

石油工程专业高职高专项目课程教材

SHIYOU GONGCHENG ZHUANYE GAOZHI GAOZHUAN XIANGMU KECHENG JIAOCAI

钻井液

主编 孙焕引 刘亚元



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油工程专业高职高专项目课程教材

钻 井 液

主编 孙焕引 刘亚元

石油工业出版社

内 容 提 要

本书紧密结合生产岗位实际,以生产为导向编排教材内容,讲述了钻井液的基础知识,钻井液的配制、性能测量及使用、维护等知识,每单元还附有技能操作和能力测试的内容。本书可供高职高专石油工程专业学生使用,也可作为职工岗位培训及技能鉴定的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

钻井液/孙焕引,刘亚元主编.

北京:石油工业出版社,2008.10

石油工程专业高职高专项目课程教材

ISBN 978-7-5021-6779-0

I. 钻…

II. ①孙… ②刘…

III. 钻井液-高等学校:技术学校-教材

IV. TE 254

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 146963 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)64523546 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技有限公司

印 刷:中国石油报社印刷厂

2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:6.75

字数:171 千字

定价:16.00 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

在教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号文件)的引领下,我国高等职业教育正在进行深入的教学改革。按照16号文件的要求,高等职业教育专业课程体系要符合高技能人才培养目标和相关技术领域职业岗位(群)的任职要求;以职业能力培养为重点,根据行业企业发展需要和完成职业岗位实际工作任务所需要的知识、能力、素质要求,选取教学内容;遵循学生职业能力培养的基本规律,以真实工作任务及其工作过程为依据整合、序化教学内容、科学设计学习性工作任务,教、学、做结合,理论与实践一体化。

2008年3—4月,我们到新疆克拉玛依、大港、华北等油田,针对学生今后的工作岗位和生产实际需要,就有关专业课程的设置、内容、实习实训等环节,与现场人员进行了充分的交流。我们还与中国石油长城钻井有限责任公司长期从事钻井培训工作的同志进行了认真的研讨磋商,合作开发了基于工作过程的《钻井液》新教材,凸显职业教育特点,满足油矿企业人才培养要求。

本书编写的依据是中国石油石化行业的职业资格鉴定标准,石油天然气行业标准,有关钻井公司的岗位培训资料,以及现场具体案例。

本书紧密结合岗位实际,以能力培养为目标,理论知识够用为度,以项目过程的需求为要点,确定课程的知识内容,按照工作过程分成几个单元,每个单元分成基本知识、技能操作和能力测试。其中的知识要点和技能操作都是围绕着具体工作岗位的应知应会而编写的。本书取消了传统的章节编写方式,以课题单元形式进行编写,每个单元都是一个完整的工作过程,更加符合学生的认知规律。完成所有单元的学习,学生就能够掌握多个岗位的技能操作要领和所需的知识要点。每个单元后面都有能力测试题,学生掌握了这些基本知识和操作项目,就达到了教学要求。另外,由于和现场结合紧密,本书也可作为企业员工的培训教材。

本书由孙焕引(天津石油职业技术学院)、刘亚元(中国石油渤海钻探工程公司)任主编。参加本书编写的还有天津石油职业技术学院李建铭、张淑芹、郭健、霍阳春、吕风滨、倪攀、崔素红、韩永辉、刘红兵等。中国石油渤海钻探工程公司副总经理、教授级高级工程师王保记任本书的主审。

本书在筹划和编写过程中,得到了中国石油渤海钻探工程公司、中国石油西部钻探工程有限公司有关领导和专家的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,对本书出现的疏漏、错误之处,恳请各位专家、教师和学员提出宝贵意见。

编 者

2008年8月

目 录

第1单元 基础知识	(1)
1.1 钻井液基础知识	(1)
1.1.1 钻井液的用途、分类和组成	(1)
1.1.2 钻井液常规性能的概念	(8)
1.1.3 钻井对钻井液性能的基本要求	(12)
1.1.4 钻井液的一般维护处理	(15)
1.1.5 钻井液有关规定和标准	(17)
1.2 胶体化学基础知识	(18)
1.2.1 分散体系的概念及溶胶性质	(18)
1.2.2 表面能及润湿	(20)
1.2.3 毛细管阻力	(22)
1.2.4 乳状液、泡沫	(24)
1.3 能力测试	(25)
第2单元 钻井液的配制与使用	(29)
2.1 基本知识	(29)
2.1.1 钻井液常用材料及作用	(29)
2.1.2 钻井液有关计算	(37)
2.2 技能操作	(44)
2.2.1 项目一 配制淡水钻井液	(44)
2.2.2 项目二 配制加重钻井液	(44)
2.3 能力测试	(45)
第3单元 钻井液常规性能的测量与维护	(49)
3.1 基本知识	(49)
3.1.1 密度的测量与调整	(49)
3.1.2 粘度的测量与调整	(50)
3.1.3 滤失量的测量与调整	(53)
3.1.4 含砂量的测量与调整	(55)
3.1.5 钻井液固相含量测定仪的构造和使用	(56)
3.2 技能操作	(58)
3.2.1 项目一 测量钻井液密度	(58)

3.2.2	项目二 测量钻井液马氏漏斗粘度	(59)
3.2.3	项目三 测量钻井液滤失量	(59)
3.3	能力测试	(60)
第4单元	使用、维护固控设备	(64)
4.1	基本知识	(64)
4.1.1	固相控制的意义	(64)
4.1.2	固相控制的方法	(64)
4.1.3	固控设备的使用与维护	(64)
4.2	技能操作	(71)
4.2.1	项目一 操作振动筛、除砂器、离心机	(71)
4.2.2	项目二 振动筛的常见故障及维护	(72)
4.2.3	项目三 除砂器的常见故障及维护	(72)
4.3	能力测试	(73)
第5单元	典型事故的处理	(76)
5.1	基本知识	(76)
5.1.1	防漏与堵漏钻井液	(76)
5.1.2	防卡与解卡钻井液	(79)
5.1.3	防塌钻井液	(81)
5.1.4	防喷钻井液	(83)
5.2	技能操作	(86)
5.2.1	项目一 卡钻后的处理	(86)
5.2.2	项目二 处理井塌	(86)
5.3	能力测试	(87)
第6单元	非常规井型钻井液体系	(89)
6.1	基本知识	(89)
6.1.1	水平井钻井液	(89)
6.1.2	大位移井钻井液	(89)
6.1.3	小井眼钻井液	(90)
6.1.4	欠平衡压力钻井	(92)
6.1.5	深井、超深井钻井液	(93)
6.2	技能操作	(94)
6.2.1	项目一 优选不同井型钻井液体系	(94)
6.2.2	项目二 处理、维护超深井钻井液	(95)
6.3	能力测试	(95)

第7单元 综合训练	(96)
7.1 项目一 巡回检查	(96)
7.2 项目二 收集钻井液资料	(97)
7.3 项目三 泥浆工在班上的工作	(97)
附录 钻井液英制及常用单位和单位换算	(99)
参考文献	(101)

第1单元 基础知识

1.1 钻井液基础知识

1.1.1 钻井液的用途、分类和组成

一、钻井液的定义

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。钻井液的循环是通过钻井泵来维持的。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、钻铤到达钻头,从钻头水眼上的喷嘴喷出,以清洗井底、携带钻屑。然后再沿钻柱与井壁(或套管)形成的环形空间向上流动,到达地面后,经地面低压管汇流入泥浆池,再经各种固控设备进行处理后返回上水池,最后进入钻井泵循环再用。钻井液流经的各种管件、设备构成了一整套钻井液循环系统,如图1-1和图1-2所示。

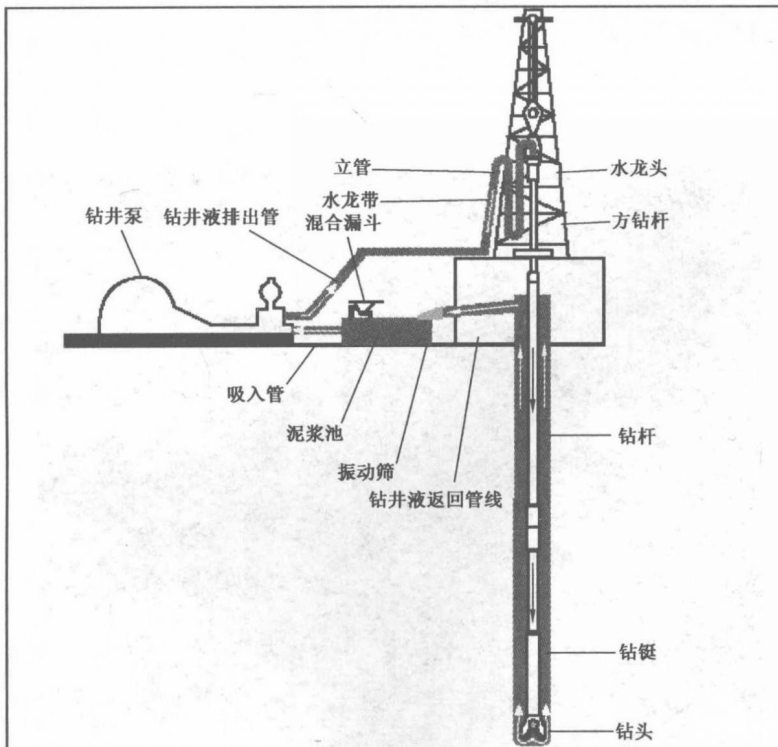


图1-1 钻井液的循环系统(一)

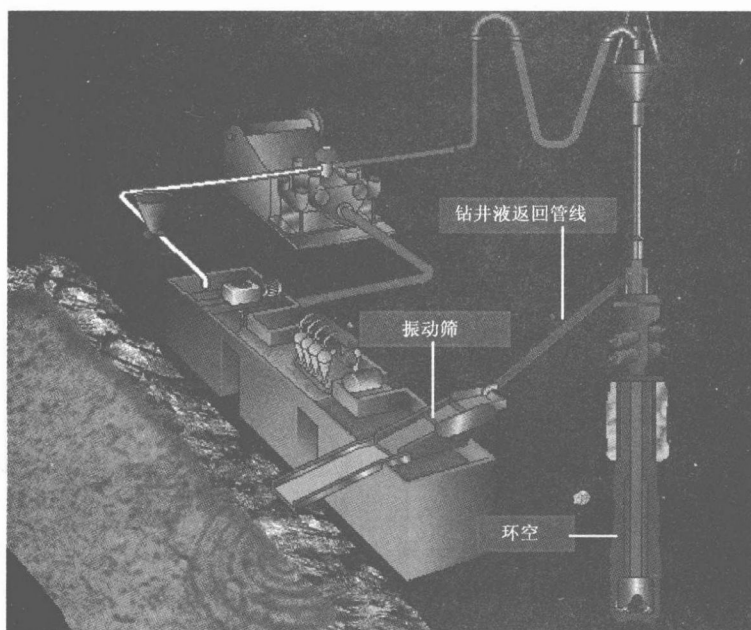


图 1-2 钻井液的循环系统(二)

二、钻井液的用途

1. 清除井底钻屑并将其携带至地面

钻井液首要和最基本的功用,就是通过其本身的循环,将井底被钻头破碎的岩屑携至地面,以保持井眼清洁,使起下钻畅通无阻,并保证钻头在井底始终接触和破碎新地层,避免重复切削,保证安全、快速钻进,如图 1-3 所示。

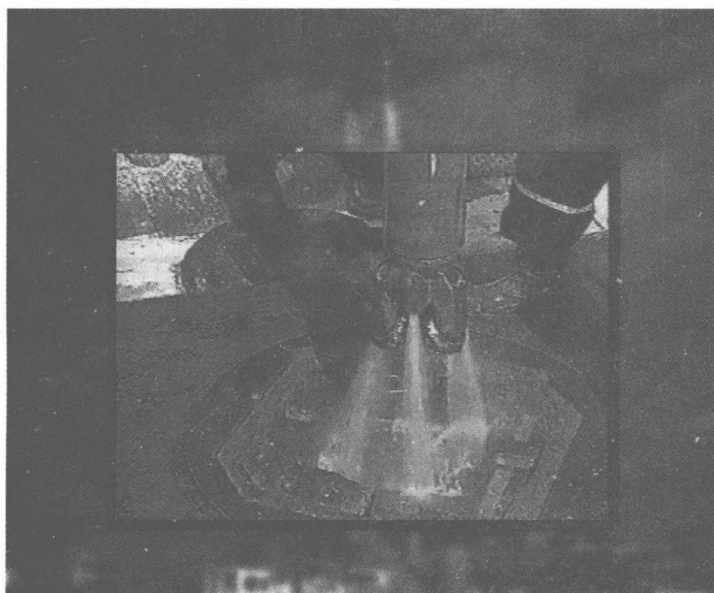


图 1-3 清洗井眼

2. 稳定井壁及控制地层压力

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。与此同时,在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,从而防止井塌和井喷等井下复杂情况的发生,如图 1-4 所示。

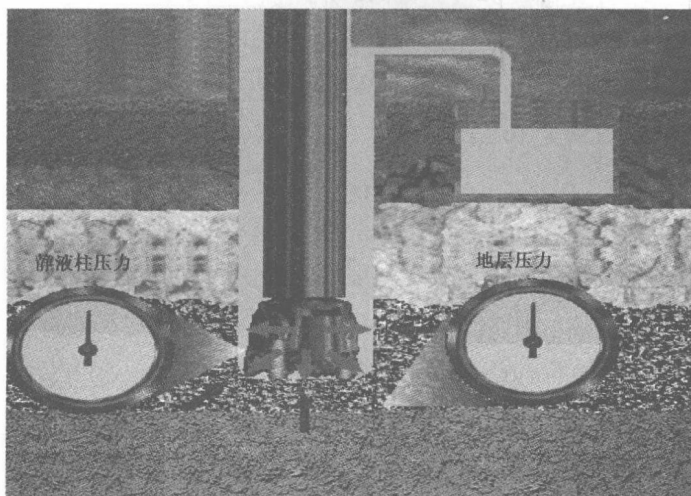


图 1-4 控制地层压力

3. 冷却和润滑钻头、钻具

在钻进中钻头一直在旋转破碎岩层,产生很多热量,同时钻具也不断地与井壁摩擦而产生热量。通过钻井液不断地循环,将这些热量及时吸收,然后带到地面释放到大气中,从而起到了冷却钻头、钻具并延长其使用寿命的作用。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,如图 1-5 所示。

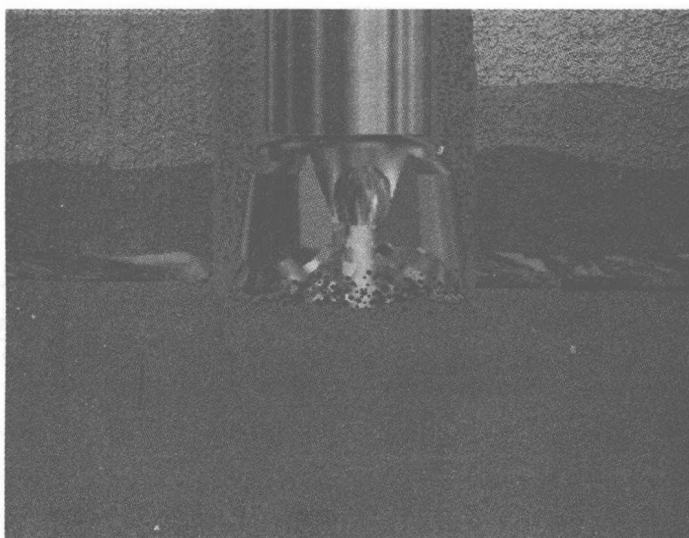


图 1-5 冷却和润滑钻头、钻具

4. 停止循环时悬浮环空中的钻屑及加重材料

在接单根、起下钻或因故停止循环时,钻井液将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。

5. 给钻头传递水动力

钻井液在钻头喷嘴处以极高的流速冲击井底,从而提高了钻井速度和破岩效率。高压喷射钻井正是利用了这一原理,即采用高泵压钻进,使钻井液所形成的高速射流对井底产生强大的冲击力,从而显著地提高钻速。

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可以成倍地节约钻时,大幅度地降低钻井成本,带来十分可观的经济效益。

钻井液的其他作用,如图1-6所示。

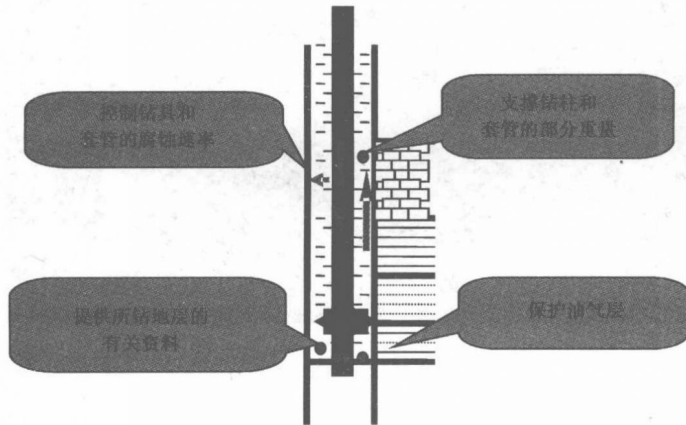


图1-6 钻井液的其他作用

三、钻井液的类型

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。较简单的分类方法主要有以下几种:

(1)按其密度的大小可分为非加重钻井液和加重钻井液。

(2)按与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。

(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。

(4)按钻井液中流体介质的不同分为水基钻井液、油基钻井液和气体型钻井流体等三种类型,近期又出现了一类合成基钻井液,如图1-7所示。

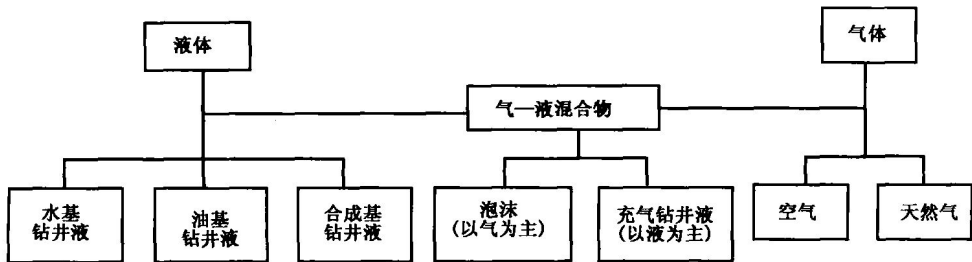


图1-7 钻井液的类型

1. 水基钻井液

由于水基钻井液(如图1-8所示)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将其分为若干种类型。

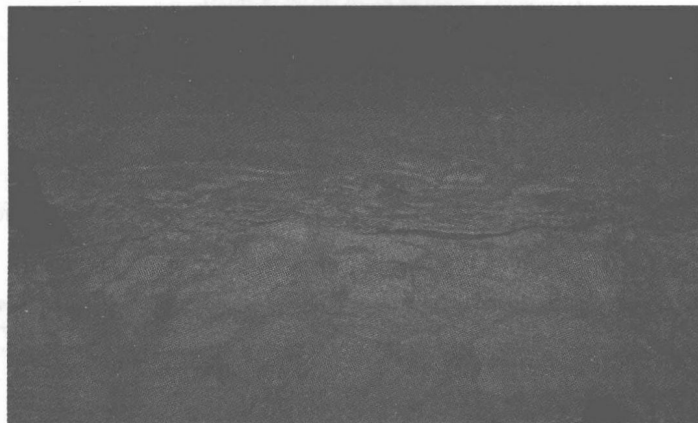


图1-8 水基钻井液

1) 分散钻井液

(1) 定义: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。

(2) 特点:

- ① 可容纳较多的固相,因此较适于配制高密度钻井液,密度可高达 $2.00\text{g}/\text{cm}^3$ 。
- ② 容易在井壁上形成较致密的滤饼,而且其韧性好,故其滤失量一般较低。
- ③ 某些分散钻井液具有较强的抗温能力,适于在深井和超深井中使用。

2) 钙处理钻井液

(1) 定义:钙处理钻井液体系主要由含 Ca^{2+} 的无机絮凝剂、降粘剂和降滤失剂组成。

(2) 特点:

- ① 性能较稳定,抗盐、钙污染的能力较强。
- ② 对所钻地层中的粘土有抑制其水化分散的作用,可控制页岩坍塌和井径扩大。
- ③ 钻井液中粘土细颗粒含量较少,对油气层的损害程度相对较小。

3) 盐水钻井液

(1) 定义:用盐水或海水配制而成,含盐量从1%(Cl^- 为 $6000\text{mg}/\text{L}$)直至饱和(Cl^- 为 $189,000\text{mg}/\text{L}$)。

(2) 特点:对粘土水化有较强的抑制作用。

4) 聚合物钻井液

(1) 定义: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。

(2) 特点:

- ① 钻井液的密度和固相含量低,钻速高,对油气层的损害程度也较小。
- ② 钻井液剪切稀释性强,在一定泵排量下,环空流体的粘度、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,有利于保持井壁稳定。

5) 钾基聚合物钻井液

(1) 定义: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。

(2) 特点:

① 在各种常见无机盐中,以 KCl 抑制粘土水化分散的效果为最好,而聚合物处理剂的存在使该类钻井液具有聚合物钻井液的各种优良特性。

② 在钻遇泥页岩地层时,使用它可以取得比较理想的防塌效果。

2. 油基钻井液

(1) 定义:以油(通常使用柴油或矿物油)作为连续相的钻井液为油基钻井液,主要以油水比在(50~80):(50~20)油包水乳化钻井液最为常用,如图 1-9 所示。



图 1-9 油基钻井液

(2) 特点:

① 抗高温。

② 有很强的抑制性。

③ 有很强的抗盐、钙的污染能力。

④ 润滑性好。

⑤ 能有效地减轻对油气层的伤害。

⑥ 成本较高、配制工艺复杂、污染环境。

3. 合成基钻井液

(1) 定义:以合成的有机化合物作为连续相,盐水作为分散相,含有乳化剂、降滤失剂、流型改进剂的一类新型钻井液。

(2) 特点:用无毒且能够生物降解的非水溶性有机物取代了柴油,既保持了油基钻井液的

各种优良特性,又对环境污染小,尤其适用于海上钻井。

4. 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。

1) 空气或天然气钻井流体

钻井中使用干燥的空气或天然气作为循环流体。关键是必须有足够大的注入压力,以保证能达到将全部钻屑从井底携至地面的环空流速。

2) 雾状钻井流体

将少量液体分散在空气介质中所形成的雾状流体,是空气钻井流体和泡沫钻井流体之间的一种过渡形式。

3) 泡沫钻井流体

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形成的分散体系。图1-10所示为泡沫钻井。

4) 充气钻井液

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而形成的流体。混入的气体越多,钻井液密度越低。图1-11所示为充气钻井。

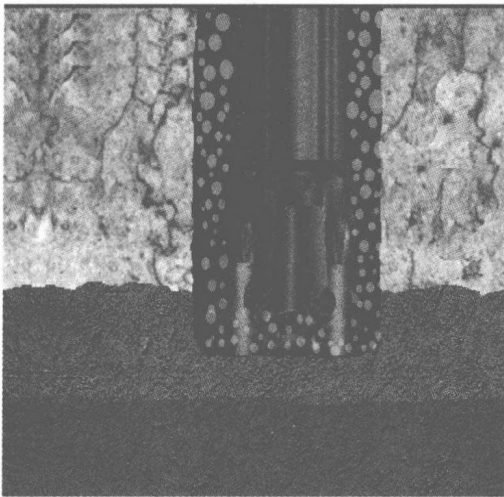


图1-10 泡沫钻井

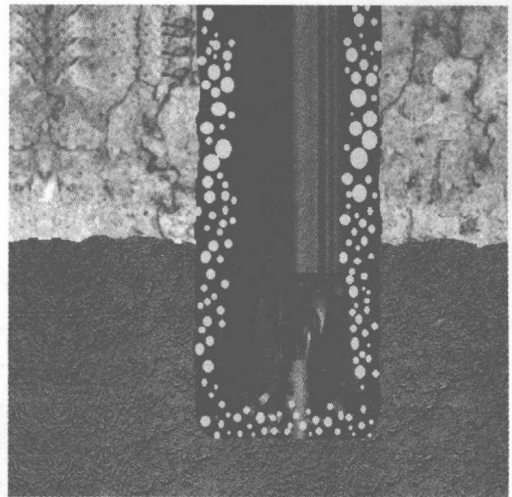


图1-11 充气钻井

5. 保护油气层钻井液

保护油气层钻井液是在储层中钻进时使用的一类钻井液。该类钻井液不仅能满足钻井工程和地质的要求,而且应能满足保护油气层的需要。比如,钻井液密度和流变参数应调整至合理范围,滤失量应尽可能低,选用的处理剂应与油气层相配伍,应选用合适的暂堵剂。

四、钻井液的组成

(1) 水基钻井液:固相颗粒悬浮在水中或盐水中,油可以乳化到水中,此时,水是连续相。其典型组成如图1-12所示。

(2) 油基钻井液:固相颗粒悬浮在油中,水或盐水乳化在油中,即油是连续相。其典型组成如图1-13所示。

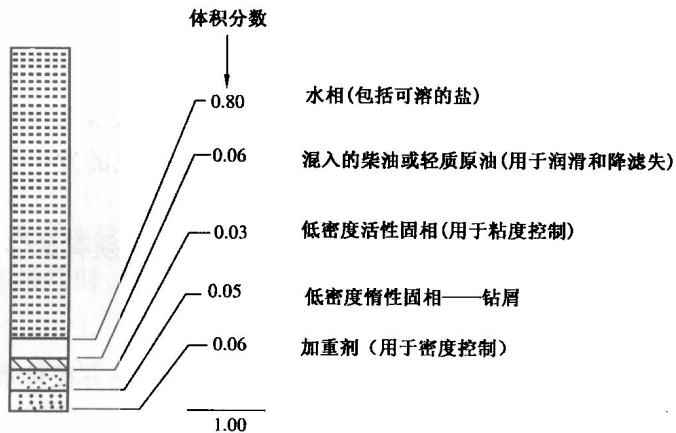


图 1-12 水基钻井液的典型组成(密度 $1.32\text{g}/\text{cm}^3$)

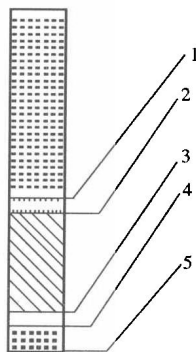


图 1-13 油基钻井液的典型组成(密度 $1.32\text{g}/\text{cm}^3$)

1—柴油;体积分数 0.54;2— CaCl_2 或 NaCl , 体积分数 0.04;3—水, 体积分数 0.30;
4—低密度固体(粘土、钻屑、不溶性添加剂等), 体积分数 0.03;5—高密度固体, 体积分数 0.09

(3) 气体型钻井流体: 该型钻井流体用高速气体或天然气清除钻屑。

1.1.2 钻井液常规性能的概念

一、钻井液密度

钻井液的密度是指单位体积钻井液的质量。密度一般用符号“ ρ ”表示, 常用单位是 g/cm^3 (或 kg/m^3)。公式表达为:

$$\text{钻井液密度}(\rho) = \frac{\text{钻井液质量}(m)}{\text{钻井液体积}(V)}$$

图 1-14 所示为密度秤。

二、钻井液粘度

因反映钻井液粘度的角度不一样, 所以钻井液的粘度有两种概念, 即: 塑性粘度和表观粘度(也称为有效粘度、视粘度)。

1. 塑性粘度

塑性粘度的概念是: 钻井液在层流时, 钻井液中的固体颗粒与固体颗粒之间、固体颗粒与液体分子之间、液体分子与液体分子之间内摩擦力(即剪切力)的总和称为塑性粘度, 符号 PV, 常用单位是 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ (或 cP)。

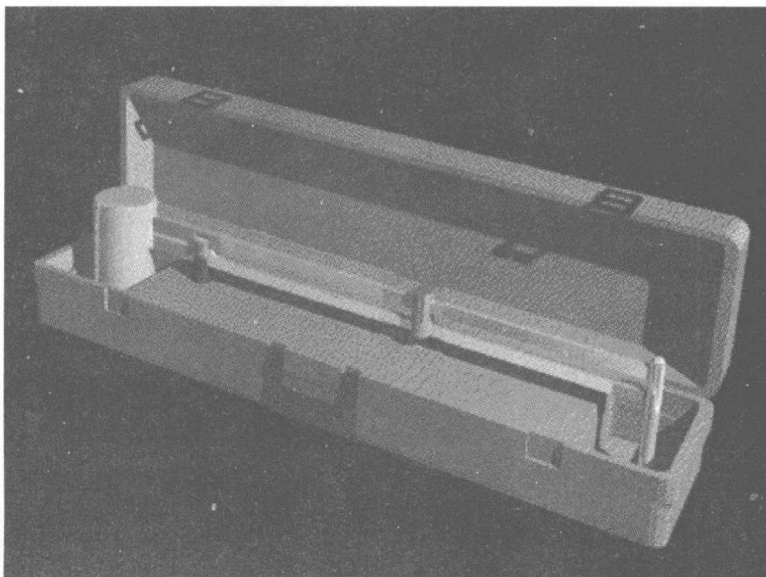


图 1-14 密度秤

塑性粘度实际上是流动阻力的反映,它受钻井液中固相含量、固相粒度分布、固相表面润滑性及钻井液中液相粘度等因素影响。固相含量高、颗粒分散或研磨较细等都会使 PV 增加。塑性粘度受化学稀释剂或分散剂影响不大。

2. 漏斗粘度

一定量的钻井液从规定的漏斗粘度计中流出所需的时间,用马氏漏斗测定,用 FV 表示,单位是 s/l。图 1-15 所示为马氏漏斗粘度计。

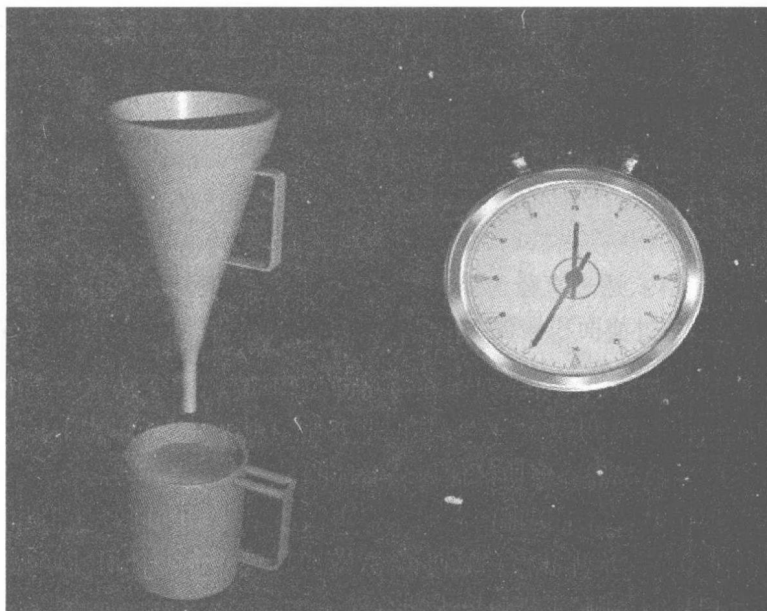


图 1-15 马氏漏斗粘度计

三、钻井液切力和触变性

1. 钻井液切力

钻井液中的粘土颗粒,由于其形状不规则,表面带电性和亲水性不均匀,常易形成网状结构。当钻井液静止时,破坏其内部单位面积上的网状结构所需的最小切应力,称为钻井液的极限静切力,简称钻井液切力,用符号 θ 表示,单位是 mg/cm^2 。切力的大小不仅与钻井液本身性质有关,而且与钻井液静止时间有关。统一规定,钻井液静止10s后所测的切力称为初切力,用 θ_1 表示;静止10min后所测的切力称为终切力,用 θ_{10} 表示。

2. 钻井液的触变性

钻井液的触变性是指搅拌后钻井液变稀(即切力降低),静置后又变稠的性质。终切与初切的差值表示了钻井液的触变性,即网状结构随静止时间的长短恢复的程度。差值越大,触变性越强;反之,触变性越弱。

四、钻井液的滤失和滤饼

1. 滤失的基本概念

滤失:在压差作用下,钻井液中的部分水向井壁岩石的裂隙或孔隙中渗透,这种现象叫滤失。滤失的多少叫滤失量(失水量),即钻井液滤液进入地层的多少。

(1) 钻井液在井内静止条件下的滤失作用称为静滤失。

(2) 钻井液在井内循环条件下,即滤饼形成和破坏达到动态平衡时的滤失作用称为动滤失。在一定剪切速率下测定的滤失量,称为动滤失量(动失水量)。

(3) 在钻井过程中,地层被钻开,滤饼在未形成之前,钻井液中的大量水分在短时间内迅速渗入地层,这种情况下的滤失作用称为瞬时滤失。

2. API(美国石油学会)滤失

钻井液中部分水在压差作用下渗透到地层中去,这种现象叫滤失过程。习惯上所说的钻井液滤失指的是滤失量。滤失量定义:钻井液在常温及一定压差(油压滤失仪的压力为 0.098MPa ,API标准为 $100\text{lb}/\text{in}^2 \approx 0.689\text{MPa}$)作用下,30min内,透过直径为75mm的过滤面积所滤失的水量叫滤失量,又叫钻井液的滤失,常用符号 B 表示,单位是mL。

3. 高温高压滤失

为模拟井下温度和压力条件下测定滤失,更能反映钻井液在井下的真实情况而引出高温高压滤失,其定义是:钻井液在高温(API标准 $300^\circ\text{F} \approx 150^\circ\text{C}$)、高压(API标准为 $500\text{lb}/\text{in}^2 \approx 3.5\text{MPa}$)作用下,30min内,透过直径为75mm(高温高压滤失测定仪过滤面积的直径为53mm,故测定结果需乘以2)的过滤面积所滤失的水量叫高温高压滤失量,习惯称为高温高压滤失,用“HTHP”表示,单位是mL。

4. 滤饼

在滤失过程中,随着钻井液中的部分水进入岩层,钻井液中的固相颗粒便附着在井壁上形成滤饼,如图1-16所示。测滤失时,在滤纸上附着一层滤饼,其标准以厚薄来衡量,单位mm。

五、滤饼的摩擦系数

钻井液形成的滤饼表面上有一定的粘滞性,当一物体在其表面产生相对运动时,会受到一定的摩擦阻力,这个摩擦阻力称为滤饼的摩擦系数。