

弹性体型胶粘材料在大庆油田裂缝性漏失中的应用研究

闫晶, 张坤, 郭栋, 栾广涵

(大庆钻探工程公司钻井工程技术研究院, 黑龙江 大庆 163413)

摘要:针对大庆油田深部裂缝性地层漏失严重、桥塞堵漏材料堵漏效果不佳的问题,引入了弹性体型胶粘材料,与桥塞堵漏材料复配,形成了热塑性复合堵漏技术,室内实验表明该技术可抗温160℃,承压5 MPa,封堵4 mm内裂缝。在大庆油田25口深井中进行了现场试验和应用,现场数据表明热塑性复合堵漏技术较桥塞堵漏技术堵漏效果更佳,堵漏成功率100%,承压7.5 MPa,未发生由于恶性漏失导致提前完钻的情况。

关键词:弹性体型胶粘材料;热塑性复合堵漏技术;深井;裂缝性地层;漏失

中图分类号:TE28;P634.8 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2024)02-0133-07

Application of elastic adhesive material in drilling fluid plugging of fractured formation in Daqing Oilfield

YAN Jing, ZHANG Kun, GUO Dong, LUAN Guanghan

(Drilling Engineering Technology Research Institute of Daqing Drilling Engineering Company,
Daqing Heilongjiang 163413, China)

Abstract: In view of the serious leakage and poor plugging effect of bridge plug plugging materials in deep fractured formations of Daqing Oilfield, the thermoplastic composite plugging technology was formed by introducing elastic adhesive materials and mixed with bridge plugging materials. Laboratory tests were carried out in 25 deep wells of Daqing Oilfield. The results show that the thermoplastic composite plugging technology has better plugging effect than that of the bridge plugging technology. The plugging success rate is 100%, the pressure-bearing is 7.5 MPa, and finishing drilling ahead of schedule due to vicious leakage has not been occurred.

Key words: elastomeric adhesive material; thermoplastic composite plugging technology; deep well; fractured formation; leakage

0 引言

随着油气勘探开发向深层、超深层、非常规、低品位等油气资源领域拓展,钻井工程面临更加苛刻的地质条件和诸多技术瓶颈,裂缝性地层漏失是最常见且难以治理的钻井工程复杂事故之一,已成为制约钻井工程的关键难题之一^[1]。

大庆油田深部裂缝性地层在钻井过程中经常发生渗漏、严重漏失甚至恶性漏失等复杂,常用的

堵漏浆的广谱性较差,只能针对某一固定尺寸裂缝具有较好的堵漏效果,难以同时封堵住多尺度裂缝,导致反复漏失和堵漏成功率低^[2-8],如XS9-平3井漏失严重,未钻达设计井深提前完钻;XS1-平4井在营城组水平段共发生了8次漏失,漏失钻井液764 m³,堵漏效果不理想而提前完钻;XS8平1井,钻遇营城组火山岩地层,共发生5次严重漏失及多次渗漏,累计损失钻井液1115 m³,损失时间长达502

收稿日期:2023-04-24;修回日期:2023-08-13 DOI:10.12143/j.ztgc.2024.02.018

基金项目:中国石油天然气股份有限公司科学技术研究与技术开发项目“大庆油气持续有效发展关键技术研究与应用”课题11“深层天然气高效开发技术研究与应用支撑项目”(编号:2016E-0211)

第一作者:闫晶,女,汉族,1983年生,高级工程师,油气井工程专业,硕士,从事钻井液、工作液研究工作,黑龙江省大庆市红岗区八百垅, yanjing568@163.com。

引用格式:闫晶,张坤,郭栋,等.弹性体型胶粘材料在大庆油田裂缝性漏失中的应用研究[J].钻探工程,2024,51(2):133-139.

YAN Jing, ZHANG Kun, GUO Dong, et al. Application of elastic adhesive material in drilling fluid plugging of fractured formation in Daqing Oilfield[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(2): 133-139.

h,延长了钻井周期。分析原因一是火山岩地层裂缝发育,二是使用桥塞堵漏材料与裂缝开度匹配性不佳,尤其针对严重漏失时堵漏成功率不高。

李伟等^[9]通过油田现场堵漏技术报告和文献调研,选取了全球超过2000口井的堵漏数据,统计的钻井工程现场中,用于严重漏失的控制和消除,使用频率最高的是桥塞堵漏材料,堵漏成功率仅为53%,而成功率最高的是复合堵漏材料86%,其次是聚合物凝胶堵漏材料81%。

孙金声等^[10]认为热塑性胶粘堵漏剂是颗粒形态随钻注入裂缝,具有使用方便、施工安全等优点,是未来最有前景的防漏堵漏材料之一。热塑性胶粘

材料属于功能胶粘材料的一种,是指在光、电、热和化学等环境作用下,通过范德华力、化学键或静电吸附等方式,将两种材料界面粘结起来得到的材料,具有优异的粘结性能,在石油、建筑和生物医药等领域应用广泛。依据功能胶粘材料的主要化学成分,常用的功能胶粘材料可分为热塑性、热固性、弹性体型和复合型4种类型,见表1^[10-15]。冀东油田合成了一种功能性胶粘堵漏剂(如纤维改性聚丙烯),可在大孔隙、大裂缝和溶洞等漏失通道架桥、粘结形成高强度整体封堵层,大幅提高封堵层承压能力,减小漏失量,有效控制恶性漏失^[10]。

表1 功能胶粘材料
Table 1 Functional adhesive material

序号	种类	特 点	常用材料
1	热塑性胶粘材料	由线性或支化未交联大分子组成的胶粘材料,其在常温下为固态,高温时可熔融成粘稠液体。粘结被粘物时,高分子链段可通过扩散、纠缠等作用润湿被粘物,随后冷却固化	乙烯醋酸乙烯(EVA)、聚乙烯(PE)和聚丙烯(PP)、聚氨酯、聚酰胺和聚丙烯酰胺等
2	热固性胶粘材料	指具有三维网状体型结构的交联聚合物,其耐热性和耐溶剂性能优于热塑性胶粘材料。有2种固化方法:一种是通过在线型结构的聚合物中加入固化剂或其他助剂进行固化;二是具有多种官能团的聚合物通过缩聚或聚合等方式进行固化	环氧树脂固化和橡胶硫化、脲醛树脂、酚醛树脂和聚氨酯等。学者通过引入动态共价键,构建了新型自愈合热固性胶粘材料
3	弹性体型胶粘材料	以橡胶、热塑性弹性体等为主体材料配制而成的胶粘材料,具有优异的韧性和伸长率,该材料在高温条件不会完全熔化,粘结强度相对较低,但柔韧性极佳	丁腈橡胶、热塑性弹性体和有机硅橡胶等。学者合成了具有自修复功能的弹性体胶粘材料
4	复合型胶粘材料	指由热固性、热塑性或弹性体型胶粘材料中的两种或多种具有不同化学基团的树脂组合构成的胶粘材料,该材料的性能通过不同类型的树脂来平衡,与其他胶粘材料相比具有更宽的温度适用范围	酚醛-丁腈橡胶、环氧-丁腈橡胶和环氧-聚氨酯等

因此,为了解决大庆油田徐家围子深部裂缝性地层钻井液漏失问题,将弹性体型胶粘材料与桥塞堵漏材料进行了复配,形成了热塑性复合堵漏技术,解决了常规桥塞堵漏材料在深部裂缝性地层堵漏效果较差的问题,提高了堵漏成功率。

1 室内实验

1.1 材料和仪器

室内实验材料包括架桥粒子、纤维材料和填充材料,其中架桥粒子包括碳酸钙、蛭石、云母、核桃壳;纤维材料包括长纤维、水镁石纤维、雷特纤维和双性纤维;填充材料包括橡胶粒、超细橡胶粒、弹性

体型胶粘材料TPE、纳米蜡乳液、膨胀石墨、改性沥青和吸水树脂。

室内实验仪器包括BP3100s型电子天平,GJSS-B12K型变频双轴高速搅拌机,XGRL-4型高温滚子加热炉,QD-2型便携式堵漏实验仪。

1.2 实验方法

1.2.1 单剂优选和复配实验

(1)实验条件:温度160℃左右;压力0.7~5.0 MPa;时间30 min;缝宽1~4 mm;

(2)实验方法:配制5%标准土浆,取3000 mL,选取不同种类单剂(包括架桥粒子、纤维材料和软化填充材料)及不同配比(总量为2%),加入土浆中,

进行堵漏实验,记录瞬时漏失量、总漏失量以及承压能力。通过实验结果确定单剂种类及其配比,再进行160℃、16 h老化,重复堵漏实验,以评价单剂的抗温能力,以此优选出封堵效果较好且能抗高温的单剂及其复配材料。

1.2.2 堵漏材料配方研究及效果评价

(1)实验条件:温度160℃左右;压力0.7~5.0 MPa;时间30 min;缝宽1~4 mm。

(2)实验方法:配制5%标准土浆,取3000 mL,根据单剂评价实验结果,设计正交实验,记录老化160℃、16 h后的瞬时漏失量、总漏失量以及承压能力,通过实验结果确定堵漏材料配方。配制5%标准土浆,取3000 mL,根据正交实验结果,按缝宽及其对应的配方加入各种堵漏材料,记录老化160℃、16 h后的瞬时漏失量、总漏失量,以及承压能力,评价堵漏材料配方的堵漏效果。

2 结果与讨论

2.1 单剂优选和复配实验

堵漏材料单剂包括架桥粒子、纤维材料和软化填充材料。其中,纤维材料形成网架结构,随着压差增大,网架结构被挤入裂缝更深处,在楔形力的作用下网架结构更致密;架桥粒子和软化填充材料挤压在网架结构内,形成紧密封堵层。

使用便携式堵漏仪,对1 mm平行缝板进行堵漏实验以确定各种材料的加量和种类。首先优选架桥颗粒种类,在此基础上依次增加纤维材料和填充材料,实验数据见表2和图1(测试温度为室温)。

由表2和图1可以看出,橡胶粒与其他架桥颗粒复配可以提高材料的承压能力,弹性材料既发挥了架桥功能又对裂缝进行了充填,具有较好的封堵

效果。24号配方的瞬时漏失量和总漏失量最低。将24号配方的堵漏浆进行160℃、16 h老化,老化后观察到软化填充材料从老化前的有弹性、有韧性变成了失去弹性、发生塑性变化的状态,封堵能力下降。因此,将橡胶粒替换为抗温能力强的弹性材料以改善堵漏浆抗温能力。对比表1中的材料,其中,乙烯醋酸乙烯(EVA)常温下为粒状和粉状,60℃可融化具有流动性;聚乙烯(PE)常温下呈蜡状颗粒,没有弹性,110℃软化可流动,易氧化;聚丙烯(PP)密度小,在水中分散性差,易老化变脆;热固性胶粘材料属于固化材料,现场施工需要考虑使用特殊的施工工艺;丁腈橡胶耐温120℃,160℃高温老化后堵漏性能下降;热塑性弹性体和有机硅橡胶耐温、耐酸碱腐蚀,但热塑性弹性体为颗粒状,具有热塑性,较有机硅橡胶使用方便;环氧-丁腈橡胶和环氧-聚氨酯等为液态,现场施工受到限制。通过对比可以看出,热塑性弹性体常温条件下具有弹性,受压可进入漏失通道,高温加热条件下也可变形进入漏失通道,可以在复合堵漏材料中同时发挥架桥和充填的两种作用。因此,将24号配方中的软化填充材料替换为热塑性弹性体TPE,热塑性弹性体TPE示意图及实物见图2,实验数据见表3,封堵效果见图3。

从表3可以看出,5号配方在160℃、16 h老化后,瞬时漏失量和总漏失量均最低,同时,可承压5 MPa,因此,最终优选出封堵1 mm裂缝的堵漏材料为双性纤维、弹性体型胶粘材料TPE和蛭石(40~60目)。图2可以看出弹性体型胶粘材料TPE在温度作用下融化并发生粘连,对1 mm裂缝形成了有效封堵,没有“封门”现象,承压5.0 MPa,堵漏效果良好。配方:5%土浆+0.5%双性纤维+1%弹性体型胶粘材料TPE+0.5%蛭石(40~60目)。

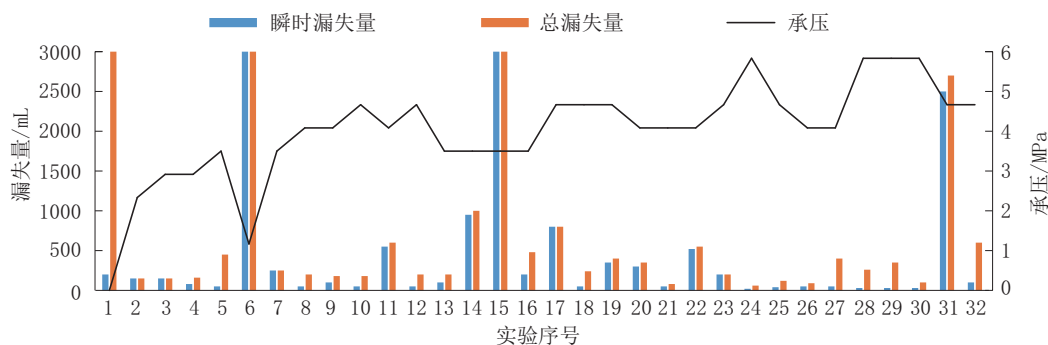


图1 单剂优选和复配堵漏材料实验

Fig.1 Preferred experiment of single dose and compound plugging

表 2 单剂优选和复配堵漏材料实验

Table 2 Preferred experiment of single dose and compound plugging material

序号	配 方	瞬时漏失量/mL	总漏失量/mL	承压/MPa
1	土浆	200	3000	0
2	1号+2% 碳酸钙	150	150	2
3	1号+2% 蛭石	150	150	2.5
4	1号+2% 核桃壳	80	160	2.5
5	1号+2% 橡胶粒	50	450	3
6	1号+2% 云母	3000	3000	1
7	1号+1% 碳酸钙+1% 云母	250	250	3
8	1号+1% 碳酸钙+1% 橡胶粒	50	200	3.5
9	1号+1% 碳酸钙+1% 蛭石	100	180	3.5
10	1号+1% 橡胶粒+1% 蛭石	50	180	4
11	1号+1% 橡胶粒+1% 云母	550	600	3.5
12	1号+1% 橡胶粒+1% 长纤维	50	200	4
13	1号+1% 蛭石+1% 双性纤维	100	200	3
14	1号+1% 蛭石+1% 长纤维	950	1000	3
15	1号+1% 蛭石+1% 水镁石纤维	3000	3000	3
16	1号+1% 蛭石+1% 雷特纤维	200	480	3
17	1号+1% 橡胶粒+1% 水镁石纤维	800	800	4
18	1号+1% 橡胶粒+1% 双性纤维	50	240	4
19	1号+1% 橡胶粒+1% 雷特纤维	350	400	4
20	1号+0.5% 蛭石+0.5% 双性纤维+1% 膨胀石墨	300	350	3.5
21	1号+0.5% 蛭石+0.5% 双性纤维+1% 纳米蜡乳液	50	80	3.5
22	1号+0.5% 蛭石+0.5% 双性纤维+1% 改性沥青	520	550	3.5
23	1号+0.5% 蛭石+0.5% 双性纤维+1% 吸水树脂	200	200	4
24	1号+0.5% 蛭石+0.5% 双性纤维+1% 橡胶粒	20	60	5
25	1号+0.5% 橡胶粒+0.5% 双性纤维+1% 纳米蜡乳液	40	120	4
26	1号+0.5% 橡胶粒+0.5% 双性纤维+1% 膨胀石墨	50	90	3.5
27	1号+0.5% 橡胶粒+0.5% 双性纤维+1% 改性沥青	50	400	3.5
28	1号+0.5% 橡胶粒+0.5% 双性纤维+1% 吸水树脂	30	260	5
29	1号+1% 蛭石+0.5% 双性纤维+1% 橡胶粒	30	350	5
30	1号+0.5% 蛭石+0.25% 双性纤维+1% 橡胶粒	30	100	5
31	1号+0.5% 蛭石+0.25% 双性纤维+0.25% 橡胶粒	2500	2700	4
32	1号+0.5% 蛭石+0.25% 双性纤维+0.5% 橡胶粒	100	600	4

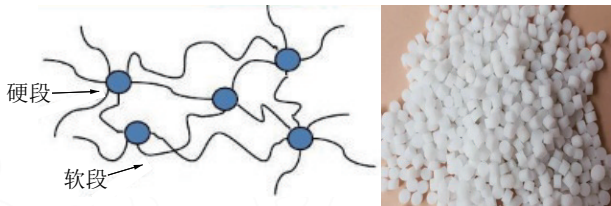


图 2 热塑性弹性体 TPE 示意图及实物

Fig.2 Diagram and physical photograph of TPE

2.2 堵漏材料配方研究及效果评价

将弹性体型胶粘材料与纤维材料、架桥粒子和吸水树脂进行复配,160 ℃老化 16 h 后使用便携式堵漏仪进行了封堵实验,实验数据见表 4。

从表 4 可以看出,弹性体型胶粘材料与纤维和架桥粒子复配,160 ℃老化后可以有效封堵 1~4 mm 裂缝,承压 5 MPa,确定热塑性复合堵漏材料配方为 0.5% 双性纤维+1.0%~2.0% 弹性体型胶粘材料

表 3 复配堵漏材料抗温能力实验

Table 3 Temperature resistance experiment of compound plugging material

序号	配 方	瞬时漏失量/mL	总漏失量/mL	承压/MPa
1	5% 土浆+0.5% 双性纤维+1% 超细橡胶粒	50	200	4
2	5% 土浆+0.5% 纤维+1% 橡胶粒(1~3 mm)+4% 改性沥青	200	650	4
3	5% 土浆+0.5% 双性纤维+1% 超细橡胶粒	750	1000	2
4	5% 土浆+0.5% 双性纤维+1% 弹性体型胶粘材料 TPE	50	1650	5
5	5% 土浆+0.5% 双性纤维+1% 弹性体型胶粘材料 TPE+ 0.5% 蛭石(40~60 目)	10	150	5

注:测试条件为 160 ℃老化 16 h 后室温测试漏失量。



图 3 热塑性复合堵漏材料堵漏效果

Fig.3 Plugging effect of the thermoplastic composite material

TPE+0.5%~2.5% 蛭石(10~60 目)+0~2.0% 核桃壳粉(6~10 目)+0~8.0% 吸水树脂(2~4 目)。配方的堵漏效果满足现场试验条件,因此开展了现场试验。

3 热塑性复合堵漏技术现场试验

研制的热塑性复合堵漏技术在大庆油田深部裂缝性地层 25 口深井中进行了现场试验和应用,现场试验井地层裂缝发育,漏失层位为营城组和沙河子组,岩性包括流纹岩、泥岩、煤层、灰色砂砾岩,钻遇了煤层、裂缝等脆弱地层,且邻井多有漏失。现场试验井中比较典型的 3 口井共漏失 20 次,实施桥塞堵漏 16 次、热塑性复合堵漏 3 次、打水泥塞 1 次。其中,桥塞堵漏使用的材料包括随钻堵漏剂、非渗透堵漏剂、超细碳酸钙、磺化沥青和钻井液用堵漏剂等,热塑性复合堵漏使用的材料包括核桃壳粉、蛭石、双性纤维、吸水树脂和弹性体型胶粘材料 TPE。发现漏失后,按照“降泵冲循环测漏速、静止观察灌泥浆、起钻、根据漏速配制并注入一定浓度堵漏浆、替堵漏浆、长时间静止、循环试漏”程序实施堵漏,如堵漏未成功则适当调整堵漏浆浓度和堵漏颗粒粒度。热塑性复合堵漏浆与桥塞堵漏浆配制方法相同,配制简单,一次堵漏成功率 100%,较桥塞堵漏一次成功率提高了 50%,承压最高 7.5 MPa,未出现因反复漏失

表 4 堵漏材料配方研究实验

Table 4 Research experiment of plugging material formula

序号	配 方	裂缝宽度/ mm	瞬时漏失量/ mL	总漏失量/ mL	承压/ MPa
1	0.5% 双性纤维+1% 弹性体型胶粘材料 TPE+0.5% 蛭石(40~60 目)	1	10	115	5
2	0.5% 双性纤维+2% 弹性体型胶粘材料 TPE+2.5% 蛭石(10~60 目)0.5% 核桃壳粉(6~10 目)	2	50	150	5
3	0.5% 双性纤维+2% 弹性体型胶粘材料 TPE+2.5% 蛭石(10~60 目)+1% 核桃壳粉(4~10 目)	3	50	200	5
4	0.5% 双性纤维+2% 弹性体型胶粘材料 TPE+2.5% 蛭石(10~60 目)+2% 核桃壳粉(2~10 目)+8% 吸水树脂(2~4 目)	4	200	200	5

注:测试条件为 160 ℃老化 16 h 后室温测试漏失量。

导致提前完钻的情况。

3.1 现场试验井基本情况

XS903-平2井目的层位为营城组一段I组,完钻井深4848 m。目的层裂缝发育,钻井过程中应做好防漏、堵漏预案,同时预防漏后诱发井喷。SS18井目的层为沙河子组,完钻井深4367 m。该井深层较致密,应注意预防火山岩段井漏、井塌,钻遇裂缝时,有可能发生井漏。XS8-平2井目的层位为营城组,完钻井深4696 m。该井目的层裂缝较发育,以高角度裂缝为主,微裂缝次之,钻井过程中应做好防漏、堵漏预案,同时预防漏后诱发井喷。

3.2 堵漏施工情况

3.2.1 XS903-平2井

该井共发生漏失9次,均发生在水平段钻进过程中,漏失层位营城组,岩性为流纹岩,初始漏速最高36 m³/h,累计漏失钻井液量530 m³,损失时间248.5 h。第一次漏失后实施打水泥塞,第二次至第九次为侧钻后漏失,实施静止堵漏、分段循环堵漏和随钻堵漏,注入堵漏浆浓度为10%~25%。其中,4231 m处共发生3次钻井液漏失,分别使用了桥塞堵漏技术和热塑性复合堵漏技术,共漏失钻井液81 m³,损失时间51.03 h,平均漏速分别为1、1.83、3.43 m³/h。

4231 m处发生的第三次漏失使用了热塑性复合堵漏技术,配制15%浓度的堵漏浆,配方为0.5%双性纤维+2.0%弹性体型胶粘材料TPE+2.5%蛭石(10~60目)+2.0%核桃壳粉(6~10目)+8.0%吸水树脂(2~4目)。发现漏失后循环测漏速、降泵冲循环观察漏失、替堵漏浆,堵漏成功后共漏失钻井液24 m³,损失时间7.0 h,平均漏速3.43 m³/h。可以看出使用塑性体型胶粘材料的热塑性复合堵漏技术后,虽然平均漏速较高,但却能短时间内解决漏失问题,说明该技术的堵漏效果明显优于桥塞堵漏技术。

3.2.2 SS18井

该井三开共发生漏失7次,钻遇了裂缝、煤层、储层等脆弱地层,漏失层位沙河子组,岩性为流纹岩、泥岩、煤层、灰色砂砾岩,累计漏失钻井液量395.6 m³,损失时间631.67 h。堵漏措施为配制17%~30%堵漏浆进行静止堵漏。

第5次漏失时,钻遇沙河子组煤层漏失,瞬时漏速80 m³/h,发现漏失后下钻至井底循环,烃值最高74%,最后稳定在3%,使用热塑性复合堵漏技术,

配制浓度20%堵漏浆,配方为0.65%双性纤维+2.6%弹性体型胶粘材料TPE+3.25%蛭石(10~60目)+2.6%核桃壳粉(6~10目)+10.4%吸水树脂(2~4目),向钻具内注入8 m³堵漏浆,承压堵漏(承压7.5 MPa,稳压5 MPa),承压过程中共注入钻井液4.5 m³,堵漏成功,承压能力由桥塞堵漏技术的5 MPa提高至7.5 MPa,较其余6次漏失,堵漏时效提高了8%~71%。

3.2.3 XS8-平2井

该井三开钻遇营城组,共发生4次漏失,漏失层位营城组,岩性为流纹岩,累计漏失钻井液406 m³。配制30%的堵漏浆,进行静止堵漏和分段循环堵漏或随钻堵漏。第1次漏失时,井口无返出,使用桥塞堵漏技术实施堵漏作业2次堵漏方成功,共漏失钻井液184 m³。

第3次漏失同样发生失返性漏失,使用了热塑性复合堵漏技术,配制浓度30%堵漏浆,配方为1%双性纤维+4%弹性体型胶粘材料TPE+5%蛭石(10~60目)+4%核桃壳粉(6~10目)+16%吸水树脂(2~4目),承压反复挤入8 m³堵漏浆进地层,稳压5 MPa达15 min,稳压成功,承压结束后起钻过程无漏失,共漏失钻井液87 m³,有效控制了钻井液漏失,且一次堵漏成功。

4 结论

(1)引入弹性体型胶粘材料研制出了热塑性复合堵漏技术,室内实验表明该技术可抗温160℃,承压5 MPa,封堵4 mm内裂缝;

(2)热塑性复合堵漏技术在大庆深部裂缝性地层25口深井中进行了现场试验和应用,堵漏成功率100%,承压7.5 MPa,未发生因反复漏失导致提前完钻情况,现场应用效果良好。

参考文献(References):

- [1] 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 prospects of plugging technology for fractured and malignant lost circulation formations[J]. Petroleum exploration and development, 2021, 48(3): 630-638.
- [2] 刘金华.顺北油气田二叠系火成岩漏失分析及堵漏技术[J].钻探工程,2023,50(2):64-70.
LIU Jinhua. Leakage analysis and plugging technology for Perm-

- ian igneous rock in Shunbei Oil and Gas Field[J]. *Drilling Engineering*, 2023,50(2):64-70.
- [3] 吕开河,王晨桦,雷少飞,等.裂缝性地层钻井液漏失规律及堵漏对策[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2022,46(2):85-93.
- LÜ Kaihe, WANG Chenye, LEI Shaofei, et al. Dynamic behavior and mitigation methods for drilling fluid loss in fractured formation[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2022,46(2):85-93.
- [4] 吴天乾,李明忠,蒋新立,等.杭锦旗地区裂缝性漏失钻井堵漏技术研究与应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2020,47(2):49-53.
- WU Tianqian, LI Mingzhong, JIANG Xinli, et al. Research and application of drilling plugging technology aiming at fracture leakage in Hangjinqi area[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020,47(2):49-53.
- [5] 孙威威.海坨区块高效堵漏体系的优化与应用[J]. *钻探工程*, 2021,48(12):72-78.
- SUN Weiwei. Optimization and application of the efficient plugging system in the Haituo block[J]. *Drilling Engineering*, 2021,48(12):72-78.
- [6] 王胜,吴丽钰,蒋贵,等.深孔纳米复合水泥基护壁堵漏材料研究[J]. *钻探工程*, 2021,48(12):7-13.
- WANG Sheng, WU Liyu, JIANG Gui, et al. Nano composite cement based wellbore protection and plugging materials for deep drilling[J]. *Drilling Engineering*, 2021,48(12):7-13.
- [7] 康毅力,闫丰明,游利军,等.塔河油田缝洞型储层漏失特征及控制技术实践[J]. *钻井液与完井液*, 2010,27(1):41-43,46,90-91.
- KANG Yili, YAN Fengming, YOU Lijun, et al. Loss and control in vugular reservoir formations in Block Tahe[J]. *Drilling Fluid and Completion Fluid*, 2010,27(1):41-43,46,90-91.
- [8] 苏晓明,练章华,方俊伟,等.适用于塔中区块碳酸盐岩缝洞型异常高温高压储集层的钻井液承压堵漏材料[J]. *石油勘探与开发*, 2019,46(1):165-172.
- SU Xiaoming, LIAN Zhanghua, FANG Junwei, et al. Lost circulation material for abnormally high temperature and pressure fractured vuggy carbonate reservoirs in Tazhong block, Tarim Basin, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2019,46(1):165-172.
- [9] 李伟,白英睿,李雨桐,等.钻井液堵漏材料研究及应用现状与堵漏技术对策[J]. *科学技术与工程*, 2021,21(12):4733-4743.
- LI Wei, BAI Yingrui, LI Yutong, et al. Research and application progress of drilling fluid lost circulation materials and technical countermeasures for loss circulation control[J]. *Science, Technology and Engineering*, 2021,21(12):4733-4743.
- [10] 孙金声,雷少飞,白英睿,等.油气钻采领域功能胶黏材料研究进展及前景[J]. *石油勘探与开发*, 2022,49(5):1-7.
- SUN Jinsheng, LEI Shaofei, BAI Yingrui, et al. Research application and prospects of functional adhesive materials in the field of oil and gas drilling and production[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2022,49(5):1-7.
- [11] 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 prospects of plugging technologies for fractured formations with severe lost circulation[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2021,48(3):630-638.
- [12] 白英睿,孙金声,吕开河,等.一种温敏黏连型桥接堵漏体系、堵漏浆及其制备方法与应用:CN202110363293.X[P]. 2022-05-03.
- BAI Yingrui, SUN Jinsheng, LÜ Kaihe, et al. A temperature sensitive adhesive bridging and plugging system, plugging slurry and its preparation method and application: CN202110363293.X[P]. 2022-05-03.
- [13] 刘伟,毛莉君,欧阳伟.页岩气油基交联固化堵漏技术研究与应用[J]. *钻井液与完井液*, 2021,38(2):207-211.
- LIU Wei, MAO Lijun, OUYANG Wei. Research on plugging technology of shale gas oil-based crosslinking solidification[J]. *Drilling Fluid and Completion Fluid*, 2021,38(2):207-211.
- [14] 王在明,许婧,张艺馨,等.自固结堵漏剂性能评价及现场应用[J]. *石油钻探技术*, 2021,49(6):62-66.
- WANG Zaiming, XU Jing, ZHANG Yixin, et al. Performance evaluation and field application of self-consolidating plugging agents[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021,49(6):62-66.
- [15] 陈康,张潇,谭欢,等.基于缝洞型油藏自粘结橡胶堵剂的制备与性能[J]. *特种橡胶制品*, 2019,40(5):1-6.
- CHEN Kang, ZHANG Xiao, TAN Huan, et al. Preparation and properties of self-bonded rubber plugging agent based on fracture-cavity reservoir[J]. *Special Purpose Rubber Products*, 2019,40(5):1-6.

(编辑 王文)