

中国东部海区科学钻探施工技术探讨

陈师逊^{1,2}, 宋世杰^{1,2}

(1. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264004; 2. 山东省地质勘查工程技术研究中心, 山东 济南 250013)

摘要:东部海区科学钻探工程是我国海洋地质研究中的一重要工程, 施工环境复杂, 钻探施工难度大。根据地质预测和环境条件, 针对实际情况, 分析海上钻探施工的难点, 提出了钻孔结构、钻进工艺、取心方法、冲洗液使用等方面的技术方案思路, 以指导和保障钻探施工。

关键词:大陆架; 科学钻探; 钻探技术; 东部海区

中图分类号: P634; P75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2014)12-0001-05

Discussion of Scientific Drilling Construction Technology in Eastern Sea Area of China/CHEN Shi-xun^{1,2}, SONG Shi-jie^{1,2} (1. No. 3 Exploring Institution of Geo-Mineral Resources, Shandong Province, Yantai Shandong 264004, China; 2. Geological Exploration Engineering Technology Research Center of Shandong Province, Jinan Shandong 250013, China)

Abstract: The scientific drilling project in the eastern sea area is a major item in marine geology reearch of China. Due to the complicated construction environment, drilling operation is difficult. According to the geological forecast and environmental conditions, the difficulties in offshore drilling are analyzed to put forward the technical schemes of borehole structure, drilling process, coring method and flushing fluid.

Key words: continental shelf; scientific drilling; drilling technology; eastern sea area

“中国东部海区科学钻探工程”是大陆架科学钻探项目的一部分, 隶属国家海洋地质工程专项, 是我国专门为海洋大陆架研究实施的第一口科学钻探深井。钻探目的是获取我国东部海区完整的新近系地层记录, 建立南黄海中部隆起新近纪以来的地层格架, 为研究南黄海新近系以来的高分辨率地层层序、沉积历史、海平面变化和古气候变化、油气赋存条件和特征等提供基础资料; 同时, 对深入研究晚上新世以来中国(亚洲)东部宏观环境演化、亚洲内陆干旱化的耦合关系以及黄河巨型水系发育、解决制约对南黄海中部隆起海相残留盆地长期悬而未决的地层属性问题等重大科学问题奠定基础。

斜顶角 $\geq 10^\circ$; 全孔最大狗腿度 $\geq 2^\circ/30\text{ m}$ 。



图1 CSDP-02孔位置图

1.3 地层条件

根据多道地震等相关地质资料推断, 预测该区地层岩性情况如图2。

2 钻井平台选择

海上钻探施工首先面临钻井平台的选择, 选择平台要根据工程需要、环境条件、安全和经济等因素。我国石油钻探平台相对成熟, 但石油平台使用成本高, 经费受到限制, 而且庞大的平台规模对浅海域岩心钻探也是浪费。用于工程岩心钻探的平台多用于浅钻施工, 难以满足大陆架科学钻探的需要。

1 概述

1.1 地理位置

中国东部海区科学钻探工程(CSDP-02孔)位于我国南黄海海域, 距离最近的海岸线约100 km, 位于连云港以东约170 km、射阳河口东北约110 km位置(见图1), 井位处海水深度22~25 m。

1.2 工程要求

地质设计要求孔深2000 m, 终孔直径 $\leq 95\text{ mm}$; 全孔岩心采取率 $\leq 85\%$; 岩心直径 $\leq 60\text{ mm}$; 终孔孔

收稿日期: 2014-11-06

基金项目: 国土资源部海洋地质调查专项(GZH200800501, GZH201100202); 大陆架科学钻探项目(CGS-CSDP)

作者简介: 陈师逊(1965-), 男(汉族), 山东滨州人, 山东省第三地质矿产勘查院副总工程师, 山东地矿局钻探技术研究中心主任, 研究员, 地质工程专业, 从事地质工程技术研究和管理工作, 山东省烟台市芝罘区机场路271号, chshixun@126.com。

地层	地震		深度 /m	预测岩 性剖面	预测岩性描述
	层位	时间/ms			
第四系	T ₁	517	405		粉砂质粘土、砂质沉积物、砂砾沉积物
新近系	T ₂	645	536		未固结的粉砂质泥岩、泥岩、砂岩
二叠系 青龙组	T ₉	1000	1637		灰岩、泥质灰岩、鲕状灰岩夹白云岩和白云质灰岩,可能夹少量泥岩
二叠系 大隆组 龙潭组 P ₂ l~P ₂ d	T ₁₀	1430	2691		上部粉砂岩、细砂岩互层;下部细砂岩、泥岩、煤层

图例: 粉砂质粘土 砂砾岩 粉砂质泥岩 泥岩
 白云质灰岩 灰岩 煤层

图2 CSDP-2孔地层岩性预测图

针对“中国东部海区科学钻探工程”项目的具体情况和井场调查了解到的海底地层状况,结合山东省第三地质矿产勘查院在其他海域进行地质岩心钻探施工积累的经验,确定自行设计和加工适合大陆架科学钻探需要的插桩式海上钻井平台如图3所示。平台由甲板、桩腿、四套液压升降装置等组成。甲板由24只独立箱体通过连接机构拼装而成,见图4,桩腿采用钢管桩,直径1m,法兰联接。

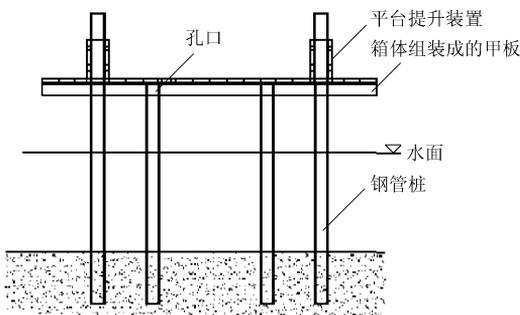


图3 钻探平台立面示意图

该钻探平台甲板面积756 m²,可浮在水面上,安装时先将桩腿用振动器打入海底,甲板通过4个角桩的液压升降系统提升至距离海平面10~14 m,防止潮汐和海浪对甲板的影响。平台不但要满足2500~3000 m钻孔施工能力,还要满足大陆架科学钻探试验、办公、人员食宿等需要。

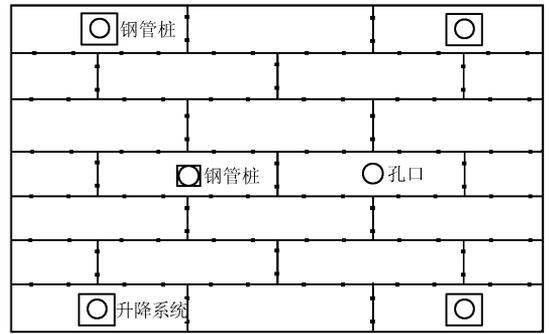


图4 钻探平台平面示意图

3 钻孔结构

由于科学钻探具有很强的探索性,无法提供详细的钻前资料。钻孔结构设计必须注重孔内安全和钻探成本2个因素,要留有足够的下套管口径以备封隔复杂地层。

为保证能顺利钻达设计孔深,采用在钻孔结构中备用一级口径以解决钻探中可能出现的各种复杂性问题。除表层套管下深基本确定外,Ø168、140 mm套管下深都不太确定,只是依据地层资料估计,具体下深多少,要依据现场施工的具体情况来定。初步设计如图5所示,如果地层稳定性好,本科学钻探孔有可能进行超长裸眼钻进,用Ø122 mm孔径直接终孔即可。这样就节省了时间和套管用量,但如果遇到复杂地层很难钻进至终孔时,将下入Ø114 mm套管护孔,再换用Ø96 mm口径绳索取心钻进至终孔。

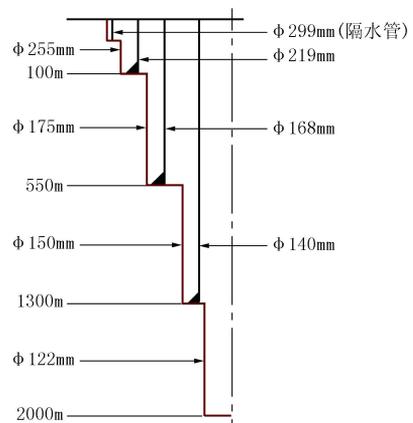


图5 钻孔结构设计

套管程序见表1。

4 钻进工艺

4.1 钻进方法

表1 套管程序

开钻次序	钻头尺寸 /mm	钻达深度 /m	套管尺寸 /mm	套管下深 /m	备注
一开	255	100	219	100	
二开	175	550	168	550	钻深视现场情况定
三开	150	1300	140	1300	钻深及套管下入视
四开	122	2000	114	约1600	现场情况而定
五开	96	2000			

根据地质条件和孔径,采用上部提钻取心,下部绳索取心钻进形式。

首先用震动和压入的形式将隔水管压入海底一定深度。下入隔水管有2方面的作用:一是减小环空间隙,提高环空中的泥浆上返流速,改善钻孔的清洁条件;二是改善钻柱的稳定条件,减轻钻柱受到的复杂载荷作用,减少断钻杆的机率。

由于大口径钻具取心困难,一开先采用 $\varnothing 175$ mm双管或三层管钻具提钻取心钻进至100~150 m,再用 $\varnothing 255$ mm钻头扩孔至相应深度后下入 $\varnothing 219$ mm套管。

二开采用 $\varnothing 175$ mm双管或三层管钻具提钻取心钻进,钻进至完整基岩下 $\varnothing 168$ mm套管。

三开、四开采用钻头加大至上一级口径的绳索取心钻进工艺。如三开采用P系列绳索取心钻杆柱及其配套机具,钻头采用 $\varnothing 150$ mm口径;同样四开采用H口径绳索取心配套机具,而钻头口径加大至 $\varnothing 122$ mm,为了钻具扶正和提高强度,钻具外管(包括扩孔器、弹卡室、弹卡挡头等)采用特种厚壁外管。

如果需要五开钻进,则下入 $\varnothing 114$ mm套管,采用常规H口径绳索取心钻进至终孔。

三开、四开采用加大一级口径的优点:

(1)增大环空间隙,改善钻孔的压力平衡条件;
(2)使套管增大一个口径级别,为施工储备一级口径;

(3)有利于钻铤的使用,实施孔底加压,保障钻孔垂直度;

(4)避免了环状间隙小带来的不利影响,改善钻柱的稳定条件,防止粘附卡钻。

4.2 钻头

根据钻孔所遇地层岩石的可钻性、研磨性和破碎程度等情况,确定使用硬质合金、复合片和孕镶金刚石钻头,其主要技术参数应符合如下要求。

(1)钻头直径(外径):根据井身结构确定,一开采用 $\varnothing 175$ mm硬质合金钻头取心,用 $\varnothing 255$ mm全面硬质合金钻头扩孔;二开采用 $\varnothing 175$ mm硬质合金

或复合片钻头;三开采用特制 $\varnothing 150/122$ mm金刚石或复合片钻头;四开采用特制 $\varnothing 122/96$ mm金刚石钻头;五开采用 $\varnothing 96$ mm金刚石钻头。

(2)钻头内径: $\varnothing 175$ mm提钻取心钻头确定为108 mm。 $\varnothing 150/122$ mm绳索取心钻头为85 mm; $\varnothing 122/96$ mm及 $\varnothing 96$ mm绳索取心钻头为64 mm。

(3)钻头水口、水槽的设计应考虑泥浆冲洗液和保护岩心的作用,适当加大水口、水槽断面,增加水口、水槽数量,以减少流通阻力,保证钻头得到充分的冷却,同时要避免冲洗液直接冲刷岩心和地层,采用底喷式和前喷式。

4.3 钻杆柱

4.3.1 绳索取心钻杆

本工程采用的绳索取心钻杆有P、H两种规格,由于钻孔深度大和钻头直径大,因此绳索取心钻杆强度必须满足要求,为此采用加强型即接头部分加厚处理的钻杆。钻杆主要参数见表2。

表2 绳索取心钻杆参数 /mm

钻杆代号	钻杆体外径 D_0	钻杆体内径 d_0	钻杆体加厚长度 L_4	钻杆体加厚外径 D_1	钻杆体加厚内径 d
R-PCP II	114	102	120~150	117	100
R-HCP II	91	80	100~110	93	78

4.3.2 薄壁钻铤

为了保障钻孔垂直度,防止由于孔口加压使钻杆柱弯曲造成孔斜,本工程采用孔底钻铤加压的形式。为满足绳索取心钻进要求内径较大,采用特制的薄壁钻铤。薄壁钻铤要求外径小于钻头外径而内径不小于绳索钻杆最小内径,采用 $\varnothing 140$ mm \times 18 mm和 $\varnothing 114$ mm \times 17 mm两种薄壁钻铤,分别用于三开和四开的绳索取心钻进。

4.3.3 缓冲变径钻杆

为了减轻钻铤与绳索钻杆连接时由于直径变化大造成应力集中,二者之间加设一根中间直径的钻杆作缓冲变径钻杆。即三开时 $\varnothing 140$ mm钻铤与 $\varnothing 114$ mm钻杆间加接一根长6 m的 $\varnothing 127$ mm钻杆,四开时 $\varnothing 114$ mm钻铤与 $\varnothing 91$ mm钻杆间加接一根长6 m的 $\varnothing 104$ mm钻杆。

4.3.4 钻杆扶正短接

为防止绳索取心钻杆与孔壁间隙大造成钻杆弯曲量大发生断钻杆事故,绳索取心钻杆每30~50 m接一根与钻铤直径相当的短钻杆作为扶正短接。

5 取心技术

本科学钻探工程要求全孔取心,岩心不扰动,采

取率高,而地层条件又十分松散复杂,因此取心是一个难题。为此常规钻探取心不满足要求时,采用特殊取心工具。

5.1 半合管(三层管)钻具

半合管式内管钻具是双级单动机构的双层岩心管钻具。用于上覆盖层基岩复杂地层岩心钻探,岩心采取率可达95%~100%,而且可以取得松散、破

碎地层的原结构柱状岩心。

图6为半合管下部结构,内管两端车有公螺纹,沿轴向外表面加工有多道深为0.75 mm的凹槽,在此三道凹槽内用具有一定抗拉强度的耐水胶带(玻璃纤维带)将两根半合管粘结紧固成一根整管,使用一个内管接头将其连接在内管的下端。

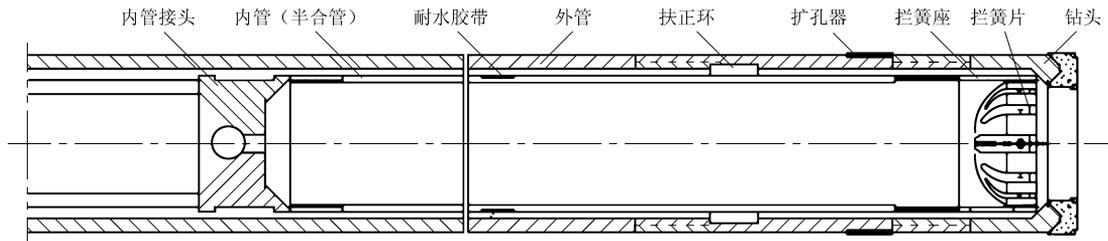


图6 半合管钻具下部结构示意图

由于这种钻具的钻头内径与普通绳索取心钻具的钻头内径相同,因此可以和普通绳索取心钻具的内管总成互换使用,而且可以根据所钻地层的软硬和破碎程度,配备普通卡簧,也可使用采用拦簧。由于拦簧对岩心管的封闭性较普通卡簧更可靠,钻进破碎岩矿层时,可以一定程度上提高岩心采取率。将装满岩心的内管总成捞取上来后,卸开半合管两端的内管接头和卡簧座,用刀具切开耐水胶带,掰开半合管,即可获得与地层结构大致相同的岩心。此

种方法采取的岩心便于地质人员观察和分析。

5.2 超前管钻具

超前管钻具是将上述钻具的卡簧座以下部分再连接超出钻头部分的超前管(如图7所示),使内管超前20~25 mm,钻进时依靠轴向压力切入岩层。此种超前管用于上部钻进厚度较大的无硬夹层的松软层,可以防止冲洗液对岩心的冲蚀,而且可以避免由冲洗液的压力造成的岩心挤压和磨损现象,从而提高岩心采取率。

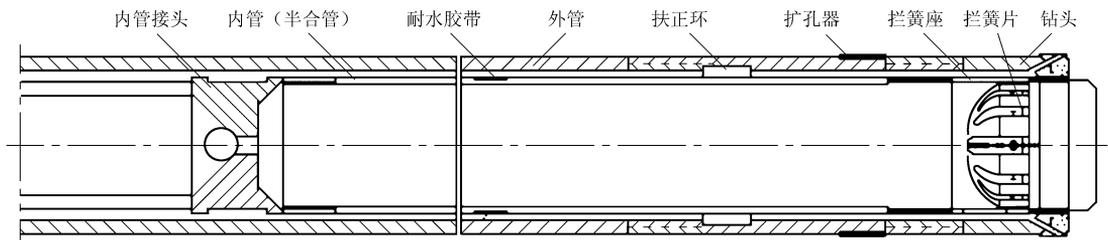


图7 超前管钻具下部结构示意图

5.3 底喷或侧喷钻头

底喷钻头是改变冲洗液流经钻头底面的位置,防止冲洗液对岩心的冲刷,有利于提高岩心采取率。

5.4 压入或冲击式钻具

对强度很低的土层,根据情况可采用压入或打入式取心,每个回次,先将钻具下放到孔底,通过上部加压或锤击,将取心钻具压入土层,投入钢球,隔离钻杆内冲洗液,提钻取心。

减小海水中的各种电解质对冲洗液性能的破坏。

(2)上部砂泥质沉积物较软、疏松,易产生孔壁坍塌,应注意保持冲洗液的粘度和密度。

(3)泥岩地层,要考虑分散造浆问题,选用低失水、低摩阻及抑制能力强的钻井液;泥页岩、炭质泥岩易坍塌,应加强冲洗液的抑制及封堵防塌能力。

(4)碳酸盐岩地层,地层破碎和裂隙发育也比较常见。钻遇破碎地层应密切关注钻井液密度,加强封堵;钻遇裂隙发育地层,应做好防漏堵漏措施。

(5)全孔采用较大孔径的绳索取心钻具,冲洗液在钻杆内的流动速度低,很容易发生钻杆内壁结泥皮现象,冲洗液应尽可能保持较低的固相含量、良

6 冲洗液

6.1 基本要求

(1)用海水配制冲洗液,要提供有效的处理剂

好的流变性能和润滑性能。

6.2 冲洗液体系

(1) 一开、二开冲洗液。

采用海水-膨润土钻井液。要求配制快捷,净化能力好,能支撑上部疏松地层。泥浆材料主要为:海水、烧碱、纯碱、钠膨润土、抗盐 GTQ 等。

(2) 三开、四开冲洗液。

对于地层水敏性相对较弱、渗透性强及地层稳定性较差的孔段,采用海水低固相聚合物冲洗液,泥浆材料主要为:海水、烧碱、纯碱、钠膨润土、抗盐 GTQ、降失水剂(GPNA)、接枝淀粉(GSTP)、包被剂(GBBJ)等。对于地层水敏性强的孔段,采用海水钾基聚合物防塌冲洗液,泥浆材料主要为:海水、烧碱、纯碱、钠膨润土、抗盐 GTQ、降失水剂(GPNA)、低粘纤维素(LV-CMC)、包被剂(GBBJ)、氯化钾等。

该孔段要及时根据地质预测的地层压力调整冲洗液密度,如钻遇高压油气层,按实际情况用重晶石加重泥浆压井,甚至用水泥封井。

(3) 五开冲洗液。

若地层稳定性较好,采用海水无固相聚合物冲洗液。若地层稳定性较差,采用海水低固相聚合物防塌冲洗液。

6.3 冲洗液维护处理措施

(1) 一开、二开孔段。

重点预防地层疏松导致孔壁坍塌,采用海水-膨润土稠泥浆。

向海水中加入烧碱和纯碱处理后,加入需要量的膨润土,充分预水化后,再加入抗盐 GTQ 提高钻井液的粘度,性能达到设计要求方可。若地层松软,提高膨润土的加量和泥浆粘度。

(2) 三开、四开孔段。

钻遇主要地层为砂质泥岩沉积物、砂泥岩互层和碳酸盐。重点是砂质泥岩沉积物、水敏性泥岩及破碎的砂岩和碳酸盐等,应注意预防缩径、坍塌掉块和漏失。

按配方配制基浆,加入抗盐 GTQ 提高泥浆粘度;加入降失水剂(GPNA)和接枝淀粉(GSTP)降低冲洗液的滤失量;加入包被剂(GBBJ)絮凝和包被岩屑,抑制岩屑分散,利于地表固相控制。若钻进较软的砂泥质沉积物,若地层不稳,及时添加加重材料提高钻井液的密度。钻遇渗透性强的砂岩、砂质泥岩等地层时,及时添加防塌型随钻堵漏剂进行封堵。若钻遇强水敏性地层,向钻井液中补加 LV-CMC,

并添加氯化钾,将其转化为海水低固相钾基聚合物冲洗液。

(3) 五开孔段。

钻遇主要地层为碎屑岩和碳酸盐。重点预防胶结性差的碎屑岩和破碎的碳酸盐的坍塌、掉块以及地层漏失。

若地层完整,按海水无固相聚合物冲洗液配方配制,加入抗盐 GTQ 提高钻井液的悬浮和携带能力。确保水解聚丙烯酰胺(PHP,也可以采用包被剂 BBJ)在冲洗液中的含量,提高冲洗液的粘度、润滑性和其对岩屑的絮凝和包被作用。松散、破碎地层时加入聚乙烯醇护壁。若钻遇胶结性差的地层,或地层地应力较大,将预先配置好的膨润土含量较高的泥浆加入到上述无固相泥浆中,依据孔壁稳定需要调节泥浆的密度,并添加封堵材料。可加入极压润滑剂(GLUB),以降低扭矩。

7 其它

本大陆架科学钻探区域地层资料少,研究项目多,施工中还存在固井、井控、测录井等技术,由于地质岩心钻探中很少遇到,在此也不作讨论。

8 结语

随着我国海洋战略的实施,海底地层的研究和开发将越来越被重视,海上地质岩心钻探有很大的发展前景,而到目前海上地质岩心深孔钻探的工程不多,没有成熟的经验可以借鉴,需要我们不断摸索和总结。中国东部海区科学钻探的技术方案也需要在施工中不断修正和完善,本文只是作为探索性设计,并不是结论和成果。

参考文献:

- [1] 王达,等. 中国大陆科学钻探工程科钻一井钻探工程技术[M]. 北京:科学出版社,2007
- [2] 王达,何远信,等. 地质钻探手册[M]. 长沙:中南大学出版社,2014.
- [3] 陈师逊,杨芳. 海上工程平台的设计与应用分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):46-50.
- [4] 陶士先,陈礼仪,单文军,等. 汶川地震断裂带科学钻探项目 WFS-2 孔钻井液工艺研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(9):45-48.
- [5] 张伟,樊腊生,吴金生. 汶川地震断裂带科学钻探项目中取心钻进方法应用的演变[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):61-64,68.