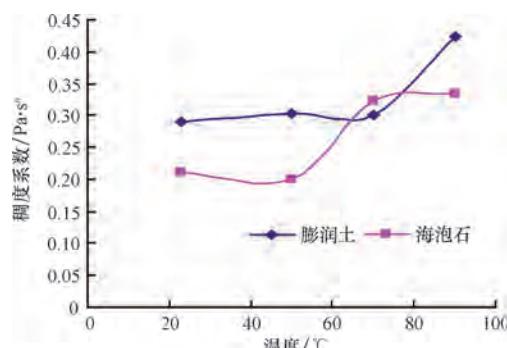


图 2 稠度系数 K 值随温度变化的趋势

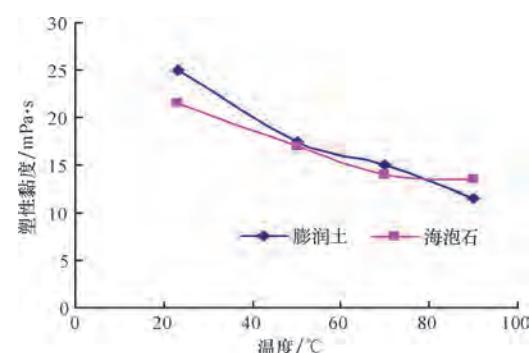


图 3 塑性黏度 μ_p 随温度变化的趋势

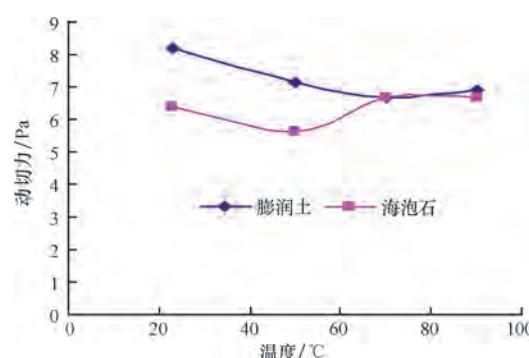


图 4 动切力 τ_0 随温度变化的趋势

从图 1~4 可以看出:随着温度的升高,两种配方隔离液的流性指数 n 都逐渐减小,但变化都不大;稠度系数 K 都逐渐增加;塑性黏度 μ_p 都逐渐减小;但加入膨润土的配方 1 其动切应力 τ_0 逐渐减小,而加入海泡石的配方 2 其动切应力 τ_0 是先降低后增加再趋于稳定。综上分析,海泡石的抗盐性比膨润土好。

隔离液要有控制失水的能力,一般失水量(测试条件为 30 min×7 MPa)应小于 120 mL。失水量低对于控制井壁坍塌和减小地层损害有一定的意义,并可以保持隔离液的性能不变化,在固井施工中大段使用,能更好地发挥作用。表 6 是对两种密度均为 1.60 kg/L 的隔离液的流变性及 API 失水量的测定结果(用测定水泥浆失水的试验方式)。

配方 1 300.00 g 水+0.90 g 增黏剂 A+3.00 g 悬浮剂 B+0.60 g 消泡剂 C+6.00 g 海泡石+290.77 g 重晶石;

配方 2 300.00 g 水+0.90 g 增黏剂 A+3.00 g 悬浮剂 B+0.60 g 消泡剂 C+290.77 g 重晶石。

由表 6 可知,配方 1 的流性指数 n 为 0.496 8~0.649 8,稠度系数 K 为 0.515 0~1.037 0,塑性黏度 $\mu_p \leq 33.0 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,API 失水量 108 mL;配方 2

表 6 海泡石对隔离液的流变性和失水的影响

配方	盐加量, %	温度/℃	流性指数 n	稠度系数 $K / Pa \cdot s^n$	塑性黏度 $\mu_p / mPa \cdot s$	动切力 τ_o / Pa	动塑比	失水量/mL
1	25	室温	0.649 8	0.515 0	33.0	12.77	0.387 0	
		50	0.558 5	0.863 2	26.0	14.81	0.569 0	108
		90	0.496 8	1.037 0	18.5	13.54	0.731 0	
2	25	室温	0.689 1	0.340 6	30.0	9.71	0.323 0	
		50	0.584 9	0.625 3	23.5	12.01	0.511 0	118
		90	0.507 6	0.894 6	17.5	12.26	0.701 0	

注:滤失量测试条件为 90 ℃×7 MPa,下同。

的流性指数 n 为 0.507 6~0.689 1,稠度系数 K 为 0.340 6~0.894 6,塑性黏度 $\mu_p \leq 30.0 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,API 失水量 118 mL,这表明海泡石也有降低失水和增黏的性能。

2.4 高温抗盐隔离液添加剂 XH 的性能评价

通过大量的室内试验,确定了最优高温抗盐隔离液添加剂 XH 的配方组成:增黏剂 A 为 0.2%,悬

浮剂 B 为 1.5%,消泡剂 C 与增黏剂 A 的比为 2:3,海泡石为 2.0%(增黏剂 A、悬浮剂 B、消泡剂 C、海泡石是与水的质量比),重晶石的加量是按照施工要求的隔离液密度而定的。

用所研制的隔离液添加剂 XH 配制密度分别为 1.60、2.10 和 2.30 kg/L 的隔离液,并对它们的流变性、悬浮性、流动度和 API 失水量进行了测定(用测定钻井液滤失的试验方式),结果见表 7。

表 7 隔离液添加剂 XH 的综合性能

密度/kg · L ⁻¹	盐加量, %	温度/℃	流性指数 n	稠度系数 $K / Pa \cdot s^n$	塑性黏度 $\mu_p / mPa \cdot s$	动切力 τ_o / Pa	动塑比	流动度/cm	失水量/mL
1.6	25	室温	0.698 4	0.347 7	33.0	10.22	0.309 7		
		50	0.604 9	0.564 2	25.0	11.75	0.470 1	25.0	32
		70	0.542 8	0.701 0	18.5	11.24	0.607 6		
		90	0.502 5	0.801 1	15.0	10.73	0.715 4		
2.1	25	室温	0.767 6	0.515 3	85.0	18.39	0.216 4		
		50	0.692 9	0.654 8	59.5	18.91	0.317 7	23.5	32
		70	0.709 3	0.419 7	43.5	12.77	0.293 6		
		90	0.725 8	0.287 4	34.0	9.19	0.270 5		
2.3	25	室温	0.728 6	0.934 7	113.0	30.15	0.266 8		
		50	0.649 4	1.300 0	83.0	32.19	0.387 8	21.5	59
		70	0.641 4	1.095 0	65.5	26.31	0.401 7		
		90	0.644 9	0.755 4	46.5	18.39	0.395 6		

从表 7 可以看出,加入高温抗盐隔离液添加剂 XH 的隔离液在 1.60~2.30 kg/L 的密度范围内均具有良好的流变性和悬浮性,流动度都在 20 cm 以上,API 失水量均小于 120 mL。

在大于 100 ℃的高温条件下,大多数隔离液添加剂的性能下降非常大,甚至失去了基本的隔离作用,因此对隔离液添加剂 XH 的抗高温能力的评价尤为重要,测定了隔离液添加剂 XH 在不同高温条件下的流变性能。表 8 是密度为 1.60 kg/L 的隔离

液的测定结果,同时测定了各自的悬浮性能。测定方法是让配好的隔离液在高温滚子加热炉里老化不同时间,然后在室温下对它们的流变性进行测定,并放入 250 mL 的量筒里,达满刻度处静止 1 h 后测定上下密度差。

从表 8 可以看出,高温抗盐隔离液添加剂 XH 在 120~150 ℃范围内仍然具有较好的悬浮性能,上下密度差 $\leq 0.106 \text{ kg/L}$ 。由表 8 还可以看出,在饱和盐水中隔离液添加剂 XH 的各方面性能比在淡水中好。

表8 隔离液添加剂XH的抗温性能

XH加量, %	温度/℃	盐加量, %	老化时间/min	流性指数n	稠度系数K/ Pa·s ⁿ	塑性黏度μ _p / mPa·s	动切力τ _o / Pa	上下密度差/ kg·L ⁻¹
3.5	120	0	180	0.5719	0.5341	18.0	9.71	0.068
		36	180	0.6352	0.4571	26.0	10.73	0.055
3.5	125	0	180	0.6129	0.3798	18.0	8.17	0.101
		36	180	0.7287	0.1900	23.0	6.13	0.074
3.5	130	0	180	0.6457	0.2824	17.5	6.89	0.106
		36	180	0.6946	0.2552	23.5	7.41	0.085
5.0	130	0	300	0.5849	0.6121	23.0	11.75	0.098
4.0	150	0	20	0.5421	0.9905	26.0	15.84	0.068
		0	40	0.5493	0.6812	19.0	11.24	0.061
		0	60	0.6521	0.3064	20.0	7.66	0.049
		0	80	0.6453	0.3561	22.0	8.68	0.077

3 结 论

1) 高温抗盐隔离液添加剂XH中增黏剂A、悬浮剂B、消泡剂C和海泡石的配比是经过大量试验对比分析的基础上确定的,它具有良好的流变性、悬浮性和抗温抗盐稳定性。

2) 加入添加剂XH的高温抗盐隔离液在密度为1.1~2.3 kg/L的范围内可调,在常温到90 ℃的温度条件下,且在不同盐加量甚至饱和盐条件下的流动度都在20 cm以上,API失水量均小于70 mL。

3) 高温抗盐隔离液添加剂XH在120~150 ℃的高温条件下仍然具有良好的流变性及悬浮稳定性,并且随着盐加量的增加,隔离液耐温性增强。

参 考 文 献

[1] 刘崇建,黄柏宗,徐同台,等.油气井注水泥理论与应用[M].北京:石油工业出版社,2001:113-124.

- [2] Saasen A, Svanes K, Omland T H, et al. Well cleaning performance[R]. SPE 87204, 2004.
- [3] 林志辉,王贵宏,侯占东,等.FM固井隔离液研究与应用[C]//《2004年固井技术研讨会论文集》编委会.2004年固井技术研讨会论文集.北京:石油工业出版社,2005:165-169.
- [4] 张明霞,向兴金,童志能,等.水泥浆前置液评价方法总论[J].钻采工艺,2002,25(6):81-83.
- [5] Krause D C. Solids-free brines: efficient displacement techniques can save you money[R]. SPE 14830, 1986.
- [6] 刘东青,周仕明.SMS抗盐高效前置液的研制与应用[J].石油钻探技术,1999,27(5):44-46.
- [7] 和传健,徐明,肖海东.高密度冲洗隔离液的研究[J].钻井液与完井液,2004,21(5):19-21,26.
- [8] 黄汉仁,杨坤鹏,罗平亚.泥浆工艺原理[M].北京:石油工业出版社,1981:24-25.
- [9] 鄢捷年.钻井液工艺学[M].山东东营:石油大学出版社,2001:26-43.
- [10] 丁士东,曾义金.MS高效前置液的研制及其应用[J].石油钻采工艺,1995,17(3):27-33.

[审稿 毛克伟]

Laboratory Studies on XH—A High-Temperature Salt-Resistant Additive for Spacer Fluid

Chen Yonghong Yang Yuanguang

(College of Petroleum Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610500, China)

Abstract: At present, more and more complicated wells require higher and higher requirements to spacer with respect to salt and temperature resistance, while common spacer fluid cannot meet these demands. Considering these, a high-temperature salt-resistant additive for spacer, XH, is developed based on laboratory experiments. The additive consists mainly of extender A, suspending agent B, defoamer C, meerschaum, barite, and water. The best formula was discovered using lab tests. Results show that this spacer has excellent weighting, stability, rheology, anti-salt and anti-temperature performance.

Key words: well cementing; spacer; suspension; stability; cement additive; rheology