

ZUAN JING YE
SHI YAN YU ZHI DAO

钻井液实验与指导

地质资源勘查国家级实验教学示范中心资助

主编 / 于培志 徐国良

地质出版社



地质资源勘查国家级实验教学示范中心资助

钻井液实验与指导

于培志 徐国良 主编



地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书共分七章,内容包括钻井液概论、钻井液配浆材料和处理剂、常用钻井液体系类型、钻井液常规性能测定、水基钻井液化学分析、油基钻井液化学分析、钻井液特殊性能的测定。

本书可作为高等院校钻井液专业和有关专业的实验课教材以及相关人员参考用书,也可作为油气田工程技术人员培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

钻井液实验与指导 / 于培志,徐国良主编. — 北京 :
地质出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-116-09124-5

I. ①钻… II. ①于… ②徐… III. ①钻井液—实验
IV. ①TE254-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 005021 号

责任编辑:吴宁魁

责任校对:王 瑛

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010)66554642(邮购部);(010)66554627(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010)66554686

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:8.5

字 数:200 千字

版 次:2014 年 12 月北京第 1 版

印 次:2015 年 1 月北京第 1 次印刷

定 价:36.00(随书附配套光盘 1 张)

书 号:ISBN 978-7-116-09124-5

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

钻井液实验教学的目的不只是培养学生的基本实验能力,更重要的是培养学生的科学思维、创新意识和研究能力。《钻井液实验与指导》是在中国地质大学(北京)工程技术学院多年来对勘察技术与工程专业、岩土钻掘工程专业学生钻井液实验课的基础上,结合石油工程专业钻井液工艺技术研究与钻井液体系优选和钻井液处理剂评价工作的需要,同时吸收兄弟院校钻井液实验教学的经验而编写的。

本书旨在帮助学生或刚开始从事钻井液工艺技术研究的研究工作者建立完整的钻井液实验知识结构体系,强调对于实验方法的指导,提高使用者动手实验的能力。

本书共分七章,内容包括钻井液概论、钻井液配浆材料和处理剂、常用钻井液体系类型、钻井液常规性能测定、水基钻井液化学分析、油基钻井液化学分析、钻井液特殊性能的测定。

本书部分内容可供大专院校作为钻井液实验教学课的实验教材,也可作为油气田工程技术人员的培训教材,可供使用者作为了解现代钻井液实验技术的参考书。本书对从事钻井液工作的工程技术人员设计新实验方法、优选优化钻井液体系具有重要的参考价值,既可作为钻井液专业和有关专业的实验课教材,也可作为相关人员的实验参考书。

本书由于培志、徐国良主编,薛芸教授级高级工程师主审,在编写过程中参阅了大量的行业标准、API标准和钻井液实验教材,在此对参考资料的作者致以诚挚的感谢。在本书编写过程中得到了中国地质大学(北京)工程技术学院徐能雄教授、王贵和教授、郑秀华教授和罗志华老师的大力支持,并提出宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。在校研究生于澄、刘嘉露、邓都都、杨强、杨逸帆、刘世龙、田建东等同学参与了本书的资料收集和实验方法的验证工作,于澄、刘嘉露为本书出版还做了大量的文字编辑和校对工作,在此一并感谢。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏,诚挚欢迎读者对书中不妥之处提出批评、建议,编者对此深表感谢。

目 录

前 言

第一章 钻井液概论	(1)
第一节 钻井液的主要功能	(1)
第二节 钻井液组成和分类	(2)
第三节 钻井液技术的发展概述	(5)
第二章 钻井液配浆材料和处理剂	(10)
第一节 钻井液配浆原材料	(10)
第二节 无机处理剂	(12)
第三节 有机处理剂	(17)
第四节 润滑剂	(28)
第五节 表面活性剂	(29)
第六节 堵漏剂	(34)
第七节 其他处理剂	(35)
第三章 常用钻井液体系类型	(37)
第一节 三磺钻井液	(37)
第二节 盐水钻井液	(38)
第三节 聚合物钻井液	(41)
第四节 钾基聚合物钻井液	(43)
第五节 聚合醇钻井液	(45)
第六节 油基钻井液	(47)
第七节 气体型钻井流体	(50)
第八节 合成基钻井液	(52)
第四章 钻井液常规性能测定	(54)
第一节 钻井液密度的测定	(54)
第二节 钻井液流变性能的测定	(55)
第三节 钻井液滤失量的测定	(59)
第四节 钻井液的 pH 值的测定	(62)
第五节 钻井液含砂量的测定	(64)
第六节 钻井液水、油和固相含量的测定	(66)
第七节 膨润土造浆率测定	(69)

第五章 水基钻井液的化学分析	(71)
第一节 钻井液中膨润土含量的测定	(71)
第二节 钻井液滤液中氯离子的浓度测定	(72)
第三节 以钙计总硬度的测定	(74)
第四节 钻井液滤液中钙镁离子浓度的测定	(75)
第五节 硫酸钙含量的测定	(77)
第六节 钾离子含量的测定	(79)
第七节 钻井液的碱处理	(82)
第六章 油基钻井液的化学分析	(84)
第一节 油基体系的电稳定性测定	(84)
第二节 油基钻井液化学活度的测定	(85)
第三节 油基钻井液碱度和石灰含量	(87)
第四节 油基钻井液氯离子含量	(88)
第五节 油基钻井液中钙离子含量	(90)
第七章 钻井液特殊性能的测定	(92)
第一节 钻井液润滑性能的测试	(92)
第二节 钻井液抑制性能的测定	(95)
第三节 钻井液高压堵漏性能的测定	(100)
第四节 储层保护性能的测定	(102)
附录	(121)
附录一 常用化合物分子式和常用处理剂代号	(121)
附录二 常见材料密度	(122)
附录三 常见难溶的无机物质在水中的溶解度积 (18~20℃)	(123)
附录四 常用钻井液专用术语	(123)
参考文献	(127)

第一章 钻井液概论

第一节 钻井液的主要功能

钻井液是指油气钻井过程中以其多种功能满足钻井工程需要的各种循环流体的总称。钻井液的循环是通过泥浆泵来实现,从泥浆泵排出的高压钻井液经过地面高压管汇、立管、水龙带、水龙头、方钻杆、钻杆、钻铤抵到钻头,从钻头喷嘴喷出,以清洗井底并携带岩屑;然后再沿钻柱与井壁(或套管)形成的环形空间向上流动,在到达井口后经排出管线进入地面循环系统,经固控设备净化处理后,分离出固相后的钻井液进入地面泥浆罐循环使用。钻井液流经的各种管件、设备构成了一整套钻井液循环系统。

钻井液工艺技术是油气钻井工程的重要组成部分。随着钻井难度的逐渐增大,该项技术在确保安全、优质、快速钻井中起着越来越重要的作用。

钻井液有以下几点最基本的功能:

1. 携带和悬浮岩屑

钻井液基本功用,就是通过其本身的循环,将井底被钻头破碎的岩屑携至地面,以保持井眼清洁,使起下钻畅通无阻,并保证钻头在井底始终接触和破碎新地层,不造成重复切削,保持安全快速钻进。在接单根、起下钻或因故停止循环时,钻井液又将井内的钻屑悬浮在钻井液中,使钻屑不会很快下沉,防止沉砂卡钻等情况的发生。

2. 稳定井壁和平衡地层压力

井壁稳定、井眼规则是实现安全、优质、快速钻井的基本条件。性能良好的钻井液应能借助于液相的滤失作用,在井壁上形成一层薄而韧的泥饼,以稳固已钻开的地层并阻止液相侵入地层,减弱泥页岩水化膨胀和分散的程度。与此同时,在钻进过程中需通过不断调节钻井液密度,使液柱压力能够平衡地层压力,从而防止井塌和井喷等井下复杂情况的发生。

3. 冷却和润滑钻头、钻具

在钻进中钻头一直在高速旋转并破碎岩层,产生很多热量,同时钻具也不断地与井壁摩擦而产生热量。正是通过钻井液不断地循环作用,将这些热量及时吸收,然后带到地面释放到大气中,从而起到了冷却钻头、钻具,延长其使用寿命的作用。由于钻井液的存在,使钻头和钻具均在液体内部旋转,因此在很大程度上降低了摩擦阻力,起到了很好的润滑作用。

4. 传递水动力

钻井液在钻头喷嘴处以极高的流速冲击井底,从而提高了钻井速度和破岩效率。高压喷射钻井正是利用了这一原理,即采用高泵压钻进,使钻井液所形成的高速射流对井底产生强大的冲击力,从而显著地提高了钻速。在使用涡轮钻具钻进时,钻井液在钻杆内以较高流

速流经涡轮叶片,使涡轮旋转并带动钻头破碎岩石。

但是,钻井实践表明,作为一种优质的钻井液,仅做到以上几点是不够的。为了防止和尽可能减少对油气层的损害,现代钻井技术还要求钻井液必须与所钻遇的油气层相配伍,满足保护油气层的要求;为了满足地质上的要求,所使用的钻井液必须有利于地层测试,不影响对地层的评价;此外,钻井液还应对钻井人员及环境不发生伤害和污染,对井下工具及地面装备不腐蚀或尽可能减轻腐蚀。

一般情况下,钻井液成本只占钻井总成本的7%~10%,然而先进的钻井液技术往往可以成倍地节约钻时,从而大幅度地降低钻井成本,带来十分可观的经济效益。

第二节 钻井液组成和分类

一、钻井液的组成

钻井液是由分散介质(连续相)、分散相和化学处理剂组成的胶体分散体。如以水为连续相的水基钻井液,是由水(淡水或盐水)、膨润土、各种处理剂、加重材料以及钻屑所组成的多相分散体系;以油为连续相的油包水钻井液,是由油(柴油或矿物油)、水滴(淡水或盐水)、乳化剂、润湿剂、亲油固体等处理剂所形成的乳状液分散体系;以气体为连续相的气基钻井液,主要有空气钻井液、氮气钻井液等。

二、钻井液的分类

钻井液按密度大小可分为非加重钻井液和加重钻井液;按其与水膨润土水化作用的强弱可分为非抑制性钻井液和抑制性钻井液;按其固相含量的多少可分为低固相钻井液和无固相钻井液;根据分散(流体)介质不同,分为水基钻井液、油基钻井液、气体型钻井流体和合成基钻井液四种类型,更具体一些可分为如图1-1所示的七种类型。水基钻井液是应用最广泛的钻井液,合成基钻井液是近期出现的一类新型环保钻井液。



图1-1 钻井液分类图

(一)水基钻井液

水基钻井液是由钠膨润土、水及各种处理剂与加重材料组成的溶胶及悬浮体的混合物

系。其中水为连续相,钠膨润土、处理剂和加重剂为分散相。水基钻井液是钻井液最主要的类型。钠膨润土是具有可塑性的、软的、具有各种颜色的泥土,一般是含水氧化铝的硅酸盐,由长石和其他硅酸盐分解而成,颗粒直径在 $0.1 \sim 100 \mu\text{m}$ 之间,在水中有分散性、带电性和离子交换性。水基钻井液是钠膨润土分散在水中形成的溶胶悬浮体(颗粒直径小于 $2 \mu\text{m}$),属于多级分散体系。为使水基钻井液满足钻井工艺要求,常加入各种化学处理剂及惰性物质来调节钻井液的性能,使钻井液“由稀变稠,由稠变稀”。因此,水基钻井液的性能受钠膨润土、水和化学处理剂三方面因素的影响。

1. 分散钻井液

分散钻井液是指用淡水、膨润土和各种对钠膨润土与钻屑起分散作用的处理剂(简称为分散剂)配制而成的水基钻井液。分散型钻井液是出现最早、使用时间最长的一类钻井液。以其配制方法较简单、配制成本较低的优点沿用至今。

分散钻井液的主要特点:

- (1)可容纳较多的固相,较适用于配制高密度钻井液;
- (2)容易在井壁上形成较致密的泥饼,故其滤失量一般较低;
- (3)某些分散钻井液,如以磺化栲胶、磺化褐煤和磺化酚醛树脂作为主处理剂的三磺钻井液具有较强的抗温能力,适用于深井和超深井。

2. 盐水钻井液和饱和盐水钻井液

盐水钻井液是用盐水(或海水)配制而成的。含盐量从 1% (Cl^- 质量浓度为 6000mg/L) 至饱和 (Cl^- 质量浓度为 189000mg/L) 均属于此种类型。盐水钻井液也是一类对钠膨润土水化有较强抑制作用的钻井液。

饱和盐水钻井液是指钻井液中 NaCl 含量达到饱和时的盐水钻井液体系。它可以用饱和盐水配成,亦可先配成钻井液再加盐至饱和。饱和盐水钻井液主要用于大段盐岩层和复杂的盐膏层等地层钻井施工,也可以作为完井液和修井液使用。

3. 聚合物钻井液

聚合物钻井液是以某些具有絮凝和包被作用的高分子聚合物作为主处理剂的水基钻井液,根据所使用的主要处理剂聚合物的离子性能,又可以分为阳离子聚合物钻井液体系、阴离子聚合物钻井液体系和两性离子聚合物钻井液体系,目前应用最多的仍然是阴离子聚合物钻井液体系。由于这些聚合物的存在,体系所包含的各种固相颗粒可保持在较粗的粒度范围内,同时,所钻出的岩屑也因及时受到包被保护而不易分散成微细颗粒。

4. 钾基聚合物钻井液

钾基聚合物钻井液是一类以各种聚合物的钾(或铵、钙)盐和 KCl 为主处理剂的防塌钻井液。在各种常见无机盐中, KCl 抑制钠膨润土水化分散的效果最好;由于使用了聚合物处理剂,这类钻井液又具有聚合物钻井液的各种优良特性。因此,在钻遇泥页岩地层时,可以取得比较理想的防塌效果。

5. 聚磺钻井液体系

聚磺钻井液是在“三磺”水基钻井液的基础上,引入丙烯酰胺类聚合物作为抑制剂,是我国深井钻井液技术上的一大进步。这类钻井液的滤失量受压差变化影响较小,克服了聚合物钻井液在高温高压下的滤失量大、泥饼质量差的问题。由于加入了适量的磺甲基化酚醛

树脂 SMP 和磺化沥青,高温高压下的滤失量明显小于聚合物钻井液,泥饼质量得到很好的改善。在聚磺钻井液的基础上,通过加入氯化钾,还可以进一步处理成钾基聚磺钻井液体系,其抑制性能会进一步提高。

6. 水包油乳化钻井液

水包油乳化钻井液是将一定量的油分散在淡水或不同矿化度的盐水中,形成以水为连续相、油为分散相的水包油乳状液,由水相、油相、乳化剂、增黏剂和其他处理剂组成,水相是外相,油相为内相。水相可以是淡水、盐水或海水;油相以高闪点、高燃点和高苯胺点的矿物油,如柴油、原油、白油和气制油为主。体系密度一般通过改变油水比调节,也可以通过加入碳酸钙粉加重,或加入不同类型的可溶性无机盐,使其成为无固相低密度钻井液。

水包油乳化钻井液经过多年的发展和应用,已经成为一项成熟的钻井液技术。在地层压力系数降低、缝洞发育易井漏、漏失严重且地层稳定的老油田开发、欠平衡钻井方面的应用取得了很好的效果。

7. 无固相钻井液

无固相钻井液又称清水钻井液。使用无固相钻井液的机械钻速最快,钻头进尺最高。但要实现无固相的清水钻进,必须注意以下三个方面的问题:一是必须使用高效絮凝剂使钻屑始终保持不分散状态,使其在地面循环系统中发生絮凝而全部清除;二是要有一定的提黏措施,并能够按工程要求,实现平板型层流并能顺利携带岩屑;三是要有一定的防塌措施,以保证井壁的稳定。生物聚合物和聚丙烯酰胺及其衍生物是配制无固相钻井液较理想的处理剂。

8. 无黏土相钻井液

无黏土相钻井液体系是以水(淡水或海水)为连续相,以增黏提切剂 HVIS 和超细碳酸钙为分散相,以抗高温改性淀粉 HFLO 为降滤失造壁剂组成的一种钻井液体系。该体系具有较强的吸附特性,可在钻屑和井壁表面形成一层分子膜,阻碍自由水的渗入,抑制黏土水化分散;比常规钻井液具有更好的抗污染能力,性能稳定,可避免因性能大幅度变化引起的井壁失稳;具有较低的固相,能够提高机械钻速,缩短油层浸泡时间,并能防止发生黏卡及井漏。但该体系目前抗温性能还不够理想,主要应用于 100℃ 井段钻井施工,也常用于储层段钻井液。

近几年,随着现代钻井技术的发展,国内外在钻井液工艺技术的室内研究和现场应用方面均取得了很大进展,并且在处理剂的发展方面进步也十分迅速。随着新型处理剂在钻井现场的应用,水基钻井液又有了很多种类,如正电胶钻井液、甲酸盐钻井液、聚合醇钻井液等。

(二) 油基钻井液

油基钻井液是以油(矿物油或合成油)作为连续相,氯化钙盐水或亲油的固体(如有机土、氧化沥青等)作为分散相,添加适量处理剂、石灰和加重材料等所形成的分散体系。含水量在 5% 以下的普通油基钻井液已较少使用,主要使用的是油水比在 (70~90):(30~10) 范围内的油包水乳化钻井液。与水基钻井液相比,油基钻井液的主要特点是抗高温,有很强的抑制性和抗盐、钙污染的能力,润滑性好,并可有效减轻对油气层的损害等。因此,这类钻

井液已成为深井、超深井、页岩气水平井和复杂地层钻井的重要技术手段。但是,由于油基钻井液的配制成本较高、使用时对环境造成一定的污染,使其应用受到一定的限制。

(三) 气体型钻井流体

气体型钻井流体是以空气或氮气为流动介质或分散有气体的钻井流体。气体型钻井流体主要适用于钻低压油气层、易漏失地层以及某些稠油油层。其特点是密度低,钻速快,可有效保护油气层,并能有效防止井漏等复杂情况的发生。通常将气体型钻井流体分为以下四种类型:

(1)空气或天然气钻井流体,即钻井中使用干燥的空气或天然气作为循环流体。其技术关键在于必须有足够大的注入压力,以保证能将全部钻屑从井底携至地面的环空流速。

(2)雾状钻井流体,即少量液体分散在空气介质中所形成的雾状流体,是空气钻井流体与泡沫钻井流体之间的一种过渡形式。

(3)泡沫钻井流体。钻井中使用的泡沫是一种将气体介质(一般为空气)分散在液体中,并添加适量发泡剂和稳定剂而形成的分散体系。

(4)充气钻井液。有时为了降低钻井液密度,将气体(一般为空气)均匀地分散在钻井液中,便形成充气钻井液。混入的气体越多,钻井液密度越低。

(四) 合成基钻井液

合成基钻井液是以人工合成的有机化合物(合成油)作为连续相,氯化钙盐水作为分散相,并含有乳化剂、降滤失剂、流型改进剂的一类新型钻井液。由于使用无毒且能够生物降解的非水溶性有机物取代了油基钻井液中通常使用的矿物油,因此这类钻井液既保持了油基钻井液的各种优良特性,同时又大大减轻了钻井液排放时对环境造成的不良影响,尤其适用于海上钻井。

第三节 钻井液技术的发展概述

钻井液是服务于钻井工程的一项重要技术。它直接关系着钻井质量的优劣、速度的快慢、采油的多少,甚至钻井工程的成功与失败。因此,被誉为钻井的“血液”。从 20 世纪 20 年代起,随着世界石油工业的迅速发展,钻井的数量、速度和深度均显著增长,所钻穿的地层也更加复杂多样,裸眼也越来越长,于是对钻井液提出了更高的要求。这必然促使人们设法寻找配制钻井液的各种原材料和处理剂,研究其性能与钻井工作的关系,并逐步研制出各种钻井液测试仪器和设备,使钻井液技术不断得到发展。

自 20 世纪 60 年代起,广泛应用钙处理钻井液和盐水钻井液,其特点是通过分散剂和无机阳离子的共同作用,使体系中的钠膨润土颗粒处于适度絮凝的粗分散状态,从而能有效抑制地层中钠膨润土的水化膨胀,有利于保持井壁稳定,还具有较强的抗盐、抗钙和一定的抗温性能。

随着勘探开发的深入和井深的逐渐加深,更多地钻遇高温高压及各种复杂地层,钻井工

艺技术有了更快的发展。最初是将有机高分子化合物聚丙烯酰胺(PAM)和它的部分水解产物(PHP)引入钻井液中。后来,用于钻井液的高分子聚合物的种类越来越多,其中包括阳离子聚合物钻井液体系在国内外也有了较快的发展。实践证明,聚合物钻井液在提高机械钻速、稳定井壁、携带岩屑和保护油气层等方面均明显好于其他类型的水基钻井液。

油基钻井液是另一大类钻井液体系。由于其配制成本比水基钻井液高得多,一般只用于高温深井和海洋钻井,以及钻大段泥页岩地层、大段盐膏层和各种易塌、易卡的复杂地层。最早国外大约在20世纪20年代就用原油作为洗井介质,但其流变性和滤失量均不易控制。到了50年代,发展形成了以柴油为连续介质的油基钻井液和油包水乳化钻井液。为了克服油基钻井液钻速较低的缺点,在70年代又发展了低胶质油包水乳化钻井液,在这期间,为了进一步增强其防塌效果,还发展了活度平衡的油包水乳化钻井液,80年代以来,为加强环境保护,特别为了避免钻屑排放对海洋生态环境的影响,又大力发展了以矿物油作为连续相的低毒油包水乳化钻井液。

气体型钻井流体是第三大类钻井流体体系。它包括空气或天然气、雾、泡沫和充气钻井流体。这类流体主要应用于低压易漏地层、强水敏性地层和严重缺水地区。从20世纪30年代起,气体型钻井流体就开始应用于石油钻井中。由于受到诸多限制,应用并不十分广泛。但近年来,随着欠平衡钻井技术和保护油气层技术的发展,气体型钻井流体,特别是泡沫和充气钻井流体的研究和应用受到了广泛的重视。

一、国外钻井液技术发展概况

(1)1914~1916年,清水作为旋转钻井的洗井介质,即开始使用“钻井液”。

(2)20世纪20~60年代,以分散钻井液为主要类型的阶段。在此期间经历了细分散体系向粗分散体系的转变,同时出现了早期使用的油基钻井液。其中有代表性的技术措施包括以下几个方面:

1)1921~1922年,重晶石和氧化铁粉开始作为加重材料。

2)1926年,开始使用膨润土作为悬浮剂。

3)1930年,研制出最早的钻井液处理剂——单宁酸钠。

4)1931~1937年,研制出钻井液测量仪器。

5)1944~1945年,Na-CMC(羧甲基纤维素钠盐)作为降滤失剂,开始应用于钻井液中。

6)1955年,FCLS(铁铬木质素磺酸盐)作为稀释剂,开始应用于钻井液中。

7)从20世纪60年代开始,石灰钻井液、石膏钻井液和氯化钙钻井液等粗分散体系开始广泛使用。

(3)20世纪70~80年代,以聚合物不分散钻井液为主要类型的阶段。聚合物钻井液的出现标志着钻井液工艺技术进入了科学发展阶段。聚合物钻井液主要有以下4种类型:

1)部分水解聚丙烯酰胺体系。

2)钾基聚合物钻井液体系。

3)羟乙基纤维素体系。

4)聚磺钻井液体系。

在此期间,油基钻井液也有了进一步的发展:在 20 世纪 50 年代以柴油为基油的油基钻井液基础上,70 年代发展了低胶质油包水乳化钻井液,80 年代发展了低毒油包水乳化钻井液。

在抗高温深井钻井液方面,研制出三磺处理剂(国内)、以 Resinex 为代表的抗高温处理剂(国外),使深井钻井液技术取得了很大进展。

(4)20 世纪 90 年代以来,随着阳离子聚合物钻井液和正电胶钻井液的广泛应用,以及其他各种新型钻井液的出现,钻井液工艺技术进入了一个更新的发展阶段。在这个阶段,钻井液主要发展以下几种类型:

- 1) 聚合物、聚磺钻井液进一步发展(两性离子、阳离子聚合物等)。
- 2) MMH 钻井液(Mixed Metal Layered Hydroxide Compounds,简称 MMH)。
- 3) 合成基钻井液(Synthetic-based drilling fluids)。
- 4) 聚合醇钻井液(Polyol drilling fluid)。
- 5) 甲酸盐(有机)钻井液(Formate (organic) drilling fluids)。
- 6) 仿油基钻井液(Imitation oil-based drilling fluids)。
- 7) 硅酸盐钻井液(Silicate drilling fluids)。
- 8) 气体型钻井流体(Gas-based drilling fluids)。

二、我国钻井液技术发展概况

我国钻井液工艺技术的发展规律与国外该项技术的发展规律基本相似。

1. 20 世纪 50~60 年代

我国使用的钻井液主要有以下 3 种:

- (1) 分散钻井液。
- (2) 钙处理钻井液(以石灰、石膏及氯化钙为絮凝剂)。
- (3) 盐水钻井液。

2. 20 世纪 70 年代末至 80 年代中期

我国钻井液技术有了很大的发展。主要表现在以下几个方面:

(1) 三磺(磺化栲胶、磺化褐煤和磺化酚醛树脂)钻井液在全国推广,创下了钻超深井 7175m 的纪录。

(2) 低固相不分散聚合物钻井液技术在我国得到全面推广。钾基聚合物钻井液在很大程度上解决了泥页岩地层的坍塌问题。

(3) 80 年代初期,成功研制了油包水乳化加重钻井液,并在华北、新疆和中原等油田成功应用。

(4) 钻井液处理剂、原材料品种迅速增加,质量不断提高。1978 年,我国钻井液处理剂仅有 40 多种,1985 年已达到 16 个门类,共 129 种。

3. 1986~1990 年

(1) 聚合物处理剂的类型从阴离子扩展到阳离子、两性离子,并研制出以阳离子包被剂、降滤失剂、降黏剂、防塌剂等组成的全阳离子聚合物钻井液体系和以 FA-367、XY-27 及

JT-888 等处理剂组成的两性离子聚合物钻井液体系。

(2)为实现欠平衡压力钻井,研制出泡沫钻井流体和充气钻井液。

(3)为解决井壁失稳问题,研制出具有强抑制性的防塌钻井液体系,包括可对付复杂盐膏层的饱和盐水钻井液。

(4)研制出应用于深井、超深井的聚磺钻井液体系。该体系兼有聚合物钻井液和三磺钻井液的优点,既有很强的抑制性,又改善了高温高压条件下钻井液的性能。

4. 1991~1995 年

(1)聚合物钻井液技术又有了新的进步。两性离子聚合物钻井液技术更加成熟,已在我国 15 个油田的数千口井上推广使用,并研制出两性离子聚合物加重钻井液,最高密度可达 2.03g/cm^3 。阳离子聚合物钻井液技术亦更加配套、完善。

(2)此期间发展了混合金属层状氢氧化物(MMH)钻井液(又称为正电胶钻井液)技术。这类钻井液有独特的流变特性,还具有强抑制性、防漏、减少油气层损害程度、有利于提高钻速等性能。

(3)此期间发展了水平井钻井液配套技术,成功地解决了钻水平井时所遇到的携岩、井壁稳定、防漏堵漏、钻井液润滑性和保护油气层等技术难题,总体达到 20 世纪 90 年代国际先进水平。

(4)钻井液处理剂继续以较快速度发展,并逐步形成系列。1993 年,我国钻井液处理剂已有 16 个门类,共计 246 种。

(5)保护油气层技术得到进一步推广应用,特别是屏蔽暂堵钻井液在全国 3000 多口油气井中得到应用,取得了很好的效益。

5. 1995 年至今

(1)钻井液配方持续改进完善,形成了多套钻井液体系,如阳离子乳液高分子聚合物钻井液体系、钾铵基防塌聚合物钻井液体系、有机盐钻井液体系、可循环泡沫钻井液体系、有机硅钻井液体系等。

(2)深井钻井液技术日臻成熟,研制出了抗高温油包水钻井液、抗高温水包油钻井液、抗高温有机硅水基钻井液、抗高温深层水平井水基钻井液等。

(3)防漏堵漏钻井液技术效果显著,成功研制了抗盐聚合物钻井液防漏堵漏技术。

(4)研制了具有自主知识产权的特色处理剂,如抗 260°C 高温油包水钻井液乳化剂、抗 200°C 以上的水基钻井液用聚合物降滤失剂、胺基页岩抑制剂(聚胺)、高软化点乳化沥青、新型水平井低荧光润滑剂、堵漏型凝胶(智能凝胶)、新型防漏堵漏材料、新型携岩剂。

总体来看,虽然我国钻井液技术起步相对较晚,但由于发展速度较快,特别是进入 20 世纪 80 年代以来,随着我国聚合物钻井液技术、深井钻井液技术和保护油气层技术等不断发展,以及钻井液处理剂不断走向系列化、标准化,我国钻井液工艺技术与国际先进水平的差距不断缩小。可以说,目前我国的钻井液工艺技术在总体上已经接近于国际先进水平,在水基钻井液工艺技术方面已经达到国际先进水平,但在油基钻井液工艺技术方面还有较大差距。

三、钻井液新技术及发展趋势

近年来,随着勘探开发技术的需要,水基钻井液技术得到了快速发展,逐步形成了一些钻井液新技术,主要有成膜水基钻井液技术、高性能水基钻井液技术以及纳米处理剂基础上的钻井液技术。

成膜水基钻井液技术主要是通过将成膜剂添加到水基钻井液,钻井液可在泥页岩井壁表面生成较高质量的膜,这层膜就能有效地防止地层受到钻井液的侵入,对于储层有着很好的保护作用,同时也维持了井壁的稳定,其作用效果类似于油基钻井液。国外在此方面的研究上得到了3种新型化合物能保证膜效率在55%~85%之间,形成的新型水基钻井液具有高膜效率,在现场的使用也获得了很大的成功。钻井体系方面有聚合醇、硅酸盐以及甲基葡萄糖等3种钻井液体系,而又以硅酸盐钻井液体系有着更佳的膜效率。

在高性能水基钻井液技术方面,国内外关注较多的新型钻井液体系是无渗透钻井液体系,该系统是通过常规钻井液与无渗透钻井液处理相结合而获得。相对于以往钻井液体系,钻井液可在短时间内在岩石表层形成无渗透膜,该膜具有较好的强度可隔开地层和钻井液,阻止钻井液侵入的同时还隔断了压力传递。由于浸泡时间和液柱压差对其不能产生影响,这就能有效避免压差黏附卡钻、提升了地层的承压能力,也保持了井眼的稳定性。相关研究显示,无渗透钻井液能保证岩心的渗透率恢复值超过90%。

纳米材料的组成为纳米级的小颗粒,又称作超细颗粒材料,其粒子的尺寸一般在1~100nm。由于纳米微粒尺寸小、比表面积大,表面原子数、表面能和表面张力随粒径的下降急剧增大,表现出:小尺寸效应、表面效应、量子尺寸效应和宏观量子隧道效应等特点,从而使纳米粒子出现了许多有别于常规粒子的新特性。山东大学和中石化勘探院联合研制的纳米级乳化石蜡RHJ-1、贝克休斯钻井液公司研发的可变形纳米级封堵聚合物均能有效维持井壁稳定和降低压差卡钻,在扫描电镜下,页岩的孔隙和喉道会被纳米颗粒堵塞而减少渗透性,井眼的稳定性也得到提升。

分析国内外钻井液技术发展的现状,钻井液技术的发展趋势主要表现在以下几个方面:
①研发低密度和超低密度钻井液以适应低压、超低压和枯竭地层的钻井需求;
②研发油基、水基钻井液技术来辅助提高机械钻速;
③研发能降低地层坍塌压力的稳定井壁钻井液;
④研发具有抗高温、高密度和高盐的钻井液技术;
⑤研发大位移井、长水平段水平井钻井液技术;
⑥研发对于不同大小孔隙的自适应性防漏堵漏技术;
⑦研发新型合成基和油基钻井液体系,形成页岩气水平井及深水钻井及配套技术;
⑧研发环保型钻井液,做好无害化处理。

第二章 钻井液配浆材料和处理剂

钻井液配浆原材料是指在配浆中用量比较大的基本组分,例如膨润土、水、油和重晶石等。处理剂则是指用于改善和稳定钻井液性能,或为满足钻井液某种性能需要而加入的化学添加剂。目前使用种类很多,按化学剂性质可分为无机处理剂和有机处理剂;API行业标准按作用性质将钻井液处理剂分为降滤失剂、增黏剂、乳化剂、页岩抑制剂、堵漏剂、降黏剂、缓蚀剂、钠膨润土类、润滑剂、加重剂、杀菌剂、消泡剂、发泡剂、絮凝剂、解卡剂、其他处理剂共16类。

这16类处理剂所起作用各不相同,但在配制和使用钻井液时,并不同时使用这些处理剂,而是根据需要使用其中几种。有时,一种处理剂在钻井液中同时具有几种作用。本章除介绍常用的配浆材料和无机处理剂外,将重点介绍几类重要的有机处理剂。

第一节 钻井液配浆原材料

一、膨润土类

膨润土是水基钻井液的重要配浆材料。一般将膨润土定义为具有蒙脱石的物理化学性质,含蒙脱石不少于85%的钠膨润土矿物。一般要求1t膨润土至少能够配制出黏度为 $15\text{mPa}\cdot\text{s}$ 的钻井液 16m^3 。因此,常将每吨钠膨润土能配出表观黏度为 $15\text{mPa}\cdot\text{s}$ 的钻井液体积称作钠膨润土的造浆率。通常配浆土的质量是以造浆率来衡量的。目前,我国将配制钻井液所用的膨润土分为三个等级:一级为符合API标准的钠膨润土;二级为改性土,经过改性符合OCMA标准要求;三级为较次的配浆土,仅用于要求不高的钻井液。

膨润土在淡水钻井液中具有以下作用:①增加黏度和切力,提高井眼净化能力;②形成低渗透率的致密泥饼,降低滤失量;③对于胶结不良的地层,可改善井眼的稳定性;④防止井漏。

膨润土逐渐分散在淡水中致使钻井液的黏度、切力不断增加的过程称为造浆,在添加主要处理剂之前的预水化膨润土浆常称作原浆或基浆。几乎在所有室内实验中,首先都要进行原浆的配制。由于蒙脱石含量和阳离子交换容量各不相同,来自不同产地的膨润土,其造浆效果往往区别很大。

二、加重材料

为了对付高压地层和稳定井壁,需将加重材料添加到钻井液中以提高钻井液的密度。

加重材料应该具备的条件是自身密度大,磨损性小,易粉碎;并且应属于惰性物质,既不溶于钻井液,也不与钻井液中的其他组分发生相互作用。常用的钻井液加重材料有以下几种。

1. 重晶石粉

重晶石粉是一种以 BaSO_4 为主要成分的天然矿石,经过机械加工后而制成的灰白色粉末状产品。它不溶于水、有机溶剂、酸和碱的溶液,只能少量溶于浓硫酸。按照 API 标准,其密度应达到 4.2g/cm^3 ,粉末细度要求通过 200 目筛网时的筛余量小于 3.0%。重晶石粉一般用于加重密度不超过 2.30g/cm^3 的水基和油基钻井液,它是目前应用最广泛的一种钻井液加重剂。

2. 石灰石粉

石灰石粉的主要成分为 CaCO_3 ,密度为 $2.7\sim 2.9\text{g/cm}^3$,易与盐酸等无机酸类发生反应,生成 CO_2 、 H_2O 和可溶性盐,因而适于在非酸敏性而又需进行酸化作业的产层中使用,以减轻钻井液对产层的损害。但由于其密度较低,一般只能用于配制密度不超过 1.68g/cm^3 的钻井液和完井液。

3. 铁矿粉和钛铁矿粉

铁矿粉的主要成分为 Fe_2O_3 ,密度 $4.9\sim 5.3\text{g/cm}^3$,钛铁矿粉的主要成分为 $\text{TiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$,密度 $4.5\sim 5.3\text{g/cm}^3$,均为棕色或黑褐色粉末。因它们的密度均大于重晶石,故可用于配制密度更高的钻井液。此外,由于铁矿粉和钛铁矿粉均具有一定的酸溶性,因此可应用于需要进行酸化的产层。由于这两种加重材料的硬度约为重晶石的两倍,因此耐研磨,在使用中颗粒尺寸保持较好,损耗率较低,但对钻具、钻头和泵的磨损较为严重。铁矿粉是我国用量仅次于重晶石的钻井液加重材料。

4. 方铅矿粉

方铅矿粉是一种主要成分为 PbS 的天然矿石粉末,一般呈黑褐色。由于其密度高达 $7.4\sim 7.7\text{g/cm}^3$,因而可用于配制超高密度钻井液,以控制地层出现的异常高压。由于该加重剂的成本高、货源少,一般仅限于在地层孔隙压力极高的特殊情况下使用。

5. 甲酸盐类

将甲酸与氢氧化钠或氢氧化钾在高温高压条件下进行反应,可生成甲酸钠、甲酸钾等盐类。利用这些甲酸盐配制而成的水基钻井液称为甲酸盐钻井液。甲酸钠和甲酸钾饱和溶液的密度分别为 1.34g/cm^3 和 1.60g/cm^3 ,因而所配制的甲酸盐钻井液具有较宽的密度范围。如需更高密度,还可使用甲酸铯钻井液,其最高密度可达 2.3g/cm^3 。由于不需另添加膨润土,因此非常适于配制无固相或低固相钻井液与完井液。甲酸钠分子式为 HCOONa ,相对分子质量为 67.9956,密度 1.42g/cm^3 ,熔点 253°C (分解温度),易溶于水,能溶于乙醇,无毒、无腐蚀性;其有还原性,能与强氧化剂反应;易潮解、易结块,结块后不改变产品的特性。甲酸钾分子式为 HCOOK ,相对分子质量为 84.11,密度 1.91g/cm^3 ,熔点 $165\sim 168^\circ\text{C}$,外观为纯白色细小结晶体,易溶于水,且溶解速度极快,极易吸潮;具有还原性,能与强氧化剂反应,无毒无腐蚀。甲酸铯分子式为 HCOOCs ,相对分子质量为 177.92,无色半透明溶液,密度 2.23g/cm^3 (24.5°C),相对黏度(水的黏度 $0.9111\text{mPa}\cdot\text{s}$, 24°C) $3.1\text{mPa}\cdot\text{s}$ (24°C),沸点 123°C ,凝固点 -50°C ,pH 值 6.0 ± 0.5 。由于甲酸铯在水中溶解度大、溶液密度大,溶液黏度比相同密度的其他溶液小得多。使用甲酸铯作为完井液和钻井液的加重剂,更有利于降