



中国石油高技能人才培养丛书

# 钻井液技师培训教程

中国石油天然气集团公司人事部 ©编

石油工业出版社

中国石油高技能人才培养丛书

# 钻井液技师培训教程

中国石油天然气集团公司人事部 编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书是钻井液技师培训教程，主要包括钻井液概况、钻井液工艺技术介绍、钻井液处理剂、固控系统、钻井液性能测试及滤液分析、复杂情况下的钻井液工艺、钻井液有关计算、环空水力钻井液流变参数优选等。

本书是面向已取得钻井液技师、高级技师职业资格人员进行提高性培训的使用教材，也可供后备技师使用，同时也可作为基层技术人员现场实践的参考用书。

## 图书在版编目（CIP）数据

钻井液技师培训教程/中国石油天然气集团公司人  
事部编. —北京：石油工业出版社，2012.7  
ISBN 978-7-5021-9081-1

I. 钻…

II. 中…

III. 钻井液—技术培训—教材

IV. TE254

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 104327 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：<http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部：（010）64255590 发行部：（010）64523620

经 销：全国新华书店

印 刷：北京中石油彩色印刷有限责任公司

---

2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本：1/16 印张：11.5

字数：274 千字

---

定价：28.00 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

# 《中国石油高技能人才培训丛书》

## 编 委 会

主 任：单昆基

副 主 任：任一村

执行主任：丁传峰

委 员：（按姓氏笔画排序）

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王子云 | 左洪波 | 吕凤军 | 刘 勇 | 刘德如 |
| 杨 锋 | 杨静芬 | 李世效 | 李建军 | 李孟洲 |
| 李钟磬 | 李保民 | 李超英 | 李禄松 | 何 波 |
| 张建国 | 陈宝全 | 尚全民 | 周宝银 | 徐进学 |
| 高 强 | 高丽丽 | 职丽枫 | 崔贵维 | 韩贵金 |
| 傅敬强 | 霍 良 |     |     |     |

# 前 言

为加快高技能人才知识更新,提升高技能人才职业素养、专业知识水平和解决生产实际问题的能力,进一步发挥高端带动作用,在总结“十一五”技师、高级技师跨企业、跨区域开展脱产集中培训的基础上,中国石油天然气集团公司人事部依托承担集团公司技师培训项目的培训机构,组织专家力量,历时一年多时间,将教学讲义、专家讲座、现场经验及学员技术交流成果资料加以系统整理、归纳、提炼,开发出首批 15 个职业(工种)高技能人才培训系列教材,由石油工业出版社陆续出版。

本套教材在内容选择上,突出新知识、新技术、新材料、新工艺等“四新”技术介绍,重视工艺原理、操作规程、核心技术、关键技能、故障处理、典型案例、系统集成技术、相关专业联系等方面的知识和技能,以及综合技能与创新能力的知识介绍,力求体现“特、深、专、实”的特点,追求理论知识体系的通俗易懂和工作实践经验的总结提炼。

本套教材是集团公司加快适用于高技能人才现代培训技术和特色教材开发的有益尝试,适合于已取得技师、高级技师职业资格的人员自学提高、研修培训、传承技艺使用,也适合后备高技能人才超前储备知识使用,同时,也为现场技术人员和培训机构提供了一套实践参考用书。

《钻井液技师培训教程》由渤海钻探大港钻井培训中心承担编写任务,徐跃芳任主编,牛秀莲任副主编,参加编写的人员有王俊星、袁国平、杨俊贞、黄慧、张立芬、徐世珍、郭金泉、周宇、闫永起、陶瑞东、邹希和、马葆东、解代起;参加审定的人员有中国石油工程技术分公司刘梅全、长城钻探公司郭耀、大庆油田钻探工程公司徐义千、西部钻探公司韦西海、川庆钻探公司马臣喜等。

由于编者水平有限,书中错误、疏漏之处在所难免,请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2012 年 5 月

# 目 录

|                  |     |
|------------------|-----|
| 第一章 钻井液概况        | 1   |
| 第一节 钻井液的组成和分类    | 1   |
| 第二节 钻井液的作用       | 4   |
| 第三节 钻井液技术的发展     | 5   |
| 第二章 钻井液工艺技术介绍    | 10  |
| 第一节 水基钻井液        | 10  |
| 第二节 油基钻井液        | 20  |
| 第三节 气体型钻井流体      | 24  |
| 第四节 合成基钻井液       | 26  |
| 第五节 特殊工艺井钻井液技术介绍 | 27  |
| 第六节 保护油气层钻井液技术   | 40  |
| 第三章 钻井液处理剂       | 43  |
| 第一节 无机处理剂        | 43  |
| 第二节 有机处理剂        | 49  |
| 第三节 加重剂          | 62  |
| 第四节 润滑剂          | 64  |
| 第五节 堵漏剂          | 66  |
| 第六节 表面活性剂        | 67  |
| 第七节 缓蚀剂和杀菌剂      | 71  |
| 第四章 固控系统         | 73  |
| 第一节 振动筛          | 73  |
| 第二节 水力旋流器        | 74  |
| 第三节 钻井液清洁器       | 76  |
| 第四节 离心机          | 78  |
| 第五章 钻井液性能测试及滤液分析 | 83  |
| 第一节 常规性能测试       | 83  |
| 第二节 钻井液滤液分析      | 92  |
| 第三节 油基钻井液测试      | 101 |
| 第四节 室内先进实验仪器介绍   | 105 |
| 第六章 复杂情况下的钻井液工艺  | 111 |
| 第一节 井壁不稳定及其对策    | 111 |
| 第二节 井漏及其对策       | 115 |

第三节 卡钻及其对策..... 126
 第四节 井喷及其对策..... 135
 第五节 水基钻井液的污染和处理..... 141
 第七章 钻井液有关计算..... 151
 第八章 环空水力钻井液流变参数优选..... 163
 第一节 钻井液水力学计算..... 163
 第二节 对钻井液及其流变参数要求..... 164
 第三节 钻井液流变参数的优选设计..... 167
 参考文献..... 174

# 第一章 钻井液概况

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。钻井液不仅能把岩屑携带到地面上，而且关系到钻井工作的成败，因此，有人把钻井液比喻为钻井工程的血液和战胜井下复杂事故的有力武器。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。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、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；按其固相含量的多少，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；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。

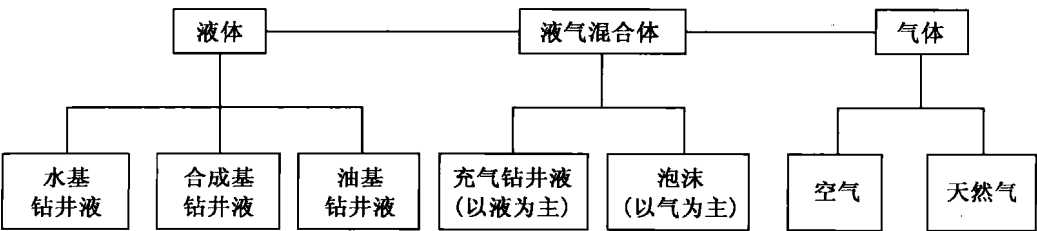


图 1-1 钻井液分类

### （一）水基钻井液

水基钻井液是由粘土、水及各种处理剂与加重材料组成的溶胶及悬浮体的混合体系。其中水为连续相，粘土、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。

粘土是具有可塑性的、软的、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。水基钻井液是粘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粘土、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，适用于深井和超深井。但与后出现的钻井液类型相比，因其固含量高，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  $\text{Ca}^{2+}$  和分散剂。 $\text{Ca}^{2+}$  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  $\text{Ca}^{2+}$  引起体系中的粘土颗粒絮凝过度，使其保持适度的絮凝状态，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%（ $\text{Cl}^-$  质量浓度为  $6000\text{mg/L}$ ）至饱和（ $\text{Cl}^-$  质量浓度为  $189000\text{mg/L}$ ）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  $\text{NaCl}$  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  $\text{KCl}$  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. 保护油气层的钻井液（完井液）

保护油气层的钻井液是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。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。

#### 7. 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、增粘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。

#### 8. 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；二是要有一定的提粘措施，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。

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（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，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  $(50 \sim 80) : (50 \sim 20)$  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。

## 第二节 钻井液的作用

“钻井液是钻井的血液”，这是钻井液在钻井中起多方面作用的高度概括。可以说，没有先进的钻井液技术，就不可能安全、快速、优质地钻井，也不可能迅速地取得良好的油气勘探成果、有效地开发和开采油气田。

随着钻井液水力学的发展，使用高压喷射钻井技术，发挥了钻井液的水力效应，大大提高了机械钻速，充分显示了钻井液在钻井中的重要作用。

### 一、携带和悬浮岩屑

钻井液首要和最基本的作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。

### 二、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。

### 三、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岩石侧压力，从而防止井喷和井塌等井下复杂情况的发生。

### 四、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。通过钻井液的循环，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。

### 五、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。

### 六、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。

### 七、保护油气层

为了防止和尽可能减少对油气层的损害，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。

### 八、保护环境

钻井液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

在打井的最初阶段，钻井是用清水作为洗井液的。钻屑里的粘土分散在水中，清水逐渐变成混水而成为泥浆，也就是所谓自然造浆。这种最原始的泥浆确有携带岩屑、净化井底和

平衡地层压力等作用,但也存在着滤失量高、性能不稳定和易引起井塌、卡钻等一系列问题。后来,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。

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,裸眼井段也越来越长,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,使钻井液工艺技术也不断得到发展。

水基钻井液主要经历了从分散钻井液到抑制性钻井液(包括钙处理钻井液和盐水钻井液等),然后到不分散聚合物钻井液的发展阶段,水基钻井液至今仍是钻井液最主要的类型。

油基钻井液是第二大类钻井液体系。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。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;80年代以来,为加强环境保护,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液体系。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。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钻井流体和充气钻井液的研究和应用受到了广泛的重视。

随着环保意识的增强,对钻井液的排放要求日益严格,油基钻井液的使用受到了越来越严格的限制。为了彻底解决油基钻井液对环境的污染问题而保留其优良的特性,20世纪80年代初,美国、英国、挪威等国家的石油公司投入了一定的人力和物力从事合成基钻井液的研究开发工作,最早得到使用且在早期使用最多的是酯基钻井液,目前使用较多的合成基钻井液是聚 $\alpha$ -烯烃基。

## 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“泥浆”。

(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泥浆。其中有代表性的技术措施包括以下几个方面。

- ①1921—1922年,重晶石和氧化铁粉开始作为加重材料;
- ②1926年,开始使用膨润土作为悬浮剂;
- ③1930年,研制出最早的钻井液处理剂——单宁酸钠;
- ④1931—1937年,研制出钻井液测量仪器;
- ⑤1944—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;

⑥1955 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 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四种类型:

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 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);

②MMH 钻井液;

③合成基钻井液;

④聚合醇钻井液;

⑤甲酸盐 (有机) 钻井液;

⑥仿油基钻井液;

⑦硅酸盐钻井液;

⑧气体型钻井流体。

## 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。

### (一) 20 世纪 50 至 60 年代

我国使用的钻井液主要有以下三种:

(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。

### (二) 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。

### (三) 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、降粘剂、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。

### (四) 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  $2.03\text{g/cm}^3$ 。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。这类钻井液有其独特的流变特性, 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。

### (五) 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, 如乳液高分子聚合物钻井液体系、钾铵防塌聚合物钻井液体系、低渗透屏蔽封堵钻井液体系、微泡沫钻井液体系、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  $260^\circ\text{C}$  高温油包水钻井液乳化剂、新

型水平井低荧光润滑剂、堵漏型凝胶、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，某些方面甚至已经达到国际先进水平。

## 第二章 钻井液工艺技术介绍

钻井液工艺技术是油气勘探、开发钻井工程中不可缺少的重要组成部分，它关系着能否准确地录取地质资料、发现和保护油气层，对安全、快速、高效、优质钻井起决定性的作用。

伴随着钻井技术的不断发展，对钻井液工艺技术提出了更高的要求，钻井液技术越来越具有挑战性，过去的分散钻井液、不分散钻井液等水基钻井液已不能满足钻井和保护油气层、保护环境、钻深井及超深井的需求，随之发展出更多的钻井液类型，本章介绍几种常见的钻井液类型。

### 第一节 水基钻井液

目前，水基钻井液体系使用最广泛，因其成本相对较低、原材料来源广、对环境污染轻微、技术难度较低易掌握，因此，在国内外油气的勘探和开发钻井施工中的应用占主导地位。

#### 一、分散钻井液

##### （一）组成

分散钻井液通过使用一些单一的化学分散剂，促使粘土水化分散，一般由淡水、粘土、无机分散剂和稀释剂、降滤失剂等组成。

##### （二）特点

- （1）可容纳较多的固相，适合配制高密度钻井液，密度可达  $2.0\text{g/cm}^3$  以上；
- （2）泥饼质量高，致密而坚韧，护壁性好，HTHP 滤失量及初滤失量均较低；
- （3）耐温能力较强，抗温达  $200^\circ\text{C}$ ；
- （4）亚微米颗粒浓度达 70% 以上，对钻速有影响；
- （5）分散性强，抑制性差，不适宜钻造浆地层；
- （6）保护油气层能力差，钻油气层时必须加以改造；
- （7）配制方法简便，处理剂用量少，成本低。

##### （三）适用范围

分散钻井液适用于配制高密度钻井液，特别是钻表层时，仍普遍使用。

#### 二、钙处理钻井液

##### （一）组成

钙处理钻井液是在淡水钻井液中加入提供  $\text{Ca}^{2+}$  的物质，如石灰、石膏和氯化钙等无机