

# 微泡沫钻井液研究及其在黄金勘探中的应用

刘维平<sup>1,2</sup>, 郑秀华<sup>1</sup>, 谢博<sup>3</sup>

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 武警黄金第七支队, 山东烟台 264004; 3. 武警黄金第一支队, 黑龙江牡丹江 157021)

**摘要:**微泡沫钻井液本身具有防漏、堵漏能力, 尤其适用于绳索取心在固体矿产勘探中普遍存在的微裂隙漏失, 而且无需专门设备、不影响正常钻进, 加之微泡沫钻井液具有润滑性好、携带岩屑能力强、岩心保护好、井壁稳定等特点, 更加有利于提高绳索取心钻进效率、减少事故发生。因此将微泡沫技术应用到绳索取心钻进中前景很好, 潜力很大。

**关键词:**微泡沫钻井液; 绳索取心钻进; 防漏; 堵漏

**中图分类号:** P634.6<sup>+</sup>4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)03-0013-04

**Study on Micro-foamed Drilling Fluid and Application in Gold Exploration/LIU Wei-ping<sup>1,2</sup>, ZHENG Xiu-hua<sup>1</sup>, XIE Bo<sup>3</sup>** (1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. No. 7 Detachment of the Gold Army, CAPF, Yantai Shandong 264004, China; 3. No. 1 Detachment of the Gold Army, CAPF, Mudanjiang Heilongjiang 157021, China)

**Abstract:** Micro-foamed drilling fluid has the ability to control lost circulation, which is more applicable for wire-line coring drilling in mineral exploration where micro-crack lost happens frequently with the advantages of good lubrication, high capacity of cutting transportation and core protection etc. but without necessity of special equipment. Micro-bubble drilling fluid is conducive to improve the efficiency of wire-line coring drilling and reducing accidents; therefore, this technology has good prospects and great potential for wire-line core drilling.

**Key words:** micro-foamed drilling fluid; wire-line coring drilling; lost circulation control; leakage stoppage

## 1 概述

金刚石绳索取心钻进是一种在工程勘察和地质找矿中应用非常广泛的技术, 与普通钻进取心相比, 绳索取心具有可以控制钻孔偏斜度、提高岩心采取率、减少孔内事故、提高钻进效率、降低工程成本等优点, 因而被广泛应用<sup>[1]</sup>。

金刚石绳索取心钻进具有环状间隙小、回转速度高等特点, 常常难以钻进复杂地层且容易出现钻杆结垢等问题, 这就对钻井液有更高的要求, 但现在普遍采用的低固相不分散聚丙烯酰胺钻井液难以达到要求, 从而限制了绳索取心钻进方法在复杂地层中的应用。笔者针对这种情况, 将微泡沫技术应用到绳索取心钻进液中, 同时配合使用多种优质高效的添加剂, 研制出了一种新型微泡沫绳索取心钻井液体系。

本文所介绍的微泡沫钻井液主要包括 2 种类型: 无固相微泡沫钻井液体系, 主要应用于孔壁稳定地层钻进; 低固相微泡沫钻井液体系, 主要针对坍塌掉块地层。对这 2 种钻井液类型的研究主要包括 2

个阶段: 一是实验室阶段, 主要采用正交试验的方法, 结合绳索取心对钻井液的要求, 对添加剂的用量进行优选, 得出实验室最优配方; 二是现场应用阶段, 将在实验室得到的最优配方在牡丹江金厂矿区进行应用, 并根据实际钻进情况调整钻井液添加剂比例, 得到可以用于实践生产的微泡沫钻井液体系。

在 ZK5503 孔现场实验表明, 所采用的无固相微泡沫钻井液技术具有携带岩屑能力好、润滑性高、固相含量低等优点, 并且具有防漏堵漏效果, 随钻堵漏就可以起到很好的堵漏效果。这种微泡沫钻井液拓展了绳索取心钻进方法在相对复杂地层中的应用, 无论是从降低工程成本还是提高钻进效率上都是比较成功的。

## 2 室内实验

微泡沫钻井液具有适应性强、密度小、滤失量小、不易发生漏失和保护油气层等优点, 且无须配备专用设备, 施工周期短, 成本较低, 地面循环过程中不需要额外设备, 基本不影响泥浆泵的上水效率, 因

收稿日期: 2010-06-12

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“可循环微泡沫钻探技术的研究”(1212010660802)

作者简介: 刘维平(1986-), 男(汉族), 山东烟台人, 中国地质大学在读研究生, 地质工程专业, 主要从事钻井液方面的研究工作, 北京市海淀区学院路 29 号。

而具有良好的应用前景<sup>[2-4]</sup>。将微泡沫技术运用到绳索取心钻井液中,可以满足绳索取心对钻井液润滑性的要求,此外微泡沫钻井液可以保持孔内清洁,控制固相含量,能够有效抑制钻杆结垢的发生。微泡沫钻进液本身还具有一定封堵裂隙的能力,尤其对绳索取心钻进地层常出现的微裂隙非常有效<sup>[4]</sup>。

我们结合金刚石绳索取心钻进特点,选择优质高效的钻井液添加剂,配合微泡沫技术,得出了微泡沫钻井液体系的主要构成:稳泡剂(WPJ)、水解度30%水解聚丙烯酰胺(PHP)、发泡剂(FPJ)、润滑剂以及膨润土等。利用正交实验方法对配方进行优选。

2.1 正交实验设计

本实验在保持 pH 值和润滑性不变的基础上,考查膨润土、WPJ-1、WPJ-2、PHP、FPJ 对钻井液性能的影响。无固相微泡沫钻井液设计 4 水平 4 因素正交试验,具体用量见表 1;低固相微泡沫钻井液设计 4 水平 5 因素正交试验,具体用量见表 2。

表 1 无固相微泡沫钻井液考查因素及水平

WPJ-1/%	WPJ-2/%	PHP/ppm	FPJ/%
0.1	0.1	30	0.05
0.3	0.2	50	0.1
0.5	0.3	80	0.15
0.8	0.4	100	0.2

表 2 低固相微泡沫钻井液考查因素及水平

膨润土/%	WPJ-1/%	WPJ-2/%	PHP/ppm	FPJ/%
0	0	0	0	0
0.5	0.2	0.1	30	0.05
1	0.3	0.2	50	0.1
1.5	0.4	0.3	80	0.15

2.2 钻井液方案优选

钻井液方案优选是通过表观粘度、塑性粘度、动切力、动塑比、滤失量等性能指标分别进行优选,然后综合得到最优方案。下面以低固相微泡沫钻井液滤失量为指标参数优选为例,介绍配方优选方法。

对 16 组正交实验得到的滤失量结果进行分析,得到了滤失量直观分析表(表 3)和滤失量效应曲线(图 1),对上述图表进行分析便可得到以滤失量为标准的最优方案。

从表 3 得到膨润土对失水的影响最大,其次是 WPJ-2 的加量,其它影响不显著。对滤失量的要

表 3 滤失量直观分析表

因素	膨润土	WPJ-1	WPJ-2	PHP	FPJ
均值 1	0.000	20.500	35.000	23.250	25.750
均值 2	41.500	29.500	23.000	28.000	24.000
均值 3	29.250	26.500	25.250	23.750	29.000
均值 4	33.750	28.000	21.250	29.500	25.750
极差	41.500	9.000	13.750	6.250	5.000

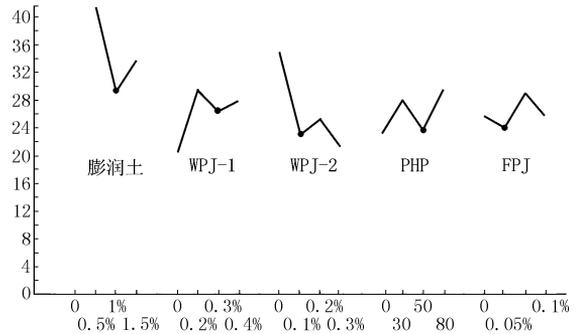


图 1 滤失量效应曲线

求是越低越好,因此膨润土加量 1%、WPJ-1 加量 0.2%、WPJ-2 加量 0.2%、PHP 加量 60 ppm、FPJ 加量在 0.05% 失水最小。

从滤失量效应曲线看,随着膨润土量加大滤失量呈先下降后升高的趋势,最低点膨润土加量为 1% 左右。同理要得到最小的滤失量,WPJ-1 加量 0.3%、WPJ-2 加量 0.1%、PHP 加量 50 ppm、FPJ 加量 0.05% 时滤失量达到最低点。

综合以上结论得到以滤失量为指标的最优配比:膨润土为 1%、WPJ-1 为 0.2%、WPJ-2 为 0.2%、PHP 为 60 ppm、FPJ 为 0.05%。

2.3 室内最优方案及基本性能

利用上述方法得到了无固相微泡沫钻井液体系和低固相微泡沫钻井液体系的最优配方,具体配方见表 4,性能指标见表 5。最优配比得到的微泡沫钻井液体系润滑性好、流变性好、密度小、粘度小、携带岩屑能力强,适合绳索取心钻进对钻井液低粘度、低固相含量的要求。

表 4 微泡沫钻井液体系组成

钻井液体系	膨润土 /%	WPJ-1 /%	WPJ-2 /%	PHP /ppm	FPJ /%
无固相微泡沫钻井液体系	0	0.4	0.3	50	0.1
低固相微泡沫钻井液体系	0.5	0.2	0.2	80	0.05

表 5 微泡沫钻井液性能指标

钻井液体系	密度 / (g·cm <sup>-3</sup> )	AV / (mPa·s)	PV / (mPa·s)	YP /Pa	动塑比	pH 值	初切力 /Pa	终切力 /Pa	润滑指数
无固相微泡沫钻井液	0.92	32	16	12.25	0.74	9	4	5.5	0.128
低固相微泡沫钻井液	0.99	21	13	8	0.61	9	1.5	2.25	0.13

### 3 现场应用

#### 3.1 现场实验

##### 3.1.1 实验矿区

武警黄金第一支队牡丹江金厂矿区 ZK5503 钻孔。

##### 3.1.2 实验地层

金厂矿区地层主要岩性为花岗岩、闪长岩、闪长玢岩,矿化有绿泥石化、黄铁矿化,普遍存在微裂隙,部分地层存在风化带和破碎带。

##### 3.1.3 钻进工艺及取心

ZK5503 孔采用的是金刚石绳索取心正循环钻进的技术,采用 CS14 型全液压钻机,孕镶金刚石钻头,钻头外径 75.6 mm,内径 54 mm。井身结构:共变径 3 次,开孔至 8.43 m 为  $\varnothing 110$  mm,8.43 ~ 16.43 m 为  $\varnothing 91$  mm,16.43 至终孔 565 m 为  $\varnothing 75$  mm。水泵排量 40 ~ 45 L/s,最大允许泵压 3 MPa,机械转速 700 r/min。

##### 3.1.4 实验情况

提前预水化 WPJ-1 和 PHP,按以下顺序添加:水、WPJ-1、PHP、WPJ-2、FPJ、NaOH、润滑剂,首先将泥浆池中放入将满的水,将搅拌速度调到最高,按照比例加入已预水化好的 WPJ-1 和 PHP,再向池中均匀洒落 WPJ-2,待泥浆池中 WPJ-2 没有块状时加入 FPJ,FPJ 加入要缓慢,搅拌要充分,泥浆池中钻进液有明显膨胀时可以再向泥浆池中加入皂化油和烧碱,充分搅拌即可使用。现场配制好的钻井液性能指标是:pH 值 9,漏斗粘度 24 s,密度 0.85 g/cm<sup>3</sup>。

#### 3.2 性能维护

所采用的新型绳索取心钻井液主要特点是无固相、不分散和微泡沫型聚合物钻进液,在现场应用中解决以下 3 个方面问题:一是必须使用高效的絮凝剂使钻屑始终保持在分散状态,在地面循环系统中发生絮凝而全部清除;二是有一定的提粘措施,并能够按工程上要求,实现平板型层流并能顺利携带岩屑;三是要有一定的防塌措施,以保证井壁的稳定。

现场配制与维护的要点如下:

遇到易涌水地段,停止加发泡剂,提前准备充足的泥浆材料、加重材料,配制好固相含量高、密度大、质量好的泥浆。钻进过程中一旦发现孔内上返泥浆变稀或有微涌现象,要及时将受水侵的泥浆排出孔外,通过搅拌机再往基浆中补充加稠材料和加重材料,调整性能,增大泥浆的粘度和密度。

遇到泥页岩等水敏性地层,可在泥浆池中加入 1% 的 KCl,有条件的可加入 0.2% ~ 0.3% 分子量在 20 万左右的阳离子聚丙烯酰胺。

促进絮凝,加适量的 CaCl<sub>2</sub>,通过储备池循环,避免搅拌,让钻屑尽量沉淀。

遇到微裂隙地层,要加大发泡剂的添加量,一般不超过 0.3% 即可,在搅拌池中充分搅拌,当钻井液在搅拌池中体积明显增大时,便可以使用。

适当清扫。在接单根或起下钻时,用增粘剂与清水配几立方米粘稠的清扫液打入循环,以便把环空中堆积的岩屑清扫出来。只要保证上水池内的清水清洁,即可获得最大钻速<sup>[5]</sup>。

还应注意的,应当每隔一段时间对钻井液的性能进行测试。现场应用新型绳索取心钻井液的性能标准是:pH 值保持在 8 ~ 9,漏斗粘度保持在 24 s 左右,不低于 15 s;密度应当小于 1 g/cm<sup>3</sup>,如果密度大于 1 g/cm<sup>3</sup> 说明钻井液中固相含量过高,应当加大絮凝与清扫工作;含砂量应小于 2%。

#### 3.3 效果评价

绳索取心用微泡沫钻井液体系在以下几方面表现出良好的性能。

##### 3.3.1 钻井液密度低,携带岩屑能力强

使用新型钻井液后,上返的钻井液含砂量明显提高,这是由于微泡沫钻井液动切力较高,具有较强的携岩能力,从而保证了井眼清洁,减少了钻具之间的磨损,避免了重复破碎。

##### 3.3.2 钻井液润滑性好,回转阻力低

使用这种新型钻井液后,钻机扭矩明显减小,从 150 bar 降低至 100 bar(全液压钻机驱动,压力表液压值反映了扭矩——作者注),说明所钻井液具有良好的润滑性,能有效减少回转阻力。

##### 3.3.3 岩心采取率高,岩心保护好

从图 2 对比可以明显看出,使用后岩心完整,采取率高,表明所使用的钻井液体系对岩心保护好。

##### 3.3.4 钻进效率高

钻进效率主要从 ZK55035 孔乙班和丙班的原始记录表上对比,乙班在使用新型钻井液之前,8 h 共进尺 6 m,纯钻时间 4.5 h,辅助时间 3.5 h,纯钻率 56.25%,辅助率 43.75%,钻进时效 0.75 m。丙班使用该微泡沫钻井液后,8 h 共进尺 12 m,纯钻时间 6 h,辅助时间 2 h,纯钻率 75%,辅助率 25%,钻进时效 1.75 m。对比发现,使用新型绳索取心钻井液后进尺增加了 6 m,纯钻率增加 32.89%,辅助率降低 42.86%,钻进时效增加 100%,因此使用该



图2 微泡沫钻井液使用前后岩心对比图

微泡沫钻井液能够较大幅度提高钻进效率,详细经济指标对比见表6。

表6 现场实验经济技术指标对比表

钻井液类型	纯钻率 /%	辅助率 /%	停待率 /%	钻进时效 /m	进尺 /m
普通钻井液	56.25	43.75	17	0.75	6
微泡沫钻井液	75	25	15.7	1.75	12

### 3.3.5 防漏堵漏能力强

现场实验时该井钻井液大约漏失一半,使用新型微泡沫钻井液将孔内剩余钻井液替换后,将沉淀槽放入沉淀池形成循环,经过一个大班钻进后,沉淀槽中的钻井液没有明显减少,钻井液基本不漏,说明该微泡沫钻井液对于微型裂隙具有良好的封堵能力,而且无需配制堵漏泥浆,随钻堵漏就能起到很好的效果,从而增加了纯钻时间,提高了钻进效率。

## 4 结论

本文通过金刚石绳索取心技术对钻井液的要求及钻进时常出现的问题,在现有绳索取心钻进常用钻井液基础上,发展多种添加剂,得出了针对不同地层的效果良好的高性能水基钻井液,有以下几点结论:

(1)将微泡沫技术应用到绳索取心钻井液,能够拓宽绳索取心钻进应用领域,充分发挥绳索取心钻进的特点。

(2)所研究的无固相微泡沫钻井液体系絮凝效果好、润滑性好、携带岩屑能力强,适合绳索取心钻进对钻井液低粘度、低固相含量要求,能够平稳高效的钻进相对稳定地层。

(3)针对复杂地层研究的低固相微泡沫钻井液体系,具有相对较高的密度和较低的滤失量,对孔壁有较好的保护作用,可以有效防止地层坍塌,减少在钻进复杂地层时事故率。

(4)现场应用表明该新型微泡沫绳索取心钻井液体系具有固相含量低、润滑性好、携岩能力强、岩心保护好、钻进效率高等特点,并具有一定的防漏堵漏能力,对地层有良好的保护作用,无论是从降低工程成本还是提高钻进效率上都是比较成功的,在实际生产中可以借鉴应用。

## 参考文献:

- [1] 刘广志. 金刚石钻探手册[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [2] 郑秀华,李国庆,王军,等. 可循环微泡沫及其应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,(S1):255-259.
- [3] 郑秀华,王军,詹美萍,等. 微泡钻井液在岩心钻探中的多重功效[J]. 地质与勘探,2008,(3):321-324.
- [4] 詹美萍. 微泡钻井液防漏堵漏机理及应用研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2007.
- [5] 蒲晓琳,等. 水基微泡钻井液防漏与堵漏原理研究[J]. 天然气工业,2005,(5):47-49.
- [6] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 山东东营:中国石油大学出版社,2006.

## 山东煤田地质一队创造煤田地勘单孔最深记录

**国土资源网消息** 山东煤田地质一队施工的河北唐山开平向斜核部普查区ZK9-1号钻孔日前终孔,孔深1950.68m,创造了我国煤田地质勘探单孔最深记录。

据了解,ZK9-1号钻孔设计孔深1800m,是唐山开平向斜核部煤炭资源普查区设计最深的钻孔。山东煤田地质一队特种勘察技术工程公司接到施工任务后,对施工工艺、钻探参数选择、泥浆调制使用等进行了反复探讨和科学论证,

并制订了切实可行的施工方案。经过8个月的努力,顺利完成该钻孔的施工,并在1900m以深处揭露了厚度1.60、0.78m的可采煤层两层。

据了解,开平煤田是我国重要的产煤区,由于近百年来开采,该区浅部煤炭资源已基本采空。2009年初,河北省地勘局第二地质大队向河北省国土资源厅提出开平煤田核部(1500~2000m)煤炭资源勘查立项申请,获批实施。