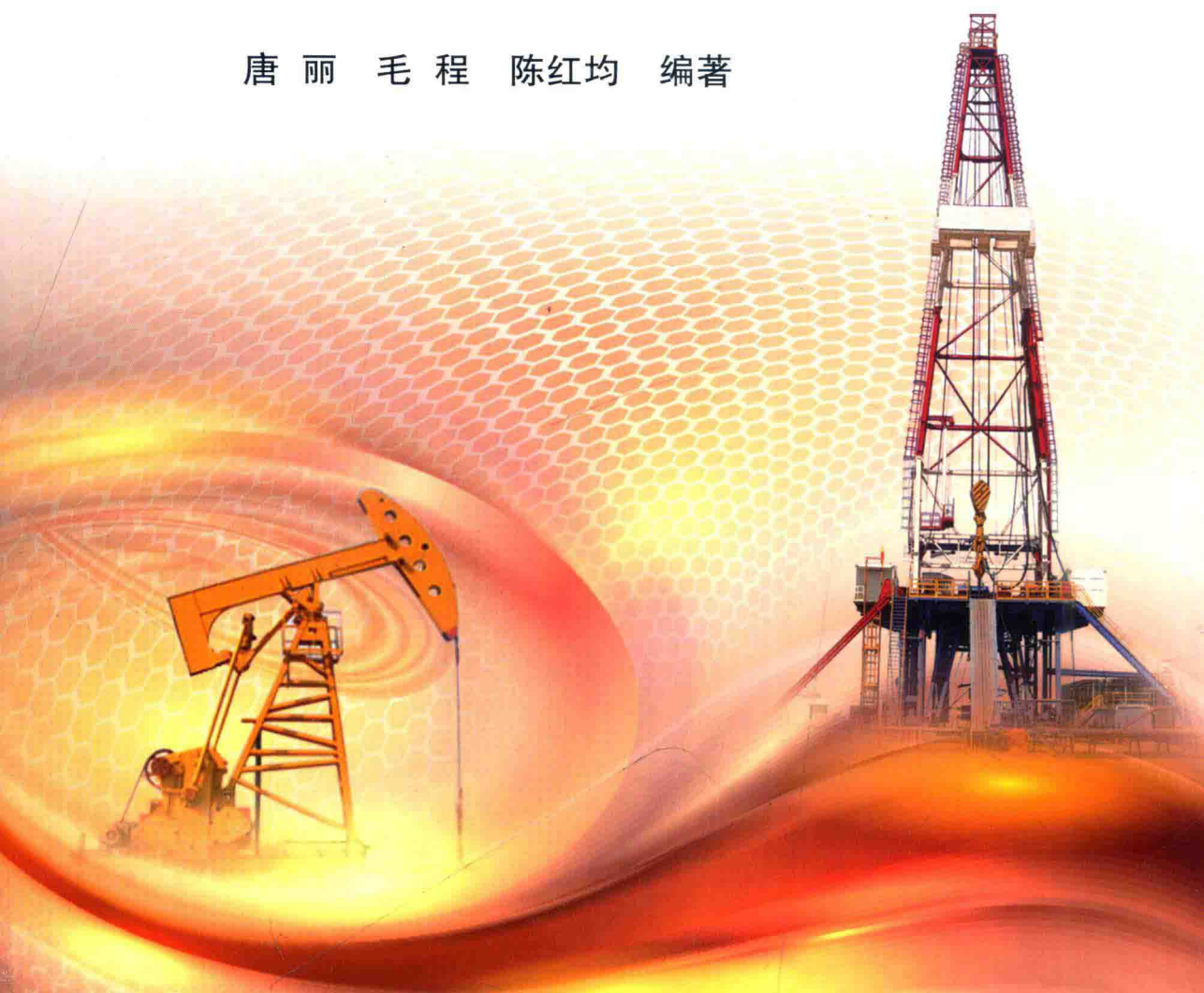




普通高等教育“十三五”规划教材

钻井液使用与维护

唐丽 毛程 陈红均 编著



中国石化出版社

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

钻井液使用与维护

唐丽 毛程 陈红均 编著

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

钻井液使用与维护/唐丽,毛程,陈红均编著.

—北京:中国石化出版社,2017.8

ISBN 978-7-5114-4531-5

I. ①钻… II. ①唐…②毛…③陈… III. ①钻井液—
—高等职业教育—教材 IV. ①TE254

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 146143 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:北京市朝阳区吉市口路9号

邮编:100020 电话:(010)59964500

发行部电话:(010)59964526

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

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 21.5 印张 459 千字

2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

定价:46.00 元

前 言

本书是高职高专特色专业最新开发的核心课程教材之一,体现了高职高专油田化学应用技术专业改革和课程建设的最新成果。本书按照高等职业教育油田化学应用技术专业人才培养目标和专业教学标准进行编写,内容与生产实际紧密结合,以8个来源于企业的工作任务为载体,设置8个学习情境:学习情境1,黏土矿物的晶体构造;学习情境2,黏土—水胶体化学基础;学习情境3,钻井液性能的测定和调控;学习情境4,钻井液配浆原材料及处理剂;学习情景5,水基和油基钻井液体系;学习情境6,固控设备的使用与维护;学习情境7,井下复杂情况的预防和处理;学习情境8,保护油气层钻井液技术。本书可作为高等职业学校、中等职业学校油田化学应用技术专业的教材,可供从事钻井液生产操作的专业技术人员、生产操作工及管理人员参考使用,也可作为企业职业技能鉴定的培训教材。

本教材紧密结合石油企业钻井液生产操作职业技能鉴定和高职教育的教学特点及学生实际,基于工作过程确定教材内容框架,以通过典型工作任务的学习为载体,进行教材体系的重构,确定学习项目及实训任务。融合钻井液工生产操作职业资格标准,帮助学生掌握钻井液的使用与维护技术。在教材编排上采用了“学习目标→任务描述→相关知识→任务实施→拓展提高→考核建议→思考与练习”等最新教材项目编写体例。

克拉玛依职业技术学院唐丽副教授编写了学习情境1~学习情境6,并审阅了全书;陈红均编写了学习情境7及学习情境8;毛程及其他教师也参与了部分学习情境的编写,并为本书的编写提供了大量资料,提出了宝贵的指导意见,在此一并向他们表示感谢。

限于编者水平,书中不妥和错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

目 录

学习情境 1 黏土矿物的晶体构造	1
【学习目标】	1
【任务描述】	1
【相关知识】	2
【任务实施】	17
任务 1 巡回检查实训	17
【拓展提高】	19
【思考题及习题】	20
学习情境 2 黏土—水胶体化学基础	21
【学习目标】	21
【任务描述】	21
【相关知识】	22
【任务实施】	34
任务 1 黏土—水胶体稳定性实训	34
【拓展提高】	36
【思考题及习题】	37
学习情境 3 钻井液性能的测定和调控	38
【学习目标】	38
【任务描述】	39
【相关知识】	39
【任务实施】	78
任务 1 钻井液密度测定实训	78
任务 2 钻井液漏斗黏度测定实训	81
任务 3 钻井液流变参数的测量与计算实训	83

任务4 钻井液的滤失造壁性测定	86
任务5 钻井液的润滑性能测定实训	88
任务6 钻井液的 pH 值、碱度、钻井液含砂量测定实训	89
任务7 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 及 OH^- 含量测定实训	94
任务8 钻井液固相含量测定实训	96
任务9 钻井液膨润土含量测定实训	101
任务10 钻井液滤液中 Cl^- 含量的测定实训	104
任务11 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度的测定实训	106
【拓展提高】	110
【思考题与习题】	111
学习情境4 钻井液配浆原材料及处理剂	113
【学习目标】	113
【任务描述】	113
【相关知识】	114
【任务实施】	138
任务1 配制烧碱溶液操作	138
任务2 配制大分子 PHP 胶液	139
任务3 处理剂操作实训	141
【拓展提高】	141
【思考题与习题】	145
学习情景5 水基和油基钻井液体系	146
【学习目标】	146
【任务描述】	147
【相关知识】	147
【任务实施】	225
任务1 配制淡水钻井液实训	225
任务2 配制加重钻井液实训	226
任务3 配制、使用盐水钻井液实训	228
任务4 维护、处理盐水钻井液实训	229
任务5 配制、使用聚合物抑制性钻井液实训	231

任务6 配制、使用正电胶钻井液	232
任务7 配制、使用、处理及维护超深井钻井液实训	234
任务8 配制、使用油基钻井液实训	236
任务9 处理定向井钻井液实训	238
【拓展提高】.....	239
【思考题与习题】.....	241
学习情境6 固控设备的使用与维护	244
【学习目标】.....	244
【任务描述】.....	244
【相关知识】.....	245
【任务实施】.....	260
任务1 振动筛的使用和维护	260
任务2 旋流器的使用和维护	262
任务3 离心机的使用和维护	264
【思考题及习题】.....	265
学习情境7 井下复杂情况的预防和处理	267
【学习目标】.....	267
【任务描述】.....	267
【相关知识】.....	268
【任务实施】.....	287
任务1 处理泥页岩的坍塌掉块实训	287
任务2 处理井漏实训	288
任务3 处理黏附卡钻实训	291
任务4 处理盐水侵实训	293
任务5 处理石膏侵实训	295
任务6 处理水泥侵实训	296
任务7 处理黏土侵实训	298
任务8 处理 H ₂ S 实训	299
【拓展提高】.....	301
【思考题及习题】.....	302

学习情境 8 保护油气层钻井液技术	304
【学习目标】.....	304
【任务描述】.....	304
【相关知识】.....	305
【任务实施】.....	319
任务 1 配制、使用钻开油气层前的钻井液	319
任务 2 维护处理钻开油气层前钻井液实训	321
任务 3 处理完井钻井液实训	323
任务 4 处理油气侵后钻井液性能实训	324
【拓展提高】.....	325
【思考题及习题】.....	333
参考文献	334

学习情境 1 黏土矿物的晶体构造

【学习目标】

能力目标：

- (1) 能了解钻井液的功能、组成和类型。
- (2) 能掌握黏土矿物的特点和功能。
- (3) 能说出巡回检查路线及各岗位检查要点。

知识目标：

- (1) 了解钻井液的基本功用、组成及类型。
- (2) 掌握黏土矿物的特点和功能。
- (3) 掌握巡回检查路线及检查要点。

素质目标：

- (1) 具有吃苦耐劳、爱岗敬业的职业意识。
- (2) 能独立使用各种媒介完成学习任务，具有自主学习能力。
- (3) 具备分析解决问题、接受及应用新技术的能力，以及与生产实践相关的方法能力。
- (4) 能反思、改进工作过程，能运用专业词汇和同学、老师讨论工作过程中的各种问题。
- (5) 具有团队合作精神、沟通能力及语言表达能力。
- (6) 具有自我评价和评价他人的能力。

【任务描述】

通过对钻井液功用、类型和组成的描述，使学生对钻井液在钻井工作中的作用具备初步地了解。通过对黏土矿物结构特点的讲解，帮助学生学习各种黏土矿物的结构和特点，最终能掌握配浆黏土的种类和特点。本项目所针对的工作内容主要是配浆黏土的晶体构造，具体包括：钻井液功用、组成、类型，黏土矿物的晶体构造，以及巡回检查路线。

要求学生以小组为单位，根据任务要求，制定出工作计划，能够分析和处理操作中遇到的异常情况，撰写工作报告。

【相关知识】

钻井液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。钻井液应用技术是油气钻井工程的重要组成部分。现代钻井技术对钻井液应用技术提出了3个方面的要求：①辅助钻井提高钻井速度；②保证钻井井下安全，防止钻井过程中各种复杂问题发生，如井塌、卡钻、井喷、井漏等；③保护油气层，提高油气井产量。

一、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、钻铤到达钻头，并从钻头喷嘴喷出，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流入泥浆池，再经各种固控设备进行处理后返回上水池，并进入再次循环，这就是钻井液的循环过程和循环系统（图 1-1）。

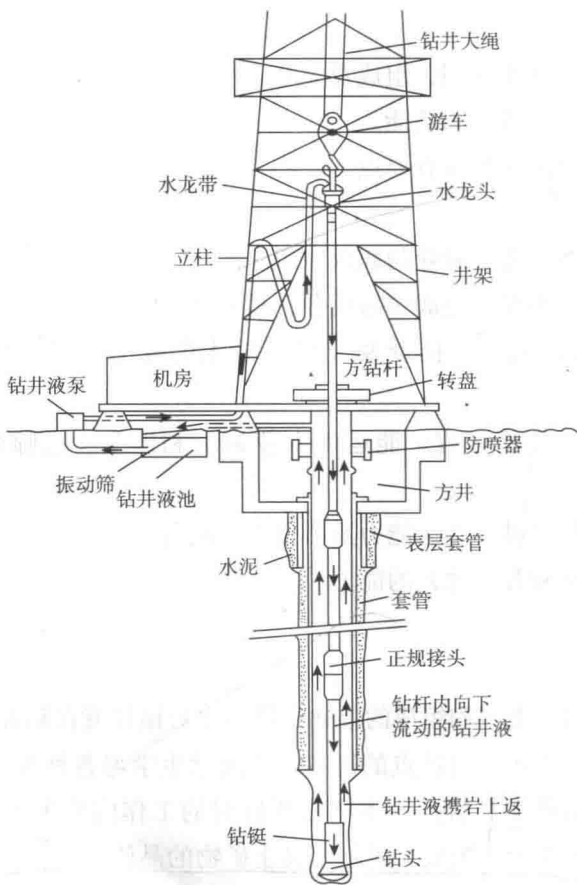


图 1-1 钻井液循环过程示意图



(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

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。

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. 冷却和润滑钻头、钻具

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。正是通过钻井液的循环, 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。

5. 传递水动力

钻井液在钻头喷嘴处以极高的流速喷出, 钻井液所形成的高速射流会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。高压喷射钻井所利用的即为该原理, 因而显著提高了机械钻速。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。

此外, 为了防止及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, 钻井液还应不会对钻井人员及环境造成伤害和污染, 不腐蚀井下工具及地面装备或尽可能减轻腐蚀。

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。

(三) 钻井液的组成和分类

1. 钻井液的组成

1) 水基钻井液是基本组成

水基钻井液是由膨润土、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 2.6g/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 4.2g/cm^3 。

在水基钻井液中膨润土是最常用的配浆材料，主要起到提黏切、降滤失和造壁等作用。将它和重晶石等加重材料称作有用固相，而将钻屑称作无用固相。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。

2) 油基钻井液的基本组成

油基钻井液（油包水乳化钻井液）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（如有机土、氧化沥青等）、石灰和加重材料等所形成的乳状液体系。为保护生态环境，适应海洋钻探的需要，从 20 世纪 80 年代初开始，又逐步推广使用了以矿物油作为基油的低毒油包水乳化钻井液。

油基钻井液具有抗高温、抗盐钙侵、有利于井壁稳定、润滑性好和对油气层损害程度较小等多种优点，目前已成为钻高难度的高温深井、大斜度定向井、水平井和各种复杂地层的重要手段，并且还可广泛地用做解卡液、射孔完井液、修井液和取心液等。

2. 钻井液的分类

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。

(1) 按其密度大小可分为非加重钻井液和加重钻井液。

(2) 按与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。

(3) 按其固相含量的不同，将固相含量较低的称为低固相钻井液，基本不含固相的称为无固相钻井液。

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 3 种类型（图 1-2）。

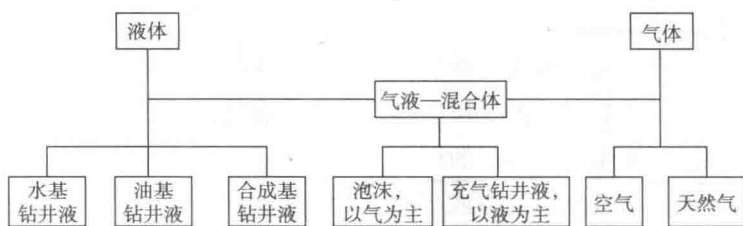


图 1-2 钻井液的分类

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可将其分为若干种类型。下文所述为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) 细分散钻井液

分散钻井液是指用淡水、膨润土和各种对黏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。



分散型钻井液是最早出现的、使用时间最长的一类钻井液。分散型钻井液配制方法较简单，且配制成本较低，是一种常用钻井液。

分散钻井液的主要特点为：可容纳较多的固相，较适于配制高密度钻井液；容易在井壁上形成较致密的泥饼，故其滤失量一般较低。某些分散钻井液，如以磺化烤胶、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。但与其他后来出现的钻井液类型相比，其缺点是抑制性和抗污染能力较差，且因其固相含量高，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

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+} 引起体系中的黏土颗粒絮凝过度，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黏土有抑制水化分散的作用。因此，可在一定程度上控制页岩坍塌和井径扩大，同时又能减轻对油气层的损害。

3) 盐水及饱和盐水钻井液

盐水钻井液是用盐水（或海水）配制而成的。在含盐量从 1%（ Cl^- 的质量浓度为 6000mg/L）直至饱和（ Cl^- 的质量浓度为 189000mg/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黏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应对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，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。其主要优点表现为下述 3 点。

(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，环空流体的黏度、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。

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，以 KCl 抑制黏土水化分散的效果为最好。而聚合物处理剂的存在，使这类钻井液又具有了聚合物钻井液的各种优良特性。因此，在钻遇泥页岩地层时，使用钾基聚合物钻井液可以取得比较理想的防塌效果。

6) 油基钻井液

以油（通常使用柴油或矿物油）作为连续相的钻井液称作油基钻井液。含水量在 5% 以下的普通油基钻井液目前已较少使用，而主要使用油水比在 $(50 \sim 80) : (50 \sim 20)$ 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。但另一方面，由于配制成本较高，且使用时会对环境造成一定污染，因而导致油基钻井液的应用受到一定的限制。

7) 合成基钻井液

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。

8) 气体型钻井流体

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 4 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。

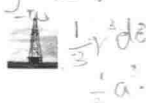
(2) 雾状钻井流体。即少量液体分散在空气介质中所形成的雾状流体。是空气与泡沫钻井流体之间的一种过渡形式。

(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。

9) 保护油气目的层钻井液

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。



(四) 钻井液技术的发展概况

钻井液应用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。在深入学习钻井液工艺的原理和实际应用等具体内容之前，有必要对国内外该项技术的发展概况有一个初步的了解。

1. 水基钻井液的发展概况

1) 初步发展时期——自然造浆阶段

在打井的最初阶段，钻井是用清水作为洗井液的。钻屑里的黏土分散在水中，清水逐渐变成混水而成为泥浆，也就是所谓自然造浆。这种最原始的泥浆主要解决问题是携带岩屑、净化井底和平衡地层压力。其基本组成是：水 + 钻屑 + 地面土（1920 年以后使用重晶石、铁矿粉等加重剂）。因为没有使用化学处理剂，存在着滤失量高，性能不稳定，以及易引起井塌、卡钻等一系列问题。

2) 快速发展时期——细分散钻井液阶段

后来，人们发现使用人工预先配制的钻井液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。主要解决的问题是钻井液性能的稳定性和井壁稳定问题，典型技术是研制出简单的钻井液性能测定仪器，使用了专门黏土配浆和分散性化学处理剂，于是形成了以细分散钻井液为主的淡水泥浆。

分散钻井液主要用于浅井阶段。它由黏土、水和各种起分散作用的处理剂组成。通常加入纯碱、烧碱、单宁酸钠、褐煤碱液等控制其黏度和滤失量。这些无机和有机处理剂的主要作用是将钻井液中的黏土颗粒充分分散，使体系成为胶体状态，并保持其稳定性。但是，分散钻井液存在着不能有效控制地层造浆，抗温和抗污染能力差，以及不能有效防塌等缺点。

3) 高速发展阶段——粗分散钻井液阶段

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，从而对钻井液提出了更高的要求。这必然促使人们设法寻找各种配制钻井液的原材料和处理剂，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，使钻井液应用也得到不断发展。

主要须解决的问题是对付石膏、盐的污染，解决温度的影响等。典型技术包括各种盐水、钙处理钻井液，以及形成了多达 16 类处理剂品种。

该阶段的特点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，经过适度絮凝的钻井液需要作用更强的稀释剂和降滤失剂才能有效地控制钻井液的流动性和滤失性。于是，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) 科学发展时期——聚合物不分散钻井液阶段

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，钻井工艺技术有了更快的发展。例如，超深井钻井、高压喷射钻井、近平衡压力钻井和定向钻井等技术的运用和

发展,均促使钻井液技术和固控技术不断向前发展。其中一个突出表现是:主要解决了快速钻井和保护油气层的问题,包括各种影响钻速和井壁稳定的问题。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。

2. 油基钻井液的发展概况

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、海洋钻井,以及钻大段泥页岩地层、大段盐膏层和各种易塌、易卡的复杂地层中。

国外最早大约在 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,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,特别是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。

3. 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,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重视。

4. 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规律与国际上该项技术的发展规律基本相似,也是经历了最初的自然造浆和以钠基为基础的细分散钻井液,后来的对付钻遇复杂地层,如大段泥页岩层、厚岩盐层、石膏层及其他可溶性盐类地层时发展起来的以石灰、石膏及氯化钙为絮凝剂的钙处理钻井液及盐水钻井液,以及目前的不分散低固相和不分散无固相阶段。具体可以分为 4 个具有标志性的阶段。

1) 钙处理钻井液阶段(20 世纪 60 ~ 70 年代)

主要使用了 CaO 、 NaCl 来提高井壁稳定性;利用 FCLS 、 NaC 、 CMC 及一些表面活性剂维持钻井液性能的稳定。

2) 三磺钻井液阶段(20 世纪 70 年代后期)

三磺钻井液主要用在深井。其使用的处理剂是 SMP 、 SMC 、 SMK ,有效地降低钻井液高温高压失水,进而提高井壁稳定性。用这类处理剂成功钻成了我国最深的 2 口

井：关基井（7175m）、女基井（6011m）。有人称这是我国钻井液技术的“第一大进步”。

3) 聚磺钻井液阶段（20 世纪 70 年代末 ~80 年代）

聚磺钻井液是将分散性钻井液（三磺钻井液）和不分散钻井液结合，即在三磺水基钻井液基础上引入阴离子型丙烯酸酰胺类聚合物抑制剂。有人称这是我国钻井液技术的“第二大进步”。

4) 阳离子、两性离子聚合物钻井液阶段（20 世纪 80 年代末 ~90 年代）

阳离子聚合物钻井液：聚合物分子结构上引入阳离子基团（-N-），如阳离子聚丙烯酰胺、羟丙基三甲基氯化胺。两性离子聚合物钻井液：聚合物分子结构上引入阳离子和阴离子 2 种基团，如 FA-367、XY-27 等。此类钻井液很好地解决了地层抑制性问题，有人称这是我国钻井液技术的“第三大进步”。

二、黏土矿物的晶体构造及其性质

黏土主要是由黏土矿物（含水的铝硅酸盐）组成的。某些黏土除黏土矿物外，还含有不定量的非黏土矿构，如石英、长石等。许多黏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。大多数黏土颗粒的粒径小于 2μm，它们在水中有分散性、带电性、离子交换以及水化性，这些性能都是在处理与配制钻井液时需要考虑的因素。

（一）黏土矿物的分类和化学组成

1. 黏土矿物的分类

黏土矿物的分类方法很多，现根据其单元晶层构造的特征进行分类（表 1-1）。

表 1-1 黏土矿物的晶体构造分类

单元晶层构造特征	黏土矿物族	黏土矿物
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	蒙脱石、拜来石、囊脱石、皂石、蛭石等
	水云母族	伊利石、海绿石等
2:2	绿泥石族及其他	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. 黏土矿物的化学组成

黏土中常见的黏土矿物有 3 种：高岭石，蒙脱石（也叫微晶高岭石、胶岭石等），伊利石（也称水云母）。它们的化学组成如表 1-2 所示。

表 1-2 几种主要黏土矿物的化学组成

黏土矿物名称	化学组成	SiO ₂ : Al ₂ O ₃
高岭石	2Al ₂ O ₃ · 4SiO ₂ · 4H ₂ O	2:1
蒙脱石	(Al ₂ Mg ₃) (Si ₄ O ₁₀) (OH) ₂ · nH ₂ O	4:1
伊利石	(K, Na, Ca) _m (Al, Mg) ₃ (Si, Al) ₈ O ₂₀ (OH) ₄ · nH ₂ O	1:1