

托普台区块高渗透地层随钻堵漏剂配方优化

田建东¹, 于培志², 牟福权¹

(1. 中国人民武装警察部队黄金第一支队, 黑龙江 牡丹江 157021; 2. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083)

摘要:托普台区块上部地层以砂泥岩层、砾质砂岩为主, 容易发生漏点不明确、漏失段长的高渗透性漏失。通过对堵漏材料的配伍性评价及合理级配, 优选出了一种适合高渗透性漏失地层的随钻堵漏剂。该堵漏剂对钻井液流变性影响小, 可降低钻井液 API 滤失量, 对沙床封堵后承压能力 > 10 MPa, 在 TP328X 井的应用表明, 高强度弹性石墨颗粒复合凝胶堵漏对于高压差、高渗透漏失的工况, 可以有效封堵漏层, 特别适用于对于漏层不明、漏涌同层、裸眼等复杂井况。

关键词:高渗透地层; 随钻堵漏剂; 沙床堵漏; 托普台区块

中图分类号:TE254; P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)07-0010-04

Optimization of Agent Formula of Plugging While Drilling for High Permeability Formation in Tuoputai Block/
TIAN Jian-dong¹, YU Pei-zhi², MU Fu-quan¹ (1. The First Team of the People's Armed Police Force Gold Units, Mudanjiang, Heilongjiang 157021, China; 2. College of Engineering and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: In Tuoputai Area, the upper formations are mainly composed of sand-shale layer and conglomerate sandstone, long segment and high permeability loss easily occurs with unclear loss layer. Based on the evaluation on plugging material compatibility and reasonable gradation, a plugging agent used in drilling was optimized, it is suitable for high permeability loss zone with less influence on the rheological property of drilling fluid, can reduce the amount of API drilling fluid filtration and has bearing capacity of more than 10MPa after sand bed sealing. It is showed in well TP328X that high strength elastic graphite particle composite gel has effective sealing effects in high pressure difference and high permeability leakage conditions and is especially suitable for complex well conditions such as unclear leakage layer, well kicking accompanied with circulation loss and open hole.

Key words: high permeability formation; agent of plugging while drilling; sand bed sealing; Tuoputai block

1 概述

托普台区块上部地层主要以砂泥岩层、砾质砂岩地层为主, 很容易产生高渗透性漏失, 这种漏失边钻边漏, 不能准确判断漏层的位置, 漏失井段长, 虽然漏速低, 但长时间漏失很容易造成井壁的不稳定, 发生钻井事故; 而漏层位多、漏点不明确使得判断漏失情况困难, 堵漏施工作业难度大, 耗费时间长, 大量损失钻井液, 甚至报废井眼。本文主要通过弹性石墨 TXSM、聚合物胶凝随钻堵漏剂 PSD、细石棉粉 XSMF、雷特堵漏材料 NTS-DC 和超细碳酸钙 CSC 等 5 种材料复配形成随钻堵漏剂, 通过桥接 + 凝胶类膨体复合的方式, 在井底漏层形成封堵层, 从而在钻遇漏层时, 可以即钻即堵, 施工操作简单, 不需要提钻处理和确定漏点位置, 可以随钻进行全井堵漏,

因此可以有针对性地解决托普台区块的高渗透性漏失问题。钻遇高渗透性漏层时采用该随钻堵漏剂封堵漏层, 可以及时提高地层的承压能力, 防止产生诱导性裂缝; 在漏失情况复杂的地层再辅以及其他堵漏方式, 可以大幅度提高井漏处理的成功率, 降低井漏诱发的风险。

2 托普台区块漏失地层分析

目前, 托普台区块漏失地层主要集中在 2700 ~ 5200 m, 而会发生高渗透性漏失的地层主要包括白垩系、侏罗系、三叠系地层^[1]。

(1) 白垩系地层岩性主要以泥岩、粉砂质泥岩与泥质粉砂岩、粉砂岩、细粒砂岩等厚互层等为主, 地层胶结较差, 遇水易分散, 导致地层承压能力低,

收稿日期: 2014-12-08; 修回日期: 2015-05-26

作者简介: 田建东, 男, 汉族, 1986 年生, 助理工程师, 钻井工程专业, 硕士, 主要从事地质勘探工作, 黑龙江省牡丹江市下屯河武警黄金部队第一支队, tianjian892@163.com。

钻井液密度高易压裂地层。泥岩段易遇水膨胀缩径,粉砂岩段易形成虚厚泥饼。下第三系及白垩系以细粒砂岩为主,易发生高渗透性漏失。

(2) 侏罗系地层主要为粉砂岩、细粒砂岩、砾质细粒、中粒砂岩与泥岩等厚互层夹煤线,地层胶结疏松,易发生高渗透性漏失。

(3) 三叠系地层主要为泥岩夹细粒砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、中细粒砂岩、含砾砂岩,地层胶结疏松,渗透率高,易发生高渗透性漏失。

3 随钻堵漏技术机理

目前常用的随钻堵漏剂主要有 3 种:桥接随钻堵漏剂、凝胶类膨体随钻堵漏剂和桥接 + 凝胶类膨体复合随钻堵漏剂。

纯粹的凝胶类膨体随钻堵漏剂形成封堵层后,凝胶的力学强度相对较低,承压能力可能达不到要求,而在其中加入桥接堵漏材料后,形成的封堵层强度会大幅度增加,既可以解决桥接随钻堵漏剂对于大裂缝地层不能有效封堵的问题,又能解决凝胶类膨体随钻堵漏剂形成的封堵层强度较低的问题。因此,实验选用了桥接 + 凝胶类膨体复合随钻堵漏剂。

桥接 + 凝胶类膨体复合随钻堵漏剂进入地层后,其中的桥接堵漏材料会在漏失通道变窄处在架桥、拉筋、堆积、挤压等作用下形成封堵层,而凝胶类膨体材料会通过挤压变形的的方式嵌入到桥接堵漏材料的封堵层中,其进一步的吸水膨胀会挤紧封堵层中的颗粒,两种堵漏材料相互作用,使封堵层的渗透率降低,达到“非渗透”的效果。凝胶类膨体堵漏材料膨胀产生的压差,可以将桥接堵漏材料中的滤液挤出,防止桥接堵漏材料强度的降低,从而保证形成的封堵层既有较大的强度,又有一定的弹性^[2]。

4 随钻堵漏剂配方优化

为了适应托普台区块高渗透性漏失的特点,本文选用新型材料弹性石墨(简称 TXSM,见图 1)加入到随钻堵漏配方中,而将 TXSM 作为随钻堵漏材料,在国内尚属首次。TXSM 密度小,能在 7 MPa 压力下,其弹性高达 150%,长时间或在高达 425 ℃条件下处于矿物质油或者原油中也不会软化,其在高压下压缩,失去压力后又能恢复的特性,使得其在作为随钻堵漏材料时,可以更好地适应地层裂缝或孔隙,在加压时压缩,进入地层的裂缝或空隙后,压力

减小,又可以恢复原状,卡在裂缝或孔隙处,配合其他堵漏材料即可封堵漏层。本文通过 TXSM、PSD、XSMF、NTS - DC 和 CSC 五种材料复配形成随钻堵漏剂,以阳离子乳液聚合物钻井液体系作为基浆,利用高温高压滤失仪来评价随钻堵漏剂对于模拟高渗透漏失的沙床的封堵能力。

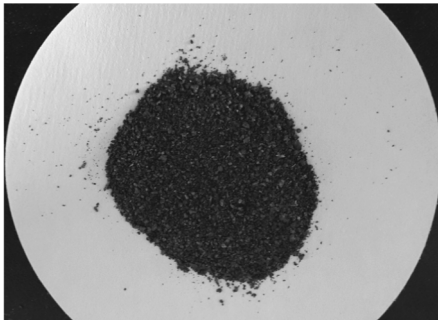


图 1 弹性石墨

4.1 配伍性评价

在配置好的 5 份钻井液中分别按一定量加入 5 种材料,测定其常温及 120 ℃热滚 16 h 后的各项性能,以考察每种材料对于钻井液流变性的影响,确定所选定的 5 种材料是否适用于随钻堵漏。结果见表 1。

表 1 5 种材料常温及 120 ℃的配伍性评价结果

序号	配方	测试条件	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	FLAPI/ [mL·(30 min) ⁻¹]	FLHTHP/ [mL·(30 min) ⁻¹]	泥饼厚/ mm
1	基浆	热滚前	54.0	41.0	13.3	116	—	0.5
		热滚后	37.5	31.0	6.6	—	28	1.0
2	基浆 + 2% PSD	热滚前	54.5	35.0	19.9	38	—	0.5
		热滚后	31.0	26.0	5.1	—	20	1.5
3	基浆 + 2% TXSM	热滚前	56.0	43.0	13.3	84	—	0.4
		热滚后	28.5	26.0	2.6	—	24	1.0
4	基浆 + 2% NTS - DC	热滚前	58.0	37.0	21.5	22	—	0.5
		热滚后	52.0	34.0	18.4	—	22	1.5
5	基浆 + 2% CSC	热滚前	56.0	41.0	15.3	31	—	0.4
		热滚后	36.0	30.0	6.1	—	24	1.3
6	基浆 + 2% XSMF	热滚前	50.5	35.0	15.8	17	—	0.6
		热滚后	36.0	28.0	8.2	—	32	1.5

从表 1 可以看出,5 种材料单独加入时,常温下对于钻井液的流变性影响很小,泥饼厚度变化也很小,并且降低了钻井液的 API 滤失量;120 ℃热滚 16 h 后,钻井液流变性和 HTHP 滤失量变化同样很小,泥饼厚度有了一定程度的增加。从实验结果看,5 种材料无论常温还是高温下都与钻井液有良好的配伍性。

根据 5 种材料配伍性评价结果和材料特点,拟定了 3 个随钻堵漏剂配方。

- 配方一:阳离子乳液聚合物钻井液 + 1% PSD + 1% XSMF + 2% NTS - DC + 1% CSC;
- 配方二:阳离子乳液聚合物钻井液 + 1% PSD + 2% XSMF + 2% NTS - DC + 1% CSC;
- 配方三:阳离子乳液聚合物钻井液 + 2% TXSM + 1% PSD + 1% XSMF + 2% NTS - DC + 1% CSC。

4.2 随钻堵漏剂配方配伍性评价

随钻堵漏剂不仅要有封堵漏层的能力,还要与钻井液有良好的配伍性,随钻堵漏剂加入钻井液后不能改变钻井液本身性能。因此,首先进行了随钻堵漏剂与钻井液配伍性的评价,具体结果见表 2。

表 2 随钻堵漏剂常温及 120 ℃ 的配伍性评价结果

配方	测试条件	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	FLAPI/ [mL·(30 min) ⁻¹]	FLHTP/ [mL·(30 min) ⁻¹]	泥饼厚/ mm
基浆	热滚前	54.0	41.0	13.3	116	—	0.5
	热滚后	37.5	31.0	6.6	—	28	1.0
配方一	热滚前	51.5	41.0	10.7	13	—	0.5
	热滚后	28.5	25.0	3.6	—	25	1.5
配方二	热滚前	54.0	39.0	15.3	10	—	0.5
	热滚后	36.0	29.0	7.2	—	26	1.5
配方三	热滚前	51.0	37.0	14.3	9	—	0.5
	热滚后	29.0	25.0	4.1	—	26	2.0

从表 2 可以看出,3 个配方在常温下对于钻井液的流变性和泥饼厚度改变较小,同时辅助降低了钻井液的 API 滤失量;而在 120 ℃ 热滚 16 h 后,流变性的变化仍在可以接受的范围以内,而滤失量稍有降低,泥饼厚度有所增大,总体而言,3 个配方与钻井液都有良好的配伍性。

4.3 随钻堵漏剂封堵能力评价

利用高温高压滤失仪,在其中加入粒径 0.9 ~ 1.7 mm 经清水洗净烘干后冷却的沙子,慢慢加入堵漏浆,加热至 120 ℃ 后,逐渐加压至 3.5 MPa,在 120 ℃ 下分别测试 1、7.5 和 30 min 的滤失量,评价随钻堵漏剂配方对于高渗透性漏层的封堵能力,具体结果见表 3。

表 3 随钻堵漏剂 120 ℃ 封堵能力评价结果

序号	基浆 + 处理剂	漏失量/mL			总量/ mL	漏失率/%
		1 min	7.5 min	30 min		
1	基浆	400	0	0	400	100
2	配方一	109	0	0	109	27
3	配方二	102	0	0	102	26
4	配方三	53	0	0	53	13

根据实验结果,可以看出,3 种配方均可以在 1 min 以内封堵住沙床,但配方 3 的漏失率明显小于其余 2 个配方。

4.4 随钻堵漏剂封堵漏层后承压能力测试

对于封堵住沙床的堵漏浆,在做完 30 min 的滤失后,匀速的向高温高压泥浆罐中加压,测定封堵膜被压裂有泥浆漏失时的压力,评价随钻堵漏剂配方封堵漏层后的承压能力。实验结果见表 4。

表 4 120 ℃ 沙床堵漏承压能力测试结果

序号	基浆 + 处理剂	沙子粒径/mm	承压能力/MPa
1	基浆	0.9 ~ 1.7	—
2	配方一	0.9 ~ 1.7	5.5
3	配方二	0.9 ~ 1.7	7.5
4	配方三	0.9 ~ 1.7	>10.7

从实验结果可以看出,配方三的承压能力相对于其余 2 个配方有明显的升高,可以承受住 10 MPa 以上的压力,可以满足后期固井的需要。



图 2 高渗透性漏失封堵效果图

5 应用实例

TP328X 井是部署在阿克库勒凸起西南斜坡的一口开发井,采用五级井深结构,设计井深 6842.24 m,目的层为奥陶系。TP328X 井钻进至 6226.59 m 时发生了溢流,密度由 1.35 g/cm³ 提高至 1.42 g/cm³ 过程又发生漏失,漏速 8 m³/h,期间裸眼有二叠系、志留系等薄弱层位,漏失层位不清,漏失量 < 15 m³/h,为能继续提高密度压稳溢流层位,保持液面稳定,为下部承压等施工做好准备,现场进行随钻堵漏施工。按段塞配方:50 m³ 井浆 + 5% 凝胶随钻堵漏 + 4% 弹性石墨 + 2% 雷特纤维随钻堵漏剂。

按上述比例室内实验,结果如表 5 所示,可看出对流变失水影响不大,可以施工,将高浓度段塞替入井底,然后起钻至顶部循环,漏失量从 8 m³/h 降低

为 $1 \sim 2 \text{ m}^3/\text{h}$, 后期将密度顺利提高至 $1.46 \text{ g}/\text{cm}^3$, 顺利压稳溢流层。

表 5 钻井液性能变化情况

性能	$\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^3)$	FV/s	$FL/[\text{mL} \cdot (30 \text{ min})^{-1}]$	pH 值	θ_1/Pa	θ_2/Pa	$PV/(\text{mPa} \cdot \text{s})$	YP/Pa	K_f	稳定性
加入前	1.36	52	4.0	9	2	5	28	9	0.0699	好
加入后	1.36	55	3.5	9	2	6	30	11	0.0699	好

后期测井下套管顺利, 固井质量优良。对于高压差、高渗透漏失的工况, 高强度弹性石墨颗粒复合凝胶堵漏, 可以有效封堵漏层, 特别适用于对于漏层不明、漏涌同层、裸眼等复杂井况, 本井随钻的应用有效地扩大了安全密度窗口, 降低了施工风险, 从现场泥饼来看, 致密、富有韧性的泥饼可以减少渗失量, 有效实施随钻堵漏。

6 结论

(1) 塔河油田托普台区块漏失地层较为复杂, 发生高渗透性漏失的地层主要包括白垩系、侏罗系、三叠系地层, 高渗透性地层堵漏利用随钻堵漏技术可以大幅度提高堵漏作业效率, 降低施工风险, 快速通过漏失地层。

(2) 通过实验对高渗透性漏失的随钻堵漏剂配方进行了优化: 阳离子乳液聚合物钻井液 + 2% TX-SM + 1% PSD + 1% XSMF + 2% NTS - DC + 1% CSC。该随钻堵漏剂对钻井液性能影响小, 能够一定程度降低 API 滤失量, 可在钻进过程中迅速封堵高渗透

性漏层, 封堵漏层后承压能力 $> 10 \text{ MPa}$, 满足后期钻井需求, 同时在 $120 \text{ }^\circ\text{C}$ 高温下性能稳定, 可用于深井堵漏。

参考文献:

- [1] 郭建国. 塔河油田托普台地区钻井液技术[J]. 山东化工, 2010, 39(2): 35-37.
- [2] 王中华. 聚合物凝胶堵漏剂的研究与应用进展[J]. 精细与专用化学品, 2011, 19(4): 16-20.
- [3] 李功强, 赵永刚, 江子凤, 等. 塔河油田托普台区碳酸盐岩储层类型判别方法及应用[J]. 工程地球物理学报, 2013, 10(3): 338-343.
- [4] 陆长青, 闫联国, 郑建翔. 塔河油田托普台区块二叠系堵漏技术探讨[J]. 西部探矿工程, 2011, (11): 38-40.
- [5] 焦利宾, 董正亮, 覃华政. 非渗透性随钻堵漏剂 HTK-1 的室内性能评价[J]. 精细石油化工进展, 2012, 13(1), 8-11.
- [6] 苗海龙, 陈俊生, 卜平. 渗透性地层随钻堵漏技术的研究和应用[J]. 创新技术, 2009(5), 69-71.
- [7] 王建莉, 郑志军, 张丽君, 等. 随钻堵漏材料研究进展[J]. 精细石油化工进展, 2012, 13(9), 8-10.
- [8] 张琰, 刘艳. 弹性石墨在钻井液中的应用[J]. 天然气工业, 2003, 23(1), 42-44.

(上接第 4 页)

有煤层失稳、起下钻遇阻和较大掉块返出现象, 井径扩大率 5.0%, 与靖南 70-6H1 井相比, 靖南 72-13H1 井钻井液费用降低 12%, 应用效果显著。

3 结论

(1) 控制钻井液 pH 值 8~9.5 和降低钻井液降滤失剂等处理剂加量有利于提高润滑剂的润滑效果;

(2) 优选出受 pH 值影响小、润滑能力强的双吸附基润滑剂, 钻井液极压润滑系数 ≤ 0.06 ;

(3) 通过采用 KCl、聚合醇、胺基抑制剂提高钻井液抑制性, 结合改性纤维、超细凝胶可变形封堵材料, 形成了适用于靖南地区煤层、碳质泥岩地层安全钻井要求的防塌技术;

(4) 润滑减阻和井壁稳定技术在现场应用中取得良好效果, 能够满足靖南地区煤层、碳质泥岩地层

防塌和收盘价定向钻井技术要求。

参考文献:

- [1] 王锦昌, 邓红琳, 袁立鹤, 等. 大牛地气田煤层失稳机理分析及对策[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(2): 4-8.
- [2] 黄维安, 邱正松, 杨力, 等. 煤层气钻井井壁失稳机理及防塌钻井液技术[J]. 煤田地质与勘探, 2013, 41(2): 37-41.
- [3] 孙明波, 樊泽霞, 王书琪, 等. 塔里木盆地煤层坍塌机理研究[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, 28(2): 49-52.
- [4] 梁大川, 蒲晓林, 徐兴华, 等. 煤层坍塌的特殊性及钻井液对策[J]. 西南石油学院学报, 2002, 24(6): 28-32.
- [5] 陈在君, 刘顶运, 李登前, 等. 煤层垮塌机理分析及钻井液防塌探讨[J]. 钻井液与完井液, 2007, 24(4): 28-29.
- [6] 郭健康, 鄢捷年, 杨虎, 等. 鄂尔多斯盆地东部区块强抑制性钻井液研究及应用[J]. 天然气工业, 2006, 26(3): 56-58.
- [7] 李德江. 钻井液润滑剂的现状及发展方向[J]. 石油钻探技术, 1998, 6(2): 35-38.
- [8] 董晓强, 王琳, 杨小华, 等. 水基钻井液润滑剂研究进展[J]. 中外能源, 2012, 17(10): 28-33.
- [9] 张华卫, 李梦刚, 吴为, 等. 伊朗 Y 油田水平井钻井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(7): 28-32.