

# 浅海活塞压入取心工艺研究

马汉臣, 王嘉瑞\*, 刘凡柏, 齐力强, 王跃伟, 李文秀, 刘家誉

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:** 活塞压入取心工艺采用钻井液静压力作为动力, 岩心内管直接插入地层完成取心, 避免钻井液直接冲刷岩心, 没有钻具回转对岩心造成的影响, 该工艺方法可以大大提高海洋浅表软弱地层的岩心采取率和岩心采取质量。国外海洋科学钻探中对该类型钻具进行了研究应用, 取得了良好的使用效果。通过对活塞压入取心工艺的研究, 取得设计和使用经验, 解决活塞压入取心工艺的关键问题, 形成针对海底表层取心的工艺方法, 为海洋钻探提供技术支持。

**关键词:** 活塞压入取心; 海洋钻探; 浅海软弱地层; 岩心采取率

**中图分类号:** P634.4<sup>+</sup>3; TE921 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2023)S1-0375-05

## Research on the process of piston-insertion core sampling in shallow ocean

MA Hanchen, WANG Jiarui\*, LIU Fanbai, QI Liqiang, WANG Yuewei, LI Wenxiu, LIU Jiayu

(Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** The process of piston-insertion core sampling uses drilling fluid static pressure as the power, and the internal pipe of the core is directly inserted into the formation to complete the core sampling. This processing method avoids the direct scouring of the core by drilling fluid and the influence of drilling tool rotation on the core, therefore, it can greatly improve the core sampling rate and quality of shallow weak oceanic strata. This drilling tool has been studied and applied in ocean scientific drilling, achieving good utilization results. Through research on the piston-insertion core sampling technique, design and usage experience are obtained, key problems of the piston-insertion core sampling technique are solved, and a process method for surface seabed core extraction is formed, providing technical support for ocean drilling.

**Key words:** piston-insertion core sampling; ocean drilling; shallow weak oceanic strata; core sampling rate

## 0 引言

目前常用的钻探取心方法为回转钻进, 即钻机顶驱或转盘带动钻具转动, 通过钻头研磨、刻划孔底地层实施钻进。钻进过程中, 通过钻井液的循环降低钻头温度并将岩屑携带出钻孔, 岩心柱进入岩心管由卡簧或拦簧等装置抓取并随钻具一起取出

孔外。由于该钻进方法是针对岩石地层设计的, 不适用于在海洋和河湖中浅表含水量较高的淤泥、粘土等软弱地层中钻进取心作业。在这些软弱地层取心时, 因钻头回转的扰动, 会使岩心中地层结构发生变化, 地层也容易被循环的钻井液冲刷, 导致取得的岩心存在扰动较大、取心质量不高、岩心采

收稿日期: 2023-07-13; 修回日期: 2023-08-15 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.S1.059

基金项目: 广东省海洋经济发展(海洋六大产业)专项资金项目“天然气水合物储层改造增产与测试技术支撑”(编号: GDNRC[2022]44); 工业和信息化部高技术船舶项目“天然气水合物钻采船(大洋钻探船)总装建造关键技术研究”(编号: CJ05N20); 中国地质调查局地质调查项目“深海钻探工程关键技术支撑”(编号: DD20221721)

第一作者: 马汉臣, 男, 汉族, 1988年生, 工程师, 地质工程专业, 主要从事地质钻探取心工艺及井下工具研究工作, 河北省廊坊市广阳区金光道77号, mahc@mail.cgs.gov.cn。

通信作者: 王嘉瑞, 女, 汉族, 1992年生, 工程师, 机械工程专业, 主要从事地质钻探设备及工具研究工作, 河北省廊坊市广阳区金光道77号, 1056031658@qq.com。

引用格式: 马汉臣, 王嘉瑞, 刘凡柏, 等. 浅海活塞压入取心工艺研究[J]. 钻探工程, 2023, 50(S1): 375-379.

MA Hanchen, WANG Jiarui, LIU Fanbai, et al. Research on the process of piston-insertion core sampling in shallow ocean[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1): 375-379.

取率不达标等问题。图1为普通回转取心钻具在海底浅层取出的空管。综上所述,有钻井液循环的回转钻进取心方法对软弱地层岩心破坏较为严重,难以应用于海洋和河湖中浅表层取心钻进过程。



图1 普通回转取心钻具在海底浅层取出空管

为解决该问题,可以使用活塞压入取心钻具进行取心工作。这种钻具在工作时由钻井液静压力驱动,内管挤压入地层取得岩心,可以防止岩心被钻井液冲刷,从而提高在浅表软弱地层的岩心采取率和岩心质量。国外在大洋钻探取心中对该种钻具进行了研发应用,取得了一定的使用经验。近年来国内各研究单位和相关院校也开展了活塞压入取心钻具的研究工作<sup>[1-5]</sup>。深海钻探计划(DSDP)、大洋钻探计划(ODP)、综合大洋钻探计划(IODP)等海洋科学钻探项目中均对该类型钻具进行了研发,以满足海底表层取心的苛刻要求。该钻具采用了与其他取心钻具兼容的通用密封外管,可以根据地层硬度选

取全长活塞钻具或半长活塞钻具,取心钻具中还有方向标记功能,方便研究者对岩心原位状态的还原和开展其它进一步研究。北京探矿工程研究所研制的活塞压入取心钻具结构简单、操作方便,已经进行了实验验证工作。中国地质科学院勘探技术研究所也开展了多种结构的活塞压入取心钻具的研制,并已经在海洋工程勘察等领域开展试验工作。

## 1 活塞压入钻具结构

以中国地质科学院勘探技术研究所研制的活塞压入取心钻具为例,其一般由内、外总成组成。外总成主要包括座环、密封外管、外钻头;内总成主要包括打捞悬挂部分、活塞密封部分、内管取心部分(见图2)。钻具中活塞和密封外管、芯轴之间有密封件密封,形成类似油缸的密封腔,活塞在钻井液压力推动下向下运动,带动内管压入地层取得岩心。活塞运动到密封外管下部泄压槽位置时,钻井液压力下降,回次取心结束。内管直接压入地层,不会受到钻井液影响,因此对岩心保护效果良好。活塞密封和芯轴之间采用剪切销固定。该钻具设计有快拆机构,可以在孔口快速拆卸成两段或组装。由于该钻具伸开后较长,拆成两段操作可以降低施工难度,也可降低对设备高度的净空要求,同时也能降低施工人员劳动强度。在孔口操作时,用垫板垫在钻具下方即可在孔口进行拆卸和组装操作。拆开后的上半部分可以由打捞器直接提出,下半部分可以由打捞器带内管捞矛和内管捞矛插销取出。内管内装有PC材质塑料透明岩心管,方便将淤泥一类的软弱地层从岩心管中取出,并保持原状样<sup>[6-7]</sup>。

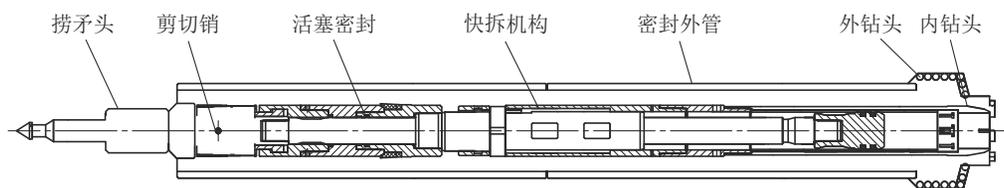


图2 活塞压入钻具结构示意图

## 2 活塞压入取心工艺

为了在海洋上完成活塞压入取心作业,还需进行一定设备配套工作。

(1)由于是海洋取心,钻机系统至少应配备被动式海浪升沉补偿装置。

(2)活塞压入钻具一般由打捞器送至孔底,为了提高工作效率,可以将打捞器及钢丝绳留在孔内,方便取心结束后直接打捞回收钻具内总成。因此需要钻机顶驱上水龙头带中心孔并带胶塞,胶塞可以抱紧打捞器钢丝绳并密封。

(3)内管压入地层时会突然形成较大的反作用力,使升沉补偿系统判断失误,造成钻具整体提升脱离孔底,从而使进尺减少,工作效率降低,并且容易使操作人员对实际进尺产生错误判断。因此在进行活塞压入取心时,需要钻探船配套海底基盘及海底

基盘夹持器,从而将钻具外总成与钻孔位置进行相对固定。

如图3所示,采用上述活塞压入取心钻具实现软弱地层的钻进取心作业时,其操作步骤如下<sup>[8-10]</sup>。

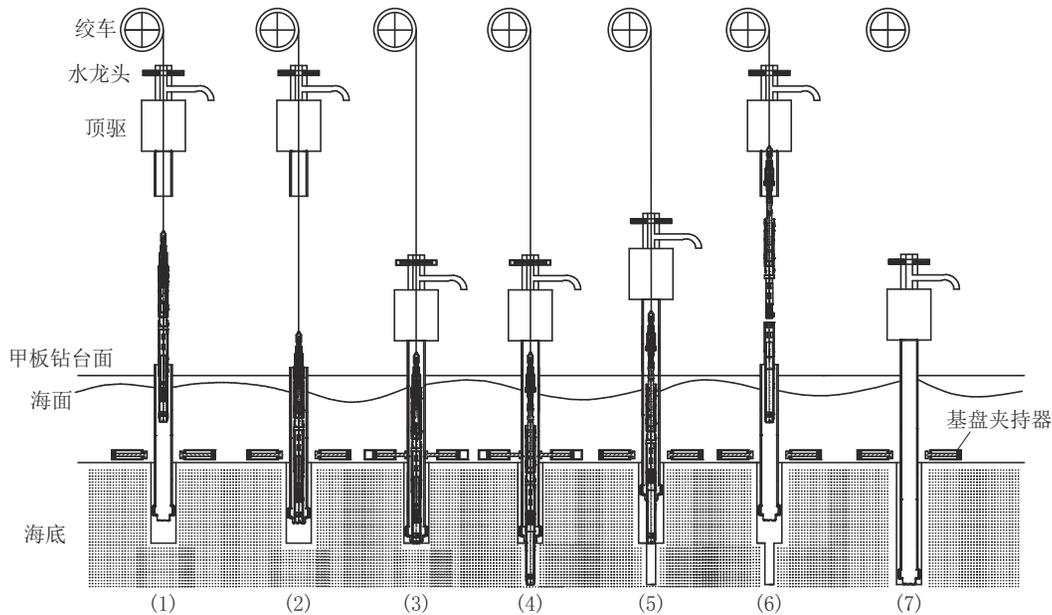


图3 活塞压入取心工艺流程示意

(1)上一回次取心结束后,进行扫孔,将钻具提高孔底一定距离,防止塌孔埋钻。孔口夹持器固定钻杆柱于钻台面,卸开顶驱与钻杆柱的连接。从顶驱水龙头中心孔中放入绳索取心打捞器,从顶驱以下将打捞器取出。用打捞器将已经完成组装的活塞压入取心钻具内总成提升并从孔口放入钻柱内。

(2)用绳索取心绞车下放打捞器送活塞取心钻具内总成至钻具外总成内,使活塞压入取心钻具内总成悬挂环压在钻具外总成座环上,并稍释放取心绞车钢丝绳,使其不处于绷紧状态。

(3)关闭顶驱水龙头中心孔胶塞,使胶塞挤死绳索取心钢丝绳,保证密封不渗漏。打开顶驱的升降补偿系统。在绳索取心绞车配合下,顶驱下放钻具,使外钻头接触钻孔孔底后继续下放海浪起伏高度,保证升降补偿系统保持工作状态。操作海底基盘,使海底基盘夹持器夹持住钻柱,保证钻头不会离开孔底。

(4)开泵通水,活塞压入取心钻具内总成,活塞在钻井液压力作用下,产生向下推力,剪断剪切销,并带动内管向下冲出,取得岩心样品。当活塞运动

到密封外管泄压槽位置时,钻井液压力降低,即标志回次钻进结束。所使用钻井液流量需要根据所处海况进行调节,应使取心所需时间小于海浪起伏周期时间,以尽量消除海浪对取心带来的不利影响。

(5)打开海底基盘夹持器,上提顶驱及钻具,在外总成内座环的带动下,冲入地层的内管被拔出。打开顶驱水龙头中心孔胶塞。用绳索取心绞车上提活塞压入取心钻具内总成<sup>[11]</sup>。

(6)孔口夹持器固定钻杆柱于钻台面,卸开顶驱与钻杆柱的连接。将提至孔口的活塞压入取心钻具内总成,放置于孔口的垫板上,在孔口垫板上将活塞钻具内总成快拆部分拆开,分成上下两部分,分别用打捞器取出。将内管内的岩心PC管抽出对岩心进行处理,并将新PC管重新装入内管中。将内总成重新组装好并更换新剪切销后备用。

(7)顶驱连接钻柱,进行扫孔,将已经取得岩心的部分地层扫除。然后即可重复(1)~(7)步,直至地层变化更换其他钻具。

### 3 工程应用

2020年6月18日某钻探船在水深约30 m的珠江口海域工区,对多种取心钻具进行了试验。其中活塞压入取心钻具和普通绳冲超前钻具进行了结合的试验工作,完成了1个深度50.7 m钻孔。由于钻探船基盘夹持器损坏,在试验过程中没有使用基盘夹持器辅助进行作业。

取心钻具外总成外径178 mm,总长约7 m,内通径100 mm,配8½ in(1 in=25.4 mm,下同)钻头,钻具扣型为5½ in贯眼扣(FH),通过变径与钻杆5½ in内平扣(IF)钻杆扣相连接。其主要技术参数见表1。

表1 活塞压入取心钻具参数

内钻具名称	适应地层	取心钻头外径/内径/mm	PC管外径/内径/mm	回次最大进尺长度/mm
活塞压入取心钻具	适用于海底表面淤泥层	93/67	77/72	4100

钻探船到达指定区域后首先下入海底基盘,基盘下入稳定后,开始正常取心。根据预测地层情况和在该区域施工经验,泥面以下14 m以上应为淤泥,适合使用活塞压入取心钻具进行取心(参见图4)。

由于基盘夹持器损坏无法使用,各回次实际取心进尺并不能达到理论上的最大取心进尺,即活塞



图4 组装活塞压入取心钻具

压入取心钻具泄压最大行程4.1 m。活塞压入取心钻具一共进行6回次钻进取心,共取得岩心17.48 m,扫孔进尺18.48 m(其中第五回扫孔比取心多1 m为直接扫掉,未取心)。各回次钻进参数见表2。

表2 各回次钻进统计

回次	孔深/m	岩心/m	岩性	回次结束后扫孔长度/m
1	0~3.49	3.49	淤泥	3.49
2	3.49~5.94	2.45	淤泥	2.45
3	5.94~8.9	2.96	淤泥	2.96
4	8.9~11.9	3.00	淤泥	3
5	11.9~14.6	2.70	淤泥	3.7
6	15.6~18.48	2.88	淤泥	2.88

6个回次取心所得均为淤泥质岩心,岩心采取质量较好。该地层中如采用普通取心钻具进行取心往往岩心采取率很低甚至取出空管,取得岩心质量也很差(参见图5)。



图5 取得的淤泥岩心

活塞压入取心钻具回次取心长度始终未能达到最大行程的4.1 m长度。导致该问题的原因分析归纳为以下几点。

(1)活塞钻具压入时,会对钻柱产生向上的反推力,该反推力会破坏钻探船海浪升沉补偿系统的平衡,使外钻具脱离孔底,从而导致活塞钻具完全伸出但是取心长度与行程不符的现象<sup>[12]</sup>。(应为主要原因,因基盘夹持器损坏无法验证)。

(2)在不开海浪升沉补偿系统的情况下进行活塞压入钻进时,钻头是脱离孔底的。海浪从波峰到波谷的这段时间,钻柱整体带着活塞钻具向下运动,

活塞钻具内管中的水无法排出,会挤压即将进入活塞钻具内管内的岩心,从而导致岩心无法进入;反之在向上运动时则可能将内管以下抽空导致钻井液进入(可能性比较小,活塞钻具与钻柱运动方向相反可能抵消该运动)。在开启海浪升沉补偿系统的情况下,如果海浪升沉补偿系统补偿速度小于海浪起伏速度,则也可能发生岩心挤出现象。(该现象可能存在,但应为次要因素,如有基盘夹持则也可排出该因素干扰)。

(3)在活塞压入开始时,钻头可能与孔底存在一定的距离。由于淤泥地层比较松软,钻头接触地层时钻压反馈难以识别,导致加压钻具就压入地层、不加压钻具就脱离地层的情况。因此一般靠机上余尺来判断外钻头位置。如果钻头与孔底确实存在一定距离,则取心长度也对应减少。(应为次要原因)。

通过以上施工,部分验证了活塞压入取心工艺的施工效果,证明其对海底浅层软弱地层具有良好的适用性;同时也证明了该工艺方法需要良好的设备配套并按照工艺要求组织施工才能达到最好的施工效果。

#### 4 结语

活塞压入取心工艺采用钻井液静压力作为动力,岩心内管直接插入地层完成取心,避免钻井液直接冲刷岩心,没有钻具回转对岩心造成影响,因此该工艺方法可以大大提高海洋浅表软弱地层的岩心采取率和岩心采取质量。其工艺方法特点,对海洋浅

表淤泥、粘土等软弱地层具有很好的适用性;特别是其取得岩心质量高的特点,可以满足海洋工程勘察对岩心样品标准的严格要求。

#### 参考文献:

- [1] 蒋国盛,王达,汤凤林,等.天然气水合物的勘探与开发[M].武汉:中国地质大学出版社,2001.
- [2] 许俊良,任红.天然气水合物钻探取样技术现状与研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(11):4-9.
- [3] 吴秋云,赵尔信.TK-1型压入式活塞取样器运动阻力计算及海上取样试验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6):16-19.
- [4] 左汝强.国际海洋科学钻探进展[Z].北京:2005.
- [5] 刘协鲁,阮海龙,赵义,等.海域天然气水合物保温保压取样钻具研究与应用进展[J].钻探工程,2021,48(7):33-39.
- [6] 梁秋平,欧阳志勇,吴海霞,等.Ni-P-W合金镀层在钻探岩心管中的应用[J].地质装备,2019,20(2):22-26.
- [7] 阮海龙,陈云龙,蔡家品,等.南海超深水钻探取样钻具优化及应用[J].中国海上油气,2017,29(1):105-109.
- [8] 刘协鲁,阮海龙,陈云龙,等.国内常规海洋地质钻探取心技术进展[J].钻探工程,2021,48(3):113-117.
- [9] 胡海良,唐海雄,罗俊丰,等.深水天然气水合物钻井及取心技术[J].石油钻采工艺,2009,31(1):27-30.
- [10] 白玉湖,李清平.天然气水合物取样技术及装置进展[J].石油钻探技术,2010,38(6):116-123.
- [11] 王世栋,潘东阳,廖天保,等.RGB32-100海底基盘及其收放技术[J].地质装备,2020,21(4):11-16.
- [12] 秦如雷,许本冲,王嘉瑞.海洋钻井钻柱升沉补偿系统分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(1):22-27.

(编辑 荐华)