

南黄海地震监测台网 CSDP-2 孔扩孔改造技术

葛晓华^{1,2}, 翟育峰^{*1,2}, 王鲁朝^{1,2}, 孙飞飞^{1,2}, 姜晓^{1,2}

(1. 山东省地矿局钻探工程技术研究中心, 山东烟台 264004; 2. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东烟台 264004)

摘要: 对南黄海大陆架科学钻探 CSDP-2 孔进行扩孔改造, 开展海洋深部地震监测, 是“一带一路”地震监测台网建设的重要组成部分。通过对 CSDP-2 孔扩孔改造所采用的钻探工艺进行总结, 摸索出了一套适合海上深部钻探的工艺技术: 在钻井平台上选用转盘水井钻机, 做到设备模块化、便携化; 随钻测斜仪定向钻进技术能有效节省钻孔单点测斜校对时间, 提高钻孔施工质量; 配制海水低固相聚合物冲洗液体系, 有效解决钻孔水敏性泥岩吸水膨胀及分散造浆、破碎地层漏失、含气地层有害气体溢出等难题, 避免了孔内事故的发生。研究结果为后续海洋深部钻探提供了技术支撑。

关键词: “一带一路”; 南黄海; 地震监测台网; 海洋钻探; 扩孔改造; 转盘水井钻机; 随钻测斜仪; 海水低固相聚合物冲洗液体系

中图分类号: P634 文献标识码: B 文章编号: 2096-9686(2022)06-0030-06

Reaming technology for CSDP-2 hole of South Yellow Sea Earthquake Monitoring Network

GE Xiaohua^{1,2}, ZHAI Yufeng^{*1,2}, WANG Luzhao^{1,2}, SUN Feifei^{1,2}, JIANG Xiao^{1,2}

(1. Drilling Engineering Technology Research Center of Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources, Yantai Shandong 264004, China;

2. The Third Geological Team of Shandong Bureau of Geology and Mineral, Yantai Shandong 264004, China)

Abstract: It is an important part of the construction of the “Belt and Road” seismic monitoring network to carry out reaming and upgrading of CSDP-2 hole of the “Deep Marine Seismic Monitoring Network”. By summarizing the drilling process used for reaming CSDP-2 hole in the South Yellow Sea, a set of drilling technology suitable for offshore deep drilling has been developed: including rotary water well drilling rig which was used on the drilling platform to make the equipment modular and portable; Mud pulse MWD which can effectively save survey time and improve drilling quality from the single point inclinometer. Seawater based low solid polymer drilling fluid which has effectively tackled the problems such as mudstone expansion and mud production in water sensitive formation, circulation loss in broken formation, hazard gas emission from gas bearing formation so as to prevent downhole incidents. The research results can provide technical support and reference for subsequent deep ocean drilling.

Key words: “Belt and Road”; South Yellow Sea; seismic monitoring network; ocean drilling; reaming and upgrading; rotary water well drilling rig; MWD; seawater based low solid polymer drilling fluid

0 引言

深部地震监测是当前地球科学研究的热点前

沿领域。通过在深部钻孔中开展长期、连续的多参量地震监测, 可以获取连续的、高分辨率的地震、形

收稿日期: 2022-07-03; 修回日期: 2022-10-10 DOI: 10.12143/j.ztgc.2022.06.004

第一作者: 葛晓华, 男, 汉族, 1979年生, 助理工程师, 从事矿产资源勘查与钻探工程技术研究工作, 山东省烟台市芝罘区机场路271号, 804854421@qq.com。

通信作者: 翟育峰, 男, 汉族, 1984年生, 高级工程师, 勘查技术与工程专业, 硕士, 从事钻探技术研究工作, 山东省烟台市芝罘区机场路271号, 282163880@qq.com。

引用格式: 葛晓华, 翟育峰, 王鲁朝, 等. 南黄海地震监测台网 CSDP-2 孔扩孔改造技术[J]. 钻探工程, 2022, 49(6): 30-35.

GE Xiaohua, ZHAI Yufeng, WANG Luzhao, et al. Reaming technology for CSDP-2 hole of South Yellow Sea Earthquake Monitoring Network[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(6): 30-35.

变、地温等数据,从而有效地服务于地球科学系统深部探测和防灾减灾等国民经济建设。中国地震局地球物理研究所依托南黄海大陆架科学钻探CSDP-2孔进行扩孔改造,开展海洋深部地震监测,是“一带一路”地震监测台网建设的重要组成部分。本文系统介绍了CSDP-2孔扩孔改造过程中相关钻探工艺和突发事件处理经验,以期在今后海洋深部钻探提供技术支撑和经验参考。

1 钻孔地质条件与技术要求

1.1 钻孔地质条件

CSDP-2孔位于连云港以东约170 km,射阳河口东北约110 km,在构造上位于南黄海盆地中部隆起之上(见图1)^[1]。CSDP-2孔原孔钻遇地层岩性如下:0~646 m为未固结的松散沉积物,646~1722 m为长石岩屑砂岩、泥质粉砂岩、泥岩互层,1722~1980 m为灰岩层,1980~2350 m以石英砂岩为主夹泥岩、泥质粉砂岩,2350~2843.18 m为泥岩、粉砂岩夹白云岩^[2-3]。由此可见,本次扩孔改造钻探的目标地层岩性全部为沉积岩,岩性复杂多变,对钻探方法、钻具组合等技术参数的选择带来较大的挑战。

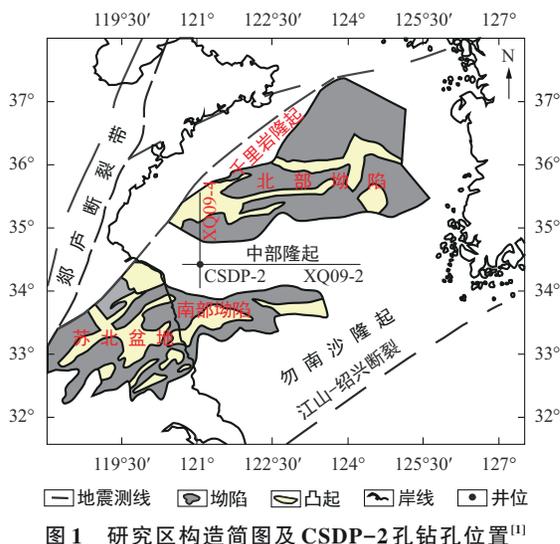


Fig.1 Structure of the study area and the location of CSDP-2

1.2 钻探技术要求

本次钻探施工是在“探海一号”钻井平台上对CSDP-2孔进行扩孔改造。要求扩孔后的裸眼孔径 ≥ 150 mm,钻探深度 ≤ 2800 m,全孔孔斜 $\leq 5^\circ$,全孔

最大“狗腿”度 $\leq 2^\circ/30$ m。相较于原CSDP-2钻孔施工,本次钻探对孔径、孔斜等技术要求更高,施工技术难度更大。

2 钻探设备

“探海一号”钻井平台是本单位自主研发的,平台上原有的HXY-8型钻机提升力、BW-300/16型泥浆泵冲洗液排量、配套钻具扭矩等均无法满足施工需要,而选用成套石油钻井设备超出钻井平台承载能力。根据钻井平台现有条件及钻孔设计要求的深度、终孔直径、地层情况,选用TSJ3000-445型机械传动式转盘水井钻机,配套BW-1500/12、BW-1000/12型2台卧式三缸单作用泥浆泵,能够满足3000 m深度内的钻探施工^[4-5]。施工现场见图2,主要设备配置情况见表1。

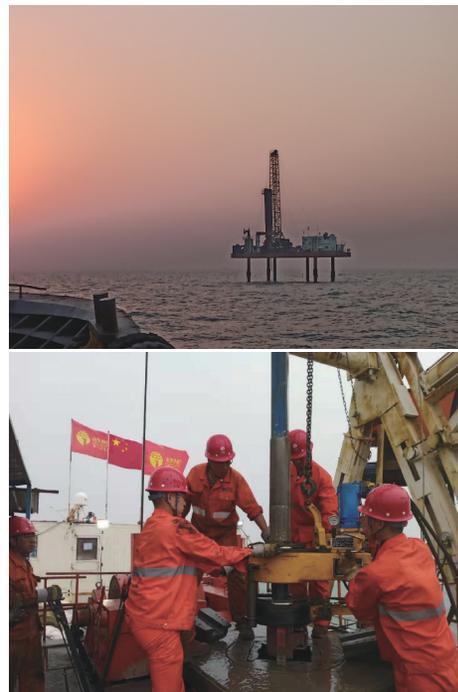


图2 施工现场

Fig.2 Drilling site

3 钻探施工技术

3.1 钻孔结构

一开 $\varnothing 219$ mm套管152.15 m、二开 $\varnothing 168$ mm套管646 m为原CSDP-2号孔预留,已经完成固井作业^[4],本次扩孔从三开646 m开始, $\varnothing 152.4$ mm口径扩孔至2801.86 m,裸孔完钻。扩孔改造前后钻孔结构见图3。

表1 钻探施工主要设备

Table 1 Main drilling equipment

序号	设备名称	型号规格	数量
1	钻机	STJ3000/445	1台
2	泥浆泵	BW-1500/12	1台
		BW-1000/12	1台
3	钻塔	K31/2.8	1副
4	泥浆搅拌机	TJ-350	3台
5	拧管机	XC140/12YA 修井动力钳	1台
6	除砂器	LCS250	1台
7	振动筛	FLC500	1台
8	离心机	TGLC350	1台
9	防喷器控制装置	FK125-3	1套
10	防喷器	2FZ18-35	1套
11	泥浆测试仪器	ANY-1	1套
12	测斜仪	STL-1GW	1套
13	随钻定向设备	SYT-48R 泥浆脉冲随钻测斜仪	4套
14	螺杆钻具	HEXINAPI7-1-0988	8支

3.2 钻具组合

本次扩孔钻探使用的钻具组合以定向钻具组合为主,钻遇地磁影响随钻测斜信号质量孔段或钻遇漏失严重孔段,孔口返浆量少钻井液传递随钻测斜信号弱时,需起钻更换调整为常规钻具组合^[6]。

(1)定向钻具组合: $\text{O}152.4\text{ mm}$ 钻头 + $\text{O}120\text{ mm}$ 单弯定向螺杆钻具(1.5°) + $\text{O}150\text{ mm}$ 扶正器 + 定向接头 + $\text{O}120\text{ mm}$ 无磁钻铤1根 + $\text{O}120\text{ mm}$ 钻铤6根 57.6 m + $\text{O}89\text{ mm}$ 钻杆 + 方保 + 旋塞 + 方钻杆。

(2)常规钻具组合: $\text{O}152.4\text{ mm}$ 钻头 + $\text{O}120\text{ mm}$ 钻铤12根 115.2 m + $\text{O}149\text{ mm}$ 扶正器 + $\text{O}89\text{ mm}$ 钻杆 + 方保 + 旋塞 + 方钻杆。

3.3 钻头选型

根据钻进孔深与原CSDP-2孔取出岩心,判断地层的抗压强度、可钻性,合理选择钻头,钻进时发现地层发生改变或进尺变慢,及时起钻检查更换钻头。钻头选配见表2,扩孔改造使用的钻头见图4。钻遇抗压强度高、有硬夹层的地层,537牙轮钻头掉齿(图4b),钻遇抗压强度低、可钻性级别低的松软地层,PDC钻头出现泥包(图4d)。

3.4 钻进参数

施工中根据原CSDP-2钻孔地层岩性特点,调整钻进技术参数。采用的钻进技术参数见表3。

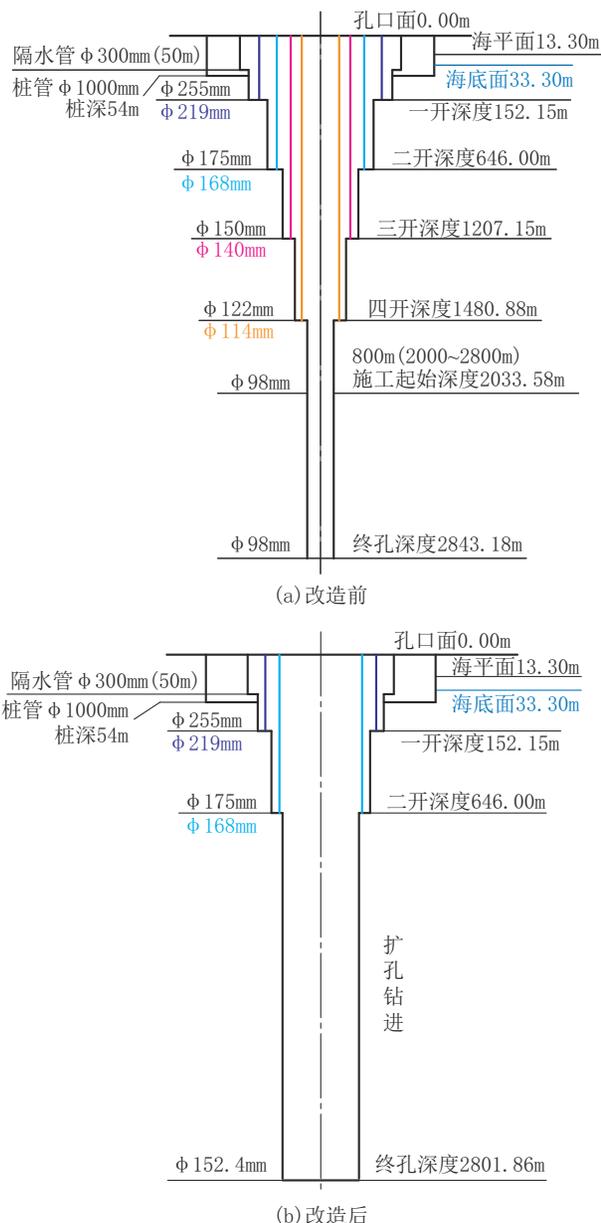


图3 CSDP-2钻孔结构

Fig.3 Structure of CSDP-2

表2 钻头选配

Table 2 Drilling bits

序号	孔段/m	地层特点	选配钻头
1	646~1722	低抗压强度、高可钻性的松软地层	537牙轮或PDC 6HRD5135钻头
2	1722~1980	中软有较硬研磨强度地层	537牙轮或PDC 6HRD5135钻头
3	1980~2350	地层抗压强度高,有硬夹层	617牙轮或PDC 6HRD6135钻头
4	2350~2801.86	高抗压研磨性高的地层	617牙轮或PDC 6HRD6135钻头



(a)537牙轮钻头 (b)使用后掉齿的牙轮钻头
(c)PDC钻头 (d)使用后PDC钻头泥包情况

图 4 扩孔改造使用的钻头

Fig.4 Drill bits used for reaming

3.5 冲洗液使用与调整

主要使用海水低固相聚合物冲洗液体系,在原钻孔使用的冲洗液配方基础上加入膨润土、增粘剂、降失水剂、烧碱等泥浆材料,提高冲洗液密度,增加粘度,降低失水量,使原有小口径冲洗液满足大口径钻进的护壁、携砂技术要求,并增加现场冲洗液储备,配置备用压井泥浆预防含油气孔段孔内有害气体溢出。在施工过程中依据钻遇地层需求实时对冲洗液性能进行调整。现场配方:1 m³海水+2 kg 烧碱+2 kg 纯碱+50 kg 钠膨润土+8 kg 增粘剂抗盐共聚物(GTQ)+10 kg 降失水剂(GPNA)+10 kg 接枝淀粉(GSTP)+10 kg 随钻堵漏剂(GPC)+20 kg 封堵剂(GFD-1)+2 kg 包被剂(GBBJ)。其他材料包括氢氧化钾(提高 pH 值,抑制泥岩水化膨胀分散),重晶石(提高密度,平衡地层压力),除硫剂(去除地层中的硫化氢)。根据不同地层情况及不同工况,及时调整各冲洗液处理剂加量,从而使冲洗液性能满足施工需求^[7-9]。冲洗液性能见表 4。

表 3 钻进参数选择

Table 3 Drilling parameters

序号	孔深/m	钻遇地层	钻压/kN	转速/(r·m ⁻¹)	泵量/(L·s ⁻¹)	钻具选择
1	646~1722	长石岩屑砂岩、泥质粉砂岩、泥岩互层	10~20	43~60	8~10	常规钻具 定向钻具
2	1722~1980	灰岩层	20~40	43~200	8~12	常规钻具 定向钻具
3	1980~2350	石英砂岩夹泥岩、泥质粉砂岩,较破碎 富含气,地层漏失	30~80	63~180	8~12	常规钻具 定向钻具
4	2350~2801.86	泥岩、粉砂岩夹白云岩	20~80	43~180	8~10	定向钻具

表 4 冲洗液性能参数

Table 4 Performance parameters of drilling fluid

孔深/m	密度/ (g·cm ⁻³)	漏斗粘度/ s	塑性粘度/ (mPa·s)	动切力/ Pa	静切力/ (Pa/Pa)	API 滤失量/ mL	泥皮厚/ mm	pH 值
46~1500	1.05~1.10	30~45	10~25	5~7	2~5/3~7	6~13.5	≤0.1	9~13
1500~2000	1.05~1.20	30~50	10~30	5~15	2~5/5~18	9~18	≤0.2	9~14
2000~2801.86	1.05~1.20	30~55	10~30	5~15	2~5/5~18	8~15	≤0.2	8~14

3.6 孔斜预防与轨迹控制

钻孔的孔斜预防与控制主要以 YST-48R 型泥浆脉冲随钻测斜仪实时跟踪钻进轨迹,配合单弯螺杆钻具定向钻进纠斜,复合钻进稳斜为主。钻遇严重漏失地层,泥浆泵泵压过低,孔底泥浆脉冲信号弱

或钻遇重磁场孔段泥浆脉冲信号错误时,需提出钻具检查,更换常规钻具,依靠增加钻铤根数,孔底加压钻进。钻进中严禁靠加压追求进尺。针对顶层进,采取吊打措施,并做到勤测斜。针对顺层跑,采取中压中高转的参数,做到少进尺,勤测斜,及时掌

握钻孔轨迹^[10-12]。全孔最大孔斜 4.94° ,位于2490 m;最大“狗腿”度 $1.86^\circ/30$ m,位于1440 m。孔身质量符合合同要求。

3.7 复杂情况的预防和处理

3.7.1 PDC钻头出现泥包

646~1722 m孔段为长石岩屑砂岩、泥质粉砂岩、泥岩、灰岩互层,地层部分孔段夹杂软质粘土层,泥岩、灰岩的强造浆作用,致使PDC钻头极易出现泥包。

解决方案:一般造浆地层,采用调整冲洗液性能的方法,降低粘度,减少固相含量,提高流动性,降低钻头泥包的可能;强造浆地层在一般地层处理的基础上,加入氢氧化钾抑制泥岩造浆,使用三牙轮钻头替换PDC钻头钻进。

3.7.2 钻遇漏失、坍塌、复杂地层

1400~2600 m孔段为灰岩层、石英砂岩、泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩夹白云岩等夹杂煤层,油气层(含硫化氢)有不同程度的破碎带与大裂隙,漏失,大颗粒掉块多,地层稳定性极差,加钻杆、起下钻时,需重复划眼,并出现多次起钻轻度卡阻^[13];该孔钻进至孔深2010 m处,开始漏浆,返浆量很少。

现场处理:(1)对渗透性漏失,首先提高冲洗液粘度、切力,降低冲洗液密度和泵的排量,并在原浆中补充随钻堵漏剂,顶漏钻进,随钻随堵。漏失过快时,将钻具提离孔底停泵静置,使用冲洗液中固相颗粒岩屑等随漏失冲洗液进入地层裂隙堵漏。钻进至2029 m处,钻孔严重漏失,冲洗液只进不出,全部流入地层中,现场在冲洗液中加入复合堵漏剂,主要成分包括锯末、麻刀、核桃壳、粘土块(粘土球)等,并注入胶质水泥、石灰乳,使其具有一定的流动性。配浆完成继续钻进,孔口返浆量逐渐增大,钻进到2040 m冲洗液消耗量稳定在 $4\text{ m}^3/\text{h}$,钻进到2070 m,冲洗液材料耗尽,提钻。(2)轻度卡钻预防与处理,在正常钻进过程中,尤其是上提接单根时,做到上提必划眼,确保裸眼孔段上提下放无阻力时接单根。在出现严重漏失后,提钻多次遇阻,接方钻杆建立循环,需上下活动钻具划眼提钻。原因分析,在钻进过程中,当钻遇含油、气、水层时,如果该油、气、水层的压力大于循环冲洗液液柱的压力,或者由于起下钻作业对井筒产生抽吸作用,降低了井筒压力,油、气、水就会从地层进入循环冲洗液中,引起冲洗液的密度下降、冲洗液有气泡,孔口有外涌现象,冲洗液性

能下降,护壁性能降低,携砂能力不足。造成孔壁的不稳定,卡钻。接方钻杆,循环冲洗液划眼,可降低冲洗液中沉砂速度,避免沉沙卡钻的发生。

4 技术成果

(1)利用自主研发的“探海一号”海上钻探平台,圆满、高效地完成了CSDP-2孔2801.86 m深的扩孔改造施工,钻探周期152天,其中海上避风53天,经历近10个十级以上大风(台风、寒潮)考验,该孔终孔口径152.4 mm,最大孔斜 4.94° ,最大“狗腿”度 $1.86^\circ/30$ m,各项技术指标满足设计要求。

(2)选用TSJ3000-445型机械传动式转盘水并钻机和BW-1500/12、BW-1000/12型双泥浆泵配合,与石油钻探设备相比,做到选配设备模块化、便携化,有效减轻了钻井平台负载,满足了生产需求。引进油气钻井用SYT-48R型泥浆脉冲随钻测斜仪配合单弯螺杆钻具随钻定向纠斜、稳斜,有效减少钻孔单点测斜校对时间,保证了钻孔质量。配制海水低固相聚合物冲洗液体系,有效解决钻孔水敏性泥岩吸水膨胀及分散造浆、破碎地层漏失、含气地层有害气体溢出等难题,避免了孔内事故的发生。在装备、器具和工艺方面,形成了一套海上深孔钻探扩(钻)孔施工技术。

(3)原平台泥浆罐为小口径岩心钻探使用,冲洗液储备不能满足本次施工要求,常规油气钻探过多的泥浆罐摆放给平台承载和现场施工场地空间增大压力。而平台的多箱体构造为启用平台箱体作为泥浆罐提供了条件。对部分箱体进行了改造处理作为泥浆罐,为强造浆孔段冲洗液储备保留提供了条件,满足了破碎带、大裂隙、含气层造成漏失、严重漏失段对备用浆的补充、储备要求^[14-15]。

5 结语

在钻井平台上采用 $\text{O}152.4$ mm口径全面给进钻具施工2800 m深的钻孔,在南黄海海域没有可成功借鉴的案例,是一个非常大的挑战。通过选配适宜的钻探设备及海上深孔钻探扩孔施工技术,完成了CSDP-2孔扩孔施工任务,保障了“一带一路”地震监测台网建设的实施。其技术可为以后海洋深部钻探提供技术支撑。

海上钻探工程的实施应当充分考虑钻井平台的空间限制、承载能力,钻探设备、钻探工具选配要做

到适应性、实用性,确保平台安全生产。海上钻探与陆地钻探相比,环境差别较大,在海上钻探施工过程中生产、生活、医药物资、安全设施配备须保持过盈,满足施工周期需求。

参考文献(References):

- [1] Pang Y. M., Zhang X. H., Xiao G. L., et al. Characteristics of Meso-Cenozoic Igneous Complexes in the South Yellow Sea Basin, Lower Yangtze Craton of Eastern China and the Tectonic Setting[J]. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 2017, 91: 971-987.
- [2] 蔡来星,郭兴伟,徐朝晖,等.南黄海盆地中部隆起上古生界沉积环境探讨[J]. *沉积学报*, 2018, 36(4): 695-705.
CAI Laixing, GUO Xingwei, XU Zhaohui, et al. Depositional environment of upper paleozoic in the central uplift of the South Yellow Sea Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2018, 36(4): 695-705.
- [3] 郭兴伟,朱晓青,梅西.大陆架科学钻探首次在南黄海中部隆起钻遇奥陶系地层[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2017, 37(2): 66.
GUO Xingwei, ZHU Xiaqing, MEI Xi. The ordovician strata were first encountered in the central uplift of the South Yellow Sea based on the continental shelf drilling program[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2017, 37(2): 66.
- [4] 董海燕,单文军,宋世杰,等.南黄海大陆架科学钻探CSDP-02井钻探施工技术[J]. *地质与勘探*, 2017, 53(2): 334-341.
DONG Haiyan, SHAN Wenjun, SONG Shijie, et al. Technologies used at the Well CSDP-02 of the scientific drilling on the continental shelf in the Southern Yellow Sea[J]. *Geology and Exploration*, 2017, 53(2): 334-341.
- [5] 宋世杰,李晓东,陈师逊.南黄海大陆架科钻CSDP-02井第四系、新近系地层海水冲洗液研究与应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2017, 44(4): 10-13.
SONG Shijie, LI Xiaodong, CHEN Shixun. Study on seawater flushing fluid and its application in quaternary and neogene strata for CSDP-02[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2017, 44(4): 10-13.
- [6] 蒋祖军,肖国益,李群生.川西深井提高钻井速度配套技术[J]. *石油钻探技术*, 2010, 38(4): 30-34.
JIANG Zujun, XIAO Guoyi, LI Qunsheng. Technology to increase deep well drilling speed in western Sichuan[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2010, 38(4): 30-34.
- [7] 胡继良,陶士先,纪卫军.破碎地层孔壁稳定技术的探讨与实践[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2011, 38(9): 30-32, 64.
HU Jiliang, TAO Shixian, JI Weijun. Discussion of borehole wall stability technology in broken formation and the practice[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2011, 38(9): 30-32, 64.
- [8] 赵留华,张成楠,张准.红层钻探施工中护壁堵漏泥浆的选取[J]. *西部探矿工程*, 2018, 30(1): 80-81.
ZHAO Liuhua, ZHANG Chengnan, ZHANG Zhun. Selection of slurry for wall protection and plugging in laterite drilling[J]. *West-China Exploration Engineering*, 2018, 30(1): 80-81.
- [9] 陈灿,王畅.湖南常宁仙人岩矿区复杂地层钻探护壁堵漏技术[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2018, 45(5): 37-39.
CHEN Can, WANG Chang. Wall protection and plugging technology in complex stratum drilling in Xianrenyan mining area of Hunan[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2018, 45(5): 37-39.
- [10] 石昌帅,杨启明,祝效华,等.双头单螺杆泵定子衬套力学行为分析[J]. *中国机械工程*, 2014, 25(9): 1143-1152.
SHI Changshuai, YANG Qiming, ZHU Xiaohua, et al. Analysis of mechanical behavior for double helix single screw pump stator lining[J]. *China Mechanical Engineering*, 2014, 25(9): 1143-1152.
- [11] 时志兴,贾有金.烧钻事故的预防与处理措施[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2012, 39(3): 40-42.
SHI Zhixing, JIA Youjin. Prevention of bit burnt accident and the treatment measures[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2012, 39(3): 40-42.
- [12] 程红文,朱恒银,刘兵.南岭科学钻探NLSD-1孔防斜及纠斜技术[J]. *钻探工程*, 2022, 49(3): 109-117.
CHENG Hongwen, ZHU Hengyin, LIU Bing. Deviation prevention and correction technology for NLSD-1 hole of Nanling Scientific Drilling[J]. *Drilling Engineering*, 2022, 49(3): 109-117.
- [13] 武国斌.钻探工程中的复杂地层钻进技术探讨[J]. *世界有色金属*, 2017(5): 190-191.
WU Guobin. Exploration of drilling technology in complex strata in drilling engineering[J]. *World Nonferrous Metals*, 2017(5): 190-191.
- [14] 刘治,孙宏晶.三山岛北部海域金矿海上钻探施工管理[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2017, 44(4): 85-92.
LIU Zhi, SUN Hongjing. Offshore drilling construction management of gold deposit in the northern sea area of Sanshan Islands[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2017, 44(4): 85-92.
- [15] 陈师逊,杨芳.海上工程平台的设计与应用分析[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2014, 41(4): 46-50.
CHEN Shixun, YANG Fang. Design and application of the offshore engineering platform[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2014, 41(4): 46-50.

(编辑 荐华)