

海洋钻探钻井液循环技术

许本冲, 张欣, 马汉臣

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000)

摘要:在海洋钻探过程中, 钻井液循环方式一直备受关注, 在海洋环境保护法和 HSE 的要求下合理选择钻井液循环技术方法是钻探工程师必须要考虑的问题。本文介绍了浅水钻探、深水钻探钻井液循环技术的发展历史和技术现状, 其中包括石油套管循环、双层套管循环、隔水导管循环、隔水管循环、无隔水管循环(RMR)、反循环(RDM)、水力反循环(HRC)以及气举反循环技术, 分析了钻井液循环技术的装备结构、施工工艺以及工作原理, 提出了海岸工程、近海工程以及深水油气、矿产资源的勘查开发对不同钻井液循环技术的市场和技术需求, 以及该类技术在大洋科学钻探中应用的可能性。

关键词:海洋钻探; 钻井液循环; 套管; 隔水导管; 隔水管; RMR

中图分类号: P634.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2020)07-0030-06

Offshore drilling fluid circulation technology

XU Benchong, ZHANG Xin, MA Hanchen

(Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: The drilling fluid circulation mode has always been concerned in offshore drilling. Under the requirements of the marine environmental protection law and HSE, the reasonable selection of drilling fluid circulation technology must be considered by drilling engineers. This paper introduces the development history and present status of drilling fluid circulation technology in shallow and deep ocean drilling including Oil Casing Circulation, Double Casing Circulation, Conductor Circulation, Riser Circulation, Riserless Mud Recovery System, ReelWell Drilling Method, Hydraulic Reverse Circulation and Gas Reverse Circulation technology. Analysis is made of the equipment structure, construction process and working principle of drilling fluid circulation technology. The market and technical requirements of coastal engineering, offshore engineering and exploration and development of deep-water oil, gas and mineral resources on different drilling fluid circulation technologies are put forward with the possibility of application of such technologies in ocean scientific drilling.

Key words: offshore drilling; drilling fluid circulation; casing; conductor; riser; RMR

0 引言

近年来, 随着党中央建设“海洋强国”的号召, 我国海洋开发力度逐渐加大, 码头港口、跨海桥梁、海底隧道、海上风电等海岸工程和近海工程以及深水油气、矿产资源的勘查开发对海洋钻探的需求也越来越大。与陆地钻探相比, 海洋钻探难度大、风险高, 需要克服诸多水上施工的特殊工程技术难题。由于海洋钻探井口与钻探设备之间存在一定深度的海水, 自然条件下无法进行钻井液循环, 如何建立钻

井液循环通道即是要解决的难题之一。随着装备制造技术和海洋钻探工艺技术的不断进步, 从浅海到深海, 钻井液循环技术也在不断升级。

1 浅水钻探钻井液循环

在浅海区域实施的地质调查或工程勘察中, 一般施工单位不具备投资专业钻探船的能力, 主要采用陆地钻机在普通民用运输船上进行简单的改造加工, 或者搭建经济、实用的临时水上钻探平台^[1](见

收稿日期: 2020-05-14; **修回日期:** 2020-06-16 **DOI:** 10.12143/j.tkgc.2020.07.005

基金项目: 中国地质科学院勘探技术研究所科技项目“伸缩套管及配套工具研制”(编号: YB202010)

作者简介: 许本冲, 男, 汉族, 1988年生, 工程师, 机械设计制造及其自动化专业, 主要从事钻探新技术、新设备、新工艺的研发工作, 河北省廊坊市金光道 77 号, xbc028@foxmail.com。

引用格式: 许本冲, 张欣, 马汉臣. 海洋钻探钻井液循环技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(7): 30-35.

XU Benchong, ZHANG Xin, MA Hanchen. Offshore drilling fluid circulation technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(7): 30-35.

图 1), 作业水深从几米到几十米不等。



(a) 经过改造的钻探船



(b) 临时钻探平台

图 1 改装钻探船与临时钻探平台

Fig.1 Upgraded drilling vessel and temporary drilling platform

由于搭建的临时平台体型较小, 不具备搭载大型设备的能力, 地层复杂程度对钻井液的要求不高时, 在钻探施工中可采用开路钻井, 即钻井液从水下的井口直接排入海水中, 不进行回收。在有些工况中, 由于环保部门要求或钻井液成本较高时, 钻井液就不再直接排入海水, 可在钻探平台转盘面至水下孔口下入标准石油套管(隔水套管)隔离海水, 作为钻井液循环的通道, 由于平台通过立柱坐落在海底, 自身不受潮汐和波浪的影响, 通过锤击或者静压等方式将定长的套管柱压入致密地层即可实现钻井液上返回收(见图 2)。

利用漂浮在海面上的钻探船作业时, 可通过锚泊定位在一定范围内限制船身的水平位移, 而垂直方向受海浪和潮汐的影响, 相对于海底泥面就会有相对运动, 建立泥浆循环通道需要考虑船体升沉引起的隔水套管动态变化。通常采用可伸缩的双层套管实现钻井液循环通道的升沉补偿, 其中一层套管采用外平无接箍结构, 另一层采用标准石油套管, 在一定升沉范围内, 两层套管之间可自由滑动实现升沉补偿, 两层套管之间采用填料密封防止漏浆。当潮差变化较大时, 受潮差影响在作业过程中需要通过加接或拆卸套管短节以适应水深变化(见图 3)。

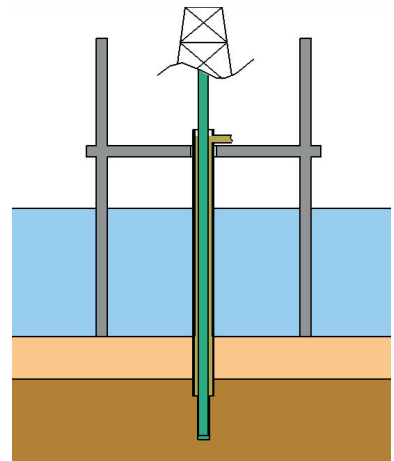


图 2 临时钻探平台钻井液循环

Fig.2 Drilling fluid circulation on the temporary drilling platform

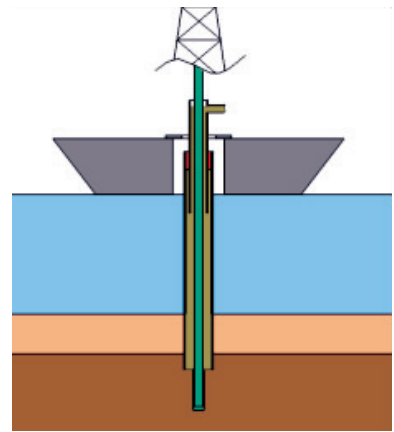


图 3 改装钻探船钻井液循环

Fig.3 Drilling fluid circulation on the upgraded drilling vessel

在浅海油气钻探中, 常采用自升式平台, 作业水深通常在 150 m 以浅, 在表层钻进中, 平台利用隔水导管来建立钻井液循环(见图 4)。隔水导管连接海上钻井平台与海底浅层土体, 一般通过锤入、钻入或者喷射等施工方法进入地层并固定在导管架上, 主要功能是隔离海水形成钻井液循环通道, 在表层钻进过程中, 隔水导管与钻柱形成的环形空间可使得钻井液从该环空上返至隔水导管顶部。固定在导管架上的隔水导管顶部连接井控设备, 能为井控设备提供承载力, 同时承受风、海浪、波流及海冰等横向载荷, 因此也是海上钻井井口的持力结构。隔水导管下入深度的预测和控制是作业过程中的关键技术难题, 如果下入深度太浅, 会由于承载力不足而导致井口不稳或下沉, 从而造成严重的事故和经济损失, 如果下入深度过深, 就会造成浪费, 或者由于群桩效应造成的拒锤问题导致隔水导管结构变形^[2-6]。

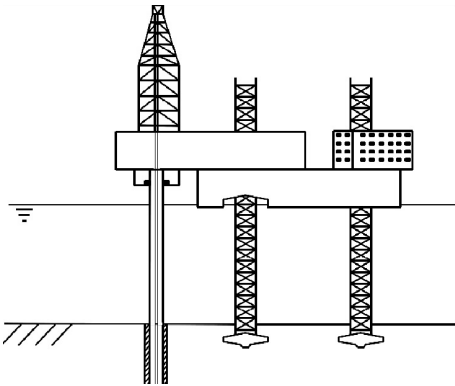


图4 自升式平台及隔水管

Fig.4 Jack-up platform and riser

2 深水钻探钻井液循环

深海油气钻探常采用半潜式平台或大型钻井船

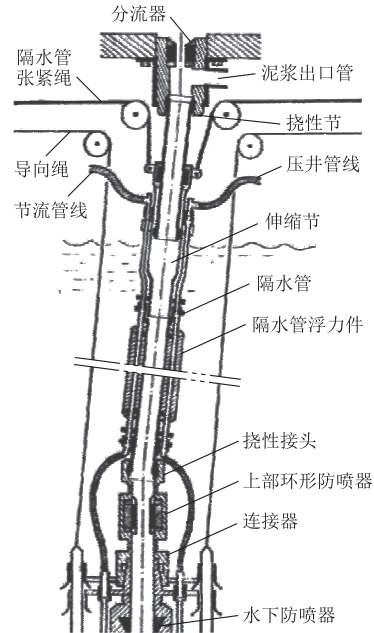
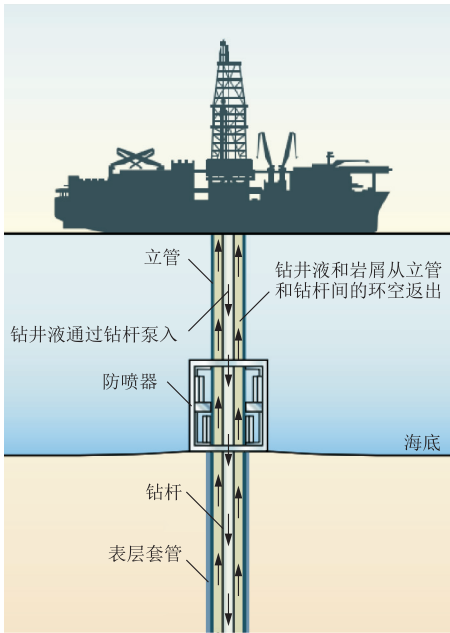


图5 隔水管系统组成

Fig.5 Riser system composition

隔水管技术起源于20世纪40年代末期,至60年代逐渐发展了顶部伸缩接头、节流压井管线,功能更加齐备,从此,隔水管技术才真正开始进入一个比较系统的发展过程^[9]。目前,隔水管生产供应商主要集中在美国、挪威、法国、俄罗斯等部分发达国家,国内厂家从2007年开始逐步介入隔水管系统的研发,但距工业应用还有一定差距^[10-11]。

自1968年开始的深海钻探计划(DSDP)至当前的国际大洋发现计划(IODP),大洋科学钻探50余年来,美国的“格罗玛·挑战者号”、“乔迪斯·决心

作为作业装备,平台利用隔水管和海底防喷器与海底井口连接,形成钻井液循环通道,最大作业水深可达3000多米。隔水管系统通常由海洋钻井隔水管单根、节流压井管线、辅助管线、隔水管短节、卡盘、万向节、分流器、伸缩节、张力环、终端适配器、挠性接头、灌注阀等主要部件组成(见图5)。分流器与隔水管连接在一起,为钻井液的流通提供通道,同时也为钻遇浅层气时进行井控放喷;挠性接头可以使隔水管在受到外载荷作用下转动或摆动,减小隔水管和其他水下设备的弯曲应力,伸缩节上有连接到钻井平台的张紧器,可以使隔水管在工作过程中处于拉伸状态,并能有效降低隔水管由于平台升降运动产生的轴向应力^[7-8]。

号”和日本的“地球号”三艘专用的深海钻探船为其服务,“格罗玛·挑战者号”与“乔迪斯·决心号”不具备钻井液循环设备,采用开放式钻井,不能在油气显示的海域钻探作业,“地球号”搭载有隔水管和海底防喷器,在水深2500m以浅海域钻探作业时能够将携有岩屑的钻井液循环至钻井船上,但船体庞大,运行经费倍增。为了克服两种钻探技术各自的缺陷,国内外开始研究无隔水管钻井液循环技术^[12]。无隔水管钻井液回收钻井技术就是在钻井过程中不采用常规隔水管,钻杆直接暴露在海水中,

依靠放在海底的举升泵,将井口吸入模块内的钻井液及岩屑泵送回钻井船上,该项技术既控制了钻探船的规模,又可以提升钻探能力,是海洋钻探发展的新方向。

21 世纪初,挪威 AGR 公司在岩屑运移系统(CTS)的技术基础上研发了无隔水管钻井液循环系统(RMR),与上一代产品相比,该系统将泥浆排放管线从海底连接到了钻井船上,实现了真正的无隔水管条件下的钻井液闭路循环(见图 6)。2003 年该系统经过现场试验证实了在 450 m 水深应用的可行性,同年在里海的 West Azeri 油田开始商业应用,至今在世界范围内已完成 100 多口油井的钻探。无隔水管钻井液循环系统可以节约钻井操作时间、减少对海洋环境的影响,经济效益显著,已成为 AGR 公司最主要的钻井业务,为适应深海钻井作业要求,AGR 公司与 Shell BP America DEM 2000 等组成工业项目组合研究深水 RMR 技术,并于 2008 年 9 月在南中国海(马来西亚)水深 1419 m 海域成功进行现场试验,具有广阔的应用前景^[13-15]。

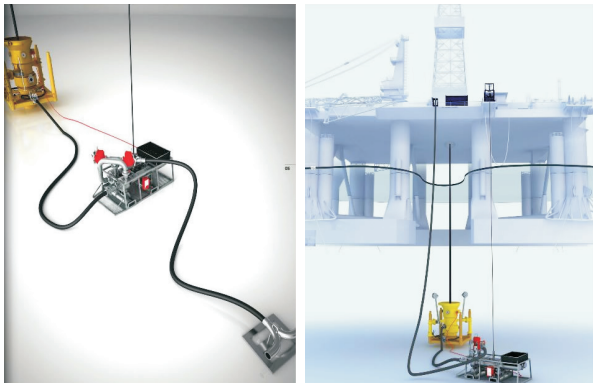


图 6 岩屑运移系统(CTS)与无隔水泥浆循环系统(RMR)
Fig.6 Cutting Transportation System (CTS)
and Riserless Mud Recovery drilling system (RMR)

目前在国际上无隔水管钻井液循环系统多应用于海洋油气钻探中。近年来,国内的科研机构及院校也在开展相关研究,开发了试验样机,成功模拟了 RMR 系统的运行原理。将来无隔水管钻井液循环技术在水深更大的科学大洋钻探领域也可以发挥重要作用^[16-20]。

同样为解决海洋钻探钻井液循环问题,双壁钻杆反循环钻井技术也在逐渐从陆地向海洋推广。

2005 年,ReelWell A S、壳牌、挪威国家石油公司成立了联合项目组对 ReelWell 反循环钻井技术

(RDM)和设备进行研究,并指出此技术在海洋钻井中具有提升钻井平台工作水深、省去隔水管、易于携带岩屑和施加钻压的优势,但没有进行海洋钻探应用^[21-22]。ReelWell 反循环钻井技术基于常规钻井设备与方法,以双壁钻杆、循环控制系统、顶驱适配器、上部环空控制系统等为基础,钻井液通过双壁钻杆的环形空间泵入井内,井底产生的岩屑通过双壁钻杆的内钻杆返出,在整个循环过程中形成闭式循环,通过控制钻井液的排量及回压,同时能够实现井筒压力的精确控制^[23-24](见图 7)。

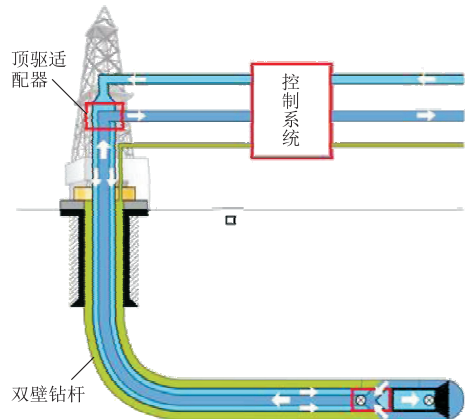


图 7 ReelWell 反循环钻井技术原理

Fig.7 Principle of ReelWell reverse circulation drilling technology

2007 年中国地质科学院勘探技术研究所与广州海洋地质调查局在海南矿砂勘查取心(样)钻探施工中应用了水力反循环连续取心技术(HRC),在国内外属于首创。钻进过程中使用海水作为循环介质,水泵将海水经双通道水龙头、双壁钻杆内外环隙输送到孔底,然后携带岩心(样)到达钻井船上的样品接收装置。该技术取得了良好的应用效果,终孔深度和取心率均达到了设计要求,使用海水作为钻井液没有对海洋造成任何污染^[25]。

除水力反循环外,国内的科研院所也在积极推进气举反循环钻井技术在海洋钻探中的应用。气举反循环钻井技术是将压缩空气沿双壁钻杆环空送入一定深度,经混合器进入钻杆内管,使混合后液体密度小于钻杆外钻井液密度,钻杆内外产生压差,在液柱压力作用下,管内气体、液体和固体的三相混合物以较高速度向上流动,从而将孔底岩屑、岩心带出井内。在科学大洋钻探中,当钻遇特殊地层正循环取心工艺无法获取岩心(样)时,通过气举反循环钻井工艺可以将井底岩心(样)输送到钻井船上。气举反

循环钻井技术在陆地钻探中是一种成熟的工艺,但推向海洋钻探中时,仍需进行大量的前期理论研究和现场试验。

3 结语

我国浅海海域地质钻探和工程勘察目前仍以民用船只和陆地钻机改装的钻探船或简易钻探平台为主,作业装备较为简陋,但施工工艺已经较为成熟。我国海上基础工程建设和风电资源开发多集中在海岸带或浅海海域,随着海洋开发力度的加大和生态环境保护意识的提高,对钻探设备和工艺方法也提出了更高的要求,经济实用和高效是浅海地质钻探装备发展的方向。

由于海洋油气储量丰富,海洋油气钻井市场潜力巨大,国内外钻井设备供应商多聚焦于此,从浅海到深海研发了各种各样的钻井装备和先进的钻井技术,因此,海洋油气钻井装备与技术方法最为成熟。随着海洋油气开发产业的不断发展以及科技的不断创新,海洋油气钻井装备与技术将会得到更加快速的发展与进步。

大洋科学钻探作为地球科学研究的必要手段,还有很多海域和地区亟待探索,IODP 对作业水深和钻深的要求将会越来越深,苛刻的作业环境对钻井装备和技术的需求也越来越高,成熟的陆地钻井技术和海洋油气钻井技术都将会逐渐走向超深水,为科学大洋钻探提供技术支撑。

参考文献(References):

[1] 王光辉,陈必超.浅海水域工程勘察钻探方法和技术措施[J].探矿工程,2003(4):9-11.
WANG Guanghui, CHEN Bichao. Drilling methods and technical measures of geo-technical investigation in neritic area[J]. Exploration Engineering, 2003(4):9-11.

[2] R. E. Olson. Axial load capacity of steel pipe in sand[R]. SPE 6419-MS, 1990.

[3] Dennis, Norman D, Olson. Roy E. Axial load capacity of steel pipe in clay[R]. SPE 3491-MS, 1990.

[4] 谢仁军,刘书杰,全刚,等.海洋钻井隔水管关键技术研究及标准化[J].石油工业技术监督,2019,35(12):8-14.
XIE Renjun, LIU Shujie, TONG Gang, et al. Key Technology research and standardization of offshore drilling riser[J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2019, 35(12):8-14.

[5] 吴永朝,李振坤,付辉,等.渤海某油田隔水管入泥深度研究[J].石化技术,2019,26(8):373-375.
WU Yongchao, LI Zhenkun, FU Hui, et al. Study on the

depth of the riser into the mud in an oilfield of Bohai Sea[J]. Petrochemical Industry Technology, 2019, 26(8):373-375.

[6] 黄悦华,南树岐,王耀华.隔水管套管张紧器的应用现状与技术分析[J].石油机械,2016,44(7):76-79.
HUANG Yuehua, NAN Shuqi, WANG Yaohua. Application status of conductor tensioning unit[J]. China Petroleum Machinery, 2016, 44(7):76-79.

[7] 王宴滨.深水导管和隔水管安装过程力学行为研究[D].北京:中国石油大学(北京),2016:6.
WANG Yanbin. Study on the mechanical behavior of deepwater conduit and riser during installation[D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2016:6.

[8] 王进全,王定亚.国外海洋钻井隔水管与国产化研究建议[J].石油机械,2009,37(9):147-150.
WANG Jinquan, WANG Dingya. Suggestions of overseas marine drilling riser and localization research[J]. China Petroleum Machinery, 2009, 37(9):147-150.

[9] 牛爱军,毕宗岳,牛辉.国外深水钻井隔水管发展现状及主管性能分析[J].焊管,2015,38(9):6-11.
NIU Aijun, BI Zongyue, NIU Hui. Development status of overseas deepwater drilling riser and main pipe performance analysis[J]. Welded Pipe and Tube, 2015, 38(9):6-11.

[10] 王定亚,李爱利.海洋钻井隔水管系统配套技术研究[J].石油矿场机械,2010,39(7):12-15.
WANG Dingya, LI Aili. Study of marine drilling riser supporting technology[J]. Oil Field Equipment, 2010, 39(7):12-15.

[11] 王冬石.深水钻井隔水管系统关键技术研究与发展建议[J].石油机械,2018,46(7):39-44.
WANG Dongshi. Key technology advances and development suggestion for deepwater drilling riser system[J]. China Petroleum Machinery, 2018, 46(7):39-44.

[12] 拓守廷,翦知潜.科学大洋钻探船的回顾与展望[J].工程研究—跨学科视野中的工程,2016,8(2):155-161.
TUO Shouting, JIAN Zhimin. Scientific ocean drilling vessels: review and prospect[J]. Journal of Engineering Studies, 2016, 8(2):155-161.

[13] 徐群,陈国明,王国栋,等.无隔水管海洋钻井技术[J].钻采工艺,2011,34(1):11-13.
XU Qun, CHEN Guoming, WANG Guodong, et al. Research and application prospect of riserless mud recovery drilling technique [J]. Drilling & Production Technology, 2011, 34(1):11-13.

[14] 高本金,陈国明,殷志明,等.深水无隔水管钻井液回收钻井技术[J].石油钻采工艺,2009,31(2):44-47.
GAO Benjin, CHEN Guoming, YIN Zhiming, et al. Deepwater riserless mud recovery drilling technology[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009, 31(2):44-47.

[15] 陈国明,殷志明,许亮斌,等.深水双梯度钻井技术研究进展[J].石油勘探与开发,2007,34(2):246-251.
CHEN Guoming, YIN Zhiming, XU Liangbin, et al. Review of deep water dual gradient drilling technology[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(2):246-251.

[16] 殷志明.新型深水双梯度钻井系统原理、方法及应用研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2007.

- YIN Zhiming. New dual-gradient deepwater drilling systems—principle, method and application[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2007.
- [17] 高本金.海底泥浆举升圆盘泵流场仿真与性能研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2009.
- GAO Benjin. Flowfield simulation and Performance assessment for the subsea mudlift disk pump[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2009.
- [18] 徐群.海底泥浆举升钻井系统吸入模块样机研究与开发[D].青岛:中国石油大学(华东),2011.
- XU Qun. Prototype research and development of the subsea mud suction module[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2011.
- [19] 周昌静.海底泥浆举升钻井用叶片圆盘泵研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2012.
- ZHOU Changjing. Research on vane disc pump for subsea mud lifting drilling[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2012.
- [20] 尹树孟.海底泥浆举升圆盘泵优化研究及其多级泵开发[D].青岛:中国石油大学(华东),2012.
- YIN Shumeng. Optimization and development of multistage pump of subsea mud lift disk pump[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2012.
- [21] 韩烈祥,孙海芳.气体反循环钻井技术发展现状[J].钻采工艺,2008,31(5):1-5.
- HAN Liexiang, SUN Haifang. Status and development of reverse circulation air-drilling technology[J]. Drilling & Production Technology, 2008,31(5):1-5.
- [22] 孙宝江,公培斌,刘震,等.双通道钻杆反循环钻井方法在深水钻井中应用的可行性探讨[J].中国海上油气,2013,25(1):49-53.
- SUN Baojiang, GONG Peibin, LIU Zhen, et al. Feasibility study of the reverse circulation drilling method with dual concentric drill pipe in deep water[J]. China Offshore Oil and Gas, 2013,25(1):49-53.
- [23] 陈颖杰,马天寿,曾欣,等.国外 ReelWell 钻井新技术及其应用[J].石油机械,2010,38(8):87-92.
- CHEN Yingjie, MA Tianshou, ZENG Xin, et al. New technology and application of foreign ReelWell drilling[J]. China Petroleum Machinery, 2010,38(8):87-92.
- [24] 刘晓栋,李芳芳,马学琴,等.ReelWell 钻井方法——一种新的控压钻井技术[J].钻采工艺,2011,34(5):41-44.
- LIU Xiaodong, LI Fangfang, MA Xueqin, et al. ReelWell drilling method—a new managed pressure drilling technology [J]. Drilling & Production Technology, 2011,34(5):41-44.
- [25] 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.

(编辑 王建华)

(上接第 22 页)

- [18] 刘和兴,方满宗,刘智勤,等.南海西部陵水区块超深水井喷射下导管技术[J].石油钻探技术,2017,45(1):10-16.
- LIU Hexing, FANG Manzong, LIU Zhiqin, et al. Jetting-based conductor running technology used in ultra-deep water well of Lingshui block in the Western South China Sea[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017,45(1):10-16.
- [19] 陈庭根,管志川.钻井工程理论与技术[M].东营:石油大学出版社,2000:52-65.
- CHEN Tinggen, GUAN Zhichuan. Drilling engineering theory and technology[M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2000:52-65.
- [20] 胡海良,唐海雄,汪顺文,等.白云 6-1-1 井深水钻井技术[J].石油钻采工艺,2008,30(6):25-28.
- HU Hailiang, TANG Haixiong, WANG Shunwen, et al. Deepwater drilling techniques in Baiyun 6-1-1 Well[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2008,30(6):25-28.
- [21] 汪顺文,杨进,严德,等.深水表层导管喷射钻进机理研究[J].石油天然气学报,2012,34(8):157-160,169.
- WANG Shunwen, YANG Jin, YAN De, et al. Research of jetting drilling mechanism of surface conductor in deepwater [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012,34(8):157-160,169.
- [22] 董广建,陈平,马天寿,等.深水表层钻井关键技术及装备研究应用现状[J].石油机械,2013,41(6):49-53,80.
- DONG Guangjian, CHEN Ping, MA Tianshou, et al. Key technology of deepwater tophole drilling and current situation of equipment research and application[J]. China Petroleum Machinery, 2013,41(6):49-53,80.
- [23] Overview of Ocean Drilling Program Engineering Tools and Hardware[EB/OL]. <http://www-odp.tamu.edu/publications/tnotes/tn31/mud/mud.htm>.
- [24] Overview of Ocean Drilling Program Engineering Tools and Hardware[EB/OL]. <http://www-odp.tamu.edu/publications/tnotes/tn31/dic/dic.htm>.
- [25] 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]. Aug. 2018. http://publications.iodp.org/preliminary_report/367/367PR.PDF.

(编辑 韩丽丽)