

抗高温随钻封堵材料研究进展

熊正强, 陶士先, 蒋睿, 朱文鉴
(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要: 钻遇渗透性漏失地层、破碎地层及低承压地层时, 通常加入随钻封堵材料以防止钻井液漏失、提高孔壁稳定性和地层承压能力。深井高温地层及高温地热、高温干热岩钻探, 遇到上述复杂情况时, 需采用抗高温封堵材料。本文介绍了我国近年来抗高温随钻封堵材料研究与应用的进展情况, 包括由桥接堵漏材料组成的抗高温随钻堵漏剂、膨胀型聚合物堵漏剂、超低渗透处理剂及弹性石墨等新型抗高温随钻堵漏材料。分析了 4 种抗高温随钻封堵材料的组分及其堵漏原理, 并对抗高温随钻封堵材料的研究方向提出了建议。

关键词: 井漏; 抗高温随钻封堵材料; 随钻堵漏剂; 吸水树脂; 超低渗透处理剂

中图分类号: P634.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2016)12-0033-04

Research Progress of High Temperature Resistant Loss Circulation Material while Drilling/XIONG Zheng-qiang, TAO Shi-xian, JIANG Rui, ZHU Wen-jian (Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to prevent lost circulation, increase the borehole wall stability and formation pressure, plugging material while drilling is usually added while drilling in permeable leakage formation, broken formation and low pressure formation. Especially in high temperature deep well, high temperature geothermal well and high temperature hot dry rock drilling, high temperature resistant plugging material must be added to drilling fluid. In this paper, the new progresses of high temperature resistant plugging material while drilling are introduced, including loss circulation agent while drilling based on bridge loss circulation material, expansive polymer plugging agent and ultra-low permeability agent. The composition and plugging mechanism of different high temperature resistant plugging materials while drilling were analyzed and the research direction of high temperature resistant plugging material while drilling was pointed out.

Key words: loss circulation; high temperature resistant plugging material while drilling; loss circulation agent while drilling; water absorbent resin; ultra-low permeability agent

0 引言

渗透性漏失地层、破碎地层是钻井工程中比较常见的复杂地层, 钻进上述地层不仅损失钻井液, 还可能发生井壁失稳, 导致井塌、卡钻等一系列复杂情况与事故, 甚至导致井眼报废, 造成重大的经济损失^[1]。目前治理渗透性漏失的有效办法主要是采用随钻堵漏技术, 即在钻井液中加入一定量的随钻封堵材料, 以形成较好的封堵层, 从而实现边循环钻进边堵漏。由于随钻封堵材料用于堵漏时投入少、方法简单且不需要停钻处理, 同时对于松散、破碎地层具有较好的稳壁作用, 因此该类材料在钻井施工中已得到广泛的应用。

随着油气资源向深部开发以及我国高温地热钻探、干热岩钻探及深部科学钻探工程的实施, 在高温

井段也会钻遇大量的渗透性漏失地层、破碎地层, 如青海共和干热岩钻探中, 2800~3600 m 孔段钻遇多层破碎地层, 2800 m 时的孔底温度已超过 170 °C, 3600 m 时的孔底温度超过 190 °C, 这就要求封堵材料必须具有良好的抗温性能及承压能力。而现有随钻堵漏材料在高温下会发生碳化甚至失效, 难以满足日益苛刻的施工要求。因此, 如何提高随钻堵漏材料的抗高温性能, 是国内外钻井液技术研究的热点之一。

随钻封堵材料一般有 3 类, 分别为由桥接堵漏材料组成的随钻堵漏剂、膨胀型聚合物堵漏剂及超低渗透处理剂。此外, 近几年还研制了几种有别于上述 3 种类型的新型抗高温随钻封堵材料。

收稿日期: 2016-07-18; 修回日期: 2016-11-11

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“松辽盆地资源与环境深部钻探工程”(编号: 121220120000171102); 国土资源部复杂条件钻采技术重点实验室开放课题“耐 200 °C 高温随钻堵漏剂研究”(编号: DET201609)

作者简介: 熊正强, 男, 汉族, 1985 年生, 工程师, 硕士, 从事钻井液材料研究与应用工作, 北京市海淀区学院路 29 号探工楼, xiongqz1012@126.com。

1 由桥接堵漏材料组成的随钻堵漏剂

桥接堵漏由于价格低廉,使用方便,施工安全,对付由孔隙和裂缝造成的各种漏失效果明显。因此,无论是国外还是国内,桥接堵漏剂应用十分广泛。美国90%的井漏均采用桥接堵漏剂来处理,而我国80%以上的井漏也是首先考虑使用桥接堵漏剂^[2]。桥接堵漏材料按其形状可分为3大类,即颗粒状材料、纤维状材料和片状材料。其中,颗粒状材料在堵漏过程中卡住漏失通道的“喉道”,起“架桥”作用,因此又被称为“架桥剂”;纤维状材料在形成的堵塞中它们纵横交错,相互拉扯,因此又被称为“悬浮拉筋剂”;片状材料在堵漏过程中主要起填塞作用,因此又称作“填塞剂”。

随钻堵漏剂通常由上述3类桥接堵漏材料中的一种或多种组成,但是所用的桥接堵漏材料加入钻井液后不能影响钻井液的流变性。随钻堵漏剂主要是通过物理封堵,即架桥、悬浮拉筋及填塞协同作用来封堵漏失地层孔喉与裂缝,从而起到防漏堵漏作用。然而现有随钻堵漏剂普遍抗高温性不足,为了提高随钻堵漏剂的抗温性能,常采用加入抗温型桥接堵漏材料(如矿物纤维、抗高温颗粒材料等)来研制抗高温随钻堵漏剂。例如,卢淑芹等^[3]在随钻堵漏剂中加入矿物纤维及抗高温的硅基凝胶变形颗粒研制了一种抗150℃高温随钻堵漏剂,该随钻堵漏剂由30~80质量份植物纤维、10~40质量份果壳、0~10质量份滑石粉、10~40质量份矿物纤维及3~10质量份硅基凝胶变形颗粒组成。张伟等^[4]以具有良好抗高温稳定性的刚性颗粒、软性颗粒与吸水膨胀聚合物颗粒为原料,按照2:1:2比例混合

研制了一种抗200℃高温随钻承压增强剂ENPRES-Seal。该处理剂不影响钻井液流变性,并在上海平湖区块高温高压井PH13井(井底温度超过180℃,完钻密度为1.90 g/cm³)现场应用中取得了良好的堵漏效果,能有效地提高地层承压能力。

另外,为了提高随钻堵漏剂的抗温性能,也有选用抗高温填充变形材料作为主要原料,采用一定的加工工艺制备抗高温随钻堵漏剂。例如,王富华^[5]以废橡胶制品为主要原料,经脱硫改性以及配合活性剂与增效剂制备了一种抗150℃高温桥接型防漏堵漏剂LD。该堵漏剂在长庆油田7个井次的现场试验中取得了良好的防漏、堵漏效果。王先兵等^[6-7]利用果壳具有的柔韧性、硬度高、抗高温以及变形性好等特点,先后以杏仁壳、多种天然果壳为主要原料,经初级粉碎、脱脂、干燥、超微粉碎及造粒等加工工艺研制了新型抗温达160℃随钻堵漏剂ZTC-1及TFD。

为了将随钻堵漏剂抗温提高至200℃,笔者所在项目组通过对桥接堵漏材料抗温性能筛选及不同堵漏材料粒度匹配研究,以刚性颗粒、矿物纤维、变形颗粒、屏蔽降滤失材料及高温保护剂为原料,研制了一种抗200℃高温随钻堵漏剂GPC-200。室内性能评价表明:GPC-200具有良好的降滤失性能及抗高温封堵性能,在200℃高温及3.45 MPa压力下,加有4% GPC-200的淡水基浆对20~40目砂床的封闭滤失量为138 mL/30 min(而现有抗高温封堵剂其封闭滤失量>300 mL/30min),高温砂床封堵与胶结效果见图1。

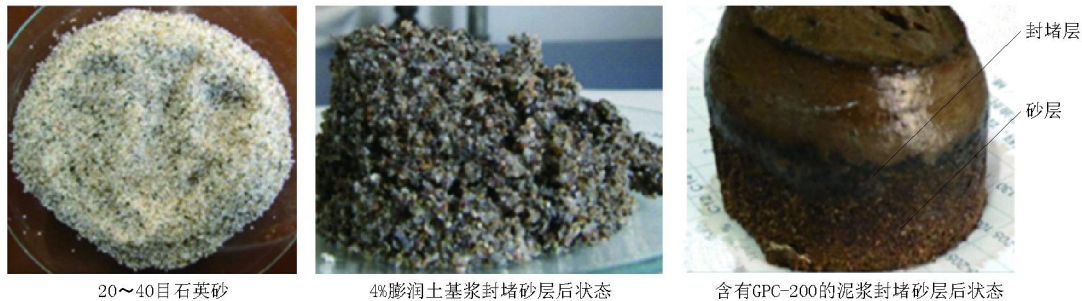


图1 淡水基浆与加有GPC-200淡水基浆高温下封堵砂床效果图

2 膨胀型聚合物堵漏剂

膨胀型聚合物堵漏剂具有吸水膨胀性和可变形性特点,能够挤入地层裂缝形成强而韧的堵漏层。

膨胀型聚合物堵漏剂主要指吸水树脂,是一种遇水溶胀但不溶解的交联聚合物凝胶。它主要由丙烯酰胺、丙烯酸、多糖及季铵阳离子类等单体与交联剂经聚合、交联反应制得(有的吸水树脂在聚合过程中

还会加入刚性填料来进一步提高吸水树脂的强度,如加入膨润土、高岭土及碳酸钙等),其分子结构上含有亲水性基团如羟基、酰胺基、羧基、磺酸基等,同时又具有一定交联度的三维网状结构^[8]。由于一般的吸水树脂吸水速度较快,为了使其能作为随钻堵漏剂,主要通过选择合适的单体、改变单体加量来调节吸水树脂的分子链结构、表面化学改性以及对吸水树脂进行包覆等方法来控制吸水树脂的膨胀速度^[9-12]。例如,牛四兆^[2]以丙烯酰胺和阳离子单体 DDC 为主要聚合单体,以多糖化合物 MO 及纤维为支撑剂,采用溶液聚合法合成了一种抗温 120 °C 体膨型聚合物 SAP-3。对粒径小于 150 目的 SAP-3 颗粒进行随钻堵漏效果评价表明,单一的 SAP-3 颗粒对封堵渗透性漏失的效果不理想,而与超低渗透处理剂 SDN-1 复配使用却能够对渗透性漏失起到很好的封堵效果。

目前已有的吸水树脂堵漏材料普遍抗高温性能不足,一般不超过 135 °C^[9]。为了进一步提高可膨胀型聚合物堵漏剂的抗温性能,赖小林等^[13]从结构设计角度出发,研制了一种能够长期耐 150 °C 高温的新型吸水树脂——双网络吸水树脂堵漏剂。该吸水树脂堵漏剂具有“刚柔相济”的双网络结构,吸水倍数为 4~10 倍,其强度和抗温性能较常规吸水树脂均有很大提高,150 °C 高温下老化 30 天后依然保持完整的形态和较好的强度,而且形变 95% 时的抗压强度达到 16.2 MPa,释压后能快速回弹并保持完整的形态。

3 超低渗透处理剂

超低渗透处理剂,主要针对渗透性或井壁失稳易坍塌地层,是近年来新开发的一种随钻堵漏材料。超低渗透处理剂是一种含有大量羟基、氨基、羧基、羧基等亲水或亲油基团聚合物的混合物,当其在钻井液中达到一定浓度时,具有亲油及亲水基团的聚合物就会聚集形成球状或棒状等不同形状及大小的单层或多层胶束,这些胶束能快速地吸附于岩石表面孔隙或泥饼的孔隙处,并与钻井液中的膨润土及其它固相颗粒共同作用形成均匀致密的封堵层,在钻遇压力衰竭地层、裂缝发育地层及高渗透地层时具有显著的随钻防漏堵漏作用^[14]。

国外超低渗透处理剂产品主要有美国环保钻井技术公司研制的滤失控制稳定剂 FLC2000 与井眼

稳定剂 LCP2000,而国内应用效果较好的产品主要有中国石油勘探开发研究院研制的零滤失井眼稳定剂 JYW-1 和防漏堵漏零滤失井眼稳定剂 JYW-2^[15]、胜利石油管理局钻井工艺研究院研制的超低渗透处理剂 YHS-1^[16]、长江大学研发的超低渗透处理剂 DF-FIN-I 与 DF-FIN-II^[17]、中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院研制的无渗透钻井液处理剂 CY-1^[18]以及华北石油管理局钻井工艺研究院开发的超低渗透处理剂 DLS-06^[19]等。目前已有的超低渗透处理剂普遍抗高温性能不足,一般不超过 180 °C。例如,中国石油勘探开发研究院^[14]研制了 2 种抗温 150 °C 的零滤失井眼稳定剂 JYW-1 与 JYW-2,它们由植物衍生物形成的混合物、部分水溶和全水溶的合成有机聚合物以及不溶的金属氧化物等组成。其中,JYW-1 主要用于中、低孔隙及微裂缝地层,而 JYW-2 主要用于大孔隙及裂缝地层。室内评价及现场应用结果表明,零滤失井眼稳定剂具有良好的封堵能力和降滤失效果。

4 新型抗高温随钻堵漏材料

4.1 弹性石墨

弹性石墨是一种将石墨高温处理后形成的微小碳粒,具有耐高温以及较好的弹性、可变形性与化学稳定性等特点,在孔隙和微裂缝的压缩状态下,能够先收缩继而又膨胀,可自适应封堵不同形状和尺寸的孔隙或裂缝。弹性石墨对钻井液的流变性几乎没有影响,而且能降低钻井液滤失量^[20-22]。它既可以作为单一随钻堵漏材料使用,也可以与其他堵漏材料混合使用。国外代表产品有 Halliburton 公司的 STEELSEAL[®]、Baker Hughes 公司的 LC-LUBE 和 Phillips 公司的 Rebound[™]。而国内生产厂商少,目前只有青岛岩海碳材料有限公司生产弹性石墨。由于弹性石墨价格昂贵,使其作为随钻堵漏材料大范围现场应用受到限制。

4.2 核-壳结构的聚合物粒子

王建莉等^[23]以苯乙烯、丙烯酰胺及 N,N'-亚甲基双丙烯酰胺为单体,通过浓乳液聚合及界面引发合成了一种抗温 180 °C 且具有核-壳结构的聚合物粒子,并开展了将其应用于随钻堵漏的研究。该核-壳结构的聚合物粒子呈微粒状(平均粒径为 21.36 μm),含 1% 聚合物粒子基浆的堵漏效果明

显,并随聚合物粒子加量的增加,基浆漏失量减少。当聚合物粒子加量 $\geq 2\%$ 时,基浆的流变性变化不大。

5 结语

随钻封堵材料在钻井提速、节约钻井液及稳定井壁等方面发挥着重要的作用,越来越多的随钻堵漏材料已经在现场应用并取得了一定的效果。随着油气资源不断向深部开发,深井、超深井不断增多,以及高温地热、高温干热岩与深部大陆科学钻探工程的实施,这对随钻封堵材料的抗温性能提出了更高的要求。从资料调研来看,目前已有的抗高温随钻封堵材料,耐温大都在 $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,少数达到 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。为应对即将来到的挑战,笔者建议从以下几个方面继续开展耐温 $>200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 随钻封堵材料的研制工作。

(1)对吸水树脂结构进行设计,使其主链与亲水基团的连接键为“C-C”、“C-N”及“C-S”等以及在其侧链上引入刚性基团(如苯环),从而进一步提高膨胀型聚合物堵漏剂的抗高温稳定性。例如,选用抗高温单体(如N-乙烯基吡咯烷酮、2-丙烯酰胺-2-甲基丙磺酸等)与抗高温交联剂、矿物填料等进行聚合、交联反应。

(2)采用抗温性能更优的桥接堵漏材料,如矿物纤维、抗高温橡胶颗粒、弹性石墨、抗高温吸水树脂变形颗粒等,通过粒度匹配及各组分加量比例调节,研制耐高温随钻堵漏剂。

(3)对聚合物结构进行设计,研制具有优良抗高温稳定性的超低渗透处理剂用主剂,如采用抗高温单体研制抗高温疏水缔合水溶性聚合物、对植物衍生物进行化学改性来提高其抗高温稳定性等。

(4)选用抗高温单体,合成类似核-壳结构的耐高温聚合物微球。

参考文献:

[1] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 山东东营:中国石油大学出版社,

2001:348-352.

- [2] 牛四兆. 防漏堵漏钻井液新技术研究[D]. 山东青岛:中国石油大学(华东),2007.
- [3] 卢淑芹,张艺馨,朱宽亮,等. 抗温钻井液随钻堵漏剂及其制备方法:中国,201410107828.7[P]. 2014-03-21.
- [4] 张伟,苗海龙,邓义成,等. 新型井壁承压增强剂的制备及评价[J]. 钻井液与完井液,2016,33(2):45-49.
- [5] 王富华,魏振禄,亢连礼,等. 一种新型钻井防漏堵漏剂的研究与应用[J]. 钻井液与完井液,2006,23(3):42-44.
- [6] 王先兵,陈大钧,蒋宽,等. 一种新型随钻堵漏剂 ZTC-1 的生产工艺及性能评价[J]. 钻井液与完井液,2009,26(5):29-31.
- [7] 王先兵,陈大钧,蒋宽,等. 新型防漏堵漏剂 TFD 与油气层保护技术[J]. 钻井液与完井液,2011,28(1):20-23.
- [8] 李娟,刘文堂,沈士军. 吸水树脂堵漏材料的研究进展[J]. 油田化学,2011,28(1):110-114.
- [9] 赖小林,王中华,郭建华,等. 吸水材料在石油钻井堵漏中的应用[J]. 精细石油化工进展,2010,11(2):17-21.
- [10] 薛玉志,唐代绪,刘振东,等. 可控膨胀堵漏剂包覆工艺技术研究[J]. 钻井液与完井液,2008,25(5):23-25.
- [11] 张歧安,徐先国,董维,等. 延迟膨胀颗粒堵漏剂的研究与应用[J]. 钻井液与完井液,2006,23(2):21-24.
- [12] 苗娟. 可控膨胀堵漏剂的研制与性能研究[D]. 四川成都:西南石油大学,2010.
- [13] 赖小林,王中华,邓华江,等. 双网络吸水树脂堵漏剂的研制[J]. 石油钻探技术,2011,39(4):29-33.
- [14] 贾辉. 超低渗透剂成膜机理及承压能力的研究[D]. 黑龙江大庆:大庆石油学院,2010.
- [15] 孙金声,唐继平,张斌,等. 超低渗透钻井液完井液技术研究[J]. 钻井液与完井液,2005,22(1):1-4.
- [16] 薛玉志,蓝强,李公让. 超低渗透处理剂 YHS-1 的研制与表征[J]. 钻井液与完井液,2010,27(2):1-5.
- [17] 罗春芝,王越之,袁建强. 超低渗透钻井液处理剂的研究及应用[J]. 石油天然气学报,2009,31(2):92-95.
- [18] 李家芬,苏长明,于培志,等. CY-1 无渗透钻井液处理剂的室内试验研究[J]. 石油钻探技术,2006,34(1):32-35.
- [19] 孙东山,左凤江,杨学梅,等. 超低渗透处理剂的研制与应用[J]. 钻井液与完井液,2007,24(4):21-23.
- [20] 张琰,刘艳. 弹性石墨在钻井液中的应用研究[J]. 天然气工业,2003,23(1):42-44.
- [21] 张希文,李爽,张洁,等. 钻井液堵漏材料及防漏堵漏技术研究进展[J]. 钻井液与完井液,2009,26(6):74-76.
- [22] 熊正强,陶士先,李艳宁,等. 国内外冲洗液技术研究与应用进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):6-12.
- [23] 王建莉,张丽君,郑志军,等. 双亲粒子聚合物随钻堵漏剂的合成与性能评价[J]. 油田化学,2012,29(1):6-9.