

六种成膜封堵剂的室内实验优选与评价

王建伟

(中国地质调查局牡丹江自然资源综合调查中心, 黑龙江 牡丹江 157021)

摘要:为更好地服务深部钻探工程,准确了解冲洗液封堵性能,对6种成膜封堵剂开展了砂床实验、API静失水量实验、流变性能实验及抗温实验等室内实验进行优选与评价。实验结果表明,2号和4号成膜封堵剂在6种成膜封堵剂中封堵性能最好,它们在基浆中的最优加量均为2%,100℃温度条件下加入这2种封堵剂的冲洗液具有较好的抗温性能;冲洗液中膨润土含量和处理剂是影响冲洗液封堵性能的2个重要因素:膨润土含量越高,冲洗液封堵性能越好,加入聚合物、降滤失剂等处理剂可以提高冲洗液的封堵性能。砂床实验是评价冲洗液封堵性能好坏的重要依据。

关键词:深部钻探工程;冲洗液;成膜封堵剂;砂床实验;抗温实验

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)03-0073-05

Optimization and evaluation of six film-forming plugging agents by laboratory test

WANG Jianwei

(Mudanjiang Natural Resources Survey Center, China Geological Survey, Mudanjiang Heilongjiang 157021, China)

Abstract: In order to better serve deep drilling engineering and accurately understand the plugging performance of the drilling fluid, six film-forming plugging agents were optimized and evaluated by sand bed test, API static water loss test, rheological property test and temperature resistance test in different drilling fluid systems. The results showed that 2[#] and 4[#] film-forming plugging agents had the best plugging performance among the six film-forming plugging agents, and the optimal dosage of them in the basic drilling fluid was 2%. The drilling fluid added with 2[#] and 4[#] plugging agents at 100℃ had better temperature resistance. The bentonite content and the additive are two important factors affecting the plugging performance of the drilling fluid: the higher the bentonite content, the better the plugging performance of the drilling fluid, and the plugging performance of the drilling fluid can be improved by adding polymer and the filtrate reducer. Sand bed experiment is an important basis to evaluate the plugging performance of the drilling fluid.

Key words: deep drilling engineering; drilling fluid; film-forming plugging agent; sand bed test; temperature resistance test

0 引言

我国正处于快速工业化的进程之中,随着经济发展对矿产资源需求的不断增长,强化第二深度空间的找矿勘探,延长老矿山寿命,深部找矿已成为矿产勘查领域内继隐伏矿勘查之后又一主要勘查对象^[1-2]。深部找矿离不开岩心钻探工程,而深部钻探工程对钻探设备和工艺均提出了更高的要求^[3]。随

着孔深的不断增加,钻遇的地层更加复杂,由于冲洗液的渗漏,更易发生孔壁不稳定的问题,冲洗液设计对于复杂地质条件的深孔钻探显得尤为重要^[4-5]。成膜封堵剂可以使冲洗液在孔壁表面形成一层隔离膜,有效阻止冲洗液及其滤液进入地层,从而有效地防止地层的水化膨胀,封堵地层裂隙,防止孔壁坍塌,提高地层承压能力^[6-7]。为更好地服务于深部钻

收稿日期:2020-08-12; 修回日期:2020-10-20 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.03.010

作者简介:王建伟,男,汉族,1989年生,工程师,地质工程专业,硕士,主要从事地质工程和城市地质调查等相关工作,黑龙江省牡丹江市东安区卧龙街43号,870080982@qq.com。

引用格式:王建伟.六种成膜封堵剂的室内实验优选与评价[J].钻探工程,2021,48(3):73-77.

WANG Jianwei. Optimization and evaluation of six film-forming plugging agents by laboratory test[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(3):73-77.

探工程,了解掌握冲洗液的封堵性能和抗温性能,对目前所使用的6种封堵剂进行了室内实验评价,以期在现场应用提供相关数据和技术指导。

1 室内实验

1.1 材料与仪器

材料:膨润土、1号成膜封堵剂(大港油田)、2号成膜封堵剂(大港油田)、3号超低渗透封堵剂(冀东油田钻采院)、4号成膜封堵剂JYW-1(中国石油钻井工程院)、5号成膜封堵剂JYW-2(中国石油钻井工程院)、6号成膜封堵剂CMJ-2(中国石油钻井工程院)、 Na_2CO_3 (北京世纪红星化工有限责任公司)、KCl(国药集团化学试剂有限公司)、SMP-1(磺甲基酚醛树脂)、XC聚合物(黄原胶)。

仪器:SD型多联中压滤失仪、FA型可视中压砂床滤失仪、变频四轴搅拌机、直读式ZNN-D6S型六速旋转粘度计、滚子加热炉。

1.2 实验思路

在基浆中分别加入6种成膜封堵剂,开展砂床滤失量、API滤失量实验,进行封堵剂评价与筛选,优选出封堵性能最好的封堵剂,然后在含有XC聚合物的冲洗液中加入优选封堵剂重复以上实验,验证优选封堵剂在不同体系冲洗液中是否具备同样的封堵性能,同时利用常温及抗温实验研究优选封堵剂对冲洗液流变性能的影响,评价其能否满足深部找矿的需求。

1.3 实验方法

1.3.1 冲洗液的配制

基浆:3%膨润土+0.15% Na_2CO_3 ,搅拌、常温老化24 h。

含有XC聚合物的冲洗液:3%膨润土+0.15% Na_2CO_3 +0.2% XC+3% SMP+3% KCl,搅拌、常温老化24 h。

1.3.2 API滤失量实验

利用SD型多联中压滤失仪测定冲洗液在室温、0.69 MPa条件下30 min时的失水量。

1.3.3 流变性能实验

利用直读式ZNN-D6S型六速旋转粘度计进行测定。

1.3.4 砂床实验

利用FA型可视中压砂床滤失仪观测滤液的渗滤过程。

1.3.5 抗温实验

将添加有封堵剂的冲洗液分别利用滚子炉加热到100℃后,测定其流变性能是否发生改变。

2 结果与分析

2.1 封堵剂的优选

将2%的各封堵剂分别加入到基浆中,进行砂床实验、API静滤失实验,优选封堵性能较好的封堵剂。实验结果表明(图1和图2):加入1号封堵剂的冲洗液砂床侵入量和API滤失量均较大;加入2号和4号封堵剂的冲洗液砂床侵入量最小,API滤失量却相对较大;加入3号和5号封堵剂的冲洗液砂床侵入量较大,API滤失量却最小,说明砂床侵入量与API滤失量没有直接的对应关系。一般情况下地层的孔隙是非均质的,而实验中API滤失量采用孔隙均匀的滤纸作为隔离介质,不能准确反映地层的实际情况^[8-9],但可视式中压砂床实验可以更好地模拟地层情况,评价冲洗液在近孔内地层中形成的泥饼渗透性的高低,更能准确地反映冲洗液在孔内的滤失情况,所以经综合分析判断,优选出2号和4号封堵剂作进一步评价。

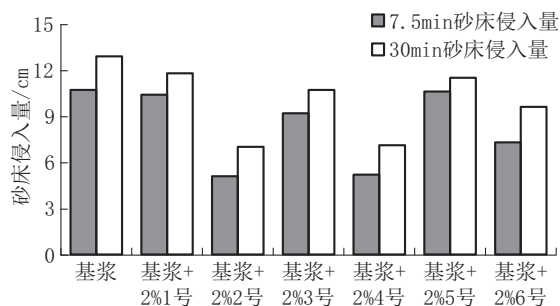


图1 基浆中加入2%封堵剂后砂床实验结果

Fig.1 Sand bed test results of the basic drilling fluid after adding 2% plugging agent

2.2 优选封堵剂在基浆中不同加量时的封堵效果

将优选出的封堵剂以不同加量加入到基浆中,进行砂床实验,观察封堵效果。实验结果(表1和图3)表明:当基浆中加入0%~2%的2号和4号封堵剂时,冲洗液30 min砂床侵入量随封堵剂增加而减小,而当2号和4号封堵剂加量>2%时,冲洗液30 min砂床侵入量随封堵剂增加而增加,说明2号和4号成膜封堵剂在基浆中的最优加量为2%。

2.3 优选封堵剂在含有XC聚合物冲洗液中的封堵

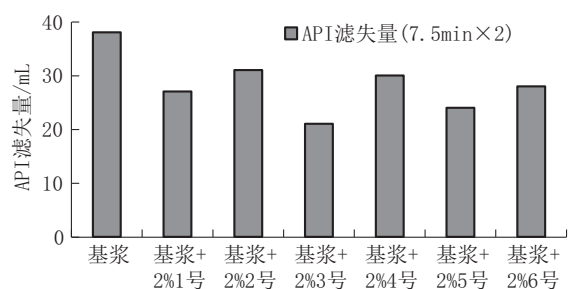


图2 基浆中加入 2% 封堵剂后 API 滤失量实验结果

Fig.2 Results of API filtration rate of the basic drilling fluid after adding 2% plugging agent

表 1 基浆中加入不同用量的优选封堵剂后砂床实验结果
Table 1 Sand bed test results of the basic drilling fluid after adding different amount of the optimized plugging agent

冲洗液配方	7.5 min 砂床 侵入量/cm	30 min 砂床 侵入量/cm	砂床滤失 量/mL
基浆	10.70	12.90	0
基浆+1%2号	6.80	9.00	0
基浆+2%2号	5.10	7.00	0
基浆+3%2号	5.20	7.20	0
基浆+1%4号	7.40	9.30	0
基浆+2%4号	5.20	7.10	0
基浆+3%4号	5.10	8.30	0

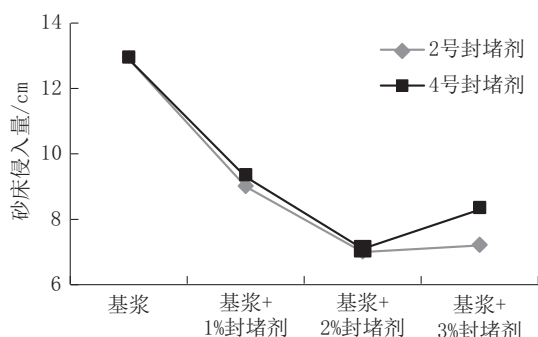


图3 基浆中加入不同用量的优选封堵剂后 30 min 砂床侵入量变化曲线

Fig.3 Variation curve of sand bed invasion of the basic drilling fluid 30 minutes after adding different amount of the optimized plugging agent

效果

将优选封堵剂以不同加量加入到含有 XC 聚合物的冲洗液中,检验其是否具有同样的封堵性能。实验结果表明(图 4 和图 5):在含有 XC 聚合物的冲洗液中加入不同加量的 2 号和 4 号封堵剂后,API 失水量改变较小,但冲洗液砂床侵入量显著降低,尤

其是在 2%~3% 加量时,冲洗液砂床侵入量减少近一半,证明 2 号和 4 号封堵剂在含有 XC 聚合物的冲洗液中同样具有良好的封堵性能;同时,含有 XC 聚合物的冲洗液与基浆砂床实验结果(图 1 和图 4)对比表明,当基浆中加入不同处理剂时,可以改变冲洗液的封堵性能,即冲洗液的封堵性与处理剂有关。

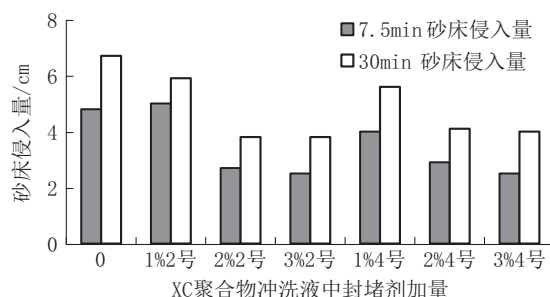


图4 含有 XC 聚合物的冲洗液中加入 优选封堵剂后砂床实验结果

Fig.4 Sand bed test results of the drilling fluid with XC polymer after adding the optimal plugging agent

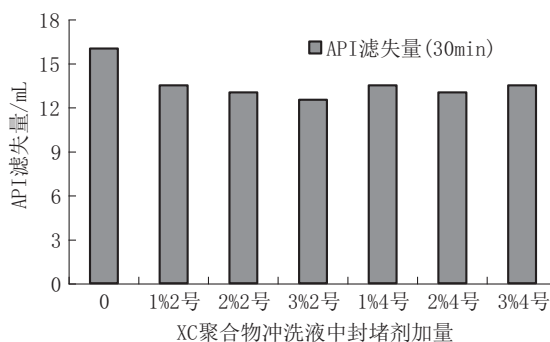


图5 含有 XC 聚合物的冲洗液中加入 优选封堵剂后 API 滤失量实验结果

Fig.5 Results of API filtration rate of the drilling fluid with XC polymer after adding the optimal plugging agent

2.4 优选封堵剂对冲洗液流变性能的影响

2.4.1 常温条件下优选封堵剂对冲洗液流变性能的影响

常温下优选封堵剂对基浆和含有 XC 聚合物的冲洗液流变性能的影响如表 2 和表 3 所示,结果表明:基浆或含有 XC 聚合物的冲洗液中加入不同用量的 2 号封堵剂时,其流变性能改变较小,但加入不同用量的 4 号封堵剂时,粘度随用量的增加而增大,切力变化明显,动塑比有所下降,证明携带岩屑的能力略有下降。

表2 常温下优选封堵剂对基浆性能的影响

Table 2 Effect of the optimal plugging agent on the properties of the basic drilling fluid at normal temperature

冲洗液配方	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa
基浆	4.00	3.50	0.51
基浆+1%2号	3.75	3.00	0.77
基浆+2%2号	3.25	2.50	0.77
基浆+3%2号	4.00	2.50	1.53
基浆+1%4号	7.00	4.50	2.56
基浆+2%4号	8.00	4.50	3.58
基浆+3%4号	10.50	6.50	4.09

表3 常温下优选封堵剂对含有XC聚合物的冲洗液性能的影响

Table 3 Effect of the optimal plugging agents on the properties of the drilling fluid with XC polymer at normal temperature

冲洗液配方	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa
含XC聚合物冲洗液	15.25	6.50	8.94
含XC聚合物冲洗液+1%2号	15.75	8.50	7.41
含XC聚合物冲洗液+2%2号	16.50	9.00	7.67
含XC聚合物冲洗液+3%2号	17.00	9.00	8.18
含XC聚合物冲洗液+1%4号	16.75	9.50	7.41
含XC聚合物冲洗液+2%4号	18.50	12.00	6.64
含XC聚合物冲洗液+3%4号	20.00	12.00	8.18

2.4.2 高温条件下优选封堵剂对冲洗液性能的影响

深部钻探时,地层温度会增加,高温会使处理剂的功能失效,使冲洗液的滤失造壁性能发生变化^[10-15],所以为保证深部钻探时封堵剂的封堵性能,对优选出的封堵剂进行抗温性实验具有重要意义。实验结果表明(表4和表5),100℃温度下不同体系的冲洗液流变性能有一定程度下降,但变化不大,说明2号和4号封堵剂有较好的抗温性能,可满足深部勘探对冲洗液抗温性能的要求。

2.5 膨润土含量对冲洗液封堵性能的影响

如前所述,冲洗液加入处理剂后可以提高冲洗液的封堵性。为了检验膨润土含量对冲洗液封堵性能的影响,将6种封堵剂加入到由6%膨润土配制的基浆中进行砂床实验,并将其与3%膨润土基浆进行对比,实验结果表明(图6):膨润土含量增加

表4 100℃高温下优选封堵剂对基浆性能的影响

Table 4 Effect of the optimal plugging agent on the properties of the basic drilling fluid at 100℃ high temperature

冲洗液配方	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa
基浆+2%2号(滚前)	3.25	2.50	0.77
基浆+2%2号(滚后)	3.00	3.5	0.51
基浆+2%4号(滚前)	8.00	4.50	3.58
基浆+2%4号(滚后)	6.25	4.00	2.30

注:实验条件为100℃热滚16h。

表5 100℃高温下优选封堵剂对含XC聚合物的冲洗液性能的影响

Table 5 Effect of the optimal plugging agent on the properties of the polymer drilling fluid with XC at 100℃ high temperature

冲洗液配方	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa
含XC聚合物冲洗液+2%2号(滚前)	16.50	9.00	7.67
含XC聚合物冲洗液+2%2号(滚后)	15.25	8.50	6.90
含XC聚合物冲洗液+2%4号(滚前)	18.50	12.00	6.64
含XC聚合物冲洗液+2%4号(滚后)	17.00	10.50	6.64

注:实验条件为100℃热滚16h。

可以提高冲洗液的封堵性能,这主要是因为膨润土含量增大可以快速形成泥饼封堵地层孔隙。但是一般情况下,这样做会给冲洗液的流变性能带来不利影响,形成的泥饼也较厚,会造成压差卡钻的风险,所以在配制时膨润土的含量应适当,使封堵性和流变性都处在一个较好范围内。同时实验结果再次证明,2号和4号封堵剂砂床侵入量最小,他们具有较好的封堵性能。

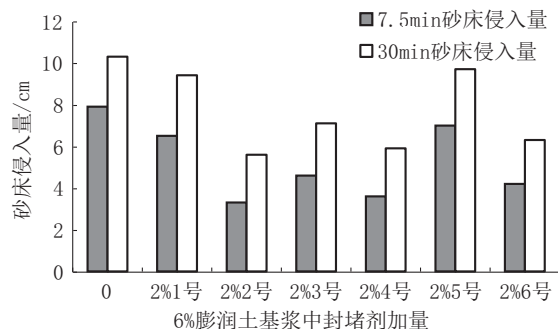


图6 6%膨润土基浆中加入封堵剂后砂床实验结果

Fig.6 Sand bed test results of 6% bentonite drilling fluid added with the plugging agent

3 结论

(1)在相同冲洗液配方条件下,利用砂床法测得的滤失量(侵入量)和API测得的滤失量结果差别较大,几乎无规律可循,这说明冲洗液砂床滤失量(侵入量)与API滤失量没有直接对应关系。砂床实验是评价冲洗液封堵性能好坏的重要依据。

(2)砂床实验及抗温实验表明:2号和4号成膜封堵剂在6种成膜封堵剂中封堵性能最好,且最优加量均为2%;它们在100℃时抗温性能较好,可以满足深部勘探对冲洗液体系抗温性能的要求。

(3)冲洗液中膨润土含量及处理剂是影响冲洗液封堵性能的2个因素:膨润土含量越高,冲洗液封堵性能越好,加入聚合物、降滤失剂等处理剂可以提高冲洗液的封堵性能。

参考文献(References):

- [1] 曹新志,张旺生,孙华山.我国深部找矿研究进展综述[J].地质科技情报,2009,28(2):104-108.
CAO Xinzhi, ZHANG Wangsheng, SUN Huashan. Progress in the study of deep exploration in China[J]. Geological Science and Technology Information, 2009,28(2):104-108.
- [2] 智超,张玉成,陈玉峰,等.深部找矿研究进展综述[J].地质学刊,2014,38(4):658-661.
ZHI Chao, ZHANG Yucheng, CHEN Yufeng, et al. Progress in the study of deep mineral prospecting[J]. Journal of Geology, 2014,38(4):658-661.
- [3] 郑文龙,乌效鸣,许洁,等.中国深部岩心钻探钻井液技术应用现状及研究方向探讨[J].地质与勘探,2019,55(3):826-832.
ZHENG Wenlong, WU Xiaoming, XU Jie, et al. Application situation and focused research of drilling fluid technology in deep core drilling projects of China[J]. Geology and Exploration, 2019,55(3):826-832.
- [4] 胡继良,陶士先.深部地质钻探钻井液体系设计因素及其分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):17-21.
HU Jiliang, TAO Shixian. Design factors of drilling fluid system for deep geological drilling and analysis[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(4):17-21.
- [5] 吴若宁,熊汉桥,苏晓明,等.成膜封堵技术室内实验研究[J].油气藏评价与开发,2018,8(6):58-69.
WU Ruoning, XIONG Hanqiao, SU Xiaoming, et al. Research on indoor experiment of film formation and plugging technology[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2018,8(6):58-69.
- [6] 徐同台,卢淑芹,何瑞兵,等.钻井液用封堵剂的评价方法及影响因素[J].钻井液与完井液,2009,26(2):60-68.
XU Tongtai, LU Shuqin, HE Ruibing, et al. Methods for evaluating drilling fluid sealing and plugging agents and the influential factors[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2009,26(2):60-68.
- [7] 杨立国.成膜钻井液理论及应用技术研究[D].大庆:东北石油大学,2011.
YANG Ligu. Research on the theory of membrane drilling fluid and its applied technology[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2011.
- [8] 孙金声,唐继平,张斌,等.几种超低渗透钻井液性能测试方法[J].石油钻探技术,2005,33(6):25-27.
SUN Jinsheng, TANG Jiping, ZHANG Bin, et al. Methods for testing properties of ultra-low permeable drilling fluid[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2005,33(6):25-27.
- [9] 赵雄虎,崔胜元.砂床法评价钻井液滤失性可行性研究[J].西部探矿工程,2009(5):83-85.
ZHAO Xionghu, CUI Shengyuan. Feasibility study on evaluation of drilling fluid filtration by sand bed method[J]. West-China Exploration Engineering, 2009(5):83-85.
- [10] 许洁,乌效鸣,契霍金V.F.,等.超深井240℃高温钻井液室内研究[J].中国矿业,2015,24(4):134-137.
XU Jie, WU Xiaoming, Chikhotkin V.F., et al. Laboratory study on drilling fluids resisting 240℃ temperature for ultra-high well[J]. China Mining Magazine, 2015,24(4):134-137.
- [11] 王关清,陈元顿,周煜辉.深探井和超深探井钻井的难点分析和对策探讨[J].石油钻采工艺,1998,20(1):1-7.
WANG Guanqing, CHEN Yuandun, ZHOU Yihui. Difficulties analysis and countermeasures of deep exploration well and ultra deep exploration well drilling[J]. Oil Drilling & Production Technology, 1998,20(1):1-7.
- [12] 赵芙蕾,孙玉学.抗220℃高温钻井液体系的室内研究[J].科学技术与工程,2011,11(2):335-339.
ZHAO Fulei, SUN Yuxue. Laboratory study on 220℃ high temperature drilling fluid system[J]. Science Technology and Engineering, 2011,11(2):335-339.
- [13] 郑秀华.钻井液性能评价测试及设计指导书[Z].北京:中国地质大学,2005.
ZHENG Xiuhua. Drilling fluid performance evaluation test and design guide[Z]. Beijing: China University of Geosciences, 2005.
- [14] 编写组.钻井工程理论与技术[M].东营:中国石油大学出版社,2006.
Writing Group. Drilling engineering theory and technology[M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2006.
- [15] 中油长城责任有限公司钻井液分公司.钻井液技术手册[M].北京:石油工业出版社,2005.
Drilling Fluid Branch of CNPC Great Wall Co., Ltd. Drilling fluid technical manual[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005.

(编辑 周红军)