

防硫堵漏随钻钻井液体系研究与应用

孙杰文^{1,2}, 邹洪岚², 丁云宏²

1. 中国科学院渗流流体力学研究所, 河北廊坊 065007
2. 中石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北廊坊 065007

摘要 井漏和硫化氢腐蚀是裂缝性异常低压酸性气田钻井作业过程遇到的两大难题。有针对性地研制了随钻堵漏钻井液体系 LCM, 开展了相应的室内实验并应用于现场。LCM 体系由硫化氢清除剂、抑制剂、缓蚀剂和堵漏体系组成, 该体系性能稳定, 悬浮性良好、不沉淀, 配伍性良好。将该体系应用于现场施工 3 口井, 钻井作业过程中能够有效防硫, 并在不影响钻井进程的情况下, 对长达 110m 的井漏失返井段进行快速人工造壁, 实现有效封堵。现场应用效果表明, 该钻井液体系可有效防硫, 同时随钻堵漏效果好, 尾管固井顺利, 不影响地质录井; 在保证施工质量的同时, 能节省作业时间和钻井液材料, 缩短钻井周期, 有效降低作业成本。

关键词 酸性气田; 随钻钻井液; 堵漏; 人造井壁; 防硫剂

中图分类号 TE254

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.12.006

A Drilling Fluid System for Sulfide-controlling and Sealing While Drilling

SUN Jiewen^{1,2}, ZOU Honglan², DING Yunhong²

1. Institute of Porous Flow and Fluid Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Langfang 065007, Hebei Province, China
2. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development-Langfang, Langfang 065007, Hebei Province, China

Abstract The lost circulation and the sulfured hydrogen corrosion are two problems in drilling in a fractured abnormal low pressure acidic gas field. To deal with these problems, the drilling fluid system for the lost circulation while drilling-LCM is developed. The related laboratory experiments and field applications were carried out. The LCM system consists of the desulphurization agent, the inhibitor, the corrosion inhibitor and the plugging agent, and it is shown to be of stable performance, good suspension property and good compatibility. This system has been applied in three wells. The application in the field shows that it can inhibit the sulfide effectively without affecting the drilling speed in the process of drilling, and can successfully build a man-made sidewall to plug effectively for the lost circulation interval of 110m rapidly. It is shown that the LCM system can effectively inhibit the sulfide with good liner cementation and geologic logs. The system can also reduce the operation time and the drilling fluid amount, thus to reduce the operation cost and shorten the operation cycle, as well as ensure the operation quality.

Keywords acidic gas field; drilling fluid while-drilling; sealing; man-made sidewall; sulfide inhibitor

0 引言

钻探过程中, 由于地层破碎, 断层多, 产层多, 同一裸眼井段压力系数相差悬殊以及天然致漏裂缝、天然非致漏裂缝、微裂缝在地层中的广泛分布等原因造成的井漏, 是油田企业一直致力解决的技术难题。井漏不仅造成巨额经济损失, 而且处理难度大, 严重影响钻井作业的安全, 延长钻井及

建井周期。

国内防漏堵漏技术^[1]在 20 世纪 70 年代以堵为主、见漏就堵, 80 年代防堵结合、以堵为主, 90 年代堵防结合、以防为主。目前, 国内、外防漏堵漏技术主要有常规静止堵漏、桥接堵漏、化学堵漏、随钻堵漏^[2]及新近发展起来的多功能钻井液、交联水泥堵漏、纤维水泥浆堵漏等。在漏失过程中实现“随钻

收稿日期: 2011-09-14; 修回日期: 2012-03-20

基金项目: 中国石油集团公司“十一五”科技攻关项目(2008B-4406)

作者简介: 孙杰文, 博士研究生, 研究方向为钻采工艺及井筒完整性, 电子邮箱: etcsunjw@163.com; 丁云宏(通信作者), 高级工程师, 研究方向为储层改造和钻采工艺, 电子邮箱: dyhong@petrochina.com.cn

即堵”的随钻防漏堵漏技术兴起于 20 世纪 80 年代,配合使用的堵漏剂多针对常规漏失,随着用于严重漏失的随钻堵漏剂的开发,可对漏失速度小于 $5\text{m}^3/\text{h}$ 的井漏实施有效封堵。

2007 年,熊继有等^[9]提出了物理法随钻堵漏技术,该技术利用专用井下工具将泵入的钻井液分流出一部分,通过旋转射流方式直接作用于发生漏失的井壁处,形成一层致密的、渗透率接近 0 的滤饼,实现人工造壁,提高井壁正反方向的承压能力,适用于渗透性良好的砂岩、砂砾岩,主要应用于漏失量较小、漏失速度慢的渗透性漏失和裂缝性漏失^[2-7],与合适的堵漏剂配合使用,可有效封堵溶洞、断层、大裂缝等。

近年来,中国石油在国内外陆续勘探开发了多个高含 CO_2 和 H_2S 的酸性油气田,如普光气田、迪那气田、伊拉克 AHDEB 油田、土库曼斯坦阿姆河气田等,而且酸性油气田在国内及海外区块中的比重不断增加。

本文以国外 X 油田为例,针对酸性油气田钻井过程中出现的防硫、堵漏难题,开展防硫随钻钻井液的相关研究。

1 地质、工程概况

X 油田为灰岩,主要目的层是渐新统一中新统的 Asmari 层,物性良好。该油田地层异常低压,压力系数仅为 0.415—0.44,且裂缝异常发育,产层中 3—5 裂缝相对发育,裂缝平均厚度为 14.8m,厚度系数为 6.83%,缝隙度为 0.40%。储层流体高酸性, CO_2 体积分数达 11.4%, H_2S 体积分数为 3.6%。

该油田是一个百年油田,钻井作业主要在 20 世纪 20 年代和 60 年代进行,90 年代只钻过 2 口井。由于复杂的地质条件,钻井过程中时常出现钻杆断裂,致使钻具失效,并出现井口不返钻井液现象,漏失严重,能否成功防漏、堵漏已经成为能否成功钻井的关键^[8]。上述问题严重阻碍了油田的安全高效开发,一直以来主要的解决方法是进行化学处理。目前在钻井过程中采用物理法随钻防漏堵漏,并研制了专门的堵漏体系,实现了对含硫低压易漏地层的有效封堵。

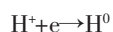
2 防硫钻井液体系

为了保护钻具,可利用钻井液预防和清除 H_2S ,主要方法有两个:一是实施正压钻井,阻止 H_2S 进入井筒,利用钻井液将 H_2S 气体封隔在地层中;二是实施化学处理,合理优化钻井液配方,及时清除侵入井筒中的 H_2S 。

2.1 腐蚀机理

H_2S 腐蚀有多种形式,主要包括全面腐蚀和局部腐蚀,局部腐蚀包括氢鼓泡、硫化物应力开裂 (SSC)、氢诱发裂纹 (HIC)、氢脆 (HSC) 等。在钻井过程中,氢脆是致使钻具失效的一个主要因素,图 1 为钻井作业过程钻杆氢脆断裂后的断面,下面对其腐蚀机制作简要说明。

酸性溶液的电化学阴极反应的一个中间过程为



即在形成气体(H_2)之前,氢原子可自由活动并进入金属内部,



图 1 钻杆氢脆断面

Fig. 1 Drill pipe cross-section of HSC

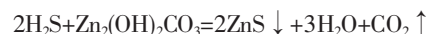
破坏其分子结构,发生氢脆破坏。

2.2 防硫配方

上述化学处理防硫中使用的配方如下。

(1) 清除剂

由于硫化锌(ZnS , $\rho=4.1\text{g}/\text{cm}^3$)不溶于水,所以钻井液中采用碱式碳酸锌($\text{Zn}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$)清除 H_2S 。化学方程式为

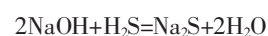


物质的量比为 $n(\text{Zn}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3):n(\text{H}_2\text{S})=236:68$ 。

综上,3.45kg 碱式碳酸锌可沉淀 1kg H_2S 。

(2) 控制剂

由于 H_2S 水溶液显酸性,所以可在钻井液添加烧碱 (NaOH)把它转变成二价硫离子(S^{2-}),将其控制在钻井液中,使之无法溢出。化学方程式为



物质的量比为 $n(\text{NaOH}):n(\text{H}_2\text{S})=80:34$ 。

综上,2.3kg 烧碱可中和 1kg H_2S 。当 pH 值达到 11 时,1m³ 钻井液含有 1kg 游离烧碱,可中和 0.43kg H_2S 。

(3) 缓蚀剂

除了对腐蚀性气体采取措施外,还可以通过保护钻具进行防腐,即在钻井液中加入缓蚀剂减缓腐蚀速率,以延长井下管材和地面设备的使用寿命。目前国内外常用的缓蚀剂是咪唑啉、恶唑啉系列产品和有机胺类、胺类的脂肪酸盐、季胺化合物、酰胺化合物和丙炔醇类。缓蚀剂的作用机制大多是经物理和化学吸附覆盖在金属表面形成屏蔽膜而起到保护作用。

该体系选用酰胺型缓蚀剂,相对于其他类型缓蚀剂,其具有更高的缓蚀率,而且用量少,成膜性能好且牢固,无臭味,对于氢渗透的抵抗能力强,环境污染程度小。

3 钻井液体系配方及性能

钻井作业前必须充分考虑到各种可能出现的复杂工况,以研制适用的钻井液体系,并制定相应的措施。根据前面的对策分析,针对异常低压、高含 H_2S 酸性油气田出现的井漏问题,应从防 H_2S 和防漏、堵漏两方面着手。

3.1 缓蚀剂用量优化

钻井液中加入 H_2S 缓蚀剂可保护钻具不受 H_2S 腐蚀。为了不影 响钻井液性能,保证施工质量,必须开展室内实验,以验证二者的配伍性,并优化缓蚀剂用量。缓蚀剂实验结果见表 1。

表 1 缓蚀剂实验数据

Table 1 Experimental data of corrosion inhibitors

序号	配方	井口泥浆密度 $/(g\cdot cm^{-3})$	塑性黏度 $/(mPa\cdot s)$	pH 值
1	开钻前井筒液	1.03	19	11
2	1 [#] +0.2% H_2S 缓蚀剂	0.99	13	11
3	3 [#] +0.4% H_2S 缓蚀剂	0.97	13	11

通过实验现象观察及对表 1 中数据分析可知,加入 H_2S 缓蚀剂后,钻井液轻微发泡,密度略有下降,但对钻井液性能无影响,静置 4d 后,表现无明显变化,性能稳定。

3.2 钻井液堵漏体系

由于 X 油田直井三开油气层 H_2S 含量高,钻井过程中必需实现正压钻井,将 H_2S 控制在地层里。但地层既有裂缝,又异常低压,常规清洁钻井液会发生严重漏失。根据上述问题,研制了有针对性的随钻堵漏钻井液(LCM)。配方为 5%膨润土+0.2%烧碱+0.6%纯碱+0.15%XC+0.15%PAC-LV+果壳(1% C+1% M+2% F)+云母(1% M+1% F)+0.1%发泡剂(各物质百分含量为质量分数;XC 为生物聚合物,PAC-LV 低黏度聚合物,C 表示粗粒度的颗粒,M 表示中粒度的颗粒,F 表示细粒度的颗粒)。钻井液实验数据如下:井口层浆密度为 0.85—1.03 g/cm^3 ,塑性黏度为 19.0 $mPa\cdot s$,屈服值为 10.5 Pa,胶凝强度为 4.0/11.5 Pa, R_6/R_3 (直读式旋转黏度计在 6 转和 3 转时读数的比值)为 7/5, pH 值为 12。

实验结果表明,基浆悬浮性良好,加堵漏剂后不沉淀,而且黏度切力适当,可用于 216mm 井眼随钻堵漏。

4 应用效果

4.1 防硫效果

三开过程中钻柱未因 H_2S 腐蚀而出现断脱的现象。

由于钻进过程中实施正压钻井,同时在钻井液中又加入了 H_2S 清除剂、抑制剂和缓蚀剂,并在钻进过程中始终保持钻井液 pH 值大于 11,保证了及时清除侵入井筒的 H_2S 气体,使得 V-1 井在钻进过程中钻柱免受腐蚀断脱,保证了钻井过程的顺利。

4.2 随钻堵漏效果

X 油田 V-1 井最危险的三开 H_2S 气层用 LCM 随钻堵漏钻井液在安全的条件下顺利钻至设计井深 930m,并根据地质

要求加深了 10m。在钻井过程中共发生了 3 次漏失,合计漏失钻井液 94.4 m^3 ,但都由随钻堵漏剂成功封住了裂缝,实现即漏即堵,达到漏失“自愈”的目的。实践表明,在节省施工时间和钻井液材料的同时,避免了可能由先漏后喷导致的 H_2S 泄漏等井控风险。V-1、V-2、V-3 直井在钻井过程中漏失量统计见表 2。

表 2 钻井液漏失统计

Table 3 Statistical data of drill fluid leakage

井号	井段/m	钻井液密度 $/(g\cdot cm^{-3})$	漏失量/ m^3	井眼
V-1 井	887.8—913.3	1.017	45.9	筛管
	913.3—914.6	1.033	48.8	
	940.0	1.033	8.0	
	1061.3—1090.5	0.897	9.6	生产套管
	1184.5—1190	0.905	9.7	
V-2 井	750—835.0	0.942	43.0	筛管
	835.0	0.942	73.0	
V-3 井	704—730.5	0.897	12.0	8 ^{1/2} 套管
	730.5—754.5	0.897	4.0	
	964.4	0.841	13.0	5 ^{7/8} 套管

从堵漏施工情况可以看出油气层压力系数很低。因为在 913.31m 井漏失返时,共向井内泵入了 12%的 LCM 稠浆 5 m^3 ,当泵入 4 m^3 时,井口开始返出钻井液。说明漏空段长约 110m,地层压力梯度不会超过 0.896 $MPa/100m$ 。而此时,LCM 稠浆还在钻杆内上方,完全没有进入环空,也说明随钻堵漏剂能自动封堵裂缝。如果不采用随钻堵漏措施,钻进过程中极易发生先漏后喷的井喷事故,井控风险较大。

4.3 尾管固井

下尾管期间,为防止扶正器将井壁裂缝表面的堵漏剂刮掉,重新暴露裂缝,造成井漏,井内仍是随钻堵漏钻井液。为防止浮箍凡尔被 LCM 堵塞,下尾管时,向尾管和钻杆内灌清洁钻井液。为防止悬挂器流道被 LCM 堵塞,下尾管期间,用固控设备把地面循环罐中的 LCM 筛除。

4 次工程测井均顺利到底,无阻卡现象出现。结果表明,尾管固井施工顺利,不漏不堵,无卡阻。

5 结论

为满足异常低压酸性油气藏钻井作业过程中预防 H_2S 腐蚀和随钻堵漏的需求,复配得到钻井液 LCM,经过室内实验和现场施工可以得到如下结论。

(1) 该钻井液配合使用正压钻井,可将 H_2S 控制在地层里;用碱度控制剂和硫离子清除剂中和与沉淀,及时清除侵入钻井液的 H_2S ;利用缓蚀抑制剂保护金属管材和设备。

(2) 堵漏体系对 X 油田异常低压裂缝性储层可实现有效封堵,完成即漏即堵,达到“自愈”漏失层的目的,同时避免

由先漏后喷引起的 H₂S 泄漏等井控风险。

(3) 该体系的使用既节省了堵漏作业时间,大大缩短含硫低压漏失井的钻井周期,又节约了钻井液材料,有效降低作业成本。

参考文献 (References)

- [1] 杨新斌. 大庆英台地区防漏堵漏技术研究 [D]. 大庆: 大庆石油学院, 2003.
Yang Xinbin. Study on preventing and plugging lost circulation technique in Daqing Yingtai area[D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2003.
- [2] 王燕, 王平全, 熊继有, 等. 物理法随钻防漏堵漏技术与钻井液研究现状[J]. 断块油气藏, 2008, 15(1): 93-94.
Wang Yan, Wang Pingquan, Xiong Jiyou, et al. Fault-Block Oil & Gas Field, 2008, 15(1): 93-94.
- [3] 熊继有, 程仲, 薛亮, 等. 随钻防漏堵漏技术的研究与应用进展 [J]. 钻采工艺, 2007, 30(2): 7-10, 19, 151.
Xiong Jiyou, Cheng Zhong, Xue Liang, et al. Drilling and Production Technology, 2007, 30(2): 7-10, 19, 151.

- [4] Sanad M, Waheed A. An effective means to control lost circulation in flowing HPHT Wells—Case History from EastMed Sea Area [C]. Middle East Oil Show, Bahrain, 9-12 June 2003.
- [5] Sanad M, Butler C, Waheed A, et al. A new treatment Increases the fracture gradient to cure lost circulation and control a flowing HPHT Well in the East Mediterranean Sea, SPE 84318 [C]. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Colorado, 5-8 October 2003.
- [6] 张希文, 李爽, 张洁, 等. 钻井液堵漏材料及防漏堵漏技术研究进展[J]. 钻井液与完井液, 2007, 37(2): 195-197.
Zhang Xiwen, Li Shuang, Zhang Jie, et al. Drilling Fluid and Completion Fluid, 2007, 37(2): 195-197.
- [7] 李齐富, 姜新越, 王青林, 等. 酸性气田钻井具常见失效形式 [J]. 理化检验: 物理分册, 2010, 46(6): 374-377.
Li Qifu, Jiang Xinyue, Wang Qinglin, et al. Physical Testing and Chemical Analysis Part A: Physical Testing, 2010, 46(6): 374-377.
- [8] 王霞, 钟水清, 马发明, 等. 含硫气井钻井过程中的腐蚀因素与防护研究[J]. 天然气工业, 2006, 26(9): 80-84, 169-170.
Wang Xia, Zhong Shuiqing, Ma Faming, et al. Natural Gas Industry, 2006, 26(9): 80-84, 169-170.

(责任编辑 安莹, 刘志远)

·学术动态·



“2012 年中国水土保持学会年会暨学术研讨会”征文

“2012 年中国水土保持学会年会暨学术研讨会”将于 2012 年 11 月 1 日在北京市召开。本次大会由中国水土保持学会主办。

征稿范围:新时期水土保持的法规政策与预防监督;新形势下水土保持发展所面临的机遇与挑战;水土保持监测技术与水土流失规律(包括监测、水土流失和土壤侵蚀等);坡耕地、黑土区、黄土高原、红壤区、石漠化、荒漠化、崩岗、滑坡、泥石流等小流域综合治理技术;水土保持植被建设与生态修复;生产建设项目用地的水土保持及边坡防护;生态清洁型小流域及城市水土保持生态建设;水土保持区域规划与水土保持设计;新时期水土保持的多元化(国家、地方、企业和群众)的投入机制及水土保持生态补偿机制研究;地震、气候灾害衍生的水土流失灾害的预警及防治技术;生态恢复与景观建设技术在水土保持生态建设中的应用。

论文截稿日期:2012 年 6 月 30 日。

联系电话:010-62338045, 010-62338031。

电子邮箱:zgsbxbh@263.net。

会议网站:<http://www.sbxh.org/page/xhhd/xsjl/20120329/3638.html>。