

文章编号: 1008-2336 (2021) 04-0101-06

## 回转绳索取心工艺在海洋第四系地层钻探中的应用

陆建国

(中石化海洋石油工程有限公司上海物探分公司, 上海 201208)

**摘要:**为解决海洋第四系地层钻探中对于硬黏土层岩心的获取难题,采用回转绳索取心工艺和孔底锤击绳索取心工艺进行钻探取样,在不起钻的前提下,通过互换取心器,实现对不同地层的取心工作。在南海某海洋风电场施工作业中,该工艺有效地解决了波浪升沉带来的影响,获取了高质量的岩心样品。综合分析认为回转绳索取心工艺对于海洋第四系硬黏土地层具有取心扰动小、获取长度长的优点,能弥补孔底锤击绳索取心工艺在海洋第四系地层钻探中的不足,有助于施工效率的提高。

**关键词:** 第四系钻探;取心工艺;回转绳索;海洋地质

中图分类号: TE51 文献标识码: A DOI:10.3969/j.issn.1008-2336.2021.04.101

## Appliance of Rotary Wireline Coring Process in Marine Quaternary Stratum Drilling

LU Jianguo

(Shanghai Geophysical Branch, SINOPEC Offshore Oilfield Services Company, Shanghai 201208, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of obtaining hard clay cores during drilling in Quaternary, the method of rotary wireline coring process and hammering wireline coring process is introduced to drilling and sampling. It can obtain cores in different lays through exchanging the coring equipment without lifting up the drilling pipes. In the survey of an offshore wind farm in South China Sea, the technology effectively solves the influence of wave heaving and high quality core samples are obtained. Taking the samples got in field into consideration, the rotary coring process has advantage of less disturbance and getting longer samples in hard mud layer. It can cover the shortage of hammering wireline coring process when drilling, which contributes to improving working efficiency.

**Keywords:** Quaternary drilling; coring technology; rotary wireline; marine geology

海洋第四系钻探取心技术作为获取海底地层连续沉积记录与结构的重要手段,必须充分考虑取心质量及工作效率,为此,选取一种合适的取心工艺显得至关重要。

海洋钻探不同于陆地钻探,其面临的沉积地层条件及钻探环境复杂,往往需要借助船舶为载体进行钻探施工,船舶易随波浪的运动而升沉,影响钻头与孔底的连续接触<sup>[1]</sup>。在钻进取心过程中往往遇到样品受扰动或假样多等情况,硬、可塑

黏性土地层,往往存在取心长度控制困难且易于钻孔缩径等问题。钻孔缩径就是孔壁岩层膨胀造成的孔径缩小<sup>[2]</sup>,会使得岩层抱住钻杆,严重情况下发生埋钻或者钻杆断裂,造成钻孔报废。

本文基于常规取心工艺面临的问题,介绍一种海洋第四系回转绳索取心工艺,在被动补偿系统的辅助下,有效减少船体竖向运动对钻杆和取心工具的影响,保证钻具安全,减少取心扰动,提升总体施工效率。

收稿日期: 2021-04-09; 改回日期: 2021-07-28

作者简介: 陆建国,男,1988年生,本科,工程师,2011年毕业于中国海洋大学地质学专业,现主要从事海洋地质调查工作。E-mail: [lujg.shhy@sinopec.com](mailto:lujg.shhy@sinopec.com)。

## 1 传统组合取样方法

传统的组合取样方法主要由回转与贯入相结合，钻头为刮刀型取心钻头，适用于松软地层取心，具有钻速快、不易泥包等特点<sup>[3]</sup>。大口径的钻杆（如管径 127 mm）采用回转方式钻至预定孔底，再下孔底绳索锤击取心器锤击贯入取心。绳索锤击取心器重锤一端连接钢丝绳，能在花管内上下自由活动，花管下端连接锤座，锤座具有单向阀的功能，其下端依次连接废土管、取土管、花瓣、刀口（图 1），刀口起到切割地层的作用，花瓣起到样品止回的作用<sup>[4]</sup>。该工艺为超前取心，取心器在锤击孔底的过程中超出钻头，通过钢丝绳提起取心器获取贯入岩心，从根本上杜绝了钻具扫孔对样品的扰动<sup>[5]</sup>。岩心上来后精确测量有效长度，计算回次岩心采取率（残土和残土厚度去掉）。确定孔深时，首先精确测量已知的每根钻杆与所加钻头长度，根据以下公式，计算出孔深：

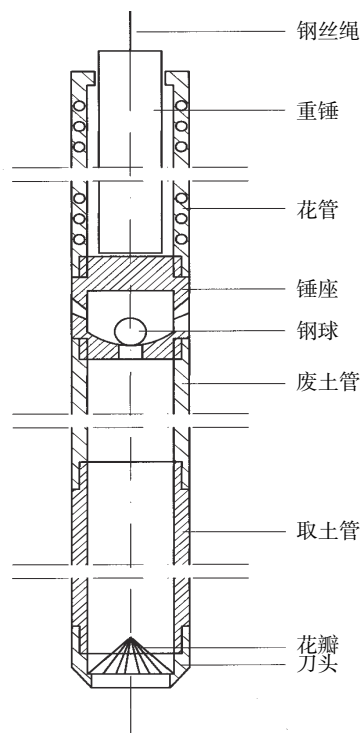


图 1 孔底锤击绳索取心器结构示意图  
Fig. 1 Schematic diagram of the hammering wireline coring device

钻具总长=实测水深+实测机上余尺+实际机高+孔深。

根据取土后的孔深确定下一回次的扫孔深度，每次扫孔预留 20 cm 长度，把已取到样的层段清扫干净，然后再取样，严防扫孔进尺超过计算出的孔深，如此循环，即可达到预期孔深。

锤击取心工艺适合较软的地层，具有取心率高、样品扰动小的优点，但是在钻遇硬的黏土层时，往往存在较大的困难。在锤击贯入的过程当中，一旦锤击进尺较大，硬的黏土层就会紧紧吸附住取心管，上提取心管时会非常困难，增加孔内事故的风险。控制锤击贯入进尺后取上来的硬黏土样品长度很短，不利于地层的连续性研究，同时影响施工效率。

回转取心工艺虽然能够钻进任何地层，但是对于较软地层取样效果不佳，极易将样品搅乱，取样率低且扰动较大<sup>[6]</sup>。海上通过回转取心工艺进行作业还存在着上提钻具耗时较长问题，一旦水深较深，钻具长度使得工作强度提高，影响施工效率。并且传统组合取样方法应用于海洋第四系地层的钻探取样时，遇到的最大问题就是波浪升沉带来的影响，无法保证在取心过程中钻头始终紧贴地层，对获取的岩心样品造成损坏。

## 2 回转绳索取心工艺

### 2.1 回转绳索取心器及取样机理

针对海洋钻探的特殊环境，解决波浪升沉补偿是关键所在。为此，海洋第四系回转绳索取心工艺创造性地在取心器内部设计了平衡波浪升沉机构（图 2），使其更好地适应海上取心环境。通过波浪补偿，可以大大增强海上作业的安全性、高效性和可靠性<sup>[7]</sup>。在外管总成和内管总成参数控制方面，综合性地考虑了与绳索孔底锤击取心工艺的融合，主要参数见表 1。

回转绳索取心器整体由捞锚机构、弹卡机构、悬挂机构、报警机构、平衡波浪升沉机构、调节机构、单动机构和扶正机构组成，设计贯入坚硬黏土能力 3.5 cm，内部结构见图 3。

回转绳索取心工艺的基本机理，当扫孔至目的层位后，取心器在主钻杆的动力作用下旋转贯入地层，从根本上改变了传统的通过孔底锤击重



图 2 取心器内部平衡波浪升沉机构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the balanced wave heaving mechanism inside coring device

力挤压式的贯入取心方式。回转绳索取心过程中，取心器刀口慢慢切割土层，使样品呈柱状进入取心管内，所取样品形状规则，周壁光滑扰动小（图 4），同时克服了传统取心时遇到硬地层特别是黏性较大的硬黏土地层的取心难题。

回转绳索取心器进行取心时，主要分为释放取心器、脱开钢丝绳、随钻钻进和打捞取心器四个步骤，具体工作步骤如下。

(1) 在现有 127 钻杆下方连接通用外管总成，供原有绳索锤击取心器和回转绳索取心器同时使用。下放回转绳索取心器，在扶正环的辅助下，

使得取心器前方刀头贯入孔底的地层（设计活塞总成推力贯入坚硬黏土 3.5 cm），且刀头贯入地层时受到的阻力与活塞总成向下的推力形成平衡。随着钻头回转钻进，清扫刀头贯入深度周围地层时，平衡打破，刀头随钻头钻进挤压修整岩心进入取心器内，形成动态平衡，获得正常钻进进尺。取心器内的平衡波浪升沉补偿机构使得钻探船舶在升沉的过程中，取心器及刀头保持压紧孔底而不随外管总成升沉（补偿行程等于外管总成上移极限），避免取心器随外管总成上下窜动，出现磨心、堵心的问题，减少了对岩心的扰动。

(2) 回转钻进停止后，通过钢丝绳下放打捞装置，提起回转取心器，获取岩心样品。

(3) 在下一回次开始取心前，使用优质泥浆冲孔，配置泥浆只有使用淡水才能够达到最佳的效果<sup>[8]</sup>。黏性较大泥浆渗入井壁当中，可以明显增强砂粒之间的胶结力，使井壁稳定，减少孔壁和钻杆间阻力<sup>[9]</sup>。

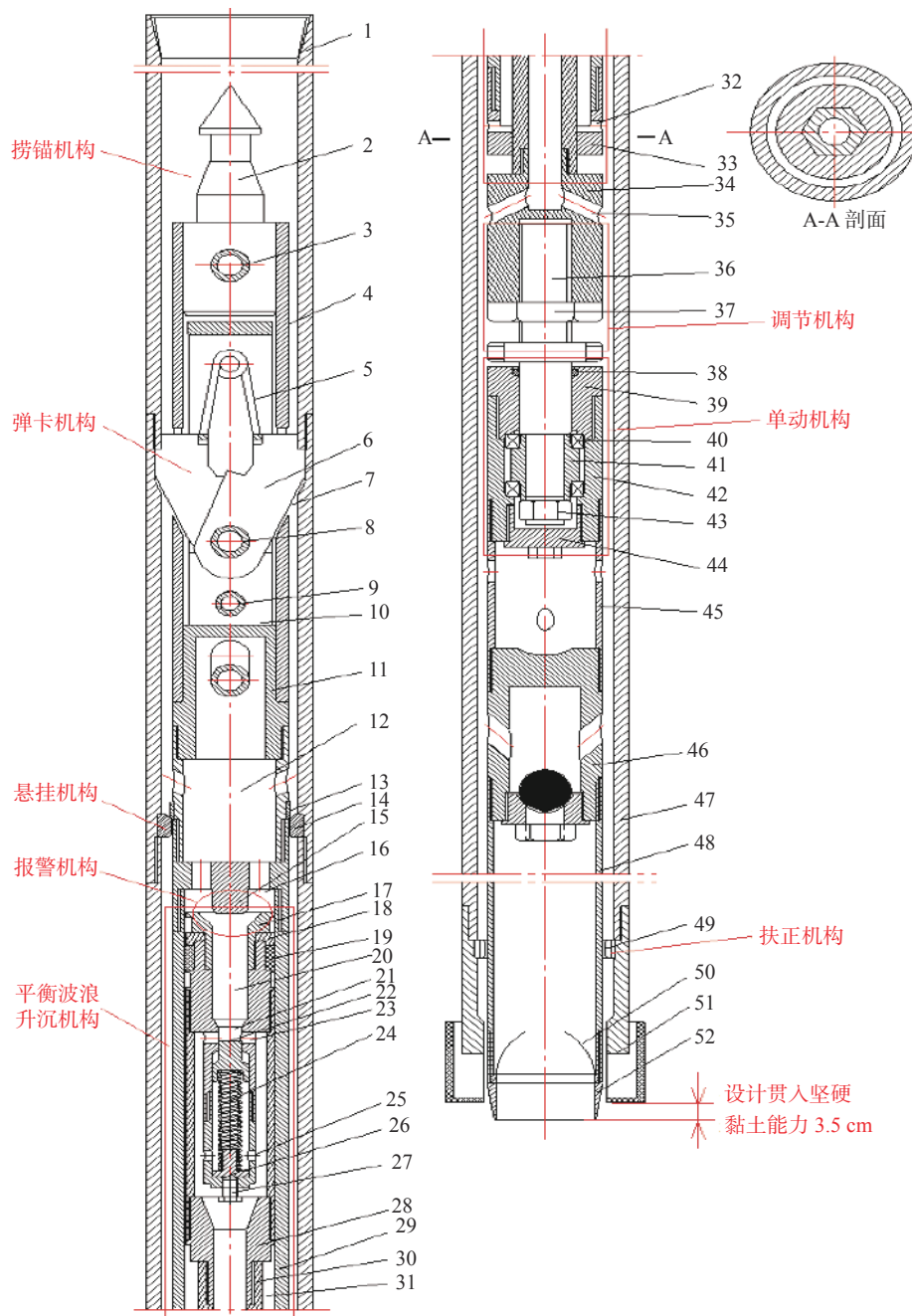
## 2.2 回转绳索取心解决的问题

海洋钻井作业过程中，回转绳索取心工艺很好地解决了硬黏土层的样品取心率和取心效率问题，尤其是深孔硬黏土层，其内部平衡波浪升沉机构克服了海上波浪升沉带来的影响，使得回转绳索取心工艺能在海洋环境正常实施。遇到硬黏土层时，回转绳索取心工艺能够正常随钻贯入取心器，通过后期绳索打捞获取内部岩心样品，降低孔内事故隐患，获取的硬黏土样品无论在扰动程度还是长度方面均达到要求，使得作业效率大幅提高。

表 1 回转钻进绳索取心器主要参数

Table 1 Main parameters of rotary wireline coring device

名称		设计参数
内管总成	取心器外径/mm	89
	取心直径/mm	76
	回次取心长度/m	1（可以加长）
	平衡波浪升沉能力/m	1（长度可调整）
外管总成	外管外径/mm	127
	外管内通径/mm	96/108
	座环、扶正环通径/mm	91.5
	钻头外径/mm	220
	钻头内通径/mm	96



1—弹卡挡头；2—打捞矛头；3—弹卡销；4—回收管；5—弹簧；6—弹卡；7—弹卡室；8、9—弹卡销；10—弹卡座；11—弹卡架；12—悬挂接头；13—悬挂环；14—座环；15—报警堵头；16—活塞总成上腔；17—喇叭型接头；18—密封圈压环；19—V型密封圈；20—滑阀进水通道；21—节流口；22—滑阀；23—滑阀分水通道；24—弹簧；25—滑阀导流孔；26—弹簧支撑滑座；27—调节螺栓；28—喇叭型中间转换接头；29—缸套；30—中空六方活塞杆；31—活塞总成下腔；32—活塞总成导流孔；33—六方挡头；34—分水接头；35—分水通道；36—心轴；37—背帽；38—Y型密封圈；39—轴承上接头；40—推力轴承；41—轴承套；42—轴承支套；43—螺母；44—黄油杯体接头；45—带孔短接管；46—锤座单向球阀；47—外管；48—岩心管；49—扶正环；50—花瓣；51—三翼刮刀合金钻头；52—刀头。

图3 取心器结构原理示意图

Fig. 3 Schematic diagram of structure principle for the coring device



图4 回转绳索取心获得的坚硬黏性土

Fig. 4 Hard mud obtained by rotary wireline coring

### 3 实际应用与成效

本取心工艺在南海海上风电勘察项目中进行了实际运用，取得了较为理想的结果。

### 3.1 作业载体

钻探船只为“勘407”轮海洋地质调查工程船(图5),总吨位930 t,排水量1 500 t,船总长54.96 m,型宽11.6 m,吃水3.8 m。主机马力2 600匹,发电机4台,船艏2个霍尔锚,船尾2个大力五爪锚,能够自抛自起,四点锚系固定作业。



图5 “勘407”轮

Fig. 5 Vessle Kan407

### 3.2 钻井系统

船上搭载HGD-600海洋工程钻机(平衡波浪升沉方式为被动补偿PHC技术)、BW-850、BW-250泵、127钻杆及其他一些辅助设备。钻机为动力头式结构,采用全液压驱动,配备专门的升沉补偿器系统(图6),补偿平衡能力45 kN,行程1 m,气囊容积63 L,可降低由于风浪引起的船舶升沉影响,从而有利地保障了海洋钻探的顺利进展。

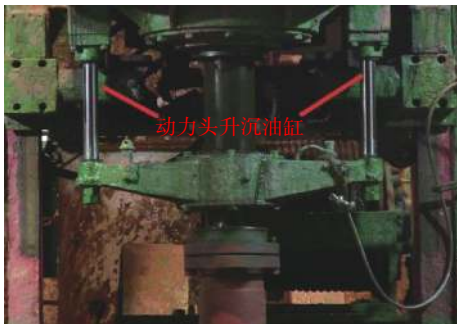


图6 动力头升沉油缸示意图

Fig. 6 Schematic diagram of heaving cylinder for power head

该钻机配有两种主动钻杆,根据不同的要求,可以选用两种取心工艺:跟管钻进孔底锤击绳索取心和回转取心。

### 3.3 3取得的效果

工区位于阳江沙扒近海深水区,水深约47 m,离岸65 km左右。工区地层浅表层以淤泥质黏土、黏土、粉质黏土为主,混有粉细砂和贝壳碎片,以流塑、软塑、软可塑为主,中部以硬可塑、硬塑黏性土为主,局部夹有密实的砂层(中粗砂),

深部以坚硬的黏性土为主。在每个钻孔开始阶段,率先采用绳索孔底锤击取心工艺进行取心。在前期的准备工作当中,取心器重锤长度由原先4 m增长到了5 m,增加了锤击贯入力度。与此同时对已有分水器进行了自主设计改良,由被动密封改为主动密封,在下放取心器到达孔底后,起单向阀的分水器提前主动打开密封,减少由于被动密封带来的贯入前取心管内阻力,在上提的过程中起到更好的密封作用。

钻探施工过程中为加以对比,首先仍采用“勘407”配置的跟管旋转扫孔与绳索孔底锤击取心工艺相结合的钻井取心方法。但随着钻孔深度的增加,逐渐钻遇坚硬的黏性土层,地层厚度较大,在取心过程中锤击次数增加,但进尺较小,锤击贯入过后的上拔过程非常吃力,副卷扬在上拔过程中多次出现卡顿,并且随着孔深加大,副卷扬钢丝绳缠绕半径也随之减小,上拔力也相应降低。在钢丝绳及索具处于受力紧绷状态时,波浪的升沉存在较大风险,易造成钢丝绳琵琶头、取心器重锤花管断裂风险,并且获取的岩心长度也相对较短。

此时,在提起绳索孔底锤击取心器后立即切换为回转绳索取心器,将取心器内管从井口投入,钻机动力头接上127钻杆后开始向下回转钻进。钻进至预计进尺后,由钻机副卷扬钢丝绳下放打捞器,对固定在孔底的取心管进行打捞。对比发现,通过回转绳索取心工艺获取的坚硬黏性土长度能达到1~2 m,取样效率高,岩心无扰动,满足取样要求(图4)。在后续钻探取样中,根据钻遇地层的岩性再决定选用的取心工艺方式,保证每一回次均可实现理想进尺,获取高质量岩心,确保施工效率。

该风电勘察项目中共有5条船舶共同施工,90 m全断面取心钻孔共有47个,“勘407”轮完成了其中的19个,抢占工作量占比40.4%,总进尺达1 715.3 m,平均1个90 m钻孔,算上起抛锚时间能控制在36 h左右。相比另外几艘船舶采用的普通回转取心工艺,“勘407”轮采用的回转绳索取心工艺更加高效,获取的硬黏性土样品也更加优质。海洋第四系组合取心工艺很好地保留了原有绳索锤击取心的优势,又补充了回转绳索取心对于坚硬黏性土的取心能力,在钻孔浅部及中

深部根据实际地层岩性情况分别选用了不同取心方式，有效应对了不同地层的取心难题。

### 4 结论

回转绳索取心工艺解决了原先绳索锤击取心工艺取得的坚硬黏性土长度短的问题，降低了绳索锤击取心工艺钻遇坚硬黏性土地层上拔取心器时的孔内事故风险；并且在绳索孔底锤击取心工艺的组合使用下，能够充分利用各自的优势，在不起钻的基础上互换取心工艺，根据钻遇地层岩性实时选择不同取心方式，保证不同岩性地层的取心质量和取心效率，安全可靠，减少海上作业周期，整体推进海上钻探项目的进程。

#### 参考文献：

[1] 丁加宏, 周永, 钱植芳, 等. 海上工程钻探的几个关键技术 [J]. 西

部探矿工程, 2016, 28 (1): 12-14.

[2] 陈克林. 地质岩心钻探钻孔孔径的预防与处理 [J]. 低碳世界, 2013 (14): 140-141.

[3] 黄毓祥, 杨建政, 刘鹏飞. 密闭取心技术在渤海油田的首次应用 [J]. 海洋石油, 2009, 29 (4): 104-106.

[4] 韩孝辉, 龙根元, 刘刚, 等. 绳索锤击取心浅钻技术在近海砂矿勘查中的应用 [J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42 (12): 9-12.

[5] 郑荣耀, 卢秋平. 舟山海域淡水资源调查岩心钻探技术 [J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40 (5): 26-30.

[6] 赵义, 梁涛, 刘海龙, 等. 海洋冲击伸缩绳索取样器的研制与应用 [J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43 (3): 52-55.

[7] 蔡东伟, 刘荣华, 张作礼, 等. 一种主动升沉波浪补偿控制系统研究 [J]. 船舶工程, 2012: 103-106.

[8] 胡建平, 钮建定. 近海工程勘探取样新技术及新工艺 [J]. 中国港湾建设, 2013 (6): 36-40.

[9] 乌效鸣, 胡郁乐, 贺冰新, 等. 钻井液与岩土工程浆液[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2002: 93-111.

(上接第 100 页)

[3] 朱永东, 谢英, 袁宗明. 某平台燃气系统排液浑浊成因分析研究 [J]. 天然气与石油, 2013, 31 (5): 41-45.

[4] 王红红, 刘国恒. 中国海油海底管道事故统计及分析 [J]. 中国海上油气, 2017, 29 (5): 157-160.

[5] 肖宇, 汪本武, 代齐加. 海上油气田火炬放空气回收利用技术研究进展 [J]. 海洋石油, 2021, 41 (1): 97-100.

[6] 谭祖全. 海上油田天然气压缩机选型设计及应用 [J]. 化学工程与装备, 2019 (10): 95-97.

[7] 代齐加, 肖宇, 孙尧尧. 关键关断信号逻辑处理在油田中的应

用 [J]. 石油化工自动化, 2019, 55 (2): 68-69.

[8] 张益, 沈磊, 田喜军, 等. 气田管输带压条件下天然气水露点测定及应用——子洲气田集气站为例 [J]. 油气藏评价与开发, 2018, 8 (1): 49-53.

[9] 邢晓凯, 陈锐, 杨柳, 等. 输气干线管输损耗率指标 [J]. 油气储运, 2015, 34 (6): 628-631.

[10] 谢跃辉, 赵秀芳, 李朝臣. 长距离输气管道管存计算及应用 [J]. 化学工程与装备, 2014 (9): 78-79.

[11] 陈康成, 王桂钧, 黄永堤, 等. 索拉T60型透平发电机组燃油模式冷启动困难及解决措施 [J]. 石油和化工设备, 2020, 23 (8): 59-63.