

全国钻井液完井液技术 交流研讨会论文集

2014年

石 林 罗平亚 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

78254-53
2/2014.

全国钻井液完井液技术 交流研讨会论文集

2014年

石 林 罗平亚 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

图书在版编目 (CIP) 数据

全国钻井液完井液技术交流研讨会论文集. 2014 年 / 石林, 罗平亚主编.

—北京: 中国石化出版社, 2014. 10

ISBN 978 - 7 - 5114 - 3055 - 7

I. ①全… II. ①石… ②罗 III. ①钻井液 - 学术会议 - 文集 ②完井液 - 学术会议 - 文集
IV. ①TE254 - 53 ②TE257 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 228047 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。
版权所有, 侵权必究。



中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 60.75 印张 1620 千字

2014 年 10 月第 1 版 2014 年 10 月第 1 次印刷

定价: 268.00 元

《全国钻井液完井液技术交流研讨会论文集》

2014 年

编委会

主 编：石 林 罗平亚

常务编委：石 林 罗平亚 宗 铁 徐显广 苏长明

刘自明 孙金声 崔迎春 耿 铁 曾义金

编委名单：（按姓氏笔画排列）

于志杰	于培志	尹 达	王中华	王 灿	王眉山
王悦坚	毛蕴才	叶 荆	刘梅全	石 林	冯 杰
刘自明	向兴金	孙玉学	孙金声	孙德军	张振华
张洪军	张增幅	任立伟	苏长明	李 爽	李晓阳
李自立	杜德林	杨小华	杨振杰	邱正松	陈 亮
苗海龙	姜新生	侯为民	周保中	屈沅治	林永学
苑旭波	罗平亚	宗 铁	胡德云	徐 英	耿 铁
耿东士	莫成孝	徐显广	郭元恒	郭保雨	黄达全
黄名召	彭春耀	崔迎春	曾义金	蒋官澄	谢正凯
浦晓林	薛 云	薛玉志			

前言

为促进我国钻井液完井液技术的发展，总结和交流钻井液完井液领域的科研成果和现场施工经验，加强钻井液新技术、新产品的推广应用，分析应对钻井工程和油气层保护等方面不断出现的难点和特点，经中国石油学会石油工程技术委员会钻井工作部钻井液完井液学组研究，决定于2014年10月召开“2014年全国钻井液完井液技术交流研讨会”。

会议得到了钻井液、完井液行业广大科研人员、工程技术人员、院校师生的积极响应和热情参与，得到各级主管部门的大力支持。各单位踊跃投稿，经专家审定筛选，论文集共收录论文133篇，由中国石化出版社发行。

本论文集包括新型钻井液完井液体系的研究、新型处理剂的研究、复杂井钻井液技术、井壁稳定与油气层保护技术、实验新方法及其他五部分，比较全面地反映了近年来钻井液技术进步的成果和最新进展。论文集力图站在国内钻井液完井液技术发展的前沿进行理论阐述和问题分析，重点总结了国内各油田在钻井液完井液领域攻关课题中的成果和典型事例，对国内从事钻井液完井液技术领域的科研人员、工程技术人员及院校师生有一定的参考借鉴作用和较高的实用价值。

本次研讨会由中国石油化工股份有限公司石油工程技术研究院承办，研讨会的召开和论文集的出版得到中国石油、中国石化、中国海洋石油、陕西延长石油、研究院校等单位有关领导和专家的大力支持，在此一并表示衷心的感谢！

目 录

第一部分 新型钻井液完井液体系研究

中国石化油基钻井液技术进步与展望	林永学 王显光 (3)
烷基糖苷及其衍生物钻井液发展趋势	司西强 王中华 (12)
高温高密度油基钻井液技术及其在塔里木油田山前复杂深井中的应用研究	李龙 尹达 王建华等 (18)
高密度油基钻井液研究与应用	刘明华 王阳 张滨等 (28)
蓄能液气泡钻井液技术研究	王旭东 郭保雨 王群力等 (36)
抗高温高密度油基钻井液研究	王建华 季一辉 杨海军等 (44)
聚胺钻井液在塔河工区的应用研究	刘贵传 徐江 张国等 (51)
植物油全油基钻井液研究	张洁 李英敏 杨海军等 (59)
海洋环境可接受的高温海水基钻井液研究	刘晓栋 高永会 朱红卫等 (66)
顺南区块抗高温防塌钻井液体系研究与应用	何仲 牛晓 王悦坚等 (74)
油基钻井液现场应用问题分析及探讨	刘振东 刘国亮 李海斌等 (81)
一种强抑制防塌钻井液体系研究与应用	黄宏军 杨泽星 刘敬平等 (88)
国产油基钻井液在涪陵页岩气水平井的应用	谭希硕 童伏松 (94)
永页1井页岩气油基钻井液研究	郭志坚 先齐 叶东等 (103)
国产化油基钻井液在 X505HF 井的应用	陈智晖 李丽 夏海英等 (112)
青海昆北油田钻井提速配套钻井液技术	张希文 耿东士 杨国辉等 (119)
抗 220℃ 高温水包油钻井液体系研究及应用	王荐 向兴金 吴彬等 (125)
新型 3H 钻井完井液技术在吉林油田的研究与应用	白相双 于洋 谢帅等 (133)
新型高密度油基钻井液体系实验研究	邱正松 罗洋 曹杰 (139)
低密度全油基钻井液体系研究	蒋卓 王荐 向兴金等 (149)
GWSSL 钻井液体系研究及在硬脆性泥页岩地层的应用	左京杰 彭春耀 赵凤臣等 (156)
准噶尔盆地南缘钾钙基有机盐强封堵钻井液技术	黄治中 张兴国 王 磊等 (162)
窄安全密度窗口条件下的钻井液技术	吴吉元 杨逸帆 (168)
抗 180℃ 饱和盐水钻井液技术研究	林喜斌 王双威 刘敬平等 (175)
海洋超高温高压钻井液设计及前沿技术	刘晓栋 朱红卫 马永乐 (179)

高密度硅胶基钻井液技术研究	侯现琢 李国彬 潘爱双 (186)
生物聚醇盐钻井液体系的研究与应用	吴军康 解宇宁 徐厚英等 (192)
微泡钻井液在古潜山近欠平衡勘探过程中的应用	李建成 洪伟 赵海涛等 (198)
抗高温低自由水钻井液的研究和应用	刘晓东 顾一中 (205)
综合阳离子钻井液在 JX1-1B 油田的应用	张振 郭海峰 邹亚飞 (219)

第二部分 新型处理剂研制及应用

钻井液用梳型 P(AM-AMPS-MAPEME) 共聚物反相乳液的制备与评价	王中华 (227)
钻井液用聚醚胺基烷基糖苷的合成及性能	司西强 王中华 (235)
多活性点新型油基钻井液乳化剂的研制与应用	王显光 李舟军 韩秀贞等 (247)
钻井液用纳米二氧化硅封堵剂的研制及性能评价	闫丽丽 孙金声 季一辉等 (254)
油基钻井液流型调节剂的研制及现场应用	张现斌 黄达全 张向明等 (261)
深水钻井液与完井液水合物抑制剂优化设计研究	邱正松 赵欣 周国伟等 (268)
高密度无黏土油基钻井液提切剂的研制与性能评价	蒋官澄 贺垠博 李晓阳等 (275)
高密度钻井液用润滑剂 SMJH-1 的研制及性能评价	王琳 董晓强 杨小华等 (284)
微乳液型油基泥浆清洗液制备及其机理探究	孙德军 王辉 李怀科等 (291)
煤系地层钻井防塌封堵剂的制备与应用	王勇 鄢捷年 李志勇等 (301)
强抗钙聚合物的研究及 CaCl_2 /聚合物钻井液的初探	杨超 尹泽群 黎元生等 (309)
高温封堵型发泡剂 DRfoam-3 研制及性能评价	赖晓晴 苏义脑 杨恒林等 (319)
全油基钻井液降滤失剂的研制与性能评价	钱志伟 吴娇阳 余靖等 (330)
油基钻井液提切剂的研制及性能评价	赵家乐 黄伟 冯杰等 (337)
极性基团对油基钻井液润湿剂润湿效果的影响	卢福伟 龚厚平 薛芸等 (342)
钻井液用高软化点防塌封堵剂研制	苏俊霖 蒲晓林 (348)
油基钻井液用高性能乳化剂的研制与评价	王旭东 郭保雨 王宝田等 (353)
油基钻井液降黏剂的研制	黄伟 李英敏 冯杰等 (359)
微泡钻井液用表面活性剂研究思路	谢建宇 郭金爱 (364)
新型微裂缝封堵护壁剂 FPS 的研制及性能评价	李晓岚 苏雪霞 宋亚静 (370)
一种高密度油基解卡剂 NJGS 的研究与现场应用	王君 (376)
抗污染型钻井液用发泡剂 Rcfom-IV 制备与评价	白相双 谢帅 于洋 (381)
固井用洗油冲洗剂研究与现场试验	严海兵 张成金 冷永红等 (387)
徐闻 6-1 井 MDT 测试用封闭液的研制及应用	杨雪山 何竹梅 睢文云等 (396)

第三部分 复杂井钻井液技术

KL3-2 油田起下钻阻卡原因分析与研究	耿铁 徐同台 姜晓强等 (405)
川东北地区高温超深井钻井液技术	王新 彭刚 董波 (420)

焦石坝页岩气水平井钻井液技术	孙东营 王武斌 杜明军等 (429)
页岩气水平井水基钻井液研究	甄剑武 赵虎 马诚 (436)
扩展安全密度窗口的钻井液技术在长庆油田的应用	王浩 赵福荣 南红军等 (445)
江苏油田非常规油气藏钻井液技术的研究与应用	汤燕丹 王建军 许春田等 (452)
大庆油田致密油藏水平井钻井液技术研究与应用	侯杰 刘永贵 宋涛等 (462)
抗高温高密度钻井液在川西深井研究及应用	彭刚 马瑞 吕明等 (471)
提高玉北地区晚古生界地层稳定性的防塌钻井液技术	蔡利山 刘贵传 (480)
DPH-99 井优快钻钻井液技术	刘金牛 叶荆 宋元成等 (489)
东营凹陷北部陡坡带盐下深井钻井液技术	李文明 裴建忠 刘天科等 (495)
南海流花区块首口深水定向井钻井液技术	李怀科 王楠 罗健生等 (502)
LG01-H 水平连通井钻井液技术探索	王玉海 郭明贤 马文英等 (508)
天环坳陷构造风险探井钻井液技术	田茂明 肖俊峰 何振奎等 (515)
昌吉油田致密油水平井钻井液技术研究	杨彦东 戎克生 薛连云等 (522)
微泡沫钻井液技术在低压浅层油藏中的应用	周双君 李跃明 缪庆林等 (527)
聚黄防卡钻井液川西中深水平井的应用	陈云清 邬玲 马瑞 (532)
乍得项目强抑制防塌钻井液技术的研究及应用	黄宏军 杨泽星 刘敬平等 (537)
丰深 1 平 1 井四开小井眼盐水钻井液技术	蔡勇 何兴华 (544)
齐古 1 井深井钻井液技术及应用	徐建勋 孙东营 杜明军等 (550)
塔河油田 TH12535 井钻井液技术运用	谭显林 黄科 (556)
托普台区块志留系复杂井段钻井液技术探讨	冯恒 唐睿 龚红武 (562)
下扬子盆地二氧化碳富集层钻井液技术浅探	王学军 (567)
玉北地区超深井钻井液技术应用	叶东 吴育辉 冉小鹏 (575)
跃进 1 区长裸眼超深定向井钻井液技术	黎强 严元 石磊 (587)
钾钙基有机盐钻井液体系在莫 116 井区的现场应用	罗亮 陆军 唐琪凌等 (596)
靖边气田水平井钻井液技术	高小芄 魏宝龙 王孝亮 (601)
葡浅 12-平 1 特浅稠油水平井钻井液技术	毛立丰 孟祥博 张坤等 (608)
热普地区优快钻井液技术	李称心 袁鑫伟 张兴国等 (614)
树 101 液态二氧化碳驱试验区块钻井液技术	李英武 范宣 柳洪鹏等 (619)
KOI 区块海洋钻井液技术	李树皎 聂勋勇 骆小虎等 (624)
伊通地区钻井液技术研究与应用	孙奉连 范利 张思涵等 (628)
英买力凝析气田复合盐岩层钻井液技术	李志斌 孙俊 周华安等 (638)
有机盐钻井液在川渝地区提速钻井中的应用	肖金裕 何素娟 杨兰平等 (643)
渤海湾-月东区块完井液技术	彭云涛 刘榆 于盟等 (650)
金县 1-1 油田大位移井钻井液的研究与应用	刘晓东 颜紫霖 郭海峰 (654)
南海西部浅层大位移井钻井液技术	杨洪烈 程玉生 胡文军等 (664)

长芦油田大斜度井钻井液技术	邓建 王禹 黄达全等 (672)
塔里木油田牙哈地区钻井液技术	李广冀 张民立 张西钺等 (678)
塔河油田上部地层阻卡原因分析	戚晶晶 (685)
元坝陆相气液转换技术研究	郑义 欧彪 蒋祖军 李果 (689)

第四部分 井壁稳定及油层保护技术

新型化学固结堵漏技术研究	张凤英 刘四海 刘金华等 (697)
渤海油田断层破碎带固化堵漏技术研究与应用	卢小川 王伟 王洪伟等 (704)
反相凝胶缝洞堵漏技术	刘文堂 (711)
生物聚合物凝胶反向承压堵水技术研究	苏长明 任立伟 许颖 (718)
HMXW 网状纤维承压堵漏试验研究	杨振杰 王晓军 张建卿等 (726)
井壁不规则性对起下钻的影响	邓力航 郭海锋 (734)
杭锦旗区块防漏堵漏技术应用实践	高小凡 韩金生 靳二留 (740)
钻井液漏失判定及评价技术	刘振东 周金柱 李公让等 (746)
塔河油田随钻堵漏技术	陈亮 王立峰 王杰东等 (752)
渤页平2井生物灰岩地层堵漏技术	卜凡康 (761)
油基钻井液封堵技术研究	张涛 陈二丁 张海青 (767)
大牛地气田水平井井眼稳定技术研究	张立新 李鸿飞 李永正等 (774)
跃进油田二叠系堵漏技术	袁俊文 喻拓 (783)
防漏堵漏技术在隆兴1井的应用	幸位福 何刚 李刚等 (789)
塔河油田承压堵漏技术应用	李为亮 (795)
张家垛区块井壁稳定钻井液技术	边继祖 程双全 逯同海 (800)
冀东油田深层潜山储层保护钻井液技术	姜薇 卢淑芹 阚艳娜等 (806)
小城子严重漏失区防漏堵漏钻井液技术应用研究	范利 张文慧 刘阳等 (810)
鄂尔多斯盆地东胜气田井漏控制技术	梅永刚 张栋俊 杨勋龙 (818)
抗高温高强度凝胶堵漏可行性研究	李志勇 杨超 马攀等 (826)
储层保护型修井液技术系列的研究及应用	陈缘博 贾辉 陈胜文等 (834)
尼日尔油田储层保护钻井液技术研究	王双威 张洁 周世英等 (840)
塔河油田奥陶系高温高矿化度缝洞型漏失堵漏技术	陈曾伟 刘四海 林永学等 (846)

第五部分 实验新方法、新工艺及其他

钻井液废弃物处理技术及应用	张振华 彭春耀 杨金荣等 (855)
钻井液流变性在线测量装置的研制	乔军 刘保双 (862)
深井高温高密度水基钻井液流变性控制原理	王平全 白杨 罗平亚 (868)
废弃聚黄钻井液破胶—絮凝—膜处理实验研究	张爱顺 李业成 王运动等 (876)

油基钻井液岩屑废弃物处理系统的应用	刘永贵 盖大众 (882)
可视化模拟微裂缝封堵能力评价方法	石秉忠 (887)
高密度超微完井液动力稳定性评价及现场应用	叶艳 尹达 李磊等 (892)
钻井液黏度测量不确定度评定方法	罗云凤 (900)
钻井液滤饼清洗技术研究	祁亚男 陈二丁 张海青 (907)
高温老化对聚合物/黏土体系滤失量的影响	董晓强 杨小华 王琳 (916)
新型钻固一体化潜活性材料特性研究及应用	王治法 刘贵传 杨枝 (921)
井壁台阶面对起钻影响的力学分析	邓力航 (930)
米桑油田 FQCS-27 井卡钻及解卡技术	张永 雷志永 (941)
XC 生物聚合物抗温性能影响因素试验研究	马成云 杨振杰 (948)
高密度水基钻井液沉降稳定性能研究	白杨 王平全 罗平亚 (956)

第一部分

新型钻井液完井液体系研究

中国石化油基钻井液技术进步与展望

林永学 王显光

(中国石化石油工程技术研究院, 北京, 100101)

摘 要 围绕着非常规页岩油气资源和复杂地层常规油气资源勘探开发对钻井液技术的需求, 介绍了中国石化近年来油基钻井液技术研究与应用进展, 包括油基钻井液技术难点、关键处理剂的研发、柴油(矿物油)等多套油基钻井液体系的研制、配套工艺技术及现场应用等多个方面, 同时根据国内外油基钻井液技术的对比和技术发展的需求, 探讨了中国石化非常规页岩油气资源钻井液技术的发展方向。

关键词 中国石化; 油基钻井液; 非常规油气; 复杂地层; 技术进展

随着国内各地区勘探开发程度的逐步提高, 赋存于较浅地层、具有良好储层物性的常规油气资源越来越少, 致使油气资源的勘探开发不得不由浅层向深层或超深层转变、由常规油气向非常规油气转变。自 2008 年以来, 中国石化集团公司大幅增加了深层常规油气与非常规油气资源^[1]的勘探投入与开发规模。在深层常规油气勘探方面, 主要集中在新疆的玉北地区、顺 9 地区和四川的元坝地区; 在非常规油气方面, 主要包括四川的涪陵地区、彭水地区和丁山地区的页岩气, 河南泌阳坳陷与山东济阳坳陷的页岩油等。然而, 随着上述勘探开发方向的两个转变, 钻探施工过程中钻遇页岩、泥岩等水敏性复杂地层愈加普遍, 井壁失稳、黏卡等井下复杂问题更加突出, 对强抑制性钻井液技术的需求愈加迫切。

油基钻井液(OBM)是一类完全以非(弱)极性的油品作为连续相的钻井液体系。与国内长期以来广泛使用的水基钻井液相比, OBM 几乎不与水敏性地层矿物发生作用, 具有抑制性强、润滑性好、抗污染能力突出等特点, 是钻井行业钻探各类页岩、泥岩、膏盐等复杂地层的重要手段, 也是应对高温高压深井和复杂定向井的重要技术措施^[2]。因此, OBM 技术成为推动中国石化深层常规油气与非常规油气资源勘探开发的有力保障, 该技术的研究与自主化也成为中国石化近几年来钻井液技术持续攻关的重要方向。

国内 OBM 技术自 20 世纪 80 年代开始应用以来, 技术发展较为缓慢, 与国外同类技术相比仍具有一定的差距, 主要表现为: 体系流变性差、处理剂用量大、高品质处理剂缺乏、配套技术极其不完善, 导致页岩气勘探初期的重点水平井和部分复杂深井不得不依赖国外油基钻井液技术。为此, 自 2009 年起, 随着页岩油气资源勘探开发的迅速发展, 中国石化集团公司钻井液技

基金项目: 中国石油化工股份有限公司科技攻关项目“页岩气藏水平井油基钻井液技术研究”(编号: P11053)部分研究内容。

第一作者简介: 林永学(1963-), 男, 山东乳山人, 1984年毕业于华东石油学院钻井工程专业, 2001年获石油大学(北京)油气井工程专业工程硕士学位, 教授级高级工程师, 中国石化集团公司高级专家, 主要从事钻井液技术方面的科研与管理工作。电话: 01084988158; E-mail: linyx.sripe@sinopec.com。

术人员开展了针对性的 OBM 体系及其配套技术的研究与应用。截至 2014 年,研发了多种关键 OBM 处理剂,形成了柴油基、矿物油基等多套 OBM 体系^[3-4],在涪陵、彭水、玉北等地区共 60 余口井进行了技术应用^[5-7],有力地保障了中国石化上述地区油气资源的勘探开发,取得了良好的经济效益和社会效益。

1 油气勘探对油基钻井液技术的挑战

非常规页岩油气资源的商业开发采用水平井技术,页岩水平段的长度通常为 800 ~ 2500 m。页岩目的层以硬脆型矿物为主,其页理、层理、微裂隙发育,钻井过程中井壁失稳和井漏的风险大;其次,基于利于后续水力压裂和获得更高产能的目的,页岩油气水平井通常按照或者接近最小水平主应力的方位钻进,这种轨迹设计更大幅增加了井壁失稳的风险;另外,长距离的水平段钻进对井眼清洁能力也提出了极高的要求。综上所述,页岩油气资源的开发对所用的 OBM 技术提出了严峻的挑战,需要深入研究解决低油水比的乳化稳定性、保障井眼净化的低 ECD 增量的流变性能控制、防漏堵漏和含油废弃物处理等系列技术难点。

1.1 低油水比条件下乳化稳定性

确保 OBM 中水相液滴在油相中的均匀分散、乳化稳定是对 OBM 的基本要求,也是其流变性、封堵性等其他性能进行有效技术调控的基础与根本前提^[8]。业内 OBM 的油水比范围大多为 (70 ~ 90):(10 ~ 30),采用破乳电压 (ES) 指标衡量 OBM 的乳化稳定性,ES 高于 400V 即可达到钻井施工的需求。就 OBM 的配方组成而言,油水比越低、其成本越低,但意味着其乳化稳定性会变差。因此,低油水比 OBM 技术是衡量技术水平的一项重要指标,也是降低 OBM 成本的重要措施,而设计、研发、使用高性能的乳化剂是获得低油水比 OBM 乳化稳定性的关键与技术核心。

1.2 保障井眼净化的低 ECD 流变性能控制

与水相比,用作 OBM 连续相的基础油均具有较强的温敏特性,即其黏度受温度影响较大。因此,OBM 通常在低温条件下具有较高的黏度与切力,随着温度的上升,其黏切大幅下降;另外,国内可以用于 OBM 调控黏切的处理剂很少,因此 OBM 流变性能的有效调控技术难度很大,国内 OBM 配制完成后通常具有较理想的流变性能和相对合理的黏切,但经过高温老化或者井下使用后其流变性能迅速变差,表现为切力低、悬浮能力差;施工过程中为了提高切力、增强携岩能力,由于缺乏有效的流变性能调控材料与调控措施,不得不大量使用有机土、乳化剂等亲油胶体,结果导致 OBM 的漏斗黏度和塑性黏度大幅升高、环空压耗明显上升、ECD 大幅增加,不仅导致钻速下降,而且大幅度增加了诱导性漏失的风险。总之,OBM 的流变性能控制难题一直是我国 OBM 技术面临的突出问题,也是与国外先进 OBM 技术的主要差距所在^[9],因此研发高效的流变性能调节剂是解决该问题的关键。

1.3 OBM 配套的防漏堵漏

OBM 由于成本较高,因此施工过程中如何减少消耗、避免漏失是有效降低 OBM 应用成本的技术关键。由于与水基钻井液具有本质的区别,因此常规防漏堵漏材料与技术措施在 OBM 中难以获得理想的效果。国外广泛使用 Soltex、Baracarb 等专用封堵材料用于 OBM 施工,但截止目前仍未能有效解决 OBM 的漏失问题;国内在 OBM 专用防漏堵漏技术研究方面也极其缺乏,这也是钻井液工作者亟待解决的技术难题。

1.4 含油钻屑或废弃 OBM 的妥善处理

含油钻屑或废弃 OBM 如果无法实现有效处理、直接排放,会对环境造成较大的影响,其影响程度取决于 OBM 的毒性、生物可降解性和聚集特性,影响范围主要取决于废弃物的排放量、排放深度等,在深水区域由于水流,排放点越深影响的区域就越广。国内含油钻屑与废弃物处理技术发展较慢,尚不成熟,现阶段难以完全到达我国环保法律法规规定的技术要求,这成为环境保护和钻井液科技工作者亟待解决的突出问题^[10]。

2 中国石化油基钻井液技术主要进展

近 5 年来,以中国石化工程院、中原钻井院、胜利钻井院等为代表的多家研究院所,针对国内 OBM 体系流变性差、处理剂用量大、高品质处理剂缺乏、配套技术不完善等突出问题,通过借鉴吸收、自主研发等技术手段,在 OBM 用关键处理剂、钻井液体系和含油废弃物处理技术方面均取得了可喜的进展,为 OBM 技术的自主化应用奠定了良好的基础。

2.1 油基钻井液处理剂

2009 年以来,中国石化多家研究单位围绕 OBM 用乳化剂、有机土、流变性调节剂和降滤失剂等开展了相关的技术攻关,并在有机土、乳化剂和流变性调节剂的研发方面取得了突破性的进展,研制的产品在现场取得了良好的应用效果。

2.1.1 有机膨润土

有机膨润土是 OBM 的基本组分,它在 OBM 中可以有效地提高钻井液的黏度、切力并降低滤失量。国内的有机膨润土主要应用于油漆、印染、日化等领域,专门用于 OBM 的有机膨润土类型较少,质量差别很大。为此,董天雷等^[11]利用钠膨润土与季胺盐类表面活性剂、插层剂等充分吸附反应,制得了具有良好造浆率的高性能有机膨润土,这种亲油膨润土在柴油和白油中具有良好的分散性能和增黏效果,其胶体率达到 95% 以上,整体指标优于国内的同类产品。

2.1.2 乳化剂

乳化剂是确保 OBM 乳化稳定性的关键与核心处理剂。国内 OBM 用乳化剂一直以脂肪酸、脂肪酸皂和烷基苯磺酸皂等表面活性剂为主,上述乳化剂分子内通常含一个亲水基团和亲油基团,其亲油基团分布于油相中,亲水基团带有负电荷,通过与水相中的 Ca^{2+} 作用,呈“锚状”分布于油水的界面上。但由于亲水基团均带有负电荷,在油水界面上铺展时分子间由于同性电荷的斥力作用会显著影响其分布的致密程度,因此不利于油水界面膜强度的提高,也不利于钻井液切力的提升,表现为乳化稳定性不高、切力很低。

为了克服上述技术不足,王显光等^[3]设计、研发了分子内具有多个吸附基团、通过化学键将吸附基团内部链接的低聚大分子乳化剂 SMEMUL,其油水界面作用示意图见图 1。相比传统乳化剂,SMEMUL 具有较大的分子伸展体积,其多个亲水基团可以同时界面上吸附,像多个锚一样嵌入于水相中,由于其分子内直接通过化学键相连,避免了多个亲水基之间的电荷斥力,因此乳化剂在油水界面上排列更加致密、稳定性更高;同时其亲油基团数量更多,分子间多个亲油基团发生缠绕,形成胶束的几率大幅增大,利于油相结构力的提高。总之,上述两方面的综合作用,使得这种新型的大分子乳化剂具有传统乳化剂无法比拟的效果。

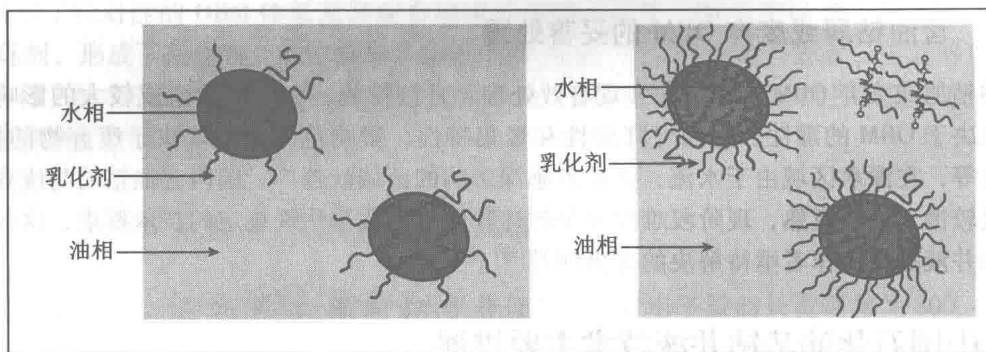


图1 传统乳化剂（左）和大分子乳化剂（右）乳化原理示意图

2.1.3 流变性调节剂

针对 OBM 结构力低、切力调控措施少的技术问题, 林永学^[5]等基于界面吸附和电性吸附理论, 通过电性材料和强吸附材料的设计与使用, 研制了一种新型的 OBM 用流变性调节剂 SMHSFA。如图 2 所示, 通过与 SMEMUL 的协同作用, 少量 SMHSFA 的加入即可显著地提升 OBM 的切力、结构力、动塑比和低剪切速率下的黏度, 改善流变性能, 尤其适用于长水平井或大位移井的钻井施工。

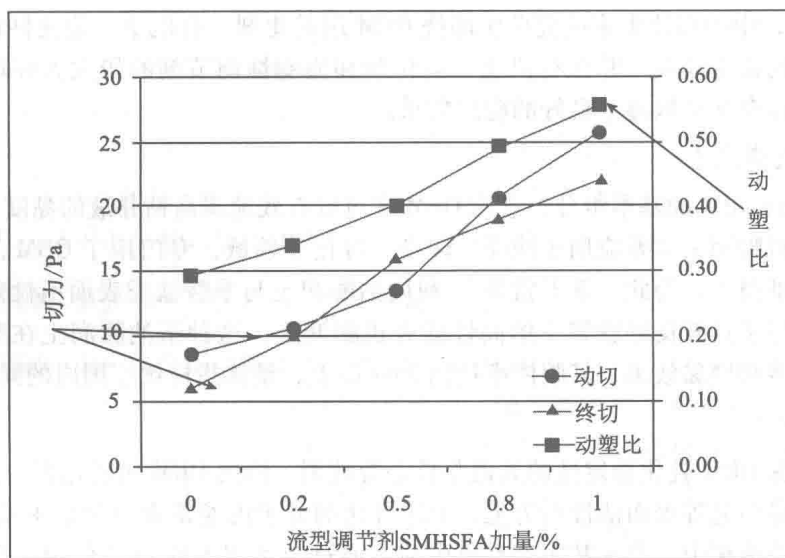


图2 SMHSFA 加量对 OBM 性能的影响

2.2 油基钻井液体系

中国石化工程院、胜利钻井院、中原钻井院多家单位根据不同区块的地质、工程的施工需求, 开展了针对性的 OBM 体系研究, 研发了柴油基、矿物油基、合成基等多套 OBM 体系配方, 部分配方性能达到了国外先进 OBM 技术水平。

林永学、王显光等^[3,7]以研发的高效乳化剂 SMEMUL 和流变性调节剂 SMHSFA 为核心处理剂, 基于页岩水平井工程要求, 构建、形成了具有低塑性黏度、高切力流变特征的柴油基和矿物油基两套油基钻井液 (简称 LVHS OBM) 体系, 并且配套了 LVHS OBM 的现场施工工艺、回收再利用技术、防漏堵漏技术和与含油废弃物处理工艺, 从而形成了完善的 LVHS OBM 技术。

LVHS OBM 的配方为：0 号柴油（或 3 号白油）+20.0% CaCl_2 盐水 +3.5% SMEMUL +2.0% CaO +2.0% 有机土 +2.0% 降滤失剂 +0.3% SMHSFA +3.0% 封堵剂，其与国外先进 OBM 体系的性能指标对比见表 1。

由表 1 可以看出，LVHS OBM 性能指标达到了国外公司 OBM 的技术水平，并且还具有以下技术特征：（1）较低的漏斗黏度和塑性黏度、较高的切力和理想的动塑比，有利于长水平段并眼净化；（2）油水比为（70~90）：（10~30），均具有良好的乳化稳定性，破乳电压达 700~1600 V；（3）柴油、矿物油均可作为基油，可满足不同环境条件下的施工的要求；（4）具有良好的封堵防漏效果，可以有效保障微裂缝发育地层的“井壁稳定”。

表 1 LVHS OBM 与国外 OBM 性能对比

体系名称	密度/ (g/cm^3)	破乳电 压/V	塑性黏度/ $\text{mPa} \cdot \text{s}$	动切 力/Pa	初终切 Pa/Pa	动塑比	HTHP 滤失 量/mL
国外 OBM	1.40	650	30	9	4/7	0.30	2.8
LVHS OBM	1.40	1235	29	12.5	5/7	0.44	2.4
国外 OBM	1.70	720	56	13.5	9/18	0.24	2.6
LVHS OBM	1.70	1051	39	12.5	5/8	0.32	2.6

侯业贵等^[4]针对柴油基钻井液生物毒性大的不足，通过基础油和处理剂的优选，形成了一套以精制白油为基础油的低芳烃、强封堵 OBM 体系，体系配方为：精制白油 +25.0% CaCl_2 溶液 +3.0% 主乳化剂 +1.5% 辅乳化剂 +2.0% 润湿剂 +3.0% 有机土 +3.0% 降滤失剂 CFA +2.0% CaO +2.0% 复合封堵剂 FB +0.5% 提切剂。该钻井液体系在油水比为 80:20、1.20~1.80 kg/L 的密度范围内均具有较好的流变性能、乳化性能和沉降稳定性。由于使用了刚性、柔性和树脂类封堵材料的复合处理剂作封堵剂，具有良好的封堵性能。该钻井液满足济阳坳陷页岩水平井钻井施工的需要，而且对人体健康影响较小。

刘明华等^[5]针对中原油田非常规钻探的技术需求，先后研发了全油基和油包水两套 OBM 体系。全油基钻井液以白油为基础油，体系配方为：5 号白油 +4%~5% 乳化剂 +4%~5% 有机土 +4%~6% 降滤失剂 +1%~2% 润湿剂 +1%~2% 提黏切剂 +3% CaO ，该体系具有较低的生物毒性和较好的综合性能，很好的满足了中原油田等环境敏感地区的施工要求。油包水钻井液体系采用柴油为基础油，体系配方为：0 号柴油 +4%~5% 乳化剂 +2%~4% 有机土 +3%~6% 降滤失剂 +1%~2% 润湿剂 +1%~2% 提黏切剂 +3% CaO +3% 封堵剂，该体系性能稳定、抑制性强、井壁稳定性好，在涪陵地区取得了良好的应用效果。

2.3 含油废弃物处理技术

针对 OBM 施工过程中产生的含油钻屑污染严重的问题，中国石化集团公司的多家研究单位均开展了废弃物处理研究，有望实现该领域的技术突破。董怀荣等^[12]研制了一套含油钻屑清洗装置，该装置具有搅拌、混合、清洗、脱液干燥等功能，处理量大（钻屑处理量 $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ），采用移动式组装设计，处理后钻屑的含油量可降至 3% 左右，基本满足了钻井过程油基钻屑随钻处理的要求。何焕杰等^[13]将固相清洗技术与生物处理技术有效组合，设计集成了具有高速离心、快速脱液、固液分离等模块的新型装置系统，该装置处理后钻屑的含油量可降至 3% 以下，再通过生物处理技术集中处理，室内效果表明经 30~90 d 可彻底实现钻屑的无害化，达到国家 GB428484《农用污泥中污染物控制标准》的排放要求。