



石油高职高专规划教材

钻井液工艺技术

周金葵 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

内 容 提 要

本书系统地阐述了在油气钻井过程中,钻井液工艺技术及相关的基础知识,包括粘土胶体化学基础、钻井液的流变性、钻井液的滤失和润滑性、钻井液的性能及测量、无机处理剂、有机处理剂、水基钻井液、油基钻井液、钻井液固相控制、一口井的钻井液工作、井下复杂情况的钻井液技术、完井液与保护油气层技术等内容。

本书是石油高职高专院校油田化学专业、钻井技术专业、石油工程技术专业和油气开采技术专业教学用书,也可以作为石油中职学校教学用书和钻井液高级工、钻井高级工、钻井技师教育和培训用书,现场钻井液技术人员及相关人员学习、工作参考书。

图书在版编目(CIP)数据

钻井液工艺技术/周金葵主编.

北京:石油工业出版社,2009.2

石油高职高专规划教材

ISBN 978-7-5021-6888-9

I. 钻…

II. 周…

III. 钻井液-高等学校:技术学校-教材

IV. TE254

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 177894 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. com. cn

编辑部:(010)64523574 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:14.75

字数:373 千字

定价:24.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

2007年6月,石油工业出版社组织石油高职院校从事钻井液课程教学的教师讨论了“钻井液工艺技术”教学大纲,本书是依据该大纲进行编写的,全书共分为12章。鉴于有些院校还没有单独开设油气层保护技术课程,教材中第十二章完井液与保护油气层技术,可供这些院校或相关培训教育选讲。

本书的特点是适应高职高专教学改革需要,结合基于岗位任务的课程体系建设和课程改革,侧重高技能人才必须掌握的钻井液基本理论、基础知识和基本技能,将原来单独设置的钻井化学中的表面现象和胶体等内容整合到粘土胶体化学性质一章中;将高分子溶液和表面活性剂及其应用整合到有机处理剂一章;将钻井液性能测定部分集中编写,方便课程进程安排和集中实训。针对高等职业教育是培养具有一定专业理论知识的高技能人才这一目标,考虑行业的特殊性,现场实际操作技能必须通过现场顶岗实习获得,所以本书必须和专业实习教材配合使用。

本书适用于石油钻井技术专业、石油工程技术专业、油气开采技术专业的钻井液课程理论教学和校内实践教学,也可以作为钻井液高级工、钻井高级工、钻井技师教育和培训的钻井液教学用书。

本书由周金葵(大庆职业学院)任主编,毛建华(渤海石油职业学院)、唐丽(克拉玛依职业技术学院)、苗崇良(辽河石油职业技术学院)任副主编。

本书由毛建华编写绪论和第七章,辛治国(大庆职业学院)编写第一章,李进良(克拉玛依职业技术学院)编写第二章,张玉蝶(辽河石油职业技术学院)编写第三章,苗崇良编写第四章和第十一章,唐丽编写第五章和第九章,周金葵编写第六章,王增才(天津工程职业技术学院)编写第八章和第十章,郑世红(大庆职业学院)编写第十二章。全书由周金葵统稿,中国石油长城钻探工程有限公司张玉平主审。

在本书编写过程中借鉴了许多国内钻井液领域专家和技术人员的成果以及中国钻井网上的信息和资料,在此表示衷心感谢。

本书在编写指导思想上力求体现高职教育的特点,但是,由于编者水平有限,书中缺点错误在所难免,殷切希望广大师生和读者提出宝贵意见。

编者

2008年9月

目 录

绪 论	(1)
第一节 钻井液的组成和分类	(1)
第二节 钻井液的基本功用	(5)
第三节 钻井液技术的发展	(6)
第四节 本课程的性质、任务和要求	(8)
复习思考题	(9)
第一章 粘土胶体化学基础	(10)
第一节 粘土矿物的晶体构造与性质	(10)
第二节 表面现象	(15)
第三节 粘土—水分散体系的电学性质	(24)
第四节 粘土的水化和分散	(27)
复习思考题	(33)
第二章 钻井液的流变性	(34)
第一节 流体流动的基本流型	(34)
第二节 钻井液流变性与钻井作业的关系	(40)
复习思考题	(44)
第三章 钻井液的滤失和润滑性	(46)
第一节 钻井液的滤失与造壁性	(46)
第二节 钻井液的润滑性能	(53)
复习思考题	(56)
第四章 钻井液的性能及测量	(57)
第一节 钻井液流变参数的测量与计算	(57)
第二节 钻井液的滤失与造壁性测量	(63)
第三节 钻井液的 pH 值和碱度	(65)
第四节 钻井液密度和含砂量	(67)
第五节 钻井液固相含量及测量	(70)
第六节 钻井液润滑性能评价方法	(74)
复习思考题	(75)
第五章 无机处理剂	(76)
第一节 常用的无机处理剂	(76)
第二节 无机处理剂作用机理	(81)

复习思考题	(82)
第六章 有机处理剂	(83)
第一节 高分子溶液	(83)
第二节 降滤失剂	(89)
第三节 降粘剂	(98)
第四节 增粘剂	(100)
第五节 页岩抑制剂	(101)
第六节 高聚物絮凝剂	(107)
第七节 表面活性剂	(110)
复习思考题	(117)
第七章 水基钻井液	(119)
第一节 细分散钻井液	(119)
第二节 钙处理钻井液	(123)
第三节 盐水钻井液	(127)
第四节 聚合物钻井液	(130)
第五节 MMH 正电胶钻井液	(138)
第六节 抗高温深井水基钻井液	(142)
第七节 水包油乳化钻井液	(150)
第八节 新水基钻井液体系简介	(152)
复习思考题	(157)
第八章 油基钻井液	(158)
第一节 油包水乳化钻井液的组成与性能	(158)
第二节 活度平衡的油包水乳化钻井液	(163)
第三节 低毒油包水乳化钻井液和合成基钻井液	(164)
复习思考题	(166)
第九章 钻井液固相控制	(167)
第一节 常用固控设备	(167)
第二节 钻井液固控工艺	(174)
复习思考题	(177)
第十章 一口井的钻井液工作	(178)
第一节 钻井各阶段的钻井液工作	(178)
第二节 特殊工艺对钻井液性能要求	(188)
第三节 井场钻井液安全管理	(191)
复习思考题	(192)
第十一章 井下复杂情况的钻井液技术	(193)
第一节 井壁不稳定机理及钻井液技术	(193)
第二节 其他复杂情况下的钻井液技术	(198)

复习思考题 (208)

第十二章 完井液与保护油气层技术 (210)

第一节 储层损害的评价方法简介 (210)

第二节 油气层损害机理分析 (214)

第三节 打开油气层的钻井液技术 (218)

复习思考题 (222)

附录 钻井液相关用表 (223)

附表一 钻井液配方及性能一览表 (223)

附表二 钻井液班报表 (224)

附表三 钻井液材料用量设计表 (226)

参考文献 (227)

绪 论

钻井液是指在油气钻井过程中,以其多种功能满足钻井工作需要的各种循环流体的总称。钻井液俗称钻井泥浆或泥浆。钻井液工艺技术是油气钻井工程的重要组成部分,是实现健康、安全、快速、高效钻井及保护油气层、提高油气产量的重要保证。

第一节 钻井液的组成和分类

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分散体。比如,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。

二、分散体系的分类

分散体系是指一种或多种物质分散在另一种物质中所形成的体系。被分散的物质称为分散相(不连续相),另一种物质称为分散介质(连续相)。热力学上把体系中物理性质和化学性质完全相同的均匀部分称为相。相与相之间有明显的相界面。例如,膨润土颗粒分散在水中,膨润土颗粒为分散相,水为分散介质,粘土颗粒和水之间有明显的分界面;水滴分散在油中,水是分散相,油是分散介质,水滴和油之间有明显的分界面。

1. 按分散相颗粒的大小分类

(1) 分子分散体系。

分子分散体系是指溶质以小分子、原子或离子状态分散在溶剂中形成的体系,没有界面,是均匀的单相,其粒子直径大小在 1nm 以下。通常把这种体系称为真溶液。

(2) 胶体分散体系。

胶体分散体系是指分散相颗粒的直径大于 100nm 的分散体系。目测是均匀的,但实际是多相不均匀体系(也有将分散相颗粒的直径在 $1 \sim 1000\text{nm}$ 之间的颗粒归入胶体范畴),如 AgI 溶胶。

(3) 粗分散体系。

粗分散体系是指当分散相颗粒的直径大于 100nm ,目测是混浊不均匀体系,放置后会沉淀或分层,如浑浊的河水。

2. 按分散相和分散介质聚集状态分类

通常按分散介质的聚集状态来描述分散体系的类型。

(1) 液溶胶。

液体和固体组成的液—固溶胶,如油漆、 AgI 溶胶;互不相溶液体组成的液—液溶胶,如牛

奶、原油等乳状液；液体和气体组成的液—气溶胶，如泡沫。

(2) 固溶胶。

固—固溶胶，如有色玻璃，不完全互溶的合金；固—液溶胶，如珍珠、某些宝石；固—气溶胶，如泡沫塑料、沸石分子筛。

(3) 气溶胶。

气—固溶胶，如烟、含尘的空气；气—液溶胶，如雾、云。不同的气体混合后是单相均一体系，没有相界面，所以不存在气—气溶胶。

3. 按胶体溶液的稳定性分类

以往曾按胶体溶液的稳定性将胶体分为憎液溶胶和亲液溶胶。

憎液溶胶是直径在 1 ~ 100nm 之间的难溶物固体颗粒分散在液体介质中形成的分散体系，一旦将介质蒸发掉，加入介质时无法再形成溶胶，是一个不可逆体系，故称为憎液溶胶，如氢氧化铁溶胶、碘化银溶胶等。所谓亲液溶胶，其颗粒大小也在胶体范围内，和憎液溶胶不同的是，将介质蒸发后再加入介质还可形成溶胶，因此称为亲液溶胶。后来研究发现，亲液溶胶就是高分子溶液，高分子大小和胶体颗粒大小相当，具有溶胶某些特性，比如不能通过半透膜等，但高分子溶液没有明显的相界面，属于均相体系，是热力学稳定体系。

4. 溶胶(憎液溶胶)的特性

(1) 特有的分散度。颗粒的直径在 1 ~ 100nm 之间，因而扩散较慢，不能透过半透膜，渗透压低，有较强的动力稳定性和乳光现象。

(2) 多相不均匀性。颗粒是由许多离子或分子聚结而成，而且颗粒大小不一，与介质之间有明显的相界面，比面积很大。

比面积是指单位体积(质量)物质的表面积，将边长为 1cm 的立方体分割成胶体颗粒范围，其比面积增加见表 0-1。

表 0-1 分散体系的比面积

边长/cm	个数	总面积/cm ²	比面积/cm ⁻¹
1	1	6	6
1 × 10 ⁻¹	10 ³	60	6 × 10
1 × 10 ⁻²	10 ⁶	6 × 10 ²	6 × 10 ²
1 × 10 ⁻³	10 ⁹	6 × 10 ³	6 × 10 ³
1 × 10 ⁻⁴	10 ¹²	6 × 10 ⁴	6 × 10 ⁴
1 × 10 ⁻⁵	10 ¹⁵	6 × 10 ⁵	6 × 10 ⁵
1 × 10 ⁻⁶	10 ¹⁸	6 × 10 ⁶	6 × 10 ⁶
1 × 10 ⁻⁷	10 ²¹	6 × 10 ⁷	6 × 10 ⁷

(3) 热力学不稳定性。因为颗粒小，比面积大，表面自由能高，属于热力学不稳定体系，有自发降低表面自由能的趋势，即小颗粒会自动聚结成大颗粒。

三、钻井液分类

钻井液按密度大小可分为非加重钻井液和加重钻井液；按其黏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,将固相含量较低的叫做低固相钻井液,基本不含固相的叫做无固相钻井液;根据分散(流体)介质不同,分为水基钻井液、油基钻井液、气态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 0-1 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。

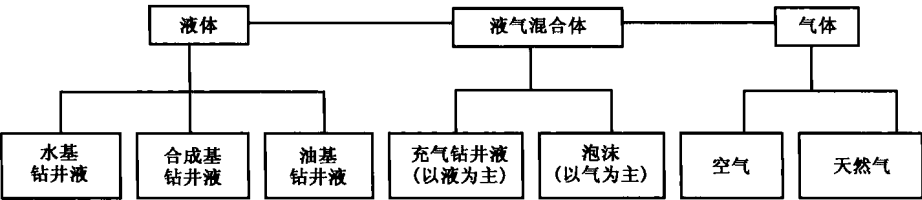


图 0-1 钻井液分类

随着钻井液工艺技术的不断发展,钻井液的种类也越来越多,参考国外钻井液分类标准,在国内得到认可的主要钻井液类型有以下几种。

1. 分散钻井液

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。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,适用于在深井和超深井中使用。但与后出现的钻井液类型相比,因其固相含量高,抑制性、抗污染能力较差,对提高钻速和保护油气层不利。

2. 钙处理钻井液

钙处理钻井液的组成特点是体系中同时含有一定浓度的 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) 直至饱和(Cl^- 质量浓度为 189000mg/L) 之间均属于此种类型。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。

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

4. 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。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。

5. 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 抑制粘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。

6. 油基钻井液

油基钻井液是以油(柴油或矿物油)作为连续相, 水或亲油的固体(如有机土、氧化沥青等)作为分散相, 并添加适量处理剂、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 (50 ~ 80) : (50 ~ 20) 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, 这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技术手段之一。但是, 由于其配制成本较高, 以及使用时会对环境造成一定污染, 使其应用受到一定的限制。

7. 气体型钻井流体

气体型钻井流体是以空气或天然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。通常又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。

8. 合成基钻井液

合成基钻井液是以人工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. 保护油气层的钻井液(完井液)

这是指在储层中钻进时使用的一类钻井液。当一口井钻达目的层时, 所设计的钻井液不仅要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控至合理范围, 滤失量尽可能低, 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。

10. 不侵入地层钻井液

不侵入地层钻井液是20世纪90年代发展起来的一种新型钻井液,也可作为完井液或修井液使用,它的特点是通过使用加入到水基或油基钻井液中的专用聚合物型添加剂,使聚合物胶束在井筒周围一定深度的地层形成一个具有一定强度的封储层。

第二节 钻井液的基本功用

一、钻井液的循环过程

钻井液的循环是通过钻井泵(俗称泥浆泵)来维持的。从钻井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,然后再沿钻柱与井壁(或套管)形成的环形空间向上流动,返回地面后经排出管线、振动筛流入泥浆池,再经各种固控设备进行处理后返回上水池,进入再次循环,这就是钻井液的循环过程和循环系统。

二、钻井液的功用

1. 携带和悬浮岩屑

钻井液最基本的功用就是通过循环,将井底被钻头破碎的岩屑携带到地面,保持井眼清洁,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,钻井液又能将留存在井内的钻屑悬浮在环空中,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

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,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。

3. 平衡地层压力和岩石侧压力

在钻井工程设计和钻进过程中需要通过不断调节钻井液密度,使液柱压力能够平衡地层压力和地层侧压力,从而防止井喷和井塌等井下复杂情况的发生。

4. 冷却和润滑作用

钻进时,钻头一直在高温下旋转破碎岩层,产生大量热量;钻具也不断与井壁摩擦而产生热量。通过钻井液的循环,将这些热量及时带走,从而起到冷却钻头、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中旋转,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。

5. 传递水动力

钻井液在钻头喷嘴处以极高的流速喷出,所形成的高速射流对井底产生强大的冲击力,从而提高了钻井速度和破岩效率。高压喷射钻井就是利用这个原理,显著地提高了机械钻速。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。

6. 获取地下信息

通过岩屑和钻井液性能的变化获得井下各种信息,为钻井施工提供制定技术措施的依据。

此外,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;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。

第三节 钻井液技术的发展

钻井液工艺技术是油气钻井工程的重要组成部分,它在确保安全、优质、快速钻井中起着关键性的作用。国内外钻井实践表明,钻井液工艺技术的发展,促进了钻井工艺技术的发展,钻井工艺技术的发展反过来对钻井液工艺技术提出更高的要求。

一、水基钻井液的发展概况

1. 自然造浆阶段——1914—1916 年

在打井的最初阶段,钻井是用清水作为钻(洗)井液的。钻屑里的粘土分散在水中,清水逐渐变成浑水而成为泥浆,也就是所谓的自然造浆。这种最原始的泥浆主要解决携带岩屑、净化井底和平衡地层压力等问题。因为没有使用化学处理剂,存在着滤失量高、性能不稳定和易引起井塌、卡钻等一系列问题。

2. 细分散泥浆阶段——20 世纪 20 年代至 50 年代末

人们发现使用人工预先配制的泥浆比使用清水具有更好的功能,此时钻井液才逐渐成为了一项工艺技术。主要解决的问题是泥浆性能的稳定性和井壁稳定问题,典型技术是研制出简单的泥浆性能测定仪器,使用了专门粘土配浆和分散性化学处理剂,于是形成了以细分散泥浆为主的淡水泥浆。

3. 粗分散泥浆阶段——20 世纪 60 年代初至 60 年代末

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,裸眼井段也越来越长,对钻井液性能提出了更高的要求。各种配制泥浆的原材料和处理剂的研究与使用,其性能与钻井工作关系的研究,研制出各种泥浆测试仪器和设备,使泥浆工艺技术也得到不断发展。

主要解决的问题是对付石膏、盐的污染,解决温度的影响等问题。典型技术包括各种盐水泥浆、钙处理泥浆以及形成了多达 16 大类的各种处理剂。显著标志是出现了新的一类钻井液处理剂——无机絮凝剂,主要是含钙离子的电解质,如石灰、石膏、氯化钙等。同时,一些抗盐、抗钙能力强的处理剂发展起来,如铁铬木质素磺酸盐、钠羧甲基纤维素等。

4. 聚合物不分散钻井液阶段——20 世纪 70 年代以后

随着井深的逐渐增加,更多地钻遇高温高压及各种复杂地层,配合钻井工艺技术的钻井液

技术也有了更快的发展。主要解决的问题是快速钻井和保护油气层问题,包括影响钻速和井壁稳定各种因素等。典型技术是钻井液类型不断增多,包括不分散低固相钻井液、气体钻井、保护油气层的钻井液、完井液,特别是不分散低固相聚合物钻井液的出现,使高压喷射钻井等新工艺措施得以实现,是钻井液技术发展进程中取得的重要突破。

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。

二、油基钻井液的发展概况

油基钻井液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、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,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,70 年代又发展了低胶质油包水乳化钻井液,为了进一步增强其防塌效果,还研制出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,特别是为了避免钻屑排放对海洋生态环境的影响,又出现了以矿物油作为连续相的低毒油包水乳化钻井液。

三、气体型钻井流体

气体型钻井流体是第三大类钻井流体体系,这类流体主要应用于钻低压易漏地层、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。由于受到诸多因素限制,应用并不十分广泛。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重视。

四、现代钻井液技术

近年来,钻井领域出现了大位移井钻井、欠平衡钻井、多分支井钻井、连续管钻井等一系列钻井新技术,推动了钻井液和完井液技术的发展。现代钻井液新技术研究主要是在符合环保要求、防止地层损害、稳定井壁、适应高温高压恶劣环境、防漏堵漏、钻井液管理等方面取得了突破性进展。例如,聚合醇类钻井液、硅酸盐钻井液、甲酸盐钻井液、合成基钻井液、正电胶钻井液、甲基葡萄糖甙钻井液、新型暂堵型钻井完井液、新型无固相钻井完井液等,满足了环保、油气层保护、稳定井壁和应付恶劣钻井环境的要求;适应各种特殊工艺钻井液技术得到很快发展;在保护油气层、井壁稳定的基础研究和钻井液用原材料和处理剂研制等方面都有新进展,钻井液技术进步,也推动了钻井技术的发展。

五、我国钻井液应用技术发展回顾

我国钻井液工艺技术的发展历程与国际上该项技术的发展基本相似,也是经历了最初的自然造浆和细分散钻井液等阶段,代表性标志为钙处理钻井液阶段、三磺钻井液阶段、聚合物钻井液阶段和钻井液新技术阶段。

我国从 1952 年开始用石灰处理泥浆并逐渐成熟,钙处理钻井液是 20 世纪 60 年代到 70 年代初主要使用的钻井液类型。

三磺钻井液是 20 世纪 70 年代后期大多数井,特别是深井所使用的钻井液类型。该体系能有效降低钻井液高温高压失水,提高井壁稳定性。我国最深的几口井都是用此类钻井液钻成的,有人称这是我国钻井液技术的第一大进步。

“聚合物钻井液”开始时叫“不分散低固相钻井液”,是在 20 世纪 70 年代后期,配合“喷射钻井技术”和“优选参数钻井技术”,利用丙烯酰胺聚合物形成的一种钻井液体系。为了使聚合物钻井液能很好地适应深井钻井条件,又在三磺水基钻井液基础上引入阴离子型丙烯酰胺类聚合物,出现了聚磺钻井液,被称为我国钻井液技术的第二大进步。80 年代末,在聚合物分子结构上引入阳离子基团或两性离子基团,出现了阳离子聚合物钻井液和两性离子聚合物钻井液,很好地解决了地层抑制性问题,被称为我国钻井液技术的第三大进步。

我国钻井液新技术的研究与应用,保持与世界先进技术同步,在某些方面已经达到国际先进水平。

六、钻井液应用技术发展方向

钻井液应用技术的发展是和钻井工艺技术发展紧密联系在一起的,是和钻井液化学应用技术直接相关的,当前钻井液工艺技术的关键大致包括以下几个方面:

(1)适用于深井、抗高温、抗盐、抗钙或抗镁的增粘剂、降滤失剂、降粘剂和流型改进剂的研制及复杂条件下深井抗高温高密度钻井液窄安全密度(压力)窗口的钻井液技术。

(2)复杂易坍塌地层的泥页岩稳定剂、井壁封固剂和堵漏剂研制及井壁失稳机理研究与防塌钻井液技术。

(3)大斜度井、大位移井、水平井、多底井和小井眼等特殊工艺井用润滑剂、井壁稳定剂、流型改进剂和低伤害处理剂的研制及钻井液技术。

(4)欠平衡钻井液技术。

(5)保护储层,尤其是保护低渗透油气层的各种处理剂研制及钻井液、完井液技术。

(6)环境友好、低成本的天然材料改性产品,满足环境保护要求的合成聚合物处理剂研制及环境可接受钻井液体系的研究及应用技术。

(7)钻井液无害化处理技术。

(8)计算机信息技术在钻井液中的应用和现场钻井液管理技术。

第四节 本课程的性质、任务和要求

钻井液是钻井系统工程中重要的组成部分,人们称它为“钻井的血液”。它不但起到冷却钻头、携带岩屑、保护井身、传递水动力等作用,更重要的是,合理的钻井液组成可以满足快速钻井的需要,对油气层有较好的保护作用,关系到钻井作业成败和效率。本课程是油田化学、石油钻井技术专业的主要专业课之一,是一门以化学为基础的工艺技术应用课程,具有较强的实践性和理论性。

本课程的任务和要求是通过课堂教学、实验实训和现场实习各教学环节,了解粘土—水分散体系的胶体化学基本理论,基本掌握在钻井工程中各种类型钻井液的使用条件及

其性能的设计、测量、控制、调整的原理及方法；了解和掌握常用的钻井液添加剂使用方法及其作用机理；掌握现场钻井液配制、维护及处理方法，提高分析问题和解决问题的能力。

复习思考题

1. 阐述钻井液在钻井过程中的主要作用。钻井液是如何分类的？各有何特点？
2. 分散体系是如何分类的？分散体系的主要特征是什么？
3. 简述国内外钻井液应用技术的发展概况及关键技术发展方向。

第一章 粘土胶体化学基础

粘土是钻井液的主要成分,其矿物组成和性质对钻井液的性能影响很大,钻井过程中遇到的地层粘土的特性与井眼稳定、油气层保护密切相关。

第一节 粘土矿物的晶体构造与性质

粘土主要是由粘土矿物(含水的铝硅酸盐)组成的。某些粘土还含有不定量的非粘土矿物,如石英、长石等。许多粘土还含有非晶质的胶体矿物,如蛋白石、氢氧化铁、氢氧化铝等。

大多数粘土颗粒的粒径小于 $2\mu\text{m}$,它们在水中有分散性、带电性、离子交换性、水化性,这些性能直接影响钻井液的配制、钻井液的性能及其维护和调整。

一、粘土矿物的分类和化学组成

1. 粘土矿物的分类

粘土矿物的分类方法很多,按单元晶层构造特征分类,见表 1-1。

表 1-1 粘土矿物的晶体构造分类

单元晶层构造特征	粘土矿物族	粘土矿物
1:1	高岭石族	高岭石、地开石、珍珠陶土等
	埃洛族	埃洛石等
2:1	蒙皂石族	蒙皂石、拜来石、囊脱石、皂石、蛭石等
	水云母族	伊利石、海绿石等
2:2	绿泥石族	各种绿泥石等
层链状结构	海泡石族	海泡石、凹凸棒石、坡缕缟石等

2. 粘土矿物的化学组成

粘土中常见的粘土矿物有三种:高岭石、蒙皂石(也叫微晶高岭石、胶岭石等)、伊利石(也称水云母)。其化学组成见表 1-2。

表 1-2 几种常见的粘土矿物化学组成

粘土矿物名称	化 学 组 成	$\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$
高岭石	$2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2:1
蒙皂石	$(\text{Al}_2\text{Mg}_3)(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	4:1
伊利石	$(\text{K},\text{Na},\text{Ca})_m(\text{Al},\text{Mg})_3(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1:1

不同类型粘土矿物的化学成分是不同的,如高岭石中氧化铝含量较高,氧化硅含量较低;蒙皂石中氧化铝含量较低,氧化硅含量较高;伊利石含有较多的氧化钾。

上述各类粘土矿物化学成分的特点,是用化学分析方法鉴别粘土矿物类型的依据。

二、粘土矿物的晶体构造

1. 粘土矿物的基本构造单元

组成各种粘土矿物的基本构造单元是硅氧四面体和铝氧八面体。

1) 硅氧四面体与硅氧四面体晶片

硅氧四面体中有一个硅原子与四个氧原子,硅原子在四面体的中心,氧原子在四面体的顶点,硅原子与各氧原子之间的距离相等,如图 1-1(a)所示。在大多数粘土矿物中,硅氧四面体的排列为六角形的硅氧四面体网格结构,如图 1-1(b)所示,该结构中的氧六角环内切圆直径约为 0.288nm。硅氧四面体网格的重复联结形成硅氧四面体晶片,是由三个原子层构成的立体片状结构,如图 1-1(c)所示。

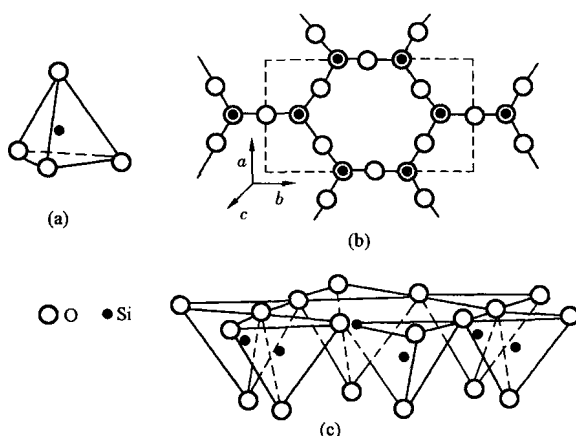


图 1-1 硅氧四面体及四面体晶片示意图

(a) 单个硅氧四面体; (b) 硅氧四面体晶片 (俯视图); (c) 硅氧四面体晶片 (立体图)

2) 铝氧八面体与铝氧八面体晶片

铝氧八面体的六个顶点为氢氧原子团,铝(铁或镁)原子居于八面体中央,如图 1-2(a)所示。从图 1-2(b)可以看出,在八面体晶片内有 1/3 的空位(用星号标记)。图 1-2(c)是八面体晶片立体图。

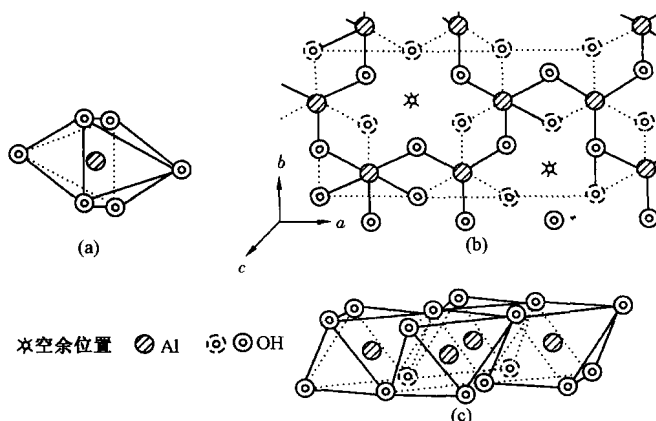


图 1-2 铝氧八面体及铝氧八面体晶片构造示意图

(a) 单个铝氧八面体; (b) 铝氧八面体晶片 (俯视图); (c) 铝氧八面体晶片 (立体图)