

国内外超高温高密度钻井液技术现状与发展趋势

王中华

(中国石化中原石油勘探局 钻井工程技术研究院,河南 濮阳 457001)

摘 要:简要介绍了国内外超高温井的情况,从油基钻井液、合成基钻井液及水基钻井液三方面介绍了国内外超高温高密度钻井液的研究与应用现状,并指出了超高温高密度钻井液的发展方向。国外早期超高温钻井液以水基钻井液为主,近年来油基和合成基钻井液应用越来越多,尽管钻遇的井底温度已经超过 300 ℃,但钻井液最高密度没有超过 2.40 kg/L。国内超高温高密度钻井液以水基钻井液为主,与国外相比,尽管应用的温度没有国外高,但钻井液密度高,已经突破 2.50 kg/L。相对而言,国外在超高温高密度钻井液方面更注重高性能专用产品的开发,而国内尽管在超高温钻井液处理剂研究方面已经开展了大量的工作,但没有形成系列产品,大部分研究局限在实验室,超高温高密度钻井液多在传统处理剂基础上,或采用国外产品形成,钻井液的综合性能还不能满足现场需要。国外超高温高密度钻井液已经成熟,目前的研究重点是改善钻井液的环境可接受性。我国应在专用产品开发的基础上,形成配套的钻井液体系,并围绕环保、高效、经济的目标进行油基和合成基钻井液研究。

关键词:钻井液;钻井液添加剂;油基钻井液;合成基钻井液;水基钻井液;高温;高密度

中图分类号:TE254 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2011)02-0001-07

Status and Development Trend of Ultra-High Temperature and High Density Drilling Fluid at Home and Abroad

Wang Zhonghua

(Drilling Research Institute of Petroleum Engineering, Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau, Puyang, Henan, 457001, China)

Abstract: In the past, drilling fluids used in high-temperature formation were mainly water based, while oil based and synthetic drilling fluids have been used widely recently at abroad. The bottom-hole temperature is higher than 300 ℃, while the maximum drilling fluid density is no more than 2.40 kg/L. At present, high-temperature high-density drilling fluids at domestic are still mainly water based; the density is already higher than 2.50 kg/L, and the serial products have not been developed. Most of them are still in experimental stage. Some products were formed based on foreign products or traditional additives. The research on high-density drilling fluids at abroad are focused on environmental acceptance, aimed at developing oil based and synthetic drilling fluids with high efficiency and low cost. This paper describes the status and development trend of oil based, synthetic and water based high-density drilling fluids being used in super-high temperature wells at home and abroad.

Key words: drilling fluid; drilling fluid additive; oil base drilling fluid; synthetic-based drilling fluid; water base drilling fluid; high temperature; high density

随着全球石油需求的不断增加及已探明储量的逐渐开采,油气勘探开发逐步向深层发展,钻遇高温高压地层的概率逐渐增大。如美国、北海等已开采地区的地温梯度平均达 4.0 ℃/100m、井底最高压力超过 110 MPa、井底温度超过 200 ℃,钻井时的钻井液密度达 2.22 kg/L 以上^[1]。国内大庆油田松辽盆地北部徐家围子地区,地温梯度高达 4.1 ℃/100m,井深 4 500~6 000 m,井底温度约为 180~240 ℃。南

海西部莺琼盆地地质条件恶劣,地温梯度高,地层压力异常高,实钻井底最高温度达到 249 ℃、最大钻井

收稿日期:2011-01-17;改回日期:2011-02-14

作者简介:王中华(1965—),男,河南柘城人,1985年毕业于郑州大学化学系,中原石油勘探局副总工程师兼钻井工程技术研究院总工程师,教授级高级工程师,主要从事精细化工和油田化学研究工作。系本刊编委。

联系方式:(0393)4899235, zpebwzh@126.com

液密度 2.38 kg/L,属于世界上三大高温高压并存的地区之一^[2]。此外,在塔里木盆地、准格尔盆地和四川盆地,大部分油气资源都埋藏在深部地层,地层压力系数大,井底温度高。钻井实践表明,随着井深的增加,钻井技术难题逐渐增多,井下高温严重影响钻井液性能,特别是流变性和滤失量控制困难,原有的钻井液处理剂和钻井液体系已不能完全满足深井、超深井钻井技术发展的需要,为此,世界各国都在努力研制抗高温钻井液处理剂和钻井液体系。笔者从油基、合成基和水基钻井液三方面对超高温高密度钻井液的研究与应用情况进行了简要介绍,并指出了国内超高温高密度钻井液的研究方向。

1 井底温度大于 200 °C 深井、超深井概况

国外超深井钻探起步较早,早在 1958 年就已经采用水基钻井液钻成了井深 7 000 m 的超深井,井底温度 245 °C。后来,在路易斯安那水域,又钻成了井深 7 803 m 的超深井,井底温度 260 °C,该井在井深 7 000 m 以深井段采用了密度 2.32 kg/L 的木质素磺酸盐混油钻井液。在庞恰特雷恩湖地区,一口井深 6 981 m 的超深井采用由 SSMA 与木质素磺酸盐组成的钻井液钻进,井底温度 232 °C,钻井液密度 2.25 kg/L。该钻井液体系在加州塞罗普里埃托井底温度超过 371 °C 的地热井中也进行了应用,并取得了很好的效果。美国德州(Texas)Webb 市的罗萨 1 号井,井深 7 265 m,井底温度 290 °C,从井深 3 048 m 开始使用密度 1.34 kg/L 的油基钻井液钻进,逐步加重至 2.23 kg/L 完钻,钻井液在井下静止 41 d 未变质,显示出了油基钻井液良好的热稳定性^[3]。密西西比海域 MS57 #1 井采用分散褐煤-聚合物钻井液钻进,井深 7 178 m,井底温度 213 °C,钻井液最高密度 2.09 kg/L^[4]。路易斯安那州一口井深 6 098 m 的超深井采用低胶质水基钻井液钻进,井底温度 236 °C,钻井液表现出很好的热稳定性,该钻井液体系也在奥地利 Zistersdorf 地区成功应用^[5]。日本的三岛井和新竹野町两口井采用了 G-500S 水基高温钻井液钻进,两口井的井深和井底温度分别为 6 300 m、225 °C 和 6 310 m、205 °C,在高温下该钻井液性能稳定^[6-7]。

近年来,国内井底温度大于 200 °C 的深井、超深井也普遍增多,如:新疆油田在克拉玛依莫索湾背斜上所钻的莫深 1 井,设计井深达 7 380 m,井底温度超过 200 °C,钻井液密度达 2.2 kg/L;胜利油田完

成的胜科 1 井,完钻井深 7 026 m,测试井底温度超过 235 °C;河南油田施工的泌深 1 井,完钻井深 6 005 m,静止 24 h 后实测井底温度 236 °C^[8];在松辽盆地徐家围子所钻的徐深 22 井,完钻井深 5 320 m,井底温度 213 °C;在松辽盆地所钻的长深 5 井,完钻井深 5 321 m,井底温度超过 200 °C^[9];在南海莺琼地区所钻的崖城 21-1-3 井,井深 4 688 m,井底温度 206 °C^[10];江苏油田刚完钻的一口重点大位移预探定向井徐闻 X3 井,设计垂深 5 100 m,斜深 5 664 m,水平位移 1 893.92 m,井斜角 35°,完钻井深 5 974 m,实测井底温度达 211 °C^[11]。

从文献分析看,在已钻探的井底温度大于 200 °C 的深井、超深井中,所用超高温钻井液并非都是高密度钻井液,有些超深井尽管井底温度很高,但地层压力系数并不高,相对而言该情况下钻井液技术的难度较小。而有些地区不仅井底温度高(大于 200 °C),而且地层压力系数高(需要 2.0 kg/L 以上密度的钻井液才能平衡),这种情况下,钻井液所遇到的难题就复杂得多。

2 超高温高密度钻井液研究应用现状

2.1 油基钻井液

早在 20 世纪 60 年代,抗高温油基钻井液就受到重视,到 20 世纪 70 年代就针对深井、超深井的需求先后研制了一系列超高温油基钻井液。但在早期的超深井钻探中所用的超高温钻井液大部分为水基钻井液^[3]。随着对油基钻井液优越性的认识不断提高,以及研究的不断深入,国外在超高温井钻探中越来越多地采用油基钻井液,而国内应用较少。

现场应用表明^[12-13],油基钻井液在井壁稳定、润滑防卡、抑制地层水化膨胀、抑制地层造浆及快速钻进等方面具有明显的优势,已成为钻探高难度高温深井、海上钻井、大斜度定向井、水平井、各种复杂井段和储层保护的重要手段^[14]。正是由于油基钻井液有此优越性,因此倍受人们重视,并不断开展研究与应用。以柴油或者低毒矿物油为基油,由用作高温高压滤失调节剂的聚合物,以及有机土、乳化剂、润湿剂、加重材料等组成的全油基钻井液,在 204 °C 下性能稳定。由于该钻井液中的聚合物与有机土颗粒具有良好的配伍性,其高温高压滤失量非常低。由于采用无毒的润湿剂代替了传统的阴离子乳化剂,提高了基油对有机土颗粒的润湿性。通过润湿剂、聚合物和有机土三者的协同作用,有效提高了该钻井液的黏度。试验表明,该钻井液表现出了类似于水基聚合

物钻井液的流变性,有较高的动塑比,剪切稀释性好,因而可以提高钻速,减少井漏,改善井眼清洗状况及悬浮性。目前该钻井液体系已经在 60 多口井中应用,密度最高达 2.04 kg/L,钻进深度最深达到 6 309 m,井底最高温度 213 °C,井斜角达到 69°^[15]。

以新研制的抗高温处理剂为主配制的油水比为 85:15~90:10 的钻井液,在 310 °C 和 203 MPa 条件下具有很好的稳定性,其密度可达到 2.35 kg/L^[16]。针对高温(260 °C)高密度(2.10~2.16 kg/L)钻井液中易出现重晶石沉降的问题,采用一种密度为 4.8 kg/L 的亚微米颗粒四氧化锰代替重晶石的高温高压无黏土油基钻井液已经在北海得到成功应用,该钻井液可以减小当量循环密度,降低钻井、下套管和固井过程中的滤失量,并且不会出现加重材料沉降的问题^[17]。

针对油基钻井液的需要,在油基钻井液处理剂方面也开展了一些工作,如:基于微观结构特殊设计,研制出了在油基钻井液和合成基钻井液中都有很好溶解性、抗高温的油溶性颗粒聚合物降滤失剂;该降滤失剂在基油中发生膨胀,在滤失过程中,聚合物颗粒将会在外部分形成薄而且易变形的泥饼,在内部泥饼中的聚合物颗粒将会封堵地层孔隙,从而降低滤失量;在切力的作用下,聚合物颗粒会发生变形并且体积变小,使其更容易回收,因此可以减轻对储层的损害^[18]。针对高温、高密度油包水逆乳化钻井液滤失量大的问题,采用胺化合物对腐植酸进行改性,得到一种抗温能力达 220 °C,可用于密度 2.38 kg/L 油基钻井液的降滤失剂 XNTROL220。该降滤失剂在油中具有良好的分散能力,在油包水逆乳化钻井液中降滤失效果明显,且具有稀释降黏、辅助乳化等功能^[19]。研究者还优选出了一种新型的阳离子表面活性剂 XNWET,该表面活性剂在 220 °C 高温下,仍能与亲水性固体有很好的吸附性能,抗温性能和热稳定性好,每 100 g 重晶石最优加量为 1.2 g^[20]。

在有机土研究方面,使甲基硬脂酰胺丙基氯化铵或二甲基苄基硬脂酰胺丙基氯化铵与膨润土发生离子置换反应,制备了可降解的钻井液用有机土。该有机土不仅不会对环境造成污染,而且在油基钻井液中表现出了良好的性能^[21]。通过优选季铵盐和采用螯合技术合成的高温稳定的有机土 XNORB,不但在柴油和白油中具有良好的分散性能和增黏效果,而且在 220 °C 高温下其性能基本保持稳定^[22]。通过在钠膨润土中加入有机改性剂进行改性,得到有机土 LW TRO-250,其在油包水乳化钻井液中,能很好地起到增黏提切的作用,并使油包水乳化钻井液具有较好的流变性和抗高温性能,而且在 250 °C 高温

下其性能基本保持稳定^[23]。

2.2 合成基钻井液

在 20 世纪 80 年代,国内外相继开展了合成基钻井液的研发工作,20 世纪 90 年代在北海首次应用并获得成功^[24-25],随后合成基钻井液的种类和应用范围不断增大,在全世界范围内,使用合成基钻井液的井已达 500 多口,其中墨西哥湾和北海地区占使用合成基钻井液总数的 90% 以上。

合成基钻井液可从不同途径得到,以脂肪醇为起始剂,经环氧烯烃加成反应后并进行封端缩聚可以获得合成基液,以此建立的合成基钻井液具有较强的抗钙、抗镁、抗海水污染和抗劣质土污染的能力^[26]。线性 α -烯烃钻井液电稳定性好、低毒、抗温达 215 °C,最高密度达 2.1 kg/L,抗水污染能力强,该钻井液的油层保护效果好,岩心渗透率恢复率可以达到 90% 以上^[27]。

合成基钻井液热稳定性好,用于超高温钻井取得了好的效果,如:美国休斯敦 EEX 公司采用比例为 90:10 的线性 α -烯烃和酯混合物的合成基,按照 70% 的合成基和 30% 的水组成的钻井液,在墨西哥湾深水区的 Garden Bank Block 386 钻成了一口井深 8 493 m 的超深井,井底温度 275 °C^[28];采用 ISO-TEQ 合成基配制的 Syn-TEQ 合成基钻井液,耐温 226.7 °C,并且在高温下不水解,密度可以达到 2.16 kg/L,钻井液毒性 $LC_{50} > 1\,000\,000$ mg/L,可以满足环保要求^[13];YC21-1-4 井是在莺琼盆地钻探的一口高温高压井,井深 5 250 m,井底温度 200 °C,该井自井深 4 960 m 至完钻(井深 5 250 m)采用以线性 α -烯烃为基油、铁矿粉为加重剂形成的 ULTIDRILL 合成基钻井液体系,该合成基钻井液抑制性强,具有抗高温、滤失量小、稳定井壁的性能,满足了 YC21-1-4 井钻井施工的要求^[29]。

2.3 水基钻井液

虽然油基钻井液和合成基钻井液是公认的解决高温问题的钻井液类型(可以顺利解决高温高压井段的钻井液稳定性问题),但油基钻井液和合成基钻井液成本高、原料来源不广,且油基钻井液对环境会产生一定的污染,并存在安全问题,其推广受到一定的限制,因此超高温水基钻井液体系一直深受重视。EXXON 公司研制的无毒水基钻井液体系(EHT 体系)已成功应用于陆上和海上钻井,应用井底温度最高达到 215.5 °C,其密度为 1.86 kg/L^[30]。由降滤失剂 Thermohumer 和流变性稳定剂 Huminsol 等

组成的钙水基钻井液,可以用于温度高于 220 ℃ 的地层,其密度可以高于 2.10 kg/L,且具有良好的抗污染能力^[31]。北海地区一口高温、高压斜井(井斜角达 42°)在钻进 $\phi 215.9$ mm 井眼时应用了一种微细的重晶石钻井液体系(MBF),由井深 6 354 m 钻至井深 7 327 m,井底温度 205 ℃,钻井液密度高达 2.15 kg/L,虽然在钻井过程中发生两次卡钻事故导致侧钻,但处理事故期间,钻井液没有出现加重材料沉降问题,保证了工程的顺利实施^[32]。以两种新型聚合物为主剂,辅以 pH 值添加剂、加重材料和适量黏土研制的新型抗高温水基聚合物钻井液体系,耐温可达 232 ℃。在高温条件下,该钻井液体系还具有良好的抗污染能力,对 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和一般的固态污染物均具有极强的抗污染能力。该钻井液体系可以用淡水配制,也可以用海水配制。由于该钻井液体系不含金属铬以及其他具有环境毒性的物质,环境友好,完全符合环保要求^[33]。采用合成多糖类聚合物降滤失剂、抗温可达 260 ℃ 的低相对分子质量的 SSMA、合成聚合物 AT 解絮凝剂、抗温可达 315 ℃ 的低分子 AMPS/AM 共聚物降滤失剂、高分子 AMPS/AAM 降滤失剂、增黏剂,以及改性褐煤聚合物 CTX 等组成的高温聚合物钻井液体系,在 Mississippi 州作为压井液成功压井,并在后续钻井施工中成功应用。该钻井液体系具有良好的剪切稀释性和良好的抗温能力。压井作业中采用密度为 1.98~2.64 kg/L 的压井液进行循环压井作业,泵压低,压井液流变性好^[34]。

从文献情况看,国外超高温钻井液的研制是建立在专用处理剂研制的基础上,处理剂的研制始于 20 世纪 80 年代^[35],并主要集中在乙烯基磺酸单体(AMPS)与丙烯酰胺、烷基丙烯酰胺、乙烯基乙酰胺和乙烯基吡咯烷酮等单体的多元共聚物处理剂的研究上,并在应用的基础上形成了以 COP-1、COP-2、Polydrill、Mil-Tem,Pyro-Trol、Kem Seal 和 Polydrill 等为代表的一系列产品^[36-40]。而国内在这方面起步较晚,近期首先在超高温钻井液方面开展了一些研究工作,如:由高温保护剂、降滤失剂、封堵剂等钻井液处理剂组成的抗高温(220 ℃)高密度(2.3 kg/L)水基钻井液,具有良好的抑制性和抗钻屑污染性能,抗盐 2.0%,抗氯化钙 0.5%^[41];由抗高温保护剂、高温降滤失剂、封堵剂、增黏剂等组成的抗温可达 240 ℃ 的淡水钻井液体系,其高温高压滤失量低,并具有良好的流变性、抑制性和抗钻屑污染性能^[42];由膨润土、SMP-2、SPNH、HL-2、SMC、80A51、KHPAN、SF260 和高温稳定剂等组成的抗 200 ℃ 高温、密度达 2.30 kg/L 的水基聚磺钻井液,其热稳

定性好,流变性好,抗盐、抗钙污染能力强^[43];以抗高温降滤失剂 LP527-1、MP488 和抗盐高温高压降滤失剂 HTASP 等为主处理剂,与磺化褐煤、XJ-1 分散剂等配制的密度 2.30 kg/L、盐含量 10%~30% 的盐水钻井液,经过 220 ℃ 老化 16 h 后,表现出良好的高温稳定性,没有出现高温稠化现象,高温高压滤失量控制在 20 mL 以内^[44];针对胜利 1 井 5 800~7 026 m 井段的需要,以 Driscal D 降滤失剂、Desco 降黏剂和磺化沥青为主处理剂,研制的密度 1.70~1.74 kg/L 的超高温高密度水基钻井液,其热稳定性好,抗污染能力强,润滑性和剪切稀释特性良好,高固相情况下流变性好,高压滤失量低,抗高温能力达到 235 ℃^[45];为解决费尔干纳盆地深部井段抗高温高密度钻井液技术难题,开发出了抗温 220 ℃、密度 2.60~3.00 kg/L 的有机盐钻井液,该钻井液在密度达到 3.00 kg/L 时,固相含量低于 50%,滤饼摩阻系数小于 0.20,具有良好的流动性和润滑防卡能力,较好地解决了加重材料沉降和过饱和盐水结晶的问题^[46]。

近年来围绕超高温钻井液发展的需要,在降黏剂和降滤失剂方面进行了一些研究。以苯乙烯、衣康酸为原料经共聚、磺化得到的超高温水基钻井液降黏剂磺化苯乙烯-衣康酸共聚物 SSHIA 具有良好的耐温性,用 SSHIA 处理的淡水钻井液在 260 ℃ 温度下老化 16 h 后仍具有良好的流变性^[47]。采用丙烯酰氧丁基磺酸、2-丙烯酰氧-2-乙基基甲基丙磺酸钠和 N,N-二甲基丙烯酰胺,与丙烯酰胺、丙烯酸等单体共聚,合成了 MP488 降滤失剂和 LP527 解絮凝降滤失剂,两者热稳定性好,在淡水、盐水和饱和盐水钻井液中均具有较好的降滤失作用,抗温大于 220 ℃^[48]。针对需要研制的具有较强的降滤失能力,且其 1% 水溶液的黏度低于 15 mPa·s 的超高温聚合物降滤失剂 PFL-1,在钻井液中的黏度效应小,热稳定性好,抗温抗盐能力强。用该降滤失剂处理的钻井液即使经过 240 ℃ 高温老化其滤失量仍然较低,与 SMC、SMP 等具有较好的配伍性,已在徐闻 X3 井成功应用^[11,49]。此外,采用 2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸(AMPS)、丙烯酰胺(AM)和丙烯酸(AA),在磺化酚醛树脂(SMP)存在下,合成的 P(AMPS-AM-AA)/SMP 复合聚合物降滤失剂,抗温达 240 ℃,在淡水、盐水钻井液中均具有较好的降滤失作用,与 SMP 相比,对高密度钻井液黏度影响较小,与 SMC 等具有良好的配伍性,可以有效控制高密度钻井液的高温高压滤失量和流变性^[50]。在磺化酚醛树脂的基础上,通过分子修饰得到的抗盐高温高压降滤失剂 HTASP,在盐水和饱和盐水钻

井液中均具有较好的控制高温高压滤失量的能力,与磺化褐煤(SMC)和降滤失剂 LP527、MP488 等具有良好的配伍性,与 LP527、MP488 和 SMC 等组成的高密度盐水钻井液体系高温稳定性好,流变性易于控制,高温高压滤失量小于 16 mL^[51]。

3 发展方向

国外在超高温高密度钻井液研究与应用方面已经比较成熟,将来的重点是针对现场需要,特别是异常高温高压地层开发的需要,不断优化钻井液性能。与国外相比,国内在超高温钻井液研究方面还存在较大差距,尽管国内在超高温高密度水基钻井液研究方面开展的工作较多,且部分指标接近或领先于国外,但从整体情况看,国内还缺乏专用的钻井液处理剂。国内在油基和合成基钻井液方面开展的工作少,无论是技术水平还是应用方面都与国外差距很大。结合国内外情况,对于超高温高密度钻井液的研究,特别是油基和合成基钻井液的研究,要加强攻关力度,围绕处理剂研制、钻井液体系配方优化,高温高压下钻井液流变性和滤失量控制方面开展研究工作。

3.1 水基钻井液

今后国内在超高温高密度水基钻井液方面,应集中力量把研究重点放在超高温钻井液处理剂研制上,重点解决超高温钻井液的流变性和高温高压滤失量控制之间的矛盾,优化钻井液配方,进一步提高钻井液的抗污染和抗温能力。笔者认为,可从以下几方面进行研究:

1) 针对超高温钻井液处理剂研制的需要,开展新单体合成与转化,如:乙烯基甲(乙)酰胺、2-丙烯酰胺基长链烷基磺酸、N,N-二甲(乙)基丙烯酰胺和异丙基丙烯酰胺等单体的工业化研究,尽快形成经济可行的生产工艺;开展 N-(甲基)丙烯酰氧乙基-N,N-二甲基磺丙基铵盐、2-丙烯酰胺基-2-苯基乙磺酸等单体的合成工艺研究;

2) 研制适用于超高温高密度钻井液的、低相对分子质量的聚合物降滤失剂,以及抗盐高温高压降滤失剂、降黏剂、抑制剂、润滑剂、封堵剂和井壁稳定剂等;

3) 利用腐殖酸等来源丰富价格低廉的天然材料,通过接枝共聚改性和高分子化学反应获得低成本、高性能的超高温钻井液处理剂;

4) 在聚磺钻井液中引入新型超高温聚合物处理剂和低密度固相控制剂,并经配方和性能优化,将其抗温性能提高到 200 °C 以上;

5) 研制抗温 ≥ 240 °C、密度 ≥ 2.5 kg/L 和饱和

盐水超高温高密度钻井液,重点解决流变性和高温高压滤失量控制问题;

6) 研制抗温 ≥ 200 °C、密度 ≥ 2.0 kg/L 的超高温无黏土相钻井液和超高温高密度有机盐钻井液体系,重点是抗高温增稠剂和高温高压降滤失剂的研制。

3.2 油基钻井液

与发达国家比,国内在油基钻井液方面明显滞后,故更要重视油基钻井液的开发。在油基钻井液方面,可围绕改善钻井液的悬浮稳定性和流变性,以及乳化稳定性等,从以下方面开展工作:

1) 研制高性能油基钻井液处理剂,特别是超高温高效乳化剂、增黏剂、降滤失剂,并在此基础上形成抗温 ≥ 220 °C、密度 ≥ 2.4 kg/L 的超高温高密度油基钻井液体系;

2) 通过加工处理重晶石、选择新的加重剂,或者通过研制高性能提黏剂剂和表面活性剂或软化点大于 220 °C 的高软化点沥青,提高钻井液的沉降稳定性;

3) 围绕油基钻井液向低毒或无毒方向发展的目标,选择或研制新的无毒或低毒基础油,如低芳香烃的矿物油、无芳香烃基油和植物油,同时研制可降解的油基钻井液处理剂;

4) 研制新型可逆乳化钻井液体系,重点是乳化剂的选择与研制,以及钻井液综合性能优化,保证钻井液具有较低的滤失量和较高的乳化稳定性;

5) 油基钻井液循环利用、固液分离和含油钻屑的处理,形成经济可行的废弃钻屑处理技术;

6) 研究高密度油基钻井液在高温(> 200 °C)下的流变性、稳定性等,形成系统的流变性控制方法,建立高密度钻井液流变性和密度预测模型。

3.3 合成基钻井液

国外超高温高密度合成基钻井液的应用还较少,我国在该方面的应用更少,因此我国应该围绕超高温高压条件下钻井的需要,在合成基钻井液方面开展以下工作:

1) 借鉴国外经验,在引进、消化、吸收的基础上,研制和应用既有利于井壁稳定和油气层保护,又有利于环境保护的合成基钻井液体系,并努力降低合成基钻井液的成本;

2) 结合国内情况选择或研制新型合成基材料,并努力降低成本;

3) 研制适用于合成基钻井液的乳化剂、流型调节剂和增黏剂等,开展加重剂加工处理及优选新的加重剂;

4) 研究高密度合成基钻井液在超高温高压条件下的流变性、悬浮稳定性;

5) 探索合成基钻井液的现场应用工艺及配套技术,包括合成基钻井液的回收再利用。

4 结束语

国外关于超高温高密度钻井液处理剂及钻井液体系的研究与应用成效显著,油基钻井液和水基钻井液体系的使用温度已经超过 260 °C,钻井液密度超过 2.30 kg/L,并形成了配套的钻井液处理剂和成熟的钻井液体系。与国外相比,国内在油基钻井液和合成基钻井液方面存在很大差距,因此需要在这方面加大投入。对于超高温水基钻井液,特别是超高温高密度钻井液,尽管国内技术水平接近国际领先水平,但大部分工作还局限在室内研究阶段,针对性还不强。今后应集中力量在现场应用经验的基础上,把研究重点放在超高温钻井液处理剂的成果转化上,并根据超深井的需要开发抗高温不增黏处理剂和高温高压滤失控制剂、流型调节剂、润滑剂等。加强油基钻井液和合成基钻井液的攻关,油基钻井液和水基钻井液并重,通过钻井液体系配方优化以及钻井液高温性能评价,不断完善超高温高密度钻井液的性能,提高钻井液技术水平,形成适用的超高温高密度钻井液体系。同时强化基础研究,为钻井液性能优化提供理论依据,以解决钻井液在高温下的流变性和滤失量控制问题,从而满足深层油气资源勘探开发的需要。

参 考 文 献

- [1] Keelan Adamson, George Birch, Erhu Gao, et al. High-pressure, high-temperature well construction[DB/OL]. [2011-01-14]. http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/ors98/sum98/pgs_36_49.ashx.
- [2] 张勇. 南海莺琼地区高温高压钻井技术的探索[J]. 天然气工业, 1999, 19(1): 71-75.
Zhang Yong. A study of the drilling techniques of high temperature and high pressure wells in Yingqiong Region of South China Sea[J]. Natural Gas Industry, 1999, 19(1): 71-75.
- [3] 黄林基. 超深井泥浆设计原理与应用[DB/OL]. [2011-01-14]. <http://www.swpuxb.com/qikan/manage/wenzhang/08.pdf>.
Huang Linji. Ultra-deep mud and application of design principles[DB/OL]. [2011-01-14]. <http://www.swpuxb.com/qikan/manage/wenzhang/08.pdf>.
- [4] Mitchell R K, Bethke M E, Dearing H L. Design and application of a high-temperature mud system for hostile environments[R]. SPE 20436, 1990.
- [5] 徐同台. 八十年代国外深井泥浆的发展状况[J]. 钻井液与完井液, 1991, 8(增刊 1): 29-45.
Xu Tongtai. The development of foreign deep mud at eighties[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 1991, 8 (supplement 1): 29-45.
- [6] 今野 淳. 高温泥水について[J]. 石油技術協会誌, 1993, 58(5): 387-392.
Konno Makoto. High temperature mud system for deep well drilling in Japan [J]. Association of Petroleum Engineers Journal, 1993, 58(5): 387-392.
- [7] 佐野 守宏. 高温用泥水システムの開発[J]. 石油技術協会誌, 1994, 59(2): 129-135.
Morihiro Sano. Development of the mud system for high temperature [J]. Association of Petroleum Engineers Journal, 1994, 59(2): 129-135.
- [8] 袁建强, 何振奎, 刘霞. 泌深 1 井钻井设计与施工[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(1): 42-45.
Yuan Jianqiang, He Zhenkui, Liu Xia. Well Bishen-1 drilling design and operation [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(1): 42-45.
- [9] 赵秀全, 李伟平, 王中义. 长深 5 井抗高温钻井液技术[J]. 石油钻探技术, 2007, 35(6): 69-72.
Zhao Xiuquan, Li Weiping, Wang Zhongyi. High-temperature drilling fluids in Changshen-5 Well[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007, 35(6): 69-72.
- [10] 段昇生. 崖城 21-1-3 井钻井技术[J]. 天然气工业, 1999, 19(1): 79-82.
Duan Yisheng. Well YA21-1-3 drilling techniques[J]. Natural Gas Industry, 1999, 19(1): 79-82.
- [11] 王显光, 任立伟. 超高温降滤失剂在徐闻 X3 井成功应用[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(6): 112.
Wang Xianguang, Ren Liwei. Ultra-high temperature fluid loss agent in the successful application of Well Xuwen X3[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(6): 112.
- [12] 于兴东, 姚新珠, 林士楠, 等. 抗 220 °C 高温油包水钻井液研究与应用[J]. 石油钻探技术, 2001, 29(5): 45-47.
Yu Xingdong, Yao Xinzhu, Lin Shinan, et al. The study and applications of water in oil drilling fluids resisting 220 °C high temperature[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2001 29(5): 45-47.
- [13] 徐同台, 赵忠举. 21 世纪初国外钻井液和完井液技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 305-314.
Xu Tongtai, Zhao Zhongju. Foreign Drilling and completion fluid technology beginning of the 21st century[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004: 305-314.
- [14] Soliman A Abou. Oil base mud in high pressure, high temperature wells[R]. SPE 29864, 1995.
- [15] Mas M, Tapin T, Marquez R, et al. A new high-temperature oil-based drilling fluid[R]. SPE 53941, 1999.
- [16] Ron Bland, Greg Mullen, Yohhny Gonzalez, et al. HP/HT drilling fluids challenge[R]. SPE 103731, 2006.
- [17] David Carbajal, Charlotte Burriss, Bill Shumway, et al. Combining proven anti-sag technologies for HPHT North Sea applications: clay-free oil-based fluid and synthetic, sub-micron weight material[R]. SPE 119378, 2009.
- [18] Bertrand Guichard, Andrea Valenti, Eliokem, et al. An organosoluble polymer for outstanding fluid-loss control with minimum damage[R]. SPE 107281, 2007.
- [19] 高海洋, 黄进军, 崔茂荣, 等. 新型抗高温油基钻井液降滤失剂的研制[J]. 西南石油学院学报, 2000, 22(4): 61-64.
Gao Haiyang, Huang Jinjun, Cui Maorong, et al. Research on a new anti-high temperature fluid loss additive of oil-base drilling fluid[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2000, 22(4): 61-64.
- [20] 李春霞, 黄进军, 徐英. 一种新型高温稳定的油基钻井液润湿反转剂[J]. 西南石油学院学报, 2002, 24(5): 21-23.
Li Chunxia, Huang Jinjun, Xu Ying. A new high temperature stable wettability reversal agent in oil base mud[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2002, 24(5): 21-23.
- [21] Miller. Drilling fluids containing biodegradable organophilic

- clay; US, 7521399[P]. 2009-04-21.
- [22] 李春霞, 黄进军, 高海洋, 等. 一种新型抗高温有机土的研制及性能评价[J]. 西南石油学院学报, 2001, 23(4): 54-56.
Li Chunxia, Huang Jinjun, Gao Haiyang, et al. Preparation and function evaluation of a new anti high temperature organoclay organoclay[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2001, 23(4): 54-56.
- [23] 郝广业. 抗高温油基钻井液有机土的研制及室内评价[J]. 内蒙古石油化工, 2008, 34(1): 108-110.
Hao Guangye. Development and laboratory evaluation of high temperature oil-based drilling fluid organoclay[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2008, 34(1): 108-110.
- [24] Park S, Cullum D, Mclean A D. The success of synthetic-based drilling fluids offshore Gulf of Mexico: a field comparison to conventional systems[R]. SPE 26354, 1993.
- [25] Friedheim J E, Conn H L. Second generation synthetic fluids in the North Sea: are they better? [R]. SPE/IADC 35061, 1996.
- [26] 岳前升, 舒福昌, 向兴金, 等. 合成基钻井液的研制及其应用[J]. 钻井液与完井液, 2004, 21(5): 1-3.
Yue Qiansheng, Shu Fuchang, Xiang Xingjin, et al. Research on synthetic drilling fluid and its application[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2004, 21(5): 1-3.
- [27] 孙金声, 刘进京, 潘小镛, 等. 线性 α -烯烃钻井液技术研究[J]. 钻井液与完井液, 2003, 20(3): 27-30.
Sun Jinsheng, Liu Jinjing, Pan Xiaoyong, et al. Linear α -olefin drilling fluid technology[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2003, 20(3): 27-30.
- [28] Prater T. Fluid system key to record success[J]. Amer Oil Gas Rep, 1999, 42(8): 79-84.
- [29] 彭放. YC21-1-4井钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2000, 17(3): 41-43.
Peng Fang. Drilling fluid technology in Well YC21-1-4[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2000, 17(3): 41-43.
- [30] Elward-Berry J, Darby J B. Rheologically stable, nontoxic, high-temperature water-base drilling fluid[R]. SPE 24589, 1997.
- [31] Dorman J. Chemistry and field practice of high-temperature drilling fluids in Hungary[R]. SPE/IADC 21940, 1991.
- [32] Michel Gregoire, Mike Hodder, Jarrod Massam. Successful drilling of a deviated, ultra-HTHP well using a micronised barite fluid[R]. SPE/IADC 119567, 2009.
- [33] Thaemlitz C J, Patel A D, Coffin G, et al. New environmentally safe high-temperature water-based drilling-fluid system[J]. SPE Drilling & Completion, 1999, 14(3): 185-189.
- [34] Michal Spooner, Ken Magee, Michael Otto, et al. The application of high temperature polymer drilling fluid on smackover operations in mississippi; the AADE Drilling Fluids Conference, Houston, April 6-7, 2004[C].
- [35] Perricone A C, Enright D P, Lucas J M. Vinyl sulfonate copolymers for high-temperature filtration control of water-base muds [R]. SPE 13455, 1986.
- [36] Patel A D. Water-based drilling fluids with high temperature fluid loss control additive; US, 5789349[P]. 1998-08-04.
- [37] Spooner M, Magee K, Otto M, et al. The application of HTHP water based drilling fluid on a blowout operation; the AADE Drilling Fluids Technology Conference, Houston, April 1-3, 2003[C].
- [38] Tomislav Soric, Robert Huelke, Pavel Marinescu. Uniquely engineered water-base high-temperature drill-in fluid increases production, cuts costs in croatia campaign[R]. SPE/IADC 79839, 2003.
- [39] Norfleet James E, Jarrett Michael A, Potts Patricia A, et al. Water based fluids comprising multivalent salts and low molecular weight, low charge cationic polyacrylamide copolymers; US, 6855671[P]. 2005-02-15.
- [40] Hayes, James R. High performance water-based mud system; US, 7351680[P]. 2008-04-01.
- [41] 杨泽星, 孙金声. 高温(220℃)高密度(2.3 g/cm³)水基钻井液技术研究[J]. 钻井液与完井液, 2007, 24(5): 15-17.
Yang Zexing, Sun Jinsheng. Researches on high temperature high density water base mud[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2007, 24(5): 15-17.
- [42] 孙金声, 杨泽星. 超高温(240℃)水基钻井液体系研究[J]. 钻井液与完井液, 2006, 23(1): 15-18.
Sun Jinsheng, Yang Zexing. Study on the water based drilling fluid with ultra high temperature tolerance [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2006, 23(1): 15-18.
- [43] 付焱, 蒲晓林, 曾欣, 等. 抗高温高密度水基钻井液室内研究[J]. 钻井液与完井液, 2008, 25(2): 17-18.
Fu Tao, Pu Xiaolin, Zeng Xin, et al. Optimization of high temperature high density water base drilling fluids[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2008, 25(2): 17-18.
- [44] 王中华, 王旭, 杨小华. 超高温钻井液体系研究(Ⅳ): 盐水钻井液设计与评价[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(6): 1-5.
Wang Zhonghua, Wang Xu, Yang Xiaohua. A study on ultra high temperature drilling fluid system(Ⅳ): brine drilling fluid design and evaluation [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(6): 1-5.
- [45] 李公让, 薛玉志, 刘宝峰, 等. 胜利1井四开超高温高密度钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2009, 26(2): 12-15.
Li Gongrang, Xue Yuzhi, Liu Baofeng, et al. High temperature high density drilling fluid technology for the forth interval of Well Shengke-1[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2009, 26(2): 12-15.
- [46] 艾贵成, 田效山, 兰祖权, 等. 超高温超高密度有机盐钻井液技术研究[J]. 西部探矿工程, 2010, 22(9): 47-49.
Ai Guicheng, Tian Xiaoshan, Lan Zuquan, et al. Ultra-high temperature ultra-high density of organic salt drilling fluid technology[J]. West-China Exploration Engineering, 2010, 22(9): 47-49.
- [47] 赵晓非, 胡振峰, 张娟娟, 等. 磺化苯乙烯-衣康酸共聚物超高温钻井液降粘剂的研制[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(5): 105-108.
Zhao Xiaofei, Hu Zhenfeng, Zhang Juanjuan, et al. Preparation of SSHIA as ultra-temperature viscosity reducer for drilling fluid[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(5): 105-108.
- [48] 王中华, 王旭, 杨小华. 超高温钻井液体系研究(Ⅱ): 聚合物降滤失剂的合成与性能评价[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(4): 1-6.
Wang Zhonghua, Wang Xu, Yang Xiaohua. Ultra-high temperature drilling fluid system study(Ⅱ): synthesis and evaluation of a polymer fluid loss additives[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(4): 1-6.
- [49] 杨小华, 李家芬, 钱晓琳, 等. 超高温聚合物降滤失剂 PFL-1 的合成及性能评价[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(2): 37-42.
Yang Xiaohua, Li Jiafen, Qian Xiaolin, et al. Synthesis and properties of an ultra-high-temperature polymer fluid loss additive PFL-1 [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(2): 37-42.
- [50] 王中华. 超高温钻井液降滤失剂 P(AMPS-AM-AA)/SMP 的研制[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(3): 8-12.
Wang Zhonghua. Development of the P(AMPS-AM-AA)/SMP filtration agent used for ultra-high temperature drilling fluid[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(3): 8-12.
- [51] 王中华, 王旭. 超高温钻井液体系研究(Ⅲ): 抗盐高温高压降滤失剂研制[J]. 石油钻探技术, 2009, 37(5): 5-9.
Wang Zhonghua, Wang Xu. Studies on ultra-high temperature drilling fluid system(Ⅲ): development of the salt-resistant high temperature and high pressure fluid loss reagent[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(5): 5-9.