

钻井液水泥钙侵问题分析与处理技术研究

张正¹, 张统得²

(1. 安徽省地质矿产勘查局 313 地质队, 安徽 六安 237010; 2. 成都理工大学环境与土木工程学院, 四川 成都 610059)

摘要:在钻探施工的下套管固井、水泥封孔等作业中, 不可避免地会发生水泥对钻井液的污染, 使钻井液性能发生改变, 不能满足正常钻进工作需要。针对这一问题, 从水泥水化机理出发, 结合粘土颗粒扩散双电层理论分析了水泥对钻井液污染的原因, 并针对其钙侵特点提出一套行之有效的解决方案, 对以后的水泥固井、水泥封孔施工的钻井液处理和维护有借鉴意义。

关键词: 钻井液; 水泥钙侵; 处理方法

中图分类号: P634.6 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2013)03-0032-03

Analysis on Drilling Fluid Modified by Calcium of Cement and Study on the Treatment/ZHANG Zheng¹, ZHANG Tong-de² (1. 313 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui province, Lu'an Anhui 237010, China; 2. College of Environment and Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China)

Abstract: In the operation of casing cementing and hole cement sealing of drilling construction, the cement pollution to drilling fluid is inevitable, which will change the property of the drilling fluid to affect the drilling requirement. According to this problem, by the hydration mechanism of cement and based on the theory of electric double layer produced by clay particle dispersion, the paper analyzed the causes of cement pollution to drilling fluid and put forward a set of effective solution.

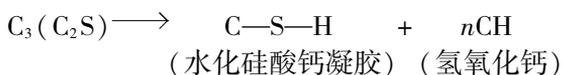
Key words: drilling fluid; cement modified by calcium; treatment method

0 引言

在钻井过程中, 常有来自孔内、孔壁的各种污染物进入钻井液中, 使其性能发生破坏性变化, 这种现象常称为钻井液受侵。按照污染物的不同钻井液受侵可分为钙侵、盐侵、粘土侵、油气侵等, 而钙侵是钻井液受侵中最常见的一种现象。随着我国地质勘探中深孔、复杂孔钻探工作量的不断增大, 往往需要在处理事故时水泥封孔, 在固井或封孔后透水泥, 由于水泥凝固体中含有大量 Ca^{2+} , 不可避免地要遇到钻井液钙侵的问题, 造成孔壁不稳定或引起孔内事故。

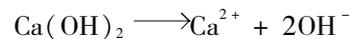
1 水泥钙侵原因分析

水泥的主要矿物成分为硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙和铁铝酸四钙。他们遇水后发生水化反应, 生成大量水化硅酸钙胶凝(可用 $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 表示, 简写式为 C-S-H) 和氢氧化钙(简写式为 CH)。其水化反应式可写为:



因此, 在用水泥固井或封孔后, 水泥在孔内水化凝固后会产生大量的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 由于部分 $\text{Ca}(\text{OH})_2$

能在水中电离成 Ca^{2+} 和 OH^- , 所以水泥对钻井液的污染主要是这两种离子共同作用的结果。如下式所示:



2 水泥钙侵对钻井液的影响及危害

虽然 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 溶解度不高, 但几百个 ppm 的钙离子含量就足以让钻井液失去胶体特性。 Ca^{2+} 对钻井液的污染主要是由于水泥提供的二价钙离子易与钠蒙脱石中的 Na^+ 发生离子交换, 使钠质粘土变成钙质粘土, 粘土 ξ 电势减小, 水化分散程度显著降低, 水化膜变薄, 从而使得阻止粘土颗粒聚结的电性斥力减小, 聚结-分散平衡向着有利于聚结方向变化, 导致钻井液粘土颗粒变粗, 网状结构加强和加大, 致使钻井液的滤失量、粘度、切力增大, 泥饼变厚。而水泥引起的污染, 还同时伴有 OH^- 污染, 致使钻井液 pH 值升高。

钻井液的粘度、切力过大, 会造成泥浆泵开泵困难、粘糊井眼、钻屑难以除去以及钻井过程中循环压耗过大的现象; 泥饼变厚, 滤失量增大则会引起泥页岩水化膨胀, 甚至严重时会导致井塌和卡钻等各种

收稿日期: 2012-09-19; 修回日期: 2013-02-26

作者简介: 张正(1985-), 男(汉族), 江苏泗洪人, 安徽省地质矿产勘查局 313 地质队助理工程师, 勘查技术与工程专业, 从事岩土钻掘工程方面的技术工作, 安徽省六安市金安区佛子岭路 8 号, 283909593@qq.com; 张统得(1987-), 男(汉族), 四川达县人, 成都理工大学硕士研究生在读, 地质工程专业, 从事岩土钻掘工程方面的研究工作, 四川省成都市成华区二仙桥东三路 1 号, ztd8795@126.com。

井下复杂情况。因此,必须重视钻井液的水泥钙侵问题。

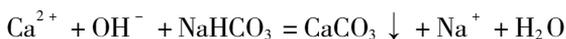
3 钻井液水泥钙侵的处理方法

处理水泥钙侵的方法主要有:使用化学处理剂清除产生的大量 Ca^{2+} 与 OH^- , 另一种是提前转化钻井液体系为钙处理钻井液。这里主要讨论水泥固井或水泥填孔后透水泥时利用化学剂处理钻井液水泥钙侵的方法。

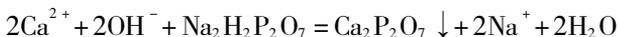
3.1 Ca^{2+} 与 OH^- 的清除

水泥污染会导致钻井液 pH 值升高,一般根据钻井液中 Ca^{2+} 选择加入适量碳酸氢钠(NaHCO_3)或 SAPP($\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$),通过它们与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生化学反应从溶液中沉淀 Ca^{2+} ,同时可以起到降低 pH 值的作用。

加入 NaHCO_3 的反应式:



加入 $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 的反应式:



3.2 水泥钙侵后钻井液性能的调整与维护

钻探中处理孔内事故时,常常需要填充水泥后进行侧钻或利用水泥护壁,有时填充水泥孔段较短,而下套管后水泥固井,水泥塞长度一般也不长,通常只有几到十几米,这种情况下透水泥,滤液中的 Ca^{2+} 、 OH^- 浓度较低,对钻井液性能影响相对较小。但当处于长段注水泥或打水水泥塞时,由于钻井液中侵入的 Ca^{2+} 、 OH^- 浓度较高,对钻井液性能影响很大,粘度急剧上升,滤失量大增,泥皮完全无质量, pH 值上升,含砂量增大,给下一步施工带来巨大隐患,因此必须对钻井液钙侵后的性能进行调整与维护。

在未穿透水泥孔段前,且水泥填孔则有水泥护壁,固井则有套管护壁,因此可以先以降低粘度为主,尽量控制滤失量,待穿透水泥后,再逐步降低滤失量。降粘剂推荐使用磺化单宁(SMT)。单宁类降粘剂的抗钙能力差,而通过单宁与甲醛和亚硫酸钠进行磺甲基化反应制备的磺甲基单宁降粘性能及抗钙能力有明显提高,抗 Ca^{2+} 可达 1000 mg/L ,同时由于随着结构的拆散和粘土颗粒双电层斥力和水化作用的增强有利于形成更为致密的泥饼,加大 SMT 用量也可以在一定程度上降低滤失;降滤失剂则可选择磺甲基酚醛树脂(SMP-1、SMP-2),SMP 的好处在于其是一种水溶性的线性不规则聚合物,5%的水溶液粘度与清水相近,在降滤失的同时对粘土不絮

凝,不增粘,且 SMP 的抗盐抗钙能力较好,其中 SMP-2 的抗 Ca^{2+} 可达 2000 mg/L ,此外 SMP 还能改善滤饼润滑性,对井壁有一定的稳定作用;而在穿透水泥后,钻井液粘度稳定后,可采用钠羧甲基纤维素(CMC)与 SMP 同时降滤失。另外由于含砂量的增大,应该做好固控工作。推荐使用钻井液配方如下:

透水泥时:清水 + 0% ~ 3% 钠土 + 1% ~ 2% SMT + 1% SMP + 0.5% NaHCO_3 。

穿透水泥后:清水 + 3% 钠土 + 1% ~ 2% SMP + 0.5% ~ 0.8% CMC。

当水泥封孔井段较长,透水泥时,滤液中的 Ca^{2+} 、 OH^- 浓度较高,这种情况下,钻井液粘度急剧上升,流变性极差,严重时甚至堵塞钻井液循环槽,影响钻井液的正常循环,因此处理起来也更加复杂。

(1)透水泥前,加强固控措施,尽量清除无用固相,尤其是低密度劣质固相;

(2)透水泥前,提前向钻井液加入 SMT 处理,或者在套管内及在孔壁稳定的前提下用清水透水泥塞;

(3)添加新浆时控制粘土含量,减轻钻井液受 Ca^{2+} 污染时增稠的严重程度;

(4)钙侵严重时,要及时换浆,迅速排出部分粘稠钻井液,搅拌新浆(水 + 稀释剂)加入原冲洗液混合稀释;

(5)钻井液钙侵严重不利于孔壁稳定,可根据地层特点选择加入沥青类防塌剂、聚合醇类防塌剂起到护壁作用。

4 工程实例

2010年4月,某施工单位在下 $\text{O}219 \text{ mm}$ 套管至 407.50 m 后,采用水泥固井,固井后钻井液配方为:清水 + 3% 钠土 + 0.2% CMC + 1% ~ 2% SMT + 1% SMP-1 + 0.5% NaHCO_3 ; 穿透水泥后钻井液配方:清水 + 3% 钠土 + 5% 纯碱(土重) + 0.5% CMC + 1% SMC + 3% SAS。

处理后钻井液性能变化如表 1 所示。

表 1 固井透水泥前后钻井液性能变化

钻井液参数	密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	漏斗 粘度 /s	静切力 τ_0 ($1'/10'$) /Pa	失水 量 /mL	泥饼 厚度 /mm	含砂 量 /%	pH 值
固井前	1.33	40	1.5/8	6.8	0.6	0.5	9
固井后	1.10	53	4/14	11	0.8	1	11
穿透水泥层 性能稳定后	1.22	42	2/8	5	0.5	0.4	10

处理情况如表 1 所示。水泥固井后,失水量明

显增长,泥饼质量很差,通过加入 CMC、SMP-1 等方法,逐步将失水量降回到 5 mL 左右,提高了泥饼质量;受地层破碎影响,且固井水泥层不是很厚,水泥渣相对较少,对钻井液污染小,所以粘度变化不大,加少量 SMT,降粘效果明显,NaHCO₃ 的加入也使 pH 有一定下降。

同一工程中,因钻孔坍塌埋钻事故处理需要,2011年6月水泥封孔,自孔深 1088.56 m 注入 G 级油井水泥 8 t。处理方法:抽取部分钻井液进备用

池,方便加入新浆,在候凝期间就向池中加入磺化单宁(SMT)约 135 kg,充分循环;自 895.82 m 处扫水泥,透孔后,钻井液粘度上升到最高 164 s,钻井液配方:水+1%~2% SMT+0.5% NaHCO₃,同时排出部分稠浆;钻井液粘度降到 50~70 s 后,钻井液配方:水+1%~3% 土+2% SMT+0.5% NaHCO₃;至 1051.50 m 后侧钻,钻井液配方:水+3% 土+1%~2% SMP-1+2% KHm+1% SMC+5% 纯碱(土重)+0.3%~0.8% CMC+1% SMT。

表 2 钻井液性能变化对比

钻井液参数	密度/(g·cm ⁻³)	漏斗粘度/s	静切力 τ _s (1'/10')/Pa	失水量/mL	泥饼厚度/mm	含砂量/%	pH 值
封孔前	1.45~1.49	50~60	2~3/8~10	6~7	0.3~0.5	0.3~0.8	9~10
封孔后	1.38	>100	4~6/20~25	>20	0.9~1.2	1.7	11
透孔、侧钻	1.30~1.32	25~42	1.5~2/5~8	13~25	0.6~0.8	<0.4	11~13
出新孔后	1.32~1.35	35~55	1.5~2/6~8	<10	0.6~0.8	0.2~0.4	11

处理情况:封孔后扫水泥塞时钻井液粘度上升,失水量增加,泥饼质量变差,含砂量增大,提前向池中加入磺化单宁对控制粘度增长效果较好;加入 SMP-1、SMC、KHm、CMC、PHP 等材料使失水量缓慢下降,在换浆后失水量降至 13 mL,之后进入缩径地层前,改善钻井液性能中,失水量还有大幅下降;钻井液含砂量增大,加强固相含量的控制后,含砂量下降明显。

5 结论

在水泥固井或水泥填孔施工后,水泥在孔内水化产生大量的 Ca²⁺ 与 OH⁻,使钻井液性能发生较大改变,不再适用于钻探施工,通过添加适量的 NaHCO₃ 或 SAPP(Na₂H₂P₂O₇) 来沉淀钻井液中的 Ca²⁺,也可以起到降低 pH 值的作用;添加 SMT 等稀释剂降低粘度和切力,SMP、KHm、CMC 等降低钻井液的滤失量,改善其流变性能,使之能达到符合钻探施工

的各项性能。

参考文献:

- [1] 朱恒银,张文生,张正,等.汶川地震断裂带科学钻探 WFS-3 钻探施工技术报告[R].安徽省地矿局 313 地质队,2012.
- [2] 黄汉仁,杨坤鹏,罗平亚.泥浆工艺原理[M].北京:石油工业出版社,1984.
- [3] 陶士先,陈礼仪,单文军,等.汶川地震断裂带科学钻探项目 WFS-2 孔钻井液工艺研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,38(9).
- [4] 张统得,陈礼仪,刘徐三,等.汶川地震断裂带科学钻探项目 WFS-3 孔泥浆技术的设计与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,38(9).
- [5] 鄢泰宁.岩土钻掘工程学[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2001.
- [6] 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.
- [7] 鄢捷年.钻井液工艺学[M].山东东营:中国石油大学出版社,2001.

(上接第 31 页)

(2)使用大尺寸螺杆、钻铤,必须考虑井壁稳定的问题,一旦井壁不稳定,必将造成起钻困难甚至卡钻,泥浆方面要加大投入,保证性能满足井下需要。

(3)针对螺旋井壁波幅大的螺旋井眼,常规修整措施难以取得效果时,建议研制井壁破除器修整井壁。

(4)螺旋井眼是多种因素形成的,是很复杂的课题,研究这些因素如何影响螺旋井眼以及影响程度十分必要,特别是研究不同因素耦合作用的影响是当前乃至今后研究的重点。

参考文献:

- [1] 赵金海,张云连,韩来聚,等.螺旋井眼的产生、危害和防止[J].石油钻探技术,2003,31(6):17-19.
- [2] 蒋恕.螺旋井眼的产生机理及其防治思路[J].天然气工程,2003,23(4):59-61.
- [3] Robello Samuel,刘修善.井眼曲折、扭矩、钻井参数和能量:在井眼轨道设计中起什么作用?[J].SPE123710.
- [4] 罗仁杰.螺旋井眼对微电极、井径等测井曲线的影响[J].内蒙古石油化工,2012,(5):38-39.
- [5] 刘磊.海塔地区螺旋井眼产生的原因分析和预防措施[J].中国石油和化工标准与质量,2012,(2):177.