



“九五” 中国石油天然气集团公司级重点教材

钻井液工艺学

鄢捷年 主编

石油大学出版社

钻井液工艺学

鄢捷年 主编

石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

钻井液工艺学/鄢捷年主编. —东营:石油大学出版社,2001.5(2003.3重印)
ISBN 7-5636-1369-2

I. 钻… II. 鄢… III. 钻井液-高等学校-教材
IV. TE254

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第01507号

书 名:钻井液工艺学
作 者:鄢捷年

责任编辑:何 峰(电话 0546—8392565)
封面设计:傅荣治

出版者:石油大学出版社(山东 东营,邮编 257061)
网 址:<http://sunctr.hdpu.edu.cn>
电子信箱:sanbian@mail.hdpu.edu.cn
印刷者:山东沂南印刷总厂
发 行 者:石油大学出版社(电话 0546—8392563)
开 本:170×225 印张:27.5 字数:523千字
版 次:2001年5月第1版 2003年3月第1版第2次印刷
印 数:2001—4000册
定 价:33.00元

前 言

《钻井液工艺学》主要是为石油高等院校石油工程专业四年制本科生和相关专业研究生编写的教材,也可作为石油钻井工程的现场技术人员、管理人员和有关科研院所研究人员的参考书。

当前,我国的石油工程专业正在深化教学改革,对专业课程教学内容的改革是其中重要的组成部分。在学时调整并逐步向素质教育转变的新形势下,对新编教材的质量提出了更高的要求。本教材力求用比较精练的语言,准确地阐述钻井液工艺的基本原理及技术要点,以便使学生通过课堂教学和自学,能在较短时间内达到教学计划的要求。本教材的特点是理论联系实际,并尽力反映该项工艺技术的近期研究成果和技术进展。为了与国际接轨,还适量地吸收了国外同类教材的部分内容。

本书共有十一章。其主要内容包括:钻井液概论、粘土矿物和粘土胶体化学基础、钻井液的流变性、钻井液的滤失和润滑性能、钻井液配浆材料与处理剂、水基钻井液、油基钻井液、钻井液固相控制、对付井下复杂情况的钻井液技术、保护油气层的钻井液技术和国内外钻井液技术新进展等。

本书的第一、三、七、八、十章由鄢捷年编写;第二章由李健鹰编写;第四章由张琰编写;第五章由赵雄虎和鄢捷年编写;第六章第一、二、三、六节由鄢捷年编写,第四、五节由侯万国编写;第九章由徐同台编写;第十一章由张琰、徐同台和鄢捷年编写。全书由鄢捷年负责统稿。在编写过程中得到徐同台、樊世忠和潘世奎等专家的热心指导,并由樊世忠教授主审,在此向他们表示衷心的感谢。

限于编者的水平,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2000年8月

内 容 提 要

本书是“九五”中国石油天然气集团公司级重点教材,共十一章。书中较全面地阐述了现代钻井液工艺涉及的基本原理和技术要点,并尽力反映国内外钻井液工艺的近期研究成果和技术进展。主要内容有:钻井液概论、粘土矿物和粘土胶体化学基础、钻井液的流变性、钻井液的滤失和润滑性能、钻井液配浆材料与处理剂、水基钻井液、油基钻井液、钻井液固相控制、对付井下复杂情况的钻井液技术和保护油气层的钻井液技术等。

本书对从事石油钻井工程的现场技术人员、管理人员和有关科研院所的研究人员也具有一定的参考价值。



目 录

第一章 钻井液概论	(1)
第一节 钻井液的功用、类型和组成	(1)
第二节 钻井液性能及其测试	(6)
第三节 钻井液技术的发展概况	(18)
第二章 粘土矿物和粘土胶体化学基础	(26)
第一节 粘土矿物的晶体构造与性质	(26)
第二节 粘土胶体化学基础	(43)
第三章 钻井液的流变性	(57)
第一节 流体的基本流型及其特点	(57)
第二节 钻井液流变参数的测量与调控	(63)
第三节 钻井液流变性与钻井作业的关系	(78)
第四章 钻井液的滤失和润滑性能	(89)
第一节 钻井液滤失量的影响因素	(89)
第二节 钻井液滤失性能的调整与控制	(101)
第三节 钻井液的润滑性能	(105)
第五章 钻井液配浆材料与处理剂	(116)
第一节 钻井液配浆原材料	(117)
第二节 无机处理剂	(121)
第三节 有机处理剂	(127)
第六章 水基钻井液	(149)
第一节 分散钻井液	(149)
第二节 钙处理钻井液	(158)
第三节 盐水钻井液	(166)
第四节 聚合物钻井液	(173)
第五节 正电胶钻井液	(206)
第六节 抗高温深井水基钻井液	(222)
第七章 油基钻井液	(236)
第一节 油基钻井液的组成与性能	(237)
第二节 活度平衡的油包水乳化钻井液	(252)

第三节	低毒油包水乳化钻井液·····	(261)
第八章	钻井液固相控制·····	(271)
第一节	固控设备概述·····	(271)
第二节	固控工艺及原理·····	(280)
第三节	钻井液中固相含量的测定与计算·····	(290)
第四节	固相控制的经济分析·····	(295)
第九章	对付井下复杂情况的钻井液技术·····	(307)
第一节	井壁不稳定的机理和对策·····	(307)
第二节	防漏与堵漏·····	(348)
第三节	井喷的预防与处理·····	(360)
第四节	卡钻的预防与解除·····	(365)
第十章	保护油气层的钻井液技术·····	(373)
第一节	保护油气层技术概论·····	(373)
第二节	保护油气层的钻井液类型及其应用·····	(387)
第十一章	国内外钻井液技术新进展·····	(401)
主要参考文献	·····	(434)

第一章 钻井液概论

第一节 钻井液的功用、类型和组成

一、钻井液的功用

钻井液(Drilling Fluids)是指油气钻井过程中以其多种功能满足钻井工作需要的各种循环流体的总称。钻井液又称做钻井泥浆(Drilling Muds),或简称为泥浆(Muds)。钻井液的循环是通过泥浆泵来维持的。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,在到达地面后经排出管线流入泥浆池,再经各种固控设备进行处理后返回上水池,最后进入泥浆泵循环再用。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。钻井液最基本的功用有以下几点:

1. 携带和悬浮岩屑

钻井液首要和最基本的功用,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温下旋转并破碎岩层,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,钻井液由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。

二、钻井液的类型

随着钻井液工艺技术的不断发展,钻井液的种类越来越多。目前,国内外对钻井液有各种不同的分类方法。其中较简单的分类方法有以下几种:

按其密度大小可分为非加重钻井液和加重钻井液。

按与粘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。

按其固相含量的不同,将固相含量较低的叫作低固相钻井液,基本不含固相的叫作无固相钻井液。

然而,一般所指的分类方法是按钻井液中流体介质和体系的组成特点来进行分类的。根据流体介质的不同,总体上分为水基钻井液、油基钻井液和气体型钻井流体等三种类型,近期又出现了一类合成基钻井液。更具体一些,可分为如图1-1所示的7种类型。

由于水基钻井液在实际应用中一直占据着主导地位,根据体系在组成上的不同又将其分为若干种类型。下面是在参考国外钻井液分类标准的基础上,在国内得到认可的各种钻井液类型。

1. 分散钻井液(Dispersed Drilling Fluids)

分散钻井液是指用淡水、膨润土和各种对粘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。它是一类使用历史较长、配制方法较简

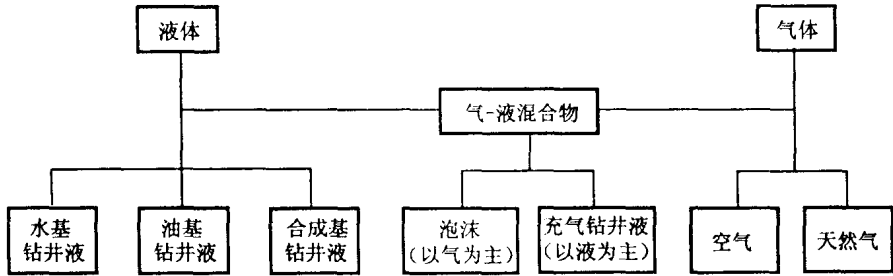


图 1-1 钻井液分类

单且配制成本较低的常用钻井液。其主要特点是：

- (1) 可容纳较多的固相,较适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,适于在深井和超深井中使用。但与其它钻井液类型相比,它也有一些缺点。除抑制性和抗污染能力较差外,还因体系中固相含量高,对提高钻速和保护油气层均有不利的影响。

2. 钙处理钻井液(Calcium-treated Drilling Fluids)

钙处理钻井液的组成特点是体系中同时含有一定浓度(质量浓度)的 Ca^{2+} 和分散剂。 Ca^{2+} 通过与水化作用很强的钠膨润土发生离子交换,使一部分钠膨润土转变为钙膨润土,从而减弱水化的程度。分散剂的作用是防止 Ca^{2+} 引起体系中的粘土颗粒絮凝过度,使其保持在适度絮凝的状态,以保证钻井液具有良好、稳定的性能。这类钻井液的特点是,抗盐、钙污染的能力较强;并且对所钻地层中的粘土有抑制其水化分散的作用,因此可在一定程度上控制页岩坍塌和井径扩大,同时能减轻对油气层的损害。

3. 盐水钻井液(Saltwater Drilling Fluids)

盐水钻井液是用盐水(或海水)配制而成的。在含盐量从 1%(Cl^- 质量浓度为 6 000 mg/l)直至饱和(Cl^- 质量浓度为 189 000 mg/l)之前的整个范围内都属于此种类型。盐水钻井液也是一类对粘土水化有较强抑制作用的钻井液。

4. 饱和盐水钻井液(Saturated Saltwater Drilling Fluids)

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钻其它水基钻井液难以对付的大段岩盐层和复杂的盐膏层,也可作为完井液和修井液使用。

5. 聚合物钻井液(Polymer Drilling Fluids)

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。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,与此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。其主要优点表现在:

(1) 钻井液密度和固相含量低,因而钻进速度可明显提高,对油气层的损害程度也较小。

(2) 剪切稀释特性强。在一定泵排量下,环空流体的粘度、切力较高,因此具有较强的携带岩屑的能力;而在钻头喷嘴处的高剪切速率下,流体的流动阻力较小,有利于提高钻速。

(3) 聚合物处理剂具有较强的包被和抑制分散的作用,因此有利于保持井壁稳定。因此,自 20 世纪 70 年代以来,该类钻井液一直在国内外得到十分广泛的应用,并且其工艺技术不断得到完善和发展。

6. 钾基聚合物钻井液(Potassium-based Polymer Drilling Fluids)

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,以 KCl 抑制粘土水化分散的效果为最好;而聚合物处理剂的存在使该类钻井液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,使用它可以取得比较理想的防塌效果。

7. 油基钻井液(Oil-based Drilling Fluids)

以油(通常使用柴油或矿物油)作为连续相的钻井液称做油基钻井液。目前含水量在 5% 以下的普通油基钻井液已较少使用,而主要使用油水比在(50~80):(50~20)范围内的油包水乳化钻井液。与水基钻井液相比较,油基钻井液的主要特点是能抗高温,有很强的抑制性和抗盐、钙污染的能力,润滑性好,并可有效地减轻对油气层的损害等。因此,使用该类钻井液已成为钻深井、超深井、大位移井、水平井和各种复杂地层的重要手段之一。但另一方面,由于其配制成本较高,以及使用时会对环境造成一定污染,因而使其应用受到一定的限制。

8. 合成基钻井液(Synthetic Drilling Fluids)

合成基钻井液是以合成的有机化合物作为连续相,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。由于使用无毒并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柴油,因此这类钻井液既保持了油基钻井液的各种优良特性,同时又能大大减轻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。

9. 气体型钻井流体(Gas-typed Drilling Fluids)

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。通常又将气体型钻井流体分为以下 4 种类型:

(1) 空气或天然气钻井流体(Air/Natural Gas Drilling Fluids)

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,以保证能达到将全部钻屑从井底携至地面的环空流速。

(2) 雾状钻井流体(Mist Gas Drilling Fluids)

即少量液体分散在空气介质中所形成的雾状流体。它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(Foam Drilling Fluids)

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(Aerated Drilling Fluids)

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。显然,混入的气体越多,钻井液密度越低。

10. 保护油气层的钻井液(Drilling-in Fluids)

这是指在储层中钻进时使用的一类钻井液。当一口井钻达其目的层时,所设计的钻井液不仅应能满足钻井工程和地质的要求,而且还应满足保护油气层的需要。比如,钻井液密度和流变参数应调整至合理范围,滤失量应尽可能低,所选用的处理剂应与油气层相配伍,以及选用适合的暂堵剂等。

三、钻井液的组成

水基钻井液是由膨润土(Bentonite)、水(或盐水)、各种处理剂、加重材料以及钻屑所组成的多相分散体系。其中膨润土和钻屑的平均密度均为 2.6 g/cm^3 ,通常称它们为低密度固相;而加重材料常被称为高密度固相。最常用的加重材料为 API 重晶石,其密度为 4.2 g/cm^3 。由于在水基钻井液中膨润土是最常用的配浆材料,在其中主要起提粘切、降滤失和造壁等作用,因而又将它和重晶石等加重材料称做有用固相,而将钻屑称做无用固相。在钻井液中,应通过各种固控措施尽量减少钻屑的含量,膨润土的用量也应以够用为度,不宜过大,否则会造成钻井液粘切过高,还会严重影响机械钻速,并对保护油气层产生不利影响。

油基钻井液是以水滴为分散相,油为连续相,并添加适量乳化剂、润湿剂、亲油的固体处理剂(有机土、氧化沥青等)、石灰和加重材料等所形成的乳状液体系。

图 1-2 和图 1-3 分别表示密度为 1.32 g/cm^3 的水基和油基钻井液的典型组成。

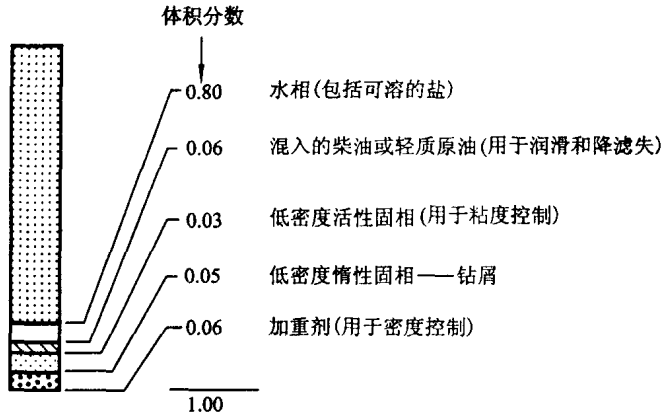


图 1-2 水基钻井液的典型组成($\rho = 1.32 \text{ g/cm}^3$)

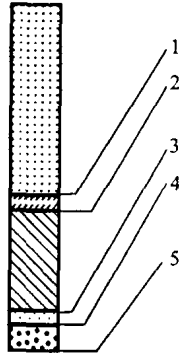


图 1-3 油基钻井液的典型组成($\rho = 1.32 \text{ g/cm}^3$)

1—柴油, 体积百分数为 0.54; 2— CaCl_2 或 NaCl , 体积百分数为 0.04; 3—水, 体积百分数为 0.30; 4—低密度固体(粘土、钻屑、不溶性添加剂等), 体积百分数为 0.03; 5—高密度固体, 体积百分数为 0.09

第二节 钻井液性能及其测试

按照 API 推荐的钻井液性能测试标准, 需检测的钻井液常规性能包括: 密度、漏斗粘度、塑性粘度、动切力、静切力、API 滤失量、HTHP 滤失量、pH 值、碱度、含砂量、固相含量、膨润土含量和滤液中各种离子的质量浓度等。

一、钻井液密度

钻井液的密度是指每单位体积钻井液的质量, 常用 g/cm^3 (或 kg/m^3) 表示。在钻井工程上, 钻井液密度和泥浆比重 (Mud Weight) 是两个等同的术语。其英制单位通常为 lbm/gal (即磅/加仑, 或写做 ppg), 1 g/cm^3 等于 8.33 lbm/gal 。钻井液密度是确保安全、快速钻井和保护油气层的一个十分重要的参数。通过钻井液密度的变化, 可调节钻井液在井筒内的静液柱压力, 以平衡地层孔隙压力。有

时亦用于平衡地层构造应力,以避免井塌的发生。如果密度过高,将引起钻井液过度增稠、易漏失、钻速下降、对油气层损害加剧和钻井液成本增加等一系列问题;而密度过低则容易发生井涌甚至井喷,还会造成井塌、井径缩小和携屑能力下降。因此,在一口井的钻井工程设计中,必须准确、合理地确定不同井段钻井液的密度范围,并在钻进过程中随时进行检测和调整。

钻井液密度是用一种专门设计的钻井液比重秤(Mud Balance)测得的,比重秤的外观如图 1-4 所示。测定时,首先在泥浆杯中盛满钻井液,盖上计量盖,然后用棉纱擦净从计量盖小孔溢出的钻井液。再将比重秤刀口放置在底座的刀垫上,不断移动游码,直至水平泡位居两条线的中央。此时游码左侧的刻度即表示所测量钻井液的密度。

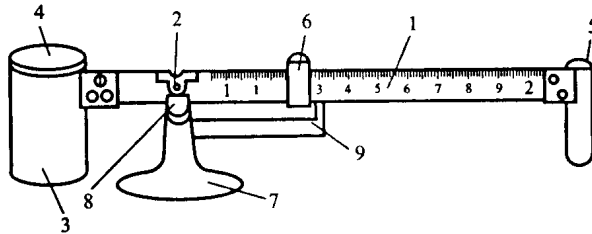


图 1-4 钻井液比重秤构造图

1—秤杆;2—主刀口;3—泥浆杯;4—杯盖;5—校正筒;6—游码;
7—底座;8—主刀垫;9—挡壁

加入重晶石等加重材料是提高钻井液密度最常用的方法。在加重前,应调整好钻井液的各种性能,特别要严格控制低密度固相的含量。一般情况下,所需钻井液密度越高,则加重前钻井液的固相含量及粘度、切力应控制得越低。加入可溶性无机盐也是提高密度较常用的方法。如在保护油气层的清洁盐水钻井液中,通过加入 NaCl,可将钻井液密度提高至 1.20 g/cm^3 左右。

为实现平衡压力钻井或欠平衡压力钻井,有时需要适当降低钻井液的密度。通常降低密度的方法有以下几种:(1)最主要的方法是用机械和化学絮凝的方法清除无用固相,降低钻井液的固相含量。(2)加水稀释。但往往会增加处理剂用量和钻井液费用。(3)混油。但有时会影响地质录井和测井解释。(4)钻低压油气层时可选用充气钻井液等。

二、钻井液的流变性

钻井液的流变性(Rheological Properties of Drilling Fluids)是指钻井液流动和变形的特性。该特性通常是由不同的流变模式及其参数来表征的,最常用的流变模式为宾汉和幂律模式。其中宾汉模式的参数为塑性粘度(Plastic Viscosity)和动切力(Yield Point);幂律模式的参数为流性指数(Flow Behavior Index)

和稠度系数(Consistency Index)。此外,漏斗粘度(Funnel Viscosity)、表观粘度(Apparent Viscosity)和静切力(Gel Strength)等也是钻井液的重要流变参数。由于钻井液的流变性与携岩、井壁稳定、提高机械钻速和环空水力参数计算等一系列钻井工作密切相关,因此它是钻井液最重要的性能之一。有关内容将在第三章中作详细讨论。

三、钻井液的滤失造壁性

在钻井过程中,当钻头钻过渗透性地层时,由于钻井液的液柱压力一般总是大于地层孔隙压力,在压差作用下,钻井液的液体便会渗入地层,这种特性常称为钻井液的滤失性(Filtration Properties of Drilling Fluids)。在液体发生渗滤的同时,钻井液中的固相颗粒会附着并沉积在井壁上形成一层泥饼(Mud Cake)。随着泥饼的逐渐加厚以及在压差作用下被压实,会对裸眼井壁有效地起到稳定和保护作用,这就是钻井液的所谓造壁性。由于泥饼的渗透率远远小于地层的渗透率,因而形成的泥饼还可有效地阻止钻井液中的固相和滤液继续侵入地层。在钻井液工艺中,通常用一个重要参数——滤失量(Water Loss or Filtration Rate)来表征钻井液的渗滤速率。钻井液的滤失性也是钻井液最重要的性能之一,有关内容将在第四章中详述。

四、钻井液的 pH 值和碱度

1. 钻井液的 pH 值

通常用钻井液滤液的 pH 值表示钻井液的酸碱性。由于酸碱性的强弱直接与钻井液中粘土颗粒的分散程度有关,因此会在很大程度上影响钻井液的粘度、切力和其它性能参数。图 1-5 表示经预水化的膨润土基浆(其中膨润土含量为 57.1 kg/m^3)的表观粘度随 pH 值的变化。由图可知,当 pH 值大于 9 时,表观粘度随 pH 值升高而剧增。其原因是当 pH 值升高时,会有更多 OH^- 被吸附在粘土晶层的表面,进一步增强表面所带的负电性,从而在剪切作用下使粘土更容易水化分散。在实际应用中,大多数钻井液的 pH 值要求控制在 8~11 之间,即维持一个较弱的碱性环境。这主要是由于有以下几方面的原因:(1) 可减轻对钻具的腐蚀;(2) 可预防因氢脆而引起的钻具和套管的损坏;(3) 可抑

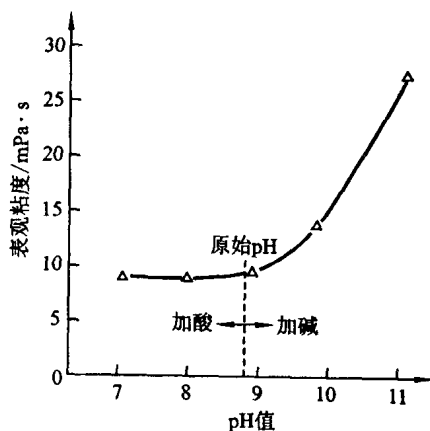


图 1-5 pH 值对膨润土基浆表观粘度的影响

制钻井液中钙、镁盐的溶解；(4) 有相当多的处理剂需在碱性介质中才能充分发挥其效能，如丹宁类、褐煤类和木质素磺酸盐类处理剂等。

对不同类型的钻井液，所要求的pH值范围也有所不同。例如，一般要求分散钻井液的pH值在10以上，含石灰的钙处理钻井液的pH值多控制在11~12，含石膏的钙处理钻井液的pH值多控制在9.5~10.5，而在许多情况下聚合物钻井液的pH值只要求控制在7.5~8.5。

烧碱(即工业用NaOH)是调节钻井液pH值的主要添加剂，有时也使用纯碱(Na_2CO_3)和石灰。在常温下它们的水溶液具有以下pH值：10% NaOH溶液， $\text{pH} = 12.9$ ；10% Na_2CO_3 溶液， $\text{pH} = 11.1$ ； $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 饱和溶液， $\text{pH} = 12.1$ 。

通常使用pH试纸测量钻井液的pH值。如要求的精度较高时，可使用pH计。

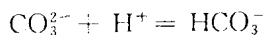
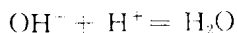
2. 钻井液的碱度

由于使钻井液维持碱性的无机离子除了 OH^- 外，还可能有 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 等离子，而pH值并不能完全反映钻井液中这些离子的种类和质量浓度。因此在实际应用中，除使用pH值外，还常使用碱度(Alkalinity)来表示钻井液的酸碱性。引入碱度参数主要有两点好处：一是由碱度测定值可以较方便地确定钻井液滤液中 OH^- 、 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 等三种离子的含量，从而可判断钻井液碱性的来源；二是可以确定钻井液体系中悬浮石灰的量(即储备碱度)。

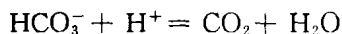
碱度是指溶液或悬浮体对酸的中和能力。为了建立统一的标准，API选用酚酞和甲基橙两种指示剂来评价钻井液及其滤液碱性的强弱。酚酞的变色点为 $\text{pH} = 8.3$ 。在进行滴定的过程中，当pH值降至该值时，酚酞即由红色变为无色。因此，能够使pH值降至8.3所需的酸量被称做酚酞碱度(Phenolphthalein Alkalinity)。钻井液及其滤液的酚酞碱度分别用符号 P_m 和 P_f 表示。甲基橙的变色点为 $\text{pH} = 4.3$ 。当pH值降至该值时，甲基橙由黄色转变为橙红色。能使pH值降至4.3所需的酸量，则被称做甲基橙碱度(Methyl Orange Alkalinity)。钻井液及其滤液的甲基橙碱度分别用符号 M_m 和 M_f 表示。

按API推荐的试验方法，要求对 P_m 、 P_f 和 M_f 分别进行测定。并规定，以上三种碱度的值，均以滴定1 ml样品(钻井液或其滤液)所需0.02 N(0.01 M) H_2SO_4 的毫升数来表示，毫升单位常可省略。

由测出的 P_f 和 M_f 可计算出钻井液滤液中 OH^- 、 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 的浓度。其根据在于，当 $\text{pH} = 8.3$ 时，以下反应已基本进行完全：



而存在于溶液中的 HCO_3^- 不参加反应。当继续用 H_2SO_4 溶液滴定至 $\text{pH} = 4.3$ 时， HCO_3^- 与 H^+ 的反应也已基本上进行完全，即



若测得的结果为 $M_t = P_t$, 表示滤液的碱性完全由 OH^- 所引起; 若测得的 $P_t = 0$, 表示碱性完全由 HCO_3^- 引起; 如果 $M_t = 2P_t$, 则表示滤液中只含有 CO_3^{2-} 。显然, 以上情况是比较特殊的。在一般情况下, 钻井液滤液中这三种离子的质量浓度可按表 1-1 中的有关公式进行计算。但需注意, 有时钻井液滤液中存在某些易与 H^+ 起反应的其它无机离子(如 SiO_3^{2-} 、 PO_4^{3-} 等)和有机处理剂, 这样会使 M_t 和 P_t 的测定结果产生一定误差。

表 1-1 P_t 、 M_t 值与离子浓度之间的关系

条 件	$[\text{OH}^-]/\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	$[\text{CO}_3^{2-}]/\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	$[\text{HCO}_3^-]/\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$
$P_t = 0$	0	0	1 220 M_t
$2 P_t < M_t$	0	1 220 P_t	1 220($M_t - 2P_t$)
$2 P_t = M_t$	0	1 220 P_t	0
$2 P_t > M_t$	340($2 P_t - M_t$)	1 220($M_t - P_t$)	0
$P_t = M_t$	340 M_t	0	0

测定碱度的另一目的是根据测得的 P_t 和 P_m 值, 确定钻井液中悬浮固相的储备碱度(Reserve Alkalinity)。所谓储备碱度, 主要是指未溶石灰构成的碱度。当 pH 值降低时, 石灰会不断溶解, 这样一方面可为钙处理钻井液不断地提供 Ca^{2+} , 另一方面有利于使钻井液的 pH 值保持稳定。钻井液的储备碱度通常用体系中未溶 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的含量表示, 其计算式为

$$\text{储备碱度}(\text{kg}/\text{m}^3) = 0.742(P_m - f_w P_t) \quad (1-1)$$

式中 f_w ——钻井液中水的体积分数。

例 1-1 对某种钙处理钻井液的碱度测定结果为: 用 0.02 N(0.01 M) H_2SO_4 滴定 1.0 ml 钻井液滤液, 需 1.0 ml H_2SO_4 达到酚酞终点, 1.1 ml H_2SO_4 达到甲基橙终点。再取钻井液样品, 用蒸馏水稀释至 50 ml, 使悬浮的石灰全部溶解。然后用 0.02 N(0.01 M) H_2SO_4 进行滴定, 达到酚酞终点所消耗的 H_2SO_4 为 7.0 ml。已知钻井液的总固相含量为 10%, 油的含量为 0, 试计算钻井液中悬浮 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的量。

解: 悬浮 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的量即钻井液的储备碱度。根据碱度测定结果可知, $P_t = 1.0$, $M_t = 1.1$, $P_m = 7.0$, $f_w = 1 - 0.10 = 0.90$ 。由式(1-1)可求得:

$$\text{悬浮 } \text{Ca}(\text{OH})_2 \text{ 的量} = 0.742 [7.0 - (0.90) \cdot (1.0)] = 4.526 (\text{kg}/\text{m}^3)$$

根据现场经验, 钙处理钻井液中悬浮石灰的量一般保持在 $3 \sim 6 \text{ kg}/\text{m}^3$ 范围内较为适宜, 可见该钻井液中所保持的量合乎要求。由于该例中测得的 P_t 和 M_t 值十分接近, 表明滤液中 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 几乎不存在, 滤液的碱性主要是由于