

海上顶部双驱动联动隔水管钻探取心技术

张会寅, 田烈余, 林康, 郭武, 李占钊, 杨楠, 王世栋

(中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广东广州 510000)

摘要:我国南海海域分布着大量礁灰岩地层,这种地层具有原生孔隙大、压缩性强、容易变形、强度小等特点,因此易渗透、易破碎、易坍塌。在岛礁上钻探也常常出现断钻、垮孔、埋钻等事故。对于海洋礁灰岩地层钻探,不仅要克服陆地上面临的问题,还需要面对更为复杂的海洋环境。为解决海上特殊地层取心困难问题,基于船载无隔水管钻探系统,开发了海上顶部双驱动联动隔水管钻探取心技术。该钻探取心技术方案在西沙海域4个不同的站位进行了海洋钻探试验。试验结果表明,该技术可实现高效率、高岩心采取率的海上礁灰岩取心目的,取心深度可达130.75 m,具有广阔的推广前景。

关键词:海洋钻探;礁灰岩;顶部双驱动;联动隔水管;钻探取心

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2022)06-0110-06

Ocean core drilling with the top double-drive linkage riser system

ZHANG Huiyin, TIAN Lieyu, LIN Kang, GUO Wu, LI Zhanzhao, YANG Nan, WANG Shidong

(Guangzhou Marine Geological Survey, CGS, Guangzhou Guangdong 510000, China)

Abstract: There are abundant reef limestone strata in the South China Sea. Coral reef strata have large primary pores, high compressibility, easy deformation and insufficient strength; so they are prone to filtration, breaking and collapsing. Drilling incidents, such as broken drilling string, hole caving, and bit burial, often happen during drilling on islands and reefs. In drilling marine reef limestone formations, it is not only necessary to overcome the problems encountered on land, but also to tackle the more complex marine environment. In order to solve the coring difficulty in special marine stratum, core drilling with the marine top double-drive linkage riser system was developed on the basis of the ship-borne riserless drilling system. Marine drilling test was carried out at four different stations in the Xisha waters, and the field tests show that this technology can take cores from offshore reef limestone with high efficiency and high recovery; and the coring footage up to 130.75m, which has a broad prospect for promotion.

Key words: ocean drilling; reef limestone; top double-drive; linkage riser; coring

0 引言

礁灰岩又称生物骨架灰岩,是一种特殊的岩土体,本质上是生物礁,由珊瑚死亡后的残骸堆积或珊瑚残骸堆积其他贝壳等形成,具有多孔隙、高透水率的特征^[1-2]。礁灰岩广泛分布于中国南海诸岛的各珊瑚岛礁。珊瑚的生长受海平面、水深、水温、盐度、pH值、水流方向等因素的影响,因此珊瑚岛礁

可作为划分地层,海平面研究,判断古气候、古地理的重要标志^[3-4]。此外我国南海诸岛的珊瑚岛礁,拥有丰富的渔业、旅游、油气等资源有待开发^[5],具有较高的研究价值。

为查明我国南海珊瑚岛礁的地质情况和形成历史,帮助珊瑚岛礁油气等资源的开发,钻探取心是一种不可或缺的重要手段。礁灰岩地层具有原

收稿日期:2022-03-09; 修回日期:2022-09-22 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.06.015

基金项目:国家重点研发计划项目下课题“深水海底钻井系统海上工程示范应用”(编号:2021YFB3401405)

第一作者:张会寅,男,汉族,1994年生,助理工程师,机械工程专业,硕士,主要从事海洋钻探方面的工作,广东省广州市南沙区南沙街道南横村海滨路1133号,zhanghuiyin@mail.cgs.gov.cn。

引用格式:张会寅,田烈余,林康,等.海上顶部双驱动联动隔水管钻探取心技术[J].钻探工程,2022,49(6):110-115.

ZHANG Huiyin, TIAN Lieyu, LIN Kang, et al. Ocean core drilling with the top double-drive linkage riser system[J]. Drilling Engineering, 2022,49(6):110-115.

生孔隙大、压缩性强、容易变形、强度小等特点,因此易渗透、易破碎、易坍塌。在岛礁上钻探也常常出现断钻、垮孔、埋钻等事故。对于海洋礁灰岩地层钻探,不仅要克服陆地上面临的问题,还需要面对更为复杂的海洋环境。现有的采样技术一般是潜水到水下,用便携式钻机钻取样品^[6]。这种方式采取的样品长度一般不超过10 m,作业风险大,取样水深受限于人体耐压极限。对于一般的海上钻探作业,多采用搭建固定平台^[7]或者用船载钻探系统取样。然而,对于礁灰岩地层,其硬度较大,通过打桩等方式搭建固定平台比较困难,对珊瑚礁的破坏也比较大。船载钻探系统可分为无隔水管钻进和隔水管钻进^[8]。由于珊瑚岛礁的礁灰岩地层具有高孔隙度、易破碎和高压缩性等特征,采用一般的无隔水管钻探工艺取心时,施加的钻压会使孔隙遭到破坏和压缩,同时未被破坏的孔隙容易流失泥浆,造成返浆困难,岩屑难以排出,进而导致钻具摩擦力大,扭矩损失大,容易出现取不上样的问题。随着钻孔加深,还会出现卡钻事故而无法继续进行深层取样。而对于隔水管钻进系统,目前尚未查阅到国内在礁灰岩地层应用的报道。关于礁灰岩钻探的报道仅限于人工吹填的珊瑚岛礁的钻探取样^[9-14]。南海岛礁演化的研究仍停留在浅表层和“一孔之见”^[15]。珊瑚岛礁周围海域和深海礁灰岩区域研究是开展各种研究的关键。目前,还没有研究提出对这些区域钻探取样行之有效的技术方案。为解决上述技术空缺,在全液压钻探无隔水管钻探系统的基础上,开发了海上顶部双驱动联动隔水管钻探取心技术。

1 平台和设备

海上顶部双驱动联动隔水管钻探取心技术主要设备有勘探船、船载钻探系统、立轴式辅助钻机以及井口浪涌补偿装置。

1.1 勘探船

海洋地质十号船,采用全电力推进系统,具备2套全回转舵桨和2套槽道式艏侧推,具有良好的航向稳定性和灵活的操作性,在直航时具有良好的航向稳定性。船上配备DP-2型动力定位系统和锚泊定位系统,在海况良好的情况下,定位精度 <0.2 m,为海上钻探作业提供可靠的支撑。海洋地质十号船如图1所示,参数如表1所示。



图1 海洋地质十号船

Fig.1 Ocean Geology 10 ship

表1 海洋地质十号船参数

Table 1 The parameters of Ocean Geology 10

项 目	参 数
船舶吨位/t	2980
样品库	配备具有常温、冷冻、冷藏等各种保存能力的样品库
干实验室/m ²	67
湿实验室/m ²	35
床位、救生设备	58个
设备供电	干实验室配套30 kW AC220 V供电; 后甲板配套50 kW AC380 V供电
通讯设备	配套了单边带通讯设备、卫星电话等
船型参数/m	75.8×15.4×7.6
续航力/海里	8000
自持力/d	45
主发电机组	1960 kW×3台
最大航速/节	15
经济航速/节	12
动力定位系统	DP-2

1.2 船载钻探系统

海洋地质十号船本身搭载的船载钻探系统为举升式全液压海洋钻探系统^[16],船载钻探系统如图2所示。钻探系统是针浅海沉积物取样、井下静力触探(CPT)作业设计。从经济性、作业效率及钻孔成功率等方面综合考虑,钻探系统的设计方案采用低转速无隔水管开式钻探作业方式,可装备5½ in (1 in=25.4 mm,下同)钢钻杆在水深600 m条件下钻进取样400 m,或装备5 in铝合金钻杆在1200 m水深的条件下钻进取样200 m。钻探系统采用交流变频和液压控制技术,实现整个系统的全数字控制和液压控制。顶驱的提升/下放作业采用双液缸直接驱动,以简化机械传动流程,降低机械设备故障率

以及减轻整机质量。升沉浪涌补偿方面采用被动液气浪涌补偿,消除海浪作用下平台升沉对钻探作业的影响,在有浪涌的条件下保持钻压相对稳定,升沉补偿范围 ± 1.5 m。此外,钻探系统配备海底基盘,用于钻探船勘探作业时,限定井口位置,取样过程中固定钻杆,避免由于海流作用引起钻杆摆动或上下运动,防止在钻进时出现钻具滑动等情况。

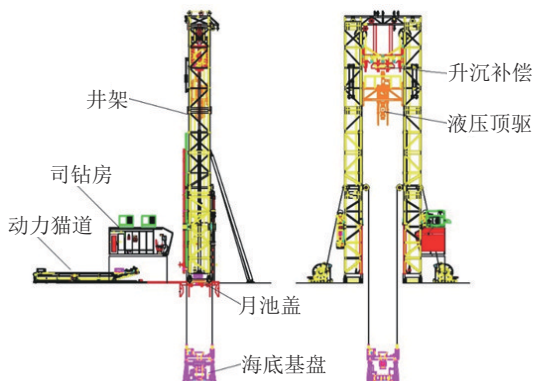


图2 船载钻探系统示意

Fig.2 Ship-borne drilling system

1.3 辅助钻机

选用XY-2D型岩心钻机作为辅助钻机,配备 $\varnothing 114$ mm套管和 $\varnothing 88$ mm岩心管。XY-2D型岩心钻机作为一种轻便型钻机,具有结构紧凑、体积小、质量轻和搬迁方便的优点。该钻机可用于地球物理勘探,其最大钻深300 m。根据不同岩层可选用硬质合金钻头、金刚石钻头进行钻探取心。配套的泥浆泵选用BW250型卧式三缸往复式单作用活塞泵,最大压力7 MPa。

1.4 井口浪涌补偿装置

在有套管的条件下,需要考虑套管的补偿。在浅海,可以选用伸缩套管作为套管补偿^[17]。本方案选用BCQ型升降补偿器,是一种钻探用悬浮工具,其结构如图3所示,八方杆左侧为 $5\frac{1}{2}$ in IF扣公螺纹,中间为八方杆身,右侧通过螺纹连接活塞。活塞上带密封圈,与缸套之间形成密封,可保证在一定泥浆压力下不泄漏。八方杆可在方杆套内活动,而方杆套通过螺纹与缸套连接。缸套的右侧连接上接头,上接头内带 $5\frac{1}{2}$ in IF扣母螺纹。整个补偿装置通径121 mm,可连接 $5\frac{1}{2}$ in钻杆,用于 $5\frac{1}{2}$ in外套管隔断上下部钻具,起到保护钻探设备的作用。海上钻探作业中,当遇到潮汐或浪涌导致船舶上下剧烈

移动时,升降补偿器补偿作用启动,上部固定于船舶、下部连接地层,上下两部分之间,通过方杆和方杆套上的方形结构在轴线方向相互移动,升降补偿器始终处于减缓上下位移对套管影响的工作状态,并保证上部活动组件和下部活动组件之间不会出现刚性碰撞,最大限度地保护整个套管体系。

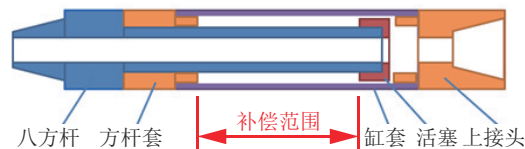


图3 浪涌补偿装置示意

Fig.3 Surge compensation device

2 顶部双驱动联动隔水管钻探取心技术方案

海洋地质十号船载钻机以海底表层沉积物取样为主,不具备礁灰岩、硬岩等特殊岩体的钻进能力,在礁灰岩地层取样钻探的实践中,钻进5 m左右就出现卡钻问题而无法深入取样。而立轴式钻机原用于陆地钻探,直接搭载于船舶钻探取样容易受海流、浪涌、海底地形、海底表面地层硬度的影响,若直接连接钻杆到海底开始钻取表层硬岩,容易出现钻杆弯曲、钻头打滑的情况,导致无法成孔甚至损坏钻杆。

基于以上问题,以海洋地质十号船以及船载钻机为基础,立轴式钻机作为辅助,提出了一种顶部双驱动联动隔水管钻探取心技术(见图4、图5)。利用海洋地质十号船载钻机 $5\frac{1}{2}$ in钻杆作为外套管以及海底基盘限定钻孔位置,然后用立轴式钻机 $\varnothing 88$ mm取心钻具取心, $\varnothing 114$ mm套管护壁并实现泥浆循环,钻孔结构如图6所示。

顶部双驱动联动隔水管钻探取心技术的具体实施步骤:

(1)船舶DP定位至指定作业点,用船载钻机系统连接 $5\frac{1}{2}$ in钻杆到海底,然后下放海底基盘,以约束 $5\frac{1}{2}$ in钻杆钻进位置。

(2)用船载钻机系统钻进,绳索取心钻进3~5 m,然后提钻更换最上面的 $5\frac{1}{2}$ in钻杆为浪涌补偿装置,保留 $5\frac{1}{2}$ in钻杆和浪涌补偿装置作为外套管。 $5\frac{1}{2}$ in钻杆和浪涌补偿装置形成的外套管管道用于约束井口位置并作为泥浆循环的一部分,同时浪涌

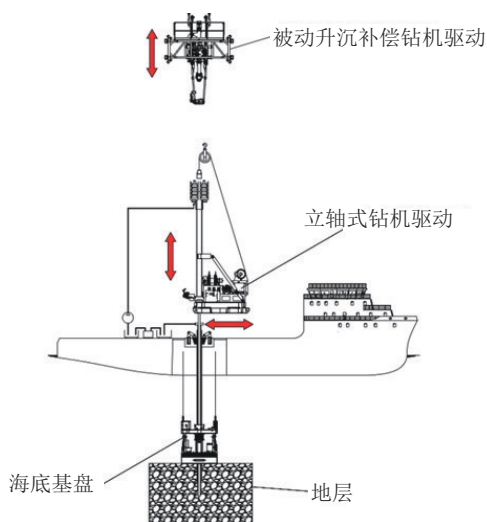


图 4 顶部双驱动联动隔水管钻探取心装置示意
Fig.4 Coring drilling device with the marine top double-drive linkage riser system

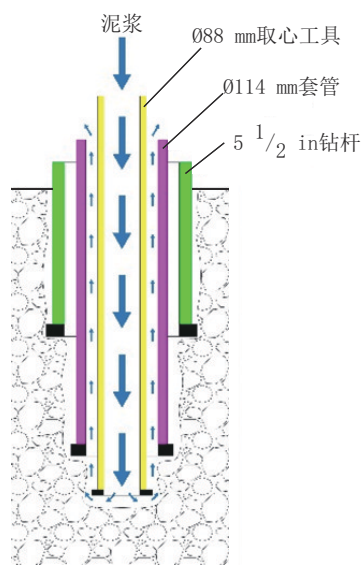


图 6 钻孔结构
Fig.6 Borehole structure



图 5 顶部双驱动联动隔水管钻探取心装置实物
Fig.5 Coring drilling device with the marine top double-drive linkage riser system

3 现场取样效果

顶部双驱动联动隔水管钻探取心技术目前已经应用于西沙海域礁灰岩取样。取样过程按照技术方案的工艺流程钻进,采用转速 677 r/min,钻压保持在 6 kN 左右,表层采用复合片钻头,钻进至硬层采用金刚石钻头,回次取心长度 ≥ 2 m,共进行了 4 个站位的取心。整个取心过程比较顺利,没有出现卡钻、埋钻、垮孔等钻进事故。

取心发现,西沙海域的礁灰岩表层为珊瑚及珊瑚碎屑组成,胶结弱,可压缩性强,取心样品较松散。随着钻进的深入,礁灰岩地层的胶结逐渐变强,硬度逐渐变大,取心样品完整性逐渐变好,此层位的礁灰岩岩心如图 7 所示,其孔隙度高,透水性强。

补偿装置可防止外套管因浪涌和潮汐对井口设备刚性碰撞。

(3)切换辅助钻机,驱动 $\varnothing 88$ mm 钻具扫孔至上次取心层位,然后关闭泥浆进行干扫提钻取心。

(4)当出现塌孔或泥浆循环变差时,下 $\varnothing 114$ mm 套管至取心层位,以保护钻孔并确保岩屑正常排出。

(5)重复步骤(3)和(4)至终孔,并注意 $\varnothing 114$ mm 套管应根据潮汐及涌浪情况,通过短节,调整套管孔口高度,避免过低脱离孔底、过高顶冲操作平台。



图 7 礁灰岩岩心
Fig.7 Reef limestone core

4 个站位的礁灰岩的取心概况如表 2 所示。最大钻孔深度达 130.75 m,岩心采取率达 76.80%,部分包装好的岩心如图 8 所示。其中 3 号钻孔出现溶

洞,因此采取率较其他钻孔稍低。

表2 礁灰岩取心情况

Table 2 Coring results in reef limestone

站 位	水深/ m	钻孔深度/ m	岩心总长/ m	采取率/ %	样品 类型
1	61.10	104.44	73.63	70.49	礁灰岩
2	34.78	130.75	100.42	76.80	礁灰岩
3	56.34	46.30	32.08	69.28	礁灰岩
4	33.59	40.73	29.00	71.20	礁灰岩



图8 包装好的样品

Fig.8 Packed samples

4 结论与展望

顶部双驱动联动隔水管钻探取心技术采用海底基盘和外套管限位钻孔,内套管护壁,取心钻具干打取心,极大地保护了钻孔,减少了卡钻、埋钻事故,并增大了岩心采取率。实践证明对于礁灰岩地层有良好的钻进效率和较高的岩心取心率。

目前方案仍然存在以下问题:

- (1)提钻取心一定程度上降低了取心效率。
- (2)自动化程度低、人力操作过程较多。
- (3)辅助钻机功率不足,取样深度受限。

下一步可将提钻取心改为绳索取心,增大辅助钻机功率并进一步集成于车载钻机系统,以适用更广泛的岩心取样需求。

随着国家从海洋大国向海洋强国的战略转移,海洋地质将成为新的研究热点。此项技术的成功应用,将为研究南海海域的工程地质稳定特征、生物礁的发育机理及古海洋环境演变,提供宝贵的地质基础资料;同时为可礁灰岩地层车载钻机设计提供思

路。具有广阔的应用前景。

参考文献(References):

- [1] 郑坤,孟庆山,汪稔,等.珊瑚礁灰岩工程地质特性研究新进展[J].海洋地质与第四纪地质,2020,40(1):42-49.
ZHENG Kun, MENG Qingshan, WANG Ren, et al. Advances in study of engineering geological characteristics of coral reef limestone[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2020, 40(1):42-49.
- [2] 郑建国,乔建伟,唐国艺.珊瑚礁灰岩的透水特性和基坑降水措施研究[J].岩土工程技术,2020,34(5):286-289.
ZHENG Jianguo, QIAO Jianwei, TANG Guoyi, et al. Permeability characteristics and foundation pit precipitation measures of coral reef limestone [J]. Geotechnical Engineering Technique, 2020,34(5):286-289.
- [3] 鲁毅,崔宇驰,刘新宇,等.中国南海西沙碳酸盐岩台地形成过程及控制因素:来自西科1井的地球化学证据[J].古地理学报,2020,22(6):1197-1208.
LU Yi, CUI Yuchi, LIU Xinyu, et al. Formation process and controlling factors of carbonate platform in Xisha area, South China Sea: Based on geochemical evidences from Well Xike-1 [J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2020, 22(6):1197-1208.
- [4] 李银强,余克服,王英辉,等.西沙群岛永乐环礁琛科2井的珊瑚藻组成及其水深指示意义[J].微体古生物学报,2017,34(3):268-278.
LI Yinqiang, YU Kefu, WANG Yinghui, et al. The composition of coralline algae from Well Chenke-2 in Xisha Islands South China sea, China and its implication on the water depth [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2017, 34(3):268-278.
- [5] 魏喜.西沙海域晚新生代礁相碳酸盐岩形成条件及油气勘探前景[D].北京:中国地质大学(北京),2006.
WEI Xi. Forming condition of Late-Cenozoic reef facies carbonate rocks in Xisha sea area and their oil and gas exploration potential [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2006.
- [6] 张婷,胡敏航,张文静,等.涠洲岛珊瑚礁近千年的发育过程及其对气候变化的响应[J].热带海洋学报,2020,39(4):70-79.
ZHANG Ting, HU Minhang, ZHANG Wenjing, et al. Coral reef growth of Weizhou Island and its response to climate change in the past millennium [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2020, 39(4):70-79.
- [7] 宋世杰,张英传,田志超,等.三层管底喷取心钻具在海相第四系和新近系中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(3):10-13.
SONG Shijie, ZHANG Yinchuan, TIAN Zhichao, et al. Application of sampling drilling tools of three layer pipes in the Marine Quaternary System [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(3):10-13.

- [8] 赵义,蔡家品,阮海龙,等.大洋科学钻探船综述[J].地质装备,2019,20(3):11-14.
ZHAO Yi, CAI Jiapin, YUAN Hailong, et al. Overview of ocean scientific drilling vessels[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2019,20(3):11-14.
- [9] 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全国土力学及岩土工程学术大会论文摘要集,2015:231-232.
WANG Ren, ZHU Changqi, MENG Qinshan, et al. Paracel islands coral reef scientific drilling project in China: A record of 1000 meters deep drilling project[C]//Abstracts of the 12th National Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering of China Civil Engineering Society, 2015:231-232.
- [10] 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.
- [11] 朱长歧.中国西沙群岛珊瑚礁科学钻探工作又取得重大进展[J].岩土力学,2014,35(9):2737.
ZHU Changqi. Great progress has been made in scientific drilling of coral reefs in Paracel Islands, China[J]. Rock and Soil Mechanics, 2014,35(9):2737.
- [12] 宋继伟,蒋国盛,班金彭.中国南海珊瑚岛礁泻湖砂层钻探取心技术[J].地质与勘探,2020,56(6):1251-1257.
SONG Jiwei, JIANG Guosheng, BAN Jinpeng. Drilling and coring technology for coral reef lagoon sand layer in the South China Sea[J]. Geology and Exploration, 2020,56(6):1251-1257.
- [13] 宋继伟,蒋国盛,李勇,等.中国南海珊瑚岛礁第四系覆盖层钻探取心技术[J].地质科技通报,2020,39(3):211-215.
SONG Jiwei, JIANG Guosheng, LI Yong, et al. Drilling and coring technology for Quaternary overburden of coral islands and reefs in the South China Sea[J]. Geological Science and Technology Bulletin, 2020,39(3):211-215.
- [14] 宋继伟,李勇,班金彭.中国南海珊瑚岛礁钻探技术[J].钻探工程,2021,48(6):22-31.
SONG Jiwei, LI Yong, BAN Jinpeng. Drilling technology for coral islands and reefs in the South China Sea[J]. Drilling Engineering, 2021,48(6):22-31.
- [15] 吴时国,朱伟林,马永生.南海半封闭边缘海碳酸盐台地兴衰史[J].海洋地质与第四纪地质,2018,38(6):1-17.
WU Shiguo, ZHU Weilin, MA Yongsheng, et al. Vicissitude of Cenozoic carbonate platforms in the South China Sea: Sedimentation in semi-closed marginal seas[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2018,38(6):1-17.
- [16] 王维旭,刘志桐,张鹏,等.全液压海洋地质钻探系统的研制与应用[J].石油机械,2019,47(12):58-63.
WANG Weixu, LIU Zhitong, ZHANG Peng, et al. Development and application of hydraulic drilling rig for marine geological survey [J]. China Petroleum Machinery, 2019,47(12):58-63.
- [17] 王林清,马汉臣,许本冲,等.浅海伸缩套管钻探工艺研究[J].钻探工程,2021,48(7):40-45.
WANG Linqing, MA Hanchen, XU Benchong, et al. Research on shallow sea drilling technology with telescopic casing [J]. Drilling Engineering, 2021,48(7):40-45.

(编辑 李艺)