

# 新型可固化工作液的室内研究

孔卫开, 徐可一, 舒智

(四川华锋钻探工程有限责任公司, 四川成都 610091)

**摘要:**针对难以堵漏的恶性漏失地层和水泥封固效果不良的垮塌层, 开发出新型可固化工作液。该工作液以常规钻井液为基础, 具有优良的悬浮能力、流变性和抗盐能力, 与钻井液相容性良好, 在一定条件下能固化达到一定强度。可作为堵漏液使用, 也可在井壁失稳地层作为封固液使用, 能有效提高堵漏成功率和对失稳地层的封固效果。

**关键词:**漏失; 堵漏; 封固; 固化; 工作液

**中图分类号:** P634.6<sup>+</sup>4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2012)07-0009-05

**Laboratory Study on a New Settable Working Fluid/KONG Wei-kai, XU Ke-yi, SHU Zhi** (Sichuan Huafeng Drilling & Engineering Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610091, China)

**Abstract:** According to the collapsing formation which is difficult to control the severe leakage and can not be effectively cemented, a new settable working fluid was developed. It is based on the conventional drilling fluid with good suspension capacity, rheological property, salt-resistant ability and good compatibility of drilling fluid, its suitable solidification intensity can be reached under certain conditions and can be used as sealing fluid or as cementing fluid in borehole instability formations to improve the sealing and cementing effect.

**Key words:** leakage; sealing; concretion; solidification; working fluid

## 0 引言

钻探工作中常会遇到恶性漏失地层和井壁失稳现象。传统的架桥堵漏方法难以准确掌握裂缝宽度、孔喉比等数据, 因此不易优选和确定堵漏剂配方, 降低了堵漏成功率。而且形成的封堵层通常抗压能力较低, 在下钻过程中由于激动压力的影响可能被重新压漏, 增加钻井液密度时也可能将前期封堵层压漏。起钻和取心过程中, 也可能由于抽汲压力的影响使得部分堵漏材料脱离裂隙, 封堵效果减弱, 造成额外漏失。严重的井壁失稳地层中, 有时会产生重复性坍塌, 使得垮塌部位井径不断增大。在常规方法无效的情况下, 一般会采用注水泥的办法对垮塌层进行封固, 但由于常规的钻井液和水泥浆很难相容, 两相接触时会发生胶凝现象, 水泥浆对钻井液的驱替不彻底, 造成水泥浆污染, 严重影响水泥浆的固化效果。为了减少水泥浆凝固的时间, 一般还需加入胶凝材料、促凝剂等加速凝固, 但配方的复杂化和对失水的要求使得注水泥施工过程中的可泵性、稠化时间、可操作性等存在一定的不确定性, 施工安全存在隐患。因此, 研究出一种可固化工作液, 该工作液泵入井下后可在一定时间内固化并产生一定强度, 既可起到堵漏作用, 也可对垮塌严重地层进

行有效封固。

## 1 实验材料

流性改进剂类: 钠膨润土(PR), 羟丙基淀粉(HPS-1), 纤维素 HEC104 和 HEC, 钠羧甲基纤维素 CMC, 生物胶 XC; 稀释剂类: SMC、SMT-1、FLCS、SXY-2; 固化剂: KZ; 激活剂: JH1、JH2、JH3; 表面活性剂: L-50A。

## 2 工作液配方研究

### 2.1 流性改进剂优选

#### 2.1.1 清水中的沉降稳定性

基浆配方: 3% PR + 流性改进剂 + 0.5% SXY-2。对流性改进剂进行复配, 用重晶石将基浆加重到 2.2 g/cm<sup>3</sup> 后分别在常温、50、70 和 90 °C 下静置 24 h, 观察其沉降和游离水。试验后优选出沉降性较好的 5 个配方, 见表 1。

不同配方在不同温度下清水中的沉降稳定性观察结果见表 2。

从表 2 可见, 5 个配方在清水中的沉降稳定性排序依次是 3 号 > 4 号 > 5 号 = 2 号 = 1 号。其流变参数见表 3。

收稿日期: 2011-12-27; 修回日期: 2012-06-18

作者简介: 孔卫开(1975-), 男(汉族), 安徽定远人, 四川华锋钻探工程有限责任公司副总经理、工程师, 探矿工程专业, 从事地质岩心钻探施工管理工作, 四川省成都市青羊区广富路 218 号青羊工业总部基地 G 区 8C 栋, kwk163@163.com。

表1 优选配方

编号	配方
1	3% PR + 0.5% HPS-1 + 0.5% HEC104 + 0.5% SXY-2 + 0.5% L-50A
2	3% PR + 0.5% HPS-1 + 0.3% HEC + 0.5% SXY-2 + 0.5% L-50A
3	3% PR + 0.5% G30 + 0.3% CMC + 0.5% SXY-2 + 0.5% L-50A
4	3% PR + 0.5% G30 + 0.3% HEC + 0.5% SXY-2 + 0.5% L-50A
5	3% PR + 0.5% G30 + 0.3% XC + 0.5% SXY-2 + 0.5% L-50A

表2 优选配方在清水中的沉降稳定性

配方编号	温度/℃			
	常温	50	70	90
1	良好	良好	良好	微沉
2	良好	良好	良好	微沉
3	良好	良好	良好	一般
4	良好	良好	一般	微沉
5	良好	良好	良好	微沉

表3 优选配方的流变参数

配方编号	$n$	$K$	$PV$ /(mPa·s)	$YP$ /Pa	$YP$ /PV	触变性 /Pa
1	0.8022	0.1265	22	3.26	0.148	0.46
2	0.6436	0.2012	18	6.20	0.344	0.41
3	0.6983	0.3327	29	8.23	0.284	0.05
4	0.7521	0.2904	21	8.97	0.427	2.21
5	0.4409	0.6785	17	7.54	0.444	0.46

### 2.1.2 抗盐性能

对清水中5个悬浮性较好的基液配方进行盐水中的悬浮稳定性试验评价,盐的加入百分比分别为6%、13%、20%、26%、33%(饱和),对不同试验方

表5 稀释剂对3号基浆的流动度影响试验

温度 /℃	SMC			SMT-1			FCLS			SXY-2		
	0.2%	0.5%	0.8%	0.2%	0.5%	0.8%	0.2%	0.5%	0.8%	0.2%	0.5%	0.8%
30	17	19	23	17	20	21	17	19	20	18	21	22
50	18	20	24	20	23	23	19	20	23	20	23	25
70	20	24	26	22	25	26	20	22	25	21	26	28

从表5可见,在不同温度和加量下,SXY-2相比其他3种稀释剂都具有更好的流动度,说明SXY-2的稀释效果较优,因此选定SXY-2为稀释剂。

### 2.3 激活剂优选

案均用重晶石加重至 $2.2 \text{ g/cm}^3$ 。由于一般情况下温度越高,沉降稳定性越差。为充分显示不同配方在盐水中的沉降稳定性,选择在 $90 \text{ }^\circ\text{C}$ 下进行试验,观察结果见表4。

表4 优选配方在盐水中的沉降稳定性

配方编号	盐加量/%				
	6	13	20	26	33
1	一般	微沉	严重	严重	严重
2	一般	一般	微沉	严重	严重
3	良好	一般	一般	微沉	微沉
4	良好	一般	微沉	微沉	严重
5	一般	一般	微沉	严重	严重

从表4可见,优选配方在盐水中的沉降稳定性排序依次是3号>4号>5号=2号>1号。

因此优选3号配方进行进一步评价。

### 2.2 稀释剂优选

高效稀释剂能改善工作液的流动性能,使得工作液流动性增强,降低工作液的触变性和动切力,有利于进入、封堵漏失层和低压下实现紊流驱替原钻井液,提高封堵和封固质量。

通常使用的稀释剂有褐煤类SMC、单宁类SMT-1、木质素磺酸盐类FLCS和硅氟类SXY-2。对3号基浆在不同温度下进行流动度评价,结果见表5。

### 2.3.1 单独激活剂的固化效果

激活剂选择JH1、JH2、JH3。加入固化剂KZ后,考察它们对3号配方基液的激活效果,结果见表6。

表6 单体激活剂的固化效果

序号	激活剂	加量 /g	基浆 /g	KZ /g	抗压强度/MPa								
					24 h/50 °C	24 h/70 °C	24 h/90 °C	48 h/50 °C	48 h/70 °C	48 h/90 °C	10 d/70 °C		
1		20	400	300									
2	JH1	20	400	350	5.95	5.21	4.87	5.85	4.90	4.11		6.02	
3		25	400	350	5.21	5.34	3.76	5.37	4.21	2.88		7.53	
4		20	400	300								6.85	
5	JH2	20	400	350			1.90	2.02	2.80	2.23		8.57	
6		25	400	350			2.25	2.34	3.15	2.91		11.24	
7		20	400	300								5.53	
8	JH3	20	400	350					1.85	2.16		5.94	
9		25	400	350					2.52	3.20		6.71	

从表6中可见:(1)温度对最终固化效果有明显影响,JH1的3号方案中50、70、90℃下48h强度分别为5.37、4.21、2.88 MPa,JH2的6号方案中50、70、90℃下48h强度分别为2.34、3.15、2.91 MPa,由此说明不同激活剂在不同温度下效果有较大差异;(2)分析JH1和JH2的强度发展可知,JH1方案的强度发展较快,24h即接近最大强度,而JH2方案强度发展缓慢,但在10天后强度可达到11.24 MPa。图1为3号方案在48h/90℃条件下的固化照片,固化体表面呈现大量裂纹,图2为6号方案在48h/90℃条件下的固化照片。

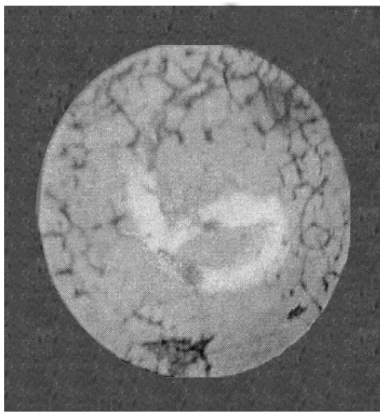


图1 3号方案在48h/90℃下的固化体照片



图2 6号方案在48h/90℃下的固化体照片

由此说明JH2在基液中的激活能力不如JH1强,但JH1过强的激活能力导致了固化体的开裂,影响了可达到的最终强度。JH2最终固化性能优异,但时间过长。JH3方案的强度发展与JH2相似,但激活能力和最终强度都较JH2为弱,因此不再对JH3做进一步研究。为了同时兼有JH1和JH2的激活能力上的优点,因此接下来对JH1和JH2进行复配优化。

### 2.3.2 JH1与JH2复配激活的固化效果

对JH1和JH2按质量比1:4、2:3和1:1进

行试验,所得结果见表7。

表7 JH1、JH2复配固化效果

序号	JH1 /g	JH2 /g	基浆 /g	KZ /g	抗压强度/MPa		
					24 h/50℃	24 h/70℃	24 h/90℃
1	5	20	400	350	6.78	6.92	4.17
2	10	15	400	350	3.52	2.93	2.73
3	12.5	12.5	400	350			1.36

由表7中可见,当JH1和JH2加量分别为5和20g时,24h/70℃强度可达到6.92 MPa,24h/50℃也可达到6.78 MPa,90℃时裂纹较多,强度较低。因而选定1:4为JH1和JH2的混合质量比。混合物记为JH。

### 2.4 固化剂加量对固化效果的影响

固化剂KZ的加量会影响工作液的流变性和固化效果。加量过多时固相含量增加会影响到工作液的流变性,影响进入漏层堵漏和对钻井液的有效驱替。过少则会影响到固化体的胶结质量,表现为强度不足。因此需对固化剂加量进行评价,找到合理的平衡加量。试验结果见表8。

表8 KZ加量对固化效果的影响

序号	JH /g	基浆 /g	KZ /g	抗压强度/MPa		
				24 h/50℃	24 h/70℃	24 h/90℃
1	25	400	300	2.99	2.36	2.53
2	25	400	325	4.86	4.12	3.82
3	25	400	350	6.78	6.92	4.17
4	25	400	375	6.56	7.19	5.20
5	25	400	400	6.91	7.09	4.75

如表8中,KZ加量超过350g后抗压强度变化较小,加量小于350g抗压强度减小程度较大。因此选定350g,即基浆质量的87.5%为KZ加量。

### 2.5 激活剂加量对固化效果的影响

为考察激活剂JH加量对固化效果的影响,对JH的加量进行细化,结果见表9。

表9 JH加量对固化效果的影响

序号	JH /g	基浆 /g	KZ /g	抗压强度/MPa		
				24 h/50℃	24 h/70℃	24 h/90℃
1	20	400	350	5.60	5.82	2.73
2	22.5	400	350	6.12	6.00	3.64
3	25	400	350	6.78	6.92	4.17
4	27.5	400	350	6.64	6.04	4.33
5	30	400	350	7.01	7.10	2.10

从表9中可见,JH加量在22.5g时,24h三个温度下的抗压强度分别为6.12、6.00、3.64 MPa,明显少于JH加量为25g时的6.78、6.92、4.17 MPa。而JH加量超过25g后,抗压强度没有明显增强的迹象。因此选定JH加量为25g,即基浆质量的

6.25%。

### 3 密度对工作液固化效果的影响

#### 3.1 调整密度范围1(1.14~1.45 g/cm<sup>3</sup>)

按上述配方所配制成的添加有固化剂的工作液密度约为1.45 g/cm<sup>3</sup>。为适应更多工况的需要,需用减轻剂或加重剂对工作液进行减轻或加重。密度改变后最终固化效果受到影响,抗压强度改变。减轻情况下的不同密度固化效果见表10。

表10 低密度工作液固化效果

序号	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	工作液/g	漂珠/g	抗压强度/MPa		
				24 h/50 °C	24 h/70 °C	24 h/90 °C
1	1.45	400	0	6.78	6.92	4.17
2	1.35	400	30	3.64	3.54	2.52
3	1.25	400	70	2.64	2.33	1.82
4	1.17	400	115	1.07	1.45	0.64
5	1.14	400	135			

由表10中可见,随着密度的降低,固化体的抗压强度急剧下降,密度为1.25 g/cm<sup>3</sup>时,50 °C下抗压强度只有2.64 MPa,70 °C下只有2.33 MPa。密度为1.14 g/cm<sup>3</sup>时,工作液虽然有胶结但不能形成强度。根据一般堵漏和固化井壁的要求来看,2 MPa足以满足要求,因此1.25 g/cm<sup>3</sup>密度下仍可应用。

#### 3.2 调整密度范围2(1.45~1.95 g/cm<sup>3</sup>)

同样做加重情况下工作液固化效果试验,试验结果见表11。

表11 高密度工作液固化效果

序号	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	工作液/g	重晶石/g	抗压强度/MPa		
				24 h/50 °C	24 h/70 °C	24 h/90 °C
1	1.54	400	40	6.78	6.92	4.17
2	1.65	400	90	7.53	7.25	5.31
3	1.75	400	140	5.88	6.21	5.09
4	1.86	400	200	3.89	4.02	3.07
5	1.95	400	255	3.32	3.65	3.10

从表11中可见,密度低于1.65 g/cm<sup>3</sup>时,抗压强度随密度增加而有所增加,但之后抗压强度随密度增加而减小。其原因可能是重晶石粉加量小于90 g时,参与到胶结足够的固化体结构中,起到了增加抗压强度的作用。而加量大于90 g后,过多的加量造成了固化体结构的胶结不足,于是抗压强度降低。但在密度为1.95 g/cm<sup>3</sup>时,90 °C下抗压强度依然有3.10 MPa,仍然可以满足使用要求。

综上所述,该工作液体系在密度范围1.25~1.96 g/cm<sup>3</sup>内均可使用。

### 4 温度对工作液固化效果的影响

在前面的实验中已经发现工作液在不同温度下表现出的固化效果有较大差异。为进一步了解温度对工作液固化效果的影响,应用密度为1.45 g/cm<sup>3</sup>时的工作液基浆做不同温度下的固化效果评价。试验结果见图3。

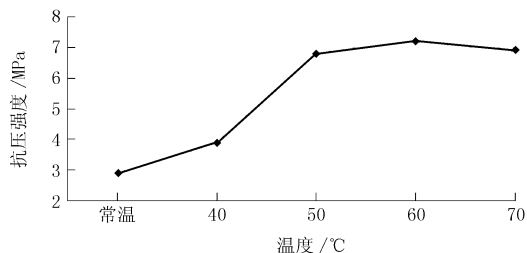


图3 温度对工作液固化效果的影响

由图3可见,工作液在60 °C条件下固化效果最好,常温下只有2.90 MPa。由此说明60 °C条件下激活剂对KZ的激活效果最好,低温时不利于发挥激活能力,而更高温度下强度变差的原因可能是由于传热过程的不均匀造成了激活程度的差异性,使得固化体各处激活速度不均,在其内部产生内应力,从而影响了最终抗压强度。

### 5 工作液与钻井液的相容性

对不添加固化剂的工作液基液加重至1.5 g/cm<sup>3</sup>,选用基液:3% PR + 0.5% G30 + 0.3% CMC + 0.5% SXY-2 + 0.5% LP-50A + 6% JH + 1% FB,加重至1.5 g/cm<sup>3</sup>;钻井液:3.5% PR + 0.8% CMC-1 + 1.5% XC + 0.2% PAM + 0.4% FCLS + 0.8% DAS,加重至1.4 g/cm<sup>3</sup>。在常温下进行相容性试验,试验结果见表12。

表12 工作液与钻井液的相容性试验

钻井液:工作液 体积比	密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	<i>n</i>	<i>K</i>	<i>PV</i> /(mPa·s)	<i>YP</i> /Pa	<i>YP/PV</i>	触变性 /Pa	流动性 /cm
100:0	1.4	0.51	1.23	52	26.2	0.503846	14.12	22
95:5	1.405	0.55	1.02	50	22.3	0.446	13.37	22
75:25	1.425	0.58	0.95	47	18.5	0.393617	10.24	22
50:50	1.45	0.64	0.84	43	14.7	0.34186	7.83	23
25:75	1.475	0.68	0.53	38	10	0.263158	5.21	23
5:95	1.495	0.72	0.42	35	7.5	0.214286	4.34	24
0:100	1.5	0.76	0.2	33	4.8	0.145455	1.02	24

从表12可以看出,工作液与钻井液混合后,不会产生胶凝现象,流动性有所改善,有利于钻井液被驱替。

## 6 工作液与钻井液混合后的固化效果

虽然工作液与钻井液基础配方是一样或接近的,不会像水泥浆一样接触后产生胶凝现象,驱替效率比水泥浆也有所提高。但是仍然需要考虑驱替不净时的情况,因此对工作液和钻井液按不同体积比做混合抗压强度试验。其结果见图4。

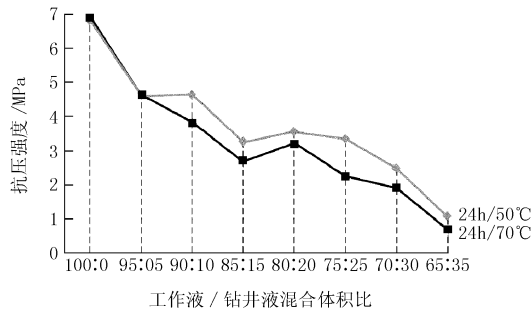


图4 工作液与钻井液混合后的固化效果

注:钻井液配方为 3% PR + 1% CMC + 1.5% XC + 0.2% PAM + 0.3% FCLS, 密度 1.20 g/cm<sup>3</sup>。

由图4可见,当钻井液体积所占比重加大时,最终固化强度受到的影响程度逐渐加大,钻井液占到40%时,混合液无法形成强度。因此在井下垮塌特别严重,钻井液驱替难度增大时,可以考虑适当增大固化剂KZ和激活剂JH的加量,弥补驱替不良造成的固化效果减弱。

## 7 结论

(1)通过实验确定了新型可固化工作液的基本配方,使其具有优异的悬浮能力、抗盐能力,能适应携带固化剂的需要以及含盐地层的性能要求。

(2)工作液具有良好的流动能力,容易形成紊流对钻井液及封固空间内的滞留物进行驱替作用。

(3)工作液的工作密度在一定范围内可调,在常温到90℃范围内都能形成一定强度,适应不同工况的实际需要。

(4)工作液与钻井液有良好的相容性,不会在接触后形成絮凝,而且对钻井液有一定的稀释作用,能增强钻井液的流动性。工作液与钻井液按一定比例条件混合后仍能形成强度。

(5)工作液可用于传统方法难以堵漏的地层进行堵漏作业。该工作液的流变性有利于进入漏失地层,静止一定时间后能形成足够强度,对地层进行有效封堵。

(6)工作液可在垮塌严重地层对井壁进行加固,在井眼内可对钻井液及井内絮凝物、附着物进行有效驱替,减少或消除钻井液污染的问题,静止一定时间后形成的强度可对井壁进行有效加固。

(7)可固化工作液中涉及的主要材料如流性改进剂、稀释剂、固化剂等均容易取得。用量最大的固化剂KZ原料主要为高炉矿渣,实际成本与水泥接近;其他处理剂为通用钻井液处理剂,激活剂本身成本也不高。同时,其实际应用中不需要额外设备、工具或特殊工艺措施支持,因此可应用于地质勘探钻孔施工领域,并具有较好的应用前景和社会经济效益。

## 参考文献:

- [1] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 山东东营:中国石油大学出版社, 2001.
- [2] 丁世东,曾一金. MS高效前置液的研制及应用[J]. 石油钻采工艺, 1995, 17(3): 27-33.
- [3] Navarrete R C, Seheult J M, Coffey M D. New biopolymers for drilling, drill-in, completions, spacer, and coil-tubing fluids[J]. Part17. SPE, Houston, Texas, 2001, (2): 13-26.
- [4] 齐奉中,李爽. 影响MTC固井液固化因素的探讨[J]. 钻采工艺, 2000, (2).
- [5] 彭志刚,冯倩,何玉荣,等. 矿渣MTC固化滤饼能力试验研究[J]. 天然气工业, 2006, (4).
- [6] 吴达华,黄柏宗,孙富全. 新型“钻井”固井液工艺和技术(II)[J]. 钻井液与完井液, 2002, (4).

## 青海优选出13个整装勘查区

《中国矿业报》消息(2012-07-21)《青海省找矿突破战略行动实施方案》(简称《方案》)日前通过评审。《方案》明确指出,今后青海省的矿产勘查工作以石油、天然气、煤炭、铁、铜、铅、锌、金、镍、钾盐为主攻矿种,兼顾非常规油气、铀、银、钴、“三稀矿产”等。

《方案》是由青海省国土资源厅会同省发改委、财政厅、科技厅和西安地质调查中心编制完成的。中国工程院院士陈毓川、汤中立等全国地质领域的专家参加了《方案》评审工作。

青海省国土资源厅有关负责人表示,《方案》是今后一段

时期青海省地质勘查工作的重要纲领和航标,它全面部署了青海省2011~2020年地质勘查工作,对实施找矿突破战略行动和推进地质找矿新机制、实现找矿重大突破、促进青海经济社会可持续发展具有重要意义。

据悉,该《方案》明确划分了5个成矿区带,确定了10个重点勘查规划区和32个重点勘查区,优选了13个整装勘查区。同时《方案》表明,今后一段时期,青海将以整装勘查作为实现找矿突破和加快形成资源基地的有效途径和重要抓手,统筹部署基础地质工作和商业性矿产勘查工作。