



石油技工学校教材

# 钻井泥浆

(泥浆专业)

胜利石油勘探技工学校 鞠德平 主编

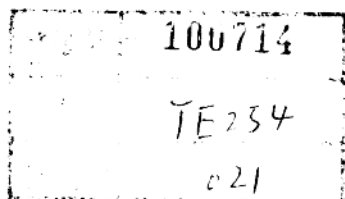


北京)

54

1

石油工业出版社



石油技工学校教材

# 钻 井 泥 浆

(泥浆专业)

胜利石油勘探技工学校 鞠德平 主编



石油工业出版社

(京)新登字082号

### 内 容 提 要

本书比较系统扼要地介绍了各类泥浆的组成、特点、有关机理、泥浆性能的测量、复杂情况下的泥浆处理、常用泥浆处理剂及其作用机理,同时阐述了粘土和泥浆流变性的基本知识。为了便于学习和训练操作技能,每章后附有思考题,书最后编有部分实验。

本书通俗易懂,是为石油技工学校泥浆专业编写的教材,也可作为泥浆工人的培训教材和现场泥浆人员及室内实验人员的参考书。

石油技工学校教材

### 钻 井 泥 浆

( 泥浆专业 )

胜利石油勘探技工学校 鞠德平 主编

\*

石油工业出版社出版发行

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京妙峰山印刷厂排版

北京怀柔燕文印刷厂印刷

\*

787×1092毫米16开本20<sup>1</sup>/<sub>4</sub>印张482千字 印8001—10000

1988年10月北京第1版1994年11月北京第3次印刷

ISBN 7-5021-0079-2/TE·79

定价: 17.20元

## 前 言

《钻井泥浆》教材是根据1984年石油部劳资司审定的石油技工学校教学计划和教学大纲编写的。为石油技工学校钻井泥浆专业教材，也可供培训泥浆工作人员选用。

本书原由胜利石油勘探技工学校编写，（编写人鞠德平），曾内部印刷和试用，并寄有关学校征求意见。1982年7月在大庆油田召开了教材审稿讨论会，对教材初稿各章提出了修改意见，并确定由鞠德平负责改编第一、二、五、六、九、十章、王福业负责改编第三、四、七、八、十一、十二章。于1983年7月印发全国各技工学校试用。

试用两年后，对全书又作了第二次修改，由鞠德平负责修改第一、二、三、四、五、六、七、九、十、十二、十三章、王福业负责修改八、十一章。最后由鞠德平对全书进行了审阅、调整、充实和校核。

近六年来，在本书的编写、修改过程中，始终得到石油部劳资司培训处、胜利油田培训处和胜利石油勘探技工学校领导的亲切关怀和大力支持，并得到华北石油技工学校陈庆安，四川石油管理局技工学校徐世芳，新疆克拉玛依技工学校李承孝、何绍全，大庆石油管理局技工学校刘志贵、李忠义，青海石油管理局技工学校韩刚以及胜利油田钻采工艺研究院泥浆室、胜利油田钻井泥浆公司陈剑萍、李振学、方丽珍、刁立孟、范维庆等的大力帮助和指导，并提出了许多宝贵意见。编者对以上单位和个人表示衷心感谢。

本书虽经两次修改和调整，但限于编者水平，又缺乏编写教材的经验，势必存在着很多缺点和错误，敬希各校师生和读者惠予指正。

编 者

1987年4月30日

# 目 录

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 第一章 泥浆基本知识.....          | (1)   |
| 第一节 泥浆概述.....            | (1)   |
| 第二节 泥浆的组成、分类和功用.....     | (3)   |
| 第三节 选择泥浆的依据.....         | (5)   |
| 第二章 粘土.....              | (8)   |
| 第一节 粘土的组成和分类.....        | (8)   |
| 第二节 粘土的结构特点.....         | (9)   |
| 第三节 粘土遇水后的性质.....        | (13)  |
| 第四节 粘土的寻找和鉴定.....        | (21)  |
| 第三章 泥浆的稳定性.....          | (25)  |
| 第一节 粘土的分散和聚结.....        | (25)  |
| 第二节 泥浆的稳定原理.....         | (30)  |
| 第三节 泥浆稳定性的影响因素.....      | (32)  |
| 第四章 泥浆流变性.....           | (37)  |
| 第一节 液体流动的基本概念及基本流型.....  | (37)  |
| 第二节 塑性流体——泥浆的流动变形特性..... | (42)  |
| 第三节 泥浆的流变参数.....         | (44)  |
| 第四节 泥浆流变参数的测量.....       | (48)  |
| 第五章 泥浆性能及其测量.....        | (52)  |
| 第一节 泥浆的密度.....           | (52)  |
| 第二节 泥浆的粘度.....           | (55)  |
| 第三节 泥浆的切力.....           | (62)  |
| 第四节 泥浆的失水和泥饼.....        | (65)  |
| 第五节 泥饼的摩擦系数.....         | (72)  |
| 第六节 泥浆的含砂量.....          | (73)  |
| 第七节 泥浆的酸碱值 (pH值) .....   | (74)  |
| 第八节 泥浆中的固相含量.....        | (77)  |
| 第九节 泥浆性能在钻井过程中的变化情况..... | (84)  |
| 第六章 泥浆无机处理剂.....         | (88)  |
| 第一节 碱类处理剂.....           | (88)  |
| 第二节 盐类处理剂.....           | (90)  |
| 第三节 增加泥浆密度的材料和粘土 .....   | (100) |
| 第四节 无机处理剂的作用机理综述 .....   | (102) |
| 第七章 泥浆有机处理剂 .....        | (107) |
| 第一节 有机高分子化合物简介 .....     | (107) |

|      |                            |       |
|------|----------------------------|-------|
| 第二节  | 有机稀释剂 .....                | (110) |
| 第三节  | 有机降水剂 .....                | (119) |
| 第四节  | 有机絮凝剂 .....                | (132) |
| 第五节  | 有机处理剂作用机理综述 .....          | (137) |
| 第八章  | 泥浆表面活性剂 .....              | (142) |
| 第一节  | 表面活性剂基本知识 .....            | (142) |
| 第二节  | 表面活性剂在泥浆中的作用 .....         | (148) |
| 第三节  | 表面活性剂分类简介 .....            | (156) |
| 第九章  | 现场常用泥浆类型简介 .....           | (169) |
| 第一节  | 钙处理泥浆 .....                | (169) |
| 第二节  | 盐水泥浆 .....                 | (175) |
| 第三节  | 聚丙烯酰胺不分散低固相泥浆 .....        | (181) |
| 第四节  | 油基泥浆 .....                 | (185) |
| 第五节  | 油包水乳化泥浆 .....              | (189) |
| 第六节  | 钾基泥浆 .....                 | (194) |
| 第七节  | 钻盐膏层泥浆 .....               | (197) |
| 第八节  | 深井和超深井泥浆 .....             | (200) |
| 第十章  | 一般及复杂情况时的泥浆工作 .....        | (211) |
| 第一节  | 一般情况时的泥浆工作 .....           | (211) |
| 第二节  | 井塌 .....                   | (218) |
| 第三节  | 井漏 .....                   | (223) |
| 第四节  | 高压层的泥浆工作 .....             | (226) |
| 第五节  | 卡钻 .....                   | (232) |
| 第十一章 | 泥浆有关参数的计算 .....            | (241) |
| 第一节  | 泥浆配制的计算 .....              | (241) |
| 第二节  | 泥浆容量计算 .....               | (242) |
| 第三节  | 泥浆提高密度和降低密度计算 .....        | (245) |
| 第四节  | 常用处理剂的配制计算 .....           | (247) |
| 第五节  | 泥浆中处理剂加量的计算 .....          | (248) |
| 第六节  | 聚丙烯酰胺(PAM)溶液的配制和用量计算 ..... | (249) |
| 第七节  | 泥浆泵排量的计算 .....             | (251) |
| 第八节  | 泥浆流速的计算 .....              | (253) |
| 第九节  | 处理卡钻事故的计算 .....            | (258) |
| 第十二章 | 水泥 .....                   | (270) |
| 第一节  | 硅酸盐水泥概述 .....              | (270) |
| 第二节  | 水泥的物理性能及有关处理剂 .....        | (273) |
| 第三节  | 影响固井质量的因素 .....            | (280) |
| 第十三章 | 泥浆实验 .....                 | (284) |
| 实验一  | 粘土阳离子交换容量的测定(醋酸铵淋洗法) ..... | (284) |
| 实验二  | 粘土的膨胀性实验 .....             | (287) |
| 实验三  | 电解质对泥浆稳定性的影响 .....         | (288) |
| 实验四  | 泥浆流变参数和失水量的测定 .....        | (289) |

|        |                                   |       |
|--------|-----------------------------------|-------|
| 实验五    | 泥浆流变曲线的测定 .....                   | (290) |
| 实验六    | 泥浆常规仪器的构造、校正及使用方法 .....           | (292) |
| 实验七    | 泥浆固相含量的测定 .....                   | (293) |
| 实验八    | 碳酸钠的不同加量对泥浆性能的影响 .....            | (295) |
| 实验九    | 铁铬木质素磺酸盐在泥浆中的稀释作用 .....           | (296) |
| 实验十    | Na-CMC在泥浆中的降失水作用 .....            | (296) |
| 实验十一   | 水解聚丙烯酰胺水解度的测定 .....               | (297) |
| 实验十二   | 表面活性剂的几种作用 .....                  | (299) |
| 实验十三   | 表面活性剂类型的鉴别 .....                  | (300) |
| 实验十四   | 钙处理泥浆 .....                       | (302) |
| 实验十五   | 盐水泥浆 .....                        | (304) |
| 实验十六   | 不分散低固相泥浆 .....                    | (305) |
| 实验十七   | 泥浆的高温实验 .....                     | (306) |
| 实验十八   | 泥浆的提密度及降密度 .....                  | (307) |
| 实验十九   | 水泥浆凝结时间的测定 .....                  | (309) |
| 实验二十   | 水泥浆流动度和水泥试件抗折强度的测定 .....          | (310) |
| 附 录    | .....                             | (312) |
| 附录一    | 常用化合物分子式和常用处理剂代表符号 .....          | (312) |
| 附录二    | 各种物质密度表 .....                     | (313) |
| 附录三    | 常见难溶的无机物质在水中的溶解度积 (18~20°C) ..... | (314) |
| 附录四    | 由泥浆中固相平均密度确定泥浆固相中粘土和重晶石含量 .....   | (314) |
| 附录五    | 常用许用单位与非许用单位换算表 .....             | (315) |
| 主要参考书目 | .....                             | (316) |

# 第一章 泥浆基本知识

## 第一节 泥浆概述

### 一、泥浆的定义

钻井泥浆（亦称钻井液，现场也叫泥浆）是钻井工作中的洗井液，其质量的优劣，直接关系到钻井的成败，所以它是钻井工作中十分重要的组成部分。那么什么叫钻井泥浆呢？要给一个十分完整又十分精确的定义是困难的。美国石油学会（API）的定义是用于钻井的、具有各种各样的功用以满足钻井工作需要的循环流体称为钻井泥浆。

### 二、泥浆技术发展过程

泥浆科学的发展，与其它科学一样，也遵循了随生产中逐步发展、不断改进提高的客观规律。根据国内外泥浆工作的发展过程来看，先后经历了清水→天然泥浆→细分散泥浆→粗分散泥浆→不分散低固相泥浆→无固相泥浆等几个阶段。

#### 1. 清水阶段

远在19世纪末20世纪初，钻井深度较浅，地质情况简单，当时用清水钻井。

#### 2. 天然泥浆阶段

由于机械破碎作用，使粘土在水中自然分散而形成的粘土-水溶液称为天然泥浆。人们在生产实践中发现，此类泥浆在携带岩屑、净化井底、控制坍塌等方面比清水优越。但是，当时还不会使用化学处理剂对泥浆进行化学处理，粘土分散颗粒较粗，水化不好。这种天然泥浆极不稳定，一旦井内停止循环，粘土就可能沉淀。所以使用天然泥浆经常发生井塌、沉砂卡钻、起下钻不顺利等复杂情况，导致钻井工作不能顺利进行。

#### 3. 细分散泥浆阶段

为了使天然泥浆获得良好的稳定性，人们实验加入一些单一的无机化学处理剂，如纯碱（ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ）、烧碱（ $\text{NaOH}$ ）等，同时加入简单的有机处理剂如丹宁酸、栲胶粉等，使粘土的水化分散显著改善。粘土由粗颗粒分散成很细小的颗粒，使泥浆具有较好的稳定性，此泥浆称为细分散泥浆。由于使用了此类泥浆，避免了由于天然泥浆不稳定而给钻井带来的不利因素。但是，由于泥浆中的粘土无限制地水化分散，又带来了许多缺点，如极易受化学污染（盐侵、石膏侵、水泥侵、芒硝侵）和粘土侵，使泥浆急剧变稠，泵压升高，致使开泵困难。井壁粘土和泥页岩水化分散，易造成缩径和坍塌，洗井不好，易造成泥包钻头和粘附卡钻。

#### 4. 粗分散泥浆阶段

在钻井过程中，泥浆经常发生盐侵（钻遇盐水层或盐岩层）和钙侵（钻遇石膏层），泥浆性能变坏。后来在实践中发现，泥浆受钙侵或盐侵后，再用稀释剂和降失水剂的处理，泥浆流动性又可变好，而且维护周期较长。从机理上说就是粘土在盐和钙的作用下发生了适度絮凝和适度分散，粘土颗粒变粗，故此类泥浆称为粗分散泥浆。



由于粗分散泥浆比细分散泥浆处理方便，且粘度和切力均低，流动性和稳定性好，泥饼薄而致密，失水小，井壁稳定，给钻井工作带来的优越性多，故在泥浆发展整个过程中使用时间长。然而，粗分散泥浆中的粘土水化较差，颗粒较粗，故泥浆固相含量高，密度易升高，影响钻井速度。

### 5. 不分散低固相泥浆阶段

随着石油工业的发展，泥浆技术也在不断的更新和发展。虽然粗分散泥浆给钻井工作带来大的进展，但在钻井速度方面，由于粘土含量高而严重影响了钻井速度，对油气层的损害也较大。为了解决固相含量高所带来的危害，通过使用絮凝剂，增稠剂等高分子聚合物和优质膨润土，将泥浆中的固相含量降至6%到4%，从而形成了不分散低固相泥浆体系。同时，也相应地发展了泥浆固相分析和固相控制的技术和工艺。由于使用不分散低固相泥浆，从而解决了由于固相含量高带来的危害和麻烦，钻井速度明显提高，减少了对油气层的损害和污染，收到了良好效果。

### 6. 无固相泥浆阶段

为了进一步消除粘土对泥浆性能的危害，又由不分散低固相泥浆发展成生物聚合物无固相泥浆，即在水中加入全絮凝剂控制固相含量在1%以下，另外加入一些高聚物成为无固相泥浆，使得钻井速度大幅度提高。

在上述水基泥浆不断发展的同时，为了准确收集地质资料和油层资料，以及对剥落、坍塌、缩径、高压层等复杂地层的钻进，相应地创造和发展了油基泥浆和油包水乳化泥浆。

## 三、我国泥浆工艺技术概况

我国石油工业在解放后有了飞跃发展，泥浆技术有了很大提高。泥浆工作也经历了上述几个阶段。泥浆类型从最初的钠基细分散泥浆到钙处理的粗分散泥浆、盐水泥浆、乳化泥浆、油基泥浆和现在普遍使用的不分散低固相泥浆等。泥浆处理剂从最初的烧碱、纯碱、丹宁、栲胶发展到现在的上百种，并且自行研制了高效稀释剂（铁铬木质素磺酸盐）和高效降失水剂（钠羧甲基纤维素）以后又研制了磺甲基丹宁、磺甲基褐煤和磺甲基酚醛树脂等超深井高温处理剂。另外，在处理塌、漏、喷、卡等方面也积累了丰富的经验。近十几年来，我国在几个地区连续钻成了多口超深井，最深井已超过七千米。并成功地发展了低固相铁铬盐-CMC泥浆、三磺（磺甲基丹宁、磺甲基褐煤、磺甲基酚醛树脂）泥浆、聚丙烯酰胺泥浆等。尤其使用了低固相泥浆和机械除砂设备，使钻井速度大幅度提高。在测量仪器方面，仿制并推广了旋转粘度计、固相含量测定仪、高温高压失水仪等，使泥浆处理经验更加丰富，泥浆工艺技术更趋完善。目前，不分散低固相、无固相泥浆体系正在建立和发展。泥浆流变学和泥浆水力学的理论研究也在逐步深入。泥浆性能自动测试仪的研制已取得初步成功。高压喷射钻井技术已普遍推广使用。如此等等，必将推进泥浆技术现代化的实现。

从泥浆的发展来看，是人们在生产实践中不断总结，不断更新，不断完善，从而推动了泥浆技术的发展。人们初期认识到泥浆比清水好，粗分散较细分散好，但经过长期实践认识到粘土多了不如少了好，甚至有粘土不如无粘土好，当然现在的无固相泥浆决不是最原始的清水，而是复杂的高分子聚合物溶液了。“泥浆”，这个顾名思义的习惯名称，至今天已不能全部代表所有泥浆了，而人们沿用这个称呼，只是作为这门学科的名字，即只用

其名不用其义了。

若按名称来理解,泥浆就是水土之混合物,司空见惯,人所共知。其实我们所使用的泥浆是一门非常复杂的学科,它涉及到许多基础知识。如讲泥浆涉及到粘土基本知识;了解无机和有机处理剂要涉及到无机化学、有机化学和高分子化学知识;学习表面活性剂涉及到胶体化学知识;了解泥浆流动特点与性质涉及到水力学知识;了解泥浆的正确使用,又与钻井工程、钻井地质、水泥基本知识等联系甚密;要测定泥浆滤液成分又涉及到分析化学知识。如此等等,都证明了泥浆专业课的重要性和复杂性。因此,要求我们努力学习,刻苦钻研,加强理论和实践相结合,掌握好泥浆基本知识,为泥浆技术现代化而奋斗。

## 第二节 泥浆的组成、分类和功用

### 一、泥浆的组成和分类

泥浆主要是由粘土、水以及各种处理剂与加重剂组成的溶胶及悬浮体的混合体系,这种体系是钻井泥浆最主要的类型。

泥浆的性质主要受粘土、水和处理剂三方面的影响。各种粘土具有不同程度的带电性,可以吸附不同离子,故具有不同程度的水化、膨胀、分散、絮凝等性能。粘土在泥浆中的颗粒大小不一,一般多数在悬浮体的范围内(0.1微米以上),少数在溶胶范围内(1~100纳米),属于多级分散体系。泥浆用水一般有淡水、海水、盐水及矿化度不同的水,不同的水型配成的泥浆具有不同的性能和作用。为使泥浆性能满足钻井工程的需要,还要加入无机、有机等处理剂。为了调整泥浆密度,以满足平衡地层压力的需要,还须加入加重剂。

另外,还有以油(原油或柴油)为分散介质的泥浆,如油基泥浆、油包水乳化泥浆等。归纳起来,泥浆大致可以分为以下几种类型:

#### 1. 水基泥浆

水基泥浆是以水为分散介质,以粘土为分散相,再加入一些化学处理剂(或添加剂)和加重料配制而成的混合体系。这类泥浆发展最早,使用也最广泛。在生产实践中,水基泥浆又根据水型、处理剂及作用的不同而分成以下几类。

##### 1) 淡水泥浆

含盐量( $\text{NaCl}$ 含量)小于1%, ( $10^4$ 毫克/升); 含钙量( $\text{Ca}^{2+}$ 浓度)小于120毫克/升。

##### 2) 盐水泥浆

含盐量( $\text{NaCl}$ )大于1% ( $10^4$ 毫克/升)。根据含盐量的不同,盐水泥浆又可分为一般盐水泥浆(含盐量7~9%)、海水泥浆(含盐量3.5%)、饱和盐水泥浆(含盐量30~35%)。此类泥浆主要应用于海湾,海上钻井,还用于钻进盐岩层、高压盐水层及易坍塌的泥页岩地层。

##### 3) 钙处理泥浆

含钙量( $\text{Ca}^{2+}$ )大于120毫克/升。根据含钙量和用途的不同,它又可分为石灰泥浆(含钙量120~200毫克/升)、石膏泥浆(含钙量300~500毫克/升)和氯化钙泥浆(含钙量>500毫克/升)。此类泥浆的主要特点是防塌性能好,抗可溶性盐类侵入的能力强。

##### 4) 低固相泥浆

一般低固相泥浆的固相含量(体积百分数)小于7%,近几年发展起来的“不分散低固相泥浆”的固相含量小于4%。此类泥浆的主要特点是钻速快、流动性能好、携砂能力强、钻井总成本低。

#### 5) 混油泥浆

根据需要在泥浆中加入一定数量的(约在3~30%)原油或柴油,使油呈小珠分散的乳化状态。其主要特点是润滑性、流动性好,失水量和泥饼摩擦系数较低。

#### 6) 无固相泥浆

固相含量小于1%,是近代正在研究和试用的泥浆。

#### 2. 油基泥浆

##### 1) 油包水乳化泥浆

以柴油或原油作分散介质,水和有机膨润土(或称活性膨润土、亲油膨润土)或其它亲油粉末状物质作分散相,加乳化剂和辅助乳化剂配制而成的。其主要特点是热稳定性好,防塌效果明显,对油气层损害小,常用于超深井的高温井段和钻进易塌及低压油气层。

##### 2) 油基泥浆

以柴油(或原油)为分散介质,以氧化沥青(或有机膨润土)为分散相,再加入有关化学处理剂和加重料配制而成。主要特点是对油层损害小,抗可溶性盐类侵入的能力强,并且在准确录取井下资料时,有时也用此类泥浆。

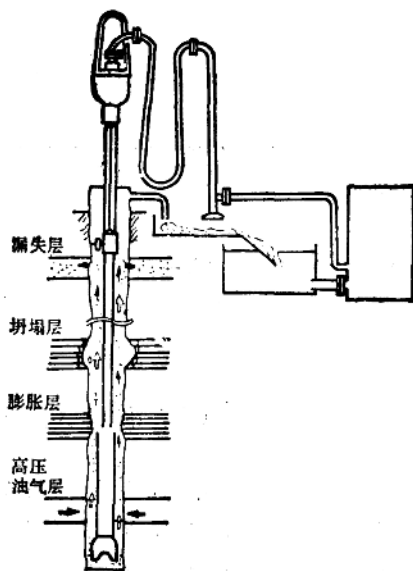


图 1-1 泥浆在钻井过程中的功用示意图

#### 1. 悬浮和携带岩屑

泥浆的基本功用之一,就是要把钻头破碎的岩屑从井底带出并眼,保持并眼清洁,以利起下钻畅通无阻。当接单根或临时停止循环时,泥浆又能把并眼内的钻屑悬浮在泥浆中,不致很快下沉,从而防止了沉砂卡钻的危险。同时保持并眼清洁,不致造成钻头重复切削,保证钻头在井底始终接触和破碎新地层,提高钻头工作效率,从而提高了钻速。这就要求

#### 3. 泡沫泥浆

此类泥浆是使用大量发泡剂,使溶液发泡,以此代替泥浆。

#### 4. 空气泥浆

是采用高压机械装置,将空气压入井中,以此来代替泥浆。

### 二、泥浆的功用

在钻井过程中,泥浆的功用概括起来有两个方面:其一是防止在钻井过程中发生各种复杂情况,有利于快速优质钻井;其二是保护油气层,防止或者减少泥浆(或滤液)对油气层的损害,以利于提高油气产量,增加生产能力。具体来讲,有以下几点(见图1-1)。

泥浆具有适当的粘度、切力等流变性能。

## 2. 润滑和冷却钻头钻具

在钻进过程中，钻头一直在高温下旋转和破碎岩层，产生很多的热量，同时钻具也不断地与井壁摩擦产生热量，这些热量很难由岩层传递走，而泥浆可通过钻头钻具进行循环，把钻头、钻具上因摩擦所产生的热量吸收，然后带到地面释放到大气中，从而起到了冷却钻头、钻具的作用，使其不至于短期内烧坏，延长了使用寿命；并且钻头、钻具是在液体内旋转，降低了摩擦阻力，有一定润滑性。

## 3. 稳定井壁

井壁稳定、井眼规则是优质快速钻井的重要基础条件，也是泥浆措施的基本立足点。良好的泥浆应能借助于泥浆中水的滤失，在井壁上形成一层很好的泥饼，以巩固地层并阻止液体流入地层，减少了泥页岩的水化膨胀和分散。近十几年来，防塌泥浆技术取得了重大进展，大大减少井下复杂情况，对于提高钻速和降低钻井成本做出了贡献，更加显示了泥浆在稳定井壁方面的重要作用。

## 4. 平衡地层压力

在钻进中遇到压力系统复杂的地层时，可在较大范围内调节泥浆密度，以建立合适的液柱压力来平衡地层压力，防止塌、喷、漏、卡等复杂情况的发生。当然，平衡压力钻井不仅仅是一种防止塌、漏、喷、卡的措施，而且对井底净化、提高钻速以及减小泥浆对油层的侵害，提高油井产量等方面，也具有重要意义。因此，应当预测地层压力，实行平衡压力钻井。

## 5. 发挥水力效能

泥浆高速射流冲击井底，帮助钻头破碎井底岩石，提高钻井速度。高压喷射钻井就是应用了这一原理，即采用高泵压钻进，使泥浆在钻头水眼出口形成一个高速射流，使它对井底有一个强大的冲击力，从而提高了钻速。

## 6. 传递动力

使用涡轮钻具钻进时，泥浆由钻杆内以较高的流动速度经过涡轮叶片，使涡轮旋转带动钻头破碎岩石。

另外，由于我们钻井的目的是探明地层情况和开发油气藏，因此，泥浆应尽可能不损害油气层的渗透性和不降低油井产量，并有利于获得准确的砂样、岩芯及电测资料。此外，在各种复杂岩层钻井时，对泥浆还要有特殊的要求。例如钻进盐岩层、石膏层时，要求泥浆具有较强的抗盐、抗钙能力和防止井眼扩大的能力；钻高温地层或超深井井段时，要求泥浆具有较高的热稳定性等。

总之，应根据一口井的地层特点、井身结构、钻井措施、动力设备等具体条件，正确选择泥浆类型，采用合理的泥浆措施，以达到快速优质钻井的目的。

# 第三节 选择泥浆的依据

各种类型的泥浆各有其特点和适用范围，选择时需要根据所在井的地质情况和钻井工艺要求选择合适的泥浆类型。

## 一、钻井的类型

### 1. 探井

因为探井所钻的地层一般还不十分了解,所以对钻井过程中可能发生的情况预计的准确率较小。为了保证井壁稳定、井下安全、钻进顺利,最好使用密度较大、粘度较高、失水较小的抑制性泥浆,如钙处理泥浆、盐水泥浆、钾基泥浆等。但最好不要使用混油泥浆,因为它不利于观察油、气显示,不利于及时和准确地发现油、气层。

### 2. 开发井

因为开发井所钻的地层一般已经基本掌握,对在各地层的钻进中可能发生的情况预计比较准确,所以允许使用最优化钻井技术。钻进开发井一般要求以最快的速度、最短的时间和最少的经济开支。因此,最好选用密度小,固相含量低的低固相不分散泥浆或无固相聚合物泥浆。最好不使用高密度泥浆,否则将会显著降低钻进速度,增长完井周期,延误开发时间。

### 3. 斜井

斜井的井身方位角变化较大,在弯曲部位钻具常常靠在井壁上,容易产生粘附或压差卡钻、井壁坍塌等。因此,在钻进斜井时最好使用润滑性能好的不分散泥浆,如不分散低固相泥浆,混油泥浆等。也可在泥浆中加入润滑剂,增强泥浆的润滑性,减少粘附卡钻的发生。

### 4. 大修井

选用修井泥浆的原则是对生产层损害最轻。一般修井泥浆是用酸溶性固体(如碳酸钙粉)配制,用可溶性盐类加重,以避免对生产层的损害。

## 二、防塌、防喷和防漏

### 1. 防塌

在钻进泥页岩地层,会发生不同程度的坍塌。若泥页岩的坍塌问题不突出时,通常采用调整屈服值、提高泥饼质量、降低失水来控制泥页岩的坍塌。若坍塌情况严重,就需要针对具体情况选用防塌泥浆,如钾基泥浆、饱和盐水泥浆、油包水乳化泥浆等。

### 2. 防喷

若钻进高压水层、高压盐水层、高压油气层,要特别注意防喷。在此情况下一般要选用高密度泥浆,如高密度饱和盐水泥浆、高密度油包水乳化泥浆等。但在提高泥浆密度时,要根据地层压力适当加入加重剂,不要盲目地乱加,以免把地层压漏。

### 3. 防漏

在钻进漏层时,要特别注意防漏。在轻微漏失的情况下,可选用低密度、高粘度、高切力泥浆钻进。若漏失严重,除保持泥浆高粘度、高切力外,还要加入纤维状物质。必要时配制堵漏剂进行堵漏。

## 三、抗污染

### 1. 抗石膏侵

石膏侵的主要问题是,钻进石膏层时石膏溶解于淡水泥浆中,使淡水泥浆中的粘土颗粒表面吸附钙( $\text{Ca}^{2+}$ )离子,本来水化性好的粘土颗粒水化性变差而絮凝,从而引起泥浆粘度、切力和失水变大,流动性变差。若遇这种情况,最好是将部分多余的钙离子清除掉。若石膏侵严重,可选用不受石膏影响的钙处理泥浆,如FCLS(铁铬木质素磺酸盐)-石膏泥浆、褐煤-石膏泥浆等。

## 2. 盐侵

盐侵包括钻穿盐水和盐岩层的情况下发生。盐侵对泥浆的污染与石膏侵相类似。因为盐主要是由氯化钠( $\text{NaCl}$ )组成,还含有少量氯化钙和氯化镁,它能提供钠、钙、镁离子,这些离子对淡水泥浆污染严重。若盐侵轻微,对泥浆进行处理后仍可使用淡水泥浆。若盐侵严重,则要使用一般盐水泥浆或饱和盐水泥浆。若钻遇大段盐岩层,为避免盐岩层溶解,使井眼形成“大肚子”,则最好使用饱和盐水泥浆。

## 四、抗高温

为勘探和开发深部地层的油气藏需要钻深井和超深井,井底温度较高。一般认为,若井底温度超过 $120^{\circ}\text{C}$ 时,则必须考虑泥浆的热稳定性问题。因为高温可降低处理剂的作用效果,泥浆失水增大,使固相含量较高的泥浆产生胶凝。为减少这些不利因素,一般可选用抗高温泥浆体系,如低固相不分散泥浆、FCLS-CMC(钠羧基甲基纤维素)盐水泥浆、三磺(磺甲基丹宁、磺甲基褐煤、磺甲基酚醛树脂)泥浆等。

除上述选择依据外,还要考虑处理剂、原材料的供应,水源、水型等因素。因此,选择泥浆时要综合分析、全面考虑、留有余地。一口井不同井段也可根据不同要求选择不同类型的泥浆。

## 思 考 题

1. 泥浆工艺是怎样发展的?共分为几个阶段?从泥浆工艺发展的过程能悟出什么哲理?
2. 泥浆是由哪些物质组成的?它有哪些功用?
3. 水基泥浆共分几种类型?其划分标准如何?
4. 水基泥浆与油基泥浆在组成上有什么主要区别?
5. 选择泥浆的依据有哪些?
6. 为什么说“泥浆是钻井的血液”?
7. 学习了这一章后,你对泥浆这门课有什么认识?

## 第二章 粘 土

组成水基泥浆的基本物质除水之外就是粘土了。粘土对于泥浆性能的影响,是一个决定性的因素。泥浆的性质和性能主要取决于粘土微粒的矿物类型及其在水中的性质、分散粒度的大小和分布、粘土的总含量和这些粘土微粒与处理剂的作用等。在钻井过程中,泥浆性能在不断地变化,我们要研究泥浆变化的原因和规律,调整泥浆的性能,首先必须学习粘土的基本知识。地层中泥页岩的主要成分是粘土矿物,含油的砂岩中也含有一定数量的粘土矿物,这些粘土矿物在水的作用下发生水化膨胀分散,造成井壁不稳定和使油层渗透率降低,使油层受到损害。当然,也有的地区虽然有粘土却不能造浆,需从专门的粘土矿供应粘土来配制泥浆。以上这些问题皆与粘土矿物的类型和性质有关。本章将对粘土的组成、结构和性质加以讨论。

### 第一节 粘土的组成和分类

#### 一、粘土的组成

粘土是岩石经过水、空气、阳光和冷热变化的多种作用,经过若干年的变迁而形成的。粘土的粒径大多数在2微米(1微米=0.001毫米)以下。粘土的矿物成分相当复杂,多数粘土中常含有非晶质的胶体矿物,如蛋白石、氢氧化铁、氢氧化铝等,有些粘土中还有不定量的石英、长石等非粘土矿物。组成粘土的化学元素主要是铝(Al)、硅(Si)、氧(O)、氢(H),另外还有少量的镁(Mg)、铁(Fe)、钠(Na)、钾(K)等。

粘土的化学分析表明,它们的化学成分主要是二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )、三氧化二铝( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )和水( $\text{H}_2\text{O}$ ),其次还有氧化铁( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、氧化钠( $\text{Na}_2\text{O}$ )、氧化钾( $\text{K}_2\text{O}$ )、氧化镁( $\text{MgO}$ )和氧化钙( $\text{CaO}$ )等。粘土本身都含有化合水,所谓化合水(化学结合水或晶格水),是粘土矿物形成过程中吸收的水,所以它是粘土晶体构造的一部分。一般来说,温度升至1300℃以上时,失去这种化合水,这时发生明显的吸热反应,粘土的晶体随即被破坏。我国某些粘土的化学成分见表2-1。

表 2-1 我国某些粘土的化学成分

| 化 学 成 分<br>含 量<br>粘 土 | $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{FeO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{CaO}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{H}_2\text{O}$ | $\text{CO}_2$ | $\text{SO}_3$ | 烧<br>失<br>量 |
|-----------------------|----------------|-------------------------|----------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|-----------------------|----------------------|---------------|---------------|-------------|
| 绥远大青山高岭石粘土            | 46.36          | 39.62                   | 0.98           | 0.53                    | 0.53         | 0.09         | 0.33         | 0.08                 | 0.03                  | /                    | /             | /             | 14.64       |
| 河北峰峰土                 | 50.01          | 33.67                   | 1.89           | 8.22                    | 8.22         | 2.32         | 0.56         | 3.04                 | 1.35                  | /                    | /             | 0.15          | 11.95       |
| 复州湾软质土                | 44.32          | 34.66                   | 1.18           | 1.89                    | /            | 0.49         | 0.33         | 0.48                 | 0.45                  | /                    | /             | 1.14          | 4.91        |
| 辽宁复县硬质土               | 30.55          | 50.72                   | 0.72           | 2.05                    | /            | 0.14         | 0.34         | /                    | /                     | /                    | /             | /             | 1.40        |
| 河北宣化胶岭石土              | 60.14          | 12.53                   | 0.14           | 0.94                    | 0.01         | 2.32         | 5.21         | 2.74                 | 0.27                  | 14.19                | 2.62          | /             | /           |
| 柴达木水云母土               | 40.60          | /                       | 0.78           | /                       | /            | 2.6          | /            | 2.97                 | 0.76                  | 1.70                 | /             | /             | /           |
| 辽宁黑山膨润土               | 69.32          | 13.91                   | 0.06           | 21.84                   | /            | 2.34         | 2.28         | 0.55                 | 0.48                  | /                    | /             | /             | /           |

## 二、粘土的分类

自然界中的粘土常常是多种粘土矿物组成的,若其中某种粘土矿物含量较高,则粘土就以此取名。所以,根据粘土中各种粘土矿物含量的不同,可大致把粘土分为三类。

### 1.高岭石粘土

它主要由高岭石矿物组成,其含量有时可达90%以上。其次含有多水高岭石、水云母等粘土矿及杂质,颜色多为白色、浅灰色、浅黄色等。

### 2.微晶高岭石粘土

它又叫膨润土、蒙脱土、胶岭土、主要由微晶高岭石组成。颜色多为粉红色、白色、淡黄色、浅灰色等。纯微晶高岭土矿比较少见,但它造浆性能好。

### 3.伊利石粘土

主要由水云母组成,其次含有其它粘土矿物,其颜色以黄、灰、红为主。

上述三类粘土矿物的主要化学组成列于表2-2中。

表 2-2 三类粘土矿物主要化学组成

| 粘 土 矿 物   | 粘 土 矿 物 的 化 学 组 成                                                                                        |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 高 岭 石     | $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$                                   |
| 微 晶 高 岭 石 | $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot (2+x)\text{H}_2\text{O}$                               |
| 伊 利 石     | $\text{K}_{>1}\text{Al}_2[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ |

由上表可知,高岭石化学组成为  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 2 : 1$ , 微晶高岭石的化学组成为  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 4 : 1$ 。微晶高岭石的比值较高岭石大,所以前者易在水中水化分散成细小颗粒,有利于泥浆的配制。

## 第二节 粘土的结构特点

### 一、粘土矿物的两种基本构造单位

#### 1.硅氧四面体(Si-O四面体)

每个四面体中都有一个硅(Si)原子与四个氧(O)原子(或OH原子团)以相等的距离相连,硅在四面体的中心,四个氧原子(或氢氧原子团)分别在四面体的各顶点。硅氧之间是以共价键相结合的,硅显正电性,氧显负电性,硅和氧之间各拿出一个电子形成了一对共用电子对,形成共价键。因此,一个硅与四个氧之间有四对共用电子对,从而组成了一个硅氧四面体(见图2-1)。

硅氧四面体结构中的氧是不饱和的,硅氧四面体之间靠四面体底部的氧原子相互连接。在硅原子周围是四个氧原子,四面体底部的每个氧原子可分别与两个硅原子结合,而顶部的氧原子为不饱和原子,可再结合一个氢原子。许多的硅氧四面体可联结成硅氧四面体群(见图2-2)。

#### 2.铝氧八面体(Al-O八面体)

六个氧原子围绕一个铝原子组成八面体结构,即铝在中间,铝的上面有三个氧(或氢氧)组成了四面体,铝的下面也有三个氧(或氢氧)也组成了四面体结构(见图2-3)。因



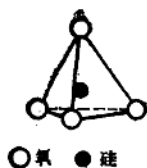


图 2-1 硅氧四面体

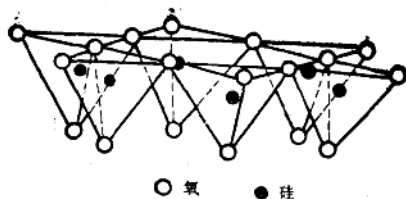


图 2-2 硅氧四面体群

铝的金属性比硅强，则铝氧键的极性比硅氧键的极性大，加上铝原子的半径比硅原子的半径大，故因中心原子的半径大，则周围结合的氧原子数目就多。因此，在硅原子周围结合四个氧原子构成四面体，而在铝原子周围结合六个氧原子构成八面体。

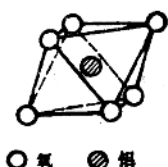


图 2-3 铝氧八面体

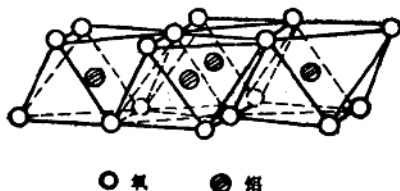


图 2-4 铝氧八面体群

在铝氧八面体中，铝原子的化合价平均分配给六个氧原子，使每个氧原子都可得到  $1/2$  的价，当每个氧原子再结合一个氢原子后，氧原子仍然不饱和，可以再同另一个铝原子结合，又得到  $1/2$  价。这样周而复始，许多铝氧八面体联结在一起就构成了铝氧八面体群（见图2-4）。即形成了粘土矿物晶体结构中紧密的水铝片。水铝片为上下两层紧密排列的氧和氢氧层，中间夹一层铝原子层。

## 二、高岭石的晶体结构

高岭石的晶体构造是由一个硅氧四面体晶片和一个铝氧八面体晶片组成。四面体晶片以尖顶朝向八面体晶片，二者由共用的氧原子和氢氧原子团联结在一起（见图2-5）。将图2-5投向一个平面得图2-6。由于高岭石是由一个硅氧四面体晶片和一个铝氧八面体晶片组成，故称之为1：1晶体构造型粘土矿物。高岭石的化学分子式可写为  $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$  或  $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ，其中  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的分子比为2：1。

高岭石晶体由一个硅氧四面体晶片和一个铝氧八面体晶片组成高岭石的片状结构，这种片状结构在垂直方向上一层层的重叠，而在水平方向上晶层连续延伸。在每一个片状结构中，一面为氧层，一面为氢氧层，而氢氧具有强的极性，晶层与晶层之间容易形成氢键，因而晶胞之间联结紧密，晶格间距（上一晶层的下层面至下一晶层的下层面之间的距离）为  $7.2 \text{ \AA}$  ( $1 \text{ \AA} = 10^{-8}$  厘米)（见图2-6），故高岭石的分散性较差，小于2微米的颗粒含量多在10~40%之间。这种粘土矿物比较稳定，晶格中的离子取代现象几乎不存在，且构造单位中原子电荷是平衡的，故高岭石电性微弱。

高岭石由于上述晶体构造的特点，所以它的阳离子交换容量小，晶层间联结紧密，水分不易进入其间，为非膨胀类型的粘土矿物，它的水化性能差，不易吸水膨胀，而只发生