

汶川科钻 WFSD - 4 孔钻井液 CO₂ 污染及其处理

管强盛¹, 陈礼仪¹, 张林生², 张统得³, 吴金生³, 张 扬¹

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059; 2. 中石化重庆钻井液公司, 重庆 404100; 3. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

摘要:汶川地震科学钻探四号孔(WFSD-4)在二开钻进过程中, 钻井液受到了较为严重的 CO₂ 污染, 造成钻井液性能变坏, 具体表现为粘切升高, 流动性变差, 影响了正常钻进。通过分析 CO₂ 污染钻井液的影响因素, 并结合钻井液遭受 CO₂ 污染的机理和特点, 在室内实验和现场应用的基础上, 总结出了 CO₂ 污染的规律、性能特征及相应的处理措施: 即在保证钻井液 pH 值的条件下, 通过石灰除去钻井液中的酸根离子等。

关键词: 钾石灰聚磺钻井液; CO₂ 污染; 钻井液性能; WFSD-4 孔

中图分类号: P634.6 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2014)04-0014-04

Drilling Fluid CO₂ Contamination in WFSD - 4 of Wenchuan Scientific Drilling and the Treatment/GUAN Qiang-sheng¹, CHEN Li-yi¹, ZHANG Lin-sheng², ZHANG Tong-de³, WU Jin-sheng³, ZHANG Yang¹ (1. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. Sinopec Chongqing Drilling Fluid Company, Chongqing 404100, China; 3. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

Abstract: In the process of the fourth hole (WFSD - 4) of Wenchuan earthquake scientific drilling project, the drilling fluid was contaminated by CO₂ seriously and the drilling fluid performance was deteriorated with sticking & cutting increasing and poor liquidity, by which normal drilling was affected. Through the analysis on the influence factors of CO₂ on drilling fluid and according to the mechanism and characteristics of drilling fluid contamination by CO₂, the contamination rules, performance characteristics and corresponding treatment measures are summed up based on the laboratory experiments and field application cases: with pH value of drilling fluid keeping, acid radical ion etc. in drilling fluid can be removed by lime.

Key words: potassium lime polysulfonate drilling fluid; CO₂ contamination; drilling fluid performance; WFSD - 4

0 引言

在汶川科钻 WFSD - 4 孔一开和二开钻进过程中, 多次钻遇含 CO₂ 气体的地层。由于过去在地质钻探中较少遇见含 CO₂ 气体的地层, 对 CO₂ 污染钻井液的现象及机理缺少认识和研究, 所以在前期的处理过程中一直找不到根本的解决办法, 钻井液的粘度和切力高低起伏很大, 钻井液性能很难控制, 给正常钻进造成了一定的影响。通过阅读大量文献以及在大量室内实验的基础上, 展开了对 CO₂ 污染钻井液及其相应处理措施的研究。研究发现, 在大量的 CO₂ 气体进入钻井液时, 随着钻井液中 CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 浓度增加, 会造成钻井液粘度切力升高、滤失量增大和 pH 值降低, 严重破坏钻井液性能。另外, CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 对钻井液性能影响略有不同, 随着 HCO₃⁻ 浓度增加, 动切力呈上升趋势; 而随着 CO₃²⁻ 浓度增加, 动切力则先减后增。当 CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 这 2 种离子污染钻井液后, 钻井液的性能很

难通过加入处理剂的方法加以调整, 只能通过化学的方法将它们清除。

1 WFSD - 4 孔地层及施工概况

1.1 地层概况

2008 年 5 月 12 日的汶川地震 (Ms8.0) 使龙门山断裂带中映秀 - 北川断裂 (中央断裂) 和安县 - 灌县断裂 (前山断裂) 同时破裂, 分别形成 0 ~ 270 和 0 ~ 80 km 长的地表破裂带, 并且前者破裂带 (映秀 - 北川) 具有逆冲伴随右旋走滑运动性质, 南段以逆冲运动为主, 北段以走滑运动为主; 后者破裂带 (安县 - 灌县) 为纯逆冲运动性质。为了解汶川地震发生机理、为什么会形成两条不同运动性质的破裂带以及断裂行为和机制, 汶川地震科学钻探项目沿具有大同震位移量的不同断裂带上盘地方设置 5 口群钻, 其中 WFSD - 1 孔和 WFSD - 2 孔布置在映秀 - 北川断裂带南段具有 0 ~ 6 m 同震垂直位移量的都

收稿日期: 2013 - 11 - 26; 修回日期: 2014 - 03 - 24

基金项目: 科技部科技支撑计划专项“汶川地震断裂带科学钻探 (WFSD)”项目之“科学钻探与科学测井”课题

作者简介: 管强盛 (1988 -), 男 (汉族), 湖北荆州人, 成都理工大学在读硕士研究生, 地质工程专业, 研究方向为探矿工程, 四川省成都市二仙桥东三路 1 号, 2007hubei@sina.com。

江堰市虹口乡八角庙村,目前已完钻;WFSD-3P孔和WFSD-3孔布置在安县-灌县断裂带具有0~4 m最大同震垂直位移量的绵竹市九龙镇清泉村,目前已完钻。WFSD-4选择在映秀-北川断裂带北段具有强烈走滑作用的地方(不同于南段运动性质),经多次考察、论证,最终选择在平武县南坝镇地区。

具体地层情况:0~1100 m寒武系地层,变砂岩、凝灰质砂岩夹板岩和硅质岩,1100 m左右可能存在厚度<1 m的断层泥;1100~1600 m寒武系地层,变砂岩、板岩夹硅质岩、灰岩,1600 m左右可能存在厚度<1 m的断层泥;1600~2365 m震旦系地层,薄层变砂岩、千枚岩、含砾变砂岩,2365 m左右可能存在0~1 m厚的断层泥,破碎极其强烈;2365~2730 m寒武系地层,变砂岩、板岩夹硅质岩、灰岩,2730 m左右可能存在厚度<1 m的断层泥;2730~3350 m震旦系地层,硅质白云岩、千枚岩、薄层变砂岩,该段较为破碎,3100 m左右可能存在厚度<1 m的断层泥。

1.2 钻孔结构及钻井液

(1) WFSD-4孔一开钻进施工采用 $\varnothing 311.1$ mm($12\frac{1}{4}$ in)牙轮钻头全面钻进至500 m,然后下入 $\varnothing 273.0$ mm \times 8.89 mm套管,固井。二开钻进施工采用 $\varnothing 250.8$ mm($9\frac{7}{8}$ in)牙轮钻头定向钻进。

(2) WFSD-4孔一开(0~500 m)和二开初期(500~1131 m)钻进过程中主要采用CMC高含膨润土钻井液体系,该体系优点是结构简单、配置方便且成本低,但是抑制能力差,抗离子污染能力不足,钻井液易受污染,性能波动大,给钻井液的正常维护和正常钻进带来了不小的影响。

2 WFSD-4孔钻井液受CO₂污染的现象

WFSD-4孔遭受CO₂污染后表现出了以下特征:

(1) 钻井液呈暗灰色,污染严重时呈暗黑色胶油状,钻井液中含大量气泡且不易消除;

(2) 钻井液粘度和切力居高不下,性能极不稳定,用处理剂处理不起作用,测定钻井液流变性时粘度计指针不回零,影响测量数据的准确性;

(3) 钻井液流动性变差,挂壁现象严重,会在钻杆上特别是接头处形成厚厚的类似于泥皮的物质;

(4) 钻井液滤失量难以控制,忽高忽低,虽然用大量降滤失剂可以控制滤失量在5 mL/30 min以内,但泥饼质量差,泥饼虚厚;

(5) 钻井液pH值难以控制;

(6) 膨润土与固相含量均在正常值范围,但触

变性强,静止后呈“豆腐块”状。

现场钻井液污染后效果见图1。

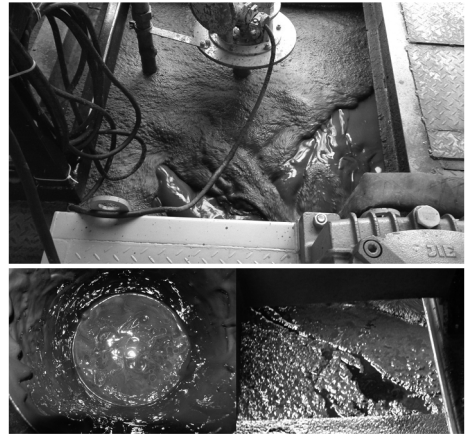


图1 被CO₂污染的钻井液

3 CO₂对钻井液性能影响的作用机理

石油行业的很多研究显示,当CO₂浸入钻井液后,首先通过化学反应消耗掉钻井液中的Ca²⁺、OH⁻等离子,未溶解的部分再形成大量微泡分散于钻井液体系中,引起钻井液粘切大幅度上升。同时由于OH⁻的消耗,钻井液的pH值大幅降低,造成稀释剂及其他处理剂不能正常发挥作用,由此进一步引起粘切失控、滤失量增大、处理剂处理无效等现象,尤其对固相含量高的高密度水基钻井液的影响更大,钻井液会很快失去流动性。

(1) 地层中大量的CO₂进入钻井液时,使CO₃²⁻含量增加,造成粘土等低密度固相物质分散度提高,形成细分散,使钻井液粘度、切力上升。

(2) 钻井液受CO₂污染后,由于大量HCO₃⁻的存在,pH值迅速降低,导致那些需要在碱性环境中才能发挥有效作用的处理剂功效下降甚至完全失效,钻井液表现出不接受降粘剂处理,使钻井液粘度、切力难以控制。

(3) 大量未溶解的CO₂气体被钻井液包裹,形成细分散微泡,导致钻井液切力升高,初切、终切值几乎接近,流变性恶化,尤其是高密度钻井液表现更为突出。低密度钻井液受到CO₂污染时,通常表现为钻井液大量起泡,造成钻井液密度降低,使钻井液静液柱压力下降,影响正常钻进。随着CO₂污染量的增大,钻井液粘度、切力和滤失量略有增加,pH值降低。高密度钻井液受到CO₂污染则不会有明显的起泡现象,失水变化不大,但是粘度、切力变化明显,初、终切数值接近甚至相等,泥饼质量变差,当出现严重CO₂气侵时,未溶解的CO₂气体完全分散进

入钻井液,形成高度细分散微泡,造成钻井液流变性发生明显变化,尤其是固相含量很高的超高密度钻井液甚至可能会在较短的时间内失去流动性。

4 CO₂ 污染的预防及处理办法

4.1 污染的预防

(1)根据实际需要随时调整钻井液密度,目的是平衡地层流体压力,尽可能减少 CO₂ 进入钻井液的可能,以降低对钻井液造成污染的风险并降低地面处理的工作量。

(2)钻遇可能含 CO₂ 的气层前,将钻井液转换成有较强的抑制性和抗酸性气体污染能力的粗分散钻井液体系,例如钙处理钻井液或钾石灰聚磺钻井液体系。

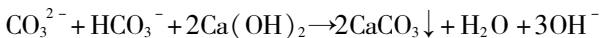
(3)保持钻井液中始终有过量的石灰,因为 CaO 在生成 CaCO₃ 的同时不断地消耗 CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻,由此可预防 CO₂ 侵入所带来的钻井液性能恶化。过量的石灰作为储备钙存在于钻井液中,形成 Ca(OH)₂ 微溶物,它能缓慢释放 Ca²⁺,对体系的 pH 值等相关性能有较好的缓冲调节作用。

(4)始终保持 pH 值大于 11。在这种碱性环境下,CaO 能够迅速而有效地溶解于钻井液中并释放 Ca²⁺。否则的话,即便存在过量的石灰,也会因溶解速度不够而不能起到很好的作用。

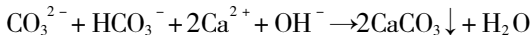
4.2 污染后的处理

CO₃²⁻ 可用钙处理的方法使其生成 CaCO₃ 沉淀将其除去,而 HCO₃⁻ 不能直接除去,必须先使它与 OH⁻ 反应转换生成 CO₃²⁻ 后才可能除去。Ca²⁺ 可通过石灰、石膏或氯化钙提供。

用石灰处理的反应式:



用石膏或氯化钙处理的反应式:



5 WFS-4 孔钻井液 CO₂ 污染的处理

5.1 钻井液 CO₂ 污染造成的钻井液性能变化情况

在对 CO₂ 污染钻井液的作用机理进行分析和借鉴石油方面的应用经验的基础上,针对 WFS-4 孔一开采用的 CMC 高含膨润土钻井液体系抗污染能力差的缺点,在二开前期钻进过程中逐渐将其转换为抗污染防塌能力强的钾石灰钻井液体系。钾石灰聚磺钻井液体系,具体配方:4% NV-1 + 0.1% K-PAM + 0.2% NH₄-HPAN + 3% FT-342 + 3% ~ 5% KCl + 0.4% CaO + 3.5% ~ 5% SMP-1 + 0.6%

CMC + 2% SMC + 2% SPNH + 3% QS-1。

正常情况下保持循环钻井液中 Ca²⁺ 浓度为 300 ~ 400 ppm。

钻进至 1470 m 左右开始,录井监测数据显示钻井液中 CO₂ 含量逐渐升高,从正常值 0.09% 上升到 0.39%,最高达到 0.6%,取循环井浆测酸根离子浓度(HCO₃⁻ 2000 ppm、CO₃²⁻ 4200 ppm),结果表明钻井液已遭受 CO₂ 污染。在 CO₂ 入侵的过程中,随着 CO₂ 含量的增加,钻井液粘度切力呈先降低后升高的趋势,失水逐步升高,钻井液性能变化见表 1。

表 1 钻井液性能变化

CO ₂ 含量 / %	密度 / (g/cm ³)	漏斗粘度 / s	塑性粘度 / (mPa·s)	动切力 / Pa	初切/终切 / Pa	API 滤失量 / (mL·(30 min) ⁻¹)	泥皮厚度 / mm	pH 值
0.09	1.20	53	25	10.5	4.5/15.5	6.0	0.5	9.5
0.39	1.19	43	19	13.5	3/14	6.8	0.6	9
0.6	1.20	79	20	20	5/17	7.2	0.7	9

由于现场采用的钾石灰聚磺钻井液体系自身含有一定量的 Ca²⁺,且该体系具有较好的抗污染能力,所以当钻井液遭受 CO₂ 入侵,生成 CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 时,钻井液能够中和掉一部分酸根离子,降低体系中的酸根离子浓度,所以钻井液性能未发生大的变化。但随着 CO₂ 持续侵入,体系中酸根离子浓度大量增加,体系自身的 Ca²⁺ 浓度不足以平衡酸根离子浓度,造成钻井液性能变坏,具体表现为粘度、切力升高,流动性变差。钻井液的变化给钻井工作带来了影响,立管压力增加很快,泥浆泵工作受到影响,因此必须及时采取措施进行处理。

5.2 处理前室内试验

依据 CO₂ 污染钻井液的作用机理和相应的处理意见,决定先采用石灰对钻井液进行处理,同时补充适量护胶剂。取井内循环钻井液进行室内验证性实验,向钻井液中加入 1% 的石灰,同时加入 2% 的胶液,胶液配方为:3% SMC + 0.15% SXP-2 + 0.1% SPNH + 0.2% FT-342 + 0.3% SMP-2 + 0.2% JN-A + 0.1% NaOH。

经充分搅拌,结果表明:钻井液流动性变好,无挂壁现象,钻井液粘切下降,滤失量降低,泥饼质量变好(钻井液性能为:密度 1.20 g/cm³,漏斗粘度 50 s,塑性粘度 20 mPa·s,动切力 11 Pa,初切/终切 4.5/15 Pa,API 滤失量 6.2 mL/30 min,泥皮厚度 0.5 mm,pH 值 9.5),说明用生石灰加胶液的方法处理钻井液可行。

5.3 现场处理

首先向循环池中加入 XP-1 消泡剂 50 kg (0.5%) 以消除钻井液中大量的气泡,再在室内试验的基础上,确定向循环泥浆中加入 1% 的石灰(约 1200 kg),同时为降低钻井液的滤失量和改善泥饼质量,配以其他分散型降失水剂对泥浆进行处理,另外加碱提高钻井液的 pH 值,以有利于除去酸根离子,具体配方如下:1% 石灰 + 0.3% SMC + 0.15% SXP-2 + 0.1% SPNH + 0.3% SMP-2 + 0.1% NaOH + 0.1% KOH + 0.2% JN-A + 0.2% FT-342。

在处理时,为保证钻井液性能平稳过渡,按钻井液循环周期通过混料漏斗分 3 次向循环池中加入处理剂。向循环池中加入足量处理剂并经过充分循环后,钻井液性能逐渐恢复正常,气测 CO₂ 也逐渐降低至正常值,此次污染处理成功完成。处理后的钻井液性能为:密度 1.21 g/cm³,漏斗粘度 45 s,塑性粘度 22 mPa·s,动切力 13 Pa,初切/终切 4/15 Pa,API 滤失量 6.0 mL/30 min,泥皮厚度 0.5 mm, pH 值 9.5。

6 结论与认识

(1) 钾石灰聚磺钻井液体系作为石油钻井行业目前普遍采用的一种钻井液体系具有较强的抗 CO₂ 污染能力,该钻井液体系性能稳定,其中有足够的储备钙,能预防地层中新进入的 CO₂ 气体对钻井液造成污染。在钻井液遭遇低浓度 CO₂ 污染时,能够自我平衡酸根离子浓度,维持钻井液性能的稳定,且在 CO₂ 污染较重时,也有处理的基础,现场应用取得了良好的效果。

(2) 需要尽可能保持较低的膨润土含量,防止 CO₂ 污染后钻井液形成高度细分散,这样也可以提高钻井液的抗污染能力。

(3) 在处理 CO₂ 污染时应加入一定浓度的其他功能性处理剂,主要是降粘剂和降失水剂,调整钻井液的流变性、造壁性,必要时加入表面活性剂、柴油和消泡剂,有利于钻井液脱气、消泡和密度的保持。

(4) 在钻井液遭受酸根离子污染时适当提高钻井液的 pH 值,保证钻井液处于碱性环境下,使部分处理剂继续发挥作用,提高钻井液的抗 CO₂ 污染能力。

(5) 发现 CO₂ 气侵时,要及早检测酸根离子浓度,同时取循环钻井液进行室内试验,确定污染类型和处理方案。否则,当酸根离子严重污染钻井液,造成钻井液粘切急剧上升、流动性变差甚至呈滴流时,会给后期处理和正常钻进带来严重影响。

(6) 在实际处理污染时,要根据钻井液的循环情况,采用适当的方式、在适当的时间、适量的向循环系统中加入处理剂,切不可急急忙忙的对钻井液进行突然性的大处理,造成钻井液性能急剧变化,造成井内复杂情况,给正常钻进带来更严重的危害。

参考文献:

- [1] 刘翔,罗宇峰,王娟,等. 钻井液 CO₂ 污染的测试方法及处理技术[J]. 钻采工艺,2009,32(6).
- [2] 张曙光,李慧勇,柳成志,等. 钻井液体系粘度对检测 CO₂ 气的影响[J]. 大庆石油学院学报,2004,28(3).
- [3] 李敏. 浅谈碳酸根、碳酸氢根污染及对策[J]. 西部探矿工程,2011,(2).
- [4] 张坤,黄平,郑有成,等. 高密度水基钻井液 CO₂ 污染防治技术[J]. 天然气技术与经济,2011,5(2).
- [5] 黄宏军. 超深井钻井液完井液 HCO⁻ 和 CO₃²⁻ 污染规律和处理方法[J]. 钻井液与完井液,2003,20(4).
- [6] 金军斌. 钻井液 CO₂ 染规的预防与处理方法[J]. 钻井液与完井液,2001,18(2).
- [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. 127-174.

勘探所 QHZ-2000 型全回转套管钻机取得实钻试验成功

本刊讯 2014年4月15日,中国地质调查局勘探技术研究所最新研制的 QHZ-2000 型全回转套管钻机的室外功能性钻进试验取得成功。

该钻机是勘探所承担的科技部专项资金项目《Ø2000 全回转套管钻机、钻具和施工工艺研究》的成果。历经 3 年,经过方案论证、设计、加工、装配调试等环节,于 2013 年 10 月在位于河北省廊坊市龙河高科技工业园的勘探所科研中试基地完成了样机的厂内组装及调试。2014 年 3 月 5 日开始在中试基地露天试验场进行为期一个多月的钻机出厂前室外功能性钻进试验,以获得相关钻进能力的实际数据,为下一步钻机的生产试验做好技术准备。

QHZ-2000 型钻机试验钻进套管直径 1500 mm,套管长度 30 m。由于试验条件有限,采用套管内不取土的钻进方式。试验目的主要是检验钻机的各项动作是否正常,实钻参数是否达到了设计要求,检测液

压系统和 PLC 电控系统的稳定可靠性以及机械结构的强度,同时检验自制全回转刀齿的寿命及磨损情况。套管实钻试验进行了二轮。第一轮在套管内冲抓取土的条件下连续钻进套管 8 m 后钻机下部地基沉降明显,虽然有孔口机台板,钻机仍然发生了倾斜,无法继续钻进。第二轮钻进试验前对新孔位的地面进行了简单的平整硬化,钻机下部设置了 8 根 250 mm × 250 mm × 5000 mm 的方木筏子作为钻机底座的基础,稳定钻机的同时增加了 20 t 配重。第二轮试验在不取土条件下一次性钻进套管 18 m,纯钻进套管的时间为 3.75 h,由于套管内未取土形成了土心,钻进下压套管无法继续进尺,此时的回转扭矩达 1300 kN·m,回转速度 0.52 r/min,下压力达 1210 kN。试验结果表明,钻机的机械、液压、电控各系统工作正常,各项实钻参数基本达到了设计要求,钻机的试验成功为下一轮的生产试验做好了技术准备。

(宋志彬 供稿)