

# 国内外冲洗液技术研究与应用进展

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

**摘要:**在调研大量相关文献及报道的基础上,对近年来地质钻探冲洗液技术研究与应用进展进行了分类归纳总结。主要从新型造浆材料与泥浆处理剂、新型冲洗液体系 2 个方面进行了阐述,其中新型造浆材料与泥浆处理剂涉及造浆材料、强抑制剂、抗高温处理剂、堵漏材料、纳米级处理剂与天然高分子材料改性类处理剂;新型冲洗液体系包括成膜防塌无固相冲洗液、双聚防塌冲洗液及可循环泡沫冲洗液等。

**关键词:**冲洗液;造浆材料;泥浆处理剂;地质钻探

**中图分类号:**P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)05-0006-07

**Progress in Research and Application of Flushing Fluid Technology Both in China and Abroad/XIONG Zheng-qiang, TAO Shi-xian, LI Yan-ning, JIANG Rui** (Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

**Abstract:** On the basis of a large number of relevant literatures and reports, the research and application progress of drilling fluid technology in recent years are summarized, which are introduced in two aspects: new slurry making material & mud treatment agent and new flushing fluid system; the former involving slurry material, strong inhibitor, high-temperature resistance treatment agent, plugging materials, nano processing agent and modified natural polymer treatment agents; the latter including a film-forming anti-collapse solid-free flushing liquid, double polymer collapse-preventing flushing liquid and a circulating foam washing liquid.

**Key words:** flushing fluid; slurry making material; mud treatment agent; geological drilling

“十二五”期间,国家加快了对油气资源、矿产资源、地热与干热岩、非常规油气(如煤层气、页岩气及天然气水合物)等资源的勘探与开发,同时围绕地学研究及环境科学等研究,施工了大量的科学钻探孔(或井)。上述需求给钻探工作带来了前所未有的机遇和挑战,钻探深度不断加深,钻遇复杂地层越来越多,对钻探效率和质量的要求越来越高。国内外众多科研机构、生产制造商及科研工作者,围绕这些挑战和要求,投入大量人力和物力开展相关研发工作,取得了丰硕的成果,促进了钻探技术及相关产业技术的发展和进步。笔者结合近年来的研究工作,就国内外近五年来冲洗液材料与地质钻探用冲洗液体系的研究与应用进展做一介绍。

## 1 新型造浆材料与泥浆处理剂

冲洗液是由造浆材料和泥浆处理剂组成的,因此冲洗液技术的发展离不开造浆材料和泥浆处理剂的进步。

新型造浆材料及泥浆处理剂研究主要集中在以下几方面:(1)造浆材料;(2)强抑制剂;(3)抗高温处理剂;(4)堵漏材料;(5)纳米级处理剂;(6)天然高分子材料改性类处理剂。

### 1.1 新型造浆材料

#### 1.1.1 膨润土增效材料

冲洗液造浆材料已系列化、专业化和多功能化。针对地质钻探特点,北京探矿工程研究所研制了具有多功能作用的膨润土增效材料,如用于淡水冲洗液配制的低粘增效粉(简称 LBM-1)和用于盐水(或海水)冲洗液配制的多功能剂(简称 MBM)。LBM-1 和 MBM 属“方便面”式产品,用其配制的冲洗液具有“三低”特性,即低粘度、低切力和低失水。LBM-1 和 MBM 两类产品已在国内众多矿区中应用,取得了良好的使用效果,并大幅降低了现场配浆与维护工作量。

#### 1.1.2 纳米膨润土复合物

纳米膨润土复合物设计原理为:利用蒙脱石层

收稿日期:2016-03-28

作者简介:熊正强,男,汉族,1985年生,工学硕士,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,xiangzq1012@126.com。

通讯作者:陶士先,女,汉族,1964年生,教授级高级工程师,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,13641250082@139.com。

状结构的阳离子交换性能和可膨胀性,将无机阳离子、有机分子或聚合物插入层间,把蒙脱石的层与层撑开制成具有独特极性和纳米片层分布的材料来提高冲洗液的性能。

针对目前油田现场施工中使用天然膨润土配浆和维护方面存在的问题(如需要预水化16~24 h,分散性和抗温性不够好),利用丙烯酰胺及其衍生物对膨润土进行插层研制了纳米膨润土复合物,与普通膨润土相比,该复合物极易配成胶体稳定性好的浆液,具有更高的热稳定性能、抗污染能力和携岩能力,而且在降滤失、增粘等方面也显示出优异的性能<sup>[1]</sup>。

### 1.1.3 抗高温造浆材料

针对现有造浆材料在超高温下发生增稠、钝化等问题,德国研制了一种超高温下使用的造浆材料,该材料为一种由钠、锂、镁和氧组成的合成多层硅(简称SIV),其结构类似于天然的膨胀性微晶高岭石粘土,其特点是杂质含量低、抗高温能力强(热稳定性高达370℃)以及剪切稀释性好。由SIV组成的抗高温SIV水基冲洗液体系,其典型配方为“150 kg/m<sup>3</sup>淡水+1.35 kg/m<sup>3</sup> SIV+1.35 kg/m<sup>3</sup> 聚合物抗絮凝剂+9.45 kg/m<sup>3</sup> 氯化钾+0.45 kg/m<sup>3</sup> 碳酸钠+0.95 kg/m<sup>3</sup> 亚硫酸钠+4.5 kg/m<sup>3</sup> 碳酸钙”,该体系在233℃的温度下仍能保持良好的流变性<sup>[2]</sup>。

### 1.1.4 有机土

目前,有机土的制备方法主要有湿法、预凝胶法、干法及微波合成法。常用的有机土改性方法主要分为有机化合物的交换和吸附(改性用有机化合物主要有季铵盐类、磷脂衍生物、有机酸化合物及非离子表面活性剂等)以及硅烷交联剂表面修饰2种。目前,油基冲洗液用有机土研究热点主要是如何提高其增粘提切性能、如何提高其在矿物油中的胶体率以及如何提高有机土的抗高温稳定性等。

针对常规有机土在白油或气制油中成胶性能差的问题,如采用含有一定水分的钠基膨润土与有机覆盖剂直接混合,通过干法工艺研制了有机土HMC-4,HMC-4在5号白油中的胶体率为72%,采用该有机土配制的全油基冲洗液(5号白油为基础油),具有较高的切力和较低的滤失量<sup>[3]</sup>。针对现有有机土热稳定性差的问题,如先采用十八烷基二甲基苄基氯化铵对提纯后的钠基蒙脱石改性,再加入妥尔油基聚羧酸聚合物ENVAMOD-595复合研制了一种抗高温型有机土,由该有机土(基础油为5

号白油)配制的油包水冲洗液经210℃热滚后仍能保持一定的流变性能<sup>[4]</sup>。

## 1.2 新型强抑制剂

随着石油勘探技术的不断发展,为了提高水基冲洗液体系的抑制性,使其性能接近油基冲洗液,抑制剂研制是国内外研究的热点,代表性的新型强抑制剂产品主要有烷基糖苷及胺基抑制剂。

### 1.2.1 烷基糖苷

20世纪90年代,国外提出了一种烷基糖苷冲洗液,该冲洗液具有以下优点:(1)无毒环保,易生物降解;(2)强抑制性,通过吸附成膜、降低水活度等作用抑制泥页岩水化分散;(3)固相容量限高;(4)良好的润滑性能;(5)良好的储层保护性。

烷基糖苷冲洗液是以烷基糖苷为主剂,再配以少量其他性能调节剂组成。烷基糖苷是由可再生资源天然脂肪醇和葡萄糖合成的,是一种性能较全面的新型非离子表面活性剂。针对烷基糖苷在冲洗液中加量大(加量为25%~40%)、抗温性较差、抑制性有待提高等缺陷,又开展了对烷基糖苷阳离子化及磺甲基化等改性研究,如采用氯代醇对烷基糖苷进行醚化改性制备出氯代醇糖苷,再加入胺类化合物进行季铵化反应研制了阳离子烷基糖苷,其5%水溶液在120℃老化后岩心一次回收率>96%(120℃、清水回收率为13.75%),相对回收率>96%<sup>[5]</sup>。如采用亚硫酸氢钠与甲醛对乙基葡萄糖苷进行磺甲基化反应研制了抗180℃高温的磺甲基乙基葡萄糖苷,磺甲基乙基葡萄糖苷抑制性强,当其加量为5%~10%时就能达到很好的抑制效果<sup>[6]</sup>。利用烷基糖苷与聚醚胺各自结构特点与优点,通过分子结构设计研制了聚醚胺基烷基糖苷,其0.1%水溶液对岩屑一次回收率为96%,相对回收率为99%,并可使无土基浆和有土基浆的抗温性能由110℃提高至160℃<sup>[7]</sup>。

### 1.2.2 胺基抑制剂

胺基抑制剂是国内外近年来开发的一种新型页岩抑制剂,为一种新型阳离子胺基聚合物,具有抑制性强、毒性低及配伍性好等特点,被公认为最好的抑制剂。胺基抑制剂有多种叫法,如聚胺、有机胺、胺基聚醇及聚醚胺等。目前国外较成熟的胺基抑制剂有Huntsman公司的端胺基聚醚D230及端胺基聚醚D400、M-I公司的阳离子胺基聚合物ULTRA-HIB等。而国内成熟且应用效果较好的产品主要有聚胺抑制剂NH-1、聚胺抑制剂UHIB、胺基聚醇AP

-1 及胺基抑制剂 SIAT 等。

2007 年后国内开始大规模开展新型结构聚胺类页岩抑制剂研究,经过近 10 年的发展,国内胺基抑制剂及基于胺基抑制剂的胺基冲洗液有了很大的进步,研制出了一些具有自主知识产权的胺基抑制剂产品,但是仍存在不少问题,如:(1)对胺基抑制剂作用机理缺乏研究,只注重分子结构设计及关注产品的现场使用效果;(2)未形成统一的胺基抑制剂抑制性能的评价标准;(3)产品命名混乱,市场竞争无序;(4)过分注重胺基抑制剂单剂的研发,忽视了与其相配套处理剂的研发,未形成组成相对固定的胺基冲洗液体系。

### 1.2.3 成膜抑制剂

北京探矿工程研究所采用有机硅与水溶性高分子化合物接枝共聚研制了具有成膜性好,抑制性及粘结性强等特点的成膜剂产品,并在陕西渭南科学钻探孔、北京地应力观测孔及甘肃武威页岩气孔等中应用,较好地解决了松散地层及水敏性地层施工中遇到的诸多难题。

### 1.3 抗高温处理剂

国内外工作者在 20 世纪 80 年代以后针对抗高温处理剂进行了广泛而深入地研究,从分子结构设计入手,在聚合物分子链上引入抗高温抗盐基团,主要采用 2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸(AMPS)、丙烯酰胺(AM)、丙烯酸(AA)、N,N'-亚甲基-二丙烯酰胺(MBA)及 N-乙烯-2-吡咯烷酮(NVP)等单体为原料,研制抗温超过 200 °C 的高温泥浆处理剂。例如,以 AMPS、AM、AN、AA 和硅烷偶联剂为主要原材料,研制了一种抗温耐盐型硅聚聚合物降滤失剂 SO-1,其在淡水冲洗液和饱和盐水冲洗液中均具有优异的抗高温降滤失作用,抗温达 240 °C,且抗盐至饱和<sup>[8]</sup>。以 AM、AMPS 与 NVP 为原料,采用亚硫酸氢钠-过硫酸钠的氧化还原引发体系研制了一种抗温抗盐型降滤失剂,1% 加量下在 200 °C 下老化 16 h 后:淡水基浆的 API 滤失量 ≤ 20 mL/30 min,复合盐水基浆的 API 滤失量 ≤ 24 mL/30 min<sup>[9]</sup>。

为了提高现有增粘剂的抗高温稳定性,以 AMPS、N-乙烯基己内酰胺及二乙烯苯为单体,偶氮二异丁腈为引发剂,采用胶束聚合法研制了一种超高温增粘剂 SDKP,其具有良好的增粘性和热稳定性,能有效提高无固相冲洗液的粘度,在淡水、盐水无固相冲洗液中的抗温能力达 180 °C,抗温增粘

效果优于国外同类代表性处理剂 HE300,并在辽河兴古潜山马古-H117 井高温水平井段(完钻井底温度 150 °C)现场应用中取得了良好的效果<sup>[10]</sup>。以 AMPS、N,N-二甲基丙烯酰胺和丙烯腈为共聚单体,失水山梨醇单油酸酯(Span80)和聚氧乙烯失水山梨醇单油酸酯(Tween80)为复配乳化剂,白油为油相,无水亚硫酸钠与过硫酸铵为氧化还原引发剂,采用反相微乳液聚合法制备了抗高温抗盐型增粘剂 PADA,其具有良好的增粘性能和热稳定性,热重分析测得其热分解温度为 350 °C,在饱和盐水冲洗液中抗温能力达 170 °C<sup>[11]</sup>。

为了使水基冲洗液在高温下具有良好的流变性能,以 AMPS、马来酸酐与丙烯磺酸钠为原料,过硫酸铵为引发剂,采用溶液聚合法研制了一种抗 240 °C 高温的降粘剂,将其按 5% 加量加入淡水基浆中后,常温降粘率为 80.2%,240 °C 老化 16 h 后降粘率为 65%<sup>[12]</sup>。

### 1.4 堵漏材料

主要围绕高滤失堵漏材料、柔弹性堵漏材料与聚合物凝胶堵漏材料等展开研究。

#### 1.4.1 高滤失堵漏材料

该材料由渗滤性材料、纤维状材料及助滤剂等复合而成,适用于处理渗漏及部分漏失。该材料进入漏失层后,在压差作用下迅速滤失,固相聚集变稠形成滤饼,继而压实堵塞漏失通道,形成高渗透性微孔结构堵塞,冲洗液在堵塞面上迅速滤失形成光滑平整的泥饼,严密封堵漏失通道。例如,北京探矿工程研究所采用在压力作用下快速失水形成堆积堵漏原理,克服了传统桥接堵漏要求粒度与孔喉直径相“匹配”的束缚,研制了具有“广谱”堵漏特性的快失水堵漏剂,其在山东莱州焦家望儿山矿区 342ZK-10 孔、南岭矿区 15ZK-1 孔等及内蒙古兴和铝矿 ZK-03 孔现场应用中取得了很好地堵漏效果。

#### 1.4.2 柔弹性堵漏材料

柔弹性堵漏材料具有较好的弹性、一定的可变形性、韧性和化学稳定性等特点。例如,弹性石墨即作为一种柔弹性堵漏材料,在孔隙和微裂缝的压缩状态下,能够先收缩继而又膨胀,国外代表产品有 Halliburton 公司的 STEELSEAL<sup>®</sup>、Baker Hughes 公司的 LC-LUBE 和 Phillips 公司的 Rebound<sup>™</sup>。

为了提高老油井的原油产量,河南油田双河社区化工厂研发了一种高强度非选择性堵漏剂——柔

性化学堵漏剂,与其它同类型的堵漏剂比较,该柔性堵漏剂具有较强的封堵能力、良好的热稳定性、密度低、流变性好等优点,而且该项技术已在20余口油井推广应用,取得了良好的效果<sup>[13]</sup>。

#### 1.4.3 聚合物凝胶堵漏材料

聚合物凝胶堵漏材料具有以下特点:(1)固相含量低,不受漏失通道限制,通过挤压变形进入孔隙或裂缝;(2)有强粘滞阻力与抗剪切稀释能力;(3)交联凝胶形成后表现出很好的粘弹性、柔软性和韧性。聚合物凝胶堵漏材料可分为交联的聚合物和非交联的且具有特殊结构的聚合物材料。

为了提高复杂漏失地层的堵漏成功率,以丙烯酸衍生物、丙烯酰胺衍生物、丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸钠、丙烯酰氧乙基三甲基氯化铵等为原料,过硫酸铵与亚硫酸钠为引发剂,研制了抗温达140℃的超级凝胶,对于0.04~1.2 mm孔隙、1.0~5.0 mm裂缝具有很好的封堵效果,承压能力>7 MPa,并在南堡13-1170和大吉4-9向4井堵漏中均一次成功<sup>[14]</sup>。室内研究实验表明,利用黄原胶与硼砂等硼酸盐在适当pH值下交联形成的三维凝胶作为堵漏材料,能有效地解决地层漏失问题<sup>[15]</sup>。

#### 1.5 纳米级处理剂

纳米科学是研究尺寸在1~100 nm之间的材料制备、修饰、性能及功能化的学科,近年来引起高度重视并得到快速发展。纳米材料具有表面效应、体积效应、量子尺寸效应和宏观量子隧道效应。由于这些特性,在冲洗液方面,研究者主要围绕以下3方面内容开展研究:(1)探讨纳米材料对冲洗液性能的影响,如加入氧化石墨烯<sup>[16-17]</sup>、碳纳米管<sup>[18-19]</sup>及二氧化硅纳米颗粒<sup>[20]</sup>等;(2)研制各种纳米材料用作泥浆处理剂,如纳米乳液润滑剂、高温无机/有机复合纳米降滤失剂NFL-1<sup>[21]</sup>、纳米复合乳液成膜剂NCJ-1<sup>[22]</sup>及纳米石蜡乳液<sup>[23]</sup>等;(3)以纳米处理剂为组分开展纳米水基冲洗液研究,如有机/无机复合纳米水基冲洗液<sup>[24]</sup>、成膜强抑制纳米封堵冲洗液<sup>[25]</sup>等。

初步研究表明,纳米材料加入冲洗液后,能够明显降低摩阻,提高钻速,而且冲洗液的流变性、润滑性、造壁性和抑制性等特性都得到显著改善。例如,采用种子乳液聚合法制备了平均粒径为73 nm的聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)纳米粒子,将其随着纳米粒子浓度增加,页岩的膨胀高度迅速减小,表明该纳米粒子具有良好的页岩抑制性能。将该纳米粒子加

入4%的膨润土浆中,配制纳米粒子改性冲洗液,体系的表观粘度、塑性粘度、切力变化不大,而失水量则大幅降低(降低约45%),润滑系数降低率约为80%,泥饼粘附系数降低率约40%,而且砂床封堵实验表明该纳米粒子改性的冲洗液具有较强的封堵能力<sup>[26]</sup>。

#### 1.6 天然高分子材料改性类处理剂

天然高分子包括纤维素、淀粉、木质素及栲胶等,来源充足,价格低廉,生物降解性好。它们具有多种功能基团,可通过物理、化学方法改性成新材料,主要改性方法有如下几种。

##### 1.6.1 化学处理

化学处理包括氧化处理、活化处理及酶化处理。氧化处理的目的是降低相对分子质量、使部分键断裂生成具有芳环结构的反应单元,从而改变基团性质。活化处理的目的是增加天然材料可反应性及活性基团的数量。酶化处理的目的是改变材料的链结构,并去除木质素、栲胶中的糖类等。

##### 1.6.2 分子修饰

改变分子链上的基团及侧链性质,引入新的基团及侧链。例如,为了提高淀粉改性产物的抗温性,在合成羧甲基淀粉钠(SCMS)的过程中,引入水溶性硅酸钠对其进行改性,合成了硅改性的SCMS降滤失剂,XRD和FTIR表征结果显示,产物中有Si-H基团生成,与SCMS降滤失剂相比,其抗温性能显著提高,而且其降滤失性能也得到提高<sup>[27]</sup>。

##### 1.6.3 接枝共聚

引入新的分子链结构和基团,赋予天然材料新的功能。例如,采用腐植酸与丙烯酰氧丁基磺酸(AOBS)、丙烯酰胺(AM)、丙烯酸(AA)接枝共聚,合成了相对分子质量低的AOBS-AM-AA/腐植酸接枝共聚物,其热稳定性好,抗温达240℃,在淡水、盐水和饱和盐水冲洗液中均具有较好的降滤失作用,对冲洗液粘度影响较小<sup>[28]</sup>。

##### 1.6.4 交联改性

通过交联反应,提高天然材料的综合性能。例如,为有效提高天然树胶水溶胶液的粘度和水溶性,以SP树胶为原料,通过环氧氯丙烷交联改性制备了交联改性的SP-1树胶,与SP树胶相比,交联改性树胶SP-1具有良好的水溶性,增粘率为116.7%,降滤失率为30%;相比于基浆,SP-1的增粘率为160%,降滤失率为53.2%<sup>[29]</sup>。

## 2 新型地质钻探冲洗液体系

地质钻探的特点是:取心钻探,钻孔直径相对较小,钻遇矿体种类繁多,施工环境与钻遇地层多变,多采用金刚石绳索取心钻探工艺,现场泥浆检测手段少,施工价格相对低廉等。因此地质钻探在冲洗液使用上与石油钻井相比有较大的区别,主要体现在冲洗液使用相对简单、参数调节范围相对较小及成本低等方面。

### 2.1 无固相冲洗液

目前常使用的无固相冲洗液主要有:高分子聚合物类无固相冲洗液、植物胶类无固相冲洗液及聚乙烯醇无固相冲洗液。

#### 2.1.1 高分子聚合物类无固相冲洗液

以水解聚丙烯酰胺(或其他高分子聚合物)配制的高分子聚合物溶液,并依据地层情况,还可加入 PAC141、CMC、腐植酸钾及广谱护壁剂等。例如,为了解决江西九瑞矿集区风化煌斑岩水敏性不稳定问题,在无固相冲洗液体系中加入纳米处理剂研制了 PHP-CORESMART 无固相冲洗液,该冲洗液配方为“ $1\text{ m}^3$  水 + 3 kg 水解聚丙烯酰胺(PHP) + 3 kg 羧甲基纤维素钠盐 + 4 kg 聚丙烯酸钾 + 5 kg 高分子聚合物纳米处理剂(CORESMART)”,并在九瑞矿集区的邓家山和东雷湾 2 个矿区风化煌斑岩地层应用中取得了比较满意的技术经济效果<sup>[30]</sup>。另外,在一些矿区使用一种由 PA 和 PB 两种高聚物配制的 PAB 无固相聚合物冲洗液,并在现场应用中取得了较好的效果<sup>[31-32]</sup>。

#### 2.1.2 聚乙烯醇无固相冲洗液

为解决破碎地层孔壁稳定问题,山东省第三地质矿产勘查院研发了以高分子聚合物和聚乙烯醇(PVA)配制的无固相冲洗液。如在山东莱州等金矿区,采用 PAC141 等高分子聚合物及 PVA 配制的无固相冲洗液较好地解决了硬脆碎地层的孔壁稳定问题。

#### 2.1.3 成膜防塌无固相冲洗液

为了解决强水敏分散剥落地层(如炭泥质千枚岩、含伊利石泥页岩地层及绿泥石化地层)引起的孔壁失稳问题,北京探矿工程研究所新研制了一种具有成膜性和强抑制性特点的成膜防塌无固相冲洗液,由成膜体系 A 剂、成膜体系 B 剂、封堵剂(GFD-1)、防塌减阻剂(GFT)、增粘剂(GTQ)与包被剂(GBBJ)组成,典型配方为“ $1\text{ m}^3$  水 + 30 ~ 50 kg 成膜体系 A 剂 + 0 ~ 15 kg 成膜体系 B 剂 + 5 ~ 10 kg GFT + 10 ~ 20

kg GFD-1 + 1.5 ~ 3.0 kg GTQ + 0.5 ~ 1.5 kg GBBJ”。该冲洗液已在河北迁安北屯铁矿、青海木里煤矿、甘肃阳山金矿、甘肃岷县寨上金矿、甘肃肃北金鹰金矿、甘肃礼县李坝金矿、甘肃山丹曹家口金矿、山西页岩气 DY-2 井及甘肃武威页岩气武页 1 井等 28 个钻孔(或井)中现场应用。室内及现场试验表明,该体系具有强隔水性和抑制分散性,有效解决了强水敏分散剥落地层孔壁坍塌问题,而且成孔率、取心质量及施工效率明显提高,得到了施工单位的广泛认可<sup>[33-34]</sup>。

### 2.2 不分散低固相聚合物冲洗液

不分散低固相聚合物冲洗液是以具有选择性絮凝和包被作用的高分子聚合物等为主要处理剂,并加入少量的膨润土组成。其中以阴离子聚合物配制的不分散低固相聚合物冲洗液使用较多。

辽阳红阳三矿煤矿区,上部部分地层分散造浆严重,下部煤系地层易坍塌掉块,采用普通细分散冲洗液钻进粘度提升很快,需频繁排浆,且孔壁易坍塌。为此河北省地质四队采用了北京探矿工程研究所设计的双聚防塌冲洗液体系,配方为“ $1\text{ m}^3$  水 + 30 ~ 40 kg 钠土 + 1 ~ 3 kg 包被剂 + 5 ~ 10 kg 降滤失剂(GPNA) + 10 ~ 20 kg 改性沥青(GLA)”。从孔深 211 ~ 1270 m,使用该体系取得了以下效果:孔壁稳定,钻进效率高(钻孔用时 61 天,而矿区采用细分散泥浆施工类似钻孔一般需要 80 ~ 120 天),排放泥浆少。

### 2.3 细分散冲洗液

细分散冲洗液也是地质钻探常用冲洗液之一,主要是由膨润土、CMC、腐植酸钾及植物胶等配制而成,一般用于松散、破碎地层。目前国内通常采用 2 种体系。

#### 2.3.1 低粘增效粉-改性沥青冲洗液

为解决破碎地层孔壁不稳定问题、满足绳索取心钻进工艺要求,北京探矿工程研究所研制了低粘增效粉-改性沥青冲洗液,配方为“ $1\text{ m}^3$  水 + 20 ~ 50 kg 低粘增效粉(LBM-1) + 10 ~ 20 kg 改性沥青(GLA) + 10 ~ 30 kg 随钻堵漏剂(GPC) + 润滑剂(GLUB)”。该冲洗液在山东乳山金青顶金矿区 ZK43-1 孔、汶川地震科学钻探 WFS-2 孔、四川米易及及坪磁铁矿及贵州柿花树煤田矿区等钻探施工中应用,都取得了良好的应用效果。

#### 2.3.2 植物胶冲洗液

为满足松散破碎地层孔壁稳定需要,众多单位采用由膨润土、植物胶等配制的低固相冲洗液。该

冲洗液对孔壁的冲刷作用小、携带能力较强,在松散破碎地层中应用取得了较好地使用效果。例如,针对甘肃寨上金矿区钻探中存在的坍塌、缩径等钻孔护壁难题,现场采用植物胶低固相冲洗液,冲洗液配方为“1 m<sup>3</sup> 水 + 30 kg 优质粘土 + 0.9 ~ 1.5 kg 工业纯碱(土的质量比) + 2 ~ 3 kg 纤维素 + 20 ~ 30 kg 植物胶 + 2 ~ 3 kg 腐植酸钾 + 3 ~ 5 kg 防塌剂”,应用后较好地解决了该矿区钻孔护壁难题<sup>[35]</sup>。

#### 2.4 盐水冲洗液

NaCl 含量超过 1% (质量分数, Cl<sup>-</sup> 含量约为 6 g/L) 的冲洗液体系称为盐水冲洗液。盐水冲洗液包括一般盐水冲洗液、饱和盐水冲洗液和海水冲洗液。盐水一般由膨润土(或抗盐土)、抗盐型降滤失剂、抗盐型增粘剂及盐等材料组成。

为满足盐岩及钾盐等矿体施工要求或施工现场采用卤水(或海水)配浆的需要,北京探矿工程研究所研制了 MBM 盐水(含饱和盐水)或海水冲洗液,冲洗液配方为“1 m<sup>3</sup> 盐水(或海水) + 30 ~ 50 kg MBM + 2 ~ 3 kg 增粘剂(GTQ) + 10 ~ 15 kg 降滤失剂(GPNA)”。该冲洗液在宁夏固原岩盐矿区解决了孔壁失稳和岩矿心采取率低的问题;在山东莱州北海金矿区实现用海水配浆,解决了破碎地层孔壁失稳问题;在新疆坡北铜镍矿实现用现场卤水配浆,解决了该矿区蚀变带水敏性地层和破碎地层孔壁不稳定难题<sup>[36-37]</sup>。

针对云南江城钾盐资源评价项目中含光卤石的钾盐地层以及现场要求不能使用含钾冲洗液的问题,北京探矿工程研究所研制了一种新型镁基冲洗液体系,典型冲洗液配方为“1 m<sup>3</sup> 水 + 300 ~ 500 kg 氯化镁 + 5 kg 抑溶剂-1 + 5 L 抑溶剂-2 + 1.5 kg 增粘剂(GTQ) + 2 kg 接枝淀粉 + 2 kg BBJ + 10 kg 降滤失剂(GPNA) + 10 kg 高效稀释剂 + 3 kg 润滑剂(GLUB) + 消泡剂(DF-4)”,该冲洗液在 MK-1 井(应用井段为 1737.14 ~ 2563.67 m 完井)及 MK-2 井(583.07 ~ 3000 m 完井)进行了现场应用,在塑性泥页岩及大段破碎地层井段井壁依然稳定,未发生坍塌、掉块及缩径现象,而且岩盐矿心采取率达 96.8%。

为了实施好河北省沧县枣园勘查区石盐资源普查 CY-1 孔,孔深 1650 m 以后采用盐水冲洗液钻进,当钻进至孔深 2298 m 时(即将进入预测石盐矿层),逐渐增加盐水冲洗液中的氯化钠含量,冲洗液配方为“1 m<sup>3</sup> 水 + 70 ~ 80 kg (膨润土 + 凹凸棒土) + 30 ~ 40 kg 磺化酚醛树脂(SMP-2) + 10 kg 磺化

沥青(FT-1) + 20 ~ 30 kg 铁铬盐(FClS) + 30 kg NaOH + 10 kg 聚阴离子纤维素(PAC) + 适量聚丙烯酸钾 + NaCl(加量 > 26%)”,采用该欠饱和盐水冲洗液体系顺利钻至 3000 m 终孔<sup>[38]</sup>。

#### 2.5 可循环泡沫冲洗液

可循环泡沫冲洗液是近年来国内外推出的一种新型低密度冲洗液体系,该体系克服了普通泡沫冲洗液因含气量大而导致普通泥浆泵无法泵送的难题,并具有良好的携岩能力和护壁性能。可循环泡沫冲洗液主要由水、膨润土、增粘剂、发泡剂、稳泡剂、降滤失剂及防塌剂等组成。例如,中国地质大学(北京)郑秀华教授在可循环泡沫冲洗液在岩心钻探中应用做了很多研究工作,并在侏罗系煤田榆横矿区朱家崙井田、青海省江仓六井田煤田勘探 D-53-3 孔、鄂尔多斯盆地银东地区和巴音戈壁银根地区地浸砂岩铀矿勘探等漏失、破碎复杂地层中进行了广泛试验,取得了较好的应用效果,现场使用的常规配方为“4% ~ 5% 预水化膨润土浆 + 0.1% 氢氧化钠 + 0.2% ~ 0.3% 稳泡剂 + 0.2% ~ 0.3% 中粘度絮状纤维素 + 0.1% ~ 0.3% 发泡剂”<sup>[39-40]</sup>。

由于常规可循环泡沫冲洗液中含有的固相(粘土相)会对储层造成伤害,又开展了无粘土相可循环泡沫冲洗液研究,通过优选发泡剂、稳泡剂以及降滤失剂等关键处理剂研制了无粘土相可循环的泡沫冲洗液体系,其配方为“0.15% 发泡剂(AOS) + 0.15% 发泡剂(OB-2) + 0.10% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 0.20% 聚阴离子纤维素(PAC) + 0.10% 黄原胶(XC) + 2.75% 降滤失剂(HQ-6)”,该微泡的直径在 30 ~ 60 μm,尺寸分布均匀,密度在 0.61 ~ 0.93 g/cm<sup>3</sup> 范围内可调,滤失量低,抗 NaCl 污染能够达 6%,抗油污染能达 9%,且抗温能够达到 120 °C<sup>[41]</sup>。

### 3 结语

近年来我国在泥浆处理剂与冲洗液体系研究与应用方面已取得了可喜的进展,基本上能满足钻井的需要,但还有很多难题急需解决。例如,进一步研究深部复杂地层的孔壁稳定、干热岩钻探用超高温水基冲洗液技术、强水敏性地层(如页岩气水平段页岩地层、绿泥石化地层及千枚岩等地层)钻探冲洗液技术、非常规油气储层保护技术、地质钻探堵漏技术及环保型冲洗液等。

今后泥浆处理剂的研究应围绕绿色环保的目

标,开发绿色高效的产品,并强化处理剂研究成果的转化与推广。具体的研究方向为:(1)通过强化新单体开发以及目标产物分子结构设计,研制具有多种效能的新型处理剂;(2)对天然高分子材料进行深度化学改性,开发成本低廉的产品;(3)利用工业废料或副产物为原料研制泥浆处理剂产品;(4)成本低廉型纳米级泥浆处理剂研制。

随着我国地质找矿向深部地层发展,钻遇地层会越来越复杂。今后冲洗液体系的研究方向为:(1)深部复杂地层孔壁强化冲洗液技术研究;(2)强水敏性地层用高性能水基冲洗液研究;(3)广谱型堵漏技术及堵漏技术集成化研究;(4)深部科学钻探或干热岩钻探用超高温水基冲洗液技术研究;(5)无毒可降解型冲洗液研究。

#### 参考文献:

- [1] 沈丽. 钻井液用纳米膨润土复合体的研究与应用[D]. 北京: 中国石油大学, 2010.
- [2] Tehrani Ahmadi, Young Steven, Gerrard Donna, et al. SPE International Symposium on Oilfield Chemistry [C]. Texas: Society of Petroleum Engineers, 2009.
- [3] 舒福昌, 向兴金, 史茂勇, 等. 白油中高成胶率有机土 HMC-4 的研究[J]. 石油天然气学报, 2013, 35(9): 93-95.
- [4] 宋海明, 李静静, 陈杰. 低毒油包水钻井液用耐高温有机土的研制[J]. 钻井液与完井液, 2015, 32(3): 13-15.
- [5] 司西强, 王中华, 魏军, 等. 钻井液用阳离子烷基糖苷的合成研究[J]. 应用化工, 2012, 41(1): 56-60.
- [6] 刘艳, 刘学玲, 袁丽霞, 等. 新型抗 180℃ 高温抑制剂 SEG[J]. 钻井液与完井液, 2010, 27(2): 20-22.
- [7] 司西强, 王中华. 中国化学会第 29 届学术年会摘要集——第 09 分会: 应用化学[C]. 2014.
- [8] 刘成贵. 腊硅聚合物钻井液降滤失剂的合成与性能评价[J]. 钻井液与完井液, 2013(2): 22-24.
- [9] 马喜平, 王成龙, 李茜, 等. AM/AMPS/NVP 三元共聚物降滤失剂的合成及评价[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2013, 15(2): 123-125.
- [10] 谢彬强, 邱正松. 无固相钻井液超高温增粘剂 SDKP 的结构、性能及应用[J]. 油田化学, 2014(4): 481-487.
- [11] 闫丽丽, 孙金声, 王建华, 等. 新型抗高温抗盐钻井液增黏剂 PADA 的制备与性能[J]. 石油学报(石油加工), 2013, 29(3): 464-469.
- [12] 赵晓非, 陈娟娟, 娄刚, 等. MA/SAS/AMPS 共聚物耐高温钻井液降粘剂的研制[J]. 化工科技, 2014, 22(2): 38-41.
- [13] 郭晓华, 王慧敏. 柔性化学堵漏技术让老油井焕发青春[EB/OL]. [http://www. people. com. cn/n/2015/1111/c1057-27800525. html](http://www.people.com.cn/n/2015/1111/c1057-27800525.html).
- [14] 王先洲, 夏景刚, 左洪国, 等. 新型 FM 超级凝胶复合堵漏技术[J]. 钻井液与完井液, 2015, 32(6): 50-53.
- [15] Mokhtari Mehdi, Ozbayoglu Mehmet Evren. SPE Production and Operations Conference and Exhibition[C]. Tunis: Society of Petroleum Engineers, 2010.
- [16] Young Steve, Friedheim James, Patel Arvind D, et al. Graphene-based material for shale stabilization and method of use: United States of American, WO2012048068A3[P]. 2012-04-12.
- [17] Hoelscher Katherine Price, Stefano Guido De, Riley Meghan, et al. SPE International Oilfield Nanotechnology Conference and Exhibition[C]. Society of Petroleum Engineers, 2012.
- [18] Friedheim James E, Young Steven, Stefano Guido De, et al. SPE International Oilfield Nanotechnology Conference and Exhibition[C]. Society of Petroleum Engineers, 2012.
- [19] Ji Lu jun, Guo Quan, Friedheim Jim, et al. AAE Fluids Technical Conference [C]. Houston: The American Association of Drilling Engineers, 2012.
- [20] Cai Ji Hua, Chenevert Martin E, Sharma Mukul M, et al. Decreasing water invasion into Atoka shale using nonmodified silica nanoparticles[J]. SPE Drilling & Completion, 2012, 27(1): 103-112.
- [21] 苏俊霖, 蒲晓林, 任茂, 等. 高温无机/有机复合纳米降滤失剂 NFL-1 研究[J]. 钻采工艺, 2012, 35(3): 75-77.
- [22] 贺明敏, 蒲晓林, 苏俊霖, 等. 钻井液用纳米复合乳液成膜剂 NCJ-1 的合成与评价[J]. 石油与天然气化工, 2012, 41(2): 187-190.
- [23] 代礼杨, 李洪俊, 苏秀纯, 等. 纳米石蜡乳液的研究及应用[J]. 钻井液与完井液, 2012, 29(2): 5-7, 11.
- [24] 白小东, 蒲晓林. 有机/无机复合纳米水基钻井液体系研究[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(2): 47-50.
- [25] 陈二丁, 周辉. 成膜强抑制纳米封堵钻井液的研究[J]. 钻井液与完井液, 2011, 28(3): 39-41.
- [26] 白小东, 蒲晓林. PMMA 纳米胶乳在钻井液中的性能评价[J]. 钻井液与完井液, 2010, (1): 8-10.
- [27] 王德龙, 汪建明, 宋自家, 等. 无机硅改性羧甲基淀粉粉降滤失剂的研制及其性能[J]. 石油化工, 2010, 39(4): 440-443.
- [28] 王中华. 腐殖酸接枝共聚物超高温钻井液降滤失剂合成[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2010, 32(4): 149-155.
- [29] 张洁, 张云月, 陈刚, 等. 树胶的交联改性及其作为钻井液处理剂的研究[J]. 石油钻采工艺, 2011, 33(6): 37-40.
- [30] 蒋兵, 刘勇, 张志唐, 等. PHP-CORESMART 无固相冲洗液在风化煌斑岩地层中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(7): 42-44, 61.
- [31] 台沐礼, 钟兴吉, 尹江, 等. PAB 无固相聚合物冲洗液在绿泥石化破碎蚀变带地层岩芯钻探中的应用[J]. 西部探矿工程, 2010, 22(12): 85-86.
- [32] 孙富春, 李景东, 徐恒, 等. PAB 无固相聚合物冲洗液在复杂破碎地层钻孔护壁实践中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(S1): 227-229.
- [33] 陶士先, 李晓东, 纪卫军, 等. 成膜防塌无固相冲洗液体系的研究与应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)年会论文集. 北京: 地质出版社, 2015.
- [34] 李攀义, 单文军, 徐兆刚, 等. 成膜防塌无固相冲洗液体系在金鹰矿区 ZK1146 井中的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(10): 26-30.
- [35] 翟开慧. 植物胶冲洗液在寨上金矿区钻探中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(3): 18-20.
- [36] 付帆, 陶士先, 李晓东, 等. MBM 盐水冲洗液的研究与应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)年会论文集. 北京: 地质出版社, 2015.
- [37] 贾宏福, 罗刚, 付兆友, 等. MBM-GTQ 盐水冲洗液体系的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(12): 23-27.
- [38] 景龙, 李伟, 崔国树, 等. CY-1 钻孔盐水泥浆护壁技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(6): 48-52.
- [39] 要二仓, 郑秀华, 杨爱军, 等. 可循环微泡沫泥浆在地浸砂岩铀矿中的应用[J]. 地质与勘探, 2008, 44(5): 87-89.
- [40] 郑秀华, 李国庆, 王军, 等. 可循环微泡沫及其应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(S1): 255-259.
- [41] 宋菲. 无黏土相可循环微泡沫钻井液的室内研究[J]. 石油化工应用, 2015, 34(7): 97-103.