

滨浅海砂层钻探施工工艺实践与应用

陈杰, 刘传辉, 邢状, 邓帅帅, 唐翠青, 胡豪飞, 周日虎

(中国地质调查局海口海洋地质调查中心, 海南海口 571127)

摘要: 滨浅海砂层钻探面临复杂的施工环境和特殊的地层条件, 施工难度显著提高。为应对滨浅海砂层钻探的施工难点, 本文分析了砂层钻探的施工特点及环境因素, 选择使用转盘工程钻机, 并采用孔底冲击钻具, 创新性地提出了“转盘驱动套管+孔内绳索冲击+花瓣式取心机构”的跟管取心工艺。同时, 结合高频振动锤, 成功解决了砂层成孔困难和取心率低等问题。在滨浅海海域砂矿的实际应用中, 该施工工艺表现出良好的效果, 为今后滨浅海砂层钻探取心的研究与应用提供了参考与借鉴。

关键词: 滨浅海; 砂层钻探; 冲击取样; 花瓣式取心钻具; 跟管钻进; 转盘钻机; 振动锤

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2026)S1-0274-05

Practice and application of drilling construction technology for littoral-shallow-sea sand layers

CHEN Jie, LIU Chuanhui, XING Zhuang, DENG Shuaishuai, TANG Cuiqing, HU Haofei, ZHOU Yuehu

(Haikou Marine Geological Survey Center, China Geological Survey, Haikou Hainan 571127, China)

Abstract: Drilling in littoral-shallow-sea sand layers faces complex construction environments and special stratigraphic conditions, significantly increasing construction difficulty. To address the construction challenges of drilling in littoral-shallow-sea sand layers, this paper analyzes the construction characteristics and environmental factors of drilling in sand layers, selects a rotary-table engineering drilling rig, and adopts bottom-hole impact drilling tools. It innovatively proposes a casing-while-coring technique featuring a "rotary-table-driven casing+in-hole wireline percussion+petal-type coring mechanism". At the same time, combined with a high-frequency vibrating hammer, the technique successfully solves problems such as difficulty in borehole formation and low core recovery rate in sand layers. Satisfactory application performance has been achieved in the sand-ore of littoral-shallow-sea areas, which provides a reference and guiding significance for future research and application of drilling and coring in littoral-shallow-sea sand layers.

Key words: littoral-shallow-sea; sand-layer drilling; percussion sampling; petal-type coring tool; casing-while-drilling; rotary table rig; vibrating hammer

0 引言

随着我国海洋强国战略的深入推进, 海洋矿产资源的勘探与开发已成为国家资源安全保障体系的重要组成部分, 受到学界与产业界的广泛关注。海南岛作为我国第二大岛屿, 拥有绵长的海岸线与

广阔的滨浅海砂质地层分布, 其砂层中富集锆英石、钛铁矿、金红石、独居石、电气石等多种战略性关键矿产资源^[1]。其中, 海南岛东部滨海区域因具备优越的成矿地质条件, 形成了规模可观的海砂矿产储量, 具备极高的勘探开发价值^[2-3]。当前, 我国

收稿日期: 2026-06-22; 修回日期: 2026-08-21 DOI: 10.12143/j.ztgc.2026.S1.034

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(编号: DD20240206317)

第一作者: 陈杰, 男, 汉族, 1987年生, 助理工程师, 钻探工程专业, 主要从事水文钻探、工程钻探、海洋钻探、地质勘查等方面工作, 海南省海口市美兰区桂林洋兴洋大道61号, 48840057@qq.com。

引用格式: 陈杰, 刘传辉, 邢状, 等. 滨浅海砂层钻探施工工艺实践与应用[J]. 钻探工程, 2026, 53(S1): 274-278.

CHEN Jie, LIU Chuanhui, XING Zhuang, et al. Practice and application of drilling construction technology for littoral-shallow-sea sand layers[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(S1): 274-278.

陆域矿产资源钻探工作已积累了较高的勘探程度,相关施工工艺体系趋于成熟。然而,海域钻探作业面临风场、潮汐、海流、涌浪等复杂海洋环境因素的综合影响^[4-5],导致其施工工艺发展相对滞后,可直接借鉴的成熟施工经验较为匮乏。尤其在滨浅海砂层钻探过程中,取心难度大、跟管作业困难、成孔稳定性差等技术难题尤为突出,传统回转钻进工艺已难以满足砂层钻探的质量控制要求,常出现成孔困难、取心率偏低等问题。因此,选择适配性强的施工工艺,不仅是提升作业效率、控制工程成本的关键,更是保障钻孔质量的核心环节^[6]。针对滨浅海砂矿勘探开展了专项施工研究,通过多种工艺方案的试验与优化,最终确定采用转盘钻机带动套管进行跟管作业,并结合孔内冲击取样的施工工艺,配合高频振动锤完成钻进与取样作业。截至目前,已成功完成1000余米的滨浅海海域砂矿取样任务,相关实践不仅验证了该工艺方案的可行性与有效性,更为后续同类砂层地质条件下的钻探取样工作积累了丰富的工程实践经验。

1 区域地质概况

地质历史上,海南岛岩浆活动异常强烈,经历多期次岩浆侵入与喷发作用,致使岩浆岩广泛出露。岩浆岩风化产生的丰富物质,为各类矿产的形成提供了充足的成矿物质来源^[7]。该类风化产物经搬运、分选及沉积作用后,形成富含锆英石等砂矿的第四系沉积地层,分布在滨浅海区域。

本次研究施工区位于海南岛东部,万宁市大花角湾至陵水县陵水湾。海底沉积物以第四系近代海相沉积为主,是更新统北海组(Qp^2b)、八所组(Qp^3bs)和全新统烟墩组(Qh^3y)向海方向延伸部分,其物质组成以陆源碎屑沉积物为主。岩性主要包括灰黄—黄白色粉细砂、细砂、含砾中粗砂、含生物碎屑中粗砂、海滩砂、灰黑色含有机质黏土及淤泥质砂等;沉积物中普遍发育贝壳、珊瑚、海滩岩及细砂岩,其中细砂岩发育斜层理与交错层理。地貌上,该套沉积物构成滨海平原上部,且发育沿海砂堤、砂堤封闭型潟湖、新海滩岩及连岛砂堤等地貌单元,砾石磨圆度较差。

2 钻探施工难点

(1)钻探平台稳定性不足。海上钻探船舶易受

风浪作用产生垂向运动,船体的升降位移将同步传递至钻机、钻杆及钻具系统,导致孔底钻头压力难以精准调控。这一问题不仅会降低钻进效率,还易引发钻杆弯曲、折断乃至疲劳断裂等结构损伤,极端情况下可能导致钻机倾覆事故^[8-9]。

(2)岩心采取难度较高。钻探目标地层以粗砂、细砂、流砂为主,该类地层具有结构松散、颗粒无胶结、孔隙度大及透水性强等特征。为满足岩心无扰动、无污染的绿色勘查技术要求,需采用无泥浆钻探工艺,这导致孔壁稳定性不足,易发生塌孔、埋钻等工程事故,不仅钻进效率偏低,严重时甚至无法成孔^[7]。

(3)跟管钻进阻力较大。跟管施工过程中,套管易被外部流砂包裹;随着钻孔深度增加,套管长度同步延长,导致套管与地层间的摩擦阻力逐渐增大。当套管超过临界值后,套管将无法跟进,且易引发涌砂事故——钻孔外部流砂从孔底侵入套管内部,进而出现采心后钻孔实际深度递减的现象^[10-11]。

(4)套管垂直度控制难度大。当作业水深 >50 m时,套管易受海流、涌浪等海洋环境力耦合作用发生倾斜,导致钻具难以顺利下入套管内部,最终造成钻进作业无法正常开展^[12]。

3 钻探施工工艺

3.1 船舶的定位及抛锚

施工区域离岸5~15 km,采用工程船舶实施海上钻探作业,调查船船长52.8 m,船宽8.8 m,吃水2.8 m,总吨位499,甲板作业区域尺寸12 m $\times$ 12 m,钻探平台布置于船舷右侧(见图1),钻机设备通过焊接方式固定于甲板上,作业平台四周设置安全护栏。该船配备自抛自起式四锚定位系统,船首及船尾各布设2个质量为1.5 t的大抓力锚。钻探船航行至目标钻孔区域附近后,启动四锚定位作业:锚绳长度及预抛方向需结合海上风向、地层条件、水深及洋流特征进行综合计算,通常采用船头正对风浪的八字锚抛设方式,锚绳布设角度根据实际海况动态调整^[13-14];抛锚作业顺序需依据水流特性确定。所有定位锚均配套设置带标识的锚浮,锚浮需满足浮力充足、标识清晰醒目的技术要求。目标钻孔定位采用DGPS与RTK组合定位技术,定位误差控制在50 cm以内。

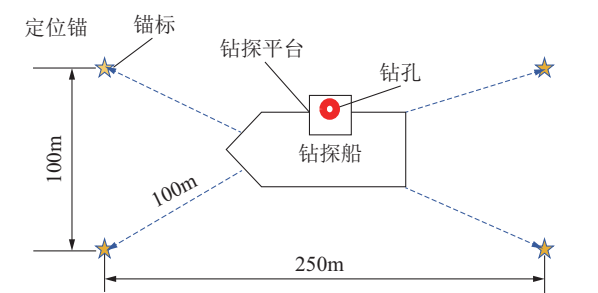


图1 抛锚坐标

3.2 钻机的选择

基于海域钻探施工环境的特殊性,传统立轴式回转钻机因缺乏升沉补偿装置,其抗风浪稳定性欠佳,在施工过程中风浪易倾覆钻机;在砂层回转取心作业中,不仅取心效果欠佳,且易造成岩心扰动,导致岩心采取率偏低。基于现场施工实践总结,选用具备转盘回转功能的GPS-18型转盘工程钻机(见图2)。该钻机采用45 kW电动机作为驱动单元,输出扭矩大,且套管通过转盘的结构设计,套管可在转盘孔径内上下自由活动,有效降低了风浪对施工的干扰(见表1)。该钻机适用于大口径基桩钻进、松散第四系地层钻探及海上作业场景。



图2 GPS-18型转盘工程钻机

3.3 钻孔结构

滨浅海砂层钻孔工程中,钻孔整体深度较浅,地层岩性单一。钻孔设计孔深20~30 m,终孔孔径89 mm,水深20~55 m。砂层普遍具有松散性与流动性特征。鉴于该地层特性,钻孔施工过程中必须采取套管护壁措施,同时应尽可能简化钻孔结构。由于多层套管施工时易发生卡管现象,进而导致套

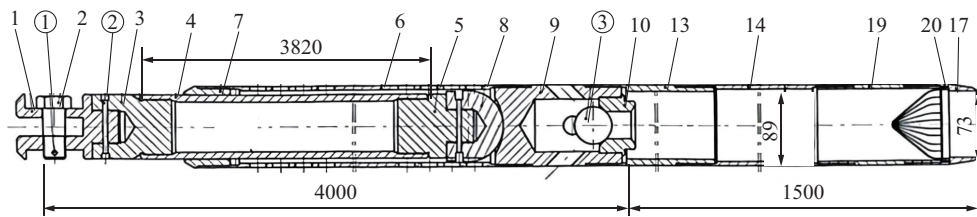
表1 GPS-18型转盘钻机主要性能参数

性能参数	参数值
底座通孔直径/mm	1800
钻孔深度/m	100
转盘最大扭矩/(kN·m)	26
转盘转速/(r·min ⁻¹)	14,19,24
正反转/(r·min ⁻¹)	33,44,60
主卷扬机单绳提升能力/kN	30
副卷扬机单绳提升能力/kN	30
钻机额定负荷/kN	180
钻机有效高度/m	10
钻机功率/kW	45
主机质量/t	10
主机外形/m	4.75×2.2×10

管脱落等工程事故,因此本次施工采用一径到底的钻孔方案,施工中途不进行换径作业^[9]。施工所用海洋套管外径为130 mm,内径为110 mm,壁厚为10 mm;冲击钻具外径为89 mm,钻具与套管之间的环状间隙控制在10 mm左右,该间隙设置可有效防止砂砾石卡死套管,避免出现钻具无法提动的问题。套管底部配备45°内开口套管靴,以实现更可靠的跟管护壁效果;套管上部安装套管帽,其作用为在锤击施工过程中保护套管丝扣,防止钢丝绳在冲击作业时对丝扣造成磨损。

3.4 钻具组合

传统的工程钻探多采用回转单管取心,针对海砂具有湿度大、结构松散、无胶结性及岩心采取率偏低等技术难题,本研究选用绳索冲击花瓣式取心钻具。该钻具主要由重锤、花管、单向阀、取心管、接箍、刀口及花瓣等核心部件构成(见图3)。其中,重锤设计质量为200 kg,冲击行程4 m,通过钢丝绳牵引提供竖向冲击力,依靠冲击作用实现钻进取心。花管作为专用排水结构,可在冲击钻进过程中快速排出钻具内部的海水,有效提升冲击载荷的传递效率。单向阀的设置能够减少取心过程中岩心的扰动,同时可防止岩心脱落渗漏,保障岩心顺利进入取心管内部。取心管用于岩心的储存与保护,其材质选用D45钢材,设计直径为89 mm,长度为1 m。刀口采用带倾角结构设计,主要发挥切割地层、辅助钻进的功能。花瓣部件承担阻挡岩心脱落的关键作用^[8],为进一步防止流砂通过花瓣缝隙漏失,在花瓣外侧套装尼龙过滤网作为防漏辅助结构。



1—吊环;2—螺栓;3—上连接头;4—重锤;5—下连接头;6—花管;7—花管盖;8—锤头;9—分水接头;10—阀座;
13—余土管;14—取心管;17—刀口;19—短接;20—花瓣;①—开口销;②—圆柱销;③—钢球

图3 绳索冲击花瓣式取心钻具结构

3.5 钻进方法

为保障钻进过程的安全性及连续性,冲击进尺前首先对钻具及各连接部位进行全面检查,确认连接紧固可靠且各运动部位转动灵活;其次精确测量钢丝绳长度并做好清晰标记,以此作为进尺深度计量的基准依据。钻进施工过程中,采用小进尺、多回次的综合钻探技术方案,单个回次进尺控制在0.5~1.0 m范围内为宜。冲击作业高度为2~3 m,冲击频率为20~50次/min;为防止钻具在孔内发生卡钻事故,每冲击20~30次需将钻具提离孔底一次。单个回次钻进完成后,将钻具整体提出孔外并放置于专用作业平台,拆卸刀口部件后,利用取心器按照地层沉积顺序逐步推出岩心,从而确保地层揭露的完整性与岩心采集的连续性。

4 套管下放与起拔

针对海砂地层松散、强流动性、无胶结等特性,需采用套管进行孔壁防护。由于转盘钻机未配备液压驱动系统,套管跟管作业仅能依靠套管自身重力叠加转盘回转作用实现下入。当套管与砂层接触后,套管下入深度与管壁所受摩擦力呈正相关关系;随着套管下入深度逐渐增加,当套管自身重力与管壁摩擦力趋于平衡时,套管将无法实现超前压入。此外,当套管内岩心被完全打捞出后,管内压力低于管外地层压力,在管内外压力差作用下形成负压,进而引发涌砂现象。

应对涌砂问题,常规处理措施包括控制钻具超前量与回灌水,其核心目的在于平衡孔底压力。然而,实践验证表明,上述两种方法的整体应用效果欠佳,导致施工效率处于较低水平。为有效抑制涌砂现象、提升取样质量与施工效率,并降低作业人员劳动强度,本研究选用DZ10A型弹簧振动打桩锤作为跟管辅助施工设备(见图4)。该振动锤的主要

技术参数如下:长810 mm、宽670 mm、高1220 mm,提拔力6 kN,冲击力76 kN,设备自重800 kg。其工作原理为:通过电动机驱动两组偏心块做反向旋转运动,使二者产生的横向离心力相互抵消,而垂直方向的离心力则叠加增强。由于偏心轴转速较高,整个设备系统可产生垂直方向的上下振动,进而实现振动冲击钻进作业;反向运行时,该设备则可发挥振动起拔功能。该振动锤的结构主要由吸振器、振动器及电气装置三大部分构成。

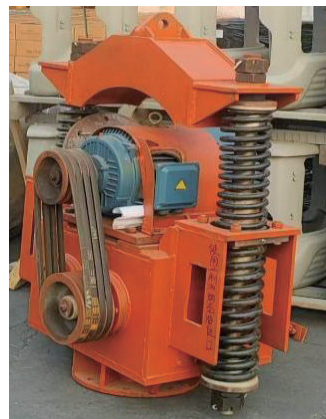


图4 DZ10A型弹簧振动打桩锤

采用电动弹簧振动锤驱动套管整体超前于实际钻进进尺,该技术方案适用于强流动性含水砂层。在遭遇涌砂工况时,其处理效果相较于传统回

灌水工艺具有显著优势。振动锤在套管起拔作业中同样发挥关键作用。特别是当套管钻入泥质地层后,易受泥层包裹与吸附作用影响,单纯依靠卷扬设备往往难以实现有效起拔。借助振动锤的振动破障作用,可快速将套管拔出,显著降低工程延误及设备损耗等相关损失。

5 应用效果

2024—2025年,研究团队在海南岛东部海域开展滨浅海砂层钻探取样工作。施工区域地处热带季风海洋性气候区,降水充沛;潮汐类型为混合潮型,月内呈现两次高潮与两次低潮,每日均为不规则半日潮。工作区水深范围为18~55 m,地层主要为第四系近代海相沉积物,岩性以砾砂(沿海岸线分布)、粉砂质砂、黏土质砂为主,伴生少量砾石、贝壳及岩石底质;沿陆架外缘呈环状分布的地层则以黏土质粉砂为主。

2024年累计完成海域钻探施工39个钻孔,采用转盘钻机带动套管跟管钻进+孔内冲击取样工艺+花瓣式取样器的组合技术方案,总进尺达521.8 m,实际施工时长66 d。施工钻孔孔深1.20~27.30 m,平均孔深13.38 m;岩心采取率80%~128%,平均采取率99.34%。

2025年,为优化施工效率,在原有设备基础上加装高频振动锤用于套管起下作业,全年共完成27个钻孔的施工任务,总进尺540 m,有效施工天数47 d。本年度施工最大水深55 m,最大孔深33.8 m,平均孔深22.31 m;岩心长度16.43~28.73 m,平均岩心长度20 m;岩心采取率90.59%~100.99%,平均采取率93.47%。与2024年相比,2025年平均进尺效率提升40%,且所取岩心基本无扰动,各项指标均满足设计要求及相关行业规范。

6 结论

针对海上施工环境的复杂性,采用“转盘驱动套管+孔内绳索式冲击+花瓣式取心机构”的跟管取心工艺,并搭配高频振动锤,在滨浅海砂层钻探工程中取得了显著应用效果。转盘钻机具备优良的通径能力,套管可顺利贯穿转盘结构,通过夹板

对套管进行夹持固定后,由转盘驱动套管同步旋转,能够有效削弱风浪、涌浪及潮汐作用对船舶升沉运动的干扰。孔内绳索式冲击钻具针对强流动性砂层具有较高的取心效率,所获取岩心完整性良好且无扰动,可有效满足现场施工技术要求。电动振动锤能有效遏制涌砂现象的发生,相较于传统回灌水处理方法,其应用优势更为突出,对套管的超前下入与安全起拔发挥着关键作用,不仅显著提升了施工效率与取样质量,还降低了作业人员的劳动强度。该工艺方案为后续滨浅海砂层钻探工程的开展提供了重要的技术参考与借鉴。

参考文献:

- [1] 潘燕俊,崔汝勇,林明坤,等.海南岛周边浅海砂矿资源潜力浅析[J].海洋通报,2017,36(4):458-467.
- [2] 韩孝辉,王雪木,陈卫,等.海南岛东部滨海砂矿资源分布特征[J].中国矿业,2017,26(S1):246-250,260.
- [3] 全长亮,王华强,张匡华,等.海洋测绘在西南浅滩海砂资源探测中的应用[J].海洋测绘,2022,42(3):38-42.
- [4] 胡建平,李庆庆.海上船载式移动钻探平台创新及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):52-57.
- [5] 莫建,杨楠,任旭光.海上工程地质钻探安全分析[J].海洋地质,2015(1):79-84.
- [6] 杨芳.海域地质岩心钻探关键技术分析与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(7):23-29.
- [7] 付标,薛玉龙,曾维特,等.海南岛东南部近岸表层沉积物锆、钛地球化学特征对浅海砂矿的指示[J].中国矿业,2021,30(S1):208-216.
- [8] 薛玉龙,王雪木,杨凡.海南万宁浅海表层沉积物粒度及地球化学特征对浅海砂矿的指示[J].中国矿业,2017,26(S1):220-226.
- [9] 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.
- [10] 陆建国.回转绳索取心工艺在海洋第四系地层钻探中的应用[J].海洋石油,2021,41(4):101-106.
- [11] 石晓兵,张杰,王国华.海洋钻井工程[M].北京:石油工业出版社,2016.
- [12] 林仕学,张蛮庆.滨海砂矿钻探的工艺特点[J].探矿工程,1984(6):3-4.
- [13] 胡文华.滨海砂矿钻探工艺探讨[J].地质与勘探,1990(1):59-62.
- [14] 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.

(编辑 王文)