

熊亮, 谢文卫, 于彦江, 等. 大洋钻探随钻扩孔下套管关键技术[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(3): 74-80.

大洋钻探随钻扩孔下套管关键技术

熊亮¹, 谢文卫^{1,2}, 于彦江¹, 于浩雨¹

(1 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广州 517000; 2 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000)

摘要:大洋钻探通常采用无隔水管开路钻进, 护壁方式以下套管为主。常规下套管方法作业程序复杂, 施工周期长, 常因钻孔缩径、坍塌导致套管下不到位, 给安全施工带来极大挑战。笔者对大洋钻探随钻扩孔下套管关键技术进行了详细梳理, 该技术利用配套专用器具, 成功实现扩孔钻进和下套管作业“合二为一”, 简化了作业程序, 显著缩短施工周期, 解决了大洋钻探开路钻进复杂地层下套管作业难度大、风险高等技术难题, 为大洋钻探深部取心提供了安全保障。

关键词:大洋钻探; 随钻扩孔下套管; 套管下扩孔器; 液动潜孔锤; 液压张敛式扩孔器

中图分类号: P634.5; P714 文献标识码: A DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.053

0 引言

大洋钻探通常采用无隔水管开路钻进施工^[1] (占大洋钻探总进尺的 98% 以上), 在松散无固结地层(如淤泥、砂卵石、流砂、坡积)钻进, 常因孔壁失稳引发塌孔、埋钻、卡钻等孔内事故, 由于深海钻探事故处理难度极大, 加上日费高昂, 遇到复杂事故处理周期长, 有时钻孔不得不作报废处理。由于大洋钻探开路钻进泥浆消耗量较大, 综合考虑施工成本通常采用海水钻进, 要实现深部取心目标, 下套管无疑是最理想的护壁方式。

常规下套管作业风险在于: 从钻成井眼到下入套管漫长过程中, 开放的井眼完全依靠海水或泥浆维持井壁稳定。随着地层缩径、坍塌, 长达几百米甚至上千米的套管常常无法顺利下到预定位置, 这种风险在松散无固结及破碎带等复杂地层中尤为突出^[2]。为解决复杂地层套管下入难题, 深水油气行业开发了一种导管喷射法, 即表层导管随喷射钻

具一同下入(图 1)。常见的表层导管外径较大, 有 36、30 in 等系列, 该方法无需固井, 仅依靠地层自身的摩擦阻力来保持导管及井口稳定。要使表层导管具备足够的承载力, 为油气井庞大的水下设施提供支撑, 通常需要等候 12~24 h 才能继续进行下一步作业, 且导管喷射法仅适用于表层松软地层, 应用深度也只有几十米^[3-7]。

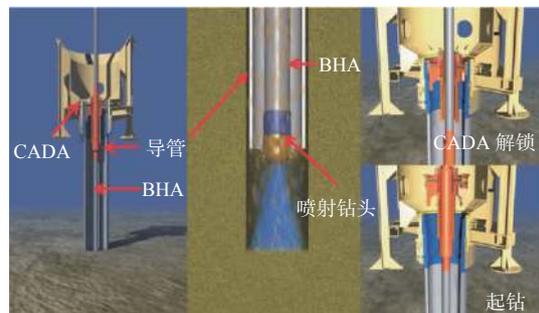


图 1 喷射法下入表层导管示意图

Fig.1 Schematic diagram of the jetting method into the surface conductor

针对复杂地层下套管作业难度大、风险高等问题, 大洋钻探工程技术人员研发了一种称为“drill in casing”(以下译作随钻扩孔下套管)的技术, 该技术利用螺杆马达、液动潜孔锤、液压张敛式扩孔器及套管送入工具等专用配套器具, 实现扩孔钻进和下套管作业“合二为一”, 简化了作业程序, 显著缩短施工周期, 解决了大洋钻探开路钻进复杂地层下套管作业难度大、风险高等技术难题, 为实现大洋钻探深部取心目标提供了安全保障。

收稿日期: 2020-05-15

资助项目: 中国地质调查局项目“深海钻探技术与工程支撑(广州海洋地质调查局)”(DD20190584); 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)重大专项团队项目“天然气水合物钻采船单双井及大洋钻探技术研究”(GML2019ZD0504); 2019 年省级促进经济发展专项资金(海洋经济发展用途)项目“广东天然气水合物工程技术研发中心”(GDOE[2019]A39)

作者简介: 熊亮(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事大洋钻探技术研究工作. E-mail: 36.8du@126.com

1 随钻扩孔下套管技术原理

随钻扩孔下套管技术最初设计用于下 11-3/4 in 套管, 后期为下 10-3/4 in 套管做了优化改进。目前随钻扩孔下套管技术主要用于安放重入锥以便实现钻具重入钻孔^[2](图 2)。

随钻扩孔下套管主要作业流程: 先在钻台上组装好设计长度的套管, 之后通过套管下入一套扩孔钻具组合, 该钻具组合自下至上依次为: 领眼(导向)钻头、套管下扩孔器、螺杆马达、钻铤及钻杆等, 钻具组合上部与套管送入工具、钻杆连接。作业时利用螺杆马达驱动领眼钻头钻进, 与此同时套管下扩孔器完成扩孔, 当钻进(扩孔)至设计深度后, 通过投放专用工具使套管送入工具解锁, 钻柱与套管解脱, 将套管留在预定位置后起钻。该技术具有以下优点: ①将扩孔钻进和下套管作业“合二为一”, 简化了作业程序, 缩短了施工周期, 提高了施工效率; ②避免了常规下套管方法从钻成井眼到下套管过程中井眼长期裸露引起的孔内事故; ③由于套管随扩孔钻具同步下入, 确保了套管能顺利下到设计深度, 为后续作业提供了安全保障; ④可针对不同地层优选领眼(导向)钻头和套管下扩孔器, 理论上该方法套管下入深度不受地层限制。

2 配套施工器具

随钻扩孔下套管与常规下套管工艺不同, 需配套专用施工器具, 主要包括: 螺杆马达、液压张敛式扩孔器、双心扩孔器及套管送入工具等。针对无沉积层或沉积层极薄的大洋中脊地区, 开孔钻进难度较大, 通常采用液动潜孔锤钻进。

2.1 套管下扩孔器

套管下扩孔器连接于领眼钻头之上, 随钻杆柱通过套管内部下入, 依靠螺杆马达驱动回转扩孔, 扩出的孔径比套管外径大, 满足套管顺利下入需求(如图 2 所示)。为满足深海超长段(长达数百米甚至上千米)一趟钻扩孔钻进需求, 套管下扩孔器需满足机构可靠, 地层适应性广, 扩孔质量优, 套管通过性好等特点。

大洋钻探常见的套管下扩孔器主要有液压张敛式扩孔器与双心扩孔器 2 种, 针对松软沉积层选择液压张敛式扩孔器即可, 钻进坚硬沉积层或基

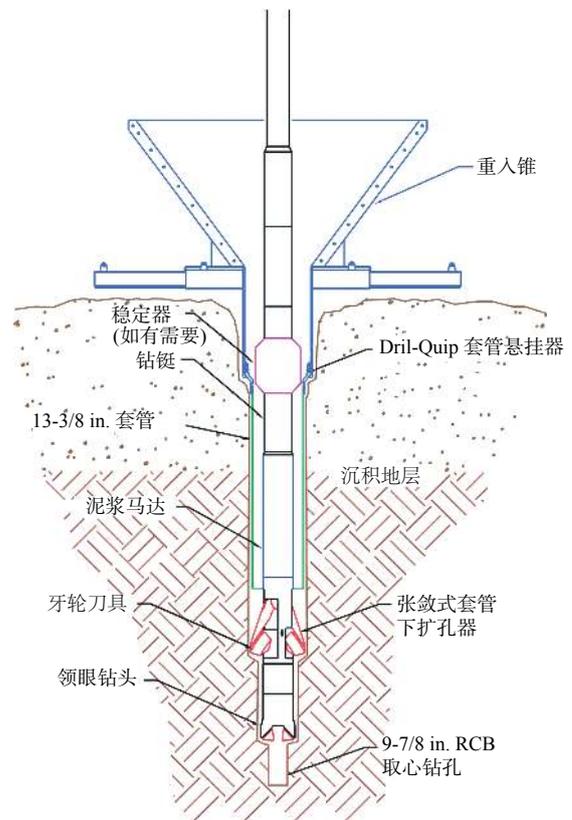


图 2 随钻扩孔下套管原理图

Fig.2 Schematic diagram of the drill in casing

岩时优选结构强度更高, 使用寿命更长的双心扩孔器。

(1) 液压张敛式扩孔器

液压张敛式扩孔器如图 3 所示, 下钻前, 预先调整扩孔器张敛臂至所需直径, 扩孔之前, 在水力作用下使装有牙轮刀具的张敛臂张开。扩孔到位后停泵, 活塞在弹簧作用下复位, 张敛臂收回, 将扩孔钻具从套管中提出, 完成随钻扩孔下套管作业^[8]。

表 1 给出了 HOC 公司 (Hole Opener Corporation) 典型的液压张敛式扩孔器规格及推荐钻进参数。由表 1 可知, 同一型号的液压张敛式扩孔器, 仅需适当调节扩孔器张敛臂参数, 即可扩出不同直径的钻孔, 满足不同规格套管下入需要。

(2) 双心扩孔器

双心扩孔器如图 4 所示, 该扩孔器的主要特点是: 作业时领眼钻头需保持扩孔器本体居于钻孔, 这样上扩孔器通过偏心回转实现扩孔。位于下部的整体翼式稳定器与领眼钻头是双心扩孔器的重要组成部分。翼式稳定器吸收偏心摆动引起的侧向载荷可减少领眼钻头的磨损。由于单锥摆动式领眼钻头采用更大的轴承, 因而结构更加可靠^[8]。

由于双心扩孔器扩出钻孔直径是一定的, 因此,

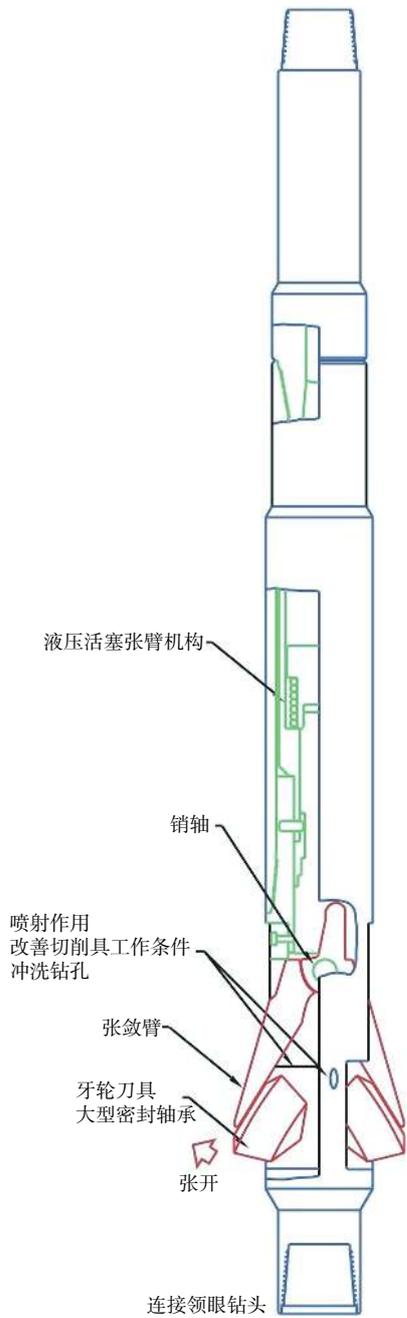


图3 液压张敛式扩孔器示意图

Fig.3 Schematic diagram of the hydraulic underreamer

表1 HOC公司液压张敛式扩孔器型号及规格

Table 1 HOC underreamer models and specifications

HOC张敛式扩孔器型号	扩孔器本体尺寸/in	套管外径/in	扩孔尺寸/in	钻压/kN	转速/rpm
DTU 1175	11-3/4	13-3/8, 16, 20	11-3/4~22	0~88.9	70~110
DTU 950	9-1/2	10-3/4	9-1/2~14-3/4	0~66.7	70~110

根据套管尺寸的不同需要选用不同的扩孔器。表2给出了DDI公司(全称: Downhole Design, Inc.)典型的双心扩孔器型号及推荐钻进参数。



图4 双心扩孔器

Fig.4 Bi-center reamer

表2 DDI公司双心扩孔器型号及规格

Table 2 DDI bi-center reamer models and specifications

DDI双心扩孔器型号	通过尺寸/in	扩孔尺寸/in	最大钻压/kN	转速/rpm	预计使用寿命/h	预计机械钻速/(m/h)
B#182×215	18.25	21.5	444.5	50~60	60~80	6.1~0.61
B#145×185	14.5	18.5	311.2	60~70	60~80	9.1~0.61
B#122×146	12.25	14.625	177.8	60~70	60~80	7.6~0.61

2.2 螺杆马达

由于套管本体不能高速回转,因此需要使用螺杆马达作为动力钻具(图5),通过流体压力来驱动套管下扩孔器及领眼钻头实现扩孔钻进。随钻扩孔下套管作业时,需优选喷嘴尺寸、泥浆压力及泵量等参数,在坚硬和破碎岩石中钻进,为保证扩孔器使用寿命建议采用低转速和高扭矩^[8]。

IODP采用Drilex D950SSHF型号的螺杆马达,该型号螺杆马达具有低转速、高流量、大扭矩特点,满载时底部压降约500 psi。

2.3 液动潜孔锤

液动潜孔锤利用高压水(或泥浆)作动力介质实现冲击钻进。其基本动作机构是内部往复活塞(图6),在上冲程中,通过水压来降速和限制活塞上行,在下冲程中,利用高压水驱动活塞下行,直到它撞击到钻头顶部,高能量的冲击功通过钻头体传递

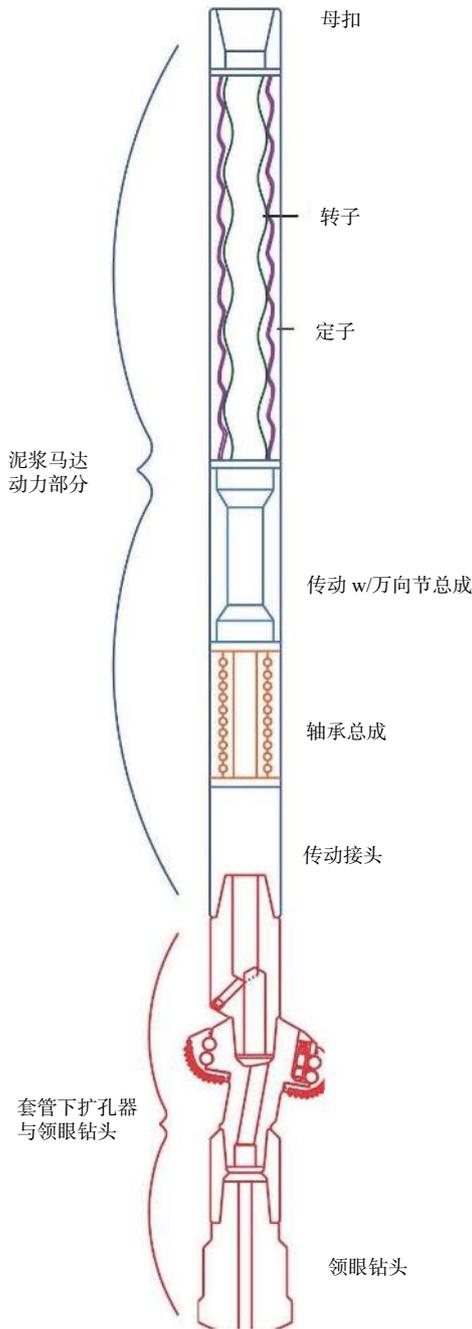


图 5 带双心扩孔器及领眼钻头的螺杆马达示意图

Fig.5 Schematic diagram of the mud motor with a bi-center reamer and pilot bit

到半球形硬质合金镶齿上, 从而在岩石上产生极高的冲击点载荷实现高效碎岩。

液动潜孔锤钻头使用半球形硬质合金镶齿作为切削具, 通过冲击功形式在极高的点载荷作用下破碎岩石实现扩孔钻进。钻头以约 20 rpm 的转速缓慢回转, 以便获得最佳的冲击间隔。在钻进过程中, 需要使用套管下扩孔钻头扩出足够大的钻孔以便套管跟随钻头同步下入。套管下扩孔钻头被设计成可收缩到足够小的外径, 一旦套管下到位, 就

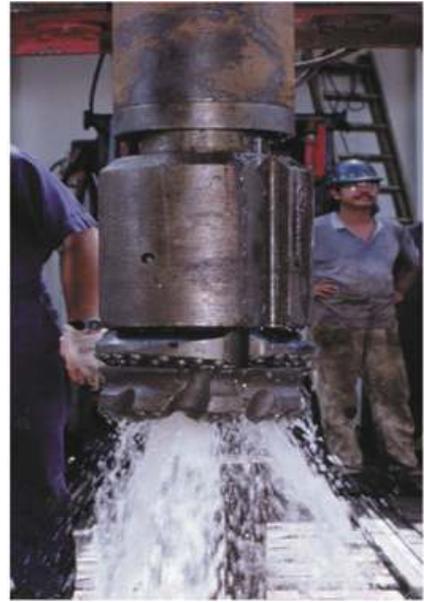
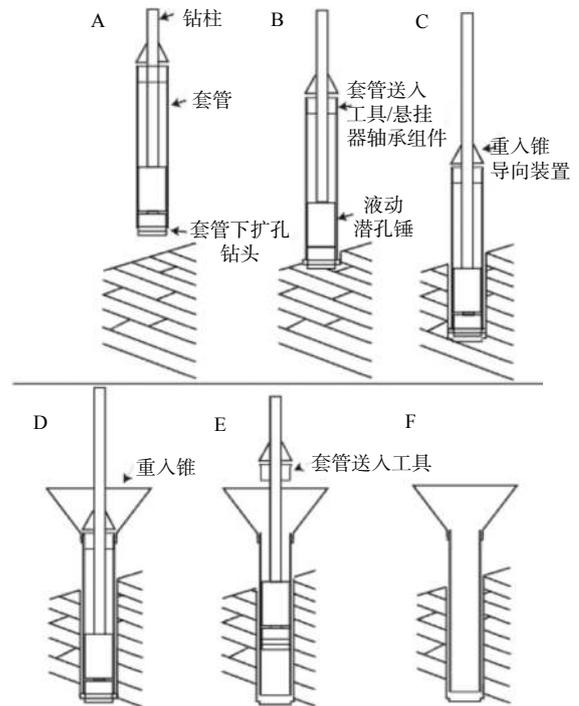


图 6 SDS 液动锤钻具

Fig.6 SDS water hammer

可以通过套管向上提出, 液动潜孔锤随钻扩孔下套管作业流程见图 7 所示。



A.准备就位; B.开孔钻进; C.循环泥浆; D.安放自由落体重入锥; E.收回钻头并解锁套管送入工具; F.回收液动锤钻具

图 7 液动潜孔锤随钻扩孔下套管作业流程图

Fig.7 Schematic diagram of water hammer drill-in casing system

2.4 套管送入工具

将套管送入到预定深度的专用工具称为套管

送入工具,该工具有特殊动作机构,能实现与套管的锁紧与解锁,下套管时与套管锁定,一旦套管下到预定深度以后,触发特殊动作机构使钻具与套管解锁(图8)。通常套管送入工具与套管悬挂器配套,由套管悬挂器供应商提供,也可定制。IODP当前广泛应用的套管送入工具被称为Cam Actuated-Drill Ahead(CADA)工具,常用的CADA工具可与20、16和13-3/8 in套管悬挂器配套。下10-3/4 in套管采用的是另外一种送入工具,该工具不具备解锁后继续钻进的能力^[9]。



图8 套管送入工具

Fig.8 Casing running tool

3 IODP367 航次随钻扩孔下套管技术

以IODP367航次南海陆缘裂陷海洋科学钻探项目为例,详细介绍随钻扩孔下套管作业流程。

南海陆缘裂陷海洋科学钻探分IODP 367和368 2个航次,4个站位实施。其中367航次分别在U1499B和U1500B 2个钻孔成功下入套管至预定深度,并实现深部取心。

U1500B孔从海底钻进到1379 m沉积岩/玄武岩接触带,进入下伏玄武岩150 m终孔,终孔深度1529 m^[10](图9)。前期地质资料显示U1500站位上覆松软地层较厚,为实现深部取心目标需下入一定长度的套管确保上部地层稳定。根据该站位U1500A先导孔获取的地层信息,计划在U1500B主孔通过随钻扩孔下入套管842 m,使套管座落在

稳定地层中。

2017年3月14日9:00至3月15日4:00,调试准备好套管送入工具,连接10-3/4 in套管842 m,并将套管柱固定到泥板上。之后组装扩孔钻具组合并从套管中下入,自下至上依次为9-7/8 in领眼钻头、套管下扩孔器(扩孔直径为12-3/4 in)、螺杆马达及钻杆,总长846 m。套管送入工具连接于扩孔钻具组合顶端(中间为钻铤及钻杆),同泥板/套管装配到一起。3月15日11:30,整套随钻扩孔下套管系统(含套管及扩孔钻具组合)通过月池下到海底。3月15日20:15,下放水下电视进行观测,23:15接好顶驱准备开钻。

3月16日0:35,U1500B孔开始随钻扩孔下套管作业。作业过程中,分别于多处(主要是砂层)各泵入30桶泥浆用于循环扫孔。3月17日8:00,钻进至泥面以下779 m,此前作业一直很顺利,但通过水下电视突然发现泥板和重入锥发生转动,钻柱扭矩逐渐升高并突然释放,同时扩孔钻进速度大幅降低,推测套管下扩孔器切削具(牙轮)崩落,出现这种情况可尝试继续强行钻进至设计深度或起钻检查更换新扩孔器后重新下钻完成后续作业,显然后者需要大量处理时间。考虑到距套管设计深度仅63 m,根据U1500A孔取心情况,下部孔段以松软地层为主,仅有少数几段硬地层但厚度不大,因此决定继续扩孔钻进,尽管扩孔速度下降很多,但基本能维持钻进。3月17日17:40,指重表读数降低,表明泥板已座底。投下“go-devil”专用工具触发套管送入工具解锁,18:33扩孔钻具组合与套管顺利解锁,将泥板、重入锥及套管留在海底。提钻至泥面以下841.4 m钻头进入套管内,在套管与钻杆之间的环空泵入100桶泥浆,防止提钻过程中泥砂被倒吸至套管内,为下一步取心作业奠定基础。

3月18日7:30,扩孔钻具组合和套管下扩孔器被起至钻台,经检查发现扩孔器切削具仍在,但其中一只牙轮因轴承失效已损坏。

根据航次简要报告,汇总IODP367航次U1499B与U1500B 2个钻孔随钻扩孔下套管施工数据如下:

表3数据显示,IODP367航次随钻扩孔下套管平均速度约20.61 m/h。总的来说,IODP367航次U1499B与U1500B 2个钻孔随钻扩孔下套管作业比较顺利,作业效率较高,为后续实施深部取心创造了良好条件,也为整个367航次任务的圆满完成奠定了基础。

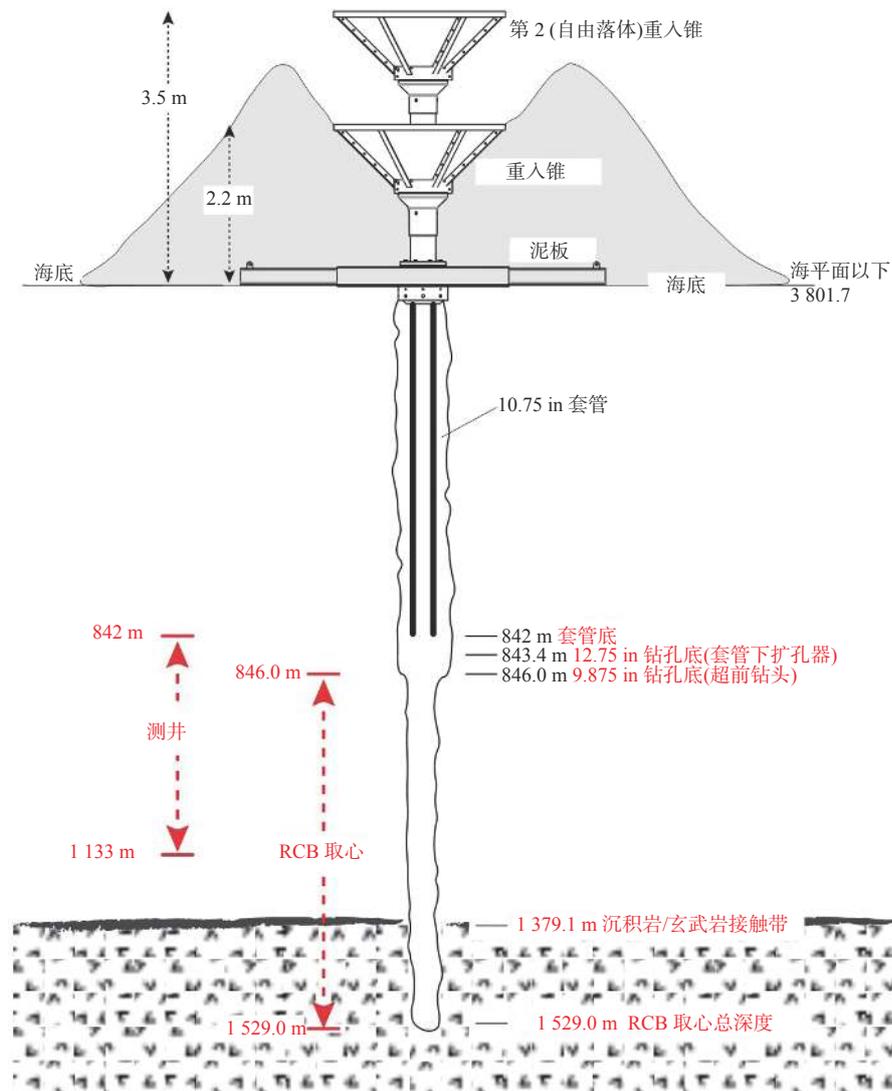


图 9 U1500B 孔重入锥及套管

Fig.9 Hole U1500B reentry system and casing

表 3 IODP367 航次 U1499B 与 U1500B 孔随钻扩孔下套管施工数据

Table 3 The drill in casing operation data in U1499B and U1500B hole of IODP Expedition 367

孔号	水深/m	套管尺寸/in	钻孔尺寸/in	套管下深/m	下套管总时间/h	随钻扩孔下套管时间/h	平均速度/(m/h)
U1499B	3 758.1	10-3/4	12-3/4	651	84.75	31.42	20.72
U1500B	3 801.7	10-3/4	12-3/4	842	94.5	41.08	20.50

注: 下套管总时间包含: 准备工作、连接套管、组装钻具、调试、下钻、下放水下电视、随钻扩孔下套管、解锁套管送入工具、起钻等作业时间。随钻扩孔下套管时间是指自开始随钻扩孔至套管下到位泥板坐底时间。

4 随钻扩孔下套管关键技术

结合大洋钻探随钻扩孔下套管技术实际情况, 总结其关键技术主要有以下几点:

(1) 在钻进主孔之前通常需施工一个先导孔, 主要目的是为主孔提供必要的地层信息及钻进参数, 确定套管下深。根据实际需要, 先导孔可全孔

取心, 也可分段取心。

(2) 随钻扩孔下套管作业过程中, 需采用水下电视或 ROV 对作业情况进行全程监测, 重点关注重入锥、泥板状态及孔内返渣情况, 以便及时发现解决问题采取必要措施。

(3) 复杂地层随钻扩孔下套管作业一旦发生事故处理难度较大, 应力求一次性完成, 因此, 作业前务必做好充分准备, 提前做好应急预案。针对先导

孔钻遇地层特点, 优选结构合理、坚固耐用、使用寿命长的领眼钻头和套管下扩孔器。

(4) 优选扩孔钻具组合及钻进参数。扩孔钻具应配置一定数量的钻铤以应对可能遇到的坚硬地层, 转速宜小不宜大, 送钻速度宜慢不宜快, 防止扩孔器切削具受力不均发生崩落及糊钻、埋钻等孔内事故。

(5) 遇砂、淤泥等松软地层需泵入一定量泥浆进行护壁, 此外, 泥浆还具有润滑减阻和排渣等作用, 有利于套管顺利下入。

(6) 套管送入工具需确保锁紧及解锁功能可靠。

(7) 在无沉积层或沉积层极薄的大洋中脊地区, 开孔见岩, 钻进难度较大, 宜采用液动潜孔锤钻进, 并选用碎岩效率高、使用寿命长的套管下扩孔钻头。

5 结语

随钻扩孔下套管技术实现了扩孔钻进和下套管作业“合二为一”, 简化了施工程序, 显著缩短施工周期, 解决了大洋钻探开路钻进复杂地层下套管作业难度大、风险高等技术难题, 为大洋钻探深部取心提供了安全保障。该技术作为大洋钻探一项先进技术已被成功应用于海底以下近 1000 m 钻孔 (IODP368 航次 U1503A 孔, 套管下深 991.5 m)。我

国目前缺乏配套器具和相应的技术, 因此研发具有自主知识产权的相关配套设备及工艺迫在眉睫。

参考文献:

- [1] 叶建良, 张伟, 谢文卫. 我国实施大洋钻探工程等的初步设想[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(2): 1-8.
- [2] GREG M. IODP Drilling and Coring Technology[M]. Houston: Stress Engineering Services, Inc., 2009: 158-161.
- [3] 徐荣强, 陈建兵, 刘正礼, 等. 喷射导管技术在深水钻井作业中的应用[J]. 石油钻探技术, 2007(3): 19-22.
- [4] 袁超, 赵梓润. 超深水表层导管喷射作业实践[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(9): 136-137.
- [5] 袁超, 徐聪. 深水喷射导管技术的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, 38(22): 157-158.
- [6] 鲍新坤, 任益辉. 深水喷射钻进钻井参数设计与制定[J]. 石化技术, 2018, 25(5): 252-253.
- [7] 陈彬, 刘正礼, 罗俊丰, 等. 南海深水钻井表层导管喷射作业实践[J]. 石油天然气学报, 2014, 36(S9): 109-112, 6.
- [8] Overview of Ocean Drilling Program Engineering Tools and Hardware[EB/OL]. [2020-05-08]. <http://www-odp.tamu.edu/publications/tnotes/tn31/mud/mud.htm>.
- [9] Overview of Ocean Drilling Program Engineering Tools and Hardware[EB/OL]. [2020-05-08]. <http://www-odp.tamu.edu/publications/tnotes/tn31/dic/dic.htm>.
- [10] SUN Z, STOCK J, KLAUS A et al. Testing hypotheses for lithosphere thinning during continental breakup: drilling at the South China Sea rifted margin, IODP Expedition 367 Preliminary Report[EB/OL]Aug2018[2020-05-08]http://publications.iodp.org/preliminary_report/367/367PR.PDF.

KEY TECHNOLOGY OF DRILL IN CASING IN OCEAN DRILLING

XIONG Liang¹, XIE Wenwei^{1,2}, YU Yanjiang¹, YU Haoyu¹

(1 Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou 517000, China;

2 The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract: Ocean drilling usually adopts open-circuit drilling without riser, and the main wall protection method is casing. The conventional casing running method has complicated operating procedures and long construction time. The casing is often not in place due to bore shrinkage and collapse, which brings great challenges to the construction. In this paper, the key technology of drill in casing in Ocean Drilling Program is sorted out in detail. This technology uses special supporting tools to realize the “combination of drilling and casing running procedures”, which simplifies the operating procedures and significantly reduces the construction period and solves the technical problems such as the difficulty and high risk of casing running in complex formations by open-circuit drilling in ocean drilling, and provides safety guarantee for deep coring in ocean drilling.

Key words: Ocean Drilling Program; drill in casing; underreamer; water hammer; hydraulic tensioning type reamer