

文章编号:1000-4092(2022)01-155-08

水基钻井液有机处理剂智能化研究进展与应用展望*

沈浩坤,孙金声,吕开河,黄贤斌,刘敬平,王金堂,白英睿,金家峰

(中国石油大学(华东)石油工程学院,山东 青岛 266580)

摘要:传统水基钻井液存在配制过程繁琐、针对性差、自适应能力弱等不足。智能水基钻井液由于具有更好的针对性、普适性,同时能大幅降低人工干预程度,成为油田化学领域新的研究方向。通过文献分析,介绍了智能水基钻井液有机处理剂,如流型调节剂、降滤失剂、页岩抑制剂、润滑剂和防漏堵漏材料等在水基钻井液中的作用机制和研究进展。针对不同智能钻井液有机处理剂的特点,论述了智能材料在水基钻井液应用的可行性,展望了智能钻井液有机处理剂在智能钻井液体系中的研发思路、方法及应用前景。

关键词:钻井液;有机处理剂;智能化;研究进展;应用展望;综述

文献标识码:A **DOI:**10.19346/j.cnki.1000-4092.2022.01.027

中图分类号:TE254

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



水基钻井液是以水为分散介质,添加具有不同功能的处理剂配制而成的多相分散体系,在钻井工程中发挥的重要作用被喻为钻井的“血液”。相比油基钻井液,水基钻井液单井成本较低、原料广泛且后期固废处理压力较小,被广泛应用于钻井工程中^[1-3]。由于常规油气资源趋于枯竭,非常规油气资源成为近十年来油气资源可持续发展的趋势。而非常规油气资源由于具有开发难度大、钻井投入高、生产风险大的特点,对钻井液性能提出了更高的要求。国内外专家学者针对遇到的钻井工程问题和安全风险,研发出一系列高性能水基钻井液,可以满足大部分现场要求^[4-10]。

但水基钻井液技术存在配制过程繁琐,钻井液

指向性不足,自适应能力弱等^[11-12]。针对上述问题,部分专家学者提出了钻井液智能化的研究方向。当前业内对于钻井液智能化的概念还未形成统一认识。就目前来看,钻井液智能化可以分为广义智能化和狭义智能化。广义智能化可以理解为,凡是涉及到钻井液体系的智能化,包括钻井液化学体系智能化、钻井液体系控制系统智能化和钻井液信息平台智能化,均属于钻井液智能化的范畴。而狭义的钻井液智能化仅指钻井液化学体系智能化^[13-16]。钻井液化学体系智能化是指钻井液体系能针对外界环境(温度、压力、电解质强度、pH值等)的刺激,自发做出响应,维持钻井液体系基本性能的稳定,或使钻井液性能调整到更加适应外界环境的状态。

* 收稿日期:2020-12-27;修回日期:2021-03-03。

基金项目:国家自然科学基金“电性纳米材料锂皂土调控水基钻井液高温稳定性机理研究”(项目编号51904329),国家自然科学基金石油化工联合基金(A类)重点基金“超深井安全高效井筒工作液构建及调控方法基础研究”(项目编号U1762212),中国石油天然气集团有限公司项目“抗高温环保钻井液新材料研发”(项目编号2018A-3907),中国石油重大科技项目“塔里木盆地深层油气高效勘探开发理论及关键技术研究”(项目编号ZD2019-183-005),山东省重点科研项目“绿色高效井筒工作液关键材料研发及产业化”(项目编号2020ZLYS07)。

作者简介:沈浩坤(1995—),男,中国石油大学(华东)油气井工程专业在读博士研究生(2020—),从事水基钻井液处理剂研究工作,通讯地址:266580 山东省青岛市经济技术开发区长江西路66号中国石油大学(华东)石油工程学院,E-mail:2467239925@qq.com。孙金声(1965—),男,中国工程院院士,教授,博士生导师,本文通讯联系人,研究方向为钻井液、储层保护、天然气水合物钻采理论与技术等,电话:0532-86981690,E-mail:sunjsdri@cnpc.com.cn。

钻井液化学体系智能化的基础是研发智能钻井液处理剂。根据钻井液化学体系智能化的概念,可以认为智能钻井液处理剂是一类能感知外部刺激、进而自主判断并实现某些特殊功能的新型智能材料。近年来,越来越多的研究人员将智能材料作为钻井液处理剂应用于钻井液体系中,使其具有感知、识别、响应、自诊断、自修复和自适应等性能,成为油田化学领域目前乃至未来的重要发展方向之一^[17-20]。本文从智能钻井液处理剂的角度,总结了不同智能钻井液处理剂在水基钻井液中的作用机制、特点和应用现状,分析了智能钻井液处理剂在水基钻井液体系中的研发方向、方法及应用前景。

1 智能钻井液化学体系研究进展

本文所述的钻井液化学体系主要指钻井液处理剂。作为钻井液组成的重要部分,钻井液处理剂是常用油田化学品之一,可使钻井液保持稳定,满足钻井过程中对钻井液各方面性能的要求。因此,钻井液化学体系智能化,也可以称为钻井液处理剂智能化。

1.1 智能钻井液流型调节剂

流型调节剂作为钻井液中改善钻井液流变性、提高钻井液悬浮能力和携岩能力的处理剂,起到井眼清洁和安全钻进的作用。随着大位移井、大斜度定向井、深水、超深水井、深层、超深层井的开发数量不断增加,当钻遇复杂地层或地层温度变化很大时,钻井液存在流变性能恶化速度过快的问题。传统钻井液流型调节剂虽具有调节钻井液黏度的能力,但仍无法完全满足钻井的需求^[21-22]。为解决钻井过程中出现的钻井液流变不稳定的问题,众多学者提出了恒流变钻井液技术。其中流型调节剂作为主要的处理剂,在恒流变钻井液技术中发挥了重要作用^[23-25]。目前,智能化钻井液流型调节剂的制备思路主要是向人工合成聚合物类流型调节剂中引入温敏或盐敏型聚合物单体。利用温敏或盐敏型聚合物在不同温度或矿化度条件下的自发行为调控钻井液的流变性。

徐加放等^[26]以N-乙烯基己内酰胺(NVCL)作原料、偶氮二异丁腈(AIBN)作引发剂,通过自由基聚合合法合成了一种对深水水基钻井液低温流变性具有智能调控作用的聚N-乙烯基己内酰胺(PVCL)。

PVCL具有较强的抗温、抗盐能力,能使钻井液的表观黏度、塑性黏度、动切力等流变参数在4~60℃内的变化幅度降低50%。其对钻井液流变智能调控的机理(图1)可以归纳为:低温条件下,小分子量PVCL吸附在黏土颗粒表面,抑制高分子聚合物与黏土颗粒接触形成网状结构,钻井液黏度较小;随着温度升高,PVCL从黏土颗粒表面解吸附,钻井液体系中聚合物与黏土颗粒形成的网状结构增多,钻井液黏度升高。

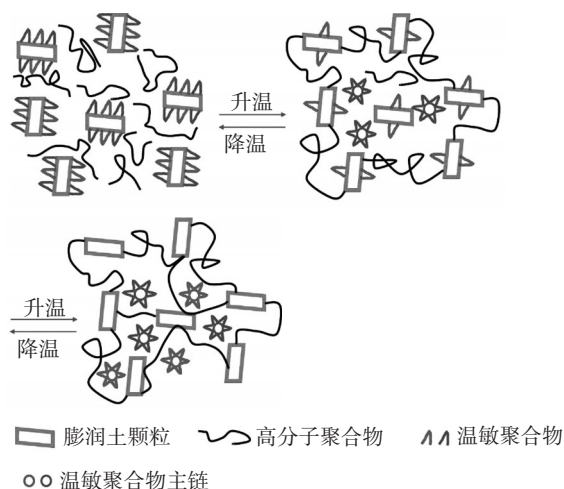


图1 温敏聚合物智能流变调节剂作用机制^[26]

刘均一等^[27]采用聚季铵盐与超支化聚苯并咪唑为原料进行聚合,再与表面活性剂、增效剂和消泡剂复配,得到一种温敏聚合物类智能流型调节剂。该调节剂可使钻井液流变参数在4~65℃范围内保持稳定,从而减少因钻井液流变性在低温和高温条件下差异大而造成当量循环密度值高、井漏和压力控制难等技术问题的出现。

谢彬强等^[28-29]以温敏型烯基酰胺单体和烯基磺酸单体为原料、偶氮二异丁酸二甲酯作引发剂,通过自由基聚合反应制备了一种温敏聚合物类智能流型调节剂,并基于该处理剂配制了恒流变钻井液。该温敏流变调节剂在海水中具有高温增黏和低温降黏的特性,且抗温性能突出,可使钻井液流变参数在4~75℃范围内保持稳定,进一步扩大了智能流变调节剂的适用温度范围。

黄孟等^[30]以丙烯酸、丙烯酰胺和2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸为原料,通过反相微乳液聚合合法合成了一种具有核壳结构的智能恒流变钻井液流型调节剂。与上述其他流型调节剂的作用机制不同,

该处理剂由于亲水性外壳的存在,可以使钻井液体系中损耗的亲水基团得到补充,从而保持钻井液体系中亲水基团数目相对平衡,以提高钻井液流变的稳定性。

Sun等^[31]合成了一种盐敏型两性离子聚合物PAMN作为盐水钻井液智能流型调节剂。该调节剂对淡水基浆的增黏效果有限,但可使饱和盐水基浆的表观黏度和塑性黏度分别提高5.4倍和9.3倍。这是由于随着电解质离子强度的增加,PAMN分子链从蜷缩结构转变为伸展结构,导致分子链在盐水中的回转半径增大,补偿钻井液在高矿化度环境下损失的黏度,实现钻井液流变性能的稳定。

1.2 智能钻井液降滤失剂

钻井液降滤失剂作为钻井液中常用的化学处理剂之一,主要用来降低钻井液的滤失量。随着深井、超深井的数量与日俱增,井底的高温环境使得降滤失剂性能恶化甚至失效,高压环境又进一步增加了钻井液的滤失量,泥饼增厚,最终增加井壁失稳和井下复杂发生的概率。现有的部分降滤失剂虽然能满足现场需要,在高温条件下有效降低滤失,但当被盐钙污染后,钻井液的降滤失效果明显变差,故需要与其他抗盐降滤失剂复配使用,因此迫切需要研发抗高温、抗盐钙的智能钻井液降滤失剂^[32-35]。

Shen等^[36]以丙烯酰胺、2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸钠、二甲基二烯丙基氯化铵、苯乙烯和纳米锂皂石为原料,通过原位乳液聚合法合成了一种疏水缔合聚合物基层状硅酸盐复合物。该复合物可以通过疏水缔合作用自发形成多层复合豆荚状结构,提高泥饼的致密程度,从而降低钻井液的滤失量。

另外,向钻井液体系中引入小分子电解质或升高温度会使溶剂极性增大,使疏水缔合复合物的缔合作用增强,提高聚合物网络的强度,使溶液黏度升高,从而补偿钻井液在高温高矿化度环境下损失的黏度。

Chang等^[37]合成了一种基于盐响应的两性离子聚合物的改性二氧化硅NS-DAD作为水基钻井液降滤失剂。与非离子聚合物、阴离子聚合物和阳离子聚合物改性的二氧化硅相比,NS-DAD表现出明显的抗电解质现象。这是由于溶液中的离子屏蔽了两性离子聚合物分子链上的静电相互作用,分子结构由塌缩的球体变为舒展的分子链,使得NS-DAD能在高温、高矿化度的条件下仍能保持良好的降滤失性能。

除使用盐敏聚合物对纳米无机材料进行改性的方法外,其他学者还使用温敏聚合物对碳基纳米材料进行改性作为智能降滤失剂。Amin等^[38]采用酸化处理和聚合物嵌入合成了一种改性碳纳米管复合物作为钻井液降滤失剂,探究了聚乙二醇改性碳纳米管对钻井液滤失性的影响。该复合物能有效降低泥饼的渗透率,与基浆相比降滤失性能提高了82%。其智能降滤失原理(图2)为改性碳纳米管穿插在黏土片层中,形成“加筋”结构和“柔性钉”的网络结构,从而改善钻井液的滤失性。

Liu等^[39]通过对氧化石墨烯进行接枝改性,制备了一种基于PNIPAAm的热响应智能氧化石墨烯膜。当复合膜所处环境温度低于低临界溶解温度(LCST)时,PNIPAAm的亲水性强,聚合物分子与水分子形成氢键,聚合物分子链伸展,氧化石墨烯片层之间的距离较大,对水的渗透阻力小;当温度高

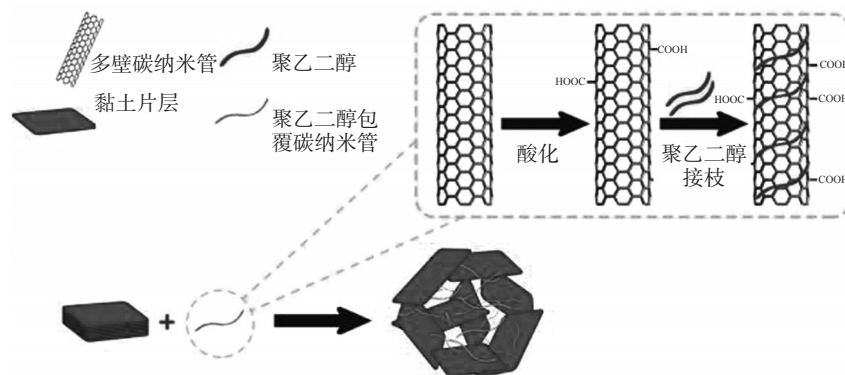


图2 改性碳纳米管降滤失剂作用机制^[38]

于LCST时,聚合物的亲水性减弱,聚合物分子间形成氢键导致氧化石墨烯片层之间的距离减小,对水的渗透阻力明显增大。

1.3 智能钻井液页岩抑制剂

页岩抑制剂作为抑制页岩黏土矿物水化膨胀分散的处理剂,用于保证井壁稳定和岩屑完整。国内外学者对页岩水化机理进行了大量研究,根据水化机理提出了物理封堵和化学抑制的抑制页岩水化分散方法,并研制了相应的页岩抑制剂^[40-42]。大部分页岩抑制剂只是从部分机理出发对抑制剂的抑制性能进行优化,抑制性能还有很大的提升空间。钻井液页岩抑制剂智能化是将物理封堵与化学抑制相结合,以进一步提高页岩抑制剂的抑制性能。

褚奇等^[43]利用聚合醇类页岩抑制剂的特点,即在高于浊点时,析出乳化颗粒起封堵作用,低于浊点时,通过竞争吸附,在页岩表面形成疏水层起抑制作用,采用聚合醇配制了一种新型聚合醇钻井液。与传统应用抑制剂钻井液相比,新型聚合醇钻井液更有利于抑制页岩水化膨胀分散,具有更好的应用前景。

Dong等^[44]用*N*-异丙基丙烯酰胺(NIPAM)对膨润土进行插层改性,赋予了膨润土热响应性。通过对滤失后形成的滤饼的表面表征,发现滤饼在不同温度下表现出智能亲疏水转变的行为和自恢复能力。与普通膨润土相比,智能膨润土滤饼包覆下的页岩膨胀率由63.89%降至36.44%,有效降低了页岩水化膨胀。类似地,Choi等^[45]在多孔基底表面覆盖一层热响应*N*-异丙基丙烯酰胺接枝聚合物(PNIPAM),使得基底表面的疏水性随温度的微小变化而急剧变化。当温度高于LCST,膜表面疏水性增强,对水的渗透阻力增大;当温度低于LCST,膜表面亲水性增强,对水的渗透阻力减小。Park等^[46]利用壳聚糖具有pH响应的特点,采用壳聚糖和四乙基原硅酸盐为原料制备了一种具有pH响应的智能复合膜。当复合膜处于酸性环境中,对水的渗透阻力增大;当处于中性或碱性环境中,对水的渗透阻力减小。这种对温度、pH具有响应作用的膜材料对智能钻井液页岩抑制剂的研发具有指导作用。

1.4 智能钻井液润滑剂

钻井液润滑剂作为降低钻具与井壁间的摩擦、减小钻进阻力和起下钻摩阻的处理剂,主要起减少

钻柱磨损和提高钻进效率的作用。由于水平井、大位移井等复杂井的数量不断增加,钻井液的润滑性能受到众多学者的重视。传统钻井液用润滑剂通过改变钻井液特性和流动方式以达到润滑的目的。润滑剂与钻具、井壁之间的作用弱,无法形成稳定的润滑薄膜,导致润滑效果欠佳^[47-49]。润滑剂智能化是通过结合流动润滑与键合润滑,提高润滑剂与钻具、井壁之间的作用力,建立“流动-键合”协同增效的润滑技术。

史沛谦等^[50]以不饱和脂肪酸为油性主体,引入双吸附基亲水基团以增强润滑剂在摩擦界面的吸附强度,合成了一种双吸附基水基钻井液润滑剂SR-1。1.5% SR-1可使聚合物钻井液的润滑系数降至0.0441;4% SR-1可使聚磺钻井液的润滑系数降至0.05以内,润滑系数降低率为80.24%。SR-1与钻井液的配伍性良好,抗盐达20%,抗温达220℃。

吕开河等^[51]利用醇醚类化合物的“浊点效应”,即在高于浊点温度时形成一种类油液滴,黏附在井壁与钻具表面,从而有效改善钻井液体系的润滑性能,制备了一种聚醚多元醇润滑剂SYT-2。当SYT-2加量为1%时,钻井液的润滑系数降低率为93%,且SYT-2具有良好的抗盐能力,抗温能力达120℃。逯贵广等^[52]以聚醚胺与油酸酰胺为原料制备了双油酰聚醚胺润滑剂NH-HPL。NH-HPL分子中含有大量极性基团,一方面保证了润滑剂良好的水分散性,另一方面能提高润滑剂在钻具和井壁表面的吸附能力。在4%淡水基浆中加入1% NH-HPL,润滑系数降低率为92%。NH-HPL耐温达160℃,且具有不起泡、配伍性好的优点。

蒋官澄等^[53]通过对蚯蚓分泌物降低土壤表面摩擦系数原理的分析,提出了仿生表面改性的仿生降黏减阻技术,并以此为指导,研发了键和型润滑剂。该润滑剂中的活性成分与井眼内的自由离子缔合在钻具、井壁表面产生平滑表面,从而有效降低摩阻,提高机械钻速。在4%淡水基浆中加入1%润滑剂,150℃老化16h后的润滑系数降低率为90.4%。

1.5 智能钻井液防漏堵漏材料

对于智能钻井液的研究,国内外研究人员更侧重于防漏堵漏方向。传统的防漏堵漏剂存在漏失孔道中驻留能力弱、封堵承压能力弱、与地层漏失

孔道尺寸匹配性差等不足。为此,研究学者研发出智能形状记忆材料、智能凝胶材料、智能仿生材料来进一步提高防漏堵漏性能^[54]。

部分学者将形状记忆合金引入水泥、凝胶等胶结材料,以记忆合金作骨架、胶结材料作填充物,利用记忆合金在不同温度下的形变恢复实现对封堵能力的提高。部分堵漏材料的承压能力超过30 MPa^[55-56]。

Mansour等^[57-58]开展了基于热固性形状记忆聚合物的智能堵漏材料的研究,通过数值模拟和物理模拟相结合的方法,研究了形状记忆聚合物堵漏颗粒动态封堵裂缝的过程。暴丹等^[59]用环氧聚合物单体与酸酐类交联剂制备了一种热响应型形状记忆智能堵漏剂,并开展了堵漏室内实验。该智能堵漏剂在激活前为片状颗粒,便于由钻井液携带至漏失地层裂缝。在地层温度下激活后,封堵颗粒膨胀至块状颗粒,自适应匹配裂缝宽度。该封堵剂封堵效率高,与其他桥接堵漏材料复配使用可成功封堵3~5 mm不同开度的共存裂缝,封堵承压能力大于11 MPa。

Johnson等^[60]和Quinn等^[61]以油溶性交联剂和多糖聚合物为原料,通过反相乳液聚合法制备了一种剪切敏感型智能凝胶堵漏剂。该应力敏感性凝胶已成功应用30余井次,堵漏成功率可达75%。张绍营等^[62]针对陵水地区钻井易漏失等问题,以瓜尔胶及其衍生物为主要合成原料,经过多次改性得到一种可延迟增黏的强弹性凝胶作堵漏材料。该智能堵漏凝胶封堵作用突出,可提高区块渗透地层承压15 MPa,裂缝性地层7 MPa,且在80℃破胶后自动降黏,可有效对储层进行保护。

Zhou等^[63]使用传统交联剂 N,N' -亚甲基双丙烯酸酰胺共价交联形成第一网络,再通过铈离子与水凝胶网络中羧基之间的离子相互作用进一步物理交联,制备了具有自修复性能的聚(丙烯酸)/铈离子双网水凝胶。该凝胶断裂后在压力作用下可以重新愈合,且具有愈合效率高和机械性能好等优点。在地层压力的刺激下可以实现凝胶颗粒间的愈合,使凝胶整体驻留在漏失地层,提高对漏失地层的封堵能力,有望作为自愈合封堵材料应用于钻井液中。

2 智能钻井液体系展望

智能钻井液体系作为油田化学新的发展方向,在研究过程中,一方面要继续提高原有钻井液体系的性能稳定性,提高钻井液体系在严苛环境下的耐候性;另一方面要考虑学科交叉,深入研究仿生学、智能材料、大数据等前沿研究领域,将新理论、新材料、新技术引入钻井液体系,提高钻井液体系的智能化程度。以现场需求作驱动力,实现科研成果落地入井。

2.1 智能钻井液流型调节剂

智能钻井液流型调节剂可设计为含有温敏单体、盐敏单体和非极性疏水基团的聚合物或传统流型调节剂的改性产物。通过引入不同类型的单体,令流型调节剂的分子链在不同温度、不同矿化度下,由于疏水缔合作用、电解质屏蔽作用等物化作用使其分子构象改变,实现对钻井液流变进行智能调控的目的。

2.2 智能钻井液降滤失剂

现有钻井液降滤失剂主要利用增黏、吸附、捕集和物理堵塞等机理实现降滤失的目的,某些降滤失剂的降滤失效果优异。但目前针对高温、超高温的抗高温抗盐钙降滤失剂的降滤失性能仍有待提高。笔者认为要实现钻井液降滤失剂智能化,应该继续优化聚合物分子结构,通过增强聚合物分子链的聚集态作用力来提高聚合物分子在严苛环境下的稳定性,并引入纳米材料和刺激-响应材料,赋予聚合物智能特性。

2.3 智能钻井液页岩抑制剂

智能钻井液抑制剂的研制应该建立“抑制-封堵-固化”协同抑制的思想,使抑制剂兼具以下特点:具有小阳离子,通过离子交换实现抑制页岩水化;具有明显亲疏水部分,通过亲水基团在页岩表面的强吸附,使得疏水部分暴露在岩石外部形成致密的保护层,实现页岩表面的疏水化;具有响应相变的特性,通过对外界环境的调控,使抑制剂发生相变,起到物理封堵的作用;抑制剂应能提高页岩胶结强度;考虑到实际应用环境,还应该具有抗高温、抗盐钙、无毒环保的性能。

2.4 智能钻井液润滑剂

根据摩擦学原理,钻具与井壁接触处的摩阻最

大,钻杆与环空钻井液的摩擦较小。但目前改善钻井润滑性的方法是将润滑剂直接或间接分散在钻井液中,这就导致需要润滑的地方和不需要润滑的地方润滑剂的含量相似,润滑剂的有效润滑效率不高。智能钻井液润滑剂应该一方面能牢固地吸附在钻具和井壁表面,形成稳定的润滑膜;另一方面能靶向作用于井壁与钻具摩擦处,实现智能靶向润滑。笔者认为可以研制一种包裹极性润滑剂的亲水性微胶囊,当钻具与井壁发生摩擦时,钻井液中的微胶囊在外力作用下挤破,使内部的润滑剂直接作用到摩擦区域,实现定点智能润滑。相关研究还处于起步阶段。

2.5 智能钻井液防漏堵漏材料

由于智能防漏堵漏材料的研究较多,针对不同的智能材料提出了不同的展望。智能形状记忆材料应注重分阶段固化技术以提高堵漏材料的承压强度;智能凝胶材料应提高自愈合、自胶结等凝胶材料在高温等苛刻条件下的适用能力;智能仿生材料应注重将架桥封堵、自适应封堵和智能仿生封堵结合起来,实现协同强化堵漏。

3 结束语

智能钻井液处理剂能根据井筒环境变化自主调节钻井液性能,可显著提高钻进效率和钻井质量,降低人工干预,真正实现钻井工艺全自动。智能钻井液领域具有广阔的应用前景,钻井液智能化研究对未来油气开发具有重要意义。但就目前而言,钻井液处理剂智能化还处于初步研究阶段,钻井液体系智能化仍需要进一步摸索。而且智能钻井液技术作为应用型、综合性、多学科交叉领域,需要各学科科学家的共同参与,为智能钻井液技术提供新思想、新技术,提高钻井液的智能化程度。

参考文献:

- [1] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 东营: 石油大学出版社, 2001: 146-150.
- [2] 赵凌云. 高性能水基钻井液技术进展研究[J]. 西部探矿工程, 2020, 32(10): 53-54.
- [3] 王中华. 国内钻井液技术进展评述[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(3): 95-102.
- [4] 孙金声, 黄贤斌, 吕开河, 等. 提高水基钻井液高温稳定性的方法、技术现状与研究进展[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2019, 43(5): 73-81.
- [5] 王中华. 国内钻井液技术进展评述[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(3): 95-102.
- [6] 马毅超. 纳米材料在水基钻井液中的国外研究现状及展望[J]. 精细与专用化学品, 2019, 27(2): 24-27.
- [7] 周洪奎. 环保钻井液技术进展研究[J]. 西部探矿工程, 2018, 30(9): 89-90.
- [8] 李晨曦. 抗高温水基钻井液研究现状及发展趋势[J]. 西部探矿工程, 2018, 30(7): 65-66.
- [9] 赵虎, 司西强, 王爱芳. 国内页岩气水基钻井液研究与应用进展[J]. 天然气勘探与开发, 2018, 41(1): 90-95.
- [10] 宣扬, 钱晓琳, 林永学, 等. 水基钻井液润滑剂研究进展及发展趋势[J]. 油田化学, 2017, 34(4): 721-726.
- [11] 许万文. 浅谈国内外钻井液技术新进展[J]. 石化技术, 2016, 23(4): 124-125.
- [12] 潘一, 徐明磊, 郭永成, 等. 智能钻井液的化学体系及辅助系统研究进展[J]. 精细化工, 2020, 37(11): 2246-2254.
- [13] 董萃莲. 基于机器学习的钻井液完井液体系优选系统研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2020: 1-2.
- [14] 刘胜娃, 孙俊明, 高翔, 等. 基于机器学习与态势感知技术的钻井液大数据分析平台与智能决策支持平台建设[J]. 物联网技术, 2019, 9(5): 46-48.
- [15] 康力, 鲜明, 廖孝元, 等. 钻井液专家智能系统的模型与设计[J]. 石油工业计算机应用, 2016, 24(2): 12-15.
- [16] 周长虹. 智能化在石油钻井中的应用探究[J]. 职业技术, 2012, 137(1): 130.
- [17] 王垚, 李春福, 林元华, 等. SMA在石油工程中的应用研究进展[J]. 材料导报, 2016, 30(S2): 98-102.
- [18] 王敏生, 光新军, 孔令军. 形状记忆聚合物在石油工程中的应用前景[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(5): 14-20.
- [19] 冯玉军. 环境自适应油田化学材料[J]. 油田化学, 2020, 37(4): 730-737.
- [20] FENG Y J, SU X. Thermoviscosifying smart polymers for oil and gas production: State of the art [J]. Chem Phys Chem, 2018, 19(16): 1941-1955.
- [21] 杨双春, 宋洪瑞, 郭奇, 等. 钻井液用流型调节剂的研究进展[J]. 精细化工, 2020, 37(9): 1744-1754.
- [22] 韩子轩. 合成基钻井液流型调节剂的研制及其作用机理[J]. 钻井液与完井液, 2020, 37(2): 148-152.
- [23] 史赫, 蒋官澄, 王国帅, 等. 恒流变合成基钻井液关键机理研究[J]. 钻井液与完井液, 2020, 37(1): 31-37.
- [24] 高涵, 许林, 许明标, 等. 深水水基恒流变钻井液流变特性研究[J]. 钻井液与完井液, 2018, 35(3): 60-67.
- [25] 韩子轩, 蒋官澄, 李青洋. 适于深水钻井的恒流变合成基钻井液[J]. 钻井液与完井液, 2014, 31(2): 17-20.
- [26] 徐加放, 丁廷稷, 张瑞, 等. 水基钻井液低温流变调控用温敏聚合物研制及性能评价[J]. 石油学报, 2018, 39(5): 597-603.
- [27] 刘均一, 郭保雨, 陈二丁, 等. 温敏聚合物及其制备方法、钻井液流型调节剂组合物、钻井液流型调节剂及其制备方法: CN109762171A[P]. 2019-05-17.

- [28] XIE B Q, ZHANG X B, LI Y G, et al. Application a novel thermo-sensitive copolymer as a potential rheological modifier for deepwater water-based drilling fluids [J]. *Colloids Surf A: Physicochem Eng Aspects*, 2019, 581: 123848.
- [29] 谢彬强. 温敏聚合物流变调节剂及恒流变性水基钻井液: CN109054782A[P]. 2018-12-21.
- [30] 黄孟, 许林, 许洁, 等. 水基恒流变钻井液流型调节剂的制备与性能评价[J]. *油田化学*, 2018, 35(2): 191-196.
- [31] SUN J S, CHANG X F, LYU K H, et al. Salt-responsive zwitterionic copolymer as tackifier in brine drilling fluids [J]. *J Mol Liq*, 2020, 319: 114345.
- [32] 马毅超. 纳米材料在水基钻井液中的国外研究现状及展望[J]. *精细与专用化学品*, 2019, 27(2): 24-27.
- [33] 潘丽娟, 孔勇, 牛晓, 等. 环保钻井液处理剂研究进展[J]. *油田化学*, 2017, 34(4): 734-738.
- [34] 张勇, 王彪, 刘晓栋. 国内钻井液用磺化酚醛树脂研究进展[J]. *油田化学*, 2016, 33(3): 547-551.
- [35] 王中华. 国内钻井液处理剂研发现状与发展趋势[J]. *石油钻探技术*, 2016, 44(3): 1-8.
- [36] SHEN H K, LYU K H, HUANG X B, et al. Hydrophobic associated polymer-based laponite nanolayered silicate composite as filtrate reducer for water-based drilling fluid at high temperature [J]. *J Appl Polym Sci*, 2019, 137(5): 48608.
- [37] CHANG X F, SUN J S, ZHANG F, et al. Salt-responsive zwitterionic polymer brush based on modified silica nanoparticle as fluid-loss additive in water-based drilling fluids [J]. *Energ Fuel*, 2020, 34(2): 1669-1679.
- [38] AMIN K, SEYED H. Rheological investigation of smart polymer/carbon nanotube complex on properties of water-based drilling fluids [J]. *Colloids Surf A: Physicochem Eng Aspects*, 2018, 556: 23-29.
- [39] LIU J C, WANG N, YU L J, et al. Bioinspired graphene membrane with temperature tunable channels for water gating and molecular separation [J]. *Nature Commun*, 2017, 8(1): 2011.
- [40] 秦国川, 何森, 许明标, 等. 国内外页岩水基钻井液用抑制剂研究进展[J]. *应用化工*, 2020, 49(7): 1802-1806.
- [41] 胡鹏飞, 黄丹超, 邹建国, 等. 水基钻井液用黏土水化抑制剂研究概况[J]. *广州化工*, 2019, 47(23): 36-39.
- [42] 马京缘, 潘谊党, 于培志, 等. 近十年国内外页岩抑制剂研究进展[J]. *油田化学*, 2019, 36(1): 181-187.
- [43] 褚奇, 薛玉志, 李涛, 等. 新型聚合醇钻井液抑制性能研究[J]. *科学技术与工程*, 2015, 15(3): 208-211.
- [44] DONG W X, PU X L, REN Y J, et al. Thermo-responsive bentonite for water-based drilling fluids [J]. *Materials*, 2019, 12(13): 2115.
- [45] CHOI Y J, YAMAGUCHI T, NAKAO S. A novel separation system using porous thermosensitive membranes [J]. *Ind Eng Chem Res*, 2000, 39(7): 2491-2495.
- [46] PARK S B, YOU J O, PARK H Y, et al. A novel pH-sensitive membrane from chitosan: TEOS IPN; preparation and its drug permeation characteristics [J]. *Biomaterials*, 2001, 22(4): 323-330.
- [47] 张睿琪. 钻井液用润滑剂研究[J]. *清洗世界*, 2020, 36(8): 31-32.
- [48] 王俊杰, 王姝. 水基钻井液用可降解润滑剂研究进展[J]. *西部探矿工程*, 2020, 32(4): 39-40.
- [49] 宣扬, 钱晓琳, 林永学, 等. 水基钻井液润滑剂研究进展及发展趋势[J]. *油田化学*, 2017, 34(4): 721-726.
- [50] 史沛谦, 王晴, 张红卫, 等. 双吸附基润滑剂SR-1的研制及其作用机理探讨[J]. *钻井液与完井液*, 2015, 32(1): 30-33.
- [51] 吕开河. 钻井液用聚醚多元醇润滑剂SYT-2[J]. *油田化学*, 2004, 21(2): 97-99.
- [52] 逯贵广. 环保型钻井用高效润滑剂NH-HPL的制备与性能评价[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2017, 32(5): 85-89.
- [53] 蒋官澄. 仿生钻井液理论与技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2018: 223-247.
- [54] 孙金声, 雷少飞, 白英睿, 等. 智能材料在钻井液堵漏领域研究进展和应用展望[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2020, 44(4): 100-110.
- [55] 李公让, 刘振东, 张敬辉, 等. 一种含有记忆金属的堵漏剂: CN108239529A[P]. 2018-07-03.
- [56] 王琦, 孟园园, 王守仁. 水泥基智能堵漏材料及其制备方法: CN101428995[P]. 2009-05-13.
- [57] MANSOUR A, EZEAKACHA C, TALEGHANI A, et al. Smart lost circulation materials for productive zones [C]//SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Texas, USA, 2017: 187099.
- [58] MANSOUR A K, TALEGHANI A D. Smart loss circulation materials for drilling highly fractured zones [C]//SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition. Abu Dhabi, UAE, 2018: 189413.
- [59] 暴丹, 邱正松, 叶链, 等. 热致形状记忆“智能”型堵漏剂的制备与特性实验[J]. *石油学报*, 2020, 41(1): 106-115.
- [60] JOHNSON L, MURPHY P, ARSANIOUS K. Improvements in lost circulation control during drilling using shear-sensitive fluids [C]//Canadian International Petroleum Conference. Calgary, Canada, 2000: 062.
- [61] QUINN D, SUNDE E, BARET J F. Mechanism of a novel shear-sensitive plugging fluid to cure lost circulation [C]//SPE International Symposium on Oilfield Chemistry. Houston, USA, 1999: 16-19.
- [62] 张绍营, 刘智勤. 南海西部深水井智能凝胶堵漏技术与实践[J]. *中国高科技*, 2018(12): 62-66.
- [63] ZHOU H W, XU G H, LI J, et al. Preparation and self-healing behaviors of poly (acrylic acid)/cerium ions double network hydrogels [J]. *Macromol Res*, 2015, 23(12): 1098-1102.

Research Progress and Application Prospects of Intelligent Organic Treatment Agent for Water-based Drilling Fluid

SHEN Haokun, SUN Jinsheng, LYU Kaihe, HUANG Xianbin, LIU Jingping, WANG Jintang, BAI Yingrui, JIN Jiafeng
(College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266580, P R of China)

Abstract: Traditional water-based drilling fluid has some disadvantages, such as tedious process of drilling fluid configuration, poor pertinence and weak adaptive ability. Intelligent water-based drilling fluid has become a new research direction in the field of oilfield chemistry because of its better pertinence and universality, and can greatly reduce the degree of manual intervention. Through literature analysis, the mechanism and research progress of organic treatment agents in water-based drilling fluid, such as rheology modifier, filtration loss reducer, shale inhibitor, lubricant and lost circulation control materials were described. According to the characteristics of different organic treatment agents in intelligent drilling fluid, the application feasibility of intelligent materials in water-based drilling fluid was discussed, and the research ideas, methods and application prospects of organic treatment agents in intelligent drilling fluid system were prospected.

Keywords: drilling fluid; organic treatment agent; intellectualization; research progress; application prospect; review

(上接第 120 页。continued from p.120)

emulsion flooding systems with different properties, TB (0.3%) and TB + AC (0.3%, mass ratio of 3:2), were constructed by using micro dynamic emulsification experimental device. The micro stability of the emulsion formed by the two systems and Shengli heavy oil was analyzed by multiple light scattering method. Then, the oil displacement performance of the two emulsifying systems was evaluated by sand-filled tube oil displacement experiment, and the microscopic oil displacement mechanism was studied by glass etching model. The research results showed that the TB+AC system possessed strong emulsification and the obtained emulsion was stable. The TB+AC system could make oil-water interfacial tension decrease to 10^{-3} mN/m. TB+AC system could enhance oil recovery by 11.20% based on water flooding. The system could "pull" the residual oil through ultra-low interfacial tension and strong emulsifying properties to deform it and reduce flow resistance and residual oil content. In addition, the oil film could also be further emulsified to expand and break the film to enhance oil recovery.

Keywords: normal heavy oil; emulsifying property; stability; microscopic mechanism; enhanced oil recovery

(上接第 131 页。continued from p.131)

- acid)-co-(acrylamide)] latex [J]. J Dispersion Sci Technol, 2018, 39(8): 1134-1139.
- [18] 郝兰锁, 李峰, 谢日彬, 等. 反相破乳剂 TS-786A 在海上油田的应用[J]. 工业水处理, 2010, 30(11): 32-33.
- [19] 余俊雄, 杨秘, 李冬宁, 等. 聚丙烯酸酯反相破乳剂的制备及其现场应用研究[J]. 工业水处理, 2020, 40(1): 37-39.
- [20] 顾福铭, 刘宏光. 丙烯酸酯及其共聚物的红外光谱鉴定[J]. 皮革化工, 1997(1): 35-38.

Preparation and Application of Acrylate-methacrylic Acid Copolymer Emulsion Reverse Demulsifier

ZHANG Tao, ZHANG Ying, YUAN Hongqiang, LI Dongning
(CNOOC Ener-Tech Oilfield Chemical Company, Ltd, Tianjin 300452, P R of China)

Abstract: Requirements for sewage treatment chemicals are very high due to the limited sewage treatment equipment and short residence time in offshore oilfield. Thus, it is necessary to develop a high-efficient reverse demulsifier to improve the separation efficient of oil and water. The acrylate-methacrylic acid copolymer emulsion reverse demulsifier (EMASA) was synthesized via emulsion polymerization method by using ethyl acrylate, methacrylic acid and stearyl acrylate as precursors. The structure of EMASA was characterized, and its water purification performance was investigated by bottle test method with oil removal rate as the main index. Finally, the field pilot test was carried out on the platform A of offshore oilfield, and the reverse demulsification mechanism of EMASA was analyzed. The results showed that the actual structure of synthesized product was consistent with the theoretical structure, and the thermal decomposition temperature of EMASA was 214.5 °C. The water purification effect of EMASA was excellent. The oil removal rate under optimal injection amount (30 mg/L) was 96.5%, and the value further increased to 98.9% under the help of synergistic flocculant. In the field pilot test, when the dosage of EMASA was 30 mg/L, the oil content in outlet water of separator decreased from 255.75 mg/L to 197.58 mg/L, with a decrease of 22.74%, and the oil removal rate increased from 95.5% to 96.52%. EMASA used two effects such as rolling sweep and destroying the strength of oil-water interface film to achieve oil and water separation. The effect was obvious in the treatment of produced fluid with sodium bicarbonate water-type.

Keywords: reverse demulsifier; polyacrylate; emulsion; oil removal rate; mechanism of action