

聚合物海水泥浆的研制

胡建平, 董教社, 冯蓓蕾

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要:以天然海水为分散介质, 研制了一种新型、操作简便、无毒性、无污染的低成本高性能泥浆液。该泥浆液具有优良的护壁、防塌和流动性, 能有效地抑制粘土水化膨胀与分散, 起到孔壁稳定、提高海上勘探施工质量和效率的作用。它既可节约大量淡水资源, 又可大幅降低我国岩土工程海上地质勘探之成本。

关键词:海水泥浆; 孔壁稳定; 聚合物; 降滤失性

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)12-0029-03

Development of Polymer Seawater Drilling Fluid/HU Jian-ping, DONG Jiao-she, FENG Bei-wei (CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: By the dispersion medium of seawater, a new type of low cost and easily operated high performance drilling fluid is developed without toxicity and contamination. This drilling fluid has fine hole wall protection, anti-sloughing and fluidity; can effectively inhibit hydration swelling and dispersion of clay, stabilize hole-wall and improve the quality and efficiency of maritime exploration with the effects of saving fresh water resources and maritime geological exploration cost.

Key words: water drilling fluid; hole wall stability; polymer; depressing filter loss performance

在海上进行工程地质钻探作业时, 对粉土、砂土、松散岩、风化岩等地层需采用泥浆护壁, 以防卡钻、孔塌等事故发生。由于受海上勘探平台空间、载荷、淡水运输及淡水配浆成本等因素限制, 以至勘探成本居高不下。如果海上勘探时能够直接利用天然海水配置海水泥浆, 既可节约大量淡水资源, 又可节省淡水运送的成本和时间, 有效降低勘探成本, 延长海上作业时间, 提高勘探效率。但海水中的主要成分 NaCl 是一种强电解质, 使膨润土(泥浆粉)在海水中处于不水化状态; 海水中还含有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等高价离子, 这些离子能降低海水泥浆的流动性, 使其粘度降低、滤失量剧增, 极大地影响了泥浆的性能。因此, 必须降低钙、镁等离子含量, 实施粘度控制及降滤处理, 使制成的泥浆液确保海上勘探安全、优质、快速钻进护壁作业。

1 海水泥浆成分及类型

1.1 天然海水的特点

海水水质的主要特点是: (1) 含盐量高, 一般在 35 g/L 左右, 密度为 1.03 g/cm³; (2) 腐蚀性大; (3) 水中各种离子组成比例比较稳定(见表 1); (4) pH 值变化小, 海水表层 pH 值在 8.1~8.3 范围内, 而在深层 pH 值则为 7.8 左右。海水中的 Na^+ 、 Mg^{2+} 、

Ca^{2+} 等离子对泥浆性能产生不利影响。

表 1 海水中主要离子成分

| 成分 | 含量/(mg·L ⁻¹) | 成分 | 含量/(mg·L ⁻¹) |
|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Cl ⁻ | 18980 | Br ⁻ | 65 |
| Na ⁺ | 10560 | Sr ²⁺ | 13 |
| SO ₄ ²⁻ | 2560 | SiO ₂ | 6 |
| Mg ²⁺ | 1272 | NO ₃ ⁻ | 2.5 |
| Ca ²⁺ | 400 | B | 4.6 |
| K ⁺ | 380 | F ⁻ | 1.4 |
| HCO ₃ ⁻ | 142 | | |

注: 海水中总含盐量约 34400 mg/L。

1.2 海水泥浆配方的 2 种类型

一种是用适量烧碱和石灰将海水中主要影响高性能泥浆的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子清除, 然后再用于配浆。其中烧碱主要用于清除 Mg^{2+} , 而石灰主要用于清除 Ca^{2+} 。这种体系的 pH 值应保持在 11 以上, 其特点是分散性相对较强, 流变和滤失性能较稳定且配浆容易控制。另一种是在体系中保留 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} , 显然这种海水泥浆的 pH 值较低, 由于含有多种阳离子, 护胶的难度较大, 所选用的护胶剂既要抗盐, 又要抗钙、镁等, 这一配浆体系较为复杂, 且成本较高。本文详细介绍前一种方法。

收稿日期: 2012-5-23; 修回日期: 2012-10-08

作者简介: 胡建平(1956-), 男(汉族), 上海人, 中交第三航务工程勘察设计院有限公司教授级高级工程师, 计算机科学与技术专业, 从事工程勘察技术研究, 上海市松江区莘砖公路 518 号 1 号楼, hu_jp2004@163.com。

2 高性能海水泥浆特点

2.1 携带和悬浮砂颗粒、岩屑

海水泥浆首要和最基本的功能,就是通过其本身的循环,将孔底被钻头破碎的粉土、砂土、岩屑等携带至地面,以保持孔内清洁,使上、下钻畅通无阻,并防止孔壁坍塌,保证钻头在孔底能始终接触和破碎新地层,保持安全快速钻孔。在上、下钻时,泥浆中的固相颗粒不会很快下沉,防止卡钻等情况的发生。

2.2 稳定孔壁和平衡地层压力

性能良好的海水泥浆应能借助于液相的滤失作用,在井壁上形成一层薄而韧的泥饼,以稳固已钻穿的地层并阻止液相侵入地层,减弱水化膨胀和分散程度。使液柱压力能够平衡地层压力,从而防止孔塌等事故的发生。

2.3 冷却和润滑钻头、钻具

在钻探过程中,钻头一直在高速下旋转并破碎岩土层,产生很多热量,同时钻具也不断地与孔壁摩擦而产生热量。正是通过泥浆不断的循环作用,将这些热量及时吸收,然后带到地面释放到大气中,从而起到冷却钻头、钻具,延长其使用寿命。由于泥浆的存在,使钻头和钻具均在液体中旋转,在很大程度上降低了摩擦阻力,起到了很好的润滑作用。泥浆在钻头喷嘴处以极高的流速冲击孔底,从而提高了钻探速度和钻进效率。

2.4 不影响钻探海域自然、生态环境

为了满足地质上的要求,所使用的水泥浆必须有利于地层测试,不影响对地层的评价;海水泥浆还应该对钻探人员及自然环境不造成危害和污染,对钻探设备无腐蚀或尽可能减轻腐蚀。

3 海水泥浆配方研究

海水中存在大量的 NaCl 和 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子,使得高性能水基海水泥浆滤失量剧增,根据达西定律描述,滤失量表述为:

$$\frac{dV_f}{dt} = \frac{KA\Delta p}{\mu h_{mc}} \quad (1)$$

式中: $\frac{dV_f}{dt}$ ——滤失量, cm^3/s ; K ——泥饼渗透率, μm^2 ; A ——渗透面积, cm^2 ; Δp ——渗透压力, Pa; μ ——滤液粘度, 0.1 mPa; h_{mc} ——泥饼厚度, cm; V_f ——滤液体积或渗滤量, cm^3 ; t ——渗滤时间, s。

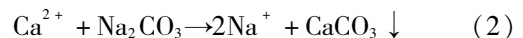
从式(1)可知,海水泥浆的滤失量与滤液粘度成反比。在其他因子不变的情况下,海水泥浆的滤

失量愈大,滤液粘度愈小,以致泥浆中固相颗粒很快下沉,无法达到高性能泥浆标准。

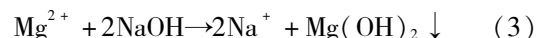
由于盐无法用化学方法来使其沉淀,随着 NaCl 的加入使得泥浆中 Na^+ 越来越多,而电解质对粘土胶粒扩散双电层扩散层的“压缩”作用,粘土胶粒的电势 ξ 降低,粘土颗粒之间的电斥力减小,水化膜变薄,粗粒增多而细颗粒少,泥浆体系从细分散向粗分散转变,粘土颗粒之间形成絮凝结构,泥浆的表观粘度、塑性粘度、动切力降低。海水泥浆的絮凝,则形成的泥饼厚而疏松;海水泥浆的滤失量则增加,泥浆护壁性能降低。海上勘探泥浆滤失量一般应控制在 10 mL/s 以内,这就给降滤失剂性能提出了更高的要求。

3.1 碱、镁离子处理

将纯碱(Na_2CO_3)和膨润土(泥浆粉)混合后加入海水配成泥浆,碱能通过离子交换溶解并沉淀,使碱质粘土变成钠质粘土,从而有效地改善粘土的水化分散性和粘度:



镁和碱同样影响海水泥浆,镁处理一般用烧碱(NaOH)和膨润土(泥浆粉)混合后加入海水配成海水泥浆,pH 值大于 10 时 Mg^{2+} 沉淀下来:



烧碱(NaOH)是强碱,用于控制海水泥浆的 pH 值,也可控制体系中 Ca^{2+} 的浓度:

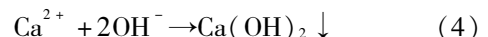


表 2 为烧碱和 8% 膨润土(泥浆粉)混合后加入海水形成的泥浆,从表中可以看出:烧碱不但能除钙、镁等离子,而且具有较大的增粘作用。从室内实验的比较测试中发现,烧碱的增粘作用要优于纯碱。

表 2 烧碱对海水泥浆的影响

| 海水 / mL | 烧碱 / % | 表观粘度 / (mPa·s) | 塑性粘度 / (mPa·s) | 动切力 / Pa |
|---------|--------|----------------|----------------|----------|
| 500 | 0 | 10 | 5 | 5 |
| 500 | 0.2 | 15 | 9 | 6 |
| 500 | 0.4 | 18 | 12 | 7 |
| 500 | 0.6 | 22 | 14 | 8 |
| 500 | 0.8 | 27 | 18 | 9 |

3.2 粘度控制

常用的增粘剂有 HV - CMC、HV - PAC、XC 等,从表 3 可以看出,不同的聚合物都具有一定的增粘效果,XC 的效果最佳。另外,膨润土(泥浆粉)PF - GEL 也具有增粘作用。提高粘度,能提高泥浆的悬浮性能,同时减少沉淀产生。

表3 增粘剂对海水泥浆的影响

| 增粘剂 | 含量 /% | 表观粘度 /(mPa·s) | 塑性粘度 /(mPa·s) | 动切力 /Pa |
|----------|----------|------------------|------------------|------------|
| | 0 | 11 | 5 | 6 |
| HV - CMC | 0.75 | 35 | 21 | 14 |
| HV - CMC | 1 | 45 | 26 | 19 |
| HV - PAC | 0.75 | 34 | 21 | 13 |
| HV - PAC | 1 | 43 | 25 | 18 |
| XC | 0.75 | 40 | 22 | 18 |
| XC | 1 | 52 | 28 | 24 |

粘度过高会影响钻进速度,增大钻机负载等,需采用降粘处理。PE - THIN 是一种小分子量聚合物降粘剂,当它与带负电荷的粘土相遇,正负电荷间的静电吸引力使其吸附到粘土上,中和粘土颗粒表面负电荷,拆散泥浆液中土颗粒间的结构,从而降低泥浆液粘度。该产品加量极少,一般用量在 0.1% ~ 0.3% 之间,就能使粘度(10% 水溶液)控制在 15 mPa·s 内,效果明显,无毒性,对环境无污染。

采用粘土含量调整及稀释法无法奏效时,采用 XC 增粘,PE - THIN 降粘不失为一种选择。

3.3 降滤失量

常用的降滤失剂有 LV - PAC、SMP - 2、JT - 888、SR - 1 等。常温下,SR - 1 的降滤失性效果最佳,可用于海水泥浆中作为降滤失剂。其具有改善泥浆流动性的特点,抑制粘土的水化膨胀;具有抗盐、抗钙能力;同其他添加剂有很好的配伍性;无毒性、无污染,适用于环保敏感地区泥浆使用。

3.4 配方及主要添加剂性能

针对上述比较,确定海水泥浆配方:天然海水 + 5% 膨润土(泥浆粉)[符合《钻井液用膨润土》(SY/T 5060 - 93)中的二级以上膨润土标准] + 0.8% NaOH + 0.5% Na₂CO₃。泥浆性能指标:密度 1.05 ~ 1.1 g/cm³;粘度 40 ~ 50 mPa·s;API 失水性 4.5 ~ 5.5 mL。上述指标基本达到高性能海水泥浆特点,满足水运工程复杂地质条件下海上勘探需求。

3.5 生物聚合物的特点

由于国内外对海洋生态环境的日益重视,一种无毒、无污染、低成本的海水泥浆配置技术的研究已成为主要方向。而生物聚合物是一种菌类作用于碳水化合物而生成的高分子链状聚合物,加入少量的一般不超过 0.1% 此种聚合物,即能产生较高的增粘度。另外,海外勘探市场的准入,欧盟、美国、日本等国对环境保护的立法,科技进步又使得聚合物价格不断下降等,生物聚合物受到了越来越多用户的关注。

常用的生物聚合物有 XC、SR - 1、PE - THIN

等。加量 0.02% ~ 0.05% 的 XC 不但具有和膨润土(泥浆粉)相同的增粘作用,还具有降滤失量作用,形成的孔内泥壁薄、光滑而韧,护壁性好;携带粉砂粒、岩屑能力强;钻进磨阻系数小,钻速快;对环境无污染、无毒害,产品成熟、使用方便。

4 工程实际应用情况及效果

在实施的海外工程中,我们开始尝试应用了海水配置的泥浆体系,用来摆脱当地运输条件、淡水成本、环境等限制,从而突破传统的海水工程勘探只能使用淡水配浆的局限,有效地控制工程成本和工期。解决了海上勘探过程中穿越松散砂、破碎岩层孔内泥浆护壁,避免卡钻事故发生,环境保护等技术难题,保护了当地的自然、生态、社会环境,在越南河静钢厂等工程中取得了良好的经济效益和社会效益。

5 结语

(1) 海水配置泥浆中加入纯碱、烧碱能消除或降低钙、镁等离子溶度,并使泥浆的表观粘度、塑性粘度、动切力上升,烧碱对泥浆增粘作用优于纯碱。对钻孔数量少,环境污染要求低的地区,可适当采用。

(2) 生物聚合物 XC 具有降滤、增粘等作用,使用方便,且无毒性、无污染等特性,已成为配浆的首选。

(3) 添加剂配加比例并不是固定不变,不应追求性能参数,主要考虑泥浆悬浮、孔内护壁等地层情况,这样才能既经济又安全。因国内水运行业无泥浆配置及测试标准,可参考我国石油行业《钻井液材料规范》(GB/T 5005 - 2010)、《水基钻井液现场测试程序》(GB/T 16783 - 1997) 实施。

参考文献:

- [1] 孙启忠,胥洪彪,刘传清,等. 海水钻井液用降滤失剂 SR - 1 及其应用[J]. 油田化学,2000,17(2):114 - 116.
- [2] S Pelipenko, IA Frigaard. Mud removal and cement placement during primary cementing of an oil well-Part 2; steady - state displacements[J]. Journal of Engineering Mathematics, 2004, 48(1):1 - 26.
- [3] 赵金洲,张桂林. 钻井工程技术手册[M]. 北京:石油工业出版社,2005.
- [4] 李世忠. 钻探工艺学[M]. 北京:地质出版社,1992.
- [5] 罗云凤,韩来聚,薛玉志,等. 新型海水高性能钻井液室内研究[J]. 钻井液与完井液,2010,27(1):4 - 7.
- [6] 吕开河,邱正松,韩立国. 多羟基聚合物钻井液研制及应用[J]. 钻采工艺,2006,29(5):85 - 87.
- [7] 周济福,刘东清. 适宜海水钻井液体系新前置液实验和现场试验[J]. 力学学报,2007,39(4):442 - 448.