

深海无缆海底基盘井口夹持系统的研制与应用

邓都都, 阮海龙, 刘广治, 刘智键, 蔡家品

(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要:在深海勘察取样作业时,由于海流作用会引起钻杆摆动或上下运动,这是导致取得样品失真的原因之一。海底基盘可在勘察作业过程中,对钻杆进行夹持稳定,以保障作业的质量,是提高勘察作业水平的核心装备之一。根据海洋石油708船的结构尺寸与勘察作业需求,研制了一套无缆海底基盘。目前该无缆基盘在我国南海及东海海域从事勘察作业服务,累计服务时间超过30个月,有力支撑了我国海洋地质调查工作。本文对该无缆基盘的工作参数及原理、水下液压系统以及通信与控制系统进行了介绍,重点对大容量深水电池的研制进行了分析。该电池能够保证无缆基盘的作业时间达到70 h,提高了勘察作业效率,可为今后相关海洋装备的研发提供基础。

关键词:海底基盘;水声通信;海洋钻探;勘察装备;系统设计

中图分类号:P634;TE951 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)06-0068-06

Development and application of the deep water cable-free subsea frame

DENG Dudu, RUAN Hailong, LIU Guangzhi, LIU Zhijian, CAI Jiapin

(Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: In the process of deep water exploration and sampling, the swing or up and down movement of the drill pipe will be caused by the action of ocean current, which is one of the reasons leading to the distortion of obtained samples. The subsea frame is one of the key equipment to improve exploration and sampling offshore through clamping the drill pipe stably in exploration operations to ensure the samples quality. According to the size of the HYSY708 drilling ship and the requirement of exploration operation, a cable-free subsea frame was developed. So far, it has been employed in survey and sampling in the South China Sea and the East China Sea for more than 30 months, providing great support for the marine geological survey in China. In this paper, the working parameters and the principle of the subsea frame, the underwater hydraulic system, and the communication and control system are introduced with focus on analysis of the development of the deep water battery. The battery can ensure the operation time of the subsea frame up to 70h; thus, improving the survey operation efficiency. The product provides a foundation for the future research and development of relevant offshore drilling equipment.

Key words: subsea frame; underwater acoustic communication; offshore drilling; survey equipment; systematic design

1 技术现状

海洋蕴含着丰富的生物与矿产资源,随着国家提出海洋强国战略的要求,海洋地质勘察工作越来越重要,工作量也在逐年增加^[1-6]。海洋钻探是开采海底资源、勘查地层剖面、钻取地层样品最重要、最直接的手段。在进行海洋勘察和物探作业时,尤其

是在较深的海域或者天气条件恶劣的情况下,在浪涌和海流等问题的影响下,钻探船会随着海浪发生多方向的运动,这会严重影响整个钻井系统的稳定性,导致海洋勘察或者取样作业难以进行。

海底基盘,顾名思义就是在海底的井口固定装置,也称为海底钳,其主要功能是在海底井口实现

收稿日期:2020-09-09;修回日期:2021-03-15 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.06.011

作者简介:邓都都,男,汉族,1989年生,工程师,地质工程专业,硕士,主要从事钻探装备、器具的研发以及钻探工艺研究工作,北京市房山区良乡经济开发区二期创新路一号(102446),duducugb@163.com。

引用格式:邓都都,阮海龙,刘广治,等.深海无缆海底基盘井口夹持系统的研制与应用[J].钻探工程,2021,48(6):68-73.

DENG Dudu, RUAN Hailong, LIU Guangzhi, et al. Development and application of the deep water cable-free subsea frame[J]. Drilling Engineering, 2021,48(6):68-73.

钻杆的夹紧与松开,这样能够有效地减小钻杆的多方位运动,满足勘察作业的需求。海底基盘结合了机械、液压、通信与控制技术,是一个复杂的系统,是保障海洋正常钻探取样的关键装备之一,国内外均进行了大量的研究^[7-10]。荷兰等欧美发达国家已经掌握了其设计和制造技术,例如FUGRO公司为海洋石油709勘察船配备的海底基盘,采用有缆通信方式,具有多参数监测功能,能够完成海底井口钻杆的夹持与松开。在我国,能够为勘察船提供稳定服务的海底基盘数量较少,大部分勘察船均未配备基盘来辅助作业,这大大影响了勘察作业的准确性与效率。

无缆基盘相比较于有缆基盘最大的特点是不需要价格昂贵的脐带电缆,也不需要进行高压输变电工作,减少了有缆方式所必需的脐带缆、电缆绞车以及输变电系统等部件,有效地节约了成本,而且简化了操作程序,发生故障的概率更低,提高了勘察作业的工作效率;高压电缆在海底受洋流以及海浪的影响下,会发生摩擦钢丝绳或者缠绕打结而出现漏电的危险,严重的话会烧毁设备,无缆基盘采用水下电池供电,安全性能更高。无缆基盘采用水声通信的方式,该技术成熟可靠,在深海探测器中应用非常广泛,具有结构简单、性能稳定、兼容性强的特点^[11-13]。

为了解决勘察作业船这一亟需的装备需求,提高勘察作业的可靠性与稳定性,北京探矿工程研究所根据海洋石油708船钻井系统的结构尺寸与作业能力,成功研制了一套无缆海底基盘。本文概述了该无缆基盘的技术参数与系统组成,并重点对大容量水下电池的研制进行了详细的分析,该电池有效地提高了海底基盘在水下的工作时间,提高了勘察作业的效率。

2 无缆海底基盘的总体设计

2.1 主要技术参数

深水勘察船海洋石油708船是我国深水战略船舶之一,其最大的工作能力为3000 m^[14-15],根据该船钻井系统的结构尺寸,以及补偿绞车的工作能力,制定了无缆基盘的主要技术参数如表1所示。

2.2 工作原理

整个无缆基盘分为水上和水下2大部分,水上部分主要由人机操作系统、水上通信机与潜水换能器组成。水下部分包括基盘基板、液压钳、电池舱、

表1 无缆基盘的主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of the cable-free subsea frame

项 目	参 数
工作水深	3000 m
最大适用钻杆直径	127~216 mm
钳口伸出速度	2 mm/s
牙钳摩擦力(钻杆轴向)	≥10 kN
一次充电牙钳水下开合的次数	≥20次
通信方式	水声通信
水下电池	220 V(DC), 40 A·h
系统质量	≤10 t(地面)

电子舱、液压舱、深水换能器和水下通信机等。系统的电控原理见图1。

无缆基盘井口夹持系统的工作过程如下:由操作人员通过甲板上位机的人机操作系统发出指令,该指令通过水声通信系统的调制与解调,传送到水下电子舱的控制系统中,接收到指令后控制器根据要求,控制液压系统进行相应的动作,完成液压钳口的夹持与松开;并且整个过程中,水下控制系统需要将传感器采集到的各种信号实时地传送到上位机中,并在上位机的人机操作界面显示出来,操作者根据实时数据决策下一步基盘的动作。整套系统具备水下应急功能,当遇到系统突然断电、长时间丢失通信以及漏水等特殊情况下,液压钳口会自动打开,这样能够保证海底基盘的正常回收。

2.3 液压系统设计

液压系统的功能是驱动和控制液压钳的伸缩,以实现钻杆的夹持和松开。其中,液压泵站、阀组、油箱、保压蓄能器和压力传感器等都密封在水下的液压舱中,该舱体采用平衡式油补偿系统,能够根据水深自动补偿内部压力,整个舱体轻便可靠,液压系统的原理见图2。

液压系统工作原理简述:系统未启动时,三位四通电磁阀处于中位,液压缸处于卸荷状态,依靠弹簧的推力将有杆腔复位;系统正常启动时,截止阀先得电,断开油路;夹持时,比例溢流阀得电,根据参数设定逐步提升系统压力,三位四通电磁阀同时得电到左位,接通液压回路,液压油从无杆腔进入,液压钳伸出,到位后依靠保压蓄能器持续保压;复位时比例溢流阀断电,截止阀与三位四通阀断电,整个系统卸

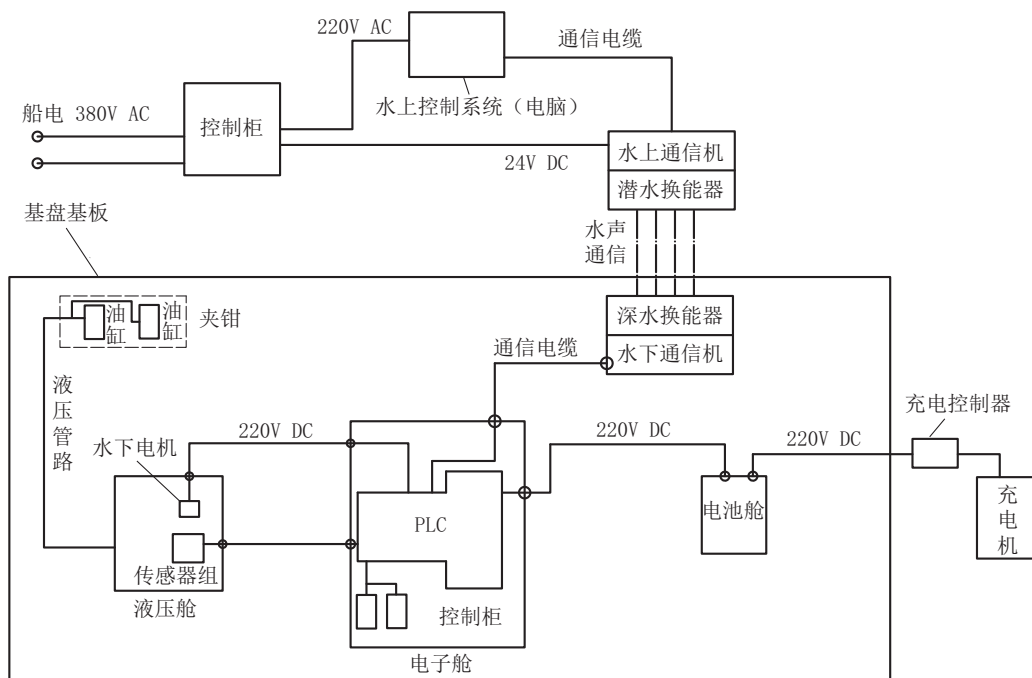
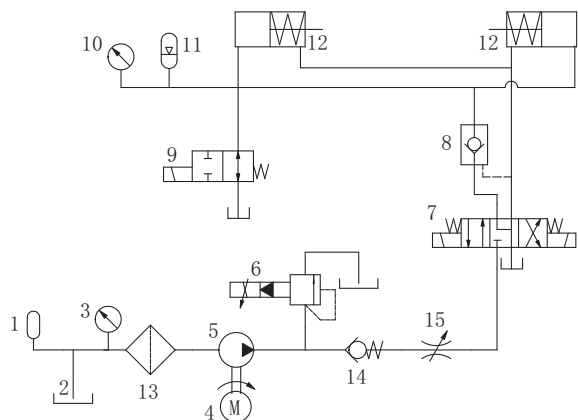


图1 海底无缆基盘夹持系统电控基本原理

Fig.1 Electrical control principle of the subsea frame



1—水下平衡补偿器;2—油箱;3—压力传感器;4—浸油直流电机;5—液压泵;6—比例溢流阀;7—三位四通电磁阀;8—单向阀;9—截止阀;10—压力传感器;11—保压蓄能器;12—耐腐蚀液压油缸;13—吸油过滤器;14—单向阀;15—节流阀

图2 液压系统工作原理

Fig.2 Working principle of the hydraulic system

荷,依靠弹簧推力使液压缸复位;如果液压缸未能正常复位,三位四通阀接通到右位,液压油从有杆腔进入,通过压力使液压缸复位。

2.4 控制和通信系统设计

控制系统是整个基盘的中枢系统,通信系统是连接水上与水下的桥梁。该系统由上位机、水下电

子舱以及声呐组成。主要功能是操作者通过甲板的上位机监视与控制整个基盘系统,远程操控水下的液压系统完成相应的动作,其系统原理如图3所示。

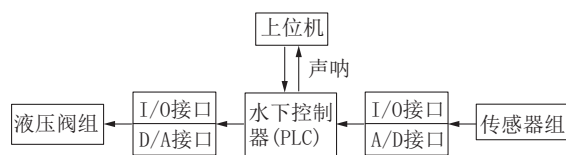


图3 控制与通信系统原理

Fig.3 Principle of the control and communication system

水下电子舱是水下控制的核心。采用干式舱体设计,它主要包括 PLC、电子电路、传感器组、接口电路等。电子舱的接口电路主要包括电源接口、液压系统通信接口以及声呐通信接口。电源接口通过水密接插件与电池舱相连,由电池舱给水下控制系统与液压系统供电。通信接口主要包括与液压系统通信接口以及水下声呐通信接口,与液压系统通信接口主要是将控制信号传递到液压舱,控制夹钳动作,同时采集液压系统阀组的工作状态以及传感器信号;与水下声呐通信接口主要是连接水下声呐通信机,完成实时信号的传输;接口电路中还预留了一个专门用于调试的电缆通信接口,方便在船上进

行系统调试。所有的接口电路均采用进口水密接插件。研制的电子舱接口电路见图4。



图4 水下电子舱接口

Fig.4 Interface of the underwater electronics capsule

3 水下电池的研制

水下电池是整个无缆基盘夹持系统工作的能源站,其容量的大小,直接决定了基盘在水下的工作时间,是制约勘察作业效率的关键因素之一。水下电池主要需要具有良好的耐压、绝缘性能^[16-18];与液压动力站匹配合理,放电连续稳定;在有限的尺寸下,电池容量尽可能的大。

3.1 电池包设计

根据无缆基盘夹持系统的设计参数,该电池需要提供220 V的直流电,保证持续放电电流为5 A。采用18650型三元锂电池进行组合,该电池单节标称电压约3.76 V,标称容量3400 mA·h,最大持续放电电流5 A。考虑到单次组合级联的电压太高会造成风险提高,故采用多级电池包级联的方式进行组合。每组电池包由13节电池串联,再12组并联共156节电池组成,其标称电压49 V,标称容量40.8 A·h,电池组的结构如图5所示。采用4组电池包串联组成总的电池标称电压196 V,满电电压220 V,标称容量40.8 A·h,每组电池最大持续放电电流60 A。

3.2 电池舱设计

根据基盘的结构尺寸,电池舱设计外径为320 mm,舱体内部装有电池管理系统和电池组。电池组分为4层,每相邻2层之间铺有薄尼龙片绝缘,第一层顶部和第四层底部分别加装厚尼龙板;两根螺纹杆由顶层的尼龙板穿至底层尼龙板,上下由螺帽拧紧,用以固定整个电池组。该螺纹杆固定于上端盖,保证整个电池组在工作的时候不会发生任何移

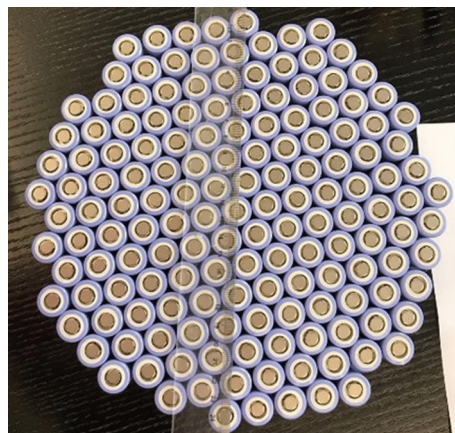


图5 单组电池包结构

Fig.5 Structure of a battery pack

动;电池管理系统位于电池组与上端盖之间,固定于两螺栓之间,水下电池的內部结构如图6所示。

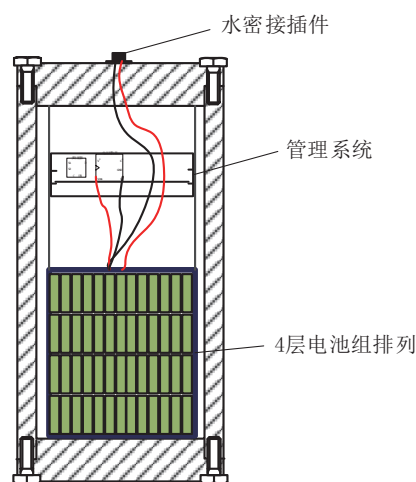


图6 水下电池结构

Fig.6 Underwater battery structure

电池舱采用高强度铝合金材质,两端自带端盖,采用O形橡胶圈多段径向密封的方式,上端盖外侧正中位置装有水密接插件,内侧边缘有多处螺纹孔,用于安装可拆卸螺纹杆。电池舱加工完成后,进行了水下最高35 MPa的耐压测试,保压测试时间24 h,测试曲线见图7,测试结束后检测电池舱,无任何形变产生。

3.3 电池管理系统

电池管理系统BMS(Battery Management System)是水下电池非常关键的部分,负责控制电池的充电和放电以及实现电池状态估算等功能。该BMS采用STM32F103VET6单片机为其核心控制

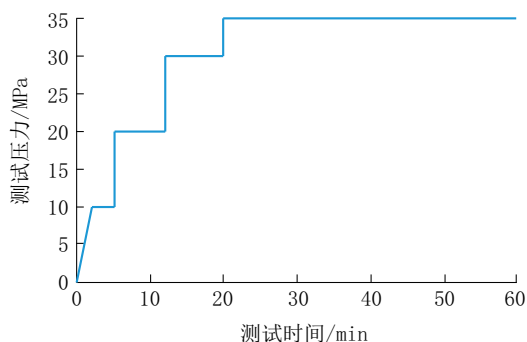


图7 电池舱耐压测试曲线

Fig.7 Battery capsule pressure test curve

芯片,用以监测4组电池组的电压。充电时当某一组电池电压过高,单片机立即关断该组电池充电输入端,而对其他几组电池进行充电。放电时当某一组电池电压过低,单片机随即关断该组电池放电输出端。整个开关的过程由单片机控制继电器来实现,电路示意如图8所示。设计的电池组充电最高电压为220 V,放电时最低控制电压为160 V,当系统充放电超过上下限值的时候,控制器会给整个系统断电,以保证安全。

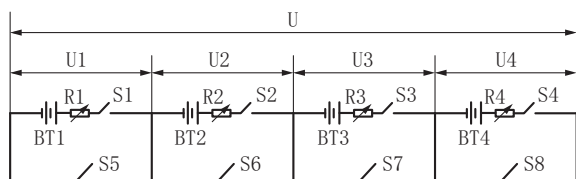


图8 电池管理系统电路示意

Fig.8 Circuit diagram of the management system

4 现场应用

2017年无缆基盘研制成功后,在南海某海域进行了海试。作业区域水深为1800 m,作业孔为全孔CPT测试,需要连续稳定夹持15 min以上,本次作业一共夹持51次,夹持时间累计25.9 h。2018—2020年海洋石油708船利用无缆基盘在南海、东海多个海域,辅助完成了大量勘察取样工作,累计服务时间超过30个月,其中仅2020年上半年,无缆基盘下海作业时间就高达4个月。目前主要作业区域水深在300 m左右,每次基盘下海作业时间高达70 h,稳定夹持次数在200次以上。

在近几年的作业服务中,无缆基盘控制系统可靠、通信良好,工作期间未发生任何严重影响勘察作业的故障。水下电池工作性能稳定,能够满足该船

的勘察作业需求。该基盘目前已成为了海洋石油708船勘察作业中非常重要的辅助工具。图9为无缆基盘正通过海洋石油708船的月池下放,准备下海作业。

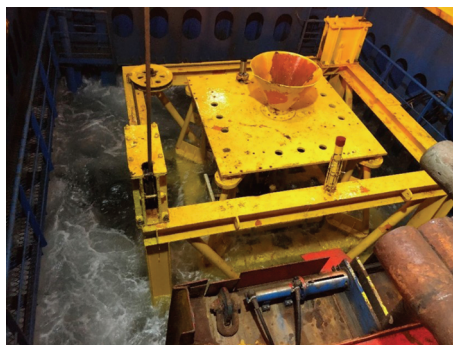


图9 无缆基盘下海现场

Fig.9 Lowering the seabed frame into water

5 结论

(1)海底基盘采用无缆的设计方式具有操作简单、功能可靠的特点;减少了有缆方式所需要的脐带缆、绞车以及输变电系统等部件,节约了成本,简化了操作程序,提高了勘察作业的工作效率。高压电缆在海底受洋流以及海浪的影响,会发生摩擦钢丝绳或者缠绕打结而出现漏电的危险,严重的会烧毁设备,无缆基盘采用水下电池供电,安全性能更高。

(2)通过无缆基盘的研发,储备了远程自动控制技术、水下液压站的设计与制造技术,为下一步海洋地质装备的研发打下了一定的基础;大容量水下电池的研制成功提升了无缆基盘的作业能力,提高了海洋石油708船的勘察作业效率。通过近几年的基盘服务,对于水下声波通信技术的性能也有了更加全面的认识。

(3)2018—2020年,无缆基盘一直在我国南海及东海海域从事作业服务,作业期间性能稳定可靠,有力地支撑了我国海洋地质调查工作。无缆基盘在海洋石油708船的成功应用,对于海洋地质勘察与地质钻探取样工作发挥了积极的意义。

参考文献(References):

- [1] 全长亮,孙龙飞,黄仕锐.海南省海洋地质调查主要进展与成果[J].中国地质调查,2020,7(1):60-70.
TONG Changliang, SUN Longfei, HUANG Shirui. Main progress and achievements of marine geological survey in Hainan

- province[J]. Geological Survey of China, 2020, 7(1):60-70.
- [2] 闫凯,孙军,杨慧良,等.海洋区域地质调查技术方法进展[J].海洋开发与管理,2018,35(9):107-114.
YAN Kai, SUN Jun, YANG Huiliang, et al. Progress in technologies and methods of regional marine geology survey[J]. Ocean Development and Management, 2018, 35(9):107-114.
- [3] 翟艳辉,黄毅.谈我国海洋地质调查研究与展望[J].科技创新导报,2018,15(14):129-130.
ZHAI Yanhui, HUANG Yi. Discussion on marine geological survey research and prospect in China[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2018, 15(14):129-130.
- [4] 王世栋,田烈余,王俊珠,等.海洋地质十号船钻探系统及其在海洋地质调查中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020, 47(2):24-29.
WANG Shidong, TIAN Lieyu, WANG Junzhu, et al. Drilling system on Marine Geology-10 Ship and its application in marine geological survey[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(2):24-29.
- [5] 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.
- [6] 段宝生,何繁,蒋卫焱,等.海底沉积地层保真取样钻具的设计及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(2):12-14.
DUAN Baosheng, HE Fan, JIANG Weiyan, et al. Design of drilling tool for truth-preserving sampling in submarine sedimentary strata and the application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(2):12-14.
- [7] 杨红刚,陈雪娟,刘小卫,等.水下勘察基盘用海底钳系统设计与分析[J].石油机械,2011,39(10):45-48,196-197.
YANG Honggang, CHEN Xuejuan, LIU Xiaowei, et al. The design and analysis of the seafloor template pliers[J]. China Petroleum Machinery, 2011, 39(10):45-48,196-197.
- [8] 覃楚倩,陈奇,王俊珠,等.基于光电复合缆的多参量实时监测海底基盘的探讨与实现[J].地质装备,2019,20(2):33-36.
QIN Chuqian, CHEN Qi, WANG Junzhu, et al. The discussion and implementation of multi-parameter and real-time monitoring seabed frame based on photoelectric composite cable[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2019, 20(2):33-36.
- [9] 刘志桐,张虎山,王安义,等.RGB32-100型海底基盘控制系统研制与应用[J].液压气动与密封,2019,39(5):38-41.
LIU Zhitong, ZHANG Hushan, WANG Anyi, et al. Development and application of RGB32-100 subsea template control system[J]. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2019, 39(5):38-41.
- [10] 刘晓林,刘家誉,王嘉瑞,等.海底基盘控制系统方案设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(7):77-82,93.
LIU Xiaolin, LIU Jiayu, WANG Jiarui, et al. Design of control system for seafloor template[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(7):77-82,93.
- [11] 王海斌,汪俊,台玉朋,等.水声通信技术研究进展与技术水平现状[J].信号处理,2019,35(9):1441-1449.
WANG Haibin, WANG Jun, TAI Yupeng, et al. Development and the state of the art in underwater acoustic communication[J]. Journal of Signal Processing, 2019, 35(9):1441-1449.
- [12] 王小阳.微小型AUV水声通信技术及其实现研究[D].厦门:厦门大学,2019.
WANG Xiaoyang. Research on micro-AUV underwater acoustic communication technology and its realization[D]. Xiamen: Xiamen University, 2019.
- [13] 朱敏,武岩波.水声通信及组网的现状和展望[J].海洋技术学报,2015,34(3):75-79.
ZHU Min, WU Yanbo. Study on the status and prospect of underwater acoustic communication and networking[J]. Journal of Ocean Technology, 2015, 34(3):75-79.
- [14] 中海油服物探事业部工程勘察中心.海洋石油708船胜利完成1720 m超深水工程地质勘察作业[J].岩土工程学报,2014, 36(9):1579.
Engineering Survey Center of Geophysical Department of COSL. "Haiyangshiyou 708" ship successfully completed 1720m ultra deep water engineering geological survey operation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 36(9):1579.
- [15] 桂满海,施建华."海洋石油708"设计研究[J].舰船科学技术, 2014, 36(S1):75-78.
GUI Manhai, SHI Jianhua. The introduction of design of "Haiyangshiyou 708"[J]. Ship Science and Technology, 2014, 36(S1):75-78.
- [16] 荆有泽,刘志伟.UUV用动力电池现状及其发展趋势[J].电源技术,2019,43(6):1073-1076.
JING Youze, LIU Zhiwei. Current situation and development trend of power battery for UUV[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2019, 43(6):1073-1076.
- [17] 汪艳,王爱玲,刘浩杰,等.动力型水下装备电池标准化初步研究[J].电源技术,2009,33(2):119-122.
WANG Yan, WANG Ailing, LIU Haojie, et al. Pilot study on battery standardization for dynamic underwater equipments[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2009, 33(2):119-122.
- [18] 孙桂才,王敏,刘洋.国外艇载锂离子电池动力发展和应用[J].舰船科学技术,2018,40(10):149-153.
SUN Guicai, WANG Min, LIU Yang. Research on development and application of lithium ion battery power system in foreign submarine[J]. Ship Science and Technology, 2018, 40(10):149-153.

(编辑 荐华)