

②在钻进过程中,如遇特别复杂岩层,或在打勘探井时因对地层状况不清楚,用调节泥浆密度和性能的方法难以保证钻井顺利进行时,需要在井内下钢质套管,在套管与井壁之间用水泥封固,这一工作称为固井。这种方法可靠性高,但要耗费大量的套管。

在钻井过程中,上述两种方法可合用。在一般地质条件下,尽可能采用合理的钻井参数、调整泥浆的性能来保证钻进,尽量少下或不下技术套管,以提高钻进速度和降低钻井成本。

(四)完井及试油

1. 完井

油井钻达目的层后,为保证油井的生产,需要在井内下油层套管和固井。固井工作完成以后,油气层被水泥环和套管封固着。下一步进行射孔工作,即用自动定位仪将射孔枪对准井下油气层,发射射孔弹打穿套管和水泥环,射进油气层,石油及天然气通过弹孔流入井内,这一过程称为“射孔”完井。对于比较坚硬和稳定油气层,在没有油、气、水层互相干扰的情况下,可不用水泥封固油、气、水层的完井方法,采用的方法有裸眼完井法、贯眼完井法、衬管完井法和堵塞器完井法。

此外,对特殊的油井还采用其他的完井方法,如对于小直径井眼,下入尺寸很小的油层套管,就不再下油管;又如在裸眼井中,下入多排小直径管子,并在环形空间注入水泥,分别在需要开采的油气层部位定向射孔,即多油层开采的完井法。

2. 试油

试油是将油、气从油气生产层里诱导出来,并且测出油井产量及井口压力等生产参数。油井完成以后,石油和天然气还不能自动喷出井口。因为这时井眼及靠油层壁还充满着泥浆,井内泥浆柱的压力大于开采油层的压力。当打开油层后,由于部分裸露的油层浸泡在泥浆中,堵塞了油层的孔隙,油层的油流不到井中。为此在试油时要用清水或油代替泥浆,以降低井内液柱压力。只有当液柱压力低于油层压力时,才能使油流向井中或喷出井口。如果降低液柱压力后,油仍流不出来,就要采取抽吸或酸化洗井,压裂油层增大出油孔隙,将油从生油层诱导出来。至此钻井工作完成,可正式投产。

第二节 泥浆及泥浆净化处理设备

泥浆是钻井的洗井液。洗井是钻井的一个关键环节,洗井和破岩同步进行。若泥浆停止循环,钻进就不能继续进行,泥浆循环净化系统是钻井设备的重要组

成部分。

一、泥浆的功用

(一) 洗井

在钻进中,及时把岩屑携带出来是安全快速的钻进重要条件之一。泥浆携带岩屑要经过两个过程,第一个过程是使岩屑离开井底,进入环形空间;第二个过程是依靠泥浆的上返将岩屑带出井筒至平台上,参看图 8-2-1。

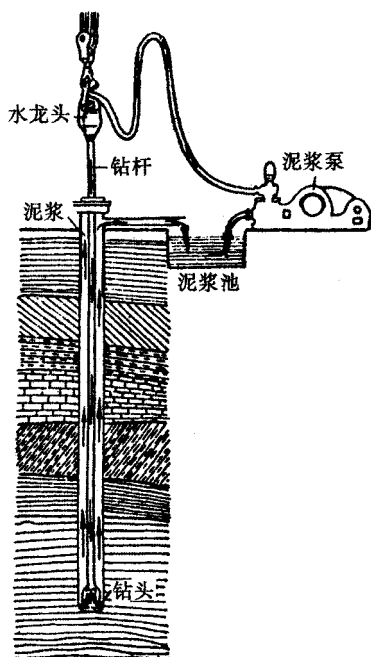


图 8-2-1 泥浆循环示意图

1. 清扫井底岩屑

目前清扫井底岩屑采用喷射技术。所谓喷射技术就是采用多钻头喷嘴喷出强大的泥浆射流,以很高的喷射速度冲击井底岩屑,从而使岩屑离开井底,保持井底清洁。

2. 携带岩屑

岩屑的密度一般为 $2.3 \sim 2.7 \text{ g/cm}^3$,而泥浆的密度为 $1.05 \sim 2 \text{ g/cm}^3$,岩屑在泥浆中所受浮力小于其重量,所以岩屑将在泥浆中下沉。要使岩屑上返,必须使泥浆的上返速度大于岩屑下沉速度,而且泥浆上返速度越大,越有利于携带岩屑。不过,泥浆上返速度过大,会造成压力损耗及冲刷井壁等,所以要确定合理的环空返速,既要有效地携带岩屑,又能快速、优质、安全地钻进。

泥浆的流变性对洗井工作有重要的影响。根据携岩的需要,泥浆必须具有良

好的剪切稀释特性。

(二) 悬浮岩屑

钻井过程中,由于某种原因突然中断泥浆循环时,环空中的岩屑就要下沉,严重时会把钻柱埋住(即卡钻),或者起钻前循环泥浆的时间不够,井内还有岩屑,这些岩屑下沉到井底,从而阻止钻头下到井底。为了防止岩屑下沉,要求泥浆具有良好的触变性,即泥浆静止时,具有较大的切力,能把井眼中的岩屑悬浮住。

(三) 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,也是采用泥浆措施的基本立足点。泥浆的组成必须对钻遇的泥页岩的水化膨胀和分散具有较强的抑制作用。泥浆的滤失性能应有利于在井壁上形成薄而韧、摩擦系数小的泥饼,还要保证环空泥浆流速不达到紊流状态,避免紊流泥浆对井壁产生较大冲蚀作用。

(四) 其他作用

泥浆密度能在较大范围内调节,以建立与地层压力相平衡的液柱压力,防止井喷、井漏、塌、卡钻等井下意外情况。平衡压力钻井不仅是一种防止井下发生意外情况的措施,而且对底净化、提高钻速、减小泥浆对油层的侵害都具有重要意义。

泥浆还有冷却钻头、冲洗钻头及协助破岩等作用。

二、泥浆的组成及种类

(一) 泥浆的组成

多数泥浆是粘土以小颗粒状态分散在水中所形成的悬浮体。粘土颗粒大小不一,多数在悬浮体的范围内($0.1\mu\text{m}$ 以上),少数在溶胶范围内($1\sim 100\text{nm}$),属多级分散体系。为使泥浆具有钻井工艺所要求的各种性能,常需加入各种化学处理剂。重泥浆中还有重晶石(BaSO_4)粉等惰性物质加重剂。此外,还有以油(原油和柴油)为分散介质的油基泥浆。所以泥浆是由固体、液体及化学处理剂组成的混合物质,见表 8-2-1。

表 8-2-1 泥浆的组成

液 体	固 体
淡水	1. 低密度固体物质(密度为 $2.5\text{g}/\text{cm}^3$) 包括: a. 没有活性的固体颗粒,如沙粒、燧石、石灰石、某些页岩; b. 活性的固体颗粒,如粘土 2. 高密度固体物质包括: a. 重晶石(密度 $4.2\text{ g}/\text{cm}^3$); b. 铁矿石或硫化钨(密度 $7.0\text{g}/\text{cm}^3$)
盐水	
油	
上述液体的混合液	

(二) 泥浆的种类

随着钻井工艺技术的发展,许多泥浆公司积极研究和发了一些新型泥浆和泥浆添加剂,使泥浆更能满足钻井优质、快速和低成本的需要。目前主要有以下几种系列的泥浆。

1. 水基泥浆

水基泥浆以水为分散介质,其基本组分是粘土、水和化学处理剂。这类泥浆使用最广泛,可分为以下几类。

(1) 淡水泥浆 淡水泥浆含盐量(NaCl)小于1%,含钙量(Ca^{++})小于120 mg/L。这是最早使用的泥浆,目前已逐渐被粗分散泥浆和不分散低固相泥浆所代替。

(2) 盐水泥浆 含盐量大于1%为盐泥浆。它分为盐水泥浆、饱和盐水泥浆和海水泥浆,主要用于在海上钻井。

(3) 钙处理泥浆 含钙量大于120mg/L为钙处理泥浆。它分为石灰泥浆、石膏泥浆和氯化钙泥浆。其主要特点是防塌性能好,抗可溶盐侵蚀的能力强,性能稳定。

(4) 低固相泥浆 一般的低固相泥浆粘土含量小于7%(体积百分数)。近几年发展起来的不分散低固相泥浆的含量小于4%,它密度小,流动性能好,可以提高钻速,降低钻井成本。

(5) 混油泥浆 根据需要在泥浆中混加若干数量的原油或柴油,使油呈分散的乳化状态。其主要特点是润滑性、流动性能好,失水量低,泥饼摩擦系数低,常用于钻定向井和水平井。

2. 油基泥浆

油基泥浆包括以下两种。

(1) 油包水乳化泥浆 以柴油(或原油)作分散介质,水及有机粘土或其他亲油粉末状物质作分散相,加乳化剂等处理剂配制而成。其主要特点是热稳定性高,有较好的防塌效果,对油气层的损害小,常用于超深井的高温井段、易塌地层和低压油气层。

(2) 油基泥浆 由柴油(或原油)、沥青(或有机粘土)及有关处理剂配成,主要特点是:对油气层的损害小,抗可溶盐侵蚀的能力强,但这种泥浆排放对生物有毒害,污染自然环境。为此近年研究发展了低毒性矿物泥浆。

三、泥浆的性能

泥浆的性能指标主要有密度、粘度、切力、失水量等。钻进过程中可根据钻越岩层情况,配制或在泥浆中加处理剂,调节成具有所需性能的泥浆。

1. 密度

利用泥浆密度这一性能指标可以调节液柱压力,从而平衡地层压力,防止井喷和井塌。

2. 粘度

泥浆是溶胶悬浮液,其粘度的作用是提高泥浆从井底向上携带岩屑的能力,减少泥浆向井壁的渗漏。

3. 切力

泥浆是粘土固体颗粒分散在水中的悬浮胶体溶液。粘土颗粒在静止时很易彼此粘结,形成网架结构,要使泥浆流动,就得施力破坏这种网架结构。泥浆这种网架结构内力就是静切力(切力),泥浆这个特性称为触变性。利用泥浆停止循环时形成的网架结构悬浮岩屑。

4. 泥饼与失水量

一般泥浆液柱压力大于地层压力,在压差下,泥浆中一部分水渗到井壁地层中去,这种现象叫泥浆的失水,失水的同时泥浆的粘土颗粒在井壁上形成一层泥皮,起到保护井壁、防止和减少进一步渗漏的作用。在测量失水量时,在失水仪上形成的泥皮称为泥饼。失水量和泥饼厚度是衡量泥浆性能的重要指标。

四、泥浆的配制与净化处理设备

(一) 泥浆的配制及设备

钻井用泥浆一般采用集中配制和分散配制相结合的方法。通常钻井公司都有泥浆站,泥浆站按钻井地区地质条件集中配制好泥浆送到钻井平台,这样便于集中管理。各平台除有日用泥浆池外,还备有泥浆储备罐,以备钻井过程中及时补充。尽管同一区块岩系基本相同,但各井位间仍有差别,尤其是在海上打井,为增强钻井平台应变能力和独立处理事故能力,要求平台能配制泥浆。为此,在平台上都备有一定的泥浆配料(如粘土、淡水、原油、柴油、泥浆加重剂、化学添加剂等)以及配制泥浆的设备和装置。

配制泥浆的设备有:清水离心泵、混合泵、造浆池、储备池、循环池、管汇、下灰罐、泥浆密度自动控制装置和压风机等。图 8-2-2 为海上钻井用自动调配泥浆装置示意图。

(二) 泥浆的净化及其设备

海上钻井的泥浆费用一般占钻井总成本的 10% 左右,甚为昂贵,所以钻井过程中泥浆要重复循环使用。

从井内携带岩屑返出来的泥浆经过机械净化处理后,再泵入井内重复使用。

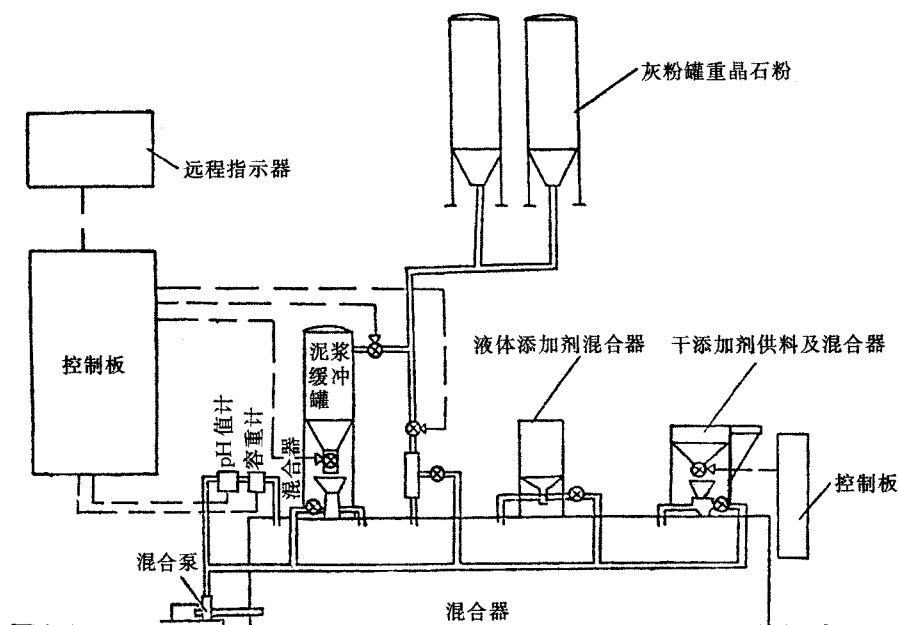


图 8-2-2 海上钻井用自动调配泥浆装置示意图

处理后的泥浆可以提高泥浆携带岩屑的能力和钻头的工作效率,减少泥浆泵水力消耗,降低设备和循环系统的磨损,以及防止钻井事故。据有关资料统计,泥浆中固体颗粒含量每减少 1%,就可提高钻进速度 29%。泥浆循环净化处理的主要机械设备有:泥浆泵、泥浆振动筛、除沙器、除泥器、除气器等。这套设备统称为“一筛三除”。

泥浆的处理流程见图 8-2-3。

流程说明如下:从井口返出的泥浆→泥浆振动筛(筛除大块的岩屑)→1号泥浆池→除沙泵(从1号泥浆池吸入泥浆)→除沙器(清除 $60 \sim 100 \mu\text{m}$ 的粗沙)→2号泥浆池→除泥泵(从2号泥浆池吸入泥浆)→除泥器(清除 $10 \sim 30 \mu\text{m}$ 粉沙)→3号泥浆池→除气器(从3号泥浆池吸入泥浆)除气泵从4号池吸入泥浆产生射流抽吸脱气,泥浆→4、5号泥浆池(净化池)→泥浆泵→地面高压管线→水龙头、水龙头→钻杆→钻头→井底(清洗井底、冷却钻头、携带岩屑)→钻杆与井壁环形空间→井口→(产生循环)。

为适应海洋钻井的要求,尽量少占用平台甲板面积,将泥浆机械处理设备制成成套机组。泥浆处理系统的主要机械设备如下。

(1) 泥浆泵 钻井用泥浆泵采用大功率活塞泵。如果说泥浆是钻井的血液,那么泥浆泵就钻井的心脏,它是保证钻井工作正常运行的关键设备。一般一台钻机配两台泥浆泵,正常情况下一台泥浆泵就能满足钻井的要求,另一台备用。我

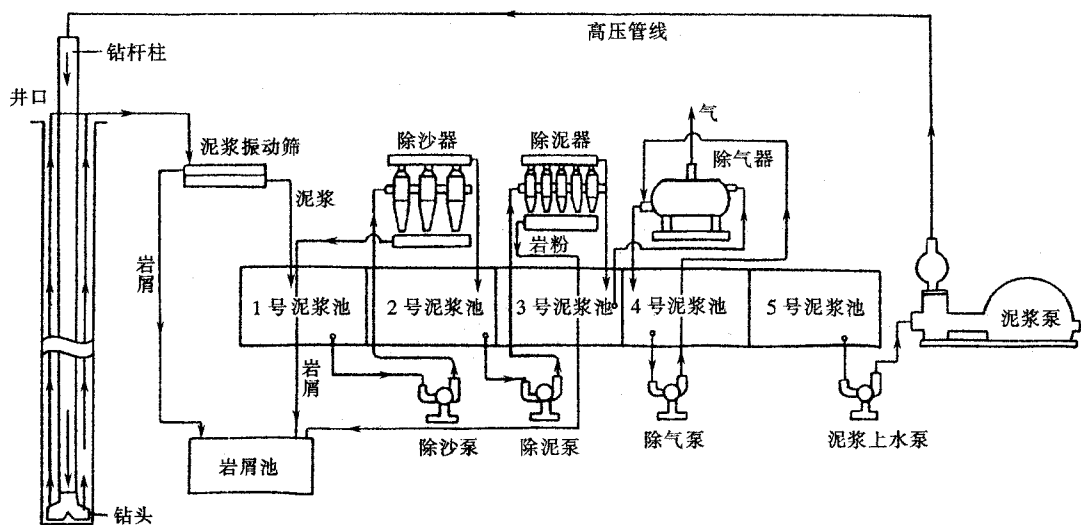


图 8-2-3 泥浆机械处理流程示意图

国目前在陆地钻井使用双缸双作用泵,而海上采用三缸单作用泥浆泵(图 8-2-4)。三缸泵具有结构紧凑、重量轻、流量均匀、压力波动小、易损件更换方便等优点。海上钻井常用的三缸泵是电驱动。用于南海 2 号上的 FA-1600 型三缸单作用泵,输出功率 1 177 kW,最高泵压达 2 736 kPa,最大排量 42.27 L/s,额定泵速 130 次/min。

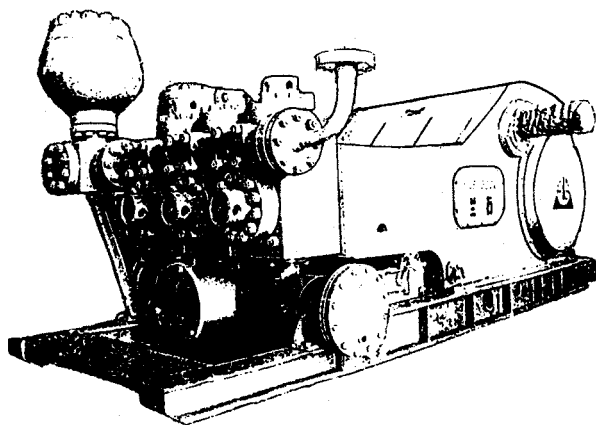


图 8-2-4 海上钻井用三缸单作用泵

(2) 泥浆振动筛 在泥浆机械处理设备中振动筛(图 8-2-5)也是关键的设备,如果它发生故障,其他机械设备将超载。

(3) 泥浆旋流分离器 泥浆旋流分离器用来分离泥浆中的泥沙,一般 0.02mm 以上的颗粒都可以清除掉。按其清除的颗粒大小,旋流分离器分为除沙器与除泥器两种,除泥器见图 8-2-6。旋流分离器上部壳体呈圆筒形,在切向有一进液

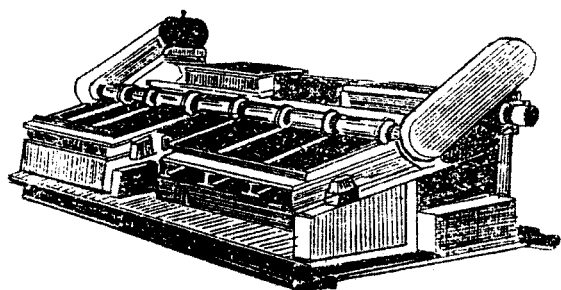


图 8-2-5 泥浆振动筛

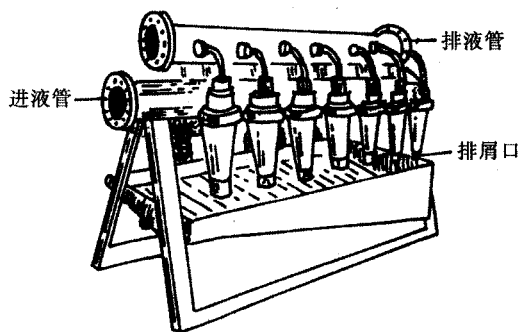


图 8-2-6 除泥器组

口,顶部中心为排液口,壳体下部呈圆锥形,一般锥角为 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$,底部为排屑口,如图 8-2-7 所示。待处理的泥浆切向进入圆筒形内腔后,切向速度加大,径向速度减少,使泥浆中重而大的颗粒甩向外壁,沿壳体螺旋下降由排屑口排出。轻质泥浆和细颗粒与另一股螺旋液流在圆筒内部旋转上升,经排液口溢出。

(4)真空除气器泥浆真空除气器是靠真空作用来分离和抽走泥浆中气体的装置(图 8-2-8)经脱气的泥浆靠射流抽吸作用回到泥浆池。除气器的尺寸一般为直径 0.9 m、长 3 m。

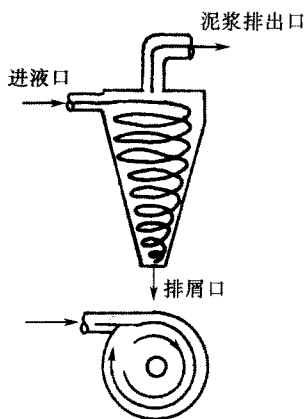


图 8-2-7 旋流分离器工作原理图

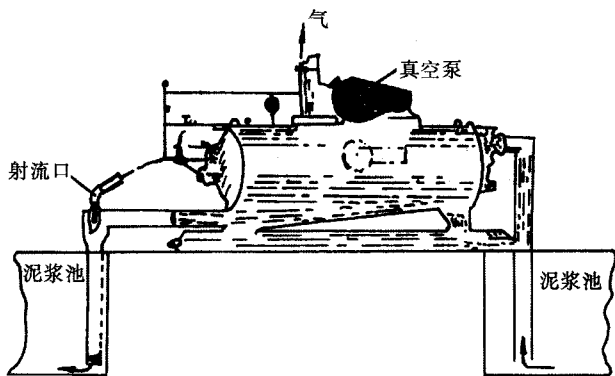


图 8-2-8 真空除气器

第三节 钻井技术措施

一、钻井技术措施

钻井技术措施是指破碎岩石、冲洗井底、使井眼按设计目标有效钻进的有关技术措施。