

# 青海盐溶地层钻探卤水泥浆配方研制及应用

徐培远<sup>1,2</sup>, 袁志坚<sup>1</sup>

(1. 河南省煤田地质局, 河南 郑州 450016; 2. 河南省能源钻井技术中心, 河南 郑州 450016)

**摘要:**针对青海盐溶地层在钻进过程中,上部泥页岩吸水膨胀,钻孔缩径,下部钾盐矿物层溶蚀,导致盐侵、扩径以及砂砾碎屑岩层胶结差,松散易坍塌、掉块等施工难点,开展了卤水泥浆的适岩性研究。在实验室选用正交实验法和现场实际配制,优选了4组卤水泥浆配方,通过生产应用与使用普通低固相泥浆对比,平均机械钻速由1.015 m/h提高至1.195 m/h,孔径扩大率由7.83%降低至4.36%,划眼损失率由3.05%降低至1.41%,泥浆成本由731.3元/m<sup>3</sup>降低至503.8元/m<sup>3</sup>,取得了较好的效果。

**关键词:**盐溶地层;钻探;卤水泥浆;正交实验

**中图分类号:**P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)06-0041-04

**Development and Application of Brine Mud Formula in Salt Soluble Formation in Qinghai/XU Pei-yuan<sup>1,2</sup>, YUAN Zhi-jian<sup>1</sup>** (1. Coalfield Geology of Henan Province, Zhengzhou Henan 450016, China; 2. Henan Provincial Energy Drilling Engineering Technological Research Center, Zhengzhou Henan 450016, China)

**Abstract:** In the drilling process in salt soluble formation of Qinghai, the upper shale water swelling with borehole shrinkage, the lower potassium salt mineral layer corrosion lead salt intrusion and borehole diameter expanding; gravel clastic rock with poor cementation, collapsing and block falling, according to these construction difficulties, the study was carried out on the brine mud adaptability to lithology. By orthogonal experiment method in the laboratory and practical preparation in the field, 4 groups of brine mud formulas were optimized. Compared with the ordinary low solid mud in the application, the average penetration rate increased from 1.015m/h to 1.195m/h, borehole diameter expansion rate decreased from 7.83% to 4.36%, hole backreaming loss decreased from 3.05% to 1.41%, the mud cost decreased from 731.3 yuan /m<sup>3</sup> to 503.8 yuan/m<sup>3</sup>.

**Key words:** salt soluble formation; drilling; brine mud; orthogonal experiment

青海柴达木盆地,蕴藏着极为丰富的钾盐类矿产资源。在勘查和开发过程中,必须选择具有抗粘土、盐侵性能的泥浆护壁,才能保证施工顺利实施,否则泥浆失水或矿层溶蚀后,极易发生缩径卡钻、压差粘钻或大肚子孔壁造成钻具折断事故等。同时也无法保证矿心的采取率,影响钻孔质量。我们采用当地卤水作为泥浆分散介质,选择国内不同产地粘土以及近几年研究的新泥浆材料作为分散相,通过实验室正交实验法,现场配制、生产试验,优选了4个适岩卤水泥浆配方,为该区安全、高效施工提供了技术保证。

## 1 地层岩性特点及对泥浆性能的要求

青海柴达木盆地钾盐类资源赋藏于新近系盐湖沉积地层,该地层以石盐、芒硝等钾盐类矿物沉积为

主,钾盐类矿物主要具有可溶性、吸湿性等,其溶解速度受矿石品位、化学成分、结构构造、温度、压力、溶液浓度等因素的影响。该矿区地层结构较为松散,孔隙、晶隙较为发育,厚度大,赋存有较丰富的高矿化度卤水。从钻探施工角度出发,矿区地层大致可分为2段。上段地层岩性主要为粉砂粘土、砂质泥岩、含石膏的石岩粉砂、含石岩的芒硝层等。岩性特点松散、破碎、水敏性强,以盐侵和粘土侵为主。钻遇该段地层时,要求泥浆对粘土层和钾盐层具有抑制和抑溶作用,防止粘土矿物膨胀缩径、分散造浆或钾盐类矿物溶解造成钻孔超径。下段(1000 m左右)为含砾中粗砂、砂砾石,局部夹粘土层,矿层为高钾卤水。岩性特点坚硬破碎,可钻性高,采取岩心困难。钻遇该段地层时,要求泥浆具有抑制钾盐溶解,预防矿层污染,平衡地层压力,保证孔壁稳定等性能。

收稿日期:2016-08-26

作者简介:徐培远,男,汉族,1964年生,河南省能源钻井技术中心主任,河南豫中地质勘察工程公司总经理,高级工程师,探矿工程专业,从事煤田、石油、煤层气钻探工作,河南省郑州市郑东新区商鼎路70号;袁志坚,男,汉族,1965年生,高级工程师,探矿工程专业,yzj371@163.com。

2 泥浆配方研究

水溶性地层钻进关键是护壁问题,主要技术手段就是选择合适的抗盐侵泥浆,通过在泥浆中加入与地层被溶物相同的物质,降低泥浆对地层的溶蚀性,提高泥浆抗粘土侵和抑制泥页岩水化膨胀的能力。常用抗盐侵泥浆的配制有 2 种情况:(1)先用淡水配制分散泥浆,然后加盐转化为盐水泥浆,相当于盐侵后泥浆的处理,容易配制;(2)直接用咸水或海水配制泥浆。由于该区卤水资源丰富,费用成本较低,所以,选用当地的卤水进行配制泥浆(卤水水质分析数据见表 1)。为了研究适岩卤水泥浆配方,我们查阅参考了国内盐岩地层钻探用泥浆相关资料,通过分析本地区地层特性,首先在实验室进行实验,然后通过生产试验,优选适岩泥浆配方。

表 1 卤水水质分析数据

| 检测离子 | 含量/(g·L <sup>-1</sup> )       | 其他指标               | 数值         |
|------|-------------------------------|--------------------|------------|
| 阳离子  | K <sup>+</sup>                | 游离 CO <sub>2</sub> | 0.12 g/L   |
|      | Na <sup>+</sup>               | 矿化度                | 339.87 g/L |
|      | Ca <sup>2+</sup>              | pH 值               | 7.06       |
|      | Mg <sup>2+</sup>              |                    |            |
| 阴离子  | Cl <sup>-</sup>               |                    |            |
|      | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |                    |            |
|      | Br <sup>-</sup>               |                    |            |
|      | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> |                    |            |
|      | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |                    |            |

2.1 实验方法确定

目前泥浆常用实验方法有全面实验法、简单比

较法、正交实验法。全面实验法需要进行  $n$  次实验才能包含所有可能组合的性能,实验次数太多;简单比较法实验次数少,反映问题不够全面;正交实验法相对于全面实验法和简单比较法有较大的优点,在对实验的安排上能够避免全面实验法和简单比较法的缺点,同时结合我们实验室现有条件,选用了正交实验法。

2.2 实验仪器

WT-2000C 型高速变频双头搅拌机、SD4B 型四联中压滤失仪、ZNN-D6 型六速旋转粘度计、JY1002 型电子天平、WT-NF-2 型常温粘附系数测定仪、NP-01 型常温膨胀量测定仪、WTG144-20 型机台配套泥浆仪器。

2.3 泥浆主要材料

粘土是水基泥浆的重要配浆材料,在泥浆中的主要作用在于提高体系的塑性粘度、静切力和动切力,以增强泥浆对岩屑的悬浮和携带能力,降低滤失量,形成致密泥饼,增强造壁性。该项目我们选择了山东膨润土、安徽凹凸棒石、陕西钠基膨润土、南阳海泡石、河北膨润土等 5 个厂家的粘土样品,分别按照粘土 4% 的比例进行取样、搅拌、配制成基浆。依次测量其表观粘度、塑性粘度、动切力、动塑比和滤失量,性能指标见表 2。由于山东和河北膨润土配浆时,水土分层严重,我们选陕西钠基膨润土、安徽凹凸棒石和南阳海泡石作为配浆粘土进行实验。

表 2 测试各类配浆土性能

| 配 方           | 表观粘度 $AV/(\text{mPa} \cdot \text{s})$ | 塑性粘度 $PV/(\text{mPa} \cdot \text{s})$ | 动切力 $YP/\text{Pa}$ | 动塑比  | $FL_{API}/\text{mL}$ | 备 注    |
|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|------|----------------------|--------|
| 卤水+4% 山东膨润土   | 1.5                                   | 1                                     | 0.50               | 0.50 | 120                  | 水土分层严重 |
| 卤水+4% 安徽凹凸棒石  | 4.5                                   | 2                                     | 1.60               | 0.80 | 95                   |        |
| 卤水+4% 陕西钠基膨润土 | 2.5                                   | 2                                     | 0.86               | 0.43 | 80                   | 起少量泡沫  |
| 卤水+4% 南阳海泡石   | 2.5                                   | 2                                     | 0.45               | 0.45 | 90                   |        |
| 卤水+4% 河北膨润土   | 1.5                                   | 1                                     | 0.52               | 0.52 | 108                  | 水土分层严重 |

众所周知,卤水中  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等离子侵入泥浆后,泥浆稳定性变差,为了增强泥浆携带岩粉和抗盐侵能力,抑制钻孔孔壁吸水膨胀,保持泥浆稳定性,需要在泥浆中添加一定比例的增粘剂、降滤失剂、稀释剂等处理剂。通过查阅和参考国内相关资料,选择的增粘剂主要有羧甲基纤维素钠盐(HV-CMC)、抗盐共聚物(GTQ)、包被剂(BBJ);降滤失剂有聚阴离子低粘纤维素(PAC-LV)、降失水剂(GP-NA)、羧甲基淀粉(CMS)以及泥浆多功能剂(MBM)

等材料进行实验。

2.4 卤水泥浆配方实验优选

按照正交实验方法,在参考国内盐水泥浆相关配方的基础上,设计不同比例配方进行实验。以钠基膨润土低固相卤水泥浆配方为例介绍实验优选过程:设计钠基膨润土加量 2%、3%、4%;抗盐共聚物(GTQ)加量 0.8%、1%、1.2%;降失水剂(GPNA)加量 0.8%、1%、1.2%;包被剂(BBJ)加量 0.2%、0.3%、0.4%,4 种泥浆添加剂按照四因素三水平进

行实验。正交实验设计的因素与水平见表 3。9 组泥浆配方处理剂加量见表 4。

表 3 钠基膨润土低固相卤水泥浆体系因素水平

| 水平 | 因 素     |       |        |       |
|----|---------|-------|--------|-------|
|    | 钠基膨润土/% | GTQ/% | GPNA/% | BBJ/% |
| 1  | 2       | 0.8   | 0.8    | 0.2   |
| 2  | 3       | 1.0   | 1.0    | 0.3   |
| 3  | 4       | 1.2   | 1.2    | 0.4   |

表 4 钠基膨润土低固相卤水泥浆配方设计

| 配方 | A | B | C | D | 钠土/% | GTQ/% | GPNA/% | BBJ/% |
|----|---|---|---|---|------|-------|--------|-------|
| 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 2    | 0.8   | 0.8    | 0.2   |
| 2  | 1 | 2 | 2 | 2 | 2    | 1.0   | 1.0    | 0.3   |
| 3  | 1 | 3 | 3 | 3 | 2    | 1.2   | 1.2    | 0.4   |
| 4  | 2 | 1 | 2 | 3 | 3    | 0.8   | 1.0    | 0.4   |
| 5  | 2 | 2 | 3 | 1 | 3    | 1.0   | 1.2    | 0.2   |
| 6  | 2 | 3 | 1 | 2 | 3    | 1.2   | 0.8    | 0.3   |
| 7  | 3 | 1 | 3 | 2 | 4    | 0.8   | 1.2    | 0.3   |
| 8  | 3 | 2 | 1 | 3 | 4    | 1.0   | 0.8    | 0.4   |
| 9  | 3 | 3 | 2 | 1 | 4    | 1.2   | 1.0    | 0.2   |

按照 API 标准对泥浆的性能进行测定,在常温

表 5 优选 6 组泥浆配方性能及适用地层

| 编号 | 泥 浆 配 方                                   | 流 变 性              |                    |         | $FL_{API}/$<br>mL | 泥饼厚<br>度/mm | 适用地层    |
|----|-------------------------------------------|--------------------|--------------------|---------|-------------------|-------------|---------|
|    |                                           | $AV/(mPa \cdot s)$ | $PV/(mPa \cdot s)$ | $YP/Pa$ |                   |             |         |
| 1  | 卤水+4% 钠基膨润土+1% GTQ+1% GPNA+0.3% BBJ       | 20                 | 17                 | 4.1     | 6.0               | 0.2         | 水敏性泥页岩  |
| 2  | 卤水+4% 海泡石+0.8% HV-CMC+1.2% GPNA+1% PAC-LV | 19                 | 12                 | 3.1     | 9.0               | 0.3         | 稳定粉砂岩   |
| 3  | 卤水+4% 凹凸棒石+0.7% HV-CMC+1.2% GPNA+0.3% BBJ | 18                 | 14                 | 3.5     | 8.0               | 0.3         | 稳定粉砂岩   |
| 4  | 卤水+4% 钠基膨润土+0.6% HV-CMC+3% MBM+1% GPNA    | 26                 | 19                 | 6.2     | 7.0               | 0.2         | 破碎砂砾岩   |
| 5  | 卤水+5% 钠基膨润土+1% GTQ+1.5% GPNA              | 18                 | 13                 | 5.1     | 7.5               | 0.3         | 水溶性钾盐矿层 |
| 6  | 卤水+4% 钠基膨润土+2% CMS+0.8% HV-CMC+1% PAC-LV  | 26                 | 19                 | 6.6     | 8.0               | 0.2         | 砾岩掉块、坍塌 |

### 3 泥浆的配制及应用效果

#### 3.1 泥浆的配制

现场配制卤水泥浆需要按照规定的程序和要求配制,否则泥浆性能达不到设计指标要求。

(1)加入卤水前,钠基膨润土必须进行预水化处理,使粘土颗粒充分水化分散,建立起较厚的双电层。粘土含量应控制在 4%~5% 的范围,Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 加量为粘土质量的 5%~6%。

(2)加入卤水后进行护胶处理,严格按照泥浆处理剂添加顺序和配方比例要求配制泥浆,即:预水化粘土→卤水→抗盐增粘剂→降失水剂→火碱→重晶石粉→润滑消泡剂,泥浆 pH 值在 9~10 之间。

(3)钻遇砂砾岩未胶结的松散层时,要添加重晶石粉,提高泥浆液柱对孔壁的支撑力。添加重晶石粉前需调整好泥浆的固相含量、粘度、失水量、pH

25℃条件下,按照正交实验设计数据的处理规则,对表观粘度、塑性粘度、动切力和滤失量进行处理,计算出四因素、三水平中几个测定结果的总值、平均值、极差(数据表略)。得出处理剂对表观粘度的影响程度顺序:GTQ>膨润土>BBJ>GPNA;处理剂对塑性粘度的影响程度顺序:GTQ>膨润土>BBJ>GPNA;处理剂对动切力的影响程度顺序:GTQ>GPNA>膨润土>BBJ;处理剂对滤失量的影响程度顺序:膨润土>GTQ>BBJ>GPNA。根据表观粘度、塑性粘度和滤失量适中较小和动切力越大越好的原则,钠基膨润土低固相卤水泥浆配方 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>D<sub>2</sub> 为优选配方(卤水+4% 钠基膨润土+1% GTQ+1% GPNA+0.3% BBJ)。同理,我们分别通过实验优选出海泡石低固相卤水泥浆、凹凸棒石低固相卤水泥浆、MBM 多功能剂低固相卤水泥浆、羧甲基淀粉 CMS 低固相卤水泥浆、抗盐共聚物(GTQ)卤水泥浆配方,见表 5。

值等技术指标,原则上泥浆每循环一周,泥浆密度增加 0.03~0.05 g/cm<sup>3</sup> 为宜。

(4)卤水泥浆在循环流动时易产生泡沫,为了消除泡沫,减少钻具回转阻力,适量加入润滑减阻剂。

(5)做好泥浆维护,现场每班(按 8 h 计)必须测一次泥浆全套性能(粘度、密度、滤失量、含砂量、pH 值),发现泥浆性能指标不符合设计要求,及时补充处理剂,确保泥浆性能稳定。

(6)加强循环系统的净化工作,保证循环槽长度 20~25 m,并增设沉淀池 1~2 个。有条件时配备除砂器、离心机,严格控制无用固相的含量。

(7)防止淡污水和雨水流入循环系统。

#### 3.2 现场应用效果

针对地层特性,按照优选的 6 个配方分别配制了卤水泥浆,在配制过程中,发现 2 号海泡石和 3 号凹凸棒石抗盐土卤水泥浆性能与实验指标差异较

大,没有进行实际应用。其它1号、4号、5号、6号4组配方配制的泥浆进行生产应用。从应用效果来看,均能满足岩盐地层泥页岩缩径膨胀、钾盐矿层溶蚀、砂砾岩松散破碎、坍塌和掉块等护壁需要。4组卤水泥浆配方适岩性见表6,应用效果见表7。

表6 优选4组卤水泥浆配方及适岩性

| 名称                | 配方                                | 适用地层    |
|-------------------|-----------------------------------|---------|
| 钠基膨润土低固相卤水泥浆      | 卤水+4%钠土+1%GTQ+1%GPNA+0.3%BBJ      | 易缩径泥页岩  |
| 多功能剂(MBM)低固相卤水泥浆  | 卤水+4%钠土+0.6%HV-CMC+3%MBM+1%GPNA   | 易掉块砂砾岩  |
| 抗盐共聚物(GTQ)低固相卤水泥浆 | 卤水+5%钠土+1%GTQ+1.5%GPNA            | 易溶蚀钾盐矿层 |
| 羧甲基淀粉(CMS)低固相卤水泥浆 | 卤水+4%钠土+2%CMS+0.8%HV-CMC+1%PAC-LV | 易坍塌卵砾岩  |

注:为了保证泥浆稳定性能,添加NaOH使pH值控制在9~10。

表7 应用前后效果对比

| 泥浆类型    | 平均机械钻速/<br>( $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ ) | 平均孔径<br>扩大率/% | 划眼损<br>失率/% | 泥浆成本/<br>( $\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$ ) |
|---------|-----------------------------------------------|---------------|-------------|---------------------------------------------|
| 普通低固相泥浆 | 1.015                                         | 7.83          | 3.05        | 731.3                                       |
| 卤水泥浆    | 1.195                                         | 4.36          | 1.41        | 503.8                                       |

#### 4 结论及存在问题

研究的卤水泥浆配方,利用卤水钾盐同离子效应抑制钾盐类矿物的溶解;较低滤失量减少泥浆自由水侵入孔壁,解决了孔壁膨胀缩径现象;泥浆密度调节范围大,能满足平衡地层压力需要;具有良好流变性,悬浮和携带岩粉能力强;选用泥浆处理剂种类少,配制方便简单;卤水可就地取材,成本费用低。

(上接第40页)

(3)泡酸过程中发生井壁垮塌、引发井漏及失返,采用大排量循环是为了防止因液柱压力下降而再次井壁垮塌及预防垮塌物堆积堵塞环空。环空畅通后需用固井泵车等设备大排量循环稠浆携砂,尽可能将垮塌物携带出井筒,保证井眼畅通为后续处理作业创造条件。

(4)泡酸在酸液的选择及影响酸液反应速度和作用距离的酸液浓度、泵排量、地层温度压力等因素需要进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 陈在君,刘顶运,韦海防,等.泡酸解除GP25-17井卡钻事故[J].钻井液与完井液,2009,26(1):85-86.

通过工程实际应用,能满足青海盐溶地层钻探需要,工程质量均达到设计要求,取得较好效果。但是,在应用中存在一些问题需要进一步研究和探索。

(1)现场配制海泡石和凹凸棒石卤水泥浆与实验室配制泥浆小样性能指标两者差异较大,除现场与实验室使用的抗盐土不是一个批次外,有无其它因素影响需进一步研究分析。

(2)泥浆性能调整或转换作业时,因现场未配置固控净化设备,泥浆重复利用率低,造成泥浆材料的浪费。

(3)针对盐溶地层开展适岩性泥浆研究,对于我们是一个新课题,研究思路、方法谬误之处,望批评指正。

#### 参考文献:

- [1] 王正浩,等.岩盐地层钻探中卤水泥浆的应用研究[R].河南郑州:河南省煤田地质局一队,2015.
- [2] 胡继良,陶士先,纪卫军.破碎地层孔壁稳定技术的探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):30-32,64.
- [3] 万秀梅,王平全.抗高温高密度近饱和盐水泥浆钻井液室内研究[J].重庆科技学院学报(自然科学版),2010,12(2):86-88.
- [4] 刘翠娜,纪卫军,李晓玮,等.盐水钻井液配制方法对其性能的影响[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(1):33-36.
- [5] 张孝华,罗兴树.现代泥浆实验技术[M].山东东营:石油大学出版社,1999.
- [6] 张庆海,姚桂山,等.盐矿钻探技术工艺[M].北京:地质出版社,1992:66-94.
- [7] 鄢捷年.钻井液工艺学[M].山东东营:石油工业出版社,2001.
- [8] 张西营,马海州,高东林,等.柴达木盆地西台吉乃尔盐湖矿区水文化学特征[J].盐湖研究,2007,15(2):12-20.

- [2] 杨飞,彭商平,何志强,等.碳酸盐岩井眼酸化卡液技术研究[J].天然气工业,2013,33(1):95-100.
- [3] 张坤,李明华,万永生,等.有效解除水平井段压差卡钻技术:在磨溪地区钻井中的应用[J].天然气工业,2007,27(7):56-58.
- [4] 刘德胜,胡欣峰,王文勇,等.酸化解卡方法解除伊朗TBK-8井卡钻事故[J].钻井液与完井液,2006,23(6):77-78.
- [5] J. M. 廷斯利.完井酸化压裂——外国完井技术丛书4[M].罗知翔,朱恩灵,译.北京:石油工业出版社,1986:33-123.
- [6] 何银坤,邓昌松,张小红,等.泡酸解卡在碳酸盐超深水平井的应用[J].钻采工艺,2015,38(1):105-108.
- [7] 邓昌松,何银坤,冯少波,等.泡酸解卡在塔中11井的应用与认识[J].石油钻采工艺,2015,37(5):120-123.
- [8] 王宝亮.修井作业中解除水泥卡钻事故措施探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2011,31(12):235-236.
- [9] 许京国,葛滨海,王建俊,等.酸化解卡工艺在柳109井的实践与认识[J].石油钻采工艺,2014,36(1):91-94.
- [10] 于永刚,聂占业.浴酸解除卡钻事故[J].钻采工艺,2002,25(6):99-101.