

# 延长油田保护储层射孔液的研究与应用

王海洲<sup>1</sup>,王勇<sup>2</sup>,杨琦<sup>3</sup>,李鹏<sup>1</sup>,张倩<sup>1</sup>

(1.陕西延长石油(集团)有限责任公司 延长油田股份有限公司,陕西 延安 716000;

2.陕西延长石油(集团)有限责任公司 延安石油天然气有限公司,陕西 西安 710021;

3.西安石油大学 石油工程学院,陕西 西安 710065)

**摘要:**在延长油田低渗透油藏的完井过程中,由于外来流体的侵入,使储层孔隙被堵塞,导致油层伤害。为了降低外来流体对储层的伤害,研制了保护储层的射孔液。通过微波法对黄原胶进行改性,改性后黄原胶的表观粘度提高达80%以上,在质量分数为4%的盐水中动切力达27 Pa以上,同时耐温性和抗盐性均好于黄原胶,将其作为增粘剂,并与暂堵剂、稳定剂和表面活性剂等进行优选和组合复配。研制的射孔液由清水、质量分数为0.8%的改性黄原胶、质量分数为5%的暂堵剂HFY、质量分数为0.2%的分散剂HEC、质量分数为1%~2%的粘土稳定剂HCS-G、质量分数为0.3%的4号表面活性剂和质量分数为2%~5%的KCl复配而成。性能评价结果表明,研制的无固相射孔液API滤失量控制在8.2 mL,岩屑回收率为91.2%,具有良好的流变性、抗污染性和抗乳化性且易被生物降解等特点。动态伤害模拟实验结果表明,该射孔液对岩心的渗透率恢复率为88.5%~95.3%。截至2012年11月27日,新研制的射孔液在延长油田13口井成功应用,与周围邻井相比,新投产油井平均产油量提高了0.3~2.8倍,既有效保护了油气层,又易被生物降解。

**关键词:**低渗透油藏 射孔液 储层保护 完井液 延长油田

**中图分类号:** TE348

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9603(2014)02-0106-05

延长油田位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡东部,其储层具有含油层系多、复式聚集成藏和特低渗透率等特点<sup>[1-2]</sup>。延长油田的完井方式主要为射孔完井,完井射孔液是造成储层伤害的重要因素之一。近年来,针对延长油田保护储层的射孔液研究甚少,几乎所有区块都在使用清水或普通盐水作为射孔液,存在射孔液滤失量大、悬浮能力差、粘土膨胀和水锁效应强等问题;此外,完井射孔液产生的细颗粒运移也会堵塞孔隙<sup>[3]</sup>。黄原胶具有高粘度、耐酸耐碱耐盐性、触变性、悬浮性、增稠性及稳定性等多种优异性能,但其耐温性较差<sup>[4]</sup>。为此,笔者对黄原胶分子进行改性,将其作为射孔液的增粘剂;通过大量室内实验,研制了无固相射孔液配方,并在延长油田的13口井进行现场应用,效果良好。

## 1 射孔液配方实验合成及优选

### 1.1 增粘剂的合成及性能评价

#### 1.1.1 合成方法

增粘剂的合成方法分为4个步骤:①将一定量

的黄原胶溶于去离子水中,置于四口烧瓶中,充分搅拌使黄原胶溶解;②加入丙烯酸至黄原胶溶液中,用NaOH调节黄原胶溶液至pH值为7;③加入适量磺酸基聚合物和N,N-亚甲基双丙烯酰胺、引发剂KPS,充分搅拌溶解,将反应液转入微波炉反应器中低温反应,并通氮气除氧,反应125 min;④将反应物取出并用甲醇水溶液洗涤数次,过滤,干燥,粉碎,即得到改性黄原胶。

#### 1.1.2 改性黄原胶分子表征

从图1可见,改性黄原胶分子中D-葡萄糖单元、D-甘露糖单元的一C—O吸收峰在1 282.62 cm<sup>-1</sup>处,丙酮酸基团和乙酰基基团中—CH<sub>3</sub>的弯曲振动

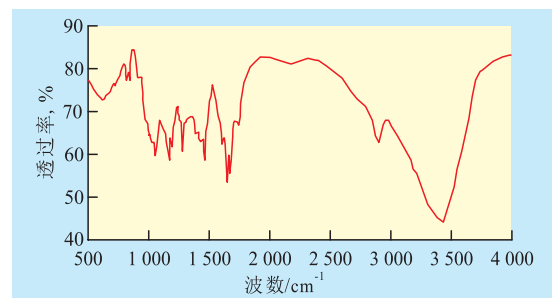


图1 改性黄原胶的红外谱

收稿日期:2013-12-03。

作者简介:王海洲,男,工程师,硕士,从事储层保护以及提高采收率研究。联系电话:15229510997, E-mail: haizhou08.good@163.com。  
基金项目:陕西省科技统筹创新工程计划项目“提高延长油田主力油层开发效果系统工程关键技术研究”(2011KTZB01-04)。

吸收峰在  $1\ 468.39\ \text{cm}^{-1}$  处,醇羟基中—OH与—NH伸缩振动吸收峰叠加在  $3\ 437.8\ \text{cm}^{-1}$  处,—CH的特征吸收峰在  $2\ 904.8\ \text{cm}^{-1}$  处;酰胺基中的—C=O的特征吸收峰在  $1\ 672.7$  和  $1\ 652.9\ \text{cm}^{-1}$  处; $1\ 056.89$  和  $1\ 177.34\ \text{cm}^{-1}$  是磺酸基聚合物中— $\text{SO}_3^-$  的特征吸收峰。结果表明,丙烯酰胺等分子已接枝到黄原胶上,所接枝的聚合物为磺酸基型黄原胶。

### 1.1.3 改性黄原胶性能评价

增粘剂可调节射孔液的流变性,提高射孔液的携屑能力;不但能将井内岩屑和其他固相物质携带出井口,还可减少射孔液的滤失量。当剪切速率为  $10\ \text{s}^{-1}$  时,由质量分数为 0.2% 黄原胶和 0.2% 改性黄原胶溶液在不同温度下的表观粘度(图2)可以看出:在温度相同的条件下,改性黄原胶溶液的粘度比黄原胶高达 80% 以上,说明改性黄原胶具有更强

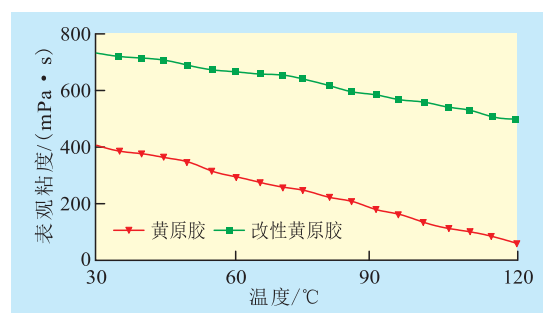


图2 不同温度下改性黄原胶和黄原胶溶液的表观粘度

的增粘性能;其粘温曲线也较黄原胶的粘温曲线相对平缓,说明其耐温性也好于黄原胶。

将不同质量分数的改性黄原胶分别加入到饱和盐水和质量分数为 4% 的盐水中,在  $120\ ^\circ\text{C}$  下热滚 16 h 后老化,测其老化前后的流变性和滤失量。结果(表1)表明:在饱和盐水和质量分数为 4% 的盐水

表1 不同质量分数改性黄原胶在2种盐水溶液中的抗温抗盐性能评价结果

质量分数, %	实验条件	质量分数为 4% 的盐水				饱和盐水			
		表观粘度/ ( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )	塑性粘度/ ( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )	API滤失量/mL	动切力/Pa	表观粘度/ ( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )	塑性粘度/ ( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ )	API滤失量/mL	动切力/Pa
0.4	老化前	65	10.2	71	27.9	49	6.1	82	36.7
	老化后	47	6.1	125	20.8	28	2.5	155	39.1
0.6	老化前	75	16.3	63	29.9	64	13.2	68	34.0
	老化后	53	9.1	112	22.3	39	4.5	127	39.1
0.8	老化前	89	25.0	48	32.6	70	15.8	52	33.8
	老化后	67	13.7	96	27.2	44	3.5	113	40.5
1.0	老化前	95	26.2	33	35.1	74	18.9	44	33.2
	老化后	69	18.6	82	23.7	50	5.32	106	40.7
1.2	老化前	103	30.6	23	36.9	82	21.4	35	32.9
	老化后	78	21.9	77	28.6	56	7.66	97	40.5

中高温老化后,随着改性黄原胶质量分数的增加,其表观粘度和塑性粘度均增大,滤失量均减少;当改性黄原胶的质量分数由 0.4% 增至 1.2% 时,老化后,其在饱和盐水中的表观粘度分别下降了 42.9%, 39.1%, 37.1%, 32.4% 和 31.7%, 表明增加改性黄原胶的质量分数可提高溶液的表观粘度;老化后,不同质量分数改性黄原胶溶液的表观粘度在质量分数为 4% 的盐水中分别下降了 24.3% ~ 29.3%, 表明改性黄原胶具有较好的抗盐耐温性能。从表1亦可看出,在饱和盐水和质量分数为 4% 盐水中高温老化后,改性黄原胶溶液的动切力分别为 39.1 和 20.8 Pa, 较高的动切力说明改性黄原胶分子空间网架结构强度高,具有较强的携带岩屑能力,并能降低射孔液的滤失。改性黄原胶具有抗盐、耐温、高动切力性能是因为:①在黄原胶的分子链中引入的磺酸基等基团使分子链加长以及缔合作用加强,由于聚

合物高分子在饱和盐水和在 4% 的盐水中形成了空间交联网络结构,使溶液粘度大幅上升,使改性黄原胶溶液具有更好的抗老化性能和增粘作用;②因饱和盐水中含有足够多的  $\text{Na}^+$ , 能够消除分子链上的负电荷产生的斥力,这些阳离子与侧链相结合,使得改性黄原胶分子链变得更具有弹性,分子间斥力减小,具有较好的抗盐性。

当改性黄原胶的质量分数为 0.8% ~ 1.2% 时,其表观粘度和滤失量均可满足施工要求;若增大改性黄原胶的质量分数,不但会增加用量,而且会增大粘度和动切力,从而增加施工压力。因此,根据实验结果和考虑成本因素,改性黄原胶的质量分数以 0.8% ~ 1.2% 为宜。

### 1.2 暂堵剂优选

暂堵剂不但能堵漏储层,而且随着地层原油的产出和反向压力的作用,一部分暂堵剂被冲出孔

隙,另一部分暂堵剂被溶解,从而使储层渗透率得到恢复<sup>[5-8]</sup>。将树脂类、纤维聚合物和有机低分子化合物3类油溶性暂堵剂与分散剂进行复配,以达到使暂堵剂充分溶解,降低射孔液滤失量的目的。测试方法如下:称取不同类型暂堵剂2 g,分别置于150 mL侏罗系延安组延8原油和三叠系延长组长6原油中,在60℃下溶解24 h后,过滤残渣并在105℃下烘干,准确称量残渣质量。由测试结果(表2)可以看出:树脂类暂堵剂FRD-1对延8原油和长6原油的溶解率分别为96%和97%,溶解后原油粘度分别增加11.74%和10.20%;低分子有机暂堵剂HFY对延8原油和长6原油的溶解率分别为94%和90%,溶解后原油粘度分别增加了4.86%和5.38%,纤维聚合物暂堵剂DYY-1和BQ对原油的溶解率均低于90%,且溶解后原油粘度增幅较大,导致原油流动阻力变大。因此,将溶解率高、原油粘度增幅小的低分子有机暂堵剂HFY作为射孔液暂堵剂。

表2 不同暂堵剂油溶性能测试结果

暂堵剂	原油	残渣质量/g	溶解率,%	原油粘度/(mPa·s)	
				溶解前	溶解后
FRD-1	延8	0.08	96	2.47	2.76
	长6	0.06	97	3.53	3.89
HFY	延8	0.13	94	2.47	2.59
	长6	0.20	90	3.53	3.72
DYY-1	延8	0.31	85	2.47	2.58
	长6	0.28	86	3.53	4.3
BQ	延8	0.36	82	2.47	2.71
	长6	0.28	86	3.53	4.12

在清水和质量分数为0.8%的改性黄原胶中,分别加入质量分数为2%、3%和5%的HFY暂堵剂,由不同质量分数的暂堵剂HFY对射孔液流变性的影响实验结果(表3)可知,随着暂堵剂HFY质量分数的增大,老化后射孔液的表现粘度增大,滤失量减少;5%的HFY暂堵剂高温老化前后滤失量仍较大,

表3 暂堵剂对射孔液流变性能影响评价结果

暂堵剂	实验条件	表观粘度/(mPa·s)	塑性粘度/(mPa·s)	动切力/Pa	API滤失量/mL
2%HFY	老化前	67	36	15.8	18.5
	老化后	47	34	6.6	26.3
3%HFY	老化前	71	37	17.3	15.4
	老化后	52	34	9.1	22.1
5%HFY	老化前	73	45	14.3	12.6
	老化后	59	41	9.1	19.8
5%HFY+0.2%HEC	老化前	85	47	19.4	8.5
	老化后	61	42	9.7	15.2

为了使油溶性暂堵剂更好地分散在射孔液中,降低滤失量,在由清水、质量分数为0.8%的改性黄原胶和5%的暂堵剂HFY组成的混合液中,加入质量分数为0.2%的分散剂HEC,其老化前后滤失量均最小,说明分散剂HEC可使暂堵剂更好地分散在溶液中降低滤失量,可满足无固相体系滤失要求,故将0.2%分散剂HEC与5%HFY复配作为射孔液暂堵剂。

### 1.3 稳定剂优选

在对储层进行钻井、完井作业时,为避免清水和低矿化度液体进入储层,须加入一定量的粘土稳定剂或防膨剂<sup>[9]</sup>。由不同粘土稳定剂的防膨效果(表4)可以看出,质量分数为1%和2%的HCS-G稳定剂的线性防膨率为92%和95%,岩屑回收率为90%和93%,不但均高于同等质量分数的BYNW, COP-1和HW这3种粘土稳定剂的防膨率,而且比质量分数为5%的KCl的线性防膨率还高,说明其防膨有效期更长。因此,选用质量分数为1%~2%的HCS-G作为射孔液的稳定剂。

表4 不同粘土稳定剂的防膨效果

粘土稳定剂	质量分数,%	线性防膨率,%	岩屑回收率,%	水洗岩心孔隙体积指数
KCl	2	85	77	4.2
	5	88	78	
BYNW	1	90	85	35.7
	2	91	89	
HCS-G	1	92	90	60.8
	2	95	93	
COP-1	1	78	67	30.1
	2	85	75	
HW	1	83	81	48.2
	2	92	87	

### 1.4 解水锁剂优选

优选了4种与地层水配伍性良好的水溶性非离子表面活性剂,并用SVT20旋转滴界面张力仪分别测定射孔液中加入水溶性非离子表面活性剂时的界面张力。由图3可见:随着表面活性剂质量分数的增大,加入4号表面活性剂时界面张力的降幅远大于加入其他3种表面活性剂时界面张力的降幅;4号表面活性剂在质量分数为0.2%时的界面张力为0.042 mN/m,而在质量分数为0.3%时,达到最低,为0.019 3 mN/m。实验结果表明,4号表面活性剂的性能比其他3种优越,可大幅度降低射孔液的油水界面张力,从而预防或减少水锁伤害。故将质量分数为0.3%的4号表面活性剂作为射孔液的解水锁剂。

综上所述,研制的射孔液由清水、质量分数为

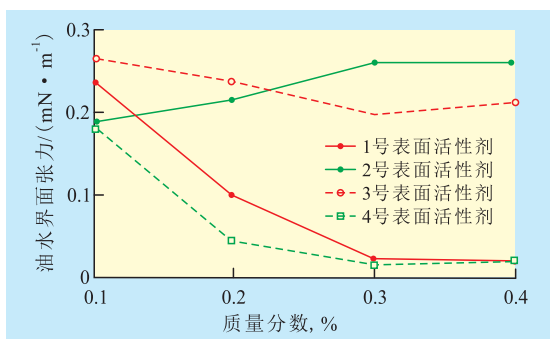


图3 4种不同质量分数表面活性剂的油水界面张力

0.8%的改性黄原胶、质量分数为5%的暂堵剂HFY、质量分数为0.2%的分散剂HEC、质量分数为1%~2%的粘土稳定剂HCS-G、质量分数为0.3%的4号表面活性剂和质量分数为2%~5%的KCl复配而成,该射孔液密度可调。

## 2 射孔液性能评价

### 2.1 抑制性能

称取50 g钻井岩屑在80℃下烘干,过10目筛后,加入到研制的射孔液中,在120℃下热滚16 h,过40目筛回收,烘干并计算其回收率。结果显示,岩屑回收率为91.2%。说明该射孔液防膨率高,能够有效抑制页岩的水化膨胀。

### 2.2 抗乳化性能

低渗透油藏储层孔隙狭小,射开油层后有滤液进入储层,若其与原油接触后,会形成乳状液;另外,循环射孔液会与油层原油形成乳状液,该乳状液会使流体粘度增大,导致原油流动阻力增大,从而堵塞孔隙伤害储层<sup>[10]</sup>。因此,必须对射孔液抗乳化性能进行评价。将不同比例的原油与射孔液混合并测量各自体积,在剪切速率为1 022 s<sup>-1</sup>的条件下,剪切5 min,再在剪切速率为170 s<sup>-1</sup>的条件下剪切60 min,静置12 h,观察乳化情况并测量各自体积。结果表明,两者体积均未发生变化,射孔液与原油界面清晰,未发生乳化,说明该射孔液抗乳化性能可满足施工要求。

### 2.3 抗污染性能

在射孔过程中,井筒内残留的劣土和地层水会污染射孔液,为此,须评价射孔液的抗污染能力。首先,将射孔液与地层水按1:9,5:5和9:1的体积比进行配制;再分别在射孔液中加入质量分数为2%,4%和8%的劣土;均在120℃下热滚16 h后,然后在25℃下分别测定其表观粘度、塑性粘度、动切力及滤失量。

实验结果(表5)表明:当射孔液与地层水的体积比为1:9和9:1时,其表观粘度变化不大,滤失量仅增大了1.8 mL;未加劣土时,射孔液粘度为70 mPa·s,滤失量为8.2 mL;当劣土的质量分数为8%时,射孔液粘度为76 mPa·s,滤失量为5.3 mL,粘度和动切力均略有增大,但滤失量降低了2.9 mL。说明其不但抗污染性能较强,而且滤失量较小;反映出研制的射孔液性能稳定,且具有较强的抗污染能力。

表5 25℃下射孔液的抗污染性能评价结果

实验条件	表观粘度/(mPa·s)	塑性粘度/(mPa·s)	动切力/Pa	API滤失量/mL
射孔液与地层水体积比为1:9	72	52	10.2	9.7
射孔液与地层水体积比为5:5	69	49	10.2	10.6
射孔液与地层水体积比为9:1	69	46	11.7	11.5
劣土质量分数为0	70	45	11.6	8.2
劣土质量分数为2%	71	47	12.3	7.8
劣土质量分数为4%	73	47	13.2	6.7
劣土质量分数为8%	76	50	13.3	5.3

### 2.4 油层保护效果评价

在模拟地层温度(81℃)、静压差为3.5 MPa的条件下,利用JHAD-I新型智能高温高压岩心动态损害评价实验仪,先测量岩心入口端煤油的原始渗透率( $K_0$ )后,在岩心夹持器中不取出岩心,在岩心出口端由泥浆泵驱动高压罐中的射孔液并循环射孔液,进行岩心动态损害实验2 h,再由入口端到出口端驱替10倍以上孔隙体积煤油,待流量和压力稳定后,测定由入口端到出口端岩心的油相渗透率( $K_1$ )。

实验结果(表6)表明:被射孔液伤害后,不同岩心渗透率恢复率为88.5%~95.3%;定5297岩心的渗透率较低,其动态伤害率为11.5%,岩心滤失量为1.3 mL;而较高渗透率的定5267岩心动态伤害率为4.7%,岩心滤失量最大,但仅为2.5 mL;总体来说,4块岩心的滤失量均较低,说明研制的射孔液具有较好的降滤失性和暂堵性,能够较好地保护储层。

表6 射孔液对岩心动态伤害评价结果

岩心编号	孔隙度, %	束缚水饱和度, %	$K_0/10^{-3} \mu\text{m}^2$	$K_1/10^{-3} \mu\text{m}^2$	岩心渗透率恢复率, %	滤失量/mL
定5297	13.98	36	1.299	1.26	88.5	1.3
定5397	18.94	29	5.76	5.36	93.1	2.1
定2649	16.81	34	12.99	11.56	89.3	2.2
定5267	22.87	28	16.5	15.74	95.3	2.5

### 2.5 可生物降解性能

用重铬酸钾法和稀释接种法来测定射孔液的

化学需氧量和生化需氧量,进而衡量射孔液对环境可能造成污染的程度,用化学需氧量与生化需氧量之比( $BOD_5/COD_{Cr}$ )来考察钻井液中有机物的可生物降解性<sup>[11]</sup>。由评价结果(表7)可见: $BOD_5/COD_{Cr}$ 值均高于25%,说明研制的射孔液是一种环保型工作液;30℃时射孔液的化学需氧量和生化需氧量均低于100℃时,这是由于射孔液中原来不能被重铬酸钾氧化的有机物在高温下发生降解,成为更易被降解的有机物,高温下 $BOD_5/COD_{Cr}$ 值增大,表明随着温度的升高,射孔液的可生物降解性能增强。

表7 射孔液可生物降解性能评价结果

温度/℃	化学需氧量/ ( $mg \cdot L^{-1}$ )	生化需氧量/ ( $mg \cdot L^{-1}$ )	$BOD_5/$ $COD_{Cr}, \%$
30	2 329.8	1 015.2	43.5
50	2 562.2	1 205.3	47.0
100	3 168.1	1 596.4	50.3

### 3 现场应用

延长油田南沟岔区块长6储层长期依靠地层自然能量生产,由于地层能量不足,油井产能低。储层岩石主要为岩屑砂岩和长石砂岩,中粒岩屑砂岩是储层岩石的主要组成部分,占64%,骨架颗粒主要为岩屑和石英,含量为30%~50%。粘土矿物含量大于10%,粘土矿物中伊蒙混层、高岭石、绿泥石含量分别为31%,35%和30%,伊利石含量小于10%。储层平均渗透率为 $2.3 \times 10^{-3} \mu m^2$ ,平均孔隙度为8.1%,最大孔喉半径为0.85~7.5  $\mu m$ ,平均为2.92  $\mu m$ ,中值孔喉半径为0.12~0.42  $\mu m$ ,平均为0.24  $\mu m$ 。地层水总矿化度为43 936.1 mg/L。储层水敏性较强,水敏伤害率为30%~59.8%,临界矿化度为5 492.2~10 984.3 mg/L,平均矿化度为6 590.4 mg/L;储层水相圈闭或水锁损害强,岩心水锁伤害率为18%~51%。

D探3247井位于南沟岔姬源区,油层厚度为8.4 m,于2008年5月7日投产,产油量为2.3 t/d,含水率为28%,在D探3247井周围加密D探3248井和D3249井,于2011年4月15日利用新研制射孔液进行射孔,投产后,D探3248和D3249井的产油量分别为4.3和5.6 t/d,含水率均为20%,比邻井D探3247井的含水率降低了8%。姬探5397井于2010年5月19日投产,产油量为3.5 t/d,含水率为40%,于2011年3月12日至2012年4月13日在该井150 m内加密的3口井,采用新研制射孔液进行射孔,均

获得6 t/d以上的高产工业油流,3口井的含水率分别为31%,26%和15%。

截至2012年11月27日,新研制的射孔液在延长油田13口井成功应用;施工过程顺利,未发生地面和井下事故,射开油层后,均未发生漏失;对比邻井,新投产油井平均产油量提高了0.3~2.8倍。

### 4 结束语

研制的射孔液具有流变性好、滤失量低、防膨性好、界面张力低、抗乳化性能好、抗污染性强及可生物降解等特点,岩心流动实验结果表明,岩心渗透率恢复率为88.5%~95.3%,能够较好地保护储层且易被生物降解。通过现场应用证实,研制的射孔液效果良好,可显著提高单井产油量。建议将该配方在修井方面加以应用,进行保护储层修井液的相关实验及应用,并进一步研究其机理,为保护储层方案的制定提供科学依据。

#### 参考文献:

- [1] 洪玲,王香增,王成俊,等.特低渗透油藏新型高效驱油剂的研究与应用——以延长油区杏子川油田王214试验区为例[J].油气地质与采收率,2013,20(3):92-95.
- [2] 计红,赵卫卫,王乃军.鄂尔多斯盆地寺湾地区延长组长2油层组储层特征[J].特种油气藏,2012,19(2):43-45.
- [3] 徐庆岩,杨正明,何英,等.特低渗透多层油藏水驱前缘研究[J].油气地质与采收率,2013,20(2):74-76.
- [4] Banerjee Jaya, Srivastava Arti, Srivastava Abhishek, et al. Synthesis and characterization of xanthan Gum-G-N-vinyl formamide with a potassium monopersulfate/Ag(I) system[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2006, (101): 1 637-1 645.
- [5] 曾明友,石小兵.屏蔽式暂堵技术在狮子沟油田的应用[J].西南石油学院学报:自然科学版,2006,28(4):67-71.
- [6] 高喜龙,慈国良,曹胜利,等.埕岛油田埕北326A井组钻井液油层保护技术[J].油气地质与采收率,2011,18(4):106-110.
- [7] 罗向东,罗平亚.屏蔽式暂堵技术在储层保护中的应用研究[J].钻井液与完井液,1992,9(2):48-51.
- [8] 薛新生,潘凤桐,岳书申.油溶性暂堵剂OSR-1的研究[J].石油钻采与工艺,1999,21(1):82-84.
- [9] 成赛男,田继军,张鹏辉.伊通盆地莫里青断陷西北缘双阳组二段储层敏感性流动实验评价[J].油气地质与采收率,2013,20(3):76-78.
- [10] 李公让,薛玉志,刘宝峰,等.胜利油田低渗透油藏钻井保护技术现状分析及建议[J].油气地质与采收率,2009,16(1):108-110.
- [11] 王蓉沙,周建东,刘光全.钻井液废弃物处理技术[M].北京:石油工业出版社,2001:12-18.