

珊瑚礁地层钻探取心技术研究及应用

班金彭¹, 宋继伟^{*2}, 黄明勇¹, 彭坤¹, 代云鹏¹

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局一一五地质大队, 贵州 清镇 551400;
2. 贵州省地质矿产勘查开发局一一二地质大队, 贵州 安顺 561000)

摘要:人工吹填珊瑚岛礁地层结构比较特殊,以珊瑚砂和珊瑚碎屑为主,取心和成孔难度较大。以南海某岛礁地质钻探取心工程实践为例,针对地层岩性特点,采用一系列对应技术措施:上部松散或弱胶结砂砾层采取跟管钻进和无水干钻取心技术;礁灰岩全漏失地层设计了一套掏砂钻具进行掏砂,确保井眼干净;软硬互层采用超前侧喷钻头;粉砂质地层采取小口径钻具无水干钻取心技术等。该技术在18个钻孔实施中取得了良好的效果,可为后续珊瑚礁地层钻探取心提供借鉴。

关键词:珊瑚礁地层;钻探取心技术;岩心采取率;弱胶结地层;礁灰岩;跟管钻进;无水干钻取心

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)03-0125-09

Research and application of core drilling technology in coral reef

BAN Jinpeng¹, SONG Jiwei^{*2}, HUANG Mingyong¹, PENG Kun¹, DAI Yunpeng¹

(1. 115 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Qingzhen Guizhou 551400, China;

2. 112 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Anshun Guizhou 561000, China)

Abstract: The artificially filled coral islands and reefs have a special stratigraphic structure, mainly of coral sand and coral debris, which makes it difficult to core and form holes. Taking the geological drilling and coring project on an island and reef in the South China Sea as an example, a series of corresponding technical measures were adopted according to the lithological characteristics of the formation: casing while drilling and dry core drilling for the upper loose or weakly cemented sand and gravel; a sand-bailing tool designed for complete circulation loss formation to ensure a clean borehole in reef limestone; drill bits with advance side nozzles for the soft and hard alternate beds; small-diameter dry core drilling for the silt-sand layer. The technology has achieved good results in drilling of 18 boreholes, which can provide a reference for subsequent coring in coral reef formations.

Key words: coral reef formation; core drilling; core recovery; weakly cemented formation; reef limestone; casing while drilling; dry core drilling without water

0 引言

我国南海分布有大量的珊瑚岛礁,对岛礁的开发利用,具有十分重要的经济价值和战略意义^[1-2]。

珊瑚岛礁具有独特的地质特征和岩土力学特性,目前,对珊瑚礁的了解却非常有限,对珊瑚礁的面积缺少准确的估计,对于大多数珊瑚岛礁难以提供准

收稿日期:2020-12-22; 修回日期:2021-02-17 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.03.018

基金项目:贵州省地矿局地质科研项目“人工吹填珊瑚岛礁钻探取心技术研究及应用”(编号:黔地矿科合[2017]22号)

作者简介:班金彭,男,布依族,1986年生,高级工程师,硕士,主要从事钻探技术研究及施工管理工作,贵州省清镇市北门桥,973643757@qq.com。

通信作者:宋继伟,男,汉族,1982年生,研究员,博士,长期从事钻探工程管理和技术研究工作,贵州省安顺市西秀区西水路57号, songjiwei8759@163.com。

引用格式:班金彭,宋继伟,黄明勇,等.珊瑚礁地层钻探取心技术研究及应用[J].钻探工程,2021,48(3):125-133.

BAN Jinpeng, SONG Jiwei, HUANG Mingyong, et al. Research and application of core drilling technology in coral reef[J]. Drilling Engineering, 2021,48(3):125-133.

确的地形、地貌、地质结构和生态现状等数据信息,很难满足有关工程建设的需求^[3-5]。近年来,我国加大对岛礁的科研力度,对岛礁地层结构、岩石力学特性、水文地质特征等进行深入的研究,通过钻探手段,获取珊瑚礁的岩心资料及相关参数,为岛礁建设提供了重要的设计依据^[6-8]。

20世纪70年代以来,我国对西沙、南沙等部分岛礁不断进行各种科学研究,其中通过钻探技术手段获取岩心进行后续研究是最为直接的。由于珊瑚礁地层结构的特殊性,通过对部分钻孔资料研究^[9-12],存在岩心采取率较低的问题(见表1)。

表1 部分珊瑚礁钻孔岩心采取率统计
Table 1 Core recovery of some coral reef boreholes

钻孔时间	钻孔编号	钻孔深度/m	岩心采取率/%
1990	西永1井	1384.68	<10
2012	西科1井	748.00	78.40
2013	琛科1井	901.90	46.19
2014	琛科1井	928.75	69.64

由表1可以看出,珊瑚礁钻孔岩心采取率普遍偏低,除西科1井外均达不到地质岩心钻探规程要求。但是也为深入认识珊瑚礁起到了开拓性作用,随着科学研究和工程建设需求,对岩心采取率提出更高的要求,以期最大限度地反映地层特性^[13]。

为满足岩心采取率要求,我单位承担钻探施工的“南海某岛礁地质钻探取心项目”针对不同岩层采用多种取心工艺相结合的钻进方法,大大提高了岩心采取率,达到地质要求。形成了无水干钻提钻取心技术、半合管取心技术、钻进参数优化、超前侧喷钻头选用、小回次钻进等技术方法,可为类似区域的珊瑚礁取心钻探提供借鉴。

1 取心技术研究

珊瑚岛礁地层结构变化多样,由上至下分别出现人工吹填砂砾层、岛礁自然沉降砂砾层、礁灰岩、粉砂岩等岩层,其中礁灰岩与粉质砂岩频繁互层。在取心技术上也需要采取相应技术措施,才能达到规范和设计要求的岩心采取率。

1.1 砂砾地层取心技术

1.1.1 地层分析

在钻进取心过程中,砂砾地层影响岩心采取率

的一个关键因素是地层胶结强度,强度越高,岩心采取率越高,强度越低,岩心采取率越低。砂砾层主要以中粗砂为主,偶夹珊瑚断肢、珊瑚碎块石,上部完全无胶结,呈松散状态,随着深度增加下部礁坪出现弱胶结状态。这种地层最怕泥浆冲刷,遇水后完全呈松散状态,无法取心。由浅入深钻进过程中,因各种珊瑚断肢、岩块的出现,钻进难度增大,扭矩剧增,钻头磨损、掉齿严重。

1.1.2 取心工艺

该类地层采用常规绳索取心技术和提钻取心技术进行施工时,泥浆容易将砂砾直接冲刷掉,无法取出岩心样品,而且采用提钻取心技术钻进提取岩心时钻孔立刻出现垮塌,无法成孔,出现反复取垮塌岩心的现象。

跟管钻进能够解决成孔困难的问题,其关键点在于跟管钻头的设计,要求采用耐高温硬质合金,硬质合金厚度与钻具厚度保持一致,确保后续跟管钻进能够顺利进行。因地层特别容易垮塌,外层套管在遇到一定阻力之后就停止向下跟管,以防钻头磨损严重甚至掉齿,造成提钻换钻头而跨孔的风险。当无法向下钻进后采取小口径钻具穿过外层套管钻取内部岩心,当小口径钻具超过外层套管0.5~1 m后及时跟进外层套管,以防超前钻进太多,提钻取心后钻孔垮塌,下个回次无法取得新鲜的岩心。

无水干钻提钻取心技术能够解决岩心因泥浆冲刷而丢失的难题。采用短钻具+ $\varnothing 50$ mm 钻杆,采用小回次、勤起钻、勤换钻头的方式进行干钻施工。由于钻进过程中没有泥浆对钻头的冷却,不能使用容易烧钻的金刚石钻头,只能选择耐高温的硬质合金钻头。在钻进过程中对操作者要求较高,如果把控不好,取不出岩心,如果干钻时间过长,钻头出现烧结和掉齿,严重影响钻头使用寿命,因此采取小回次钻进,通过勤起钻的方式来解决钻头冷却问题。因钻头磨损和掉齿较为严重,外层套管尽量不做强力跟管,采用勤换掏心方式进行跟管钻进。

采取跟管钻进+无水干钻提钻取心方法,能够有效解决成孔和取心两个难题,现场多次试验后取得了很好的效果,岩心采取率基本达到100%。

1.2 礁灰岩地层取心技术

1.2.1 地层分析

礁灰岩地层主要有结构较为完整的灰岩、珊瑚

格架灰岩,该类地层岩性较为完整,强度较高,是整个珊瑚礁钻孔最容易钻进和取心的孔段,地质原因引起采取率降低的可能性很小。

1.2.2 取心方法

礁灰岩地层岩石可钻性在1~4级,岩层完整,可以采用绳索取心钻进技术,该技术能够有效提高工作效率,降低劳动强度,而且岩心采取率高,是礁灰岩地层最优的钻进方法。

1.2.3 钻进取心注意事项

在该孔段岩心采取率一般都能够达到设计和规范要求,但是人为操作上的失误也会造成岩心采取率降低,在钻进过程中需要注意以下几点:

(1)每次下内管前,必须检查内管总成各个部位是否完好,尤其确保卡簧的完好,如果卡簧出现严重磨损,下入孔内后容易造成岩心无法卡断,出现空管或者部分岩心丢失的现象。

(2)每次下内管后必须认真检查确保内管总成到位,如果不到位就会出现单管,造成岩心无法进入内管,岩心进入外管后与内管总成不断地碰撞和摩擦,造成采取率降低。经过提大钻取心后再次采用绳索取心钻进会出现重复磨损孔内岩心的现象,造成岩心破碎和丢失。

(3)内管打捞出来后,为保证岩心完整,禁止使用榔头激烈敲出岩心。无论是三重岩心管还是二层管钻具钻进,都应该使用水泵泵出半合管或岩心,并按照正确顺序尽量将岩心恢复原样,摆放到岩心箱内。

1.3 软硬互层段取心技术

1.3.1 影响因素分析

该类地层呈现出明显的硬层和软弱松散层,而且比较破碎。软弱部分容易受到钻井泥浆的冲刷而丢失,取出的岩心样品只有较硬部分,呈现出不整合断裂,岩心采取率低;硬岩进入内管后,遇到软弱地层,由于摩擦阻力的影响造成软弱岩心无法进入内管,被硬质岩心直接磨掉,造成岩心采取率下降;该类地层岩心进入内管后受到震动和摩擦,破碎后堵在内管里,无法向下正常钻进;上提割断岩心时,软弱地层一般无过提显示,不利于判断岩心是否在内管里^[14]。

1.3.2 钻进取心原理

(1)减少泥浆冲蚀。通过改变钻头水路来减少泥浆对软弱松散层的直接冲刷,提高岩心采取率。

目前常见的有超前侧喷钻头、侧喷钻头、底喷钻头,其中前2种的效果比底喷钻头好。上述3种钻头针对硬质破碎地层较为有用,对珊瑚礁弱胶结粉砂质地层效果不够理想,结合3种钻头的优缺点,针对弱胶结粉砂质岩层设计了一种更为有效的钻头。

(2)减小岩心进入阻力。采用超前侧喷钻头钻进软硬互层等弱胶结松散层,超前切削齿到爪簧的距离较长,硬质岩心进入岩心管后有较长部分在钻头内部,因岩心与钻头内壁间隙很小,摩擦阻力较大,软弱层岩心进入内管时阻力较大,往往会被直接推掉或者大部分推掉,造成岩心进入内管困难而岩心采取率下降。同时钻头底唇面内出刃设计稍微大些,这样岩心比内管小些,岩心与内管壁有一定间隙,减小岩心上行摩擦阻力。

(3)提高岩心卡取能力。当遇到破碎、软弱易冲蚀等复杂地层时,采用绳索取心工艺时卡簧实际上已经失去作用,无法成功卡住岩心,造成岩心脱落,岩心采取率低。因此,需要找到一种具有更高卡取岩心能力的物件来替换卡簧和卡簧座。爪簧具有倒刺状弹性抓手,单向性较好,钻进时岩心正常进入内管,而提钻时弹性抓手受压收缩,紧紧卡住岩心,岩心不会脱落或者仅有少部分脱落。在软硬互层地层可以采用爪簧代替卡簧,提高岩心采取率。

综合以上3点,把爪簧与侧喷钻头结合并应用于绳索取心钻进,对于软弱、破碎等复杂地层能更有效地卡取、保护岩心,能够有效提高软硬互层地层的岩心采取率^[15]。

1.3.3 钻头设计研制

针对破碎、弱胶结松散层岩心采取率低的3个影响因素,结合超前侧喷钻头、侧喷钻头、底喷钻头三者之间的优缺点,本钻头在底喷钻头的基础上进行优化设计,钻头钢体采用变径结构(如图1所示),外层对称布设4块硬质合金用于保径,底唇面布设4块硬质合金用于切削,内侧对称布设8块小硬质合金用于切削和保径。平行刚体对称设置8个水口,在水口根部将刚体外侧切开呈槽,露出水口,能够大大减小泥浆流速,泥浆经水口流出时大部分沿钻杆与孔壁之间间隙上返,向下冲刷能力减弱却能满足冷却钻头的需要。

1.3.4 钻进参数优化

在钻进至软岩的时候出现钻速明显增快,这时

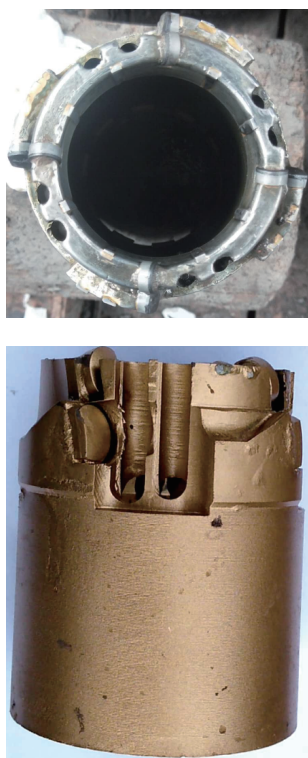


图1 钻头实物

Fig.1 Picture of the drill bit

候需要对钻压进行调整,可采取轻压或者吊打,压力过大会造成硬质岩心挤压软岩心,导致软岩心向四周崩散、丢失;泵量调至较小,能够满足冷却钻头即可,大泵量对软弱岩心会造成较大的冲刷,尤其是钻头外侧周围冲刷更为严重,导致钻头周围出现更多空间,增加岩心往周围崩散的概率。宜采取低转速钻进,减少因泵量减小造成烧钻事故的可能性。

1.4 粉砂质夹层取心技术

1.4.1 影响因素分析

因珊瑚礁格架因素,部分珊瑚或者海底细砂渗入溶洞空间,未经上覆地层压实固结,由重力作用自然沉降,其结构十分软弱、松散。由于其完全松散和颗粒极小,取心钻具很难将其卡死,提钻过程中因重力作用而掉落。

1.4.2 取心原理

通过常规绳索取心钻具卡簧无法将岩心抱死,上提内管总成过程中岩心自然掉落;采用爪簧替换卡簧具有一定的效果,但是由于爪簧中间空洞和抓手间的缝隙,上提内管总成时也会造成岩心掉落。采用半合管钻具钻进也会因为上提钻具时无法卡

死岩心而掉落。当一个回次钻进结束,所有岩心已经进入钻具,这并不能说明已经取心成功,还要进行关键的一步:岩心的烧结卡取。其方法是在还剩下0.3 m左右时,停止泥浆泵工作,低速慢转,适当增加钻压,无水干钻3~5 min,然后提出钻具。针对珊瑚礁地层含砂量大不宜提钻更换钻具的缺点,设计了一套小口径无水干钻钻具,通过穿越绳索取心钻杆钻取粉砂质弱胶结松散层的取心工艺^[16]。

1.4.3 小口径无水干钻钻具设计

因珊瑚礁地层结构较为复杂,为保守起见,采用较大口径的绳索取心钻具,当出现极软弱地层时,采用小口径钻具经钻杆内部穿过钻头,超前采取软弱地层岩心。

该钻具的关键是在取心管上方加一个特殊接头,其组成如图2所示。在接头中部焊接一个圆形漏斗状堵水装置,中间设置水流通道和堵水钢球,接头外侧钻几个排水孔用于排水。

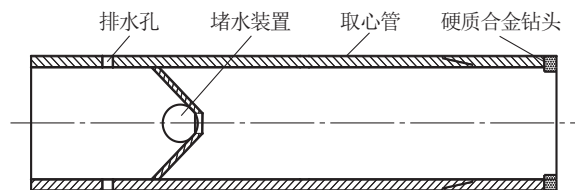


图2 无水干钻钻具结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of the dry drilling tool

在提钻取心过程中,堵水装置的钢球因重力和压力作用向下运动,堵住水流通道,确保岩心不会受到管内水柱压力而造成脱落。排水孔在上提钻具过程中具有将管内水排到管外的作用,确保施工人员在拧卸钻杆过程中不会受到管内水流喷射污染,工作更加安全卫生。

钻具组成为:Ø71 mm硬质合金钻头+Ø71 mm取心管+Ø71 mm无水干钻接头+Ø50 mm变径接头+Ø50 mm钻杆。

在钻进过程中,当出现钻速明显过快时,意味着进入极软弱地层,需要上提内管取出岩心,观察岩心形状,判断是否需要更换取心工艺。如果必要,采用小口径无水干钻钻具下入,超前采取岩心。当穿过软弱层后更换效率更高的绳索取心工艺正常钻进。

1.4.4 钻头设计

因小口径钻具需要穿过绳索取心钻杆和钻头,

要求其口径不能大于钻头内径,否则无法穿过钻头,直径至少比绳索取心钻头小10 mm,这样可以确保小径钻具能够顺利穿越绳索取心钻头,同时钻头外侧硬质合金必须与胎体平行或者向内一定距离,确保在施工结束后上提钻具不会与绳索取心钻头发生卡钻事故。钻头可以承受一定微烧钻,将钻头下部岩心烧结卡死,才能确保上提时不会掉落。

1.5 掏砂钻具设计研制

1.5.1 设计原理

在钻进过程中,由于更换钻头提大钻或者上提钻具等待换班等操作中,大量砂砾进入孔底,造成内管无法下到位或者取不出岩心,甚至卡内管的情况。需要将孔底砂砾排出或者取出,确保孔底干净,取得新鲜岩心。因珊瑚礁地层含砂量非常大,采用泥浆排出的可能性很小,最为有效的办法是采用绳索取心钻杆护壁,采用小口径掏砂钻具将钻杆内部砂砾分几次掏完,实现正常钻进。为此,专门设计了掏砂钻具(如图3所示)。

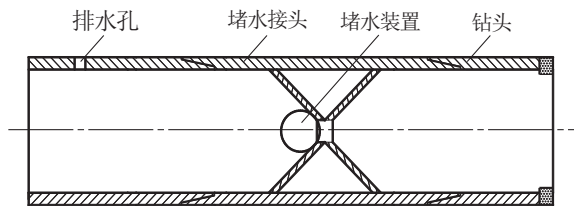


图3 掏砂钻具结构示意图

Fig.3 Schematic diagram of the sand bailing drilling tool

堵水装置由方向相反的两个漏斗形铁质部件和一个钢球组成,漏斗形铁质部件与接头焊接。在掏砂筒上部开一个排水孔,孔外裹上双层纱布,用于将管内水排到管外。

钻具组成为: $\varnothing 71$ mm硬质合金钻头+ $\varnothing 71$ mm掏砂管+ $\varnothing 50$ mm排水变径接头+ $\varnothing 50$ mm钻杆。

1.5.2 掏砂工艺

(1)开动钻机转动钻杆,将孔底沉砂尽量搅动,悬浮。

(2)在掏砂的过程中,不断上提下放掏砂钻具。搅动孔底沉砂,使其悬浮在水中进入掏砂钻具内。

1.6 破碎掏砂钻具设计

在出现孔壁垮塌等情况时,孔底掉块和沉砂过多,无法采用泥浆排除造成无法正常钻进时采用破

碎掏砂钻具清理孔底,结构示意图如图4所示。其原理为在钻具底部采用厚5 mm的钢板并刻十字型凹槽镶嵌硬质合金,钻具转动时将掉渣掉块碾碎,通过进砂窗口进入掏砂钻具内,钻具长度一般为6 m左右,通过2~3次打捞,能够有效减少沉砂对钻进造成的不利影响。

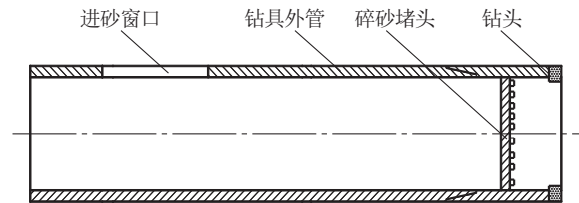


图4 破碎掏砂钻具结构示意图

Fig.4 Schematic diagram of the sand breaking and bailing drilling tool

2 工程应用与效果分析

2.1 项目概述

本项目分两个岛进行施工,每个岛设计钻孔9个,孔深均为200 m,岩心采取率要求75%以上。通过钻探取心技术手段,获得珊瑚礁岩心及上部吹填体岩样,了解其岩土力学特性。

2.2 钻探设备优选

(1)从地形地势方面考虑:本项目施工区域地势平坦开阔,使用履带式钻机可以减少搬迁劳动强度,提高工作效率。

(2)从地层条件方面考虑:岛礁上部为吹填砂砾层,需要采取跟管钻进技术成孔和取心,必须选择具有大行程、易加杆的动力头钻机,以便于快速跟管钻进,钻穿砂砾层和弱胶结地层。

(3)从事故处理方面考虑:钻进过程中容易出现沉砂埋钻、掉块卡钻事故,钻探设备必须具有较大的起拔动力。

综合以上3点,本项目最终选择了CSD1800X型履带式全液动力钻机进场施工,其 $\varnothing 114$ mm口径能够钻进500 m,动力头行程超过3 m,完全满足本项目的需求。

2.3 钻孔结构

2.3.1 设计依据

(1)根据我单位已完成钻孔施工经验,钻进过程中不可预见的因素较多,施钻过程中地质情况可能与预计有较大差别,易漏、易塌、易斜等复杂情况

可能出现,因此,应充分考虑到地层的变化,采取保守原则进行施工,即最大限度使用较大口径钻具完成上部钻孔,必须采取换径时再换小一级口径的钻具施工。

(2) 钻孔开孔就是人工吹填层,地层不稳定,松散、漏失、易坍塌,必须用表层套管封隔上部不稳定易垮层段,建立孔口。

(3) 进入较为稳定的基岩前,必须使用大于 $\Phi 114$ mm口径的钻具进行施工,确保基岩段使用 $\Phi 114$ mm绳索取心完成。

2.3.2 成孔结构

在施工过程中基本都是四开成孔,部分覆盖层较浅者使用三开成孔,详细钻孔结构见表2。

表2 实际钻孔结构

Table 2 Actual borehole structure

孔深/m	钻头直径/mm	备注
0~23	219	$\Phi 219$ mm套管
23~27	168	$\Phi 168$ mm套管
27~30	146	$\Phi 146$ mm套管
30~200	122	S114绳索取心钻具裸眼完井

2.4 取心钻进工艺

因我国在南海岛礁的部分地质资料尚属机密,前期钻孔设计没有准确的地质设计指导,钻孔施工依靠探究摸索,部分地层属首次见到,施工时遇到问题现场针对实际情况进行解决,既有走弯路的情况,也有新经验积累。根据钻孔成果资料,针对不同地层所使用的钻探取心方法进行详细的介绍。

2.4.1 砂砾层取心钻进

在0~23 m段为砂砾层,地层松散无连接或轻微胶结(如图5所示)。为保证岩心采取率不能使用泥浆进行钻进,因此在开孔时选择使用 $\Phi 219$ mm钻具,采用单管干钻进行取心钻进,当向下钻进速度缓慢或者无法向下钻进时提钻取心。由于没有泥浆的冷却润滑和护壁,加之 $\Phi 219$ mm钻具口径大、摩擦阻力大、地层极易垮塌,钻进3 m左右用 $\Phi 219$ mm套管进行护壁封隔,确保井眼形成。

当使用 $\Phi 219$ mm套管护壁后就必须换小一级口径的 $\Phi 168$ mm钻具进行钻进,在钻穿 $\Phi 219$ mm套管1 m左右后就使用 $\Phi 219$ mm套管进行跟管钻进,确保井眼的存在。使用 $\Phi 219$ mm跟管、 $\Phi 168$ mm取



图5 吹填砂砾层岩心

Fig.5 Cores from the dredge and filled sand gravel layer

心,两套钻具依次钻进,直至 $\Phi 219$ mm套管跟至礁灰岩上部较为稳定的地层为止。 $\Phi 219$ mm跟管完成后, $\Phi 168$ mm钻具继续往下钻进4 m左右,换 $\Phi 168$ mm跟管钻头扫孔下 $\Phi 168$ mm套管。

由于 $\Phi 168$ mm套管与S114钻杆空隙比较大,在往下钻进的过程中,S114钻杆晃动剧烈,不利于岩心采取率的提高,因此现场研究决定增加使用 $\Phi 146$ mm套管,为确保 $\Phi 146$ mm套管的稳定,在下 $\Phi 168$ mm套管完成以后,使用 $\Phi 146$ mm钻具往下钻进3 m左右再下入 $\Phi 146$ mm套管。经过3套钻具的联合使用,最终完成了砂砾无胶结地层的取心钻进。

2.4.2 礁灰岩取心钻进

礁灰岩地层较为完整(如图6所示),而且具有一定强度,主要采取绳索取心钻进技术进行施工,当出现孔底沉砂较多,无法有效取得新鲜岩心时,采用小口径掏砂钻具穿过钻孔进行掏砂,掏砂效果良好。因礁灰岩孔段较为复杂而可钻性在IV级以内,对钻头磨损较小,尽量使用优质耐磨钻头施工,减少更换钻头提钻次数,减少钻孔垮塌的可能性。在出现垮塌较为严重的情况下,可以使用破碎掏砂一体式钻具清理孔底,外层绳索取心钻具扫孔钻进,当到达原孔深时,重点掏砂,通过掏2~3次后孔底干净,可以进行正常钻进施工。

钻具组合为: $\Phi 122$ mm绳索取心钻具+ $\Phi 114$ mm绳索取心钻杆; $\Phi 89$ mm掏砂钻具+ $\Phi 50$ mm钻杆; $\Phi 71$ mm掏砂钻具+ $\Phi 50$ mm钻杆。

2.4.3 软弱互层取心钻进

软弱互层主要指礁灰岩和粉砂岩依次出现,钻出岩心样品如图7所示,是珊瑚礁钻探取心工作中施工难度最大的孔段,因无法准确判断是否进入软弱层还是珊瑚格架空洞,往往会造成部分岩心丢



图6 完整礁灰岩岩样

Fig.6 Complete rock samples from reef limestone

失。现场采用侧喷钻头+爪簧+绳索取心钻进技术进行施工,结合钻进参数优化,使用参数如表3所示,取心效果良好。

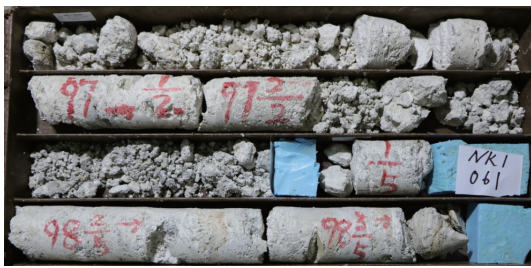


图7 软硬互层岩心样品

Fig.7 Core samples from the soft and hard alternate beds

表3 软弱互层地层钻进参数
Table 3 Drilling parameters for the soft and hard alternate beds

取心方式	钻压/ kN	钻速/ (r·min ⁻¹)	泵量/ (L·min ⁻¹)
Ø122 mm 绳索取心	15~20	200~350	160

钻具组合为:Ø122 mm 绳索取心钻具+Ø114 mm 绳索取心钻杆;Ø89 mm 掏砂钻具+Ø50 mm 钻杆;Ø71 mm 掏砂钻具+Ø50 mm 钻杆。

2.4.4 粉砂层取心钻进

粉砂质层胶结强度很弱,受泥浆冲刷极易丢失,取出岩心后手捏呈粉状,放在岩心箱里隔天就会散成白色粉末(如图8所示)。该类地层无压实固结,使用绳索取心工艺无法获取岩心,或者取心量极少。

针对粉砂层段取心难题,现场研制了小口径无水干钻技术,对粉砂层段取心效果良好。外层绳索取心钻具采用Ø122 mm 钻头,Ø114 mm 钻杆,钻杆内径为 100 mm,Ø71 mm 无水干钻钻具+Ø50 mm



图8 弱胶结粉砂质岩心

Fig.8 Weakly cemented silt core

钻杆。

2.5 取心成果

最初施工的 ZK501 和 ZK502 孔由于地层不熟和取心方法不当,岩心采取率明显不足,经过 2 个钻孔的不断摸索,针对不同地层采取有针对性的取心方法,岩心采取率得到了大幅度提高,完全满足了地质和工程的需求,详细的各钻孔岩心采取率如表 4 所示。

表4 某岛礁钻孔岩心采取率统计
Table 4 Core recovery at an island reef

施工年份	钻孔编号	钻孔深度/ m	岩心长度/ m	岩心采取率/ %
2016	ZK501	200.61	139.25	69.41
	ZK502	200.58	140.46	70.03
	ZK503	200.88	169.57	84.41
	ZK504	200.08	179.84	89.88
	ZK505	200.88	151.60	75.47
	ZK506	200.18	165.51	82.68
	ZK507	200.58	156.80	91.52
	ZK508	200.58	183.57	92.70
	ZK509	200.18	185.65	92.74
2017	ZK701	200.18	185.48	92.66
	ZK702	200.68	194.87	97.10
	ZK703	200.58	188.07	93.76
	ZK704	200.48	183.37	91.47
	ZK705	200.88	175.68	87.46
	ZK706	200.58	191.67	95.56
	ZK707	200.18	154.69	77.28
	ZK708	200.68	166.90	83.17
	ZK709	200.40	189.98	94.80

3 存在问题及处理措施

根据钻孔实钻资料,本项目钻孔岩心采取率普遍高于70%,但是在钻进过程中仍有少量岩心无法取出,造成岩心采取率低于80%的情况。

3.1 原因分析

据分析岩心综合采取率低主要是因为礁灰岩地层结构具有如下特点造成:

(1)珊瑚礁地层破碎、孔洞发育,地层具有空间格架的特点,岩石量本来就少;

(2)地层岩石具有强度低、易脆碎等特点;

(3)较多空洞使得断肢容易向下方掉落,不易进入钻具内部;

(4)软硬互层钻进时硬岩不可避免地要将软岩往外推,造成部分软岩无法进入岩心管;

(5)在钻进过程中,当出现岩层明显变化时,不能够及时调整钻进工艺,造成小部分孔段岩心的缺失,无法达到百分之百的取心效果。

3.2 处理措施

(1)为保证岩心采取率,绳索取心钻具采取避冲刷(侧喷钻头)、避震、避磨,短回次、勤提钻、慢提升等多种措施综合使用。

(2)采取无水干钻取心钻进时尽量短回次,避免弱胶结岩心磨损,提钻前轻压慢磨3~5 min,保证钻头处岩心略有固结,提钻时岩心不易掉落。

4 结论

针对不同岩层采用多种取心工艺相结合的钻进方法,大大提高了岩心采取率,达到地质要求。

(1)“长行程岩心钻机+跟管钻进”施工工艺是珊瑚岛礁吹填层成孔和取心的有效技术工艺,具有岩心采取率高、护壁成孔可靠等优点。

(2)礁灰岩地层应采用优质钻头,减少提大钻的次数,当孔内出现较多沉砂又无法排除时,可以采用掏砂钻具将孔底沉砂掏尽后再继续钻进。

(3)粉砂质孔段采取小口径无水干钻取心技术时,应采用低钻压、低转速进行钻进,防止软弱岩心被推掉或者磨掉,尽量减小回次进尺,使其控制在1.5 m以内,提钻前在同一个深度轻压慢钻3~5 min,在钻头处岩心略有固结时提取才能确保岩心不掉落。

(4)采用小口径钻具穿过绳索取心钻杆时,要求小口径钻具的外径小于绳索取心钻具内管外径,

这样才能成功穿过绳索取心钻具,确保后续工作的顺利进行。

参考文献(References):

- [1] 程新生,刘星,李书轮.珊瑚岛礁跨海大桥的勘察实践及工程意义[J].水运工程,2018(5):175-179.
CHENG Xinsheng, LIU Xing, LI Shulun. Investigation of cross-sea bridge for atoll arnd engineering signficiance [J]. Port & Waterway Engineering, 2018(5):175-179.
- [2] 崔永圣.珊瑚岛礁岩土工程特性研究[J].工程勘察,2014,42(9):40-44.
CUI Yongsheng. Study on geotechnical characteristics of coral reef [J]. Geotechnical Investigation & Survey, 2014, 42(9):40-44.
- [3] 黄云,胡其高,张硕云.吹填岛礁地基稳定性问题研究综述[C]//第27届全国结构工程学术会议论文集(第II册).2018:12-15.
HUANG Yun, HU Qigao, ZHANG Shuoyun. Research on stability of filling sea islands foundation [C]//Proceedings of the 27th National Structural Engineering Conference (Volume II). 2018:12-15.
- [4] 汪稔,朱长歧,孟庆山.我国西沙群岛珊瑚礁科学钻探工程——千米深钻工程实录[C]//中国土木工程学会第十二届土力学及岩土工程学术大会论文集.中国土木工程学会,2015:1-2.
WANG Ren, ZHU Changqi, MENG Qingshan. Records of scientific drilling projects on coral reefs in Xisha Islands of China——Deep drilling projects in kilometers [C]//Special for the 12th Chinese Society of Civil Engineering Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Academy Conference. Chinese Society of Civil Engineering, 2015:1-2.
- [5] 王建平,马林建.岛礁工程长期安全保障理论与技术研究进展[J].防护工程,2019,41(3):71-76.
WANG Jianping, MA Linjian. Research progress of long-term safety theory and technology for reef engineering [J]. Protective Engineering, 2019,41(3):71-76.
- [6] 王哲,俞演名,翁凯文,等.珊瑚礁钙质砂工程力学特性研究综述[J].科技通报,2019,35(7):7-9.
WANG Zhe, YU Yanming, WENG Kaiwen, et al. A review of mechanical properties of coral reef calcareous sand [J]. Bulletin of Science and Technology, 2019,35(7):7-9.
- [7] 袁征,余克服,王英辉,等.珊瑚礁岩土的工程地质特性研究进展[J].热带地理,2016,36(1):88-93.
YUAN Zheng, YU Kefu, WANG Yinghui, et al. Research progress in the engineering geological characteristics of coral reefs [J]. Tropical Geography, 2016,36(1):88-93.
- [8] 赵焕庭,王丽荣,袁家义.南海诸岛自然科学调查研究概述——纪念中国政府收复南海诸岛70周年(2)[J].热带地理,2017,37(5):650-658.
ZHAO Huanting, WANG Lirong, YUAN Jiayi. Scientific in-

- vestigations and research on the South China Sea Islands: The 70th anniversary of recovery of the South China Sea Islands (2) [J]. *Tropical Geography*, 2017, 37(5): 650-658.
- [9] 李弘毅, 刘永学, 张思宇, 等. 地理信息技术支撑下的南海岛礁资源环境研究进展与展望[J]. *地理科学进展*, 2018, 37(11): 1454-1462.
- LI Hongyi, LIU Yongxue, ZHANG Siyu, et al. Progress and prospects on coral reefs research in the South China Sea based on the application of geographic information technologies [J]. *Progress in Geography*, 2018, 37(11): 1454-1462.
- [10] 汪稔, 吴文娟. 珊瑚礁岩土工程地质的探索与研究——从事珊瑚礁研究30年[J]. *工程地质学报*, 2019, 27(1): 202-207.
- WANG Ren, WU Wenjuan. Exploration and research on engineering geological properties of coral reefs—Engaged in coral reef research for 30 years [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2019, 27(1): 202-207.
- [11] 宋继伟, 蒋国盛, 李勇. 南海珊瑚礁本底调查“琛科一井”钻探工艺[J]. *地质科技情报*, 2017, 36(5): 232-237.
- SONG Jiwei, JIANG Guosheng, LI Yong. Drilling technologies of “Chenke-1 Well” for the background value survey of coral reef in South China Sea [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2017, 36(5): 232-237.
- [12] 沈星. 南海西沙石岛西科1井岩心矿物学特征及成岩作用分析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014: 1-7.
- SHEN Xing. Mineralogical features and diagenesis of carbonate rocks in the core SK-1 on Shidao Island of Xisha Archipelago, South China Sea [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014: 1-7.
- [13] 汪进超, 王川婴, 朱长歧, 等. 数字全景钻孔摄像系统在西沙琛航岛地质调查中的应用[J]. *三峡大学学报(自然科学版)*, 2014, 35(5): 69-71.
- WANG Jinchao, WANG Chuanying, ZHU Changqi, et al. Application of digital borehole panoramic camera system to Chenhang Island geological investigation [J]. *Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences)*, 2014, 35(5): 69-71.
- [14] 和鹏飞, 李振坤, 刘杰, 等. 渤中凹陷太古界潜山破碎地层取心技术[J]. *石油钻采工艺*, 2018, 40(S1): 116-117.
- HE Pengfei, LI Zhenkun, LIU Jie, et al. Coring technology of the Archean buried-hill fractured strata in Bozhong Sag [J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2018, 40(S1): 116-117.
- [15] 张绍和, 吴晶晶, 苏宏岸, 等. 超前侧喷单动双管钻具在破碎地层中的应用试验[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2013, 40(S1): 96-98.
- ZHANG Shaohe, WU Jingjing, SU Hongan, et al. Application test of advanced side-jet single-acting double-pipe drilling tool in broken formations [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2013, 40(S1): 96-98.
- [16] 石绍云, 房勇, 邓伟, 等. 松散砂岩取心技术的应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2018, 45(8): 34-38.
- SHI Shaoyun, FANG Yong, DENG Wei, et al. Application of coring technology in the loose sandstone [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2018, 45(8): 34-38.

(编辑 周红军)