

MS 型堵漏隔离液的研究与应用

初永涛^{1,2}

(1. 中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东青岛 266580; 2. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101)

摘 要:为了解决易漏失井固井施工中水泥浆的漏失问题,研究开发了一种堵漏隔离液。首先运用颗粒级配理论确定堵漏材料的粒径范围,然后根据堵漏材料物理性能的要求,优选了蛭石颗粒和丙纶纤维作为堵漏材料。使用 MS 隔离液化学剂、高温隔离液助剂和堵漏材料配制得到 MS 型堵漏隔离液,对 MS 型堵漏隔离液的流变性、稳定性、纤维分布情况、相容性和冲洗能力等进行了评价,利用缝隙板堵漏试验和砂床堵漏试验对 MS 型堵漏隔离液的堵漏性能进行评价。结果表明,MS 型堵漏隔离液各项性能指标完全满足固井施工要求,堵漏承压能力达到 8 MPa。MS 型堵漏隔离液在河坝 107 井 $\phi 219.1$ mm 尾管固井中成功应用,并在川东北地区及塔河油田进行了 53 井次的现场应用,取得了良好的堵漏效果。

关键词:颗粒级配 堵漏 漏失 隔离液 承压能力

中图分类号:TE256⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2013)03-0089-05

Research and Application of MS Spacer Fluid for Plugging

Chu Yongtao^{1,2}

(1. School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (Huadong), Qingdao, Shandong, 266580, China; 2. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China)

Abstract: In order to solve the leakage problem in cementing operation, a new plugging spacer fluid has been developed. The particle size and range of plugging material were determined according to the theory of grain composition, and Vermiculite particles and Polypropylene fiber selected as plugging materials. Taking MS spacer as a base fluid, made by MS chemicals and high temperature additive, the rheological property, stability, distribution of fiber, compatibility and flushing ability were evaluated. Plugging ability of the spacer was also evaluated with crack-plate plugging and sand bed plugging experiment. The results show that the performance of the MS plugging spacer fluid meets all the requirements for cementing, and its plugging pressure-bearing ability reaches 8 MPa. The MS plugging spacer fluid was applied successfully during $\phi 219.1$ mm liner cementation in Well Heba107. Field applications of 53 wells in northeastern Sichuan area and Tahe Oilfield have got good plugging results.

Key words: grain distribution; plugging; lost circulation; spacer fluid; pressure-bearing capacity

很多复杂井由于地层承压困难,即便经过堵漏承压后,在下套管或固井过程中仍然会发生漏失,造成固井低返。截至 2010 年,中国石化勘探南方分公司在川东北地区所钻探井共计漏失 16 井次,普光气田开发井共计漏失 11 井次^[1]。在冲洗液或水泥浆中直接加入堵漏材料存在很大限制,堵漏材料不易分散均匀、易抱团;在水泥浆中加入堵漏材料时也存在易抱团、加量受限制、浆体增稠和导致附件失灵等

收稿日期:2013-03-11; **改回日期:**2013-05-12。

作者简介:初永涛(1980—),男,山东烟台人,2004 年毕业于石油大学(华东)石油工程专业,在读硕士研究生,工程师,主要从事固井水泥浆与固井工艺方面的研究工作。

联系方式:15983862338, 956653173@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”之专题“海相油气井固井完井技术”(编号:2011ZX05005-006-004)部分研究内容。

问题^[2-7]。

多数的堵漏手段都依赖于固井前的钻井液堵漏,在下完套管后缺乏切实有效的堵漏措施^[8-12]。国内外目前对于隔离液堵漏的研究和应用也不成熟,为了解决固井过程中的防漏堵漏难题,提高固井的一次成功率,开展了MS型堵漏隔离液的研究攻关。通过优选堵漏材料,利用纤维的架桥作用,结合颗粒级配理论,配制出具有良好综合性能的MS型堵漏隔离液,并在塔河油田和川东北地区应用53井次,取得了良好的堵漏效果。

1 堵漏隔离液配方优选

依据优选颗粒级配原理,实现颗粒的最紧密堆积,使其在流动性能和稳定性能之间取得最佳平衡。利用先架桥再填充堵漏的原理,实现MS型堵漏隔离液对裂缝和孔隙的封堵。

1.1 颗粒级配研究

进行颗粒级配的主要目的是保证颗粒最紧密堆积。理想的颗粒非连续紧密堆积可以采用几何学加以推导,但堵漏不仅兼顾流动性和稳定性,还要考虑镶嵌、骨架、填充及体系内各个部分的相互作用。试验发现,对于确定的缝隙,同一尺寸的颗粒无法完成堵漏任务,相对粒径越大,其镶嵌阻力也就越大,位移的能垒也就越高,移动后所释放的能量易引发其他颗粒的运动,导致整个体系堵漏失败。实际应用中,材料颗粒需在一定的粒径范围内采用连续级配,从而使颗粒之间达到紧密堆积的合理状态。根据试验结果,确定了不同类型缝隙的堵漏材料颗粒的级配比例(见表1)。

表1 堵漏材料的粒径级配结果

Table 1 Particle size analysis results of plugging material

地层类型	堵漏颗粒粒径/mm	比例, %
高渗透性地层	1.00~2.00	23
	0.45~1.00	48
	0.15~0.45	19
	<0.15	10
大孔道型地层	2.00~2.50	12
	1.00~2.00	47
	0.45~1.00	31
	0.15~0.45	10

该级配比例仅适用于相对应的孔道、裂缝和一

定孔隙度的地层,针对不同的地层孔道堵漏时,应根据孔隙度的大小作相应的调整。

根据现场堵漏要求和应用情况,隔离液助剂主要选用了MS隔离液加粉末高温助剂作为前置液基础配方,并进行了耐高温性、流变性、悬浮性能等方面的试验,确定相适应的隔离液配方为:水+10.0%MS+1.5%高温助剂+10.0%微硅。

1.2 纤维堵漏材料的选择

考虑现场施工过程中既要不影响设备的正常工作,又要能达到良好的架桥作用,选用C-IR丙纶纤维,长度4.2mm,加量0.5%。为防止纤维聚结,对纤维进行表面处理,称取适量丙纶纤维,加入到一定浓度的脂肪醇表面活性剂溶液中浸泡,干燥后待用^[13-16]。加有纤维的前置液在93℃温度下养护20min后,观察纤维的分布情况。结果发现,经过表面处理后的丙纶纤维在MS加高温助剂的前置液体系中不结团,分散好。

1.3 堵漏颗粒的选择

选用颗粒外径为0.15~2.50mm的蛭石作为堵漏剂。蛭石颗粒在隔离液中分布均匀、无沉淀,使用温度大于900℃,耐碱性良好,吸水率26%。

1.4 缝隙板堵漏试验

采用QD-1型堵漏材料试验仪,按照《钻井液用桥接堵漏材料室内试验方法》(SY/T 5840—2007)的要求,用1.0mm缝隙板作为垫床来模拟漏失地层中缝宽不大于1.0mm的地层裂缝,对MS型堵漏隔离液堵漏性能进行评价。堵漏隔离液配方为10.0%MS+1.5%高温助剂+10.0%微硅+5.0%蛭石堵漏剂+0.5%丙纶纤维。

缝隙板堵漏试验总漏失量350mL,表明采用纤维和蛭石堵漏剂配出的堵漏隔离液效果良好。MS加高温助剂与0.5%的丙纶纤维、5.0%的蛭石堵漏剂可形成良好的架桥匹配,堵漏承压能力达8MPa。

1.5 砂床堵漏试验

采用QD-1型堵漏材料试验仪,根据《钻井液用桥接堵漏材料室内试验方法》(SY/T 5840—2007)的要求,用粒径为0.45~1.00和1.00~2.00mm的石英砂填制一定渗透率的砂床模拟高渗透性地层,封堵试验结果见表2。

表 2 填砂床堵漏试验结果

Table 2 Plugging experiment results in sand pack bed

堵漏液配方	砂床粒径/ mm	承压强度/ MPa	总漏失量/ mL	结果 评价
0.8% HEC + 10.0% 微硅 + 5.0% 蛭石堵漏 剂+0.5% 纤维	0.45~1.00	8.0	190	已封堵
10.0% MS + 1.5% 助剂 + 10.0% 微硅 + 5.0% 蛭石堵漏 剂+0.5% 纤维	1.00~2.00	8.0	520	已封堵
10.0% MS + 1.5% 助剂 + 10.0% 微硅 + 5.0% 蛭石堵漏 剂+0.5% 纤维	1.00~2.00	8.0	410	已封堵

砂床堵漏试验结果表明,采用纤维和蛭石堵漏剂配出的堵漏隔离液效果良好。10.0%MS+高温助剂+0.5%纤维+5.0%蛭石堵漏剂可形成良好的架桥匹配,堵漏承压能力大于 8 MPa。

缝隙板和砂床堵漏试验评价结果表明,堵漏承

压能力均大于 8 MPa,封堵效果良好。据此,确定 MS 型堵漏隔离液的基本配方为:10.0%MS+1.5%高温助剂+10.0%微硅+5.0%蛭石堵漏剂+0.5%丙纶纤维。

2 综合性能评价

为了满足现场需要,需对 MS 型堵漏隔离液进行加重,选择重晶石粉为加重材料,对 MS 型堵漏隔离液各项性能进行综合评价。

2.1 流变性能

堵漏隔离液不仅要具有较好的堵漏效果,还要有良好的流变性能。运用高速搅拌器配制出不同密度的 MS 型堵漏隔离液,使用六速旋转黏度计测定其流变性能,不同密度的 MS 型堵漏隔离液流变性能见表 3。

表 3 MS 型堵漏隔离液流变性能

Table 3 Rheological properties of MS plugging spacer

序号	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$)	养护温度	流变性能	流性指数	稠度系数/ ($\text{Pa} \cdot \text{s}^n$)	流动度/ cm	备注
1	1.01	室温	34/24/21/16/9/7	0.51	0.48	23.5	浆体稳定、均匀,可做冲洗液使用
		93 °C	13.0/8.0/6.0/4.0/1.0/0.5	0.70	0.05		
2	1.25	室温	97/71/60/43/18/16	0.42	2.80	22.0	浆体流动度好,养护后有很好的流变性
		93 °C	27/18/15/9/5/4	0.62	0.34		
3	1.35	室温	111/83/69/52/25/24	0.45	2.05	21.0	浆体有较好的沉降稳定性
		93 °C	52/34/25/18/12/10	0.59	0.22		
4	1.45	室温	158/111/92/68/29/27	0.51	2.21	21.0	浆体稍稠,养护后纤维分布均匀,浆体均匀、稳定性好
		93 °C	90/60/48/35/18/13	0.59	0.62		

从表 4 可以看出:1)MS 型堵漏隔离液在室温和 93 °C 养护后,均具有较好的流动性能,养护后的流性指数大于 0.6,流动度 20~24 cm,具有良好的可泵性能;2)随着 MS 型堵漏隔离液密度的增大,其剪切应力略有增大,但仍具有良好的流动性能;3)MS 型堵漏隔离液在 93 °C 条件下养护后流变性能明显优于室温下的流变性能,说明浆体在井内温度条件下具有较好的流变性,有利于提高水泥浆的顶替效率。

2.2 稳定性

在 MS 型堵漏隔离液基浆中加入不同量的重晶石粉,配制不同密度的 MS 型堵漏隔离液,分别在

93 °C 下养护 20 min,倒入 1 000 mL 的量筒中,静置 2 h 后,用移液管分 3 次从量筒中取出不同层的液体,并测量每次取出液的密度,结果见表 4。

表 4 MS 型堵漏隔离液的沉降稳定性

Table 4 Settlement stability of MS spacer for plugging

序号	初始密度/ ($\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$)	静置后密度/($\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$)			层间密度差/ ($\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$)
		上层	中层	下层	
1	1.25	1.25	1.25	1.25	0
2	1.34	1.33	1.34	1.35	0.01
3	1.35	1.34	1.35	1.36	0.01
4	1.42	1.41	1.42	1.43	0.01

从表 4 可以看出,不同密度的 MS 型堵漏隔离

液均具有很好的悬浮能力和沉降稳定性能,上下密度差不大于 0.01 kg/L。

将 MS 及高温助剂在浆杯中用高速搅拌仪在 4 200 r/min 的转速下搅拌均匀,依次加入微硅、蛭石堵漏剂和纤维,再次搅拌后,堵漏材料在浆体内不漂浮、不聚集、分布均匀,稳定性好。

2.3 相容性

MS 型堵漏隔离液以不同比例与水泥浆混合,充分搅拌后,在 93 °C 条件下养护 20 min,测量混合液的流变参数,结果见表 5。

表 5 MS 型堵漏隔离液与水泥浆的相容性

Table 5 Compatibility of MS spacer and cementing slurry

配方	流变性能	流动度/cm
100%水泥浆	70/42/35/28/15/13	22
100%隔离液	56/33/25/19/13/12	23
75%隔离液+25%水泥浆	99/78/65/55/16/11	21
50%隔离液+50%水泥浆	59/45/38/32/12/10	25
25%隔离液+75%水泥浆	55/40/32/25/12/8	26

从表 5 可以看出,MS 型堵漏隔离液与水泥浆混合后,其流动度为 21~26 cm,混合液基本未出现絮凝、闪凝等现象,说明 MS 型堵漏隔离液体系与水泥浆具有良好的相容性能。

2.4 冲洗效果

将钻井液滤饼固定在 Fan-35 型旋转黏度计外筒上,用 300 r/min 转速冲刷 10 min,然后采用称重法计算 MS 型堵漏隔离液对滤饼的冲洗效果:1)清水对钻井液滤饼的冲洗率为 43.0%;2)配方 1 为水+10.0%MS+1.5%MS-R+10.0%微硅+5.0%蛭石堵漏剂+80.0%加重材料+0.5%丙纶纤维,其对钻井液滤饼的冲洗率为 77.0%;3)配方 2 为水+10.0%MS+1.5%MS-R+10.0%微硅+5.0%蛭石堵漏剂+105.0%加重材料+0.5%丙纶纤维,其对钻井液滤饼的冲洗率为 86.0%。从试验结果可以看出,MS 型堵漏隔离液对钻井液滤饼的冲洗效果较好。分析认为,MS 型堵漏隔离液中含有惰性固相粒子和非离子表面活性剂,改善了滤饼的润湿性,增强了对滤饼的摩擦冲刷作用,提高了 MS 型堵漏隔离液的冲洗能力。

3 现场应用

川东北地区上部陆相地层上沙溪庙组、自流井

组、须家河组地层较厚,砂岩、泥岩互层频繁,地层倾角大,并且部分夹有煤层,裂缝发育,断层交错,极易发生井塌、井漏,特别是三叠系嘉陵江组缝洞发育,地层压力较低,发生井漏的概率大。以前对漏失井固井时,采用在冲洗液和水泥浆中加入堵漏材料的堵漏方式,存在堵漏材料不易添加和分散不好等问题,固井一次成功率低。MS 型堵漏隔离液采取在地面用过渡罐批混工艺,保证了纤维、堵漏材料在隔离液中均匀分散,入井浆体密度均匀。

在使用 MS 型堵漏隔离液前,川东北地区固井过程中发生漏失共计 27 井次,固井质量一次合格率只有 74.6%。在使用 MS 型堵漏隔离液后,该地区固井过程中漏失概率大大降低。

河坝 107 井一开 $\phi 298.4$ mm 套管下至井深 2 883 m,二开井深 5 240 m,钻头直径 266.7 mm, $\phi 219.1$ mm 套管下深 5 238 m,悬挂位置 2 733 m,尾管封固段长 2 505 m。钻井液密度 1.38 kg/L,黏度 71 s,初切力 7 Pa,终切力 22 Pa。在二开钻井期间,从钻开上层套管鞋后就开始发生裂缝性漏失,先后共发生较大的漏失 21 次,累计漏失钻井液超过了 1 000 m³。同时,该井共钻遇 21 层气层,气层显示活跃,固井的最大难题就是防漏防气窜。决定采用一次上返注水泥浆技术方案,并使用 MS 型堵漏隔离液。现场应用过程中,用批混罐将堵漏隔离液进行一次混配,MS 型堵漏隔离液密度 1.38 kg/L,流动度 24 cm,用量 15 m³,顺利完成了固井施工,固井全过程未发生漏失。全井段封固平均声幅 30%~45%,固井质量合格率达到 100%。

截至目前,MS 型堵漏隔离液在塔河油田和川东北地区累计使用 53 井次,各井水泥浆返高均达到设计要求,固井质量一次合格率达到 96%。

4 结论及建议

1) 室内试验评价和现场应用表明,MS 型堵漏隔离液性能稳定,具有良好的堵漏防漏作用,能够提高易漏失井固井的一次合格率。

2) MS 型堵漏隔离液具有较好的流变性能和优良的冲洗作用,有利于提高顶替效率,提高水泥环的胶结质量。

3) 堵漏隔离液中堵漏材料单一,限制了承压能力的提高,建议对 MS 型堵漏隔离液进行进一步的研究,扩大堵漏材料的选型和加重材料的选择范围,并进行现场试验与应用。

参 考 文 献

References

- [1] 臧艳彬,王瑞和,张锐.川东北地区钻井漏失及堵漏措施现状分析[J].石油钻探技术,2011,39(2):60-64.
Zang Yanbin,Wang Ruihe,Zhang Rui. Current situation analysis of circulation lost and measures in Northeast Sichuan Basin [J]. Petroleum Drilling Techniques,2011,39(2):60-64.
- [2] 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.
- [3] 宋玉宽,王悦坚,苏长明,等.低密度膨胀型堵漏技术在塔深 1 井的应用[J].钻井液与完井液,2006,23(5):92-96.
Song Yukuan,Wang Yuejian,Su Changming, et al. Low density swelling sealing technology in Well Tashen-1 [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid,2006,23(5):92-96.
- [4] 徐泓.科索 1 井溶洞性漏失层堵漏技术[J].石油钻探技术,2011,39(2):120-122.
Xu Hong. Circulation lost plugging technology in Well Kesuo 1 with solution cavity [J]. Petroleum Drilling Techniques,2011,39(2):120-122.
- [5] 王伟忠,赵冲,黄树明,等.南堡油田防漏堵漏工艺技术[J].钻井液与完井液,2009,26(3):82-83,86.
Wang Weizhong,Zhao Chong,Huang Shuming, et al. Mud loss control technology used in Nanpu Oilfield [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid,2009,26(3):82-83,86.
- [6] 王清昆,孙琳琳,沈萃萃.防漏堵漏固井工艺技术及新型设备概述[J].内蒙古石油化工,2009,31(2):18-21.
Wang Qingkun,Sun Linlin,Shen Cuicui. The technology of leak resistance and sealing and the overview of a new device [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry,2009,31(2):18-21.
- [7] 邱正松,张世锋,黄维安,等.“多级孔隙最优充填”暂堵方法与现场试验[J].石油钻探技术,2012,40(5):17-21.
Qiu Zhengsong,Zhang Shifeng,Huang Weian, et al. Temporary plugging and field testing with “optimum filling for multi-stage pores” method [J]. Petroleum Drilling Techniques,2012,40(5):17-21.
- [8] 任茂,苏俊霖,房舟,等.钻井防漏堵漏技术分析与建议[J].钻采工艺,2009,32(3):29-30.
Ren Mao,Su Junlin,Fang Zhou, et al. Analysis of antileak and sealing technology [J]. Drilling & Production Technology,2009,32(3):29-30.
- [9] 王利国,鄢捷年,冯文强.理想充填暂堵型钻井完井液的设计及室内评价[J].中国石油大学学报:自然科学版,2007,31(3):72-76.
Wang Liguó,Yan Jienian,Feng Wenqiang. Design and lab evaluation of ideal packing bridging drilling and completion fluids [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Nature Science,2007,31(3):72-76.
- [10] 闫丰明,康毅力,孙凯,等.缝洞型碳酸盐岩储层暂堵性堵漏配方研究[J].石油钻探技术,2012,40(1):47-51.
Yan Fengming,Kang Yili,Sun Kai, et al. The temporary sealing formula for fractured-vuggy carbonate reservoir [J]. Petroleum Drilling Techniques,2012,40(1):47-51.
- [11] 肖晖,郭建春,曾俊.缝洞型碳酸盐岩储层水平井分段酸压技术研究[J].断块油气田,2011,18(1):119-122.
Xiao Hui,Guo Jianchun,Zeng Jun. Technical study on staged acid fracturing of horizontal well in fractured-cavernous carbonate reservoir [J]. Fault-Block Oil & Gas Field,2011,18(1):119-122.
- [12] 刘怀珠,李良川.微泡暂堵封窜技术研究与现场应用[J].石油钻探技术,2012,40(6):71-73.
Liu Huaizhu,Li Liangchuan. Study and application of micro bubble temporary plugging technology [J]. Petroleum Drilling Techniques,2012,40(6):71-73.
- [13] 黄河福,步玉环,王瑞和.纤维对水泥石常规性能影响规律的实验研究[J].西部探矿工程,2007,19(4):47-49.
Huang Hefu,Bu Yuhuan,Wang Ruihe. Experiment study on the effect of fiber on conventional properties [J]. West-China Exploration Engineering,2007,19(4):47-49.
- [14] 邹建龙,屈建省,吕光明,等.纤维水泥堵漏性能评价研究[J].钻井液与完井液,2007,24(2):42-44.
Zou Jianlong,Qu Jiansheng,Lv Guangming, et al. Laboratory evaluation of fiber cement in resuming lost circulation [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid,2007,24(2):42-44.
- [15] 贾应林,杨启华,邓建民,等.纤维堵漏低密度水泥浆的室内研究[J].钻采工艺,2009,32(1):87-88,91.
Jia Yinglin,Yang Qihua,Deng Jianmin, et al. Experimental research on the fiber-plugging slurry with low density [J]. Drilling & Production Technology,2009,32(1):87-88,91.
- [16] 谷穗,乌效鸣,蔡记华.纤维水泥浆堵漏实验研究[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2009,36(4):23-26.
Gu Sui,Wu Xiaoming,Cai Jihua. Sealing experiment research on fiber cement slurry [J]. Exploration Engineering: Rock & Soil Drilling and Tunneling,2009,36(4):23-26.

[编辑 滕春鸣]