

近海不下套管井深 100 m 海砂钻探技术

卢秋平, 郑荣耀

(上海海洋石油局第一海洋地质调查大队, 上海 浦东 201208)

摘要:对于井深 100 m 的海砂地质钻探, 不下套管, 一径到底, 直接在松散无胶结的砂质沉积地层取心钻进, 大大降低了劳动强度和提高了生产效率。在黄海某砂矿岩心钻探调查项目中, 易产生孔壁坍塌、岩屑返不出孔口、涌砂、卡钻等严重问题。通过解决施工中遇到的问题, 总结了井深 100 m 的海洋砂矿钻探工艺技术, 以及孔内事故的防治措施, 为后续工作提供了技术参考。

关键词:海砂岩心钻探; 井深 100 m; 潮汐; 泥浆; 孔内事故

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2012)05-0018-04

100 m Depth Well Drilling without Casing in Offshore Sand/LU Qiu-ping, ZHENG Rong-yao (Shanghai Offshore Petroleum Geophysical Corporation, Pudong Shanghai 201208, China)

Abstract: For 100 meter depth geological drilling in offshore sand, directly coring in non-cementing loose sandy sediments formation without casing greatly reduces labor intensity and improves working efficiency. Hole wall collapsing, difficult cuttings upward, sand gushing and drill pipe sticking are often encountered in the core drilling investigation in offshore sand of Yellow Sea. The paper summed up the drilling process technology for the well of 100 meter depth in offshore sand and the prevention measures for downhole accident.

Key words: core drilling in offshore sand; well of 100 meter in depth; tide; mud; downhole accident

1 工程背景

海砂, 海洋矿产资源, 即海中的砂石, 在城市建设中使用时十分广泛。人们通过海洋地质调查来寻找海砂最直接的方法就是地质钻探。海洋环境不同于陆地, 海洋钻探很容易受到潮汐、风浪的影响。施工较深的井往往要选择小潮流期间和风小时(风力 ≤ 7 级, 一般为 5~6 级)进行。因此, 往往采用简单高效的钻探取心工艺, 避免施工期间不利海况的影响。不下套管, 一径到底, 直接在松散无胶结的砂质地层高质量地取心钻进, 大大地降低了劳动强度和提高了生产效率, 但缺点是比较容易发生井内事故。

本文主要结合黄海某砂矿岩心钻探调查项目, 分析探讨井深 100 m 的海砂钻探遇到的问题以及防治措施。工区水深 40~70 m 之间, 共 6 个井深 100 m 的钻孔, 地层基本以砂为主, 局部含砾石与粘土薄夹层。井深 100 m 的海砂岩心钻探施工易产生孔壁坍塌、岩屑返不出孔口、涌砂、卡钻等严重问题。

2 设备器具选择与取心工艺原理

调查船主要指标如下: 总吨位 930 t, 满载排水量 1500 t; 船舶采用四点锚系定位, 首尾各 2 只工作锚, 自抛自起; 另外船首配有侧推器, 以便抛锚就位。

船配有高精度 DGPS 定位接收机及计算机实时导航系统, 在计算机实时指导下锚泊就位。船抛锚时要根据风向和流向而定, 一般来说船头迎流(风)向, 主要考虑综合影响的主导因素^[1]。

采用 HGD-600 型全液压动力头式海洋工程地质勘察钻机, 适用于近海及浅海海洋工程地质调查。采用无套管支护钻进方式, 一径到底, 泥浆不回收直接从海底表面孔口返到海里。采用 BW-250 型泥浆泵, 泵量 250 L/min。

钻具组合: $\varnothing 127$ mm 钻杆 + 三翼硬质合金钻头。 $\varnothing 127$ mm 钻杆一定程度上承担套管支护作用, 海底表面到船体钻杆裸露在海水里。

取心方式为跟管钻进孔底锤击绳索取心。严格测量计算水深, $\varnothing 127$ mm 钻杆作为锤击取心的通道插入海底表层 ≤ 0.5 m, 表层砂样被压进到钻杆内, 下绳索重锤取心器取第一次海底表层样。取心管外径 89 mm, 钻杆内径 93 mm, 二者之间的间隙为 2 mm。如插孔过深, 取心管会被钻杆内壁与取心管外部间隙的沙粒卡住, 锤击取心时产生刚性锤击。取完第一次后, 根据样品长度计算扫孔进尺。扫孔→取样→扫孔, 循环到设计孔深(见图 1)。

收稿日期: 2011-11-25; 修回日期: 2012-02-27

作者简介: 卢秋平(1987-), 男(汉族), 广东信宜人, 上海海洋石油局第一海洋地质调查大队助理工程师, 勘查技术与工程专业(石油钻井方向), 从事海洋钻探取心技术管理工作, 上海市浦东新区东塘路 240 号, luqiupinggd@163.com。

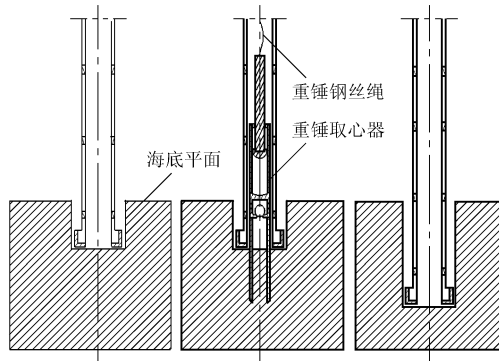


图1 钻探取心工艺流程

3 施工中遇到的问题

经冲积、洪积、风积作用形成的各种沉积层一般含有粘土、流砂、卵石、砾石、漂石成为复杂的地层,为力学不稳定地层。一旦被钻穿后,就破坏了原始的平衡状态,加之受重力作用使孔壁产生不稳定的坍塌、掉块现象^[2]。

本项目施工第一口井4号孔(设计井深100 m)时,水深46 m,砂质不胶结孔壁裸露时间长、扰动多,孔内易发事故,在施工期间岩屑返不出孔口,频繁涌砂、井壁坍塌,最终卡钻,中间发生了3次塌孔卡钻事故,概况见表1。由于难以继续施工,最后被迫于92.8 m终孔,没有达到设计孔深,耗时102 h。塌孔埋钻处理事故,扫孔(比正常钻进时重复扫孔)达140.8 m(按纯进尺算,额外工作量为140.8%),耗费大量的人力物力,以及宝贵的时间。

表1 4号孔井内事故概况

卡钻次数	事故井深/m
1	井深75.8 m发生塌孔卡钻事故
2	调整船位,重新插孔扫孔至73.8 m(重复2 m)开始正常锤击取心钻进,钻至井深92.8 m时塌孔卡钻
3	调整船位,重新插孔扫孔,扫孔至井深65 m时塌孔卡钻,没有到达90.8 m(重复2 m)的取心孔深

针对上述情况,为避免类似事故的发生,我们对施工技术措施进行分析改进。由于技术措施调整得当,施工其它孔没有发生类似事故,如6号孔耗时42 h顺利终孔,比4号事故孔节省60 h,大大提高了生产效率。下面对施工中遇到的问题以及应对措施进行分析探讨。

4 技术与调整

4.1 潮汐影响

施工中必须认真掌握潮汐规律和潮差变化幅度,做到心中有数。钻探船的定位、抛锚钻进,基本

控制在一个潮次内,如潮退前定位、抛锚、潮退间下钻、平潮时钻进,确保合理安排最佳的作业时间^[3]。

船位稳定是确保钻探顺利进行的关键,工区潮差较大,一般在2~3 m。涨潮时船位将升高,锚缆将极度绷紧,而落潮时船位下降,锚缆将会松弛。由于底质条件差异,锚抓力不尽一致,势必产生船位位移。因此,要求计算机全过程监控,驾驶部门24 h值班,及时调整锚缆,使船舶中心始终位于设计点位置上。一般船体随流的大小方向、涨落潮的影响,船体会随其周期性地有一定半径范围内来回波动(周期性漂移范围一般5~6 m)。流速较大时,船可能会出现走锚。如果发现情况异常应及时起钻。同时应避免流大时进行抛锚作业,避免后期船位不稳。

钻杆刚刚下到海底插孔和孔深较浅时(孔深≤10 m)钻具很容易受到流的影响。钻具下钻到海底时会随海流的方向倾斜插入海底,随着钻进进尺,上方倾斜孔壁受重力和钻具公转拍打影响容易垮塌;转流时,在钻杆重力与流的双重作用下,钻具倾斜贴在孔壁,旋转摩擦扭矩会大为增加,钻具冲击拍打井壁,同时底部钻头会掏空下部孔壁,导致上部孔壁悬空而坍塌(见图2)。最终导致海底表面孔口坍塌扩大,岩屑大增,岩屑难以从孔底上返出孔口,钻进速度大大减慢。

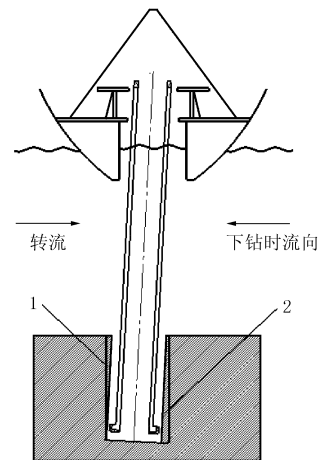


图2 海流对钻探取心的影响

1—受重力容易垮塌的砂质井壁;2—转流时,相反流向推动,钻头容易掏空下部井壁导致上部井壁垮塌

下钻时,若钻具受海流影响,上述不利影响则会随着孔深增加愈加严重。工区潮水为规律性的半日往复潮,准确把握平潮时机至关重要。力求钻具下到海底第一回次取心后,开泵钻进扫孔插孔时基本平潮,要求流平潮转向增大到一节时,孔深达10 m以深。实践证明这样做会大为减弱流的影响,后续

施工一般比较顺利。

钻具若受海流影响倾斜严重,造成钻具上、卸扣困难时,需停止作业等待。等流小以后,绞放锚调整船位,减轻钻杆倾斜。流大于两节时,钻杆很可能会脱扣,发生钻杆掉孔内事故,必要时起钻。因此钻探施工不宜在大潮汛期间施工,避免流大造成钻探事故。

4.2 泥浆调配

泥浆配比基本保持在 15 ~ 17 包粘土粉 + 6 m³ 水(粘土粉 25 kg/包),泥浆的密度为 1.04 ~ 1.045 g/cm³,海水的平均密度为 1.025 g/cm³。对于没有封闭盖层的表层海砂,流体能与上覆地层的流体沟通,可看做正常的流体压力体系,即可将海水密度粗略地视为地层压力^[4]。泥浆基本能平衡地层压力略有盈余,孔壁周围的海水基本不会流向孔内,同时也能满足滤失造壁性能。

对于砂类机械分散地层,由于颗粒之间缺乏胶结,钻进时孔壁极易坍塌。对这类地层用泥浆护壁,解决问题的关键是增加井壁颗粒之间的胶结力。粘性较大泥浆渗入井壁当中,可以明显增强沙粒之间的胶结力,使井壁稳定^[5]。

泥浆添加了聚阴离子纤维素 PAC 有机处理剂,泥浆粘度保持在 30 s 左右。PAC 适用于各种水基泥浆体系,具有改善泥浆流型、降低失水量、稳定井壁、调节泥浆粘度等作用。这样提高了泥浆的携带岩屑和静止悬浮岩屑的能力,减轻岩屑沉积卡钻,利于钻进取心的进行。PAC 的高分子长链吸附粘土颗粒,形成混合网状结构,使泥浆在井壁能形成致密坚硬的滤饼;另外其本身能提高粘度、润滑泥浆和堵孔^[4]。

6 号孔施工曾在 20 ~ 30 m 井深穿过约 20 cm 厚的砾石夹层,通过加入 PAC、相应增加泥浆密度后,泥浆护壁效果良好,后续的钻进取心基本没有砾石掉块。这表明井壁稳定,没有坍塌掉块。总体而言采用上述要求的泥浆护壁效果良好。松散砂质井壁裸露时间长,受扰动多,取心时应避免压力激动影响泥浆对井壁的支撑保护,还应严格控制取样器的提放速度,以减少因抽吸而导致井壁坍塌的机率和程度。

4.3 塌孔埋钻事故防治

为了保证岩屑从钻头唇部下面排出并带到孔外,泥浆必须具有一定上返流速。根据经验,泥浆泵量可以由下式计算^[6]:

$$Q = (\pi/4)\beta(D^2 - d^2)v \quad (1)$$

式中: Q —— 泥浆泵泵量, m³/s; β —— 上返速度不均匀系数, $\beta = 1.1 \sim 1.3$; D —— 由最大钻头决定的孔径, m; d —— 钻杆外径, m; v —— 泥浆上返速度, m/s。

对于三翼硬质合金钻头,合理的泥浆上返速度为 0.2 ~ 0.5 m/s。钻头转速越快、扫孔进尺速度越快,取值相应增大^[6]。按式(1)理论最小泵量为 294 L/min(现场钻头外径 201 mm,钻杆外径 127 mm, $\beta = 1.1$,最小上返速度 $v = 0.2$ m/s,设井径超径 10 mm, $D = 211$ mm),船上用 BW-250 型泵,最大泵量 250 L/min,略小于 294 L/min。根据理论计算泵量和现场经验表明,局部孔段扩孔严重时, BW-250 型泵略显不足。

对于缺乏胶结的砂质孔,扰动因素多时孔壁总会很容易局部坍塌扩孔。坍塌后岩屑会大大增加,海底表面孔口严重扩大或局部孔段扩孔相当严重,泥浆很难把岩屑返出海底表面的孔口。大部分钻孔都会发生涌砂现象。目前施工表明,孔深还没到 50 m 时就出现涌砂,并一直持续到终孔。岩屑在井段局部返不出去,局部堵塞钻杆环空。钻进时钻杆环空通道憋住一定的压力,卸扣时泥浆从钻杆内回涌。涌浆时,泥浆携带大量的砂粒从钻杆内返出井口。

理论上通过增加泥浆密度、增加泥浆粘度、保证冲孔时间、增大泵量等措施,有利于打通钻杆环空通道,从而使泥浆携带岩屑返出孔口,避免卡钻。但是有时由于钻杆环空通道打不通,打入泥浆越多,憋住压力越高,返浆反而更多。锤击取心时,在孔内的泥浆循环中断时,冲洗液使孔内岩屑呈悬浮状态,以免岩屑沉淀而引起卡埋钻事故。因此回次扫孔结束取心时应保证冲孔时间,使尽可能多的岩屑上返出海底表面的孔外。

涌砂严重和扭矩增加过快时,要密切注意动力头的扭矩变化。若扭矩增加过快,钻杆转动困难,表明此时井壁坍塌和钻杆环空海砂岩屑有抱紧钻杆,有卡钻的趋势。为了避免卡钻,扫孔时要提放钻杆活络钻杆环空岩屑使其松动返出孔口,避免岩屑局部抱死钻杆而卡钻。必要时采用大泵量冲孔。施工表明,虽然此时岩屑已很难返出孔口,但按照上述措施动力头的扭矩会相应降低,可避免卡钻事故。

6 号孔在井深 45 m 时由于井涌严重和扭矩增加过快,试验用 BW-850 型泵,泵量 600 L/min,回次连续注浆 6 m³ 进行扫孔。根据式(1)计算,泥浆在钻杆环空上返速度为 0.48 m/s。结果涌砂更为严重,现场施工涌浆高度离海平面高达 10 m。泥浆

携带大量的海砂从钻杆内涌出井口,表明钻杆环空依然堵塞。然而此时动力头的扭矩大为降低,大大减缓了井壁坍塌和井段岩屑抱紧钻杆卡钻的趋势。

船上缺少淡水补给和泥浆不回收循环的钻进方法,BW-850型泵消耗过大,不能保证持续施工,同时过大的泵量也会对井壁产生较大冲刷。因此大泵量不适宜正常钻进时使用,只能应急使用。经统计,对于井深100m的井,泵量250L/min时,平均每进尺1m耗浆1m³左右。6号孔用泵量250L/min,涌砂一直持续到终孔,没有发生塌孔卡钻事故,顺利终孔。泵量250L/min略显不足,因此扫孔进尺速度不能过快,同时要保证泥浆冲孔时间予以补充缺陷。

5 结语

后续几口百米钻孔施工相当顺利,项目提前完成。简单高效的钻探取心工艺,缩短单井施工周期,有效地避免了不利海况的影响。项目平均取心率基本保持在70%以上。

尽管项目刚开始施工不尽人意,经过调整,出色地完成项目。砂质地层取样经验可以概括为以下几点:

(上接第17页)

开始钻进,堵漏效果明显,能有效遏制漏失;在处理较大漏失时,采用固化剂与锯末混合使用的堵漏方法,提取一部分泥浆,将固化剂与锯末混合搅匀然后直接注入井内漏失孔段,开泵循环,使用效果较好,孔口返浆量明显加大。

上述方法在ZK7-3、ZK3-5等6个孔使用效果明显。

上述方法的不足之处是使用需停钻专门堵漏,耗费额外堵漏时间,影响钻进效率,故建议采用随钻堵漏。

7 结语

(1)实践证明,低固相不分散泥浆在复杂破碎中深孔地层钻进施工中可以取得良好的实用效果,可有效地解决护壁难的问题,很大程度上杜绝了缩径等钻探事故;

(2)三级钻孔结构保证了马泉金矿钻探的顺利施工,无论是成本还是钻进效率都得到了保证;

(1)摸清潮水的规律,避免大潮汛期期间施工,避免流大下钻,保持船位稳定,把握抛锚钻进契机;

(2)根据井内实况,密切注意泥浆调配,保证足够的密度和粘度,必要时大泵量冲孔;

(3)保证泥浆冲孔时间,尽量减缓钻杆环空局部因积砂堵塞,密切动力头扭矩的变化,转动吃力时表明井壁坍塌和井段坍塌沉积的海砂岩屑有抱紧钻杆卡钻的趋势,需要采取必要措施处理,避免卡钻事故的发生。

参考文献:

- [1] 王光辉,陈必超.浅海水域工程勘察钻探方法和技术措施[J].探矿工程,2003,(4):9-10.
- [2] 秦如雷,段隆臣.地质钻探中孔内复杂情况的应对措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(10):6-9.
- [3] 鲍忠厚.浅海工程勘察钻探施工实例[J].地质与勘探,1993,(4):59-64.
- [4] 陈平等.钻井与完井工程[M].北京:石油工业出版社,2008.20-101.
- [5] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等.钻井液与岩土工程浆液[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2002.93-111.
- [6] 汤凤林,A.F.加里宁,杨学涵.岩心钻探学[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,1997.127-129.

(3)在马泉金矿复杂破碎地层钻进,要轻压慢转,保证孔底安全。

(4)在钻进破碎带地层时使用高粘度泥浆虽然能有效提高岩心采取率,但是机械钻速较低,泥浆聚沉性能较差,需要进一步研究探索,在保证岩心采取率的同时提高机械钻速,达到又快又好的目标。

参考文献:

- [1] 汤凤林,A.F.加里宁,段隆臣.岩心钻探学[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,1997.
- [2] 胡辰光,等.钻探工程技术及标准规范实务全书[M].安徽合肥:安徽文化音像出版社,2003.
- [3] 乌效鸣,等.钻井液与完井液[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2010.
- [4] 王勐.低固相不分散泥浆在复杂地层钻进中的应用[J].西部探矿工程,2006,(8).
- [5] 张宝河.甘肃岷县某金矿钻探施工技术与管理[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(4).
- [6] 曾石有.嵩县多金属矿区复杂地层岩心钻探施工综合技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11).