

国内外钻井液技术新进展

张艳娜^{1,2} 孙金声² 王倩¹ 刘德勋³ 杨泽星²

1. 中国石油勘探开发研究院 2. 中国石油集团钻井工程技术研究院 3. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院

张艳娜等. 国内外钻井液技术新进展. 天然气工业, 2011, 31(7): 47-54.

摘要 为全面了解国内外钻井液技术研究现状、明确钻井液技术的发展趋势与方向, 在调研大量相关文献及报道的基础上, 对近年来国内外出现的钻井液新技术进行了分类归纳总结, 从新型钻井液体系、储层保护技术、防漏堵漏技术、新型钻井液处理剂、钻井液泥饼清除技术等5个方面对其进行了介绍。其中, 新型钻井液体系涉及各种水基钻井液体系、油基钻井液体系、合成基钻井液体系和成膜钻井液体系等; 介绍了裂缝性碳酸盐岩储层保护技术; 防漏堵漏技术主要介绍了可溶粒子降滤失剂、超低渗透添加剂、微凝胶聚合物降滤失剂等; 新型钻井液处理剂包括快钻进 KSAJ、 Mn_3O_4 加重剂、季铵盐表面活性剂、页岩抑制剂(乙基葡萄糖苷和 SIAT) 和高温保护剂 GHB 等; 还对钻井液泥饼清除技术作了简要介绍。

关键词 国内外钻井液技术 进展 钻井液体系 储集层保护 防漏堵漏技术 钻井液处理剂 泥饼清除

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2011.07.012

钻井液技术作为钻进复杂地层的关键技术之一, 在大量资金的支持和钻井作业难题的驱使下, 在短短的几年里取得了较大的发展, 也取得了一系列成果。本文在调研近几年国内外钻井液新技术的基础上, 从钻井液体系、储层保护技术、防漏堵漏技术、新型钻井液处理剂以及钻井液泥饼的清除技术等5个方面来阐述其发展概况。

1 新型钻井液体系

1.1 高性能水基钻井液体系

BHDF 公司研制了适用于 Lake Maracaibo 地区的新型高性能水基钻井液体系 (HPWBM)^[1]。HPWBM 通过减少钻头泥包来提高钻进速度, 同时可以减小钻具的扭矩和摩阻, 转移钻头重量。与传统的钻井液相比, 更能增强井筒的稳定性, 减少漏失量。此外, 体系由低盐分物质组成——减少了废物处理的难度和费用, 满足了环境的要求。

现场使用的钻井液配方是: 3.0 lb/bbl 膨润土 (1 lb = 0.453 592 37 kg, 1 bbl = 115.627 1 L, 下同) + 0.75 lb/bbl 氢氧化钠 + 6.8 lb/bbl 氯化钠 + 0.5

lb/bbl 聚丙烯酰胺 + 0.5 lb/bbl 羧甲基纤维素 + 1.0 lb/bbl 改性淀粉 + 5.0 lb/bbl 铝酸盐络合物 + 3.0% 可变形聚合物封堵剂 + 7.0 lb/bbl 聚铵盐 + 2.0% 快钻剂。

HPWBM 钻井液体系与传统的钻井液相比, 能更好地抑制黏土和钻屑分散, 减少钻头泥包, 目前 HPWBM 体系已在墨西哥湾、美国大陆、巴西、澳大利亚及沙特阿拉伯等国家和地区得到了应用。其中在墨西哥湾地区深水钻井, 顺利钻达目的层, 井壁稳定, 无复杂事故发生且机械钻速高, 如图 1 所示。

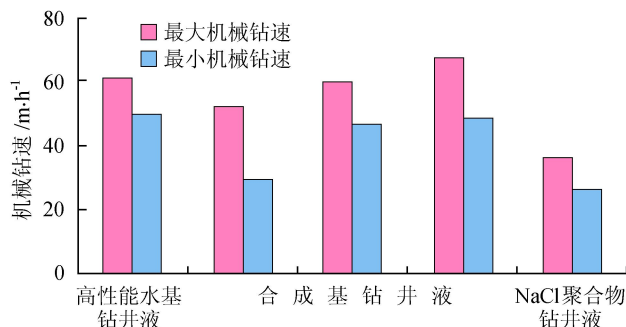


图 1 使用不同钻井液在墨西哥湾深水钻井作业中的钻速对比图^[2]

基金项目: 国家科技重大专项“深井高温泥浆及高温高压固井等配套工艺技术”(编号: 2008ZX05021-004)。

作者简介: 张艳娜, 女, 1982 年生, 博士研究生; 主要从事钻井液技术研究工作。地址: (100083) 北京市海淀区学院路 20 号。电话: 18710020527。E-mail: sdzyn2009@126.com

1.2 新型油基钻井液体系

1.2.1 低固相矿物油基钻井液(LS OBM)

针对挪威中部 Aasgard 油田钻分支井和长井段时遇到的钻速低、钻井液黏度大、侵入储层深度大、卡钻等严重问题,研发出一种新型低固相矿物油基钻井液(LS OBM)^[2]。LS OBM 使用比重较大的溴化钙盐水作为分散相,用标准矿物油作为连续相,用液态树脂有机物替代天然沥青作为降滤失剂。

LS OBM 的实验配方:423 kg/m³ 低芳香族矿物油+30 kg/m³ 乳化剂+10 kg/m³ 液态降滤失剂+10 kg/m³ 优质有机土+161 kg/m³ 清水+364 kg/m³ 密度为 1.7 kg/m³ 的溴化钙盐水+10 kg/m³ 石灰+120 kg/m³ 白云石+20 kg/m³ 石墨。

通过室内评价实验,得出 LS OBM 钻井液体系要达到最佳性能,还应满足以下要求:①油水比为 60:40;②添加 140 kg/m³ 桥堵剂;③堵漏颗粒的大小略大于最佳理论值;④使用石墨和白云母片作为堵漏材料。

与传统的钻井液相比,LS OBM 钻井液体系具有更好的封堵性、热稳定性和更高的渗透率恢复值。

1.2.2 高密度低固相油基钻井液体系

M-I 钻井液公司使用甲酸铯盐水配制了密度为 1.66 g/cm³ 的低固相油基钻井液体系^[3],该体系与常规的加重钻井液体系相比,由于不含任何固体加重剂且为单离子,故而最大限度地消除了由重晶石引起的井控问题,减少对地层的损害和筛管堵塞。与溴化锌钻井液相比,对环境影响小,更安全,容易回流,故对储层损害也小。该钻井液体系已经在 Statfjord 油田进行了试验,试验配方和性能如表 1 所示。

过去 5 年的钻井完井实践证明,甲酸铯盐水油基钻井液的使用不仅可以简化操作过程、减少钻井液的浪费,而且还可以消除流体不兼容的问题。钻井液性能很好,表现出很低的当量循环密度,能达到中或高的机械钻速,具有很好的水力特性,好的井眼净化能力,钻井扭矩和摩阻很低,采用电测井时表现出良好的井壁稳定性。完井作业快速稳定。钻出的井显示了较高的生产效率和较低的表皮系数,创下了北海地区最快的高温高压完井记录,是一种能将高温高压井控问题最小化、井产量最大化的有效钻井液体系。

1.3 Aphrons 钻井液新发展

Aphrons 钻井液正在全球范围内被用于钻进衰竭储层和低压地区^[4]。Aphrons 钻井液具有独特的低剪切流变性和抗压力的空气微泡,改进后的新配方中添加了一种聚合物混合物——由生物聚合物黄原胶和

表 1 高密度低固相油基钻井液与传统油基钻井液配方和性能对比表

组成	高密度低固相油基钻井液	传统油基钻井液
基油	360 L/m ³	560 L/m ³
氯化钙盐水		158 L/m ³
甲酸铯盐水	590 L/m ³	
乳化增黏剂	35 L/m ³	30 L/m ³
石灰	2 kg/m ³	15 kg/m ³
堵漏材料	3 kg/m ³	
碳酸钙	30 kg/m ³ (体积 1%)	
重晶石		940 kg/m ³
φ ₆₀₀ ¹⁾	117	102
φ ₃₀₀ ¹⁾	68	60
定量滤纸 ²⁾		1.6 mL/30 min
20 μm 膜 ²⁾		3.2 mL/30 min

注:1)50 ℃下的流变性;2)115 ℃下高温高压滤失量。

表面活性剂 BLUE STREAK 混合而成,该混合物被称为“Aphrons 稳定剂”。研究发现,Aphrons 稳定剂能承受至少 4 000 bl/ft² (1 ft²=929.030 4 cm²,下同)的压力,能够比周围液体更快进入漏失区,并在液体进入前形成气泡层;同时,流体的剪切速率不断下降,黏度不断升高。另一个重要发现是:Aphrons 之间以及 Aphrons 与岩石矿物表面的孔隙或者裂缝之间的亲和力小,因此形成的封堵柔软且缺乏黏附力,使得其在采油时易被排出。

1.4 抗高温钻井液体系

1.4.1 合成基聚合物钻井液体系

新型环保抗高温水基钻井液是 M-I 钻井液公司研制成的一种耐高温(232 ℃)高压水基钻井液^[5]。该钻井液体系使用一种不含铬、对环境无害的新型合成基聚合物且体系简单——只需要两种聚合物、pH 控制剂、加重材料和少量用于控制滤饼质量的黏土。这种新型合成基聚合物是一种新型交联聚合物,用丙烯酰胺(单体 A)、一种磺酸盐单体(单体 S)和一种交联单体(单体 X)配制的新的交联共聚物。与非交联直链聚合物相比,它在含水溶液中保留了较为致密的球形结构。分子重量相同时,交联聚合物在水溶液中的水动力体积比相同分子质量的直链分子小得多。交联聚合物的独特结构使其在空间上受到限制,从而增大了其内在水解稳定性。同时,交联使其对固体不大敏感,抗剪切能力强,从而改进了水基钻井液的流动特性和降滤失特性。

1.4.2 SIV 钻井液体系

SIV 钻井液体系是一种独特的钻井液体系^[6]。这种钻井液体系的主要成分 SIV ,它是一种由钠、锂、镁和氧组成的合成多层硅。SIV 是一种白色粉末,其结构类似于天然的膨胀性微晶高岭石黏土,热稳定性高达 370 ℃。其特点是杂质含量低、剪切后黏度恢复快、包被能力强、抗高温能力强、水溶液透明度高、对钻屑和岩心的损害小。常用的典型配方如表 2 所示。

表 2 SIV 钻井液配方表

材料名称	用 量
淡水	150 L
SIV	1.35 kg
聚合物抗絮凝剂	1.35 kg
氯化钾	9.45 kg
纯碱	0.45 kg
亚硫酸钠(除氧剂)	0.95 kg
重晶石	281 kg
碳酸钙(细粒)	4.5 kg
三元共聚物降失水剂	3.6 kg
消泡剂	0.045 kg
黏土混杂物	4.5 kg

这种钻井液体系在233 ℃的温度下仍然保持良好的黏度,不发生高温絮凝等问题。现场和地热井实验表明,SIV 钻井液效果良好,特别是用于对结晶岩的钻进,其应用温度范围广、对岩心和岩屑损害小。在德国 KTB-HB 工程中使用了这种钻井液,应用表明,SIV 体系具有较好的悬浮性、抗污染性、高温高压流变性。

1.5 流变性恒定的合成基钻井液体系

1.5.1 CR-SBM 钻井液体系

合成基钻井液 CR-SBM 体系^[7]在深水作业时具有“恒定的流变性”,从而减小激动压力和当量循环密度,降低频繁发生的井漏事故,故克服了使用传统钻井

液时产生的与压力有关的问题。总体上,CR-SBM 与传统合成基钻井液的组分基本相同。CR-SBM 独特流变性的获得关键在于使用有机黏土替代特殊乳化剂作为钻井液增黏剂。这样可以让 CR-SBM 获得比传统合成基钻井液更好的降滤失性。它在实验室测定和现场运用中都表现出稳定的流变性。

通过实验测试,CR-SBM 主要特点是凝胶强度、屈服值在 3~6 r/min 时都不会明显受到温度和压力的影响。现场实践表明,CR-SBM 具有稳定的流变性,尤其是与聚晶金刚石复合片钻头配合时,能避免深水环境下温度和压力的影响,从而提高了机械钻速、保证了井眼的稳定性、减少了井下钻井液漏失,明显地提高了钻井作业效率。

1.5.2 EHT 钻井液体系

EHT 是 EXXON 公司等研制的流变性稳定的无毒高温水基钻井液体系^[8],成功地应用于井底温度最高达215.5 ℃的陆地和海上钻井中,钻井液密度达 1.86 g/cm³。其典型配方如表 3 所示。

EHT 体系的室内研究是根据这样的假设进行的:高温诱发的黏土颗粒的分散是造成钻井液体系不稳定的根本原因。为此,采取了以下 3 种解决办法:①选择适合于井底温度的黏土浓度,即在起下钻期间的井底温度下,老化后仍能提供足够的悬浮和携屑能力;②加入一种辅助增黏剂,以便在地面提供悬浮和携岩能力,并在整个温度变化过程中保证恒定的钻井液流变性,辅助增黏剂的黏度随温度的升高而降低;③有目的地加入电解质以减缓高温诱发的钻屑分散。

1.5.3 流变性可控的聚合物钻井液体系

控制钻井液流变性的传统方法是使用生物聚合物和高分子电解质(低剪切稀释性和高塑性)。这里所说的新方法,是指所选的聚合物和加重剂都是用来生成和控制高剪切稀释性和热稳定流变性的^[9]。

改良的丙烯酸类聚合物、乙烯基磺酸盐共聚物与非离子聚合物之间表现出良好的协同作用。而非离子

表 3 EHT 钻井液体系各种处理剂用量表

钻井液材料	用 量	功 能
膨润土、优先选用 API 未处理膨润土	8.57~34.29 kg/m ³	主要功能:悬浮能力,次要功能:携带能力
纤维素增黏剂	2.86~8.57 kg/m ³	主要功能:携带能力,次要功能:悬浮能力
盐(NaCl)或海水 Cl ⁻	3 000~30 000 mg/L	控制高温诱发的井下分散
合成聚合物高温降黏剂	5.71~17.14 kg/m ³	与膨润土一起使用,控制滤失量
烧碱	pH 值介于 9.5~11.0	碱度控制
高温解絮凝剂(可选用)	按需加入,0~1.43 kg/m ³	维持起下钻期间钻井液性能均匀性
消泡剂(可选用)	按需加入	消除表面气泡

型聚合物聚乙烯基吡咯烷酮(PVP)能产生需要的流变性和稳定性。对加重剂的要求是细粒径和高表面电荷浓度。新配方中采用了可以替换的重晶石和四氧化锰加重剂,通过实验证明,四氧化锰的加重效果优于重晶石。商品等级是4.8 SG,粒径 $0.47\sim 1.0\ \mu\text{m}$,比表面积为 $2\sim 4\ \text{m}^2/\text{g}$ 。新配方的有效性在室内通过以下水基钻井液配方来检验:

251.9 lb/bbl 水+350.0 lb/bbl 四氧化锰+0~5.6 lb/bbl 离子型聚合物+0~6.2 lb/bbl 非离子型聚合物+18.7 lb/bbl 页岩抑制剂+2.0 lb/bbl 降滤失剂(聚阴离子纤维素聚合物)。

该水基钻井液配方已经用在温度高于 $180\ ^\circ\text{C}$ 的油气田开采过程中。钻井液体系通过加重剂和聚合物的协同作用保持了稳定可控的流变性,同时还具有良好的抑制性和润滑性。

1.6 MMO基钻井液体系

MMO是由氧化锰和氧化铝类氧化物混合而成的金属氧化物处理剂^[10],通过添加少量MMO晶体到膨润土中预水化制得的钻井液。该钻井液体系表现出突出的非牛顿流体的流变性特点,其塑性黏度为 $5\ \text{cP}$ ($1\ \text{cP}=1\ \text{mPa}\cdot\text{s}$,下同),屈服值为 $55\ \text{lb}/100\ \text{ft}^2$;MMO钻井液体系独特的流变性还表现在其随温度的变化上,大多数钻井液是随着温度升高系统的黏度升高,但是MMO却具有相反的性质。在 $40\ ^\circ\text{F}$ ($1\ ^\circ\text{F}=9/5\ ^\circ\text{C}+32$,下同)时,塑性黏度和屈服值分别为 $35\ \text{cP}$ 和 $40\ \text{lb}/100\ \text{ft}^2$,而在 $180\ ^\circ\text{F}$ 下,分别为 $6\ \text{cP}$ 和 $103\ \text{lb}/100\ \text{ft}^2$ 。同MMH系统相比,MMO钻井液体系的成本较高,但它能抗离子污染(如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等)而且稳定性高。

1.7 成膜水基钻井液体系

王平全、孙金声^[11]等人将有机胺天然纤维聚合物CMJ-2和降失水剂XNJ-1复配形成复合膜。CMJ-2侧链羟基、胺基对黏土矿物既有吸附作用,又能与黏土颗粒形成氢键,加之分子链的非离子特性,容易在滤饼上形成一层保护膜。而XNJ-1是一种惰性的变形软粒子,具有很好的封堵能力,能堵塞、填补泥饼上CMJ-2膜结构中的孔隙部位,与CMJ-2产生协同效应,组成了薄而致密、韧性好的复合膜结构,从而有效地阻止了滤液及钻井液(包括固相)向地层渗透,达到稳定井壁,保护储层的目的。

成膜水基钻井液体系配方为:5%钠膨润土+3%XNJ-1+0.2%JH-1+3%CMJ-2+0.5%JN-1。此钻井液对塔中地区和轮古地区石炭系垮塌层泥页岩均具有很强的抑制水化分散能力($100\ ^\circ\text{C}$ 下热滚16 h后回

收率均高于98%,最高接近100%)。同时发现,滚动后的岩样颗粒大小、形状与滚动前几乎无异样,且岩样颗粒上有一层薄薄的“面膜”,正是因为这种“面膜”的存在,保护了岩样,才阻止了水(滤液)渗入岩样内部,从而防止岩样水化分散,稳定井壁。成膜(隔离膜)水基钻井液体系具有强的抗温($180\ ^\circ\text{C}$)、抗盐(20% NaCl)、抗钻屑污染能力,在低密度和高密度条件下均具有良好的封堵能力。

2 储层保护技术——裂缝性碳酸盐岩储层保护钻井液

裂缝性储层指油气渗流通道主要为裂缝的储层,这些储层大多为碳酸盐岩,是极为重要的储集岩,对石油工业具有重大价值^[12]。国内针对这种储层主要采用优化钻井液体系复配暂堵组合的方法,如张军等优选的暂堵型两性离子聚合物钻井液^[13]、卢虎等通过聚多元醇配合一定固相暂堵剂^[14]、叶艳等研制的复合盐弱凝胶无固相钻井液加入优选暂堵组合^[15]等,均对保护裂缝性储层取得了一定的效果。

王永恒等评价了孙金声等新研制的超低渗透钻井完井液^[16]对裂缝的暂堵能力、滤饼质量和返排渗透率情况。研究表明:3.5 MPa正压差下,超低渗透钻井完井液对400 mm以内的不同宽度级别的裂缝均有很好的封堵效果^[17]。但是,这些具有保护裂缝性储层作用的钻井液大多针对裂缝性油藏,基本上沿用的是孔隙性储层保护技术,仅仅停留在室内评价和研究阶段,现场使用效果如何以及对裂缝性碳酸盐岩油气藏能否适用尚需进一步研究。

3 防漏堵漏技术

3.1 应用于枯竭裂缝油藏的特殊堵塞材料

在开采枯竭、裂缝性储层和易受深层钻井液固相侵害的油藏时,钻井液必须快速形成泥饼,且滤液对地层的损害要尽量小。为此研制了石墨粉、碳酸钙和磺化沥青的混合物堵漏材料^[18]。石墨、碳酸钙和磺化沥青的混合物堵漏材料能显著减少滤液漏失,并明显减少孔隙压力传输。如果过平衡压力减小,石墨将很容易从孔喉和裂缝中回流出来^[19]。该堵漏材料具有以下特点:①石墨的浓度对钻井液滤失量有很大的影响,浓度越大,滤失量越小;②磺化沥青的存在是为了使油藏的渗透率恢复值达到最大;③渗透率测试的结果和经验可以很容易应用到现场,可重复性强。

3.2 可熔粒子降滤失材料

易熔颗粒降滤失材料包括熔融粒子、加重剂、降滤

失剂和抑制剂^[20]。它的熔融性取决于脱水率,而脱水率则随着岩石的性质和裂缝的几何形状发生变化。易熔颗粒降滤失材料在裂缝中分别向轴向和径向两个方向脱水,从而隔离了裂缝,增加近井筒的环向应力。在裂缝产生或扩大时能产生最好的降滤失效果。实验室数据表明,易熔颗粒降滤失材料可以同时通过小钻头喷嘴进入各种不同几何构型的裂缝,在模拟井下温度的条件下仍然长时间稳定不会产生凝胶^[21]。易熔颗粒降滤失材料也可与改性的纤维材料一起运用,达到更好的降滤失效果。

目前,已经将易熔颗粒降滤失材料^[22]用在美国加利福尼亚贝克斯菲尔德的 Elk Hills 油田,并产生明显的堵漏效果。而且易熔颗粒降滤失材料加入井内后立即促使泥浆返回 80%~90%,而未加入该降滤失材料时泥浆返回率在 0~70%。

3.3 超低渗透率添加剂

通过改变聚合物与固体颗粒的表面性质,使不同的组分在不同的钻井液体系(油基和水基)中有不同的溶解度和润湿性,再按一定的比例混合这些组分即可得到超低渗透率添加剂^[23]。如果将超低渗透率添加剂加入水基钻井液中,亲油物质被润湿或溶解;如果加到油基钻井液中则更多的亲油物质被溶解,并形成聚合体附在渗透性岩石表面,形成超低渗透率的屏障,从而进一步避免流体入侵和压力传递。通常情况下,如果不形成这种聚合体,那么在岩石表面将发生持续的漏失。

将含有超低渗透率添加剂的钻井液用于以下几个现场进行测试:在拉丁美洲的哥伦比亚地区^[24],使用含有这种添加剂的钻井液后井壁稳定性明显提高,在砂岩中滤液侵入深度减小,同时油气井产量提高 20%~25%;在墨西哥湾地区将其运用于水基钻井液中,有效防止了地层被压裂、减少井漏和井眼堵塞等常见问题;在北美洲的一口煤层气井内采用了超低渗透率钻井液,不仅对煤层没有造成损害,而且还避免了在使用其他钻井液时发生的严重井壁失稳和井漏事故。

超低渗透率添加剂使用范围很广泛^[25],不仅可以用于水基、油基、合成基的钻井液中,同时可以添加在完井液、修井液中。根据超低渗透率添加剂作用原理和现场实例证明,可以将超低渗透率钻井液广泛用于裂缝性和层状易断泥页岩地层的开采。

3.4 微凝胶聚合物降滤失剂

一种具有独特微凝胶结构的聚合物,通过优化聚合物形态、溶解度以及交联密度,达到最佳聚合物形态和溶解性,提高降滤失性能^[26]。

地层损害主要发生在过滤期间的固体入侵,通过对多孔介质渗透率产生不利影响,从而损害储层。钻井液的滤失性以及产生的滤饼属性可直接影响井壁稳定性,发生不同程度的卡钻事故。独特的微凝胶聚合物颗粒通过吸收基液,体积略微膨胀并堆叠起来,膨胀的聚合物在剪切力下变形,从而更有效地与其他细小固体颗粒重叠在一起形成一个薄而高效的滤饼,减少了滤饼在静态和动态下的渗透性^[27]。此外,这种微凝胶颗粒的变形能力使它们比普通添加剂更容易从地层中回流出来,从而减少对储层的伤害。甚至在极端的钻井环境下仍具有低剪切黏度,有助于提高钻井液体系的流变性。

4 新型钻井液处理剂

4.1 快速钻井液处理剂

快速钻井液处理剂应该具有以下两个特点:①能够吸附到岩石及钻屑表面,使岩石和钻屑的润湿性由亲水转向亲油;②对金属表面有较强的定向吸附作用,在金属表面形成润滑油膜,降低黏土在其表面上的吸附率。

根据快速钻井液处理剂的特征要求,孙金声^[28]等人通过对蛋白质分子进行结构改造,如接枝磷酸基增强其定向吸附性、磺化改性增强其抗温性、与多烯多胺缩聚增强其疏水性等,最终在实验室合成了快速钻井液处理剂(KSAJ)。

快速钻井液技术在吐哈、塔里木、青海、华北、新疆、吉林及辽河等油田的 37 口井进行的现场试验表明:在不改变钻井参数和钻井井身结构的条件下,泥页岩、砂泥岩井段能够提高机械钻速 18% 以上,并有效地提高了井壁稳定,减少起下钻过程中的阻卡情况。

4.2 加重剂 Mn_2O_3

四氧化锰密度大(4.8 g/cm^3)、粒径小、颗粒呈球形^[29]。由于球形颗粒的粒间摩擦很小,塑性黏度大幅度降低。虽然四氧化锰的密度比重晶石大得多,但其颗粒的尺寸却比重晶石小得多,这意味着这些颗粒可以被弱结构的钻井液所支撑,同时在较低的屈服值下不会发生沉降。采用四氧化锰作为加重剂配制了四氧化锰钻井液。将新研发的钻井液与传统钻井液(即氯化钾、碳酸钙、重晶石钻井液,甲酸钾、酸钙钻井液)在实验室内进行性能比较测试。钻井液的现场配方如下:

1) 碳酸钙/重晶石钻井液的配方:0.8 桶水+0.01 gal 消泡剂(1 bbl=42.02 gal=115.627 L)+1.0 黄原胶+6 gal 淀粉+0.75 bl 聚阴离子纤维素聚合物+

41.0 bl 氯化钾+0.5 bl 氢氧化钾+0.25 bl 石灰+205 bl 重晶石+15.0 bl 碳酸钙(细)+5.0 bl 碳酸钙(中)+0.75 bl 亚硫酸钠。

2) 碳酸钙/甲酸钾钻井液的配方: 0.14 桶水+0.86 桶甲酸钾+0.01 gal 消泡剂+0.5 黄原胶+6 gal 淀粉+5.0 bl 聚阴离子纤维素聚合物+1.0 bl 纯碱+0.5 bl 碳酸钠+7.0 bl 碳酸钙(细)+3.0 bl 碳酸钙(中)+0.75 bl 亚硫酸钠。

3) 四氧化锰钻井液的配方: 0.822 桶水+0.01 gal 消泡剂+1.5 黄原胶+6 gal 淀粉+1.25 bl 聚阴离子纤维素聚合物+41.0 bl 氯化钾+0.5 bl 氢氧化钾+0.25 bl 石灰+205 bl 四氧化锰。

现场测试显示, 当四氧化锰钻井液在 300 °F 下老化 16 h 后, 其塑性黏度、屈服值以及降滤失性均没有发生改变。尤其是加入阴离子纤维素聚合物后, 四氧化锰钻井液体系具有更加稳定的流变性和降滤失性。四氧化锰钻井液的降滤失性与碳酸钙/重晶石钻井液相当, 均高于甲酸钾钻井液。但流变性更好, 可使井筒内部环境更加稳定, 加快了钻速节省了深井钻探的时间和开支。四氧化锰钻井液达到了 Unayzah-B 气藏所需密度要求同时保护了储层, 是在传统钻井液基础上改进后更适合于 Unayzah-B 气藏的钻井液体系。

4.3 生物可降解的表面活性添加剂

在过去的 50 年里, 工业上主要依靠改性的有机黏土在非水基钻井液中提供黏度和悬浮性, 然而, 随着环境法规的限制, 用作黏土添加剂的传统的季铵盐由于对环境污染较大, 因此被禁止使用。通过实验测试, 虽然许多化合物都可以用作黏土添加剂, 但只有少数生物可降解的季铵盐满足环境要求^[30]。这类季铵盐与传统的季铵盐特性相似, 但这种季铵盐表面活性剂具有酰胺键, 可以作用于黏土表面与钻井液形成络合物, 从而提供黏度和悬浮性。其结构式如图 2 所示。

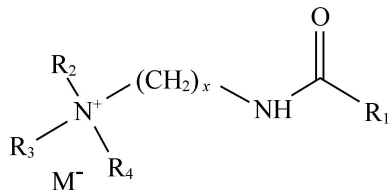


图 2 季铵盐表面活性剂结构式图

这里 M^- 是一种负离子, 比如氯离子、硫酸甲酯基、溴离子、醋酸根离子、碘离子; R_1 是一种具有 10 个或更多碳的饱和烃基; R_2 、 R_3 和 R_4 是相同或不同的烃基, 比如甲基、乙基或苯基, x 大于或等于 1。这种阳

离子表面活性剂在有氧条件下被微生物分解为更小的化合物, 通常是二氧化碳和水。因此使用这种有机物不会对周围环境造成危害。用可降解的季铵盐替代传统的脂肪族表面活性剂, 同时也减少了对不分解黏土的使用, 防止了它们对环境的污染。

新型改进有机质黏土的成分为: 季铵盐(占该有机质黏土质量的 30%~50%)、几种不同类型的黏土(膨润土、蚀变辉石和凹凸棒石)以及不饱和二甲基脂肪铵和甲基苯基脱氢脂氯化铵。

4.4 泥页岩抑制剂

随着钻井液技术进步, 沥青类、腐殖酸类和聚合物类泥页岩抑制剂用量逐年增加, 但几乎没有新泥页岩抑制剂的研发报道。直到 21 世纪初, 才出现了泥页岩抑制剂乙基葡萄糖苷和胺基抑制剂 SIAT 的相关报道。

赵素丽^[31]等人将淀粉在酸性条件下水解成葡萄糖, 加热使葡萄糖溶解于乙醇并在催化剂作用下进行反应, 得到粉末状乙基葡萄糖苷。在室内考察了其作为钻井液处理剂的应用性能。塔河油田水敏地层岩屑在 4% 黏土浆中于 80 °C 滚动 16 h 后, 加有 2% 乙基葡萄糖苷的黏土浆中岩屑的回收率由之前的 22.2% 提高到 72.9%; 岩粉压片在 5% 乙基葡萄糖苷水溶液中的膨胀率小于 10% KCl 溶液中的膨胀率; 同时乙基葡萄糖苷的加入也使岩粉压片在聚合物溶液中的膨胀率大幅度降低。乙基葡萄糖苷与水基钻井液处理剂配伍性好, 对油气层无损害, 能抗 150 °C 高温, 可用来配制中深井防塌水基钻井液体系。

屈沉治^[32]在实验室合成了胺类抑制剂 SIAT, 合成路线如图 3 所示。

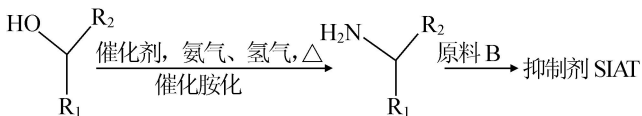


图 3 胺类抑制剂 SIAT 的合成路线图

考察 SIAT 的抑制作用、钻屑回收率及其配伍性能, 发现有机抑制剂 SIAT 分子对膨润土有很好的抑制作用, 这是因为 SIAT 抑制剂分子中极性大的胺基易被优先吸附, 与水分子争夺黏土颗粒上的联结部位, 从而减少泥页岩的水化膨胀, 而且 SIAT 相对分子质量小, 能嵌入黏土层间, 阻止水分子的进入; SIAT 在钻屑上有很强的吸附作用, 热滚后的钻屑形状完好, 回收率高; 与钻井液配伍性好, 不改变钻井液流变性。

4.5 高温保护剂(GHB)

杨泽星等人以苯乙烯磺酸钠(SSS)、丙烯酰胺

(AM)、2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸(AMPS)为单体,采用过硫酸铵—亚硫酸钠氧化还原体系作引发剂,硫代乙醇酸为分子量调节剂,运用水溶液聚合合法合成出钻井液高温保护剂(GBH)。按照配方 4% 基浆+2% SF+8% SPNH+1.0% GBH 配制钻井液,在220℃下热滚16 h后,发现热滚前后钻井液的流变性和API滤失量变化幅度不大,高温高压滤失量仅为14 mL。说明GBH对磺化钻井液处理剂有协同增效的作用,提高了钻井液整体抗温性能。高温保护剂研究成功后,先后在吉林油田长深5井、新疆油田莫深1井上得到成功应用,抗温能力超过200℃。

5 钻井液泥饼清除技术

5.1 钻井液泥饼清洗剂的发展现状

清除水平井和多分支井的钻井液泥饼是一项艰巨的工作^[33]。可以使用机械(注水)和化学方法(酸、氧化剂和酶),但这些方法都存在局限。注水法将大量的水注入地层,可能导致出砂和水堵从而影响产量。氧化剂是一种很活泼的化学物质,它具有将硫化氢氧化为单质硫的作用。酶用来去除聚合物材料已经有10多年的历史。由于酶不能移除碳酸钙,故在酶处理之后有必要进行酸洗。其中一种改进是将酶与弱酸在处理中混合使用;另一种改进适用于高温条件下,使用酶和螯合剂。然而,在高漏失井中使用酶仍然是一个较大问题。为了降低漏失速度,必须增加酶溶液的黏度。这一问题可以用聚合物或黏弹性表面活性剂来解决。

通过实验研究表明:黏弹性表面活性剂和酶溶液是配伍的,表面活性剂的出现并没有使酶分解聚合物的时间发生显著变化,将其加入到酶溶液中能显著减少酶溶液的表面张力。这种混合液能使滤失量降到最小,并且在清除滤饼时能保持井壁稳定性。黏弹性表面活性剂增强了酶和滤饼的接触。改善在井内回流时提升悬浮固体的能力。但是在高温下,黏弹性表面活性剂能减少 α -淀粉酶的表面张力,该系统不适用于高温(低于240℃)。

5.2 氯化铵清洗液

注水井中的滤饼清除作业存在很大的问题,因为必须要求清除液能回流入井来清除残余的泥饼。同时,如果残余的泥饼不能通过其他的方法去除的话,注水井将变得不可恢复。一般清洗液(包括酸、螯合剂、氧化剂、酶或这些物质的混合物)的高反冲性会提前去除部分泥饼,破坏了泥饼的完整性,以致很难完全清除。为了延缓这种反冲作用,就研制了一种延迟清洗液——氯化铵溶液^[34]。氧化镁桥堵颗粒不溶于水基

和盐水基钻井液体系,虽然用酸、氧化剂等传统的清洗液能够清除,但是同样会出现高反冲问题。而氯化铵溶液能够溶解氧化镁和其他钻井液组分,而且能够在保持泥饼完整性的情况下彻底清除它。

6 结论

随着钻遇地层越来越复杂,钻井液技术在稳定井壁方面的要求也越来越高,主要呈现出以下发展趋势。

1)提高机械钻速的钻井液技术——快钻剂的研发以及快速钻井液技术。

2)提高薄弱地层的承压能力,扩大安全密度窗口的钻井液技术。其中如何能够准确控制各种加重钻井液的密度和随时作出密度调整是今后窄密度窗口地层加重钻井液技术发展的重点。

3)裂缝性地层的堵漏技术。解决裂缝性地层漏失难题最有效的办法在于迅速封堵和加固裂缝,而这就需要各种堵漏材料的相互协同作用,这是目前堵漏剂的发展趋势。

4)泥页岩井壁稳定技术。泥页岩井壁稳定问题是世界性难题,目前仍没有得到实质性的解决。泥页岩抑制剂的研发和泥页岩井壁稳定评价实验体系的建立是泥页岩井壁稳定技术发展的两大重点。

参 考 文 献

- [1] MONTILVA J, VAN OORT E, LUZARDO J P. Using a low-salinity high-performance water-based drilling fluid for improved drilling performance in Lake Maracaibo[C]// paper 110366-MS presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 11-14 November 2007, Anaheim, California, USA. New York: SPE, 2007.
- [2] FOSSUM P V, VAN DER ZWAAG C, TAUGB L K. Design and utilization of low solids OBM for Aasgard reservoir drilling and completion[C]// paper 107754-MS presented at the European Formation Damage Conference, 30 May - 1 June 2007, Scheveningen, The Netherlands. New York: SPE, 2007.
- [3] BERG P C, PEDERSEN E S, LAURITSEN A, et al. Drilling, completion, and open hole formation evaluation of high-angle HPHT wells in high-density cesium formate brine; the Kvitebjorn experience, 2004 - 2006[C]// paper 105733-MS presented at the SPE/IADC Drilling Conference, 20-22 February 2007, Amsterdam, The Netherlands. New York: SPE/IADC, 2007.
- [4] GROWCOCK F B, BELKIN A, FOSDICK M. Recent advances in apron drilling fluids technology[J]. SPE Drilling & Completion, 2007, 22(2): 74-80.
- [5] THAEMLITZ C J, 党俊芳. 新的环保型高温水基钻井液体

- 系[J].石油勘探开发情报,2001,4(2):34-40.
- [6] TEHRANI A, GERRARD D, YOUNG S. Environmentally friendly water based fluid for HT/HP drilling[C]// paper 121783-MS presented at the SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, 20-22 April 2009, The Woodlands, Texas, USA. New York: SPE, 2009.
- [7] ROJAS J C, BERN P, PLUTT L J, et al. New constant-rheology synthetic-based fluid reduces downhole losses in deepwater environments[C]// paper 109586-MS presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 11-14 November 2007, Anaheim, California, USA. New York: SPE, 2007.
- [8] YAN Jienian, FENG Wenqiang. Design of drilling fluids by optimizing selection of bridging particles [C] // paper 104131-MS presented at the International Oil & Gas Conference and Exhibition, 5-7 December 2006, Beijing, China. New York: SPE, 2006.
- [9] TEHRANI M A, POPPLESTONE A, GUARNERI A, et al. Water-based drilling fluid for HT/HP applications[C]// paper 105485-MS presented at the International Symposium on Oilfield Chemistry, 28 February - 2 March 2007, Houston, Texas, USA. New York: SPE, 2007.
- [10] OSWALD R, MARINESCU P P, VLASCEANU P. Uniquely characteristics mixed-metal oxide (MMO) fluid cure lost circulation while meeting European environmental regulations[C]// paper 110341-MS presented at the Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, 30 October - 1 November 2007, Jakarta, Indonesia. New York: SPE, 2007.
- [11] 王平全, 孙金声, 李晓红, 等. 成膜(隔离膜)水基钻井液体系实验研究[J]. 西南石油学院学报, 2004, 6(26): 60-64.
- [12] 杨枝, 孙金声, 张洁, 等. 裂缝性碳酸盐储层保护技术研究进展[J]. 探矿工程: 岩土钻掘工程, 2009, 11(36): 4-8.
- [13] 张军, 孟英峰, 李皋, 等. 裂缝—孔隙型双重介质储层保护技术与探讨[J]. 天然气勘探与开发, 2006, 29(3): 47-49.
- [14] 卢虎, 吴晓花, 瞿凌敏. 聚醇保护裂缝性储层应用研究[J]. 油田化学, 2004, 21(3): 206-208.
- [15] 叶艳, 鄢捷年, 邹盛礼, 等. 保护裂缝性储层的复合盐弱凝胶钻井完井液[J]. 天然气工业, 2008, 28(1): 97-100.
- [16] 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.
- [17] 王永恒, 康毅力, 兰林, 等. 一种非渗透钻井完井液对裂缝性储层保护能力实验评价[J]. 钻采工艺, 2007, 30(1): 101-104.
- [18] VICKERS S, COWIE M, BURGESS M, et al. The application of specifically formulated bridging materials to successfully reduce pore pressure transmission to enable depleted fractured reservoirs to be drilled and produced without incurring formation damage[C]// paper 107753-MS presented at the European Formation Damage Conference, 30 May - 1 June 2007, Scheveningen, The Netherlands. New York: SPE, 2007.
- [19] ROMERO S N, MONROY R R, JOHNSON C, et al. Preventing lost circulation using lightweight slurries with reticular systems; depleted reservoirs in Southern Mexico [C]// paper 92187-MS presented at the SPE International Petroleum Conference, 7-9 November 2004, Puebla Pue., Mexico. New York: SPE, 2004.
- [20] HUTTON F, PAYNE T, JEFFERY S K, et al. Fusible-particle system helps to control severe lost circulation while drilling across a fractured zone in Elk Hills Field, CA [C]// paper 121111-MS presented at the SPE Western Regional Meeting, 24-26 March 2009, San Jose, California, USA. New York: SPE, 2009.
- [21] EL-HASSAN H, RAAFAT A, HAITHAM J, et al. Using a novel fiber cement system to control lost circulation; case histories from the middle east and far east [C] // paper 85324-MS presented at the SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition, 20-22 October 2003, Abu Dhabi, United Arab Emirates. New York: SPE/IADC, 2003.
- [22] MATA F, VEIGA M. Cross linked cements solve lost circulation problems[C]// paper 90496-MS presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 26-29 September 2004, Houston, Texas, USA. New York: SPE, 2004.
- [23] REID P, SANTOS H. Ultra-low invasion drilling fluids; a practical route to reduced wellbore instability, reduced mud losses, wellbore strengthening, and improved well productivity [C] // paper 101329-MS presented at the SPE/IADC Indian Drilling Technology Conference and Exhibition, 16-18 October 2006, Mumbai, India. New York: SPE, 2006.
- [24] BAUER S, GRUNEWALD P, HAMILTON J, et al. High-temperature plug formation with silicates [C]// paper 92339-MS presented at the SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, 2-4 February 2005, The Woodlands, Texas, USA. New York: SPE, 2005.
- [25] HORTON, PRASEK, IVAN, et al. Prevention and treatment of lost circulation with cross linked polymer material; US Patent 7098172[P]. 2003-01-23.
- [26] GUICHARD B, VALENTI A, ERIEDHEIM J, et al. An organosoluble polymer for outstanding fluid loss control with minimum formation damage [C]// paper 107281-MS presented at the European Formation Damage Conference, 30 May - 1 June 2007, Scheveningen, The Netherlands. New York: SPE, 2007.
- [27] WHITFILL D L, HEMPHILL T, et al. All lost-circulation materials and systems are not created equal [C]// paper 84319-MS presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 5-8 October 2003, Denver, Colorado, USA. New York: SPE, 2003.

[28] 孙金声,杨宇平,安树明,等.提高机械钻速的钻井液理论与技术研究[J].钻井液与完井液,2009,2(26):1-6.

[29] AL-YAMI A S,NASR-EL-DIN H A, AL-MAJED A A, et al.An innovative manganese tetroxide/KCl water-based drill-in fluid for HT/HP wells [C]// paper 110638-MS presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 11-14 November 2007, Anaheim, California, USA .New York ;SPE,2007.

[30] MILLER J.Biodegradable surfactants aid the development of environmentally acceptable drilling-fluid additives[C]// paper 106506-MS presented at the International Symposium on Oilfield Chemistry,28 February - 2 March 2007, Houston,Texas,USA .New York ;SPE,2007.

[31] 赵素丽,肖超,宋明全.泥页岩抑制剂乙基葡萄糖苷的研制[J].油田化学,2004,3(21):202-204.

[32] 屈沅治.泥页岩抑制剂 SIAT 的研制与评价[J].石油钻探技术,2009,6(37):53-57.

[33] NASR-EL-DIN H A, AL-OTAIB M B I, AL-QAHTANI A A, et al.An effective fluid formulation to remove drilling fluid mud cake in horizontal and multi-lateral wells [J].SPE Drilling & Completion,2007,22(1):26-32.

[34] VAN DER ZWAAG C H.Benchmarking the formation damage of drilling fluids[J].SPE Production & Operations,2006,21(1):40-50.

(修改回稿日期 2011-05-07 编辑 居维清
特约编辑 杨 斌)