

# 舟山海域淡水资源调查岩心钻探技术

郑荣耀, 卢秋平

(上海海洋石油局第一海洋地质调查大队, 上海浦东 201208)

**摘要:**舟山海域淡水资源调查项目 DZS1 孔, 水深 15 m、钻孔深度达 202.1 m, 在以粘土层和砂层为主的第四系覆盖层全孔取心、在风化基岩层取心 2 m。在第四系覆盖层不下套管直接利用  $\varnothing 127$  mm 钻具进行绳索锤击取心钻探, 基岩采用  $\varnothing 127$  mm 钻具作为套管、 $\varnothing 50$  mm 钻具单动双管回转取心钻探。介绍了该孔的主要施工工艺与质量控制方法, 包括勘探船抛锚定位、潮流对钻杆的影响、钻探取心过程控制、用取心钻头不取心扫孔技术、更换钻头技术、泥浆工艺等。

**关键词:** 钻探船; 海洋岩心钻探; 绳索锤击取心; 单动双管取心; 淡水资源调查

**中图分类号:** P634.5    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-7428(2013)05-0026-05

**Technology of Core Drilling for Investigation of Freshwater Resources in Zhoushan Sea/ZHENG Rong-yao, LU Qiu-ping** (Shanghai Offshore Petroleum Geophysical Corporation, Pudong Shanghai 201208, China)

**Abstract:** For DZS1 well of freshwater resources investigation project in Zhoushan sea, the drilling was started at water depth of 15 meters. The full hole coring depth reaches 202.1 meters by drilling in overburden layer mainly with clay and sand layers and 2 meters of weathered bedrock. In the quaternary, 127mm drill pipe was directly used for wire-line hammer collision coring drilling without casing; in bedrock, 50mm drill pipe was used for swivel type double tube coring drilling with 127mm drill pipe as casing. The paper introduces the main construction processes and quality control methods, including anchor of drill ship, consideration of tide impact on drilling pipe, control of drilling procedure, hole cleaning, drill bit replacement, mud technology and so on.

**Key words:** drilling ship; offshore core drilling; wire-line hammer collision coring; swivel type double tube coring; freshwater resources investigation

近海海底第四纪淡水资源主要赋存在相对比较封闭的古河道砂体地层环境中。为查明舟山海域海底第四系地层层序、沉积环境及分布规律和海底古河道的分布状况, 研究古河道上游与陆地地下水之间的补给关系, 评价可供利用的海底淡水资源, 在舟山群岛寻找新水源, 根据任务设计书要求, 我单位在舟山海域开展 2 口水文地质岩心钻探调查孔。其中 DZS1 孔平均水深 15 m, 设计孔深 202 m。设计孔深范围内遇基岩有效取心进尺 2 m 终孔。要求泥质岩心取心率  $\leq 80\%$ 、砂质岩心取心率  $\leq 60\%$ 、基岩采取率  $\geq 50\%$ 。本文主要结合该孔岩心钻探施工控制技术, 详细总结了目前海洋水文工程地质深孔岩心钻探技术经验, 提出了相应对策并介绍取得的成效。

## 1 水文气象以及地质条件

舟山海域全年多大风, 季风影响明显, 经常受来自北方的寒潮以及热带风暴或台风过境侵袭。冬季多偏北风, 六级以上大风占 35%; 夏季多偏南风, 六

级以上大风占 8%。舟山海域为大浪区, 波浪高平均一般为 0.4 ~ 1.1 m, 最大波高出现在 8 月, 波高最大达 11.5 m, 为台风影响所致。海域波浪受季风影响明显, 每年 10 月至次年 4 月风浪较大, 4 ~ 6 月风浪较小; 冬季以偏北向浪为主, 波高较大; 夏季以偏南向浪居多, 波高较冬季小; 同时又因地形复杂, 使波浪的运动受地形制约, 各处的波浪分布特征不尽相同。

DZS1 号孔位于嵎泗列岛北部较为宽阔水域, 存在回旋流, 潮汐性质为规则半日潮, 最大潮差 2.9 m。根据海图显示: 海流主东西流向, 最大流速 1.2 ~ 3.0 m/s; 偏东西夹角  $30^\circ$  方向最大流速 1.3 ~ 2.3 m/s; 偏南北向最大流速 1.1 ~ 2.0 m/s。

邻近水井“嵎泗二井”钻探施工显示第四系地层厚度为 201 m<sup>[1]</sup>。钻探施工显示第四系覆盖层主要由粘土、粉砂、细砂、粗砂(局部含薄层砾石)、泥质细砂、泥质粗砂构成, 孔深 200.1 m 遇风化基岩, 呈碎石状态含粘土充填, 具体钻探地质编录剖面

收稿日期: 2013-01-06

作者简介: 郑荣耀(1985-), 男(汉族), 山东沂水人, 上海海洋石油局第一海洋地质调查大队项目经理, 工程地质专业, 从事海洋工程管理与技术工作, 上海市浦东新区东塘路 240 号, ry51111@yahoo.com.cn。

如图 1 所示。

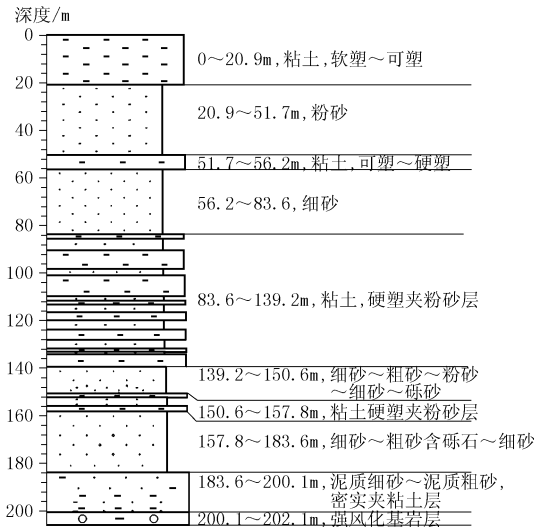


图 1 地质剖面示意

## 2 工程主要特点及技术难点

(1) 海洋环境复杂多变。海洋钻探受到潮汐、寒潮、台风影响。钻探施工往往要选择小潮流和风浪小时(风力 $\leq 7$ 级,一般为 5~6/7 级)进行,锚泊设计抵抗最大风力一般 $\leq 8$ 级,否则需起钻起锚规避。

(2) 舟山潮流半月为周期,以上旬为例,最适宜施工时间为农历初六~十三共 8 天,初五以前流速一般较大,十四后流速开始逐渐增大。深孔钻探取心需要较长施工时间,取心纯钻进时间需 6~7 天,单孔必须控制在一个潮流期内完成。

(3) 水深是水域钻探施工难易程度的主要标志之一,过深或过浅都不利于锚泊稳定<sup>[2]</sup>。施工水域水浅流急,且存在较急回旋流,不利于船体长时间锚泊定位。水深越浅,船位浮动范围要求越严格。为避免钻杆产生较大屈曲,经验表明,水深 15 m 钻探顺利进行要求抛锚钻进后船位浮动范围半径 $\leq 3$  m。

(4) 第四系地层复杂不稳定,主要为砂质不胶结地层和粘土层,其中砂质地层容易坍塌不稳,出现大肚子井段;水敏性硬塑粘土层容易孔壁缩径。

(5) 强风化基岩要求有效取心进尺 2 m,绳索锤击取心钻进工艺可能会因基岩过硬无法击入而取心失败。

## 3 勘探船设备与钻进工艺设计

钻探船“勘 407”主要指标如下:长 55 m,宽 11.6 m,最大吃水 4.2 m,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;船配有高精度 DGPS 定位接收机(井架顶部)和计算机 HYPACK 导航系统,用计算机 HYPACK 导航系统实时指导锚泊就位。测量水深设备为 HY1602 双频测深仪。

项目施工钻机为 HGD-600 型全液压动力头海洋工程地质勘察钻机,主卷扬最大提升力 200 kN,副卷扬(绳索锤击取心)最大提升力 30 kN,升降补偿能力 45 kN。钻探用泥浆泵为 BW-250 型泵。

钻孔设计采用 2 套取心工艺,如图 2 所示。第四系覆盖层采用超前式绳索锤击取心工艺;风化基岩层尽量采用绳索锤击取心工艺,简化施工工艺,若地层过于坚硬绳索锤击取心无法进尺则采用单动双管回转取心工艺备用取心方案。

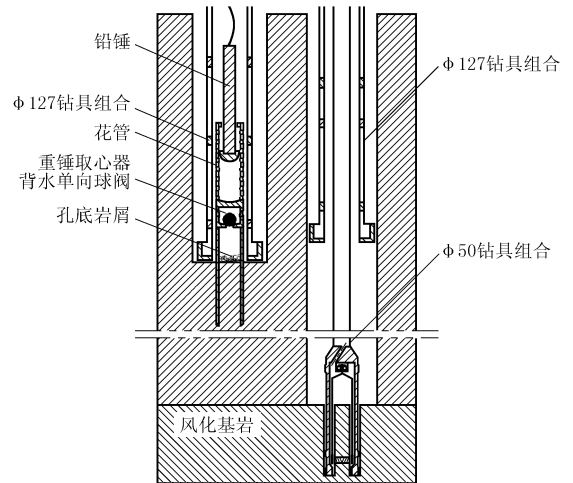


图 2 钻探取心设计示意

第四系覆盖层采用  $\text{O}127$  mm 钻杆 +  $\text{O}210$  mm 三翼硬质合金钻头进行无套管支护钻进,海底表面到船体  $\text{O}127$  mm 钻杆裸露在海水里,取心方式为超前式孔底绳索锤击取心。利用 HY1602 型双频测深仪测量计算水深, $\text{O}127$  mm 钻杆作为锤击取心的通道插入海底表层开孔,下绳索重锤取心器取第一次海底表层样。取完第一次后,根据样品长度和测量水深计算扫孔进尺。扫孔 $\rightarrow$ 取样 $\rightarrow$ 扫孔,循环到设计的风化基岩层。

按以往水域及浅海工程地质钻探的常规方法,在水域砂层钻探中存在着效率不高、岩心采取率严重不足、孔内事故增多等诸多问题,很难达到勘探设计要求<sup>[3]</sup>。超前式绳索锤击取心优点:绳索锤击取心器与  $\text{O}127$  mm 钻具独立分离, $\text{O}127$  mm 钻具随船体升沉时不会影响正常锤击取心作业,同时超前式取心从根本上杜绝了钻具扫孔钻进对样品的扰动,具有较高的保真度和取心率。钻探用 BW-250 型

泥浆泵,设计砂质地层钻探泵量 175 L/min,泥质地层钻探泵量 250 L/min。

风化基岩层备用取心方案:Ø50 mm 钻杆 + Ø89 mm 单动双管岩心管 + Ø91.5 mm 扩孔器 + Ø91 mm 金刚石钻头钻具组合有效取心钻进 2 m,Ø127 mm 钻杆作为其钻进支护套管。考虑到船体升沉影响,避免 Ø50 mm 钻具施工过程中井壁局部坍塌卡住以致 Ø127 mm 钻具拔不起来,施工至风化基岩层转换 Ø50 mm 钻具取心前,Ø127 mm 钻具拔离孔底至孔深 40 ~ 50 m 处。

## 4 关键施工技术与控制方法

### 4.1 抛锚设计与控制

船位稳定是海上钻探的前提。抛锚船首向根据风向和流向而定,一般来说船头迎流(风)向,主要考虑综合影响主导因素<sup>[4]</sup>,抛锚前采用抛单锚观察判断。

船舶常规锚泊方案为四点锚泊定位,船首为霍尔锚,链径 32 mm 锚链连接,船尾为大抓力五爪锚,直径 32 mm 钢缆连接;船首配有侧推器,抛锚定位自抛自起。考虑到舟山海流较急,且存在回旋流,钻孔在原四点锚泊定位基础上,增加 5、6 号辅助加强锚,其抛锚设计如图 3 所示(抛锚惯性参考半径 50 m),抛锚顺序依次 1 ~ 6 号,然后绞锚收紧使船位处于设计孔范围,设计偏移距要求 50 m。通过计算机导航系统显示观测井架中心的位置坐标与井位设计坐标比对,根据实际偏离量,指导工作人员通过调整锚链和钢缆的长度,对船位位置进行纠偏,同时使锚链和钢缆张力达到其应有的值<sup>[5]</sup>。

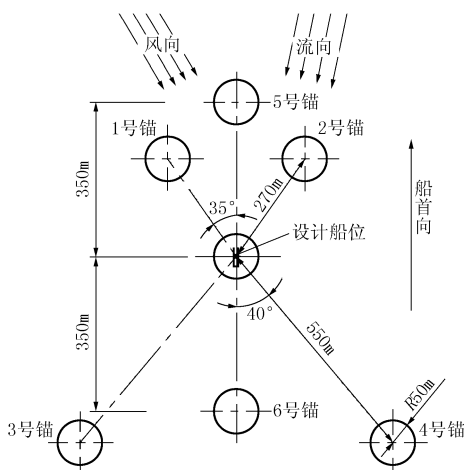


图3 设计抛锚方案示意

前期施工 1、2 号锚为霍尔锚,出现抓力不足问题,导致该孔孔深 50.2 m 被迫终止施工。水深近

15 m,海流更急,锚泊定位要求更为严格。海底底质淤泥,为提高锚固力,1 ~ 4 号锚改为 3 t 将军锚,五爪锚转为 5、6 号助加强锚使用,其中 5 号锚直径 26 mm 钢缆连接,6 号锚直径 22 mm 钢缆连接。实践表明,1、2 号锚前抛距离较短且船头迎风,5 号锚采用相对较粗钢缆有利于收紧吃力使船位稳定。

由于锚链过重辅助抛锚船无法拖动,1、2 号锚采用自抛自起方案。3 ~ 6 号锚使用辅助抛锚船抛锚,同时为方便辅助抛锚船起锚,锚上各连接 60 m 直径 32 mm 起锚钢缆,钢缆另一头拴尼龙绳,尼龙绳的另一头拴浮标浮于水面便于标示寻找。

抛 1 号锚后,随着风和流的作用,钻探船慢慢移动至设计船位附近,之后钻探船在侧推的配合下航行至 2 号锚抛锚。海况复杂多变,常规四点锚泊定位后,可待观察另行设计 5、6 号辅助锚锚向偏向松动不稳锚点,加固锚位。

上述抛锚方式,在典型的往复流中能发挥很好的作用,但对于存在较大回转流的舟山海域,横流时船首向容易不稳,甚至走锚倾覆。现场设计抛锚时应使前后锚的开角范围包裹主海流方向。同时设计船首向时也必须综合考虑风向影响,尽量船头迎风,避免横浪冲击拍打船体致锚位松动。施工中由于涨落潮和急流影响,迎流方向锚缆(链)会处于绷紧状态,去流方向锚缆(链)出现一定松动,转流时需密切注意收紧锚绳,稳定船首向与保持原来船位。

### 4.2 钻探关键技术施工控制

#### 4.2.1 下钻开孔契机选择与调整

钻探所属舟山海域为常规半日潮,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。根据涨落潮快慢,选择下钻开孔契机,一般在海流流速由向平潮减弱到一节左右时刻。流速由平潮涨到一节时,必须取到一定进尺使钻杆得到井壁有效支撑。由于海流影响,下钻开孔钻杆若过于倾斜插入地层,转流后在海流和钻杆重力共同作用下,钻杆会发生较大屈曲(见图 4),产生孔口过大、井壁坍塌、钻进阻力增大、钻杆屈曲严重致取心器下不到底、公转过大致钻杆断裂等一系列问题,导致后续钻进工作难以继续进行<sup>[6]</sup>。

为解决上述问题,钻杆随流倾斜插入海底,一般根据底质情况在钻进 5 ~ 6 m,钻杆在孔内得到有效支撑,如钻杆倾斜公转甩动厉害则通过绞锚调整船位纠斜使钻杆垂直,从而避免过大井斜、钻进强烈公转甩动。实践证明,钻进 15 ~ 18 m 时,钻孔走向已经定型,海流对钻孔走向影响基本消失,同时调整船

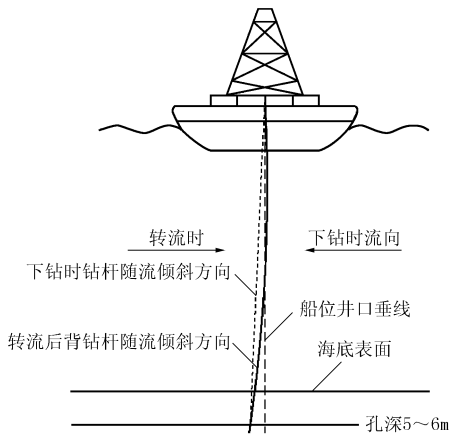


图4 海流对钻杆的影响示意

离海底。出现上述状况都需重新下钻开孔不取心扫孔至原孔深恢复绳索锤击取心。

砂质地层、粘度较小粘土层(可塑以内),利用三翼硬质合金取心钻头进行不取心扫孔效果良好,每进尺3 m提起钻具1 m缓慢重复扫孔,泥浆压力冲出钻杆内部岩心和钻头公转扫刮避免随岩心进尺堵进钻杆内部,每进尺20~30 m,泥浆长时间彻底扫孔循环一次,尽可能清孔,保持孔内干净。对于强粘性硬塑粘土层,其不易冲散变形容容易泥包钻头岩心直接堵进钻杆内部,扫孔效果较差。穿越厚硬塑粘土层时,钻进时根据实际情况应辅以绳索锤击取心套取钻杆中岩心,注意由于岩心已经搅动磨细,套取时取心管必须加花瓣刀头避免岩心掉落。

#### 4.2.4 $\varnothing 127$ mm 钻具更换钻头技术

钻进时船体升沉三翼取心钻头瞬间插入硬塑粘土地层憋住钻杆,翼块容易受冲击脱落;钻进砾石层,钻头硬质合金牙齿容易脱落,甚至翼块被磨损精光。钻头出现类似事故,钻进打滑难以进尺,须起钻更换钻头。

对于不下套管钻进工艺, $\varnothing 127$  mm 钻具起钻离海底就回不到原孔,起钻更换钻头后需重新开孔扫孔。孔深较深和施工地层复杂时,为避免重新开孔耗费大量时间不取心扫孔,参照基岩设计钻进技术,设计采用 $\varnothing 50$  mm 钻具作为导向钻具使 $\varnothing 127$  mm 钻具重新回到原来孔中: $\varnothing 50$  mm 钻具直接下入 $\varnothing 127$  mm 钻具中插入孔底地层,拔起 $\varnothing 127$  mm 钻具留 $\varnothing 50$  mm 钻具在孔内,起钻更换钻头后 $\varnothing 127$  mm 钻具重新套进 $\varnothing 50$  mm 钻具,在 $\varnothing 50$  mm 钻具的导向作用下重新下到原来孔中至原来孔深。这样保住了前期扫孔工作量,为深孔继续延伸钻进提供了基础,同时节约了事故处理时间。值得注意的是,上述工艺不适于水深较大海流较急的工况。

#### 4.3 泥浆设计及性能特点

锤击取心过程中,泥浆停止循环时间较长,这对泥浆维护井壁、清孔、携带和悬浮岩屑能力提出了较高的要求。根据2011年黄海砂矿井深100 m的砂矿调查项目的经验,砂矿钻探容易出现孔壁坍塌、涌砂、埋钻。对于砂、砾质地层用泥浆护壁,解决问题的关键是增加井壁颗粒之间的胶结力<sup>[6]</sup>。粘度较大的泥浆适当渗入井壁地层中,可以明显增强砂、砾之间的胶结力,以此使井壁的稳定性能增强。对于水敏性粘土层应抑制泥浆的自由水对地层的渗入,避免井壁遇水膨胀、缩径。

经反复试验,选用粘土粉为山东潍坊驸马营所

位很难把钻孔校直。钻孔定型后,船位不稳会导致钻杆产生较大屈曲,经验表明水深15 m钻探顺利进行要求船位浮动范围半径 $\leq 3$  m。

#### 4.2.2 取心钻进技术与控制

绳索锤击取心技术利用铅锤重力在花管内提放冲击原理取心,铅锤头容易磨损从花管卡箍中滑出。根据经验,每进尺100 m锤头进行补焊,深孔则增加锤头补焊频率,每进尺60~80 m补焊一次,避免重锤锤头滑出卡箍,发生取心管掉入孔内事故致钻孔报废。钢丝绳与重锤通过插琵琶头连接,易磨损。钢丝绳单股断丝超过半股则需重新插琵琶头,一般周期每进尺20~30 m重插一次。

对于砂质等无胶结地层,提高泥浆密度和粘度同时,上提和下放取心器的速度须控制在1 m/s之内,以避免产生较大的孔内压力激动和真空抽吸影响井壁稳定;扫孔、清孔时井壁容易坍塌不稳,避免在同一部位上下提放导致过度钻头扰动和泥浆冲刷造成局部大肚子井段<sup>[7]</sup>。而对于粘土,尤其强粘性硬塑地层,扫孔要轻压快转,上下提放清孔,保证冲孔时间,避免锤击取心时孔底粘土岩屑冲入取心器单向球阀腔内糊住球阀,破坏取心器的单向背水功能,导致提升样品时产生泥浆背压和真空吸附致样品脱落。严格控制硬塑粘土层回次取心长度 $\leq 0.5$  m,避免地层真空粘性吸附致岩心管难以拉起来,甚至拉断取心器钢丝绳造成钻孔报废事故。

$\varnothing 50$  mm 钻具单动双管回转取心工艺对船体深沉影响敏感,取心过程中必须保证钻机的升降补偿功能正常。

#### 4.2.3 用取心钻头不取心扫孔技术

深孔钻探施工时间较长,海况复杂多变。施工如遇到寒潮、台风之类海况则需撤离工区到锚地避风;施工时涌浪或海流因素致走锚时,则需紧急起钻

产钠土,施工采用泥浆配方为:清水  $1 \text{ m}^3$  + 钠土 8.5% ~ 9.5% +  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0.8% ~ 1% + CMC 0.8% ~ 1%。现场采用 BW-850 型泵射流冲吸式拌浆,所测泥浆密度  $1.03 \text{ g/cm}^3$ ,马氏漏斗粘度达 93 s 左右。

大量钻探施工实践证明,该泥浆能有效地悬浮岩屑,在泵量偏小的状况下也能有效地携带岩屑出孔外,较好地解决了砂质地层容易孔壁坍塌、涌砂、埋钻和水敏性泥质地层孔壁缩径、孔底不干净等问题,提高了生产效率。

## 5 施工效果

钻孔施工时间主要分为 2 个航段,第一航段农历六月廿三至六月廿七,第二航段农历九月初四至九月十二,施工历时 13 天。第一航段由于前锚使用霍尔工作锚锚固力不足,施工中 4 次走锚,同时大潮汛将至无法完成施工,六月廿七孔深 50.2 m 暂停该孔施工。

第二航段改进锚泊方案,调查船九月初四到达工区,测得最大流速  $2.45 \text{ m/s}$ 。初六东南风向 5 ~ 6/7 级,测得最大流速  $1.80 \text{ cm/s}$ ,抛锚选择白天小流速时段,综合考虑风向与流影响设计船首向  $130^\circ$  抛锚定位,夜间 23:00 流速  $\leq 0.6 \text{ m/s}$  下钻重新开孔,耗时 3 h 不取心扫孔至 48.2 m (重叠 2 m) 开始取心。初七测得最大流速  $155 \text{ cm/s}$  时孔深 93.9 m,船位出现不稳趋向,暂停作业起钻至孔深 45 m 处等待观察 3.75 h,绞锚调整稳定船位后无障碍下至原来孔深恢复正常钻进。之后出现最大流速  $\leq 1.20 \text{ cm/s}$ ,随时间推移海流影响逐渐减弱,船位稳定。

初八,孔深 133.0 m 寒潮起钻起锚避风。寒潮过后转西北风,初十设计船首向  $291^\circ$  抛锚下钻重新开孔,耗时 10 h 不取心扫孔至 131 m (重叠 2 m) 恢复绳索锤击取心,孔深 140 m 发生钻头翼块脱落事故,钻进打滑难以进尺。为挽救钻孔避免重新开孔,初十 23:30 至次日 05:00 耗时 5.5 h 下  $\text{O}50 \text{ mm}$  钻具导向起钻更换钻头,期间流速  $0.2 \sim 0.5 \text{ m/s}$ 。孔深 183.6 ~ 200.1 m 钻遇坚硬泥质砂层,绳索锤击取心进尺困难,回次取样岩心实际长度仅 0.2 m 左右,且难以拔起取心器。九月十二孔深 200.1 m 钻遇呈

碎石状态的强风化基岩层,含粘土充填,绳索锤击取心方法成功进尺 2 m 至设计孔深终孔。

## 6 结语

海况是勘探船抛锚稳定的前提,勘探船抛锚稳定是钻探顺利进行的基础。因此海上钻探施工必须密切关注海况变化。施工表明在加强锚泊的基础上,安全作业流速为  $1.2 \text{ m/s}$ ,极限安全稳定流速为  $1.55 \text{ m/s}$ 。

孔深 93.9 m 停钻等待 3.75 h,孔深 140 m 耗费 5.5 h 倒钻换钻头,钻具都无障碍下到原来钻进孔深,表明高粘度泥浆护壁、清孔效果好,悬浮岩屑能力强,为安全快速钻进取心提供了基础。同时  $\text{O}50 \text{ mm}$  钻具辅助倒换  $\text{O}127 \text{ mm}$  钻具钻头工艺成功,挽救了钻孔,节约了大量的作业时间,为深孔延伸提供了基础,为在大潮汛之前终孔争取了时间。施工中虽然并没有采用  $\text{O}50 \text{ mm}$  钻具单动双管回转取心,但其倒换钻头工艺证明了该工艺是切实可行的,拓展了思路。

海况复杂多变,必须严密准备钻探控制方案与应变。排除航行、测流等待、起抛锚、起下钻、不取心扫孔、寒潮避风等因素影响,精心施工,关键施工技术严格控制执行,该孔纯钻进耗时 123 h 至孔深 202.1 m 终孔,纯钻速  $1.64 \text{ m/s}$ 。

## 参考文献:

- [1] 刘金保. 浙江省嵊泗海域海底地下水资源勘探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, (S1): 213-216.
- [2] 张永勤,孙建华,刘秀美,等. 水力反循环连续取心(样)钻探在浅海砂矿勘查中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(6): 15-18.
- [3] 刘志刚. 海洋工程岩土工程勘察施工及其影响因素[J]. 城市勘测, 2011, (5), 159-162.
- [4] 潘永坚,朱章通. 岛礁海域工程勘察施工难点和对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(9): 11-14.
- [5] 伍习军,童辛涛,方志远. GPS 在海域钻井平台拖航就位中的应用[J]. 海洋石油, 2004, 249(2): 113-116.
- [6] 卢秋平,郑荣耀. 近海不下套管并深 100 m 海砂钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(308): 18-21.
- [7] 陈日胜,周翰斌. 海上超长超深嵌岩钻孔灌注桩施工技术[J]. 施工技术, 2012, 41(360): 52-56.