水文·工程·环境

耐高温泡沫钻井液技术研究概况及研究方向探讨

董海燕[1],单文军[2],李艳宁[2],岳伟民[2],赵志涛[2]
(1. 山东省第三地质矿产勘查院,山东烟台 264004; 2. 北京探矿工程研究所,北京 100083)

[摘 要]耐高温泡沫钻井液是开采深井、超深井、高温地热井、干热岩等资源,特别是超高温资源的有效钻井液之一。本文在分析耐高温泡沫钻井液面临的主要问题的基础上,对国内外抗高温泡沫处理剂、耐高温泡沫钻井液体系的应用情况进行了介绍。深井、超深井、干热岩、地热井等钻探中会面临超高温、低压易漏地层,因此对低密度钻井液体系的要求也越来越高,主要技术难点是高温、低压,窄密度窗口钻井液性能的控制。结合对耐高温泡沫钻井液主要技术难点的分析以及高温对泡沫钻井液的要求,并综合目前耐高温泡沫钻井液技术的发展得出:耐260℃以上抗高温、低密度泡沫钻井液处理剂及体系,耐高温泡沫钻井液测试仪器及评价方法是未来抗高温钻井液的发展方向。

[关键词] 超高温 地热井 泡沫钻井 耐高温 发泡 半衰期
[中图分类号]P634.6+4 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2014)05-0991-06

Dong Hai-yan, Shan Wen-jun, Li Yan-ning, Yue Wei-min, Zhao Zhi-tao. Research progress and direction of the anti-high temperature foam drilling fluid technology [J]. Geology and Exploration, 2014, 50(5):0991-0996.

对常规的资源开采、勘探开发,如低温(<90℃)和中温(90~150℃)资源常采用常规水基钻井液就可以满足要求。但对于深井超深井、高温地热井、干热岩等资源开采,特别是超高温资源的开采,通常需要选用耐高温泡沫钻井流体。这是因为其变质岩和火成岩裂隙发育,地层压力系数低,漏失严重,而泡沫流体能较好地起到防漏堵漏作用和在低压状态下建立欠平衡钻井技术体系,其密度低、失水量小,携岩能力强,能提高钻井速度,并降低钻井成本。泡沫钻井液在欠平衡钻进中的应用非常广泛,但随着钻井孔深的不断增加以及非常规能源如地热、干热岩等资源的开采日益增加,泡沫钻井液在面临地层高温时能否继续保持其优良性能不变就显得尤为重要。目前国内外对耐高温泡沫钻井液体系的研究还不多,特别是国内,其研究和应用都较少。本文探讨了耐高温泡沫钻井液技术研究概况及研究方向,以期为耐高温泡沫钻井液的研究及应用提供参考。

1 国外耐高温泡沫钻井液实施情况

1.1 国外泡沫钻井用发泡剂现状

美国Cischer等提供了一种含有部分泡沫剂和氨的泡沫钻井液以提供蒸汽相中的防腐问题,研究了一种适用于高温下泡沫稳定性又不受腐蚀性影响的泡沫剂。使用该泡沫剂既可适用于低温地下水层,也可适用于高温地下水层,温度可达204.44℃,尤其适用于地热水层。

美国Fischer等提供了一种用于地热层一类的泡沫剂为N-酰基-N甲基牛磺酸盐,其结构为:

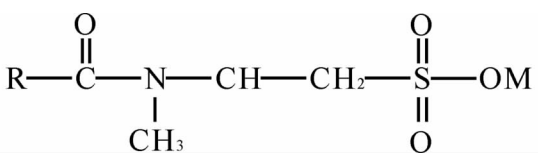


图1 N-酰基-N甲基牛磺酸盐
Fig. 1 N- acyl -n methyl taurate salt

其中R为含有9~15碳原子的直链烷基,M为碱

[收稿日期]2014-02-17;[修订日期]2014-06-20;[责任编辑]郝情情。
[基金项目]深部探测技术与实验研究专项"大陆科学钻探选址与科学钻探实验"项目(编号 SinoProbe-05)资助。
[第一作者]董海燕(1982年-),男,2005年毕业于吉林大学,获学士学位,工程师,长期从事深部钻探、科学钻探、地热井、页岩气等探矿工程施工工作。E-mail: dhy0930@126.com。

金属或铵阳离子,最好是 Na^+。一种理想的高温泡沫剂为 N－十六烷酰－N－甲基牛磺酸钠(商品名 LgeponTN－74)。在 232.2℃的温度加热 2h,1% 浓度泡沫半衰期大于 2h,表现出极好的发泡能力和稳定性。

美国 P. W. Fischer 和 D. S. Pye 提供了一种在高温下具有良好的稳定性的泡沫剂,这种泡沫剂是用一种气体在高压下与一种烷氧基甲基磺酸的碱金属或铵盐(其中直链含有 10～16 个碳原子)水溶液混合而成,该泡沫剂可用于低温地层,更适用于高温地层。用该泡沫剂在 222.3 mm 井眼中进行现场试验,用 101.6 mm 钻杆钻深为 1828.80 m,井底温度高达 226.67℃,压力为 2.76 MPa 的地热地层,取得了满意的效果。

美国 D. E. Pyle 和 P. W. Fischer 等又提供了一种钻进高温地热层的方案,这种方案由下列组分配成的水基泡沫钻井液:水、气体、泡沫剂腐蚀阻化剂、水溶性羟烷基纤维素醚或聚氧乙烯类聚合物,这种组合的水基泡沫钻井液曾在 152 4.00～243 8.40 m 的井深钻达地热层,温度高达 260.0℃,压力为 55.17 MPa 的地热地层。

1.2 国外耐高温泡沫钻井液技术

由于肯尼亚 OLKARI 地区地层硬、高温、低压和漏失存在,采用了空气泡沫钻井技术(王龙等,2010),泡沫基液具有足够的抗高温性,性能达到下述要求:具有很强的抗盐(抗氯离子浓度大于 3%,抗钙离子大于 0.2%)的能力;良好的高温热稳定性(240℃条件保持发泡能力);具有低腐蚀性(加缓蚀剂);稳定的流变特性。在形成泡沫的基液中加入抗高温保护剂 HT－1 提高了发泡剂的抗温能力,抗温极限从 180℃提高到 240℃,满足了现场高温施工的要求。

目前国外针对高温泡沫钻井液方面的研究较多,但很少有关于高温泡沫钻井液应用方面的报道。

2 国内耐高温泡沫钻井液实施情况

泡沫在石油钻井、洗井工程中的应用国内始于 20 世纪 80 年代初,国内目前泡沫配方的研究水平与泡沫整体技术的发展不适应,缺乏系统的理论和能将现场应用与室内研究有机结合起来的实验方法(孙建峰等,2011)。

2.1 国内泡沫钻井用处理剂现状

2.1.1 抗高温发泡剂

发泡剂的主要成分是表面活性剂。通常用的表面活性剂主要有阴离子型、非离子型、阳离子型和两性离子等四种类型的发泡剂。表 1 是各种类型发泡剂的优缺点及适用温度范围,

从表 1 可以看出现有发泡剂的抗温能力差(≤120℃),不能满足井底温度在 150℃及 150℃以上温度的要求。

阴离子型:ABS(烷基苯磺酸钠)、K12(十二烷基硫酸钠)、ES(脂肪醇醚硫酸钠)、F842(椰子油单乙醇酰胺磺化琥珀酸脂二钠盐)、F873(F842 和脂肪醇醚磺化琥珀酸脂二钠盐的混合物);

非离子型:OP－7(聚氧乙烯辛基(10))、OP－10(十二烷基二甲基氧化铵);

阳离子型:OB－2(脂肪醚三乙醇胺盐)、TA－40(烷基苯磺酸三乙醇胺盐);

两性型:BS－12(十二烷基二甲基甜菜碱)是一种分子主链的碳链较长(大于 12 个 C),且含有磺酸集团的甜菜碱。具有良好的起泡能力,抗盐能力强;磺酸基团的引入使得该发泡剂的抗温能力得到了提高,改善了泡沫在高温下的稳定性,从而进一步提高该起泡剂的抗温能力。

王成文等(2008)采用环氧氯丙烷在 TTA 路易斯酸催化作用下分别与正辛醇、正癸醇和正十二醇

表 1 常用发泡剂的优缺点与适用温度范围

Table 1 Advantages and disadvantages of common foaming agents and their suitable temperatures

发泡剂类型	主要种类	优点	缺点	适用温度范围
阴离子	硫酸盐、磺酸盐	起泡能力好	抗盐能力差,125℃以上易降解产生硫酸(引起腐蚀)	≤120℃
阳离子	四价铵盐	有一定的抗盐能力,与腐蚀剂配伍性好	起泡能力差,乳化作用强,抗高温能力差	未有明确范围,通常≤120℃
非离子	脂肪醇聚氧乙烯醚	起泡能力好,抗盐能力强	浊点小于 100℃,高温下析出活性组分而变浑浊	≤100℃
两性离子	甜菜碱	起泡能力好,抗盐能力强,可与阴离子、阳离子、非离子复配使用	高温下的泡沫稳定性差	未有明确范围,通常≤120℃

发生开环反应,然后在碱性条件下闭环,最后与亚硫酸氢钠在高温条件下发生磺化反应的三步法,合成出一系列烷基甘油基醚磺酸钠(AGS)表面活性剂,结果表明该系列表面活性剂可耐 250℃高温,无论是在 5% NaCl 或 5000 mg/L Ca^{2+} 的盐水溶液中,还是在 15% 柴油或原油的高含油溶液中都具有良好的泡沫性能。

张立明等(2008)合成了双垂尾的烷基苯烷基磺酸盐,方法是利用 α - 烯烃磺酸和烷基苯在一定条件下反应,烯烃双键打开与苯环相连。合成的产品具有一定的耐温性,在 250℃时仍然具有一定的泡沫性能。

孙建峰等(2011),在室内合成了 JP 系列高温泡沫剂,通过常温与高温条件下的实验评价表明:JP18 - 2 泡沫剂评价效果最好,能有效耐受 300℃高温,泡沫性能较好。

赵晓东等(2001)将十二醇在 TBE 催化剂存在下与环氧氯丙烷作用,生成氯代脂肪醇醚Ⅰ,在 NaOH 溶液中进行环氧化得到中间产物Ⅱ,将Ⅱ和 $NaHSO_3$ 作用合成出阴离子表面活性剂 AGES。结果表明 AGES 起泡能力强,泡沫稳定性好,在 Ca^{2+} 浓度为 5000mg/L。矿化度为 5×10^4mg/L 的混合盐水中或 20% 煤油存在下的泡沫性能均优于 SDS 和 ABS,且在 250℃下滚动加热 6h 也很少分解。

胡钶等(2010)通过对泡沫剂的筛选及评价,研制出起泡能力强,稳定性好的耐高温泡沫剂 DHF - 1,经 300℃,72h 耐温性试验,结果表明其化学性能稳定,对蒸汽驱具有良好的封堵调剖能力。

赵晓竹等(2009)在大庆油田开展了抗高温雾化泡沫钻井液体系研究,研制了 DY - 2 型发泡剂,1% 加量在 180℃条件热滚下,发泡体积 436ml。

郭东红等(2008),将 α - 烯烃磺酸钠、芳基烷基磺酸钠放置于混合釜中,搅拌,升温至 45 ~ 50℃,缓慢加入高温泡沫稳定剂和水,继续搅拌 45 ~ 60 min,降温出料得到高温发泡剂。该发泡剂在高温 300℃条件下,具有很好的化学热稳定性,泡沫半衰期达 6h 以上,起始发泡量可以达到原液体体积 6 倍以上,发泡能力显著优于同类产品。

2.1.2　稳泡剂

稳泡剂是以延长泡沫持久性为目的而加入的添加剂。一些有机化合物和表面活性剂可用作稳泡剂。例如 CMC、HEC 和 PAM 就是很好的有机化合物稳泡剂,而月桂酰二乙醇胺等则是很好的表面活性剂稳泡剂(曹嫣镔等,2004)。

对于稳泡剂能够使泡沫长期稳定存在,分析其机理之一是稳泡剂的加入显著地增强了液膜的强度。例如 CMC 长链分子在液膜上的搭结效应,对稳定泡沫起到良好的保护作用。

杜西刚合成了烷基苯磺酸盐 Gemini 表面活性剂,方法是利用格林试剂将两个相同结构的烷基苯连接在一起,再磺化中和,产品具有降低表面张力作用和一定的起泡稳泡性。

赖晓晴等(2009)针对地热井的温度变化异常,常规泡沫流体很难满足施工要求这一问题,研制了抗高温保护剂 HT - 1,将发泡剂的抗温极限从 180℃提高到 240℃。HT - 1 对 Ca^{2+}、Cl^- 的污染不敏感,不会影响原有发泡剂的抗污染能力,适用范围广,在增加较少成本的条件下,就可以提高泡沫流体的抗温性。

2.2　国内耐高温泡沫钻井液技术

郑义平等(2008)针对欠平衡泡沫钻井时可能遇到高温、高浓度盐水和油类物质污染,通过在膨润土、包被剂、增粘剂和稳泡剂等物质配置的钻井液中加入自制发泡剂 TSB,形成了高温泡沫钻井液,抗温可达 150℃。配方:2% 膨润土 + 0.1% 增粘剂 + 0.1% 稳泡剂 + 0.2% 包被剂 A + 14% 包被剂 B + 4% 发泡剂 TSB。性能见表 2。

表 2　欠平衡泡沫钻井液性能表

Table 2　Performance of the underbalanced foam mud system

起泡体积(ml)				半衰期(min)			
25℃	80℃	130℃	150℃	25℃	80℃	130℃	150℃
600	650	650	650	450	465	430	302

中原油田研制了一种抗高温、抗污染、抑制性和携水能力强的空气泡沫流体。基液在 90℃下老化 16h,半衰期仍保持在 30min 以上;体系的抗钙浓度达到 500mg/L;在泡沫中浸泡的岩心 24h 内没有变形;通过合理使用化学消泡剂,可循环利用。大庆油田通过对发泡剂、稳泡剂、抑制剂进行优选,研制出适合大庆油田地层的氮气泡沫流体配方。泡沫流体在温度恒定状态下,随压力的增加,其密度不断增加,但增加率逐渐减小为零,此泡沫流体已在徐深 43 等多口井中成功应用。

吴庭等(2009)研制出能够满足在 150℃高温钻井时使用高温泡沫钻井液,配方:100ml 水 + 0.5% 十二烷基硫酸钠 + 0.2% PAC + 0.2% XC + 0.05% NaOH + 0.3% 尼凡丁 3 号缓蚀剂。发泡量保持在 400 ~ 600ml,半衰期在 30min 左右,满足项目现场施

工的要求。

张荣等(2008)针对渤海油田深部古潜山高温低压地层钻井需要,优选了抗高温海水微泡沫钻井液:60mL(9%膨润土浆)+120mL 海水 + 0.2% Na_2CO_3 + 0.1% NaOH + 0.6% CMC - MV + 0.3% XC + 1% LNW 高温稳定剂 +0.4% SDP - 1 + 0.5% SDP - 2 + TJ。泡沫钻井液密度达到 0.6 ~ 0.95g/cm^3;引入了高温稳定剂 LNW,它使海水微泡沫钻井液的抗温性达 150℃,长期稳定性达 7d。该体系的抗温、抗盐、岩屑、海水和油污染能力强,油气层保护效果好。

国内目前针对耐高温泡沫钻井液应用较少(王文勇等,2012),但由于泡沫钻井液在超高温条件下循环一个钻井周期仍具有良好的重复发泡能力,即使在井筒内发生相态变化,其也能够在相态恢复后重复发泡为泡沫流体,具有一定的携带岩屑能力,因此低密度耐高温泡沫钻井液能够满足深井、超深井、干热岩、地热井等钻探施工的需求。

3 耐高温泡沫钻井液主要技术难点

(1) 干热岩、地热井的地温变化极其异常,有的井深只有几百米,地层温度就可达 150℃以上;有的井深在 1000m 左右,地温可达 250℃以上,有的井底温度甚至达到 350℃。因而对高温泡沫钻井液来说,最关键的就是其处理剂的抗温能力,尤其是是否能承受 150℃以上高温是泡沫钻井的难点。而高温对泡沫泥浆的影响主要表现在三个方面:① 高温对粘土水化的影响;② 高温对泡沫泥浆处理剂的影响;③高温对发泡剂的影响。

(2) 在高温条件下(邱正松等,2002;刘德生等,2006;张中宝等,2008;熊亮等,2009;李公让等,2011;单文军等,2013),高温易使构成钻井流体的物质化学结构分解,失去表面活性。温度升高,泡沫液膜的粘度降低,液膜的排液速度加快,粘弹性降低,透气性增大,液膜迅速变薄强度下降,泡沫流体稳定性下降,从而在钻井过程中导致一系列井下事故或复杂情况的发生。

(3) 作为目前钻井用发泡剂,大多为阴离子型表面活性剂,属亲水型,形成溶液的表面张力大,化学活性高,表现为泡沫体积大,气泡孔径大,泡沫结构疏松,因而液膜的抗温性也较差。提高泡沫流体的抗温性能,可通过加入溶解度小、分子量小的物质,使溶液的表面活性增大,泡沫稳定性提高,泡沫直径减小,排液速度慢,强度提高,寿命延长;同时加入这种物质对形成的液膜具有良好的抗高温作用,随着温度升高,在损耗一部分的情况下仍能保持表面活性剂在水溶液中的活性和形成泡沫后的良好发泡作用和稳定性,该物质为抗高温保护剂。

4 高温对泡沫钻井液性能的要求

4.1 高温引起的问题

高温对泡沫处理剂的影响主要是高温降解作用。通常泡沫钻井液在某一温度下相对稳定,当温度升高,液相粘度降低,排液速率增大,气体分子的动能增加,分子运动加剧,气体体积增大,难以压缩。同时由于液膜加速蒸发而变薄,泡膜强度降低,使得泡沫稳定性下降。另一方面高温时发泡剂的一些基团会发生变异而失去它的起泡作用,从而在钻井过程中导致一系列井下事故的发生。

4.2 泡沫抗高温性能要求

在超高温地热井施工中,针对地热井超高温地层的特点,对泡沫钻井液有如下要求:

(1) 泡沫钻井液气泡间的液膜具有在高温条件下能抵抗超高温(抗蒸发)、抗压和抗剪切的能力,在钻井循环过程中不会失效,保证钻井的正常进行。

(2) 如果存在相变,泡沫钻井液具有较好的重复发泡性能。即发泡剂干粉在循环周期内不会失效,当井筒中流体恢复为气液两相流时能够重复发泡。

5 耐高温泡沫钻井液技术研究方向

目前国内外对于高温泡沫钻井液技术应用较少,在基础理论及技术研究方面还不全面。针对未来实施的深部科学钻探、干热岩及地热井钻探,可能会面临超高温异常压力地层,因此耐温超过 260℃以上的处理剂及泡沫钻井液体系是未来研究的重点,该研究将主要集中在以下几个方面。

5.1 泡沫机理研究

超高温(≥260℃)泡沫钻井液抗高温作用机理研究;超高温表面活性剂类发泡剂起泡机理研究;高温泡沫表面张力、液膜稳定机理研究;井下各种颗粒物(抗污染)对高温泡沫流体稳定性影响研究;高温泡沫携岩机理研究;耐高温泡沫钻井液消泡机理研究等方面。

5.2 发泡剂的选择

发泡剂在超高温条件下必须具有活性,且具有亲水基团和亲油基团。例如研制主链以 -C-C-、-C-S-、-C-N- 键或含有苯核的发泡剂 ,抗温性能好;烯烃磺酸盐,其主要成分是链烯磺酸盐和羟基链烷磺酸盐为主的发泡剂,这些发泡荆的碳原子

数在 15 左右,高温下的发泡能力和泡沫稳定性很好;研制或者优选表面张力低,膜强度较高的处理剂,一般泡沫总比表面积增加,泡沫不稳定,只有降低表面张力形成表面膜,使之具有一定的强度才有助于泡沫稳定。

5.3　研制抗高温保护剂

抗高温保护剂主要是在原有泡沫流体基础上提高泡沫钻井液的抗高温性能,通过提高高温条件下表面活性或液膜的性质为基础,研制适用于泡沫钻井液体系的高温保护剂。

5.4　高温高压泡沫测试仪器的研究

研究高温(≥260℃)泡沫流体流变仪;高温高压条件下泡沫评价装置;耐高温泡沫表面张力测试仪器等。

5.5　配方实验研究

针对超高温、异常压力、易漏失地层等,开展低密度耐高温泡沫钻井液、抗污染耐高温泡沫钻井液、耐高温油基泡沫钻井液等深井、地热井钻探用配方及实验研究。

6　小结

本文主要对国内外耐高温泡沫钻井液的应用情况及其目前在实际使用过程中主要存在的技术难点进行了介绍。并指出了今后在耐高温泡沫钻井液方面的技术研究主要应该从泡沫机理研究、发泡剂的选择、研究抗高温保护剂、高温高压泡沫测试仪器的研究和配方实验研究五个方面展开。耐高温泡沫钻井液用于地热井在我国是一项新的钻井液应用技术,但国内目前针对耐高温泡沫钻井液的应用较少,其相应的研究也不多。由于泡沫钻井液在高温条件下的欠平衡钻井中具有优良的性能,对耐高温泡沫钻井液体系的研究室非常必要的。且研制耐温超过 260℃以上的处理剂及泡沫钻井液体系对未来实施的深部科学钻探、干热岩及地热井钻探解决低压漏失层问题,防止地层污染都是十分有益的。

[References]

Cao Yan-bin, Wang Qiu-xia, Guo Sheng-xue, Tang Pei-zhong, Liu Dong-qing, Cao Qiu-fang, Song Dan. 2004. Development and application of TH－1 high-temperature resisting foaming system[J]. Journal of Xi'an University of Petroleum (Natural Science Edition),19(3):60－62(in Chinese)

Guo Dong-hong, Xin Hao-chuan, Cui Xiao-dong. 2008. Study on properties of ROS surfactant applied in high temperature and high salinity reservoir[J]. Speciality Petrochemicals, 25(5):9－11(in Chinese with English abstract)

Hu Ke, Wang Qi-wei, Guo Ping, Wang Jun-zhi ,Sheng Qiang, Zhang Ying-hua. 2010. Comprehensive evaluation of high temperature foaming agent and new product developing[J]. Journal of Qingdao University of Science and Technology(Natural Science Edition),31(3):274－278(in Chinese with English abstract)

Hu Ji-liang, Tao Shi-xian, Shan Wen-jun, Liu San-yi. 2012. Overview of ultra-deep well high-temperature drilling fluid technology and discussion of its research direction[J]. Geology and Exploration,48(1):155－159(in Chinese)

Lai Xiao-qing, Lou Yi-shan, Qu Yuan-zhi, Shan Zheng-ming, Deng Fa-bing. 2009. Foam drilling fluid technology for ultra-high temperature geothermal wells[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid,26(2):37－38(in Chinese)

Liu De-sheng, Chen Xiao-yu, Zhou Cheng-fu. 2006. Effects of temperature on the stability of foam[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 23(4):10－12(in Chinese)

Li Gong-rang. 2011. Study of foam drilling fluid temperature sensitivity [J]. Drilling Petroleum Techniques,39(4):34－39(in Chinese with English abstract)

Qiu Zheng-song, Zhang Rui, Xu Jia-fang, Xu Jun-xian, Huang Da-quan, Wang Si-you. 2002. Studies on HTHP density characteristics simulating test of foam drilling fluids[J]. Drilling Petroleum Techniques,30(1):4－6(in Chinese with English abstract)

Shan Wen-jun, Tao Shi-xian, Hu Ji-liang, Liu San-yi, Li Yan-ning, Yue Wei-min. 2013. Technical difficulties of high-temperature brine drilling fluid and its research status at home and abroad[J]. Gelogy and Explovation,49(5):976－980(in Chinese with English abstract)

Sun Jian-feng, Guo Dong-hong, Xin Hao-chuan, Wang Li-jun, Shen Yu-ling, Liu Chun-qin. 2011. Synthesis and properties valuation of JP series high temperature resistant foam agents[J]. Oil drilling & production technology,33(2):117－119(in Chinese with English abstract)

Wang Cheng-wen, Wang Rui-he, Chen Er-ding, Bu Ji-yong, Zhao Xiao-dong. 2008. Synthesis and properties of novel alkyl glycerol ether suffocate with thermal stability and brine tolerance[J]. Journal of China University of Petroleum,32(4):55－59(in Chinese with English abstract)

Wu Ting, Zhao Lin, Gao Zhi-jun. 2009. Study on anti-corrosion and anti-high temperature form drilling fluid[J]. Chemical Engineering & Equipment, (12):36－39(in Chinese)

Wang Wen-yong, Meng Ying-feng, Liu Bo-wei, Long Jun-xi. 2012 . Study on AHT characteristic of ultra-temperature foam drilling fluids [J]. Drilling & Production Technology,35(1):78－80(in Chinese with English abstract)

Wang Long, Zhang Zi-qiao, Zhang Hua-wei, Wang Ying. 2010. Application of drilling technology for high temperature geothermal wells of olkaria block in Kenya[J]. Foreign Oil Fluid Engineering,26(10):32－33(in Chinese with English abstract)

Xiong Liang, Kong Yao-zu. 2009. Experimental research on foam effects to temperature[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling),36(4):10－12(in Chinese with English abstract)

Zeng Yi-jin, Liu Jian-li. 2005. Technical status and developmental trend of drilling techniques in deep and ultra-deep wells[J]. Petroleum Drilling Techniques,33(5):1 – 5(in Chinese with English abstract)

Zhang Li-ming, Sun De-si, Zhu You-yi. 2008. Study on the property of a new high-temperature foamer—dialkybenze sulfonate[J]. Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition),23(3):57 – 60(in Chinese with English abstract)

Zheng Yi-ping, Li Ai-min, Huang Wen-hong, Yang Ji-xiang. 2008. Experimental research on the system of anti-high temperature foam drilling fluid[J]. Xinjiang Petroleum Science & Technology, 4(18):9 – 10(in Chinese with English abstract)

Zhang Zhong-bao, Li Yan-ling, Wang Gui. 2008. Study on HTHP density of water-based micro-foam drilling fluid[J]. Petroleum Drilling Techniques. 36(3):66 – 68(in Chinese with English abstract)

Zhao Xiao-dong, Jiang Lin, Meng Ying-feng, Jia Zhao-xia. 2001. Study on preparation and properties of high-temperature & salt foam drilling fluid[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute,23(4):46 – 48(in Chinese)

Zhao Xiao-zhu, He Shu, Zhang Kun, Sun Xi-jing. 2009. Research and application of atomization / foam drilling fluid in Daqing Oilfield[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid,26(4):29 – 31(in Chinese)

Zhang Rong, Mo Cheng-xiao. 2008. Study on experiments of high-temperature seawater micro-foam drilling fluid [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid,25(6):32 – 35(in Chinese)

[附中文参考文献]

曹嫣镔,王秋霞,郭省学,唐培忠,刘冬青,曹秋芳,宋 丹. 2004. 耐高温高效泡沫体系 TH – 1 的研制及应用[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),19(3):60 – 62

郭东红,辛浩川,崔晓东,谢慧. 2008. ROS 驱油表面活性剂在高温高盐油藏中的应用[J]. 精细石油化工,25(5):9 – 11

胡 钶,王其伟,郭 平,王军志,盛 强,张营华. 2010. 耐高温泡沫剂的综合评价与新产品开发[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版),31(3):274 – 278

胡继良,陶士先,单文军,刘三意. 2012. 超深井高温钻井液技术概况及研究方向的探讨[J]. 地质与勘探,48(1):155 – 159

赖晓晴,楼一珊,屈沅治,单正明,邓发兵. 2009. 超高温地热井泡沫钻井流体技术[J]. 钻井液与完井液,26(2):37 – 38

刘德生,陈小榆,周承富. 2006. 温度对泡沫稳定性的影响[J]. 钻井液与完井液,23(4):10 – 12

李公让. 2011. 泡沫钻井流体温度敏感性研究[J]. 石油钻探技术,39(4):34 – 39

邱正松,张 锐,徐加放,徐军献,黄达全,王思友. 2002. 泡沫钻井液高温高压密度特性模拟实验研究[J]. 石油钻探技术,30(1):4 – 6

单文军,陶士先,胡继良,刘三意,李艳宁,岳伟民. 2013. 高温盐水钻井液技术难点及国内外研究现状[J]. 地质与勘探, 49(5):976 – 980

孙建峰,郭东红,辛浩川,王丽军,申玉领,刘春琴. 2011. JP 系列高温泡沫剂的合成及性能评价[J]. 石油钻采工艺,33(2):117 – 119

王成文,王瑞和,陈二丁,卜继勇,赵晓东. 2008. 新型抗高温耐盐起泡剂 AGS 合成与性能研究[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,32(4):55 – 59

吴 庭,赵 林,高志军. 2009. 抗腐蚀、抗高温泡沫钻井液的研究[J]. 化学工程与装备,(12):36 – 39

王文勇,孟英峰,刘博伟,龙俊西. 2012. 超高温地热井钻井泡沫抗高温性能研究[J]. 钻采工艺,35(1):78 – 80

王 龙,张子桥,张华伟,王 颖. 2010. 肯尼亚 OLKARIA 高温地热井钻井技术应用[J]. 国外油田工程,26(10):32 – 33

熊 亮,孔耀祖. 2009. 温度对泡沫性能影响的实验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),36(4):10 – 12

张立明,孙德四,朱友益. 2008. 新型高温发泡剂烷基苯烷基磺酸钠性能研究[J]. 西安石油大学学报:自然科学版,23(3):57 – 60

郑义平,李爱民,黄文红,杨继祥. 2008. 抗高温泡沫钻井液体系的实验研究[J]. 新疆石油科技,4(18):9 – 10

张中宝,李彦岭,王 贵. 2008. 高温高压水基微泡沫钻井液静密度研究[J]. 石油钻探技术,36(3):66 – 68

曾义金,刘建立. 2005. 深井超深井钻井技术现状和发展趋势[J]. 石油钻探技术,33(5):1 – 5

赵晓东,江 琳,孟英峰,贾朝霞. 2001. 钻井用耐盐抗高温发泡剂的制备和性能研究[J]. 西南石油学院学报,23(4):46 – 48

赵晓竹,何 恕,张 坤,孙西静. 2009. 大庆油田雾化/泡沫钻井液的研究与应用[J]. 钻井液与完井液,26(4):29 – 31

张 荣,莫成孝. 2008. 抗高温海水微泡沫钻井液实验研究[J]. 钻井液与完井液,25(6):32 – 35

Research Progress and Directions of the Anti-high Temperature Foam Drilling Fluid

DONG Hai-yan[1], SHAN Wen-jun[2], LI Yan-ning[2], YUE Wei-min[2], ZHAO Zhi-tao[2]

(1. *No.* 3 *Exploration Institute of Geology and Mineral Resources in Shandong Province*, *Yantai*, *Shandong* 264004;
2. *Beijing Institute of Exploration Engineering*, *Beijing* 100083)

Abstract: The anti-high temperature foam drilling fluid is one of the most effective drilling fluids for exploitation in deep wells, ultra deep wells, high temperature geothermal wells, and hot dry rock drilling, especially for drilling of ultra-high temperature resources. This paper present the high-temperature foam treating agents and foam drilling fluid systems, and analyzes the main problems that high-temperature foam drilling fluids face. In deep wells, ultra deep wells, hot dry rock drilling and geothermal well drilling, formations with ultra high temperature, low pressure and easily to leakage are common challenges. Therefore, the requirements of the low density drilling fluid system are increasingly higher, and the main technological difficulty is the control of the performance of high-temperature, low pressure and narrow density drilling fluids. It is inferred from the progress of high temperature resistant foam drilling fluids that the development directions of the future high temperature resisting drilling fluid are the foam drilling fluid which is capable of resistance above 260 ℃, low density foam drilling fluid agents and foam drilling fluid systems, high temperature foam drilling fluid testing equipment and its evaluation methods.

Key words: ultra-high temperature, geothermal well, foam drilling, anti-high temperature, current situation, foaming, half-life time