

国内常规海洋地质钻探取心技术进展

刘协鲁, 阮海龙*, 陈云龙, 赵义, 蔡家品, 李春, 刘海龙, 梁涛
(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要:为实现在海洋地质钻探中高效、便捷地采获海底各类地层样品,设计研发了绳索取心泥浆静压活塞取心钻具、海洋砂质地层绳索取心钻具和液动冲击绳索取心钻具,并在南海进行了钻探试验和作业。结果表明,泥浆静压活塞取心钻具能有效减少样品扰动,原始结构较为完整,海洋砂质地层绳索取心钻具和液动冲击绳索取心钻具在粉砂层、砂层中的岩心采取率高于规范要求,能够满足作业需求。

关键词:海洋地质钻探;取心钻具;液动冲击;泥浆静压

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)03-0113-05

Progress in domestic conventional marine geological coring technology

LIU Xielu, RUAN Hailong*, CHEN Yunlong, ZHAO Yi, CAI Jiapin, LI Chun, LIU Hailong, LIANG Tao
(Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: In order to achieve efficient and convenient acquisition of various submarine formation samples in marine geological drilling, mud static pressure piston wireline coring tools, marine sand wireline coring tools and hydraulic percussion wireline coring tools were designed, and tested in the South China Sea. The test results showed that the mud static pressure piston wireline coring tools can effectively reduce disturbance of the sample with the in-situ structure relatively maintained. The marine sand coring tools and the hydraulic percussive coring tools had higher recovery in the silt and sand layers, which was better than the specification and can meet the drilling requirements.

Key words: marine geological drilling; coring tools; hydraulic percussion; mud static pressure

0 引言

海洋地质钻探,作为海洋勘探开发的基础,对我国海洋区域地质调查、重点海岸带环境地质调查与评价、近海海砂及相关资源潜力调查等海洋基础地质工作有着至关重要的作用^[1-3]。海洋地质钻探的核心是高效、便捷地取出海底样品以供进行科学研究^[4]。与海域天然气水合物钻探、海洋油气钻探等不同的是,常规海洋地质钻探的地层类型复杂多样,主要为松软、半固结或固结的沉积物,在取心作业中面临的难题主要有岩心采取率不足,岩心结构扰动大,在砂层、粉砂层中取心困难等^[5]。

为解决上述难题,同时针对我国自主实施海洋科学钻探工程的需求^[6-8],笔者对国内外海洋钻探取心技术装备进行了调研。国外依托大洋科学钻探等工程实施,研发了液压活塞取心器、高级活塞取心器和超前取心器等取心工具,其应用已较为成熟。相比之下,国内在此方面研究程度较低,近几年来仅有我所和中国地质科学院勘探技术研究所、上海石油管理局第一海洋地质调查大队等少数几家单位进行了研究,且实际应用较少^[9-12]。我所经过十几年来对常规海洋地质钻探取心技术的深入研究,研发的适用于不同地层的海洋随钻取心工具

收稿日期:2020-10-30; 修回日期:2021-02-25 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.03.016

作者简介:刘协鲁,男,汉族,1985年生,地质工程专业,硕士,从事海洋钻探取心工具的研制工作,北京市房山区良乡工业开发区二期创新路1号(102488),276958311@qq.com。

通信作者:阮海龙,男,汉族,1984年生,高级工程师,从事金刚石钻头、钻具、钻进工艺的优化设计工作,北京市房山区良乡工业开发区二期创新路1号(102488),dbksda@163.com。

引用格式: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.

LIU Xielu, RUAN Hailong, CHEN Yunlong, et al. Progress in domestic conventional marine geological coring technology[J]. Drilling Engineering, 2021,48(3):113-117.

已日趋成熟(表1),包括绳索取心泥浆静压活塞取心钻具、海洋砂质地层绳索取心钻具和液动冲击绳索取心钻具及配套井底钻具组合(BHA)(见图1),

在我国南海进行了多次试验和作业,取得了良好效果。

表1 研发的取心钻具汇总

Table 1 Summary of coring tools developed

钻具名称	适用地层	适用水深/m	岩心切削方式	取心直径/mm	取心长度/m
绳索取心泥浆静压活塞取心钻具	特别软—软的沉积物	<300	冲击压入	84	4.5
海洋砂质地层绳索取心钻具	半固结沉积物	<3000	回转钻进	84	4.5
液动冲击绳索取心钻具	半固结—固结的沉积物	<3000	回转+冲击钻进	84	4.5



图1 配套BHA

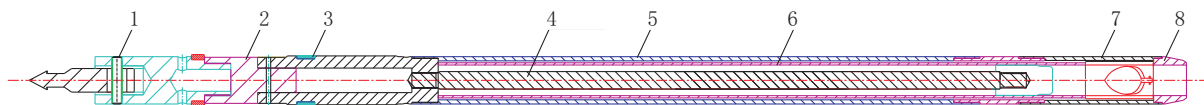
Fig.1 Supporting BHA

1 绳索取心泥浆静压活塞取心钻具

1.1 基本结构

绳索取心泥浆静压活塞取心钻具采用模块化设计,组装拆卸方便。其结构如图2所示,由打捞悬挂机构、剪切机构、密封机构、导向轴、内取心筒、衬管、岩心卡取机构和压入管鞋组成。打捞悬挂机构能够与井底钻具组合配合,悬挂钻具,并在钻进结

束后,打捞器与该机构连接,回收取心钻具。剪切与密封机构能够利用钻井液泵的压力剪断销钉,使内取心筒快速压入样品层,回次取心长度最长可达4.5 m。导向轴能够保证内取心筒在压入时能够始终保持在外管总成中心。岩心卡取机构采用翻板,能卡住岩心,防止掉落。压入管鞋能够直接压入地层。



1—打捞悬挂机构;2—剪切机构;3—密封机构;4—导向轴;5—内取心筒;6—衬管;7—岩心卡取机构;8—压入管鞋

图2 绳索取心泥浆静压活塞取心钻具

Fig.2 Mud static pressure piston wireline coring tool

1.2 工作原理

绳索取心泥浆静压活塞取心钻具能够在特别软—软的沉积物中采获轻微扰动的样品,比如软泥、粘土层、淤泥层等。其基本工作原理是:将钻井液压力转化为内取心筒压入地层的驱动力,即当钻具落入井底钻具组合中后,利用钻井液泵给内取心筒一个10~23 MPa的压力,将销钉剪断,使内取心筒快速压入取心地层,速度达2 m/s以上,可获取轻微扰动的原状样品。该型钻具在海洋软泥、粘土层中取心时,可有效克服回转取心方法所引起的样品

扰动大、层面扭曲、样品被搅散等严重缺点。

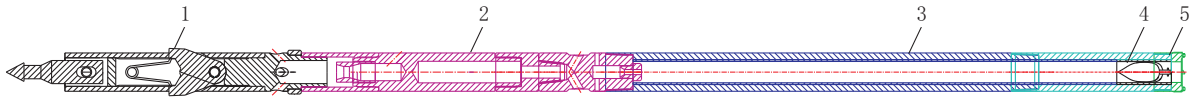
2 海洋砂质地层绳索取心钻具

2.1 基本机构

海洋砂质地层绳索取心钻具的结构采用模块化设计,其结构如图3所示,主要由打捞悬挂机构、射流机构、岩心筒、岩心卡取机构和取心钻头组成^[13]。打捞悬挂机构能够与井底钻具组合配合,悬挂、固定钻具,并带动钻具一起旋转钻进取样。在钻进结束后,打捞器与该机构连接,回收取心钻具。

射流机构能够改变泥浆在井底的流向,使得泥浆既能起到冷却钻头的作用,又能在岩心筒中形成真空吸力诱导钻井液向上流动,尽量减少对样品的污染

和扰动^[14]。岩心卡取机构能卡住岩心,防止岩心掉落。取心钻头超前外管总成 100~300 mm,能提前进入地层,减小泥浆对岩心的冲刷。



1—打捞悬挂机构;2—射流机构;3—岩心筒;4—岩心卡取机构;5—取心钻头

图 3 海洋砂质地层绳索取心钻具

Fig.3 Marine sand wireline coring tool

2.2 工作原理

海洋砂质地层绳索取心钻具能够在半固结的沉积物中进行取心,比如粘土层、粉砂层、砂层。取心钻具的工作原理是通过弹卡机构使取心钻具随着外管一起钻进,随着钻进过程岩心逐渐进入取心钻具岩心管中,取心钻具底部安装有岩心卡取机构,能够阻碍岩心滑出取心钻具,这样就可以避免在打捞取心钻具时岩心掉落,保证岩心采取率。

并带动钻具一起旋转钻进取样。在钻进结束后,打捞器与该机构连接,回收取心钻具。冲击机构能够依靠钻井液启动冲击锤,实现冲击回转钻进。岩心卡取机构能卡住岩心,防止岩心掉落。取心钻头超前外管总成 100~300 mm,能提前进入地层,减小泥浆对岩心的冲刷。

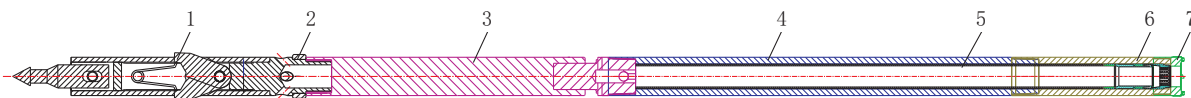
3 液动冲击绳索取心钻具

3.1 基本机构

液动冲击绳索取心钻具主要由 5 个模块组成,分别为打捞悬挂机构、冲击机构、岩心筒、岩心卡取机构和取心钻头,如图 4 所示,组装拆卸方便。打捞悬挂机构,能够与外管总成配合,悬挂、固定钻具,

3.2 工作原理

液动冲击绳索取心钻具能够在固结的沉积物、硬地层、软—硬相互交替地层中进行取样。其基本工作原理是在硬地层中钻进时,取心钻具随井底钻具组合一同旋转,冲击机构利用钻进过程中泥浆泵供给的冲洗液中的能量,连续不断地对下部钻具施加一定频率的冲击载荷,从而实现冲击回转钻进^[15]。该型钻具在软地层中钻进时,冲击机构不启动,只进行回转钻进。



1—打捞机构;2—悬挂环;3—冲击机构;4—岩心筒;5—衬管;6—岩心卡取机构;7—超前钻头

图 4 液动冲击绳索取心钻具

Fig.4 Hydraulic percussive wireline coring tools

4 海试应用

2018 年,为“海洋地质十号”调查船配备海洋砂质地层绳索取心钻具 2 套、液动冲击绳索取心钻具 2 套、绳索取心泥浆静压活塞取心钻具 2 套等取心技术装备,共实施了 4 个航次钻探取样试验和作业,累计钻探工作量 810.88 m,累计取心进尺 303.33 m,获得岩心长度 269.6 m,平均样品采取率达 88.88%,协作完成海洋区域地质调查钻探取样、风电勘查工程钻探等多项作业任务。

2018 年 6 月,采用绳索取心泥浆静压活塞取心钻具作业,作业水深 47 m,钻遇地层主要为粘土,累计使用 20 回次,累计进尺 40 m,取心长度 39.6 m。由于作业区域水深较浅,钻具在投放至井底后出现剪切销钉直接被剪断、无法依靠泥浆泵憋压的现象,因此在作业后从销钉材质和直径方面对剪切销钉进行了改进,以确保在较浅区域作业时将钻具投放至井底后,剪切机构仍有一定的剪切压力。

2018 年 8 月和 10 月,采用海洋砂质地层绳索取

心钻具进行了作业(见表2),钻遇地层主要为粘土、粘土质粉砂和细砂。8月作业中使用该型钻具累计取心进尺为52.72 m,累计取心长度为49.68 m,岩心采取率为94.23%,其中砂质地层的岩心采取率为

77.6%。10月作业中在砂层进行深度为139.1 m钻进作业,获得样品长度为110.9 m,砂层岩心采取率达到79.73%,远高于规范值要求的60%。

表2 海洋砂质地层绳索取心钻具作业数据统计

Table 2 Drilling data of the marine sand wireline coring tool

时间	地层类型	累计取心进尺/m	累计取心长度/m	砂层岩心采取率/%	
				实际值	规范要求
2018年8月	粘土、粘土质粉砂和细砂	52.72	49.63	77.60	60
2018年10月	粉砂、砂质粉砂、细砂	139.10(砂层)	110.90	79.73	60

2018年8月,采用液动冲击绳索取心钻具进行了作业,作业数据见表3。钻遇地层主要为粘土和细砂,作业中共使用了6回次,累计取心进尺为15.86 m,累计取样长度为13.78 m,岩心采取率达86.88%。

表3 液动冲击绳索取心钻具作业数据统计

Table 3 Drilling data of the hydraulic percussive wireline coring tool

时间	地层类型	累计取心进尺/m	累计取心长度/m	岩心采取率/%
2018年8	粘土、细砂	15.86	13.78	86.88

5 结论

通过海上作业情况可以看出,绳索取心泥浆静压活塞取心钻具、海洋砂质地层绳索取心钻具和液动冲击绳索取心钻具已经取得了较好的作业效果,在取样长度、岩心采取率等指标方面能够满足当前常规海洋地质钻探对样品的要求,得出以下结论。

(1)绳索取心泥浆静压活塞取心钻具在特别软一软的地层中进行钻探应用时,能保证岩心采取率,采样过程中内岩心管快速压入地层,能够降低样品扰动;

(2)海洋砂质地层绳索取心钻具和液动冲击绳索取心钻具在粉砂层、砂层等半固结—固结的地层中进行钻探应用时,能够有效降低对地层的冲蚀,样品结构保持好,岩心采取率高;

(3)鉴于海洋地质钻探窗口期短等问题,在岩心质量、岩心采取率等指标满足要求的情况下,应

尽量加长回次取心长度,提高海洋地质钻探取心效率。

参考文献(References):

- [1] 闫凯,孙军,杨慧良,等.海洋区域地质调查技术方法进展[J].海洋开发与管理,2018,35(9):107-114.
YAN Kai, SUN Jun, YANG Huiliang, et al. Progress in technologies and methods of regional marine geology survey [J]. Ocean Development and Management, 2018,35(9):107-114.
- [2] 阮海龙,陈云龙,赵义,等.海洋超深水地质调查钻探实践[J].地质装备,2018,19(1):3-5.
RUAN Hailong, CHEN Yunlong, ZHAO Yi, et al. Drilling practice of marine ultra-deep water geological survey [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2018,19(1):3-5.
- [3] 阮海龙.海洋地质调查压入活塞取样钻具研制[D].北京:中国地质大学(北京),2017.
RUAN Hailong. Development of piston coring tool for marine geological survey [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2017.
- [4] 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.
RUAN Hailong, CHEN Yunlong, CAI Jiapin, et al. Optimization and application of a sampling drilling tool for ultra-deepwater drilling in South China Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2017,29(1):105-109.
- [5] 阮海龙,沈立娜,蒋卫焱,等.海底沉积地层保真取样钻具的设计及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(2):12-14.
RUAN Hailong, SHEN Lina, JIANG Weiyan, et al. Design of drilling tool for truth-preserving sampling in sunmarine sedimentary strata and the application [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(2):12-14.
- [6] 叶建良,张伟,谢文卫.我国实施大洋钻探工程的初步设想[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(2):1-8.

- YE Jianliang, ZHANG Wei, XIE Wenwei. Preliminary thoughts on implementation of the ocean drilling project in China [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2019, 46(2):1-8.
- [7] 赵尔信, 蔡家品, 贾美玲, 等. 我国海洋钻探技术[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2014, 41(9):43-48.
- ZHAO Erxin, CAI Jiapin, JIA Meiling, et al. Marine drilling technique in China [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2014, 41(9):43-48.
- [8] 赵尔信, 王明田, 蒋卫焱, 等. 海洋深水工程钻探技术[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十六届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集. 北京:地质出版社, 2011.
- ZHAO Erxin, WANG Mingtian, JIANG Weiyan, et al. Drilling technology for deep ocean engineering [C]//Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Sixteenth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conferences. Beijing: Geological Publishing House, 2011.
- [9] 李小洋, 李宽, 梁健, 等. 海洋沉积地层多功能取样钻具研制[J]. *地质与勘探*, 2020, 56(6):1266-1271.
- LI Xiaoyang, LI Kuan, LIANG Jian, et al. Development of the multiple function drill tool for core sampling in marine sedimentary strata [J]. *Geology and Exploration*, 2020, 56(6):1266-1271.
- [10] 卢秋平, 郑荣耀. 近海不下套管井深100 m海砂钻探技术[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2012, 39(5):18-21.
- LU Qiuping, ZHENG Rongyao. 100m depth well drilling without casing in offshore sand [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2012, 39(5):18-21.
- [11] 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.
- ZHENG Rongyao, LU Qiuping. Technology of core drilling for investigation of freshwater resources in Zhoushan sea [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2013, 40(5):26-30.
- [12] 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.
- ZHANG Yongqin, SUN Jianhua, LIU Xiumei, et al. Application of hydraulic reverse circulation continuous coring (sampling) drilling in placer mineral prospecting in shallow sea [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2008, 35(6):15-18.
- [13] 刘协鲁, 陈云龙, 赵义, 等. 新型海域砂层取样钻具的设计与应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第二十届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集. 北京:地质出版社, 2019:288-291.
- LIU Xielu, CHEN Yunlong, ZHAO Yi, et al. Design and application of a new sampling tool for offshore sand formation [C]//Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the Twentieth National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conferences. Beijing: Geological Publishing House, 2019:288-291.
- [14] 陈云龙, 阮海龙, 朱慈广, 等. 松软泥砂地层取心钻具的设计及应用[J]. *地质装备*, 2018, 19(6):26-28.
- CHEN Yunlong, RUAN Hailong, ZHU Ciguang, et al. Design and application of coring tools in soft muddy sand formations [J]. *Equipment for Geotechnical Engineering*, 2018, 19(6):26-28.
- [15] 赵义, 梁涛, 刘海龙, 等. 海洋冲击伸缩绳索取样钻具的研制与应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2016, 43(3):52-55.
- ZHAO Yi, LIANG Tao, LIU Hailong, et al. Development and application of marine impact telescopic sampler [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2016, 43(3):52-55.

(编辑 周红军)