

松散破碎地层钻进高吸水树脂堵漏剂合成与评价

杨宽才^{1,2}, 孟燕杰^{1,2}, 许权威³, 杨现禹^{3*}, 蔡记华^{3*}

(1. 河南省第四地质勘查院有限公司, 河南 郑州 450001; 2. 河南省小口径钻探工程技术研究中心, 河南 郑州 450001;
3. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:地质钻探过程中面临着诸多挑战,其中井漏问题尤为突出,特别是在破碎地层中,井漏问题的发生频次更高。因此,研制适用于松散破碎地层的钻井液体系维持破碎地层快速钻进具有重要的实际意义。通过优化实验确定了适用于破碎地层堵漏的惰性材料及配方,采用水溶液聚合法制备了高吸水树脂(Super Absorbent Polymer, SAP), 0~100℃条件下的吸水倍数在100倍以上;使用无渗透钻井液漏失仪对SAP的粒径及浓度进行了优选,0.3%的4~8目SAP为最优选择,最终优选出破碎地层堵漏钻井液体系配方:水+8%膨润土+0.1%黄原胶+0.6%HV-CMC+2%核桃壳+1%云母片+2%特种纤维+0.3%的4~8目SAP。该钻井液体系能够完全封堵10~20目砂粒充填床,在0.69 MPa压力下漏失量为0 mL,在0~60℃范围内具有良好的流变稳定性,表观粘度25~48 mPa·s、动切力6~18 Pa、API滤失量为7~11 mL、润滑系数0.311,在松散破碎地层堵漏中体现出了良好的应用前景。

关键词:破碎地层;惰性材料;高吸水树脂;堵漏剂

中图分类号:P634.4 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2024)06-0039-09

Synthesis and evaluation of highly absorbent resin plugging agent for drilling in loose broken formation

YANG Kuancai^{1,2}, MENG Yanjie^{1,2}, XU Quanwei³, YANG Xianyu^{3*}, CAI Jihua^{3*}

(1. Henan No.4 Geological Survey Institute Co., Ltd., Zhengzhou Henan 450001, China;

2. Henan Provincial Engineering and Technology Research Centre for Small Diameter Drilling, Zhengzhou Henan 450001, China;

3. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: There are many challenges in the process of geological drilling, among which the problem of leakage is particularly prominent, especially in fractured formations, which occurs more frequently. Therefore, it is of great practical significance to develop a drilling fluid system suitable for loose broken formation to maintain rapid drilling in broken formation. The inert material and formula suitable for plugging in the broken formation were determined by optimization experiments. Meanwhile, Super Absorbent Polymer (SAP) was prepared by aqueous solution polymerization, and the water absorption ratio was more than 100 times under the condition of 0~100℃. The non-permeable drilling fluid loss instrument was used to optimize the particle size and concentration of SAP, and 0.3% of 4~8 mesh SAP was the best choice. Finally, the formula of the drilling fluid system for plugging the broken formation was optimized: water+8%bentonite+0.1%xanthan gum+0.6%HV-CMC+2%walnut shell+1%mica

收稿日期:2024-07-17; 修回日期:2024-10-04 DOI:10.12143/j.ztgc.2024.06.005

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目“纳米颗粒钻井液离散元流固耦合模拟与页岩孔隙封堵机理研究”(编号:42002311)

第一作者:杨宽才,男,汉族,1983年生,高级工程师,勘查技术与工程专业,主要从事勘查工程研究工作,河南省郑州市高新技术开发区科学大道81号地质科技大厦12楼1209室,157099086@163.com。

通信作者:杨现禹,男,汉族,1992年生,副教授,地质工程专业,博士,从事钻井液与井壁稳定、离散元流体动力学等方面的教学与研究工作,湖北省武汉市洪山区鲁磨路388号,xy@cug.edu.cn。

蔡记华,男,汉族,1978年生,教授,博士生导师,博士,从事钻井液与完井液等领域的教学与研究工作,湖北省武汉市洪山区鲁磨路388号,caijih@cug.edu.cn。

引用格式:杨宽才,孟燕杰,许权威,等.松散破碎地层钻进高吸水树脂堵漏剂合成与评价[J].钻探工程,2024,51(6):39-47.

YANG Kuancai, MENG Yanjie, XU Quanwei, et al. Synthesis and evaluation of highly absorbent resin plugging agent for drilling in loose broken formation[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(6): 39-47.

sheet+2% specialty fiber+0.3% SAP of 4~8 mesh. The drilling fluid system can completely plug the sand filling bed of 10~20 mesh, the loss is 0 mL at 0.69MPa pressure, and has good rheological stability in the range of 0~60°C. The apparent viscosity is between 25~48mPa·s, the dynamic shear force is 6~18 Pa, the API filtration loss is 7~11mL, and the lubrication coefficient is 0.311. It shows a good application prospect in plugging loose broken strata.

Key words: broken formation; inert material; highly absorbent resin; loss control agent

0 引言

随着我国社会经济的发展,对矿产资源的开发和建筑工程的需求显著增长,地质钻探技术得到了广泛地应用^[1-3]。然而,钻探过程中会遇到复杂多变的地质条件,特别是松散破碎地层,其井漏问题尤为突出,要解决这些问题非常困难,主要是由于破碎地层带具有破碎、不完整、胶结性差、裂缝发育等特点(参见图1)。这就对钻井液的性能提出了更高的要求。为解决这一难题,向钻井液体系中添加堵漏材料是一个有效的方法。由于松散破碎地层的漏失层段较多,其承压能力相对较低,因此堵漏材料必须能够有效地构建起堵漏骨架并发挥良好的承压作用。同时,为了增强孔壁的稳定性的,堵漏材料还需具备出色的韧性和胶结能力^[4-6]。



图1 河南省灵宝市崤山矿区破碎地层岩心

Fig.1 Broken stratigraphic core from Banshan mine, Lingbao City, Henan Province, China

在钻探工程实践中,吸水膨胀类堵漏材料运用非常广泛,是由具有吸水性质的材料单独使用或与其他堵漏材料复配形成的堵漏材料,如预交联凝胶颗粒等^[7]。吸水膨胀类堵漏材料的作用机理是在进入裂缝后吸取溶液中的水而引起体积膨胀,形成具有良好弹性和韧性的充填层,从而堵塞裂缝。图2为吸水树脂作用机理示意图。

夏海英等^[8]使用丙烯酸(AA)和丙烯酰胺(AM)为主要合成材料,制成了一种新型膨胀型堵漏剂GCY-X。该堵漏剂具备高吸水性、高抗温性,在室温下钻井液中吸水倍数达到20倍。翟科军等^[9]使用丙烯酸、丙烯酰胺、2-丙烯酰胺-2-甲基丙烷磺酸作为单体,N,N'-亚甲基双丙烯酰胺作为交联剂,过硫酸铵-亚硫酸氢钠为引发剂,合成了一种新的吸水膨胀材料。该材料在淡水和6%氯化钠溶液中6h吸液倍率分别达102~234 g/g和17~23 g/g。欧阳传湘等^[10]以丙烯酰胺、丙烯酸和二甲基二丙烯酰胺基磺酸钠为共聚单体,以过硫酸铵为引发剂,XNWJ-3为交联剂,SP-80为分散剂,采用反相悬浮聚合法合成了一种具有良好膨胀性能的新型耐温微球堵漏剂。该耐温微球具有较强的耐温耐盐性,与钻井液配伍性好。

当前研究主要集中在堵漏剂的多样合成方法上,对于研制适用松散破碎地层的钻井液体系的研究较少。本文基于水溶液聚合法,制备了一种高吸水树脂,研究了不同惰性材料的堵漏配方和不同粒

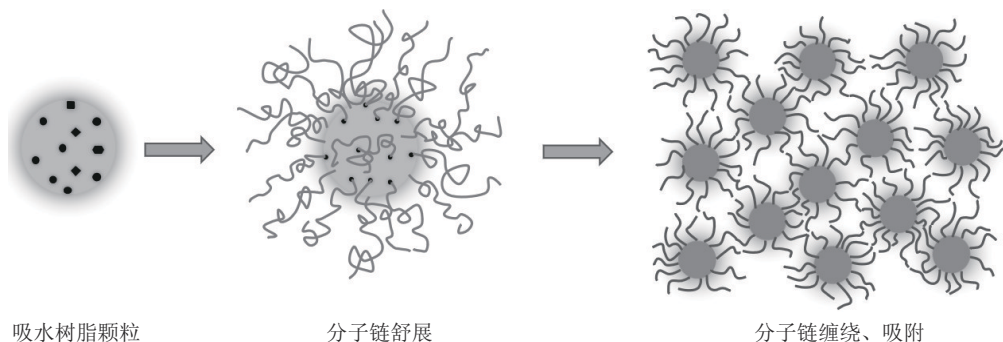


图2 吸水树脂在漏层中的作用机理示意

Fig.2 Schematic diagram of the mechanism of water absorbing resin in the leakage layer

径、浓度的高吸水树脂对钻井液堵漏性能的影响规律,提取了一套含惰性堵漏材料、高吸水树脂的堵漏性能最优的钻井液体系。

1 基浆配方的确定

基浆配制:使用8%膨润土提高基浆的粘度和切力,并用0.5%碳酸钠进行充分水化分散。使用HV-CMC和黄原胶作为提粘处理剂,同时HV-CMC也具有降滤失作用。

基浆配方初步定为:水+8%膨润土+0.5%碳酸钠+0.1%黄原胶+0.6%HV-CMC。对该基浆做基础性能测试,结果如表1所示。

表1 基浆基础性能

参数	YP/Pa	PV/(mPa·s)	AV/(mPa·s)	FL _{API} /mL
基浆	10.73	18	28.5	8.4

视地层破碎程度,一般强破碎地层的表观粘度的经验值=28~35 mPa·s^[11],同时基浆切力过高时会导致难以通过狭窄的地层通道,影响钻井速度和安全。综上所述,基浆选择上述配方能够满足需求。

2 惰性堵漏配方的优选

惰性材料堵漏是指采用不同形状和大小的惰性材料,将其按不同比例在基浆中混合,在孔隙内通过桥塞效应达到封堵。根据材料形状,惰性堵漏材料可以分为3类:

(1)纤维状堵漏材料:常用的纤维状堵漏剂有毛发、羽毛、木屑等。

(2)薄片状堵漏材料:云母片、塑料薄片等。

(3)颗粒状堵漏材料:坚果壳、强度较高的矿物细粒等。

2.1 惰性堵漏材料的优选

实验采用ZNS-5A型中压滤失仪进行惰性堵漏材料的优选。装置利用压紧在下端盖的封板来模拟漏失地层。通过改变不同尺寸的密封板,可以模拟各种类型的漏失孔道。滤失仪罐体容量为350 mL,本文进行封堵实验时,认定漏失量<150 mL即为封堵成功,反之即封堵失败。

桥堵材料应根据不同的漏失层情况选择级配

和浓度,颗粒状、薄片状和纤维状的堵漏材料复配比一般为2:1:1^[12],使之互补,以增强堵漏效果。根据文献调研,颗粒状堵漏材料采用核桃壳,薄片状堵漏材料采用贝壳、云母片,纤维状堵漏材料采用锯末、特种纤维、棉籽。

惰性堵漏材料优选流程如下:对惰性堵漏材料进行复配,对薄片状堵漏材料和纤维状堵漏材料进行优选;对优选后的惰性堵漏材料进行复配,探究不同浓度的惰性堵漏材料对于表面封堵的影响。

具体设定了3种配方,分别是:①2%核桃壳+1%贝壳+1%锯末;②2%核桃壳+1%贝壳+1%特种纤维;③2%核桃壳+1%贝壳+1%棉籽。实验结果见表2。

表2 添加不同纤维状惰性材料堵漏配方的堵漏实验结果
Table 2 Results of plugging experiments with the addition of different fibrous inert material plugging formulations

堵漏配方	封板尺寸/型号	实验压力/MPa	漏失量/mL
①2%核桃壳+1%贝壳+1%锯末	1 mm缝板	0.69	130
②2%核桃壳+1%贝壳+1%特种纤维	1 mm缝板	0.69	100
③2%核桃壳+1%贝壳+1%棉籽	1 mm缝板	0.69	全部漏失

结果表明:纤维状堵漏材料选择锯末、特种纤维的配方对1 mm缝板能达到有效封堵,特种纤维的堵漏效果优于锯末。后续将采用特种纤维作为纤维状堵漏材料进行实验。

对薄片状堵漏材料进行优选,设定了两种配方分别是:①2%核桃壳+1%贝壳+1%特种纤维;②2%核桃壳+1%云母片+1%特种纤维。实验结果见表3。

表3 添加不同薄片状惰性材料堵漏配方的堵漏实验结果
Table 3 Results of plugging experiments with the addition of different sheet-like inert material plugging formulations

堵漏配方	封板尺寸/型号	实验压力/MPa	漏失量/mL
①2%核桃壳+1%贝壳+1%特种纤维	1 mm缝板	0.69	95
②2%核桃壳+1%云母片+1%特种纤维	1 mm缝板	0.69	45

结果表明:薄片状堵漏材料选择贝壳、云母片的配方对1 mm缝板均能达到有效封堵。云母片的堵漏效果优于贝壳。后续将采用云母片作为薄片状堵漏材料进行实验。

综合上述研究,优选出的惰性堵漏材料为:核桃壳、云母片、特种纤维。

2.2 惰性堵漏配方的优选

实验采用无渗透滤失仪FA进行惰性堵漏配方

的优选。装置利用筒体内的砂床来模拟漏失地层。通过使用不同目数的砂子组成砂床,可以模拟各种孔径的漏失孔道。本文使用10~20目砂子进行实验。

首先设定了3种配方对核桃壳的添加量进行优选,分别是:①2%核桃壳+1%云母片+1%特种纤维;②3%核桃壳+1%云母片+1%特种纤维;③4%核桃壳+1%云母片+1%特种纤维。实验数据见表4。

表4 添加不同含量核桃壳堵漏实验结果

Table 4 Adding different content of walnut shell plugging experimental results

堵漏配方	基浆体积/mL	砂床体积/mL	实验压力/MPa	封堵时间	漏失量/mL
①2%核桃壳+1%云母片+1%特种纤维	300	200	0.69	迅速漏失	200
②3%核桃壳+1%云母片+1%特种纤维	300	200	0.69	迅速漏失	175
③4%核桃壳+1%云母片+1%特种纤维	300	200	0.69	封堵成功	18

结果表明:随核桃壳添加量增加,漏失量呈现下降的趋势。核桃壳添加量达到4%时,堵漏效果最佳。根据后续实验可知,本次实验使用的特种纤维含量较低。根据实验结果推知,堵漏配方中纤维类堵漏材料含量较低时,可以通过增加颗粒类堵漏材料添加量提升钻井液体系的堵漏性能。

通过设定6种配方对核桃壳和云母片的添加量进行优选,分别是:①2%核桃壳+1%云母片+1%特种纤维;②2%核桃壳+2%云母片+1%特种纤维;③3%核桃壳+1%云母片+1%特种纤维;④3%核桃壳+2%云母片+1%特种纤维;⑤4%核桃壳+1%云母片+1%特种纤维;⑥4%核桃壳+2%云母片+1%特种纤维。实验结果见图3。

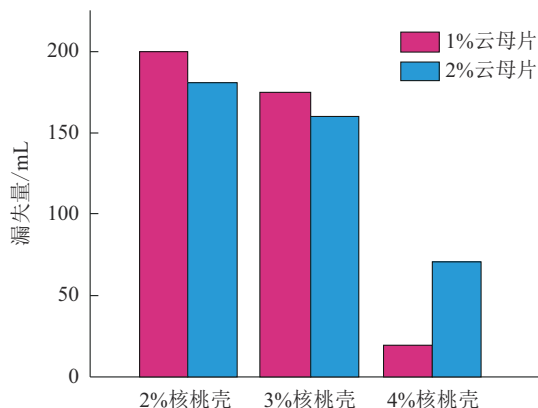


图3 不同含量核桃壳和云母片的漏失量

Fig.3 Leakage of walnut shells and mica flakes with different contents

结果表明:当云母片含量一定,随着核桃壳的含量增加,相应的堵漏材料配方漏失量呈现下降的趋势。核桃壳添加量达到4%时,堵漏效果最佳。

通过设定6种配方对特种纤维的添加量进行优选,分别是:①2%核桃壳+1%云母片+1%特种纤维;②2%核桃壳+1%云母片+2%特种纤维;③3%核桃壳+1%云母片+1%特种纤维;④3%核桃壳+1%云母片+2%特种纤维;⑤4%核桃壳+1%云母片+1%特种纤维;⑥4%核桃壳+1%云母片+2%特种纤维。实验结果见图4。

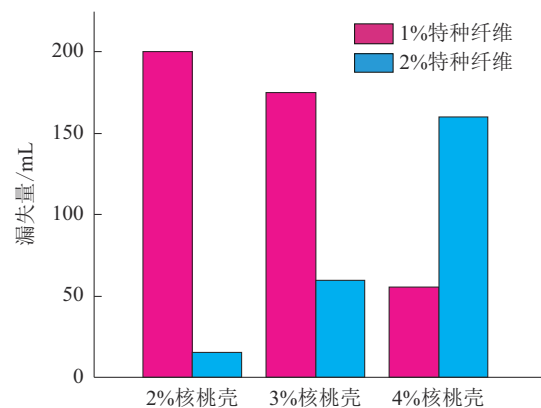


图4 不同含量特种纤维的漏失量

Fig.4 Leakage of specialty fibers with different contents

结果表明:特种纤维含量为1%时,随核桃壳含量增加,对应的堵漏配方漏失量呈现下降的趋势,核桃壳添加量达到4%时,堵漏效果相对最好;而特

种纤维添加量为2%时,随核桃壳添加量增加,对应的堵漏配方漏失量呈现上升趋势,核桃壳添加量为2%时,堵漏效果最佳,漏失量只有15 mL。综合上述研究结果,最终确定惰性材料配方:2%核桃壳+1%云母片+2%特种纤维。

3 高吸水树脂的合成制备、表征与优选

3.1 高吸水树脂的合成制备

选择水溶液聚合法制备高吸水树脂SAP^[13]。由丙烯酸(AA)、丙烯酰胺(AM)、膨润土、N,N'-亚甲基双丙烯酰胺、过硫酸钾和亚硫酸氢钠等材料合成,制备高吸水树脂,具体流程见图5。反应30~60 min,待反应终止取出产品切割成小块,在120℃下烘干12 h后粉碎,即制得产品,产品实物见图6。

3.2 高吸水树脂的表征

SAP分子中含有大量具备吸水性能的官能团和具备一定的交联度,因此具备高吸水性和高保水性,这为SAP成为堵漏材料提供了依据。钻井液体系因为使用场景的不同其温度含盐率都会有一定程度的变化。下面将对SAP的吸水能力、耐温性和耐盐性进行测试。

3.2.1 吸水能力测定

准确称量质量为 m_0 的SAP,将其放入烧杯中并加入一定量体积的水,在室温下静置24 h,使其充分吸水饱和。饱和后用筛网过筛,静置1 h确保除去表面多余的水,称量膨胀后的SAP质量 m_1 。依据下面的公式计算SAP的吸水倍数:

$$Q = \frac{(m_1 - m_0)}{m_0} \quad (1)$$

多次实验测得室温下SAP吸水倍数 Q 为105。

3.2.2 耐温性测定

使用恒温水浴锅对SAP的耐温性进行评价,分别测量SAP在25~100℃情况下的吸水倍数 Q ,实验数据见图7。

由图7可知,在25~100℃内,SAP的吸水倍数随着温度的升高呈增加趋势。25℃时,吸水倍数为105;在95℃时,其吸水倍数为132,增长率达到25.7%。在100℃内,SAP的吸水倍数处于较稳定的水平(100倍以上),表明了SAP具有较强的耐温性。

3.2.3 耐盐性测定

准确称量质量为1 g的SAP,将其分别加入质

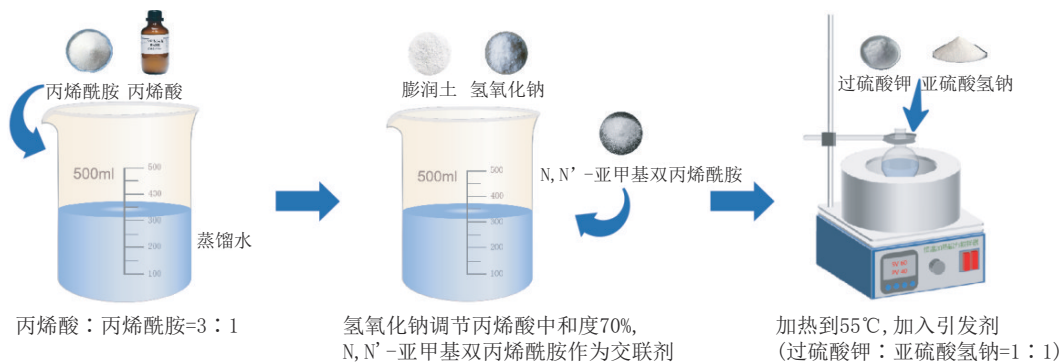


图5 高吸水树脂合成流程

Fig.5 Flow chart for synthesis of highly absorbent resins



图6 高吸水树脂实物

Fig.6 Physical picture of high absorbent resin

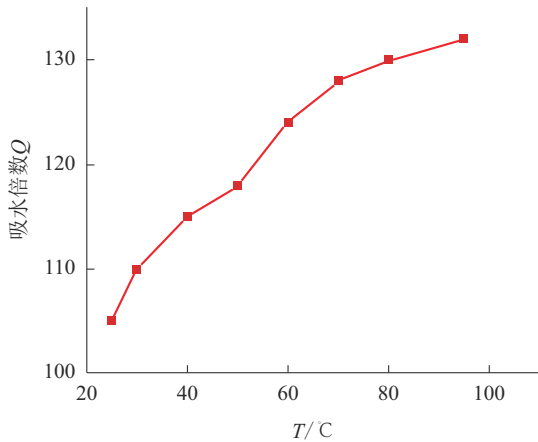
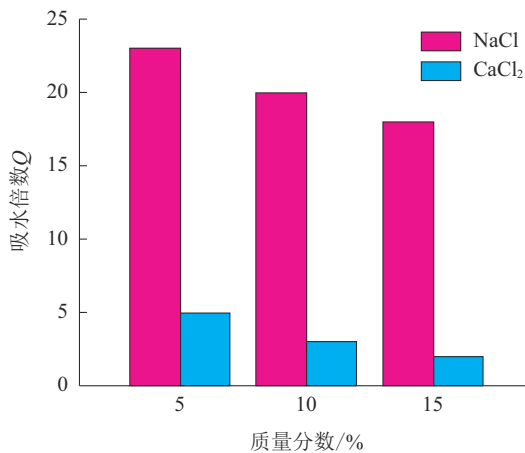


图7 耐温性测试

Fig.7 Temperature resistance test

量分数为5%、10%、15%的NaCl溶液和CaCl₂溶液中,在室温下静置6h,测量其吸水倍数。实验数据见图8。

图8 不同质量分数NaCl、CaCl₂溶液吸水倍数对比Fig.8 Comparison of water absorption of NaCl and CaCl₂ solutions of different mass fractions

随溶液中盐浓度升高,相较于在水中,SAP的吸水倍数均产生很大程度降低。经分析认为随盐溶液浓度增大,其中电离出的阳离子与SAP自身结构中的阳离子产生了浓度差从而形成的渗透压逐渐减小,使得平衡状态下吸水倍数小于在水中的情况,但在5%、10%、15%的NaCl溶液中吸水倍数均大于15,这表明SAP的抗盐能力较好。而相同浓度下,SAP在CaCl₂溶液中的吸水倍数远小于在NaCl溶液中的吸水倍数,主要原因可能是Ca²⁺是二价阳离子在溶液中易与SAP形成螯合剂^[14-15],从而导致

吸水倍数更低,表明SAP的抗钙能力一般。

3.3 高吸水树脂的优选

3.3.1 实验设计

通过前期的实验,已经优选得到了一套钻井液堵漏体系。本节的目的是基于上述实验结果,探究不同粒径、浓度的SAP对钻井液堵漏性能的影响,为制备一套含SAP的堵漏钻井液体系提供依据。通过研磨、筛分获得了3种粒径的SAP,分别为:①16~40目;②8~16目;③4~8目。选用无渗透滤失仪FA漏失量为15 mL的惰性堵漏配方+原始基浆作为测定SAP堵漏性能的基浆[#],基浆[#]配方为:水+8%膨润土+0.1%黄原胶+0.6%HV-CMC+2%核桃壳+1%云母片+2%特种纤维。

3.3.2 实验步骤

对16~40目、8~16目和4~8目的SAP堵漏性能进行评价,分别设定了3个浓度的SAP,分别是:①0.3%;②0.5%;③1%。实验结果见表5。

表5 添加不同目数和含量SAP堵漏实验结果

Table 5 Addition of different mesh and content of SAP leakage plugging experimental results

SAP目数/目	SAP浓度/%	基浆体积/mL	砂床体积/mL	实验压力/MPa	封堵状态	漏失量/mL
基浆 [#]		300	200	0.69	封堵成功	15
16~40	0.30	300	200	0.69	迅速漏失	176
16~40	0.50	300	200	0.69	迅速漏失	160
16~40	1.00	300	200	0.69	迅速漏失	158
8~16	0.30	300	200	0.69	迅速漏失	160
8~16	0.50	300	200	0.69	迅速漏失	152
8~16	1.00	300	200	0.69	迅速漏失	157
4~8	0.30	300	200	0.69	封堵成功	0
4~8	0.50	300	200	0.69	封堵成功	2
4~8	1.00	300	200	0.69	封堵成功	6

添加16~40目和8~16目SAP的基浆[#]均迅速漏失,相比基浆[#]漏失量大幅度增加,平均漏失量增加率达到了970%。经分析,认为SAP粒径太小,难以对孔隙进行有效封堵,且树脂吸水后表面光滑,可能起到润滑的作用,从而使堵漏性能变差。而添加了4~8目SAP的基浆[#],相比基浆[#]漏失量均有所降低,平均漏失量降低率达到了82.2%,选择0.3%的4~8目SAP能完全封堵上,漏失量为0,实验过

程见图9。根据实验结果分析,判断为SAP粒径达到堵漏要求,能够对孔隙进行有效封堵。同时SAP的含量不宜过多,这是由于过量的SAP会堆积在砂

床表层上,并阻碍惰性堵漏材料进入裂隙中,导致惰性堵漏材料无法发挥出作用。

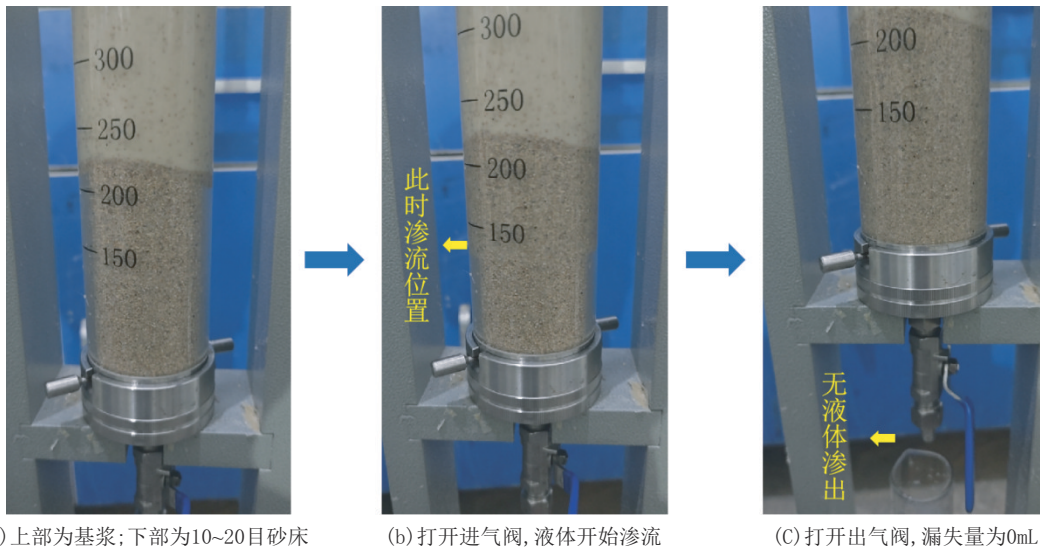


图9 基浆+0.3%的4-8目SAP的无渗透滤失实验过程

Fig.9 Diagram of the experimental process of non-permeable filtration loss of base slurry+0.3% of 4-8 mesh SAP

4 破碎地层堵漏钻井液体系性能评价

基于上述实验结果复配出了适用于破碎地层小孔径钻孔的钻井液体系,对该配方体系的流变性、抑制性、润滑性等进行评价。

4.1 体系配方与基本性能评价

钻井液体系配方为:水+8%膨润土+0.1%黄原胶+0.6%HV-CMC+2%核桃壳+1%云母片+2%特种纤维+0.3%的4~8目SAP。

对钻井液在0、4、25、60℃这4个温度下预处理16h后评价其基础性能,实验结果见图10。

由图10可知,随着预处理的温度升高,钻井液体系的表观粘度(AV)逐渐降低,但稳定在25~48 mPa·s之间;动切力(YP)也有所下降,相较于0℃,60℃处理后YP下降率达到66.7%,但也能达到6 Pa;滤失量 FL_{API} 稳定在7~11 mL较低水平,表明该体系降滤失效果较好。

4.2 润滑性评价

采用EP-2型润滑仪测量钻井液体系的润滑性。首先使用去离子水对仪器标定得到校正因子CF,再测量钻井液中滑块在444.8 N作用力下的仪表读数,通过下列公式计算钻井液体系的摩阻系数 μ :

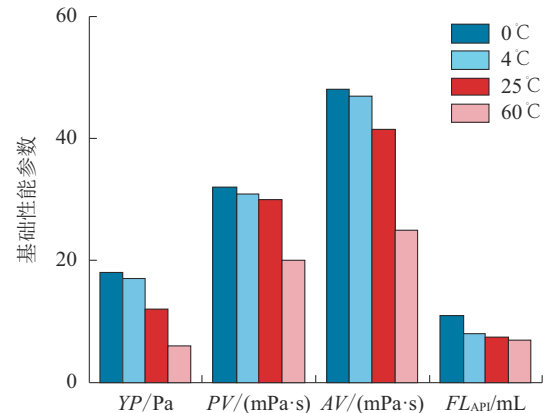


图10 钻井液在不同温度处理后基础性能对比

Fig.10 Comparison of base performance of drilling fluids after different temperature treatments

$$\mu = \frac{Z \cdot CF}{100} \quad (2)$$

式中: μ ——摩阻系数; Z ——仪表读数; CF ——校正因子。

根据实验测得数据计算得到,校正系数 $CF=0.950$,钻井液体系的润滑系数 $\mu=0.31$ 。说明钻井液体系润滑性较好,满足钻井要求。

4.3 接触角评价

接触角实验结果见表6。

表6 接触角实验结果
Table 6 Contact angle test results

参数项	岩样	左接触角/(°)	右接触角/(°)	平均接触角/(°)
去离子水	灰岩	90.25	90.75	90.5
	页岩	92.50	90.50	91.25
钻井液体系	灰岩	90.00	88.50	89.25
	页岩	88.00	87.00	87.5

根据实验数据,钻井液与岩样的接触角均略小于去离子水与岩样的接触角。表明钻井液处理剂对体系的润湿性没有明显的影响,钻井液体系稳定,钻井液接触角接近90°,证明该钻井液体系不亲油不亲水,能够防止破碎地层岩石水化分散带来的井壁失稳问题。

4.4 抗钙性能评价

高钙度的环境会对钻井液性能造成破坏,这是由于钙离子容易与钻井液中的某些成分发生化学反应,从而形成沉淀^[16-17]。将基浆分为未加入SAP和加入0.3% SAP两种情况,并分别添加不同浓度的CaCl₂,测试其滤失量,实验结果见图11。基浆中加入0.3% SAP后的滤失量均小于未加入SAP的滤失量,这表明加入了SAP的钻井液体系具有一定的抗钙能力。

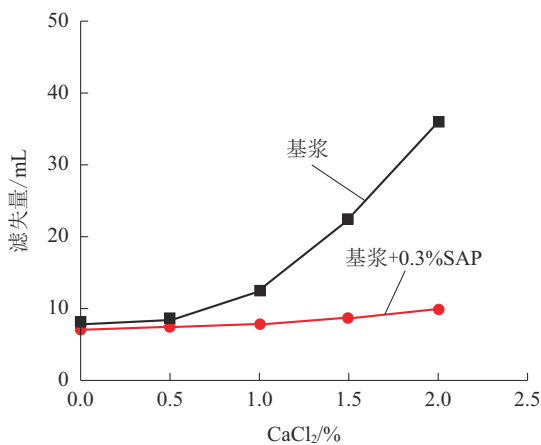


图11 不同浓度CaCl₂中基浆未加入SAP与加入0.3% SAP的滤失量

Fig.11 Filtration loss of basal slurry without SAP and with 0.3% SAP in different concentrations of CaCl₂

5 结论

(1)分别使用中压滤失仪ZNS-5A和无渗透钻井液滤失仪FA对钻井液体系中的惰性堵漏材料和惰性堵漏配方进行了优选评价实验。优选出的惰性堵漏材料为:核桃壳、云母片、特种纤维;优选出的惰性堵漏配方为2%核桃壳+1%云母片+2%特种纤维,无渗透钻井液滤失仪FA测得漏失量为15 mL。

(2)选择使用水溶液聚合法,以丙烯酸、丙烯酰胺为单体,过硫酸钠、亚硫酸氢钠为引发剂,制备SAP,0~100 °C条件下的吸水倍数在100倍以上。对高吸水树脂进行表征,并使用无渗透滤失仪FA对不同浓度和粒径的SAP的堵漏性能进行优选评价实验,最终优选出:0.3%的4~8目SAP。

(3)实验优选出松散破碎地层堵漏钻井液体系配方为:水+8%膨润土+0.1%黄原胶+0.6%HV-CMC+2%核桃壳+1%云母片+2%特种纤维+0.3%的4~8目SAP。该钻井液体系能够完全封堵10~20目砂粒充填床,在0.69 MPa压力下漏失量为0 mL,在0~60 °C范围内具有良好的流变稳定性:表观粘度25~48 mPa·s、动切力6~18 Pa、API滤失量7~11 mL、润滑系数0.31。

参考文献 (References):

- [1] 孙建华,刘秀美,王志刚,等.地质钻探孔内复杂情况和孔内事故种类梳理分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(1):4-9.
SUN Jianhua, LIU Xiumei, WANG Zhigang, et al. Classification and analysis on complex cases and accidents in geological drilling holes[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(1):4-9.
- [2] 姚宁平,王毅,姚亚峰,等.我国煤矿井下复杂地质条件下钻探技术与装备进展[J].煤田地质与勘探,2020,48(2):1-7.
YAO Ningping, WANG Yi, YAO Yafeng, et al. Progress of drilling technologies and equipments for complicated geological conditions in underground coal mines in China[J]. Coal Geology & Exploration, 2020,48(2):1-7.
- [3] 侯贺晟,王成善,张交东,等.松辽盆地大陆深部科学钻探地球科学研究进展[J].中国地质,2018,45(4):641-657.
HOU Hesheng, WANG Chengshan, ZHANG Jiaodong, et al. Deep continental scientific drilling engineering in Songliao Basin: progress in earth science research[J]. Geology in China, 2018,45(4):641-657.
- [4] 彭博一,于培志.破碎带地层钻探化学凝胶护壁堵漏技术的研究与应用[J].钻探工程,2022,49(1):64-71.
PENG Boyi, YU Peizhi. Research and application of chemical gel wall protection and plugging technology in fractured zone for-

- mation drilling[J]. *Drilling Engineering*, 2022, 49(1):64-71.
- [5] 王方博. 川西海相破碎地层防塌钻井液技术研究及应用[J]. *钻探工程*, 2021, 48(9):54-63.
WANG Fangbo. Application of anti-collapse drilling fluid technology in marine broken formation in western Sichuan[J]. *Drilling Engineering*, 2021, 48(9):54-63.
- [6] 孙金声, 白英睿, 程荣超, 等. 裂缝性恶性井漏地层堵漏技术研究进展与展望[J]. *石油勘探与开发*, 2021, 48(3):630-638.
SUN Jinsheng, BAI Yingrui, CHENG Rongchao, et al. Research progress and prospect of plugging technologies for fractured formation with severe lost circulation[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2021, 48(3):630-638.
- [7] 杨现禹, 蔡记华, 蒋国盛, 等. 钻井液水活度对页岩井壁稳定性影响的实验研究——以秀山龙马溪组页岩为例[J]. *钻探工程*, 2022, 49(3):1-12.
YANG Xianyu, CAI Jihua, JIANG Guosheng, et al. Experimental study on the effect of water activity of drilling fluid on shale wellbore stability—Taking Xiushan Longmaxi shale as an example[J]. *Drilling Engineering*, 2022, 49(3):1-12.
- [8] 夏海英, 周沙, 兰林, 等. GCY-X 体膨胀堵漏剂的研制与性能评价新方法[J]. *钻井液与完井液*, 2011, 28(6):11-13.
XIA Haiying, ZHOU Sha, LAN Lin, et al. Study on development and new evaluation method of swelling LCM GCY-X[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2011, 28(6):11-13.
- [9] 翟科军, 范胜, 方俊伟, 等. 吸水膨胀树脂复合堵漏剂的研发与性能评价[J]. *油田化学*, 2021, 38(2):196-203.
ZHAI Kejun, FAN Sheng, FANG Junwei, et al. Development and evaluation of composite plugging agent of water-absorbent swelling resin[J]. *Oilfield Chemistry*, 2021, 38(2):196-203.
- [10] 欧阳传湘, 刘骛烜. 钻井液用耐温微球堵漏剂的研制及性能评价[J]. *科学技术与工程*, 2014, 14(32):201-205.
YANG Chuanxiang, LIU Aoxuan. Preparation and characterization of heat-resistant microsphere plugging agent used in drilling fluid[J]. *Science Technology and Engineering*, 2014, 14(32):201-205.
- [11] 乌效鸣, 蔡记华, 胡郁乐. 钻井液与岩土工程浆材[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2014.
WU Xiaoming, CAI Jihua, HU Yule. *Drilling Fluid and Geo-*
- technical Slurry Material* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2014.
- [12] 张洪利, 郭艳, 王志龙. 国内钻井堵漏材料现状[J]. *特种油气藏*, 2004, 11(2):1-2, 10.
ZHANG Hongli, GUO Yan, WANG Zhilong. Lost circulation materials in China[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2004, 11(2):1-2, 10.
- [13] 应春业, 高元宏, 段隆臣, 等. 新型吸水膨胀堵漏剂的研发与评价[J]. *钻井液与完井液*, 2017, 34(4):38-44.
YING Chunye, GAO Yuanhong, DUAN Longchen, et al. Development and evaluation of a new water swelling lost circulation material[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2017, 34(4):38-44.
- [14] 刘玲秀. 可生物降解高吸水树脂的制备[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2011.
LIU Lingxiu. Synthesis of biodegradable super absorbents[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2011.
- [15] 刘金华, 刘四海, 龙大清, 等. 明1井交联成膜与化学固结承压堵漏技术[J]. *石油钻探技术*, 2017, 45(2):54-60.
LIU Jinhua, LIU Sihai, LONG Daqing, et al. Strengthening plugging operations by combining cross-linked film and chemical consolidation in Well Ming-1[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2017, 45(2):54-60.
- [16] 李新亮, 段明, 邓正强, 等. 含笼状纳米粒子复合降滤失剂的制备与性能[J]. *油田化学*, 2023, 40(4):585-589.
LI Xinliang, DUAN Ming, DENG Zhengqiang, et al. Preparation and performance evaluation of composite fluid loss reducer containing caged nanoparticles[J]. *Oilfield Chemistry*, 2023, 40(4):585-589.
- [17] 王中华. 抗钙钻井液降滤失剂 P(AMPS-DEAM) 聚合物的合成[J]. *精细与专用化学品*, 2010, 18(4):24-28.
WANG Zhonghua. Synthesis of the P(AMPS-DEAM) polymer used as loss additive for anti-calcium drilling fluid[J]. *Fine and Specialty Chemicals*, 2010, 18(4):24-28.

(编辑 荐华)