

◀钻井完井▶

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2013.01.008

## 甲酸盐钻井液在长北区块的应用

赵向阳<sup>1,2</sup>, 张小平<sup>1,2</sup>, 陈 磊<sup>1,2</sup>, 张振活<sup>1,2</sup>, 孙 艳<sup>3</sup>

(1. 中国石油川庆钻探工程有限公司钻采工程技术研究院,陕西西安 710021;2. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室,陕西西安 710021;3. 中国石油川庆钻探工程有限公司长庆钻井分公司,陕西西安 710021)

**摘要:**为了防止水平分支长裸眼井段井壁失稳,长北区块应用了甲酸盐钻井液。以甲酸钠为加重剂和抑制剂,通过测试甲酸钠对基浆黏度和切力的影响、模拟地层条件进行甲酸钠对岩心的伤害试验、评价甲酸钠的抑制性及加重效果,研制出一种适合长北区块水平井的甲酸钠钻井液。现场2口井的应用表明,该钻井液具有抑制性强、滤失量小、流变性良好、固相含量低等优点,综合防塌效果好。该区块应用甲酸钠钻井液成功钻穿水平段多套泥岩段,表明甲酸钠钻井液能有效保持稳定井壁,避免井下复杂情况出现,解决了长北区块水平分支长裸眼井段的安全钻进问题。

**关键词:**甲酸盐钻井液 钻井液性能 水平井 长北区块

中图分类号:TE254+.3 文献标识码:A 文章编号:1001-0890(2013)01-0040-05

### Application of Formate Drilling Fluid in Changbei Block

Zhao Xiangyang<sup>1,2</sup>, Zhang Xiaoping<sup>1,2</sup>, Chen Lei<sup>1,2</sup>, Zhang Zhenhuo<sup>1,2</sup>, Sun Yan<sup>3</sup>

(1. Drilling & Production Engineering Technology Institute of CCDC, Xi'an, Shaanxi, 710021, China; 2. National Engineering Laboratory for Low-Permeability Oil-Gas Field Exploration and Development, Xi'an, Shaanxi, 710021, China; 3. Changqing Drilling Branch of CCDC, Xi'an, Shaanxi, 710021, China)

**Abstract:** In Changbei Block, formate drilling fluid was used to avoid shale instability in long horizontal open hole sections. Sodium formate was selected as weighting agent and inhibitor. Through experimental study on base mud viscosity and shear force, and damage on cores under simulated formation conditions, the inhibition and weighting performance of sodium formate were evaluated. On this basis, a sodium formate drilling fluid was developed for horizontal wells in Changbei. Its field application in two wells shows that this fluid has the characteristics of strong inhibition, small filtration, good rheology and less solid content, and it is effective for anti-collapse. Multiple horizontal shale sections were penetrated efficiently with the sodium formate drilling fluid, indicating that it can stabilize borehole effectively and prevent downhole complexities. Therefore, it can ensure safe drilling in long open horizontal sections in Changbei Block.

**Key words:** formate drilling fluid; mud performance; horizontal well; Changbei Block

长北项目是壳牌(中国)勘探与生产公司和中国石油集团合作开发的陆上油气开发项目,该项目位于鄂尔多斯盆地东部榆林气田长北区块,主要产层是山西组2段,具有层薄、低孔、低渗、低压、低产、非均质性强等特点<sup>[1]</sup>。长北区块双分支水平井的单支水平段设计长度为2 000 m,属于长水平段,采用裸眼完井<sup>[2]</sup>。目前,该区块中心区域井位逐渐减少,边缘井陆续开发,但边缘储层砂体连续性差,碳质泥

岩、泥岩交接互层多,应力作用后极易破碎,井壁失稳,造成起下钻遇阻甚至发生卡钻。为防止水平段泥岩段坍塌,保证安全顺利钻进,通过调研国内外主

收稿日期:2012-06-27;改回日期:2012-11-22。

作者简介:赵向阳(1980—),男,陕西咸阳人,2003年毕业于西安石油大学化学工程与工业专业,2007年获西安石油大学应用化学专业硕士学位,工程师,主要从事钻井液完井液技术研究。

联系方式:(029)86594778,zxy4929@163.com。

要防塌钻井液的研究与应用情况,根据甲酸盐具有强抑制性和液相密度高等特点,研究了适合水平段钻进具有防塌抑制性的甲酸盐钻井液体系,并在现场进行了应用,取得了良好效果。

## 1 技术难点和解决思路

### 1.1 技术难点

1) 水平井段处于含有大段泥岩、碳质泥岩和煤层的山西组 2 段气层,长裸眼分支水平段钻进过程中受井眼尺寸大、浸泡时间长等因素影响,导致水平井段泥岩垮塌问题非常突出<sup>[3]</sup>。

2) 水平井产层裸露面积大,浸泡时间长,钻井液和完井液对产层的伤害较大。

3) 水平段井眼轨迹呈波浪形,岩屑上返困难,摩阻和扭矩大,防卡难度大。

### 1.2 解决思路

1) 通过提高钻井液密度,防止井壁失稳。同时针对泥岩分散膨胀,提高钻井液的抑制性,从整体上提高钻井液的防塌能力。

2) 控制钻井液的滤失量,降低钻井液的固相含量,尽可能减小进入地层的水和钻井液固相的量。

3) 提高钻井液的流变性,增强其携带岩屑能力,净化井眼,同时加入润滑剂以降低摩阻和扭矩,防止卡钻。

## 2 室内试验

为减小钻井液中的固相含量,采用甲酸钠作为加重剂<sup>[4-6]</sup>。以甲酸钠为加重剂,理论上可以将钻井液加重至 1.32 kg/L。甲酸钠还可作为抑制剂,抑制泥页岩水化膨胀。采用甲酸盐加重的优点是<sup>[7-8]</sup>:甲酸盐在水中的溶解度较大,密度调节范围宽,可以降低大多数增黏剂和降滤失剂高温时的水解和氧化降解速率;甲酸盐活度低,对钻井液性能和地层影响小,有利于井壁稳定,且固相含量小。

### 2.1 甲酸钠对基浆黏度和切力的影响

以低伤害钻井液为基浆,加入甲酸钠后测试其性能,结果见图 1、图 2。低伤害钻井液的配方为 0.2% XCD + 0.1% HEC + 0.1% G305 - KKJ + 0.5% G301-SJS + 3.0% G302-SZD。

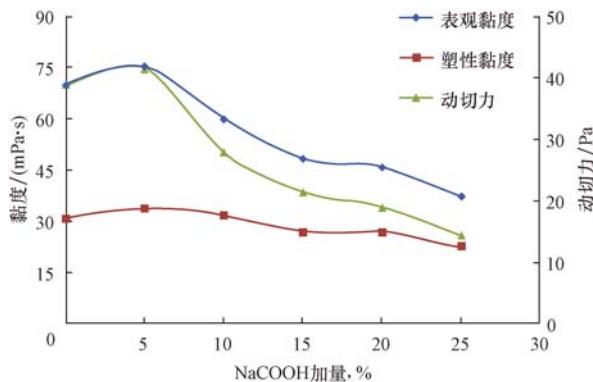


图 1 甲酸钠加量对基浆黏度和切力的影响

Fig. 1 Impact of sodium formate on base mud viscosity and shear force

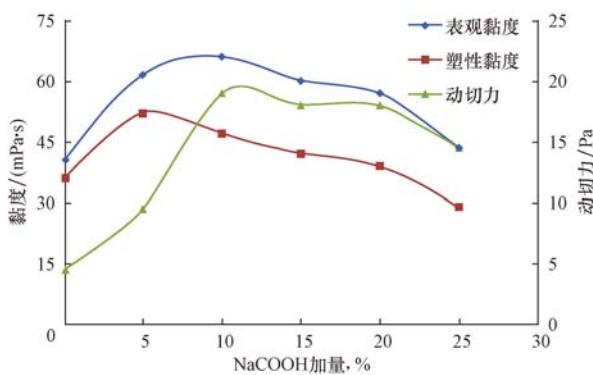


图 2 热滚后甲酸钠加量对基浆黏度和切力的影响

Fig. 2 Impact of sodium formate on base mud viscosity and shear force after hot rolling

从图 1 可以看出,随着甲酸钠加量的增大,基浆黏度升高、切力增大;但甲酸钠加量超过 5% 以后,其黏度随着甲酸钠加量的增大而降低,切力随其加量的增大而减小。其原因主要是:甲酸钠加量过大时,高分子聚合物发生盐析现象,使聚合物部分脱水,水化程度降低,引起分子链蜷缩,从而导致黏度降低<sup>[9]</sup>。对比图 2 和图 1 可以看出,经过热滚(热滚条件 150 °C × 16 h)后基浆的黏度下降幅度和切力减小幅度都很大,而加入甲酸钠能提高其黏度、增大其切力,说明甲酸钠能提高聚合物的抗温性能。原因是甲酸根会提高聚合物转变温度,甲酸根可以和聚合物中众多的羟基在黄原胶的多糖链之间形成桥结,使聚合物分子的结构加强,使其抗温性能提高<sup>[9]</sup>。由以上试验结果可看出,加入甲酸钠后,提高了钻井液的抗温性能。

### 2.2 甲酸钠对岩心的伤害试验

研究表明,微粒运移、水敏效应和水锁效应是山西组储层损害的主要原因<sup>[10]</sup>。以甲酸盐为加重剂

对钻井液进行加重,能提高钻井液的密度和矿化度,大幅度降低钻井液滤液和固相进入地层的概率。用山西段 2 段现场岩心,模拟地层条件进行伤害试验。在基浆中,加入 18% 的甲酸钠,进行岩

心伤害试验,结果见表 1。从表 1 可以看出,甲酸钠钻井液污染岩心的渗透率恢复率可达到 85% 以上,属于低伤害,说明甲酸钠钻井液对储层有一定的保护作用。

表 1 甲酸盐钻井液对岩心伤害试验结果

Table 1 Results of core damage test for formate drilling fluid

岩心号	气测渗透率/mD	温度/℃	内压 /MPa	围压/MPa	滤失量/mL	伤害后气测渗透率/mD	渗透率恢复率, %
1-39/113-2	2.67	90	3.52	32.54	5.072	2.28	85.77
1-39/113-1	2.43	90	3.53	32.72	164.164	2.29	93.82
1-47/113-1	0.60	90	3.51	32.77	22.833	0.52	86.67

图 3 为甲酸钠钻井液污染岩心端面的扫描电镜照片。从图 3 可以看出,甲酸钠钻井液未对岩心孔隙造成堵塞,孔喉非常清晰和干净,未发现固体桥塞粒子,表明甲酸钠钻井液对岩心的伤害小。

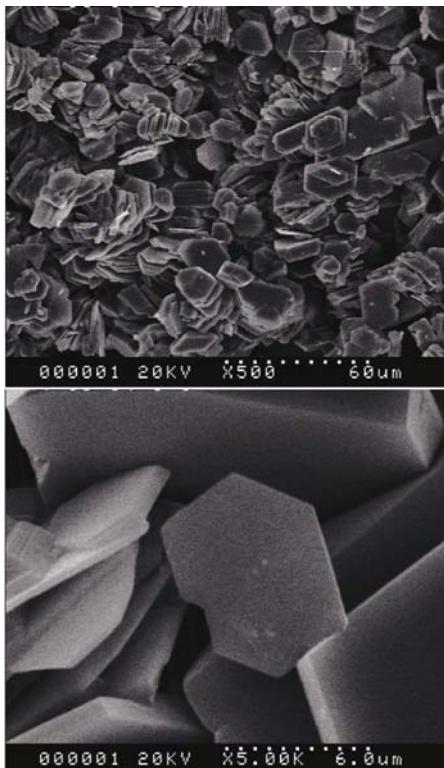


图 3 岩心伤害后的端面扫描电镜照片

Fig. 3 SEM picture of damaged core end face

### 2.3 甲酸盐的抑制性试验

以甲酸钠为抑制剂和加重剂,加入到基浆中,用现场的碳质泥岩和泥岩掉块进行岩屑回收试验,以评价其抑制性,结果见表 2。

从表 2 可以看出,甲酸钠加量为 15%~20% 时,岩屑回收率可以达到 93%~94%,说明甲酸钠钻井液有良好的抑制性。

表 2 甲酸钠抑制性评价结果

Table 2 Results of sodium formate inhibition evaluation

NaCOOH 加量, %	热滚前/后	密度/(kg·L <sup>-1</sup> )	滤失量/mL	岩屑回收率, %	
				前	后
0	前	1.01	6.0	70.00	
	后	1.01	6.4		
5	前	1.06	6.4	87.56	
	后	1.07	5.2		
10	前	1.08	9.6	92.92	
	后	1.09	4.4		
15	前	1.10	9.6	93.10	
	后	1.11	4.2		
20	前	1.12	12.8	94.50	
	后	1.14	3.6		

### 2.4 甲酸盐钻井液配方及性能

根据以上试验结果,并结合前人的经验,确定甲酸钠钻井液的配方为:0.2%~0.3% XCD + 0.1%~0.2% HEC + 0.1%~0.2% G305-KKJ + 0.5%~1.0% G301-SJS + 3.0%~5.0% G302-SZD + 15.0%~20.0% 甲酸钠 + G303-WYR + G323-SJJ+FDO-2+ZHF-2。其主要性能为:密度 1.13~1.19 kg/L,黏度 40~110 s,API 滤失量 3.5~7.0 mL,动切力 12~28 Pa,静切力 4~7/16~8 Pa,塑性黏度 20~40 mPa·s,pH 值 9~10。

## 3 现场应用

### 3.1 应用井概况

长北区块水平井井身结构基本上是 0~1 700 m 为直井段,1 700~3 400 m 为造斜段,3 400~5 400 m 为水平段。CB9-2 井和 CB21-1 井位于长北区块的边缘地带,储层泥岩较多,泥岩吸水膨胀和分散极易造成水平段垮塌和卡钻,对钻井液性能要求很高。

### 3.2 钻井液维护处理措施

1) 钻遇泥岩时,用甲酸盐提高钻井液密度,一方面是通过力学平衡稳定地层,另一方面甲酸盐具有一定的抑制性,能有效抑制泥岩水化分散<sup>[8,11]</sup>。

2) 根据钻遇地层的岩性,及时调整钻井液流变性能,在含泥岩段保持较高的流变性能( $\phi 6$  读数为 15~22, 动切力 20~30 Pa, 动塑比 1.2~1.6), 以提高钻井液的携砂能力,净化井眼,降低摩阻。保持钻井液的剪切稀释性能,降低其在钻具内的摩阻,增加钻头水功率。

3) 泥岩段容易造浆,导致钻井液固相增加和流变性不易控制,所以应尽可能降低固相含量,将膨润土含量控制在 10 kg/m<sup>3</sup> 以下、固相含量尽量控制在 6% 以下,以减小其对钻井液性能的影响。以细水长流的方式加入清水,补充钻井液中蒸发的水分,同时稀释钻井液,降低固相含量;提高固控设备利用率,最大限度地清除劣质固相。

4) 加入高效润滑剂,并保持其含量在 1.5%~2.0%,以降低长水平段的摩阻扭矩。

5) 钻井液 API 滤失量控制在 3.5~5.0 mL,以减少滤液和固相侵入地层的量,以防止泥岩水化膨胀和分散。甲酸盐能提高钻井液滤液的黏度,有助于控制滤失量,提高井壁渗透压力,保持井壁稳定性,降低对储层的伤害<sup>[12-13]</sup>。

### 3.3 应用效果分析

#### 3.3.1 CB9-2 井

CB9-2 井  $\phi 215.9$  mm 井眼水平井段使用普通低伤害钻井液,钻遇泥岩时无法解决井壁失稳问题,经多次侧钻,形成 7 个分支,最长分支 416 m,总共进尺 1 040 m,其中泥岩段 254 m,占总进尺的 24%,起下钻过程中多次遇阻、卡钻、憋泵。于是使用甲酸钠钻井液,采用  $\phi 152.4$  mm 钻头进行小井眼侧钻,由于甲酸钠钻井液和小尺寸井眼稳定效应的共同作用, $\phi 152.4$  mm 井眼基本稳定,钻进过程中陆续出现 5%~50% 泥岩和碳质泥岩,但没有出现井下复杂情况。甲酸钠钻井液密度一直保持为 1.12~1.13 kg/L(见图 4),基本解决了  $\phi 152.4$  mm 井眼泥岩段井壁失稳问题,且固相控制在 5% 以下,没有引起流变性失控等问题。第 2 个分支在井深 4 040 m 处钻遇泥岩,将钻井液密度提高至 1.13 kg/L,旋转黏度计  $\phi 6$  读数提高至 13,整个井段基本保持该性能

直至完钻。该井钻成了 2 个超过 1 000 m 的小井眼水平段。

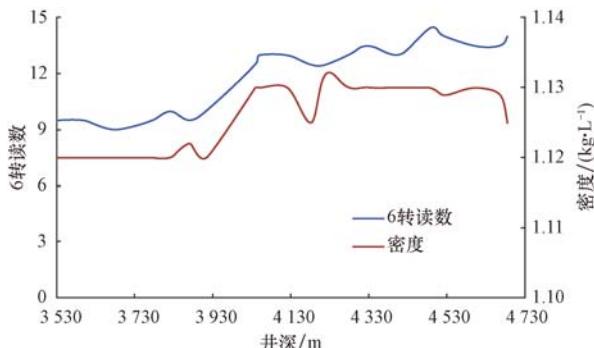


图 4 CB9-2 井  $\phi 152.4$  mm 井眼钻井液密度和 6 转读数随井深变化

Fig. 4 Change of mud weight and viscosity with depth in  $\phi 152.4$  mm section in Well CB9-2

#### 3.3.2 CB21-1 井

CB21-1 在钻进  $\phi 215.9$  mm 水平段时,在井深 3 521 m 处出现泥岩时,以甲酸钠为加重剂将钻井液密度逐渐提高到 1.13 kg/L,同时将旋转黏度计  $\phi 6$  读数提高至 20,但随着井深的增加和不断钻遇泥岩段,起下钻过程中遇阻现象随之增多,再次用甲酸钠将钻井液密度提高到 1.145 kg/L,基本能防止起下钻过程中遇阻情况的出现。第一次侧钻时,由于钻遇砂岩地层,将钻井液密度降低,但随后钻遇大段泥岩(4 020~4 062 m 井段),起下钻遇阻等复杂情况频繁出现,将钻井液密度提高至 1.18~1.19 kg/L,旋转黏度计  $\phi 6$  读数提高至 22~24,保证了井壁稳定和井眼清洁。同时将润滑油含量提至 1.5%~2.0%,以降低摩阻和扭矩。该井还采取短起下钻修复井眼轨迹、大排量循环等措施,最终钻成长度分别为 1 735 m 和 1 960 m 的水平段分支,其中水平段中泥岩、碳质泥岩段总长达到 307 m,创造了长北区块含泥岩水平段钻进最长纪录。

## 4 结论及认识

1) 长北区块应用甲酸钠钻井液、并结合工程措施,解决了该区块水平段井壁失稳、井眼净化不好和摩阻高等问题,满足了长北区块边缘水平井储层段安全钻进的需求。

2) 根据地层情况提前做好预防,是解决井壁失稳的基础。提高钻井液密度和抑制性能、降低剪切速率和黏度是解决井壁失稳的主要途径。

3) 国外文献表明,使用甲酸盐钻井液能防止钻具腐蚀,但长北区块使用甲酸盐钻井液时,发现该钻井液对钻具有一定的腐蚀,建议对该钻井液体系进行进一步研究。

## 参 考 文 献

### References

- [1] 寿铉成,何光怀,Nick Fest. 榆林气田长北区块山西组下段主力储集层建模及水平井地质设计[J]. 石油勘探与开发,2003,30(4):117-121.  
Shou Xuancheng, He Guanghuai, Nick Fest. Main reservoir modeling and horizontal drilling design for the lower Shanxi Formation in the Changbei Block of the Yulin Gas Field, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30 (4):117-121.
- [2] 杨斌,陈在君,杨呈德,等. 长北气田分支水平井 CB1-1 井钻(完)井液技术//第六届石油钻井院院长会议论文集编委会. 第六届石油钻井院院长会议论文集[C]. 北京:石油工业出版社,2007:215-222.  
Yang Bin, Chen Zaijun, Yang Chengde, et al. Drilling and completion fluid technology of CB1-1 branch horizontal well in Changbei Gas Field // Editorial Board of the 6th Oil Drilling Hospital Director Conference Proceedings. The 6th oil drilling hospital director conference proceedings[C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007:215-222.
- [3] 陈在君,黎金明,杨斌,等. 长北气田长水平井段钻井(完井)液技术[J]. 天然气工业,2007,27(11):49-51.  
Chen Zaijun, Li Jinming, Yang Bin, et al. Drilling and completion fluid technology for long horizontal openhole completion in Changbei Gas Field[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(11):49-51.
- [4] 陈乐亮,汪桂娟. 甲酸盐基钻井液完井液体系综述[J]. 钻井液与完井液,2003,20(1):31-36.  
Chen Leliang, Wang Guijuan. An overview of formate base drilling and completion fluids system[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2003, 20(1):31-36.
- [5] 涂海海,凡帆,刘炜,等. 甲酸盐钻井液体系的研究[J]. 精细石油化工进程,2012,13(4):19-22.  
Tu Haihai, Fan Fan, Liu Wei, et al. Research on formate drilling fluid system[J]. Advances in Fine Petrochemicals, 2012, 13 (4):19-22.
- [6] 李志勇,鄢捷年,王建华,等. 新型甲酸盐/正电聚醇钻井液研究[J]. 石油钻探技术,2006,34(5):34-38.  
Li Zhiyong, Yan Jienian, Wang Jianhua, et al. A novel formate/positive-charged polyglycol drilling fluid[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(5):34-38.
- [7] 刘榆,李先峰,宋元森,等. 无固相甲酸盐和高温交联钻完井液体系的研究应用[J]. 油田化学,2005,22(3):199-202.  
Liu Yu, Li Xianfeng, Song Yuansen, et al, Researches and uses of solids - free high density formate and high temperature crosslinking water base systems as drill-in fluid[J]. Oilfield Chemistry, 2005, 22(3):199-202.
- [8] 王西江,曹华庆,郑秀华,等. 甲酸盐钻井液完井液研究与应用[J]. 石油钻探技术,2010,38(4):79-83.  
Wang Xijiang, Cao Huaque, Zheng Xiuhua, et al. Study and application of drilling and completion fluid based on formate[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(4):79-83.
- [9] 陈宗淇,王光信,徐桂英. 胶体及表面化学[M]. 北京:高等教育出版社,2001.  
Chen Zongqi, Wang Guangxin, Xu Guiying. Colloid and interface chemistry[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001.
- [10] 黎金明,杨斌,陈在君,等. 鄂尔多斯盆地长北气田储层保护技术[J]. 天然气工业,2009,29(3):68-70.  
Li Jinming, Yang Bin, Chen Zaijun, et al. Reservoir protection technology in the Changbei Gas Field, Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(3):68-70.
- [11] 赵向阳,林海,陈磊,等. 长北气田 CB21-2 井长水平段煤层防塌钻井液技术实践与认识[J]. 天然气工业,2012,32(3):81-85.  
Zhao Xiangyang, Lin Hai, Chen Lei, et al. Application of anti-sloughing drilling fluid technology to the long horizontal coalbed interval of Well CB21-2, Changbei Gas Field[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(3):81-85.
- [12] 唐文明. 甲酸盐钻井液在 SH9-X13 井的现场应用[J]. 中国石油和化工标准与质量,2012(7):177-178.  
Tang Wenming, Application of formate drilling fluid in Well SH9-X13[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2012(7):177-178.
- [13] 蒲晓林,罗兴树,李燕梅,等. 甲酸盐与无机盐抑制性的比较评价[J]. 油田化学,2000,17(2):104-106.  
Pu Xiaolin, Luo Xinshu, Li Yanmei, et al. A comparative evaluation for inhibitory property of formates against inorganic salts as drilling fluid additive[J]. Oilfield Chemistry, 2000, 17 (2):104-106.