

新型水基钻井液成膜处理剂的研制与应用

李浩¹, 陈礼仪¹, 陈尔志¹, 吴林², 谢兵², 申太云²

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059; 2. 四川地勘局 202 地质队, 四川 宜宾 644000)

摘要:从深孔金刚石绳索取心钻探工艺对钻井液性能的要求出发,运用成膜理论和技术,开发了一种新型水基钻井液成膜处理剂。现场实践证明了一种水基钻井液成膜处理剂对强水敏性地层具有较强的抑制能力和良好的护壁效果。介绍了水基钻井液的成膜作用机理,以及 X-1 水基成膜剂的研制和工程应用情况。

关键词:绳索取心钻探;水基钻井液;成膜处理剂

中图分类号:P634.6 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2010)04-0020-03

Development and Application of New Membrane-forming Additive for Water-based Drilling Fluid/LI Hao¹, CHEN Li-yi¹, CHEN Er-zhi¹, WU Lin², XIE Bing², SHEN Tai-yun² (1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. 202 Geological Team of the Sichuan Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Yibin Sichuan 644000, China)

Abstract: Starting from the basic requirements of wire-line coring diamond drilling technique, film forming theory and technology was applied to develop a new film forming additive for water-based drilling slurry which was proved to have strong ability of restrain and wall protection in high water sensitivity formation with the improvement of drilling efficiency. The paper introduced the film-forming mechanism of water-based drilling fluid, the development and engineering application of X-1 water-based film-forming additive.

Key words: wire-line coring drilling; water-based drilling fluid; membrane-forming additive

0 引言

近年来,随着国家深部找矿计划的实施,深部固体矿产的勘查是很重要的一部分。这也使得钻探工程面对的孔越来越深,地层更加复杂,在裂隙发育、松散破碎以及强水敏性的泥页岩地层,孔内的坍塌、缩径等事故经常发生,这对传统钻井液的护壁问题带来很大的挑战,加之近年来小口径金刚石绳索取心工艺的普及,钻井液与绳索取心工艺的匹配问题也日益突出。

国内外学者在长期的研究和实践中提出了水基钻井液成膜的理论和技术,并在油田钻探中取得了很好的应用效果。这种钻井液体系强调钻井液的成膜性和低渗透性,这给解决复杂地层的护壁问题提供了很好的解决思路。因此,将水基钻井液成膜的理论和技术引入到固体矿产勘查钻探中是很有意义的。

1 钻井液的成膜作用机理

根据美国 M-1 钻井液公司对泥页岩的研究,认为水基钻井液可以形成 3 种类型的膜^[1-7]。

(1) 聚合物材料成膜(I型膜)。这类膜形成于页岩表面,钻井液滤液、页岩粘土、孔隙流体的化学性、孔隙尺寸、滤液粘度、渗透率、粘土组分和页岩的胶结作用都会影响膜的形成。在水基钻井液中能够成膜的物质有糖类化合物及其衍生物(如甲基葡糖甙 MEG)、丙烯酸类聚合物、硅氧烷和各种表面活性剂等。

(2) 封堵材料(II型膜)和合成基、逆乳化成膜(III型膜)。II型膜的代表材料是硅酸盐类化合物,成膜效率可达 70% 以上;合成基、逆乳化成膜是由连续相的可移动薄膜、表面活性剂薄膜和钻井液的水相的薄膜组成的膜,是一种隔离膜。

成膜作用机理主要通过成膜剂与泥页岩表面产生化学反应、功能分子的吸附等作用,能够在泥页岩表面或内部形成具有一定强度的膜结构,阻止水或钻井液渗入泥页岩中,从而形成对泥页岩较强的抑制作用^[8]。

2 X-1 水基成膜剂的研制

2.1 成膜主剂和助剂的选择

收稿日期:2010-01-15

作者简介:李浩(1985-),男(汉族),湖北老河口人,成都理工大学硕士在读,地质工程专业,研究方向为岩土钻掘工程,四川省成都市, lhwen2009@sohu.com。

由于成膜剂大多都是高聚物,高聚物往往都具有明显的增粘作用,而小口径金刚石绳索取心工艺基本要求是钻井液具有较好的流变性和较低的粘度。基于这个要求,成膜主剂优先选用具有不增粘效果的高聚物。经大量的室内试验,认为 XY 系列高聚物具有 2 大优点:一是该系列高聚物属丙烯酸类化合物,根据成膜作用理论,可以形成 I 型膜;二是该系列聚合物不仅不增粘,还有一定的降粘作用,与绳索取心工艺对钻井液的基本要求相符。因此,选择 XY 系列高聚物作为成膜主剂。

由于单一的成膜主剂往往不能达到理想的作用效果,因此有必要加入一种或几种成膜助剂来改进成膜主剂的不足。经大量试验,认为 YP 聚合物可以作为成膜助剂,其理由是:(1) YP 聚合物是一种表面活性剂,可以先期吸附于岩石表面,从而加快成膜速度;(2) YP 聚合物增粘效果不明显,与绳索取

心工艺对钻井液的基本要求也相符。因此,选择 YP 聚合物作为成膜助剂。

2.2 复配试验

复配试验采用正交试验的方法,在多因素多水平的情况下,能以较少的试验量达到优选方案的目的。由于在实际配制钻井液时,都需要先加入 CMC,以增加膨润土颗粒水化膜的厚度,因此,在正交试验设计中将 CMC 也作为一个因素考虑,各因素选用两个水平,形成三因素两水平(表 1)的正交试验,根据正交试验的设计标准,三因素水平的正交试验,最少要做 4 组试验(表 2)。基浆密度 1.03 kg/L。

表 1 因素水平表

因素	A(CMC)	B(XY 系列)	C(YP)
1	A1(0.2%)	B1(0.5 g/L)	C1(1.0 g/L)
2	A2(0.4%)	B2(0.8 g/L)	C2(1.5 g/L)

表 2 正交试验结果表

配制方案	T /s	FL /[mL·(30 min ⁻¹)]	AV /mPas	PV /mPas	YP /Pa	YP/PV	n
基浆 +0.2% CMC +0.5 g/L XY +1.0 g/L YP	21	9.0	12.0	10.0	2.04	0.20	0.78
基浆 +0.2% CMC +0.8 g/L XY +1.5 g/L YP	26	8.4	16.5	13.0	3.58	0.28	0.72
基浆 +0.4% CMC +0.5 g/L XY +1.5 g/L YP	30	8.0	18.0	12.0	6.13	0.51	0.58
基浆 +0.4% CMC +0.8 g/L XY +1.0 g/L YP	25	7.6	16.0	13.0	3.07	0.24	0.75

复配试验的优选方案是根据钻井液的失水量 FL、YP/PV 和 n 值这 3 个指标的极差确定各因素的影响程度,进而确定各因素的加量水平。3 个指标的重要程度依次确定为:失水量、YP/PV 和 n 值。

表 3 因素、极差分析表

指标	A	B	C	
FL	K1	8.700	8.500	8.300
	K2	7.800	8.000	8.200
	极差 R	0.900	0.500	0.100
	因素主次	A > B > C		
	优方案	A2 B2 C2		
YP/PV	K1	0.2400	0.3550	0.2200
	K2	0.3750	0.2600	0.3950
	极差 R	0.1350	0.0950	0.1750
	因素主次	C > A > B		
	优方案	A2 B1 C2		
n	K1	0.7500	0.6800	0.7650
	K2	0.6650	0.7350	0.6500
	极差 R	0.0850	0.0550	0.1150
	因素主次	C > A > B		
	优方案	A2 B1 C2		

的主次关系,综合分析权衡后确定各因素的最佳组合。分析过程如下:

A 因素:从 3 个指标来看,都是 A2 较好,且对失水量 A 是主要影响因素,因此选 A2;

B 因素:从失水量来看,B2 较好,其他两个指标是 B1 较好,但对失水量,B 因素是较次要因素,而对其他 2 个指标,B 因素都是末位次要因素,因此选取 B2;

C 因素:从 3 个指标来看,都是 C2 较好,因此选取 C2。

从上述分析中,可以清楚的确定 3 个因素的最佳组合方案是:A2 B2 C2,也就确定了在基浆密度为 1.03 kg/L 且 CMC 加量在 0.4% 的情况下,XY 系列高聚物与 YP 聚合物的最佳复配比例是 1: 1.9。

3 X-1 水基成膜剂综合性能

3.1 X-1 水基成膜剂的基本性能

X-1 水基成膜剂的基本性能是在基浆密度为 1.03 kg/L 且 CMC 加量在 0.4% 的情况下的性能(表 4)。在试验中将加入 X-1 成膜剂的低固相钻

2.3 优选方案

根据 3 个指标的重要程度以及各指标中各因素

表4 X-1水基成膜剂的性能表

配制方案	T /s	FL [$\text{mL} \cdot (30 \text{ min}^{-1})$]	AV /mPas	PV /mPas	YP /Pa	YP/PV	n
基浆 + 0.4% CMC + 500 mg/L PHP	28	13.0	15.5	13.0	2.56	0.20	0.78
基浆 + 0.4% CMC + 0.8 g/L XY	22	8.4	12.5	9.0	3.58	0.40	0.64
基浆 + 0.4% CMC + 2.5 g/L X-1	25	7.2	18.5	12.0	6.64	0.55	0.57

井液与普通 CMC - PHP 双聚低固相钻井液和单独加入 XY 系列高聚物的低固相钻井液作对比试验,以反映 X-1 成膜剂的成膜性能。

由表 4 的对比中可以看出,加入 X-1 水基成膜剂的低固相钻井液性能明显优于普通 CMC - PHP 双聚低固相钻井液和单独使用 XY 系列高聚物的低固相钻井液,说明了 X-1 水基成膜剂能使低固相钻井液的性能得到较大的提升。

3.2 膜的承压试验

膜的承压试验方法是利用滤失量试验的装置,盛液器中加入清水,将滤失试验后的滤饼放在盛液器上,逐渐增加气压,直至有清水渗出,并测定每渗出 1 mL 清水所需的时间见表 5。

表5 膜的承压试验结果表

配方	压强 /MPa	试验现象
基浆 + 0.4% CMC + 2.5 g/L X-1	0.40	无清水滴出
	0.60	160 s 滴出 1 mL 清水
基浆 + 0.4% CMC + 500 mg/L PHP	0.10	32 s 滴出 1 mL 清水
	0.15	20 s 滴出 1 mL 清水
基浆 + 0.4% CMC + 0.8 g/L XY	0.20	无清水滴出
	0.30	112 s 滴出 1 mL 清水

由表 5 可以看出,加入 X-1 水基成膜剂的钻井液,膜的承压能力得到较大的提高,由原来不足 0.3 MPa 提高到 0.4 MPa,并在 0.6 MPa 下,每滴出 1 mL 清水所用的时间也很稳定,说明其所成的膜并没有被破坏,滴出清水主要是因为压差作用下,清水渗透形成的。

3.3 标准岩心膨胀试验

该试验将制成的标准岩心浸泡在成膜钻井液中,利用高灵敏度的百分表测定标准岩样的纵向膨胀量,膨胀量越小,说明钻井液对水敏性地层的抑制

能力越强。标准岩心的制作过程是:称取 26 g 人工钠土,在 105 ~ 110 °C 下烘干 2 h,然后加入 4 mL 蒸馏水搅拌均匀,装入特制压模中匀速加压至 20 MPa,恒压 15 min,取出后风干 4 天,等岩样质量在 28.9 g 左右时,用于试验,试验结果如图 1 所示。

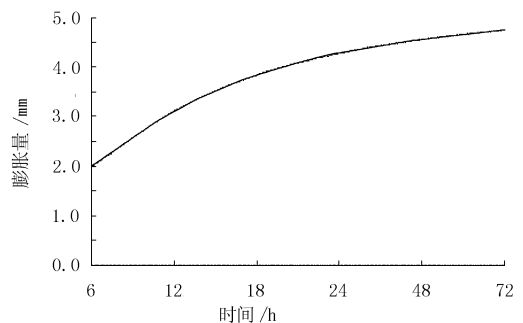


图1 标准岩心膨胀试验结果

从图 1 中可以看出,在整个试验时间内,岩心的膨胀量增长比较缓慢,特别是在 18 h 后,岩心的膨胀量不到 1 mm,这说明了 X-1 水基成膜剂膜的吸附速度较快,对泥质岩心有较强的抑制作用。

4 工程应用

X-1 水基成膜剂在四川省筠连县孔雀乡塘坝煤矿 ZK11-1 孔得到应用,根据地层实际情况,配制了 2 种不同的成膜钻井液体系。

1 号配方:4% 钠土 + 0.4% CMC + 0.8 g/L XY 系列高聚物,用于上覆地层;

2 号配方:4% 钠土 + 0.4% CMC + 2.5 g/L X-1,用于煤系地层。

2 种成膜钻井液体系的性能如表 6。实践表明,X-1 水基成膜剂在煤系地层中取得了较好的应用效果。

表6 现场使用的水基成膜钻井液性能表

配方编号	ρ /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	T /s	FL [$\text{mL} \cdot (30 \text{ min}^{-1})$]	AV /mPas	PV /mPas	YP /Pa	YP/PV	n
1	1.03	23.0	8.6	12.6	9.0	3.58	0.40	0.63
2	1.03	27.6	7.2	18.7	12.0	6.62	0.55	0.56

ZK11-1 孔使用金刚石绳索取心钻探工艺,上覆地层产状较陡,裂隙发育。在第一次钻进 283 ~

289m 孔段时,发生多次坍塌,孔径扩大,经多次处
(下转第 26 页)

用螺旋干式排渣工艺的钻孔统计表。

表1 II 827 采面4号机巷复合排渣钻进钻孔统计表

孔号	倾角/(°)	钻头规格/mm	孔深/m	备注
1-1	14	85	74	喷孔
1-2	112	85	70	喷孔
1-3	14	85	100	
1-4	14	85	74	喷孔
1-5	14.5	85	102	
2-1	14.5	85	101	
2-2	14	85	35	见顶板
2-3	11	85	58	喷孔
2-4	11	85	52	见顶板
2-5	13.5	82	94	
2-6	11	85	71	喷孔
3-1	11.5	85	66	喷孔

注:采用三翼硬质合金钻头。

表2 II 827 采面4号机巷螺旋干式钻孔统计表

孔号	倾角/(°)	钻头规格/mm	孔深/m	备注
1-1	13	110	18	喷孔
1-2	14	110	9	喷孔
1-3	13.5	110	15	喷孔
2-1	13	110	20	喷孔
2-2	14.5	110	5	喷孔
2-3	12	110	12	喷孔

注:采用三翼硬质合金钻头。

(上接第22页)

理无效后最终成为废孔,然后在距原孔位1.5 m处重新开孔,并使用了X-1水基成膜剂,煤系地层自321~756 m,从开孔到终孔,没有一起孔内事故发生,煤系地层岩心平均采取率为95.6%,在钻进中钻杆内没有结泥皮的现象,一次电测即可到底,表现了X-1水基成膜剂优良的成膜性能和抑制能力。

5 结论

通过室内试验和现场应用,可以看出,X-1成膜剂具有良好的成膜性能,对强水敏性地层也有较强的抑制能力,与其形成的水基成膜钻井液体系解决了在深孔复杂地层的护壁问题,同时其较低的滤失量、较好的流变性能也形成了一种与小口径金刚石绳索取心钻探工艺相匹配的钻井液体系。该钻井液体系在煤系地层中的成功应用,也为复杂煤系地

5 结论

(1)以风力排渣为主、螺旋排渣为辅的复合排渣钻进技术综合了两种排渣方式的优点,能够及时有效地将钻屑排除,减少重复破碎,降低发生卡、埋钻事故的几率。

(2)配套设备配置合理、性能稳定,为复合排渣钻进提供了有力保障,可形成复合排渣钻进用配套设备。

(3)使用复合排渣钻进技术进行瓦斯抽放钻孔施工,明显提高了成孔深度,提高了钻进效率,可在类似煤层推广。

参考文献:

- [1] 李泉新. 松软突出煤层瓦斯钻孔成孔技术与配套装备的研究[D]. 西安:煤炭科学研究总院西安研究院,2007.
- [2] 冀前辉. 松软煤层中风压空气钻进供风参数研究及除尘装置研制[D]. 西安:煤炭科学研究总院西安研究院,2009.

层的护壁问题找到了一种解决的方法。

参考文献:

- [1] 孙金声,刘雨晴,唐继平,等. 超低渗透钻井液完井液技术研究[J]. 钻井液与完井液,2005,22(1):1-4.
- [2] 孙金声,林喜斌,张斌,等. 国外超低渗透钻井液技术综述[J]. 钻井液与完井液,2005,22(1):57-59.
- [3] 罗向东,陶为民,刘鹏,等. 无渗透无侵害钻井液及其渗滤性能评价方法的探讨[J]. 钻井液与完井液,2005,22(1):5-8.
- [4] 栾合道,王来祥,伊丕厚. 高效、快速成膜防塌剂的研究与应用[J]. 探矿工程,1991,(4):16-17.
- [5] 何远信. 钻井液技术展望[J]. 探矿工程,1999,(1):24-25,31.
- [6] 徐同台,赵忠举,袁春. 国外钻井液和完井液技术的新进展[J]. 钻井液与完井液,2004,21(3):1-10.
- [7] 聂宇,徐滨. 国内外水基钻井液新技术[J]. 西部探矿工程,2006,(11):177-178.
- [8] 白小东,蒲晓林. 水基成膜钻井液技术新进展[J]. 天然气工业,2006,26(8):75-77.