

# 湖南永和海泡石的钻井泥浆试验<sup>\*</sup>

杨 光 华

(桂林工学院土木工程系 541004)

**摘 要** 永和海泡石粘土在盐水中具有良好的造浆性能, 土粉的加工粒度、搅拌时的剪切力对其造浆率有一定的影响。用 NaOH 将其悬浮液的 pH 值调节到 9~10, 可大幅提高粘度。在南海油田进行的钻井试验中, 成功地用该粘土代替不适宜用海水造浆的膨润土配制优质稠泥浆和阳离子泥浆, 钻进了 2 730 m。

**关键词** 海泡石; 盐水泥浆; 稠泥浆; 湖南; 浏阳

**分类号** P634. 62<sup>\*</sup>

国外在石油钻井中早已把海泡石用作抗盐粘土, 并在 API (美国石油协会) 标准中为该类产品提供了质量指标和试验规范, 我国在这方面的研究和开发起步较晚。在本次试验前, 笔者等人已用永和海泡石粘土在多处内陆油田进行过实钻泥浆试验, 结果表明, 在含盐地层中使用海泡石泥浆有利于防塌, 减少井内事故, 可明显降低钻井成本。这是第 1 次用该粘土在海上进行实钻泥浆试验, 目的是进一步研究和论证用该区海泡石资源开发符合 API 标准的抗盐粘土产品的可行性。用于本次试验的工业大样采自永和矿区 II 矿段, 均为埋藏较浅、风化程度较深的粘土型海泡石, 共 210 t。室内试验样品的提取方法: 分若干次从大样中提取, 混匀备用。

## 1 样品的成分及物理性质

样品中含海泡石 53% (质量分数, 下同), 方解石 2%, 石英 29%, 滑石 15%; 含 CaO 1.09%, MgO 17%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.3%<sup>[1]</sup>。经测定, 其密度为 1.97~2.04 g/cm<sup>3</sup>, 胶质价为 100%。

## 2 粘土的基本造浆性能

### 2.1 粒度对造浆性能的影响

**试验方法:** 将原土样品晒干后用不同的方法加工成各种粒度, 按 API 程序测定饱和盐水造浆率。表 1 是用研钵制备的不同粒度的样品的造浆率, 显然粒度对造浆性能有一定的影响, 加工得越细, 造浆率越低; 当粒度为 0.9 mm (即土粉基本通过 0.9 mm 方孔筛) 时造浆率达到最高, 此后粒度的增大对造浆率不再有明显影响。这一现象可解释为: 加工得过细会使呈“稻草束”状结构的海泡石纤维受到较多的破坏, 导致粘土颗粒在悬浮液中相互交联形成网状结构的能力有所削弱。用雷蒙机、棒磨机及其它粉碎机得到的结果均与此类似。本批大样为了便于

<sup>\*</sup> 1998-09-05 收稿, 1999-03-05 改回。

作者简介: 杨光华, 男, 1957 年出生, 工程师, 采矿工程专业。

<sup>\*</sup> 湖南省地矿局海泡石工业利用研究课题的部分成果。

在海面上用吹送的方法输送,是加工成 $-0.125\text{ mm}$ ,并用容量为 $100\text{ kg}$ 的编织袋包装。

2.2 剪切分散条件

表 1 造浆率与土粉粒度的关系

Table 1 Relation of producing mud rate with granularity

| 试验方法: 称取土粉若干份, 每份 30 g, 分别加入盛有 350 mL 饱和盐水的容器中, 在不同的搅拌转速下搅拌不同的时间, 陈化 24 h 后, 再搅拌 5 min, 立即用范氏粘度计测定转速为 600 r/min 时的读数 $\phi_{600}$ 。该试验平行做 2 次, 以其平均值作为试验结果。 | 粒度/mm                                  | -0.08 | -0.125 | -0.35 | -0.43 | -0.63 | -0.9 | -1.25 |
|---|--|-------|--------|-------|-------|-------|------|-------|
|   | 造浆率/( $\text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$ ) | 12.1  | 12.3   | 12.4  | 12.5  | 12.8  | 13.2 | 13.2  |

由表 2 知, 搅拌转速愈高 (即剪力愈大), 视粘度就愈快达到最大值; 若转速过低, 由于剪力较小, 将需要搅拌较长的时间, 视粘度才能达到最大值。

表 2  $\phi_{600}$  读数与搅拌速度的关系

Table 2 Relation of reading  $\phi_{600}$  with rotating speed

| 搅拌时间<br>/min | 搅拌速度/( $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ ) |       |        |        |
|--------------|---|-------|--------|--------|
|              | 2 000                                   | 8 000 | 11 000 | 14 000 |
| 5            | 20                                      | 28    | 32     | 34     |
| 10           | 23                                      | 29    | 33     | 36     |
| 20           | 28                                      | 32    | 36     | 36.5   |
| 30           | 32                                      | 36    | 36     | —      |
| 40           | 36                                      | —     | —      | —      |

2.3 在 NaCl 溶液中的分散性

试验步骤: 称取样品若干份, 每份 60 g, 以不同浓度的 NaCl 溶液 (体积均为 700 mL) 为分散介质, 按 API 程序制备悬浮液, 分别用六速范氏粘度计和 Zeta 电位仪测定视粘度和粘土颗粒的  $\xi$  电位。

由表 3 知, 该粘土在淡水中基本不造浆; 当 NaCl 的浓度达到 ( $w_B$ ) 6% 左右时, 悬浮液的视粘度达到最大值, 之后随 NaCl 浓度的增大, 粘土颗粒的  $\xi$  电位有所降低 (这是由于阳离子浓度增大到一定值后, 对双电层会有压缩作用), 视粘度也稍有所下降。滤液分析表明, 在 NaCl 的浓度达到 6% 后, 钠离子的消耗量便不再增加, 说明阳离子交换已达平衡。海泡石颗粒在吸附钠离子后其分散和水化状况会得到明显改善的机理与钙型膨润土改性处理大体类似, 即颗粒表面的高价阳离子为低价的钠离子所置换, 使颗粒的  $\xi$  电位升高, 水化膜增厚, 颗粒间的斥力增强, 体系的视粘度增大。所不同的是, 海泡石粘土中钙的含量甚少, 被置换的主要是镁离子, 而钙型膨润土被置换的主要是钙离子。这一结果表明, 该粘土很适合用含盐量  $w$  (NaCl) 为 4% 左右的海水配浆。

表 3 视粘度  $\eta_A$ ,  $\xi$  电位与 NaCl 浓度的关系

Table 3 Relation of visible viscosity  $\eta_A$  and  $\xi$  voltage with NaCl consistency

| 测试项目  | $w$ (NaCl)/% |       |       |       |       |       |       |       |
|---|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | 0            | 2     | 4     | 6     | 8     | 12    | 14    | 饱和    |
| $\eta_A/(10^{-3}\cdot\text{Pa}\cdot\text{s})$ | 4            | 12    | 16    | 17.5  | 16.5  | 16.5  | 16    | 15.5  |
| $\xi$ 电位 /mV                                  | -15.1        | -30.2 | -36.7 | -42.5 | -37.8 | -36.5 | -34.5 | -32.1 |

2.4 NaOH 的增效作用

海泡石盐水或饱和盐水泥浆的 pH 值一般在 6.1~6.4 之间。用 NaOH 将悬浮液的 pH 值调节至 9~10, 可大幅提高视粘度 (这一现象可参阅表 4)。对于品位较低的海泡石粘土, 提粘效果尤为显著。在勘探永和海泡石矿床期间, 笔者根据我国评价钙膨润土造浆性能的实践经验及钻井泥浆的实际, 在分析了数百个有代表性样品的试验数据的基础上, 求得中、低品位海泡石粘土加烧碱饱和盐水造浆率  $\hat{Q}$  和原土饱和盐水造浆率  $Q$  之间的经验关系式为:

$$\hat{Q} = 3.013Q - 3.834$$

上式的剩余标准差为  $1.29 \text{ m}^3/\text{t}$ ，相关系数为 0.991 4。取显著性水平  $\alpha = 0.05$ ，则临界相关系数仅为 0.513 9。根据该式和矿区的地质情况，经有关部门批准，确定海泡石粘土原土造浆率的工业指标为  $4.01 \text{ m}^3/\text{t}$ 。该指标被收入国家储委办公室 1986 年主编的《矿产工业要求参考手册》。对于原土造浆率较高的优质粘土，不能使用这一经验公式。本批试验用粘土的原土造浆率为  $12 \sim 13 \text{ m}^3/\text{t}$ ，经测定，其加烧碱（pH 值 = 9.5 左右）造浆率约为  $19 \sim 21 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

## 2.5 其它常用无机处理剂的作用

该粘土在  $\text{NaCO}_3$  水溶液中的分散性与在  $\text{NaCl}$  水溶液中相似，可建立起相似的粘度，但滤液呈明显的碱性（pH 值 = 7.5 ~ 8.6）。与普通膨润土相似，加入  $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$  等钙处理剂会使  $\xi$  电位显著变小，体系明显聚结。

## 2.6 降失水试验

单纯用盐水或海水配制的大海泡石泥浆失水量很大，做 API 失水一般在 5 ~ 7 min 内就会完全失水。但在泥浆中加入 1% ~ 2% 的低粘 CMC（钠羧甲基纤维素），即可将失水量控制在  $10 \text{ mL}/30 \text{ min}$  以内。经测定，其高温高压失水性能略优于膨润土泥浆。

# 3 在南海油的现场试验

## 3.1 泥浆设计

试验在涠 11-4N-3 号井进行。该井位于北海市西南约 88 km 的北部湾海上，所在水域的水深约 40 m，设计井深为 3 150 m，在打穿第三系直至进入古生界 55 m 后完钻。该井泥浆护壁工作的难点是 0 ~ 1 105 m 井段以伊利石、高岭石为主的泥页岩易塌易漏地层的防漏防塌。本次海泡石泥浆试验的具体内容是：用永和海泡石粘土代替抗盐能力较差、不适宜直接用海水配浆的膨润土配制稠泥浆和阳离子防塌泥浆，对付 0 ~ 1 105 m 井段。这里仅介绍泥浆设计中涉及海泡石材料试验的部分：

（1）主要泥浆材料：永和海泡石，潍县膨润土，铬铁木质素（FCLS），国产高粘 CMC、低粘 CMC 及 SPNH 高温高压滤失剂，聚丙烯酰胺类大分子包被剂，国产 RH-2、RH-3、PH-4 等润滑剂。

（2）海泡石稠泥浆的配方及其性能：该泥浆用于钻进 0 ~ 125 m 井段的破碎、易漏地层。特点是粘土相含量较大，并利用海泡石悬浮液加入  $\text{NaOH}$  后可大幅度提高粘度的性质，获得较高的稠度。配方和测试结果见表 4。在平台上配制稠泥浆的方法是：先在海水中加入烧碱和纯碱，再加入海泡石土粉搅拌 2 h 以上。为了提高分散效果，在搅拌的同时还要用高压喷枪不断冲刺。

（3）阳离子抗污染防塌泥浆的配方组成及其性能：该泥浆用于 125 ~ 1 105 m 井段有抗盐要求的易坍塌地层。根据该地区的岩性和坍塌现象，采用以海泡石和膨润土为粘土相的阳离子解絮凝体系，其 3 组泥浆方案如下：

第 1 组：用海泡石、膨润土配成基浆，再加入阳离子处理剂及其他处理剂。

第 2 组：用海水加海泡石、膨润土配成基浆，再加入阳离子处理剂、高温高压滤失剂及其他处理剂；

第 3 组：用海泡石配成基浆，再加上阳离子处理剂及其他处理剂。

上述每组方案都包含 3~4 种配方，其第 1 组方案见表 5。

表 4 海泡石稠泥浆的配方和性能

Table 4 Mixes and properties of thick sepiolite mud

| 序号 | 海水量<br>v/mL | 海泡石加量       |              | $m(\text{NaOH})$<br>/g | $m(\text{Na}_2\text{CO}_3)$<br>/g | 泥浆性能                                     |            |                                      |                                       |            | pH 值 |
|----|-------------|-------------|--------------|------------------------|-----------------------------------|--|------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------|------|
|    |             | $\omega/\%$ | $m/\text{g}$ |                        |                                   | 密度/<br>( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) | 漏斗粘度<br>/s | 视粘度<br>/( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ) | 塑性粘度<br>/( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ) | 动切力<br>/Pa |      |
| 1  | 1 500       | 6           | 90           | 2.0                    | 1.0                               | 1.04                                     | 30         | 0.015 7                              | 0.004                                 | 2.7        | 8.0  |
| 2  | 1 500       | 6           | 90           | 3.0                    | 1.0                               | 1.04                                     | 38         | 0.020 5                              | 0.005                                 | 3.1        | 8.5  |
| 3  | 1 500       | 8           | 120          | 2.0                    | 1.0                               | 1.05                                     | 40         | 0.027 5                              | 0.010                                 | 3.6        | 8.5  |
| 4  | 1 500       | 8           | 120          | 3.0                    | 1.0                               | 1.05                                     | 100        | 0.051 5                              | 0.018                                 | 6.7        | 8.5  |
| 5  | 1 500       | 10          | 150          | 3.0                    | 1.0                               | 1.06                                     | 130        | 0.060 5                              | 0.021                                 | 7.9        | 8.5  |
| 6  | 1 500       | 10          | 150          | 3.75                   | 1.0                               | 1.06                                     | 323        | 无法测                                  | —                                     | —          | 9.5  |

表 5 阳离子防塌泥浆的性能

Table 5 Properties of cation preventing-collapse mud

| 配方 $w_B/\%$ |     |     |     |        |        |    |      |      |      |      | 泥 浆 性 能 |         |            |        |              |               |         |      |
|-------------|-----|-----|-----|--------|--------|----|------|------|------|------|---------|---------|------------|--------|--------------|---------------|---------|------|
| 序号          | 海泡石 | 膨润土 | 铁铬盐 | 高粘 CMC | 低粘 CMC | 淀粉 | 石灰   | 小阳离子 | CPAM | KPAM | 密度      | 漏斗粘度 /s | API 失水 /mL | 泥饼 /mm | 视粘度 / (Pa·s) | 塑性粘度 / (Pa·s) | 动切力 /Pa | pH 值 |
| 1           |     | 6   | 2.5 | 0.2    | 0.2    |    | 0.05 | 0.2  | 0.1  |      | 1.05    | 51      | 10.2       | 2      | 0.025        | 0.021         | 0.9     | 9.0  |
| 2           | 4   | 4.8 | 1   |        |        | 3  | 0.05 | 0.3  |      | 0.1  | 1.05    | 50      | 14.5       | 2      | 0.016        | 0.015         | 0.2     | 9.0  |
| 3           | 5   | 3   | 1   | 0.2    | 0.2    |    | 0.05 | 0.3  |      | 0.01 | 1.05    | 62      | 17.6       | 3      | 0.037        | 0.032         | 0.1     | 8.5  |
| 4           | 6   | 3   | 1   | 0.2    | 0.2    |    | 0.05 | 0.3  |      | 0.1  | 1.06    | 45      | 22         | 3      | 0.02         | 0.017         | 0.07    | 9.0  |

3. 2 钻进过程

0~125 m 井段：口径为 914.4 mm，从开钻即使用海泡石稠泥浆，顺利钻穿了各处水泥塞。125~1 105 m 井段：口径 444.5 mm，使用海泡石阳离子聚合物泥浆，顺利钻穿以往容易出事故的各易漏易塌地层。以 697.3~955.2 m 井段为例，该段的地层为第三系忘楼角一角屋组，岩石成分以泥页为主，泥浆工作的重点是防漏防塌，采用第 1 组方案中的第 4 种配方，由泥浆试验室测得的井内泥浆性能见表 6。

表 6 697.2~955.2 m 井段的泥浆性能

Table 6 Property of mud in 697~955.2 m wall segment

| 井深<br>/m | 密度<br>/( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 漏斗粘度<br>/s | API 失水<br>/mL | 泥饼厚度<br>/mm | 表观粘度<br>/( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ) | 塑性粘度<br>/( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ) | 屈服值<br>/Pa | pH 值 |
|----------|-----------------------------------|------------|---------------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------|------|
| 697.3    | 1.15                              | 45         | 14.2          | 1           | 0.014                                 | 0.010                                 | 0.004      | 8.5  |
| 835.5    | 1.14                              | 50         | 13.5          | 1           | 0.016                                 | 0.012                                 | 0.004      | 9    |
| 955.2    | 1.17                              | 44         | 16.4          | 1           | 0.015                                 | 0.011                                 | 0.003 5    | 9    |

在该井的钻进中未出现因泥浆原因引起的异常现象，在钻至 2 730 m 后，由于海泡石土粉用尽，而改用膨润土泥浆继续钻完该井。

4 讨 论

(1) 这次试验完全达到了油田方面用海泡石代替膨润土配制优质抗盐防塌泥浆，安全钻

穿复杂地层的设计要求。由于海泡石的价格与膨润土相当，配基浆时可直接使用海水，简化了泥浆工艺，不仅适用于盐浸易塌地层，也可用于其它一些地层的钻进，在海洋钻探中显然有其独到的技术经济价值。经本次试验，加上以往在陆地油田取得的实钻试验成果，已可证实该土开发抗盐粘土产品在技术上是可行性的。

(2) 由于粒度对土粉的造浆性能有一定影响，最好不要加工得过细。在 API 标准中，对海泡石和其它抗盐粘土成品并无干筛分析要求（即无具体的粒度要求），因此，可加工成  $0.9\text{ mm}$  粒度，以获得较理想的造浆性能。

(3) 该区海泡石原矿的杂质偏多，含量 ( $w_B$ ) 为  $15\% \sim 40\%$ ，对土粉质量的影响较大，在加工中应设置有效的选矿工序。这样，只要用中等左右品质的海泡石粘土就能加工出造浆性能达到 API 标准的抗盐粘土产品，这类粘土在矿区储量巨大。此外，还应注意控制土粉的含水量，防止土粉结块。

### 参 考 文 献

- 1 杨光华，付旬隆，浏阳永和海泡石粘土的活化与菜油脱色试验，桂林工学院学报，1998 18 (4)，368
- 2 石油与天然气勘探，开发工会（法），钻井泥浆与水泥浆流变手册，曾祥熹译，北京：石油工业出版社，1985

## TRANSITIONAL DRILL MUD TEST WITH SEPIOLITE IN HUNAN

Yang Guanghua

(Department of Civil Engineering, Guilin Institute of Technology)

**Abstract** Sepiolite clay produced in Yonghe, Hunan has remarkable capability of creating mud in salt-water, this capability is influenced by granularity and shearing force mixing round the clay. It is possible to increase the creating-slurry-ratio of clay by adjusting pH of the mud to  $9 \sim 10$  with NaOH. It is successful to substitute bentonite with sepiolite clay for confecting thick mud and positive hydronium mud with sea water, having drilled 2 730 meters.

**Key words** sepiolite; brine mud; thick mud; Hunan; Liuyang

### 我院 2 项科技成果获奖

1、我院参加的国家计划项目《甘肃公婆泉一带斑岩型铜矿成矿条件、靶区优选及矿体定位预测》，获中国有色金属工业总公司 1998 年科学技术进步三等奖，宋慈安副教授获个人荣誉证书。

2、由蔡雄教授主持完成的国家社会科学基金项目科研成果《旅游扶贫老少边穷地区乘数效应大》，获广西高校 1998 年度人文社会科学优秀成果二等奖。