

# 西藏罗布莎科学钻孔冲洗液技术

翟育峰<sup>1</sup>, 王鲁朝<sup>1</sup>, 丁昌盛<sup>1</sup>, 盛海军<sup>2</sup>, 杨芳<sup>1</sup>

(1. 山东省地矿局第三地质大队, 山东 烟台 264004; 2. 山东省地矿局第八地质大队, 山东 日照 276800)

**摘要:**通过西藏罗布莎科学钻孔施工过程冲洗液应用实践, 结合现场试验室试验情况及实际生产过程中使用的泥浆类型、配方、性能特点、使用情况, 总结出适合罗布莎铬铁矿矿区易坍塌、破碎、漏失、缩径等复杂地层钻探施工的冲洗液配方, 并对不同类型冲洗液使用情况及存在的不足进行了阐述, 对同一配方冲洗液在不同钻探工艺条件下使用所取得的不同效果做出了说明, 为今后坍塌、破碎、漏失、缩径等复杂地层深部钻探的冲洗液配方选择提供了一些参考。

**关键词:**科学钻探; 冲洗液; 聚乙烯醇; LBM; 泥浆护壁; 西藏罗布莎

**中图分类号:** P634.6      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-7428(2014)04-0001-04

**Flush Fluid Technique in Scientific Drilling Hole Situated in Luobusa of Tibet/ZHAI Yu-feng<sup>1</sup>, WANG Lu-zhao<sup>1</sup>, DING Chang-sheng<sup>1</sup>, SHENG Hai-jun<sup>2</sup>, YANG Fang<sup>1</sup>** (1. The Third Geological Team of Shandong Bureau of Geology and Mineral, Yantai Shandong 264004, China; 2. The Eighth Geological Team of Shandong Bureau of Geology and Mineral, Rizhao Shandong 276800, China)

**Abstract:** By the application practice of flush fluid for scientific drilling in the Luobusa of Tibet, combining field laboratory tests and mud type, mud formula, performance characteristics and its use in the actual production process, a flush fluid formula is summarized, which suits for complex formations of collapse, broken, serious leakage and hole diameter shrinkage in Chromium iron mining area of Luobusa. The paper elaborates the application of different flush fluids and the existing shortcomings; explains the different effects of mud with the same formula in different drilling conditions, which provide some references to the selection of flush fluid formula for deep drilling in complex formations.

**Key words:** scientific drilling; flush fluid; PVA; LBM; protection wall with mud; Luobusa of Tibet

## 1 项目概况

西藏罗布莎科学钻孔是深部探测技术与实验研究下属课题“大陆科学钻探选址与钻探试验”(Sino-Probe-05)的内容, 在区域上研究区属于雅鲁藏布江缝合带东段的罗布莎蛇绿岩体, 在大地构造位置上, 西藏罗布莎岩体位于特提斯-喜马拉雅构造带西藏雅鲁藏布江蛇绿岩带的东端。区域上受控于雅鲁藏布江缝合带, 北邻冈底斯-念青唐古拉构造带, 南接喜马拉雅构造带。该项目于2012年9月顺利竣工, 先后施工2个钻孔, 终孔孔深分别为1477.80 m和1853.79 m。矿区地层复杂且位处构造带, 岩石极为破碎, 钻孔上部地层为卵石层, 胶结极差, 存在漏浆、难钻、坍塌、掉块等问题。下部地层为蚀变严重的超基性岩体, 对钻探的主要影响特点是: 塌、酥、漏、蚀变(蛇纹石化)严重, 且范围(深度)大。

## 2 矿区钻进护壁存在的主要问题及原因分析

### 2.1 钻进护壁存在的主要问题

#### 2.1.1 钻孔裂隙发育, 漏失严重

钻孔从开孔至198 m都存在漏失严重的问题, 全孔不返浆, 局部孔段甚至全孔漏失, 这样就造成冲洗液还未来得及在孔壁形成泥皮或者充分渗透到孔壁间隙来形成有效的护壁膜就已经漏失掉, 完全起不到相应的护壁效果。

#### 2.1.2 地层岩性多为蛇纹蚀变严重的超基性岩, 破碎严重

钻孔从开孔到终孔均无完整地层, 局部破碎严重, 冲洗液一旦维持不好就会发生坍塌、掉块事故, 主要的破碎地层见表1。

从表1可以看出, 开孔阶段第四系地层近200 m, 岩心采取率较低, 地层不稳定性非常高, 泥浆的护壁能力已经达不到要求, 最好的护壁方式就是下入套管。对于破碎孔段超过10 m的地层则采取

收稿日期: 2013-08-22; 修回日期: 2014-01-09

基金项目: 深部探测技术与实验研究之“大陆科学钻探选址与钻探试验”(SinoProbe-05)

作者简介: 翟育峰(1984-), 男(汉族), 山西晋城人, 山东省地矿局第三地质大队工程师, 勘查技术与工程专业, 从事钻探技术研究工作, 山东省烟台市芝罘区机场路271号, 282163880@qq.com。

表 1 钻遇的主要破碎地层

| 孔号    | 孔段/m              | 进尺<br>/m | 累计岩心<br>长度/m | 岩心采取率<br>/% |
|-------|-------------------|----------|--------------|-------------|
| LSD-1 | 774.71 ~ 785.39   | 10.68    | 7.6          | 71.16       |
|       | 830.69 ~ 845.07   | 14.38    | 9.45         | 65.72       |
|       | 859.46 ~ 879.90   | 20.44    | 17.34        | 84.83       |
|       | 895.49 ~ 915.29   | 19.8     | 13.5         | 68.18       |
|       | 1212.74 ~ 1227.74 | 15       | 13.56        | 90.40       |
|       | 1398.66 ~ 1416.78 | 19.54    | 18.3         | 93.65       |
| LSD-2 | 0 ~ 197.21        | 197.21   | 107.87       | 54.70       |
|       | 223.82 ~ 251.22   | 27.4     | 24.74        | 90          |
|       | 260.14 ~ 287.58   | 30.56    | 25.8         | 84.40       |
|       | 427.06 ~ 444.11   | 17.05    | 14.83        | 87          |
|       | 962.30 ~ 967.50   | 5.2      | 4.9          | 94.23       |
|       | 1243.72 ~ 1254.42 | 10.67    | 8.62         | 80.79       |
|       | 1295.35 ~ 1315.06 | 19.71    | 10.24        | 51.95       |
|       | 1492.29 ~ 1500.04 | 7.75     | 3.63         | 46.84       |
|       | 1528.78 ~ 1533.92 | 5.14     | 2.4          | 46.69       |
|       | 1838.29 ~ 1847.29 | 8.9      | 7            | 78.65       |

水泥封孔灌浆的方式。施工封孔次数达到了 30 余次。

2.1.3 孔壁出现坍塌以后,泥浆的护壁效果基本失效,只能采用其他方法处理

钻孔坍塌以后,往往会形成“大肚子”,对于携粉能力较差的无固相泥浆来说,基本上起不到胶结孔壁的作用。对于携粉能力较强的 LBM 冲洗液来说,虽然携粉能力很强,但是对于大颗粒岩粉,受环状间隙限制也无法携带出钻孔,因此在扫孔过程中一旦扫至事故孔段就会出现憋泵、憋车现象。

## 2.2 护壁困难的主要原因

### 2.2.1 地质构造因素

钻孔所在位置为印度板块和亚洲板块碰撞边界,地层相对位移近 3 km,由于受两大板块的碰撞,造成地层严重破碎,节理、裂隙发育,为钻探施工造成了很大的困难。

### 2.2.2 钻进工艺因素

(1) 无固相泥浆能起到很好的护壁作用,但是由于其携粉能力相对于固相泥浆来说较低,随着钻孔的加深,岩粉不能及时地排除钻孔,造成钻进泵压急剧增高,影响压力平衡钻进。

(2) 固相泥浆虽然有很好的携粉能力,但是易在钻杆内部结垢,而且受环状间隙的影响,不利于深孔钻进使用。

为了保证钻孔的顺利实施,针对施工中遇到的问题结合前期施工经验,开展了对冲洗液的一系列研究。试验采用了 LBM 低粘增效粉泥浆、聚乙烯醇无固相冲洗液,取得了较好的效果。

## 3 聚乙烯醇(PVA)冲洗液

聚乙烯醇(PVA)多为絮状、颗粒状、片状。现场使用的聚乙烯醇主要有 17-99、20-99 两类,“99”代表聚乙烯醇的醇解度,“17、20”代表聚乙烯醇的聚合度。聚合度越大,水溶液粘度越大,成膜后的强度越高。聚乙烯醇护壁机理:溶解的聚乙烯醇有很好的流动性、粘结性,能够渗入到破碎地层中,把岩块、岩屑胶结在一起,在一定的条件下能形成具有一定强度的膜,起到稳定孔壁的作用。

### 3.1 性能特点

(1) 聚乙烯醇冲洗液具有良好的成膜效果,与地层胶结能起到很好的护壁效果。图 1(a)为现场制备的聚乙烯醇成膜;图 1(b)为岩心散块简单粘着后放入制备好的聚乙烯醇冲洗液中浸泡,岩样不但分散,而且取出后强度还有一定程度的提高。



(a) 现场聚乙烯醇成膜



(b) 岩样在聚乙烯醇溶液中浸泡

图 1 聚乙烯醇护壁效果

(2) 聚乙烯醇冲洗液的成膜效果随着聚乙烯醇加量的加大而增加。

(3) 聚乙烯醇冲洗液失水量较大。

聚乙烯醇冲洗液性能指标见表 2。

从表 2 可以看出,随着 PVA 加量增加,冲洗液的动切力增大,粘度增大,这样虽然可以提高冲洗液的携粉能力,但是同时使冲洗液的流变性能变差,增大了泵压,不利于孔内压力平衡钻进。

### 3.2 现场应用情况

#### 3.2.1 现场制备

现场按照 10% 的比例与冷水混合,然后加热至开锅,待絮状的聚乙烯醇完全溶解于热水中为止,

表 2 不同配方的聚乙烯醇冲洗液性能

| 冲洗液配方                      | 表观<br>粘度<br>/(mPa·<br>s) | 塑性<br>粘度<br>/(mPa·<br>s) | 动<br>切<br>力<br>/Pa | 动<br>塑<br>比 | 马氏<br>漏斗<br>粘度<br>/s | 密度<br>/(g·<br>cm <sup>-3</sup> ) | 失水量<br>/[mL·<br>(30<br>min) <sup>-1</sup> ] |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|-------------|----------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|
| 2% PVA                     | 7                        | 7                        | 0                  | 0           | 17                   | 1.00                             | 全漏失                                         |
| 3% PVA                     | 15.5                     | 15                       | 0.511              | 0.034       | 18                   | 0.99                             | 全漏失                                         |
| 4% PVA                     | 32                       | 31                       | 1.022              | 0.033       | 20                   | 0.99                             | 全漏失                                         |
| 5% PVA                     | 67                       | 63                       | 4.088              | 0.06        | 24                   | 0.99                             | 全漏失                                         |
| 10% PVA                    | 97                       | 91                       | 6.132              | 0.07        | 28                   | 0.98                             | 全漏失                                         |
| 2.5% PVA +<br>0.4% CMC     | 17.5                     | 17                       | 0.511              | 0.03        | 20                   | 0.99                             | 35                                          |
| 2.5% PVA +<br>0.05% PAC141 | 12.5                     | 11                       | 1.533              | 0.14        | 21                   | 0.99                             | 28                                          |

然后将熬好的聚乙烯醇存放于新浆池中待用。

3.2.2 现场应用

溶解好的聚乙烯醇溶液,可以直接按比例加入到循环池中使用,PVA 的加量要根据孔内状况而定,常用比例 0.5% ~ 1%,即 10% 的溶液要加入 10 ~ 20 倍的水稀释。

为了增强护壁效果和减少聚乙烯醇的用量,在现场往往将溶解后的聚乙烯醇溶液(10%)直接加入到钻杆内,使浓度高的溶液先经过一次孔内循环,更有利于保护孔壁稳定。对于局部严重破碎地层孔段,还可以通过计算冲洗液量,将加入到钻杆内的聚乙烯醇浓溶液,到达破碎段时停止循环 1 ~ 2 h,使浓溶液充分渗入破碎地层,达到护孔的目的。

聚乙烯醇冲洗液具有较好的护壁性能,其他性能(如润滑、携粉、絮凝)并不理想,因此常常与其他材料配合使用,如纤维素 CMC、PAC141 等。

(1) PVA + CMC。在 PVA 冲洗液中只加入 CMC(加量 0.2% ~ 0.5%),能起到降低聚乙烯醇冲洗液失水量,提高冲洗液润滑性能,降低泵压、提高冲洗液携带岩粉的能力,性能见表 2。

(2) PVA + PAC141。主要应用在 LSD-2 钻孔 1533 m 以深的 S59 绳索取心钻进工艺中。加入 PAC141 的作用同 CMC 相似,但是 PAC 相对于 CMC 加量更小,只需 0.1%,性价比更高,而且润滑、携粉效果更好,其性能见表 2。

3.3 存在的问题

PVA 冲洗液有较好的护壁效果,但不能解决冲洗液的所有问题,主要存在以下几方面问题。

(1) 携带岩粉能力较差。PVA 类冲洗液密度小,切力小,携带能力较弱,对较大颗粒的岩粉带不出来,而是悬浮在环状间隙的冲洗液中或沉淀在孔底,造成循环阻力大,泵压升高。

(2) 润滑性差。PVA 冲洗液有较强的吸附能

力,与孔壁、钻杆均有吸附作用,分子间的作用也成网状结构,因此润滑性能不好。

(3) 不能与粘土泥浆、润滑油等混合使用。实践证明,PVA 冲洗液与粘土泥浆混合,不但影响粘土的分散,还直接影响 PVA 的护壁作用,这与两者分子之间的相互作用力有关,因此不能混合使用。理论上说,PVA 具有抗油性,但经过几次的使用发现,PVA 冲洗液中加入皂化油类会影响护壁效果。

(4) 不利于处理大面积坍塌。孔内一旦发生坍塌,由于 PVA 冲洗液携带能力差,不能把孔底的坍塌物携带上来,还会使泵压升高,压漏、压裂地层,因此 PVA 冲洗液对预防坍塌是最有效的,但出现坍塌后还得应用其他办法处理孔底坍塌物。

(5) 相比于其他无固相冲洗液,同种工艺情况下钻进泵压偏高。聚乙烯醇具有较高的表观粘度、塑性粘度,流变性能较差,因此循环过程中造成泵压偏高。

(6) 成本较高。当地聚乙烯醇价格为 27000 元/t(80 袋),钻孔存在漏失时每班需消耗 6 袋聚乙烯醇熬制的冲洗液,相当于一天的冲洗液钻进成本近 6100 元,加上其他费用,一天冲洗液成本近 7000 元。

4 LBM 冲洗液

低粘增效粉 LBM 是由三元共聚物 LPA 和膨润土经化学改造升级而成的高级造浆材料,是一种集造浆与泥浆处理剂功能于一体的多功能“方便面”式复合泥浆材料。

4.1 性能特点

LBM 冲洗液具有低密度、低粘度、低切力、低失水和高分散性(四低一高)等特性(见表 3)。

表 3 不同加量 LBM 冲洗液性能测试

| LBM<br>加量<br>/% | 表观粘度<br>/(mPa·<br>s) | 塑性粘度<br>/(mPa·<br>s) | 动<br>切力<br>/Pa | 动<br>塑<br>比 | 马氏漏<br>斗粘度<br>/s | 密度<br>/(g·<br>cm <sup>-3</sup> ) | 失水量<br>/[mL·(30<br>min) <sup>-1</sup> ] |
|-----------------|----------------------|----------------------|----------------|-------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|
| 3               | 16                   | 12                   | 4.088          | 0.341       | 22               | 1.01                             | 10                                      |
| 4               | 20                   | 15                   | 5.11           | 0.341       | 23               | 1.02                             | 10                                      |
| 5               | 22                   | 16                   | 5.11           | 0.319       | 25               | 1.02                             | 8                                       |
| 6               | 23                   | 17                   | 6.132          | 0.361       | 28               | 1.02                             | 6                                       |
| 7               | 25                   | 18                   | 7.152          | 0.397       | 29               | 1.03                             | 5                                       |
| 8               | 29.5                 | 19                   | 10.731         | 0.565       | 34               | 1.03                             | 5                                       |

从表 3 可以看出,LBM 冲洗液具有以下特点。

(1) 良好的流变性能。冲洗液的动塑比维持在 0.35 左右,这样可以降低泵压,有利于压力平衡钻进。

(2) 低失水量和良好的造壁性。LBM 冲洗液实验形成的泥皮薄而韧,能够起到很好的护壁作用,低

失水量对于水敏性地层有很好的抑制作用。

(3)粘附系数低。同普通的膨润土相比不易在钻杆内壁结泥皮,更利于绳索取心钻进。

#### 4.2 现场应用情况

##### 4.2.1 现场制备

按照3%~8%比例用泥浆搅拌机搅拌均匀,然后存放在现场专门存放新浆的 $16\text{ m}^3$ 的泥浆池中,根据需求补充更换泥浆。

##### 4.2.2 现场应用

LBM冲洗液具有高动切力、低失水性,处理坍塌地层有很好的效果。LBM冲洗液主要应用在LSD-2钻孔960 m处处理孔内坍塌事故及960~1469 m扩孔绳索取心特殊钻进工艺。其中在960 m处的坍塌事故就是加大环状间隙、靠LBM冲洗液的携粉能力,把孔内“大肚子”处的坍塌大颗粒都带出孔外,解决了憋车、憋泵现象,顺利处理好了孔内事故。

##### 4.3 存在问题

(1)粘附卡钻。LBM冲洗液在配制过程中一定要控制加量,加量过大、钻具在孔内静止时间过长、停泵的情况下很可能发生粘附卡钻事故。

(2)性能要保持稳定。LBM冲洗液具有很好的携粉能力,同时具有较高的静切力,这样不利于循环槽、泥浆池中岩粉的沉淀,需专用的除砂器,对于现场不具备条件的需及时更换新浆,会造成一定的浪费。

(3)相对于无固相冲洗液,使用LBM冲洗液,绳索取心钻进的环状间隙小,泵压会比较高,有时甚至会压漏地层。最好采用加大钻头直径等措施,增大环状间隙。

(4)成本较高。

#### 5 钻探工艺技术对冲洗液应用效果的影响

##### 5.1 钻探工艺技术对聚乙烯醇冲洗液的影响

聚乙烯醇冲洗液受自身流变性限制,随着钻孔

孔深的加大,钻进泵压升高较快,因此,适当的加大环状间隙能很好的降低泵压,有利于实现压力平衡钻进,同时泵压的降低能很好地减轻冲洗液漏失,也能起到很好的护壁效果。

##### 5.2 钻探工艺技术对LBM冲洗液的影响

LSD-2钻孔在960 m处发生坍塌事故以后,采用聚乙烯醇冲洗液扫孔,正常扫至接近事故孔段就会出现憋泵、憋车现象,换用LBM冲洗液效果一样。但是采用肋骨钻头加大钻头外径(76 mm加大到96 mm)后,加大了环状间隙,不仅处理好了事故孔段,还顺利地钻进至1460 m,因此,适当的加大环状间隙对于LBM冲洗液发挥护壁优势更加有利。

#### 6 结论

(1)聚乙烯醇冲洗液具有良好的护壁效果,但是其携粉能力差,随着孔深加大,泵压增大,深部钻探应用受限;

(2)LBM冲洗液有利于处理孔内坍塌事故;

(3)钻探工艺技术及参数对泥浆的使用效果也会产生一定的影响,因此同种冲洗液应用效果应以实践为准;

(4)任何一种冲洗液都存在一定的缺陷,作为钻探技术人员,需根据孔内现场情况决定采用何种冲洗液。

#### 参考文献:

- [1] 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):1-3,9.
- [2] 武汉地质学院,等.钻探工艺学(中)[M].北京:地质出版社,1981.
- [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.
- [4] 于培志,苏长明,张进双,等.中国石化近几年钻井液技术发展[J].钻井液与完井液,2009,26(2):113-114.
- [5] 北京有机化工研究所.聚乙烯醇的性质和应用[M].北京:纺织工业出版社,1978.2-4.

## 中石化页岩气开发获重大突破

——2017年将建成国内首个百亿立方米页岩气田

《中国矿业报》消息(2014-03-27) 中石化在页岩气勘探开发方面取得重大突破,将在2017年建成国内首个百亿立方米页岩气田——涪陵页岩气田。这标志着我国页岩气开发实现重大战略性突破,提前进入规模化、商业化发展阶段。

中石化表示,根据现有地质资料和产能评价,涪陵页岩气田资源总量达2.1万亿 $\text{m}^3$ ,计划2017年建成年产能100

亿 $\text{m}^3$ 的页岩气田,相当于建成一个1000万t级的大型油田。其中,预计14年年底涪陵页岩气田将实现产能18亿 $\text{m}^3$ /年,2015年年底将实现产能50亿 $\text{m}^3$ /年,为原计划的10倍。

截至目前,涪陵页岩气田平均单井测试产量33.7万 $\text{m}^3$ /d,最高55万 $\text{m}^3$ /d;焦页1HF井按6万 $\text{m}^3$ /d定产试采,已持续稳定生产480天;焦页6-2HF井目前产量32万 $\text{m}^3$ /d,已持续生产170天。