

# 无固相钻井液在沉积岩复杂地层钻探中的应用研究

黄卫东

(中国建筑材料工业地质勘查中心宁夏总队青海分队,青海 西宁 810000)

**摘要:**在沉积岩钻探施工过程中,经常会遇到松散、破碎、坍塌、水敏性等复杂地层。过去的做法主要是使用水泥封孔和套管固井等方法,施工成本高、效率低、劳动强度大。无固相钻井液的出现和发展,为沉积岩钻探难题提供了有效的解决方案。通过几个应用实例,介绍了在无固相钻井液技术研究及其在沉积岩复杂地层中的应用效果。

**关键词:**沉积岩;复杂地层;低固相;无固相;钻井液;钻探;护壁

**中图分类号:**P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)12-0010-03

**Research and Application of the Non-solid Drilling Fluid in the Complex Sedimentary Formation/HUANG Wei-dong**  
(Qinghai Branch, Ningxia Geological Prospecting Brigade, China National Geological Prospecting Center for Construction Material Industries, Xining Qinghai 810000, China)

**Abstract:** The loose, broken, collapsed and water-sensitive formations are often encountered while drilling in the sedimentary formations, which were mainly dealt with cement sealing and casing cementing in the past with high drilling cost, low efficiency and great labor intensity in the past. Along with the appearance and development of non-solid drilling fluid technology, effective solutions are provided to overcome difficulties in sedimentary rock drilling. The paper introduced the research on non-solid drilling fluid technology and its application effect in complex sedimentary formation drilling by application example.

**Key words:** sedimentary rock; complex formation; low-solid; non-solid; drilling fluid; drilling; wall protection

## 1 沉积岩复杂地层的特点及钻探施工中存在的主要问题

### 1.1 地层特点

沉积岩复杂地层主要包括第四系、第三系、侏罗系、石炭系中无胶结或胶结差的软、碎、散、塌、漏、涌地层。其中第四系地层主要有松散砂砾石、卵石、砂质粘土等;第三系地层主要有松散无胶结或弱胶结的砾岩、砂岩、粉砂质泥岩等;侏罗、石炭系地层主要有泥岩、煤层、泥质弱胶结或无胶结的松散砂岩、砂砾岩。

### 1.2 钻探主要难题

上述地层是盆地科学钻探、砂岩铀矿钻探和煤田钻探的主要钻遇地层,其岩石可钻性级别为 I ~ IV;松软~较软,多为沉积碎屑和泥质结构。除泥岩外,其他岩石大多为松散结构,无胶结或弱胶结,胶结物多为泥质,部分为钙质,填充物多为泥砂,钻进中易发生孔壁失稳、坍塌、掉块等现象。松散中粗砂、砂砾石及卵砾石岩层孔隙率大,透水性好,钻进中易发生漏水、涌水现象。

20世纪90年代以前,此类地层多采用粘土泥浆作为钻井液,钻探施工十分困难,主要体现在2个

方面:一是孔内事故多,主要由孔壁失稳、坍塌掉块引发的埋钻、卡钻、钻杆折断等;二是生产效率和工程质量低下,资源消耗和经济损失超标严重,钻探台月效率仅为300 m左右。

经过多年的科研工作和生产实践经验积累,笔者认为,沉积岩复杂地层钻进的关键在于如何针对地层特性,选用科学适用的钻井液,以保证孔壁的完整与稳定,从而减少与避免孔内事故,以达到提高钻进效率、保证钻孔质量、提高经济效益的目的。

沉积岩复杂地层钻进所使用的钻井液应满足以下条件:

- (1) 钻井液中的固相含量应尽可能降低;
- (2) 钻井液对地层中松散颗粒的胶连作用应尽可能增强;
- (3) 能使钻井液在岩心及孔壁表面形成胶质薄膜。

近几年来,我队在盆地科学钻探、砂岩铀矿钻探和煤田钻探中的研究实验及实际应用证明,使用聚乙烯醇、水玻璃和植物胶低固相及无固相钻井液可以满足以上条件。

收稿日期:2011-04-21;修回日期:2011-10-14

作者简介:黄卫东(1959-),男(汉族),山东人,中国建筑材料工业地质勘查中心宁夏总队青海分队队长、高级工程师,探矿工程专业,硕士,从事探矿工程技术与管理工作,青海省西宁市胜利路53号青旅商务大厦701室,huangweidong7288@163.com。

## 2 几种常用无固相钻井液及特性

### 2.1 聚乙烯醇类低固相钻井液

这类钻井液的主要成分是聚乙烯醇,它具有很强的胶结抗水化分散能力,常用于配制装修涂料和腻子。用于配制钻井液时,可对易分散造浆的地层有抑制水化分散的作用,从而降低钻井液对黄土地层岩心的渗透破坏及污染,对强水敏性地层有良好的抑止水化膨胀、保护孔壁作用。主要用于黄土地层钻探。

### 2.2 水玻璃类无固相钻井液

这类钻井液本身具有很强的胶结能力,通过改良加入少量无机物后,对松散的岩层胶结能力更强,同时堵漏效果也更明显,特别适合在厚度较大的粉煤层、松散的砂岩层及取心困难的地层中使用。

### 2.3 植物胶类无固相钻井液

这类钻井液由于粘度高,又具有较好的弹性粘度,再加入少量的磺化沥青等处理剂,润滑,减震,抗渗漏的效果都很好,很适合在相对稳定但渗透性较大的地层中使用。

## 3 典型应用实例及护壁机理的探讨

### 3.1 新疆策勒县大陆黄土科学钻探工程

#### 3.1.1 工程概况

2007年,我队承担的“新疆策勒县大陆黄土科学钻探”施工,该项目由中国科学院青藏高原研究所负责,旨在通过钻探取心,研究新疆塔里木盆地古气候环境演化序列及青藏高原隆升。

该项目设计孔深750 m,地层情况单一。从开孔至终孔,钻遇地层大多为水敏性极强的亚粘土、粉细砂,也就是常说的黄土地层。要求岩心采取率90%以上。

施工前期,使用细分散粘土钻井液钻进,其处理剂主要为纯碱、粘土粉、纤维素等,由于地层造浆严重,钻井液固相含量高,对岩心的渗透破坏作用明显,无法保证钻孔质量和正常钻进。岩心采取率仅为60%左右,并且钻孔事故不断,最终导致钻孔报废。

移孔后,经过现场观察和室内实验对比,我们决定选用聚乙烯醇低固相钻井液进行护壁和护心。使用后,孔内造浆得到抑制,钻井液对岩心的渗透破坏现象消失,泵压稳定,孔壁未发现坍塌、缩径等现象。岩心采取率达到95%以上,保质保量地完成了该孔的施工任务,受到了中国科学院有关专家的好评。

#### 3.1.2 室内试验

通过对17种配方的钻井液进行室内性能对比,优选出聚乙烯醇低固相钻井液,其配比及性能参数见表1。

表1 实际应用钻井液配方及性能参数表

配方	漏斗粘度 /s	失水量 /[mL·(30 min) <sup>-1</sup> ]	60 min 渗透深度及变形情况
粉状聚乙烯醇 1788 (PVA) 0.3%; 聚丙烯酰胺 (PHP) 0.05%; 羧甲基纤维素 (CMC) 0.2%; 火碱 0.2%; 膨润土 2.5%	59.3	11.5	渗透深度 8 mm, 无变形

#### 3.1.3 钻井液配制

先将配浆水处理 pH 值达到 7 左右,再将各处理剂预水化备用,PVA-1788 按一定比例热溶,依次按聚合物分子量大小慢慢加入搅拌机内,最后加入聚丙烯酰胺(PHP),再搅拌 30 min 即可使用。

#### 3.1.4 土样浸泡对比试验(表2)

表2 土样浸泡试验结果

钻井液类型	样品	浸泡结果
清水	黄土土样	2 min 全部分散
粘土细分散钻井液	黄土土样	30 min 坍塌
PVA 低固相钻井液	黄土土样	60 min 渗透深度 8 mm, 无变形,土样表面形成塑胶状薄膜(见图1)



图1 浸泡试验土样表面形成的塑胶状薄膜

#### 3.1.5 护壁机理

此类钻井液中的 PVA 分子在岩屑表面容易形成平卧吸附型结构,聚合物吸附层薄,胶结性好,对易分散造浆的岩屑有很强的抑制作用,加入钻井液中的 PHP 对岩屑产生絮凝,加速岩屑的沉淀,所以此类钻井液对水敏性强且松散的地层非常适用。实际使用后,孔内造浆得到抑制,钻井液对岩心的渗透破坏现象消失,泵压稳定。岩心采取率达到 95% 以上,孔壁完整,孔底无沉渣。

### 3.2 新疆吐鲁番盆地砂岩型铀矿钻探施工

#### 3.2.1 概况

该工作区主要岩性为松散砂岩,泥岩,煤层等。由于断裂构造十分发育,钻进施工中坍塌、卡钻、埋钻、漏失等孔内事故频繁发生,使许多钻孔因孔内事故而报废。从前采用不分散低固相钻井液的多个配方进行试用对比分析,对钻井液的性能变化跟班监

控,但是效果仍是不好,孔壁不稳、孔内事故频发。后采用水玻璃类无固相钻井液在2号机 ZK13-28、ZK13-29 试用,试用后未发生孔内事故,平均全孔

采取率 ZK13-28 为 89.3%、ZK13-29 为 86.9%,生产效率也明显提高,最高台月效率达到 1200 m。

### 3.2.2 配方及性能指标(表3)

表3 水玻璃类无固相钻井液配方及性能参数表

配方	漏斗粘度/s	塑性粘度/(mPa·s)	动切力/Pa	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	失水量/[mL·(30 min) <sup>-1</sup> ]	pH值	渗透深度及变形情况
水玻璃 4%; 硫酸铵 1%; 羧甲基纤维素(CMC) 0.2%; 火碱 0.2%; 聚丙烯酰胺(PHP) 0.5%	19	2	1	1.04	12.5	9	不分散、无变形

### 3.2.3 配制顺序

先将 PHP 水溶后加入搅拌机内,而后依次加入相关的处理剂,最后加入其它处理剂的水溶液,搅拌 30 min 后使用。

### 3.2.4 岩样浸泡对比试验(表4)

表4 岩样浸泡试验结果

钻井液类型	样品	浸泡结果
清水	砂岩岩心样	5 min 分散,垮塌
低固相钻井液	砂岩岩心样	8 h 后分散,垮塌
水玻璃钻井液	砂岩岩心样	久泡不分散

### 3.2.5 护壁机理

水玻璃对岩石的胶结作用,除有 SiO<sub>2</sub> 凝胶与岩石表面的物理吸附作用之外,还有化学吸附作用存在,当水玻璃溶液的 pH 值降低后,水玻璃发生缩合作用生成较长的带支链的—Si—O—Si—链,这种长链能形成网状结构而包住溶液中的自由水,使体系

失去流动性,从而实现堵漏的目的。该钻井液在使用时,若钻遇松散砂层或煤层时,可另外从钻杆内加入水玻璃溶液实现局部护壁、护心。

## 3.3 甘肃省天祝县某煤田钻探项目

### 3.3.1 概况

该工作区主要岩性为碳质泥岩、砂岩、粉砂质泥岩、煤层等。钻孔设计方位角 80°,倾角 75°,孔深在 600~1100 m 之间。开孔后因地层复杂,钻孔渗漏严重,部分孔段缩径。最初采用细分散低固相粘土钻井液施工,但施工中发现,该钻井液对渗漏问题解决效果并不理想,且钻杆内壁结泥皮严重,在很大程度上影响了钻进效率的提高。经研究决定改用植物胶类无固相钻井液,同时对其进行改良,钻进煤层时加入少量水玻璃溶液,顺利完成了合同工作量,共完成钻孔 2 个,孔深分别为 850.30、1112.60 m。

### 3.3.2 配方及性能指标(表5)

表5 植物胶无固相钻井液配方及性能参数表

配方	漏斗粘度/s	塑性粘度/(mPa·s)	动切力/Pa	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	失水量/[mL·(30 min) <sup>-1</sup> ]	pH值	渗透深度及变形情况
植物胶 0.5%; 磺化沥青 1%; 羧甲基纤维素 0.2%; 火碱 0.2%; 聚丙烯酰胺(PHP) 0.5%	21	4	0.5	1.02	12.5	8	不分散、无变形

### 3.3.3 配置顺序

先将植物胶、PHP 等处理剂水溶后待用,按分子量大小依次加入,加入间隔 15~30 min,最后加入其它助剂再搅拌 30 min 后使用。

### 3.3.4 护壁机理

植物胶的聚糖分子属于非离子型聚合物,其分子亲水性弱而与孔壁和岩心表面的吸附性强。在岩石表面能很快形成吸附网膜,保护孔壁和岩心,另外在该钻井液中加入磺化沥青粉对保护孔壁,润滑钻具也起到了一定的作用。实践证明植物胶类无固相钻井液有很好的护壁性能。

## 4 低固相或无固相钻井液配制使用时应注意的问题

(1) 由于高聚物分子链较长,使用时需预先水

溶,搅拌时不易使用高转速。

(2) 要注意钻井液处理剂的成份和添加次序,以免结团,影响使用。

(3) 要注意配制钻井液的水质,必要时先进行软化处理。

(4) 加强施工过程中钻井液的监控,及时清除钻井液中的岩粉,同时要补充相关的处理剂。

## 5 结语

研究实验证明,聚乙烯醇及植物胶钻井液中的有机高分子聚合物,一般都具有较长的分子构型、水溶性好、分子链伸展好、结构网形成快等特点。再通过与无机物交联形成络合物,进入岩石孔隙、裂隙进行胶结,并在通道处被阻留,通过渗胶作用,起到防

(下转第 17 页)

水化壤土浆,增加钻井液中壤土含量至4%~6%,提高钻井液的粘切力,使其漏斗粘度保持在75~80 s,动塑比保持在0.6~0.9之间,有效地提高钻井液的携岩性,避免煤系地层因井径扩大率较大造成携岩效率的降低。

(3)使用石灰石粉提高钻井液密度至1.25 g/cm<sup>3</sup>,增强物理防塌。同时加入粒度不同的超细碳酸钙(1% QS-1+1% QS-2+1% QS-4),封堵煤层孔隙、裂缝以减少滤液渗入量,降低滤液进入煤岩后对煤岩的影响。

(4)加大防塌沥青的含量,封堵煤层微裂缝。煤层中大部分裂缝宽度为2~6 μm,沥青使钻井液中10 μm以上大颗粒含量明显增加,在高温下沥青大颗粒软化变形,在压差下进入裂缝起到较好的胶结封堵作用。

(5)使用SMP-2、SPNH、NH<sub>4</sub>HPAN、PAC等提高造壁、降失水能力,控制好钻井液滤失量,使泥饼薄而致密,API失水量<4 mL/30 min,HTHP<14 mL/30 min。进一步减少滤液渗入量,降低滤液进入煤岩后对煤岩的影响。

(6)维持钻井液0.3%~0.5%的KPAM及NH<sub>4</sub>HPAN的含量,使钻井液具有较强的抑制性,加强煤系地层中泥岩夹层的防塌,减少泥岩垮塌对煤层的影响,巩固各煤系地层间坚固的隔挡。

(7)进入煤层前加大润滑剂含量(5%~7%MEG+2%JXFQ-6+1%RH-2),保证钻井液良好的润滑性。充分利用好固控设备,清除钻井液中的有害固相,保证钻井液清洁。

## 7 认识

(1)通过对井眼轨道优化配套工艺技术措施及

(上接第12页)

渗漏的作用。其对岩石界面吸附是链的吸附,因此吸附较牢固,形成结构网致密,使成膜质量好,强度大,可提高护壁防塌能力;水玻璃钻井液中的水玻璃对砂岩岩层具有良好的胶结作用,可形成网状结构而包裹溶液中的自由水,使体系失去流动性,从而实现护壁堵漏的目的。这几种钻井液体系是盆地科学钻探、砂岩铀矿钻探和煤田钻探施工中应对复杂地层时的首选钻井液。

实践证明,低固相或无固相钻井液在沉积岩复杂地层钻探施工中具有钻进效率高,润滑性能好,护壁、护心能力强,配制方便,易于推广使用等优点。

钻井液技术的全面优化与现场施工中合理有效的措施,苏77-5-8H井成功实现了零复杂穿101 m大斜度煤层段,证明了该项配套技术的安全、可靠性,为苏里格气田苏77区块后续开发山<sup>3</sup>水平井钻井提供了指导意义。

(2)通过优化井眼轨道设计,采用“直-增-稳-增-平”,设计稳斜段穿大段煤层,利于现场灵活操作。实钻过程中稳斜段采用旋转钻进既达到了设计造斜率的需求,又能满足安全穿越煤层的要求,同时减少了因摆工具面造成的长时间定点循环对煤层的冲刷。

(3)碳质泥岩及煤层段钻进选择控时或控段钻进,坚持“进一退二、进二退四”的技术措施,适合安全、优快钻煤层的要求。

(4)合理的钻井液密度、粘度,较强的封堵防塌能力,较低的失水,较好的润滑性等钻井液技术措施,实现了钻井液对煤层的封堵、防塌效果。

## 参考文献:

- [1] 张晓文,梅永刚,吴荣战.鄂尔多斯盆地大牛地气田水平井A点前钻井液工艺技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(3):21-25.
- [2] 王宏伟,李玉良.和煤1井煤层气井钻井液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(1):25-26,30.
- [3] 梁大川,蒲晓林.煤岩坍塌的特殊性及钻井液对策[J].西南石油学院学报,2002,24(6).
- [4] 石向前,安朝明,罗扬淑.吐哈油田煤层安全钻进技术[J].石油钻探技术,2002,30(2):22-23.
- [5] 雍富华,余丽彬,熊开俊,等.钻井液在吐哈油田小井眼侧钻井中的应用[J].钻井液与完井液,2006,23(5):50-52.
- [6] 夏宏南,刘小利,王小建,等.煤层钻井技术研究综述[J].内蒙古石油化工,2006,(6).
- [7] 胥志雄,等.依南地区煤系地层钻井技术[J].钻采工艺,2002,(5):9-11.

但是,在实际钻探施工中所遇到的复杂情况千变万化,因此,必须综合研究,因地制宜,灵活使用,才有可能达到保证钻孔施工顺利、安全、高效的目的。

## 参考文献:

- [1] 徐同台,赵忠举.21世纪初国外钻井液和完井液技术[M].北京:石油工业出版社,2004.
- [2] 王文臣.钻孔冲洗与注浆[M].北京:冶金工业出版社,1996.
- [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] 周金葵.钻井液工艺技术[M].北京:石油工业出版社,2009.
- [5] 吴隆杰,杨凤霞.钻井液处理剂胶体化学原理[M].四川成都:成都科技大学出版社,1992.