

# 云南腾冲科学钻探废弃钻井液固化处理技术研究

卢予北<sup>1</sup>, 范晓远<sup>2</sup>, 吴 焯<sup>2</sup>, 李丹丹<sup>2</sup>

(1. 河南省深部探矿工程技术研究中心, 河南 郑州 450053; 2. 河南省工程学院, 河南 郑州 451191)

**摘要:**根据云南腾冲科学钻探废弃钻井液的特点,确定了先絮凝破胶再固化的技术路线,筛选出絮凝破胶预处理及固化的最优配方。实验结果表明,固化效果良好,经絮凝沉降后分离出的废水、固化物浸出液污染物含量均达到污水综合排放一级标准。

**关键词:**科学钻探;废弃钻井液;絮凝;固化;腾冲

**中图分类号:**P634.6   **文献标识码:**A   **文章编号:**1672-7428(2013)08-0014-04

**Research on Waste Drilling Fluid Solidification Technology of Tengchong Scientific Drilling in Yunnan/LU Yu-bei<sup>1</sup>, FAN Xiao-yuan<sup>2</sup>, WU Ye<sup>2</sup>, LI Dan-dan<sup>2</sup>** (1. Henan Engineering Research Center of Depth Exploration, Zhengzhou Henan 450053, China; 2. Henan Institute of Engineering, Zhengzhou Henan 451191, China)

**Abstract:** According to the characteristics of waste drilling fluids of Tengchong scientific drilling project in Yunnan, the technology route of first flocculation and gel breaking then consolidation was determined, the optimal formula of flocculation and gel breaking pretreatment and solidification were screened out. The experimental results show that the solidification effects are good, the pollutants content in the separated waste water after flocculation sedimentation and leaching solution of cured resin meet the 1st grade integrated wastewater discharge standard.

**Key words:** scientific drilling; waste drilling fluid; flocculation; consolidation; Tengchong

云南腾冲火山-地热-构造带科学钻探工程属于“大陆科学钻探选址与钻探实验”子课题。云南腾冲集大型走滑构造、岩浆活动、地热和大型有色金属矿于一体,是研究青藏高原物质向东南流动和逃逸动力学机制及新生代火山活动和成矿作用的最理想地区<sup>[1]</sup>。在钻探工作中,钻井液是维持钻探工作正常运行不可缺少的物质。废弃钻井液就成为钻探作业中产生的主要废弃物,是由污水、粘土、各种化学处理剂、加重材料及钻屑等组成的多相悬浮性的液体<sup>[2,3]</sup>。云南腾冲科学钻探工程的钻孔位于腾冲火山地热国家地质公园内,生态环境脆弱,而且它的作业区露头岩石以气孔状玄武岩和安山岩为主,连通性非常好,一旦遭遇降水,降水会裹带钻井液滤液通过气孔迅速向四周渗透,对周边环境的危害极大。

国内外废弃钻井液处理技术主要有回收再利用<sup>[4]</sup>、注入安全地层或环形空间<sup>[5]</sup>、坑内填埋、坑内密封、固液分离<sup>[6,7]</sup>、微生物降解<sup>[8]</sup>、固化处理等<sup>[9,10]</sup>。固化处理技术能有效的对含大量重金属、有机物的废弃钻井液进行固化,防止其渗出污染环境。为了消除废弃钻井液对周边环境的不良影响,

保障国家地质公园的生态环境,对废弃钻井液进行固化处理研究,降低钻探工程对环境的污染。同时,对其它钻井液的处理和实现绿色环保钻探具有一定的指导意义。

## 1 实验方法选择

### 1.1 实验药品与仪器

**实验药品:**聚合氯化铝(PAC)、聚合硫酸铁(PFC)、硫酸铁、硫酸铝、聚丙烯酰胺(PAM)、固化剂(水泥、粉煤灰等)均为工业用品,分析测试药品(重铬酸钾、硫酸亚铁铵、硫酸银等)均为分析纯。

**仪器:**JA2003A 电子天平(上海精天电子仪器有限公司);JJ-4 六连电动搅拌机(江苏金坛市亿通电子有限公司);HH-6 化学耗氧量测定仪(江苏江分电分析仪器有限公司);PF6-1 非色散原子荧光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 废弃钻井液成分及固化物浸出实验分析

依照《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》(GB 5085.3-2007),废弃钻井液及固化物采用水平振荡

收稿日期:2013-07-17

基金项目:国家科技专项“深部探测技术与实验”—SinoProbe-05“大陆科学钻探选址与钻探实验”资助

**作者简介:**卢予北(1964-),男(汉族),河北平山人,河南省深部探矿工程技术研究中心主任兼总工程师、河南省地热能开发利用有限公司总经理、教授级高级工程师,地质工程专业,博士,主要从事地质能源勘查、深部钻探技术研究与管理,河南省郑州市南阳路56号地矿大厦511房,lu-yubei@263.net。

法浸出,其浸出液过滤后测定 pH 值、色度、COD、As、Cr<sup>6+</sup> 等各项指标。

pH 值用玻璃电极法测定,色度的测定采用稀释倍数法,使用快速消解分光光度法进行 COD 的测定,Cr<sup>6+</sup> 的测定选择二苯碳酰二肼分光光度法,原子荧光法测定 As 含量。

### 1.2.2 废弃钻井液破胶絮凝处理

将废弃钻井液与自来水以 2:1 的比例混匀,取一定体积的稀释后钻井液于烧杯中,加入一定量的絮凝剂,将水样置于电动搅拌机下,启动搅拌机快速搅拌(150 r/min) 3 min,慢速搅拌(40 r/min) 20 min,静置 2 h。测定其上清液体积和色度、透光率等指标。

### 1.2.3 废弃钻井液的固化处理

将经过破胶预处理废弃钻井液用真空泵抽滤,取一定量的固相加入固化剂,混合均匀后置于固化试模中。观察固化物的凝固程度,对避光养护 7 天后的废弃钻井液体系固化物进行浸出实验,测定浸出液中各指标含量。

## 2 废弃钻井液破胶实验与固化处理

### 2.1 废弃钻井液的性质

实验所用废弃钻井液均取自云南腾冲科学钻探钻井现场,钻井液配方为:0.5 m<sup>3</sup> 水 + 25 kg 膨润土 + 2~3 kg CMC(羧甲基纤维素钠) + 0.25 kg K12(十二烷基硫酸钠)。废弃钻井液表现呈灰黑色粘稠流体状,经测定,其密度为 1.07 g/cm<sup>3</sup>,粘度为 24 mPa·s,含水率为 87.65%。废弃钻井液采用水平振荡法进行浸出实验,对其浸出液进行各项指标测定,并与《国家污水综合排放标准》(GB 8978 - 1996)一级标准<sup>[11]</sup>相比较,结果见表 1。

表 1 废弃钻井液浸出液测定结果与标准限值

项目	pH 值	色度 (倍数)	COD/(mg· L <sup>-1</sup> )	As/(mg· L <sup>-1</sup> )	Cr <sup>6+</sup> /(mg·L <sup>-1</sup> )
浸出液中浓度	10.06	2500	1764	0.048	未检出
标准限值	6~9	70	100	0.5	0.5

结合钻井液配方和其浸出液各污染物浓度,该废弃钻井液固相含量、COD、色度、pH 值都较高,且粘度较高,远远超出国家规定的排放标准。通过预实验发现其胶体体系较为稳定自然风干及机械直接脱水较为困难,因此需先通过絮凝进行破胶,分离出胶体中结合水,再进行废弃钻井液的固化处理。

### 2.2 废弃钻井液絮凝破胶实验

#### 2.2.1 无机絮凝剂的选择

选用不同的无机絮凝剂,相同的投加梯度进行絮凝实验。观察实验可知,同一种絮凝剂,随着投加量的增加絮凝效果逐渐变好,但变化趋势越来越小。表 2 为不同无机絮凝剂在投加量为 9000 mg/L 时的实验结果。比较不同无机絮凝剂各相同的投加量的实验结果,得出与投加量 9000 mg/L 时相同的分析,PAC 作为絮凝剂产生的上清液体积最多,上清液的透光率、色度与其它絮凝剂相比较,效果最好。因此,选用 PAC 作为无机絮凝剂。

表 2 不同无机絮凝剂在投加量为 9000 mg/L 的絮凝结果

絮凝剂种类	上清液体积/mL	透光率/%	pH 值	色度(倍数)
PAC	13.5	73.28	7.84	50
PFS	12.0	57.54	8.01	65
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	11.0	59.02	7.68	55
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	11.0	57.02	7.81	60

#### 2.2.2 无机—有机絮凝剂复配

聚丙烯酰胺(PAM)是常用的有机助凝剂,进行只投加 PAM 的絮凝实验,絮凝效果并不理想。本实验选择 PAM 与 PAC 进行复配,在絮凝实验中,废弃钻井液中先加入 PAC,搅拌均匀后再加入 PAM。

根据无机絮凝剂筛选实验结果,选取 PAC 投加量分别为 9000 mg/L 进行复配实验。在 PAC 投加量相同的条件下,选择聚丙烯酰胺的投加量梯度为 150、180、210、240、270、300 mg/L,参照无机絮凝实验的方法进行实验,实验结果见表 3。

表 3 PAC 与 PAM 复配的实验结果

PAM 投 加量 /(mg· L <sup>-1</sup> )	PAC 投加量 8000 mg/L				PAC 投加量 9000 mg/L			
	上清 液体 积/mL	透光 率 /%	pH 值	色度 (倍 数)	上清 液体 积/mL	透光 率 /%	pH 值	色度 (倍 数)
150	15.0	65.77	7.84	55	28.5	75.16	8.02	50
180	15.9	68.87	7.69	50	32.0	80.91	7.93	45
210	16.0	65.313	7.71	50	31.3	79.80	8.02	50
240	17.5	63.97	7.88	50	33.2	78.52	7.86	50
270	17.7	62.95	8.01	55	32.5	78.70	8.04	50
300	18.0	64.42	7.92	55	33.8	77.27	7.79	55

由表 3 可知,在相同的 PAC 投加量下,分析混凝沉淀后上清液体积、透过率、色度等指标,PAM 投加量 180 mg/L 时出现最佳的实验效果。与无机絮凝剂筛选实验相比,PAM 的加入,加快了沉降速度并压缩了絮层体积,也显示了 PAM 的投加量并非越多越好。

#### 2.2.3 絮凝实验优化

##### 2.2.3.1 优化 pH

pH 是影响絮凝实验的重要因素之一,实验通过

调节 pH 值,优化絮凝破胶的实验条件。以废弃钻井液体积为基准,在废弃钻井液中加入不同比例的 1 mol/L 的 HCl 混匀,使用已筛选出的配方:9000 mg/L 聚合氯化铝和 180 mg/L 聚丙烯酰胺进行絮凝实验,实验结果见表 4。

表 4 不同 pH 的絮凝实验结果

HCl 投加量 /%	上清液体积 /mL	上清液 pH 值	透光率 /%	色度 (倍数)
0	32.0	8.02	80.91	50
1.5	32.0	8.15	94.84	20
3	33.0	8.12	95.94	20
4.5	29.9	7.95	77.98	35
6	27.0	7.91	89.95	30
7.5	26.5	7.73	79.25	45
9	29.0	7.31	75.34	50

观察实验现象在 HCl 投加量为 1.5%、3% 时絮体致密,界面平整,继续增加 HCl 投加量,絮体变得松散,界面不平整,且絮体内有气泡,随着投加量的增加气泡随之增多。可能是 HCl 和废弃钻井液中的碳酸盐发生反应,产生了 CO<sub>2</sub> 气体。另外,随着 HCl 投加量的增加,上清液表层的悬浮物量逐渐减少。表 4 的实验结果表明,1 mol/L 的 HCl 投加量为 3% 时,上清液体积、透光率、色度等指标最佳,絮凝实验效果最好。

### 2.2.3.2 优化絮凝剂投加量

在 1 mol/L 的 HCl 投加量为 3% 的条件下,调整 PAC 投加量梯度为 4000、5000、6000、7000、8000、9000 mg/L, PAM 投加量为 180 mg/L。实验结果见表 5。

表 5 絮凝剂投加量优化实验结果

PAM 投加量 / (mg·L <sup>-1</sup> )	PAC 投加量 / (mg·L <sup>-1</sup> )	上清液体积/mL	透光率 /%	色度 (倍数)
180	4000	24.5	79.62	25
	5000	28.0	82.04	20
	6000	31.5	82.22	15
	7000	33.1	95.94	10
	8000	30.5	90.99	10
	9000	33.0	95.94	20

实验结果证明,通过添加 HCl 来调节 pH 后,可减少聚合氯化铝的投加量,达到同样好的处理效果。最终确定絮凝破胶预处理配方:1 mol/L 的 HCl 3% + 聚合氯化铝 7000 mg/L + 聚丙烯酰胺 180 mg/L。

### 2.2.4 絮凝破胶实验结果

将絮凝破胶预处理后的废弃钻井液,经真空泵抽滤,其滤液呈无色透明状,取其滤液测定各指标, pH 值为 8.01, COD、As 含量分别为 90.2 mg/L、8

μg/L, 滤液达到《国家污水综合排放标准》(GB 8978-1996)一级标准。另外,滤液在钻探过程中可循环使用,节约资源和成本。

### 2.3 固化实验

将进行过絮凝破胶预处理的废弃钻井液用真空泵抽滤,得到的固化物中还含有可溶性有机物等污染物,如将这些不经处理素的固体废弃物堆在井场周围会对环境带来巨大的损害,因此需对这些固体废弃物进行固化处理。

#### 2.3.1 固化配方设计

实验选用水泥、粉煤灰、生石灰、硅酸钠 4 种物质作为固化剂,固化剂添加量以占废弃钻井液质量百分比计,在相同实验条件下进行 9 组固化实验(见表 6)。固化实验过程中,1~4 号配方固化速度较慢,1、2 号固化强度弱,易碎裂;5~9 号固化速度较快且固化强度高。

表 6 废弃钻井液固化配方

序号	配 方	固化时间/d	固化程度
1	30% 水泥 + 20% 粉煤灰 + 2% 生石灰 + 2% 硅酸钠	5	松散,易碎
2	30% 水泥 + 30% 粉煤灰 + 3% 生石灰 + 2% 硅酸钠	5	松散,易碎
3	30% 水泥 + 40% 粉煤灰 + 4% 生石灰 + 2% 硅酸钠	4	稍硬
4	45% 水泥 + 20% 粉煤灰 + 3% 生石灰 + 2% 硅酸钠	4	坚硬
5	45% 水泥 + 30% 粉煤灰 + 4% 生石灰 + 2% 硅酸钠	2	坚硬
6	45% 水泥 + 40% 粉煤灰 + 2% 生石灰 + 2% 硅酸钠	2	坚硬
7	60% 水泥 + 20% 粉煤灰 + 4% 生石灰 + 2% 硅酸钠	2	坚硬
8	60% 水泥 + 30% 粉煤灰 + 2% 生石灰 + 2% 硅酸钠	1	坚硬
9	60% 水泥 + 40% 粉煤灰 + 3% 生石灰 + 2% 硅酸钠	1	坚硬

#### 2.3.2 固化效果评价

避光养护 7 天后,将固化物从模具中取出,参照《固体废物浸出毒性浸出方法水平振荡法》(HJ 557-2010)进行浸出实验,浸出液用定量中速滤纸过滤,测定其 pH 值、COD、色度、Cr<sup>6+</sup>、As。实验结果见表 7。

表 7 不同固化配方的固化物浸出毒性实验结果

编号	pH 值	COD / (mg·L <sup>-1</sup> )	色度 (倍数)	Cr <sup>6+</sup> / (mg·L <sup>-1</sup> )	As / (μg·L <sup>-1</sup> )
1	8.58	79.6	4	未检出	0.69
2	8.56	55.7	2	未检出	0.84
3	8.29	49.0	2	未检出	1.02
4	8.43	63.6	2	未检出	0.65
5	8.32	43.8	2	未检出	0.51
6	8.64	68.9	2	未检出	1.18
7	8.33	61.0	2	未检出	0.51
8	8.71	63.6	2	未检出	1.04
9	8.29	53.0	2	未检出	0.97

### 3 结论

确定了云南腾冲科学钻探废弃钻井液固化处理技术分为2个阶段进行,先絮凝破胶再把固体部分固化,优选出絮凝破胶实验的最佳条件为1 mol/L的HCl 3% + PAC 7000 mg/L + PAM 180 mg/L,经过滤后的固体部分进行固化处理,优化出的最佳固化配方为水泥45% + 粉煤灰30% + 石灰4% + 硅酸钠2%。

过滤产生的滤液及最终固化物浸出毒性实验表明,滤液和固化体浸出液均达到《国家污水综合排放标准》(GB 8978 - 1996)一级标准。

#### 参考文献:

- [1] 杨经绥,许志琴,汤中立,等. 大陆科学钻探选址与钻探实验[J]. 地球学报,2011,32(1):84 - 112.
- [2] 吴焯,王雯璐. 钻探工程废弃钻井液处理技术及进展[J]. 探矿

工程(岩土钻掘工程),2013,40(3):14 - 16.

- [3] 赵雄虎,王凤春. 废弃钻井液处理研究进展[J]. 钻井液与完井液,2004,21(2):43 - 48.
- [4] 张炜,刘振东,刘宝锋,等. 油基钻井液的推广及循环利用[J]. 石油钻探技术,2008,36(6):34 - 38.
- [5] Hailey B W, Keck R G, Smith M B, et al. On-site fracturing disposal of oilfield-waste solids in Wilmington field, California [J]. Old Production & Facilities, 1999,14(2):83 - 87.
- [6] 刘晓辉,许毓,张晓飞,等. 钻井废液的固液分离工艺与设备[J]. 油气田环境保护,2011,21(2).
- [7] 杨星. 废弃钻井液固液分离技术研究[J]. 钻井液与完井液,2004,21(3):19 - 22.
- [8] 朱丽,陈瑜,岳莲,等. 高浓度钻井废泥浆处理工艺的试验研究[J]. 环境工程,2009,27(6):94 - 97.
- [9] 宋明全,蔡利山,刘四海. 钻井废浆液固化剂HB-1的研制与应用[J]. 石油钻探技术,2001,29(3):53 - 55.
- [10] 潘宝凤,兰林,李尚贵,等. 废弃钻井液的固化烧结与再利用研究[J]. 钻井液与完井液,2011,28(001):66 - 68.
- [11] GB 8978 - 1996,污水综合排放标准[S].

#### (上接第5页)

非合理钻进工艺方法的影响。因此,获得高强度特深孔绳索取心钻杆的应用结论较晚,有时形成共识也难,尚未对本文提出的方案形成有力支撑。同时,因主题和篇幅限制,本文不涉及小直径特深孔绳索取心钻杆研究、试验和应用,仅述及绳索取心钻进口径系列及钻柱方案等相关内容,期望国内钻探专家、一线技术人员广泛参与,进一步论证。

#### 参考文献:

- [1] 汤凤林,加里宁 A Г,段隆臣. 岩心钻探学[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,2009.

- [2] 陈师逊,翟育峰,王鲁朝,等. 西藏罗布莎科学钻探施工对深部钻探技术的启示[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(11).
- [3] 张伟,贾军,胡时友. 汶川地震科学钻探项目的概况和钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1).
- [4] 高富丽,刘跃进,张伟. 我国地质钻探技术装备现状分析及发展建议[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(1).
- [5] 张晓西,杨甘生,朱永宜,等. 大口径硬岩钻探技术在中国大陆科学钻探工程中的应用[J]. 探矿工程,2003,(1).
- [6] 肖红,孙建华,等. XJY950 高强度绳索取心钻杆用精密无缝钢管的研制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(5).
- [7] 孙建华,张永勤,梁健,等. 深孔绳索取心钻探技术现状及研发工作思路[J]. 地质装备,2011,(4).
- [8] И. С. 阿发纳耶夫,等. 鄞泰宁译. 地勘钻探手册[M]. 俄罗斯圣彼得堡:圣彼得堡出版社,2000.

#### (上接第9页)

推荐的。

(3)全孔用普通单管钻进,采取率较低,用粘度高、固相含量高的冲洗液不适合用双管钻进或者绳索取心钻进,遇到难取心地层只能少进尺或者补采措施。本钻孔基岩地层只有200多米,如果基岩厚度大,用普通单管钻进就会浪费人力,进尺也会很慢。

### 3 心得体会

在厚覆盖层地区施工,要充分了解地层特点,施工前编制好施工方案和预案;根据地层特点和钻孔设计,选择合理的设备机具;根据施工需要,各种管材、材料要准备及时充分,不能因此影响施工,甚至

引起孔内事故;选择合理的冲洗液体系,及时维护和调整冲洗液性能;探索选择符合当地特点的施工工艺,保证钻孔质量,减少孔内事故,提高钻探效率。

#### 参考文献:

- [1] 郭保铎,张波,张涛,等. 榆横矿区赵石畔井田勘探钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):17 - 19,23.
- [2] 姚彤宝,张春林,刘晓刚. 大口径绳索取心钻具在特厚软煤中的取心应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(12):25 - 28.
- [3] 孙宗席. 甘肃文县阳山矿区复杂地层用冲洗液研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(12):32 - 35.
- [4] DZ/T 0227 - 2010,地质岩心钻探规程[S].
- [5] 胡郁乐,张绍和. 钻探事故预防与处理知识问答[M]. 湖南长沙:中南大学出版社,2010.