

# 青海省冷湖镇钾矿资源调查评价项目 冲洗液技术研究及应用

纪卫军<sup>1</sup>, 张明德<sup>2</sup>, 赵长亮<sup>2</sup>, 张磊<sup>3</sup>, 付帆<sup>1</sup>, 鲁生彪<sup>4</sup>

(1. 北京探矿工程研究所, 北京 100083; 2. 山东省鲁北地质工程勘察院, 山东 德州 253072; 3. 神华地质勘查有限责任公司, 北京 102211; 4. 青海齐鑫地质矿产勘查股份有限公司, 青海 西宁 810000)

**摘要:**青海省冷湖镇钾矿资源调查评价项目要求对冷湖镇地区开展钾矿资源调查评价。青海省冷湖镇地区地层中含有大段石盐和石膏层, 而且地层松散、压力系数大。针对该地区的特殊情况, 研制了不分散抗盐防塌冲洗液。应用表明, 该冲洗液具备较好的抗盐抗钙能力、防塌性和悬浮性, 并且应根据地层压力系数不同来调节冲洗液的密度。

**关键词:** 冲洗液; 抗盐抗钙能力; 防塌能力; 悬浮性; 青海省冷湖镇钾矿

**中图分类号:** P634.6 **文献标识号:** A **文章编号:** 1672-7428(2016)01-0054-04

**Research and Application of Flushing Fluid Technology for Potassium Ore Resource Investigation Project of Lenghu Town in Qinghai/** Ji Wei-jun<sup>1</sup>, ZHANG Ming-de<sup>2</sup>, ZHAO Chang-liang<sup>2</sup>, ZHANG Lei<sup>3</sup>, FU Fan<sup>1</sup>, LU Sheng-biao<sup>4</sup>

(1. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China; 2. Shandong Province Lubei Geo-engineering Exploration Institute, Dezhou Shandong 253072, China; 3. Shenhua Geological Exploration Co., Ltd., Beijing 102211, China; 4. Qinghai Qixin Geology and Mineral Exploration Co., Ltd., Xining Qinghai 810000, China)

**Abstract:** An investigation and evaluation on potassium mineral resources in Lenghuzhen of Qinghai Province is required by the project. There are large segments of halite and gypsum layer in the formation of Lenghu Town in Qinghai Province with loose stratum and high pressure coefficients. According to the special circumstances in this region, an salt resistance and collapse control non-dispersible flushing fluid was developed. The application shows that this flushing fluid has good salt and calcium tolerance, anti-sloughing and suspension property. The density of the flushing fluid should be adjusted according to the different formation pressure coefficients.

**Key words:** flushing fluid; salt and calcium tolerance; anti-sloughing ability; suspension property; potassium mine of Lenghu Town in Qinghai

“青海省柴达木北缘地质矿产调查”之“青海省冷湖镇钾矿资源调查评价项目”是中央勘查基金项目, 要求对冷湖镇马海地区开展钾矿资源调查评价工作。项目目标任务是对调查区内实施钻探(含测井)查证, 通过系统取心、水文地质抽水试验、采样分析等工作手段, 大致了解调查评价区内深层卤水埋深、品位、含矿岩性及卤水矿层赋存状态、储卤层的富水性等情况。项目实施位置位于柴达木盆地北部, 包含青海省冷湖镇的马海地区、昆特依矿区等多个地区。该调查区大部分地区为平坦的盐湖沉积平原, 海拔高度为 2743 ~ 2750 m。

## 1 地层及水质情况分析

### 1.1 地层情况

根据已施工钻孔资料, 该地区上中部地层一般为含粉砂的石盐、含芒硝的石盐、含石膏的粘土粉砂、含石膏的粘土、石盐 + 粘土(含有石盐、石盐粘土、含石盐的淤泥粉砂)、粘土 + 石盐(含有石盐、淤泥粉砂、含杂卤石的粘土粉砂)、粉砂粘土等; 下部是碎屑层(含有砾石、砾砂、粗砂、中细砂、粉砂、局部夹石膏)。地层中较大粒径的砾石坚硬, 可钻性及研磨性较强, 但地层松散, 岩心采取率低, 易造成塌孔。

另外, 在该地区施工中发现区内地层压力较高,

收稿日期: 2015-07-14; 修回日期: 2015-12-07

基金项目: 地质矿产调查评价项目“青海省柴达木北缘地质矿产调查”(编号: 12120114090301)

作者简介: 纪卫军, 男, 汉族, 1985年生, 工程师, 主要从事冲洗液技术研究工作, 北京市海淀区学院路29号, weijuncugb@163.com。

通信作者: 张明德, 男, 1981年生, 从事地热、钾盐、盐岩、页岩气、干热岩勘探工作, 山东省德州市大学东路1499号, 13573465900@163.com。

0~500 m 地层压力系数为 1.2~1.45,500~1400 m 地层压力系数为 1.3~1.6,钻进中会出现井涌现象。

## 1.2 水质情况

当地矿区富含卤水,卤水矿化度较高,密度为  $1.24\text{ g/cm}^3$ 。对水质进行分析,发现卤水中除了含有钠、钾离子外,还含有大量的高价离子—— $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ (见表 1)。

表 1 水质分析结果

| 离子            | 含量/<br>( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | 离子                 | 含量/<br>( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) | 离子                 | 含量/<br>( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) |
|---------------|-------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------|
| $\text{Na}^+$ | 105.7                                     | $\text{Mg}^{2+}$   | 845.6                                      | $\text{HCO}_3^-$   | 243.9                                      |
| $\text{K}^+$  | 6.23                                      | $\text{Ca}^{2+}$   | 189.7                                      | $\text{CO}_3^{2-}$ | 0.0                                        |
| $\text{Cl}^-$ | 178.7                                     | $\text{SO}_4^{2-}$ | 36.9                                       |                    |                                            |

## 2 冲洗液设计及评价

### 2.1 冲洗液设计

由于地层中含有石盐、芒硝、石膏等可溶性矿物,且地层压力系数大,为保证取心质量及钻孔安全,需采用当地卤水配制冲洗液,不仅对可溶性矿物起到抑溶作用,同时可以借助卤水的高密度平衡地层压力。因此,设计了一种针对当地地层和水质情况的不分散抗盐防塌冲洗液,具体需满足下列要求:

(1)需要具有较强的抗盐抗钙能力,能够在在使用卤水配浆的条件下保持胶体稳定。

(2)需要具有较强的抑制能力、防塌能力,能够

抑制粘土层的水化分散和破碎松散地层的垮塌。

(3)具有良好的悬浮能力,能够在加重条件下保持性能稳定,以满足施工中平衡地层压力的需要。

根据以上要求,初步确定该冲洗液主要由造浆材料钠膨润土、具有抗盐抗钙能力的增粘剂(GTQ)和降滤失剂(GPNA)、抑制粘土分散的包被剂(BBJ)、具有防塌作用的防塌减阻剂(GFT)组成,另外还需要根据情况加入润滑剂(GLUB)和重晶石配合使用。

### 2.2 冲洗液配方

通过对上述冲洗液材料进行配方试验,确定该冲洗液配方如下:

卤水+3%~4%钠膨润土+0.1%~0.3%包被剂(BBJ)+0.6%~1.0%增粘剂(GTQ)+0.8%~1.5%降滤失剂(GPNA)+1%~2%防塌减阻剂(GFT)+1.5%润滑剂(GLUB)+重晶石。

### 2.3 冲洗液性能评价

#### 2.3.1 冲洗液常规性能评价

根据上述确定的配方范围,从中选出一组优化配方进行性能测试,冲洗液配方:卤水+4%钠膨润土+0.2%包被剂(BBJ)+0.8%增粘剂(GTQ)+1.2%降失水剂(GPNA)+1.5%防塌减阻剂(GFT)+1.5%润滑剂(GLUB)+重晶石,其常规性能见表 2。

#### 2.3.2 冲洗液抑制性能评价

表 2 优化配方常规性能

| 项目  | 表观粘度/<br>( $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ) | 塑性粘度/<br>( $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ) | 动塑比/<br>[ $\text{Pa}/(\text{mPa} \cdot \text{s})$ ] | 静切力/ $\text{Pa}$ |    | API 滤失量/<br>( $\text{mL} \cdot (30\text{ min})^{-1}$ ) | pH 值 | 密度/<br>( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) | 泥皮质量  |
|-----|------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------|----|--------------------------------------------------------|------|--------------------------------------------|-------|
|     |                                          |                                          |                                                     | 初切               | 终切 |                                                        |      |                                            |       |
| 未加重 | 18                                       | 13                                       | 0.39                                                | 3                | 5  | 5                                                      | 8    | 1.26                                       | 薄韧、致密 |
| 加重后 | 30                                       | 23                                       | 0.30                                                | 8                | 18 | 4                                                      | 8    | 1.60                                       | 薄韧、致密 |

在实验室一般通过相对膨胀率试验和滚动回收率试验来评价冲洗液的抑制性能。

#### 2.3.2.1 相对膨胀率试验

试验采用 NP-01 型页岩膨胀测试仪,岩心采用山东钙膨润土压制。用冲洗液浸泡岩心,测岩心线性膨胀量,并计算相对膨胀降低率。试验结果见表 3。

表 3 冲洗液抑制性能评价

| 项目        | 膨胀量/mm |      |      |      |      | 膨胀降低率/% |
|-----------|--------|------|------|------|------|---------|
|           | 1 h    | 2 h  | 3 h  | 4 h  | 5 h  |         |
| 蒸馏水       | 4.20   | 4.75 | 5.16 | 5.46 | 5.52 |         |
| 优化配方(未加重) | 0.43   | 0.68 | 0.85 | 0.97 | 1.04 | 81.1    |
| 优化配方(加重后) | 0.41   | 0.65 | 0.82 | 0.95 | 1.00 | 81.9    |

从表 3 可以看出,该冲洗液配方加重前后的相对膨胀降低率分别为 81.1% 和 81.9%,说明冲洗液抑制粘土膨胀的能力较强。

#### 2.3.2.2 滚动回收率试验

试验仪器采用 XGRL-4 型滚筒,岩样采用自制岩样。试验方法:将 6~10 目 50 g 岩样放入装有 350 mL 冲洗液的老化罐中,在 120℃ 条件下滚动 24 h,取出岩屑在 105℃ 条件下烘干,分别经 40 目、20 目筛余后称重并计算回收率。试验结果见表 4。

从表 4 可以看出,该优化配方加重前后的滚动回收率分别为 89.6% 和 92.2%,说明冲洗液抑制粘土分散的能力较强。

#### 2.3.3 冲洗液润滑性能评价

表 4 滚动回收率试验

| 浆液        | 岩屑回收量/g |      | 岩屑回收率/% |      |
|-----------|---------|------|---------|------|
|           | 20 目    | 40 目 | 20 目    | 40 目 |
| 蒸馏水       | 3.6     | 1.65 | 7.2     | 10.5 |
| 优化配方(未加重) | 42.0    | 2.80 | 84.0    | 89.6 |
| 优化配方(加重后) | 43.2    | 2.90 | 86.4    | 92.2 |

对冲洗液的润滑性能进行评价一般包括 2 种:一个是测试其摩阻系数,另一个是测试其粘附系数,两者可以很全面地反映冲洗液的润滑性能。

2.3.3.1 摩阻系数测试

采用极压润滑仪对优化配方的润滑性能进行评价,评价结果见表 5。评价结果表明优化配方加重前后的摩阻系数分别为 0.09 和 0.12,远小于基浆的摩阻系数,说明优化配方具有较好的润滑性能。

表 5 摩阻系数评价

| 浆液   | 摩阻系数 |
|------|------|
| 基浆   | 0.27 |
| 优化配方 | 0.09 |
| 加重后  | 0.12 |

注:基浆由水+5%钠膨润土配制而成。

2.3.3.2 粘附系数测试

粘附系数测试是根据牛顿摩擦定律原理,测量粘附盘直径为 50.7 mm、差动压力为 3.5 MPa 时,粘附盘与泥饼之间产生最微小滑动,通过扭矩仪测出的扭矩值计算确定其粘附系数值。测试结果见表 6。

表 6 粘附系数评价

| 浆液   | 摩阻系数 |
|------|------|
| 基浆   | 20.5 |
| 优化配方 | 10.5 |
| 加重后  | 13.0 |

注:基浆由水+5%钠膨润土配制而成。

表 6 结果表明,优化配方加重前后的粘附系数分别为 10.5 和 13.0,说明优化配方的泥饼具有较好的润滑性能。

3 冲洗液现场应用

2014 年 3 月开始,先后在昆 ZK01 孔、马海 ZK4010 孔、昆 ZK09 孔 3 个钻孔的钻探施工中进行了该冲洗液的现场应用。

3.1 使用设备、孔身结构及工艺概况

钻机主要采用 TSJ-2000E 型水井钻机,泥浆泵

型号为 BW850/5。昆 ZK09 孔的设计深度为 1000 m,昆 ZK01 孔、马海 ZK4010 孔的设计深度为 1400 m,由于钻孔设计要求全孔取心,并且最终要求扩孔抽水,所以钻孔开孔直径为 450 mm,终孔口径为 170 mm。

根据以往在该地区的钻探施工经验,勘探阶段一般采用提钻取心钻进工艺,钻头采用硬质合金、复合片取心钻头(覆盖层一般采用合金钻头、碎屑层地层一般用复合片钻头),扩孔成井阶段采用三牙轮钻头全面钻进。

3.2 冲洗液现场配制

冲洗液配方:现场卤水+3%~4%钠膨润土+0.6%~1.0%增粘剂(GTQ)+0.8%~1.5%降失水剂(GPNA)+1%~2%防塌减阻剂(GFT)+0.1%~0.3%包被剂(BBJ)+1.0%润滑剂(GLUB)+重晶石。

配制方法:在泥浆搅拌机中放入卤水,然后加入钠膨润土搅拌 10 min,待其充分分散后按照配方顺序依次加入增粘剂(GTQ)、降失水剂(GPNA)、防塌减阻剂(GFT)搅拌 5~10 min,然后再加入包被剂(BBJ)、润滑剂(GLUB)搅拌 10~20 min 后即可使用。重晶石依据现场需要补充加入。

现场配制冲洗液性能见表 7。

表 7 现场冲洗液性能

| 孔深/m     | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 漏斗粘度/s | API 失水量/[mL·(30 min) <sup>-1</sup> ] | 泥皮厚度/mm | pH 值   |
|----------|--------------------------|--------|--------------------------------------|---------|--------|
| 0~190    | 1.2~1.5                  | 40~80  | ≤20                                  | 1.0     | 8~10   |
| 190~500  | 1.25~1.5                 | 35~60  | ≤10                                  | 0.5     | 8~10   |
| 500~1400 | 1.35~1.8                 | 45~90  | ≤8                                   | 0.5     | 8.5~10 |

注:冲洗液密度根据以往在该地区钻探经验及该地区地层压力系数确定。

3.3 冲洗液使用效果

采用不分散抗盐防塌冲洗液共完成钻探工作量 3802.6 m,取得了比较理想的效果,具体表现在以下几个方面。

(1)具有很好的抗盐抗钙侵能力。施工中,经常钻遇大段石盐地层、石膏层,但冲洗液性能没有明显变化,基本保持稳定。

(2)具有较强的抑制能力。本钻孔上部为第四系地层,下部为第三系地层,存在大段泥岩,粘土含量较高,使用该冲洗液后全孔无缩径现象,每次下钻都能一通到底。

(3)具有良好的悬浮能力。前些年在本地区施

工时曾采用纤维素、植物胶等配制冲洗液,但是在使用过程中经常出现水土分离现象,悬浮能力极差。尤其在地层出现涌水后需要加重时,冲洗液密度不易增加,勉强仅能加至  $1.60 \text{ g/cm}^3$ 。而采用本冲洗液很好地解决了这一问题。ZK4010 孔钻进至孔深 900 m 时为防止第三系承压水井喷,需提高冲洗液密度至  $1.80 \text{ g/cm}^3$ ,采用在泥浆池中用高压水枪加重晶石,仅配制了  $28 \text{ m}^3$  密度为  $1.93 \text{ g/cm}^3$  的泥浆就将整体循环浆密度调至要求值。

(4)具有良好的润滑性能,有效降低了摩擦阻力。昆 ZK01 孔钻至 600 m 后加大了润滑剂 (GLUB) 的用量至  $15 \text{ kg/m}^3$ ,扭矩明显下降,并且泵压由 8 MPa 降低至 6.4 MPa,减阻效果明显。

(5)取得了良好的经济效益,降低了整体钻探成本。经济效益主要体现在 2 个方面,一是冲洗液材料成本明显降低,由此前的 236 元/m 降至 135 元/m;二是钻探工期及事故率明显降低,间接降低了钻探成本,采用该冲洗液施工未出现事故,施工周期由之前的 155 d/1000 m 降低至 95 d/1000 m。

#### 4 结语

(1)针对“青海省冷湖镇钾矿资源调查评价项

目”钻探施工地层及水质的特殊性,研制了一种不分散抗盐防塌冲洗液。对该种冲洗液的室内评价表明,其各项指标均在理想范围。

(2)在冷湖镇地区的现场应用表明,不分散抗盐防塌冲洗液具备较强的抗盐、抗钙能力、防塌能力及悬浮能力,应用效果较好,适合在该地区推广应用。

#### 参考文献:

- [1] 胡继良. 复杂地层地质钻探冲洗液研究与应用[D]. 北京:中国地质大学(北京),2011.
- [2] 蔡晓文,陈锡庆,熊正强,等. GFT 型防塌减阻剂的性能评价与现场应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(7):39-41.
- [3] 何远信,陶士先. 环保型高效润滑剂(Glub)的研制与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(4):48-49.
- [4] 陶士先,胡继良,纪卫军. 水敏性地层钻探用接枝淀粉聚合物泥浆体系研究[J]. 地质与勘探,2012,48(5):1029-1033.
- [5] 王建华,鄢捷年,丁彤伟. 高性能水基钻井液研究进展[J]. 钻井液与完井液,2007,24(1):71-75.
- [6] 陶士先,李晓东,吴召明,等. 强成膜性护壁冲洗液体系的研究与应用[J]. 地质与勘探,2014,50(6):1147-1154.
- [7] 隋跃华,成效华,高建礼,等. 强抑制性钻井液研究与应用[J]. 钻井液与完井液,2001,18(6):14-7.

(上接第 53 页)

表 3 阿勒泰地区部分钻孔纠斜成果

| 孔号     | 开孔顶角/(°) | 纠正顶角/(°) | 终孔顶角/(°) | 设计终孔顶角/(°) | 纠斜孔段/m      |
|--------|----------|----------|----------|------------|-------------|
| ZK1315 | 0.0      | 2.5      | 10.2     | 12.5       | 340.2~354.8 |
| ZK1517 | 18.0     | 1.7      | 22.4     | 24.0       | 236.1~247.5 |
| ZK1519 | 14.0     | 2.0      | 18.2     | 20.0       | 187.6~199.6 |
| ZK1913 | 12.0     | 2.8      | 19.7     | 22.0       | 403.9~414.7 |

#### 4 结论

(1)水敏地层孔壁稳定是防斜、纠斜钻进的先决条件,故在水敏易斜地层施工应不断改进钻进参数,维护泥浆低失水量与较高的粘度才能够为防斜纠斜提供优良的环境。

(2)扶正器的使用有利于钻孔防斜钻进,但也容易引发事故,故在钻进过程中要注意观察扭矩、泵压等钻进参数的变化,防止发生卡钻、抱钻等事故。

(3)纠斜工艺可作为易斜地层钻进的辅助工艺,条件允许的情况下,可进行多次纠斜施工,以使

钻孔质量满足要求。

(4)在水敏易斜地层中,要采取有效技术措施快速钻进,防斜与纠斜工艺相结合可达到良好的施工效果。

#### 参考文献:

- [1] 李宝辉,刘志会. 深孔勘察中强自然造斜地层的防斜纠斜工艺技术措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(7):8-9.
- [2] 陈琳琳. 防斜打快技术在海拉尔易斜地层的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(2):25-27,30.
- [3] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等. 钻井液与岩土工程浆液[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,2002:15-18.
- [4] 罗治奇. 中放废液处置场强自然造斜地层钻进的防斜纠斜[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(12):9-12.
- [5] 卢峰,汪栋,王平. 山西灵丘腰站铁矿普查项目深斜钻孔钻探设计与施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S2):334-337.
- [6] 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.
- [7] DZ/T 0227—2010,地质岩心钻探规程[S].
- [8] 时志兴. 洛宁程家沟-沙沟银多金属矿中深斜孔钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(9):9-13.