

跟管钻进下套管技术在大洋钻探中的应用

熊亮¹, 谢文卫^{1,2}, 张伟¹, 于浩雨¹

(1.中国地质调查局广州海洋地质调查局,广东广州 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,在松散破碎地层常因孔壁失稳导致孔内事故,最理想的护壁方式是下套管将不稳定地层封隔开。传统下套管方法程序复杂,作业时间长,易发生缩径、塌孔,套管不能顺利下入到预定位置,施工风险大、成本高。本文介绍了一种跟管钻进下套管技术,利用套管下扩孔器、井下动力钻具、套管送入工具等配套设备,实现钻进和下套管工序“合二为一”,简化了施工程序,可显著节省施工时间,解决了深海无隔水管钻进复杂地层下套管作业困难、施工风险大、成本高等技术难题,为实现海洋深部钻探取心目标提供了技术支持。

关键词:大洋钻探;跟管钻进下套管;无隔水管钻进;螺杆马达;复杂地层;套管送入工具

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)07-0016-07

Application of casing-while-drilling technology in ocean drilling

XIONG Liang¹, XIE Wenwei^{1,2}, ZHANG Wei¹, YU Haoyu¹

(1.Guangzhou Marine Geological Survey, CGS, Guangzhou Guangdong 517000, China;

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

Abstract: Riserless drilling is usually used in ocean drilling where downhole incidents often happens in loose and broken formations due to instability of the hole wall. The most ideal way to protect the wall is to seal the unstable formation with casing. With the traditional casing RIH method, the procedure is complicated with long operation time, susceptible borehole shrinkage and collapse, difficulty in running the casing to the predetermined position, high construction risk and high cost, etc. This article introduces a casing-while drilling technique by which drilling and casing is combined into one step through a complete set of equipment such as the underreamer, mud motor, and casing running tool. The technique simplifies the operation procedures, saves operation time significantly, and has solved the technical difficulties in casing operation in deep sea riserless drilling in complex formation, such high operation risk, high cost, etc., providing technical support for deep sea core drilling.

Key words: ocean drilling; casing-while-drilling; drilling without risers; screw motor; complex formation; casing running tool

0 引言

大洋钻探通常采用无隔水管开路钻进施工(占大洋科学钻探总进尺的 98% 以上),在松散破碎地层(如淤泥、砂卵石、流砂、坡积)常因孔壁失稳导致孔内事故(如塌孔、埋钻、卡钻等),深海作业事故处理难度极大,严重时将导致钻孔报废,孔内钻柱也不得不丢弃处理。由于无隔水管开路钻进泥浆消耗量

较大,所以大洋钻探通常采用海水钻进,仅在复杂地层及特殊作业时才使用泥浆,要实现大洋钻探向地球深部取心,最理想的护壁方式是下套管将不稳定地层封隔开^[1-7]。

传统下套管作业程序是:首先在海底钻进至设计深度起钻,连接套管,在套管串顶端安装套管悬挂器,通过套管送入工具将套管串连接到钻杆下部,之

收稿日期:2020-05-20; **修回日期:**2020-06-23 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2020.07.003

基金项目:自然资源部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)”(编号: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筒双井及大洋钻探技术研究”(编号: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“天然气水合物先导区建设与资源区块优选”(编号:GDME-2018D001)

作者简介:熊亮,男,汉族,1983 年生,工程师,地质工程专业,硕士,主要从事大洋钻探技术研究工作,广东省广州市黄埔区南岗广海路 188 号大院办公区,36.8du@126.com。

引用格式:熊亮,谢文卫,张伟,等.跟管钻进下套管技术在大洋钻探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(7):16-22,35.

XIONG Liang, XIE Wenwei, ZHANG Wei, et al. Application of casing-while-drilling technology in ocean drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(7):16-22,35.

理论上套管下入深度不受限。

2 主要施工设备

跟管钻进下套管与传统下套管工艺有所不同,主要施工设备包括:套管下扩孔器、螺杆马达及套管送入工具等。

2.1 套管下扩孔器

套管下扩孔器位于领眼钻头上方,被连接在钻柱上通过套管内部下入,出套管底口以后通过回转进行扩孔,扩出的孔径比套管外径大,满足套管下入需求。套管下扩孔器具有机构可靠、地层适应性广、

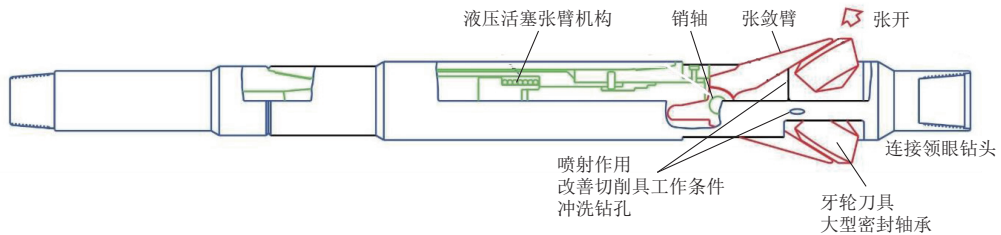


图3 液压张敛式扩孔器示意
Fig.3 The hydraulic underreamer

液压张敛式扩孔器具有可调节的张敛臂,可通过液压张开。表1给出了HOC公司(全称:Hole Opener Corporation)代表性的液压张敛式扩孔器本体尺寸、扩孔器可通过的套管外径(OD)、张敛臂打开时能够钻出的钻孔尺寸、典型作业参数(钻压、转速)。可以调节扩孔器张敛臂以钻出不同直径的钻孔,减少了针对不同尺寸的套管分别使用不同工具的需要。根据机械钻速、钻孔条件、地层膨胀性等,通过调整作业参数,优化不同地层的作业效率。

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	钻孔尺寸/in	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)
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

2.1.2 双心扩孔器

双心扩孔器如图4所示,领眼钻头必须让扩孔器本体在钻孔中居中,这样上扩孔器才可以偏转以扩孔。整体翼式稳定器和单锥摆动式领眼钻头是双心扩孔器重要的组成部分。稳定器吸收由于双心扩孔器偏心“摆动”而产生的侧向边载荷,降低钻头或摆动钻头所承受的磨损。单锥摆动式领眼钻头采用比牙轮钻头更大的轴承,因而更加坚固。

扩孔质量好、孔壁规则、套管通过性好等特点,满足深海长井段扩孔需求,因此自研发问世以后很快得到广泛应用。套管下扩孔器主要有以下两种。

2.1.1 液压张敛式扩孔器

液压张敛式扩孔器如图3所示,在钻进之前,将扩孔器张敛臂预先调整到所需的孔径,开始扩孔之前利用钻柱内流体压力使带有牙轮刀具的张敛臂打开。扩孔结束后关泵,活塞在弹簧作用下复位,扩孔器张敛臂收回,将导向扩孔钻具从套管中提出。领眼钻头和扩孔器喷嘴的尺寸必须大小合适,以确保钻孔净化,同时提供足够的压差来打开扩孔器张敛臂^[23]。

领眼钻头与双心扩孔器喷嘴尺寸大小必须合适,以确保钻孔净化^[23]。

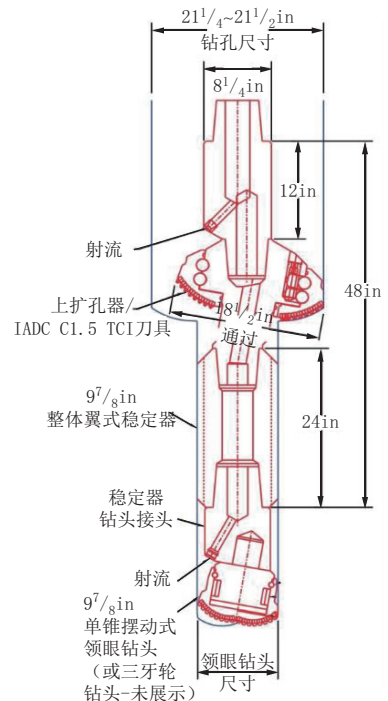


图4 双心扩孔器示意
Fig.4 The bi-center reamer

双心扩孔器扩孔直径是固定的,针对不同尺寸的套管需要分别选用不同的扩孔器。表2给出了

DDI 公司(全称:Downhole Design Inc.)代表性的双心扩孔器型号、扩孔器可通过套管的尺寸、能够钻出的钻孔尺寸、典型作业参数(最大钻压、转速)。根据

机械钻速、钻孔条件、地层膨胀性等,通过调整作业参数,优化不同地层的作业效率。

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	钻孔尺寸/in	最大钻压/kN	转速/(r · min ⁻¹)	预计使用寿命/h	预计机械钻速/(m · h ⁻¹)
B#182×215	18.25	21.5	444.5	50~60	60~80	6.1~0.61
B#145×185	14.50	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

由于不能让套管进行高速回转,因此需要在套管内使用螺杆马达(如图 5),利用从钻杆向下泵入的循环流体压力来驱动套管下扩孔器和领眼钻头回转钻进。在适当的喷嘴和液力作用下,螺杆马达可与张敛式扩孔器与三牙轮钻头或双心扩孔器配套,在沉积物和基底岩石中钻进,在坚硬和破碎岩石中钻进需要采用低转速和高扭矩。螺杆马达的喷嘴尺

寸必须合适,以确保领眼钻头和扩孔器喷嘴实现充分的钻孔净化^[23]。

IODP 采用 Drilex D950SSHF 螺杆马达(特殊低转速、高流量、高扭矩),满载时底部压降约 3.45 MPa。螺杆马达可辅助套管顺利通过先导孔的桥堵段和缩径点,甚至可以在不钻先导孔的情况下进行跟管钻进下套管作业。

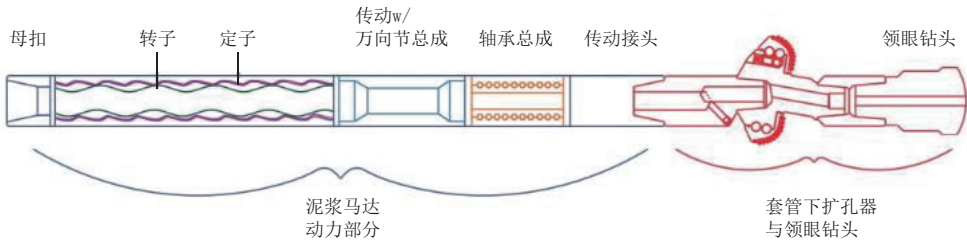


图 5 带双心扩孔器及领眼钻头的泥浆马达示意

Fig.5 The mud motor with a bi-center reamer and pilot bit

2.3 套管送入工具

套管送入工具顾名思义就是将套管送入到钻孔预定深度的一种专用工具,能实现与套管的锁紧与解锁,当套管柱下到设计深度以后,可实现钻具与套管脱开,继续实施下步作业。

套管送入工具与套管悬挂器配合,通常由套管悬挂器的制造商提供,也可以定制。最新的套管送入工具被称为 Cam Actuated - Drill Ahead (CADA) 工具(如图 6 所示)。CADA 工具的尺寸适合与 20、16 和 13³/₈ in 套管悬挂器匹配。在套管与套管悬挂器脱开之后,可继续向下钻进,为再下一级套管做准备。10³/₈ in 套管的下入采用另外一种套管送入工具,该工具不具备脱开后继续钻进的功能^[24]。



图 6 跟管钻进下套管用套管送入工具

Fig.6 Casing running tool in casing-while-drilling

3 现场应用及效果

我国南海陆缘裂陷科学钻探项目在IODP运营

日程上被安排到 367 和 368 两个航次,4 个站位进行。367 航次在 U1499 和 U1500 两个站位进行了取心和测井施工,并分别在 U1499B 孔和 U1500B 孔下入套管,下面以 U1500B 孔为例,介绍跟管钻进

下套管技术应用情况。

在 U1500 站位共施工 2 个钻孔,主要目的是在下部沉积层和下覆玄武岩层中进行取心(样)和测井。该站位成功从海底钻进到海底以深 1379 m 处的沉积岩/玄武岩接触带,并在下覆玄武岩中进尺 150 m,终孔深度 1529.0 m。为节省时间和成本,在沉积层中没有连续取心,取心孔段的岩心采取率变化幅度较大,采取率很低(30%)。相比而言,在玄武岩中岩心采取率较高,达到 77%。在 U1500B 孔还采集到自 842 m(套管底)到 1133 m 的测井数据^[25]。

前期资料显示 U1500 站位上覆松软地层较厚,为实现深部钻探取心目的必须下套管。实施 U1500A 孔(先导孔)的目的即是为 U1500B 孔(主孔)提供必要的地层特征和钻进条件等参考资料,这样就可以确定 U1500B 孔套管的下入深度。

基于 U1500A 先导孔获取的资料信息,决定在该站位实现深部钻探取心和测井目标,在 U1500B 主孔中通过跟管钻进下入 842 m 套管,这样可将套管座落在最后 2 个取心回次钻遇的稳定地层中,与其上部大段不稳定地层(推测可能是砂层/淤泥)相互隔离。

从 2017 年 3 月 14 日 9:00 到 3 月 15 日 4:00,准备套管送入工具,连接长 842 m、外径 10 $\frac{3}{4}$ in 的套管,并将套管柱固定到位于月池口的防沉泥垫上。然后连接一套总长 846 m,装有 9 $\frac{1}{2}$ in 三牙轮钻头、套管下扩孔器(扩孔直径为 12 $\frac{3}{4}$ in)以及螺杆马达的钻具组合,并进行了组装调试。该钻具组合被下放到套管中,套管送入工具连接在钻具组合之上,然后同防沉泥垫/套管装配到一起。3 月 15 日 11:30,整个系统通过月池被下放到海底。3 月 15 日 20:15,下放水下电视,并很快接好顶驱(23:15)。

3 月 16 日 0:35,开始在 U1500B 孔进行跟管钻进下套管作业。作业期间,分别于多处(335.6、374.6、394.0、423.1、452.2、481.4、510.6、539.6、568.8、597.6、627.6、656.6、685.7、714.7、744.7、774.8、802 及 832 m 处)各泵入 30 桶泥浆进行循环清扫。直到 3 月 17 日 8:00,钻进深度约 779 m,跟管钻进下套管作业一直很顺利。但是紧接着发现防沉泥垫和重入锥快速转动,这表明钻柱扭矩逐渐升高并突然释放,同时也观察到进尺速度大幅降低,怀疑套管下扩孔器

上的切屑具(牙轮)崩掉,此时要么继续强行钻进到设计深度,要么起钻检查并更换扩孔器。由于距离套管设计深度仅差 63 m,根据 U1500A 孔取心获得的地层信息,预测下部孔段以松散地层为主,仅有少数几段较薄的硬地层,因此,决定继续钻进,尽管进尺速度下降很多,但能维持钻进。直到 3 月 17 日 17:40,钻柱重量降低,表明防沉泥垫已座于海底。推测假如扩孔器切削具已脱落,那它们很可能掉到套管外面的孔壁中。投下“go-devil”,以触发液压式脱开工具(HRT),3 月 17 日 18:33 钻具组合与套管脱开。上提钻头和套管下扩孔器至 841.4 m 套管内部时,泵入 100 桶泥浆注满套管与钻杆之间的环空,以防止提钻过程中砂子被倒吸至套管中,之后继续起钻。

3 月 18 日 7:30,将钻具组合和套管下扩孔器起至钻台,发现所有的切削具仍然还在,只是其中一只牙轮因轴承失效已明显损坏,这很可能就是造成扭矩上升以及随后进尺速度降低的原因。3 月 18 日 9:15,连接回转式取心钻具组合并下钻到海底继续取心钻进。

IODP367 航次 U1500B 孔重入锥安放及下套管情况如图 7 所示。

根据相关资料,将 IODP367 航次 U1499B 与 U1500B 两个钻孔跟管钻进下套管施工数据汇总,详见表 3。

表 3 数据显示,跟管钻进下套管平均速度约 20 m/h。总的来说,IODP367 航次 U1499B 与 U1500B 两个钻孔跟管钻进下套管施工顺利,作业效率较高,为后续实施深部钻探取心创造了稳定的钻孔条件,也为整个航次任务的圆满完成奠定了基础。

4 关键技术要点

结合跟管钻进下套管技术在 IODP367 航次 U1499B 与 U1500B 两个钻孔应用情况,总结其关键技术主要有以下几点:

(1)在钻进主孔之前需施工 1 口先导孔,主要目的是钻穿上覆不稳定地层进入稳定地层以确定套管下深。先导孔可全孔取心,也可分段取心,目的是为主孔钻进提供必要的地层特征及钻进条件等资料,同时满足地学研究的取心要求。

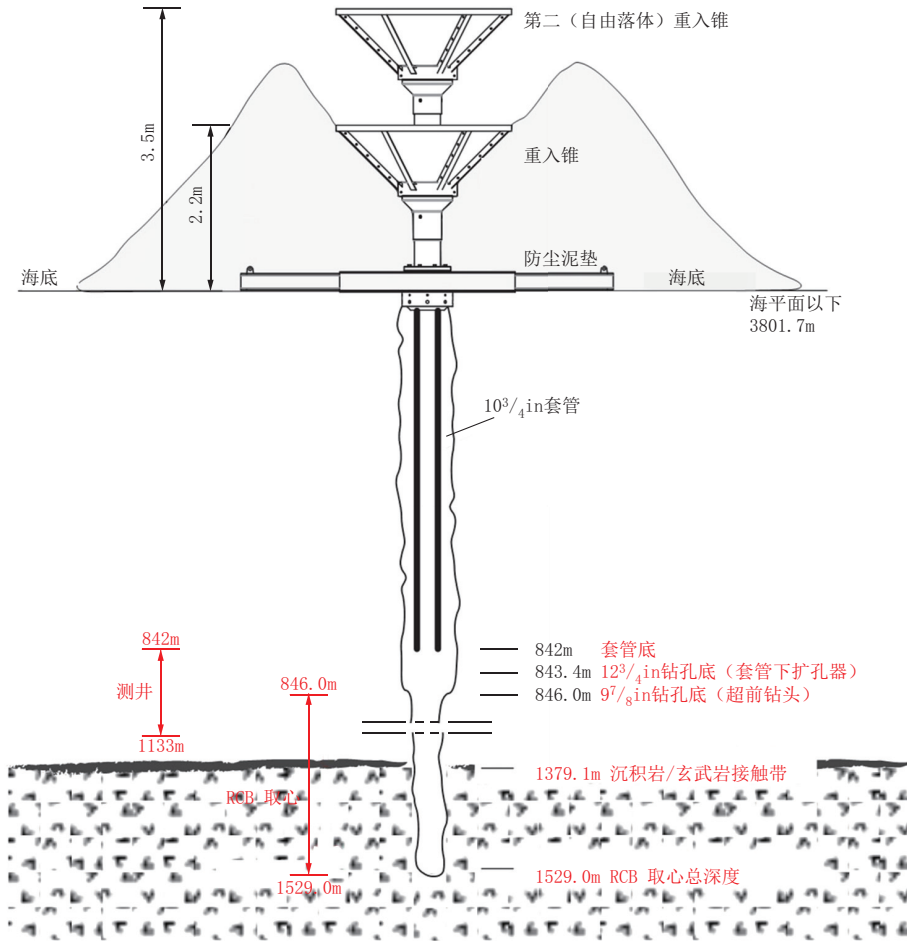


图 7 U1500B 孔重入锥及套管
Fig.7 Hole U1500B reentry system and casing

表 3 IODP367 航次 U1499B 与 U1500B 孔跟管钻进下套管施工数据

Table 3 Casing-while-drilling data in U1499B and U1500B holes 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	跟管钻进下套管时间/h	平均速度/(m·h ⁻¹)
U1499B	3758.1	10 3/4	12 3/4	651	84.75	31.42	20.72
U1500B	3801.7	10 3/4	12 3/4	842	94.50	41.08	20.50

注:下套管总时间包含:准备工作、连接套管、连接钻具、组装调试、下钻、下放水下电视、跟管钻进下套管、解锁套管送入工具、起钻等作业时间。跟管钻进下套管时间是指自开始跟管钻进至套管下到位防沉泥垫坐底的时间。

(2)跟管钻进下套管作业期间,采用水下电视或 ROV 对海底情况进行全程观测,重点关注重入锥、防沉泥垫状态及孔内返渣情况。

(3)跟管钻进下套管作业力求一次性完成,作业前务必做好充分准备,对各种突发情况有足够的预判,尤其要针对先导孔钻遇地层特点,优选结构合理、结实耐用、使用寿命长的领眼钻头和套管下扩孔器,避免出现因钻头或扩孔器损毁无法继续钻进或扩孔导致套管下不到位的情况。

(4)要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。

(5)作业过程中如遇特殊层段如砂、淤泥等需泵入一定量泥浆进行护壁,此外,泥浆还起到润滑减阻和清洁钻孔等作用,有利于套管下入。

(6)套管送入工具需选择成熟可靠产品,确保锁紧及解锁功能正常。

5 结语

跟管钻进下套管技术在大洋科学钻探中得到成

功应用,实现了钻进和下套管工序“合二为一”,简化了施工程序,可显著节省施工时间,解决了深海无隔水管钻进复杂地层下套管作业困难、施工风险大、成本高等技术难题,为实现海底深部钻探取心目标提供了技术支持。该技术作为大洋钻探的一项先进技术已被成功应用于海底以下近 1000 m 钻孔(IO-DP368 航次 U1503A 孔,套管下深 991.5 m)。我国天然气水合物钻采船(大洋钻探船)即将问世,研发具有自主知识产权的相关配套设备及工艺迫在眉睫,为我国自主实施海洋科学深钻提供技术支持和储备。

参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] Greg Myers. IODP Drilling and coring technology[M]. Houston: Stress Engineering Services Inc. 2009:158—161.
- [3] 王达,赵国隆,左汝强,等.地质钻探工程的发展历程与展望——回顾探矿工程事业 70 年[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(9):1—31.
WANG Da, ZHAO Guolong, ZUO Ruqiang, et al. The development and outlook of geological drilling engineering—To review the 70th anniversary of exploration engineering[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(9):1—31.
- [4] 房勇,钱锋.地质勘探套管钻进技术专用套管的研制及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(8):10—14.
FANG Yong, QIAN Feng. Development and application of the special casing for geological prospecting casing drilling technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(8):10—14.
- [5] 郭军,王超技,李岩,等.跟管钻进在大口径页岩气井浅部复杂地层中的应用——以黔水地 1 井导管段为例[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(5):22—26.
GUO Jun, WANG Chaoji, LI Yan, et al. Application of simultaneous casing drilling to large bore shale gas well drilling in shallow complex formation: A case of conductor drilling for the Qianshuidi-1 Well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(5):22—26.
- [6] 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.
QIN Rulei, XU Benchong, WANG Jiarui. Analysis of drill string compensation system for offshore drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(1):22—27.
- [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—48,70.
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—48,70.
- [8] 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,2007,35(3):19—22.
XU Rongqiang, CHEN Jianbing, LIU Zhengli, et al. The application of jetting technology in deepwater drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007,35(3):19—22.
- [9] 张建平,庞达,徐佳俊,等.深水钻井表层导管喷射入井口稳定性分析[J].石油钻采工艺,2018,40(S1):101—103.
ZHANG Jianping, PANG Da, XU Jiajun, et al. Wellhead stability analysis of surface casing running for deepwater drilling[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2018,40(S1):101—103.
- [10] 许云锦,杨进,周波,等.深水钻井喷射法安装表层导管极限下入深度确定[J].石油钻采工艺,2016,38(5):553—557.
XU Yunjin, YANG Jin, ZHOU Bo, et al. Research on limit depth of the surface conductor by jetting method in deepwater drilling[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016,38(5):553—557.
- [11] 周波,杨进,周建良,等.深水喷射扰动对表层导管承载力的影响规律[J].中国海上油气,2016,28(1):98—102.
ZHOU Bo, YANG Jin, ZHOU Jianliang, et al. Pattern of influence of disturbance caused by jetting on bearing capacity of surface conductor in deepwater zones[J]. China Offshore Oil and Gas, 2016,28(1):98—102.
- [12] 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(9):109—112,6.
CHEN Bin, LIU Zhengli, LUO Junfeng, et al. Deepwater drilling conductor jetting practices in South China Sea[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2014,36(9):109—112,6.
- [13] 唐海雄,罗俊丰,叶吉华,等.南海超深水喷射钻井导管入泥深度设计方法[J].石油天然气学报,2011,33(3):147—151,170.
TANG Haixiong, LUO Junfeng, YE Jihua, et al. Method of design of conductor setting depth for ultra-deepwater jetting drilling in South China Sea[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011,33(3):147—151,170.
- [14] Beck R D. Releable deepwater structural casing installation using controlled jetting[J]. SPE22542, 1991.
- [15] Akers T J. Jetting of structural casing in deepwater environments: job design and operational practices[J]. SPE102378, 2008.
- [16] 董星亮,刘书杰,唐海雄,等.海洋钻井手册[S].北京:石油工业出版社,2009,633.
DONG Xingliang, LIU Shujie, TANG Haixiong, et al. Ocean drilling manual[S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2009,633.
- [17] 刘华,李相方,隋秀香,等.天然气水合物勘探技术研究现状[J].石油钻探技术,2006,34(5):87—90.
LIU Hua, LI Xiangfang, SUI Xiuxiang, et al. Technology developments of natural gas hydrate exploration[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006,34(5):87—90.