

中等专业学校教学用书

# 钻井液

贾 铎 编



石油工业出版社

TE254  
6  
3

# 钻井液

贾 铎 编

6253/1001

石油工业出版社

A734171

**钻 井 液**  
**贾 铎 编**

\*

石油工业部教材编译室 (北京 902 信箱)

石油工业出版社出版发行  
(北京和平里七区十六号楼)

大厂县印刷厂印刷

\*

开本  $787 \times 1092^{1/16}$  7 $\frac{1}{2}$  印张 180 千字 印数 1—15,000 册  
1980 年 9 月北京第 1 版 1980 年 9 月北京第 1 次印刷  
书号 15037·2224 定价 0.65 元

## 内 容 摘 要

本书内容包括泥浆基本知识、粘土常识、现场常用的几种类型泥浆、井下复杂情况的处理与泥浆的关系等。另外还包括有泥浆配制的计算方法以及有关物理常数等。

本书是为中等专业学校编写的教材，也可以作为现场泥浆技术人员和泥浆工人的参考资料。

## 编者说明

随着钻井生产实践规模的扩大和科学技术的发展,今天“钻井液”这门课程包括了广泛和丰富的内容。除了过去教材中包括的一般内容以外,泥浆流变学和泥浆水力学、泥浆固体分析和固体控制、油井压力监测和控制、井塌和井壁稳定问题、修井液、空气钻井和泡沫钻井以及金属管材、配件的腐蚀和预防等等,都成为“钻井液”中不可分割的内容,并形成了一个独立的章节。对于这些内容无论是泥浆专业人员或钻井专业人员都应有一定程度的了解并能在现场工作中用其指导实践。由于中专钻井专业是培养钻井专业的中等技术人材,学习“钻井液”这门课程,应使学生在了解“钻井液”的基础理论和基本知识的基础上,具有熟练的生产知识和技能。因此就要求这本书既具有广泛的内容又要比较精炼,同时文字又要通俗易懂又能引起趣味。这对我来说的确是个很困难的事情。虽然我朝这个方向做了努力,但效果仍不明显。为了使教材包括较丰富的内容,又不至于零乱和庞杂,全部内容合并归纳为九章。在第三章泥浆性能在钻井中的作用和变化一章中,包括了泥浆流变学和泥浆水力学的有关内容;第六章现场使用的几种类型泥浆中,将各类型泥浆分别叙述合并为一章;第八章井下复杂情况下的泥浆工作中,首先介绍了与各种井下事故都有关系的井内压力问题,然后分别对井喷、井漏、井塌、卡钻等进行了介绍;把泥浆固体分析和固体控制有关内容单独列为第五章。因为无论从现场实践或从科学研究的角度看,对这个问题都需要我们给予特别的重视;第七章一口井的泥浆工作,只是就一口深井泥浆工作的一般程序和基本方法进行了介绍,各油田可根据本地区具体特点进行增补。因为“钻井液”这门课程涉及内容很多,而且各油田、各地区的特点和情况不同,各校在讲授时可以根据具体情况进行选择、补充和删节。

在本书编写过程中,大港石油学校给予了大力支持和关心,石油部勘探开发研究院钻井所和华北油田钻井处、培训处提供了大量资料。本书的主审为华东石油学院的樊世忠副教授,黄世骅老师也做了指导。蒋学礼、张清华同志协助绘图,赵志忠同志协助摄影,编者对以上单位和同志表示衷心谢意!

由于本人知识浅薄和狭窄,对泥浆工作的实践和经历也很有限,又缺乏编写教材的经验,所以这本教材编写的质量是不高的,也必然存在着很多缺点和错误,恳切希望各院、校教师、同学、现场技术人员和广大读者提出批评和建议。

1979.8.1

# 目 录

第一章 泥浆基本知识.....	1
§ 1. 什么是泥浆 .....	1
§ 2. 泥浆在钻井中的功用 .....	1
§ 3. 泥浆技术发展概况 .....	2
§ 4. 钻井液分类 .....	3
第二章 粘土基本知识.....	5
§ 1. 常见粘土矿物及其化学成分 .....	6
§ 2. 粘土矿物晶体结构 .....	7
§ 3. 粘土的性质 .....	9
§ 4. 粘土的分散和聚结 .....	14
第三章 泥浆性能及其与钻井的关系.....	17
§ 1. 泥浆性能及其与钻井的关系 .....	17
§ 2. 泥浆性能在钻井过程中的变化规律 .....	30
§ 3. 泥浆性能的测量 .....	31
第四章 泥浆处理剂和原材料.....	39
§ 1. 无机处理剂 .....	39
§ 2. 有机处理剂 .....	43
§ 3. 表面活性剂 .....	46
§ 4. 泥浆加重料和粘土 .....	50
第五章 泥浆固体控制.....	52
§ 1. 泥浆固相含量高的危害 .....	52
§ 2. 泥浆固相含量对钻井速度的影响 .....	53
§ 3. 对泥浆中固相的认识、泥浆中固相的分类 .....	54
§ 4. 泥浆固体控制的目的和方法 .....	55
§ 5. 泥浆固体控制设备 .....	57
第六章 现场使用的几种类型泥浆.....	61
§ 1. 钙处理泥浆 .....	61
§ 2. 盐水泥浆 .....	63
§ 3. 不分散低固相泥浆 .....	65
§ 4. 油基泥浆 .....	71
§ 5. 油包水乳化泥浆 .....	73
§ 6. 钾基泥浆 .....	75
§ 7. 深井和超深井泥浆 .....	78
第七章 一口井泥浆工作.....	81
§ 1. 泥浆技术设计 .....	81

§ 2. 泥浆设备和地面循环系统的安装 .....	81
§ 3. 泥浆的维护与处理 .....	83
<b>第八章 井下复杂情况下的泥浆工作</b> .....	<b>86</b>
§ 1. 井内的各种压力及其平衡 .....	86
§ 2. 高压层的泥浆工作 .....	89
§ 3. 井漏 .....	93
§ 4. 井塌 .....	94
§ 5. 卡钻 .....	100
<b>第九章 有关计算</b> .....	<b>103</b>
§ 1. 用粘土和水配制泥浆 .....	103
§ 2. 泥浆的加重和降比重 .....	103
§ 3. 井筒容积 .....	104
§ 4. 泥浆泵排量、环形空间上返速度和循环一周时间 .....	105
§ 5. 配制处理剂的浓度和比例 .....	106
§ 6. 泥浆中加入处理剂的数量 .....	107
<b>附 录</b> .....	<b>109</b>
一、常用化合物化学符号和常用处理剂代表符号.....	109
二、一些物质比重.....	110
三、根据泥浆比重确定泥浆固相含量.....	110
四、泥浆固相中粘土、重晶石重量含量确定.....	111
五、井场泥浆地面循环系统平面布置图.....	111
六、泥浆工作有关的公英制换算表.....	112

# 第一章 泥浆基本知识

## § 1 什么是泥浆

泥浆是钻井工程的洗井液。为了满足钻井工程的要求，适应井下地质情况和发现并保护油气层，泥浆必须具有一定的性能(如比重、粘度、切力、失水量等)。

最初，使用清水钻井，地层中的粘土被钻碎，在水中水化分散，形成粘土的水溶液——泥浆。以后逐渐发展为使用采集的粘土配制水基泥浆，并且使用化学处理剂来调整泥浆性能。今天，随着钻井技术的发展，泥浆已超出粘土-水分散体系-水基泥浆的范围，出现了油基泥浆、无固相泥浆、生物聚合物泥浆以及空气、天然气和泡沫等多种类型的新型钻井液。所以，把泥浆称为钻井液更为科学和确切。

## § 2 泥浆在钻井中的功用

在现代钻井技术中，泥浆是很重要的一个方面。泥浆在钻井中起着多方面的重要作用，可以说，如不使用先进的泥浆技术和优质泥浆，就不可能安全、优质、快速地钻井，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。泥浆在钻进复杂地层、保证井下安全、防止化学污染、克服井底高温等方面，对保证安全顺利钻井起着重要的作用。六十年代以来，泥浆水力学有了很大的发展，使用了高压喷射钻井技术，发挥泥浆水力效应，提高钻井速度，见到了显著效果，泥浆在钻井中的作用可以概括为以下几个方面：

(1) 清洗井底，携带岩屑，保持井底清洁，保证钻头不断破碎新地层，使钻进不中断。

(2) 平衡地层中流体（油、气、水）压力，防止井喷、井漏，并防止对油、气层的污染。

(3) 平衡岩石侧压力，并在井壁形成泥饼，维持井壁稳定，防止地层坍塌。

(4) 发挥水力效能，冲击井底，帮助钻头破碎井底岩石，提高钻井速度。

(5) 悬浮岩屑和加重料，降低岩屑沉降速度，避免沉砂卡钻。

(6) 润滑并冷却钻头、钻具。

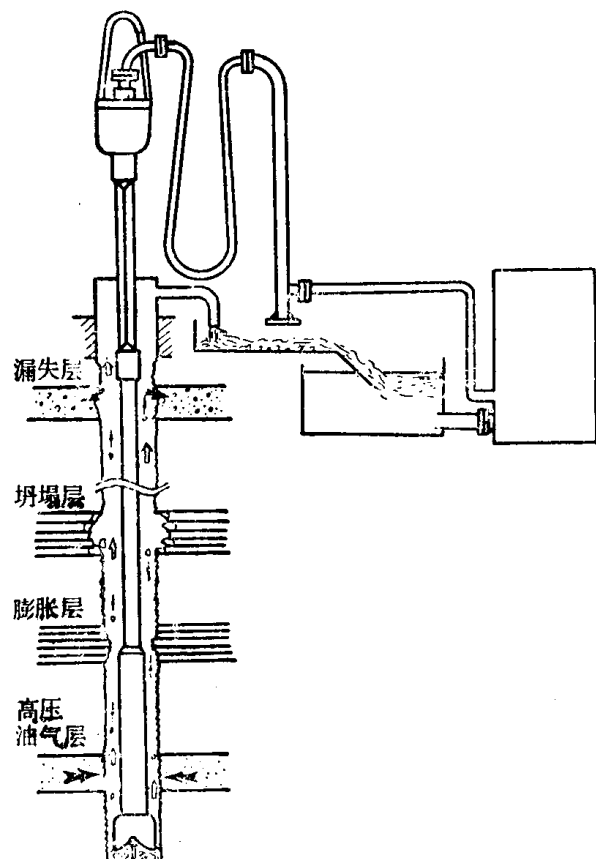


图 1-1 泥浆在钻井工程中的功用示意图



(7) 防止地层中盐水、岩盐、石膏、芒硝等对泥浆的化学污染，防止硫化氢的污染和损害。

(8) 利用泥浆进行电测井、砂样录井、泥浆录井和槽面观察，录取有关油气层和井下地质资料、数据。

### § 3 泥浆技术发展概况

在钻井实践过程中泥浆技术不断发展，从水力旋转钻井一出现，钻井液就成为钻井工艺技术的重要组成部分。钻井液从最初采用清水开始，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(无粘土)泥浆几个阶段。

(1) 清水 最初使用清水钻井，在钻进过程中，地层中的粘土被钻碎进入清水中，不断水化分散，就形成了泥浆，这种泥浆称为天然泥浆。

(2) 天然泥浆 这是粘土在机械作用下被破碎，在水中自然分散而形成的粘土水溶液。当时还不会使用化学处理剂进行泥浆化学处理，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，使粘土-水分散体系遭到破坏，粘土水化不好，大量水分渗入地层。使用天然泥浆经常发生井塌、钻屑沉淀造成卡钻，起下钻不顺利，易受化学污染和粘土侵，使钻井不能连续顺利地进行。

(3) 细分散泥浆 为了使天然泥浆获得良好的稳定性，人们找到了一些增强粘土水化分散的化学处理剂，开始使用纯碱、烧碱、单宁酸和栲胶等分散剂和稀释剂，以后又使用了煤碱液、磷酸盐等。使用这些分散剂和稀释剂以后，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，泥浆失水量降低了，而且获得了良好的稳定性。这种泥浆称为细分散泥浆。使用这种细分散泥浆钻井，避免了天然泥浆因不稳定带来的缺点，泥浆稳定性增强了。但是，由于粘土极度的水化分散，又带来了一系列的缺点，即极易受化学污染(如盐侵、石膏侵、水泥侵、芒硝侵)和粘土侵，使泥浆粘度切力急剧升高，性能变坏。致使循环泵压升高、开泵困难、井壁粘土和泥页岩水化分散，造成缩径和剥落；洗井不好，井底和井壁不干净，造成泥包钻头和粘附卡钻。

(4) 粗分散泥浆(或称抑制泥浆) 在生产实践中，经常发生泥浆盐侵(钻遇盐水层和岩盐层)和钙侵(钻石膏层或水泥塞)等化学污染，这时泥浆性能受到破坏。但是，盐侵钙侵的泥浆经过用稀释剂和降失水剂等化学处理剂处理，泥浆获得了良好的流动性，而且可以维持较长时间稳定不变。这是因为泥浆中的粘土在盐和钙的作用下发生了一定程度的聚结，由细颗粒变成了粗颗粒，抑制和削弱了粘土的水化和分散，致使泥浆颗粒间的联结力和摩擦力降低，减少了流动阻力的结果。所以，这种泥浆称为粗分散泥浆或抑制性泥浆。

粗分散泥浆比细分散泥浆粘度切力低，流动性好，稳定性高，在钻井过程中泵压低，泥饼较薄和致密，地层中泥页岩不易膨胀缩径，井壁比较稳定，粘附卡钻和泥包钻头等情况发生的机率也较少。但是，粗分散泥浆中粘土水化较差，颗粒较粗，故可以容纳较高含量的粘土却仍然保持好的流动性，所以泥浆比重极易升高而达到很高数值(有时在不加重晶石的情况下达到1.25~1.30)，泥浆固相含量较高。在泥浆发展过程中，粘土在形成泥浆和改善泥浆性能上曾起了重要的作用。但是，随着生产的发展，要求钻井有更高的速度，井下安全得到更可靠的保证，对油气层的损害应尽可能控制在最低限度。然而，泥浆中粘土含量高则会严重地限制钻速，并使井下复杂情况不断发生，油气层受到损害。

(5) 不分散低固相泥浆 为了解决泥浆使用粘土带来的问题,通过使用有效的絮凝剂、选择性絮凝剂、增稠剂等高分子聚合物和预水化优质坭土,把泥浆中的固相含量降至7%、6%直至4%,形成了不分散低固相泥浆的新技术。同时相应地发展了泥浆固相分析和固相控制技术。由于使用了不分散低固相泥浆,钻井速度成倍增加,井下情况进一步改善,大大减轻了对油气层的污染,收到了良好的效果。

在水基泥浆不断发展的同时,相应地发展了油基泥浆和油包水乳化泥浆,用来钻进剥落、坍塌、缩径等复杂地层和进行取芯、搜集地质资料,解决了水基泥浆难以解决的问题。

为了进一步消除粘土的危害,提高钻井速度,又由不分散低固相泥浆发展成完全不用粘土的无固相泥浆和生物聚合物泥浆。由于现代科学技术的发展,必将促使泥浆技术以更高的速度向前发展,泥浆新技术、新工艺的出现将使现代钻井技术进入到一个新阶段。

我国的钻井泥浆工作自解放以来,随着整个国民经济和石油工业的发展有了很大的发展,泥浆技术水平有了很大提高。六十年代初期,我国开始成批生产制造了铁铬木质素磺酸盐这一深井高效稀释剂和泥浆失水量降低剂羧甲基纤维素。以后又分别在各油田连续钻成了几口5000米以上的深井。1975年石油部全国泥浆会议以来,泥浆工作又有了新的的发展,研制成功了磺甲基单宁、磺甲基褐煤和磺甲基酚醛树脂等超深井高温处理剂。1975年钻成了我国第一口六千米深井。同时,聚丙烯酰胺(PAM)类产品生产能力大幅度增加,聚丙烯酰胺低固相泥浆(PAM低固相泥浆)普遍推广,大大提高了钻井速度。1978年以来钾基泥浆和油包水乳化泥浆也开始在油田现场使用。在泥浆仪器方面,在自动测量泥浆比重、粘度仪器取得初步成功以后,又研制了旋转粘度计样机并投入了生产,有了一个良好的开端。

但是,由于林彪、“四人帮”反革命修正主义路线的干扰破坏,泥浆工作受到的破坏和危害也是非常突出的,致使泥浆工作的现状很不适应石油工业和油气勘探工作发展的要求,我国的泥浆技术水平与世界先进水平相比差距很大。粉碎“四人帮”以来,在华主席为首的党中央领导下,全国人民贯彻执行党的十一大路线,泥浆工作也出现了欣欣向荣的局面。在很短时间内取得了明显的成绩,如聚丙烯酰胺低固相优质轻泥浆进一步推广,技术水平进一步提高,一些油田很快普及了高压喷射钻井,实现了钻井速度翻番。1978年又成功地钻完7175米的超深井。在华主席为首的党中央领导下,经过我们扎扎实实的努力,相信我国的钻井泥浆技术也一定能在本世纪内赶上世界先进水平,实现现代化。

## § 4 钻井液 的 分 类

### 1. 清水

2. 水基泥浆(水连续相泥浆) 以水为液相(连续相),以粘土为固相(分散相),再加入一定的化学处理剂和加重材料组成。水基泥浆又可分为以下几类:

- (1) 淡水泥浆 含盐(NaCl)量低于 $10^4$ 毫克/升,含钙( $Ca^{2+}$ )量低于120毫克/升。
- (2) 钙处理泥浆 含钙( $Ca^{2+}$ )量大于120毫克/升。
- (3) 盐水泥浆 含盐(NaCl)量大于 $10^4$ 毫克/升。
- (4) 铁铬木质素磺酸盐——铬腐植酸泥浆。
- (5) 不分散低固相泥浆 固相含量4%。
- (6) 生物聚合物泥浆。
- (7) 混油泥浆 在水基泥浆中含有3~40%乳化的油类。

(8) 钾基泥浆 KCl 含量大于 6%。

### 3. 油连续相泥浆 即以油为连续相的泥浆。

(1) 油基泥浆 以柴油为连续相(液相)，以氧化沥青作分散相(固相)，再加入化学处理剂和加重料配制而成，含水量在 3%以下。

(2) 油包水乳化泥浆 以柴油做连续相，以水作分散相呈小水滴状分散在水中(水可占总体积的 60%)，以有机墩土(或称亲油墩土)和氧化沥青作稳定剂，再加入其它处理剂和加重料配制而成。

### 4. 空气和天然气

### 5. 泡沫

## 第二章 粘土基本知识

粘土是泥浆的主要成分，水基泥浆就是粘土在水中分散成细小的颗粒而形成的分散体系。油连续相泥浆中也使用粘土，如将粘土用表面活性剂处理制成亲油粘土，用在油包水乳化泥浆中做油中可分散胶体，提高油包水乳化泥浆的粘度、切力，降低其滤失量，增强它的悬浮能力和稳定性。

在钻井过程中影响泥浆性能变化的因素是很多的，但一切外界的因素和条件都是通过改变泥浆中粘土的物理化学性质和水化分散状态而起作用的。如用 20 克粘土放入 100 毫升水中搅拌 30 分钟后，则可配出一定比重、粘度、切力、失水量等性能的泥浆。如果在 100 毫升水中先加入 0.5~1.0 克  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  后再放入同样数量的粘土，浸泡 24 小时后再搅拌 30 分钟，这时配出的泥浆比第一种条件下配的泥浆有较高的粘度、切力，较低的失水量和表面致密的泥饼。为什么两个泥浆样品粘土和水的数量完全相同而性能却不一样呢？这是因为第二个样品中碳酸钠增强了粘土的水化，并使它分散成更细小的颗粒的缘故。概括地讲，泥浆的性能与粘土的下列因素有关：

- (1) 粘土的类型；
- (2) 粘土在泥浆中的数量；
- (3) 粘土的分散程度（分散颗粒的大小）；
- (4) 粘土的水化程度；
- (5) 粘土对各种处理剂的反应等。

各种粘土的造浆率（每吨粘土配制粘度为 15 厘泊的泥浆的体积以米<sup>3</sup>做单位叫粘土造浆率）有很大的不同，优质粘土造浆率可达 15 米<sup>3</sup>，而普通粘土却只有 2~3 米<sup>3</sup>。

在钻井过程中我们会钻遇泥页岩、砂岩、石灰岩、白云岩等不同岩性的地层，在这些地层中泥页岩厚度最厚，占的比例最大。有些泥页岩在泥浆滤液的浸泡下会发生膨胀缩径，剧烈造浆，而另一些泥页岩剥蚀掉块，甚至严重坍塌。泥页岩遇水后的不同显示将导致不同的井下复杂情况。而地层中的泥页岩其主要成分就是粘土，因此粘土又与钻井工程尤其是与井壁的稳定有着密切的关系。

此外，在含油气的砂岩中存在着粘土类的胶结物，钻井过程中泥浆中的粘土颗粒也会进入油气层，这些粘土颗粒在泥浆滤液的浸泡下体积膨胀，堵塞了油气流动的孔隙和通道，使油气层的渗透率降低。

因此，为了保证泥浆性能的良好稳定，保证安全快速钻井和保护油气层，必须学习和了解粘土的知识，研究各种粘土的化学成分、结晶构造和它们的各种物理化学性质。

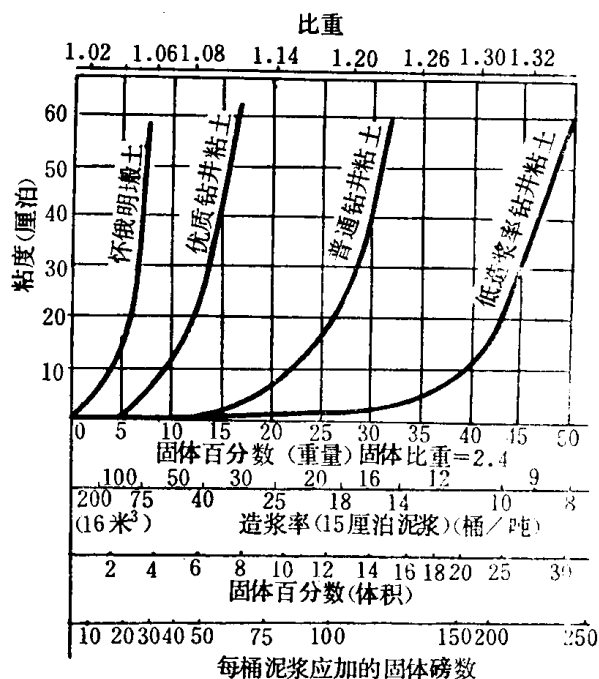


图 2-1 各种粘土造浆率

## § 1 常见粘土矿物及其化学成分

粘土矿物是具有确定的化学成分和晶体结构的水含硅铝酸盐。粘土矿物的种类是很多的，常见的粘土矿物有蒙脱石、伊利石和高岭石，除此以外还有海泡石、绿泥石等，但数量较少。每种粘土矿物的化学成分和晶体结构都是确定的，并且互不相同。自然界中的粘土并不是很纯的，往往是几种粘土矿物掺杂在一起的。除粘土矿物外，粘土中可能还含有不同数量的非晶质粘土矿物如蛋白石、氢氧化铁、氢氧化铝以及非粘土质的杂质，如石英、长石、方解石等。一般如粘土中某种粘土矿物含量非常高，此粘土就以此粘土矿物取名。有的粘土含有几种粘土矿物，且各种粘土矿物含量比较平均，就不能按以上方法取名了。所以分析粘土中各种粘土矿物的含量是很重要的。一般常用的造浆率较高的白粘土其中主要成分是蒙脱石。地层中极易吸水膨胀缩径的泥页岩也是以蒙脱石为主。易裂解崩散而膨胀性和分散性很差，在井内剥落、掉块和坍塌的泥页岩一般都是伊利石和高岭石含量较高的泥页岩。粘土矿物按其结晶构造的类型可分成以下几类：

表 2-1 粘 土 矿 物 分 类

晶体构造类型	粘土矿物族	粘土矿物名称
两层型	高岭石族	高岭石、地开石、珍珠陶土等
	埃洛石族	埃洛石等
三层型	蒙脱石族	蒙脱石、叶腊石、拜来石、皂石等
	水云母族	伊利石、海绿石等
混合层型	绿泥石族	各种绿泥石
链状构造型	海泡石族	海泡石、凹凸棒石、坡缕缟石等

在油田现场，一般把主要成分为蒙脱石的粘土称为膨润土或墩土，而把以伊利石、高岭石等其它粘土成分为主、蒙脱石含量较低的统称为粘土。

所有的粘土矿物其化学成分皆为镁、铁、钙、锌、锰等的水含硅铝酸盐，即晶体中主要是铝和硅的氧化物和水  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ，此外还含有少量的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  等。

粘土矿物类型不同，其化学成分也不同。高岭石中  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  比值为 2，而蒙脱石和伊利石中  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  比值为 4，而伊利石与蒙脱石不同之处在于，伊利石中钾的含量较高。可通过化学分析确定  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  的比值，以此作为鉴定粘土矿物类型的方法之一。几种粘土矿物化学成分如下表：

表 2-2 几种主要粘土矿物化学成分

名 称	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值	化 学 分 子 式
高 岭 石	2	$\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_6$ 或 $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
蒙 脱 石	4	$(\text{Al}_x\text{Mg}_y)[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
伊 利 石	4	$\text{K}_{x-1}\text{Al}_x[(\text{Si} \cdot \text{Al})_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

## § 2 粘土矿物晶体结构

高岭石、蒙脱石和伊利石这三种常见的粘土矿物的晶体皆为层状(薄片状)结构,它们在垂直的方向上无数的晶层上下重叠,如不因机械破坏而发生断裂,则在水平方向上晶层可以广阔延展。这三种粘土矿物的晶层由不同的原子和分子组成,排列的结构也各异,但观察它们的晶体结构发现,它们的晶体都是由一些基本的构造单位组成的。

### 1. 粘土晶体构造中的基本单位——硅氧四面体和铝氧八面体

(1) 硅氧四面体 硅原子 Si 与包围它的四个氧原子 O 通过共价键形成  $\text{SiO}_4$ , 这个原子团的唯一稳定结构就是硅氧四面体(图 2-2), 硅在四面体的中心, 四个氧原子(或氢氧)在四面体的顶点。通过氧的剩余原子价, 与其它硅原子形成另外的硅氧四面体, 许多的硅氧四面体联结成四面体群(图 2-3)。

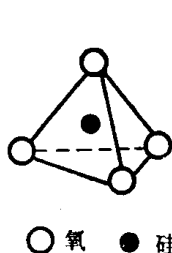


图 2-2 硅氧四面体

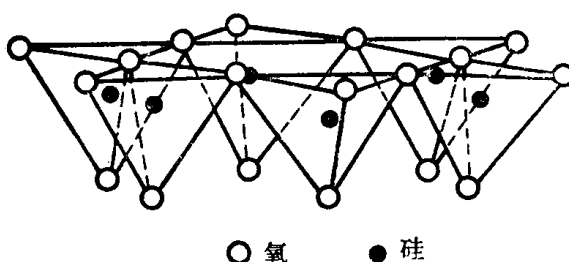


图 2-3 硅氧四面体群

(2) 铝氧八面体 铝原子 Al 处于八面体的中心, 与上面和下面的各三个氧原子或氢氧原子团形成一个正八面体。许多铝氧八面体联结在一起构成八面体群, 形成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。

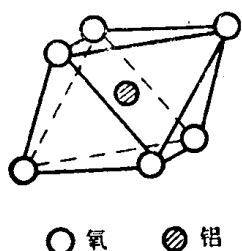


图 2-4 铝氧八面体

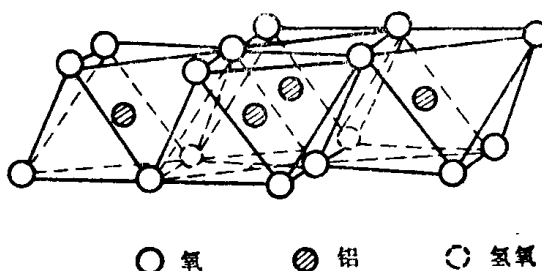


图 2-5 铝氧八面体群

**2. 高岭石的晶体结构** 高岭石晶体 由一个硅氧四面体片和一个铝氧八面体片组成。四面体片以尖顶朝着八面体片, 二者由共用的氧原子和氢氧原子团联结在一起。因为它是由一个硅氧四面体片和一个铝氧八面体片组成, 所以称高岭石为 1:1 晶体构造型粘土矿物。

高岭石的化学分子式可写为  $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$  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片和一个铝氧片联结而成的晶层在垂直方向上一层层重叠, 而在水平方向上晶层连续伸展。每一个晶层上面为氧原子层而下面为氢氧层, 各晶层之间以氧层和氢氧层间形成的氢键联结, 联结力强, 而且晶格间距(上一晶层的上层而至下一晶层的上层之间的距离)为  $7.2 \text{ \AA}$  ( $1 \text{ \AA} = 10^{-8}$  厘米)。

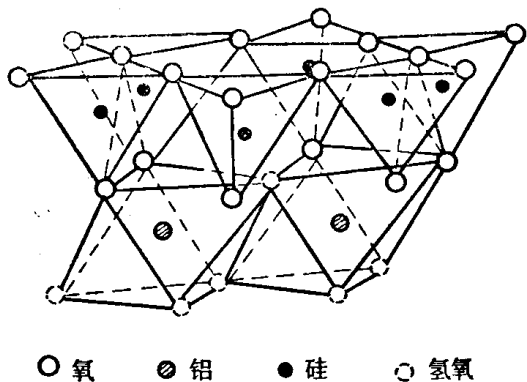


图 2-6 高岭石的晶体结构

高岭石晶格中几乎没有晶格取代现象，它的电荷是平衡的，所以高岭石电性微弱。由于高岭石晶体的这些特点，它的水化很差，不易吸水膨胀，而只发生晶层的解离。高岭石的分散度也较低，小于 2 微米的颗粒约在 10~40% 之间。高岭石晶片在显微镜下呈六角形鳞片状。

**3. 蒙脱石的晶体结构** 蒙脱石族粘土矿物晶体最简单的就是叶腊石，它是由上下两个硅氧四面体片中间夹一层铝氧八面体片组成，硅氧四面体的尖顶朝向铝氧八面体，铝氧八面体片和上下两层硅氧四面体片通过共用氧原子和氢氧联结形成紧密的晶层，所以称为 2:1 型晶体结构。叶腊石的晶体呈电中性，它的化学分子式可以写做  $Al_4Si_8 \cdot O_{20} \cdot (OH)_4$  或  $2 Al_2O_3 \cdot 8SiO_2 \cdot 2H_2O$ ，所以叶腊石晶体中  $SiO_2$  与  $Al_2O_3$  的分子比为 4:1。

观察蒙脱石的晶格发现，它与叶腊石的晶体结构基本相似，但在铝氧八面体中，有部分  $Al^{3+}$  被  $Mg^{2+}$  或  $Fe^{2+}$  取代，四面体中的  $Si^{4+}$  也有少量被  $Al^{3+}$  取代，这样就使蒙脱石的晶格显负电性，这种现象称为晶格取代现象。蒙脱石为使其晶格达到电稳定，就在晶层表面吸附了周围环境中的正离子，如  $Na^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$  等。自然界中存在的钠蒙脱石和钙蒙脱石就是指吸附了  $Na^+$  或  $Ca^{2+}$  的蒙脱石，一般把蒙脱石表面吸附的  $Na^+/Ca^{2+}$  比值高于 70/30 的称钠蒙脱石，低于这个数值的叫钙蒙脱石。蒙脱石的化学分子式可写为  $(Al_2Mg_3) [Si_4O_{10}] [OH]_2 \cdot nH_2O$  或  $(Al_{3.34}, Mg_{0.66})Si_8O_{20} \cdot (OH)_4$ 。

蒙脱石晶层上下皆为氧原子层，各晶层间以分子间力联结，联结力弱。由于晶层间联结力弱，所以蒙脱石晶层表面和吸附在它表面的正离子发生水化，吸附水层使晶层间的间隙增大，体积因晶体膨胀而增加。干燥的蒙脱石晶层间距仅 9.6 Å，吸水后最大可达 21.4 Å。所以蒙脱石是极易水化、分散、膨胀的粘土矿物。

**4. 伊利石的晶体结构** 伊利石的晶体构造和蒙脱石相似，也是 2:1 型晶体结构，即伊利石也由两层硅氧四面体片夹一层铝氧八面体片组成。但它们之间的区别是，伊利石的硅氧四面体中有较多的  $Si^{4+}$  被  $Al^{3+}$  取代，晶格出现的负电荷由吸附在伊利石晶层表面氧分子层中的  $K^+$  所中和。钾离子  $K^+$  的直径为 2.66 Å，而晶层表面的氧原子六角环空穴直径为 2.80 Å，所以  $K^+$  正好嵌入氧原子六角环中。由于嵌入氧层的吸附  $K^+$  的作用，将伊利石的相邻二晶层拉得很紧，联结力很强，水分不易进入层间，因此它不易膨胀。伊利石由于晶格取代显示的负电性已由  $K^+$  中和， $K^+$  嵌入氧原子六角环中，接近于成为晶格的组成部分，不易解离，所以伊利石电性微弱，在它的晶层表面不再有很大可能吸附其它的正离子。

**5. 海泡石族** 海泡石族包括海泡石、凹凸棒石、坡缕缟石（或称山软木）。它是铝和镁的含水硅酸盐，晶体构造为链状、棒状或纤维状。海泡石族由于其晶体结构的特点，有很大的内部空穴，有极大的内部表面，所以含有较多的吸附水，而且有很高的热稳定性（350°C 以上）和抗盐类污染的能力。故可用它配制深井泥浆和饱和盐水泥浆。海泡石的  $SiO_2$  和  $MgO$  的分子比约为 1.5，它的化学分子式的通式可写为  $4 MgO \cdot 6 SiO_2 \cdot 2 H_2O$  或  $2 [6 SiO_2 \cdot 4 MgO \cdot 2 H_2O]$ 。

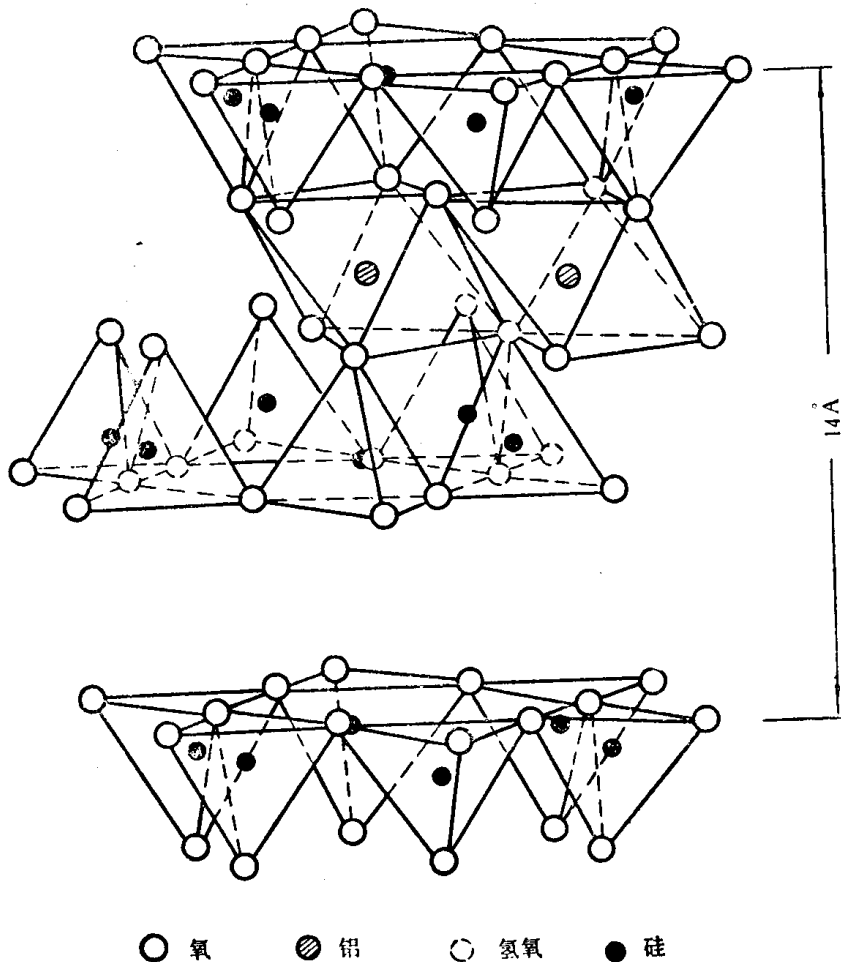


图 2-7 蒙脱石晶体结构

### § 3 粘土的性质

粘土在水中极易分散成细小的颗粒，形成粘土-水分散体系，这时粘土颗粒就具有电性质、粘土表面就具有吸附性和吸附正离子的可交换性、以及水化等性质。粘土的这些性质对于研究泥浆性能和它的变化规律，对于研究井壁泥页岩问题和油层中粘土的影响等问题都具有重要意义。粘土矿物类型不同它的性质会有很大的差异。

1. 粘土的电性质 通过列依斯实验中粘土颗粒向正极移动的现象认识到，粘土颗粒在水中是带负电的，这个结论从粘土溶液的电泳、电渗、沉降电势等实验中也得到了进一步的证实。

#### (1) 粘土颗粒带电的原因

1) 蒙脱石、伊利石的晶格取代现象。蒙脱石晶格中铝氧八面体中的  $Al^{3+}$  的位置上可能出现  $Mg^{2+}$ 、 $Fe^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$ ，硅氧四面体中的  $Si^{4+}$  的位置上可能出现  $Al^{3+}$ ，而使蒙脱石晶格的电性不平衡，而在层面上显示出负电性。伊利石带电主要是由于硅氧四面体中  $Si^{4+}$  的位置上出现了

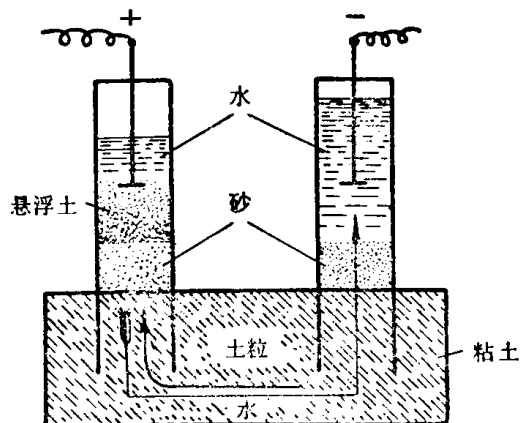


图 2-8 列依斯实验



$Al^{3+}$ , 而且这个现象在伊利石中比在蒙脱石中更强。但是, 伊利石因吸附了不可交换的  $K^+$ , 使负电荷被中和了一部分, 因此其负电性要比蒙脱石弱。

2) 铝氧八面体中的  $Al-O-H$  键是两性键, 在碱性介质中  $H^+$  电离, 使粘土带负电荷, 而在酸性介质中  $OH^-$  电离, 则使粘土带正电荷。一般泥浆为碱性, 所以将使粘土带负电。这种电离现象是很微弱的, 所以高岭石电性微弱。

高岭石晶格中没有晶格取代现象, 整个晶格呈电中性, 只是由于其晶格中有  $OH$  层, 在碱性介质中  $H^+$  电离, 才显示出微弱的负电性。

3) 粘土晶层在外力作用下发生断裂, 则在断裂的棱角边缘处化学键发生断裂, 使粘土颗粒在晶片的棱角边缘处可能带负电也可能带正电。

4) 在  $pH$  值较高的泥浆中, 溶液中浓度很高的  $OH^-$  可以在粘土层面上形成氢键, 从而吸附在粘土表面, 使粘土层面上的负电荷增加。

## (2) 粘土带电的规律

1) 泥浆中的粘土颗粒是带电的, 粘土层面上带负电, 而在棱角边缘处有的位置带负电, 有的位置带正电。

2) 粘土颗粒是薄片状, 在层面上的负电性电性强, 而在棱角边缘处(有的位置带正电, 有的位置带负电)电性微弱。

3) 粘土矿物不同, 粘土电性强弱也不同, 蒙脱石电性最强, 伊利石次之, 高岭石电性很弱。

(3) 粘土颗粒带电状态—粘土颗粒扩散双电层 粘土颗粒电性不仅与粘土本身性质有关, 还受周围溶液中离子的影响。在粘土水溶液中, 因粘土层面带负电, 它就吸附溶液中的阳离子(因与粘土电性相反, 又称反离子)。这些反离子一面受粘土层面负电荷的静电引力, 同时这些反离子本身又互相排斥, 此外还因其本身的热运动, 所以这些吸附的阳离子在粘土颗粒周围一定距离内呈扩散的形式存在。离粘土表面越近, 粘土的引力越强, 反离子的密度越高, 随着离粘土表面距离增加, 反离子密度逐渐降低。这些反离子其中一部分以单离子层紧紧吸附在粘土颗粒表面, 称为吸附层; 其余的吸附正离子呈扩散状态分布, 离粘土表面越远, 离子浓度越低, 这些离子组成扩散层。

因为反离子平衡了粘土颗粒的总电荷, 所以反离子电荷等于吸附层电量和扩散层电量的总和, 可以表示为:

$$\begin{aligned} E &= E_{反} & \text{式中 } E &\text{——粘土总电荷;} \\ E_{反} &= E_{吸} + E_{扩} & E_{反} &\text{——吸附的反离子总电荷;} \\ E &= E_{吸} + E_{扩} & E_{吸} &\text{——吸附层电荷;} \\ & & E_{扩} &\text{——扩散层电荷。} \end{aligned}$$

在粘土颗粒处于静电场或剧烈运动的情况下, 吸附层的反离子因与粘土颗粒吸引力较强, 它和粘土颗粒一起运动; 而扩散层反离子因吸引力弱, 就可能脱离粘土颗粒。扩散层和吸附层的交界面称为滑动面。这样, 粘土颗粒就因在运动中丢掉了扩散层的反离子而显示出一定的电势, 这个电势就称为粘土颗粒的电动电势, 用  $\zeta$  表示。可以看出  $\zeta = E - E_{吸}$ 。一般来讲, 粘土颗粒的总电势是不变化的, 所以电动电势  $\zeta$  的大小取决于吸附层电量  $E_{吸}$  的大小,  $E_{吸}$  愈大, 电动电势  $\zeta$  就愈小。

粘土颗粒扩散双电层和电动电势受粘土水溶液中电解质的影响, 溶液中提供的阳离子的浓度和类型变化时, 都会使扩散双电层和电动电势发生变化, 其变化的规律是: